

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие к русскому переводу	5
Предисловие	7
Часть 1. РАЗРАБОТКА	9
1. Расчет и разработка рисунка печатной схемы	11
2. Выбор слоистых пластиков и спецификации	50
Часть 2. ПРОИЗВОДСТВО	96
3. Механическая обработка слоистых пластиков	97
4. Перенос изображения на плату	113
5. Нанесение покрытий	171
6. Травление	285
7. Прессование многослойных схем	377
Часть 3. ЭЛЕКТРОМОНТАЖ	391
8. Ручная сборка	393
9. Автоматическая сборка	410
10. Герметики и покрытия	429
Часть 4. ПАЙКА	469
11. Требования для получения качественной пайки	470
12. Выбор материалов для пайки	492
13. Процессы пайки и оборудование	517
14. Контроль паяных соединений	572
15. Дефекты пайки и их исправление	609
Часть 5. ИСПЫТАНИЯ	645
16. Контроль сборки	646
П р и л о ж е н и е	688

PRINTED CIRCUITS HANDBOOK

Edited by CLYDE F. COOMBS, JR

Mc GRAW-HILL BOOK COMPANY

NEW YORK-SAN FRANCISCO-TORONTO-LONDON-SYDNEY

СПРАВОЧНИК ПО ПЕЧАТНЫМ СХЕМАМ

*Перевод с английского, под редакцией
Б. Н. Файзулаева и В. Н. Квасницкого*

Справочник по печатным схемам. Под. ред. К. Ф. Кумбза
 Нью-Йорк, 1967. Пер. с англ., под ред. Б. Н. Файзулаева
 и В. Н. Квасницкого. М. «Советское радио», 1972, 696 с.

В справочнике подробно рассматривается весь процесс производства печатных схем, в том числе и многослойных, начиная с выбора исходных материалов и до описания методов проведения полных механических и электрических испытаний.

Подробно описываются все режимы обработки. Даются рекомендации по выбору оптимальных параметров технологического процесса в зависимости от требований к конечному продукту. Приводятся перечень и краткие конструктивно-технологические характеристики оборудования и оснастки, а также все необходимые вспомогательные материалы.

Справочник рассчитан на широкий круг специалистов, занятых проектированием и изготовлением печатных схем, а также может служить учебным пособием для студентов вузов соответствующих специальностей.

74 табл., 248 рис., библи. 177 назв.

СПРАВОЧНИК ПО ПЕЧАТНЫМ СХЕМАМ

Перевод с английского под редакцией

Б. Н. ФАЙЗУЛАЕВА и В. Н. КВАСНИЦКОГО

Редактор **М. М. Лисина**

Художественный редактор **В. Т. Сидоренко**

Технические редакторы **А. А. Белоус, Г. З. Кузнецова**

Корректоры **Н. Н. Алабина, Е. П. Озерецкая**

Сдано в набор 12.V. 1972 г. Подписано в печать 22.VIII.1972 г.

Формат 84×108/32. Бумага машиномелованная

Объем 36,54 усл. п. л., 37,385 уч.-изд. л.

Тираж 28.000 экз. Зак. 0297. Цена 2 р. 85 к.

Издательство «Советское радио», Москва, Главпочтамт, п/я 693.

Ордена Трудового Красного Знамени

Московская типография № 7 «Искра Революции»

Главполиграфпрома Комитета по печати
 при Совете Министров СССР

г. Москва, Трехпрудный пер., 9

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ПЕРЕВОДУ

В современной радиоэлектронике находят широкое применение печатные схемы. Однако при расчете и проектировании, изготовлении и эксплуатации печатных схем всех видов возникает множество трудностей. Это связано со специфическими областями использования печатных схем, различными климатическими и механическими требованиями, предъявляемыми к аппаратуре, для которой они изготавливаются, различными электрическими требованиями, широким диапазоном требований по плотности монтажа, габаритам, надежности и др.

(Организация производства печатных схем требует рационального выбора оборудования и материалов, методов пайки и сборки, проведения испытаний и исправления дефектов.) Все эти вопросы могут быть правильно решены на основе обобщения и использования опыта, накопленного в мире.

Настоящая книга является первым и единственным до настоящего времени справочным руководством для специалистов, имеющих дело с изготовлением и применением печатных схем. Книга написана ведущими специалистами крупнейших фирм США — Фэрчайлд, Вестингауз, Дженерал Электрик, Хьюлетт-Паккард.

Первая часть справочника касается вопросов разработки печатной платы, механического и электрического расчета, выполнения рисунка и выбора материала. Во второй части изложены все вопросы, относящиеся к технологическому процессу изготовления печатной платы, а в третьей части — процесса сборки. Большая часть книги посвящена описанию процесса пайки материалов, оборудованию, технологии, методам испытаний. В последней части рассматриваются процедуры испытаний собранной печатной схемы.

В книге содержится большое количество фактических сведений по материалам, принятым в американской радиоэлектронной промышленности, типовым технологическим процессам и типовому технологическому оборудованию. Многие из этих сведений ранее нигде не были опубликованы и представят большой интерес для специалистов.

Особое значение при организации производства печатных схем имеет использование типовых технологических процессов. В книге значительная часть технологических процессов описана на уровне производственных инструкций, что позволяет детально с ними ознакомиться и оценить их возможности, преимущества и недостатки.

В книге описано несколько вариантов каждого процесса при изготовлении печатных схем и даются рекомендации или критерии выбора одного из них в зависимости от конкретных требований или технических условий. Поскольку в основу такого выбора положены, как правило, технико-экономические показатели, связанные со стоимостью оборудования, материалов и т. п., то их использование требует внимательного подхода.

Значительное место отводится различным стандартным рекомендациям по методам испытаний. Дается подробное описание типовых неисправностей печатных схем, дефектов и методов их выявления и устранения. При этом, естественно, все испытания проводятся на оборудовании, используемом на американских фирмах.

К сожалению, недостаточно внимания уделено технологии многослойных печатных схем. Тем не менее многие из описанных процессов, используемых для изготовления однослойных печатных схем, особенно при повышенных требованиях к качеству и высокой плотности размещения печатных проводников, полностью применимы и для многослойных схем.

При пользовании данной книгой следует помнить, что все сведения по оборудованию, нормам, требованиям, ценам и т. п. основаны на стандартах и конъюнктуре рынка США. Приемлемость любых рекомендаций, изложенных в книге, должна быть оценена с позиций имеющихся возможностей и согласована с действующими стандартами.

В целом же книга представит большой интерес как общее справочное пособие для конструкторов и технологов радиоэлектронной аппаратуры. Особое значение книга будет иметь при организации серийного производства печатных схем, при создании специализированных участков и цехов по производству таких схем, в том числе и многослойных.

Перевод справочника осуществлен В. А. Гуторовым, В. Н. Квасницким, Л. Л. Крысиным, Ю. П. Селивановым.

Кандидат технических наук

КВАСНИЦКИЙ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга предназначена для того, чтобы установить взаимоотношение между творчеством и наукой в производстве печатных схем. Книга была написана с целью создания справочного руководства как для инженеров-разработчиков, так и для инженеров-технологов. Все стороны разработки и производства печатных схем описаны высококвалифицированными людьми, имеющими большой опыт работы в промышленности.

Самым трудным при составлении всех справочников является выбор уровня описания технологических процессов. Если, с одной стороны, процесс описан во всех деталях и удовлетворяет получению изделий, соответствующих техническим условиям, то, как правило, экономическая эффективность такого процесса получается предельно низкой. С другой стороны, при попытках удешевления процесса возрастает процент брака, или происходит ухудшение характеристик в пределах, допустимых только для некоторых типов изделий. Следовательно, технологический процесс, используемый в производстве печатных схем для спутников и портативных радиоприемников, вычислительных машин и научных приборов, телевизоров, игрушек и ракет, должен быть достаточно гибким для удовлетворения технических требований к изделию для каждого конкретного применения. В настоящей книге описана технология, гарантирующая пригодность получаемых изделий для любого назначения. В то же время приведенное обсуждение эффективности и производительности позволяет читателю сделать некоторые изменения в соответствии с собственными требованиями. Например, можно исключить некоторые операции очистки, после того как стали понятны причины их введения, а экспериментально подтверждено, что и без них качество изделия получается вполне удовлетворительным.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие к русскому переводу	5
Предисловие	7
Часть 1. РАЗРАБОТКА	9
1. Расчет и разработка рисунка печатной схемы	11
2. Выбор слоистых пластиков и спецификации	50
Часть 2. ПРОИЗВОДСТВО	96
3. Механическая обработка слоистых пластиков	97
4. Перенос изображения на плату	113
5. Нанесение покрытий	171
6. Травление	285
7. Прессование многослойных схем	377
Часть 3. ЭЛЕКТРОМОНТАЖ	391
8. Ручная сборка	393
9. Автоматическая сборка	410
10. Герметики и покрытия	429
Часть 4. ПАЙКА	469
11. Требования для получения качественной пайки	470
12. Выбор материалов для пайки	492
13. Процессы пайки и оборудование	517
14. Контроль паяных соединений	572
15. Дефекты пайки и их исправление	609
Часть 5. ИСПЫТАНИЯ	645
16. Контроль сборки	646
П р и л о ж е н и е	688

РАЗРАБОТКА

Серийно выпускаемое изделие никогда не бывает лучше опытного образца или материалов, использованных при его изготовлении. В лучшем случае технологический процесс, просто воспроизводит технологические этапы разработки. Все это справедливо по отношению к печатным схемам с той лишь разницей, что весь цикл разработки должен быть повторен для каждой новой платы, а собственно вычерчивание схемы может быть выполнено чертежниками или другими специалистами, не имеющими высшего образования. В результате чрезвычайно важной оказывается формализация методов конструирования платы и выполнения рисунка печатных проводников.

Очень широкая область применения печатных схем обычно приводит к необходимости выбора метода конструирования в зависимости от конкретной области их применения. По этой причине, хотя и имеется множество статей и докладов, в которых описывается «точный метод» расчета и выполнения рисунка печатных схем, ни один из них не вносит ясности. Поэтому в настоящем разделе книги мы опишем только несколько абсолютно точных правил разработки. В остальном можно считать, что предлагаемый материал является для читателя руководством по построению собственной системы проектирования и производства печатных схем и содержит информацию, помогающую вынести обдуманное решение и гарантировать рассмотрение всех частных параметров конструкции и рисунка проводников. Напомним, что Институт печатных схем (ИПС) имеет каталог стандартных рисунков, составленный по материалам Института и иллюстрирующий наиболее важные соображения, касающиеся выбора того или иного рисунка. В основ-

ном они связаны с допусками, размерами и определяемсй этими факторами стоимостью производства.

Хотя перечень используемых для печатных схем материалов конечен, решение проблемы выбора материала и контроля качества очень сложно. Оно связано прежде всего с очень широкой областью применения печатных схем, определяющей столь же широкий спектр требований к материалам. Следовательно, в каждом случае необходимо выбирать материалы, гарантирующие качество и надежность системы, использующей печатные схемы, и имеющие при этом наименьшую стоимость. Принятие такого решения требует глубокого знания как предполагаемых условий эксплуатации схемы, так и свойств материала, и не может быть сделано экспромтом. В связи с этим в настоящем разделе (и частично в 5 и 6 гл.) приведены данные, которые до сих пор нельзя было получить ни из одного источника и которые должны привести читателя к экономически обоснованному выбору материалов и способов проверки их характеристик. Хотя доля стоимости основного материала в общей стоимости платы и составляет наименьшую часть, при большом объеме потребления годовые расходы на основной материал могут в конечном итоге составить огромные суммы. Кроме того, при неправильном выборе материала могут возникнуть технологические трудности, разрешение которых потребует расходов, значительно превышающих начальную стоимость материала.

РАСЧЕТ И РАЗРАБОТКА РИСУНКА ПЕЧАТНОЙ СХЕМЫ

Дэвид Р. Шерифф,

*руководитель отделения надежности фирмы
«Консолидэйтид Электродайнемикс Корпорейшн»,
Пасадена, Калифорния, США*

ВВЕДЕНИЕ	13
1. Нужно ли использовать печатные схемы?	13
2. Печатная схема как физическая система	14
3. Общие соображения	16
4. Особые соображения	16
ПРИМЕНЕНИЕ ПЕЧАТНЫХ СХЕМ	18
5. Платы с обычными компонентами	18
6. Параметры размещения компонентов	20
7. Параметры размещения проводников	20
ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КОНФИГУРАЦИИ СХЕМ	21
8. Соображения по размерам	21
9. Модульность	22
ПРОЦЕДУРА КОНСТРУИРОВАНИЯ РИСУНКА МОНТАЖА	23
10. Методология построения рисунка	24
МНОГОСЛОЙНЫЕ ПЕЧАТНЫЕ СХЕМЫ	28
11. Когда и где использовать многослойные схемы?	28
12. Основные особенности	29
13. Факторы, воздействующие на стоимость	31
14. Рисунок соединений	32
15. Изготовление оригинала рисунка	32
16. Допуски и параметры для конструирования многослойных плат	36

МОНТАЖНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ	38
СТРУКТУРНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ	41
17. Введение	41
18. Компоненты	41
19. Механический резонанс	41
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕЧАТНОЙ СХЕМЫ	44
20. Сопротивление	44
21. Емкость	46
22. Характеристическое сопротивление	47
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ РАЗРАБОТЧИКА	47
23. Общие вопросы	47
24. Электрические параметры	48
25. Физические параметры	48
ВОПРОСЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ОРИГИНАЛА	49
Литература	49

ВВЕДЕНИЕ

1. Нужно ли использовать печатные схемы?

При использовании печатных схем возникают ограничения и связанные с ними трудности, которые, если своевременно их не распознать, могут привести к неприятностям. Однако если эти ограничения не слишком серьезны, то их можно преодолеть или упростить. В общем случае положительные и отрицательные стороны применения печатных схем можно свести к следующим:

Преимущества

1. Уменьшение веса в отношении 10 : 1.
2. Организация и возможность управления размещением элементов.
3. Уменьшение стоимости за счет стандартизации и упрощенного или автоматизированного производства, дешевых материалов, менее квалифицированного персонала.
4. Высокая надежность, вследствие:
 - а) уменьшения ошибок при сборке за счет простоты и однородности конструкции;
 - б) минимизации количества соединений и уменьшения объема проверки;
 - в) механизации процесса сборки.
5. Близкое соответствие расчетных и реально получаемых характеристик.
6. Простота проверки.
7. Простота анализа с целью обнаружения причин отказов.
8. Точная и простая идентификация отдельных частей.

Недостатки

1. Малая объемная эффективность — плохое использование пространства (плоская конструкция).
2. Повышенная чувствительность к удару или вибрации.
3. Плохая ремонтпригодность.
4. Неизолированные проводники, которые могут привести к возникновению коротких замыканий или ухудшению сопротивления изоляции.
5. Усложнение проблемы теплоотвода.
6. Необходимость следовать определенным правилам и ограничениям при конструировании.
7. Необходимость принятия компромиссных решений при расчете механической и электрической конструкций.
8. Очень трудно, а иногда просто невозможно вносить изменения в схему.

Существенна оценка внешнего вида конструкции. Было определено, что 80% людей судят о законченном изделии только по его внешнему виду. Учитывая это, очень важным

оказывается то впечатление, которое производит на человека собранная схема.

С учетом всех перечисленных факторов конструктор должен уметь разработать изделие простое в производстве и обладающее высокой прочностью, с конфигурацией, облегчающей его эксплуатацию, и имеющее хороший внешний вид.

Расположение компонентов может быть продиктовано как заданными параметрами, так и критичностью размещения некоторых из них. Чаще всего рисунок проводников печатной платы представляет такую интерпретацию электрической схемы, которая с учетом электрических характеристик имеет хорошие механические свойства и достаточно проста. В этом случае изготовление схемы и обнаружение неисправностей также предельно облегчается.

Правила маркировки компонентов и выходных контактов определяются необходимостью упрощения сборки и проверки, благодаря соответствию рисунка платы рисунку условных обозначений электрической схемы.

При изготовлении рисунка всегда нужно помнить о достаточных зазорах между проводниками и о необходимости учитывать свойства поверхности платы. Очень важно между проводниками оставлять максимально возможное расстояние, особенно если они находятся под высоким напряжением или в схеме нужно иметь большое внутреннее сопротивление. Следовательно, в некоторых случаях нужно уделять особое внимание взаимному расположению проводников. Так, цепи с большим внутренним сопротивлением нужно размещать возможно дальше от цепей питания с токами промышленной частоты или от других сигнальных цепей. В противном случае может ухудшиться отношение сигнал/шум, появиться индуктивные наводки или возникнуть нежелательные обратные связи.

2. Печатная схема как физическая система

Физические свойства печатной платы нужно рассматривать в качестве основных параметров для разработки и получения заданных характеристик электронного устройства.

Правильный выбор материалов, технологических процессов и компонентов при разработке современных схем

может дать существенное улучшение надежности и других параметров устройства при рациональной стоимости.

Оптимальное функционирование физических систем может быть получено при выборе разумных компромиссов между схемой, конструкцией, компонентами, теплоотводом, вибрационными нагрузками и другими их параметрами.

Все эти факторы должны быть точно определены и оценены на самых ранних стадиях проектирования и учтены в окончательной конструкции схемы. При увеличении размеров и сложности системы требуется более детальный и точный расчет, чтобы предупредить все нежелательные и неожиданные взаимодействия между элементами в реальных схемах.

В результате эксперимента было доказано, что характеристики и технологичность электронной аппаратуры непосредственно определяются принципиальным физическим расчетом, особенно в той части, которая определяет взаимодействие отдельных компонентов, сборочных единиц и блоков. Во многих случаях ошибку можно непосредственно обнаружить по основному рисунку проводников печатной платы, а не исходя из общих системных концепций и недостатков раздетализированной схемы.

Расчет и рисунок схемы в значительной степени определяют характеристики схемы и их стабильность. Можно определить основные факторы, приводящие к деградации жизненно важных параметров системы от воздействия температуры, вибрации, удара, агрессивных паров, влаги, пыли и т. д. Эти факторы обуславливают также эффективность технологии и испытаний, ремонтпригодность и удобство эксплуатации и другие свойства, определяющие начальную стоимость системы и, еще больше, стоимость ее эксплуатации у заказчика. Правильное решение многих проблем, определяемых этими факторами, требует в некоторой степени творческого подхода и определенного объема исследований со стороны специалистов, инженеров и ученых.

Только после тщательного исследования, обдуманного выбора технического решения и окончания проектирования выпуском технологических чертежей и инструкций можно быть уверенным в получении всех выгод, которые дают новые материалы или новые технологические процессы.

3. Общие соображения

Расчет и выполнение рисунка схемы должны учитывать требования всей разрабатываемой системы, включающей не только печатную схему, но и другие компоненты. Следует учитывать также связь и взаимодействие этих компонентов между собой в пределах системы.

Следовательно, необходимо рассмотреть следующие основные соображения:

назначение системы заказчика; технические условия на изделие; ожидаемый срок службы; тип электронных схем, усиление, внутреннее сопротивление, напряжение и т. д.; характер эксплуатации: уровень компонентов, обслуживание (динамика), ЗИП, ремонтпригодность или замена; окружающие условия: хранение, сборка, транспортировка, использование; ремонт; технология: совместимость с действующим производством, объем партии, степень и характер механизации; материалы и компоненты: поставщики, паспортные данные, возможность поставки, стоимость, необходимость отбора по специальным требованиям.

Все эти требования, включая и некоторые специальные, должны быть компромиссно удовлетворены. Такой выбор компромисса требует хороших знаний в нескольких отраслях техники, а также знания рынка, экономики и технологии.

При разработке любого изделия необходимо не нарушить оптимальность выбора параметров на стадии изготовления. Для этого нужно определить несколько параметров и дать им при выборе компромиссов максимальный приоритет. Такой способ описан в [1] и является одним из инструментов анализа. Наиболее удобно представить набор параметров графически. Такие кривые показаны на рис. 1.1 и 1.2 и отражают возможность удовлетворения наиболее противоречивых требований. Более тщательный и точный анализ можно провести при обсуждении проблемы специалистами, занимающимися различными аспектами разработки и производства.

4. Особые соображения

Требование получения наилучших при прочих равных условиях параметров при малых размерах изделия удовлетворяется при использовании интегральных схем. Для

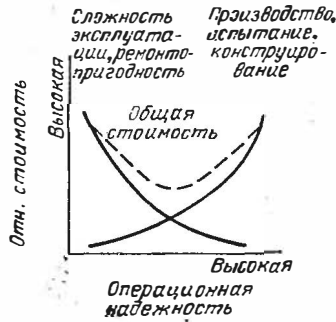


Рис. 1.1. Типовые кривые, определяющие компромиссный выбор параметров печатной схемы для обеспечения ее надежности.

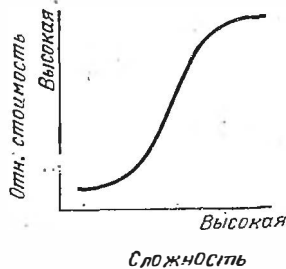
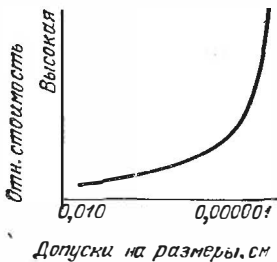


Рис. 1.2. Типовые кривые для оптимального выбора затрат.

систем, в которых требуется обеспечить ремонтпригодность, необходимо учитывать возможность проведения быстрой проверки (во время обслуживания) или регулировок и сочетать это с экономичностью производства. Поэтому разработчик должен знать, какой тип печатного монтажа наиболее пригоден в каждом случае. Наиболее распространенный тип схем представляет собой подложку с монтажными соединениями, на которой монтируются дискретные компоненты. Первоначально, схемы получали вжиганием проводящей массы в керамику, т. е. способом, который сейчас используется в технологии интегральных схем. Вжиганием получают все пассивные компоненты с добавлением активных приборов, изготовленных по полупроводниковой технологии. Если использовать обработку электронным лучом или другие приемы микроминиатюризации, то в результате достигается большое уменьшение размеров схемы. Существующие ограничения всех этих методов делают наиболее подходящей технологию изготовления гибридных схем, если необходимо получить хорошую стабильность, большую мощность и не требуется высокочастотности.

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕЧАТНЫХ СХЕМ

5. Платы с обычными компонентами

Конструктор печатных схем должен иметь хороший контакт со специалистами по компонентам, поскольку в сложной аппаратуре может насчитываться десятки и сотни тысяч компонентов, и неправильный выбор их недопустим. Соображения по выбору компонентов должны учитывать следующее: во-первых (и наиболее важно), детальный и точный анализ электрических характеристик компонента с точки зрения его функционирования в данной схеме. Кроме того, надо принять во внимание механические требования, определяемые всей конструкцией и технологией, и условия, в которых компонент будет работать.

Правильное применение электронных компонентов требует постоянного внимания и изучения. Очень часто при выборе наилучшего для данного случая компонента приходится выносить компромиссные решения, поскольку каждое требование в какой-то мере затрагивает другое. Физиче-

ские характеристики учитывают такие факторы, как размер, массу, форму, требования к монтажу, расположение выводов и их прочность, паяемость или свариваемость, возмож-

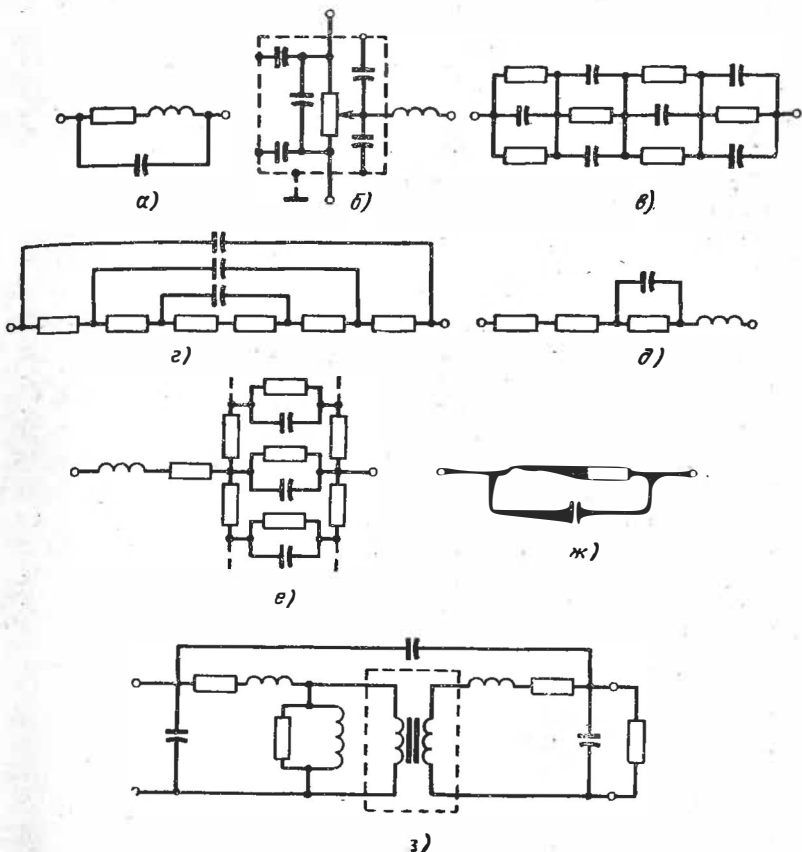


Рис. 1.3. Типичные эквивалентные схемы отдельных компонентов: а — резистора; б — потенциометра; в — мастичного резистора; г — угольного таблеточного резистора; д — аккумуляторный багарей; е — катушки индуктивности; ж — трансформатора; з — конденсатора.

ность маркировки, локализацию магнитного и электрического полей, экранировку. Здесь следует напомнить, что компонент нельзя рассматривать как идеализированный элемент, рассматриваемый теоретической электротехникой. Каждый компонент определяется довольно сложной эквивалентной схемой (например, рис. 1.3).

6. Параметры размещения компонентов

Потенциальные возможности печатной схемы закладываются уже на первом этапе проектирования при размещении элементов каждой схемы и выборе типа соединения выводов отдельных компонентов. Этот процесс заключается в ориентировке компонентов, в определении формы и длины выводов. Существенно также наличие крепежных элементов и тип разъемов. При применении интегральных схем возникают иные специфичные требования к конструкции.

Физическое соединение печатной платы с компонентами на ней редко улучшает рассчитанные теоретически характеристики схемы но, как правило, изменяет их. Больше того, физическая конструкция может часто внести несколько дефектов в первоначальную разработку. Сейчас мы оперируем с компонентами, считая их компонентами с сосредоточенными параметрами — емкостью, индуктивностью, сопротивлением. Однако при синтезе схемы соединений необходимо учитывать не только величины, определяющие непосредственное функциональное назначение каждого компонента, но и скрытые нежелательные или случайные параметры компонентов. Ими могут быть паразитная индуктивность и сопротивление конденсатора, время пролета носителей заряда в электронной лампе или полупроводниковом приборе, индуктивно-емкостные характеристики резисторов (добротность и резонансная частота.) Может оказаться, что земляной провод имеет очень большую индуктивность. Могут возникнуть паразитные эффекты из-за сближения электромагнитных или электростатических полей проводников или деталей, которые приведут к большим токам утечки или паразитным сигналам. Самовозбуждения и помехи устранимы только при очень тщательном построении монтажной схемы и точном определении критического по самовозбуждению варианта схемы. Выбор блокировочных конденсаторов должен исходить из необходимости иметь малый импеданс в рабочем диапазоне частот схемы.

7. Параметры размещения проводников

Аппаратная реализация электрической схемы создает много побочных эффектов, например приводит к возникновению помех. Такие помехи часто можно разделить на поме-

хи, возникающие на плате, и помехи через общую землю. Если при проектировании частей каждой схемы придерживались правила использования отдельного заземляющего провода, подключаемого к земле в одной точке, то эта проблема обязательно возникнет, и притом в самом худшем варианте. Во избежание этого необходимо обратить внимание на форму заземляющих проводников.

Одновременно следует определить правила разделения всей схемы на функциональные части.

Например, очень критичны в фазовой и амплитудной характеристиках на граничных частотах усилители с обратной связью. Это позволяет управлять запасом стабильности и параметрами всей системы. Разработку такой схемы нельзя считать законченной до тех пор, пока полностью не определены критические характеристики и допускаемые отклонения номиналов всех выбранных компонентов в конкретной схеме. Определение соотношения между первичной разработкой и конечным изделием составляет 95% решения всей задачи.

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КОНФИГУРАЦИИ СХЕМ

8. *Соображения по размерам*

В соответствии с установившимися тенденциями часто приходится разрабатывать все более легкую и малогабаритную аппаратуру. Ограничение размеров, массы и обеспечение транспортабельности и удобства использования являются обычными требованиями для авиационной и космической аппаратуры.

С уменьшением массы сразу появляется опасность потери прочности. Следовательно, необходимо тщательно оценить все аспекты этого шага. С уменьшением размеров возникает также очень много проблем, и некоторые из них совершенно новые. Например, концентрация тепловой энергии, являющаяся главным тормозом, ограничивающим степень миниатюризации. Перегрев уменьшает срок службы компонентов и платы. В настоящее время средняя мощность рассеяния одной интегральной логической схемы примерно равна 30 *мвт*. Имеется тенденция уменьшения этой величины вплоть до 100 *мквт*. Однако поскольку мощность рассеяния растет пропорционально скорости работы схемы,

а стремление к увеличению скорости работы определяет основную тенденцию в электронике, проблема тепла всегда будет существовать. Простейший способ отвода тепла из плоской конструкции состоит в использовании внешнего проводящего слоя в качестве теплоотвода. Другой способ, который пригоден при обычных компонентах (как это видно из кривых теплообмена), состоит в обеспечении легкого доступа ко всем отдельным компонентам.

При разработке электронной системы очень часто приходится в связи с требованиями технологии, проверки или обслуживания разбивать систему на несколько модулей меньшего объема. Модули в рабочем режиме соединяются проводниками, имеющими соответствующие разъемы. Разъемы могут быть разных типов, и их выбор оказывает сильное влияние на надежность всей системы, ее ремонтнопригодность, размеры, массу и стоимость.

9. Модульность

Использование модульной конструкции дает большие выгоды, но на практике имеет свои ограничения. Здесь также существует необходимость выбора определенных компромиссов. Приведенный список иллюстрирует типичные характеристики модульной конструкции:

Преимущества

1. Получение стандартных, универсальных, проверенных и оптимизированных функциональных блоков.
2. Обеспечение механизации технологического процесса.
3. Облегчение обнаружения неисправности (автоматизация).
4. Минимизация времени простоя оборудования (смена неисправного модуля).
5. Простота введения модификации и улучшения системы путем замены модулей.
6. Возможность организации массового производства.
7. Определенная степень унификации (упрощает разработку и экономит время).

Недостатки

1. Увеличение общего числа контактов.
2. Уменьшение общей эффективности (больше оборудования, контактов и неэффективное использование объема).
3. Увеличение размеров системы.
4. Увеличение общего веса системы.
5. Увеличение количества ЗИПа.
6. Стоимость резервных подблоков высока по сравнению со стоимостью резервных частей.
7. Усложнение схемы модулей в связи с необходи-

8. Одинаковость размеров и малый вес модулей упрощает работу с ними, хранение и проводку.
 9. Некоторое увеличение плотности конструкции.
 10. Гибкость системной разработки в сочетании со стандартизацией, качеством и экономией.
 11. Уменьшенная номенклатура покупных деталей.
 12. Увеличение общего количества покупных деталей одного типа, приводящее к экономии за счет торговой скидки на большую партию.
 13. Упрощение работы заказчика за счет использования номенклатуры запасных модулей, а не дискретных компонентов.
 14. Упорядочивание организации производства и амортизации технологического оборудования.
8. Увеличение общей стоимости за счет введения разъемов.
 9. Необходимость удлинения связей (особенно критических).
 10. Возможность появления помех с кабелей.
 11. Усложнение (не всегда) диагностики на уровне компонентов.
 12. Ухудшение тепловых параметров конструкции (не всегда).
 13. Ограничения разработки, связанные с необходимостью использования однородной конструкции.
 14. Иногда неудобная механическая конструкция.

На практике типичным решением является использование оптимального числа модулей различных размеров, а там, где это выгодно, — покупных изделий.

Возьмем для примера простой телевизионный приемник. Как правило, в нем печатные схемы используются только там, где это выгодно — в усилителе промежуточной частоты и блоке синхронизации. Очень редко их применяют в более сложных схемах блока настройки УВЧ или в блоках с малым числом элементов, например в блоке питания. В соответствии с этим, телевизионные приемники имеют три, четыре блока с навесным монтажом.

ПРОЦЕДУРА КОНСТРУИРОВАНИЯ РИСУНКА МОНТАЖА

Если это возможно с точки зрения электрической схемы, условий эксплуатации, ремонтпригодности и т. д., желательно использовать односторонние платы. При двухсторонних платах возникают специфические трудности в разработке и эксплуатации, связанные с их худшей надежностью. Кроме того, двухсторонние платы дороже. При

двухсторонних платах возникает задача совмещения слоев и их контактирования. В односторонних платах проводники размещены на одной стороне изоляционной пластины, а все компоненты на другой. Некоторые компоненты, особенно имеющие большую длину, могут быть использованы в качестве мостиков, соединяющих проводники в месте возможных пересечений. Это упрощает решение задачи построения рисунка монтажа. Если такой способ использовать нельзя, применяется проволочная перемычка. Для некоторых плат с большим количеством входных и выходных контактов или для плат, в которых малые размеры компонентов не дают возможность использовать их в качестве мостиков, может потребоваться введение печатных проводников на обеих сторонах диэлектрика и внутри платы. Переход с одной стороны на другую удобно осуществлять в местах крепления вывода компонента или использовать для этой цели специальные проводящие вставки.

10. Методология построения рисунка

Вначале схема должна быть вычерчена с максимальными упрощениями в наиболее удобной форме, с уменьшением числа пересечений, и на формате, близком к размерам конечного изделия, но с сохранением ее понятности и точности. Очень удобно сначала сделать рисунок с помощью прозрачных габаритных шаблонов для компонентов или с использованием самих компонентов, вычерчивая от руки схему соединений до тех пор, пока размещение всех компонентов и проводников не будет соответствовать требованиям обычного монтажа, учитывающим взаимные связи и индуктивно-емкостные эффекты. Этот процесс при быстром изменении порядка размещения компонентов и проводников постепенно приводит к оптимальной схеме. Рекомендуется провести его по крайней мере три раза и, кроме того, три раза и больше для наиболее сложных частей схемы. До окончания всей работы не следует проводить отчетливых линий.

Электрические параметры печатного монтажа, приведенные под заголовком «Электрические параметры печатной схемы», необходимо обязательно использовать лишь при расчете наиболее сложных схем. В частности для высокочастотных и высокоимпедансных схем, особенно при необхо-

димости обеспечения стабильности в сложных рабочих условиях, необходимо учитывать сопротивление изоляции и свойства диэлектрика.

На основании упомянутых данных должно быть определено падение напряжения и нагрев проводников. Особое внимание нужно уделить эффектам близкого взаимодействия, которые могут возникнуть при объединении разрабатываемой схемы с другими модулями системы. И, наконец, нужно учесть условия работы и хранения схемы, а именно: влажность, запыленность, температуру, механические вибрации и удароустойчивость. Затем, с помощью первоначального рисунка и его последующих улучшенных вариантов определяются дополнительные требования к конструкции — специальное экранирование, критичность качества земли, повышенная изоляция, теплоотвод и другие менее важные характеристики.

Фиксированные компоненты. Разместите все компоненты; место которых определяется механическими требованиями, например; триммеры, переключатели, испытательные гнезда. Определите приблизительно место всех основных компонентов в положении, близком к их месту в схеме, с целью распознавания нежелательных связей. В каждом случае конфигурация схемы будет зависеть в большой степени от типа схемы и метода монтажа. Например, схема каскадного типа может соответствовать упрощенному рисунку монтажа. Для улучшения технологичности понятности все компоненты (особенно такие, как цилиндрические резисторы и конденсаторы) необходимо размещать в одном направлении (параллельно). Зазор между компонентами не должен допускать возможности их соприкосновения. Если компоненты с электрической и тепловой точки зрения совместимы, они могут соприкасаться, если это не ведет к их повреждению.

Правила разводки проводников. К печатным схемам применимы те же принципы ведения монтажа, которые дают хорошие результаты при обычных конструкциях. Например, для устранения нежелательных обратных связей необходимо удалить или экранировать друг от друга вход и выход. Однако размеры монтажа меняются. В наличии имеется только одна плоскость, а это требует более тщательного размещения проводников, поскольку при обычном монтаже изоляционным проводом никаких трудностей, связанных с пересекающимися проводниками, не возникает.

В печатной же плате в каждом пересечении получается контакт, для устранения которого необходимо изменять линию проведения одного из проводников.

Это значит, что некоторые проводники становятся длиннее, чем это надо. В крайнем случае во избежание этого

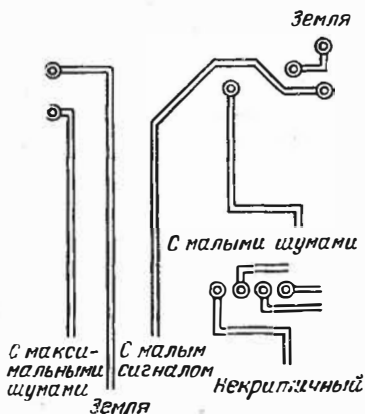


Рис. 1.4. Рисунок проводников при свободном размещении.

можно применять переходный мостик. Рисунок проводников должен наилучшим образом использовать отведенную для него площадь. Следует заметить, что в том случае, когда рисунок проводников выполняется геометрически правильными линиями (рис. 1.4), можно ожидать следующих неприятностей: утечки; высокого напряжения; больших помех; нежелательных связей; потери сигнала из-за емкостных эффектов.

Если необходимо, чтобы действие перечисленных факторов было не одинаково, на каждом прямолинейном участке рисунок проводников должен быть таким же, как при параллельном размещении (рис. 1.5).

Размеры. Выбор размеров нужно выполнять очень тщательно, поскольку малые размеры и жесткие допуски увеличивают стоимость печатной схемы. Рекомендации здесь могут быть только самыми общими.

Для обеспечения гарантии против повреждения проводников при обработке минимальная ширина проводников должна быть больше 1,5 мм. При ширине больше 3 мм могут возникнуть трудности, связанные с пайкой. Чтобы при пайке не появилось мостиков из припоя, минимальный зазор между проводниками должен быть больше 1,5 мм. На каждые 150 в разности потенциалов необходимо иметь 0,75 мм зазора. Хорошее общее правило при определении

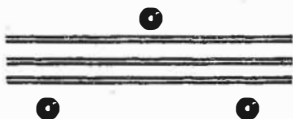


Рис. 1.5. Параллельные проводники.

размеров отверстий (особенно, когда отверстия под выводы пробиваются, а не сверлятся): диаметр отверстий равен толщине диэлектрика, а расстояние между центрами как минимум в 1,5 раза больше диаметра.

Всегда нужно помнить, что точность и размеры окончательной схемы в лучшем случае будут соответствовать расчетным. Поэтому оригинал вычерчивается с большим увеличением, позволяющим соответственно повысить точность изделия.

Форма печатных проводников. Существует два подхода в выборе формы проводников. Некоторые считают, что плавные линии проводников обеспечивают кратчайшие соединения компонентов, не вызывают трудностей при травлении и не приводят к концентрации электрических полей, которая может вызвать корону или другой дуговой пробой на острых проводниках. Плавные кривые обеспечивают максимальную гибкость для проведения линий точно в те места, которые определяют оптимальное размещение компонентов. Однако и здесь существуют свои трудности.

1. Тот, кто выполняет рисунок схемы, должен обладать художественными способностями. 2. Если эти способности слишком развиты и некоторым линиям он начинает давать форму, исходя из эстетических соображений, то схема может быть чересчур усложнена. 3. Метод приводит к удорожанию технологии при использовании для изготовления оригинала метода вырезания трафарета и может вызвать трудности при применении для этих целей липкой ленты.

Второй подход состоит в вычерчивании рисунка платы в виде прямых линий и прямых углов. С переходом на полупроводниковые приборы, работающие при низких напряжениях, этот метод получил дополнительные преимущества. Метод характеризуется следующими свойствами:

1. Проведение каждой линии заранее определено без внесения каких-либо эстетических соображений. 2. Для изготовления оригинала очень легко использовать прямые ленточки. 3. Оригинал становится простым и относительно стабильным. 4. Без труда можно очень ясно сформулировать правила построения рисунка. 5. Длина проводников немного увеличивается.

Если на острых углах проводников возникает коронный разряд или если эти острые углы нежелательны по другим соображениям, простейший способ их устранения состоит в срезании углов наклейкой той же прямой ленточки.

Информация, необходимая для чертежника. Инженер должен подготовить для чертежника хорошо выполненную схему, имеющую минимальное количество петель и пересечений. Он должен также попытаться набросать предварительный рисунок односторонней платы, который можно использовать в качестве исходного. Это позволит выяснить области, в которых существуют несовместимые связи и где требуются перемычки или изоляция одной схемы от другой. набросок поможет инженеру сделать окончательный выбор необходимых деталей, который обеспечит хорошее качество конечного продукта. Обычно предпочтение следует отдавать наиболее коротким линиям. Иногда необходимо согласовать возможность применения длинных обходных линий. Очень важную роль в определении места входных и выходных контуров и земли играет размещение и количество внешних соединений, для которых должны быть использованы кабели. Все это сильно влияет на общий характер окончательного рисунка печатных проводников. Контактные площадки и платы должны иметь цифровые или буквенные обозначения. Экраны и земляные шины для уменьшения шумов и помех от паразитных связей должны иметь ясное обозначение для чертежника.

МНОГОСЛОЙНЫЕ ПЕЧАТНЫЕ СХЕМЫ

11. Когда и где использовать многослойные схемы?

Использование микромодулей и других микроэлектронных интегральных схем приводит к необходимости применения метода соединений, совместимого с высокой плотностью компоновки, достигнутого в этих схемах. Чтобы реализовать даваемое микроэлектронными схемами уменьшение размеров и веса, необходимо разработать простую и компактную систему выполнения соединений этих схем.

Из многих рассмотренных вариантов многослойный печатный монтаж обладает наибольшей гибкостью и удовлетворяет всем требованиям в различных применениях. Чтобы оценить положительные и отрицательные стороны этого метода, необходимо в каждом случае рассмотреть все преимущества и недостатки многослойных печатных схем и сравнить их с поставленными требованиями.

- | | |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Механизированный процесс сборки. 2. Экономия объема при использовании тонких пленок и малогабаритных разъемов. 3. Устранение монтажных ошибок. 4. Получение однородных характеристик линий (особенно при полосковых системах). 5. Уменьшение стоимости при массовом производстве и соответствующем оборудовании. 6. Уменьшение времени сборки за счет упрощения этого процесса. 7. Потенциально высокая надежность (зависит от организации технологического контроля и типа соединений между слоями). 8. Позволяет сочетать структурные и электрические функции. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Трудность моделирования реальных условий работы при проведении испытаний. 2. Визуальный контроль изделия труден или невозможен. 3. Усложнение ремонта и необходимость применения специального инструмента. 4. Высокая стоимость при малых объемах производства. 5. Увеличенное время конструирования. 6. Большой срок отладки производства. 7. В некоторых вариантах наличие нескольких разных по типу проводников. 8. Внесение изменений в собранную плату очень сложно и дорого. |
|--|--|

12. Основные особенности

Свойства многослойных плат, если рассматривать последние как систему соединений между компонентами, сильно зависят от применяемого способа соединения. С ней связаны гибкость, надежность, воспроизводимость параметров, эксплуатационные свойства и стоимость. Перечисление применяемых промышленностью технологических решений выглядит следующим образом:

проходные отверстия; контактные пистоны; послойное наращивание; литые перемычки; набрызгивание металла; металлизированные отверстия; вставные контактные глазки; контактные штыри; деформируемые контактные глазки.

Каждое из этих решений обладает определенными преимуществами в каждом конкретном случае применения. При любом соединении, кроме способа проходных отверстий, увеличивается число контактных соединений (на стыке металл — металл). Однако, как правило, чем сложнее способ, тем более высокую плотность электронной конструкции можно получить. Три из перечисленных способов иллюстрируются на рис. 1.6—1.8.

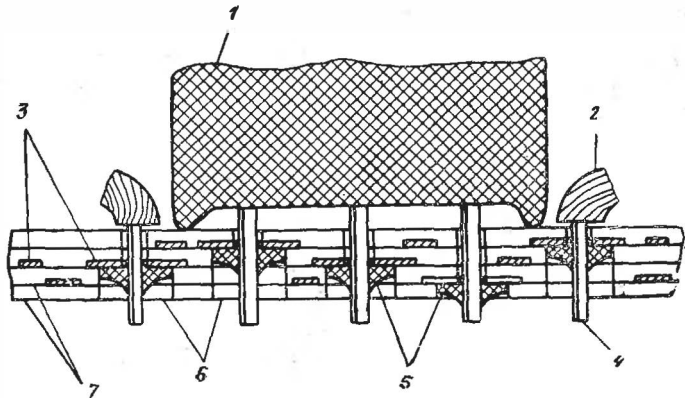


Рис. 1.6. Многослойная печатная схема, изготовленная методом «проходных отверстий»:

1 — компонент; 2 — изоляция; 3 — поперечное сечение проводников; 4 — провод; 5 — припой; 6 — проходные отверстия; 7 — многослойная печатная плата.

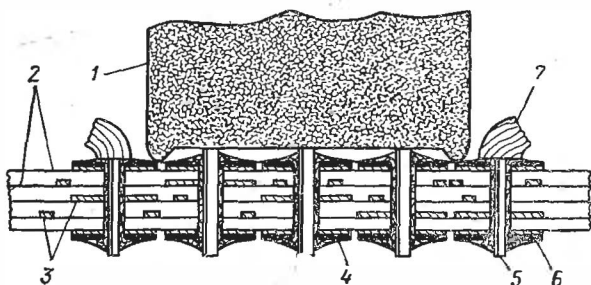


Рис. 1.7. Многослойная печатная схема, изготовленная методом «сквозной металлизации отверстий»:

1 — компонент; 2 — многослойная печатная плата; 3 — поперечное сечение проводников; 4 — припой; 5 — провод; 6 — фольга (металлическое покрытие); 7 — изоляция.

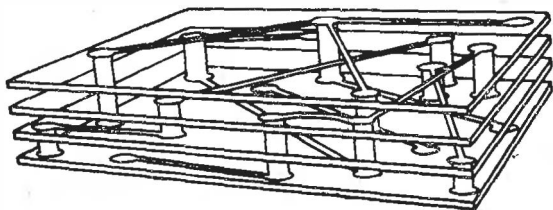


Рис. 1.8. Внутренняя структура многослойной печатной платы со штырями.

После того как определена необходимая плотность, можно перейти к определению размеров и формы. Как правило, каждый метод характеризуется пределами по оптимальным размерам. Что касается формы, то требования к ней диктуются числом входов и выходов схемы и сложностью внутренних сигнальных связей и цепей питания. При увеличении размеров платы очень часто число внешних сигнальных связей может быть значительно уменьшено. Однако увеличение размеров платы равносильно существенному усложнению ее изготовления.

13. Факторы, воздействующие на стоимость

Такие требования к плате, как степень коробления, точность совмещения слоев и сложность схемы, сильно влияют на процент выхода годных схем и в конечном счете

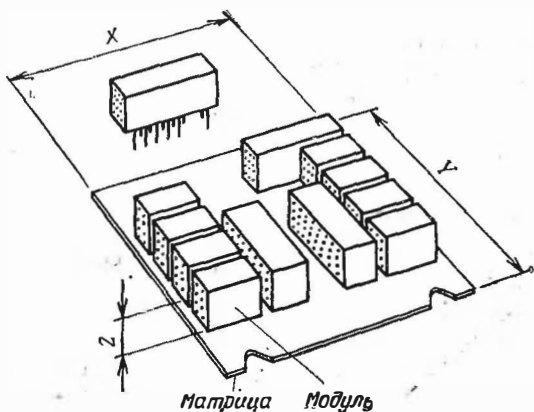


Рис. 1.9. Оптимизация системы соединений по осям.

на стоимость. Легче всего управлять стоимостью, изменяя плотность схемы. При расстоянии между отверстиями меньше 2,5 мм стоимость резко возрастает. Когда это расстояние лежит в пределах 2,5 мм, допуски на точность размещения отверстий могут быть порядка 0,13 мм, что легко достигается современной технологией при хорошем проценте выхода. Если шаг координатной сетки схемы сделать равным 1,25 мм, стоимость возрастет на 50%.

В идеальном случае лучше всего иметь наибольшую сложность соединений на самом низком уровне конструкции. Если основная часть соединений по координатам X и Z размещается в модуле (рис. 1.9), то мы имеем идеальный случай относительно простой соединительной платы. В этом случае многослойная плата несет соединения по координате Y , и рисунок проводников представляет собой простой набор параллельных линий разной длины, расположенных по оси Y .

14. Рисунок соединений

Электрические параметры многослойных печатных схем в основном совпадают с параметрами, определенными под заголовком «Электрические параметры печатной схемы», исключение составляют лишь некоторые пункты. Так, емкость между слоями выше, чем в обычных схемах (двухсторонних), потому что расстояние между ними примерно в 10 раз меньше. Следовательно, увеличивается опасность возникновения паразитных связей, наводок и помех.

15. Изготовление оригинала рисунка

Из-за своих особенностей многослойные платы требуют более высокой точности изготовления оригинала, чем обычные однослойные печатные платы, как односторонние, так и двухсторонние. Так, в двухсторонних платах неточность вычерчивания оригинала можно компенсировать правильным выбором допусков на размеры при расчете. Можно увеличить, например, площадь контактных площадок, и тогда уменьшатся требования к точности размещения и диаметру отверстий. Кроме того, оригинал можно выполнить с большим увеличением (в 4 или 5 раз), а затем абсолютную погрешность уменьшить при масштабном фотографировании. По опыту известно, что неточность совмещения контактных площадок на двух сторонах платы при изготовлении оригинала с помощью липкой ленты может достигать 0,37 мм. И это оказывается вполне удовлетворительным.

При конструировании многослойной печатной схемы скорректировать исходные данные бывает очень трудно.

Допуски на размеры в плате обычно определяются задачей получения необходимой схемы соединений, которая выглядит очень просто. Действительно, многослойная плата предназначена для того, чтобы предоставить промышленности средство реализации более сложной системы соединений. Поэтому предпочитают увеличивать количество слоев (а следовательно, уменьшать допуски), а не увеличивать площадь контактных площадок с целью снижения точности соблюдения геометрических размеров.

Другая задача, которую необходимо решать — это контроль качества платы. В двухсторонних платах связь между точностью сверления отверстий и рисунком проводников легко определяется визуально. Если замечено несоответствие, то легко скорректировать рисунок оригинала и это несоответствие устранить. Когда имеем дело с многослойной печатной платой, печатные проводники находятся внутри и рассмотреть их или очень трудно, или просто невозможно. Для этих целей можно использовать рентгеновское излучение, но тогда процедура становится очень сложной и дорогой.

Возникает проблема получения высокого процента выхода при невозможности отбора и больших начальных затратах. Решение этой проблемы в большинстве случаев начинается с очень жесткого контроля точности рисунка оригинала еще до изготовления по нему схемы, так как точность выполнения рисунка каждого слоя гарантирует высокую точность их совмещения. Только после этого при сверлении отверстия можно точно «попасть в яблочко» во внутреннем, недоступном для глаза слое.

В общем случае для достижения необходимой точности послойного совмещения рисунков можно использовать несколько методов. Слово «точность» в представлении разных людей имеет разный смысл. Для некоторых оригинал с точностью порядка $0,25$ мм уже считается «точным», другие же удовлетворяются только величиной, равной $0,12$ мм. Ниже в порядке возрастания трудности описаны несколько методов изготовления точных оригиналов.

Как правило, по крайней мере в точных методах, необходимо использовать или только тушь, или только липкую ленту. Тушь используется редко из-за чисто практических соображений. Применение липкой ленты значительно интенсифицирует выполнение рисунка, но усложняет фотографирование, и, как правило, требует изготовления контактной

фотокопии или фотооригинала. Иногда применяют под-резку верхнего слоя в специальной двухслойной пленке, но этот способ сложнее и дороже, чем применение липкой ленты. Наиболее универсальной основой при изготовлении оригиналов рисунков слоев для многослойных печатных схем стала сейчас полистирольная пленка. Ее физические свойства обеспечивают точную фиксацию изображения и его геометрических размеров в большом диапазоне температур и влажности.

При использовании липкой ленты на чертежном оригинале должны быть точно очерчены все контактные площадки, обычно путем приклеивания специальных шаблонов из липкой ленты. Чтобы уменьшить абсолютную погрешность, оригинал выполняется с четырех- или пятикратным увеличением. Затем каждый слой проходит обработку в следующей последовательности:

1. На оригинал накладывается лист пленки и на нем надавливаются контуры каждой контактной площадки, на которой каждая линия (проводник) данного слоя начинается или кончается.

2. Выбирается липкая лента нужного размера в соответствии с чертежом и приклеивается по контуру, вычерченному разработчиком. Когда лента проходит по местам, которые при обработке должны быть высверлены, точно измеряется расстояние. Необходимо помнить, что часто эти места на чертеже не обозначены.

3. После окончания прокладки ленты в одном слое приступают к изготовлению оригинала следующего, накладывая новый лист пленки на тот же самый чертеж. Всегда следует возвращаться к исходному чертежу и ни в коем случае не переносить контуры контактных площадок с одного слоя на другой.

Всем известно, что физические параметры липкой ленты изменяются от рулона к рулону. Следовательно, здравый смысл диктует необходимость выполнения всех слоев с помощью ленты из одного рулона. Точно так же нужно помнить, что контактные фотокопии нужно выполнять на пленке из одного пакета и обрабатывать в одной ванне. Если пленка нарезается, то лучше всего выдержать ее в пачках в течение нескольких часов для стабилизации размеров.

Поскольку отдельные контактные площадки наклеиваются вручную, точность описанного метода зависит от искус-

ства и эмоционального состояния человека, выполняющего работу. С большой трудностью удается получить точность размещения контактных площадок порядка 0,25 мм. Кроме того, рисунок каждого слоя в таком методе трудно проверить, поскольку каждый слой накладывается на один и тот же исходный чертеж.

Другой метод состоит в применении листа, на котором все контактные площадки обозначены голубым цветом, например, с помощью диазирования с исходного чертежа. Теперь можно работать с рисунком слоя, не обращаясь к чертежу. Проверка также упрощается, поскольку теперь все отверстия обозначены на самом оригинале. Когда снимается контактная позитивная копия, то на ней голубое изображение пропадает. Такой метод сейчас нашел широкое распространение.

Недостаток описанного метода состоит в том, что основным прибором, определяющим точность, остается глаз. Проблема упрощается, если необходимо проверить точность оригиналов, выполненных в голубом цвете. Здесь снова оригиналы рисунков всех слоев выполняются на пленке из одного рулона. И хотя они являются копией исходного чертежа, заметны размерные отклонения между этим оригиналом и оригиналом, выполненным на перепродуцированной пленке с голубым слоем. Это часто не обнаруживается из-за отсутствия инструмента, позволяющего с необходимой точностью измерять большие отрезки порядка 1—1,5 м. Многие решают проблему точной регистрации контактных площадок несколько иначе. Контактные площадки делают черными, а последовательность операции изготовления оригинала становится обратной. Теперь при изготовлении рисунка слоя снимаются ненужные контактные площадки, что выполняется или их соскабливанием или химическим путем. Затем, как и обычно, выполняется прокладка рисунка липкой лентой.

Проверка фотооригинала проводится по двум параметрам. Сначала проверяются расстояния между центрами отверстий, а затем диаметр контактных площадок. Если фотооригинал является контактным отпечатком с полностью оконченного исходного оригинала, то проверяется ширина линий и зазоры между ними.

Дальнейшего увеличения точности изготовления оригинала можно достигнуть, используя несколько экзотические методы.

Более высокая точность оригинала позволяет уменьшить размер платы или выполнить более сложную схему соединений в каждом слое. Поэтому кратко рассмотрим некоторые из этих методов.

Промышленность выпускает сверлильные станки с координатным перемещением шпинделя и программным управлением, позволяющие получить точность порядка 25 мкм. С помощью этих станков можно высверлить нужный рисунок отверстий в пластине из алюминия или нержавеющей стали с очень высокой точностью. Этот шаблон можно использовать в качестве негатива для получения заготовок для оригинала рисунка слоя или в качестве маски в мультипликаторе, дающем законченный оригинал.

Если используется мультипликатор, то имеется возможность изготовить два отдельных рисунка для каждого слоя, один только с линиями, а другой только с контактными площадками.

В металлической пластине в натуральном масштабе высверливаются отверстия, соответствующие по диаметру контактными площадкам. При совмещении этой пластины с уменьшенным негативом со второго оригинала происходит экспонирование только тех отверстий, которые соответствуют наличию контактных площадок в данном слое. При этом можно сразу проводить экспонирование фоторезиста, проявление и травление. Поскольку экспонирование проводится через одну маску, практически исключаются погрешности фотопроцесса и пленки.

Следует напомнить, что использование экзотических методов, увеличивающих стоимость, не всегда может быть оправдано.

Существует метод изготовления оригинала, полностью устраняющий из этого процесса человека. К настоящему времени разработаны координатографы, которые рисуют изображение прямо на фотопластинке с помощью управляемого луча света, причем рабочее поле у этих приборов достигает размеров $1,5 \times 1,2 \text{ м}^2$. Точность установки координат равна $\pm 25 \text{ мкм}$ при повторяемости $\pm 12,5 \text{ мкм}$.

16. Допуски и параметры для конструирования многослойных плат

Удивительно, но большая часть разработчиков печатных схем полностью забывают о технологических допусках для их производства. Кроме того, многие из них и не подозре-

вают о тех сложных операциях, которые проходит разработанная ими печатная плата после того, как оригинал фотошаблона выйдет из их рук.

Вероятно, одну из причин незнания технологических допусков рядом разработчиков печатных схем можно понять, если вспомнить, кем по профессии являются эти разработчики. Многие электронные фирмы, особенно крупные, имеют специальные чертежные бюро, исключительно занятые выполнением безразмерных чертежей. Здесь вычерчиваются монтажные, принципиальные и блок-схемы, а также и другие графические документы, входящие в полный комплект документации. Очень часто оригиналы фотошаблонов для печатных схем также выполняются в этом бюро. Разработкой печатных плат занимаются чертежники с электротехнической специализацией. Кроме этого, они занимаются выполнением всей конструкторской документации: принципиальных электрических схем, детализовок, сборочных чертежей. При такой профессиональной подготовке разработчики печатных схем довольно хорошо «чувствуют» рисунок схемы.

Институт печатных схем недавно выпустил серию рекомендательных технических условий на многослойные печатные платы, которые, по мнению автора, могут служить учебными пособиями для подготовки специалистов по разработке оригиналов фотошаблонов. Эти документы имеют следующие названия:

ИРС-МС-900. Печатные платы с шагом отверстий 2,5 мм и выше
Технические условия.

ИРС-МС-925. Многослойные печатные платы с шагом отверстий менее 2,5 мм. Технические условия.

Во втором документе величина допусков на многие размеры в два раза меньше, чем в первом. Такая необходимость не возникла магически вместе с появлением координатной сетки с меньшим шагом. Наличие двух документов отражает существование двух разных классов многослойных печатных схем. Одни можно назвать «стандартными», а вторые «усовершенствованными», или «схемами с тонкими линиями».

Нужно напомнить, что все многослойные печатные схемы являются прибыльными для производства изделиями. Причем, речь идет не об обычной прибыли, а скорее о сверхприбыли. Поэтому работать по вторым техническим усло-

Виям следует только в случае, когда это оправдывается несоответствием требованиям заказчика конечного изделия, выполненного по первым ТУ. Кроме того, следует всегда учитывать все специфические отклонения.

МОНТАЖНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

При выборе и разработке соответствующих методов монтажа необходимо учитывать:

конфигурацию платы (размер и форму); необходимость механических приспособлений или тип разъема; совместимость схемы с другими схемами и окружающей конструкцией, горизонтальная или вертикальная (с точки зрения

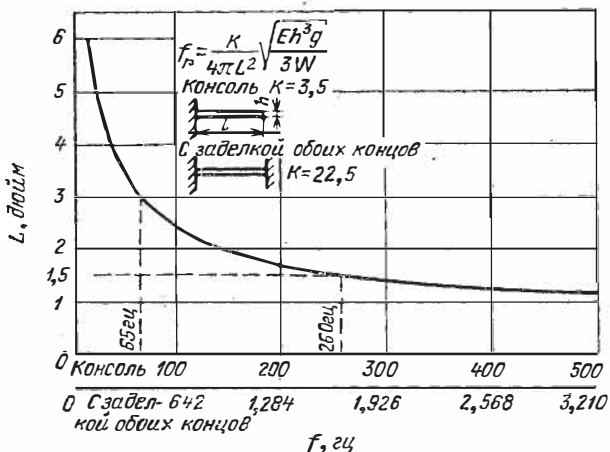


Рис. 1.10. График зависимости резонансной частоты от длины бруска:

f_r — резонансная частота; $E = 1,8 \cdot 10^6$ фунт/кв. дюйм — модуль упругости; $h = 0,062$ дюйм — толщина; $W = 0,016$ фунт/кв. дюйм — вес.

таких факторов, как тепло и пыль); особого внимания заслуживают рассеяние тепла и вентиляция, удар и вибрация, влажность, агрессивные пары, пыль, радиация и т. д.; характер крепления; крепление и фиксация; простота смены.

В соответствии с приведенными факторами необходимо разработать соответствующие конструктивные элементы.

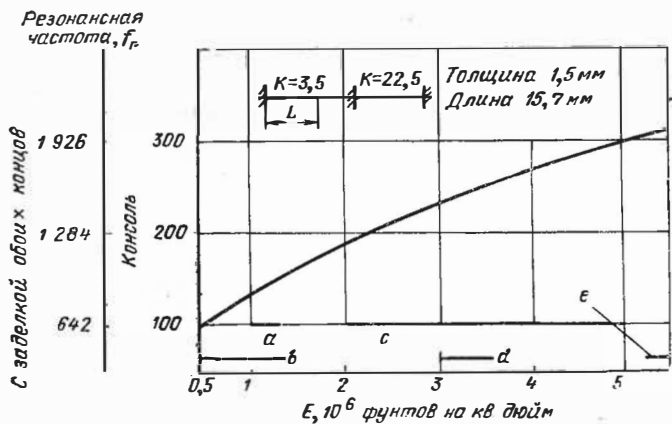


Рис. 1.11. Зависимость резонансной частоты от модуля упругости:
 α — целлопласт; β — гетинакс; γ — стеклотекстолит; δ — текстолиты G-10 и G-11; ϵ — стеклотекстолит.

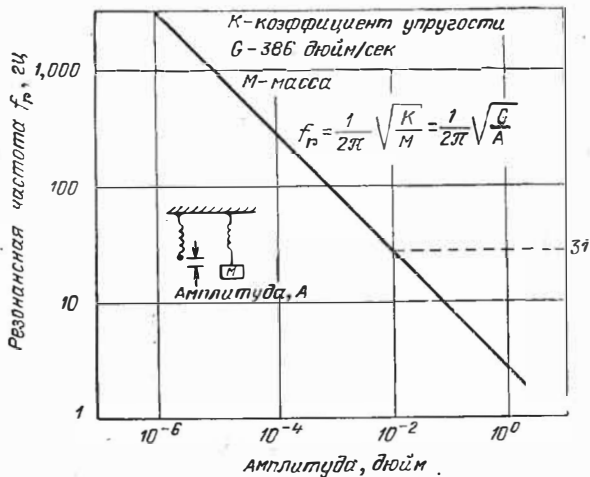


Рис. 1.12. Соотношение между провисом и резонансной частотой

Кривые на рис.*) 1.10, 1.11 и 1.12 помогают выбрать тип крепления и степень сложности конструкции для разных случаев применения.

*) Здесь и далее на некоторых рисунках для того, чтобы оставить масштабы по осям, не произведена замена американских единиц на метрические. Это касается в основном единиц длины и площади. (Прим. пер.)

На первом из этих рисунков приведен график, иллюстрирующий зависимость резонансной частоты бруска от его длины.

Например, консоль, длиной 37,5 мм, будем иметь резонансную частоту около 260 гц, а при длине 75 мм — резонансную частоту около 65 гц. По графику также можно определить резонансную частоту бруска, закрепленного с двух концов, которая получается в $6\frac{1}{2}$ раза выше, чем для консоли.

Из графика на рис. 1.11 можно установить, что резонансная частота может изменяться почти в три раза в зависимости от выбора материала. Как и в первом случае, закрепление второго конца бруска увеличивает резонансную частоту в $6\frac{1}{2}$ раз. Если плата (брусок) сделана из фенольного гетинакса марки «ХХХР», то ее резонансная частота (при размерах, указанных на рисунке) должна быть порядка 100 гц; если используется эпоксидный стеклотекстолит на тканой основе (марки G-10), то резонансная частота повышается до 240 гц, а когда этот же материал имеет нетканую основу из стекловолокна, резонансная частота достигает 300 гц.

График на рис. 1.12 отражает связь резонансной частоты с величиной провиса бруска под влиянием силы тяжести. Например, если провис равен 0,25 мм, то резонансная частота будет равна 31 гц. Формула для ее расчета довольно проста и приводится ниже.

Резонансная частота равна

$$f_p = (1/2\pi) \sqrt{K/M},$$

где K — модуль упругости; M — масса. Как известно из закона Ньютона, $F = Ma$, где a — ускорение. В нашем случае $a = g$ — ускорению свободного падения. Соотношение между весом и массой имеет вид $W = Mg$. Соотношение между силой, приложенной к пластинчатой пружине, и отклонением ее конца от положения покоя определяется равенством $F = Kx$, где x — величина отклонения. В рассматриваемом случае эта сила является весом, т. е.

$$K = F/x = W/x.$$

Подставляя в исходную форму значения K и M , получим

$$K/M = g/W (W/x) = g/x,$$

$$f = (1/2\pi) \sqrt{g/x}.$$

17. Введение

При монтаже объемных и плоских печатных схем в основном используются два метода— жесткое закрепление и консольное закрепление.

Величина напряжений, которые возникают в плате и ее компонентах, полностью определяется силами и моментами, приложенными к ее поверхности, а также такими общими нагрузками, как сила тяжести и центробежная сила. Очень важно знать уровень напряжений при заданных нагрузках и его влияние на платы и компоненты, т. е. внутреннее напряжение, деформацию, прогиб, смещение и т. д.

Рассмотренные графики должны помочь в определении этих величин, которые не должны выходить из допустимых пределов. Необходимо также определить и запас прочности, исходя из назначения изделия и проверить его последующими лабораторными и полевыми испытаниями.

18. Компоненты

При выборе компонентов, предназначенных для размещения на печатной плате, необходимо учитывать резонансную частоту платы, определенную по графикам на рис. 1.10, 1.11, 1.12 и номограмме на рис. 1.13. Затем определяется величина ускорения по амплитуде колебания в точке монтажа компонента на плате. По этой величине и определяется интенсивность механического воздействия на компонент и проводится его выбор. Рассмотрим в качестве примера случай, соответствующий проведенной на номограмме пунктирной линии, т. е. воздействию на компонент вибрации с амплитудой 1,9 см и частотой 5 гц. Тогда скорость воздействия равна 30 см/сек, а ускорение 0,95 g.

19. Механический резонанс

Учет явлений механического резонанса очень важен, так как электронная аппаратура часто подвергается воздействию удара и вибраций. Почти каждый вид аппаратуры перевозится в автомашине, самолете, поезде или корабле

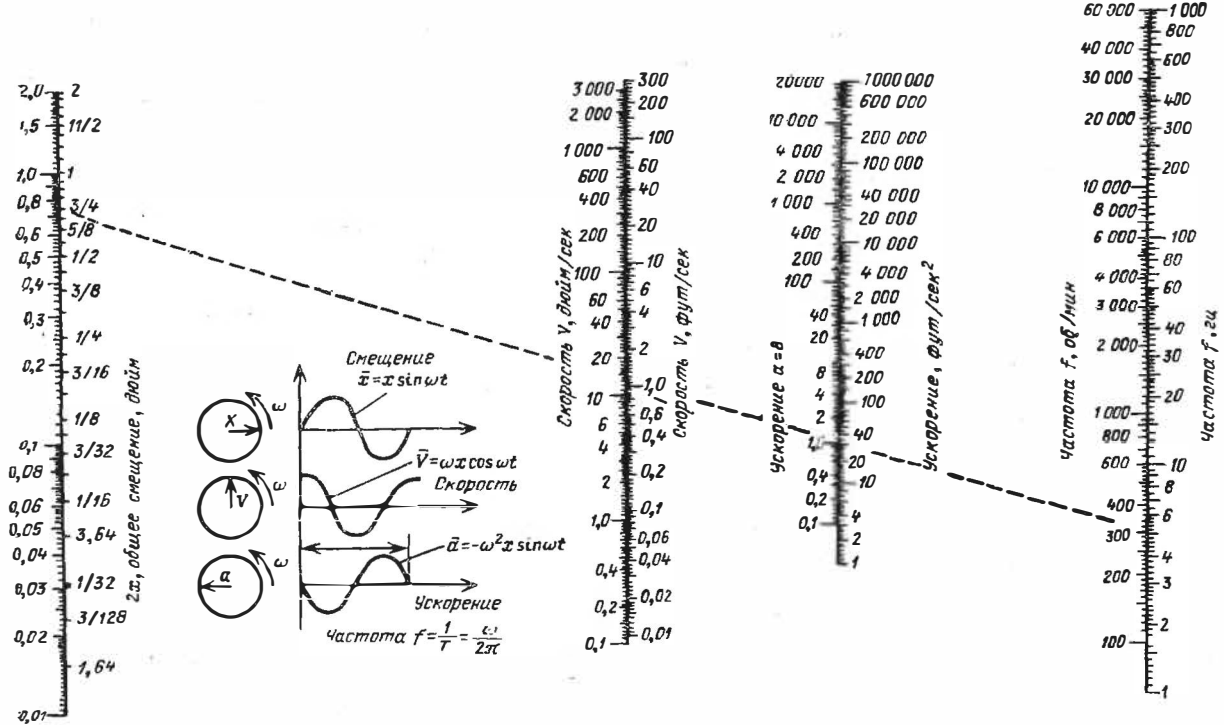


Рис. 1.13. Номограмма расчета вибраций.

(рис. 1.14). Каждый вид транспорта имеет собственные вибрационные характеристики. Чтобы избежать повреждения аппаратуры, целесообразно, чтобы ее резонансные частоты лежали вне диапазона частот вибрации транспортного средства, на котором эту аппаратуру предполагается

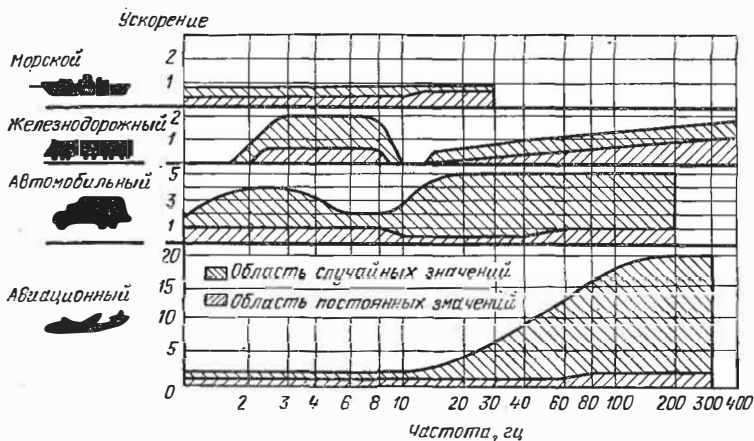


Рис. 1.14. Спектры вибраций разных видов транспорта.

перевозить. Если же аппаратура предназначена для установки в мобильном комплексе, важность решения проблемы вибрации еще больше возрастает. Это связано с усталостными явлениями в материалах от длительного воздействия напряжений, хотя материал может хорошо противостоять ударам и вибрациям при кратковременном воздействии. Следует ожидать, что детали, устанавливаемые на печатной плате, могут подвергаться воздействию значительно больших ускорений, чем собственно аппаратура. Величина этих ускорений определяется резонансной частотой платы и амплитудой вибраций в точке установки. Резонансную частоту можно определить по приведенным выше графикам (см. рис. 1.10—1.12). Амплитуду вибраций детали можно найти, вычислив передаточный коэффициент T . Его величина без учета демпфирования определяется по формуле

$$T = \frac{1}{1 - (f/f_p)^2},$$

где f — частота вибраций; f_p — резонансная частота.

Амплитуда вибраций любой детали комплекса аппаратуры в T раз больше амплитуды вибраций самого комплекса. Значения T для нескольких значений отношения f/f_p приведены ниже:

T	1,11	1,33	1,56	1,96	2,78	5,27
f/f_p	$1/3$	$1/2$	0,6	0,7	0,8	0,9

Величина воздействующего на деталь ускорения прямо пропорциональна амплитуде воздействующих вибраций. Следовательно, когда частота вибраций составляет 0,8 от резонансной частоты и на аппаратуру воздействует ускорение g , то на данную деталь будет воздействовать ускорение 2,78 g .

Непонятно, как происходит каскадирование передаточных коэффициентов и может ли произойти в результате очень большое увеличение амплитуды вибраций. Предположим, что печатная плата, несущая легкий компонент, монтируется на относительно большой панели. К монтажной панели приложено синусоидальное воздействие. Отношение частоты действующей силы к резонансной частоте панели равно 0,8. Следовательно, амплитуда вибрации панели будет примерно в 2,8 раза превосходить амплитуду приложенной вибрации.

Отношение резонансных частот платы и панели равно 0,8, а отношение резонансной частоты компонента к частоте воздействия равно 0,51. Тогда коэффициент усиления амплитуды вибраций от платы к компоненту равен 1,33. В результате в такой конструкции полная амплитуда вибраций компонента будет в 6,2 раза больше, чем амплитуда колебаний приложенной силы. Следовательно, на компонент будет действовать ускорение в 6,2 раза большее, чем на конструкцию в целом.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕЧАТНОЙ СХЕМЫ

20. Сопротивление

Токонесущая способность проводников обычно не составляет проблемы; однако в необычно длинную цепь проводники могут вносить омическое сопротивление и тем самым создавать критическое падение напряжений в цепи. При-

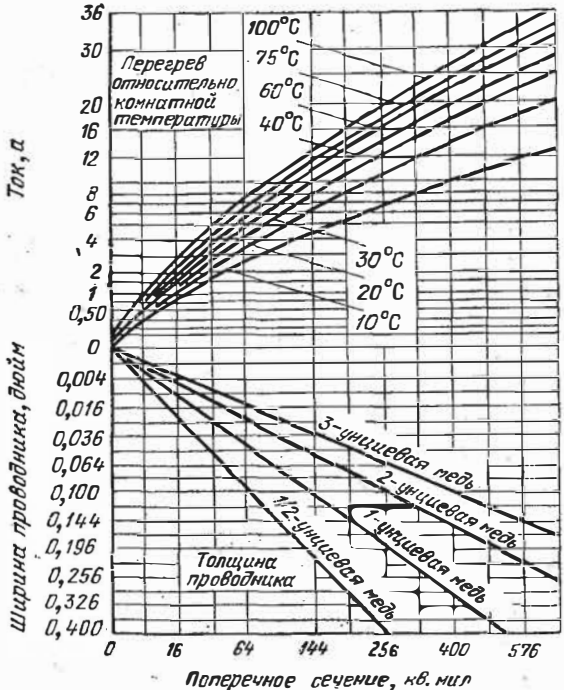


Рис. 1.15. Зависимость токонесущей способности от сечения печатного проводника.

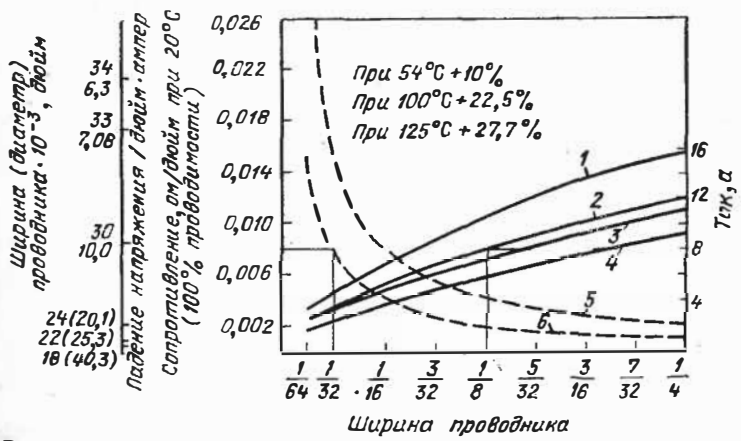


Рис. 1.16. Ширина проводника. Падение напряжения на сопротивление печатного и круглого проводников из меди чистотой 99,5%: 1 — перегрев на 40° С (2-унциевая); 2 — перегрев на 20° С (2-унциевая); 3 — перегрев на 40° С (1-унциевая); 4 — перегрев на 20° С (1-унциевая); 5 — толщина 0,00135 дюйма (1-унциевая); 6 — толщина 0,0027 дюйма (2-унциевая).

близительно оценить сопротивление проводника и его нагрев можно по графикам на рис. 1.15 и 1.16.

Сопротивление можно рассчитать, пользуясь формулой

$$R = 0,000576/W,$$

где R — удельное сопротивление на 1 см длины; W — ширина линии, см. Формула определена для печатных схем, выполненных на материале, фольгированном медью с чистотой 99,5% и толщиной фольги 70 мкм.

21. Емкость

Емкость может оказаться очень важным параметром, особенно на высоких частотах. При работе с такими частотами необходимо бывает рассчитать распределенную емкость между проводниками, расположенными один над другим; она обычно равна 0,033 пф/см. Полезно привести приближенную формулу расчета емкости, которая имеет вид:

$$\text{Емкость (пф/см)} =$$

$$= \frac{\text{Ширина проводника (см. } 10^{-3}) \times \text{Диэлектрическая постоянная}}{\text{Толщина диэлектрика (см. } 10^3) \times 1,75}$$

Емкость связи между проводниками можно уменьшить, располагая их так, чтобы длина проводников, лежащих в одной вертикальной плоскости была минимальной.

Емкость между соседними проводниками зависит от их ширины, расстояния между ними и марки материала платы. Ее можно определить по формуле

$$C = 0,31 (a/b) + \\ + 0,23 (1 + K) \log_{10} (1 + 2b/d + 2b + b^2/d),$$

где K — диэлектрическая постоянная материала; a — толщина проводника, см; b — ширина проводника, см; d — расстояние между проводниками, см.

Особое внимание должно быть уделено схемам, расположенным вблизи экранирующей или земляной пластины, относительно которой проводники платы имеют емкостную связь по всей длине.

Было показано, что электрические характеристики сверхвысокочастотных печатных схем на стеклотекстолите и гетинаксе одинаковой толщины не одинаковы, и что в этом

случае следует рассмотреть конструкцию с микрополосковыми линиями [2, 3].

Описанные электрические характеристики печатных плат могут быть с успехом использованы для технологического контроля, поскольку их отклонение указывает на изменение технологического процесса.

22. Характеристическое сопротивление

Характеристическое сопротивление системы из двух параллельных проводников определяется по формуле

$$Z_0 = (R + j\omega L)/(G + j\omega C),$$

где Z_0 — характеристическое сопротивление; R , L , G , C — соответственно сопротивление, индуктивность, проводимость, емкость на единицу длины.

Чтобы использовать эту формулу, необходимо выразить все входящие в нее величины через геометрические размеры поперечного сечения линии. На практике чаще всего используют несимметричные микрополосковые линии в виде печатного проводника, размещенного над заземленной плоскостью. Из уравнения Максвелла легко определить характеристическое сопротивление для данной геометрии линии. Измерение характеристического сопротивления является эффективным средством оценки хода процесса травления печатных проводников. Наличие заземленной пластины уменьшает связь между двумя соседними проводниками почти на порядок.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ РАЗРАБОТЧИКА

Этот перечень вопросов касается наиболее общих сторон разработки и может быть расширен для конкретной ситуации.

23. Общие вопросы

1. Может ли быть схема проанализирована с целью ее разделения на основные части, не изменяя цепей прохождения сигнала?
2. Позволяет ли эта структура иметь короткие выводы?
3. Может быть там, где это необходимо, использовано эффективное экранирование?

4. Будет ли полностью использована координатная сетка?
5. Существуют ли оптимальные размеры для платы?
6. В какой степени возможно использование предпочтительных значений для ширины проводников и расстояния между ними?
7. Используются ли предпочтительные размеры для контактных площадок и размеров?
8. Какова совместимость фотооригинала и схемы?
9. Сведено ли до минимума удлинение выводов основных элементов?
10. Видны ли будут обозначения на компонентах после сборки?
11. Достаточно ли площадь снятия меди для предотвращения пузырей?
12. Есть ли место для отверстий, фиксаторов и ключей?

24. Электрические параметры

1. Проанализировано ли влияние на схему сопротивления, емкости и индуктивности проводников; где особенно критично падение напряжения и качество земли?
2. Соответствует ли общим требованиям размещение компонентов и форма проводников?
3. Проверялось ли сопротивление изоляции и в каких местах схемы его величина критична?
4. Точно ли установлены полярности?
5. Учтены ли при размещении проводников сопротивление утечки, пробивное напряжение и наводки?
6. Оценивалось ли изменение параметров диэлектрика, связанное с введением покрытия поверхности платы?

25. Физические параметры

1. Совместим ли порядок размещения выводов с принятым во всем изделии?
2. Необходимо ли учитывать устойчивость к удару и вибрациям?
3. Учтены ли требования к размещению выводов компонентов?
4. Используются ли, где это возможно, широкие проводники?
5. Хорошо ли крепятся тяжелые и хрупкие компоненты?
6. Выполнен ли теплоотвод от горячих компонентов или проведена ли их термоизоляция?
7. Правильно ли размещены потенциометры и другие многовыводные компоненты?
8. Легко ли производить сборку и проверку схемы при выбранной ориентации компонентов?
9. Устранены ли нежелательные связи между платой и остальной конструкцией?
10. Правильно ли выбраны размеры отверстий?
11. Учтены ли допуски?
12. Оценивались ли физические характеристики покрытия?
13. Правильно ли выбрано соотношение между диаметром отверстий и диаметром выводов компонентов?

1. Выполнен ли чертеж на материале со стабильными механическими свойствами?
2. С каким увеличением выполняется оригинал? (Увеличение должно быть по возможности большим, но с учетом рабочего поля фотокамеры, на которой он будет уменьшаться)
3. Отмечены ли центры отверстий для сверления? На оригинале в натуральную величину диаметр точек должен быть равен 0,5 мм.
4. Нельзя ли использовать отметку отверстий перекрестными линиями?
5. Вычерчены ли масштабные линейки по каждой координате? Некоторые камеры дают разную погрешность по разным осям.
6. Какова наименьшая ширина линий и зазора между ними?
7. Удалены ли мелкие буквенные или цифровые обозначения? Предпочтение следует отдавать вытравленным рельефным знакам, или ставить их типографской краской.
8. Окружены ли отверстия металлом шириной не менее 0,75 мм? Другими словами, является ли диаметр контактной площадки на 1,5 мм больше диаметра отверстия?
9. Точно ли совмещен рисунок слоев в двухсторонней плате? Максимальный сдвиг в любой точке должен быть меньше 0,125 мм.
10. Предусмотрено ли в оригинале наличие контактных площадок на обе стороны металлизированного отверстия?
11. Проверены ли все размеры оригинала? Наибольшая ошибка после уменьшения оригинала не должна превышать половины допуска на отклонение любого размера. Если контактная площадка должна быть установлена с точностью $\pm 0,4$ мм, то максимальная ошибка в оригинале натуральной величины не должна превышать 0,2 мм. В среднем современные чертежные средства дают возможность работать с допусками порядка 0,15 мм.
12. Соблюдается ли зазор между знаками маркировки и проводниками больше 0,8 мм?
13. В тех частях схемы, где предполагается наносить гальваническое покрытие, зазоры между проводниками должны быть, по крайней мере, на 0,25 мм больше минимально необходимых.
14. Укреплена ли основа оригинала на жесткой раме и защищена ли его поверхность от пыли и прикосновений руками?

ЛИТЕРАТУРА

1. D. R. Sheriff, Evaluation Chart Aids Design Perception, Elec. Design News, vol. 5, no. 1, pp. 80—83.
2. G. Messner, Two Important Aspects of Multilayer Design, Proc. IPC, March, 1965.
3. W. K. Springfield, Multilayer Printed Circuitry in Computer Applications, Proc. IPC Seminar, March, 1965.

ВЫБОР СЛОИСТЫХ ПЛАСТИКОВ И СПЕЦИФИКАЦИИ

Чарльз Дж. Хеннингсен,

*вице-президент фирмы «Инсулятор Корпорейшн»,
Маунтин Вью, Калифорния. США*

ВВЕДЕНИЕ	51
ИЗГОТОВИТЕЛИ СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА	51
1. Пропитка материала	51
2. Проверка качества меди	53
3. Заготовка фольгированных листов	54
4. Прессование заготовок	54
5. Очистка	56
6. Заключительный осмотр, испытания, контроль качества	56
7. Стандарты на качество поверхности и внешний вид	58
8. Испытание на прилипание краски для сеткографии	60
9. Способность к штамповке и механической обработке	61
10. Сопротивление изоляции	62
11. Сила сцепления фольги с диэлектриком	67
12. Стойкость к действию припоя	70
13. Разработка технических условий на слоистый материал	72
14. Основные материалы. фольгированные медью	74
15. Обозначение состояния окружающих условий	75
16. Механические характеристики слоистых материалов	76
17. Изменение механических характеристик в процессе фольгирования	77
18. Зависимость механических характеристик от изменения окружающих условий	78
19. Электрические характеристики слоистых материалов	81
ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ В СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛАХ	86
20. Необходимость постоянного анализа	86
21. Дефекты поверхности слоистых материалов	87
22. Дефекты внешнего вида	88
23. Дефекты механической обработки слоистых материалов	89
24. Коробление и изгиб диэлектрика	90
25. Образование пустот или расслоение диэлектриков	91
26. Дефекты сцепления между слоями	92
27. Дефекты пайки	93
28. Чрезмерные изменения размеров	94

Конструирование, производство печатных схем и их экономические показатели в значительной степени определяются характеристиками основного материала. В качестве таких материалов обычно используются лакированные медью диэлектрики различного типа. В настоящей главе приведены сведения о производстве и контроле качества лакированных медью слоистых диэлектриков.

Эти сведения дают возможность лучше ориентироваться при выборе материала, отвечающего конкретным конструктивным и экономическим требованиям. Данные, приведенные в главе, позволят инженеру-технологу проводить оценку, идентификацию и контроль качества слоистых диэлектриков. Настоящая глава может служить руководством при уточнении и решении различных вопросов, связанных с качеством этих материалов и возникающих в процессе производства печатных плат.

ИЗГОТОВИТЕЛИ СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

Очень важно понимать основы технологии производства и контроля качества слоистых материалов. Почти все проблемы, связанные с неоднородностью в слоистых материалах, объясняются ошибками контроля при их производстве.

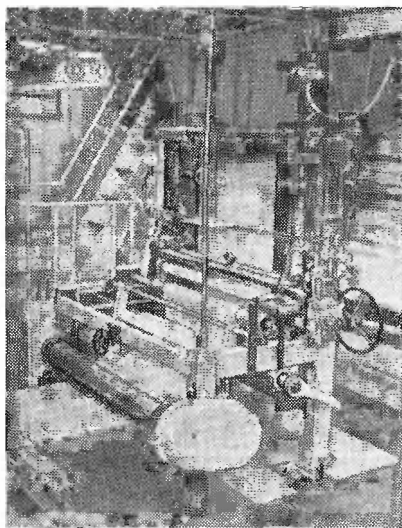
Слоистые материалы, как это видно из их названия, состоят из нескольких слоев материала, спрессованных при высокой температуре и образующих плотный однородный диэлектрик.

Основным сырьем для производства слоистых диэлектриков является бумага, стеклоткань или стекловолокно, пропитанные различными смолами, обычно фенольными или эпоксидными.

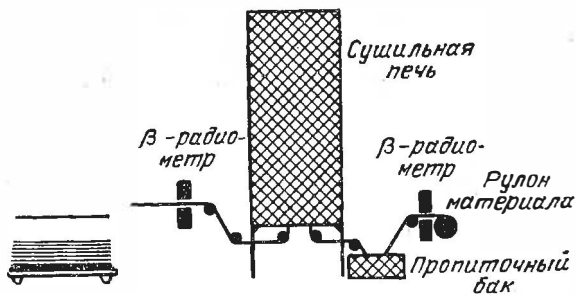
1. Пропитка материала

Производство слоистых диэлектриков начинается с обработки сырья; операция состоит в пропитке или покрытии листов бумаги, стеклоткани или стекломатов смолой.

Затем смола подвергается термообработке до состояния, при котором материал пригоден для хранения и прессования.



а)



б)

Рис. 2.1. Большая пропиточная машина (а); схема вертикальной пропиточной машины (б).

Пропитка сырья выполняется на специальной пропиточной машине (рис. 2.1, а).

Бумагу или стеклоткань пропускают через пропиточный бак со смолой, затем через ряд отжимных валиков и сушильную печь (см. рис. 2.1, б). В печи имеется принудительная

циркуляция воздуха. Длина печи может достигать 20 м. Большая часть летучих веществ удаляется из смолы при сушке в печи. Одновременно происходит частичная полимеризация смолы до так называемой фазы «В». Этот частично полимеризованный материал имеет коммерческое наименование «ргергег». Обычно листы имеют сухую поверхность,

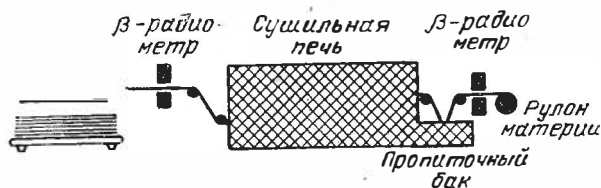


Рис. 2.2. Схема горизонтальной пропиточной машины.

но липнут при обращении с ними. Вертикальная пропиточная машина, показанная на рис. 2.1, в основном используется для обработки стеклоткани. Машина, показанная на рис. 2.2, горизонтального типа и используется для пропитки бумаги.

В процессе пропитки осуществляется жесткий контроль за соотношением количества смолы и основы, за конечной толщиной слоистого диэлектрика, за степенью полимеризации смолы. С помощью β -радиометров можно непрерывно сравнивать толщину материала до и после пропитки и автоматически регулировать положение отжимных валиков для поддержания расчетного соотношения между количеством смолы и основы. Степень полимеризации регулируется изменением скорости движения материала в печи и изменением скорости циркуляции и температуры воздуха. До прессования обработанный материал содержится при строго определенной температуре и влажности. Каждый рулон снабжается ярлыком с указанием процентного содержания каждого компонента, результатов испытаний и даты изготовления.

2. Проверка качества меди

Одной из составляющей слоистого фольгированного диэлектрика является медная фольга. В настоящее время почти вся фольга получается электроосаждением на боль-

шие вращающиеся барабаны из нержавеющей стали. Каждый рулон меди проверяется изготовителем слоистых материалов на качество поверхности и наличие проколов. Для пробного прессования берется образец фольги. Пробным прессованием проверяют прочность сцепления с диэлектриком, качество поверхности и влияние избыточного внедрения окисной пленки в диэлектрик.

3. Заготовка фольгированных листов

Фольга и подготовленные листы диэлектрика поступают в специальное помещение, где происходит загрузка пресса и прессование. Обычно такие помещения имеют сверхчистую атмосферу и оснащаются установками кондиционирования и очистки воздуха. Эти меры необходимы, чтобы исключить возможность попадания пыли на медную фольгу в процессе набора пакетов. Частицы пыли, попавшие в пакет под действием электростатического заряда, являются главной причиной неровностей на поверхности готового материала. Набор пакета начинается с того, что на широкую полированную стальную плиту пресса кладется лист медной фольги. Затем сверху укладываются несколько листов пропитанного диэлектрика. Количество листов зависит от заданной толщины листа и от характеристик сырья.

Жесткие допуски на толщину готового листа выдержать весьма трудно из-за колебаний толщины листа исходных материалов, изменения содержания смолы и неидеальной плоскости каждой плиты пресса. Обладая определенным искусством, можно добиться взаимной компенсации названных отклонений и получать конечный продукт, отвечающий заданным жестким допускам. Завершающей операцией при наборе пакета является размещение сверху второго листа медной фольги, если необходимо получить материал с двухсторонней металлизацией. При односторонней металлизации на верхнюю плиту пресса перед укладкой поверх пакета наносится специальное вещество, предупреждающее прилипание.

4. Прессование заготовок

Из помещения, где набираются пакеты, плиты с пакетами подаются в многогнездовой пресс, показанный на рис. 2.3.

В гнезде прессуется обычно около 80 листов площадью $925 \times 1850 \text{ мм}^2$ и толщиной 1,58 мм. Эти прессы имеют гидравлический привод и развивают усилие более 70 кг/см^2 . Для подогрева используется пар, который пропускают внутрь плит. Благодаря подогреву обеспечивается полная полимеризация смолы и получение однородного листа.

Для того чтобы быть уверенным, что и средние пакеты в каждой загрузке получают достаточное для полимеризации количество тепла, в несколько пакетов монтируют

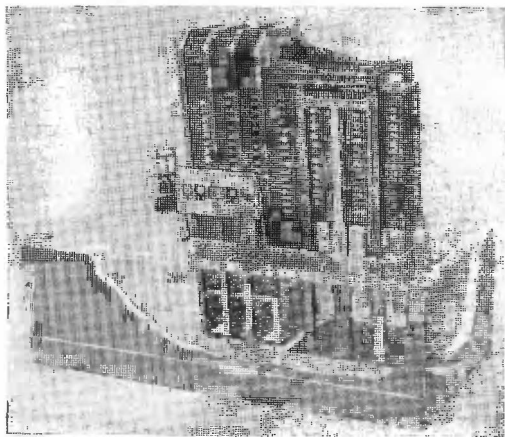


Рис. 2.3. Большой многогнездовой пресс.

термопары, с помощью которых рассчитывается кривая распределения температуры. Время выдержки в соответствии с заданным режимом полимеризации контролируется таймером, который по истечении расчетного времени останавливает процесс путем пропускания холодной воды сквозь плиты пресса. Подробную информацию о параметрах процесса полимеризации слоистых материалов можно найти в гл. 7. После термообработки листы обрезаются для удаления натеков смолы по краям листа. Из-за разных коэффициентов теплового расширения спрессованных материалов, некоторые изготовители считают желательной выдержку листов после прессования в печи с повышенной температурой. Это позволяет освободиться от остаточных напряжений. Если эти напряжения не сняты, при пайке погружением диэлектрик очень часто коробится.

5. Очистка

Поверхность меди должна быть очищена от окислов, возникших в результате нагрева при прессовании. Эта операция может быть выполнена обработкой поверхности вращающимися щетками, сделанными из различных волокон. Иногда дополнительно применяется влажная паста из пемзы.

Очистка нефольгированной стороны листа иногда производится одновременно с очисткой фольгированной.

В некоторых случаях при применении эпоксидных смол и стеклоткани приходится использовать силиконовую смазку, чтобы исключить залипание при прессовании; в этом случае приходится очищать свободную поверхность фольги от смазки, чтобы в дальнейшем к этой поверхности приставала краска, применяемая в сеткографии. Очистки нефольгированной стороны слоистых материалов на бумажной основе обычно не требуется, поскольку в этом случае смазка не применяется. Фактически в этом случае смазывающие вещества содержатся в смоле. Тогда достаточно очистки поверхности меди химическими средствами или легким травлением. Этот метод особенно необходим для очистки очень тонких листов, когда очистка щеткой почти всегда приводит к повреждению материала.

6. Заключительный осмотр, испытания, контроль качества

При визуальном осмотре листов материала проверяется поверхность меди на наличие царапин, проколов, пузырей и других повреждений. После визуального осмотра материал подвергается специальным лабораторным испытаниям на соответствие военным или другим техническим условиям. Обычно из каждой партии одного прессования берут несколько образцов для того, чтобы с помощью соответствующих испытаний убедиться, удовлетворяет ли материал заданным техническим условиям. Затем каждый лист снабжается ярлыком с названием фирмы, техническими характеристиками и номером партии. Большинство производителей хранят образцы каждой партии по крайней мере в течение года. Это облегчает решение спорных вопросов, возникающих при использовании материала данной партии.

Многие производители фольгированных диэлектриков тщательно хранят также записи о всех этапах технологического процесса. Это дает возможность поддерживать неизменность характеристик выпускаемого материала в течение всего времени его поставки.

Так, например, фирма General Electric с целью осуществления постоянной записи контроля качества продукции использует систему идентификации, показанную на рис. 2.4.

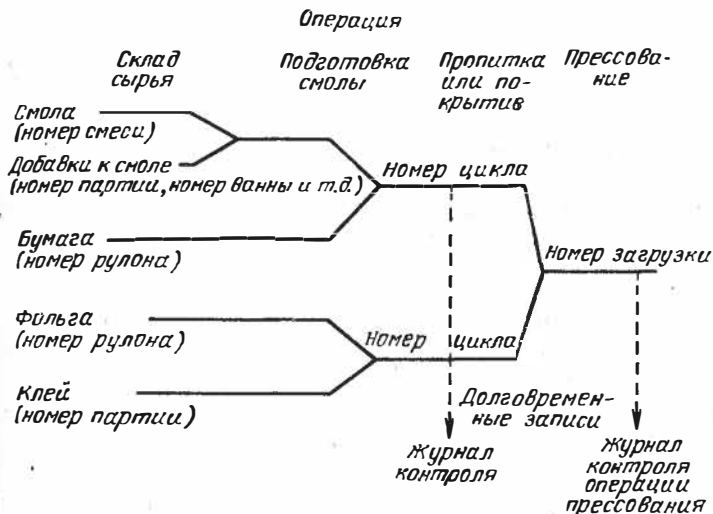


Рис. 2.4. Система идентификации продукции.

Оценка и контроль качества материала С целью получения данных для расчета управления процесса производства необходимо оценить качество различных сортов фольгированных материалов, поступающих от поставщиков. Очень часто такая оценка производится выборочно по одиночным образцам, поступающим от каждого поставщика. Поскольку процесс изготовления слоистых материалов сложен и зависит от многих параметров, поставщику очень сложно обеспечить полную однородность материала. Обычно целью электрического и механического расчетов и технологического процесса является получение определенных характеристик конечного продукта. Следовательно, оценочные испытания и технические условия определяются требованиями к окончательному изделию.

Слишком часто во многих областях, не связанных с производством конечного продукта, применяются завышенные стандарты. Ниже приводятся некоторые виды испытаний, используемые в настоящее время. Это сделано с целью определения возможности их применения.

7. Стандарты на качество поверхности и внешний вид

Вероятно, определение соответствия стандартам на качество поверхности и внешний вид представляет наибольшие трудности. Большая часть брака слоистых материалов связана, как правило, с наличием царапин и вмятин на слое меди или с изменением цвета материала основы. Именно эти обстоятельства особенно досаждают изготовителям слоистых материалов, которые направляют весь свой опыт на производство качественной продукции и тем не менее вынуждены принимать рекламации от покупателя по «косметическим» причинам. Большинство изготовителей слоистых материалов считают, что соответствие материала стандартам нужно оценивать после изготовления печатных плат. Некоторые покупатели требуют соответствия стандартам лишь в таких критических участках материала, как, например, участок платы, используемый под печатный разъем.

В этих случаях покупатель обычно указывает изготовителю, какие участки меди на каждом листе материала должны подвергаться контролю перед его отправкой.

Таким образом, стандарты на качество поверхности меди применяются только к тем участкам диэлектрика, которые предназначены для проводников платы. При удалении общим счетом свыше 90% меди вероятность появления царапин или вмятин на критических участках материала практически невелика. Тем не менее многие покупатели соглашаются на дополнительные расходы, требуя от поставщика применения специальных методов контроля или отбора для получения материала без дефектов.

Стандарты на качество поверхности меди. Допустимые размеры шероховатостей на поверхности меди лучше всего определяются в стандарте MIL-P-13949D.

Данный стандарт определяет наибольший размер каждого углубления или выступа и соответствующий этому размеру коэффициент.

Максимальный общий коэффициент шероховатостей на 10 дм^2 проверяемой платы не должен превышать 30.

Наибольшая длина шероховатости, <i>мкм</i>	0,125—0,25	0,27—0,5	0,53—0,75	0,8—1	Свыше 1
Коэффициент шероховатостей	1	2	4	7	30

По другому способу применяют фотошаблон для измерения площади каждой шероховатости, затем учитывается

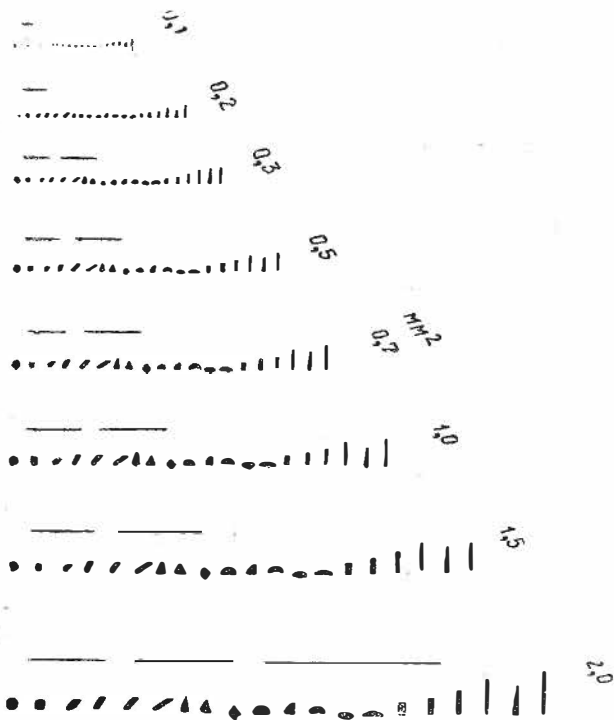


Рис. 2.5. Фотошаблон для измерения качества поверхности.

их общая площадь в пересчете на 1 дм^2 , которая должна быть меньше определенного значения.

Пример такого шаблона показан на рис. 2.5.

Хотя эти методы контроля качества поверхности меди наиболее объективны, практически они не применимы при

большом количестве материала, так как они требуют очень много времени. Автор считает, что если стандарты на качество поверхности рассматривать с точки зрения изготовленной платы, то шероховатости обычно очень мало влияют на качество конечного продукта.

Стандартизация цвета. Изменение окраски фольгированного диэлектрика от партии к партии обычно вызвано изменениями цвета смолы, количества хрома в стеклоткани или степени окисления медного слоя.

Все эти материалы поставляют изготовителю извне и только с помощью тщательного осмотра их он может полностью контролировать окончательное влияние качества сырья на цвет. Если требуется нормировать материал по цвету, то необходимо оговорить специальные требования для изготовителя материала.

Должен быть установлен ряд эталонов, которые соответствуют допустимым оттенкам цвета.

8. Испытание на прилипание краски для сеткографии

Во многих случаях важно проверить степень прилипания сеткографической краски как к фольге, так и к диэлектрику. Изготовитель материала имеет в своем распоряжении большое число разнообразных методов получения меди и диэлектрика и может соответствующей их подборкой обеспечить хорошую адгезию краски. Для обработки медного слоя после прессования обычно применяется один из методов очистки, изложенных ниже. Заказчик должен потребовать образцы после каждого из доступных методов очистки, так как самая хорошая по внешнему виду медь не всегда имеет хорошую адгезию с краской.

Большое влияние оказывает на качество поверхности и химическая чистота меди; недостаточно чистая медь будет иметь больше дефектов, обнаруживаемых при визуальной проверке.

Установление стандарта на качество прилипания краски к поверхности чистого диэлектрика особенно важно, когда на плате часть элементов схемы выполняется с применением сеткографии. Обычно для сеткографии самыми неудобными являются стеклоэпоксидные диэлектрики, так как на их поверхности после прессования часто остаются

следы соединений кремния. Эти включения необходимо удалять с поверхности механически во время очистки слоя меди. При изготовлении тонких диэлектриков на основе фторопластов особенно с тонким медным слоем, на поверхности фольги часто остаются пленки фторуглеродных соединений, которые трудно удалить. Иногда эти пленки делают поверхность фольги очень гладкой. Однако ровность поверхности и отсутствие дефектов все-таки не позволяют получить хорошую адгезию с краской. Иногда сеткографию трудно применять на диэлектрике и с бумажной основой. В этом случае изготовитель материала должен использовать другие способы очистки поверхности, так как применение щеток может понизить на порядок сопротивление изоляции некоторых диэлектриков на бумажной основе из-за влажности.

При проведении испытания на адгезию сеткографической краски необходимо определить тип краски и режим сушки. Можно рекомендовать широко применяемый в гальванике метод проверки с помощью ленты (MIL-P-55110). При такой проверке на краску накладывается чистая лента, которая слегка прижимается по всей площади. Затем ленту следует быстро оторвать перпендикулярно плоскости платы. При этом отлипание краски от материала не должно быть.

9. Способность к штамповке и механической обработке

Порядок испытаний на легкость штамповки и машинной обработки многократно обсуждался изготовителями материалов и потребителями.

В настоящее время нет достаточно распространенного метода испытания этих характеристик, а исследования показали, что эти характеристики плохо согласуются с показателями твердости по Роквеллу или Барколу.

Сверление. Каждому изготовителю диэлектрика необходимо сформулировать требования по рекомендуемым скоростям сверления и подачи.

Иногда плохо удается сверление только из-за того, что не было предъявлено соответствующих требований к материалу. Определить форму кромок и качество получаемого отверстия помогает разрезание платы вдоль оси отверстия;

это особенно важно при проведении операции металлизации отверстия. Очень часто разрез помогает определить наличие прожигания при сверлении и оплавления поверхности отверстия или наличие шероховатостей из торчащих волокон, затрудняющих проведение металлизации сквозных отверстий (см. гл. 3).

Штамповка. Штампуемость можно оценить с помощью вспомогательных штампов, моделирующих условия реального технологического процесса. Матрица штампа должна иметь отверстия различных размеров и конфигурации с различным расстоянием между ними. Для многих сортов бумаги штампуемость меняется от партии к партии, поэтому необходимо тщательно проверить большое количество образцов. Аккуратные механические испытания и последующий разрез платы по отверстиям дадут возможность визуально удостовериться в отсутствии трещин и задиранья меди вокруг отверстия. Стандарт ASTM G17-44 определяет стандартную матрицу и метод оценки результатов, полученных с помощью штамповки на такой матрице. Этот стандарт следует учитывать при выборе метода оценки штампуемости. Оценка по этому методу носит субъективный характер, и поэтому необходимо обратить внимание на квалификацию оператора.

Была исследована возможность применения тензометра, смонтированного на пуансоне и присоединенного к осциллографу; по кривым, появляющимся на осциллографе, когда пуансон проходит через материал, можно оценить штампуемость. Каждый изготовитель материалов должен согласовать с заказчиком требования к допускаемым отклонениям матрицы и к температурам штамповки.

10. Сопротивление изоляции

Сопротивление изоляции между двумя проводниками или отверстиями на диэлектрике определяется отношением постоянного напряжения на них к общему току, протекающему между ними. Сопротивление изоляции зависит как от объемного, так и от поверхностного компонента сопротивления фольгированного диэлектрика.

Результаты измерения сопротивления изоляции могут иметь большой разброс, если не соблюдать постоянства параметров окружающей среды и методов обработки образ-

цов. Важно знать действительное начальное значение сопротивления изоляции. Эта величина может существенно изменяться в зависимости от окружающих условий. Изменение сопротивления изоляции дает наиболее объективные результаты, когда испытываемый образец близок по форме к реальному изделию.

Параметры и условия испытаний. Сопротивление изоляции фольгированного диэлектрика падает как с повышением температуры, так и с увеличением влажности. Объемное сопротивление особенно чувствительно к температурным изменениям. Поверхностное сильно и быстро изменяется с изменением влажности.

Следовательно, важно, чтобы проверка сопротивления изоляции проводилась в условиях окружающей среды соответствующих тем, в которых будет работать плата. Этим и объясняется то, что для определения влияния влажности на удельное объемное сопротивление необходимо длительное воздействие окружающей среды, например 96 час при 35°С при 90%-ной относительной влажности. Данные испытаний показывают, что некоторые материалы очень быстро восстанавливают свои свойства после воздействия влажности. Следовательно, может оказаться необходимым, если это будет лучше всего отражать реальные условия, подвергать плату циклическим воздействиям температуры и влажности.

Чтобы получить результаты независимо от метода испытаний, необходимо обратить особое внимание на обработку испытываемых образцов и обращение с ними. Печатные проводники должны быть четкими, без трещин и выступов. Все манипуляции с платами следует проводить в резиновых перчатках, лучше всего в хирургических. Отпечатки пальцев могут понизить удельное поверхностное сопротивление на три порядка. До проведения испытаний по любому методу рекомендуется провести следующие процессы очистки образцов:

1. Образцы, непосредственно вынутые из травильной ванны, вместе с арматурой поместить под струю холодной воды при 15 °С на 5 мин.

2. Поместить образцы в 10%-ную щавелевую кислоту и держать в ней при помешивании 10 мин.

3. Промыть образцы струей холодной воды при 15 ± ± 2° в течение 30 мин;

4. Очистить мелкой пемзой.

5. Промыть образцы струей холодной воды при $15 \pm 2^\circ$ в течение 30 мин.

6. Ополоснуть в дистиллированной воде (с сопротивлением 1 *Мом* минимум). Промыть в новой ванне с дистиллированной водой (работать в перчатках).

7. Установить образцы в арматуру и поместить в печь на 1 час при 80°C (пользоваться при этом двойным захватом)

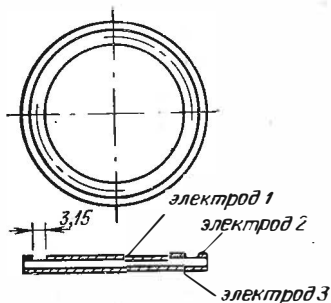


Рис. 2.6. Образец для измерения поверхностного сопротивления.

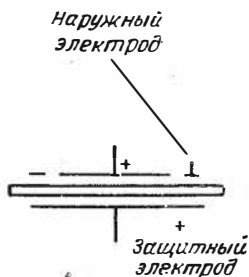


Рис. 2.7. Введение защитного электрода для снятия паразитных токов.

8. Взять образец резиновыми перчатками (промыть в спирте) и положить в сушильный шкаф, герметично закрытый и предохраняющий от пыли:

а) промыть перчатки в спирте и хранить их в том же шкафу;

б) руками брать только за края образца и (или) за ручки зажимов, применяя резиновые перчатки.

Поверхностное сопротивление. Поверхностное сопротивление между двумя точками поверхности любого изоляционного материала определяется отношением разности потенциалов, приложенной между этими точками, к общему току, протекающему между ними. Для измерения поверхностного сопротивления наиболее часто применяется образец, изображенный на рис. 2.6.

Это круглый образец с тремя электродами. Третий электрод является защитным проводником, который снимает начальные или паразитные токи, вызывающие ошибки измерений. Поверхностное сопротивление измеряется как сопротивление поверхностного слоя между электродами 1 и 2. Измерительный ток течет между электродами 1 и 2,

а паразитный между электродами 1 и 3, как и показано на рис. 2.7.

Одним из самых обычных методов измерения сопротивления изоляции является метод вольтметра-амперметра. В этом методе ток измеряется микроамперметром, который определяет ток по падению напряжения на известном сопротивлении. Измерения обычно выполняются на постоянном

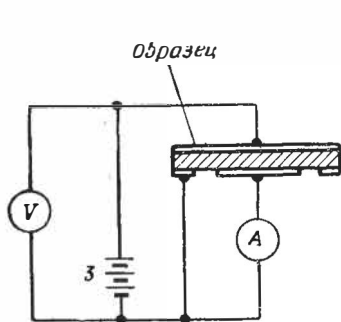


Рис. 2.8. Схема измерения поверхностного сопротивления.

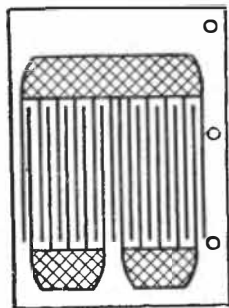


Рис. 2.9. Образец гребенчатого типа для измерения поверхностного сопротивления.

токе при напряжении 500 в, приложенном к образцу в течение 60 сек. Если вольтметр имеет точность порядка 2% от полной шкалы, то 10^{10} ом могут быть измерены по всей шкале с максимальной ошибкой $\pm 6\%$. Схема измерений приведена на рис. 2.8.

При измерении поверхностного сопротивления очень часто применяются образцы гребенчатого типа (рис. 2.9). В большинстве случаев образцы не соответствуют по конфигурации проводникам платы, так как линии на образце, как правило, меньше по ширине и расположены ближе друг к другу, чем на плате. Однако при необходимости можно использовать для измерений поверхностного сопротивления любое число подобных образцов; так как на образце линии узкие и расположены близко друг к другу, необходимо обратить внимание на их четкость и отсутствие повреждений.

Объемное сопротивление. Объемное сопротивление — это отношение разности потенциалов, приложенной к электродам, залитым в материал, к току между ними. Обычно

оно имеет размерность $ом/см^3$. Для измерения объемного сопротивления можно применять тот же самый образец ASTM, который изображен на рис. 2.6. При измерении



Рис. 2.10. Введение защитного электрода при измерении объемного сопротивления.

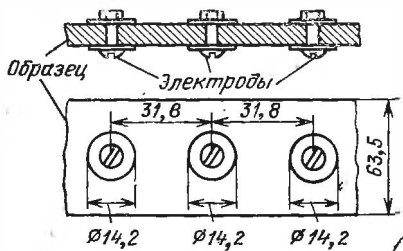


Рис. 2.11. Измерение сопротивления изоляции методом вставных электродов.

объемного сопротивления измерительный ток течет между электродами 1 и 3, а паразитные токи между электродами 2 и 3 в соответствии с рис. 2.10.

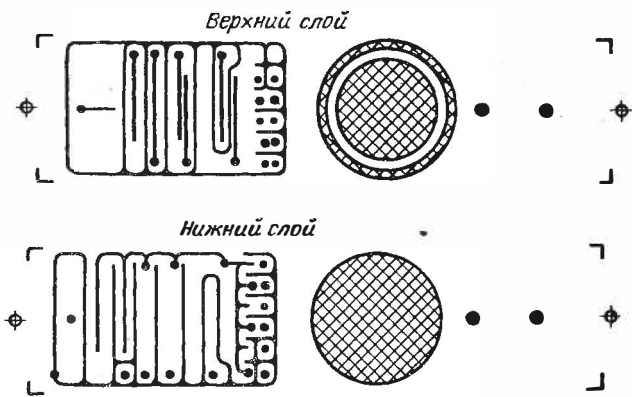


Рис. 2.12. Рисунок стандартной печатной платы для измерения сопротивления изоляции.

Дополнительные методы испытаний на сопротивление изоляции. Видоизменением метода стандартных образцов ASTM является способ вставных электродов, проиллюстрированный на рис. 2.11.

На рис. 2.12 показан один из участков схемы, разработанной для измерения сопротивления изоляции. Образец представляет собой схему соединения смежных металлизированных отверстий и проводников. Рисунок участка сделан так, чтобы можно было определить влияние расстояния между отверстиями, экранирования и длины параллельных проводников на поверхностное и объемное сопротивление. Этот образец ближе к реальной печатной схеме, чем круглый образец ASTM, гребенчатые образцы или образцы по методу вставных электродов. С помощью круглого образца ASTM нельзя измерять сопротивление параллельно слоям диэлектрика, а методом вставных электродов — сопротивление перпендикулярно этим слоям. Автор рекомендует более практичный образец приведенного на рис. 2.12 типа, который позволяет выполнить все эти измерения. Для более подробных сведений, касающихся измерения сопротивления изоляции, можно рекомендовать обратиться к стандарту ASTM Designation 257-58.

11. Сила сцепления фольги с диэлектриком

На рис. 2.13 изображен основной образец, применяемый для проведения испытаний на прочность сцепления медного слоя с основой до пайки, определенный в стандартах MIL-P-13949D и NEMA.

Этот образец должен пройти через стандартный технологический процесс, применяемый потребителем, за исключением гальванических покрытий. При испытании на прочность сцепления образец должен быть установлен на плоской горизонтальной поверхности. Широкий конец каждого проводника необходимо оторвать от основы примерно на 25 мм, так чтобы линия отрыва была перпендикулярна проводнику. Конец полоски затем необходимо захватить зажимом, связанным с динамометром или тензомером, который настраивают с целью компенсации общего веса зажима и соединительного приспособления. Фольга затем сдвигается с материала со скоростью 50 м/мин, и по индикатору регистрируется минимальное усилие.

Сила отрыва, усредненная на продолжении 3 мм, затем выражается в кг/см ширины линии отрыва, путем деления показаний индикатора на ширину отрываемой полоски.

При испытании на прочность сцепления площадь отрыва фольги расположена непосредственно в месте изгиба медной полоски (в вершине прямого угла между фольгой и материалом). Так как медь толщиной 50 мкм образует изгиб большего радиуса, чем медь толщиной 25 мкм, то в этом случае отрывается большая площадь; следовательно, площадь сцепления в месте отрыва для 50 мкм меди будет больше. Поэтому очень важно, чтобы сила отрыва была направлена под углом 90° к поверхности меди, так как радиус угла отрыва в этом случае не меняется. Обычно допустимо отклонение от вертикали на 5° . Если расстояние между образцом и индикатором достаточно велико, то в процессе испытаний вариации угла не превысят 5° . Однако многие потребители и изготовители фольгированного материала считают, что более удобно применять такую конструкцию прибора для испытания, в которой индикатор перемещается вдоль испытываемого образца синхронно с перемещением линии отрыва, таким образом сохраняя угол отрыва постоянным.

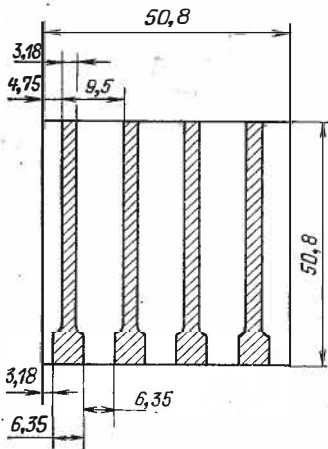


Рис. 2.13. Типовой образец для испытания прочности сцепления фольги с диэлектриком (все размеры даны в миллиметрах).

Испытания ко времени пайки. Так как размеры проводников и контактных площадок уменьшаются, очень остро встала проблема сохранения прочности сцепления при температуре пайки. За последние несколько лет в промышленности диэлектрических материалов возникла необходимость разработки методики испытаний на повышенную прочность сцепления или на жаростойкость. Однако до сих пор единого мнения о методе испытания у изготовителей материалов и у военных заказчиков не было. По одному из методов, предложенных в последнее время, применяется образец с линиями шириной 6 мм, подобный типовому образцу для испытания прочности сцепления фольги с диэлектриком, изображенному на рис. 2.13.

Образец погружается в силиконовое масло на 6 мин, при 125° С для материалов G-10 и FR-4 и при 150° С для G-11 и FR-5. Отрыв фольги выполняется, как и обычно, за 15 сек с одновременной регистрацией средней силы сцепления. Результаты нескольких предложенных методов показывают, что очень важно выдержать испытываемый образец в масле до начала замера относительно длительный период времени (по крайней мере 6 мин). В этом случае устанавливается постоянная температура как в образце, так и в зажимном приспособлении. Погружение на более короткие промежутки времени (менее 6 мин) может привести к непостоянным результатам испытаний. Underwriters Lab. (лаборатория страховых компаний) разработала также методику испытаний для определения длительного воздействия повышенной температуры на прочность сцепления. Эта методика — обычное испытание на отрыв после проведения старения образца при 125° С в течение 1344 час.

Испытания после пайки. Обычно очень важно провести испытания прочности сцепления меди с основой после проведения пайки погружением. Для этого образец помещается в ванну с припоем, имеющим температуру 255° С, в течение 5—20 сек, в зависимости от применяемого материала. Не следует применять флюса, и весь избыточный припой необходимо удалить, так как наличие припоя на образце может привести к неравномерному отрыву. Иногда перед пайкой медь можно покрыть вазелином, предупреждающим смачивание ее припоем.

Испытания после гальванического покрытия. Так как растворы для покрытия, особенно раствор цианистого

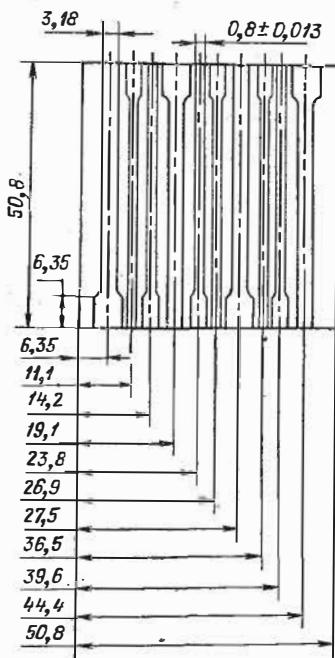


Рис. 2.14. Размеры образца (в миллиметрах) для испытания прочности сцепления фольги с диэлектриком по стандарту MIL-P-13949.

золота, могут оказывать влияние на клей, которым приклеена фольга, то рекомендуется также провести испытания на прочность сцепления фольги после гальванической ванны. Стандарт MIL-P-13949D рекомендует для этой цели форму образца, изображенную на рис. 2.14. Испытания проводятся на печатных линиях шириной примерно 0,75—1,5 мм, так как при более широких линиях воздействие электролитов незначительно.

12. Стойкость к действию припоя

Нечувствительность материала необходимо измерить и оценить в соответствии с выбором припоя. Образец для испытаний пайки погружением должен содержать как площадки меди порядка 6 см², так и несколько сквозных отверстий различных типов, в том числе металлизированных. Этот образец должен быть обработан по обычной технологии. Для большинства методов испытания пайки погружением необходимо, чтобы плата заданное время плавала на поверхности припоя. Температура ванны припоя должна измеряться на глубине 2,5 см от поверхности и регулироваться в пределах $\pm 2^\circ\text{C}$. Время погружения в большой степени зависит от примененного материала и температуры ванны припоя.

Спецификации стандартов MIL-P-13949D и NEMA определяют минимальное время контакта с ванной припоя. После контакта с припоем необходимо провести визуальный осмотр участка меди в 25 мм для выявления на участке площадью 6,25 см² пузырьков или вспучиваний на слое меди. В большинстве случаев наличие пузырьков гораздо легче определяется, если вместо флюса применяется вазелин, предотвращающий смачивание припоем поверхности меди.

Пузырьки обычно образуются в результате выделения газов из диэлектрика.

Расслоение материала определяется как степень разделения слоев платы при нагревании. Обычно материал расслаивается из-за плохой очистки слоев или недостатка смолы в слое. Образование белой сетки трещин в материале, иногда называемое «сыпью», обусловлено смещением стеклянных волокон из одного слоя ткани в другой, которое может произойти в результате того, что остаточные напря-

жения, возникающие при прессовании материала, снижаются при нагревании, разрывая на мелкие кусочки стеклянное волокно и смолу. Кроме этого «сыпь» может появиться в результате воздействия внешних сил, например при слишком близком размещении отверстий или деталей на плате. Рассматриваемый дефект может появиться

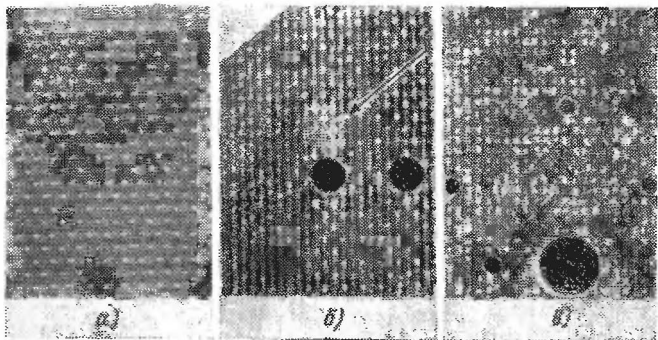


Рис. 2.15. «Сыпь» на поверхности диэлектрика:

а — совершенно гладкая поверхность без всяких неоднородностей; *б* — трещинки в одном изолированном месте поверхности; *в* — редкая «сыпь» и трещины в нескольких местах. (Вид поверхности указывает на нарушение технологического процесса или на плохое качество диэлектрика полученного от поставщика).

на краях платы, при применении плохих режущих инструментов. Институт печатных схем в своей работе «Acceptability of Printed Circuit Boards» (приемлемость печатных плат) классифицирует этот дефект на приемлемый и недопустимый в соответствии с рис. 2.15.

Материал должен быть также проверен на изменение цвета после пайки погружением, особенно в светлых сортах гетинаксов. При слишком высокой температуре происходит быстрое обесцвечивание бумажных пластиков, и в этом случае необходимо предпринимать меры предосторожности, а не предъявлять слишком высоких требований к материалу. Потребитель проверяет изменение внешнего вида платы по отверстиям после пайки погружением, особенно при применении металлизированных отверстий. На разрезе можно увидеть, как вытесняются летучие вещества через пустоты или через слабые места покрытия в металлизиро-

ванных отверстий. Летучие вещества выходят в результате их избыточного введения в материал при прессовании или в результате абсорбирования влаги при плохой технологии металлизации. Эти летучие вещества могут вызвать появление пузырьков в припое в отверстиях и, следовательно, увеличение точек холодной пайки.

Плату необходимо проверить на степень коробления, изгиба и деформации отверстий. Стандарт MIL-P-13949D дает соответствующие рекомендации по проверке. Необходимо следить, чтобы все зажимные приспособления испытательного оборудования были одинаковы, не вызывая напряжений при пайке погружением или сушке, которые могли бы способствовать короблению или изгибу,

13. Разработка технических условий на слоистый материал

Прежде чем сформулировать окончательные технические условия, обычно целесообразно испытать несколько марок материалов. Это поможет определить критерии проверки, соответствующие задачам конструирования и изготовления. Это поможет также при установлении пределов значений параметров, по которым могут быть спланированы выборочные испытания. Если применяется обычный порядок испытаний, то изготовитель материала может дать все необходимые сведения.

Следует очень точно определить характер испытаний, предназначенных для проверки заданных технических условий на материал. Например, во многих случаях можно отказаться от испытаний на влагопоглощение, так как в основном эти свойства материала влияют на электрические характеристики, которые более точно определяются при проверке сопротивления изоляции в условиях повышенной влажности. Каждый изготовитель материала должен проконсультироваться не только относительно значений параметров, установленных для каждого испытания, но также и удостовериться в том, что любое испытание или любые условия окружающей среды могут быть реализованы в лаборатории выходного контроля. Часто изготовитель материала может рекомендовать процедуру испытаний, которая является более стандартной по сравнению с испытаниями, которые предполагает проводить потреби-

тель. Например, в настоящее время изготовители просят проводить большое количество испытаний на прочность сцепления, даже если у них накоплено значительное количество данных по испытаниям обычными методами, установленными военным стандартом. После окончания испытаний формулируются их результаты и соответствующие фотографии (негатив или позитив) должны быть переданы изготовителю материала, в отделение надзора за качеством на предприятии заказчика. У изготовителя материала можно потребовать испытать и удостоверить соответствие заданным характеристикам каждой группы материала. Некоторые виды испытаний наиболее постоянных характеристик могут производиться реже, через несколько партий материала.

Технические условия потребителя должны быть указаны на этикетке каждого листа материала. Очень важно также, чтобы изготовитель материала сохранил образцы и материалы испытаний каждой партии в течение соответствующего времени после отправки.

После того как партия материала принята ОТК, потребитель должен так организовать технологический процесс, чтобы каждая партия материала могла быть идентифицирована на любой операции всего процесса. Хотя это трудно и иногда дорого, тем не менее это очень важно, так как только это обеспечивает связь между результатами входного контроля и характеристиками образцов и данными испытаний у производителя. Когда возникают трудности у потребителя, то обычно первым вопросом изготовителя материала является: «Какая группа материала применялась?». Очень часто потребитель не знает, какая партия, или партии забракованы, и много времени и средств тратится на установление связи материала полуфабриката у изготовителя с образцами потребителя.

Характеристики фольгированных диэлектриков. Чтобы установить характеристики любого фольгированного диэлектрика, необходимо приблизительно знать, какие характеристики являются наиболее важными. В этом разделе приведены характеристики, которые необходимы с точки зрения электрических и механических свойств разрабатываемой конструкции. В разделе «Оценка различных материалов» описываются некоторые методы определения указанных характеристик. Основные типы материалов перечислены ниже.

Фенольный гетинакс *) по стандартам NEMA обозначается как тип XXXP или XXXPC и не применяется в военной промышленности. Материал имеет бумажную основу с пропиткой фенольной смолой. Обычно он коричневого цвета и относительно непрозрачен.

Типы XXXP и XXXPC отличаются по своим штамповочным характеристикам. XXXPC можно легко штамповать при температуре не менее 23° С и (не более 65° С при толщине от 1,4 до 1,5 мм. XXXP не штампуется.

Фенольный гетинакс невоспламеняющийся. Этот материал (называемый в соответствии со стандартом NEMA типом FR-2) изготавливается из бумаги, пропитанной невоспламеняющейся фенольной смолой. Цвет обычно коричневый.

Эпоксидный гетинакс. По стандарту NEMA имеет марку FR-3 или, по стандарту MIL-P-13949D-PX. PH. Материал выполнен на бумажной основе, пропитанной эпоксидной смолой, и обычно имеет светло-желтый или белый цвет, полупрозрачен, не толще 1,5 мм. Эпоксидный гетинакс марки FR в соответствии с данными стандарта NEMA обладает свойством самогашения. PX обычно штампуется без нагрева при толщинах от 1,4 до 1,5 мм, а PH штампуется при нагревании.

Универсальный эпоксидный стеклотекстолит. Этот материал имеет по стандарту NEMA марку G-10 и по стандарту MIL-P-13949D марку GE. Эти марки материала имеют в качестве основы стеклоткань, а связующим веществом эпоксидную смолу. Эпоксидный стеклотекстолит полупрозрачен и имеет зеленый цвет.

Термостойкий эпоксидный стеклотекстолит. Этот материал имеет марки G-11 по NEMA и GB по MIL-P-13949D. Материал имеет в качестве основы стеклоткань, пропитанную термостойкой эпоксидной смолой.

Свойства G-10 и G-11 при комнатной температуре одинаковы, но материал последней марки сохраняет, по крайней мере, 50% прочности на изгиб при комнатной темпе-

*) Перевод названий выполнен в соответствии с принятой в СССР терминологией, спецификации даны в американских единицах измерения. (Прим. перев.)

ратуре после нагрева и выдержки в течение 1 час при температуре 150° С.

Невоспламеняющийся эпоксидный стеклотекстолит. Этот материал обозначается маркой FR-4 по NEMA и GF по MIL-P-13949D. У этих марок стеклянная основа пропитана невоспламеняющейся эпоксидной смолой. Цвет материала обычно желтозеленый или зеленый, хотя некоторые изготовители предлагают непрозрачные материалы различных цветов.

Невоспламеняющийся и термоустойчивый эпоксидный стеклотекстолит обозначается маркой NEMA-FR-5, MIL-P-13949D-GH. Материал имеет основу из стеклоткани, пропитанной невоспламеняющейся и термоустойчивой эпоксидной смолой. По внешнему виду материал может быть непрозрачным разных цветов или полупрозрачным коричневого и темнозеленого цвета.

15. Обозначение состояния окружающих условий

Эти обозначения применяются, чтобы характеризовать окружающие условия, в которых проводилось каждое испытание:

- A* — нормальные условия без особых требований;
- C* — повышенная влажность;
- D* — при погружении в дистиллированную воду;
- E* — действие температуры;
- T* — условие испытания.

Полное обозначение состоит из следующих частей:

1. Первая, большая буква показывает общий характер условий испытания образца, т. е. нормальные или при повышенной влажности, при погружении в воду или при воздействии температуры.

2. Число показывает продолжительность выдержки при этих условиях в часах.

3. После наклонной черты второе число показывает значение температуры в градусах Цельсия.

4. После второй наклонной черты третье число показывает относительную влажность в процентах. Например, состояние, имеющее маркировку *C96/35/90*, обозначает выдержку в течение 96 часов при 35° С и 90% относительной влажности.

16. Механические характеристики слоистых материалов

Для механического расчета печатных плат необходимы следующие основные характеристики:

1) если проводятся особые испытания, то их характер оговаривается в каждом случае;

2) в остальных случаях, если это возможно, следует использовать минимальные требования, установленные стандартами MIL-P-13949D или NEMA для промышленных диэлектриков.

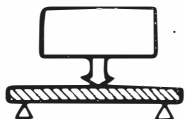


Рис. 2.16. Испытание прочности на изгиб.

Прочность на изгиб. Метод: ASTM D-790; единица измерения: $кг/см^2$.

Эти испытания состоят в измерении разрушающего усилия для бруска, закрепленного на концах и нагруженного в центре (рис. 2.16).

Если материал имеет толщину 1,5 мм, длина бруска (между опорами) равна 25 мм. Если толщина больше 3 мм, то это расстояние берется равным 16-и кратной толщине материала. Результаты испытаний приведены ниже.

Материал	XXXP	FR-3	G-10	G-11	FR-4	FR-5
Прочность вдоль волокон:						
при толщине 1,5 мм	840	1400	3850	3850	3850	3850
при толщине 3 мм	840	1400	3500	3500	3500	3500
Прочность поперек волокон:						
при толщине 1,5 мм	135	1100	3150	3150	3150	3150
при толщине 3 мм	735	1100	2800	2800	2800	2800

Деформация под нагрузкой. Метод: ASTM D-621-59 A°, единица измерения: процентное изменение толщины при воздействии нагрузки $280 кг/см^2$ при температуре $70^\circ C$ в течение 24 час.

Этот параметр определяет способность жесткого пластика в сборке с другими элементами, прикрепленными болтами, заклепками или другими крепежными приспособлениями, сохранять постоянной силу сжатия, не обнаруживая текучести или ослабления жесткости сборки.

Материал	XXXP	FR-3	G-10	G-11	FR-4	FR-5
Изменение толщины, %	1,67	1,50	0,2	0,1	0,25	0,1

Модуль эластичности при изгибе. Метод: ASTM D-799; единица измерения: $кг/см^2$.

Модуль упругости — это отношение (в пределах упругости материала) действующего, усилия к соответствующей величине деформации.

Предел упругости — самое большое растягивающее напряжение, которое выдерживает материал без остаточной деформации.

Напряжение — усилие на единицу площади первоначального поперечного сечения, которое выдерживает испытываемый образец в данный момент. Растяжение — отношение удлинения к первоначальной длине, т. е. безразмерная величина, определяющая изменение длины на единицу первоначальной длины. Модуль эластичности может быть определен для сжимающих, изгибающих и разрывающих нагрузок в следующем виде.

Материал	XXXP	FR-3	G-10	G-11	FR-4	FR-5
Модуль эластичности, кг/см ² :						
вдоль волокон	91 000	91 000	188 000	196 000	188 000	196 000
поперек волокон	70 000	70 000	161 000	161 000	154 000	161 000

17. Изменение механических характеристик в процессе фольгирования

Ниже приведены механические факторы, на которые влияют процессы фольгирования, хотя большинство процессов в какой-то степени отличается друг от друга. Факторы, перечисленные ниже, будут основными факторами, на которые оказывает влияние процесс фольгирования.

Плавание на поверхности припоя (без образования пузырьков и отслаиваний). Метод: см. гл. 2, § 12; единица измерения: сек при 260° С.

Материал	FR-3	G-10	G-11	FR-4	FR-5
Время плавания, сек	5	20	20	20	20

Сохранение прочности сцепления фольги в цианистом электролите.

Метод: обработка в растворе 75 г/л в течение 20 мин, плотность тока 5,6 ма/см² при комнатной температуре; единица измерения: процент сохранения прочности.

Материал	XXXP	FR-3	G-10	G-11	FR-4	FR-5
Сохранение прочности, %	80	90	95	95	95	95

Прочность сцепления до и после погружения в припой. Метод: см.: разд. 2, гл. 2; единица измерения: кг/см ширины.

Материал		XXXP	FR-3	G-10	G-11	FR-4	FR-5
Прочность сцепления,							
кг/см:							
для меди 35 мкм		1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
для меди 70 мкм		1,78	1,78	1,96	1,96	1,78	1,78

Коэффициент расширения. Метод: ASTM D-696 (при 130°); единица измерения: см/см/°С.

Коэффициент температурного расширения — относительное изменение длины на градус. Он имеет разное значение в различных температурных диапазонах. Поэтому в каждом случае необходимо оговорить температурный диапазон.

Материал		XXXP	FR-3	G-10	G-11	FR-4	FR-5
Коэффициент расширения, см/см/°С:							
вдоль волокон		1,1	1,3	1,0	1,0	1,2	1,0
поперек волокон		1,2	2,5	1,5	1,4	1,5	1,5

18. Зависимость механических характеристик от изменения окружающих условий

Ниже перечисляются те механические характеристики, которые необходимо учитывать при расчете плат для работы в изменяющихся окружающих условиях:

Материал	XXXP	FR-3	G-10	G-11	FR-4	FR-5
Температура, °С	120	120	130	150	130	150

Влагопоглощение. Метод: ASTM D-570; единица измерения: %.

Влагопоглощение — характеристика, определяемая отношением веса воды, поглощенной материалом, к весу сухого материала. Образец перед проведением испытаний выдерживается в течение 1 час при температуре 107°С, а затем погружается в дистиллированную воду на 24 или 48 час при 25°С.

Материал	XXXP	FR-3	G-10	G-11	FR-3	FR-5
Влагопоглощение, %:						
при толщине 0,75 мм	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80
при толщине 1,5 мм	0,65	0,65	0,35	0,35	0,35	0,35
при толщине 3 мм	0,50	0,50	0,20	0,20	0,20	0,20

Теплопроводность диэлектрика без меди, единица измерения: ккал/м²·час°С·см (толщины).

Теплопроводность — скорость потока тепла в стационарных условиях на единицу площади и на единицу температурного градиента в направлении, перпендикулярном

площади. В случае, если единицы измерения отличаются, то преобразование в желаемые единицы можно произвести, исходя из следующего:

Материал	XXXXP	FR-3	G-10	G-11	FR-4	FR-5
Теплопроводность	21,1	19,8	22,3	22,3	22,3	22,3

Сохранение прочности сцепления фольги. Метод: испытание лаборатории страховых компаний, выдержка 1344 час при температуре 125 °С, единица измерения: %

Материал	XXXXP	FR-3	G-10	G-11	FR-4	FR-5
Сохранение прочности, %	50	50	50	50	50	50

Вес основного материала, Единица измерения: кг/см²

Материал	Толщина, мм			
	0,8	1,5	2,4	3
XXXXP	0,83	1,67	2,5	3,35
FR-3	0,9	1,8	2,75	3,62
G-10	1,17	2,55	3,52	3,62
G-11	1,13	2,45	3,35	4,9
FR-4	1,25	2,50	3,75	5
FR-5	1,3	2,55	3,85	5,1

Допуски на толщину по стандарту MIL-P-13949D указаны в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Допуск на толщину по стандарту MIL-P-13949G *)

Номинальная общая тол- щина, мм	Допуск на толщину, мм				
	Класс I			Класс II	Класс III
	Бумага		Стеклоткань		
	слой меди в 35 мкм (одна сторона)	слой меди в 35 мкм (две сто- роны)		все толщины меди (одна и две стороны)	все типы, все тол- щины меди
0,8	0,1	0,11	0,16	0,1	0,075
1,5	0,14	0,15	0,19	0,12	0,075
2,4	0,18	0,19	0,23	0,15	0,1
3	0,22	0,23	0,3	0,15	0,12
6	0,3	0,3	0,56	0,3	0,15

*) Так как в этой таблице номинальная толщина не показана, то указывается допуск для большой толщины.

Коробление и скручивание по стандарту MIL-P-13949R определены в табл. 2.2.

Устойчивость к грибкам. Устойчивостью к различным грибкам обычно обладают эпоксидные пластики, пропитанные эпоксидными смолами. Фенольные пластики такими свойствами не обладают.

Таблица 2.2

Коробление и скручивание по MIL-P-13949 D *)

Толщина, мм	Общее изменение, % для основного размера 92 см					
	Класс А				Класс В	
	Все типы, все тол- щины меди	Все типы веса (две стороны)		Все типы (одна сторона)	Все типы, все тол- щины меди (две стороны)	
		стекло- ткань	бумага		стекло	бумага
0,8	12	5	6	10	2	5
0,5	10	5	6	5	1	2,5
2,4	8	3	3	5	1	1,5
3	8	3	3	5	1	1,5
6	5	1,5	1,5	5	1	1,5

*) Эти величины указываются только для размеров материала полных листов или разрезанных на части размером не меньше чем в 1 см.

Стойкость против плесени. Испытания по военным техническим условиям дают следующие результаты:

Материал	Конструкция	Военные технические условия		
		Устойчив	Устойчив	Устойчив
G-10	Эпоксидный стеклотек- столит	Устойчив	Устойчив	Устойчив
FR-5 XXXXP	То же Фенольный гетинакс	» Неустой- чив	» Неустой- чив	» Неустой- чив
FR-3 G-11	Эпоксидный гетинакс Эпоксидный стеклотек- столит	Устойчив »	Устойчив »	Устойчив »

Испытываемые грибковые микроорганизмы	Номер культуры	Военные технические условия
<i>Aspergillus niger</i>	WADC 215-4247	MIL-F-8261
<i>Aspergillus flavus</i>	WADC 26	MIL-F-8261
<i>Trichoderma T-1</i>	WADC T=1	MIL-F-8261
<i>Chaetomium globosum</i>	USDA 1042,4	MIL-F-4970
<i>Aspergillus niger</i>	USDA tc 215-4247	MIL-E-4970
<i>Penicillium luteum</i>	USDA 1336,1	MIL-E-4970
<i>Aspergillus flavus</i>	WADC 26	MIL-E-4970
<i>Memnoniella echinata</i>	WADC 37	MIL-E-4970
<i>Myro-Thecium verrucaria</i>	ATCC 9095	MIL-E-5272
<i>Aspergillus terreus</i>	ATCC 10690	MIL-E-5272
<i>Penicillium</i>	ATCC 9849	MIL-E-5272

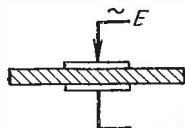
19. Электрические характеристики слоистых материалов

Приведенные ниже данные определяют основные электрические характеристики, которые необходимо знать при конструировании печатных плат почти всех типов.

Электрическая прочность (по толщине материала при температуре 23° С). Метод: ASTM D-149; единица измерения: *кв/мм*.

Электрическая прочность определяется способностью диэлектрика выдерживать без пробоя приложенное напряжение. Испытание на электрическую прочность проводится

Рис. 2.17. Испытание диэлектрика на электрическую прочность.



в масле путем приложения напряжения частоты 60 *гц* по толщине диэлектрика (рис. 2.17). Во время ускоренных испытаний приложенное напряжение увеличивают с постоянной скоростью 0,5 *кв/сек* до возникновения пробоя.

При проведении ступенчатых испытаний устанавливают начальное напряжение, равное 50% напряжения пробоя, определенного ускоренными испытаниями; затем напряжение увеличивают через интервалы времени в 1 *мин* в соответствии с подготовленной заранее таблицей. Электрические

ская прочность диэлектрика зависит от его толщины, формы и размера электродов, времени приложения напряжения, температуры, частоты и формы напряжения, а также от характера окружающей среды. Ниже приводятся результаты ступенчатых испытаний для диэлектриков толщиной 2,5 мм.

Материал	XXXXP	FR-3	G-10	G-11	FR-4	FR-5
Электрическая прочность, кв/мм	30	22	20	24	20	19,5

Электрический пробой (вдоль поверхности при температуре 23° С). Метод: ASTM D-149; единица измерения: кв.

Электрический пробой измеряется двумя электродами (заостренные щупы № 3 Пратта и Вайтнея), введенными в диэлектрик перпендикулярно поверхности. Все испытания проводятся в масле и в такой же последовательности,

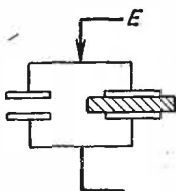


Рис. 2.18. Измерение диэлектрической постоянной.

как и испытания на электрическую прочность. Ниже приводятся результаты ступенчатых испытаний для материалов толщиной 1,5 мм.

Материал	XXXXP	FR-3	G-10	G-11	FR-4	FR-5
Электрический пробой, кв	15	50	30	30	30	30

Диэлектрическая постоянная. Метод: ASTM D150; единица измерения: величина безразмерная.

Диэлектрическая постоянная — отношение емкости конденсатора, где в качестве диэлектрика используется испытываемый материал, к емкости такого же воздушного конденсатора (рис. 2.18). Диэлектрическая постоянная характеризует способность диэлектрика запасать электрическую энергию, и вычисляется, исходя из величины емкости (по показаниям емкостного измерительного моста), толщины образца и площади электродов. Значение диэлек-

трической постоянной зависит от температуры, влажности и частоты.

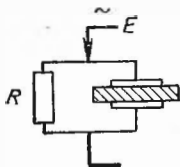
Данные, приведенные ниже, соответствуют условиям D24/23 и частоте 1 Мгц:

Материал	XXXP	FR-3	G-10	G-11	FR-4	FR-5
Диэлектрическая постоянная	5,3	4,8	5,4	5,4	5,4	5,4

Коэффициент потерь (на частоте 1 Мгц) Метод: ASTM D-150 (рис. 2.19); единица измерения: величина безразмерная.

В изоляционном материале коэффициент потерь определяется отношением общих потерь мощности в материале

Рис. 2.19. Измерение коэффициента потерь.



к производству напряжения и тока в конденсаторе, в котором исследуемый материал работает в качестве диэлектрика. Коэффициент потерь изменяется с изменением частоты. Данные, указанные ниже, соответствуют частоте 1 Мгц.

Материал	XXXP	FR-3	G-10	G-11	FR-4	FR-5
Коэффициент потерь	0,05	0,04	0,035	0,035	0,035	0,035

Диэлектрическая постоянная и коэффициент потерь (для G-10 в зависимости от частоты). Условия D24/23

Частота, гц	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	10 ¹⁰
Диэлектрическая постоянная	4,80	4,75	4,70	4,65	4,60	4,60	4,55	4,45	4,40
Коэффициент потерь	0,009	0,012	0,015	0,018	0,20	0,020	0,022	0,025	0,025

Токонесущая способность в зависимости от окружающей температуры (табл. 2.3), единица измерения: а.

Ширина линии, мм	Толщина линии, мкм	Площадь поперечного сечения, мм ²	Превышение температуры над окружающей, °С				
			10	20	30	40	50
0,64	35	0,022	0,8	1,2	1,4	1,7	1,8
1,28	35	0,044	1,4	1,9	2,2	2,6	3,0
1,9	35	0,066	1,8	2,4	3,0	3,6	4,1
2,5	35	0,088	2,1	3,0	3,7	4,4	5,3
0,64	70	0,044	1,4	1,9	2,2	2,6	3,0
1,28	70	0,088	2,1	3,0	3,7	4,4	5,3
1,9	70	0,132	2,9	4,0	5,0	5,8	6,8
2,5	70	0,176	3,4	5,0	6,3	7,4	8,0

Влияние относительной влажности на удельное поверхностное сопротивление эпоксидного стеклотекстолита. Специалисты отделения Dumes фирмы Hewlett Packard измерили, как влияет влажность на поверхностное сопротивление эпоксидного стеклотекстолита. Для этой цели были

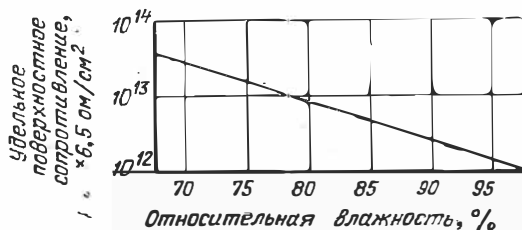


Рис. 2.20. Зависимость величины удельного поверхностного сопротивления от относительной влажности.

использованы 3-электродные круглые образцы, рекомендованные стандартом ASTM, которые испытывались при относительной влажности с 97,5 до 64% при постоянной температуре 40°С. Результаты, показанные на рис. 2.20, иллюстрируют логарифмическое уменьшение удельного сопротивления с повышением влажности со скоростью 1/10 на 20%-ное изменение влажности.

Сопротивление изоляции между контактными площадками и проводниками. В последнем сообщении, сделанном отделением Dumes фирмы Hewlett Packard, указываются следующие величины среднего сопротивления изоляции измеренного на тестплате, рассмотренной в § 10.

Метод: см. рис. 2.12 и 2.21; единица измерения: ом.

Специалисты фирмы нашли, что хотя увеличение расстояния между центрами отверстий естественно будет увеличивать электрическое сопротивление после обработки платы в условиях высокой влажности, выгода в увеличении зазора и экранирования почти полностью теряется.

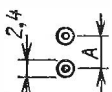
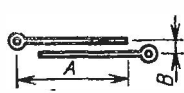
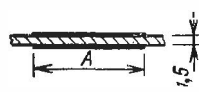
Конфигурация схемы (размеры в мм)	Сопротивление, ом · 10 ¹⁰			
	стеклотекстолит марки G=10		эпоксидный гетинакс марки FR=3	
	в соответствии с ТУ	96/40/45	в соответствии с ТУ	96/40/95
<p>Монтажные отверстия</p>  <ol style="list-style-type: none"> $A_{\text{мин}} = 3,2$ $A = 6$ $A = 6$, экранирующие проводники между отверстиями 				
<p>Параллельные проводники на поверхности</p>  <ol style="list-style-type: none"> $A = 25,4; B = 1,2$ $A = B = 1,2$ $A = 25,4; B = 3,6$; экранирующий проводник шириной 1,2 в промежутке 				
<p>Параллельные проводники по обе стороны платы</p>  <ol style="list-style-type: none"> $A = 25,4$ $A = 1,5$ 				

Рис. 2.21. Величина сопротивления изоляции между контактными площадками и печатными проводниками на плате.

Увеличение длины параллельных поверхностных проводников не приводит к пропорциональному повышению величины тока утечки до и после воздействия влажной среды. При параллельных проводниках на каждой стороне платы объемное сопротивление не зависело от изменения длины проводника. Однако после выдержки в условиях высокой влажности с увеличением длины проводников сопротивление немного уменьшалось.

ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ В СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛАХ

20. Необходимость постоянного анализа

Невозможно изготовить платы с заданным качеством, не обеспечив необходимое качество фольгированных диэлектриков. Однако даже тщательно сформулированные и выполненные технические условия на диэлектрик иногда могут привести к ошибкам, требующим проведения необходимых испытаний некоторых параметров материала, имеющих значение для отдельных этапов технологического процесса. Ниже перечисляются некоторые из технологических проблем и указывается способ их обнаружения. Если возникают такие проблемы, связанные с качеством фольгированного диэлектрика, следует вновь рассмотреть технические условия и установить степень их выполнения.

Часто этим пренебрегают и проблемы периодически возникают снова. Любая технологическая проблема, возникающая в связи с качеством материала, как правило, характерна для процессов изготовления фольгированного диэлектрика. Если, например, имеет место коробление в результате неполной полимеризации, то целью потребителя является нахождение общего давления прессования, при котором возникает такое коробление. Платы, изготовленные из такого материала, деформируются в процессе пайки погружением, приводя к большой потере труда и дорогих компонентов. Если дефекты становятся известными непосредственно, когда возникают затруднения, то изготовитель материала может начать проверять качество (тип) смолы, виды меди, очистку и т. д. Если потреби-

тель не обеспечивает непрерывности системы контроля изготовителя материала, то он наказывает сам себя.

Основные проблемы, связанные с дефектами основного материала и возникающие в процессе изготовления плат, приводятся в следующих разделах.

21. Дефекты поверхности слоистых материалов

Проявляются: в недостаточном прилипании краски, недостаточной адгезии гальванопокрытий, плохом травлении и плохой паяемости некоторых участков поверхности.

Способы обнаружения. Обычно эти дефекты заметны при слабом освещении или по рисунку смачивания, который образует пленка воды на поверхности диэлектрика.

Причины

Средства устранения

- | | |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. Не удаленные изготовителем остатки смолы после прессования.2. Наличие отверстий в слое меди, через которые вытекает смола, остающаяся на поверхности меди.3. Изменение метода очистки или просто недостаточное качественное очищение у изготовителя.4. Смена поставщика медной фольги.5. Отпечатки пальцев или жирные пятна от неправильного обращения с материалом.6. Следы машинного масла после штамповки или сверления. | <ol style="list-style-type: none">1. Связь с изготовителем диэлектрика для получения растворителей или механических средств удаления остатков смол.2. Связь с изготовителем материала для проверки качества медной фольги и для получения рекомендаций и средств для удаления смолы.3. Связь с изготовителем материала для установления специальных методов обработки фольгированной и нефольгированной поверхности.4. Иногда смена поставщиков меди вызывает проблемы. Совместная работа с изготовителем диэлектрика для определения требований к качеству поверхности меди.5. Воспитание персонала с тем, чтобы на всех этапах процесса фольгирования все работали только в перчатках. Проверяйте, чтобы никто из персонала, работающего с медным покрытием, не применял лосьонов или кремов с силиконами.6. Удалите масло со всех плат перед проведением шелкографии или перед гальванической обработкой. |
|---|---|

22. Дефекты внешнего вида

Проявляются: в больших изменениях цвета диэлектрика, изменениях цвета поверхности фольги, наличии пленок разных цветов на поверхности материала.

Визуальный способ обнаружения

Возможные причины

1. Испещренная белыми точками поверхность стеклоткани перед обработкой указывает на обеднение смолой.
2. Испещренная белыми точками поверхность после обработки указывает на то, что на материал воздействуют химические растворы или растворители.
3. Белая пленка на поверхности после обработки, особенно после пайки, указывающая на то, что в процессе обработки или из-за взаимодействия материала с флюсом на нем выпадают минеральные соли.
4. Изменение цвета диэлектрика, вызванное сменой партии смолы или материала основы.
5. Белая сетка после травления фольгированной стороны материала, обычно вызываемая неравномерностью оксидного слоя меди или изменением толщины клея.

Возможные методы устранения

1. Платы из такого стеклотекстолита изготавливать можно. Работайте в контакте с изготовителем материала, чтобы избежать повторения. Если платы необходимо сохранить, защищайте их от влаги.
2. Согласуйте типы растворителей и растворов для покрытий с изготовителем материала для того, чтобы убедиться, что они соответствуют используемому материалу. Используйте там, где это возможно, рекомендации изготовителя материала.
3. Согласуйте с изготовителем годность применяемого флюса. Проверьте на различных ступенях технологического процесса, когда могут осаждаться минеральные соли. Применяйте деминерализованную воду, где можно.
4. Работайте вместе с изготовителем материала по условиям максимального изменения цвета, допускаемого в окончательном изделии. Получите материал в соответствии с эталонами.
5. Получите от изготовителя диэлектрика данные по изменению толщины оксидного слоя и разработайте взаимно согласуемые технические условия на цвет. Иногда неравномерный по толщине адгезивный слой можно устранить нагреванием обработанных плат, по рекомендациям изготовителя. Ведутся работы по устранению окисления меди и применению адгезивного слоя, обеспечивающего удовлетворительную силу сцепления.

6. Коричневая поверхность или коричневая с крапинками поверхность основного материала, образованная в результате перегрева диэлектрика.
7. Участки на меди, покрытые пятнами черного или коричневого цвета. Это вызывается плохой очисткой у изготовителя или невозможно получить совершенно сухую медь после очистки.
6. Проверьте процесс пайки погружением, температуру пайки и время пайки. Проверьте также нагревающиеся элементы на плате, удалите их или расположите их как можно дальше от поверхности.
7. Работайте вместе с изготовителем материала, чтобы избежать возврата изделий.

23. Дефекты механической обработки слоистых материалов

Проявляются: в виде пробивки отверстий, отрезки, сверления, отсутствия связи покрытия с пластиком и неравномерного покрытия в металлизированных отверстиях.

Способ обнаружения. Входной контроль материала по всем критичным механическим параметрам, а также регулярное изготовление шлифов металлизированных отверстий.

Возможные причины

1. Изменение качества материала, содержания смолы или пластификаторов, которые могут оказывать влияние на качество сверления, штамповки и отрезки материала.
2. Плохая технология механической обработки (сверления, штамповки или отрезки) может дать плохие или неповторяющиеся результаты.

Возможные способы устранения

1. Работа вместе с изготовителем материала по составлению программы испытаний, имитирующих конечные механические нагрузки. Инструмент должен быть новым.
2. См. гл. 3, где даны рекомендации по обработке различных типов диэлектриков. Поддерживайте контакт с изготовителем материала для получения от него рекомендаций по режимам сверления и температуре штамповки для каждой партии материала. Помните, что рекомендации каждого изготовителя будут различными. Поэтому используйте рекомендации каждого изготовителя диэлектриков.

3. Превышение температуры нагрева предварительного нагрева перед штамповкой или сверлением иногда может оказать влияние на качество обработки материала.
4. Старение материалов, особенно фенольных, иногда приводит к тому, что пластификатор улетучивается из материала, делая материал более хрупким.
3. Тщательно соблюдайте режим предварительного нагрева. Попробуйте найти все точки перегрева, например, под горячими лампами и применяйте принцип «первым заложили, первым вынули».
4. Попробуйте вместе с изготовителем получить характеристики старения этого материала. Просмотрите инвентарный список с тем, чтобы применить свежий материал. Не перегревайте материал при хранении.

24. Коробление и изгиб диэлектрика

Проявляются: в виде коробления или изгиба материала либо до, либо после, либо в процессе обработки. Может проявляться также в виде перекоса отверстий после пайки.

Метод обнаружения. Испытания погружением в припой при входном контроле материала.

Возможные причины

1. Материал покоробился или изогнулся при получении или после разрезания. Обычно вызывается деформацией материала после прессования за счет внутренних остаточных напряжений.
2. Коробление может быть вызвано неправильным хранением материала (особенно гетинакса), при котором материал сгибается или сжимается.
3. Несоответствующее крепление во время пайки погружением. Коробление могут вызвать жесткие элементы крепления. В некоторых случаях, особенно при односторонних платах, рисунок схемы может вызвать местные перегрузки, которые будут коробить плату при нагревании.

Возможные способы устранения

1. Материал выпрямляется рукой или под прессом в печи согласно указаниям изготовителя. Иногда материал можно нагреть до определенной температуры под углом и таким образом уменьшить коробление.
2. Храните материал в упаковочных коробках так, чтобы листы лежали плоско. Обычно материал необходимо ставить под углом 60° или меньше по отношению к полу.
3. Платы, особенно из материала на бумажной основе во время пайки погружением необходимо крепить. В некоторых случаях, если необходимо использовать жесткие компоненты, нужно применять материал с основой из стеклоткани или на компоненты после пайки необходимо положить груз. Если местные нагрузки вы-

званы размещением компонентов или схемы, то плату необходимо переконструировать, введя равновесие компонентов или отдельных участков.

4. Смещение или наклон отверстий в материале в процессе обработки или пайки погружением обычно вызывается несоответствующим режимом обработки или наличием недопрессованных участков в материале.
4. Установите связь с изготовителем материала для выяснения рекомендуемых режимов обработки. В некоторых случаях изготовитель может дать в более критических случаях другие партии материала.

25. Образование пустот или расслоение диэлектриков

Проявляется: в виде белых пятен или трещин на поверхности или в материале, расположенных локально или на большой площади.

Возможный способ обнаружения. Испытание погружением в припой при входном контроле.

Возможные причины

1. Покрытие больших площадей пузырьками при пайке, обычно вызывается влагой или другими летучими веществами, впрыснутыми в материал. Это может быть вызвано также плохой механической обработкой, при которой диэлектрик расслаивается и абсорбирует влагу при проведении мокрых процессов.

2. Белые трещины или корка, возникающие в процессе пайки, могут быть вызваны неполной полимеризацией или внутренними напряжениями, за счет которых при нагревании происходит вытягивание стеклянных волокон.

Возможные способы устранения

1. Уведомите изготовителя и не используйте всю партию материалов. Применяйте только рекомендованные режимы механической обработки для всех типов материалов.

2. Установите связь с изготовителем с целью получения рекомендаций для подготовки плат перед пайкой погружением. Обычно достаточно обработки при температуре 250° в течение 45 мин. Удалите материал плохого качества. Образование корки (спекания) обычно оказывает влияние только на внешний вид. Таким образом, многие платы можно спасти, если несколько раз их испытать и проверить на соответствие стандартам.

3. Большие компоненты, или выводы, установленные тесно друг к другу, могут вызывать чрезмерный нагрев и избыточные напряжения при нагревании материала. Это вызывает образование корки вокруг этой площадки. Нажим, сжатие или изгиб материала в процессе пайки погружением, могут также вызывать образование корки.

3. Раздвиньте выводы в процессе штамповки и устраните горячие точки и тяжелые компоненты до пайки погружением. Проверьте режимы механической обработки, особенно штамповки, чтобы убедиться в том, что образование корки не является расслоением, вызванным этими процессами. Убедитесь в том, что материал хорошо закреплен и не продавливается при нагревании. Не переохладите плату после пайки в холодном растворе для удаления флюса.

26. Дефекты сцепления между слоями

Проявляются: в виде следов расслоения, появляющихся в процессе пайки.

Возможный способ обнаружения. Соответствующие испытания при входном контроле.

Возможные причины

1. Вздутия, образующиеся в процессе обработки, могут быть вызваны технологическими растворами, действующими на систему связующего вещества диэлектрика. Однако, если в отдельных местах совсем нет связующей смолы, это обнаружится при последующей обработке.

2. Сверление или пробивка отверстий может вызвать частичное вспучивание контактных площадок. Впоследствии это проявится при металлизации сквозных отверстий.

3. Вспучивание контактных площадок или проводников в процессе пайки погружением или при пайке вручную обычно имеет место в

Возможные способы устранения

1. Дайте изготовителю материала полный список всех применяемых растворителей и растворов вместе с указанием длительности и температуры их применения. Изготовитель материала должен указать, какой из процессов будет оказывать влияние на связующее вещество. Проконтролировать нерегулярность силы связи в фольгируемом материале дает возможность только соответствующая проверка.

2. Тщательное соблюдение режимов механической обработки, указанных далее в этой книге, и регулярный контроль шлифов сквозных отверстий может решить эту проблему.

3. В большинстве случаев вспучивание контактных площадок и проводников возникает из-за недостаточной квалификации обслуживающего персонала.

результате применения неподходящей технологии пайки или несоответствующей температуры. Иногда причиной этого вспучивания может быть недостаточная начальная прочность сцепления фольги с диэлектриком.

4. Иногда причиной вспучивания площадок или проводников может быть характер рисунка схемы.

5. Компоненты, которые после пайки в течение некоторого времени остаются нагретыми, могут вызывать вспучивание контактных площадок.

Невозможность проверки температуры ванны с припоем и длительное и многократное погружение платы в ванну может быть также причиной отслаивания. В процессе ручной пайки необходимо применять паяльник соответствующей мощности и тщательно отрабатывать технологию пайки. Некоторые изготовители диэлектриков в настоящее время предлагают материалы, которые имеют повышенную устойчивость к повышенным температурам для пайки в критических условиях.

4. Если схема на плате вызывает вспучивание в одном и том же месте на каждой плате, то тогда плату необходимо переконструировать. Обычно это будет иметь место на длинных проводниках из-за разности коэффициента теплового расширения материала проводника и материала основы.

5. Когда это возможно удалите тяжелые компоненты с платы или монтируйте их после пайки погружением. Хорошая техника работы с паяльником малой мощности обычно приводит к менее продолжительному нагреванию материала основы по сравнению с пайкой погружением.

27. Дефекты пайки

Проявляются: в виде холодных или пористых швов.

Возможные способы обнаружения: соответствующая проверка количества летучих веществ в материале, регулярное изготовление шлифов отверстий после пайки погружением.

Возможные причины

1. Места холодной или пористой пайки иногда видны после пайки погружением,

Возможные способы устранения

1. Устраните пустоты в сквозных отверстиях, если это возможно. Работайте в контакте с из-

особенно у гетинаксов. В результате некачественного покрытия образуются пустоты в отверстиях. Это в свою очередь вызывает либо абсорбцию летучих веществ во время мокрых процессов, либо летучие вещества впрессовываются в материал, освобождаясь при нагревании в процессе пайки погружением.

готовителем материала с целью регулирования количества летучих веществ в диэлектрике. Если ни одна из этих мер не устраивает, посмотрите, изменится ли положение, если заменить гетинакс материалом на основе стеклоткани.

28. Чрезмерные изменения размеров

Проявляются: в том, что плата после изготовления или пайки погружением выходит по размерам за допуски.

Возможные способы обнаружения. Соответствующий контроль качества при проведении технологического процесса.

Возможные причины

1. Не уделяется соответствующего внимания характеру расположения волокон в материалах с бумажной основой. Расширение вдоль волокон примерно равно половине расширения поперек волокон. Материал не принимает своего первоначального размера после охлаждения.
2. Локальные внутренние напряжения в материале иногда вызывают изменения размеров во время обработки.

Возможные способы устранения

1. Обучайте персонал нарезать заготовки так, чтобы волокна проходили всегда в одном измерении. Если большие изменения размеров нельзя допустить, используйте стеклотекстолит.
2. Установите связь с изготовителем материала с целью получения рекомендаций по уменьшению напряжений в материале перед обработкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. John J. Chomicz, Insulation Resistance Measurements of Copper Clad Laminates, Electron. Production, July/August, 1963.
2. D. K. Rider, Metal Clad Laminates for Printed Circuits, Electron. Packaging Production, January, 1965.
3. John E., Martin, Laminates and Laminating. Modern Plastics Encyclopedia, 1956.
4. Process Engineering, Hewlett Packard Company, «Etched Circuit Standard Practice Manual».

5. Institute of Printed Circuits, «Acceptability of Printed Circuit Boards».
6. T. W. Brewer, M. E. Farmer and B. F. Rothschild, Trouble Shooting Chart for Printed Circuit Plating Processes, Plating Mag., December, 1962.
7. J. Foster, General Electric Company, Quality Control of Copper Clad Laminates, California Circuits Association symposium, June, 1962.
8. National Electrical Manufacturers Association, «Standards Publication, Industrial Laminated Thermosetting Products».
9. Department of Defense, Military Specification, Plastic Sheet, Laminated, Copper Clad, MIL-P-13949D.
10. Tom D. Schlabbach and Don K. Rider, «Printed and Integrated Circuitry», McGraw-Hill Book Company, New York, 1963.
11. David Baraza, Dymec Division of Hewlett Packard Company, «Electrical Leakage in Printed Circuits», June, 1964.
12. ASTM D 257-58, Electrical Resistance of Insulating Materials.
13. Laminated Products Department, General Electric Company, «GE Textolite Industrial Laminates Technical Handbook».

ПРОИЗВОДСТВО

Все операции процесса изготовления печатных плат тесно связаны между собой. Например, качество металлизированного отверстия зависит как от качества сверления, так и от качества растворов, применяемых при металлизации. Поскольку трудность, возникающая в процессе изготовления платы, не может быть связана только с операцией, на которой она возникла, контроль выполнения операций и качества должен быть непрерывным, начиная с распаковки исходного материала. Трудности могут возникнуть из-за недостаточного контроля на предыдущих операциях. Часть 2 учитывает это положение, и поэтому в главах, посвященных переносу изображения, гальваническому наращиванию и травлению, содержание часто связывается с предшествующими операциями. Независимо рассматривать эти операции рекомендуется только при исследовании частных вопросов.

Вопросы о многослойных печатных схемах становятся все большей проблемой, поскольку они требуют специального приспособления некоторых операций и требуют также строгого контроля на всех фазах проектирования, изготовления и испытаний. Как и вопросам прессования диэлектриков, остальным операциям технологического процесса посвящены отдельные главы.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СЛОИСТЫХ ПЛАСТИКОВ

Джон Э. Мартин,

*отделение фольгированных материалов
фирмы «Дженерал Электрик Компани»,
Кошоктон, Огайо, США*

ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ	98
1. Марки NEMA	98
2. Обрабатываемость	99
ПРОБИВКА ОТВЕРСТИЙ	99
3. Усадка материала на бумажной основе	99
4. Допуски на пробитые отверстия	100
5. Размещение отверстий и их размеры	102
6. Конструкция штампа	103
7. Подогрев материала на основе бумаги	104
8. Поверхность отверстий в стеклопластике	104
9. Размеры пресса	105
СВЕРЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ	105
10. Режимы сверления для пластиков на бумажной основе	106
11. Режимы сверления для стеклопластика	106
12. Материал подкладки	107
13. Параметры станка	108
РЕЗКА ПЛАСТИКОВ НА БУМАЖНОЙ ОСНОВЕ	108
14. Вырубка	108
15. Резка на ножницах	109
16. Резка пилами	110
17. Фрезерование по кофтуру	111
РЕЗКА СТЕКЛОПЛАСТИКОВ	111
18. Вырубка	111
19. Резка на ножницах	112
20. Резка пилами	112
21. Фрезерование по кофтуру	112

Изготовителю печатных плат очень важно иметь данные о материалах, с которыми он работает. В настоящее время большинство печатных плат изготавливается из сформированных под высоким давлением слоистых пластиков (ламинатов), имеющих с одной или двух сторон приклеенную медную фольгу.

Ламинатом называют пластик, состоящий из слоев волокнистого материала склеенных между собой с помощью термореактивной смолы под давлением и при повышенной температуре. Очевидно, в случае печатных плат, это должна быть диэлектрическая бумага, пропитанная фенольной или эпоксидной смолой или нетканая стеклоткань с непрерывными волокнами, склеенная компаундом на основе эпоксидной смолы. Ниже приводится короткое описание материалов, используемых для изготовления более 95% печатных плат. Обозначение марок материалов согласовано национальной ассоциацией электропромышленников NEMA.

1. Марки NEMA

ХХХРС. Этот материал изготовлен из высококачественной электротехнической бумаги, пропитанной фенольной смолой. Большинство печатных плат, используемых в радио- и телевизионных приемниках, приборах широкого потребления и в некоторых электронных измерительных устройствах, изготовлены на этой основе *).

FR-2. Буквы FR в обозначении пластика показывают, что материал огнестойкий, т. е., если кусок материала поместить в пламя, то он прекращает гореть как только его удалят из огня. В остальном эта марка материала аналогична марке ХХХРС. Используется материал в условиях огнеопасности и там, где запрещается применять воспламеняющиеся компоненты.

FR-3. Самогасящийся эпоксидно-бумажный пластик, первоначально разработанный для использования в ЭВМ.

*) В СССР подобные материалы получили название гетинаксов. (Прим. перев.)

G-10. Высококачественный пластик с превосходными электрическими и механическими свойствами широко используется в военном оборудовании, электронных измерительных приборах и в некоторых ЭВМ. Изготовлен из листов стеклоткани, склеенных эпоксидной смолой *).

FR-4. Свойства этого пластика-материала аналогичны свойствам G-10, кроме того, он обладает способностью к самогашению подобно пластику FR-2.

G-11. Пластик-материал из стеклоткани и эпоксидной смолы аналогичен материалу G-10, но имеет повышенную стойкость при высокой температуре. Например, если G-10, испытанный при $t = 150^{\circ}\text{C}$, имеет 10-кратное ухудшение электрических и механических показателей, по сравнению с комнатной температурой, то материал G-11 благодаря использованию специальных катализаторов сохраняет сопротивление изгибу при повышенной температуре. Согласно стандартам сопротивление изгибу, измеренное при $t = 150^{\circ}\text{C}$, должно сохраняться не менее чем на 50% при комнатной температуре. Практически, можно сказать, что изменение электрических свойств материалов G-11 происходит в такой же степени, что и сопротивление изгибу.

FR-5. Это огнестойкая разновидность материала марки G-11.

2. Обработываемость

Изготовление печатных плат из фольгированных пластиков в значительной степени зависит от основного материала основы. Пристальное рассмотрение влияния операции на основной материал служит критерием различия между качеством обработки. Обычно материалы на бумажной основе ХХХРС, FR-2 и FR-3 легче поддаются механической обработке, чем стеклопластики. Однако эти материалы по сравнению со стеклопластиком менее стойки к термудару и к воздействию активных веществ.

ПРОБИВКА ОТВЕРСТИЙ

3. Усадка материала на бумажной основе

При пробивке отверстий в пластиках на бумажной основе надо помнить, что эти материалы упруги и поэтому

*) В СССР подобные пластики называются стеклотекстолитом (Прим. перев.)

пробитое отверстие имеет несколько меньшие размеры, чем пуансон, которым пробито это отверстие. Величина деформации зависит от толщины материала. В табл. 3.1 приведены величины увеличения диаметра по сравнению с чертежными размерами отверстия с учетом допуска на него.

Таблица 3.1

Соотношение между толщиной
и размерами отверстий

Толщина материала, мм	Увеличение диаметра пуансона, мм
0,4	0,025—0,051
0,8	0,051—0,076
1,2	0,076—0,102
1,6	0,102—0,127
2	0,127—0,178
2,4	0,152—0,203
2,8	0,229—0,279
3,2	0,254—0,305

Эта таблица непригодна при проектировании инструмента для стеклопластиков, так как их усадка приблизительно в три раза меньше, чем в пластиках на бумажной основе.

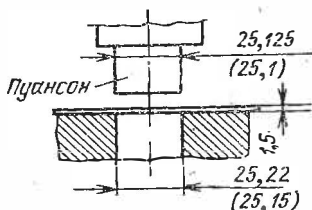


Рис. 3.1. Пример размеров матрицы и пуансона штампа для пробивки отверстия диаметром 25 мм в слоистом пластике толщиной 1,5 мм. Для других толщин материала см. табл. 3.1.

4. Допуски на пробитые отверстия

Если требуется точный допуск на размер отверстия, зазор между пуансоном и матрицей должен быть очень малым, т. е. отверстие матрицы должно быть больше только на 0,05—0,10 мм (рис. 3.1 и табл. 3.2).

На рис. 3.2 приведены сравнительные размеры пуансона и матрицы для пробивки отверстия диаметром 24,4 мм в пластике толщиной 1,6 мм.

Допуски для пластиков других размеров см. в табл. 3.1. Завышенные размеры инструмента вызваны усадкой материала.

Допуски для диэлектрических прессованных материалов на основе бумаги и ткани

Толщина материала, мм	Наполнитель	Допуск на размер отверстия, мм	Допуски на расстояние между отверстиями и пазами, включая горячештампующие *), мм				Допуски на габаритные размеры вырубаемых деталей, мм
			до 50,8 мм	50,8—76,2 мм	76,2—101,6 мм	101,6—127 мм	
До 1,6 включительно	Бумага	0,038	0,076	0,102	0,127	0,152	0,076
	Ткань	0,038	0,051	0,076	0,102	0,127	0,076
От 1,6 до 2,4 включительно	Бумага	0,076	0,127	0,152	0,178	0,203	0,127
	Ткань	0,051	0,076	0,102	0,127	0,152	0,102
От 2,4 до 3,2 включительно	Бумага	0,127	0,152	0,178	0,203	0,299	0,203
	Ткань	0,076	0,102	0,127	0,152	0,178	0,152

*) При пробивке отверстий в условиях комнатной температуры использовать $1/3$ данного допуска. Все допуски даны на \pm , т. е. симметричные.

Автору известны матрицы, сконструированные намеренно с зазором до $\pm 0,254$ мм. Такие штампы использовались там, где качественные требования допускали грубо обработанные отверстия. Это делалось по двум причинам. Во-первых, грубые зазоры выполняются более дешевыми штампами по сравнению со штампами для более точных

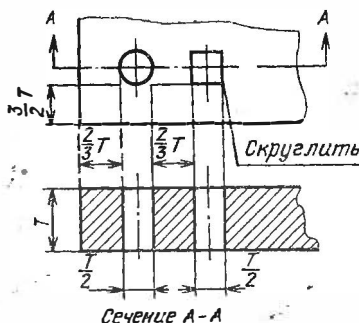


Рис. 3.2. Размеры и взаимное расположение пробиваемых отверстий относительно друг друга и краев платы для материалов на бумажной основе.

отверстий. Во-вторых, грубые зазоры дают соответственно больше растрескиваний. При этом получается отверстие слегка воронкообразной формы, что облегчает установку компонентов. В этом случае пробивка всегда ведется при положении платы фольгой вверх. Этот метод нельзя использовать при пробивке двухстороннего фольгированного материала из-за опасности отрыва контактной площадки.

5. Размещение отверстий и их размеры

Платы с отверстиями, расстояние которых от края платы или от другого отверстия приближается к толщине материала, весьма опасны в обработке из-за возможности брака. Следует избегать таких конструкций, а при малом расстоянии между отверстиями надо использовать максимально хорошо изготовленный штамп. Необходимо иметь жесткие зазоры между пуансоном и матрицей и между пуансоном и прижимом. Прижим должен создавать большое давление на материал перед входом пуансона. Если расстояние между отверстиями слишком мало, то даже при использовании самого лучшего инструмента между отверстиями могут появиться трещины. Если растрескивания превышают допустимую норму, технологический

процесс рекомендуется строить так, чтобы пробивка отверстий производилась перед травлением. Медь, армируя пластик, значительно уменьшает растрескивание.

6. Конструкция штампа

При конструировании штампов для пробивки можно добиться пробивки отверстий диаметром до $1/2$ толщины для пластика ХХРС и до $1/3$ толщины для FR-3 (рис. 3.2).

Отверстия диаметром $1/2$ толщины материала типа G-10 или даже большего диаметра на G-11 могут приводить к частой поломке пуансона. Если требуется высокое качество отверстий, то FR-5 не следует использовать.

Многие конструкторы штампов упускают из вида тот факт, что сила, требуемая для удаления пуансонов из пробитых отверстий, почти равна по величине силе самой пробивки. По этой причине усилие пружин прижима должно быть как можно больше (рис. 3.3), и самих пружин должно быть по возможности больше.

В тех случаях, когда не имеется достаточно места для размещения необходимого количества пружин, допустимо применение гидравлического механизма, подобного небольшому ударному амортизатору. Упругость его вызывается сжимаемостью содержащейся в нем жидкости. Данное устройство может обеспечить большее давление на ту же поверхность, чем винтовые пружины.

Расположение пружин должно обеспечивать равномерность прижима платы. Если плата снимается с пуансонов неровно, почти наверняка вокруг отверстий появятся трещины.

Отверстия наилучшего качества получаются, когда плата прижимается на мгновение раньше момента ввода пуансона. Если давление съемника приближается к пределу прочности на сжатие материала, т. е. к $1/2$ усилия пробивки и извлечения пуансонов, отверстия получаются очень чистыми. При частой поломке тонких пуансонов необходимо

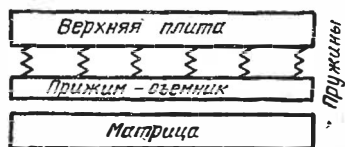


Рис. 3.3. Подпружиненный прижим.

определить, происходит ли она при пробивке или при выходе пуансона. Поломка запорного замка, удерживающего пуансоны, почти всегда вызывается механическими нагрузками при извлечении пуансонов. Чтобы избежать этого, нужно пуансонам придать небольшую конусность — не более $1,5^\circ$ на высоте порядка толщины пробиваемого материала. При такой конусности влиянием конуса на качество или размер отверстий можно пренебречь.

Другими двумя причинами поломки пуансонов являются недостаточная центровка, которую легко определить внимательным осмотром инструмента, и плохая конструкция штампа, т. е. слишком малый диаметр пуансонов. В последнем случае приходится отверстия сверлить, а не пробивать. Многие штампы конструируют с так называемыми козырьковыми съемниками вместо плит, нагруженных пружинами. В таком штампе съемник состоит из неподвижной плиты, смонтированной у матрицы на расстоянии, несколько превышающем максимальную толщину пробиваемого пластика. Очевидно, что такой прижим намного дешевле пружинного и полностью подходит лишь для работы с невысокими качественными требованиями. При наличии высоких требований к качеству конструкция штампа с пружинным прижимом предпочтительней.

7. Подогрев материала на основе бумаги

Часто пробивка пластиков на бумажной основе более качественна, если детали подогреты до $30\text{--}40^\circ\text{C}$. Такой подогрев дает хорошие результаты даже для так называемых холодноштампуемых материалов. При перегреве материала он начинает крошиться и частицы его не выталкиваются из пробитых отверстий. При этом часто забиваются отверстия матрицы, что ведет к поломке пуансонов. Конусность отверстий на обратной стороне матрицы может предохранить от этого, но наилучший путь — снижение нагрева при штамповке.

8. Поверхность отверстий в стеклопластике

Большинство пластиков на стеклоэпоксидной основе могут пробиваться; однако чистота поверхности стенок отверстий обычно не годится под металлизацию.

Под металлизацию отверстия необходимо сверлить.

9. Размеры пресса

Размеры пресса определяются усилием, развиваемым прессом за один удар. Производитель пластика материала может сообщить потребителю значение усилия среза для поставляемого материала. Ориентировочно это значение может быть 850 кг/см^2 для пластика на бумажной основе и 1400 кг/см^2 для пластика на основе стеклоткани. При умножении периметров всех штампуемых частей на толщину листа получаем площадь среза в квадратных сантиметрах, если все размеры в сантиметрах. Например, штамп пробивает 50 отверстий, каждое из которых имеет диаметр 2,5 мм или 0,25 см в пластике толщиной 1,5 мм, тогда $50 (\text{отверстий}) \times 0,25 \cdot \pi$ (периметр) $\times 0,15$ (толщина) = $5,9 \text{ см}^2$.

Для бумажного пластика с усилием среза 850 кг/см^2 это означает, что только для того, чтобы пуансоны прошли через пластик, необходимо усилие около 6 т, однако при использовании пружинного прижима пресс должен также преодолеть усилие пружин, которое, по крайней мере, равно усилию среза. Это означает, что минимальное усилие, развиваемое прессом, должно быть 12 т. Чтобы иметь запас, тоннаж пресса должен быть не менее 15 т.

При крайне высоких требованиях к качеству усилие пружин должно быть даже выше. При невозможности использования многотонных прессов можно использовать козырьковый съемник или пробивать пластик с предварительным нагревом, что уменьшает усилие среза и, следовательно, усилие, требуемое для съема плат.

СВЕРЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ

При малых партиях, когда нецелесообразно применять штамп или когда предъявляются более высокие требования к качеству отверстий, неудовлетворяемые пробивкой, отверстия необходимо сверлить. Вероятные допуски при этом показываются в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Допуски на диаметры отверстий при сверлении

Диаметр сверла, мм	Допуск (—), мм
До 0,238	0,051
0,238—6,35	0,076
Свыше 6,35	0,102

Обычно пластики на бумажной основе сверлятся довольно легко. При этом стойкость сверл из быстрорежущей стали достаточно велика.

10. Режимы сверления для пластиков на бумажной основе

Оптимальным при сверлении является угол при вершине сверла, равный примерно 100° (рис. 3.4).

Угол при вершине сверла около 70° , который является наилучшим для нефольгированного бумажного пластика, в то же время служит причиной появления заусенцев при

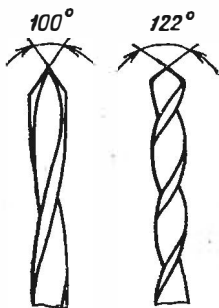


Рис. 3.4. Два типа сверл, используемых для сверления слоистых пластиков.

сверлении фольгированного пластика (рис. 3.4). Величина подачи должна соответствовать скорости сверления, чтобы толщина срезаемой за один оборот стружки была около $0,05$ мм, или, иначе говоря, подача должна быть $0,05$ мм/об сверла. При этом получается качественная обработка отверстий и достаточная стойкость сверла.

11. Режимы сверления для стеклопластика

При сверлении стеклоэпоксидных пластиков сверла из быстрорежущей стали и даже сверла специально для этого хромированные или азотированные не обладают достаточно большой стойкостью. Поэтому рекомендуется применять твердосплавные сверла. При сверлении стеклопластика толщиной $1,5$ мм такие сверла имеют стойкость

от 10 000 до 30 000 отверстий для G-10 или FR-4 и от 2000 до 15 000 отверстий для FR-5 или G-11 в зависимости от предъявляемых к ним требований.

Согласование скорости сверления с подачей более важно для стеклоэпоксидных пластиков, чем для бумажных. Сверло в процессе сверления должно снимать стружку равномерно. Это позволяет избежать вибрации и таким образом уменьшает истирающее (абразивное) действие частиц материала на режущие кромки сверла. Практикой подтверждается, что удовлетворительной является подача от 0,01 до 0,04 мм/об.

Рассмотрение геометрии рабочей части сверла является настолько сложным и противоречивым вопросом, что нет возможности детально описать его здесь. Однако можно сказать, что в основном угол сверла при вершине должен быть $122 \pm 7^\circ$, и что удовлетворительным является высоко-спиральное сверло. Все углы и кромки должны быть тщательно проверены микроскопом, чтобы удостовериться, что режущие кромки и углы симметричны. Читатель, желающий изучить вопрос более детально, может обратиться к литературе, поставляемой изготовителями сверл, и к серии статей, посвященных сверлению и оснастке в журнале «Tooling and Production Magazine», Oct., 1958, стр. 59.

12. Материал подкладки

В идеальном случае для подкладки должен употребляться материал, аналогичный по механическим свойствам обрабатываемому. Это особенно важно, если подача на станке контролируется давлением, испытываемым сверлом при сверлении.

К сожалению, стеклопластики слишком дороги для употребления их в качестве подкладок и увеличивают количество нежелательной стружки, поэтому во многих случаях удовлетворяются использованием дешевых пластиков X или XR, которые все же предпочтительней фанеры. Если печатные платы зажаты в кондуктор и сверлятся пакетом из трех или более плат, рабочий ход сверла должен заканчиваться на половине толщины нижней платы, которая затем становится первой в следующем пакете. Таким образом, отпадает необходимость в специальной подкладке.

В настоящее время имеется много хороших станков: многошпиндельных, с программным управлением и т. п. В выборе станка надо руководствоваться следующими соображениями:

1. Метод контроля подачи. Может ли подача быть согласована со скоростью, как указано выше?

2. Надежны ли системы подшипников? Подшипники должны обладать высокой стойкостью при больших скоростях. Подшипники должны быть также защищены от абразивного воздействия пыли, образующейся при сверлении стеклопластиков.

3. Особенно полезно применение прижима в зоне резания, если давление, развиваемое им, достаточно для преодоления легкой покоробленности платы, происходящей в результате различных нагреваний, которым подвергается плата на предыдущих операциях.

4. При использовании особо сложного оборудования с программным управлением, многошпиндельной головкой и т. д. необходимо добиваться от изготовителя оборудования, чтобы последнее работало в пределах требуемой точности.

Все вышеуказанные положения направлены на получение сверленных отверстий высокого качества, необходимых для последующей металлизации. Если к металлизированным отверстиям предъявляются очень высокие требования, можно рекомендовать для снятия микронеровностей в отверстиях и вокруг их краев применение дополнительной доводки.

РЕЗКА ПЛАСТИКОВ НА БУМАЖНОЙ ОСНОВЕ

Печатные платы для получения контура обрабатываются вырубкой, вырезанием на ножницах, резкой пилой или фрезерованием.

14. Вырубка

Когда конфигурация плат не прямоугольная и объем выпуска достаточно велик, чтобы окупить изготовление штампа, платы вырубаются из листов с помощью вырубного штампа.

Вырубке хорошо поддаются пластики с бумажным наполнителем, но иногда она применяется и к стеклопластикам, хотя платы из стеклопластика толщиной более 1,5 мм могут иметь края, портящие их товарный вид.

Миллионы плат для ЭВМ успешно вырубаются из пластика FR-3. При конструировании вырубного штампа для бумажного пластика упругость или усадка материала предварительно рассматривается при пробивке отверстий. Вырубленная плата должна быть несколько больше, чем вырубавший ее пуансон, а следовательно, размеры пуансона должны несколько превосходить размеры платы в зависимости от толщины материала.

Иногда используется комбинированный штамп для вырубки платы и пробивки отверстий. При очень сложной конфигурации можно рекомендовать шаговый штамп, в котором материал перемещается на шаг после каждого удара.

Обычно первые, одна или две стадии заключаются в пробивке отверстий, а последняя — в окончательном обрезке платы по контуру.

Качество плат, изготавливаемых из бумажных пластиков путем резки, пробивки или вырубки, может быть улучшено предварительным подогревом. Даже если производитель пластика оговаривает холодную обработку, он не имеет в виду 10 или 15° С, а по меньшей мере 20° С, но 25 или 35° С были бы еще лучше. Осторожность должна соблюдаться при нагреве свыше 40° С, поскольку коэффициент термического расширения может оказаться очень большим и усадка при охлаждении может быть такой, что размеры платы выйдут за предел допусков. Пластики на бумажной основе анизотропны (т. е. неодинаково расширяются во взаимноперпендикулярных направлениях в зависимости от линейных размеров) по отношению к термическому расширению, и необходимо учитывать данные производителя по коэффициенту термического расширения перед конструированием штампа для плат с жесткими допусками. Однако при этом следует помнить, что точность этого значения, по-видимому, не выше чем $\pm 25\%$.

15. Резка на ножницах

Если позволяет форма платы, то ее края можно обрезать на ножницах. При этом зазор между лезвиями может быть равен 0,025 мм, а угол между ними не более 1 $\frac{1}{2}$ °.

Слишком широкий зазор даст грубые края, а завышенный угол может вызвать трещины при резке пластика на бумажной основе.

16. Резка пилами

Пластики на бумажной основе труднее поддаются распиловке, чем наиболее твердые породы дерева, поэтому необходимо принять несколько особых предосторожностей для поддержания долговечности пилы.

Распиловка пластиков на бумажной основе лучше всего осуществляется циркулярной пилой. Необходимо использовать пилы с числом зубьев 4—5 *шт/см* диаметра при скорости резания 2000—3000 *м/мин*. Более ровный срез дают дисковые пилы с затылованным зубом. Из-за абразивной природы пластиков, весьма быстро окупаются пилы с твердосплавными зубьями из сплава типа *Carbolyou* (рис. 3.5). При недостаточной стойкости пилы следует пользоваться нижеприведенными наставлениями,

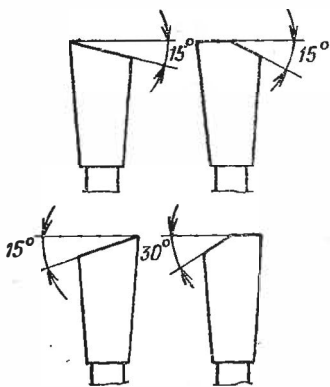


Рис. 3.5. Две наиболее часто используемые формы зуба дисковых пил для резки слоистых пластиков.

что позволит повысить их стойкость в 4—5 раз:

1. Проверьте подшипники на жесткость. Ощутимого люфта в них быть не должно.

2. Проверьте диск пилы на радиальные биения. Биения порядка 0,1—0,15 *мм* могут оказаться значительными.

3. При использовании пилы с твердосплавными зубьями, проверьте зубья через увеличительное стекло, чтобы убедиться в том, что для его заточки был использован алмазный круг зернистостью не грубее 180. Слишком грубая зернистость снижает заостренность зубьев в два раза.

4. Если диск пилы довольно тонкий, используйте зажимные шайбы для уменьшения возможной вибрации.

5. Используйте массивные шкивы с несколькими клиновидными ремнями. Вращающиеся детали системы должны

иметь достаточный момент для завершения разрезки без изменения скорости.

6. Проверьте соосность монтажа оправки и мотора.

17. Фрезерование по контуру

Если плата имеет не прямоугольный контур, а объем продукции не позволяет использовать вырубной штамп, то она вырезается по шаблону на фрезерном станке с ручной подачей. Необходимо помнить, что и здесь использование твердосплавного инструмента окупается за счет абразивности пластика.

Фрезерование по контуру с ручной подачей требует больших затрат труда, чем резка на ножницах или вырубка, хотя стоимость инструмента намного ниже стоимости вырубного штампа. При этом качество торцов значительно выше, чем при использовании любых других методов и при этом печатные проводники могут быть расположены весьма близко к краям.

Трещины и лохмотья краев при фрезеровании исключены.

РЕЗКА СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

В зависимости от условий работы стеклопластики могут быть обработаны распиловкой, на ножницах, вырубкой, либо фрезерованием.

18. Вырубка

Сложные формы плат, которые трудно получить резкой на ножницах или распиловкой, либо вырубают, либо фрезеруют. Вырубка стеклопластиков всегда производится при комнатной температуре. Допуская небольшой зазор между режущими частями пуансона и матрицы, можно получить деталь примерно на 0,025 мм превосходящую размеры пуансона. Штампы конструируются таким образом, чтобы вырубленная деталь-плата удалялась из него после вырубки, а не выталкивалась следующей платой, как это часто делают при вырубке пластика на бумажной основе. При вырубке материала толще 1,5 мм платы могут иметь грубые края и приобретают нетоварный вид. Если печатные проводники не располагать близко к вырубным краям, то

платы могут быть совершенно качественными с функциональной точки зрения.

Когда инструмент изношен настолько, что зазоры велики для качественной вырубki, его можно восстановить твердым хромированием, если сложность контура позволяет изготовить соответствующий анод без больших затрат.

19. Резка на ножницах

Хотя обработка стеклопластиков труднее по сравнению с пластиками с бумажным наполнителем, их резка на ножницах гораздо проще с точки зрения их сохранности. При использовании ножниц с более твердыми (закаленными) лезвиями можно производить резку по инструкциям для резки бумажных пластиков.

Главное отличие заключается в том, что угол между лезвиями $3-4^\circ$, который не вредит стеклоэпоксидному пластику, вызывает брак при резке пластика на бумажной основе (без подогрева).

20. Резка пилами

При значительном объеме выпуска могут быть использованы пилы, оснащенные зубьями из твердого сплава (*Carbology*). Дополнительные вложения на алмазный инструмент также могут довольно быстро окупаться. Производители поставляют рекомендации по скорости резания, причем большинством рекомендуется линейная скорость зубьев 4500 м/мин . При использовании для резки стеклопластиков циркулярных пил, оснащенных твердосплавными зубьями из сплава типа *Carbology*, можно руководствоваться инструкциями для резки пластиков на бумажной основе. При этом следует помнить, что при распиловке стеклопластиков допуски на биение, вибрацию и другие требования становятся более жесткими.

21. Фрезерование по контуру

Платы обрабатывают фрезерованием в тех случаях, когда объем продукции мал или требуется более качественная обработка краев, чем та, которая может быть получена после вырубki. Автор полагает, что фрезерный станок мощностью $1/2 \text{ л. с.}$, имеющий: линейную скорость фрезы 4500 м/мин при 1500 об/мин фрезы со вставными твердосплавными зубьями, будет достаточно эффективным.

ПЕРЕНОС ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ПЛАТУ

Эдвард Ф. Даффин и Эрнест Армстронг

*фирма «Фэрчайлд
Семикондактор», Пало Альто, Калифорния, США*

ВВЕДЕНИЕ	114
ПРИГОТОВЛЕНИЕ ФОТОПЛЕНОЧНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ	115
1. Фотокамера	115
2. Фотопленка	118
3. Фотолаборатория	119
4. Изготовление фотопленочного изображения	121
5. Проверка готовой фотосхемы	123
ПОДГОТОВКА ПЛАТЫ К НАНЕСЕНИЮ СХЕМЫ	123
6. Очистка парами растворителя	124
7. Механическая зачистка	124
8. Крацевание	125
9. Промывка	125
10. Химическая очистка	126
11. Декапирование	127
ФОТОРЕЗИСТЫ	128
12. Общая часть	128
13. Выбор резиста и типичные технологические процессы	129
14. Нанесение фоторезистов	139
15. Предварительное задубливание	145
16. Печать (экспонирование)	146
17. Проявление	149
18. Окончательное задубливание	150
19. Удаление резиста	150
20. Оборудование лаборатории	151
СЕТКОГРАФИЯ	151
21. Общая часть	151
22. Изготовление трафарета	152
23. Шелкографические рамы	155
24. Шпатели	156
25. Сетки	157
26. Резистивные смолы	159
27. Трудности при сеткографической печати	162
28. Сеткографическая печать вручную	163
29. Машинная сеткографическая печать	165
ОФСЕТНАЯ ПЕЧАТЬ	168
Литература	169

ВВЕДЕНИЕ

Важным начальным этапом в производстве печатной платы является перенос рисованной или сфотографированной схемы расположения проводников на фольгу. Простейший способ прямой печати и травления предполагает нанесение на фольгу резиста в виде позитивной схемы. Непокрытые участки фольги подлежат удалению путем химического травления. Резист, удаляемый после травления, обнажает заданную схему, выполненную в фольге.

По другому способу резистом покрывают участки фольги, не входящие в схему (негативная печать). Непокрытые участки фольги зачищают и гальванически покрывают каким-либо защитным металлом. При этом покрывают и стенки отверстий, подлежащих металлизации. Затем органический резист удаляют, и при травлении меди резистом служит уже предварительно нанесенное металлическое покрытие (припой, золото, олово — никель и др.).

В общем случае при необходимости получения высокого разрешения в схеме желательно применять органические резисты. Необходимым для них условием является их химическая стойкость и размерная стабильность во всех растворах, применяемых в процессе.

Выбор метода печати резиста зависит как от чисто технических (серийность, степень разрешения, производительность), так и от экономических факторов.

Наивысшего разрешения можно добиться при применении фоторезистов, используемых обычно на этапе исследовательских разработок или в мелкосерийном (10—15 шт.) производстве. Степень разрешения при прямой печати позитива и травления зависит от толщины фольги. Типичными параметрами схем, выполняемых на полуунциевой или унциевой медной фольге, являются — ширина проводников 0,13 мм, расстояние между ними 0,13 мм. Более высокое разрешение возможно при применении более точных материалов, например, на тонких или напыленных металлических пленках.

Печатные резисты в условиях крупносерийного производства обеспечивают на полуунциевой или унциевой мед-

ной фольге разрешение от 0,254 до 0,281 мкм. С экономической точки зрения, особенно при высокой производительности, печатные резисты предпочтительнее фоторезистов.

Что касается офсетной печати резистов, то она в наибольшей мере удовлетворяет требованиям высокопроизводительных дешевых процессов, в которых вопросы качества печати отходят на второй план.

Эта глава рассматривает различные виды резистов и способы нанесения изображения на фольгу. Печать изображения на фольгу включает в себя зачистку, нанесение фоторезиста или шелкографическую печать резиста, экспонирование, травление и задубливание. Перед зачисткой фольги и нанесением резиста необходимо изготовить и тщательно проверить трафарет (пленку). Ниже рассмотрены вопросы, касающиеся изготовления трафаретов для нанесения резиста.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ФОТОПЛЕНОЧНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Позитивные и негативные пленочные изображения служат трафаретами для фоторезистов как в сеткотрафаретной, так и в литографской печати. Целью последующих операций является перенос до мельчайших подробностей изображения, полученного на пленке. Качество работы и возможность получения высокого разрешения зависят в первую очередь от применяемой аппаратуры и оборудования лаборатории.

1. Фотокамера

Фотокамера должна обладать следующими достоинствами:

жесткой тяжелой конструкцией на мягкой подвеске; бездисторсионным объективом с плоским полем изображения; мощной системой подсветки для освещения фотобелка; просветным экраном (это лучший способ борьбы с расплывчатыми краями, особенно при изготовлении масок, позволяет достигнуть коэффициента контрастности порядка 1000 : 1, в то время как прямое освещение фотобелка обеспечивает лишь 50 : 1); как можно большим размером экрана, максимально возможной степенью уменьшения; желательна ее варьирование в наиболее широких пределах.

Большинство фотобелков изготавливают не выше чем с 8-кратным увеличением по сравнению с размерами готовой фотопленки. Когда фотокамера допускает лишь 4-кратное уменьшение, то сначала делают 4-кратное, а затем 2-кратное уменьшение. Первое уменьшение должно быть максимально возможным.

Для получения конечной фотопленки с размерами $101,6 \times 127,0$ мм при 8-кратном уменьшении требуется экран с полезной площадью 813×1016 мм. А если точность пленочного изображения лежит в пределах стандартного допуска $\pm 0,13$ мм, обычно применяют 2- или 4-кратное уменьшение с фотобелка, выполненного с точностью $\pm 0,25$ мм. При этом для получения такой же платы потребуется экран с размерами лишь 406×508 мм. Можно при этом использовать меньшее по размерам и более дешевое оборудование. Можно использовать и фотокамеры с размерами экрана 533×635 мм и 1016×1219 мм, имеющиеся в продаже.

Предполагаемые максимальные размеры пленок нельзя рассматривать без учета достижимой степени уменьшения. Максимально возможную степень уменьшения можно вычислить по формуле

$$R = (V - F)/F,$$

где R — максимально возможная степень уменьшения; V — максимальное расстояние от объектива до фотобелка; F — фокусное расстояние используемого объектива.

Очевидно, что максимально возможная степень уменьшения достижима при применении объективов с меньшим фокусным расстоянием. Однако для уменьшения искажений и из-за других соображений оптического плана предпочтительно применение длиннофокусной оптики. Объектив с фокусным расстоянием 267 мм для получения 4-кратного уменьшения требует удаления на 800 мм. На обычных, имеющихся в продаже фотокамерах, можно получить 7-кратное уменьшение при применении короткофокусной оптики и искусственном удлинении станины. Фотокамера в производстве печатных плат общего применения должна иметь:

1. По крайней мере, 4-кратное (линейное) уменьшение.
2. Просветленный, ахроматический, плоскорисующий объектив.

3. Экран с полезной площадью не менее чем 406×508 мм.

4. Устройство для зажима фотобелков, обычно вакуумного типа; для уменьшения искажений плоскости фотобелка и фотопленки должны быть параллельны.

5. Тяжелую жесткую конструкцию на мягкой подвеске, с цельнолитыми передвижными держателями для собственно камеры и экрана (их взаимное перемещение необходимо при фокусировке на каждой требуемой степени уменьшения).

6. Возможность осуществления фокусировки от собственно фотокамеры.

7. Переменное относительное отверстие объектива посредством диафрагмирования. Это необходимо для избежания явлений дифракции и для исправления остаточных искажений объектива.

8. Автоматическое управление затвором.

9. Матовое стекло для контроля фокусировки.

10. Возможность осуществления, по крайней мере, 2-кратного увеличения при съемке для проведения корректировки. Например, при съемке в масштабе $1 : 1$ можно осуществить незначительное увеличение для компенсации в последующем возможного эффекта подтравливания. Таким же образом можно компенсировать равномерную усадку фотобелка.

11. Прямое освещение экрана прожекторами, по крайней мере, с двух сторон. Обычно их располагают под углом не менее 45° к плоскости экрана таким образом, чтобы углы падения лучей света на экран и интенсивность источников освещения с обеих сторон были одинаковыми. Теоретически самая равномерная освещенность экрана достигается при наибольшем удалении прожекторов. На практике же используют расстояния, обеспечивающие как равномерность освещения, так и приемлемо большое время экспозиции. Для обеспечения отсутствия бликов на фотобелке угол между оптической осью фотокамеры и пучком света должен быть не менее 45° . В качестве источников света обычно применяют лампы-фары, подавая на них заниженное автотрансформатором напряжение. Это решение позволяет снизить излучаемое тепло и слепящий блеск прожекторов во время настройки и быстро установить требуемую яркость. В дальнейшем установленную степень яркости менять не следует. Для получения наилучшего изображе-

ния на данном типе пленки следует варьировать время экспозиции и значение диафрагмы. Оптимальные результаты для большинства объективов дает применение монохромного освещения. Например, зеленый свет устраняет хроматическую аберрацию, обеспечивает наилучшие условия для объектива и упрощает фокусировку.

2. Фотопленка

Фотопленка должна быть мелкозернистой, очень контрастной, штриховой, с низкой чувствительностью и высокой разрешающей способностью. Технологические особенности фотопленок подробно описаны в специальной литературе. Обычно применяют ортохроматические материалы (за исключением работ, требующих особенно высокой разрешающей способности), чувствительные к зеленой, но не чувствительные к красной части спектра. Это свойство позволяет пользоваться красным безопасным освещением, в то время как панхроматические материалы требуют полной темноты. Для очень точных работ, требующих максимальной размерной стабильности, лучше применять фотопластинки на стеклянной подложке. В связи с этим возникает необходимость в кассетах для фотокамеры. Кроме того, при использовании фотопластинок возникают проблемы обеспечения надлежащего контакта при печати. Коробление и шероховатости фольгированного материала, заусенцы от обрезки, неравномерность толщины — все это приводит к неплотному контакту при печати на фоторезистах, в результате чего косые лучи света могут снизить ожидаемую степень разрешения. Фотопленки на полиэфирных подложках, будучи подвергнуты термостабилизации, являются прочными, твердыми, размерно стабильными и гибкими, плотно прилегающими к любой поверхности.

Освещение комнаты, предназначенной для хранения и обработки пленок, должно осуществляться необходимым и достаточным количеством безопасных светильников, оборудованных надлежащими фильтрами. Определению эффективности и численности таких светильников могут помочь простые экспозиционные пробы, проводимые в разных местах комнаты на той же пленке, с которой собираются работать. Проявление фотоматериалов также необходимо проводить при «безопасном освещении».

С негатива, полученного фотографированием позитивного фотобелка, можно контактной печатью получить позитивный контратип. Он, в свою очередь, может быть использован для получения дополнительного количества негативов тем же методом контактной печати. Оборудование для этого процесса просто и дешево. Необходим точечный источник света с регулировкой яркости и с таймером. Рекомендуемое расстояние от источника света до плоскости печати не менее 1,2 м. Большее расстояние еще лучше, так как позволяет выравнивать экспозицию при одном и том же значении яркости источника. Желательно аппарат оборудовать поворотной вакуумной рамкой. Экспозиция благодаря высокой яркости источника света невелика. Кстати, это обстоятельство может также и снизить чувствительность пленки.

Весь запас пленки рекомендуется хранить в нераспакованном виде в холодильнике при низкой относительной влажности окружающего воздуха. Пачки, которые будут нужны для работы, в тот же день следует вытащить из холодильника, подогрев их до комнатной температуры. Эта мера предохранит открытые фотоматериалы от запотевания. Поэтому нужны некоторые промежуточные хранилища для пленки, например выдвижные ящики или ящики любого другого типа, лишь бы они были светонепроницаемыми. Рекомендуются стальные шкафы-стойки с выдвижными светонепроницаемыми ящиками. Фотобелки и готовые позитивы нужно также хранить в чистых стальных ящиках, только условие светонепроницаемости в этом случае не является обязательным. Эти шкафы можно располагать в кондиционированном помещении непосредственно вблизи фотокамеры.

3. Фотолаборатория

Оборудование типовой фотолаборатории представлено на рис. 4.1. Необходимые параметры кондиционирования $20^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ и 50% относительной влажности. Приток фильтрованного воздуха из кондиционера обеспечивает некоторое постоянное избыточное давление. Это не позволяет пыли проникнуть в лабораторию. Необходимо установить светозащитные отдушины для стравливания избыточного воздуха. Кондиционер, насос и моторы должны быть смонтированы по возможности дальше от лаборатории на тяже-

льных независимых (изолированных от пола здания) бетонных основаниях на собственном фундаменте. Компрессоры и другие потенциальные источники вибраций также нужно разместить как можно дальше от фотокамеры, установив их для снижения уровня вибрации на собственные фундаменты. Эти меры необходимы для получения высокого разрешения при фотографировании. Пленка, обычно приме-

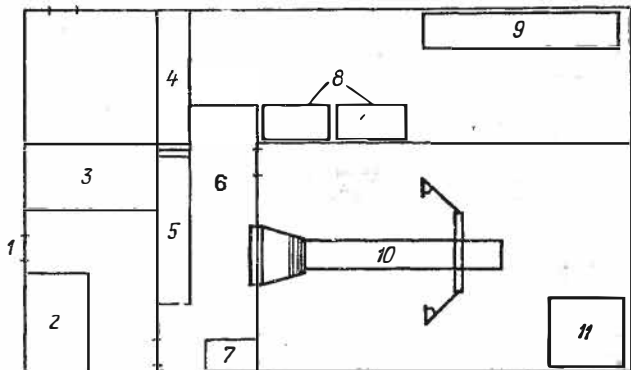


Рис. 4.1. Оборудование фотолаборатории.

1 — транспарант при входе; 2 — документатор; 3 — станок для контактной печати; 4 — полка; 5 — ванны для лабораторной обработки; 6 — сушилка; 7 — шкаф для хранения фотошленки; 8 — полки для хранения фотобелков; 9 — полки для хранения негативов и позитивов; 10 — фотокамера; 11 — координатнограф.

няемая при фотографировании, требует значительного времени экспонирования, и при этом любая вибрация скажется на фотоаппаратуре и в конечном счете на пленке.

Пол в лаборатории должен быть кафельным или линолеумным, что позволило бы проще удалять пыль. Для содержания полов, полок и пр. в чистоте следует пользоваться каким-либо хорошим пылесосом, например пылесосом с водяным затвором. Всякое лишнее расхаживание по лаборатории должно быть ограничено. Полезно на входе в лабораторию повесить решетку или занавеску (ее тоже нужно содержать в чистоте).

Вода для приготовления рабочих растворов должна быть дистиллированной или деионизированной и профильтрованной. Для промывок предпочтительна деионизированная фильтрованная вода, однако для этой цели может

подойти и водопроводная вода после соответствующего фильтрования. Обычно применяемая для промывок водопроводная вода может из-за присутствия в ней нерастворимых частиц стать причиной получения царапанного или загрязненного фотоизображения. Избежать этого явления можно при применении фильтров тонкой очистки.

В темной комнате все, включая двери, щели, вентиляционные отверстия, окна, светящиеся выключатели, должно быть светомаскированным. Дверь в это помещение должна иметь замок, запираемый изнутри, чтобы предотвратить случайное открывание двери во время обработки пленки.

Все управление освещением, настройкой и затвором камеры можно расположить в темной комнате непосредственно за фотокамерой. Обычно точно такой же пульт управления располагают с другой стороны фотокамеры. Неплохо вывести ручки управления общим освещением фотокамеры и прожекторами тоже в темную комнату. Те же требования предъявляются и к размещению органов управления просветным экраном.

4. Изготовление фотопленочного изображения

Ниже изложены типичные стадии приготовления фотопленочного изображения для фотографирования белка при прямом освещении.

1. Фотобелок получить и занести в альбом, подписанный ОТК. Для проверки фотобелка мастер ОТК обычно пользуется координатографом, установленным в той же фотолаборатории.

2. Приготовить индексационную этикетку для наклейки на готовый негатив.

3. Включить малый свет прожекторов.

4. Приготовить фотокамеру: *а* — экран и объектив подготовить к работе на заданном уменьшении; *б* — подготовить экспозиметр для работы на заданном уменьшении; *в* — подготовить к работе затвор; сделать все приготовления для фотографирования схемы с тонкими проводниками.

5. Включить вакуумный насос оригиналодержателя.

6. На экране разместить чистый белый лист бумаги.

7. Белок без складок и морщин наложить на лист бумаги.

8. Накатать на поверхность фотобелка лист майлара *). Майлар должен прилегать к фотобелку плотно и без морщин. Приготовив фотокамеру, следующие операции проводят в темной комнате.

9. Приготовить проявитель, стоп-ванну, фиксаж и прочие необходимые растворы. Работать в перчатках, затем вымыть и просушить руки.

10. Выключить общее освещение в помещении фотокамеры во избежание образования бликов на фотобелке.

11. Закрыть темную комнату, включив в ней красный свет. Тот же выключатель должен зажечь красный сигнальный свет снаружи этой комнаты. Ослабить общий свет в помещении фотокамеры для облегчения фокусирования и размещения изображения в центре матового стекла. После этого общее освещение погасить полностью.

12. Снять стекло и навесить вакуумную прижимную раму.

13. Поместить пленку в центре рамки.

14. Включить вакуумный насос и прижать пленку.

15. Закрыть заднюю крышку кассеты.

16. Нажать кнопку автоматического управления экспозицией.

17. Сразу после съемки пленку вынуть из камеры и проявить, не дотрагиваясь до нее пальцами.

18. После проявления и промывки высушить пленку при комнатной температуре в обеспыленном сушильном отделении.

19. Сразу после сушки на край пленки приклеить этикетку.

20. Этот негатив предназначен для контактной печати позитивов, которые могут быть использованы как промежуточные изображения для дальнейшего уменьшения фотографированием, как было описано выше. Когда в производстве плат используется негатив, необходимо перевернуть изображение для получения правильной схемы.

21. Если в работе используют базовые технологические отверстия, пленку пробивают прямо в фотолаборатории.

22. Фотобелок снять и зарегистрировать для хранения.

23. Фотопленки вложить в защитный конверт, направить на следующий этап производства, кроме контроль-

*) Патентованное название фирмы «Дюпон Компани».

ного экземпляра. Контрольный экземпляр не должен выходить за пределы фотолаборатории.

Если позволяют размеры, с контрольного экземпляра пленки делают контратипы для проверки возможной усадки или растяжения.

Возникающие осложнения чаще всего бывают следствием неправильной экспозиции или лабораторной обработки, попадания пыли, твердых частиц в рабочих растворах, засветки, слишком быстрой сушки, отпечатков пальцев, неточной фокусировки или вуалирования пленки.

5. Проверка готовой фотосхемы

Негатив необходимо проверить и отретушировать, поскольку каждый его дефект будет точно воспроизведен впоследствии при печати на фольге. Путем небольших изменений из негатива можно иногда получить другую схему.

Дефекты негатива обычно бывают двух видов; это или темные точки на прозрачных участках, приводящие к так называемым проколам резиста, или светлые участки на проводниках.

Черные точки на прозрачных участках удаляют со стороны эмульсии. Светлые участки на темных полях исправляют ретушированием.

Теперь пора приступить к плате. Первое, что нужно сделать, это очистить заготовку.

ПОДГОТОВКА ПЛАТЫ К НАНЕСЕНИЮ СХЕМЫ

Самый главный источник всех затруднений при печати, травлении и нанесении гальванического покрытия — неполная очистка поверхности перед нанесением резиста. Результатом могут явиться плохая адгезия резиста (фото-резиста), проколы, неполное травление (могут остаться после травления ненужные участки меди), отслаивание и прочие дефекты. Все ручные операции над платой с самого начала нужно проводить в чистых перчатках. Отпечатки пальцев «въедаются» в поверхность и являются причиной отслаивания резиста или гальванического покрытия.

Основные операции очистки изложены ниже.

6. Очистка парами растворителя

Масляные и грязные пятна, внесенные предшествующими операциями, можно с фольгированных диэлектриков удалять парами растворителей. Теми же средствами можно смыть смазку, наносимую на фольгу для предотвращения ее прилипания к плитам пресса при производстве фольгированных диэлектриков. Особенно трудно, если вообще возможно, удалять силиконовые смазки. Поэтому они и не нашли широкого применения.

Существуют два распространенных растворителя для очистки паром — трихлорэтилен (ТХЭ) и перхлорэтилен. ТХЭ применяют при низкой температуре $+90 \pm 5^\circ \text{C}$.

Время погружения бывает различным, но нормальным можно считать 2 мин. ТХЭ должен быть чистым и обезвоженным.

При таком способе очистки возможно набухание адгезионного слоя между фольгой и диэлектрической подложкой. При разработке и внедрении такого процесса необходимо измерять адгезию и силу сцепления до и после операции очистки или аналогичных по силе воздействия операций.

Необходимо также предохранить и работающего от воздействия теплых ядовитых испарений растворителя. Поскольку растворитель эффективно удаляет жиры, контакт с его парами или с жидкой фазой может вызвать раздражение кожного покрова. Хотя охлаждающий змеевик и ограничивает распространение паров растворителя, они выходят в окружающий воздух при вынимании платы. Лучшая практическая защита персонала от паров растворителя — это решение расположить очистное оборудование под скафандром и заблокировать подогрев таким образом, чтобы он выключался при прекращении подачи охлаждающей воды. Другой мерой предосторожности может служить расположение термодатчика автоматической системы подогрева выше охлаждающего змеевика.

7. Механическая зачистка

Следующим этапом является механическая зачистка. Если плата должна быть просверлена с последующей металлизацией отверстий, ее следует отшлифовать. Эту операцию

проводят пневматическим виброшлифовальным инструментом с использованием водостойкой шлифовальной бумаги зернистостью от № 4 до 20 *). Таким способом снимаются мелкие шероховатости поверхности фольги и обеспечивают лучшие условия адгезии резиста и последующего гальванического покрытия. В общем случае, если не проводить матирования блестящей поверхности фольги, это приводит к отслаиванию резиста и гальванического покрытия.

8. Крацевание

Крацевание проводят после шлифования (для плат с последующей металлизацией отверстий) или после очистки парами растворителя (для плат, не подвергаемых сверлению). Зачистку проводят пневматической круглой щеткой при помощи слабощелочного раствора **) и порошка пемзы. Лучше выбирать облегченное оборудование. Скорость вращения должна быть не очень высокой, чтобы абразив удерживался на щетке. Обработку проводят мокрым способом, уложив заготовку платы на тяжелую резиновую подкладку и не нажимая или почти не нажимая щеткой на поверхность заготовки. В качестве подкладки можно также использовать водостойкую шлифовальную бумагу, уложенную на плоскую металлическую плиту.

9. Промывка

Если есть возможность, следует предпочесть промывку платы сильной струей деионизированной воды. В других случаях используют чистую водопроводную воду. Затем платы высушивают струей воздуха или окунают в изопропиловый спирт с последующим самопроизвольным высыханием на воздухе. При использовании спирта и ацетона следует быть осторожным в отношении пожароопасности и вредности этих веществ для здоровья работающих. Необходимо усилить общепринятые меры техники безопасности.

*) По ГОСТ 3647—59. (Прим. перев.)

**) Например, щелочного очистителя фирмы «Алконокс Инкорпорэйтед», Нью-Йорк, Н.-Й.

В зависимости от тонкости предстоящей работы по воспроизведению схемы, могут быть использованы и другие методы промывок, например промывка в сочетании с ультразвуком. Например, в производстве микросхем применяют до пяти последовательных приемов промывки.

10. Химическая очистка

Химическую очистку проводят вслед за механической как на фольгированных, так и на нефольгированных поверхностях диэлектрической подложки. Независимо от необходимости проведения механической зачистки, химическая нужна в любом случае. Сначала идет щелочная очистка. Чаще всего для этой цели используют вещества с избирательным действием на металл. Концентрация обычно колеблется от 25 до 75 г на 1 л (номинально 50 г/л) при температуре от 65 до 80° С. Обычно используют легко достижимую температуру 73° С, если только на заготовке нет крупных масляных пятен. При более высоких температурах требуются частые добавки воды, компенсирующие потери на испарение. Обычно используют ванны из простой или нержавеющей стали. Покупные очищающие смеси состоят большей частью из фосфатов (тринатрий фосфат), натриевой соды, натриевой щелочи, добавок для увеличения смачиваемости и моющих добавок. Применимы простейшие средства аналитического контроля. Поскольку моющие смеси дешевы, при малейшем признаке истощения раствора обычно составляют новый. При тех же условиях распространена и электроочистка. Покупные растворы требуют подключения заготовки к аноду или катоду (последнее предпочтительнее) или любой из способов подключения на постоянном токе. При электрозачистке выделяются большие количества газа (H_2 на катоде, O_2 на аноде), обеспечивающие бурное перемешивание жидкости вблизи очищаемых поверхностей и, как следствие, хорошую очистку. Следует заметить, что при подключении к катоду можно также удалить инородные металлические включения. Эти включения держатся очень слабо. И это лишний довод в пользу частой замены раствора. Время погружения в очищающий раствор зависит от природы загрязнения, температуры, состава раствора, плотности тока и природы, очищаемого материала. Действенным для меди считается погружение продолжитель-

ностью от 1 до 3 мин при напряжении от 4 до 8 в. В качестве черновых очистных операций можно привести ультразвуковую обработку в воде или растворах.

После щелочной обработки эффективной считается промывка фильтрованной и обезжиренной водопроводной водой. Полное удаление очищающего раствора гарантирует после обработки струей погружение в воду. Можно использовать также дистиллированную или деионизированную воду, но это будет недешево, если принять во внимание, что эта промывка не последняя.

11. Декапирование

Декапирование осуществляется после промывки и преследует цели нейтрализации остатков щелочи и удаления металлических окислов. Равноценными по своему действию считаются растворы от 20 до 40% (по объему) HCl и от 10 до 20% (по объему) H_2SO_4 . После этой ванны заготовки обрабатывают травящим раствором персульфата аммония, промывают водой, серной кислотой (от 10 до 20%), промывают струей водопроводной воды, затем струей дистиллированной или деионизированной воды, а затем сушат в чистом обеспыленном воздухе.

Подготовка поверхности сильно влияет на адгезию и качество фоторезиста. В последнюю очередь заготовка платы подвергается действию кислоты и воды. Желательно получение поверхности со среднеквадратичной шероховатостью от 0,25 до 0,50 мкм, если ее измерять после травления и выявляющей полировки. После механической зачистки остаются заусенцы, приводящие к проколам резиста. Заготовку платы аккуратно (в резиновых перчатках) берут за край и подставляют под струю воды под небольшим углом к вертикали так, чтобы вода стекала с одного угла. Если во время обработки заготовка платы размещается в завеске, то ее можно промывать и в вертикальном положении. Рекомендуется применение изопропилового спирта, упомянутого выше, что позволяет избежать окисления при ускоренной сушке. Окислению способствует применение горячего воздуха или горячей воды. Для безупречного удаления остатков воды перед печатью следует высушить плату в сушилке, лучше с нейтральной атмосферой, при 90°C в течение 15 мин. В некоторых случаях помогает

окончательная промывка с помощью ТХЭ. Нельзя применять конверсионные покрытия (фосфаты, оксиды), так как в случае их применения невозможно обеспечить общепринятыми способами адгезию резиста.

ФОТОРЕЗИСТЫ

12. Общая часть

Фоторезистами называют тонкие пленки, полученные поливом органических растворов и обладающие свойством после экспонирования их лучами определенной длины волны претерпевать химические изменения, сопровождающиеся изменением растворимости в каком-либо растворителе (проявителе), определенном для данного типа фоторезиста. Фоторезисты негативного действия, растворимые в своем проявителе, под влиянием экспонирующего света полимеризуются и переходят в нерастворимое состояние. Экспонирование ведут через фотопленочное изображение схемы. Неэкспонированные участки резиста подлежат избирательному растворению, набуханию или вымыванию, а покрытый резистом точный рисунок схемы остается на фольге. Фоторезисты позитивного действия дают обратную картину, экспозиция делает полимеризованный резист растворимым. Резист зачастую подкрашивают для того, чтобы облегчить проверку и ретушь полученной схемы. Резистивная схема, остающаяся после проявления (и последующего, в некоторых случаях, окончательного задубливания), является нерастворимой и химически стойкой по отношению к средам для последующих операций очистки, гальванического покрытия и травления, используемых в производстве печатных плат. Разнообразие областей применения фоторезистов распространено на такие задачи, как общее применение [2—6], тонко-проводниковое травление [9,10], гальванопластика [11]. Большинство фоторезистов запатентовано. В основном они состоят из ярко-выраженных искусственных веществ, остающихся аморфными во время экспонирования и обладающих размерной стабильностью и химической стойкостью в растворах, применяемых в производстве печатных плат. Хотя состав патентованных материалов и нельзя раскрывать, общую природу их дают следующие типичные примеры: сополи-

меры коричнеокислого винила [12], метилфенилкетон бензидена [13], смеси коричнеокислых соединений и метилфенилкетонов [11], соли четверичных оснований, полиазиды [16].

13. Выбор резиста и типичные технологические процессы

Резисты негативного действия. Специально для текстовых или других литографических печатных форм предназначен фоторезист KPR *), однако он находит широкое применение и в производстве плат печатного монтажа, а применяется прежде всего в тех случаях, когда другие, более высокопроизводительные методы не обеспечивают должной степени разрешения, или когда требуется изготовить маленькую партию плат. Благодаря низкому содержанию твердых частиц и невысокой вязкости (от 11,7 до 13,1 *снз* при 25° С) он обеспечивает самое высокое разрешение, которое достижимо при помощи фоторезистов на сегодняшний день. Высушенный KPR образует пленку толщиной около 2,5 *мкм*, что вполне достаточно для целей производства печатных плат. В этом даже есть преимущество — такую ленту легко окрасить в черный или синий цвет для проверки и ретуширования схемы.

KPR рекомендуется всегда в тех случаях, когда подложкой для печати является медь (медный сплав) или чистый анодированный алюминий. Другие же резисты всегда вызывают окрашивание или обесцвечивание меди. Чувствительность KPR к ультрафиолетовой части спектра приведена в литературе [3]. В практике для полива резиста и печати используют желтый (или любой другой с отфильтрованной ультрафиолетовой частью спектра) свет или оранжевые стеклянные светофильтры. Между операциями полива резиста и проведения экспонирования заготовки хранят в пылесветонепроницаемых ящиках. Есть сведения, что должным образом приготовленные и сохраненные заготовки печатных плат с покрытием фоторезистом KPR были

*) Производства фирмы «Истман Кодак Компани», Рочестер, Н.-Й. KPR (Kodak Photo Resist) — фоторезист Кодак; KMER (Kodak Metal Etch Resist) — резист Кодак для металлического травления; KTFR (Kodak Thin Film Resist) — резист Кодак для тонких пленок; KPL (Kodak Photo Lacquer) — фотолак Кодак; KOR (Kodak Ortho Resist) — резист прямого действия Кодак.

экспонированы и успешно протравлены после двух лет хранения. Долгая жизнь резиста обеспечивается низкой температурой и контролируемой относительной влажностью окружающей атмосферы при хранении.

Некоторые вопросы, связанные с применением KPR.

1. Свойства этого резиста непостоянны. Повышению стабильности свойств способствует фильтрование под давлением через 5-микронный фильтр (например, Миллипор *) или аналогичный). Лучше провести вакуумное фильтрование, способствующее удалению некоторых растворителей. KPR, находящийся в продаже, профильтрован через 10-микронный фильтр.

После фильтрования можно привести вязкость к стандартному значению добавлением более жидкого KPR или более густого профильтрованного резиста KPL.

Замеры вязкости лучше проводить при стандартных значениях температуры и влажности. Лучше использовать стационарное взрывобезопасное оборудование**). Для этой цели подходит ротационный вискозиметр со скоростью вращения около 60 об/мин. KPR имеет при 25° С вязкость в пределах от 13 до 14 спз и удельный вес от 0,99 до 1,00. Твердые частицы составляют примерно 7,4% (весовых). Жидкость необходимо хранить в запечатанных темных бутылках, лучше небольшой емкости, в темном прохладном помещении (но не на морозе).

2. При плохом разрешении на тонких линиях следует разбавить KPR растворителем для получения пленки резиста меньшей толщины.

3. Слабая адгезия и отслаивание во время травления вызываются отклонениями режимов операций, в том числе и очистных, от нормы.

Этапы технологического процесса при использовании KPR.

1. Нанести на тщательно очищенную и высушенную заготовку каким-либо выбранным способом фильтрованный KPR со стандартным значением вязкости. Для плат с последующей металлизацией отверстий рекомендуется метод разбрызгивания резиста.

*) Производства фирмы «Миллипор Филтер Корпорейшн», п/я 427Т, Бедфорд, Массачузетс; см. также [3, 4, 20 и 21].

***) Вискозиметр Брукфилда, фирма «Брукфилд Инджиниринг Лэйбораториз Инкорпорэйтед», Стафтон, Массачузетс; см. также [3, 4, 20 и 21].

2. Высушив слой резиста на воздухе «до отлипа», предварительно задубить его в течение 15 мин при 90° С (для толстых слоев требуется большее время). Для получения более стойкой в химическом отношении пленки дубление нужно проводить при . ° С при большей выдержке.

3. Печатать (экспонировать). Для печати с последующим травлением используют негативные пленки (поле черное). Для печати под гальванопокрытие используют позитивные пленки (поле светлое). Экспонируют в свете дуговых или ртутных ламп. Время экспозиции зависит от оборудования; необходимы технологические пробы [3].

Для KPR, нанесенного разбрызгиванием, при освещении ртутной лампой с расстояния около 6,5 см время экспозиции составляет приблизительно 2 мин. Оптимальное время можно определить методом проб. Можно использовать и дуговые угольные лампы. При белом пламени дуги экспозиция будет меньше, чем при использовании ртутной лампы (от 1/4 до 1 1/2 мин для 75-амперной лампы, установленной на расстоянии около 1,8 м).

Во время экспонирования необходимо плотно прижимать эмульсионную сторону фотопленки к поверхности резиста, обеспечив контакт использованием вакуумной прижимной рамы или фоторамки для контактной печати. Все надписи, буквы, цифры должны легко читаться во время экспонирования.

4. Проявить. а) Очистить трихлорэтиленом. Подвесить в парах растворителя при 90° С на 3—4 мин. Спрыснуть горячим жидким ТХЭ из бачка в течение 15 сек. Для более толстых слоев требуется большее время. Сверленные заготовки промывать более тщательно, прогоняя проявитель через отверстия. б) Можно использовать проявитель для KPR. в) В другом варианте можно предпринять 2-мин погружение в ксилол. В течение 15 сек опрыскивать смесью ксилола с клеем Fotocol *) (1 : 1). Окунуть в Fotocol. Высушить на воздухе.

5. Окрасить. Высушенную и проявленную заготовку погрузить на 30 сек в краситель KPR. Вынуть и дать стечь излишкам красителя. Смыть лишний краситель струей холодной (19—25° С) воды.

*) Производства фирмы «Коммпершл Солвентс Корпорэйшн», Эгню, Калифорния.

6. Отретушировать. Используя маскировочный резист *), закрасить одну сторону платы, чтобы оставить нужные участки меди после операции травления. Удалить фоторезист с участков фольги, которые должны быть травлены. Поместить в сушилку при 90°C до полного высыхания. Остудить, отретушировать вторую сторону.

7. Задубить окончательно (перед гальваническим покрытием). Дубить при 120°C в течение 15 мин до полного отверждения смолы; для толстых слоев выдержка может быть большей. Для процесса прямой печати и травления этот этап часто опускают.

Другие резисты фирмы «Кодак». Для тех же целей, но в основном для гальванопластики предназначен резист KPR типа 2 (KPR-2).

Разбавители для KPR-2 аналогичны разбавителям для резиста KOR, поэтому для KPR-2 рекомендуется использовать проявитель, предназначенный для KOR. Содержание твердых частиц в KPR-2 (10—11%) выше, чем в KPR. Поэтому номинальная толщина получаемой пленки KPR-2 равна примерно 25 мкм. Начальная вязкость KPR-2 находится в пределах от 22,6 до 27,6 *снз* при 25°C .

Все процессы нанесения и проявления те же, что и для KPR, только с учетом повышенной вязкости. Для приемлемого разрешения и контроля в производстве плат рекомендуется толщина пленки KPR-2, равная 5 мкм.

Фотолак Кодак (KPL) по химическому составу идентичен резисту KPR, но у него в четыре раза выше содержание твердого вещества (28%) и он составлен на более быстро высыхающем разбавителе. Слои KPL получают толще и высыхают быстрее, чем KPR.

Область применения KPL та же, что и область применения KPR. Для получения необходимой химической стойкости при производстве печатных плат к $1/4$ KPL следует добавить $3/4$ KPR. Вязкость смеси при этом достигает 30 *снз*, потери разрешающей способности пропорциональны увеличению толщины получаемой пленки, которое сопровождается также увеличением времени экспонирования и проявления. Вся технология аналогична процессам с KPR.

Резист Кодак для металлического травления KMER [5] не рекомендуется для применения на меди или анодиро-

*) Например, Warhow 145-10-L или эквивалентный; см. также [3, 4, 22—24].

ванном алюминии. Однако в связи с тем, что при производстве печатных плат используется не только медь, КМЕР находит некоторое применение. КМЕР обладает большей адгезией и химической стойкостью в травильных растворах, чем КРР. Склонен давать толстые слои, меньше подвергаемые проколам. Применяется обычно при травлении Ковара.

Из-за повышенной вязкости КМЕР обеспечивает более низкую разрешающую способность, чем КРР. Вязкость при 20° С находится в пределах от 396 до 504 *спз*. КМЕР тиксотропен, и перед измерением вязкости его надо сильно взболтать. Время экспонирования для КМЕР обычно больше, чем для КРР. Для определения оптимального времени экспонирования необходимы пробы. Все процессы для КМЕР аналогичны процессам для КРР, кроме проявления, которое проводят следующим образом: окунают, не помешивая, на 2 *мин* в стоддардовский растворитель *), затем немедленно промывают в течение 15 *сек* струей ксилола **) и в течение 15 *сек* струей смеси (1 : 1 по объему) этилового спирта и стоддардовского растворителя (или лигроина ***)), затем сушат. Можно применить проявитель КМЕР или другие подходящие методы проявления. Окрашивание можно производить смесью (1 : 1) проявителя КМЕР и красителя КРР.

Полученный таким образом КМЕР в значительной мере гелеобразен. Профильтрованный тщательным образом, КМЕР становится относительно стабильным и дает пленки однородной толщины.

При печати на стеклоэпоксидных подложках, фольгированных Коваром, нужно придерживаться температуры задубливания, не превышающей допустимого предела в первую очередь для эпоксидной смолы, а затем уже для смолы КМЕР. Для смолы G-10, например, температура не должна превышать 125° С. Без разрушения выдержит подложка и температуру до 140° С в течение 15—30 *мин*. При большем времени задубливания и более высоких температурах

*) «Уайт-спирит» — очищенная нефть. Ядовит. Симптомы отравления аналогичны симптомам при отравлении бензином. Точка кипения 100 ÷ 110° F (38°—42° С). Источник — фирменный указатель (7-е изд.) фирмы «Мерк и К°», Рауэй, Нью-Джерси.

**) Диметилбензол C₆H₄(CH₃)₂. Горюч. Обладает наркотическим действием при высоких концентрациях. Источник — указатель фирмы «Мерк и К°».

***) Очищенный сольвент-нафта.

адгезия и химическая стойкость повышаются, но повышенная хрупкость резиста может стать причиной подтравливания.

Резист Кодак для тонких пленок (КТФР) разработан специально для микроэлектроники как материал с исключительно высоким разрешением. Вязкость его при 25°C находится в пределах от 465 до 535 *снз*. По составу он аналогичен резисту КМЕР и может быть использован в тех же целях, но отличается толщиной образуемой пленки (0,75 *мкм*), которую можно довести до размера частиц резиста (1 *мкм*).

Все процессы аналогичны использованию резиста КРР, только предварительное задубливание проводят в течение не более 20 *мин* при температуре 82°C . Более высокие температуры отрицательно сказываются на адгезии. Для печати на меди предпочитают пониженные температуры и увеличенную продолжительность предварительного задубливания. При применении КТФР медь значительно меньше подвергается действию окисления и шелушению, чем при использовании КМЕР.

Поскольку получаемая пленка, как правило, тоньше слоев, даваемых резистом КМЕР, время экспонирования и проявления для КТФР обычно отличается от времени проявления и экспонирования КМЕР. После экспонирования чаще всего проводят задубливание при 82°C в течение 5 *мин*, охлаждение и проявление. При такой обработке резист меньше пузырится, особенно на ровных поверхностях. То обстоятельство, что КТФР дает более тонкие пленки, чем КМЕР, иллюстрируется такими фактами: смесь из 16 частей (объемных) разбавителя и 1 части КМЕР образует пленку, лопающуюся во время центрифугирования и дающую разрывы покрытия, тогда как смесь из 60 частей разбавителя и 1 объемной части КТФР не дает разрывов и полностью укрывает фольгу.

Резист прямого действия Кодак (КОР) не слишком широко распространен при производстве печатных плат. Этот резист примерно в $4\frac{1}{2}$ раза более вязок (46—54 *снз*), чем КРР, и содержит дробь от 10 до 11% твердого вещества. Для снижения вязкости можно пользоваться разбавителями для резистов КОР и КРР. Для проявления нужен специальный проявитель КОР.

Время экспонирования для КОР в 8—16 раз короче, чем для КРР, при использовании дуговых ламп, и в 20—40 раз

короче при использовании вольтфрамowych ламп накаливания. Кривая сенсбилизации захватывает видимую часть спектра (до 550 мкм). Благодаря высокой чувствительности резиста для экспонирования вполне хватает света проектора. Можно использовать 1000-ваттную ртутную лампу (такую же, как для уличного освещения), установленную на расстоянии около 1 м.

Благодаря относительно высокой светочувствительности QOR дает возможность избежать царапания и сдирания резиста, так как возможно применение проекционной печати. Нужны только подходящая оптика и однонаправленный точечный источник света, и это обеспечит продление срока службы фотопленочного изображения микросхемы. Распространение QOR, однако, сдерживается тем, что разрешающие возможности этого резиста изучены слабо.

Сложный резист — KPR с подслоем KMER. Когда требуются очень толстые слои (от 0,10 до 0,25 мм) для гальванопластики, кладут толстый слой KMER (0,025 мм), высушивают и предварительно дубят. Затем сверху наносят пленку KPR толщиной 0,25 мкм и обрабатывают ее в соответствии с рекомендациями [3]. Затем проводят одинарную экспозицию и двойное проявление. Такое фотопокрытие требуется лишь при последующем глубоком травлении или для нанесения толстого покрытия.

Фоторезист Дайнакем (DCR-Dynachem Photo Resist) [7]. Кривая спектральной чувствительности этого материала уже, чем у аналогичных кодаковских резистов (320 и 390 мкм соответственно). В противоположность резисту KPR, DCR требует иного, чем ТХЭ, проявителя. Для этой цели подходят стабилизированные хлорированные углеводороды (например, хлорвинил — Нью *). Продолжительность проявления — критичная величина (от 5 до 10 сек максимум), зависящая от некоторого покачивания или помешивания проявителя.

Вязкость материала в состоянии поставки 9,94 спз. Содержание твердого вещества около 20% (весовых). Удельный вес 0,90.

Порядок операций:

1. Очистить заготовку платы.
2. Высушить в циркуляционной сушилке при 50° С в течение 20 мин.

*) Производства фирмы «Доу Кемикл», Мидлэнд, Мичиган.

3. Сушить до комнатной температуры.

4. Нанести резист любым способом (окунанием, разбрызгиванием, поливом с центрифугированием). Для разглаживания поверхности нанести примерно 20% разбавителя (по отношению к массе пленки). Можно использовать разбавитель в аэрозольной упаковке.

5. Высушить в циркуляционной сушилке при температуре от 45° до 52° С. Температура 52° С является критической, ее превышать нельзя.

6. Экспонировать в течение от 30 сек до 2 мин, что является типичным при применении дуговой лампы. Ртутная лампа требует вдвое-втрое большей выдержки. Можно также использовать лампы с невидимой частью спектра, ртутно-кварцевые, иодно-кварцевые лампы. Максимум кривой спектральной чувствительности этого резиста соответствует длине волны 360 мкм.

7. Проявление. Окунуть в холодный проявитель Дайнакем на 5—10 сек, при комнатной температуре проявителя рекомендуется увеличить время погружения до 15—30 сек. Для достижения лучших результатов растворы подогревают. Это рискованный шаг, так как перепроявление чревато нарушением адгезии. И все это из-за того, что ТХЭ так часто применяемый в качестве проявителя для фоторезистов, растворяет DCR.

8. Окрашивание. Окрашивание необходимо проводить сразу вслед за проявлением (прямой перенос). Краситель DCR окрашивает резист за 5—10 сек. Вместо операций 7 и 8 можно провести одновременное проявление с окрашиванием в специальном составе Dye-Veloper.

Возможно применение окрашивающих составов в аэрозольной упаковке, но эти нововведения в производственных условиях слабо соперничают с традиционными методами. Аэрозоли обходятся дороже, то и дело забивают сопло, в начале каждого приема распыления теряют жидкость. С ними трудно установить одинаковую манеру напыления жидкости. Это относится как к резисту DCR и красителю DCR, так и вообще к аэрозольным фоторезистивным материалам.

Некоторые вопросы, связанные с применением DCR. 1. Время, необходимое для экспонирования тонкого слоя DCR, при прочих равных условиях оказывается в 18 раз больше, чем для KPR (при использовании ртутной лампы).

2. Во избежании отслаивания при травлении необходимо окончательное задубливание. Температуру задубливания 93° — 120° С превышать не следует во избежание растрескивания и отслаивания резиста по краям.

3. Задубленный слой DCR трудно удалять. Рекомендуемый поставщиками ТХЭ оказывает действие лишь в нагретом виде и в сочетании с механическим соскабливанием. Хорошо снимают слои DCR средства, имеющиеся в продаже.

Слои DCR после дублирования обладают хорошей химической стойкостью к растворам для нанесения гальванического покрытия. Могут быть использованы для нанесения на медь резистивных металлов. Проблемы повышенного времени экспонирования умножаются при использовании более толстых пленок. Есть сведения, что последние составы резиста DCR свободны от этого недостатка.

Резисты позитивного действия. К ним относятся AZ-15, AZ-17 и AZ-1340 (фоторезист Azoplate Positor модифицированный и очищенный оговоренными соглашениями средствами для применения в производстве печатных плат и микроплат) и AZ-340 [6]. Эти резисты отличаются от резистов негативного действия тем, что становятся растворимыми после экспонирования. Подлежат экспонированию через позитивную фотопленку (поле светлое, проводники темные). Методы использования, преимущества и недостатки этих резистов изложены при описании нанесения фоторезистов [6]. Поскольку после экспонирования, проявления и т. д. смола резиста остается светочувствительной, можно проводить многократное травление по слоям. В этом случае после нанесения резиста слой не задубливают.

Резист AZ-340 является результатом последней разработки, направленной на улучшение свойств резистов AZ-15 и AZ-17; в нем увеличено содержание твердого вещества, что позволяет с однократного нанесения получать слой не тоньше 13 *мкм*. Это дает возможность еще шире применять резист AZ-340 для маскирования при нанесении гальванических покрытий. Разрешающая способность этого резиста даже при такой толщине слоя не может конкурировать с данными обычных негативных фоторезистов.

Этапы технологического процесса при использовании AZ-340 следующие:

1. Зачистка. Очистка растворителем, промывка спиртом (окунанием или электрическая), декапирование, сушка проводятся как обычно для меди и медных сплавов.

2. Нанесение резиста. Разбрызгиванием или поливом на центрифуге, накаткой или поливом сверху, но лучше всего, особенно для плат с металлизированными отверстиями — разбрызгиванием под давлением от 1,4 до 2,8 кг/см². Желательно также безвоздушное разбрызгивание.

3. Сразу после нанесения слоя сушка в сушилке циркуляционного типа при температуре от 50 до 92° С; при температуре 65° С достаточно выдержки от 15 до 20 мин. Можно использовать инфракрасное облучение.

4. Экспонирование. Область светочувствительности лежит между 200 и 600 мкм, но сколь скоро большинство стекол пропускает лучи с минимальной длиной волны 320 мкм максимум сенсibilизационной кривой в фильтрованном стеклом свете соответствует длине волны 340 мкм. Время экспонирования зависит как от толщины слоя, так и от мощности источника света, и поэтому для установления оптимального времени экспонирования необходимо проведение проб. Экспонированные участки резиста подлежат вымыванию с заготовки, неэкспонированные остаются на фольге.

5. Проявление. Быстро и полно смывает экспонированный резист AZ-340 проявитель для резиста AZ-300. Этот проявитель состоит из водно-спиртового раствора, смываемого затем водопроводной водой. Еще лучше использовать для промывки струю деионизированной воды.

6. Окончательное задубливание. Вообще говоря, окончательное задубливание проводить не рекомендуется, поскольку высокотемпературная выдержка пагубно сказывается на резисте. Максимальную химическую стойкость в травильных растворах или гальванических ваннах при больших значениях плотности тока обеспечивает задубливание резиста при 65° С в течение 20—30 мин.

7. Травление. Для травления можно использовать растворы сернистого хрома, хлорного железа, персульфата аммония, хлорной меди и другие кислотные растворы. Хотя резист AZ-340 в большей степени, чем его предшественники AZ-15 и AZ-17, обладает химической стойкостью к спиртосодержащим растворам, полной стойкости он не гарантирует. Следует избегать белого освещения, повышающего растворимость резиста.

8. Гальваническое покрытие. AZ-340 стоек в большинстве гальванических ванн. Для получения оптимальных условий следует проводить окончательное задубливание

и избегать белого освещения. Время контакта со спирто-содержащими смесями необходимо сводить к минимуму.

9. Удаление резиста. Очень быстро смывается органическими растворителями; если окончательное задубливание не проводилось, то слой смывается за время от 0,5 до 30 сек, если оно проводилось, то понадобится несколько большее время. Следует предпочесть в качестве растворителя ацетон и другие кетоны. Подходят для этой цели также этилацетат, целлозол и другие органические растворители. Действенным считается применение подогретых растворов сильных щелочей ($65^{\circ} \div 92^{\circ} \text{C}$), особенно при первом экспонировании в ультрафиолетовых лучах. Это позволяет избежать применения органических растворителей, разрушающих диэлектрическую подложку.

10. Окончательная промывка, иногда совмещенная с протиркой.

11. Сушка струей профильтрованного воздуха.

14. Нанесение фоторезистов

Общие положения. Существует несколько методов нанесения фоторезистов на поверхность фольгированных диэлектриков. При металлизации отверстий или наличии других сложностей на плате следует предпочитать метод нанесения резистов разбрызгиванием, особенно при применении резистов негативного действия (труднее всего удаляемых). Так или иначе, от резиста чаще всего требуется высокое разрешение, а это достижимо лишь на однородных, без проколов, пленках резистов, имеющих хорошее сцепление с фольгой. Вот почему нельзя недооценивать важность операций, предшествующих нанесению резиста. До минимума нужно сводить содержание влаги в подложке или резисте, так как она может стать причиной проколов или плохой адгезии. Все операции с резистом нужно проводить в помещении при относительной влажности не более 50%. Для удаления следов влаги с подложки применяют сушку в сушилках или промывку трихлорэтиленом. Рассмотрим, в сущности, каждый способ нанесения резиста.

Окунание. Нанесение слоя окунанием возможно для всех типов резистов, кроме материалов типа Azoplate Positor (AZ-340 AZ-13 *) и AZ-17). Резисты AZ-15 и AZ-17

*) Опечатка в оригинале. Должно быть AZ-15. (Прим. перев.)

имеют низкую вязкость и при нанесении окунанием дают слишком тонкую пленку, не обеспечивающую должной стойкости при травлении или нанесении гальванического покрытия. Кроме того, они дают неравномерную толщину пленки. Нанесение окунанием — самый быстрый и легкий способ получения слоев на обеих сторонах заготовки, который находит широкое применение. Наиболее подходящей емкостью для окунания являются ванны из стекла, нержавеющей стали или керамики. Ванны должны закрываться крышкой (нерабочее положение) и иметь глубину, превышающую размеры наибольшей погружаемой заготовки. Это позволяет твердым примесям оседать на дно. Обычно ванны выполняются достаточно узкими. Вертикальное погружение по сравнению с горизонтальным имеет ряд преимуществ: экономится площадь, меньше взбалтывается жидкость, уменьшается зеркало ванны, ограничивая тем самым потери на испарение и проникновение пыли из воздуха. Можно получить достаточно равномерное покрытие, медленно вынимая из ванны вертикально погруженную заготовку печатной платы.

На вырезках и краях отверстий стекающий резист имеет тенденцию образовывать утолщенные участки с последующим неполным проявлением на этих участках. Причиной таких натеков может стать зажим или другое удерживающее устройство, которое не следует окунать в резист.

При желании получить более толстые слои можно провести многократное окунание с промежуточной сушкой каждого слоя. Неполное просушивание промежуточных слоев может стать причиной сьедания или растрескивания поверхности резиста. Промежуточные сушки последовательно нагреваемых слоев улучшают также адгезию и химическую стойкость резиста.

Когда методом окунания нужно нанести резист лишь на одну сторону заготовки, причем с высокой равномерностью по толщине, заготовку вытаскивают из ванны и быстро укладывают на горизонтальную поверхность покрываемой стороной вверх.

Следует напомнить, что органические разбавители резистов оказывают воздействие на подложку и склеивающий материал платы, и поэтому время погружения односторонних фольгированных материалов не должно превышать необходимого.

Для удаления твердых примесей и продуктов окисления со смол необходимо прибегать к фильтрованию. Лучше всего использовать 5-мм фильтр.

Для обезвоживания резиста сушку лучше всего проводить в вакуумной сушилке, но при этом надо остерегаться вспенивания резиста. Возможно возмещение потерь разбавителя. При операциях окунания, даже при комнатной температуре, потери разбавителя на испарение и усвоение влаги из воздуха — обычное явление.

Полив с центрифугированием. Этот способ предполагает использование центробежной силы для равномерного распределения резиста по покрываемой поверхности. Покрытие получается равномерным и почти беспористым. Диаметр используемых центрифуг — от 152 до 1216 мм.

Заготовки обычно размещают на плоском основании и стопорят винтовыми зажимами в сбалансированной раме или в двухместном держателе. Резист наносят на плату или наливают во время первых оборотов центрифуги, затем скорость вращения увеличивают. Толщина получаемого покрытия может быть управляемой в зависимости от вязкости резиста и количества оборотов и скорости вращения центрифуги. Скорость центрифуги управляется изменением напряжения, подаваемого на двигатель. Регулятор напряжения объединяется с таймером.

Главный недостаток такого способа нанесения резиста заметен на двухсторонних платах, особенно имеющих отверстия. Резист стремится обежать заготовку по краям или через отверстия и образует натеки на противоположной стороне. Натёки вокруг отверстий могут образоваться и с верхней стороны заготовки, так что для нанесения резиста на заготовки плат с металлизированными отверстиями этот способ не подходит.

Для получения особотонких пленок приходится использовать особовысокие скорости вращения и резисты с достаточно низкой вязкостью.

Для сушки резиста, нанесенного поливом в центрифуге, можно применять горячий воздух, инфракрасное облучение и другие средства. При этом нужно особое внимание уделить полному и безопасному в пожарном отношении удалению испаряющегося разбавителя. Центрифуга должна быть закрытой для предотвращения выхода резиста и разбавителя в окружающую атмосферу. Это явление особенно заметно при высокоскоростном центрифугировании боль-

ших поверхностей. Нужна защита от брызг и соответствующая дренажная система, которая должна быть снабжена постоянно проверяемыми фильтрами, поскольку резисты не растворимы в воде.

Операцию нанесения покрытия нужно проводить под вытяжным колпаком в комнате с небольшим избыточным атмосферным давлением. Для получения хорошего разрешения при печати комнату надо содержать в чистоте. Подвеску вала центрифуги во избежание возможности масляного загрязнения, можно осуществить при помощи герметизированных подшипников.

Накатывание (нанесение валиком). Все фоторезисты можно легко накатывать валиком. Исключение составляют резисты с низкой вязкостью DCR, AZ-15 и AZ-17. Из-за неравномерной толщины заготовок и наличия на них неровностей валик должен быть стальным с резиновым или аналогичным синтетическим покрытием. Можно применять рифленые валики из нержавеющей стали, но часто это не помогает избегать проблем, обусловленных неравномерной толщиной заготовок. Способ не очень распространен прежде всего из-за громоздкости оборудования. Кроме того, основная проблема — это большая площадь контакта резиста с окружающим воздухом. Трудную задачу в этом аспекте представляет пылеизоляция валика и открытого резервуара с резистом.

Некоторое преимущество по сравнению с окунанием и центрифугированием — меньшие затеки резиста в отверстия и по краям. Однако нанесение резиста на заготовки плат с металлизированными отверстиями требует исключительно ровной, если не шлифованной, поверхности. Случайная соринка или пузырек воздуха могут стать причиной прокола резиста или наплывов, не поддающихся четкому проявлению.

Если очень высокого разрешения не требуется, то лучше применить офсетную печать кислотостойкими или гальваностойкими красками. Это гораздо дешевле и проще в проявлении.

Разбрызгивание [17]. Осуществляется при помощи обычного краскораспылителя типа пульверизатор. Кроме пульверизатора, могут быть применены и спрейерные устройства с подачей жидкости под давлением. Ряд потребителей предпочитает использовать приспособления, не слишком распыляющие резист.

Разбрызгиванием можно наносить резисты всех типов. Резисты КМЕР и КРЛ, а также при некоторых соотношениях смесь резистов КРР и КРЛ дают толстые слои и склонны образовывать затеки. Можно добиться и получения тонких слоев на тех же материалах, что дает возможность накладывания последовательных слоев один на другой.

Разбрызгивание лучше других методов гарантирует отсутствие излишнего резиста в отверстиях сверленных заготовок плат. Основные недостатки этого метода — высокая стоимость и относительная неоднородность покрытия.

Дороже всего, как правило, обходится разбрызгивание падающей струей (когда распылитель удален от края покрываемой поверхности). Другие способы (безвоздушный и электростатический) более экономичны, но для нанесения резистов нашли ограниченное применение.

Толщина получаемого покрытия зависит от личного искусства оператора и гибкости самого процесса. Нужно стандартизовать вязкость резиста, давление воздуха, сечение сопла, рабочее расстояние до заготовки, степень распыления резиста, температуру и относительную влажность окружающего воздуха, ежедневное техническое обслуживание пульверизатора.

Основной источник всех технологических сложностей при разбрызгивании — загрязнение носика распылителя или попадание твердых частиц в седло игольчатого клапана. Обычно эти проблемы разрешаются после промывки приспособления растворителем или разбавителем. Очевидным последствием указанных отклонений является пульсирующее, неравномерное разбрызгивание.

Перед началом работы нужно проверить насадку и носик. Пробное распыление резиста на вертикальную панель с расстояния 15—20 см должно давать вертикально вытянутый эллипс.

Опрыскивание заготовки нужно начинать снизу по линии параллельно поверхности с расстояния 15—20 см. Сначала спусковой крючок пистолета нужно нажать не полностью, подавая таким образом лишь сжатый воздух и удаляя с его помощью пылинки, осевшие на заготовку. Первую порцию резиста нужно давать не на заготовку, и лишь затем направить сопло в сторону покрываемой поверхности, покачивая его слева направо и обратно. Это раскачивание нужно продолжать и по мере продвижения сопла вдоль заготовки. Скорость этого поперечного перемещения легко может быть

оптимизирована на глаз, по виду получающегося покрытия. При слишком быстром ведении распылителя вдоль поверхности покрытие получается пятнистым и во всяком случае скорее матовым, нежели блестящим. При слишком медленном перемещении получают потеки смолы и волнистая из-за действия дутья поверхность. В разных сочетаниях личности оператора, применяемого оборудования, скорости продвижения распылителя вдоль заготовки, давления, вязкости и т. д. получают разную поверхность.

Воздух для дутья должен быть сухим, обеспыленным и профильтрованным от остатков масла. В сеть сжатого воздуха необходимо включить фильтры со сменными картонными фильтрующими элементами и с водяным затвором. Лучше использовать сжатый сухой азот, так как он обычно чище воздуха. Давление газа обычно составляет от 0,35 до 1,40 кг/см².

Электростатическое распыление. В основе электростатического распыления лежит принцип сообщения заготовке и частичкам смолы полярно противоположных электростатических зарядов. Сжатый воздух используют только для распыления резиста и сообщения его частицам приблизительного направления полета. Из-за того, что излишнего разбрызгивания частиц не происходит, расход резиста при таком способе нанесения покрытия сокращается. Метод пригоден для автоматизации с целью увеличения равномерности толщины получаемых слоев. Часть фоторезистивных материалов подходит для разбрызгивания этим методом, но капитальные затраты при этом слишком велики и могут быть оправданы только при крупносерийном производстве.

Электростатическое распыление без подачи дутья. Это вариант предыдущего способа, только в данном случае для подачи смолы к заготовке поток воздуха не используется совсем. Жидкость накачивается во вращающуюся головку, отлетает к ее краям и там дробится мощным электростатическим зарядом. Получающаяся смесь устремляется к заготовке, заряженной противоположно. Этот метод эффективно снижает потери распыленного резиста. Он также позволяет автоматизировать процесс нанесения резиста, но требует значительных капитальных вложений.

Сушилки. Сушильное оборудование, применяемое для дублирования резиста перед экспонированием и после проявления, может работать на любом принципе обогрева: пламенная печь, электрическая или газовая сушилка и т. д.

Применим любой способ, лишь бы он давал возможность получать однородные результаты. Получаемая температура должна быть достаточной и для лучшего протекания процесса задубливания должна выдерживаться с точностью $\pm 3^\circ\text{C}$. Стандартное время задубливания должно быть установлено заранее. Обычно распространенная, но нежелательная практика предполагает размещение плат в сушилках и выдерживание их там до тех пор, пока оператор не приготовит все необходимое к экспонированию. Как только будет достигнута нужная степень задубливания, заготовки нужно вынуть из сушилки и поместить в светонепроницаемые ящики, где они остынут и могут без всяких нежелательных последствий как угодно долго храниться до экспонирования. В узком интервале $\pm 0,5^\circ\text{C}$ держат температуру электрические вентилируемые печи, хорошо изолированные от внешней среды. Лучше всего иметь электросушилку на рабочую температуру до 200°C с термостатическим контролем с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$. Во избежание запыления и загрязнения плат во время дублирования очень важно рационально разместить сушилки в помещении лаборатории и правильно использовать фильтры. Из соображений обеспечения чистоты, так же как и в целях безопасности, желательно избегать применения пламенных печей, так как резисты горючи и ядовиты.

При выборе сушики следует исходить из максимального ожидаемого размера плат и максимальной дневной загрузки. Практика показывает, что лучше иметь несколько мелких сушилок, рассчитанных только на максимальный размер плат, чем одну большую сушилку. Это дает больше преимуществ. И кроме всего прочего, как минимум все сушилки необходимы из тех соображений, что температура предварительного и окончательного задубливания в разных случаях значительно изменяется. Платы в сушилках должны располагаться вертикально и свободно обтекаться теплым воздухом. Вертикальное расположение плат снижает также их запыляемость при сушке.

15. Предварительное задубливание

Операции дублирования перед печатью обычно относят к циклу нанесения фоторезистивного слоя, в частности при печати на диэлектриках, фольгированных медью. Эта

операция начинается с сушки при комнатной температуре. Затем проводят предварительное задубливание при 80—120° С; температура задубливания зависит от природы, толщины слоя и назначения резиста. Можно использовать инфракрасное облучение. При прямой печати и травлении предварительное задубливание в случае применения хрупких резистов может привести к ухудшению разрешения и заметному эффекту подтравливания. Для целей маскирования при нанесении резистивного гальванического покрытия предварительное задубливание нужно проводить в полной мере, предупреждая тем самым возможное отслаивание резиста в растворах.

16. Печать (экспонирование)

Общая часть. Следующим этапом после нанесения на фольгу и предварительного задубливания фоторезиста является экспонирование, или контактная печать схемы. Для резистов негативного действия это равнозначно переводу экспонированных участков резиста в полимеризованное нерастворимое состояние. Важнейшим условием для получения высокого разрешения является использование точечного источника света или коллимированного пучка. Однако для этой цели подходят в принципе и источники света, которые нельзя рассматривать как точечные: угольно-дуговые, ртутные лампы и иногда вольфрамовые лампы накаливания. Оптимальное время экспозиции зависит от типа и толщины слоя резиста и от расстояния от источника света до платы.

Двухсторонняя печать. Для двухсторонней печати наилучшее совмещение верхней и нижней схем достигается при пригонке, совместной обработке базовых краев или использовании базовых технологических отверстий.

Когда технологические отверстия или штыри не используются, пленки обычно складывают вместе и пригоняют их одна к другой на просветном столе (эмульсией к эмульсии). После точной пригонки пленки склеивают за один край липкой лентой через холостую прокладку, имеющую ту же толщину, что и заготовка платы, на которую предстоит печатать схему. Совпадение схем затем проверяют и вновь корректируют, если нужно. Прокладки можно выполнить из того же фольгированного диэлектрика. Если

для применения какого-либо метода индексации площадь заготовок слишком мала, высокую точность совмещения можно получить при использовании пары штырей из инструментальной стали, выполненных по диаметру как можно ближе к половине толщины заготовки (рис. 4.2). На верхушке каждого штыря нанесены координатные риски и выполнены развернутые отверстия под шлифованные базовые пробойники. Пленки выставляют, как и в прошлый раз, на просветном столе, только на этот раз эмульсией наружу (блестящими сторонами одна к другой). Полезно применить микроскоп. Для выставления пленок по общему краю можно использовать обоюдолипкую ленту (не удаляя защитной пленки).

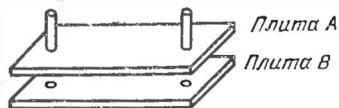


Рис. 4.2. Штыри для совмещения при двухсторонней печати.

Неглубоко посадив штырь в плиту В через плиту А и разместив плиту А над плитой В с зазором не менее 1 мм, помещают между ними край пленки с наклеенной обоюдолипкой лентой (сняв перед этим с ленты защитную пленку). За исключением этого свободного края, фотопленка должна быть плотно приклеена к поверхности просветного стола. Поместив край фотопленки между двумя стальными плитами, их прижимают одну к другой, и фотопленка приклеивается к плите А. После этого фотопленку можно отлепить от поверхности просветного стола. Убрав штыри и подложив плиту А с приклеенной к ней пленкой под плиту В и вновь установив штыри, получают положение пленок «эмульсией к эмульсии». Можно плиты сделать поворотными на петле, но это равносильно ухудшению точности совмещения за счет люфта в петле. У пленок должен быть свободный от рисунка край.

Находит применение также и способ, состоящий в совмещении пленок, «эмульсией к эмульсии», пробивке и последующем размещении на копировальной рамке с базированием на установочные штыри.

Другой способ заключается в совмещении негатива с отверстиями заготовки платы, закреплением его на заготовке, затем совмещении позитива с негативом, закреплении позитива на плате и удалении негатива (рис. 4.3).

Завалы. Для получения высокого разрешения очень важно ограничить рассеяние света при экспонировании. На резистах как позитивного, так и негативного действия между покрытой резистом поверхностью фольги и поверхностью самого резиста могут образовываться небольшие

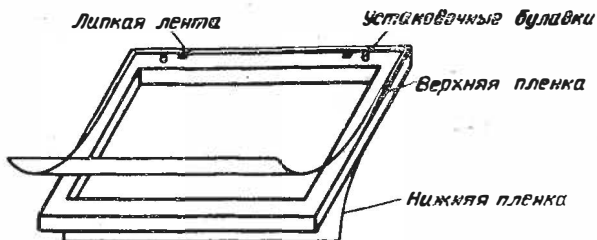


Рис. 4.3. Рамка для двустороннего экспонирования фоторезистов.

закругления. Их принято называть завалами. Примеры завалов приведены на рис. 4.4. Это явление объясняется, в частности, разной степенью полимеризации участков резиста во время экспонирования в результате явления



Рис. 4.4. Металлографический шлиф поперечного разреза печатной платы, демонстрирующий «завал» фоторезиста.

диффузии света под пленку под некоторым углом и отражения от поверхности фольги. Во избежание такого явления следует уменьшать толщину слоя фоторезиста, применять параллельный пучок экспонирующего света, должным образом проводить разбрызгивание или центрифугирование, избегать пересушивания или засветки слоя до экспонирования.

На резистах позитивного действия явление имеет геометрически обратную картину. Бла-

годаря этому свойству резисты позитивного действия могут обеспечить несколько лучшие результаты при печати. Эти эффекты показаны на рис. 4.5.

Требования к качеству. Главное требование при экспонировании — чистота и обеспыленность окружающей среды. Это важно не только для точного воспроизведения схемы, но и для снижения возможности механического поврежде-

ния пленки и подложки. Легко избежать таких затруднений при проекционной печати.

Когда позитивы или негативы получены для печати, мало что можно предпринять для исправления ошибок пленки или фотобелка. Величина радиусов изгиба прямых

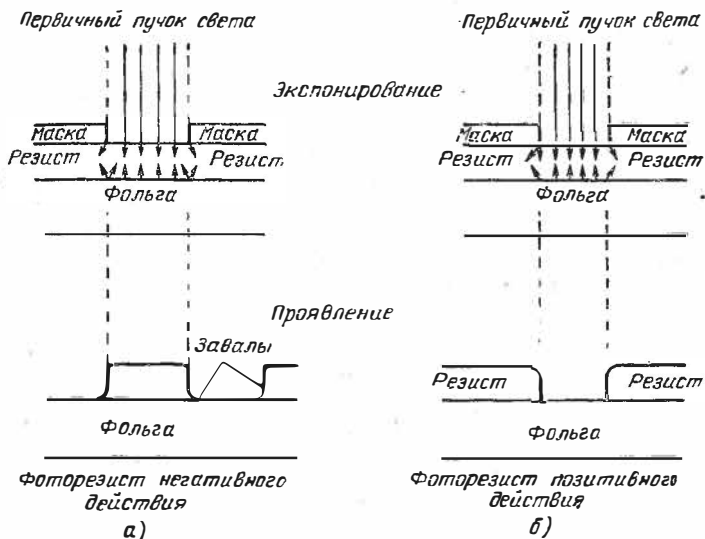


Рис. 4.5. «Завалы» на резистах негативного и позитивного действия.

вследствие оптических искажений при съемке, оптическая плотность изображения, разрешение, четкость краев линий, искажение полей — все это должно быть оговорено или предусмотрено заранее:

17. Проявление

Собственно проявление. Проявление состоит в вымывании растворимых участков резиста. Проявляющие ванны составляют в зависимости от типа резиста. Для резистов негативного действия в качестве проявителей подходят ТХЭ, спиртовые смеси и смеси уайт-спирита, ксилол, а также специальные жидкости, имеющиеся в продаже. Резисты позитивного действия растворимы в ацетоне, кетонах, эфирах и специальных проявителях, имеющихся в продаже.

Проявлять лучше всего в узких глубоких ваннах с встроенным спрейером. Можно практиковать и просто погружение, но следует иметь в виду, что спрейерная обработка может повысить разрешение. Процесс ускоряет ультразвуковое возбуждение проявителя. Некоторые проявляющие ванны можно использовать для безупречной очистки.

Время проявления зависит от типа резиста и толщины слоя, от проявителя и метода его использования. Обычно проявление длится 2—3 мин.

Промывка. После проявления заготовку сигнала промывают в проявителе, ТХЭ, ацетоне или ксилоле, а затем струей деионизированной воды и окрашивают в окрашивающей ванне.

Окрашивание. Окрашивание преследует цель снизить время на ретуширование заготовок плат, предназначенных как для травления, так и для нанесения гальванического покрытия. Окрашивание не рекомендуется проводить в тех случаях, если требуется очень высокое разрешение или повышенная химическая стойкость слоя.

Можно вместо окрашивания заготовку обрабатывать фотопроявителем, но это чревато обесцвечиванием, загрязнением серебром и не обеспечивает высокого цветного контраста.

18. Окончательное задубливание

Иногда для повышения химической стойкости резиста в гальванических или травящих растворах слой подвергают окончательному задубливанию.

Для этих целей подходит циркуляционная сушилка. Температура и продолжительность задубливания зависят от толщины слоя и типа резиста. Необходимость этой операции должна быть определена в каждом отдельном случае, так как окончательное задубливание уменьшает адгезию резиста. Для процессов прямой печати и травления окончательное задубливание не нужно. Если необходима ретушь, ее проводят до окончательного задубливания.

19. Удаление резиста

После запланированного нанесения гальванического покрытия или травления резист удаляют. Этот процесс рассмотрен в гл. 6.

Типовая планировка приведена на рис. 4.6.

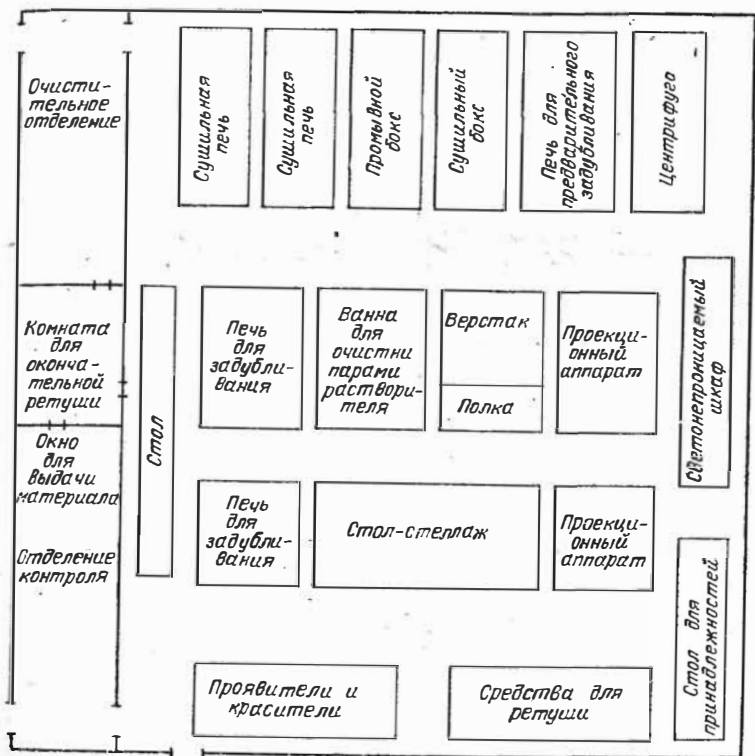


Рис. 4.6. Оборудование лаборатории по обработке фоторезистов

СЕТКОГРАФИЯ

21. Общая часть

Сеткография применима для производства дешевых печатных плат, не требующих высокой степени разрешения. В большинстве случаев это трафаретная печать, заключающаяся в нанесении на фольгу резиста через трафарет, соответствующий заданной схеме. Трафарет закрепляют на шелковой, нейлоновой или стальной нержавеющей

сетке, туго натянутой на раме и расположенной на небольшом расстоянии от фольги. Резист продавливают через открытые участки сетки на фольгу скользящим движением резинового шпателя. Дополнительные сведения общего характера о сеткографии можно узнать из [18, 19]. Типовой печатный станок для сеткографии изображен на рис. 4.7.

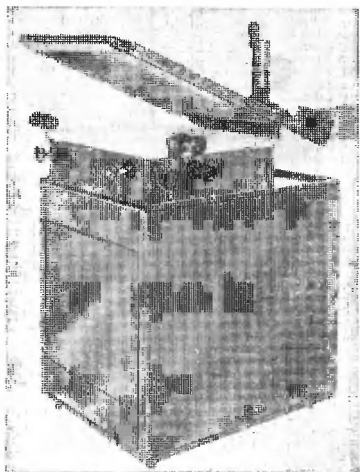


Рис. 4.7. Типовой печатный станок для сеткографии типа Микраджаст Принтер производства фирмы «Текни-Лэйбелз Компани», Ван Ню, Калифорния.

22. Изготовление трафарета

Сетчатый трафарет получают переносом проявленной фотоспособом трафаретной пленки с ее временной подложки на сетку. Большой срок действия и большее разрешение имеют пресенсибилизированные фотошаблоны, которые можно закрепить нагреванием или химическим путем. Такие материалы прочнее и хорошо держат четкость края даже при большом тираже.

Следует иметь в виду, что ширина линий по сравнению с фотошаблоном при печати слегка увеличивается. Материал шаблона должен быть водорастворимым и не должен размываться органическими растворителями, в частности при применении резистов на основе винила. Этот тип резистов содержит разбавители, кетоны или растворители из группы хлорированных углеводов.

Ниже представлен типовой процесс для подготовки трафарета к печати. Для получения достаточно близких результатов процесс необходимо стандартизировать.

1. Цель. Процесс устанавливает порядок операций по изготовлению пресенсибилизированного фотошаблона, закрепляемого нагреванием или химическим путем.

2. Материалы и оборудование.

2.1. Шелковая и нейлоновая или проволочная сетка, закрепленная на раме. Сетку промыть с помощью мягкой щетки и тонкого абразивного порошка. Затем провести промывку, удалив все абразивные частицы из ячеек. Высушить на воздухе.

2.2. Нужна специальная светочувствительная пленка с обязательным указанием изготовителя для однозначной идентификации.

2.3. Печатный станок с вакуумным столом.

2.4. Лента для наклеивания (матерчатая).

2.5. Смола для наклеивания (установить тип и изготовителя).

2.6. Упругий пластмассовый шпатель (длиной 5 см). Твердость по Шору 60—65.

2.7. Проявитель. Установить тип и изготовителя. Обычно проявитель состоит из двух растворов.

2.7.1. Перемешивать до полного растворения. Перелить в кювету и хранить до употребления в темноте. Не употреблять при температурах выше 26°С. После трех дней хранения приготовить новый проявитель.

2.8. Щетка с мягкой щетиной.

2.9. Вставная плита, свободно входящая внутрь рамы.

3. Операции:

3.1. Поместить шаблонную пленку подложкой вверх в дуговой экспозиционный аппарат или любой другой в вакуумную печатную раму (удостовериться в чистоте обеих сторон пленки).

3.2. Поместить перевернутые позитив или негатив на пленку.

3.3. Закрыть раму и включить вакуум.

3.4. Откачав воздух, проверить плотность прилегания пленок друг к другу. Проверить также, что фотопленка уложена действительно эмульсией вниз.

3.5. Перевернуть стол и начать экспонирование в течение времени, установленного пробными экспозициями.

3.6. Вновь перевернуть стол, открыть кран для снятия вакуума и вынуть шаблонную пленку. Мелкие пузыри и плохая адгезия указывают на передержку.

3.7. Погрузить шаблонную пленку в приготовленную кювету с проявителем (см. п. 2.7), эмульсией кверху. Время жизни проявителя 1 сутки.

3.8. Убедившись в полном погружении пленки, покачивать кювету от 30 сек до 1 мин максимум. Истощенный

проявитель может привести к сморщиванию и отслаиванию пленки от подложек.

3.9. Вынуть пленку из проявителя и окунуть в теплую (45°C) воду.

3.10. Отмывать до полного появления рисунка схемы.

3.11. Промыть струей теплой ($43\text{—}46^{\circ}\text{C}$) воды.

3.12. Поместить мокрую пленку подложкой вниз на чистую, ровную плоскую поверхность. Использовать для этой цели вставную плиту, не задевая за края рамы.

3.13. На пленку положить натянутую сетку и прижать.

3.14. Промокнуть слегка чистой газетной бумагой (не газетой!) или бумажной салфеткой. Бумага должна легко питывать влагу для эффективного подсушивания пленки.

3.15. Высушить пленку на воздухе. Ускоренная сушка может стать причиной сморщивания и искривления пленки.

3.16. После сушки отлепить пластиковую подложку. Если подложка не снимается, сушку продолжить. Пленку держать только за края.

3.17. Удалив подложку, промыть эту сторону пленки бензином или керосином для удаления остатков клея.

4. Обращение шаблонной пленки.

4.1. Дубить в сушилке при $163\text{—}176^{\circ}\text{C}$ в течение 10 мин или перейти непосредственно к п. 4.2.

4.2. Включив бытовой электроутюг в положение «шерсть», гладить пленку (не через сетку), пока она из красной не станет пурпурной.

4.3. Можно практиковать обращение пленки при помощи растворов, но это хуже проглаживания утюгом, так как не гарантирует сохранения размеров.

5. Замазать область сетки вокруг схемы водорастворимой смолой. Обычно смолу накладывают в два слоя при помощи маленького пластмассового шпателя.

6. Удаление шаблонной пленки с сетки после использования.

6.1. Отпаривать горячим водяным паром, пока весь шаблон не растворится и не смоеется с металлической сетки. С мелких сеток шаблоны обычно не удаляют.

6.2. Очистить сетку с двух сторон небольшим количеством абразивного порошка.

6.3. Промыть водой и высушить струей фильтрованного воздуха.

Примечание. Пресенсибилизированный фотошаблон свето- и теплочувствителен.

Деревянные. Самые дешевые рамы делают из искусственно высушенной сосны. Они относительно легки и мало коробятся. Используются для шелковых или нейлоновых сеток. Такие рамы пригодны для прямой печати и травления печатных плат с широкими допусками рисунка схемы.

Главные трудности при применении деревянных рам — неравномерная натяжка сетки, разломачивание сосны, требующее времени на ремонт, и нестабильность размеров.

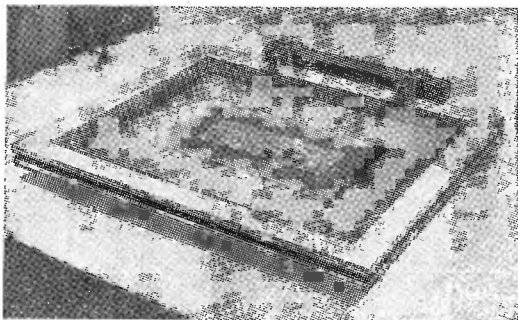


Рис. 4.8. Алюминиевая сеткографическая рама (производства фирмы «Крессилк Продактс Инкорпорейтид»).

Алюминиевые. В продаже есть литые рамы из алюминиевых сплавов. Состоят они из двух основных частей — внешней рамы и внутренней рамы, к которой поставщик и прикрепляет стальную, нейлоновую или шелковую сетку. Внутренняя рама носит название «вставка» и является съемной. Установка сетки и ее натянутость обеспечиваются фланцевым или лабиринтным зажимом *).

Такие рамы хотя и дороже деревянных, но и долговечнее. И коль скоро в этих рамах возможна установка сетки из нержавеющей стали, они смогут обеспечить высокую размерную стабильность печати.

Рамы из алюминиевого профиля. Другая возможная конструкция алюминиевой рамы показана на рис. 4.8. Она выполнена из отрезков прессованного алюминиевого про-

*) Например, так выполнены сетки производства фирмы «Эрнст У. Дорн Компани», Лос-Анжелос, Калифорния.

филя коробчатой формы, сваренного на алюминиевых укосинах. Внутренняя ложбинка профиля предназначена для удерживающих прутков, во внешней ложбинке располагается винт, регулирующий натяжение сетки.

Рекомендации по конструкции рам для сеткографической печати.

1. Стандартизуйте рамы по размерам, обеспечивающим печать самой большой платы.

2. Используйте только металлические рамы, например из алюминиевого профиля или подобные.

3. Величина натяжения сетки должна быть стандартной. При слишком большом натяжении сетка просачивается в экранированных участках и требует от оператора повышенных физических усилий при работе шпателем. При недостаточном натяжении получаются неровные края линий, плохой возврат сетки из-за подлипа и неудовлетворительное воспроизведение схемы. Момент затяжки натягивающего устройства должен быть выбран таким, чтобы обеспечивать удовлетворительное качество печати при зазоре между сеткой и платой около 1,3 мм. Размер этот может изменяться в зависимости от размеров платы.

4. Прутковые держатели должны держать сетку без проскальзывания при любом натяжении.

24. Шпатели

Качество печати в значительной степени зависит от шпателя и пользования им. Более или менее общепринятыми можно назвать шпатели из натуральной или искусственной резины толщиной 10 мм и шириной 50 мм в деревянной державке длиной 115 мм, длина которых выполняется в соответствии с размером печатаемого рисунка. Твердость шпателей бывает различной. Ниже представлены некоторые значения твердости по Шору:

40—45	очень мягкий
50—55	мягкий
60—65	средний
75—80	твердый

Оператор выбирает твердость шпателя по своему вкусу, важно только придерживаться постоянного значения. Обычно для печати на стальных нержавеющей сетках в производстве печатных плат применяют средние шпатели (60—65 по

Шору). Шпатель должен быть чисто вытертым и просыхать после каждого приема печати. Шпатели после длительного использования могут под действием растворителей стать несколько мягче. В этом случае необходимо просушить его на деревянной державке, чтобы резина не испытывала действия собственного веса. Лезвие шпателя должно остаться прямым, с плоским верхом и острыми кромками. Хотя эти требования и выглядят очевидными, тем не менее эта область применительно к производству печатных плат совершенно упущена из виду. Минимальная механизация поможет поддержать лезвие шпателя в необходимой кондиции.

Немаловажное значение имеет высота печатного стола, поскольку удобное рабочее место оператора гарантирует снижение процента брака и объем ретушировочных работ. Обычно высота стола составляет 765 мм.

25. Сетки

Таблицы сравнения предоставляют поставщики.

Шелк. Значительное распространение имеют сетки из шелка, так как они дешевы, выдерживают высокие давления и не деформируются. Типичным для производства печатных плат считается применение шелка 16 XX (157 меш.) с размером ячейки в свету 0,0034 дюйма *).

Установлено, что наилучшие сорта шелка с точки зрения однородности ячеек и высокой прочности на разрыв вырабатывают в США и Швейцарии. При наибольшем безусадочном растяжении нити шелка располагаются параллельно сторонам рамы. Шелк не подвержен действию органических растворителей, но склонен к гигроскопичности и как следствие к ослаблению натяжения. При этом печатное изображение может искажаться. Вследствие этого очень трудно выдержать допуски на линейные размеры изображения.

При применении шелковых сеток нити подвергаются износу, что приводит к рваным краям изображения, плохому разрешению и даже к закорачиванию проводников схемы.

*) Соответствует приблизительно сити № 8 по ГОСТ 3647—59.
(Прим. перев.)

Рекомендуемое расстояние между шелковой сеткой и поверхностью печати 4,75 мм. Это приводит к параллаксному искажению при нажиме трафарета шпателем, что должно быть учтено в проставлении размеров и допусков на схеме.

Сложность представляет и очистка шелковой сетки, так как абразив может ее повредить. Задубленные трафареты снять с шелка практически невозможно.

Исходя из изложенного, шелк нельзя рекомендовать для производства печатных плат. Его можно использовать для печати букв, цифр, символов и прочих изображений, не требующих высокой точности. Даже для этих работ шелк не выдерживает большого тиража.

Нейлоновые сетки из моноволокна. Они не подвергаются действию органических растворителей, но впитывают воду. Поэтому они, как и шелковые, теряют со временем натяжение и становятся непригодными.

Для тонких печатных работ подходит нейлоновая сетка в 196 меш. с ячейкой в свету*) 0,0033 дюйма. Нейлон более износостоек, не разломачивается и дешевле шелка, но он жестче шелка и труднее заправляется в раму. При отмывании сетки из нейлона можно соблюдать меньше предосторожностей, чем при применении шелка, важно только не порвать нити.

Сетка из нержавеющей стали марки 304. Самая распространенная сетка для печати схем на платах — сетка из нержавеющей стали с частотой плетения 200 меш **). Благодаря высокому значению разрывного напряжения такая сетка долго служит, хорошо держит натяжку и может быть мельче, чем шелковая. Кроме того, она более износостойкая и не впитывает никаких жидкостей. Минимальные параллаксные искажения обеспечиваются рабочим зазором 1,3 мм между поверхностью печати и трафаретом ***). Обычно для изготовления этих сеток используется проволока диаметром 0,0016 дюйма (0,04 мм) из нержавеющей стали марки 304.

*) Соответствует приблизительно сити № 5,5 по ГОСТ 3647—59. (Прим. перев.)

***) Соответствует приблизительно сити № 5,5 по ГОСТ 3647—59. (Прим. перев.)

***) Исправлена явная опечатка американцев. (Прим. перев.)

Обычно применяют трафаретную краску на основе винила, хотя не исключено и применение масляных красок, целлюлозных и асфальтовых лаков. В некоторых случаях для получения достаточной химической стойкости краски требуется задубливание. Независимо от типа резист для трафаретной печати должен обладать перечисленными ниже свойствами.

Химическая стойкость в технологических условиях в травящих, очистных и гальванических растворах должна быть высокой. Возможно, для этого потребуется задубливание.

Вязкость и тиксотропность должны соответствовать требованиям трафаретной печати. Вязкость, замеренная вискозиметром *), должна быть в пределах от 4500 до 16 000 *спз*. Менее вязкие резисты образуют тонкую пленку и на некоторых материалах дают размазанные изображения. У таких материалов выше тенденция к проколам, чем у более вязких резистов.

Тиксотропность резиста очень важна для получения высокого разрешения и образования достаточно толстых слоев. Свойство резиста удерживаться или свертываться, застывать на поверхности печати предотвращает последующие изменения ширины проводников или диаметра «пяточков». Если по схеме нужны отверстия на чистом поле диэлектрика, резист может быть нанесен в нескольких десятках микрон от отверстия. Резист с несоответствующими тиксотропными свойствами, если даже его вязкость подогнать к оптимальной, неизбежно просочится в отверстия.

Скорость высыхания резиста должна быть достаточно умеренной, чтобы трафарет не успевал засохнуть и забиться краской. После печати изображение необходимо подсушить на воздухе или в сушилке до нужной степени. Следует помнить, что краска в металл не впитывается, как, например, в бумагу; так что сушка в данном случае будет несколько дольше, а ее ускорение может привести к вскипанию или вспениванию резиста. Для такой сушки рекомендуются хорошо вентилируемые циркуляционные сушилки.

*) Например, вискозиметром Брукфилда.

— Напечатанный и подсохший резист должен иметь такую текстуру, которая облегчала бы проведение ретушировочных работ. При применении вязких смолистых резистов их удаление сопряжено с получением размазанных пятен на поверхности печати. Если резисты слишком хрупки и при ретушировочной подчистке облетают, требуется двойное ретуширование, т. е. после удаления лишнего резиста соскабливают и подчищают щеточкой добавочный слой резиста. Процесс этот усложняется еще и из-за необходимости проводить сушку и задубливание.

— Резист должен обладать хорошей адгезией и совместимостью с поверхностью, на которой осуществляется печать. Хорошая адгезия является необходимым условием для получения идентичных оттисков, сохраняющих свои очертания во время всего технологического процесса.

— Они должны легко и быстро смываться растворителями, не разрушающими подложку или фольгу платы.

— Чтобы гальваническое покрытие не ложилось на резист, он должен быть плотным, без проколов и с высоким омическим сопротивлением.

— Резист должен окрашиваться в цвета, контрастирующие с поверхностью печати. Это облегчает проверку правильности печати и ретуширования.

— Резисты должны иметь хорошую кроющую и смачивающую способность. Открытые участки трафарета резист должен легко и быстро заполнять без приложения особых усилий к шпателю.

— Резист не должен растворять материал трафарета.

На этих критериях и должен обосновываться выбор резиста при трафаретной печати. Масляные материалы, подходящие для печати на бумаге, обычно не подходят для печати на фольгированных платах, потому что не обеспечивают необходимой химической стойкости и адгезии. Кроме того, они плохо сохнут на непитьвающих поверхностях.

Целлюлозные и акриловые лаки слишком жидки, очень быстро сохнут, дают хрупкие слои после полного высыхания и обладают ограниченной химической стойкостью и адгезией. Их можно использовать для покрытия оборотной стороны двухсторонних плат перед травлением после печати. Во время травления так можно защитить мелкие детали схемы.

Целым рядом необходимых свойств обладают в качестве

резистов асфальтовые лаки. Используют обычно усиленные асфальтовые лаки, которые при комнатной температуре стойки в растворах хлорного железа, персульфата аммония и гидроксида аммония.

Самый подходящий материал для печати схем на платах — резисты на основе винила. Они в общем удовлетворяют всем требованиям, обладают хорошими кроющими свойствами и стойки в горячих щелочах и цианистых растворах.

Стойкость их в кислотах, травителях и гальванических ваннах относительна. В некоторых случаях резисты на основе винила стойки в концентрированной серной и смеси серной и соляной кислот.

Благодаря таким свойствам резисты на основе винила широко применяются при производстве печатных плат. В технологических процессах могут участвовать пирофосфат меди, сульфат меди, фтороборат меди, соли и цианиды золота, сульфат никеля, никель Уатта, родий, оловоникель, фтороборноокислый паяльный флюс и соответствующие очистные и подготовительные растворы. Хорошую химическую стойкость и адгезию в гальванических растворах обеспечивает задубливание резиста в течение 15 мин при температурах до 105° С. При более высоких температурах резист настолько сильно припекается, что его трудно удалить. Обычно на практике дает хорошие результаты задубливание в течение 15 мин при 60—65° С. Смыть резист на олове винила можно при помощи ксилола, хлорированных углеводородов или других органических растворителей, а также специальных составов, имеющих в продаже.

Так называемый процесс «сухой трафарет» предполагает использование термопластических смол и нагретых металлических трафаретов. Термопластический резист, разжижающийся при соприкосновении с нагретым трафаретом, наносится на поверхность печати, как обычно, но немедленно застывает на ней, давая почти сухой оттиск. Отпадает необходимость сушки и задубливания резиста. Процесс требует использования специальных термостойких материалов. Кроме того, разогрев приводит к нежелательному прогреву платы и изменению линейных размеров изображения. Химическая стойкость таких резистов в присутствии сильных агентов тоже может представить некоторые затруднения.

Некоторые проблемы, связанные с шелкографической печатью резистов и последующим гальваническим покрытием, рассмотрены в гл. 5.

27. Трудности при сеткографической печати

1. Повторяющиеся пятна или проблемы при печати свидетельствуют о наличии включений на трафарете. Обычно их не бывает на новом трафарете, если только на фото-пленке не было проколов эмульсии. На отремонтированных трафаретах можно предположить неполное удаление старой эмульсии. Причиной такого дефекта могут также быть инородные включения — пылинки, соринки. Очень важно вести печать и хранить трафарет в обеспыленном помещении.

2. Растекающееся или смазанное изображение является следствием применения слишком жидкого резиста. Для более устойчивых результатов печати требуется свести добавки разбавителя или наполнителя в резист до минимума.

3. Неудовлетворительная печать после серии хороших оттисков чаще всего является результатом засыхания резиста на трафарете. Когда это действительно так, трафарет нужно промыть, сняв остатки резиста при помощи растворителя, а также следует промыть и высушить шпатель. Помогает в некоторых случаях разбавление резиста, но качество печати при этом может снизиться. Если эти меры не помогут, следует заменить резист на другой, более высокого качества.

4. Плохое разрешение с подтеканием резиста под трафарет говорит о том, что резист чересчур жидкотекуч. Плохое разрешение, слабый или размазанный оттиск при высокой вязкости резиста являются результатом его слабой тиксотропности.

5. Зазубренные края линий оттиска, обусловленные недостатками трафаретной печати, явно свидетельствуют об износе трафаретной пленки. Единственно, что можно в таких случаях предпринять — это выбирать достаточно износостойкую трафаретную пленку и хорошо приклеивать ее к полностью промытой и правильно подготовленной сетке.

6. Пятна, появляющиеся после серии хороших оттисков, могут быть следствием того же дефекта.

7. Проколы в резисте могут быть порождены пузырьками или инородными включениями. Рекомендуется пригото-

вить резист в шекере за день-два до использования и хранить его в хорошо закрытом сосуде.

8. Плохая адгезия виниловых резистов вызывается чаще всего плохой зачисткой поверхности печати или плохим разбавителем, или напылителем. Для улучшения адгезии можно также прошлифовать фольгу наждачной бумагой.

9. Тонкое смазывание изображения, называемое оттенением, может быть вызвано: наклоном платы, устраняемым наладкой вакуумной рамы или ужесточением зажимного устройства; недостаточной вязкостью и тиксотропностью резиста, хотя это, скорее, скажется при получении растекшихся или слабых оттисков; завышенной дистанцией между трафаретом и поверхностью печати; это расстояние и натяжение трафарета должны обеспечивать четкий край получаемого оттиска; недостаточное давление шпателя или неправильный его наклон, сказывающийся также в получении неполных оттисков; недостаточные габариты прокладки так называемого фартука, предотвращающего прогиб сетки за край печатной платы. Это наиболее вероятная причина получения оттисков с оттенениями. Толщина прокладки должна быть равна толщине заготовки печатной платы. Она должна быть также достаточно широкой и длинной, чтобы перекрыть всю длину шпателя одновременно, и расположена таким образом, чтобы можно было за один проход шпателя отпечатать все изображение сразу.

28. Сеткографическая печать вручную

Для проведения процесса печати вручную самыми необходимыми исходными средствами являются достаточно жесткий печатный стол высотой около 765 мм, приготовленный сетчатый трафарет, откидная на петлях рама, шпатель рабочий и шпатели вспомогательные, резистивный лак, растворители, чистые лоскуты тканей, побольше чистой газетной бумаги, защитная липкая лента, подносы.

К печатную раму устанавливают в механизм, откидывающийся на петлях, и выравнивают на глаз относительно поверхности заготовки платы, на которую нужно нанести изображение. Делается это настройкой петлевого механизма или самого стола. Лучше иметь настраиваемый стол, так как очертания рабочего места при этом сохраняются неизменными. Самый распространенный способ установки плат—

по базовым технологическим отверстиям на штифтах, расположенных на столе. Штифты не должны выглядывать из платы, и установка сводится к установке штифтов относительно трафарета. После настройки найденное положение необходимо зафиксировать. У верхней, дальней стороны рамы устанавливают сосуд с количеством резиста, достаточным для получения большого числа оттисков. Из него набирают при каждом приеме печати некоторое количество

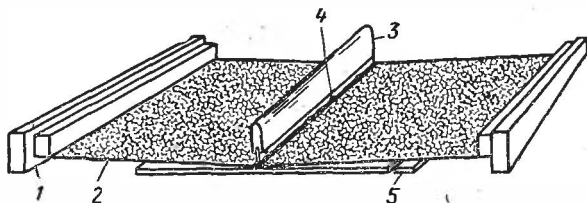


Рис. 4.9. Схема процесса трафаретной печати:

1 — печатная рама; 2 — трафарет; 3 — шпатель; 4 — резист; 5 — прокладка-фартук.

резиста, обеспечивающее образование валика вдоль всей длины шпателя при его продвижении по трафарету. Схема процесса печати в действии показана на рис. 4.9.

Сначала четкое и устойчивое изображение получают на газетной бумаге, затем начинают печать на платах. Полученное изображение проверяют и, если необходимо, окончательно настраивают станок (плату относительно трафарета).

Волна резиста перед шпателем является своеобразным резервуаром, обеспечивающим с некоторым избытком весь процесс печати от начала до конца трафарета. После печати шпатель плотно прижимают к трафарету. Затем шпатель с избытком резиста отводят обратно к дальнему краю трафарета, раму приподнимают и устанавливают на подножку, чтобы она не падала. Лучше, если рама будет иметь противовес. Отпечатанную плату осторожно снимают со штифтов и помещают схемой вверх на подставках для сушки. Затем закладывают новую заготовку, и операция повторяется. Отпечатав партию плат, их помещают в сушилку при помощи подносов. Сушку осуществляют до тех пор, пока плату нельзя будет взять в руки без опасения повредить оттиск. Точно так же печатают схему с противоположной стороны платы. При большом объеме работ по двухсторонней печа-

ти ставят два станка и сажают двух операторов, каждый из которых печатает одну сторону. Так можно сэкономить время. Стоимость и габариты оборудования делают такую меру рентабельной даже в условиях мелкосерийного производства двухсторонних плат.

29. Машинная сеткографическая печать

Машинная печать предполагает осуществление тех же операций, что и ручная. Типовое оборудование для машинной печати представлено на рис. 4.10 и 4.11.

Движение шпателя, подача резиста и подъем трафарета автоматизированы. Оператор выставляет плату относительно трафарета, добавляет резист в бачок, регулирует его

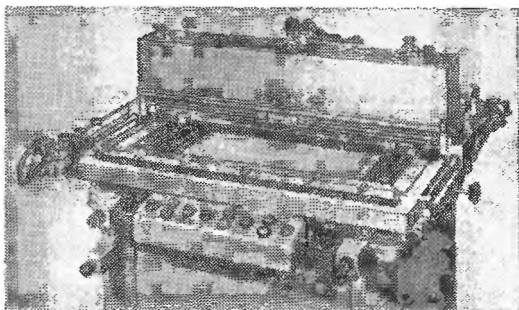


Рис. 4.10. Автоматический станок для сеткографической печати, модель Уайкро Пресижн Принтер производства фирмы «Кресслек Продактс Инкорпорейтид».

подачу, чистит сетку и производит прочие операции в соответствии с технологией процесса. Каждую плату после печати оператор осматривает и укладывает на решетку сушилки. Неудавшиеся платы оператор кладет в отдельный поднос, на переделку. Производительность крупных станков несоизмеримо выше ручного труда. Большие консольные модели выдают до 1000 и более оттисков за час. Несколько меньшие по размерам настольные станки могут печатать до 500 плат в час. Точность печатного изображения зависит от точности станка и заложена в его конструкции. Некоторые изготовители оборудования гарантируют

поле допуска в двух направлениях в пределах ± 25 мкм, а разброс между двумя платами в среднем $\pm 12,5$ мкм дюйма, то же в обоих направлениях. Для достижения такой точности необходимо точно выдерживать стандарт плат, операций, параметры окружающих условий и ряд других переменных.

Автоматическая печать не освобождает от затруднений. Чаще всего они связаны с синхронизацией частей механизма, точностью их движений и заменой микровыключателей.

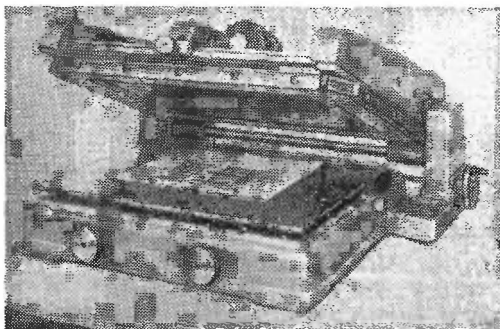


Рис. 4.11. Автоматический настольный станок для сеткографической печати, модель FCP производства фирмы «Крессилк Продактс Инкорпорейтид».

Настольные модели представляют определенное неудобство как более чувствительные по сравнению с тяжелыми напольными моделями. Постоянной и тщательной очистки требует канал подачи резиста. Шпатели вследствие высокого износа требуют частой промывки и планоупредительной замены. Повышенное время контактирования с некоторыми видами резиста размягчает резину.

Кроме того, возможны следующие затруднения.

1. Испорченные оттиски и прорванная сетка. При неправильной укладке заготовки она встает над штифтами или под углом, обнажая острые собственные края. При движении шпателя по такой заготовке изображение может быть испорчено, а сетка прорвана. При работе вручную оператор до таких плачевных результатов обычно не доходит.

2. Непропечатка. Иногда узел шпателя разрегулирован, и шпатель может перекашиваться или частично прома-

живаться мимо схемы. Установочные винты нужно крепить надежно.

3. Волосовидные линии поперек проводников схемы. Обычно машинная печать применяется при большом объеме работ; за время работы поверхности трафарета и резиста могут собрать некоторое количество пыли и инородных

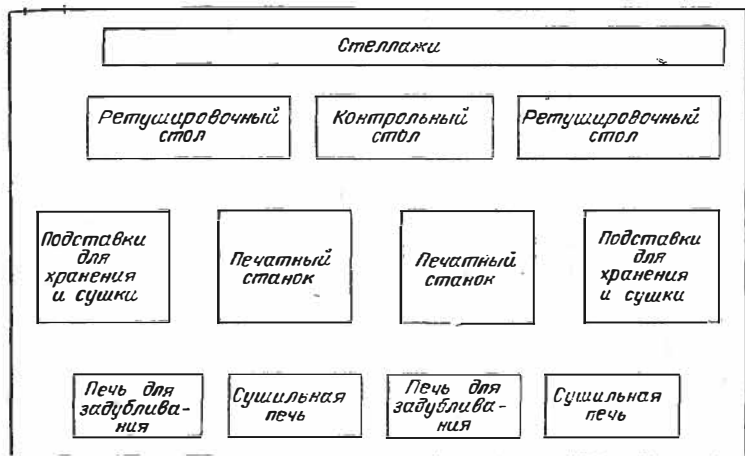


Рис. 4.12. План размещения оборудования на участке сеткографической печати.

включений из окружающего воздуха. Они фильтруются трафаретной сеткой и затем работают как трафаретный экран, закрывая поверхность печати.

4. Печать волосовидных линий на чистых полях схемы. Они могут быть вызваны царапанием трафаретной пленки твердыми частицами. Частицы могут быть внесены из окружающего воздуха, но скорее всего они попадают в зону печати вместе с заготовками, особенно при большом объеме работ, когда не исключено запыление поверхности заготовок. Сушильные подставки должны быть как можно лучше укрыты от пыли и размещены в комнате с чистым фильтрованным воздухом. Самое большое количество пыли в воздух поднимается с пола. Протирать заготовки можно только исключительно чистыми материалами.

5. Неточная печать из-за сдвига заготовки. При коробленых жестких заготовках трудно поддерживать должную степень вакуума в присосах. В этом может помочь мягкая

резиновая прокладка. Для сверленных заготовок нужна специальная вакуумная плита. Может быть эффективным применение обоюдолипкой ленты.

На рис. 4.12 представлено оборудование типового участка сеткографической печати.

ОФСЕТНАЯ ПЕЧАТЬ

Благодаря своей высокой производительности весьма соблазнительно в производстве печатных плат применение типографского прессового оборудования. Оно обеспечивает хорошее разрешение и достаточную точность. Величина рабочего пространства позволяет печатать несколько плат одновременно. Например, при печати трех плат на панели с размерами 229×458 мм ручное время на каждую плату снижается до одной трети. Необходим высококвалифицированный оператор.

Самое распространенное применение такое оборудование может найти в производстве односторонних плат при прямой печати и травлении. Рассматривать в этом аспекте производство двухсторонних печатных плат и плат с последующей металлизацией отверстий не имеет смысла. Этот процесс состоит в нанесении кислотостойкого резиста на нужные участки цинковой или полиметаллической литографской матрицы. Краска (резист) переносится вращающимися обрешиненными цилиндрическими валиками на поверхность заготовки печатной платы. Детали этого процесса освещены в литературе по литографии [21].

Для изготовления литографских матриц требуется специальный персонал. Приготовление печатной матрицы сопряжено с требованием установления и регулирования подачи краски и воды в очень узких пределах, чтобы получить нужную степень разрешения и химическую стойкость слоя. Весьма сложен и нестабилен способ напыления оплавляемой асфальтовой пудры на печатное изображение. Достаточно отклониться от теплового режима, и изображение может быть испорчено.

Панель укладывают на постель и крепят зажимами. Постель с резиновой прокладкой помогает компенсировать неравномерную толщину и коробление заготовки. Стенки выполняются в стальном или чугунном литье с антикоррозионным покрытием. Остаются в силе требования к чистоте

при печати. Станки достаточно велики и занимают большую площадь.

В тексте не упомянуто большое число поставщиков материалов и оборудования для переноса изображения на плате. Можно рекомендовать обратиться к справочникам и другим подобным материалам. Например, [3, 4, 22—26].

ЛИТЕРАТУРА

1. T. D. Schlabach and D. K. Rider. «Printed and Integrated Circuitry», chap. 4, McGraw-Hill Book Company, New York, 1963.
2. P. Eisler (ed.), «The Technology of Printed Circuits», Academic Press Inc., New York, 1959.
3. «Kodak Photo-sensitive Resists for Industry», Publ. 7, 1962; Supplement to «Kodak Photosensitive Resists for Industry, Physical Properties», 1965; «Kodak Photo-resist for Making Photolithograph Plates», pamphlet Q-25, GLP-6-57-E, Eastman Kodak Company, Rochester, N.Y., 1962.
4. «Techniques of Microphotography», Publ. P-52, Eastman Kodak Company, Rochester, N.Y., 1963.
5. «Etching, Chemical Milling and Plating with Kodak Metal-Etch Resist», Publ. P-36, 10—59, Eastman Kodak Company, Rochester, N.Y.
6. AZ Photo Process Instruction, PI-150, Shipley Company Inc., Wellesley, Mass.
7. Dynachem Technical Data Sheet 6—2863, Harris Intertype Corporation.
8. «Integrated Silicon Device Technology», vol. III, Photoengraving, ASD-TDR-63-316, January, 1964.
9. J. R. Sayer, Jr. and J. Smith, Evaluation of Fine Line Etching for Printed Circuit Applications, Plating, vol. 48, p. 789—793, 1961.
10. H. S. Hoffman, Methods of Producing Fine Lines in Printed Circuits, Proc. 1960 Fall Meeting Inst. Printed Circuits, Chicago, Ill.
11. T. R. Bates. Photosensitive Resists for Electroforming, Plating, vol. 52, p. 673—676, 1965.
12. U.S. Patents 2,610,120; 2,670,285—7; 2,690,966; 2,732,297; 2,739,892; 2,801,233.
13. U.S. Patents 2,706,725; 2,708,665; 2,716,097; 2,716,102—3.
14. U.S. Patent, 1,965,710.
15. U.S. Patent 2,908,667.
16. U.S. Patent 2,948,610.
17. «Metal Finishing Guidebook», 30th ed., p. 572—578, Metals and Plastics Publications, Westwood, N.J., 1962.
18. J. Eisenberg and F. Kafka, «Silk Screen Printing», 2d ed., New York City Schools, McKnight & McKnight Publishing Company, Bloomington, Ill, 1957.

19. A. K o s l o f f. «Photographic Screen Process Printing», 2d ed., Signs of the Times Publishing Company, Cincinnati, Ohio, 1962.
20. ASTM Designation D 1706-61, «ASTM Book of Standards», pt. 27, p. 546—552, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa., 1965.
21. A. M a r i n a c c i o and B. N. O s b o r n, «Exploring the Graphic Arts», D. Van Nostrand Company, Inc., Princeton, N.J., 1942.
22. Printed Circuit Materials and Equipment Directory, Electronic Packaging and Production, vol. 4, no. 12, 1964.
23. Products Finishing Directory, Products Finishing, Gardner Publications, Inc., Cincinnati, Ohio, 1965.
24. Insulation, Directory Encyclopedia Issue, Lake Publishing Corporation, Libertyville, Ill.
25. Modern Plastics, Encyclopedia Issue, New York Yearly Publication.
26. Institute of Printed Circuits, Chicago, Ill.

НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ

Д-Р Эдвард Ф. Даффин и Эрнест Армстронг

*фирма «Фэрчайлд Семикондактор», Пало Альто,
Калифорния, США*

ВВЕДЕНИЕ	174
УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ	177
1. Требования, предъявляемые к производственной технической документации	177
2. Чертеж печатного монтажа	178
3. Изготовление фотооригинала	178
4. Фотографирование фотооригинала и уменьшение масштаба	179
5. Подготовка заготовок плат и сверление отверстий	181
ХИМИЧЕСКОЕ МЕДНЕНИЕ	183
6. Процесс химической металлизации отверстий вос- становлением меди	184
7. Химия процесса восстановления меди	187
ГАЛЬВАНИЧЕСКАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ	189
8. Последовательность операций процесса гальвани- ческой металлизации с наращиванием меди по всей поверхности платы (сплошное наращивание)	192
9. Последовательность операций процесса гальва- нической металлизации с наращиванием меди по рисунку печатного монтажа («избирательное наращивание»)	194
10. Сравнение двух способов гальванической металли- зации	195
НАНЕСЕНИЕ РЕЗИСТИВНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ	196
11. Фотографический способ нанесения резиста	196
12. Сеткография	199
13. Ретуширование	201

ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ МЕДНЕНИЕ	201
14. Характеристики меди	203
15. Меднение в пиррофосфатном электролите	203
16. Меднение в серноокислом электролите	208
17. Меднение в борфтористоводородном электролите	214
ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ЗОЛОЧЕНИЕ	216
18. «Ударное» и нормальное золочение	218
19. Кислотное золочение	219
20. Блестящее цианистое золочение	222
21. Пайка золотого покрытия	225
22. Удаление золотых покрытий	226
ПОКРЫТИЕ СПЛАВОМ ОЛОВО — СВИНЕЦ	226
23. Функции составных частей	227
24. Обслуживание и контроль	229
25. Оборудование	230
ПОКРЫТИЕ СПЛАВОМ ОЛОВО — НИКЕЛЬ	231
26. Функции составных частей	232
27. Обслуживание и контроль	233
28. Дефекты покрытий	233
29. Оборудование	234
30. Цикл	234
31. Скорость наращивания	234
32. Стоимость	234
ДРУГИЕ МЕТАЛЛЫ	235
33. Гальваническое никелирование	235
34. Покрытие родием	238
35. Серебрение	239
36. Гальваническое лужение	240
БЕСТОКОВАЯ И КОНТАКТНАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ	242
37. Бестоковое никелирование	242
38. Бестоковое золочение	243
39. Контактное лужение	244
40. Другие металлы	244
ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ ОПЕРАЦИИ ТРАВЛЕНИЯ	244
41. Промывка	244
42. Нанесение покрытий после травления	245
ОЦЕНКА И ИСПЫТАНИЯ ПЛАТ С ПОКРЫТИЯМИ И МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ	246
43. Предварительная проверка	246
44. Целостность и испытательная схема монтажа	246
45. Измерения электрического сопротивления	246
46. Испытания на качество пайки	247
47. Испытания на токопроводность	247

48. Испытания на воздействия циклического изменения температуры и повышенной температуры	247
49. Испытания на воздействия высокой относительной влажности	248
50. Металлографическое исследование микрошлифов	248

МНОГОСЛОЙНЫЕ ПЕЧАТНЫЕ СХЕМЫ 249

51. Метод открытых контактных площадок	250
52. Многослойные печатные платы из стандартного стеклотекстолита	252
53. Последовательное прессование слоев	255
54. Послойное наращивание	256
55. Трудности при выполнении послойного наращивания	258
56. Послойное наращивание многослойных плат со штырями	259

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ПЕЧАТНЫХ СХЕМ 261

ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И СТАНДАРТЫ 262

57. Военные технические условия	262
58. Федеральные технические условия	263
59. Технические условия NASA	263
60. Другие технические условия и стандарты	263

КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ 264

61. Анализ электролита пиррофосфатного меднения	265
62. Анализ электролита сернистого меднения	269
63. Анализ борфтористоводородного электролита меднения	271
64. Анализ кислого электролита золочения	271
65. Анализ электролита блестящего цианистого золочения	272
66. Анализ борфтористоводородного электролита	274
67. Анализ электролита покрытия сплавом олово — паякель	275
68. Анализ кислотных декапиров	277

МЕТАЛЛОГРАФИЯ (ИЗГОТОВЛЕНИЕ МИКРОШЛИФОВ) 277

69. Требуемое лабораторное оборудование	277
70. Изготовление микрошлифов	279

ИСПЫТАНИЯ ПЛАТ НА ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ 280

71. Испытания на наличие остатков меди и железа на платах	280
72. Медно-бензидиновая проба на цианид	281

Литература 282

ВВЕДЕНИЕ

В этой главе рассмотрены условия получения высококачественной химической и электрохимической (гальванической) металлизации печатных плат. Поскольку многие затруднения, возникающие при гальваническом покрытии, являются следствием предшествующих операций изготовления плат, необходимо рассмотреть причины, обуславливающие возникновение этих затруднений, и дать рекомендации по правильному проведению всех операций.

Вначале описываются основные этапы изготовления печатных плат, затем рассматриваются требования, предъявляемые к гальваническому покрытию и гальваническим процессам. После рассмотрения технологии изготовления обычных печатных плат дается краткое описание технологии изготовления многослойных плат. Приведены сведения по изготовлению печатных плат, удовлетворяющих требованиям как промышленных, так и военных технических условий, описано современное состояние технологии гальванических процессов при изготовлении печатных плат.

Рассматриваются военные технические условия, касающиеся гальванических процессов при изготовлении печатных плат.

Поскольку существует большое разнообразие исходных материалов, способов прокладки проводников, размеров отверстий, различных стандартов, то необходимо определить вид плат, который будет рассматриваться. Под платами высшего качества здесь понимаются платы, отвечающие требованиям военных технических условий, Американского общества испытаний материалов (ASTM) и Национальной ассоциации изготовителей электронной аппаратуры (NEMA)

Материал оснований плат. Стандартным материалом для изготовления плат является стеклотекстолит толщиной 1,6 мм, фольгированный с двух сторон медью толщиной 35 мкм. Марка G-10, по стандарту NEMA соответствует марке FL-GE-0,062-C 1/1 сорт B (MIL-P-13949D) по военным техническим условиям.

Размеры отверстий. Наиболее распространены размеры отверстий 0,8—1,3 мм. Замер отверстий производится после сверления, до нанесения покрытия, с помощью измери-

тельного микроскопа или другого точного измерительного прибора.

Платы. Платы должны быть стандартными, двухсторонними, с металлизированными отверстиями. Платы с печатными контактами для разъемных соединителей должны использоваться в электронной аппаратуре, работающей при нормальной комнатной температуре.

Терминология. Следует использовать терминологию, предусмотренную техническими условиями MIL-Std-429A.

Преимущества металлизированных отверстий заключаются в том, что они обеспечивают соединение двух сторон печатного монтажа с требуемыми электрическими свойствами, прочное закрепление деталей при сохранении возможности ремонта, высокую надежность при низкой стоимости.

Процесс изготовления плат должен быть по возможности наиболее простым. Гальванические покрытия должны выдерживать циклические изменения температур, механические удары, вибрацию и другие виды испытаний.

Покрытие должно быть гладким, без пор и сколов, во избежание проникновения растворов и газовыделения, что может помешать

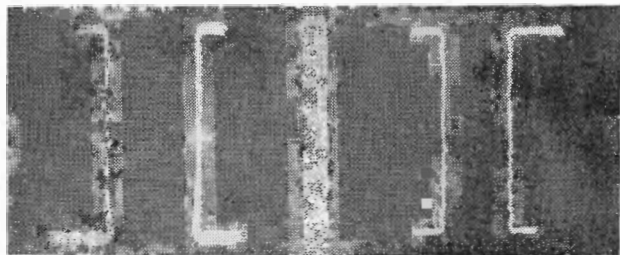


Рис. 5.1. Разрезы металлизированных отверстий в печатных платах, изготовленных способами сплошного наращивания меди (слева, увеличение $40\times$) и избирательного наращивания меди (справа, увеличение $45\times$).

качественной пайке. Некоторые требования, предъявляемые к металлизации, перечислены также в приведенных ниже выдержках из военных технических условий MIL-Std-275B и на рис. 5.1.

1. Наличие сплошной металлизации.
2. Одинаковая толщина покрытия в отверстиях на поверхности фольги.
3. Отношение толщины слоя металла в отверстиях к толщине на поверхности, близкое к $1:1$.

4. Мелкозернистая структура покрытия.
5. Отсутствие утолщений, инородных включений и т. д.

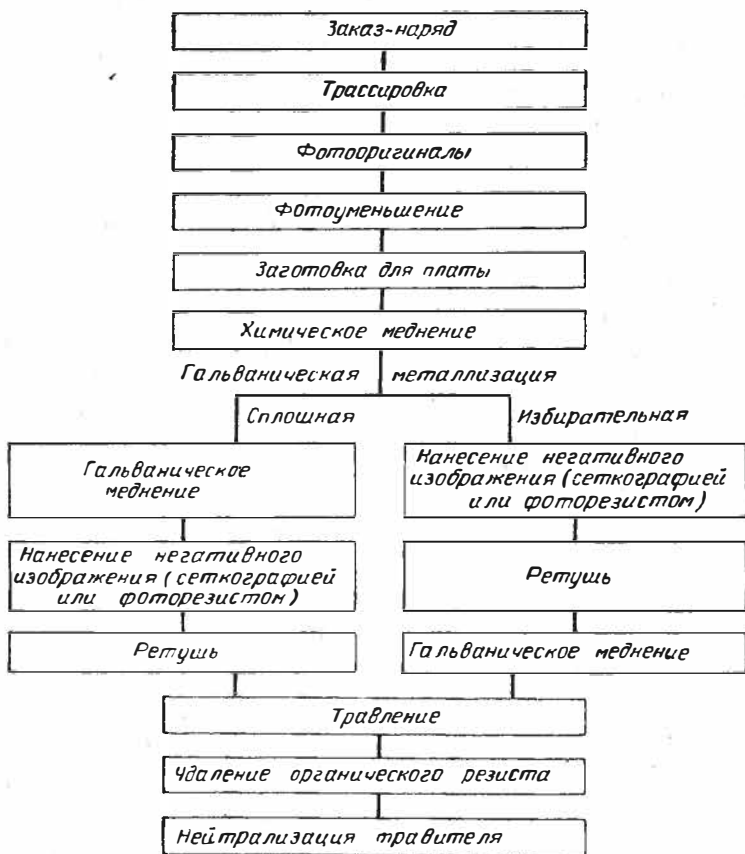


Рис. 5.2] Схема процесса изготовления печатных плат.

6. Отсутствие избыточного нарастания металла на входе отверстия или на внешнем крае контактной площадки.
7. Отсутствие трещин.
8. Минимальная толщина слоя меди в отверстиях 25 мкм. (Для повышения надежности и возможности замены компонентов используются слои меди толщиной 37—75 мкм).

УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ

Схема, приведенная на рис. 5.2, показывает основные этапы изготовления печатной платы. Для каждого этапа даются рекомендации по улучшению процессов, особенно гальванических.

1. Требования, предъявляемые к производственной технической документации

1. Необходимо правильно выбрать и применить соответствующие военные или другие технические условия, на основании которых будет разработана производственная документация.

2. Требования, предъявляемые к материалам, должны включать требования на толщину, допуски, теплостойкость, критерии качества и др.

Военными техническими условиями, определяющими требования к материалам, являются MIL-P-13949D.

3. Требования, предъявляемые к гальваническому покрытию. Необходимо указывать вид покрытия, толщину и допуски.

Часто встречающаяся общая ошибка заключается в том, что при указании золочения дают просто ссылку на технические условия MIL-G-45204. Этого недостаточно, так как в этом документе предусмотрены два вида покрытия золотом. Следует также пользоваться техническими условиями MIL-Std-275B.

4. Оформление сопроводительной карты. Карта должна включать все операции. Ответственное лицо должно подписывать каждую операцию после ее выполнения и контроля. Ни одна операция не должна выполняться до тех пор, пока не будет проверено и подписано выполнение всех предшествующих операций. Процесс металлизации нельзя начинать, если плата или заготовка к этому времени не подготовлена соответствующим образом. Образец сопроводительной карты представлен на рис. 5.3. (Карта должна точно соответствовать операциям процесса изготовления. Данная форма предназначена только для того, чтобы показать вид требуемой информации.)

Партия № _____

Количество _____

Дата выпуска _____

Выполнить до _____

Операция или инструкция	Дата получения	Подпись	Дата выполнения	Подпись
1. Задание на разработку с учетом конкретных требований (военных стандартов технических условий и т. д.)				
2. Рисунок схемы				
3. Фотографирование Фотобелки Уменьшенные позитивы Уменьшенные негативы и т. д.				
.....				

Рис. 5.3. Образец сопроводительной карты.

2. Чертеж печатного монтажа

Из-за неправильного расчета печатного монтажа при металлизации могут возникнуть следующие дефекты.

1. Замыкания между контактными площадками или проводниками из-за недостаточной величины зазоров между ними, особенно на платах, изготавливаемых способом избирательного наращивания меди.

2. Нарушения золотого покрытия и частично металлизации отверстий из-за недостаточных размеров контактных площадок. Это в большей мере проявляется при способе сплошного наращивания, но вероятно и при избирательном наращивании.

3. Изготовление фотооригинала

При выполнении фотооригинала возможны следующие дефекты.

1. Просветы или разрывы на печатном монтаже или контактных площадках вследствие плохого выполнения фотооригиналов с помощью липкой ленты. Эти просветы

могут быть очень малы и становятся очевидными только тогда, когда плата подвергается травлению. Необходимо осуществлять перекрытие отрезков липкой ленты при их прокладке.

2. Неровность краев ленты в результате резки ее тупым ножом может вызвать нечеткость рисунка монтажа.

3. По возможности следует придерживаться точных допусков. Часто плохое выполнение фотооригинала обусловливает возникновение замыканий между проводниками и краями металлизированных отверстий при гальваническом наращивании из-за несовмещения рисунка печатного монтажа с просверленными отверстиями. Это особенно справедливо, когда фотооригиналы верхнего и нижнего слоев выполняются раздельно.

4 Фотографирование фотооригинала и уменьшение масштаба

При фотографировании необходимо обратить внимание на следующее:

1. При хранении и во время фотографирования лента стягивается и может даже провиснуть. Результатом могут стать неточное совмещение и недостаточная ширина контактных площадок вокруг отверстий и, следовательно, повышение вероятности разрыва фольги в этом месте во время вытравливания меди. Этот дефект можно исключить за счет быстрого воспроизведения, правильного хранения и использования фотооригинала.

2. Плохое совмещение контактных площадок часто затрудняет выполнение гальванических процессов. Если соответствующие участки светочувствительной эмульсии не будут защищены от воздействия света при экспонировании, то эмульсия задубливается и остается в отверстиях, препятствуя образованию сплошного защитного металлического покрытия. В результате этого возникают точечные повреждения или даже полный разрыв металлизации в отверстиях после травления. Причиной несовмещения могут быть искажения при фотографировании, вызываемые плохой оптикой, неправильное положение платы при экспонировании, форсированная сушка фотопленки. Окрашивание плат помогает обнаружить остатки светочувствительной эмульсии в отверстиях. Существует опасность загрязнения

краской ванны золочения, но этого можно избежать при правильной промывке холодной водой и хорошо просушивании. Простым и быстрым средством является фильтрация через активированный уголь, но обычно она не требуется даже после обработки многих сотен плат. Для указанной выше цели существуют специальные синие краски.

3. Комплект позитивов и негативов следует выполнять строго в масштабе 1 : 1. Важно, чтобы коэффициент уменьшения масштаба сохранялся в пределах точных допусков (например, фотооригинал с отношением 4 : 1 уменьшается до 1 : 1). При нарушении этого условия имеет место плохое совмещение между верхним и нижним слоями печатного монтажа; размеры проводников или контактных площадок могут не отвечать допускам после гальванического наращивания *).

4. Требования к помещению для фоторабот. Комната должна быть полностью затемнена. В противном случае на негативах и позитивах появляются пятна, неровные края и плотная вуаль по всей поверхности. Темная комната должна быть свободна от пыли, а растворы должны быть чистыми. Поры, разрывы и другие дефекты или остатки металла вне рисунка монтажа могут быть вызваны пылью, грязью или выкристаллизовавшимися или осевшими лабораторными растворами. Кристаллизации или осаждения можно избежать при контроле за температурой и химическим составом растворов. Количество загрязняющих осадков и масел снижает до минимума применение фильтрованной деионизированной воды.

Вследствие плохой обработки, при которой имеют место отмеченные недостатки, на платах могут образоваться точечные протравленности на печатных проводниках, вызванные светлыми пятнами на черном позитивном изображении; остатки металла после травления на неметаллизируемых участках из-за черных пятен вне рисунка монтажа, тонкая пленка золота или другого металла поверх слоя резиста, нанесенного фотоспособом или шелкографией, вследствие вуалированного фотопозитива (слой резиста слишком тонок).

*) Это требование не противоречит изложенной в гл. 4 рекомендации слегка увеличивать масштаб для компенсаций эффекта подтравливания и усадки фотопленки, если эту рекомендацию распространять только на платы с невысокими техническими требованиями. (Прим. перев.)

Некоторые пятна можно удалить с фотопленки или с платы путем ретуширования, что предотвращает указанные выше затруднения. Большая трудоемкость и невысокое качество делают этот метод нерациональным для широкого применения.

5. Подготовка заготовок плат и сверление отверстий

Резка и сверление являются весьма ответственными операциями, и поэтому их необходимо проводить с особой тщательностью, чтобы избежать брака. Работать нужно в хлопчатобумажных перчатках.

Обрезка плат по контуру. 1. Царапины и другие повреждения абразивного характера или вмятины, вызванные неправильным обращением, использованием несоответствующих подкладок и т. д., могут являться причиной разрывов проводников при травлении. Золото или другой металл, используемый в качестве резиста при травлении, может не дать достаточно толстого покрытия или совсем не ляжет на дно царапины. Следовательно, будет происходить полный разрыв фольги при травлении.

2. Обрезка края, где должны заканчиваться контактные выводы, может легко вызывать нарушение структуры слоистого материала, делая его весьма пористым. Металл, осаждающийся, при химическом восстановлении меди, может глубоко проникать в поры диэлектрика и вызывать низкое сопротивление изоляции или короткие замыкания. Резка на циркулярной пиле или фрезерование в какой-то мере являются лучшими способами. Наиболее безопасный метод заключается в оставлении по возможности большего припуска, а затем удаление его обрезкой или фрезерованием до требуемого размера после завершения гальванических процессов.

3. Расслаивание также может быть вызвано давлением во время резки. Печатные проводники, расположенные на участках с раздавленным слоистым материалом, могут слегка отделяться от него, в результате чего травящие растворы воздействуют на медную фольгу с нижней стороны. На поверхности это выглядит в виде пробоя за счет плохого гальванического покрытия (адгезия, толщина). Любое такое повреждение поверхности должно отмечаться в сопроводительной карте.

4. Металлические опилки, песчинки, масло и т. д. могут легко проникать в слоистый материал во время резки, чего следует избегать.

Сверление. Качественное сверление имеет существенное значение для получения хороших металлизированных отверстий. Стенки отверстий должны быть гладкими, не должно быть заусенцев, расслаивания, ожога и смятия диэлектрика. Они должны также быть перпендикулярными к наружной поверхности платы, круглыми, строго цилиндрическими и свободными от следов инструмента, от смазочных веществ и стружки. Иногда можно применять и конические сверла (т. е. получать конические отверстия). Хорошо работают сверла с углом при вершине 118° , углом захода спирали $51,5^\circ$ и при подаче $0,025—0,038$ мм на один оборот.

Гладкие стенки можно получить при использовании острых твердосплавных сверл. Учитывая усадку материала после сверления, для получения отверстий диаметром $1,27$ мм берут стандартное сверло № 55 диаметром $1,345$ мм, т. е. с превышением

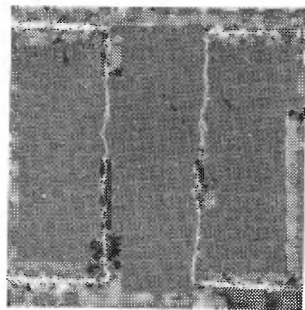


Рис. 5.4. Пример некачественного сверления отверстия (увеличение $45\times$).

на $0,075$ мм. Хотя усадка стеклотекстолита может и не быть такой большой, лучше использовать сверло стандартного размера.

Дефекты, возникающие при процессах металлизации вследствие некачественного сверления. 1. Неровность стенок. Воздух или водород, задерживающийся в неровностях некачественно просверленных отверстий, препятствует формированию сплошной пленки химически осажденной меди. Это вызывает образование неметаллизированных участков в отверстиях и впоследствии неполное покрытие припоем. Кроме того, эти участки получают небольшое количество резистивного металла или совсем его не получают, а затем пробиваются при травлении. В эти пустоты могут попасть корродирующие материалы и вызвать отказы во время испытаний на воздействие температурных циклов и во время работы. На рис. 5.4 приведен пример некачественного сверления.

2. Уменьшение диаметра отверстия. Заусенцы, образовавшиеся на входе отверстия при сверлении, получают избыточное покрытие, за счет чего уменьшается размер отверстия

3. Смятие изоляционного материала. Когда плотность размещения отверстий на каком-либо участке высока, возможно возникновение замыканий или уменьшение сопротивления изоляции вследствие поглощения диэлектриком растворов химического меднения или осажденного металла. Это может также вызвать коррозию под действием поглощенных химических веществ или газовыделение при пайке. Отслаивание проводников или контактных площадок — еще один вид возможных дефектов.

4. Смещение отверстий. Если отверстия просверливаются не строго под прямым углом, то невозможно достигнуть правильного совмещения их с печатным монтажом на обеих сторонах платы. При нанесении изображения фотоспособом это может вызвать во время экспонирования засвечивание эмульсии в отверстиях и ее последующее частичное или полное задубливание. При нанесении изображения методом сеткографии этот фактор учету не подлежит, но даже в этом случае в результате плохого совмещения отверстий с рисунком образец приходится браковать. Типичными причинами смещения отверстий являются: изгиб сверла, чрезмерная подача, сверление пакета из слишком большого количества плат, неправильная заточка сверла (неодинаковая длина режущих кромок), люфт в шпинделе или патроне.

5. Попадание смазочных веществ в просверленные отверстия. Смазка в отверстиях препятствует осаждению меди. Если медь все-таки осаждается, просочившаяся смазка может вызвать плохую адгезию защитного слоя при травлении.

ХИМИЧЕСКОЕ МЕДНЕНИЕ

Заготовка платы из фольгированного с двух сторон диэлектрика после сверления отверстий готова к металлизации отверстий. Существует много способов металлизации поверхности диэлектриков. В их число входят графитизация, нанесение токопроводящих красок или металлических порошков, химическое восстановление, набрызгивание серебра, вакуумное напыление. Среди этих методов химическое восстановление меди наиболее полно отвечает производствен-

ным условиям. В соответствии с военными техническими условиями MIL-Std-275B сквозная металлизация отверстий должна выполняться именно восстановленной медью.

За последние годы исключена обработка фольгированного материала мокрым песком после восстановления меди [1]. Кроме того, что такая обработка трудоемка, при ее

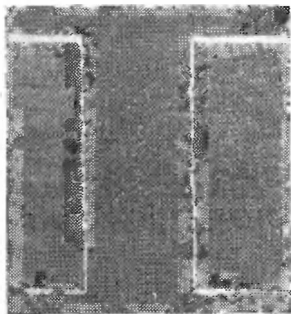


Рис. 5.5. Металлизированное отверстие, на котором [виден разрыв медной пленки, вызванный обработкой мокрым песком после восстановления меди (увеличение $45\times$).

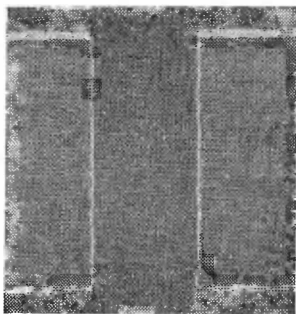


Рис. 5.6. Типичное металлизированное отверстие, выполненное без обработки мокрым песком после восстановления меди (увеличение $45\times$).

выполнении существует опасность разрыва металлического покрытия в отверстиях, что сводит на нет последующую обработку. Эти дефекты проиллюстрированы на рис. 5.5 и 5.6.

6. Процесс химической металлизации отверстий восстановлением меди

Процесс химического меднения заключается в основном в сенсibilизации и химическом осаждении меди на поверхность стеклотекстолита в отверстиях (и на поверхность фольги) [2—5]. Ниже перечисляются основные операции химического меднения.

1. Обезжиривание в парах растворителя. Используется трихлорэтилен (марки «чистый»). Хотя смазки или масла не используются при сверлении и резке заготовок плат, однако обезжиривание имеет существенное значение. Время

обработки не должно превышать 1 мин, чтобы не ослаблялось клеевое соединение.

2. Укладка плат. Предпочтительна не вертикальная.

3. Очистка. Очистку следует осуществлять с помощью мелкой пемзы в щелочном или мыльном очистительном растворе с помощью тонкой щетки из твердой щетины. Время обработки — 2 мин. Вместо этого может быть применена электролитическая очистка в щелочном растворе.

4. Промывка под душем. Промывка производится водопроводной или умягченной водой до полного удаления пемзы. Вода не должна содержать грязь и масло.

5. Подтравливание меди. Производится в растворе персульфата аммония или хлорной меди. Подтравливание в растворе персульфата аммония с концентрацией 200 г на 1 л воды осуществляется при комнатной температуре в течение 2 мин. Раствор необходимо готовить ежедневно. Подтравливание в растворе хлорной меди (25° Боме) производится при температуре 43—48° С с продуванием воздуха в течение 5—10 сек. Подтравливание в растворе хлорной меди несколько более сложно с точки зрения контроля, и после него на плате может появиться желтый налет (осадок Cu^+).

6. Промывка под душем *). Медь должна полностью смачиваться водой без образования капель и иметь равномерную розовую окраску.

7. Обработка в 25%-ной (по объему) серной кислоте. Эта операция следует за операцией подтравливания в растворе персульфата аммония, после которой не стоит использовать растворы соляной кислоты. Обработка производится при комнатной температуре в течение 1 мин.

Если подтравливание производилось в хлорной меди, то выполняется обработка: а) в 33%-ной по объему соляной кислоте (технический сорт), б) водой под душем; в) в 33%-ной соляной кислоте (реактивный сорт). Растворы должны проходить сквозь отверстия. Следует избегать осаждения солей. Раствор требует частой замены.

8. Промывка под душем деионизированной водой в течение 15 сек.

*) После этой операции может производиться осветление в смеси кислот HNO_3 — H_2SO_4 , но в некоторых случаях такая обработка нежелательна вследствие вредного воздействия на эпоксидные или другие изоляционные материалы оснований. Рекомендуются также растворы из смеси азотной и уксусной кислот.

9. Обработка в 25%-ной (по объему) соляной кислоте в течение 2—5 мин.

10. Сенсибилизация. Производится в следующем растворе:

Деионизированная вода, л	1
37%-ная HCl, мл	4
Двухлористое олово (SnCl ₂), г	2,5
Смачиватель (неионный), капли	3
Металлическое олово в гранулах, г	6
Время обработки, мин	2

При интенсивном использовании производится смена раствора каждые 4 час. Можно также использовать другие сенсибилизирующие составы, а именно четыреххлористые титан и кремний.

11. Промывка деионизированной водой.

12. Активирование. Производится в следующем растворе:

Деионизированная вода, л	1
37%-ная HCl, мл	2
Хлористый палладий, г	0,4
Смачиватель (неионный), капли	3
Время обработки, мин	2

13. Промывка деионизированной водой. Эта операция имеет важное значение. Производится легкое передвижение плат вверх и вниз так, чтобы при погружении в жидкость раствор проходил через отверстия. Хороший результат дает сочетание стоячей воды на дне ванны и разбрызгивания сверху. Разбрызгивание производится во время опускания и вынимания платы из ванны. Любые осадки, оставшиеся после этой операции, загрязняют раствор химического меднения и вызывают плохую адгезию и разрывы покрытия.

14. Обработка раствором ускорителя (необязательная). Производится при применении соответствующего активатора (совмещенного палладия).

15. Промывка деионизированной водой под душем.

16. Химическое меднение в следующих растворах:

Раствор для восстановления меди

Деионизированная вода (комнатная температура) 2839 мл
Гидроксид натрия, NaOH 95 г
Сегнетова соль, тартрат калия — натрия 330 г

Раствор восстановителя

Деионизированная вода	1500 мл
Формальдегид, 37%-ный	
HCHO	300 мл

Сульфат меди (порошковый)

150 г

Растворитель в 946 мл тепловой воды

Эти два раствора смешиваются непосредственно перед применением. Время обработки изменяется в зависимости от материала плат и способа обработки. Вермя жизни раствора колеблется от нескольких часов до нескольких дней. Считается, что продувание воздуха через раствор увеличивает срок службы [6].

Поскольку поверхность восстановленной меди не является сильным катализатором, толщина покрытия оставляет примерно 2,5—5 мкм. Для печатных плат рекомендуется минимальная толщина 0,25 мкм.

Для получения устойчивых результатов следует определить необходимую толщину, которая обеспечивает высокую надежность покрытия отверстий. В качестве исходных данных следует придерживаться рекомендаций поставщика химикатов и вести точную регистрацию количества непокрытых мест в отверстиях и изменения толщины меди по мере использования раствора. Эти записи должны также включать: площадь поверхности плат (включая площади поверхности отверстий), время, температуру, концентрацию, интенсивность перемешивания и другие факторы. Следует отметить, что толщина слоя восстановленной меди уменьшается по мере старения раствора химического меднения. Обычно время обработки увеличивается в соответствии с количеством проведенных обработок в данном растворе.

17. Промывка под душем и переход к процессу гальванического наращивания.

18. Сушка обдувом воздуха.

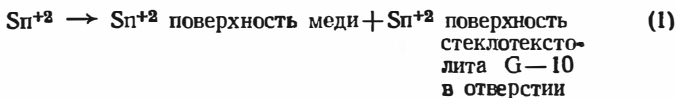
19. Оформление сопроводительного документа.

20. Контроль качества. Производится 100%-ная проверка металлизированных отверстий путем просмотра платы под углом при хорошем освещении сверху и сзади. Платы, в отверстиях которых будут обнаружены непокрытые места или другие дефекты, должны быть забракованы.

7. Химия процесса восстановления меди

Процесс восстановления меди состоит из операций сенсибилизации, активирования и осаждения меди. При сенсибилизации ионы двухвалентного олова Sn^{+2} осаждаются

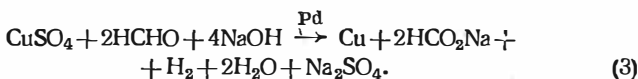
на поверхности стеклотекстолита и меди, как показывает уравнение (1):



Следующая операция — активирование. Она представляет собой химическое осаждение тонкой пленки благородного металла на наружных поверхностях платы и в отверстиях, как показывает уравнение (2):



В качестве активаторов используются также соли золота и платины. После осаждения тонкой пленки палладия на подложку можно осуществлять меднение. Металлическая пленка меди получается в этом растворе за счет химического восстановления ионов меди на активированных поверхностях. Уравнение (3) иллюстрирует этот процесс:



Описанный выше процесс металлизации отверстий является основой большинства используемых в настоящее время методов. Однако в большинстве имеющихся в продаже наборов химикатов используются собственные фирменные рецептуры, так как они могут обеспечить большую стабильность и более прочное сцепление химической меди с подложками. В некоторых случаях [1] сенсибилизирующий раствор и активатор смешивают для проведения одной операции «активирования». Считают, что совмещенный раствор содержит палладий в виде коллоида, при наличии защитных коллоидов оловянной кислоты. Стабильность коллоида палладия сохраняется при pH ниже 1 и при избытке ионов олова. Таким образом, операции 10, 11 и 12 объединяются в одну, после которой следует промывка водой под душем (операция 13).

Процесс осаждения меди может быть ускорен за счет соответствующей обработки подложки (операция 14) с целью удаления защитного коллоида и диспергирующих агентов из коллоида металлического палладия на поверхности платы. В качестве ускорителей используются 10%-ная HCl, 5%-ная H₂SO₄, 10%-ная H₃PO₄, 5%-ная NaOH, 5%-ная NaCO₃ и 5%-ный раствор пиррофосфорного натрия в воде. Промышленные растворы имеют pH, равную примерно 14 для нефольгированных материалов и 5,4 для печатных плат из фольгированного материала.

Дефекты химической металлизации и их причины. Полное отсутствие покрытия в отверстиях обусловлено недостаточным временем обработки в активирующем растворе или недостаточным временем осаждения меди, применением загрязненного или истощенного раствора меднения, неправильным перемешиванием растворов (поверхность отверстия должна «смачиваться» раствором — пузырьки воздуха или газа должны удаляться) или зажиренностью отверстий.

Разрывы покрытия в отверстиях чаще всего вызываются недостаточным перемешиванием растворов. На платах, обрабатываемых в вертикальном положении, этот дефект заметнее.

Стоимость. Стоимость описанного процесса составляет около 0,80 долл. для платы размером 300 × 300 мм, даже при эффективном выполнении операций. Этот расчет основан на стоимости нанесения слоя меди толщиной 0,25—0,38 мкм на поверхность 9,3 м². Такая толщина меди является минимальной для последующего гальванического наращивания. Каждый изготовитель плат должен следить за стоимостью изготовления плат, так как она может быть значительно выше стоимости основных используемых материалов.

ГАЛЬВАНИЧЕСКАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ

Проводящее покрытие металлизированных отверстий в платах из фольгированного стеклотекстолита соединяет медную фольгу на обеих сторонах платы. Существует два варианта технологического процесса получения металлического покрытия на поверхности отверстий и проводников: с гальваническим наращиванием меди по всей поверхности платы — «сплошное наращивание» («Panel plating»); с гальваническим наращиванием меди только по рисунку печатного монтажа — «избирательное наращивание» («Pattern plating» или «Selective plating»).

При сплошном наращивании вся поверхность платы и просверленные отверстия покрываются гальванической медью; затем те участки, где металлизации не должно быть, защищаются органическим резистом. После этого свободные от резиста участки, образующие рисунок печатного монтажа, гальванически покрываются слоем резистивного металла, т. е. металла, стойкого к действию травящих растворов.

При «избирательном наращивании» гальваническое наращивание меди и нанесение металлического резиста производятся только по рисунку печатного монтажа и на стен-

ках отверстий [7,17]. (Однако следует помнить, что необходимое количество химической меди 0,25—0,37 мкм, а в некоторых случаях дополнительно 2,5 мкм гальванической

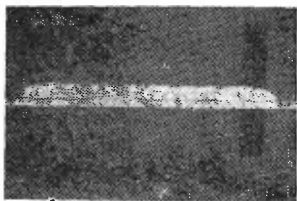


Рис. 5.7. Сечение печатного проводника до травления на плате, изготовленной с избирательным гальваническим наращиванием меди (увеличение 60 \times).



Рис. 5.8. Металлизированное отверстие до травления. Избирательное гальваническое наращивание меди. В качестве резистивного металла нанесено золото (увеличение 200 \times).

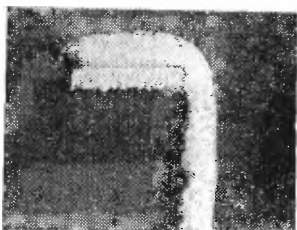


Рис. 5.9. Сечение металлизированного отверстия и контактной площадки на плате, изготовленной с избирательным наращиванием меди. В качестве резистивного металла использовано золото. Травление в хлорном железе (увеличение 200 \times).

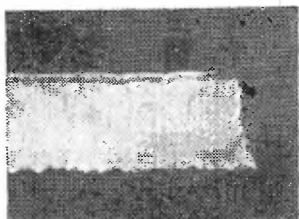


Рис. 5.10. Поперечное сечение печатного проводника на плате, изготовленной со сплошным наращиванием меди. В качестве резиста при травлении нанесено золото с подслоем никеля. Травление в хлорном железе (увеличение 400 \times).

меди, осаждается на всей поверхности платы плюс медь фольги.)

При гальваническом процессе с избирательным наращиванием меди ширина печатных проводников и контактных площадок увеличивается с каждой стороны по мере увеличения толщины металла покрытия во время гальванического наращивания (рис. 5.7—5.9).

Увеличение толщины покрытия на 25 мкм влечет за собой возрастание ширины линий проводников и контакт-

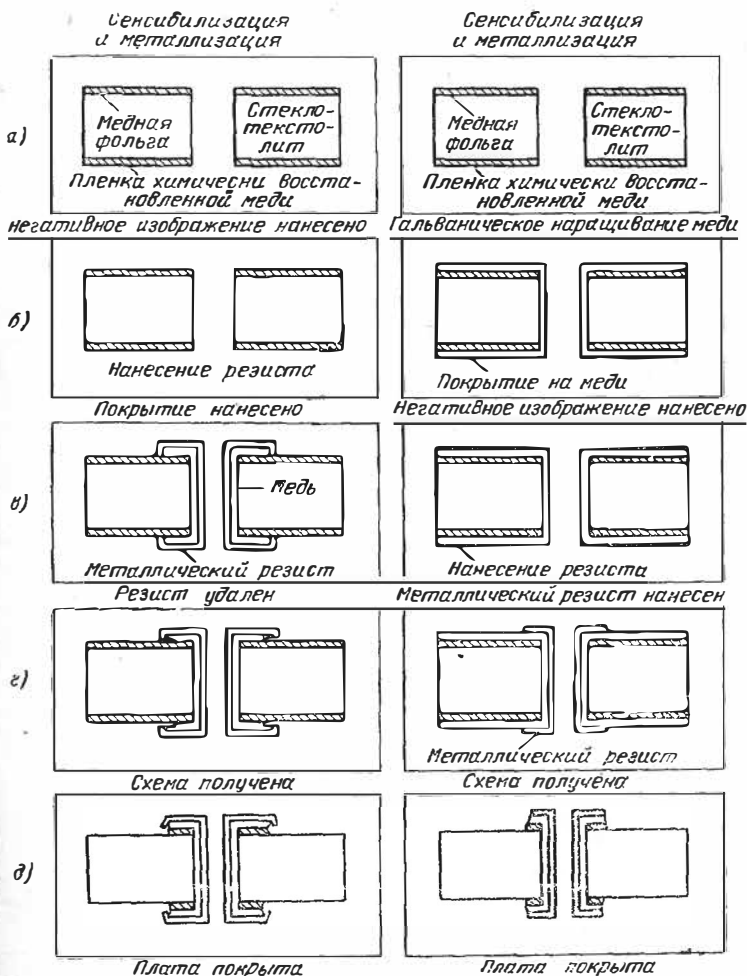


Рис. 5.11. Основные этапы процесса гальванической металлизации печатных плат.

ных площадок на 50 мкм. Необходимо предусмотреть это при выполнении фотооригинала (рис. 5.10, показывающий

сечение печатного проводника на плате, изготовленной с избирательным гальваническим наращиванием меди).

Оба варианта процесса имеют свои достоинства и недостатки. При сравнении этих двух вариантов важно определить, какой из них наиболее подходит в данном конкретном случае. На рис. 5.11 показаны основные этапы двух вариантов процессов изготовления печатных плат.

**8. Последовательность операций процесса
гальванической металлизации с наращиванием
меди по всей поверхности платы
(«сплошное наращивание»)**

Гальваническое наращивание меди. Осуществляется непосредственно после химического меднения.

1. Декапирование в 33%-ной (по объему) соляной кислоте.
2. Промывка под душем деионизированной водой.
3. Гальваническое меднение. В отверстиях наращивается от 25 до 75 мкм меди.
4. Промывка под душем деионизированной водой.
5. Сушка.
6. Контроль (100%-ная проверка металлизированных отверстий).

Нанесение органического резиста

1. Очистка в щелочном растворе.
2. Промывка водой.
3. Подтравливание меди в растворе персульфата аммония.
4. Промывка водой со щетками.
5. Декапирование в 25%-ной (по объему) серной кислоте.
6. Промывка под душем деионизированной водой (холодной).
7. Сушка на воздухе.
8. Нанесение резиста с негативным изображением. Осуществляется сеткографией или фотоспособом.
9. Сушка: фоторезист 90°С 5 мин; сеткография 60°С 5 мин.
10. Ретуширование.
11. Последующее высушивание: фоторезист 120°С 15 мин; сеткография 90°С 15 мин.

Гальваническое нанесение металлического резиста

1. Обработка в щелочном растворе со щетками.
2. Промывка водой.
3. Травление меди в растворе персульфата аммония.
4. Промывка водой со щетками.
5. Декапирование в 25%-ной серной кислоте.
6. Промывка под душем. Деионизированная вода.
7. «Ударное» гальваническое золочение. (Не производится, если применяется гальваническое наращивание сплавов олово — никель или олово — свинец).
8. Промывка деионизированной водой.
9. Гальваническое нанесение металлического резиста. (Золото, олово — никель или олово — свинец).
10. Промывка водой. Промывать слабой струей с целью сохранения золота.
11. Нейтрализация (для плат с покрытием золотом) в 5%-ной (по объему) уксусной кислоте — от 5 сек до 15 мин.
12. Промывка под душем деионизированной водой.
13. Промывка горячей водой.
14. Высушивание. (Обдуть чистым воздухом.)

Контроль. Образец или контрольная печатная плата подвергаются микроскопическому определению толщины покрытия.

Травление

1. Удаление органического резиста.
2. Очистка в щелочном растворе или горячей щелочью (электролитическая). Зачистка жесткой щеткой и промывка.
3. Травление незащищенной меди. Травление в хлорном железе — по золоту, в персульфате аммония — по сплаву олово — никель, в хромовой смеси — по сплаву олово — свинец.
4. Промывка под душем.
5. Обработка в 10%-ной HCl, или 5—10%-ной щавелевой кислоте после травления в хлорном железе; в 5%-ной H₂SO₄ — после травления в персульфате аммония или в хромовой смеси.
6. Промывка водой под душем.
7. Удаление подтравленных и выступающих над краем фольги участков покрытий. (Слабая ультразвуковая обработка в растворе щелочи для печатных плат, покрытых золотом.)

8. Промывка под душем деионизированной водой (холодной).

9. Сушка. Обдув сухим чистым воздухом.

9. Последовательность операций процесса гальванической металлизации с наращиванием меди по рисунку печатного монтажа («избирательное наращивание»)

Сеткография

1. Нанесение рисунка схемы на плату кислотостойкой краской через сетчатый трафарет на одну сторону. Установка на стойку.

2. Сушка (от 60 до 91° С) до высыхания.

3. Нанесение рисунка схемы на другую сторону платы. Установка на стойке.

4. Сушка (см. п. 2).

5. Ретуширование.

6. Окончательная сушка при температуре от 120 до 140° С — от 20 до 30 мин в печи с циркуляцией воздуха.

Гальваническое наращивание

1. Декапирование в 33%-ной (по объему) соляной кислоте.

2. Промывка деионизированной водой.

3. Гальваническое наращивание меди. Толщина в отверстиях от 25 до 75 мкм.

4. Промывка под душем деионизированной водой.

5. Гальваническое наращивание металлического резиста.

6. Промывка водой.

7. Нейтрализация (для плат с золотым покрытием).

8. Промывка под душем деионизированной водой.

9. Промывка горячей деионизированной водой.

10. Сушка. Обдув сухим чистым воздухом.

Контроль. Образец подвергается определению толщины покрытия при помощи микроскопа.

Травление.

1. Удаление органического резиста.

2. Очистка щелочью или механическая зачистка. Горячая щелочная очистка (электролитически). Протирка с помощью жесткой щетки и промывка.

3. Травление незащищенной меди. Хлорное железо для золота. Персульфат аммония для сплава олово — никель. Хромовая смесь для сплава олово — свинец.

4. Промывка водой под душем.

5. Обработка в 10%-ной соляной кислоте или 5—10%-ной щавелевой — при травлении в хлорном железе; в 5%-ной H_2SO_4 при травлении персульфатом аммония или хромовой смесью.

6. Промывка водой под душем.

7. Сушка. Обдув чистым воздухом.

10. Сравнение двух способов гальванической металлизации

Органические резисты. При сплошном наращивании меди основная часть гальванического процесса (меднение) выполняется до нанесения органического резиста. Это дает возможность использовать фотопроцесс так же успешно, как и сеткографию. При способе избирательного наращивания меди сеткография более пригодна, и ее применение почти обязательно.

Фоторезисты могут давать линии шириной 0,025 мм с точностью 0,0025 мм и лучше. Применение сеткографии ограничено линиями шириной 0,12—0,25 мм. Фотоспособ более практичен при выпуске малых партий (до 15 плат), когда как сеткография экономичнее при выпуске большого количества плат.

Гальваническое наращивание меди. С производственной точки зрения привлекательнее способ избирательного наращивания, так как для его выполнения требуется на шесть операций меньше. При этом также сокращается расход энергии и материалов.

При способе сплошного наращивания допустимо использовать более высокие плотности тока, чем при способе избирательного наращивания, так как при нем отсутствуют изолированные участки контактных площадок и проводников, которые могут действовать как участки с повышенной плотностью тока. Значение тока при способе сплошного наращивания менее критично, электролит не загрязняется органическим резистом.

Травление. Продолжительность травления больше для плат, выполненных способом сплошного наращивания: это увеличивает опасность «пробоя» металлического резиста и большего подтравливания ширины печатных проводников. Травящий раствор быстро расходуются, что вызывает увеличение времени травления и снижение качества продукции. Увеличение времени травления требует увеличения толщины покрытия золотом, сплавами олово — никель или олово — свинец для предотвращения их пробоя.

При процессе с избирательным наращиванием толстый слой делается только там, где он требуется. Это обеспечивает меньшее время травления и уменьшение опасности пробоя при травлении. В этом случае травящий раствор служит для значительно большего количества плат.

На рис. 5.7—5.10 показано изменение ширины проводников, подтравливание и разрастание при каждом варианте процесса. Одним из факторов, стимулирующих эти явления, считается электрохимическое действие покрытия, образующего металлический резист, которое во время травления создает гальваническую пару.

Частицы, образующие разрастание проводников на верхней стороне платы, изготовленной способом избирательного наращивания (нижняя сторона платы подвергается пайке), должны быть удалены, если плата предназначена для авиационной или другой аппаратуры, эксплуатирующейся в условиях сильной вибрации. В некоторых случаях эти частицы могут «схватываться» с частично полимеризованным стеклотекстолитом (в стадии В).

Паяемость и внешний вид. В обоих случаях они будут одинаковы, каждый процесс должен обеспечивать хорошую способность плат к пайке.

Мнение, что платы с избирательным наращиванием выглядят лучше, основано на чистоте поверхности (зеркальный блеск) и четкости контуров проводников и площадок. Платы, гальванически покрытые в пирофосфатном или другом, дающем блестящее покрытие, электролите, имеют хороший вид при любом варианте процесса. Однако платы с избирательным наращиванием будут иметь меньше включений меди на неметаллизированных участках, так как при этом способе обычно применяется сеткография. Кроме того, если органический резист нанесен хорошо, четкость краев проводников будет лучше на платах с избирательным наращиванием.

НАНЕСЕНИЕ РЕЗИСТИВНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Фотографический и сеткографический способы нанесения резиста являются наиболее распространенными в производстве печатных схем. (Подробное описание процессов см. в гл. 4.)

11. Фотографический способ нанесения резиста

Фотохимический метод изготовления печатных плат. Простейший метод применения фотографического процесса известен как «фотохимический метод» изготовления печатного монтажа. Заготовка платы покрывается светочувствительной эмульсией погружением, пульверизацией или на центрифуге, затем сушится. После сушки производится экспонирование через фотонегатив (наиболее часто) или фотопозитив. Светочувствительные эмульсии, требующие использования фотонегатива, полимеризуются и затвердевают под действием света. Эмульсии, требующие фотопозитива, под действием света становятся растворимыми

в проявляющих растворах. После экспонирования производится проявление эмульсионного изображения, в результате которого эмульсия смывается с тех участков, где ее не должно быть. Для удобства выполнения ретуширования платы окрашиваются.

Методы изготовления плат с металлизированными отверстиями. Когда изготавливаются платы с металлизацией отверстий, фотоэмульсия в качестве резиста чаще используется при нанесении гальванических покрытий, чем при травлении. Резист должен быть инертным к электролитам гальванических ванн и выдерживать воздействие различных температур во время обработки плат. Большинство материалов не выдерживает воздействия щелочных электролитов особенно при повышенной температуре. Это ограничивает количество типов электролитов, которые могут быть использованы. Пирофосфатные электролиты меднения, некоторые электролиты золочения и большинство цианистых электролитов могут вызывать размягчение и отслаивание резиста. Если напряжение на электродах ванны превысит необходимое для гальванического осаждения данного металла, то вследствие выделения водорода усиливается тенденция к отслаиванию. Поэтому очень важно точно определять поверхность металлизации. Хорошо действует «ударное» золочение в кислом электролите, если напряжение держится ниже 4 в, но содержание металла должно быть таково, чтобы процесс мог быть выполнен в течение 5 сек. Температура не должна превышать 42° С.

Дефекты гальванических покрытий, обусловленные низким качеством резиста. 1. Пробой резиста во время гальванического золочения. Если гальванический процесс выполнялся правильно, то наиболее вероятными причинами пробоя могут быть неравномерная толщина фоторезиста, короткое время экспозиции, недостаточные длительность или температура термообработки. Наиболее быстрый способ уточнения оптимальных значений толщины заключается в том, чтобы экспонировать с увеличенной выдержкой пробный образец платы и термически обработать эмульсию согласно рекомендациям поставщика фотоматериалов. Недостаточную толщину резиста легко определить, если заметно что окрашенное изображение не является непрозрачным, оно темносинего или черного цвета. При металлизации отверстий светочувствительная эмульсия наносится на плату пульверизацией дважды (в двух различных направлени-

ях) в таком количестве, чтобы не было ее стекания с платы. Эмульсия сушится при комнатной температуре «до отлипа», затем процесс повторяется для нанесения эмульсии на вторую сторону платы. Снова плата сушится 15 мин при 93° С. После экспонирования, проявления и ретуширования эмульсия на платах термически обрабатывается при 121—140° С в течение 20—30 мин в термошкафу с принудительной циркуляцией воздуха. Шкаф не должен использоваться для других целей, так как это может привести к загрязнению открытых участков меди маслами и смолами.

2. Остатки фоторезиста в отверстиях. Засвеченный отвердевший фоторезист может быть удален из отверстий сверлом, разверткой или химическим разрушением. Лучший способ избежать такой необходимости — обеспечить, чтобы фотопозитив был свободен от проколов и убедиться, что совмещение и размеры контактных площадок обеспечивают перекрытие отверстий позитивным изображением.

Нанесение эмульсии лучше осуществлять пульверизацией, чем погружением или поливом на центрифуге. Если нет возможности применять пульверизацию, полезно удалить избыток эмульсии из отверстий постукиванием края платы о стол.

Во время проявления необходимо продувать отверстия или, если используется ванна, энергично прогонять растворы через отверстия.

3. Частицы золота или других металлов на участках между печатными проводниками могут образовываться из-за проколов в фотонегативе, пыли на слое фотоэмульсии, масел или других загрязнений в струе пульверизатора или воздушных пузырьков в фотоэмульсии. Для предотвращения появления таких частиц рекомендуются следующие меры: Устранение дефектов изображения на фотопленках ретушированием, если оно возможно; или замена фотопленок; фильтрация воздуха, поступающего в зону экспонирования или фотографирования; эти зоны должны регулярно вакуумироваться, ограничивать передвижение обслуживающего персонала; фильтрация светочувствительной эмульсии; фильтрация воздуха, подаваемого в пульверизатор (улавливание масел и твердых частиц), или применение азота; регулировка пульверизатора для получения свободной от воздушных пузырьков пленки; применение оранжевых светофильтров в лабораторном освещении, поглощающих ультрафиолетовые лучи.

4. Кольцевые наросты золота или другого металла на участках между печатными проводниками. Эти дефекты обусловлены пробоем резиста из-за недостаточной его толщины и т. д., как указывалось выше, пористостью гальванической меди, недостаточной очисткой перед нанесением светочувствительной эмульсии или завышенным напряжением при гальванических процессах. Кольцевая поверхность получается при выделении пузырьков газа. Для предотвращения таких дефектов необходимо проверить правильность нанесения фоторезиста. Очистка плат перед нанесением резиста должна быть такая же тщательная, как и перед гальваническими процессами (можно применять процесс очистки, рекомендованный для подготовки металлизированных отверстий).

5. Загрязнение электролитов гальванических ванн. Фотоэмульсии и краски могут загрязнять электролиты, вызывая окрашенность, рябизну, отслаивание, вспучивание, шероховатость, пористость, а также уменьшение кроющей способности. Не следует приступать к гальваническим процессам, если наблюдается отслаивание резиста при промывке под душем. Если это происходит, то следует проверить фотопроект, заменить краску и т. д. Помогает фильтрация электролитов через активированный уголь.

12. Сеткография

Сеткография может быть применена при обоих вариантах наращивания. Обычно затраты на изготовление сеточного трафарета делают этот способ непрактичным при изготовлении менее 15 плат.

С точки зрения требований при гальванических процессах резист, нанесенный сеткографическим способом, обладает значительно лучшими свойствами, так как он очень хорошо выдерживает воздействие электролитов. Это очевидно по тому широкому использованию его в различных процессах, связанных с гальваническими покрытиями плат. Упрощается очистка, так как до окончания гальванических процессов резист не контактирует с металлизированной поверхностью. Платы можно зачищать щеткой без опасности повреждения резиста.

Сеточно-химический метод. Этот метод, как было отмечено выше, может быть очень экономичным при изготовлении больших партий плат, особенно односторонних.

Платы с металлизированными отверстиями. Сеткография может быть применена при обоих вариантах процесса изготовления плат с металлизацией отверстий. На сетке выполняется позитивное изображение (т. е. участки с закрытыми ячейками сетки соответствуют рисунку печатного монтажа). Сетчатый трафарет действует как маска, через которую краска продавливается только на те участки фольги, которые в последующем должны вытравливаться, создавая, таким образом, на плате резист с «обратным» или «негативным» изображением, с открытыми участками, соответствующими печатным проводникам, контактными площадкам и металлизированным отверстиям (рис. 5.11).

При изготовлении плат техпроцессом с наращиванием меди по рисунку монтажа на эти открытые участки фольги вначале производится гальваническое наращивание меди, а затем гальваническое покрытие ее золотом, или другим резистивным металлом (т. е. металлом, стойким к воздействию травящего раствора).

Дефекты гальванических покрытий, вызываемые некачественной сеткографией.

1. Плохая адгезия и отслаивание. Это может произойти вследствие плохой очистки плат или некачественной краски.

2. Резистивный металл выходит за границы рисунка печатного монтажа. Причиной может быть недостаточное высушивание краски перед гальваническим покрытием или после нанесения краски на первую сторону платы; плохое качество краски. Высушивание должно продолжаться не менее 5—15 мин при 38—60° С.

3. Резист в отверстиях. Это редко встречающийся вид дефекта, если работа выполняется квалифицированным исполнителем. В других случаях это является следствием повторного нанесения краски, если при первом нанесении слой оказался недостаточно толстым и при его удалении плата была недостаточно тщательно отмыта. Удаление резиста из отверстий затруднительно.

4. Частицы гальванически осажденного металла на неметаллизируемых участках. Это обусловлено точечными отверстиями или пылью в резисте. Необходимо проверять отсутствие пузырьков воздуха в краске, качество ретуширования и применять фильтрацию воздуха и другие меры, указанные выше, для предотвращения запыленности.

5. Неровность краев. Это обычно связано с плохим выполнением процесса (например, с подготовкой краски

и сетчатого трафарета), а не спрормывкой. Надо применять наиболее мелкую сетку, насколько это практически возможно. Должна быть проверена четкость краев изображения на фотопленке. Перед нанесением изображения сетку следует мыть и чистить щеткой.

6. Разрывы в схеме. Они происходят от загрязненности сетчатого трафарета или фотопленки.

7. Гальваническое осаждение металла поверх резиста. Слишком малая толщина резиста. Необходимо применить краску такой вязкости, которая обеспечивает нужную толщину.

13. Ретуширование

Целью ретуширования является закрытие органическим резистом таких дефектов, как точечные отверстия, разрывы и т. д., и удаление резиста с металлизированных поверхностей. При ретушировании объем работ может быть значительным, если, например, применить растворитель для удаления лишнего резиста или размазать недостаточно высушенное изображение. Правильный порядок работы заключается в том, чтобы после нанесения резиста на одну сторону платы производилась печная сушка его и контроль, затем наносился резист на вторую сторону платы. После ретуширования одной из сторон платы также необходимо соблюдать осторожность, чтобы не допустить размазывания. Полезно использовать ретушировальный стол с опорой для рук. Другими видами дефектов могут быть царапины на резисте и затекание его в отверстия.

ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ МЕДНЕНИЕ

Процесс гальванического покрытия — это нанесение на проводящие поверхности прочно соединяющихся с ними металлических осадков при прохождении электрического тока через электролиты. Скорость гальванического осаждения определяется плотностью тока на покрываемой поверхности.

Большинство электролитов гальванических ванн по своей природе сходны. Коротко говоря, их действие и свойства получаемого покрытия представляют собой продукт оптимизации вариантов условий выполнения процесса. Например, повышение концентрации, температуры и степени пе-

ремешивания для большинства электролитов дает увеличение скорости осаждения и эффективности катодного тока, но уменьшает кроющую способность и стабильность. При этом, хотя на плате и будет получена средняя расчетная толщина покрытия, местные толшины (особенно в металлизированных) отверстиях будут меньше расчетных. Кроме того, свойства осажденного металла будут различны для разных типов электролита.

Каждый электролит и химический раствор должны работать и содержаться в установленных пределах. Каждый процесс имеет свои преимущества и недостатки, которые следует всегда учитывать для выполнения предъявляемых требований. Чтобы создать условия для успешной работы, следует составить руководство по выполнению и контролю гальванических процессов. В нем следует определить методы и оборудование гальванических процессов, порядок выполнения процессов и порядок контроля электролитов. Необходимо также выполнять дополнительные требования, которые возникают из-за вредного воздействия электролитов на органические резисты:

1. Лучшими являются кислотные или слабые цианистые электролиты, работающие при комнатной температуре.
2. Эффективность катодного тока должна быть близкой к 100%, так как возникающее при более низких значениях газовыделение вызывает отслаивание резиста.
3. Электропроводность электролитов должна быть достаточно высокой, чтобы допускать низкие рабочие напряжения. Чрезмерно высокое напряжение вызывает появление в покрытиях точечных отверстий.
4. Присутствие резистов увеличивает опасность загрязнения электролитов органическими веществами. Периодическая фильтрация электролита через активированный уголь и непрерывная фильтрация в системе циркуляции существенно повышают сохранение хорошей работоспособности ванны.

Ниже будет сделана попытка оценить все эти факторы и рассмотреть другие аспекты, имеющие отношение к каждому электролиту, используемому при изготовлении печатных плат. Будут рассмотрены гальванические процессы нанесения меди, золота, сплавов олово — свинец, олово — никель, олова, никеля, серебра и родия. Дополнительная информация может быть получена из источников, указанных в библиографии [8—19].

14. Характеристики меди

Медь как основной проводящий металл получила широкое применение при изготовлении печатных плат. Она обладает превосходной электропроводностью, низкой стоимостью, легко наносится гальваническим способом и дает очень надежные результаты. Гальваническое покрытие из других металлов, нанесенное поверх меди, имеет превосходное сцепление с медным основанием.

Военные технические условия MIL-Std-275В устанавливают, что покрытие в металлизированных отверстиях должно быть медным и толщина меди должна быть не менее 25 мкм.

Наиболее широко применяют пирофосфатный, серно-кислый и борфтористоводородный электролиты. Дальнейшие подробности по выполнению процессов гальванического меднения можно получить из литературных источников [10, 12, 20, 22] и из фирменных инструкций. Составы электролитов и режимы работы ванн даны в табл. 5.2, 5.5 и 5.7.

15. Меднение в пирофосфатном электролите

В настоящее время пирофосфатные электролиты меднения являются основными, удовлетворяющими требования металлизации сквозных отверстий печатных плат. При меднении в этих электролитах может быть получено близкое к 1 : 1 отношение толщины покрытия в отверстиях и по поверхности платы, осажденные покрытия получают гладкие, плотные и мелкокристаллические. Предпочтителен состав электролита с содержанием соединений калия, так как он более стабилен, имеет лучшую электропроводность, растворимость солей и шире допустимые пределы плотности тока. В случаях применения блескообразователей покрытия получают тверже, чем получаемые осаждением меди из сернокислых и борфтористоводородных электролитов. Блескообразователь вызывает также повышение внутренних напряжений в осадках и увеличивает возможность растрескивания, особенно когда он присутствует в избытке или частично разложился (табл. 5.1).

Компоненты и их значение. Пирофосфат служит образованию растворимого комплексного соединения с медью. Для получения хорошего гальванического покрытия

Типовой состав и условия работы для пирофосфатного электролита меднения

Состав	
Медь Cu^{+2} , г/л	22—38
Пирофосфат $(\text{P}_2\text{O}_7)^{-4}$, г/л	150—250
Нитрат $(\text{NO}_3)^-$ (необязательно), г/л	5—10
Аммиак, NH_3 , г/л	1—3
Ортофосфат, $(\text{HPO}_4)^{-2}$, г/л	Не более чем 75—95

Условия работы

Характеристики	Предельное значение	Рекомендуемое значение
pH	8,1—8,8	8,1—8,4
Весовое отношение $(\text{P}_2\text{O}_7)^{-4}$ и Cu^{+2}	7,0—8,0	7,5
Температура, °C	42—60	—
Напряжение, в	1,4—4,0	—
Катодная плотность тока, а/дм ²	1—8	5
Анодная плотность тока, а/дм ²	2—4	—
Анодный и катодный выход по току, %	100	—
Отношение площадей анодов и катодов	1 : 1, 2 : 1 (желательно иметь площадь анодов на 20% больше площади катодов)	
Перемешивание, м ³ /мин	Воздух, 0,3—0,5	
Кроющая способность, %	40—60 (по ячейке Херинга)	

количество ионов пирофосфата по весовому соотношению должно превышать количество ионов меди в 7—8 раз. При отношении ниже 7 осадок по внешнему виду становится шероховатым и неоднородным по окраске. Уменьшение содержания пирофосфата снижает также кроющую способность раствора. Избыток пирофосфата является желательным для повышения растворимости анодов, кроющей способности и удельной электропроводности, но при повышении температуры вызывает образование ортофосфата. Щавелевокислый или лимонно-кислый калий являются буферами и могут быть добавлены в электролит для повышения растворимости анодов. Аммиак способствует растворению анодов и образованию блестящих осадков. Снижение

концентрации аммиака ниже 0,7 г/л приводит к образованию осадков тусклых и часто неоднородных по цвету. Снижение растворимости анодов приводит к отложению грубых осадков. Нитрат (NO_3)⁻ добавляется в некоторые электролиты для увеличения рабочей плотности тока за счет замедления процесса восстановления ионов водорода H^+ в H_2 .

Ортофосфат в какой-то мере способствует растворению анодов и действует как буфер, но его образование нежелательно, так как снижает удельную электропроводность раствора, сокращает пределы гальванического покрытия и является причиной образования слоистых осадков.

Факторами, способствующими образованию ортофосфата, являются: снижение рН, повышение рабочей температуры и изменение соотношения количества ионов $(\text{P}_2\text{O}_7)^{-4}$ и Cu^{+2} . Ортофосфат образуется при гидролизе пиррофосфата, как показывает реакция (4):



Эксплуатация и контроль ванны 1. рН. рН определяет рН-метром или индикаторной бумагой. При повышении рН выше 8 пределы растворимости анодов, содержания меди, рабочей плотности тока снижаются. При понижении рН ниже 8 происходит уменьшение кроющей способности и повышение содержания ортофосфата.

2. Температура. Температура выше 60° С является причиной быстрого образования ортофосфата. Обогрев ванны должен быть равномерным, необходимо избегать местного нагрева.

3. Аноды. Лучшими являются аноды из листовой электролитической меди, из прокатной электролитической меди или меди марки OFHC, не содержащие олово, никель, серебро и свинец. Аноды должны быть без чехлов.

4. Фильтрация. Фильтрация должна быть непрерывная или периодическая через активированный уголь (для удаления органических загрязнений, масел). Активированный уголь не должен содержать серу. Следует применять его специальный сорт, предназначенный для гальванических процессов. После применения активированного угля присадки частично регенерируются.

5. Анализы. Следует проводить регулярно анализы на содержание меди, пиррофосфата и аммония. Может также определяться содержание ортофосфата. Методика выполнения анализов дана в разд. «Контроль процессов».

Дефекты покрытий. 1. Загрязнения. Электролит пиррофосфатного меднения не восприимчив к большинству

металлических загрязнений. Свинец, цианиды и масла наиболее вредны и являются причиной получения хрупких, расслаивающихся или тусклых осадков и вызывают снижение пределов допустимой плотности тока. Свинец может быть удален электролизом слабым током. Цианиды определяются с помощью медно-бензидиновой пробы, описанной в разд. «Контроль процессов», и удаляются путем добавления 1 г 30%-ной H_2O_2 на 1 л раствора или 0,1—0,2 г на 1 л $KMnO_4$ с последующей фильтрацией через уголь. Масла

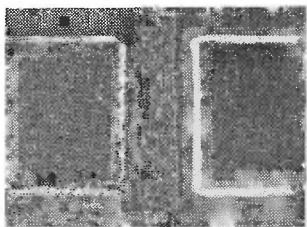


Рис. 5.12. Металлизированное отверстие с растрескавшимся слоем гальванической меди. Поперечное сечение сделано после пайки выводов радиокомпонента (увеличение $25\times$).



Рис. 5.13. Увеличенный вид рис. 5.12. Показаны трещины, образовавшиеся в медном покрытии (увеличение $80\times$).

(при перемешивании воздухом) и полировочные компоненты удаляются с помощью активированного угля. Тщательная фильтрация необходима во избежание грубых осадков.

2. Напряженные или хрупкие осадки. Они возникают вследствие чрезмерного содержания присадок или их разложения. Для устранения этого раствор очищается следующим образом: фильтрация через активированный уголь, тонкая фильтрация, обработка перекисью водорода и повторная фильтрация через активированный уголь. На рис. 5.12 и 5.13 показаны растрескавшиеся осадки меди.

3. Плохое соотношение толщин покрытия в отверстиях и на поверхности. Это типичный вид брака при использовании старого электролита. Он может быть обусловлен повышенным содержанием ортофосфата или загрязнений.

4. Разрывы между металлизацией в отверстии и контактной площадкой. Покрытия с такими разрывами или непокрытыми участками в местах соединения контактной площадки с металлизацией в сквозных отверстиях

(рис. 5.14) появляются, когда имеется повышенное содержание блескообразователя или его разложение или заданы несоответствующая плотность тока или напряжение. По мнению авторов, этот эффект непосредственно связан с изменением толщины катодного слоя во время гальванического покрытия. Вокруг входа отверстия образуется чрезмерно толстый катодный слой, вследствие чего медь высаживается неравномерно. Устранение этого дефекта гальванического

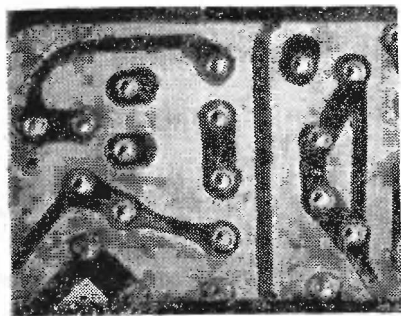


Рис. 5.14. Гальваническое покрытие с разрывами между металлизацией в отверстиях и контактными площадками, получившееся при меднении в шифосфатном электролите.

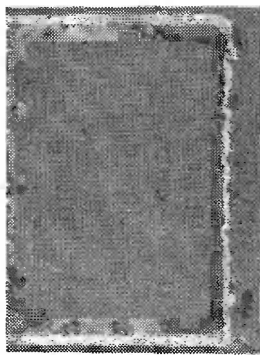


Рис. 5.15. Образец «грубой» металлизации, обусловленной наличием загрязнений в растворе. Поверхность платы была предварительно обработана песком.

покрытия может быть достигнуто при улучшении перемешивания раствора, снижении катодной плотности тока, а также за счет использования усовершенствованных добавок, разрабатываемых для выравнивания гальванического покрытия.

5. Неровности в отверстиях (рис. 5.15). Это может быть обусловлено плохой сверловкой и устранено, если применять твердосплавные сверла при соответствующих числах оборотов и т. д., а также может быть вызвано присутствием твердых частиц в растворе, устраняемых методом фильтрации. Обычно достаточна фильтрация через 5-и *мкм* фильтр.

Оборудование для гальванических процессов. Материалы для изготовления и облицовки ванн, фильтров и другого оборудования даны в табл. 5.2.

Назначение ванны	Облицовка ванны	Обогреватели
Пирофосфатное меднение	Поливинилхлорид, резина, полихлорвинил	Нержавеющая сталь дурирон (чугун с высоким содержанием кремния)
Сернокислое меднение	Поливинилхлорид, вулканизированная резина, свинец	Графит, кварц, титан, свинец
Борфтористоводородное меднение	Поливинилхлорид, резина	Графит
Щелочное цианистое золочение	Нержавеющая сталь, поливинилхлорид	Пассивированная нержавеющая сталь
Кислое золочение	Поливинилхлорид, плексиглас, стекло	Кварц
Олозо—свинец	Поливинилхлорид, резина	Без подогрева
Олово—никель	Поливинилхлорид, пентон	Графит, водяная рубашка
Сульфаминовое никелирование	Поливинилхлорид, вулканизированная резина	Кварц, графит
Сернокислое родирование	Поливинилхлорид, высокотемпературный материал	Обычно обогрев через двойную стенку в облицовке ванны
Цианистое серебрение	Поливинилхлорид, стекло-текстолит эпоксидный	Без подогрева

Циклы. Этапы гальванического покрытия даны выше при описании процессов сплошного и избирательного покрытия.

Время гальванического покрытия. В табл. 5.3 приведено гальваническое покрытие для всех трех электролитов меднения.

16. Меднение в сернокислом электролите

Электролит сернокислого меднения является предшественником всех электролитов меднения и многих других гальванических растворов. В простейшем виде он состоит только из сернокислой меди и серной кислоты. Осадки из

в процессах гальванических покрытий печатных плат

Фильтры	Фильтрующие материалы
Нержавеющая сталь, резина или сталь, облицованная поливинилхлоридом	Асбестовое волокно или другой, не содержащий кремний материал
Твердая резина, дурирон, пластик, нержавеющая сталь марки 316 Резиновая облицовка	Флокированное целлюлозное волокно, инфузорная земля
Резиновая облицовка, фторопласт, поливинилхлорид Устанавливается непосредственно в ванне, все из пластика	Любой, не содержащий кремний материал Асбест (не содержащий кремний), полипропиленовые прокладки Смесь асбеста с инфузорной землей. Целлюлоза флокированная
Поливинилхлорид, облицованный резиной	Фильтр из бумажной массы, флокированной целлюлозы или другой материал, не содержащий кремний
Никель, облицованный фторопластом Резиновая или поливинилхлоридная облицовка Фторопласт, стекло	Целлюлозное волокно или другой материал, не содержащий кремний Асбестовое волокно и инфузорная земля Асбест и инфузорная земля
Облицовка из синтетического каучука, фторопласт	Целлюлозное волокно, полипропиленовые прокладки

этого электролита получают мягкими со столбообразной структурой. Однако существуют дополнительные агенты, введение которых помогает получить более твердые, мелкокристаллические, гладкие и блестящие осадки. В том и другом случае плотность тока низкая, в результате чего при гальваническом покрытии плат получается плохое соотношение толщины покрытия в отверстиях и по поверхности. Это легко компенсируется путем избыточного гальванического покрытия поверхности плат для получения необходимой толщины покрытия в отверстиях. Типовые режимы см. в табл. 5.4.

Назначение компонентов. Серная кислота является компонентом, необходимым для связывания металла, способствующим растворению анодов и увеличивающим электро-

Скорость осаждения гальванической меди. Электролиты—пирофосфатный, сернокислый, борфтористоводородный; 100%-ный выход по току

Толщина меди, мкм	Удельное количество электричества, а · мин/дм ²	Вес меди, г/дм ²	Время меднения, мин							
			1 а/дм ²	1,5 а/дм ²	2 а/дм ²	2,5 а/дм ²	3 а/дм ²	4 а/дм ²	5 а/дм ²	6 а/дм ²
2,5	11,4	0,22	10,6	7,1	5,3	4,2	3,5	2,6	2,1	1,8
5	22,8	0,445	21	14	10,6	8,4	7,1	5,3	4,2	3,5
7,5	34,2	0,666	32	21	16	13	10,6	8,0	6,4	5,3
10	45,6	0,89	42	28	21	17	14	10,6	8,5	7,1
12,5	57	1,11	53	35	27	21	18	13	10,6	8,8
15	68,4	1,32	64	42	32	25	21	16	13	10,6
17,5	79,8	0,556	74	50	37	30	25	18	15	12
20	91,2	1,78	85	57	42	34	28	21	17	14
22,5	102,6	2,00	95	64	48	38	32	24	19	16
25	114	2,22	106	71	53	42	35	26	21	18
31	143	2,77	133	89	67	54	44	33	27	22
37,5	170	3,34	159	106	80	64	53	40	32	26
44	200	4,00	186	124	93	74	62	46	37	31
50	230	4,45	212	142	106	84	71	53	42	35
75	272	6,667	318	213	159	126	106	79	64	53

Типовой состав и режимы работы электролита сернокислого меднения

Состав	
Сернокислая медь $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, г/л	160—300
Медь Cu^{+2} , г/л	40—75
Серная кислота H_2SO_4 , г/л	52,5—135
Дополнительные компоненты	При необходимости
Условия работы	
Температура, °С	20—50
Катодная плотность тока, а/дм ²	2—5
Анодная плотность тока, а/дм ²	1,5—4,5
Катодный выход по току, %	99—100
Анодный выход по току, %	100—102
Крюющая способность, %	5—20
Перемешивание	(по ячейке Херинга) Воздухом (не содержащим масел)

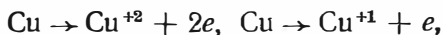
проводность раствора. Она также играет роль очистителя и уменьшает катодную и анодную поляризации.

С целью улучшения осадков в электролит сернокислого меднения могут быть добавлены различные компоненты. Эти компоненты придают покрытию чистоту, твердость, ровную и блестящую поверхность, предотвращают его разрастание.

Таковыми добавками являются клей, желатин, патока и многие органические и неорганические соединения. Кроме того, часто применяются различные добавки по фирменным рецептам, которые тоже способствуют образованию гладких, однородных, мелкокристаллических осадков. Действие большинства добавок легко контролируется по внешнему виду осадков и при испытании гальванических покрытий на равномерность толщины.

Эксплуатации и контроль. 1. *Обычный контроль.* При длительной работе, особенно при перемешивании воздухом, в электролите повышается концентрация сернокислой меди и снижается содержание серной кислоты. Это происходит из-за того, что анодная плотность тока больше 100%, так как какое-то количество меди переходит в раствор в виде

Cu^{+1} , а не Cu^{+2} . Происходит это следующим образом:



затем воздух окисляет Cu^{+1} до Cu^{+2} :



На практике корректирование этого положения производится удалением части раствора и корректировкой содержания компонентов. Однако анодная плотность тока ниже 100% может поддерживаться при применении анодов, в которых 1/8 общей площади составляет нерастворимый свинец.

2. *Аналитический контроль.* Лучшим методом контроля является непосредственный анализ меди и серной кислоты. (См. разд. «Контроль процессов»). В только что приготовленном растворе содержание может быть определено по удельному весу и кислотности. Зная удельный вес, можно определить кислотность, и наоборот (см. табл. 5.5).

Таблица 5.5

Общая концентрация сернокислой меди и серной кислоты при различной плотности растворов, выраженной в ° Боле (для 25° С)

Плотность ° Боле	$\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$, г/л	Плотность ° Боле	$\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$, г/л
12,0	148	20,0	266
12,5	156	20,5	274
13,0	163	21,0	282
13,5	170	21,5	290
14,0	176	22,0	300
14,5	182	22,5	308
15,0	190	23,0	316
15,5	198	23,5	325
16,0	206	24,0	333
16,5	214	24,5	342
17,0	220	25,0	350
17,5	228	25,5	358
18,0	236	26,0	368
18,5	243	26,5	378
19,0	250	27,0	387
19,5	258	—	—

3. *Аноды.* Медь электролитическая и медь марки *OFHC*. На анодах из фосфоросодержащей меди (0,02—0,04% фосфора) образуется пленка, которая снижает количество шлама в растворе. Содержание хлоридов должно быть незначительное (0,0015—0,0050%).

4. *Фильтрация.* Непрерывная, через фильтр в циркуляционной системе.

Дефекты покрытий

1. *Загрязнения.* Сернокислые электролиты менее восприимчивы к ионам загрязнений, чем многие другие электролиты. Никель, железо, мышьяк и сурьма ухудшают работу ванны.

2. *Неоднородность осадков.* Обусловлена присутствием органических примесей. Необходимо очистить ванну с помощью активированного угля и фильтрацией.

3. *Хрупкие, шероховатые, неоднородные по цвету осадки.* Мышьяк и сурьма могут быть причиной образования хрупких и шероховатых осадков. Это устраняется добавлением желатины или танина. Шероховатость обусловлена присутствием в ванне мелких частиц и может быть устранена заключением анодов в чехол из дайнеила или другого, подходящего материала и фильтрацией электролита через: 5-мкм фильтр.

Органические загрязнения от разложившихся присадок, анодных чехлов, неполимеризированной или неотбеленной облицовки ванн также могут вызывать хрупкие, бледные покрытия. Обработка активированным углем и фильтрация обычно устраняют эти загрязнения. После такой обработки требуется восстановление добавочных агентов.

4. *Низкая электропроводность.* Увеличение содержания сернокислой меди уменьшает электропроводность электролита, что вызывает увеличение напряжения, перегрев ванны и прокол резиста. Чрезмерное содержание железа или никеля также уменьшает электропроводность.

5. *Твердые осадки меди.* Это может происходить вследствие низкого содержания металла, высокой кислотности, большой плотности тока или низкой температуры. Содержание серной кислоты может быть уменьшено добавлением углекислой меди.

6. *Изменение содержания серной кислоты.* Уменьшение содержания H_2SO_4 происходит при нормальной работе вследствие образования Cu_2SO_4 ; устраняется применение

свинцовых анодов. Увеличение — признак ненормальной работы, оно может быть вызвано эффектом поляризации анодов. Обычно устраняется подбором материала анодов, снижением плотности тока и уменьшением загрузки ванны.

7. Разрастание осадков. Дендритные, крупнозернистые осадки обычно образуются из-за уменьшенного содержания в электролите добавок, снижающих зернистость, и наличия блескообразователя.

Оборудование. Материалы ванн, фильтров и другого оборудования указаны в табл. 5.2.

17. Меднение в борфтористоводородном электролите

До введения металлизации печатных плат с использованием пирофосфатных электролитов, наряду с серноокислыми, использовались электролиты борфтористоводородного меднения. Из-за плохого соотношения толщины покрытия в отверстиях и на поверхности и необоснованной боязни вредного влияния борфтористоводородного электролита на изоляционный материал оснований печатных плат в настоящее время он используется редко. В некоторых отношениях он превосходит серноокислый электролит. Его можно применять при более высоких плотностях тока, чем любой другой из используемых теперь электролитов для наращивания меди. Хорошая растворимость борфтористоводородной меди позволяет использовать высокие концентрации меди в растворе. Можно получить гладкие мелкозернистые покрытия без добавления агентов, хотя патока (1 г/л) способствует получению более твердых покрытий и препятствует их разрастанию.

Функции составных частей. Борфтористоводородная медь является источником ионов металла. Более высокие концентрации позволяют использовать большую плотность тока, так как предельная плотность тока сильно возрастает при увеличении содержания металла. Борфтористоводородная кислота (свободная) повышает электропроводность электролита, а при более высоких концентрациях позволяет использовать более низкие напряжения. Борная кислота способствует стабилизации ионов фторобората. Более высокие концентрации обуславливают снижение электропроводности.

Ванна работает при наличии некоторого количества свободной борфтористоводородной и борной кислот. Борная кислота действует как буфер, стабилизирует электролит и препятствует осаждению солей меди $\text{Cu}(\text{BF}_4)_2$. В табл. 5.6 указаны типичные рабочие режимы.

ние борфтористоводородной кислоты для сохранения рН. Проверка рН осуществляется с помощью индикаторной бумаги или компаратора. Под заголовком «Контроль процессов» описываются методы определения количества металлической меди и свободной борфтористоводородной кислоты.

2. Температура. Повышение температуры вызывает повышение предельной плотности тока, понижение твердости и повышение пластичности осадков и увеличение электропроводности электролита. Угольные нагревательные элементы действуют в этом случае удовлетворительно.

3. Фильтрация. Предпочитают использовать непрерывную фильтрацию, хотя гладкость осадков сохраняется и при периодической фильтрации. Фильтрующие средства не должны содержать двуокиси кремния. Фильтровальная бумага дает удовлетворительные результаты. Насосы фильтров должны быть облицованы пластиком или резиной.

Дефекты покрытий

1. Увеличение количества включений и крупнозернистая структура. Добавить патоку. Это уменьшает «разрастание» и обеспечивает получение мелкокристаллической структуры.

2. Хрупкие осадки. Уменьшение пластичности в этом случае считается нормальным. Это может происходить за счет свинца, удаляемого путем применения H_2SO_4 , и фильтрации органических веществ, которые окрашивают раствор в зеленоватый цвет. Для устранения этого необходимо произвести фильтрацию через активированный уголь и фильтр. Откорректировать содержание присадок. При $pH > 1,7$ покрытия получаются тусклыми, темными или хрупкими. Добавляется NBF_4 .

Шероховатость покрытия вызывается наличием твердых примесей в ванне, что устраняется применением чехлов на анодах и фильтрацией.

Оборудование для металлизации. Материалы, применяемые для облицовки внутренних стенок ванны, изготовления фильтров и других частей оборудования, указаны в табл. 5.2

ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ЗОЛОЧЕНИЕ

После наращивания меди на плату наносят шелкографией или фотоспособом органический резист, что делает незащищенную медную поверхность готовой к покрытию

металлическим резистом. В качестве резистов при травлении для получения более качественной поверхности применяют три покрытия: золото, сплав олово — свинец и сплав олово — никель.

Кроме того, что золото является отличным резистом при травлении, оно обладает хорошей электропроводностью, хорошей сопротивляемостью потускнению и хорошей паяемостью после хранения и дает контактные поверхности с низким электрическим сопротивлением.

В случаях, когда изделие должно храниться и должно обладать хорошей паяемостью, толщина покрытия должна колебаться в пределах от 0,075 до 0,75 мкм, тогда как толщина контактных поверхностей при статическом контакте или при минимальном истирании материала должна лежать в пределах от 1,25 до 5 мкм. Толщина резиста для травления должна быть примерно 2,5 мкм (см. рис. 5.1, 5.7—5.10 и 5.13). Следует заметить, что толщина, бóльшая 3,75 мкм, может привести к так называемым «холодным пайкам». (См. следующие разделы книги, а также литературу [22—26].)

До последнего времени золото наносилось почти исключительно из сильно-щелочных цианистых медленно кроющих электролитов. При этом имело место низкое содержание металла, а рабочие напряжения и температуры были высокими. При этих условиях материалы диэлектрических оснований печатных плат и резисты разрушались.

Сначала пытались найти оптимальный состав цианистого электролита с целью сокращения длительности процесса и понижения рабочей температуры. Это достигалось повышением содержания золота в электролите и добавлением металлических сплавляющих элементов для улучшения зернистости гальванического покрытия при комнатной температуре. Хотя эти покрытия обладали большей твердостью, они больше были подвержены потускнению, снижению паяемости, прочности сцепления и электрического сопротивления. Разработаны способы получения блестящих золотых покрытий из цианистых электролитов при температурах 24—38° С, дающие покрытия 23⁺ карата. Такие покрытия широко применяются при производстве печатных плат [27—29].

Другой разработкой являются кислотные [30—32] или нейтральные [33—34] электролиты золочения. В типичных случаях они действуют при рН от 3,5 до 4,5 для кислотных

систем и от 6 до 9 для нейтральных систем. При правильной работе даже при температурах свыше 50°C на материалы диэлектрических оснований плат они влияют незначительно или совсем не влияют. Эти системы успешно применяются в промышленности, особенно в производстве полупроводников, где требуется золото 24 карата [35].

Можно предположить, что единый процесс получения золотого покрытия заменит многие существующие в настоящее время процессы. Дальнейшие сведения можно получить, ознакомившись с указанными ранее работами [10, 12, 13].

Одним из принятых процессов является «ударное» кислотное золочение с последующим блестящим цианистым покрытием.

18. «Ударное» и нормальное золочение

«Ударное» кислотное золочение во многих случаях заменяет «ударное» цианистое золочение благодаря лучшей совместимости с материалами оснований печатных плат. Ванны «ударного» золочения не размягчают фоторезисты и имеют несколько меньшие рабочие напряжения и температуру и более высокое содержание металла, чем при золочении в цианистом электролите. Кроме того, когда при способе сплошного наращивания используются пиррофосфатная медь или другие покрытия блестящей медью, вероятность отслаивания резистов и прокола золотого покрытия при травлении уменьшается.

С другой стороны, электролиты «ударного» золочения обладают высоким содержанием цианида и $\text{pH} > 12$ и действуют лучше при температурах выше 50°C . При этих условиях напряжения, которые лежат в диапазоне от 4 до 5 в, и выделение газообразного водорода во время процесса могут легко вызвать разрыв материала резиста. Однако для предварительной металлизации большинства металлических систем цианистые электролиты для «ударного» золочения превосходят кислотные по своему очищающему действию и кроющей способности.

Блестящее цианистое золочение широко применяется из-за большой скорости нанесения покрытия и отличной стойкости к потускнению и воздействию травящего раствора.

Несмотря на то, что метод покрытия золотом в кислом электролите в течение всего процесса был предложен и применен на практике, его использование ограничивается при изготовлении плат с фоторезистом. Это объясняется высокой температурой электролита, меньшей эффективностью и большим временем, необходимым для покрытия при плотностях тока, достаточно низких для того, чтобы резист оставался неповрежденным.

При производстве печатных плат применяются также блестящее кислотное золочение и двойные слои золота.

В соответствии с военными техническими условиями MIL-Std-275B минимальная толщина золотого покрытия должна быть 2 мкм и открытие должно соответствовать типу II по MIL-G-45204. Тип II представляет собой покрытие (твердое) 23⁺ карата.

Если платы подвергаются действию повышенных температур в течение длительного времени, золотое покрытие следует наносить на подслои из никеля или палладия. Это вызывает замедление диффузии, которое обуславливает потускнение металлизации плат и понижает паяемость. В настоящее время благодаря знанию влияния добавок небольших количеств примесей, особенно в электролитах кислотного золочения, прикладываются усилия сохранить по возможности большую чистоту этих электролитов. Например, при содержании в растворе 0,01 г/л тяжелых металлов (Fe, Co, Ni, или Cr) они будут включаться в покрытия и вызывать изменение их цвета во время хранения и работы при высокой температуре. Сильное изменение цвета вызывают также органические материалы со стоек, посуды, из очистителей, блескообразователи, остатки фоторезиста и т. д.

Стоимость покрытия с использованием промышленных электролитов составляет примерно 80 центов за квадратный дециметр при толщине покрытия золотом 2,5 мкм. Это соответствует 50 долл. за тройскую унцию золота (31,1 г).

19. Кислотное золочение

Электролиты «ударного» золочения могут состояться точно так же, как кислотные электролиты золочения, но с меньшим содержанием металла. Существует ряд таких электролитов, которые запатентованы [30—32]. Рабочие температуры зависят от типа используемого резиста, но

обычно бывают порядка 50° С. Состав и рабочие условия для типичных кислотных электролитов золочения приведены в табл. 5.7.

Таблица 5.7

Типовой состав и рабочие условия кислотных электролитов для нанесения золотого покрытия

Состав	
Металлическое золото Проводящие соли Соли кислоты	«Ударное» золочение: 2,25—3,75 г/л, нормальное золочение: 7,5—15 г/л в зависимости от требований сохранения плотности по Боме и низких рабочих напряжений как требуется для сохранения рН
Рабочие условия	
рН Температура, °С Напряжение, в Плотность катодного тока Аноды Отношение площади анода к площади катода Эффективность катодного тока при 38° С, %	3,5—4,5 25—50 2—6 «Ударное» золочение: до 1 а/дм ² , нормальное золочение: 0,1—0,2 а/дм ² , уголь, титан с платиновым покрытием 4 : 1 Переменная (приблизительно 25)

Имеющиеся в продаже электролиты содержат органические кислоты и соли, золото (в виде цианида или хлорида), проводящие соли, металлические добавки и смачиватели.

Функции составных частей. Соли золота дают ионы металла в концентрации, которая определяет предельную плотность тока. Соли, регулирующие рН, сохраняют величину рН в оптимальных пределах. Проводящие соли способствуют повышению электропроводности, обеспечивая возможность применения более низких напряжений. Органическая кислота и соли способствуют получению мелкозернистых покрытий. Соли натрия или калия действуют как буферы. Кобальт, никель или другие металлы являются агентами, способствующими улучшению структуры осадков, повышению их твердости и блеска.

Обслуживание и контроль

1. рН. В этих системах стабильность электролита и эффективность катодного тока в сильной мере зависят от рН. В некоторых случаях эффективность тока может падать примерно до 10% при величинах рН, равных приблизительно 3,0. При понижении рН от 2,5 до 3,0 соли золота осаждаются в виде желтого цианида золота (AuCN). В диапазоне рН от 3,0 до 3,7 избыточные ионы никеля или кобальта могут выделять золото в виде комплексных соединений цианида. Эти соединения могут снова растворяться за счет повышения рН и температуры и увеличения интенсивности перемешивания электролита.

2. Аноды. В электролитах кислотного золочения успешно используются нерастворимые аноды из угля, а также аноды из титана или тантала с платиновым покрытием.

3. Перемешивание и фильтрация. Наилучшие результаты получаются, когда используются постоянная фильтрация и покачивание катодов. Фильтры, находящиеся в ванне, устраняют потери раствора.

4. Эффективность катодного тока. Повышение температуры, рН и содержания металла способствуют повышению эффективности катодного тока. В некоторых случаях достигается эффективность выше 50%.

5. Очистка ванны. Хорошее обслуживание и уход с целью предотвращения загрязнения ванны имеют большое значение.

6. Анализы. Контроль за кислотным золочением осуществляется путем контроля величины рН, величины плотности по Боме и количественным анализом электролитов на содержание золота. Операции анализа описываются в разд. «Контроль процессов».

Нарушения процесса

1. Нанесение слоя золота при достижении плотности тока 1 а/дм^2 и напряжении 4 в прекращается, а через 30 сек продолжается избыточный выход газа. Это чаще всего объясняется низким содержанием металла.

2. Отслаивание или вспучивание слоя золота при нанесении на никель. Это объясняется пассивацией поверхности никеля. В этом случае помогает повышение плотности тока, но необходимо позаботиться о том, чтобы не происходил избыточный выход газа, который может вызвать разрывы

резиста и привести к отслаиванию покрытия после нанесения за счет выделения поглощенного водорода. Если используется блестящий никель, трудно удалять смачиватели. Обработка в 10%-ной серной кислоте, а затем тщательная промывка помогают их устранению.

3. Разрывы резиста (при предположении правильного его нанесения). Причиной этому могут явиться слишком высокое напряжение из-за недостатка проводящих солей (величина плотности по Боме слишком мала) или избыточная плотность тока.

4. Золото осаждается в виде желтого цианида золота (AuCN). Причиной является то, что величина рН или температура слишком низки. Следует повысить температуру и снова проверить рН.

5. Низкая эффективность тока. Причиной является слишком низкое содержание металла или чрезмерно малая величина рН. Необходимо повысить величину рН путем введения соответствующих добавок.

6. Выкристаллизовывание солей. Причина — слишком низкая температура раствора.

Оборудование для гальванических процессов. Материалы для изготовления облицовки ванн, фильтров и т. д. приведены в табл. 5.2. Особое внимание следует обратить на то, чтобы раствор не соприкасался с материалами, содержащими такие металлы, как железо, никель и хром.

Цикл. На платах, изготавливаемых с избирательным наращиванием меди, можно выполнять золочение непосредственно после меднения и тщательной промывки. Если же платы были высушены или прошли промежуточное хранение, то следует осуществлять описанный ранее цикл обработки, применяемой для плат, изготавливаемых методом сплошного наращивания. Толщина золотого покрытия примерно 0,05—0,125 мкм.

20. Блестящее цианистое золочение (23^+ карата)

Процесс блестящего цианистого золочения был разработан с тем, чтобы можно было удовлетворить требованиям связанным со специальными применениями в области электроники, военной техники, и получения печатных схем методом травления. Получаемое покрытие тверже обычных золотых покрытий (24 карата) и обладает хорошей

устойчивостью к растворам для травления меди, отличной способностью к пайке и стойкостью к износу и коррозии. Для этого процесса существуют соответствующие электролиты (запатентованные [27—29]). Состав и рабочие условия типовых щелочных ванн цианистого золочения приведены в табл. 5.8.

Таблица 5.8

Типовой состав и рабочие условия щелочных ванн блестящего цианистого золочения

Состав	
Металлическое золото, г/л	7,5—15
Цианид калия (свободный), г/л	60,0—67,5
Карбонат калия, г/л	7,5—60
Никель, кобальт	По необходимости
Серебро	До 2%, но может и отсутствовать
Блескообразователи	По необходимости
Смачиватели	По необходимости
Рабочие условия	
Температура, °С	24—38
Плотность тока, а/дм ²	0,3—0,5
Аноды	Нержавеющая сталь 302
Отношение площади анодов и катодов	от 1:1 до 5:1
Перемешивание	Энергичное, но так, чтобы не ввести воздух или не вызвать разбрызгивания или пенообразования. Фильтрация через приспособления, установленные в ванне, и покачивание катодной штанги достаточны
Эффективность катодного тока, %	95
pH	12

Функции составных частей. Цианид золота является источником ионов металла. Повышение содержания золота увеличивает рабочий диапазон плотности тока. Свободный KCN используется в качестве комплексообразующего агента для золота. Он способствует получению мелкозернистых покрытий и повышает кроющую способность, а также препятствует образованию покрытий методом контактного высаживания. K_2CO_3 способствует повышению проводи-

мости. Никель и кобальт обеспечивают уменьшение зернистости твердых покрытий и улучшают цвет. Смачиватели понижают возможность образования ряби и окклюзии водорода.

Эксплуатация и контроль

1. Общие замечания. Золочение должно производиться при низких плотностях тока, чтобы получались гладкие мелкозернистые покрытия без пор. Высокие плотности тока и температуры вызывают удаление от платы веществ, способствующих мелкозернистости покрытий, или вызывают разрушение органических блескообразователей.

2. Фильтрация. Раствор необходимо подвергать частой фильтрации через активированный уголь и другие материалы с тем, чтобы получать свободные от пор блестящие покрытия. Фильтры в ванне и покачивание катодной штанги обеспечивают необходимое перемешивание и предотвращают потери раствора. После фильтрации через активированный уголь следует восстановить состав ванны.

3. Анализ. Состав ванны проверяется на содержание золота, свободного цианида и иногда карбоната калия. Методы выполнения анализов описываются в разд. «Контроль процессов». Эффективность катодного тока должна оставаться по возможности близкой к 95%, с тем чтобы выход газа, который может вызвать отслаивание резиста, был минимальным.

Дефекты

1. Разноцветность и пятна на поверхности покрытия. Это объясняется обычно загрязнением органическими веществами. Для их удаления следует произвести фильтрацию через активированный уголь. После этого необходимо добавить блескообразователи.

2. Тусклые шероховатые покрытия. Обычно причиной этого является низкое содержание свободного цианида.

3. Низкая эффективность тока. Причиной этого могут быть высокое содержание свободного цианида, плохое перемешивание, низкое содержание золота, избыточное количество K_2CO_3 . При продолжительном использовании ванны при низких плотностях тока происходит быстрое повышение содержания карбоната. Это обусловливается разложением цианида. Наблюдается также сильный запах аммиака.

Оборудование. Материалы насосов, фильтров и т. д. указаны в табл. 5.2.

Цикл. См. «Описание процесса покрытия золотом» в разд. «Металлизация отверстий». После получения покрытия и промывки платы погружаются на 10 сек — 15 мин в 5—10%-ную уксусную кислоту, тщательно промываются и выдерживаются в течение 5 мин в горячей воде (88—100° С).

Скорость металлизации. Время, требующееся для получения определенной толщины покрытия, приведено в табл. 5.9.

Таблица 5.9

Время наращивания определенной толщины покрытия из раствора цианистого золочения

Толщина, мкм	Время наращивания при 95%-ном выходе по току, мин				
	Плотность тока, а/дм ²				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,25	3,7	1,8	1,2	0,9	0,75
2,5	37	18,5	12,3	9,2	7,5
12,5	185	92,5	61,6	46,2	37,0
25	370	185	123	93	75

21. Пайка золотого покрытия

Электролит золочения независимо от его типа (кислотный или щелочной) должен оказывать небольшое влияние на паяемость, если были правильно выполнены очистка, покрытие, промывка после получения покрытия и обращение с платами до пайки. Блестящие золотые покрытия из цианистого электролита золочения требуют более тщательной промывки и нейтрализации по сравнению с полученными в кислотных или нейтральных электролитах. При недостаточной промывке золотых покрытий, полученных в цианистых электролитах, остаются загрязнения, которые могут вызвать плохое качество пайки и изменение цвета. Термин «паяемость» относится как к смачиванию, так и к прочности соединения. Разные золотые покрытия (сплав золота, золото 24 карата и т. д.) по-разному реагируют на эти факторы. Чистое золото (24 карата, тип I)

обладает лучшим смачиванием, чем большинство сплавов золота (с Ni, Co и т. д.).

Проводились многочисленные исследования паяемости золотых покрытий [22—25]. Результаты показывают, что более слабые соединения при пайке являются результатом действия таких факторов, которые повышают содержание растворенного золота в припое; в числе таких факторов: толстое золотое покрытие, более высокая температура и увеличенное время пайки. Эти исследования показали также, что более тонкое золотое покрытие (сплав или чистое золото) смачивается лучше, чем толстое.

Требования NASA (Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства) к пайке электрических соединений предусматривают удаление (стирание) золотого покрытия с участков пайки, включая металлизированные отверстия и контактные площадки, с тем чтобы обеспечить наибольшую прочность соединений и наибольшую надежность [26].

22. Удаление золотых покрытий

Тонкие золотые покрытия на меди удаляются с помощью следующих растворов:

Цианид натрия NaCN	120 г
Вода	1 л
H ₂ O ₂ (концентрированная)	30 г

Необходимо соблюдать осторожность при вливании перекиси водорода в раствор. Золото снимается путем простого погружения в следующий раствор при комнатной температуре:

Цианид натрия NaCN	30—60 г
Вода	1 л
Плотность анодного тока	1—2 а/дм ²

Кроме того, существует еще ряд запатентованных составов для удаления золота.

ПОКРЫТИЕ СПЛАВОМ ОЛОВО — СВИНЕЦ

Покрытие из сплава олово — свинец (60% олова и 40% свинца) наносится электролитически на печатные платы с целью улучшения пайки элементов или в качестве резиста

при травлении. Толщина слоя сплава при использовании его в качестве резиста берется 25 мкм.

По техническим условиям MIL-Std-275B толщина покрытия сплавом олово — свинец должна быть минимально 7,5 мкм и содержать минимально 50% и максимальнo 70% олова. На рис. 5.22 и 5.23 показано сечение металлизированного отверстия с покрытием из этого сплава.

Электроосаждение сплавов связано с дополнительными условиями по сравнению с получением покрытия из одного элемента. Например, необходимо контролировать условия так, чтобы поддерживать осаждение сплава однородного состава. Точка плавления припоя из сплава олово — свинец повышается, если нанесенное покрытие имеет более высокое содержание любого составляющего. Если температура плавления сплава слишком высока, он не плавится при температурах, обычно используемых для плавления эвтектического сплава 63 Sn — 37 Pb, используемого в установках групповой пайки (196—204° С). Как правило, изменения условий металлизации, которые вызывают повышение поляризации, благоприятствуют осаждению менее благородного металла (в данном случае олова). Повышение плотности тока и увеличение количества добавок повышает количество олова в осаждаемом сплаве. Влияние температуры, перемешивания и кислотного содержания на состав сплава незначительно, очевидно, в частности, за счет того, что потенциалы осаждения свинца и олова весьма близки друг к другу. Принципы и практика осаждения сплава описываются в работе, указанной в ссылке [15].

Сплав олово — свинец можно легко осадить в борфтористом электролите, достигая большой степени однородности. Ванна заполняется борфтористоводородным свинцом, к которому добавляется борфтористоводородное олово и пептоны (или другие вещества, способствующие получению мелкозернистой структуры). Приготовление раствора, состав и рабочие условия приведены в табл. 5.10.

23. Функции составных частей

Двухвалентное олово и фторобораты свинца являются источником металлов. Концентрация каждого из них влияет на количество соответствующего металла в покрытиях.

Типовой состав, рабочие условия и порядок составления ванны для осаждения сплава олово—свинец [36]

Приготовление раствора (для 60 Sn—40 Pb)

Концентрация фторобората олова (47% Sn по весу), г/л	312
Концентрация фторобората свинца (50% Pb по весу), г/л	93
Борфтористоводородная кислота (50%), г/л	196
Борная кислота, г/л	11
Пептон, г/л	5
Вода (деионизированная)	60,7% общего объема

Состав (60 Sn—40 Pb)

Олово, общее количество, г/л	60
Двухвалентное олово, г/л	55
Свинец, г/л	25
Свободная борфтористоводородная кислота, г/л	100
Свободная борная кислота, г/л	25
Пептон, г/л	5,5

Условия работы

Температура, °С	16—37
pH (определен по индикаторной бумаге)	0,5 или менее
Плотность тока, а/дм ²	3,0
Эффективность тока (при постоянном содержании олова—свинца), %:	—
катодная	100
анодная	100
Перемешивание	Медленным покачиванием катодной штанги
Отношение площади анода и катода	2 : 1

Примечание. Твердые химикаты следует растворить в воде до того, как вводить их в ванну. Пептон или клей легче растворится, если поместить его в холодную воду и медленно ее подогревать с одновременным перемешиванием до тех пор, пока раствор не будет горячим. Необходимо проследить за тем, чтобы не образовывались осадки. Сначала смешиваются кислота и вода, а затем добавляется борная кислота.

Борфтористоводородная кислота повышает проводимость и понижает концентрацию ионов металла. По мере увеличения концентрации борфтористоводородной кислоты зернистость становится мельче, поверхность более гладкой и уменьшается «разрастание». Борная кислота препятствует разложению фторобората, которое может вызвать выпадание в осадок свинца в виде фторида свинца. Пептон способствует получению гладких мелкозернистых, свободных от «разрастания» покрытий. Увеличение количества клея и пептона увеличивает количество олова в покрытии при данном составе электролита. Другие добавки описываются в [10]. Следует использовать свободную от минеральных солей или дистиллированную воду.

24. Обслуживание и контроль

Аноды. Аноды из сплава 60% олова — 40% свинца.

Следует использовать для анодов чехлы из синтетических материалов «дайнел», «дакрон» или «винион».

Фильтрация. Во время осаждения не рекомендуется производить энергичного перемешивания, так как это может вызвать понижение содержания олова. Рекомендуется периодически осуществлять фильтрацию через активированный уголь. Уголь следует укладывать на подложку из фильтровальной бумаги в фильтре с резиновой обкладкой. Фильтровальные средства не должны содержать песок и должны быть типа целлюлозы, а не асбеста или инфузорной земли. Содержание добавок в ванне должно восстанавливаться после фильтрации через активированный уголь. Помутнение раствора является нормальным.

Анализы. Анализ следует производить регулярно, чтобы сохранить правильное соотношение между двумя металлами. Ванна проверяется на pH, на содержание борфтористоводородной кислоты, двухвалентного олова и свинца. Добавки контролируются путем контроля покрытий и с помощью ячейки Халла. Анализ электролита и осажденного сплава олово — свинец описывается в разд. «Контроль процессов».

Состав припоя олово — свинец можно получить также путем точного определения веса покрытия из олова — свинца, наращиваемого за данное количество ампер-часов, с помощью кулонометра, присоединенного последователь-

но, и при использовании приведенных ниже эмпирических формул [37, 38].

$$\% \text{ олова} = 518,2 \cdot \left(\frac{\text{ампер-часы}}{\text{грамм сплава}} \right) - 134,1.$$

$$\% \text{ олова} = 134,1 \cdot \left(\frac{\text{осажденного свинца по весу}}{\text{осажденного сплава по весу}} \right) - 1.$$

Дефекты

1. Шероховатые, зернистые покрытия. Необходимо удалить из электролита твердые частицы, такие, как отстой от анодов, пыль и четырехвалентное олово. Поскольку обычно требуемое перемешивание осуществляется только покачиванием катодных штанг, можно допустить, чтобы твердые частицы оставались на дне ванны. Если собирается осадок, то фильтрация почти невозможна, так как он забивает фильтр и препятствует прохождению раствора. Лучше всего слить отстоявшийся электролит в дополнительную ванну. При этом необходимо следить за тем, чтобы отстой не перемешивался. Этот раствор затем перемешивают и перекачивают во вторую высокую вспомогательную ванну. Раствору дают отстояться и снова его сливают. Для каких-либо других целей вспомогательные ванны применять не следует, поскольку даже тщательная очистка не удаляет всех следов свинца и олова. Нельзя допускать попадания воздуха в раствор, так как в результате этого происходит осаждение солей четырехвалентного олова (Sn^{+4}) и могут возникнуть шероховатости покрытия. Далее прозрачный раствор фильтруется через активированный уголь. Затем этому раствору дают отстояться и отфильтровывают его обратно в гальваническую ванну. Шероховатые покрытия могут указывать и на пониженное содержание пептона или подобных добавок.

2. Полосатое покрытие. Это явление вызывается загрязнением органическими веществами. В сплавах с низким содержанием олова это может быть вызвано разрушением добавок.

25. Оборудование

Материалы, применяемые для облицовки ванн, фильтров и т. д., приведены в табл. 5.2. Борфтористоводородные электролиты для покрытия олово — свинцом легко вызывают коррозию и требуют, чтобы ванны и насосы были

футерованы резиной или синтетическим материалом. Не следует в качестве футеровки использовать свинец или другие металлы.

Цикл. См. раздел о сплошном и избирательном покрытии. Если используется сернокислый электролит меднения, необходима тщательная промывка. Для уменьшения осаждения сульфата можно применить обработку в 5—20%-ной борфтористоводородной кислоте.

Скорость наращивания. При плотности тока 3 а/дм^2 за 20 мин получается покрытие толщиной 25 мкм.

Удаление покрытия (60% олова — 40% свинца). Покрытие из сплава олово — свинец удаляется с меди при комнатной температуре путем погружения в следующий раствор:

Уксусная кислота (ледяная)3,3 л
Перекись водорода (концентрированная)0,5 л
Вода	10 л

ПОКРЫТИЕ СПЛАВОМ ОЛОВО — НИКЕЛЬ

Хотя сплав олово — никель является относительно новым по сравнению с большинством металлов для покрытий, он нашел широкое применение в производстве печатных схем [30, 40]. Толщина слоя, использованного в качестве резиста при травлении, должна достигать 25 мкм (см. рис. 5.18 и 5.19). Блескообразователи не используются. Сплав олово — никель имеет соотношение атомов 1:1 или 65% олова и 35% никеля по весу. Получаемое покрытие обладает отличной сопротивляемостью коррозии и потускнению, высокой твердостью (650 по Виккерсу), хорошей проводимостью, хорошей паяемостью и низким коэффициентом трения. Применяется сплав олово — никель из хлорфтористоводородного и борфтористоводородного электролитов. Эти электролиты обладают исключительной кроющей способностью, что делает их пригодными для покрытия плат с металлизированными отверстиями. Оба они содержат фтористые соединения и поэтому легко вызывают коррозию и требуют соответствующего обращения со стороны обслуживающего персонала. Необходимо работать в резиновых перчатках и фартуках. В дальнейшем все сведения относятся к хлорфтористоводородным электролитам [10, 12, 41].

В табл. 5.11 приведены метод приготовления хлорфтористоводородного электролита, его состав и рабочие условия.

Таблица 5.11

Типовой метод приготовления гальванических ванн для получения покрытий из сплава олово—никель, контроль и рабочие условия

Состав	
Двухлористое олово SnCl_2 , г/л	48
Хлорид никеля NiCl_2 , г/л	300
Двуфтористый аммоний NH_4HF_2 , г/л	55
Контроль	
Олово (двухвалентное), г/л	30 (26—37)
Никель (Ni), г/л	67 (60—82)
Общее количество фтора (F), г/л	37 (33—44)
Условия работы	
Температура, °C	66—72
pH	2,0—2,5
Напряжение, в	1—4,0
Плотность катодного тока, а/дм ²	1,0—3,0
Эффективность катодного тока, %	100
Отношение площади анода к катоду	1 : 1—2 : 1
Крюющая способность, %	60—70 (элемент Херинга)
Перемешивание	Слабая фильтрация, медленное качание катодной штанги или без перемешивания

26. Функции составных частей

Двухлористое олово и хлорид никеля образуют ионы металлов. Двуфтористый аммоний добавляется для образования соединений олова, содержащих примерно равное по числу атомов соединение олова и никеля, и для поддержания материалов в растворе. Небольшое количество хлористого аммония может добавляться в свежую ванну для устранения образования внутренних напряжений в осадках [42].

pH. pH регулируется содержанием HF, NH_4HF_2 или NH_4OH . Во время работы pH обычно возрастает, и если не следить за этим, то может возникнуть рябизна покрытий.

Температура. Для получения хорошего покрытия существенное значение имеет поддержание требуемой температуры. Температура ниже 65°C ведет к образованию белых покрытий с высоким содержанием олова.

Аноды. Предпочитают использовать никель, деполяризованный прокат или особо чистую отливку в чехлах из нейлона.

Фильтрация. Фильтрация осуществляется в интервалы, когда ванна не работает, или непрерывно с помощью бессиликатных фильтров. Если предполагается, что раствор имеет органические примеси или ванна составлена вновь, в отдельных резервуарах следует осуществлять фильтрацию через активированный уголь.

Анализы. Состав покрытия остается почти постоянным, несмотря на колебания в составе ванны и рабочих условий. pH и содержание фтора (F) являются наиболее существенными. Общее содержание фтора всегда должно быть, по крайней мере, таким же высоким, как общая концентрация олова, определяемая путем добавления двухвалентного (Sn^{+2}) и четырехвалентного (Sn^{+4}) олова. Содержание Sn^{+2} и F должно часто проверяться, содержание никеля и Sn^{+4} проверяется ежемесячно.

28. Дефекты покрытий

1. Неровные покрытия, слабо соединяющиеся с основанием. Они обусловлены наличием органических загрязнений. Необходимо произвести фильтрацию электролита через активированный уголь. Воздушные пузырьки, вносимые фильтром, также могут вызвать неровности получаемого покрытия.

2. Тусклое покрытие. Если температура правильна, то повышено содержание олова и фтора. Отношение Sn/F должно быть равным 1 : 1. Потускнение может также явиться следствием примесей (0,0025% Pb или Sb, Cd, Cu и Zn). Это устраняется обычно путем снижения плотности тока до 0,2—0,4 $\text{a}/\text{дм}^2$.

3. Напряженные покрытия с трещинами. Свежеприготовленные электролиты дают покрытия сплавом олово — никель с высокими внутренними напряжениями, и при достаточно толстом покрытии в нем могут возникнуть трещины. Добавление хлорида аммония, содержание которого увеличивается по мере старения электролита, или повышение рабочей температуры до 77°C уменьшает эту тенденцию.

29. Оборудование

В табл. 5.2 приведены типы конструкционных материалов. Для обогрева рекомендуется использовать водяную рубашку или обогреватели из угля, никеля, никелированной меди или стали. Футеровка ванн и арматура должны изготавливаться из винипласта, неопрена, бессернистой резины или полипропилена.

30. Цикл

После меднения и соответствующей промывки с целью удаления остатков электролита меднения плата переносится в ванну для покрытия сплавом олово — никель при плотности тока $1,0\text{—}3,0\text{ а/дм}^2$. Обработка кислотой с последующей промывкой после блестящего меднения препятствует загрязнению медью, а также удаляет смачиватели с поверхности платы.

31. Скорость наращивания

Примерно в течение 10 мин можно получить покрытие со средней толщиной 5 мкм при плотности тока $1,5\text{ а/дм}^2$. В табл. 5.12 указаны величины толщины в зависимости от времени.

32. Стоимость

Покрытие золотом толщиной 2,5 мкм площадью 10 дм^2 стоит 6—7 долл., тогда как покрытие сплавом олово — никель такой же толщины и площади стоит 0,04 долл. Двойные слои из сплава олово — никель с золотым покрытием стоят значительно дешевле.

Скорость наращивания покрытия из сплава олово—никель

Толщина, мкм	Время наращивания, мин			
	при плотностях тока, а/дм ²			
	1	2	3	4
2,5	7,5	3,8	2,5	1,9
5,0	15	7,5	5	3,8
7,5	22,5	11,3	7,5	5,6
10	30	15	10	7,5
12,5	37,5	18,8	12,5	9,4
25	75	37,5	25	18,8
50	150	75	50	37,5

ДРУГИЕ МЕТАЛЛЫ

33. Гальваническое никелирование

Покрытие из сплава никель — родий используется в тех случаях, когда поверхности электрических контактов подвергаются сильному износу. Например, если по спецификациям требуется твердый износостойкий некорродирующий скользящий контакт, то типичным гальваническим покрытием, которое должно наноситься на медь, является слой 12,5 мкм никеля и 0,5 мкм родия. Подслой никеля повышает износостойкость, стойкость к коррозии и улучшает внешний вид. Никель в сочетании с золотом используется в качестве резистов при травлении. Никель также можно применять в качестве подложки для золота с целью повышения сопротивляемости обесцвечиванию золота при высоких температурах и для получения поверхности с низким контактным сопротивлением. В этом случае твердость золота не должна превышать 100—120 ДРН.

По техническим условиям MIL-G-45204 можно использовать никелевый подслой, но предпочитают медный подслой, особенно на платах, предназначенных для эксплуатации на открытом воздухе, когда толщина слоя золота меньше 2,5 мкм. По техническим условиям MIL-Std-275В требуется никелевое покрытие с малыми внутренними напряжениями при минимальной толщине 12,5 мкм (в соответствии с классом 2 технических условий QQ-N-290).

Никелевые покрытия с малыми внутренними напряжениями можно получить из электролитов типа никеля Уатта с высоким рН (4,5—5,5) или из сульфаминового электролита никелирования. Состав и рабочие условия для электролита сульфаминового никелирования приведены в табл. 5.13.

Таблица 5.13

Типовой состав и рабочие условия электролита сульфаминового никелирования

Состав		
Компоненты	Предельное значение	Оптимальное значение
Сульфамат никеля, $\text{Ni}(\text{SO}_3\text{NH}_2)_2$, г/л	270—330	300
Хлорид никеля $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, г/л	6—30	6
Борная кислота H_3BO_3 , г/л	30—45	35
Добавки, уменьшающие внутренние напряжения	Как требуется	—
Выравниватель	Как требуется	—
Условия работы		
Температура, °С	24—38	
Плотность тока, а/дм ²	2,0—14,0	
рН (по электрометру)	3,5—4,2	
Перемешивание	Воздушное, низкого давления	
Аноды	Отлитый или прокатанный науглероженный никель	

Полное описание никелевых покрытий здесь не приводится, однако дается целый ряд ссылок на работы по этому вопросу [10, 12, 14]. Следует упомянуть некоторые из встречающихся дефектов.

Покрытия с внутренними напряжениями. При таких покрытиях проявляется тенденция к появлению трещин или отслаиванию наращиваемого металла от основного. В большинстве случаев покрытия находятся в состоянии растяжения, приближающемся к пределу прочности. Основ-

ной метод измерения внутренних напряжений в процессе получения гальванических покрытий основан на измерении величины изгиба катода из тонкого листа, покрываемого с одной стороны и закрепленного одним концом. По мере наращивания лист прогибается в направлении анода, причем степень изгиба указывает на величину внутреннего напряжения. Приборы для измерения внутренних напряжений, называемые контрактометрами, имеются в продаже.

На величину возникающих внутренних напряжений влияют такие факторы, как рН, температура, плотность тока, состав электролита и загрязнения. Можно включать в электролит специальные добавки с целью понижения величины внутренних напряжений и преобразования растягивающих напряжений в напряжения сжатия.

В ванне с растворами солей сульфаминовой кислоты наличие ионов хлорида обуславливает повышение растворимости анодов и проводимости электролита, но способствует также получению покрытий с более высокими внутренними напряжениями, чем в ваннах, свободных от хлорида. Добавление 1, 3, 6-нафталинтрисульфокислоты обуславливает получение покрытий, обладающих сжимающими внутренними напряжениями.

Рябизна покрытий. Рябизна обычно имеет место при низком содержании металла, низком рН, при наличии в электролите органических или неорганических загрязнений или плохом перемешивании. Раствор должен фильтроваться через активированный уголь и корректироваться до требуемого состава. Загрязнения вызывают также неоднородность, хрупкость покрытий и понижение эффективности выхода по току. Так же как во всех гальванических процессах, правильная эксплуатация, соответствующая очистка плат, держателей и т. д. и уход за электролитом являются основными факторами, исключающими возникновение дефектов.

Плохое сцепление с никелем. Нанесение на никель покрытий из других металлов может вызвать затруднения вследствие пассивности его поверхности. Никель может активироваться с помощью 25%-ного раствора HCl , 10—20%-ного раствора H_2SO_4 или наращиванием никеля по методу Вуда с использованием реверсирования тока [12].

34. Покрытие родием

Родий обладает свойствами, делающими его особенно пригодным для контактных поверхностей в печатных схемах. Он практически не тускнеет и износостоек, его твердость (после получения покрытия) составляет 700—1100 по Виккерсу. Необходимо точно выдерживать толщину покрытия, так как покрытия толщиной менее 1,25 мкм пористы, а в покрытиях толще 2,5 мкм возникают внутренние напряжения.

В соответствии с техническими условиями MIL-Std-275В контактные поверхности печатного монтажа для разъемного соединения печатных плат могут покрываться родием. Минимальная толщина родия составляет 0,5 мкм, а максимальная — 1,25 мкм. Если требуется пайка к печатному монтажу, родиевое покрытие применять не следует.

Родий обычно наносится на платы из серноокислого или фосфорнокислого электролитов. Полученные из этих электролитов покрытия обладают высокими внутренними напряжениями. В США в продаже имеются фирменные электролиты, пользуясь которыми можно получить покрытия с малыми напряжениями. К запатентованным добавкам

Таблица 5.14

Типовой состав и рабочие условия серноокислого электролита для гальванического покрытия родием

Состав	
Родий (сульфат), г/л	2—10
96%-ная H ₂ SO ₄ , мл/л	20—100
Деионизированная вода	До требуемого объема
Условия работы	
Температура, °С	38—52
Плотность тока, а/дм ²	1—2
Напряжение, в	2—3
Перемешивание	Умеренное, катодной штангой
Аноды	Платина, титан с платиновым покрытием
Выход по току, %	65—85

для уменьшения внутренних напряжений относятся селенаты, сульфаматы и сульфаты алюминия и магния. Для получения покрытий при изготовлении электронной аппаратуры и печатных схем предпочитают применять сернокислый электролит [13]. Состав и рабочие условия приведены в табл. 5.14.

Металлические загрязнения обуславливают получение темных пятнистых и полосатых покрытий. Органические загрязнения вызывают серьезные затруднения [43]. Они понижают скорость наращивания покрытия и приводят к образованию темных покрытий. Необходимо регулярно (если не непрерывно) производить фильтрацию через активированный уголь для удаления органических примесей из ванны.

При плотности тока 2 а/дм^2 в сернокислом электролите слой толщиной $1,25 \text{ мкм}$ наращивается за $7\text{—}8 \text{ мин}$. Эффективность катодного тока увеличивается при перемешивании, увеличении содержания металла, температуры и уменьшении плотности тока.

35. Серебрение

Серебро не имеет широкого применения в печатных схемах, хотя и применяется для покрытия поверхностей контактов переключателей, работающих при статическом давлении и при малых скоростях переключения. Для этих случаев требуется слой толщиной $2,5\text{—}5 \text{ мкм}$ в сочетании с тонким покрытием благородным металлом.

Серебрение не допускается, когда платы должны отвечать требованиям военных технических условий MIL-Std-275В или MIL-P-55110. Это объясняется тем, что при определенных значениях электрического потенциала и влажности серебро начинает мигрировать по поверхности и через толщу изоляции, что вызывает появление «утечек» с низким электрическим сопротивлением [44]. Потускнение серебра во влажной атмосфере, содержащей сернистые соединения, также вызывает ухудшение электрических свойств контактных поверхностей.

Серебро наносится из щелочного цианистого электролита. Типовой состав и рабочие условия приведены в табл. 5.2 и 5.15.

Осуществлены более новые разработки в области получения блестящих покрытий и соответствующих процессов,

Приготовление электролита и рабочие условия ванны цианистого серебрения

Компоненты	
Серебро цианистое AgCN , г/л	36
Цианистый калий KCN , г/л	60
Углекислый калий K_2CO_3 , г/л	15 мин
Блескообразователь (CS_2 или другой)	по необходимости
Состав по анализу	
Серебро (металлическое), г/л	29
Калий цианистый (свободный), г/л	41

дающих покрытия, более устойчивые к потускнению и коррозии, относительно менее пористые и более твердые [10, 13].

Дефекты, возникающие при металлизации, связаны в основном с «черными анодами», образующимися вследствие нарушения равновесия раствора, из-за примесей в анодах или в результате загрязнения электролита.

Большинство металлов, особенно менее благородных, требуют выполнения «ударного» наращивания серебра до серебрения в указанном выше растворе [12].

Условия работы

Температура, °С	21—27
Плотность тока, а/дм ²	0,4—1,5
Аноды	Серебро высокой чистоты в чехлах из нейлона

36. Гальваническое лужение

Гальваническое лужение используется при производстве печатных схем главным образом для повышения качества пайки и улучшения электрического контакта. Толщина слоя покрытия может варьироваться от толщины «мгновенно» наращиваемых слоев, улучшающих кроющую способ-

ность других металлов, до слоев толщиной 50 мкм, создаваемых с целью повышения качества пайки, электрического контакта и улучшения фрикционных свойств контактных поверхностей.

Согласно техническим условиям MIL-Std-275В покрытие из гальванически наращиваемого олова должно иметь толщину минимально 7,5 мкм и качество его должно соответствовать требованиям технических условий MIL-T-10727.

Обычно гальваническое покрытие оловом осуществляется в борфтористоводородном электролите. Его действие и уход за ним такой же, как и при покрытии сплавом олово — свинец. В табл. 5.16 приведены состав раствора

Таблица 5.16

Типовой состав и рабочие условия для гальванических ванн с борфтористым оловом [12]

Состав	
Фтороборат олова $\text{Sn}(\text{BF}_4)_2$, г/л	200
Олово металлическое (Sn), г/л	81
Борфтористоводородная кислота (свободная HBF_4), г/л	100
Борная кислота (свободная H_3BO_3), г/л	25
Желатин, г/л	6,0
Бета-нафтол, г/л	1,0
Условия работы	
Температура, °С	22—49
pH (колориметрич.)	0,2 или менее
Удельный вес, °Боме	20—23
Плотность тока, а/дм ²	7,5—12,5
Напряжение, в	1—3
Перемешивание	Механическое, покачиванием штанг
Эффективность выхода по току, %	100
Аноды	Чистое олово
Отношение площади поверхности анодов к катоду	2 : 1

и рабочие условия для электролита с борфтористым оловом. Однако олово, наращиваемое из сернокислого электролита (блестящее покрытие), может быть с некоторым преимуществом использовано в качестве резиста при травлении.

БЕСТОКОВАЯ И КОНТАКТНАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ

Кроме процессов химического меднения и серебрения существуют методы бестоковой металлизации или контактной металлизации некоторыми другими металлами [10, 12, 45]. Наиболее применяемыми в производстве печатных схем являются никель, золото и олово.

Термин «бестоковая» или «безэлектролизная» металлизация (electroless plating) используется для обозначения метода получения металлического покрытия с помощью химического восстановителя, добавляемого в рабочий раствор. Кроме того, этот процесс характеризуется каталитическим характером действия поверхности осаждаемого металла, что дает возможность получать металлическое покрытие любой толщины.

С другой стороны, получение покрытия методом контактного высаживания или погружения (contact plating или immersion plating) обусловлено гальваническим замещением основного и наносимого металлов. Толщина слоя осаждаемого металла ограничена и не превышает 0,25—1,25 мкм.

37. Бестоковое никелирование [46, 47]

Этот метод получения никелевого покрытия применяется тогда, когда нельзя использовать менее дорогое электролитическое никелирование. В производственных условиях предпочитают использовать кислые, а не щелочные составы, так как первые обеспечивают лучшее сцепление покрытия с основным металлом, обладают большей скоростью осаждения и большей экономичностью.

Технические условия MIL-C-2607A содержат требования, предъявляемые к бестоковым покрытиям Ni — P. Типичный процесс представлен в табл. 5.17.

Таблица 5.17

Процесс бестокового никелирования

NiCl ₂ ·5H ₂ O, г	30
Гипофосфит натрия (NaH ₂ PO ₄), г	10
Лимоннокислый натрий (C ₆ H ₅ O ₇ Na ₃), г	10 (или гликолят натрия 50)
Вода, мл	1000
pH (регулируемое NaOH)	4—6
Температура, °C	88—93
Скорость осаждения, мкм/час	5—15

Некоторые некаталитические металлы, например медь, должны активироваться для того, чтобы началось осаждение. Это можно осуществить контактированием детали с алюминиевым стержнем, сенсibiliзацией двухлористым палладием или используя деталь, находящуюся в растворе, в качестве катода.

Покрытие, получаемое этим методом, имеет тусклую поверхность и содержит 6—15% фосфора. Нанесенный металл отличается хрупкостью. Существуют фирменные процессы, обеспечивающие более яркие покрытия со скоростью осаждения 25 мкм/час. Качество пайки в этом случае хорошее. Так как при этом методе используются высокие температуры, обычные материалы для плат могут ухудшаться за счет поглощения раствора, расслаивания, разрушения склеивающего вещества или снижения электрической изоляции.

38. Бестоковое золочение

Был разработан процесс бестокового золочения, аналогичный по действию процессу бестокового никелирования [48]. Скорость осаждения достигает 2,5—5 мкм/час и получающееся покрытие состоит в основном из чистого золота. Типовой процесс приведен в табл. 5.18.

Таблица 5.18

Процесс бестокового золочения

Цианид золота и калия (67,5% золота), г/л	2
Хлористый аммоний, г/л	75
Лимоннокислый натрий, г/л	50
Гипофосфит натрия, г/л	10
pH (поддерживается с помощью NH ₄ OH)	7—7,5
Температура, °C	92—95

При использовании другого типа растворов (контактного высаживания) на меди получают золотые покрытия толщиной 0,075—0,25 мкм. Эти процессы осуществляются при более приемлемых температурах (65—82° C). Покрытия такой толщины обеспечивают хорошую паяемость при кратковременном хранении. Для меди и медных сплавов [12, 13] успешно применяется следующий состав:

Цианид золота и калия, г/л	3,5
NaCN, г/л	30
Сода кальцинированная (Na ₂ CO ₃), г/л	35
Температура, °С	65—82

В продаже имеется также много фирменных растворов для бестокового и контактного золочения.

39. Контактное лужение

В продаже имеется раствор для контактного осаждения олова на медь. Поверхность обладает очень хорошей паяемостью, толщина покрытия до 2,5 мкм.

40. Другие металлы

В литературе [13] описано много процессов бестокового осаждения таких металлов, как палладий, родий и платина, но в производстве печатных плат они не нашли широкого применения.

ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ ОПЕРАЦИИ ТРАВЛЕНИЯ

41. Промывка

Выполнение эффективной промывки после травления очень важно, независимо от того, какой травящий состав используется: хлорное железо, персульфат аммония, хлорная медь или хромовая кислота. Обычно при промывке в случае травления в хлорном железе используется разбавленная соляная или щавелевая кислоты, а затем обычная вода для полного удаления травящего вещества.

Для определения эффективности нейтрализации и промывки (см. «Контроль процессов») необходимы специальные испытания.

Плохое качество пайки часто приписывается золотому покрытию, хотя в действительности этот недостаток может быть связан с недостаточной промывкой после травления.

На покрытых сплавом олово — свинец платах, когда содержание олова слишком высоко, а в качестве травящего вещества используется персульфат аммония, покрытие получается темным или черного цвета. Когда это имеет место, по краям линий проводников и контактных площадок иногда остается невытравленная медь. Это обуславливается действием персульфата аммония, преимущественно вытравливающим олово, которое сползает вниз и образует «резист» на меди. На поверхности плат, покрытых этим сплавом, во время травления образуется темный сульфат свинца. Обе эти пленки можно удалить, погружая плату в раствор следующего состава:

Борфтористоводородная кислота (48%), мл	378,5
Тиомочевина, г	378,5
Неионный смачиватель, мл	37,9
Деионизированная вода, л	До объема 3,78
Время погружения, мин	1—3
Температура, °С	48—56

Существенное значение имеет последующая промывка.

В число покрытий после травления входят водорастворимые лаки, полиуретан и другие пластмассы.

42. Нанесение покрытий после травления

Нанесение гальванических покрытий после травления на платах со сквозными металлизированными отверстиями заключается чаще всего в нанесении никеля и родия на контактные поверхности. Лучше всего их временное соединение для подачи потенциала осуществить с помощью технологических проводников, изображения которых включаются в фотооригинал. При наличии отдельных изолированных контактных площадок, отверстий и проводников можно соединять их шнуровкой, проволокой или пружинящими штифтами, устанавливаемыми в отверстиях.

Если металлизация отверстий не производится, то покрытия из олова, золота и т. д. обычно наносятся способом контактного высаживания или же способом бестокового осаждения никеля с последующим покрытием золотом. Также широко используется процесс избирательного гальванического покрытия кистью.

ОЦЕНКА И ИСПЫТАНИЯ ПЛАТ С ПОКРЫТИЯМИ И МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ

Производить оценку качества плат в процессе их изготовления и готовых плат необходимо для установления норм и принятия оптимальных методов изготовления. Надежность изделий и усовершенствование процессов всегда повышаются при осуществлении хорошей программы испытаний.

43. Предварительная проверка

Слои гальванически наращиваемой меди и резистивного металла должны быть плотными, свободными от пор и иметь равномерную толщину. Наращивание избыточной меди или местных утолщений где-либо на плате, особенно в отверстиях, недопустимо. Проверка с помощью микроскопа с 10-кратным увеличением не должна показывать трещин, пор или непокрытых участков на поверхности отверстия или контактных площадок.

44. Целостность и испытательная схема монтажа

Схема испытательного печатного монтажа может помещаться в любом месте на печатной плате; при необходимости схему можно удалить. Испытания на толщину покрытия, электрическое сопротивление и допустимый ток могут проводиться без разрушения основной печатной схемы.

Схема испытательного печатного монтажа описана в технических условиях MIL-P-55110.

45. Измерения электрического сопротивления

Измерения электрического сопротивления имеют практическое значение, так как они показывают приближенную толщину покрытия на плате и его качество до и после различных испытаний. Вследствие низких значений сопротивления измерения лучше всего производить с помощью чувствительного прибора, включающего мост Уитстона.

Например, сопротивления печатных проводников и металлизированных отверстий мы должны измерять с точностью до $\pm 5\%$.

Типичные сопротивления соединений через металлизированные отверстия составляют примерно 10^{-3} ом или даже меньше, тогда как сопротивление наружных участков соединений могут быть в несколько раз больше в зависимости от их длины и площади. Увеличение первоначального сопротивления на 100% после испытания на воздействие различных окружающих условий является основанием для бракования платы.

46. Испытания на качество пайки

В большинстве практических случаев такие испытания включают пайку и перепайку проводов (или элементов) в монтажных отверстиях, с тем чтобы воспроизвести действительную замену элементов в эксплуатационных условиях. Из полученных результатов можно определить величины теплового удара, электрического сопротивления и прочности. Для определения сплавления и оптимальной толщины слоя меди в отверстиях производят металлографическое исследование микрошлифов.

47. Испытания на токопроводность

Испытания, включающие измерение электрического сопротивления после пропускания нормального и перегрузочного токов (при ступенчатом возрастании), являются отличным методом определения качества соединений через металлизированные отверстия.

48. Испытания на воздействие циклического изменения температуры и повышенной температуры

Каждое из этих испытаний зависит от типа материала, из которого выполняются основания плат, и от общей структуры плат. Температура при циклическом воздей-

ствии может изменяться от -65 до $+120^{\circ}\text{C}$, а испытания при повышенных температурах проводятся в диапазоне от 150 до 172°C , в зависимости от испытываемого материала. При этих испытаниях также проводятся измерения электрического сопротивления. Увеличение сопротивления цепи или полный разрыв ее указывают на появление дефекта.

49. Испытания на воздействие высокой относительной влажности

Испытания плат на воздействие 95%-ной относительной влажности при комнатной и повышенной температурах проводятся для оценки электрических соединений и выявления проникновения растворов между металлизацией и основанием платы. Пористость в осажденных покрытиях и проникновение растворов обнаруживаются по изменению цвета металлизации в отверстиях и на контактных площадках.

50. Металлографическое исследование микрошлифов

Существенную часть контроля процессов изготовления и испытаний готовых плат составляют приготовление шлифов и их исследование под микроскопом. Правильно вырезанные и изготовленные микрошлифы могут дать следующую информацию:

Качество сверления или пробивки отверстий.

Целостность материала основания.

Толщина покрытия и ее равномерность, качество структуры, наличие трещин, пор и адгезия металлических покрытий в отверстиях. По техническим условиям MIL-Std-275В толщина покрытия из меди должна быть не менее 25 мкм.

Влияние пайки на медное покрытие и материал основания.

Совмещение слоев монтажа.

Результаты испытаний на воздействие повышенных температур, высокой относительной влажности и результаты испытаний на токопроводность.

Метод изготовления микрошлифов и основная аппаратура, необходимая для металлографической лаборатории, приведены в разд. «Контроль процессов».

Методы испытаний даны в технических условиях MIL-Std-202. Технические условия MIL-P-55110 рекомендуют рисунок печатного монтажа для проведения испытаний и устанавливают следующий перечень и порядок испытаний:

целостность электрических цепей; температурные циклы; прочность сцепления; толщина покрытия (когда оно используется); влагостойкость; сопротивление изоляции; диэлектрическая прочность; прочность на отслаивание.

Испытания описаны в технических условиях MIL-Std-202, за исключением испытания на прочность сцепления. Испытания начинаются с шести температурных циклов от -65 до $+128^{\circ}\text{C}$ (30 мин при каждой температуре), после чего следует выдержка в течение 24 час при 50°C . Платы проверяются на отсутствие повреждений и проверяется электрическая целостность цепей. После испытаний на прочность сцепления следуют испытания на прочность адгезии покрытий. Образцы затем подвергаются 10-дневному воздействию термоциклов в климатической камере (метод 106, MIL-Std-202), после чего следуют испытания на сопротивление изоляции и диэлектрическую прочность. Последними проводятся испытания прочности на отслаивание до и после пайки погружением.

МНОГОСЛОЙНЫЕ ПЕЧАТНЫЕ СХЕМЫ

Одной из последних разработок в области миниатюризации электронной аппаратуры, методов соединений и монтажа элементов является многослойный печатный монтаж. Применение многослойных печатных плат решает проблему повышения плотности монтажа [49—58, 72].

Многослойные печатные платы состоят из ряда тонких слоев, соединенных друг с другом со строгим совмещением. Слои проводников и изоляционных материалов расположены смежно друг с другом, а внутренние межслойные соединения обычно осуществляются металлизированными отверстиями, пистонами или проволочными перемычками.

Многослойные печатные платы сохраняют многие свойства обычного печатного монтажа, такие как возможность массового производства, исключение возможности появления неправильных схемных соединений, точное воспроизведение схемы от платы к плате, сокращение времени монтажа, возможность служить механической опорой для монтируемых элементов и трудность замены элементов. К специфическим свойствам многослойных печатных плат

относят высокую плотность размещения элементов печатного монтажа, большее количество вариантов прокладки проводников, более короткие линии проводников, создание внутренней экранировки и плоскостей отвода тепла и улучшение характеристик, связанных с устойчивостью к воздействию окружающей среды за счет расположения всех проводников в массе монолитного диэлектрического материала. Недостатками являются высокая стоимость и трудность изменения схемы на готовых платах.

Для производства многослойных плат применяются методы, аналогичные описанным в предшествующих разделах, за исключением того, что для многослойных плат требуются большая точность, совмещение и прочность адгезии. При правильном изготовлении эти платы отвечают требованиям испытаний, указанным в технических условиях.

Существует много способов изготовления многослойных плат. В данной статье они делятся на две группы: методы, включающие предварительное склеивание слоев, и методы, основанные на послойном наращивании.

51. Метод открытых контактных площадок

Одним из первых методов изготовления многослойных плат с предварительным склеиванием слоев был метод, основанный на использовании открытых контактных площадок (метод «проходных отверстий») [49, 50, 52]. При этом методе отверстия предварительно просверливались в слоях, а затем при правильном совмещении осуществлялось прессование слоев в законченную печатную плату с эпоксидной смолой в качестве склеивающего агента между слоями.

Слои представляли собой односторонние тонкие печатные платы, выполненные способом травления, которые затем наслаивались друг на друга, образуя одну многослойную плату. Каждая плата последующего слоя имела дополнительную схему и отверстия диаметром примерно 2,5 мм для доступа к закрываемому предшествующему слою. В результате этого верхний слой имел открытые контактные площадки, обеспечивающие доступ ко всем нижним слоям. Следовательно, нижняя плата имела наибольшую площадь для схемы и не имела открытых

контактных площадок, а верхняя плата имела наименьшую площадь для схемы и наибольшее количество открытых контактных площадок.

Основные операции процесса изготовления

1. Просверливание проходных и технологических отверстий.

2. Нанесение изображения печатного монтажа и травление. Обычный размер контактных площадок вокруг отверстий при выполнении фотооригинала 3 мм.

3. Травление, удаление резиста, нейтрализация, очистка и сушка.

4. Нанесение склеивающего вещества на межслойные поверхности методом сеткографии. Сушка.

5. Сборка слоев в пресс-форме с использованием технологических отверстий.

6. Предварительный нагрев.

7. Прокладка листов бумаги для предотвращения сลิปания. Прессование под давлением и при высокой температуре до полной полимеризации склеивающего вещества.

8. Охлаждение.

9. Удаление из прессы и извлечение из пресс-формы.

10. При использовании технологических отверстий в качестве установочной базы просверливаются монтажные отверстия.

11. Обработка контура платы.

На рис. 5.16 показано сечение многослойной платы с открытыми контактными площадками.

После установки радиодеталей производится пайка их выводов к открытым контактными площадкам через проходные отверстия. Выполнение соединений между слоями монтажа в процессе изготовления плат при этом методе отсутствует. Однако двухсторонние платы с металлизированными отверстиями используют и со специальными соединениями между слоями. Платы, изготавливаемые обоими вариантами технологического процесса, имеют одинаковое распространение. Для пайки также используются проходные отверстия. На рис. 5.17 показана многослойная плата с открытыми контактными площадками и металлизированными отверстиями.

Трудности металлизации отверстий в этом случае связаны с появлением трещин в слое меди вокруг отверстий во время прессования.

Возникают также трудности при пайке за счет наличия остатков склеивающего материала на поверхности платы. Основное ограничение данного метода заключается в том,

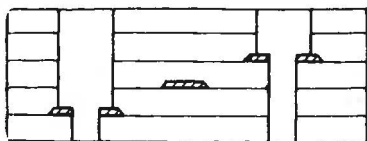


Рис. 5.16. Многослойная печатная плата с открытыми контактными площадками, для изготовления которой используются слои одностороннего печатного монтажа, выполненного травлением.



Рис. 5.17. Многослойная печатная плата с открытыми контактными площадками, при изготовлении которой использованы двухсторонние платы с металлизированными отверстиями.

что слишком много площади затрачивается на выполнение открытых контактных площадок, так что выигрыш в повышении плотности монтажа теряется.

52. Многослойные печатные платы из стандартного стеклотекстолита

Одним из простейших методов изготовления многослойных плат является соединение друг с другом печатных плат из стандартного стеклотекстолита. При этом методе на двух заготовках фольгированного стеклотекстолита (толщина фольги обычно 70 мкм) вытравливается печатный монтаж внутренних слоев. Затем эти заготовки соединяются путем прессования с прокладкой из стеклоткани, пропитанной недополимеризованной смолой. В полученной плате сверлятся и металлизуются сквозные отверстия и выполняется печатный монтаж наружных слоев (рис. 5.18).

Основные операции процесса изготовления

1. Нанесение изображения и травление печатного монтажа внутренних слоев. Контактные площадки должны быть максимально возможного размера.
2. Прессование с использованием фиксирующих штырей и отверстий.

3. Сверление отверстий.
4. Химическая металлизация.
5. Гальваническая металлизация резистивным металлом (со сплошным или избирательным наращиванием меди).
6. Удаление органического резиста.
7. Травление печатного монтажа наружных слоев, нейтрализация и сушка.

Основная задача заключается в получении хорошего соединения между фольгой внутренних слоев платы и металлизацией в отверстиях. Это прежде всего объясняется наволакиванием смолы из стеклотекстолита на фольгу во время сверления и недостаточной площадью открытой поверхности меди. В этом случае используется смесь из 1 части HF и 1,7 частей H_2SO_4 для травления погружением при температуре $60^\circ C$, после сверления отверстий до любой другой очистки. Это травление удаляет эпоксидную смолу с открытой поверхности меди, а также способствует увеличению поверхности фольги внутри отверстия. Обработка трихлорэтиленом до обычной очистки сквозных отверстий обычно осуществляется для удаления остатков травящего вещества, так как они понижают эффективность действия восстановителей меди. На рис. 5.18—5.23 показаны микрошлифы типичных многослойных печатных плат, полученных этими методами.

Ниже приведен состав другого травящего раствора, улучшающего адгезию покрытия:

HNO_3 (70%)	40% (по объему)
Уксусная кислота (ледяная)	42% (по объему)
H_2O (деионизированная)	18% (по объему)

Этот раствор не ухудшает процесс химического меднения.

Склеивание двух печатных плат, сквозные отверстия в которых предварительно металлизированы, является менее желательным процессом, так как в этом случае стеклотекстолит «вдавливается» в отверстия.

Платы, изготовленные этим методом, обычно толще плат, полученных другими методами. В настоящее время имеются стандартные материалы для заготовок многослойных плат толщиной 0,06 мм, фольгированные с одной или двух сторон медной фольгой толщиной 100 мкм. До появления таких материалов использовались заготовки из фольгированного стеклотекстолита и фольгированного майлара с целью получения более тонких структур. При этом

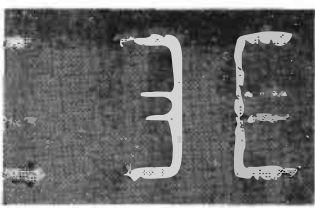


Рис. 5.18. Многослойная печатная плата, выполненная из двух внутренних слоев, полученных методом травления, с последующей металлизацией сквозных отверстий (увеличение $20\times$).



Рис. 5.19. Многослойная печатная плата с подтравленным стеклотекстолитом и покрытием сплавом олово — никель в качестве резиста при травлении (увеличение $20\times$).

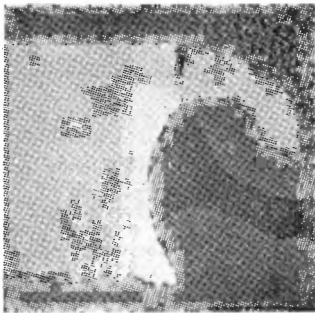


Рис. 5.20. Рис. 5.19 в увеличенном виде. Наружная нависающая поверхность печатного проводника схватывается с частично полимеризованным стеклотекстолитом (увеличение $200\times$).

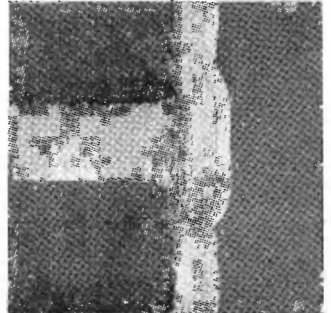


Рис. 5.21. Рис. 5.19 в увеличенном виде. Можно видеть соединение между слоями (увеличение $200\times$).

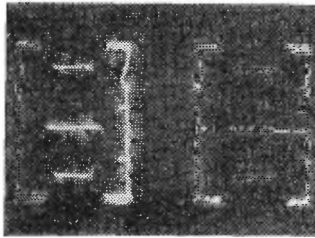


Рис. 5.22. Многослойная печатная плата. Наружные слои выполнены способом сплошного наращивания с использованием сплава олово — свинец в качестве резиста при травлении (увеличение $20\times$).

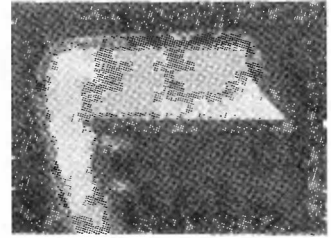


Рис. 5.23. Рис. 5.22 в увеличенном виде. Показана форма слоя гальванически напесенного сплава олово — свинец (увеличение $150\times$).

возникали затруднения при металлизации вследствие плохого сцепления металла с майларом в отверстиях и образования непокрытых мест. Сверление было весьма критичным, поскольку майлар легко плавился и загрязнял края медной фольги. Кроме того, эта структура иногда не выдерживала нагрузку и расслаивалась. Преимуществом майлара является то, что в нем можно протравливать отверстия, используя медь в качестве резиста. Отверстия можно выполнять, травливая медную фольгу хлорным железом по фоторезисту, а травление самого майлара производить с помощью горячей (50—80° С) концентрированной H_2SO_4 . Для очистки отверстий применяется горячий трихлорэтилен или легкая абразивная обработка.

53. Последовательное прессование слоев

Последовательное прессование слоев для изготовления многослойных печатных плат первоначально было предложено с целью упрощения совмещения между слоями во время прессования и для уменьшения общей толщины готовой платы.

На рис. 5.24 показан типичный процесс, при котором в качестве примера используется материал толщиной 0,8 мм, фольгированный с обеих сторон медной фольгой толщиной 50 мкм.

На заготовку из этого материала (слой 1) наносится изображение и на внутренней стороне травится печатный монтаж, а затем она устанавливается в пресс-форму на фиксирующих штырях. Поверх этого слоя накладывается

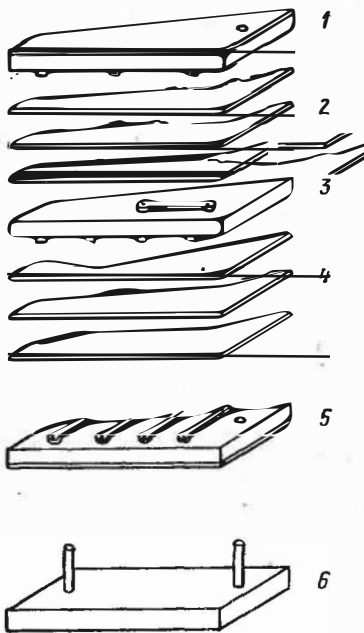


Рис. 5.24. Сборка пакета для прессования многослойной платы:

1 — слой № 3; 2 — три связующих листа; 3 — слой № 2; 4 — три связующих листа; 5 — слой № 1; 6 — приспособление с фиксирующими штырями.

склеивающая прокладка толщиной 0,12 мм (стеклоткань, пропитанная частично полимеризированной смолой). Для дополнительной изоляции может наноситься методом сеткографии покрытие из пластического наполнителя. На следующей заготовке (слой 2) наносится изображение и травится печатный монтаж на обеих сторонах, заготовка совмещается в пресс-форме по штырям и приклеивается (прессуется). Этот процесс повторяется при приклеивании другой склеивающей прокладкой слоя 3 с вытравленным монтажом на внутренней поверхности.

В полученном многослойном основании затем просверливаются отверстия. Для подтравливания можно использовать смесь $\text{HF} - \text{H}_2\text{SO}_4$, назначение которой заключается в удалении наволакивающейся на медь смолы стеклотекстолита и дополнительном вытравливании стеклотекстолита с внутренних слоев меди в просверленных отверстиях.

Заключительными операциями процесса являются нанесение изображений, гальваническое покрытие и травление наружных слоев.

54. Послойное наращивание

Вариантом описанного выше метода является послойное наращивание сплошных столбиков (штырей) и медных проводников, изолируемых наносимыми сеткографией слоями диэлектрика.

Когда используется метод сквозной металлизации отверстий, окончательное скрепление в значительной степени ограничивается операциями пайки. Путем использования методов точной металлизации можно обеспечить внутренние соединения и подключение внешнего соединительного штыря, применяя электроосаждение меди, и обеспечить возможность выполнения внешних соединений сваркой.

Метод послойного наращивания через отверстия без штырей. При использовании заготовки из двухстороннего стеклотекстолита толщиной 0,15—0,25 мм с фольгой 20—75 мкм (марка G-11) выполняются следующие операции:

1. Нанесение рисунка расположения отверстий фотографическим методом на одну сторону заготовки. Методом погружения наносится покрытие для защиты фольги с другой стороны.

2. Травление отверстий в медной фольге персульфатом аммония.

3. Удаление фоторезиста с поверхности заготовки.

4. Травление стеклотекстолита для образования отверстий в растворе: 1,7 части 96%-ной H_2SO_4 и 1 часть 97%-ной NF при $60^\circ C$. Медь служит резистом.

5. Промывка отверстий сильной струей горячего трихлорэтилена для удаления загрязнений.

6. Механическое или электролитическое удаление меди со стороны отверстий. (Химическое травление не используется, поскольку оно вызывает удаление меди и с обратной стороны, а эта медь должна быть основой для последующего электролитического наращивания столбиков в отверстиях.)

7. Нанесение покрытия на наружную сторону меди для защиты от гальванического наращивания.

8. Гальваническое наращивание меди до заполнения отверстий и затем до образования выступов меди над поверхностью платы.

9. Шлифование меди до образования ровной поверхности.

10. Химическое меднение всей этой поверхности. Обратная поверхность защищается от металлизации.

11. Гальваническое наращивание слоя меди толщиной 5 *мкм*.

12. Удаление резиста.

13. Нанесение светочувствительной эмульсии способом погружения.

14. Фотопечатание негативного изображения отверстий на слой гальванически осажденной меди.

15. Травление 5-*мкм* слоя гальванической меди и подслоя химической меди. (Это выполняется для удаления химической меди из «столбиков».) Тщательная промывка и очистка.

16. После очистки по тому же фоторезисту производится гальваническое наращивание меди в отверстиях до уровня поверхности слоя гальванически осажденной меди на всей поверхности.

17. Удаление фоторезиста.

18. Нанесение защитного покрытия на фольгу с обратной стороны платы для защиты ее от гальванического наращивания.

19. Гальваническое наращивание меди по всей поверх-

ности до желаемой толщины проводников. (Может выполняться также избирательное наращивание по рисунку печатного монтажа.)

20. Удаление резиста.

21. Нанесение фотоизображения и травление печатного монтажа.

22. Удаление фоторезиста.

23. Нанесение сеткографией эпоксидной смолы в промежутки между печатными проводниками до уровня их поверхности.

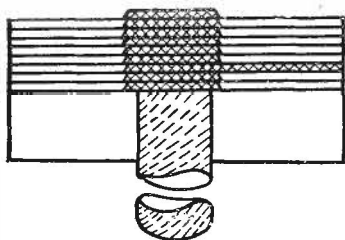


Рис. 5.25. Многослойная печатная плата, изготовленная методом послойного наращивания.

24. Полимеризация эпоксидной смолы.

25. Шлифование для образования плоской поверхности.

26. Нанесение сеткографией изображения отверстий (отверстия не покрыты) и защита фольги с обратной стороны.

27. Гальваническое наращивание меди в отверстиях до образования выступов, высотой несколько больше, чем толщина слоя изоляционного материала, который будет использован.

28. Удаление резиста.

29. Наложение изоляционного слоя (стеклоткани, пропитанной непотвердевшей смолой).

30. Прессование (полимеризация стеклоэпоксида до стадии «С»).

31. Охлаждение и шлифовка поверхности меди на отверстиях для ее очистки.

32. Повторение операций 10—31 до образования требуемого числа слоев.

На рис. 5.25 показан типичный вид платы в разрезе.

55. Трудности при выполнении послойного наращивания

1. Медь, полученная методом восстановления, по своей структуре менее прочна, чем медь, гальванически наращиваемая на медь. Кроме того, возникает возможность наволакивания эпоксидной смолы на поверхности меди во время

шлифования. После электролитического наращивания тонкого покрытия рекомендуется травление.

2. Текущий контроль имеет существенное значение во время покрытия отверстий. Это объясняется тем, что покрываются небольшие участки, что обуславливает возможность образования зернистого пористого покрытия. В этом случае хорошо использовать сернокислый электролит меднения при добавлении присадок для улучшения зернистости, хотя при соответствующих резистах можно применять и другие электролиты.

3. Растворы необходимо тщательно фильтровать, а для предотвращения попадания материалов, загрязняющих электролитически наращиваемые «столбики» в отверстиях и схемы, следует работать в обеспыленном помещении.

4. Для обеспечения постоянных условий металлизации необходимо достаточно часто производить химический анализ гальванических ванн.

5. Щелочные очистители, кислоты и составы для травления не должны влиять на пластики (за исключением операции травления отверстий).

6. Приспособления для гальванического покрытия плат следует конструировать таким образом, чтобы они не препятствовали отстаиванию загрязнений.

56. Послойное наращивание многослойных плат со штырями

Изготовление одного слоя платы включает следующие операции:

1. Электролитическое наращивание «столбиков» так, чтобы они выступали над платой. Штыри предварительно запрессовываются в платы или ставятся на эпоксидном клее.

2. Нанесение изоляции (стеклоткани, пропитанной эпоксидной смолой).

3. Сошлифовывание столбиков электролитически наращенной меди до уровня поверхности изоляции.

4. Нанесение изображения первичного расположения «столбиков» фотографическим методом.

5. Электролитическое наращивание «столбиков» до толщины, достаточной для соединения со слоем печатного монтажа.

6. Удаление фоторезиста.

7. Нанесение изоляции (стеклоткани, пропитанной эпоксидной смолой).

8. Шлифование поверхности до тех пор, пока высота электролитически наращенных «столбиков» не достигнет поверхности изоляции.

9. Химическая металлизация (способы бестокового меднения) всей поверхности.

10. Электролитическое наращивание меди на всю поверхность до толщины 5 мкм.

11. Нанесение резистивного изображения расположения «столбиков» фотографическим методом.

12. Травление через открытые участки фоторезиста на «столбиках» для удаления промежуточного слоя меди, полученной как гальваническим наращиванием, так и химическим способом.

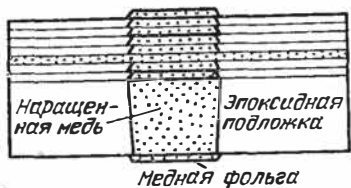


Рис. 5.26. Многослойная печатная плата со штырями, выполненная методом послойного наращивания.

13. Электролитическое наращивание «столбиков» до уровня предшествующего слоя меди (операция 10).

14. Удаление фоторезиста.

15. Гальваническое наращивание меди на всю поверхность до толщины 25 мкм или более в зависимости от требований.

16. Нанесение резистивного изображения печатного монтажа фотографическим методом.

17. Травление по фоторезисту печатного монтажа первого слоя.

18. Удаление фоторезиста.

19. Нанесение изоляции (стеклоткани, пропитанной эпоксидной смолой).

20. Шлифование поверхности медной печатной схемы до уровня поверхности изоляции.

Для изготовления пятислойной платы операции 4—20 повторяются пять раз. На рис. 5.26 приведено сечение многослойной платы, полученной этим способом.

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ПЕЧАТНЫХ СХЕМ

В последнее время появилось несколько новых методов металлизации печатных плат. В их числе аддитивные методы изготовления печатного монтажа, т. е. путем нанесения металла только по требуемому рисунку [60], и новые методы металлизации поверхностей пластмасс [45, 61—63].

При изготовлении печатных плат путем нанесения металла только по требуемому рисунку используется наращивание проводников на диэлектрике непосредственно из химической ванны без использования гальванических процессов. Каталитическое клеящее вещество наносится в виде требуемого рисунка монтажа на диэлектрическое основание, после чего по нему наращивается медь. В другом варианте клеящее вещество можно наносить по всей поверхности платы, а участки, на которые медь не должна наноситься, можно защищать путем нанесения покрытия печатью или сеткографией. Каталитическое клеящее вещество представляет собой смолу, содержащую до 85% закиси меди. Сенсibilизация содержащейся в смоле Cu_2O осуществляется с помощью H_2SO_4 . Поскольку рисунок печатного монтажа наносится на нефольгированное диэлектрическое основание, травление не требуется. На рис. 5.27 представлено сечение печатного проводника, полученного этим методом. Каталитическое клеящее вещество видно под медным покрытием.



Рис. 5.27. Поперечное сечение печатного проводника, выполненного аддитивным процессом.

Кроме этого метода, в сочетании с такими широко распространенными в технике тонких пленок популярными процессами, как вакуумное напыление, химическая металлизация и химическая обработка, используются новые методы, например обработка, осаждение, травление и сварка электронным лучом.

Травление электронным лучом может обеспечить получение канавок шириной 10 $\mu\text{м}$ в тонких металлических пленках. Травление молекулярным лучом дает разрешаю-

щую способность до 0,1 мкм на материалах, включая Al, Ni, Si, Mo, Fe, Ta и W. Этими методами можно также наносить резисты толщиной 50 Å. Например, тонкопленочный печатный монтаж может наноситься на керамику рассмотренными ранее стандартными методами осаждения, например восстановлением меди или гальваническим покрытием. Травление при этом производится новыми методами. На печатный монтаж устанавливаются резисторы, конденсаторы и полупроводниковые приборы, в результате чего получаются тонкопленочные гибридные схемы.

ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И СТАНДАРТЫ

При производстве печатных схем используется следующая документация.

57. Военные технические условия

MIL-Std-429A. Термины и определения для печатных схем, 1960 г.

MIL-Std-275B. Печатный монтаж для электронной аппаратуры, 1964 г.

MIL-Std-55110A. Печатные платы, 1964 г. (Изготовление и контроль качества.)

MIL-Std-202C. Методы испытаний для элементов электронной аппаратуры.

MIL-G-45204. Золочение (гальваническое), 1961 г.

MIL-T-10727. Лужение (гальваническое или погружением в расплавленный припой) черных и цветных металлов.

MIL-C-26074A. Требования, предъявляемые к никелево-фосфорным покрытиям, полученным бестоковым методом, 1959 г.

MIL-P-13949D. Пластики листовые, слоистые, фольгированные медью (для печатного монтажа).

MIL-F-14256C. Флюсы паяльные, жидкие (на основе канифоли), 1963 г.

MIL-P-18177C. Пластики листовые, терморезистивные, стекло-текстолитовые, эпоксидные, 1961 г.

MIL-P-0015037D. Пластики листовые, терморезистивные, стекло-текстолитовые, меламиновые, 1963 г.

MIL-P-997C. Пластики слоистые, терморезистивные, электроизоляционные: листы, стеклоткань, силиконовая смола, 1961 г.

MIL-Std-252A. Аппаратура проводной связи, визуальные и механические дефекты.

MIL-C-14550. Покрытия медные (гальванические), 1957 г.

MIL-Std-171B. Отделка металлических и деревянных поверхностей.

MIL-F-14072. Методы отделки для наземной связной аппаратуры.

MIL-E-16400E. Электронная аппаратура, морская, бортовая и береговая. Общие технические требования, 1964 г.

MIL-Std-105D. Методы отбора образцов и таблицы для выборочной проверки, 1963.

MIL-C-45662. Классификация стандартов, 1962 г.

MIL-Q-9858. Требования, предъявляемые к качеству, 1963 г.

58. Федеральные технические условия

QQ-S-571d. Припой, сплавы олова, сплавы олово — свинец и сплавы свинца, 1963 г.

QQ-N-290. Никелирование (гальваническое), 1961 г.

QQ-S-365A. Серебрение (гальваническое).

ZZ-E-661. Очистители резиновые и из заменителей резины.

SS-P-821. Пемза, абразивная.

L-T-90. Лента, клейкая, целлофановая и ацетатная.

Федеральные стандарты на методы испытаний Стандарт № 151. Металлы, методы испытаний, 1956 г.

59. Технические условия NASA

NSFC-Std-154. Расчет и конструирование печатных схем.

ARC-Std-200A. Стандарт для расчета и конструирования печатных схем, 1964 г.

NASANPC 200-4. Требования к качеству ручной пайки электрических соединений.

60. Другие технические условия и стандарты

AVMA-Std-428B. Нормы на расчет и конструирование печатных схем, 1960

AD-NEMA-TR6331. Прочность на отслаивание фольгированных медью слоистых материалов при постоянных температурах, 1962 г.

Publ. LP-1-1959, NEMA. Стандарты на фольгированные медью слоистые материалы, pt. 10, 1961 г.

EIA Standard RS-208. Печатный монтаж. Определения.†

EIA Standard RS-216. Стандартный метод испытания на адгезию в печатном монтаже.

EIA Standard RS-178. Стандартный метод испытания на качество пайки.

EIA Бюллетень элементов 2. Загрязнение плат печатного монтажа, 1959 г.

MIL Spec. MPD 592B. Гальваническое родиевое покрытие.

Содержание разд. 5.5 и 5.9 технических условий MIL-Std-275 следующее:

5.5. Металлизированные отверстия.

5.5.1. Для металлизации отверстий должна применяться медь. Толщина слоя меди в отверстиях должна быть не менее 0,0001 дюйма (2,5 мкм *).

5.5.2. Металлизированные отверстия должны быть покрыты слоем припоя (см. 5.9.2) или иметь гальваническое покрытие сплавом олово — свинец (см. 5.9.3) или золотом (см. 5.9.4). Между наружным слоем золота и слоем меди может быть нанесен подслой никеля с малыми внутренними напряжениями (см. 5.9.6).

5.5.3. Внутренний диаметр отверстия после металлизации не должен превышать диаметр вывода радиодетали, который будет устанавливаться в это отверстие, более чем на 1,25 мм.

5.9. Металлизация.

5.9.1. Покрытие, выбранное в соответствии с данными техническими условиями, должно быть указано в чертеже.

5.9.1.1. Печатный монтаж, за исключением механических пистонов (см. 3.4.2) и металлизированных отверстий (см. 3.5.2), должен гальванически покрываться слоем сплава олово — свинец (см. 5.9.3), подвергаться гальваническому лужению (см. 5.9.7) или покрываться родием (см. 5.9.5), золотом (минимальная толщина слоя 0,5 мкм) (см. 5.9.4) или припоем (см. 5.9.2). Покрытие родием не следует применять в тех случаях, когда требуется пайка к печатным проводникам. Серебрение не должно применяться. Можно использовать покрытие золотом или родием с подслоем никеля с низкими внутренними напряжениями по меди (см. 5.9.6).

5.9.2. Толщина покрытия припоем минимально должна быть равной 7,5 мкм и должна соответствовать составу Sn 60 или Sn 63 согласно техническим условиям QQ-S-571.

5.9.3. Гальваническое покрытие сплавом олово — свинец должно иметь минимальную толщину 7,5 мкм и должно содержать минимально 50% и максимально 70% олова.

5.9.4. Золотое покрытие должно иметь минимальную толщину 2 мкм, если не указана другая толщина, и должно соответствовать типу II по техническим условиям Mil-G-45204.

5.9.5. Толщина покрытия родием должна быть минимально равна 0,5 мкм и максимально 1,25 мкм.

5.9.6. Толщина покрытия никелем с низкими внутренними напряжениями должна быть минимально 12,5 мкм и должна соответствовать классу 2 технических условий QQ-N-290.

5.9.7. Гальваническое лужение. Толщина гальванически осаждаемого олова минимально должна быть 7,5 мкм, и покрытие должно соответствовать техническим условиям Mil-T-10727.

КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ

В этом разделе описываются методы анализа электролитов, металлографические методы и испытания на загрязненность. Методы анализа приводятся для основных элек-

*) Очевидно в подлиннике опечатка: должно быть 0,001 дюйма (25 мкм). (Прим. перев.)

тролитов, применяемых при изготовлении печатных схем (меди, золота, сплавов олово — свинец и олово — никель). Приводится перечень специальных реактивов. Дополнительные сведения и более детальное описание приготовления стандартных растворов и методов анализа других электролитов указаны в [11, 12, 20, 64, 65].

Контроль процессов включает также испытания осаждения и металлизации, уход за аппаратурой и необходимые практические советы. По этим вопросам можно получить добавочные сведения в [11, 12, 66].

61. Анализ электролита пирофосфатного меднения

Определение меди. Требуемые реактивы.

1. Раствор серной кислоты 1 : 1 (50% по объему). Медленно добавляется 1 часть серной кислоты (96,5%) к 1 части деионизированной воды.

2. Йодистый калий (20%). Растворяется 80 г КJ в 320 мл ионизированной воды. Хранится в темном сосуде.

3. Стандартный раствор тиосульфата натрия 0,1N.

4. Индикатор — 1%-ный раствор крахмала. Растереть 1 г растворимого крахмала в холодной дистиллированной воде до получения пасты. Медленно влить этот раствор в 100 мл кипящей дистиллированной воды, в которой растворен 1 г борной кислоты. Продолжить кипячение в течение 1 мин, охладить раствор и хранить его в капельнице. При помутнении этого раствора приготовить свежий раствор.

Методика определения

1. Отобрать пипеткой 5 мл пробы электролита в 250-мл колбу. Добавить 3 г порошка сульфаминовой кислоты.

2. Добавить 10 мл 1 : 1 раствора серной кислоты и осторожно нагревать на горячей плите до тех пор, пока не выделится SO_3 (белые пары). Продолжать нагревание до тех пор, пока пары не заполнят половины объема колбы.

3. Охладить раствор и осторожно разбавить его деионизированной или дистиллированной водой (90 мл).

4. Нагревать раствор в течение 5 мин. Раствор должен быть прозрачно голубым. Если в растворе продолжают оставаться твердые крупинки, следует продолжать медленное нагревание в течение нескольких минут.

5. Дать раствору охладиться, а затем добавить 10 мл 20%-ного раствора йодистого калия. Накрыть колбу стеклом и слегка взболтать.

6. Произвести титрование раствором тиосульфата натрия 0,1N ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) до тех пор, пока коричнево-желтый цвет не перейдет в светлый соломенно-желтый. После этого следует прекратить титрование.

7. Добавить 3 мл 1%-ного раствора крахмала (раствор становится голубым).

8. Продолжить титрование до тех пор, пока не исчезнет голубой цвет. После этого раствор должен стать почти молочно-белым.

9. Расчет: (мл $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) · (1,26) = металлическая медь, г/л.

Определение пирофосфата. Требуемые реактивы

1. Сульфат гуанидилмочевины. Растворить 40 г сульфата гуанидилмочевины в 700 мл горячей деионизированной воды (93° С). Довести до 1000 мл, пока еще раствор горячий. Вылить этот раствор в двухлитровую колбу и добавить 2 г активированного угля. Перемешивать до получения равномерной взвеси. Затем профильтровать. Охладить раствор до комнатной температуры и хранить его в бутылки в теплом месте.

2. 1%-ный раствор фенолфталеина. Растворить 1,0 г порошка фенолфталеина в 50 мл изопропилового спирта и добавить 50 мл деионизированной воды.

3. Серная кислота (приблизительно 0,5 N). Медленно при перемешивании влить 15 мл концентрированной серной кислоты (96%) в 1000 мл деионизированной воды. Охладить раствор до комнатной температуры.

4. Сульфат цинка. Раствор 125 г/л. а) Растворить 125 г сульфата цинка в 700 мл деионизированной воды, а затем добавить воды до 1000 мл. б) Довести рН до 3,8 (электрометрический) с помощью разбавленной серной кислоты или едкого натрия.

5. Стандартный раствор А а). Точно отвесить 51,30 г химически чистого пирофосфата натрия ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) и растворить в 500 мл деионизированной воды. Затем довести до 1000 мл в мерной колбе. 50 мл этого стандартного раствора эквивалентны 1,0 г пирофосфата P_2O_7 . Едкий натрий 0,3 N б). Растворить 13 г химически чистого едкого натрия в 500 мл деионизированной воды, а затем развести до 1000 мл.

Титрование

1. Отмерить пипеткой 50 мл раствора А в 400-мл колбу.

2. Протитровать раствор серной кислотой 0,5 N (приблизительно). Продолжать этот процесс до тех пор, пока рН не будет составлять 3,8 (электрометрически). Использовать стеклянный электрод. При добавлении кислоты произвести быстрое перемешивание. Количество используемой кислоты можно не фиксировать.

3. Добавить 50 мл сульфата цинка (125 г/л) и перемешивать раствор в течение 5 мин (медленное перемешивание). рН будет уменьшаться.

4. Медленно титровать раствор, чтобы довести рН снова до 3,8, используя стандартный раствор едкого натрия 0,3 N. Записать данные.

5. Рассчитать коэффициент пирофосфата F по едкому натрию следующим образом: коэффициент $F = 33,4/\text{мл NaOH}$. Этот коэффициент должен быть указан для 0,3 N раствора.

Методика определения

1. Отобрать пипеткой 10 мл пробы в 250-мл мерную колбу.

2. Добавить 100 мл горячей деионизированной воды (60° С

минимально) и 10 мл 20%-ного раствора едкого натрия, время от времени встряхивая.

3. Добавить 100 мл реактива сульфата гуанидилмочевины, сильно встряхивая, и охладить до комнатной температуры.

4. Добавить деионизированной воды для увеличения объема до метки 250 мл.

5. Профильтровать через фильтровальную бумагу № 40 (или аналогичную) и поместить фильтрат в 400-мл колбу.

6. Отобрать пипеткой 100 мл фильтрата в другую 400-мл колбу.

7. Добавить 3 капли индикатора 1%-ного фенолфталеина. Добавлять концентрированную соляную кислоту (37%) до тех пор, пока вместо красного цвета раствор не приобретет светло-розовый цвет или не станет бесцветным.

8. Немедленно титровать серной кислотой 0,5 N до тех пор, пока рН не будет равен 3,8. Следует производить быстрое перемешивание, а электроды необходимо погружать в раствор на глубину не менее 12 мм. Если рН превысило 3,8, следует снова произвести титрование до 3,8, используя 0,1 N раствор едкого натрия. Взятые на титрование количество раствора можно не фиксировать, так как это нужно было только для установления $pH = 3,8$ как исходной точки.

9. При $pH = 3,8$ добавить 50 мл раствора сульфата цинка (125 г/л) и дать ему постоять в течение 5 мин. За это время сульфат цинка прореагирует с пирофосфатным комплексом, образуя осадок пирофосфата цинка, серную кислоту и сульфат. Следует продолжать перемешивание, так как оно способствует реакции. рН при этом понижается.

10. Произведите снова титрование для получения рН, равного 3,8, используя стандартный 0,3 N раствор едкого натрия с коэффициентом пирофосфата F. Записать объем использованного NaOH.

11. Расчет: $(мл NaOH) \cdot (коэфф. F) \cdot (7.5) = P_2O_7, г/л.$

Определение аммиака. Требуемые реактивы

1. Индикатор — метилрот, 1%-ный раствор. Растворить 1 г порошка красного метилового индикатора в 50 мл изопропилового спирта. Добавить 50 мл деионизированной воды.

2. Стандартный раствор серной кислоты 0,1 N. Аппаратура: стандартный аппарат для отгонки аммиака [65].

Методика определения

1. Отобрать пипеткой 25 мл стандартного раствора серной кислоты 0,1 N в 400-мл колбу. Добавить приблизительно 125 мл деионизированной воды.

2. Добавить 5 капель индикатора 1%-ного раствора метилрот в раствор кислоты.

3. Поместить приемную колбу под холодильник так, чтобы наконечник погружался в кислотный раствор на 12 мм.

4. Влить с помощью пипетки 10 мл испытуемого электролита в приемную колбу, а затем прибавить 125 мл (приблизительно) деионизированной воды.

5. Добавить приблизительно 3 г порошка пемзы и примерно 3 г гранулированного химически чистого едкого натрия в приемную колбу.

6. Быстро собрать аппарат, убедившись в том, что все соединения плотно подогнаны.

7. Включить холодную воду через холодильник.

8. Включить нагрев. (Электрический кожух с регулируемой подачей тока обеспечивает равномерный обогрев и предотвращает сильное кипение с толчками вследствие местного перегрева.)

9. Отогнать 100 мл раствора в колбу. (На приемной колбе должна быть отметка 100 мл.)

10. Опустить приемную колбу так, чтобы выходное отверстие холодильника было выше уровня раствора.

11. Отключить обогрев.

12. Отсоединить перегонный аппарат и промыть его внутри деионизированной водой. Смывной раствор собрать в приемную колбу.

13. Производить титрование раствора в приемной колбе 0,1 N раствором едкого натрия до тех пор, пока розовый цвет не превратится в желтый.

14. Расчет: $[(N \text{ (нормальность) } H_2SO_4 \cdot (25) - (мл \text{ NaOH}) \cdot (N \text{ NaOH})] \times 1,7 = \text{аммиак } (NH_3), \text{ г/л по весу.}$

Замечание. Гидроокись аммония с концентрацией 26° Боме содержит 29% по весу NH_3 :

$(\text{г/л добавляемого } NH_3) \cdot (\text{объем сосуда в л}) \cdot (3,83) = \text{количеству добавляемой гидроокиси аммония } 26^\circ \text{ Боме, мл.}$

Определение количества ортофосфата. Требуемые реактивы

1. Магнезиальная смесь. а) Растворить 55 г химически чистого хлористого магния ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) и 105 г химически чистого NH_4Cl в 800 мл деионизированной воды. б). Добавить 2 мл 37%-ной концентрированной соляной кислоты химически чистой и довести до 1000 мл в мерной колбе.

2. 1%-ный раствор фенолфталеина. Растворить 1 г порошка фенолфталеина в 50 мл изопропилового спирта и разбавить до 100 мл деионизированной водой.

3. Насыщенный раствор нитрата аммония. Вводить нитрат аммония, химически чистый гранулированный (NH_4NO_3), в 100 мл деионизированной воды при сильном помешивании до тех пор, пока избыточная соль, которая не растворяется, не осядет на дне. (Достаточным количеством считается 200 г при нормальной комнатной температуре.) 10%-ный раствор гидроокиси аммония. Раствор готовится непосредственно перед употреблением. Ввести 10 мл 29%-ной гидроокиси аммония в 90 мл деионизированной воды. (Производить под вытяжкой.)

Методика определения

(Предварительно произвести анализ P_2O_7)

1. Отобрать пипеткой 3 мл пробы пирофосфатного электролита в 400-мл колбу, затем разбавить путем добавления 200 мл деионизированной воды.

2. Добавить 5 мл 96%-ной серной кислоты.

3. Кипятить до тех пор, пока останется 25 мл, а затем дать раствору охладиться.

4. Добавить 75 мл деионизированной воды и 7 капель 1%-ного раствора фенолфталеина.

5. Медленно добавлять 29%-ную гидроокись аммония до тех пор, пока цвет не изменится на розовый.

6. Медленно добавлять 87%-ную соляную кислоту по каплям до исчезновения розовой окраски, затем добавить еще 10 мл (избыточно).

7. Добавить 5 г уксуснокислого аммония.

8. Добавить 50 мл магниальной смеси.

9. Перемешивать и нагревать почти до кипения.

10. Медленно добавлять 29%-ную гидроокись аммония до появления розового цвета. (Производить под вытяжкой.)

11. Перемешивать до тех пор, пока образовавшийся осадок не приобретет кристаллическую структуру (3—5 мин).

12. Охладить, а затем добавить 35 мл 99%-ной концентрированной гидроокиси аммония. (Производить под вытяжкой.)

13. Дать раствору постоять не менее 4 час.

14. Собрать осадок, профильтровать раствор через предварительно прокаленный и взвешенный фильтровальный тигель Гуча.

15. Промыть осадок (5—8 раз) 10%-ным раствором гидроокиси аммония при комнатной температуре. (Раствор готовить перед употреблением.)

16. Слегка увлажнить осадок насыщенным раствором нитрата аммония.

17. Медленно просушить осадок в печи (90° С) не менее часа.

18. Прокалить над горелкой Меккера примерно в течение 25 мин (красное каление).

19. Дать остыть в эксикаторе и взвесить.

20. Расчет: [(разность веса между взвешиваниями) · (28,4)] — [(г/л P_2O_7) · (1,09)] = ортофосфат, г/л.

62. Анализ электролита сернокислого медиения

Определение меди. Реактивы для метода 1. Стандартный 0,1 N раствор тиосульфата натрия.

Методика определения. Метод 1

1. Отобрать пипеткой 5 мл пробы электролита в 250-мл колбу.

2. Добавить 10 мл H_2O .

3. Добавлять 29%-ную NH_4OH до тех пор, пока раствор не делается темно-синим. Медленно кипятить его в течение 5 мин на плите.

4. Добавить 3 мл 99,5%-ного раствора уксусной кислоты. Раствор теперь должен приобретать яркий зеленовато-синий цвет. Взболтать его, используя щипцы, чтобы растворились остатки окиси меди, которая может образоваться во время нагревания.

5. Охладить до комнатной температуры, а затем добавить 25 мл 20%-ного раствора йодистого калия и взболтать. Дать раствору постоять в течение 2 мин под вытяжкой, накрыв раствор стеклом.

6. Произвести титрование с помощью стандартного раствора тиосульфата натрия 0,1 N до тех пор, пока не исчезнет коричневый цвет и раствор не приобретет светлый желто-соломенный цвет.

7. Добавить 2 мл 1%-ного раствора крахмала и продолжать

титрование, пока не исчезнет синеватый цвет. Раствор теперь должен становиться почти молочно-белым.

8. Расчет: $(\text{мл Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \cdot (1,26) = \text{металлическая медь, г/л.}$

Замечание. Сульфат меди, кристаллический $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ содержит 25,5% металлической меди.

Метод 2

1. Отобрать пипеткой 10 мл пробы электролита в 200-мл коническую колбу. Добавить 3 мл 70%-ного раствора HNO_3 и 100 мл деионизированной воды.

2. Подготовить платиновый анод и катод, промывая в горячем 5 N растворе HNO_3 , деионизированной водой и прокаливая до красноты в пламени газовой горелки. Взвесить катоды.

3. Погрузить катод и анод в раствор так, чтобы примерно на 3 мм катод выступал из раствора.

4. Закрыть колбу и включить вращение анода.

5. Производить электролиз при токе 0,5 а в течение 1 час или до тех пор, пока раствор не станет бесцветным.

6. Осторожно промыть колбу, добавляя достаточное количество H_2O , чтобы она покрывала катод.

7. Продолжать электролиз в течение дополнительных 15 мин и снова проверить катод в отношении дополнительного осаждения меди. Если появления меди не наблюдается, продолжить анализ.

8. Удалить колбу при включенном токе, промыть катод в деионизированной воде со спиртом, а затем сушить при 100°C в течение нескольких минут.

9. Снова взвесить покрытый медью катод.

10. Расчет: $(\text{вес меди в граммах}) \cdot 100 = \text{медь, г/л.}$

Реактивы, необходимые для метода 3

1. Пиридин, реактивный.

2. Пирокатехин фиолетовый (0,1%).

3. 0,1 М ЕДТА: двунариевая соль (37,2 г/л).

Метод 3

1. Отобрать пипеткой 1 мл пробы электролита в 400-мл колбу.

2. Добавить примерно 200 мл деионизированной воды в колбу и включить мешалку для дальнейшей обработки.

3. Каплями добавлять пиридин до тех пор, пока раствор не станет темно-синим и добавление еще нескольких капель не вызывает явного изменения цвета (30—35 капель).

4. Добавить 10 капель пирокатехина фиолетового 0,1%-ного.

5. Титровать с помощью 0,1 М ЕДТА до изменения цвета от синего до зеленого.

6. Расчет:

$$(\text{мл } 0,1 \text{ М ЕДТА}) \cdot (6,2) = \text{Cu, г/л,}$$

$$(\text{мл } 0,1 \text{ М ЕДТА}) \cdot (25,1) = \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O, г/л.}$$

Определение количества серной кислоты. Требуемые реактивы

1. Стандартный раствор едкого натрия 0,5 N.

2. 0,2%-ный метилоранж.

Методика определения

1. Отобрать пипеткой 2 мл пробы электролита в 250-мл колбу Эрленмейера.

2. Добавить 100 мл дистиллированной воды и 4 капли 0,2%-ного раствора метилоранжа.

3. Титровать стандартным раствором едкого натрия 0,5 N до тех пор, пока красновато-пурпурный цвет не перейдет в оливково-зеленый.

4. Расчет: $(\text{мл NaOH}) \cdot (12,2) = \text{H}_2\text{SO}_4$, весовых г/л.

63. Анализ борфтористоводородного электролита меднения

Определение количества меди. См. разд. о сернокислом электролите меднения, метод 1.

Определение количества борфтористоводородной кислоты (свободной). Требуемые реактивы. Стандартный раствор едкого натрия 1,0 N.

Методика определения

1. Отобрать пипеткой 10 мл пробы электролита в 250-мл колбу.

2. Добавить 3 капли 1%-ного красного крезола в качестве индикатора.

3. Титровать с помощью стандартного раствора NaOH 1,0 N до тех пор, пока лиловато-синий цвет не перейдет в зелено-синий.

4. Расчет: $(\text{мл NaOH } 1,0 \text{ N}) \cdot (8,77) = \text{свободная борфтористоводородная кислота, г/л.}$

64. Анализ кислого электролита золочения

Определение количества золота, метод 1

Методика определения

1. Отобрать пипеткой 10 мл пробы электролита золочения в 250-мл колбу.

2. Добавить в колбу 15 мл 96%-ной серной кислоты под вытяжкой.

3. Раствор нагреть до образования белых паров, а затем охладить.

4. Добавить 10 мл 70%-ной азотной кислоты и раствор снова нагреть до образования белых паров с тем, чтобы обеспечить полное разрушение органических веществ.

5. После удаления в основном всей азотной кислоты колбу накрыть часовым стеклом и продолжать нагревание раствора до образования густых белых паров в течение 15—20 мин. Это помогает смыть все вещества, которые остались на стенках колбы.

6. Раствор охладить, разбавить 100 мл дистиллированной воды и довести до кипения.

7. Раствор снова охладить, профильтровать через беззолотый бумажный фильтр, промыть, прокалить и взвесить как металлическое золото.

8. Расчет: (вес золота в граммах) · (100) = металлическое золото, г/л.

Определение количества золота, метод 2. Необходимые реактивы

1. Фосфорноватистая кислота, 50%-ный раствор.

2. Двухлористая ртуть, 6% (насыщенный раствор).

Методика определения

1. Отобрать пипеткой аликвотное количество электролита в 100-мл колбу. (Для электролита с содержанием золота около 10 г/л.)

2. Добавить 10 мл соляной кислоты (37%) под вытяжкой, чтобы получить раствор HCl 5 N. Затем добавить 5 мл 50%-ной фосфорноватистой кислоты и нагреть.

3. Добавить 2 мл 6%-ного раствора хлористой ртути (насыщенного) и осторожно кипятить до тех пор, пока не соберется ртуть. Затем добавить еще 2 мл HgCl₂. Если белый осадок не становится черным при непрерывном кипячении, добавить небольшое количество H₃PO₂. Продолжать кипятить до тех пор, пока раствор станет относительно прозрачным.

4. Осторожно декантировать раствор (не обращая внимания на небольшое количество плавающей на поверхности ртути) и тщательно промыть осадок деионизированной водой, чтобы удалить хлориды.

5. Количественно перенести осадок в тарированный тигель (тигли можно использовать повторно путем удаления свободного золота и нагревая над горелкой до тарирования).

6. Декантировать избыток воды и добавить по каплям примерно 1 мл концентрированной азотной кислоты. После прекращения реакции и растворения всей ртути разбавить раствор деионизированной водой и обратить внимание на цвет раствора. Он не должен быть желтым, что указывает на растворение некоторого количества золота в результате неполной промывки.

7. Промыть частицы золота и декантировать по возможности больше воды.

8. Осторожно нагреть над горелкой Фишера до высушивания. Затем прокалить на сильном огне в течение нескольких минут.

9. Расчет:

вес золота в граммах (содержащегося в 10 мл пробы электролита) × 100 = металлическое золото, г/л.

65. Анализ электролита блестящего цианистого золочения

Определение количества золота

Операции

1. Отобрать пипеткой 10 мл пробы электролита в 250-мл колбу.

2. Добавить 20 мл H₂SO₄ (96%-ной) и 5 мл HNO₃ (70%-ной),

одновременно взбалтывая под вытяжкой. (Эта операция должна осуществляться под вытяжкой, так как выделяются ядовитые пары цианида.)

3. Кипятить до тех пор, пока пары SO_3 не соберутся в верхней части колбы.

4. Охладить до комнатной температуры.

5. Добавить 10 мл HNO_3 и снова нагреть до образования белых паров.

6. Покрывать раствор часовым стеклом и продолжить нагрев до образования белых паров в течение 15—20 мин.

7. Осторожно добавить 100 мл дистиллированной воды и довести до кипения. Охладить до комнатной температуры. Осадок на дне колбы представляет собой металлическое золото.

8. Профильтровать через беззольный бумажный фильтр. Хорошо промыть дистиллированной водой.

9. Прокалить, охладить в эксикаторе и взвесить.

Определение количества свободного цианида калия. Необходимые реактивы

1. Йодистый калий, 10%-ный раствор.

2. Азотнокислое серебро 0,1 N, стандартный раствор.

Методика определения

1. Отобрать пипеткой 5 мл пробы электролита в 250-мл колбу Эрленмейера.

2. Добавить 100 мл дистиллированной воды и 5 мл 10%-ного раствора йодистого калия (KI).

3. Протитровать с помощью стандартного раствора азотнокислого серебра 0,1 N (AgNO_3). Эту операцию проводить до тех пор, пока не установится слабое желтоватое помутнение.

4. Расчет: (мл 0,1 N AgNO_3) · (2,62) = свободный KCN, г/л

Определение количества карбоната натрия. Требуемые реактивы

1. Индикатор 0,2% метилоранж.

2. 1,0 N HCl, стандартный раствор.

Методика определения

1. Отобрать пипеткой 10 мл пробы электролита в 250-мл колбу.

2. Добавить 1 мл гидроксида аммония (29%-ной).

3. Добавить 100 мл дистиллированной воды и нагреть почти до кипения.

4. Добавить избыток 10%-ного раствора азотнокислого бария. $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, перемешивая. (1 мл 10%-ного раствора осаждает 3 г карбоната.)

5. Профильтровать через фильтровальную бумагу (ватман № 2). Промыть горячей дистиллированной водой.

6. Переложить фильтровальную бумагу с осадком в первоначально использованную колбу.

7. Добавить 50 мл дистиллированной воды и 2 капли 0,2%-ного раствора метилоранжа.

8. Титровать с помощью стандартной соляной кислоты 1,0 N до тех пор, пока не будет получена установившаяся розовая окраска.

Расчет: (мл 1,0 N соляной кислоты) · (5,75) = карбонат натрия, г/л.

66. Анализ борфтористоводородного электролита

Определение свинца. Требуемые реактивы. Этиловый спирт, 50%-ный раствор.

Методика определения

1. Отобрать пипеткой 5 мл пробы электролита в 400-мл колбу, содержащую 80 мл дистиллированной воды и 20 мл концентрированной H_2SO_4 .

2. Нагреть почти до кипения в течение 10 мин. Охладить до комнатной температуры в течение 1 час.

3. Профильтровать через взвешенный тигель Гуча, промывая четыре раза 4%-ным холодным раствором H_2SO_4 и дважды H_2O и спиртом (50%-ным).

4. Высушить в печи при $100^\circ C$ в течение 1/2 час. Охладить в эксикаторе и взвешивать до постоянного веса. Если надо, прокалить.

5. Расчет: (вес $PbSO_4$ в граммах) · (126,5) = свинец, г/л.

Определение олова (двухвалентного). Требуемые реактивы.
Стандартный раствор йода 0,1 N.

Методика определения

1. Отобрать пипеткой 5 мл пробы электролита в 500-мл колбу Эрленмейера, содержащую 50 мл 37%-ной соляной кислоты. Перемешать.

2. Добавить 5 мл 0,1%-ного раствора крахмала и 1 г бикарбоната натрия.

3. Быстро протитровать с помощью раствора йода 0,1 N в течение, по крайней мере, 10 сек до установления фиолетового цвета.

Расчет: (мл 0,1 N I_2) · (1,2) = двухвалентное олово, г/л.

Определение олова (общее). Требуемые реактивы

1. Железная проволока. Стандартная чистая для анализа.

2. 0,1 N стандартный раствор йода.

Методика определения

1. Отобрать пипеткой 5 мл пробы электролита в 500-мл колбу Эрленмейера, содержащую 100 мл дистиллированной воды и 50 мл концентрированной соляной кислоты. Перемешать (под вытяжкой).

2. Добавить 2 г чистой железной проволоки и 1 г бикарбоната натрия. Подогреть в течение 10 мин, доводя почти до кипения.

За это время следует несколько раз добавить небольшое количество бикарбоната натрия.

3. Быстро охладить колбу в холодной воде и несколько раз добавить немного бикарбоната натрия.

4. Добавить 5 мл 0,1%-ного раствора крахмала. Быстро титровать с помощью 0,1 N раствора йода до получения устойчивого фиолетового цвета в течение, по крайней мере, 10 сек.

5. Расчет: $(\text{мл } 0,1 \text{ N } I_2) \cdot (1,2) =$ общее количество олова, г/л
Четырехвалентное олово
(общее количество олова) — (двухвалентное олово) — четырехвалентное олово, г/л.

Определение борфтористоводородной кислоты (свободной). Требуемые реактивы. 1,0 N стандартный раствор NaOH.

Методика определения

1. Отобрать пипеткой 10 мл пробы электролита в 125-мл колбу Эрленмейера.

2. Протитровать до появления помутнения на темном фоне с помощью стандартного 1,0 N NaOH.

3. Расчет: $(\text{мл } 1,0 \text{ N NaOH}) \cdot (8,4) =$ свободная борфтористоводородная кислота г/л.

Определение соотношения свинца и олова

Методика определения

1. Соскоблить несколько участков покрытия чистым ножом, не обнажая медь.

2. Отвесить образец весом приблизительно 0,12 г.

3. Поместить образец в 400-мл колбу, добавить 10 мл концентрированной H_2SO_4 и нагреть до тех пор, пока не растворится покрытие из сплава.

4. Охладить, добавить 100 мл дистиллированной воды и снова охладить.

5. Профильтровать через тарированный тигель Гуча с дном из сплавленного стекла.

6. Промыть, по крайней мере, четыре раза холодной 4%-ной H_2SO_4 , дважды H_2O и, наконец, 50%-ным спиртом.

7. Просушить при $100^\circ C$ в течение 10—30 мин. Охладить в эксикаторе. Прокалить в закрытом тигле до получения постоянного веса.

8. Расчет:

$$\frac{(\text{вес } PbSO_4 \text{ в граммах}) \cdot (0,683)}{\text{вес осажденного образца}} \times 100 = \text{свинец, \% по весу.}$$

67. Анализ электролита покрытия сплавом олово — никель

Определение олова (двухвалентного). Производить так же, как и при определении олова в борфтористоводородном электролите покрытия Sn — Pb.

Определение количества олова (общее). Производить так же, как в случае олова (общее количество) в борфтористоводородном электролите покрытия Sn — Pb.

Определение никеля. Требуемые реактивы. 0,1 М двунариевая соль EDTA (37,2 г/л).

Методика определения

1. Отобрать пипеткой 2 мл пробы электролита в 250-мл колбу Эрленмейера.

2. Добавить 50 мл деионизированной воды и 10 мл NH_4OH (29%-ной).

3. Добавить 1—3 г индикатора — мураксида.

4. Протитровать с помощью 0,1 М EDTA до появления голубого окрашивания.

5. Расчет: (мл 0,1 М EDTA) · (2,9) = никель, г/л.

Определение фтора (общего количества). Требуемые реактивы.

1. 0,1 N стандартный раствор AgNO_3 .

2. 0,1 N стандартный раствор тиоцианата калия.

3. Насыщенный раствор хлорфлюорида свинца. Растворить 1 г NaF в 100 мл деионизированной воды, содержащей 2 мл HCl . Растворить 10 г $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ в 20 мл деионизированной воды. Соединить два раствора. Дать осесть осадку и промыть трижды путем декантирования. Добавить 1 л холодной воды к остатку и дать ему постоять в течение 1 час при помешивании. Профильтровать и использовать чистый фильтрат.

4. Индикатор — железные квасцы. Приготовить холодный насыщенный водный раствор двойной соли сернокислого железа и аммония (свободного от хлорида). Добавить достаточно бесцветной, свежепрокипяченной холодной HNO_3 для устранения коричневого цвета.

Методика определения

1. Отобрать пипеткой 1 мл пробы электролита в 500-мл колбу, добавить 250 мл воды, 0,3 г NaCl и 2 мл HCl (1 : 1).

2. Добавить 5 г нитрата свинца, нагреть до растворения 5 г ацетата натрия. Поддерживать на водяной бане в течение 30 мин.

3. Оставить для осаждения на 1 час, а затем отфильтровать через плотную фильтровальную бумагу.

4. Промыть осадок четыре раза холодным насыщенным раствором хлорфлюорида свинца и один раз водой.

5. Перенести бумагу и осадок в первоначально использованную колбу. Добавить 100 мл 5%-ного раствора HNO_3 и нагреть до растворения осадка (50°C).

6. Добавить точно 25 мл 0,1 N стандартного раствора AgNO_3 и нагревать в течение 1/2 час примерно при 50°C .

7. Охладить, отфильтровать, добавить 5 капель индикатора, железо-алюминиевых квасцов и оттитровать избыточный нитрат серебра с помощью стандартного 0,1 N тиоцианата калия до появления красного цвета.

8. Расчет: (2,5-мл $\text{KCNS} \times N_{\text{KCNS}}) \cdot 18,97 =$ фтор, общее количество, г/л.

68. Анализ кислотных декапиров

Уксусная кислота

Методика определения

1. Отобрать пипеткой 50 мл пробы в 250-мл колбу Эрленмейера.

2. Добавить 50 мл дистиллированной воды и 3 капли 1%-ного фенолфталеина.

3. Протитровать до получения светло-розового цвета при использовании 0,50 N едкого натрия.

4. Расчет: нормальность $\text{CH}_3\text{COOH} = (\text{мл NaOH}) \times (\text{нормальность NaOH}) \cdot (0,20)$.

Уксусная кислота, % по объему (ледяная) = (нормальность CH_3COOH) $\cdot (5,75)$

Соляная кислота

Методика определения

1. Отобрать 2,0 мл пробы в 250-мл колбу Эрленмейера.

2. Добавить 100 мл дистиллированной воды и 4 капли раствора метилоранжа.

3. Титровать, используя 0,5 N стандартного раствора едкого натрия до появления изменений цвета от красновато-оранжевого до ярко-желтого.

4. Расчет: $(N_{\text{NaOH}}) \cdot (\text{мл NaOH}) \cdot (0,50) = N_{\text{HCl}}$, HCl, % по объему (37%) = $(N_{\text{HCl}}) \cdot (0,25)$.

Серная кислота

Методика определения

1. Отобрать пипеткой 2 мл пробы в 250-мл колбу Эрленмейера.

2. Добавить 100 мл дистиллированной воды и 4 капли раствора метилоранжа.

3. Титровать, используя стандартный раствор 0,5 N едкого натрия до появления изменений цвета от красновато-оранжевого до ярко-желтого.

4. Расчет: $(N_{\text{NaOH}}) \cdot (\text{мл NaOH}) \cdot (0,50) = N_{\text{H}_2\text{SO}_4}$, H_2SO_4 , % по объему (96%) = $(N_{\text{H}_2\text{SO}_4}) \cdot (5,55)$.

МЕТАЛЛОГРАФИЯ (ИЗГОТОВЛЕНИЕ МИКРОШЛИФОВ)

69. Требуемое лабораторное оборудование

Для того чтобы оборудовать простую металлографическую лабораторию, необходимы следующие основные материалы и аппаратура.

1. Пластмассы для заливки. В настоящее время промышленность выпускает большое количество пластмасс холодного отверждения, пригодных для заливки образцов. Могут также успешно применяться многие эпоксидные смолы холодного отверждения, используемые обычно для других целей. Если желательно иметь пластмассу горячего отверждения, что влечет за собой необходимость приобретения пресса для опрессовки образцов, можно использовать такие пластмассы, как формвар, винилхлорид, диаллилфталат или другие.

В любом случае выбор пластмассы зависит от образца, состава материала и площади или площадей исследуемых образцов. Состав образца определяет, какое травление следует производить для удаления деформированных на поверхности металлов и для выявления кристаллической структуры. Некоторые пластмассы могут не поддаваться действию определенных травителей, тогда как на другие они воздействуют. Следовательно, весьма желательно использовать такую пластмассу для заливки образцов, которая не подвергалась бы действию травителя, используемого для травления металла. Аналогично же, если представляющая интерес область образца находится вблизи края образца или на его крае, то следует выбирать пластмассу, обладающую хорошей адгезией с образцом. Для заливки образцов печатных плат желательно использовать винилхлорид.

2. Шлифовальная бумага. Применяемые в металлургии водоупорные сорта шлифовальной бумаги имеются в широкой продаже. Размер зерна колеблется от 80 (грубая) до 600 (тонкая) *меш* *).

3. Средство полировки. Требуется полировальный круг диаметром 200 мм со всей необходимой оснасткой.

4. Полировальная ткань. Стоимость полировальной ткани колеблется в зависимости от типа.

5. Полировочный материал. Для большинства полировочных работ можно использовать окись алюминия с размером зерна от 5 до 0,05 мкм.

6. Микроскоп. Можно использовать металлургический микроскоп с 400-кратным увеличением. Желательно иметь также фотокамеру. При описанных выше материалах и обо-

*) Соответствует приблизительно от № 200 до M20-M14 по ГОСТ 3647—59. (Прим. перев.)

рудовании можно иметь в основном оснащенную лабораторию. При правильно организованной работе лаборатории экономятся значительные средства, особенно если используется золотой резист.

70. Изготовление микрошлифов

После выбора пластмассы образец ориентируется и заливается или опрессовывается в пластмассу таким образом, чтобы обеспечить соответствующее получение микрошлифов. После монтажа образец грубо шлифуется с помощью шлифовальной бумаги до достижения требуемой зоны. Шлифовку начинают с грубой бумаги и кончают самыми тонкими сортами. Для смазки можно использовать воду или керосин. Необходимо позаботиться о том, чтобы при грубой шлифовке каждый последующий сорт бумаги (разный размер зерна) удалял царапины, оставшиеся после шлифовки с помощью предшествующего типа бумаги. После завершения шлифовки следует начать полировку на шлифовальном круге. Для удаления царапин, оставшихся на образце после последней шлифовки, используется жидкий полировальный состав (с окисью алюминия). Стандартная последовательность полировки с помощью окиси алюминия такова: окись алюминия сорт С (1 мкм), окись алюминия А (0,3 мкм) и, наконец, окись алюминия В (0,05 мкм). Каждый последующий сорт окиси алюминия должен устранять все царапины, оставшиеся после обработки предшествующим сортом. После окончательной полировки образец готов к травлению.

Травящий раствор для меди составляется следующим образом:

Бихромат калия, г	2
H ₂ O, мл	100
Хлористый натрий (насыщенный водный раствор), мл	4
H ₂ SO ₄ (удельный вес 1,84), мл	8

Для точного определения толщины покрытия следует правильно использовать микроскоп и окуляр с перекрестием и правильно подготовить образец. Ошибка в измерении толщины составляет $\pm 0,75$ мкм. Дополнительные более подробные сведения о методах и металлографическом травлении приведены в других работах [67—69].

ИСПЫТАНИЯ ПЛАТ НА ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ

71. Испытания на наличие остатков меди и железа на платах

Одним из наиболее частых источников загрязнения печатных плат являются остатки травящих растворов. Так как обычно для травления используются хлорное железо и хлорная медь и так как при любом травлении в растворе выделяется медь, платы обычно испытываются на загрязненность двумя металлами — железом и медью. Обычным способом определения наличия этих металлов на плате является использование чувствительной испытательной бумаги. Бумага прижимается к плате, в результате чего получается контактный отпечаток загрязнения на плате: голубой для железа, $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ и красно-коричневый для меди, $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Ниже приводятся детальные указания, как готовить и использовать такую бумагу.

Требуемые реактивы

1. Ацетат цинка, $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.
2. Ферроцианид калия, $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Аппаратура

1. Регулируемый бачок для проявления фотопленки, 10×12 см.
2. Стеклянная пластина.
3. Стеклянная кювета для фотопроявления.
4. Гидравлический пресс.
5. Переводная бумага, Eastman Kodak типа G, плотная.
6. Фильтровальная бумага.

Растворы

1. 0,25 М ацетат цинка. Растворить 109,5 г дигидратацетата цинка в достаточном количестве дистиллированной воды, чтобы получить два литра раствора.
2. 0,25 М ферроцианид калия. Растворить 211,2 г тригидрат-ферроцианида калия в достаточном количестве дистиллированной воды, чтобы получить два литра раствора.
3. 0,1 М раствор соляной кислоты. Растворить 8,3 мл концентрированной соляной кислоты (уд. вес 1,18) в достаточном количестве воды, чтобы получить один литр раствора.

Чтобы приготовить чувствительную бумагу, надо положить переводную бумагу в бачок, закрыть бачок и через воронку в верхней крышке наполнить его раствором ацетата цинка. Дать раствору постоять в течение 30 мин при слабом помешивании. Слить ацетат цинка, сохраняя его для пов-

торного использования. Наполнить бачок раствором ферроцианида калия, дать раствору постоять 45 мин при слабом перемешивании. Слить раствор ферроцианида для повторного использования. (Осадок ферроцианида цинка осаждается и ферроцианид калия можно перелить и использовать снова). Промыть бумагу, попеременно трижды меняя дистиллированную воду. Извлечь бумагу и просушить на воздухе, разложив лицевой стороной кверху на чистой стеклянной пластине.

Когда бумага готова к использованию на плате, увлажнить сухую бумагу в течение 30 сек в 0,1 М растворе HCl в кювете. Извлечь бумагу и промокнуть избыток кислоты фильтровальной бумагой. Поместить бумагу так, чтобы ее желатиновая сторона была обращена к образцу. Прижать бумагу к образцу через плоскую упругую прокладку из материала, свободного от примесей железа, и выдержать 5 мин при давлении 1,5—3 кг/см² (можно использовать для прокладки неопрен толщиной 6 мм). Отделить бумагу от образца.

Наличие железа на образце выявляется синим окрашиванием, а меди — красно-коричневым. Чувствительность этого метода испытаний по железу и меди до 0,001 мкг/мм².

72. Медно-бензидиновая проба на цианид

Соли меди реагируют с бензидином и дают «бензидиновый синий» цвет в присутствии цианидов.

Методика определения. Капля испытываемого раствора смешивается с каплей разбавленной серной кислоты в фарфоровом микротигле, который покрывается куском фильтровальной бумаги, увлажненной каплей реактива. Сверху белой бумаги накладывается небольшое часовое стекло, что обеспечивает достаточно плотную закупорку. На белой бумаге образуется голубая окраска, оттенок которой зависит от количества освобожденного HCN.

Реактивы

1. Ацетат меди, 2,86 г/1 л H₂O.

2. 675 мл бензидин-ацетата, насыщенного при комнатной температуре, плюс 525 мл H₂O.

Непосредственно перед использованием смешиваются равные части (1) и (2).

1. C. Shipley, U.S. Patent 3,011,920, Dec. 5, 1961.
2. S. Wein, «Metallizing Non-conductors», Metals and Plastics Publications, Inc., Westwood, N.J., 1945.
3. S. Wein, «Copper Films», OTS, Department of Commerce, PB 111237, 1953; Metal Finishing, vol. 16, N 8, p. 58—60, 69, 1948.
4. H. Nareus, «Metallizing of Plastics», Reinhold Publishing Corporation, New York, 1960.
5. G. Voids and N. J. Eich, «Evaluation of Plated-through Connections for Printed Circuit Boards», Reprint SCR 167, Sandia Corp., Albuquerque, N.M., April, 1960.
6. M. C. Agens, U.S. Patent 2,293,805, May 31, 1960.
7. R. Dietz, Electronic Packaging and Production, 1962, p. 72—78.
8. T. D. Schla bach and D. K. Rieder, «Printed and Integrated Circuitry», chap. 5, McGraw-Hill Book Company, New York, 1963.
9. P. Eisler (ed), «The Technology of Printed Circuits», chap. 8, Academic Press Inc., New York, 1959.
10. F. A. Lowenheim (ed), «Modern Electroplating», 2d., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1963.
11. A. K. Graham (ed.), «Electroplating Engineering Handbook», 2d ed., Reinhold Publishing Corporation, New York, 1962.
12. «Metal Finishing Guidebook», Metals and Plastics Publications, Inc., Westwood, N.J., yearly.
13. J. Fischer and D. E. Weimer, «Precious Metal Plating», Robert Draper, Ltd., Teddington, 1964.
14. W. Blum and G. Hogaboom, «Principles of Electroplating and Electroforming», 3d ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1949.
15. A. Brenner, «Electrodeposition of Alloys», vol. I, II, Academic Press Ins., New York, 1963.
16. H. Shapiro, Plating, vol. 44, p. 607—611, 1957.
17. N. Foran, Plating, vol. 44, p. 1071—1078, 1957.
18. J. F. Dyrtr, Ing. Eng. Chem., vol. 51, p. 286—287, 1959.
19. B. F. Rothschild, M. E. Farmer and T. W. Bener, Plating, vol. 49, p. 1269—1273, 1962.
20. R. Pinner, «Copper and Copper Alloy Plating», Copper Development Association, Publ. 62, 55 South Audley St., London, 1962.
21. J. W. Dini, Plating, vol. 51, p. 119—124, 1964.
22. J. M. Thompson, and L. K. Bjelland, 48th Annual Proceedings, Technical Sessions, p. 182—189, American Electroplaters Society, Newark, N.J., 1961.
23. «Papers on Soldering», ASTM Spec. Tech. Publ. 319, p. 3—20, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1963.
24. H. H. Manko, «Solders and Soldering», McGraw-Hill Book Company, New York, 1964.
25. W. B. Harding and H. B. Pressly, 50th Annual Proceedings, Technical Sessions, p. 90—106, American Electroplaters Society, Newark, N.J., 1963.
26. NASA Quality Publication NPC 200-4, «Quality Requirements for Hand Soldering of Electrical Connections», August, 1964.

27. E. C. Rinker, 40th Annual Proceedings, Technical Sessions, p. 19—25, American Electroplaters' Society, Newark, N.J., 1953; Plating, vol. 40, p. 861—876, 1953; U.S. Patent 2,799,633, 1957; Reissue 24,582, 1958; British Patent 759,181, 1956; French Patent 1,097,665, 1955; German Patents 1,089,612, 1960, and 1,055,315, 1960.
28. B. Ostrow, U.S. Patent 2,660,554, 1953.
29. B. Ostrow and F. Nobel, U.S. Patent 2,765,269, 1956.
30. E. Rinker and R. Duya, U.S. Patent 2,095,601, 1959; U.S. Patent 3,104,212, 1963; German Patent 1,109,481, 1961, British Patent 897,463, 1962.
31. B. Ostrow and F. Nobel, U.S. Patent 2,967,135, 1961.
32. E. A. Parker, Plating, vol. 46, p. 621—627, 1959; vol. 45, p. 631—635, 1958.
33. R. A. Ehrhardt, 47th Annual Proceedings, Technical Sessions, p. 78—82, American Electroplaters Society, Newark, N.J., 1960.
34. F. Volk, U.S. Patent 2,812,299, 1957.
35. E. F. Duffek, Plating, vol. 51, p. 877—883, 1964.
36. E. E. Carlson and C. Struyk, «Metal Finishing Guidebook», p. 335—337, Metals and Plastics Publications, Inc., Westwood, N.J., 1963.
37. W. Blum and H. Haring, Trans. Am. Electrochem. Soc., vol. 40, p. 287, 1921.
38. A. Durose and D. Hutchison, Plating, vol. 40, p. 470, 1953.
39. R. W. Couch and R. C. Bikales, 48th Annual Proceedings, Technical Sessions, p. 176—181, American Electroplaters Society, Newark, N.J., 1961.
40. E. McKeen, «Tin-Nickel Plating of Printed Circuit Boards», presented at the Symposium on Printed Circuits, Stanford University, April, 1962.
41. R. M. Angles, «Tin-Nickel Alloy Plating», The International Nickel Company (Mond) Ltd., 1964.
42. M. Clarke, Trans. Inst. Metal Finishing, vol. 38, p. 186—194; vol. 39, p. 105—107, 1961.
43. J. Hill, Stress in Electrodeposited Rhodium, Platinum Metals Rev., vol. 8, p. 55—59, 1964.
44. S. W. Chaikin, J. Janney, F. M. Church and C. W. McClelland, Ind. Eng. Chem., vol. 51, p. 299—304, 1959.
45. E. Saubestre, Metal Finishing, vol. 60, N 6, p. 67—73; N 7, p. 49—53, 1962; N 8, p. 45—49, 52; N 9, p. 59—63, 1962.
46. «Electroless Nickel Plating», ASTM Spec. Tech. Publ. 265, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1960.
47. K. M. Gorbunova and A. A. Nikiforova, Physical-chemical Nickel Plating, Academy of Sciences of USSR, Moscow, 1960.
48. S. D. Swain and E. L. Gostin, Metal Finishing, vol. 59, p. 52, 1961; U.S. Patent 3,032,436.
49. A. Levy, Multilayer Printed Circuit Interconnection Techniques, IEEE Trans. Prod. Eng. Prod., vol. PEP-8, N 1, p. 16—20, April, 1964.
50. A. E. Linden, «Printed Circuits in Space Technology», p. 166, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1962.

51. G. M e s s n e r, «Advances in Electronic Circuit Packaging», vol. 4, p. 210—224, 466—468, Plenum Press, New York, 1964.
52. E. B. S m i t h, «Advances in Electronic Circuit Packaging», vol. 4, p. 306—317, 480—481, Plenum Press, New York, 1964.
53. G. R. R e i d, «Development of Packaging Techniques for a 960-bit plated Wire Memory, NASA-3341, Univac, Division of Sperry Rand Corporation, Philadelphia, 1964.
54. R. C h a n, U.S. Patent 2,990,310, June, 1961.
55. E. F. H a r m o n, Electronic Packaging and Production, vol. 5, p. 10—15, 1965.
56. L.J. Q u i n t a n a «The Role of Electronics and Electroplating Techniques in the Fabrication of Microminiature Multilayer Circuit», 52d Annual Proceedings, Technical Sessions, American Electroplaters Society, Newark, N.J., 1965; also 51st Proceedings, p. 170—177.
57. «Replacement of Harness Wiring with Printed Circuit Systems», EM 0762—109, AD 445—105, Contract AF 04 (647)—923, Autonetics, Division of North American Aviation, Inc., California, October, 1962.
58. AD 446—056, Autonetics, Division of North American Aviation, Inc., California.
59. L. D. H u n t e r and R. N. K o r b, «Designing for Multilayer Circuits», presented at the 5th International Electronic Circuit Packaging Symposium, University of Colorado, Aug. 20, 1964.
60. R. L. S w i g g e t t and F. W. S c h n e b l e, Electronic Packaging and Production, vol. 4, p. 10—13, 1964; U.S. Patent 3,146,125, August, 1964.
61. E. B. S a u b e s t r e, L. J. D u r n e y, and E. B. W a s h b u r n, Metal Finishing, vol. 62, N 11, p. 52—56, 59, 1964.
62. C. C. W e e k l y, Plating, vol. 53, p. 107—109, 1966.
63. J. B. M c N a m a r a, Metal Progress, vol. 86, N 1, p. 112—115, July, 1964.
64. D. F o u l k e and F. C r a n e, «Electroplaters' Process Control Handbook», Reinhold Publishing Corporation, New York, 1963.
65. K. E. L a n g f o r d, «Analysis of Electroplating and Related Solutions», 3d ed., Robert Draper, Ltd., Teddington, 1958.
66. E. A. O l l a r d and E. B. S m i t h, «Handbook of Industrial Electroplating», 3d ed., American Elsevier Publishing Company of New York, New York, 1964.
67. G. L. K e h l, «Principles of Metallographic Laboratory Practice», 3d ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1949.
68. ASTM Designation E 3—58T, «Methods of Testing Metals», ASTM Standards 1961, pt. 3, p. 684—749.
69. «Microscopic Test for Local Coating Thickness», Federal Test Method, Std. 151, Method 521.1, May 6, 1959.
70. F. F i e g l, «Spot Tests in Inorganic Chemistry», 5th ed., p. 276, Elsevier Publishing Company; Amsterdam, 1958.
71. K. E. L e m o n s, Plating, vol. 52, p. 307—308, 1965.
72. J. H. J o n e s, «Multilayer Printed Circuitry Employing Plated through Holes», presented in conjunction with the IEEE Show, New York, May, 1965.

ТРАВЛЕНИЕ

Эдвард Ф. Даффин и Эрнест Армстронг,

*фирма «Фэрчайлд Семикондактор», Пало Альто, Калифорния.
США*

ВВЕДЕНИЕ	287
ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТРАВЛЕНИЯ	287
1. Защитные резисты для сеткографии	287
2. Фоторезисты	290
3. Металлические резисты	294
ТРАВИЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ	299
4. Хлорное железо	300
5. Персульфат аммония	307
6. Хлорная медь	312
7. Хромовосерная кислота	316
8. Другие травильные растворы	319
МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ И ИХ ОБРА- БОТКА	320
9. Термопластичные пластмассы	320
10. Термореактивные пластмассы	334
11. Металлы	341
ПОДТРАВЛИВАНИЕ, ФАКТОР ТРАВЛЕНИЯ И НАВИ- САНИЕ	351
ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ	352
12. Травление погружением	353
13. Травление с барбатированием воздуха (пузырько- вое травление)	353
14. Травление разбрызгиванием	354
15. Травление распылением	356
УДАЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО РЕЗИСТА	365
16. Удаление резиста для сеткографии	365
17. Удаление фоторезиста	365

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ТРАВЛЕНИЯ	367
18. Гибкие схемы	367
19. Электрохимическое травление	369
20. Процесс Марози	370
21. Гальваническое покрытие только одних отверстий	371
22. Тонкопленочная схема	371
ПЛАНИРОВКА УЧАСТКА ТРАВЛЕНИЯ	372
23. Выбор оборудования	372
24. Технологический процесс	373
25. Требования к помещению	374

Последним очень важным этапом химической обработки печатной платы является травление (процесс удаления слоя металла) для получения нужного рисунка схемы. Процесс травления включает предварительную очистку, собственно травление металла, очистку после травления и удаление резиста. В зависимости от способа изготовления рисунка печатной платы будут изложены также некоторые частные соображения, возможные отклонения от этой схемы.

При работе необходимо учитывать следующие факторы: подтравливание, требуемую точность рисунка схемы, загрязнение и разрушение подложки. При выборе травильных растворов необходимо также учитывать возможность контроля их состава и свойств, срок службы, предельное содержание растворенной меди, возможность регенерации меди и требования экономичности. Выбор способа травления и соответствующего технологического оборудования определяется требуемым качеством и размерами платы, производительностью и т. д.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТРАВЛЕНИЯ

Качество травления зависит от качества выполнения рисунка как при использовании фоторезистов, так и при защите проводников схемы слоем металла. Специалисты, занимающиеся травлением, должны быть знакомы со всеми видами резистов, применяемых в производстве печатных плат.

Для обеспечения высокого качества продукции травление должно начинаться с предварительной очистки меди и тщательного удаления резиста со всего поля травления. После травления необходимо удалить загрязнение с поверхности печатной платы. Ниже будут рассмотрены различные типы резистов и соответствующие им продукты травления.

1. Защитные резисты для сеткографии

Самым распространенным методом серийного изготовления печатных плат из фольгированных медью диэлектриков или на других подложках является сеткография. Если при изготовлении плат металлизация отверстий не про-

изводится, то защитный лак наносится через трафарет по полученному позитивному изображению схемы. Для плат с металлизированными отверстиями защитный лак наносится через трафарет по полученному негативному изображению схемы. Используемый в качестве резиста лак должен обеспечить выполнение требований к четкости рисунка схемы, который нужно воспроизвести на плате. В аспекте применения при травлении лак должен обладать хорошей адгезией к заготовке (фольге) и стойкостью к травильным растворам, образовывать беспористое покрытие, не содержать инородных включений (масел или смол), легко удаляться без повреждения подложки или печатной схемы. Описание процесса сеткографии дается в гл. 4.

Лаки на масляной основе не имеют требуемой для сеткографии вязкости, полностью высыхают и выделяют масла, которые препятствуют травлению. Химическая стойкость к травильным растворам у этих лаков низкая.

Долгое время использовались в качестве резистов и для защитных покрытий в гальванике асфальтовые лаки. Пригодные для сеткографии сорта этих лаков дешевы. Они растворяются в бензине и других органических растворителях. Асфальтовые лаки дают беспористое покрытие, хорошую четкость рисунка, гладкую поверхность и хорошую стойкость к травильным растворам. Эти лаки при комнатной температуре стойки в хлорном железе, персульфате аммония, хлорной меди, в смеси хромовой и серной кислот и в растворах других кислот. При температуре свыше 24° С слой начинает размягчаться, оплывает и сползает. Четкость линий и разрешающая способность при этом ухудшаются. Щелочные растворы и электролиты растворяют асфальтовые лаки тем быстрее, чем выше концентрация щелочи и температура.

После сушки слой лака не имеет достаточной твердости и может быть легко поцарапан. Однако, поскольку толщина покрытия обычно большая, глубина царапин не достигает металлической подложки. Платы, когда они даже достаточно высохли, не следует трогать руками, если они предназначены для печати.

Механическую очистку можно проводить только мягкой волосяной щеткой. Применение абразивных материалов типа пемзы может привести к появлению царапин на поверхности лака, вплоть до оголения фольги. Даже тонкие абразивы должны применяться осторожно.

Для очистки можно применять кратковременную обработку в слабощелочных растворах при температуре до 38°C . Можно проводить обработку в слабых электролитах при температуре 30°C и малых плотностях тока.

Резист удаляется с помощью растворителей из нефтепродуктов или хлорированных углеводородов типа треххлористого этилена. При этом необходимо помнить о соблюдении правил техники безопасности.

Лаки на основе целлюлозы успешно применяются в качестве кислотных резистов. Они нестойки к щелочам и слишком летучи. Рисунок можно наносить распылением через трафарет, но в этом случае покрытие будет тонким.

Малая вязкость приводит к сползанию лака. Попытка использовать целлюлозный лак с более низким содержанием растворителя не удалась, так как в этом случае затрудняется как распыление, так и нанесение лака кистью. Лак можно наносить окунанием, но в этом случае значительно сложнее получить нужную толщину слоя. Медленная сушка с постепенным увеличением температуры позволяет получить более твердое и более долговечное покрытие. Однако пленка лака становится хрупкой и имеет плохую адгезию. Эти методы покрытий успешно используются для получения пленок на металлических пластинах, из которых затем получают бесподложечные печатные схемы. Эти пленки предотвращают выпадание элементов рисунка схемы во время травления.

Резист удаляется при помощи кетонов или других растворителей на основе хлорированных углеводородов, в которых эти резисты полностью растворяются. В продаже такие растворители имеются.

В настоящее время самыми распространенными являются резисты на основе винила. Сорты, пригодные для сеткографии, легко приобрести. Химическая стойкость виниловых резистов обеспечивает хорошую защиту от воздействия хлорного железа, хлорной меди, смеси хромовой и серной кислот, персульфата аммония и других травителей, а также наиболее распространенных агрессивных сред в гальванике.

После правильно проведенной сушки виниловые резисты имеют достаточную твердость, оставаясь в то же время эластичными и имея хорошую адгезию (пересушивание делает эти резисты хрупкими).

Механическая очистка при использовании этих резистов может быть выполнена с помощью мягких щеток и чистых тонких абразив-

ных порошков. Пемза и другие твердые абразивы очень быстро повреждают поверхность резиста. Для очистки может применяться обработка в обычных щелочных растворах или электролитах при температуре до 80° С. Время обработки не должно превышать 30 сек. Обработка в щелочи при температуре выше 80° С приводит к разрыхлению и сползанию резиста. Если при обработке в гальванической ванне плотность тока выше расчетной, на поверхности резиста может высадиться металл. Эти наросты, появившиеся из-за наличия проколов в слое резиста, обычно удаляются при снятии самого защитного слоя. Если их не удалить, травление не будет равномерным и чистым. Схема технологического процесса выполнения рисунка и травления плат с использованием виниловых резистов имеет следующий вид:

1. Обезжиривание в щелочном растворе (обработка тампоном, окунанием или электрохимическим методом при температуре 65° С).

2. Промывка в воде.

3. Обработка в 20% -ном (по объему) растворе соляной кислоты.

4. Промывка в воде.

5. Обработка в 20% -ном (по объему) растворе персульфата аммония в течение 30—60 сек.

6. Промывка в воде.

7. Обработка в 5—10% -ном (по объему) растворе серной кислоты.

8. Промывка в воде.

9. Проверка участков медной фольги, подлежащих травлению, на отсутствие несмоченных разрывов. В случае их наличия или присутствия окислов необходимо повторить предыдущие операции.

10. Травление.

11. Промывка в воде.

12. Нейтрализация после травления.

13. Промывка в воде.

14. Сушка в струе воздуха.

15. Удаление резиста в метилэтилкетоне (МЭК) или других растворителях (см. раздел о растворении резиста).

16. Промывка в чистом растворителе для обеспечения полного удаления резиста.

17. Очистка платы мягкой щеткой и декопирование.

18. Промывка в воде.

19. Обработка в 5% -ном (по объему) растворе серной кислоты.

20. Промывка в деионизированной воде (при комнатной температуре).

21. Сушка в струе воздуха.

2. Фоторезисты

Фоторезисты служат для тех же самых целей, что и защитные резисты для сеткографии. Как и резисты для сеткографии, фоторезисты могут быть использованы для печати как негативного, так и позитивного рисунков на фольгированных диэлектриках. Хотя прочность фоторезистов

меньше, чем сеткографических резистов, с их помощью можно получить более тонкие линии и они обладают большей разрешающей способностью. Сравнение фоторезистов и резистов для сеткографии приведено в гл. 4. Настоящий раздел касается свойств и процессов работы с фоторезистами.

Как правило, позитивные и негативные резисты в кислотных растворах обеспечивают лучшую защиту покрытого металла, чем в щелочных. Более стойкими к щелочным растворам являются негативные резисты. После экспонирования и проявления эти резисты уже не являются светочувствительными, а следовательно, дальнейшая обработка и хранение могут происходить при дневном свете. Позитивные резисты остаются светочувствительными даже после проявления и должны быть защищены от дневного света.

Повышение температуры растворов увеличивает их химическую активность и вызывает набухание фоторезистов. Фоторезисты, которые могут быть высушены при высокой температуре, менее других подвержены воздействию обрабатывающих растворов повышенной температуры. Некоторые негативные фоторезисты, которые невозможно сушить при высокой температуре, снижают свою адгезию с повышением температуры растворов, применяемых для обработки. Более толстые слои фоторезистов имеют бóльшую стойкость. Однако нужно иметь в виду, что более толстые слои хуже проявляются и не могут обеспечить нужную точность рисунка. Позитивные резисты обычно разрушаются от воздействия высокой температуры, особенно в щелочных растворах. Среди этих резистов самым стойким является резист типа AZ-340 в толстых слоях. Дополнительные сведения о различных свойствах фоторезистов приведены в гл. 4.

Технологический процесс травления меди при использовании фоторезистов аналогичен с некоторыми изменениями (указанными ниже) описанному для сеткографии. Перед травлением или обработкой в гальванической ванне должно производиться тщательное обезжиривание. Хорошие результаты дает протирка ватным тампоном, смоченным в щелочном растворе. Фоторезистивные пленки даже после обработки при высокой температуре нестойки к обработке абразивами. Лучшая механическая, как и химическая, стойкость соответствует большей толщине пленки. Электрохимическое обезжиривание не рекомендуется, поскольку оно может привести к разрушению пленки фоторезиста и вызвать ее отслаивание.

Рекомендуется следующая обработка перед травлением. Для легкого протравливания применять персульфат аммония, катализированный хлоридом двухвалентной ртути, с последующим тщательным промыванием в струе воды. Затем проводить декапирование в 10%-ном растворе серной кислоты и снова промыть. Такая обработка дает хорошие результаты и не ухудшает никаких свойств наиболее распространенных фоторезистов. Установлено, при применении позитивных резистов хорошие результаты дает погружение плат в кислоту непосредственно перед обработкой их в гальванической ванне или перед травлением. Это связано с тем, что позитивные фоторезисты проявляются в щелочном растворе и в результате может произойти образование основной соли меди на поверхности. Трудности, которые могут встретиться при использовании негативных резистов, перечислены ниже.

1. Разрушение слоя фоторезиста в процессе очистки обычно объясняется нанесением резиста на окисленную поверхность, которая не прошла обработку крацевальными щетками. В этом случае резист не может также достаточно долго быть подвергнут тепловому воздействию. Для получения хорошей адгезии плату следует обработать следующим образом: протравить в персульфате аммония, промыть водой, произвести декапирование в кислоте, снова промыть водой, просушить, охладить, после чего нанести фоторезист. Полезно также перед указанной химической обработкой провести крацевание латунными щетками (см. гл. 4). В этом случае необходимо убедиться, что резист хорошо задублен. Разрушение резиста может произойти при гальванической обработке особенно в цианистых ваннах. Причины разрушения подобны описанным выше.

2. Проколы (поры) в слое фоторезиста часто связаны с попаданием частиц твердых тел, воды или масла в воздух, применяемый для сушки или нанесения резиста пульверизацией. Средства предотвращения: использование анодных фильтров и жидкостных ловушек. Нельзя допускать взбалтывания резиста на воздухе. Необходимо убедиться, что плата до покрытия ее резистом хорошо высушена. Прогрев платы перед нанесением покрытия удаляет из нее поглощенную влагу. Брак, связанный с наличием пор в слое резиста, может быть снижен использованием фильтров и водяных ловушек при подаче воздуха, а также исключением возможности попадания воздуха в фоторезист при нанесении последнего.

3. Большое подтравливание при травлении. Передубленные фоторезисты становятся хрупкими и могут разрушиться во время травления, обнажив большую поверхность металла. Результатом является избыточное подтравливание. Методы травления и условия, которые влияют на появление подтравливания, будут подробно рассмотрены ниже. Подтравливание не возникает при применении эластичных фоторезистов, которые защищают края при травлении сверху вниз. Фоторезисты такого типа уже освоены промышленностью.

4. Вытравливание слоя металлизации в отверстиях может быть вызвано рядом факторов, например остатками фоторезиста в отверстиях при проведении процесса покрытия, некачественным сверлением, неровностями на покрытии, неудовлетворительной защитой покрытия резистов или передержкой в травильном растворе.

Резист остается в отверстиях в результате проникновения туда света при экспонировании. Это может произойти из-за неплотного прилегания трафарета или неточной установки пленки. Экспонированный резист в отверстиях не может быть удален обычными методами, и поэтому экспонирования резиста в отверстиях следует избегать.

Фоторезист попадает в отверстия при нанесении его окунанием или центрифугированием, а при проявлении, даже если этот резист не был засвечен, его трудно растворить из-за его толщины. Это принципиальная причина, по которой на подложки с отверстиями фоторезист следует наносить только распылением.

Грубое сверление может привести к раковинам и протравкам в защитном слое металлизации отверстий из-за воздействия травильного раствора на медь, не защищенную металлом. Недостаточная защита платы слоем металла прежде всего наблюдается в отверстиях, поскольку в них всегда меньше толщина получаемого покрытия, чем на проводниках платы. Необходимо пересмотреть характеристики гальванического процесса, чтобы улучшить равномерность получаемого защитного покрытия (дополнительные рекомендации см. в гл. 5).

Необходимо избегать слишком длительного травления. Следует определить случаи, когда можно несколько увеличивать время травления. Например, если травильный раствор истощен или имеет слишком низкую температуру или если при проведении гальванического осаждения нанесен излишек меди. Часто бывает, что при плохой очистке вся медь, кроме небольших участков, может оказаться вытравленной. В этом случае оператор также имеет право оставить плату в травильном растворе немного дольше, чтобы добиться полного удаления металла. В остальных случаях передержка может привести к подтравливанию в зоне хорошего травления и травлению на защищенных площадках платы. Следовательно, полная и тщательная очистка платы перед травлением должна быть обязательной операцией. Позитивные резисты вызывают те же трудности, что и негативные, хотя они и легче удаляются после экспозиции с участков платы, предназначенных для травления. Разрушение позитивного резиста обуславливается, главным образом, паразитной подсветкой, повышенной температурой и щелочными растворами, применяемыми при обработке. Превышение плотности тока во время обезжиривания или металлизации может привести к газовыделению и сползанию фоторезиста. Вопросы, касающиеся покрытия плат металлическими и фоторезистивными слоями, рассмотрены в гл. 5.

В качестве фоточувствительных резистов используются и другие материалы [1, 2]. К ним можно отнести:

— естественные коллоидные органические вещества (альбумин, рыбий клей, желатин, арабийская камедь), сен-

сублимированные бихроматом аммония, получившие название «hot-top» — эмали *);

— неколлоидные органические продукты (шеллак), сенсибилизированные бихроматом аммония, называемые «cold-top» — эмалями **) (из-за более низких температур дублирования).

Эти материалы применяются как для изготовления фотолитографических масок, так и печатных плат, но имеют ограниченное применение потому, что для получения необходимой стойкости к травлению для обеспечения стабильности размеров и избежания пузырения во время проявления и старения требуют нагревания до температур, превышающих предельные рабочие температуры для подложек (более 150° С). Однако они дешевы и в определенных случаях способны давать высокую разрешающую способность. Например, резисты второго типа применялись при изготовлении масок с линиями шириной 0,25 мм, сеток с ячейками размером 0,05 мм. Промышленность освоила электрофотографические процессы для печати масок под травление. Но в настоящее время они все еще находятся в стадии разработок. Эти процессы имеют то преимущество, что с их помощью можно создавать готовый рисунок на печатной плате в очень короткое время прямо с оригинала, не применяя пленки.

3. Металлические резисты

При изготовлении печатных плат с металлизацией отверстий наибольшее применение нашли металлические резисты, среди которых золото, сплав олово — свинец (60% олова, 40% свинца), сплав олово — никель. Могут применяться также позитивные резисты и латексы на каучуковой основе. Детальное рассмотрение процессов осаждения указанных выше металлов приведено в гл. 5. Ниже дается краткое описание применения их в качестве резистов при травлении.

Золото. Толщиной 2—4 мкм, нанесенное на гладкий плотный слой металла, например меди, имеет отличную стойкость во всех обычных для меди травильных растворах. Можно успешно применять для травления хлорное железо, хлорную медь, смесь хромовой и серной кислот и персуль-

*) Горячая. (Прим. перев.)

**) Холодная. (Прим. перев.)

фат аммония. Персульфат аммония слегка растворяет золото, и следовательно, необходимо избегать в этом случае длительного глубокого травления. Кроме того, вредное влияние на золото могут оказать находящиеся в персульфате аммония в качестве катализатора соли двухвалентной ртути. Амальгамирование золота хотя и не приводит к разрушению резиста при травлении, но ухудшает пайку и коррозионную стойкость золота. Чтобы избежать этого, катализатор должен применяться в очень небольших количествах или не применяться совсем. Такие травители, как царская водка и смесь цианида с перекисью водорода, быстро растворяют золото. Типовой процесс подготовки платы и травления ее при использовании золота в качестве резиста приведен ниже.

Травление печатной платы струей травителя (раствор FeCl)

1. Проверить плату на отсутствие остатков фоторезиста или лака (при сеткографии). Если необходимо, провести повторное удаление резиста.

2. Проверить плату на отсутствие золота или других материалов на участках меди, предназначенных для травления. Все эти материалы должны быть тщательно удалены без нарушения проводников печатной схемы.

3. Проверить всю схему, включая поверхность отверстий, на наличие участков незащищенной меди. Все такие участки покрыть лаком.

4. Просушить нанесенный лак в течение 10 мин при температуре 45°C .

5. Провести обычное или электролитическое (катодное или анодное) обезжиривание при температуре $65\text{--}80^\circ \text{C}$, напряжении 4—6 в в течение 3 мин.

6. Промыть в воде.

7. Обработать в 20%-ном (по объему) растворе HCl при комнатной температуре в течение 30 сек.

8. Промыть струей воды.

9. Высушить сжатым воздухом и, если плата не будет травиться сразу, поместить в кассету.

10. Обработать в персульфате аммония. Время предварительного травления 30—60 сек.

11. Проверить наличие остатков резиста на плате. При необходимости провести очистку платы.

12. Поместить плату в кассету травильной машины.

13. Установить реле времени в травильной машине на 1 мин, при этом травится слой меди толщиной 25 мкм при температуре $32\text{--}43^\circ \text{C}$. Установить кассету в травильную машину.

14. Если применяется машина кассетного типа (в отличие от конвейерного), то необходимо вынуть кассету, перевернуть ее на 180° и снова установить в машину.

15. Травить в течение 1 мин и повторять эту операцию до тех пор, пока основная часть меди не будет вытравлена. Можно не

обращать внимания на невытравленную медь на участках за периметром печатной схемы. Если время травления слоя меди толщиной 25 мкм превышает 5 мин, необходимо прекратить операцию и выяснить причину (эти данные относятся к травлению в растворе FeCl_3).

16. Извлечь плату из травильного раствора и тщательно промыть в проточной воде.

17. Проверить качество травления меди.

18. При необходимости можно удалять медь с отдельных участков платы нанесением травителя кистью. Таким образом можно избежать избыточного подтравливания на всей плате.

19. Промыть плату в воде.

20. Нейтрализовать в 5%-ном (по объему) растворе соляной или щавелевой кислоты (для раствора FeCl_3).

21. Промыть в струе холодной воды.

22. Промыть в горячей воде (85°C) в течение 5—10 сек.

23. Обработать в щелочном растворе мягкой волосяной щеткой для удаления заусенцев (операция необязательная). Хорошие результаты дает обработка в ультразвуковой установке.

24. Промыть в воде.

25. Обработать в 20%-ном (по объему) растворе HCl в течение 2—5 сек.

26. Промыть в воде.

27. Высушить в потоке очищенного воздуха.

28. Вынести платы из помещения, где производилось травление.

Покрытие припоем. Часто в качестве защитного слоя при травлении применяется оловянно-свинцовый сплав толщиной 13—80 мкм (60 Sn — 40 Pb). Сплав выдерживает травление в смеси хромовой и серной кислот, в растворе персульфата аммония. Растворы на основе хлоридов железа и меди быстро разрушают этот сплав. Процесс обработки аналогичен процессу с применением золота. Быстрое растворение оловянно-свинцового сплава происходит в смеси бористой и фтористоводородной кислот или смеси соли кремнефтористоводородной кислоты с перекисью водорода (см. также гл. 5).

Сплав олово — никель. Имеет высокую химическую стойкость. При травлении печатных плат, защищенных оловянно-никелевым сплавом, широко применяют персульфат аммония, катализированный солями ртути. Травильные растворы с высоким содержанием хлоридов в некоторой степени разрушают это покрытие и обычно не применяются *).

*) Из практики изготовления печатных плат известно, что сплав олово — никель имеет хорошую стойкость в травильных растворах на основе хлоридов железа и меди. Толщина слоя олово — никель в этом случае лежит в пределах 18—20 мкм. (Прим. ред.)

Благородные металлы. Применяются часто в чистом виде или в виде сплавов для травления. Для защиты контактных ламелей на платах в качестве подходящего резиста предлагают использовать родий. Однако вызывает сомнение защитная способность такого покрытия, так как его толщина находится в пределах 0,12—0,25 мкм и даже при никелевом подслое это покрытие имеет пористость и разрушается при травлении.

Рекомендации по процессу травления при применении металлических резистов. Травление печатных плат, защищенных металлом, начинается с удаления органического резиста. Для этой цели применяют технические растворители и приспособления для соскабливания. Эти операции будут подробно рассмотрены в разделе об удалении резиста (см. ниже). Необходимо осторожно обращаться с золотом и сплавом олово — свинец, поскольку слой из этих металлов легко поцарапать. При покрытии платы сплавом олово — никель поверхность получается очень твердой и хорошо сопротивляется истиранию.

Для обезжиривания простой или электрохимической обработкой используют щелчные обезжиривающие растворы, нагретые до 82—88°С. Таким образом удаляют остатки масла и другие загрязнения, образующиеся во время снятия резиста. После очистки щелочью и промывки легко обнаружить остатки органического резиста, обратив внимание на край линий и центры букв и цифр в рисунке схемы. Труднее всего удалить фоторезисты. Они не растворяются в составах, которые используются для удаления, а только размягчаются и образуют желатинообразные пленки, которые можно снимать с поверхности платы мягкой нейлоновой щеткой, смоченной в щелочном растворе. Для снятия резиста на платах, покрытых сплавом олово — никель, пригодны щетки из мягкой латуни и нержавеющей стали. Золото пробы 23⁺ карат несколько тверже, и его можно счищать мягкой латунной щеткой. Это необходимо делать очень осторожно, чтобы не поцарапать золотое покрытие. Плату, покрытую сплавом олово — свинец, не следует подвергать очистке металлическими щетками. Не рекомендуется применять и пемзу или другие подобные ей твердые абразивы для очистки печатных плат с металлическим резистом.

После удаления органического резиста окислы и другие пленки с поверхности платы удаляют декапированием в 5—10%-ном (по объему) растворе серной кислоты. После

Тщательной промывки водой платы могут поступать на травление без предварительной сушки. Если после проведения указанной операции, платы поступают на травление не сразу, то они должны быть высушены чистым воздухом и храниться так, чтобы предотвратить возможность их загрязнения.

Некоторые изготовители проводят дополнительные операции — очистку протравливанием в персульфате аммония после декапирования в серной кислоте. Затем плату промывают водой, дополнительно обрабатывают в серной кислоте и снова промывают водой. После этого металлические участки поверхности становятся очень четкими, поскольку они блестят на фоне матовой протравленной поверхности. Плата готова, когда поверхность, предназначенная для травления, равномерно смачивается водой после обработки кислотой или персульфатом аммония.

При избирательной металлизации рисунка схемы медью или другим металлом из-за пор в резисте на нем образуются металлические бляшки. Их можно не удалять, так как при удалении можно разрушить слой металлического резиста. Эти бляшки имеют небольшие размеры и обычно легко стравливаются. После травления платы должны быть тщательно промыты водой и обработаны кислотой. Это обеспечивает полное удаление остатков травителя и продуктов травления с поверхности платы. После травления в хлорном железе применяют 5—10%-ные растворы соляной или щавелевой кислот. Остатки продуктов травления, особенно если они не удалены до сушки, приводят к снижению электрического сопротивления изоляции подложки и ухудшению электрических свойств и паяемости металлизированных участков платы. Вопросы загрязнения поверхности диэлектрика рассмотрены в литературе [3—5].

Трудности, которые возникают при травлении плат с металлическими резистами, в большей части связаны с низким качеством трафарета на фотопленке, который может иметь проколы, или малой толщиной и пористостью органического резиста и гальванического покрытия. В процессе травления брак может появиться из-за плохой очистки поверхности платы перед травлением, из-за повышения температуры травильного раствора и увеличения времени травления, неправильного выбора травильного раствора, недостаточного давления при распылении травильного раствора, недостаточной промывки и нейтрализации, а также

из-за захватывания плат руками. Главной проблемой, возникающей при травлении, является обеспечение одновременного травления всей поверхности платы, так как активное травление происходит на краях слоев металлизации, а не на поверхности меди. Травление разбрызгиванием и распылением уменьшает этот эффект, но не исключает его. Когда требуется протравить рисунок из очень тонких линий, может произойти его искажение из-за подтравливания, особенно в тех случаях, когда платы остаются в травильном растворе до полного стравливания меди. Чтобы избежать этого, при травлении платы с тонким рисунком ее необходимо извлекать из установки, как только начинает где-либо обнажаться подложка. Затем производится окончательное травление с мягкой кистью, смоченной в растворе, только в тех местах, где надо удалить медь. Чередование такого травления и промывки ускоряют процесс. При этом нужно следить, чтоб раствор не попал на уже вытравленные участки платы.

ТРАВИЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

Процессу химического травления уделяется наименьшее внимание при изготовлении печатных плат, хотя он имеет отнюдь не самое малое значение.

Травильные растворы недостаточно хорошо изучены многими из тех, кто их использует. Растворы редко контролируют для поддержания их основных характеристик и работоспособности. Регенерации меди из отработанных растворов в большинстве случаев вообще не производится. Хотя способы регенерации известны, практического применения они не имеют. Многие изготовители отказываются от применения новых травильных растворов.

Укажем методы поддержания предельных характеристик травильных растворов, в первую очередь для меди, позволяющие добиться длительного срока службы самого и высокого содержания нерастворимой меди. Необходимо уделять внимание разработке улучшенных травильных растворов, удовлетворяющих требованиям современной технологии в отношении подтравливания, применения, регенерации металла, загрязнения и разрушающего влияния на органические диэлектрики.

Электрохимическое травление рассматривается в разделе 19.

4. Хлорное железо

Растворы хлорного железа (FeCl_3) находят широкое применение в качестве травильных растворов для меди, медных сплавов, ковара и стали в печатных схемах, электронике, в фотогравировке и полировке металла.

Хлорное железо нельзя применять для печатных плат, покрытых сплавом олово — свинец. Ковар и другие подобные ему сплавы травятся с помощью хлорного железа с защитой фоторезистами. Обычно он применяется для выводов в интегральных схемах, в керамических плоских корпусах для изготовления масок с высоким разрешением. За исключением плат с защитным покрытием из оловянисто-свинцового сплава, который разрушается при действии травильных растворов на основе хлоридов, хлорное железо является наиболее распространенным и наиболее часто применяемым веществом в составе травильных растворов. Это связано с невозможностью регенерации всех травителей от растворенного металла, а хлорное железо, с одной стороны, допускает большое содержание растворенной меди и, кроме того, является дешевым продуктом.

Травильный раствор на основе хлорного железа представляет собой водный раствор хлорного железа с концентрацией от 28 до 42% (весовых) (см. табл. 6.1).

Таблица 6.1

Состав травящих растворов FeCl_3 *)

Компоненты	Растворы			
	слабый	оптимальные		крепкий
FeCl_3 , % (по весу)	28	34	38	42
Удельный вес	1,275	1,353	1,402	1,450
Плотность, °Боме	31,5	38,0	42,0	45,0
Концентрация, г/л	365	452	530	608
Молярность	2,25	2,79	3,27	3,75

*) Все данные соответствуют температуре 20—25° С.

Травящий раствор FeCl_3 плотностью 42° Боме содержит от 0,2 до 0,4% свободной HCl . Некоторые травящие растворы FeCl_3 содержат до 5% свободной HCl .

В травильном растворе в результате реакции гидролиза образуется свободная соляная кислота

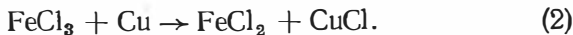


Для предотвращения образования нерастворимых осадков $\text{Fe}(\text{OH})_3$ в травильный раствор обычно добавляется до 5% соляной кислоты. В коммерческих рецептах травителя присутствуют также агенты, способствующие смачиванию и предотвращающие вспенивание. Влияние концентрации хлорного железа, содержания растворенной меди, температуры и интенсивности перемешивания раствора на скорость и качество травления рассмотрено в литературе [6—34].

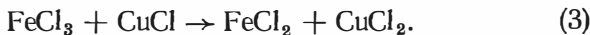
Хлорное железо имеется в продаже как в твердом виде ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), так и в виде водных растворов с добавками и без добавок. При применении травильных растворов в больших количествах выгоднее покупать хлорное железо в твердом виде. Однако потребуются дополнительные затраты, поскольку растворам на основе хлорного железа без добавок присущи недостатки, такие как изменение скорости травления от партии к партии и т. д. Иногда требуются также дополнительные затраты на добавки для снижения вспениваемости травильных растворов.

Раствор хлорного железа с добавками меньше вспенивается, имеет менее резкий запах и образует меньше газовых выделений; обеспечивает равномерное травление (частично из-за дополнительного улучшения смачивания поверхности); приводит к меньшему образованию осадка гидроокиси железа из-за небольшой дополнительной кислотности и добавок на основе комплексонов. Полезный срок службы травильных растворов хлорного железа и сохранение постоянной скорости травления в течение всего этого срока существенно выше в готовых растворах, предлагаемых специальными фирмами.

Химия. На поверхности меди, соприкасающейся с трехвалентным железом, ион Fe^{+3} окисляет медь до хлористой меди с образованием зеленого хлористого железа (FeCl_2)



В массе раствора хлористая медь (CuCl) далее окисляется до хлорной меди (CuCl_2)



Поскольку в травильном растворе образуется хлорное железо, динамическое равновесие реакции нарушается



Саубестр определил, что в травильном растворе, истощенном на 50% (концентрация FeCl_3 около 100 г/л), 84% переходит в раствор в соответствии с реакцией (4). На практике, когда раствор с концентрацией 42° по Боме содержит 60 г/л или более растворенной меди, время травления сильно увеличивается и травильный раствор необходимо заменить.

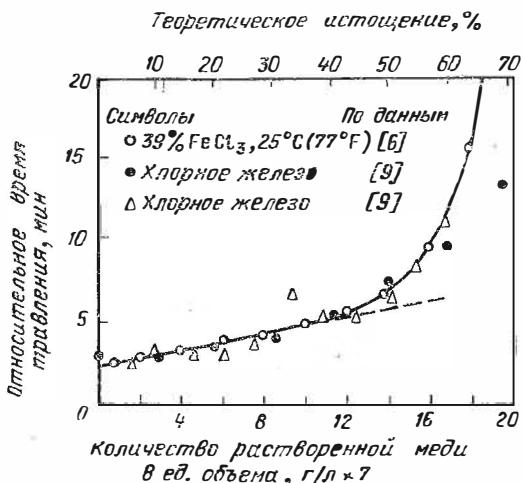


Рис. 6.1. Зависимость длительности травления от концентрации растворенной меди.

Важность реакций (2), — (4) для практики травления иллюстрируется рис. 6.1.

Время травления данного количества меди остается относительно постоянным (увеличение незначительно) вплоть до 40% истощения раствора (82 г/л). Большинство фирм, применяющих травильные растворы, используют травители до такого истощения только потому, что не умеют корректировать раствор. Не до конца истощенные растворы часто бракуют и по другим причинам, таким как вспенивание, загрязнение, изменения удельного веса, появление осадка твердого вещества и низкие скорости травления.

При концентрации менее 82 г/л время травления резко увеличивается, но и такие растворы еще имеют большую травильную активность. Многие фирмы, занимающиеся травлением, используют частично истощенные растворы, добавляя в них HCl , а раствор с истощением до 70% при-

меняют для предварительного травления и при первоначальной очистке плат.

Изучение влияния состава раствора, степени истощения раствора, кислотности, температуры, интенсивности перемешивания, степени разбавления и т. д. дает возможность определить оптимальные условия применения FeCl_3 .

Свойства и контроль. Одним из самых важных условий при травлении меди является установление критерия для определения степени истощения и способности к травлению частично истощенного раствора хлорного железа. Из-за трудностей, возникающих в результате изменений соотношения FeCl_3 и CuCl_2 в травильном растворе, испарения, разбавления, введения добавок и так далее, для надежного определения качества травильных растворов применимы только методы химического анализа. Тем не менее полезно рассмотреть дополнительные процедуры по оценке травильных свойств раствора и необходимых изменений условий травления. Предлагается два критерия [6]:

- время травления (скорость травления);
- степень истощения травильного раствора.

Время травления (или скорость) определяется по-разному, но во всех случаях нужно точно определять время, необходимое для растворения известного веса меди при постоянных условиях травления: температуре, концентрации, интенсивности перемешивания, площади поверхности меди, подлежащей травлению, объеме раствора и т. д. Если оценивать качество травления, то необходимо учитывать примененные методы очистки, положение платы в травильной машине, размеры платы и т. д.

Скорость травления изменяется с изменением концентрации FeCl_3 , температуры, химических добавок и интенсивности перемешивания. В травильной машине с распылением раствора под давлением медь номинальной толщины 35 мкм должна полностью стравливаться в свежем растворе хлорного железа плотностью 42° Боме при 38°С в течение 1—1,5 мин. Когда время травления превышает 7 мин, раствор можно считать отработанным (время ориентировочное).

Степень истощения раствора обычно выражается в граммах растворенной меди на литр первоначального раствора. Содержание растворенной меди определяется наиболее точно химическим анализом. Различные методы анализа описаны в литературе [2].

Для определения количества меди применяют и другие методы. Вполне пригодны для этой цели, например, колориметрические приборы. При содержании меди свыше 62,4 г/л измерения можно сделать разбавляя испытуемый раствор водой в стандартные растворы, например 15,6; 31,2; 46,8; 78 г/л, разбавленные водой в отношении 2 : 1, которые могут применяться для визуального определения степени истощения и необходимости замены раствора.

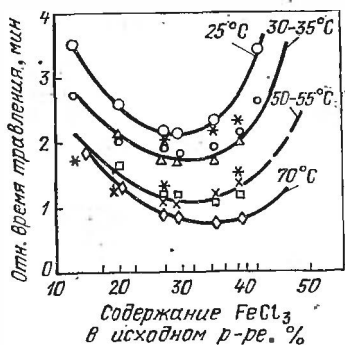


Рис. 6.2. Зависимость длительности травления от концентрации раствора $FeCl_3$ при различных температурах.

Оптимальной температурой можно считать температуру, при которой травление не приводит к разрушению резиста. При травлении с распылением травильного раствора, его температура должна быть в пределах 38—49°C.

Однако по мере увеличения концентрации меди в растворе скорость травления падает. Когда содержание меди превышает 63 г/л, скорость травления становится недопустимо малой (рис. 6.3).

Чаще всего применяют 30%-ные растворы из-за их дешевизны и из-за того, что такой раствор считается отработанным, когда содержание меди в нем достигает 63 г/л.

Добавление HCl. Из рис. 6.3 видно, как введение соляной кислоты влияет на время травления. Когда концентрация растворенной меди становится больше 47 г/л HCl подавляет образование $Fe(OH)_2$ и способствует протеканию реакции травления. В этом случае добавляют 140 г раствора HCl

Гриф [15] описал также электрохимический метод контроля травильной способности растворов.

Влияние переменных факторов. На рис. 6.2 приведены кривые, отражающие зависимость скорости травления от концентрации раствора при различных температурах.

Оптимальная концентрация для минимального времени травления изменяется от 30% $FeCl_3$ при комнатной температуре до 35% $FeCl_3$ при 70°C. Как и следовало ожидать, увеличение температуры вызывает увеличение скорости травления. Макси-

мальной температурой можно считать температуру, при которой травление не приводит к разрушению резиста.

При травлении с распылением травильного раствора, его температура должна быть в пределах 38—49°C.

Однако по мере увеличения концентрации меди в растворе скорость травления падает. Когда содержание меди превышает 63 г/л, скорость травления становится недопустимо малой (рис. 6.3).

Чаще всего применяют 30%-ные растворы из-за их дешевизны и из-за того, что такой раствор считается отработанным, когда содержание меди в нем достигает 63 г/л.

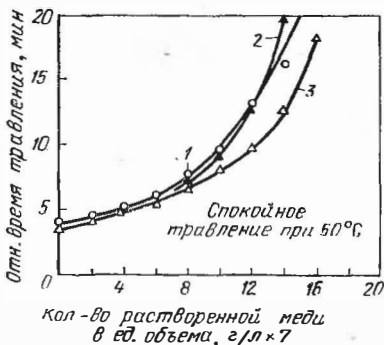
Добавление HCl. Из рис. 6.3 видно, как введение соляной кислоты влияет на время травления. Когда концентрация растворенной меди становится больше 47 г/л HCl подавляет образование $Fe(OH)_2$ и способствует протеканию реакции травления. В этом случае добавляют 140 г раствора HCl

плотностью 20° Бо́ме на 1 л первоначального 39%-ного раствора FeCl₃. Результирующее увеличение активности травильного раствора эквивалентно уменьшению содержания меди в растворе на 15 г/л.

Перемешивание. Перемешивание травильного раствора сильно влияет на скорость травления. Время, требуемое для травления меди в спокойном растворе (при погружении), слишком велико с самого начала и быстро увеличивается по мере накопления растворенной меди. Время травления

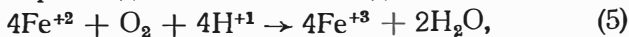
Рис. 6.3. Зависимость длительности травления от концентрации растворенной меди при использовании в качестве травителя раствора FeCl₃ с плотностью по 42° Бо́ме, разбавленного водой и соляной кислотой (30%):

1) 39%-ный раствор FeCl₃; 2) 39%-ный раствор FeCl₃, разбавленный водой до 35%; 3) 39%-ный раствор FeCl₃, разбавленный HCl до 35%.



данного количества меди в спокойной ванне, которая содержит 60 г/л растворенной меди, приблизительно на 1/3 больше, чем при травлении в растворе с перемешиванием при той же самой температуре и с содержанием в травильном растворе 120 г/л растворенной меди.

Скорость травления значительно возрастает при применении для перемешивания воздуха или при травлении распылением. Увеличенные скорости травления являются результатом реоксидации Fe⁺² и Cu⁺¹ до Fe⁺³ и Cu⁺².



Подача сжатого воздуха стимулирует травление. Дополнительные данные по контролю подтравливания рисунка платы приведены в литературе [16—20]. Эти методы требуют тщательной подготовки раствора и его перемешивания при травлении.

Для увеличения влияния травления (отношения глубины травления к величине подтравливания) используют порошковые методы травления с введением добавок, например тиомочевины. Для фотогравировки рекомендации

по оценке величины неровностей, фактора травления, глубины травления и влияния применяемого резиста даны Шеффером [7].

Регенерация травильных растворов хлорного железа является довольно сложным процессом. Предложенные методы не нашли в настоящее время широкого применения.

Проблемы.

В результате проникновения воды в емкость с травильным раствором может возникнуть:

а) Быстрое уменьшение плотности раствора травителя. Наиболее часто это происходит, когда автоматическая травильная установка выполняет и операцию промывки. Поэтому обычными операциями должны быть осмотр изношенных или разорванных прокладок, проверка стоков, проверка давления воды, частое измерение плотности раствора. Последнее само по себе не дает полной информации о состоянии травильного раствора, так как наличие растворенной меди, испарение раствора и другие причины также могут сильно изменить плотность травителя.

б) Образование загрязнений с увеличением содержания растворенной меди. Повышенная температура, вызывающая испарение соляной кислоты, наличие веществ, которые вступают в реакцию со свободной соляной кислотой или примесями в жесткой воде, особенно с высоким содержанием карбонатов, являются наиболее частыми причинами возникновения загрязнений. Они могут быть удалены добавлением 0,4 мл концентрированной соляной кислоты на каждый литр травильного раствора плотности 42° Боме. Как известно, время травления при разбавлении травильного раствора до плотности 38—39° Боме уменьшается, а поскольку добавка HCl приводит к очистке раствора, то для разбавления травителя кислоте следует отдавать предпочтение перед водой.

в) Загрязнение диэлектрика подложки. После промывки платы водой не всегда легко удаляются продукты травления. Для повышения эффективности рекомендуется промывка струей. В этом случае остающиеся на поверхности платы соли растворяются лучше. Технологический процесс и технологическое оборудование для проведения промывки должны обеспечить полную отмывку платы. Хорошо способствует удалению солей железа и меди обработка в 5%-ных (по объему) растворах соляной или щавелевой кислот. Ее рекомендуется проводить после первой промывки с последующей промывкой сильной струей воды. В промывочных ваннах могут быть установлены простые приборы для определения электрической проводимости промывных вод, по которой можно судить о степени их загрязнения. Вместе с ростом производства имеется тенденция к увеличению загрязненности ванны, и проверка промывных вод приобретает особое значение, хотя операторы обычно уделяют ей мало внимания. Загрязненность может сильно влиять на качество плат. Соли, абсорбированные диэлектрической подложкой, присутствуют в виде сложных форм.

Последующая промывка, гидролиз и сушка превращают эти соли в нерастворимые формы окиси железа. В результате уменьшается сопротивление изоляции подложки.

Для удаления загрязнений эффективна обработка платы тонкими абразивами, промывка 5—10%-ным раствором соляной или щавелевой кислот с последующей промывкой струей воды. За более подробными сведениями читателю необходимо обратиться к различным исследованиям процессов загрязнения печатных схем FeCl_3 [3—5].

г) Засорение стоков. Стоки промывных ванн, особенно выполненные в виде шлангов малого сечения, легко засоряются при скоплении осадка на стенках. Для предупреждения этого необходимо применять шланги большего сечения и систематически обрабатывать их кислотами. К образованию засоров приводит слив использованных травильных растворов в сточные трубы с автоматическими системами для регулирования pH. *Слив в сточные системы даже отработанного раствора FeCl_3 не рекомендуется.*

д) Коррозия. На стальные, чугунные и другие металлические трубы, крышки, каркасы и отводы растворы и пары FeCl_3 оказывают сильное разрушительное действие. Эффективные отводные системы можно изготовить из стеклянных или графитовых труб с прямоточными керамическими отстойниками. Хорошую защиту от действия травильного раствора дает футеровка ванн, труб, металлических деталей и т. д. поливинилхлоридом. В качестве футеровки можно применить также эпоксидные и другие смолы. Когда необходимы прочность и жесткость, используют титан. Из него можно выполнить детали насоса, охлаждающие змеевики и т. д., постоянно имеющие контакт с раствором. Часто применяют кварцевые, графитовые и титановые нагреватели. Ограниченное применение могут иметь стали, легированные никелем и кобальтом. К недостаткам кварца и графита относятся хрупкость и плохая теплопроводность. Вспомогательные приспособления, лишь периодически подвергающиеся воздействию разбавленного раствора хлорного железа, могут быть изготовлены из монель-металла.

е) Слив отработанных растворов FeCl_3 . Эта операция становится трудной, поскольку городские законы контролируют характер сточных вод. Кроме явлений коррозии, которые вызывают эти растворы, наличие в них таких веществ, как медь, нарушает жизнедеятельность бактерий, необходимых для очищения сточных вод, а при сбрасывании таких растворов в естественные водоемы они уничтожают растения и рыбу. Рекомендуется системы сбрасывания травильных растворов размещать на глубоком болоте или в глубоком колодце, на дно которого насыпают гравий из дробленого известкового камня. Отработанные травильные растворы также сбрасывают в колодцы и нейтрализуют мелом. При отстаивании производят дополнительное разбавление водой. Устройство таких систем должно быть согласовано с местными властями. Использование местной мусороуборочной службы также решает проблему сточных вод, но обычно обходится дороже.

5. Персульфат аммония

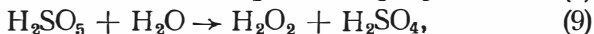
Общие сведения. Персульфат аммония, модифицированный некоторыми катализаторами, заменяет хромовую кислоту, а также травильные растворы на основе хлоридов.

Он может быть применен для травления меди при использовании сеткографических резистов, фоторезистов и металлических резистов (золото, олово — никель и олово — свинец). Этот травитель успешно применяется при защите проводников резистами на основе сплавов олово — никель и олово — свинец. При использовании сплава олово — никель иногда имеет место небольшое изменение цвета покрытия. Предпочтительным раствором для травления плат, проводники которых защищены сплавом олово — никель, является раствор персульфата аммония, катализируемый солями ртути, дающий при температуре 46° С скорость травления, сравнимую со скоростью травильных растворов на основе хлоридов. Персульфат аммония хуже хлоридных травителей по устойчивости к разложению, зависимости скорости травления от содержания меди в общей полезной емкости растворенной меди. Персульфат аммония также дает большее подтравливание, чем другие травители [18, 19]. В литературе этот травитель описан достаточно полно [19—22].

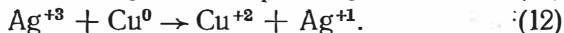
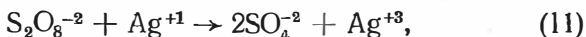
Химия. Реакции, имеющие место при травлении меди в персульфате аммония, происходят ступенчато. Общая реакция имеет экзотермический характер и может быть записана следующим образом:



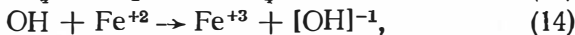
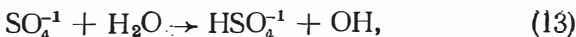
Персульфат аммония (пероксидисульфат диаммония) является сильным окисляющим агентом и неустойчив в водном растворе. Разлагаясь, он образует перекись водорода и кислород:



Эти продукты в свою очередь могут разлагать некоторые ионы аммония, образуя окиси азота. Окисление надсерной кислоты при комнатной температуре протекает медленно, но ускоряется при катализации некоторыми ионами металлов, например Mn^{+3} ; Fe^{+2} ; Cu^{+2} ; Ag^{+1} ; Hg^{+2} , и общий механизм реакции выглядит так:



Однако чаще всего реакция идет сложнее.



Период разложения раствора зависит от примененного катализатора. Скорость реакции зависит как от катализатора, так и от pH раствора. Кроме того, некоторые ионы, как известно, замедляют скорость реакции разложения персульфата (ионы щелочных металлов и галоидные ионы), в то время как органические вещества и кислород ускоряют разложение раствора.

Таблица 6.2

Состав травящих растворов персульфата аммония

Компоненты	Растворы					
	121	221	322	419	519	619
(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ , г/л	240	240	228,2	219	219	219
HgCl ₂ , г/л	0,027	—	0,0068	0,0064	0,0064	—
96%-ная H ₂ SO ₄ , мл/л	—	16,0	—	18,5	—	—
NH и Cl, г/л	—	—	—	—	162	—
NaCl, г/л	—	—	—	—	—	146
Медь, г/л	—	—	—	4,9— 8,1	4,9— 13,5	6,5— 9,9

Свойства и контроль. Составы травителя приведены в табл. 6.2. Раствор 1, применяемый для органических резистов и сплава олово — никель, готовят следующим образом. Всыпать 240 г персульфата аммония на литр деионизированной воды, нагретой до 54° С, при постоянном взбалтывании. Соль растворяется быстро, поглощая тепло (процесс эндотермический). Раствор персульфата аммония довольно устойчив, если хранить его при низких температурах. Из-за образования газа не следует хранить его в герметически закрытых сосудах. Катализатор составляется растворением 8 г хлорной ртути в 1000 мл деионизированной воды. На каждый литр раствора добавляется 1 мл. Если концентрация катализатора будет больше чем 1 мл/л, то на меди или на поверхности покрытия может появиться пленка ртути белого цвета. Стоимость раствора, включая изготовление, может быть равна 0,13—0,17 долл. на 1 л (при концентрации 240 г/л). Для плат, покрытых оловянно-

свинцовым припоем и золотом, рекомендуется травление раствором 2. Применение этого раствора приводит к образованию на поверхности припоя нерастворимого защитного слоя сульфата свинца, который обладает экранирующим эффектом (являясь не растворимым в этой среде). Если количество олова в припое слишком высоко (больше 70%), то при травлении в персульфате аммония остается нерастворимый осадок олова, который возникает по краям рисунка схемы и препятствует дальнейшему травлению. Условия выполнения покрытия резистом должны быть отрегулированы для получения сплава состава 60 Sn — 40 Pb. Для раствора другого состава в качестве травителя может быть использована хромовая кислота. Для поддержания постоянной температуры травления и предупреждения побочных процессов необходимо применение принудительного охлаждения. Для уравнивания скорости травления, количества растворенной меди и скорости разложения раствора температуру можно поддерживать в диапазоне от 24 до 60° С (номинально 46° С).

Пригоден любой метод травления. Для покрытия оловоникелем обычно применяют травление разбрызгиванием раствора. Полезная емкость травителя примерно 55 г/л меди при 38—54° С. Чтобы температура растворов была 54° С (для предупреждения кристаллизации соли), концентрация меди должна быть 35 г/л.

Контроль качества раствора обычно состоит в анализе содержания растворенной меди. Время, необходимое для травления меди данной толщины, зависит от количества растворенной меди. Если объем ванны травителя невелик, то лучше ежедневно заменять весь раствор свежим. Например, можно вылить ванну емкостью 37 л, промыть ее и заполнить водой. На следующее утро включается подогрев и, когда будет достигнута температура 46° С, в воду вводят 9 кг соли. В результате раствор будет иметь концентрацию примерно 20% (весовых).

Проблемы, возникающие при травлении раствором персульфата аммония:

— На плате выкристаллизовываются соли, вызывая неравномерное травление, разрушение защитного слоя и засорение отверстий сопел или фильтров. Когда в растворе становится высоким содержание меди, может выпасть сульфат меди голубого цвета. При повышении концентрации раствора вследствие избыточного испарения воды могут выпадать кристаллы персульфата аммония (белого цвета). Для предотвращения кристаллизации температура

травления должна поддерживаться около 35° С. Установка у выпускного отверстия отстойника фильтров из пластмассы защищает от кристаллизовавшихся солей разбрызгиватели, рабочие детали насоса и т. д.

— Белая пленка на поверхности припоя может возникнуть при слишком высоком содержании свинца в припое. Ее можно устранить мягкой металлической щеткой и промывкой в 20%-ном (по весу) растворе уксусно-кислого аммония или тиомочевиноборофтористоводородной кислоты (см. гл. 5).

— Черная пленка на поверхности припоя возникает в том случае, когда в сплаве высокое количество олова. Удалению пленки помогает окунание в 20%-ный раствор щавелевой кислоты, но обычно необходима обработка щеткой. Отверстия в плате при этом остаются темнее. Если пайку необходимо выполнить сразу после гальванической обработки, то можно произвести химическое лужение в каком-либо из растворов для химического лужения. Однако это является временной мерой, так как главное требование — точный состав припоя 60 Sn — 40 Pb, а химическое лужение нарушает этот состав.

— Самопроизвольное разложение раствора травителя. Если растворы персульфата аммония налиты в установку для травления или резервуары, ранее использованные для хлорного железа или других травителей, то персульфат может катализироваться солями меди и железа и начать самопроизвольно разлагаться. Предотвратить это можно очистив установки растворами кислот, тщательно промыв водой и окончательно обработав раствором персульфата аммония. Растворы персульфата аммония довольно неустойчивы особенно при высоких температурах. Нагрев до температуры около 65° С вызывает быстрое разложение раствора с выделением газообразных соединений азота. Как правило, растворы персульфата аммония должны быть использованы не позже чем через несколько дней после приготовления.

— Слив отработанных растворов. Отработанный травитель состоит главным образом из растворов сульфатов аммония и меди с pH равным двум. Непосредственный слив в сточные трубы практически не производят. Для ликвидации отработанного травителя предлагается несколько методов.

а) Электролитическое осаждение меди на поверхности пассивированной (серии 300) нержавеющей стали. Перед этим использованный травитель подкисляется при помощи H_2SO_4 . После удаления меди, оставшийся раствор можно разбавить и нейтрализовать. Медь может быть снята с катода. Затраты указаны в литературе [21];

б) Добавление алюминиевых или железных токарных стружек к слегка подкисленному раствору значительно сложнее. Присутствие хлористых ионов, если растворы не разбавлены, приведет к протеканию бурной реакции со значительным выделением тепла. Необходимо удаление паров. Оставшаяся грязь из металлического порошка может быть промыта и высушена при комнатной температуре. Распределение металла по большой поверхности уменьшает избыточное образование тепла. Неизбежная в этом случае процедура обработки осадка вручную позволяет рекомендовать другие методы: электроосаждения, рассасывающего колодца или мусоробурающей службы.

6. Хлорная медь

Общие сведения. Для травления меди применяются растворы хлорной меди (CuCl_2) с концентрацией от 1 до 3 мол (135 до 405 г/л), с добавлением HCl , NaCl или NH_4Cl . Типичные рецепты растворов приведены в табл. 6.3. Травление обычно производится при темпера-

Таблица 6.3

Рецепты четырех травящих растворов на основе хлорной меди

Компоненты	Растворы			
	1	2[24]	3[23]	4[23]
$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 37%-ная HCl NaCl_3	1130 г 1,89 л —	200 г/л 150 г/л —	1—3 М До насыще- ния —	1—3 М —
NH_4Cl	—	—	—	До насыще- ния
H_2O	1,89 л	По необхо- димости	По необхо- димости	По необхо- димости

туре 26—38° С. Скорость травления примерно в два раза меньше, чем при травлении в FeCl_3 (при одинаковом содержании растворенной меди). Допустимая концентрация меди примерно 25—30 г/л. Однако в отличие от FeCl_3 ее можно регенерировать простым и экономичным образом. Методы регенерации с описанием протекающих реакций и свойств растворов CuCl_2 даны в работе Шарка и Гарна [2, 3] и других [8, 24]. Травитель на основе CuCl_2 имеет огромные возможности и может получить большое применение в будущем. Соль можно получить в виде кристаллического гидрата $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Она имеет голубовато-зеленый цвет и растворимость в воде 110,4 г/100 мл при 0° С и 192,4 г/100 мл при 100° С. Растворы CuCl_2 составляют с учетом плохой растворимости хлористой меди Cu_2Cl_2 .

Химия. Общая реакция травления имеет следующий вид:

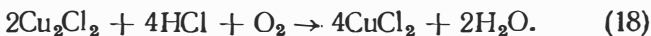


Ионы хлора, добавленные в избытке введением HCl , NaCl или NH_4Cl , служат для растворения плохо растворимой соли Cu_2Cl_2 и, следовательно, поддерживают стабильную

скорость травления. В общем, процесс может быть записан следующим образом:



Травление распылением вызывает окисление воздухом Cu^{+1} до Cu^{+2} , как показано ниже,



Свойства и контроль. Типичные составы травильных растворов на основе хлорной меди даны в табл. 6.3. Относительное время травления в зависимости от содержания

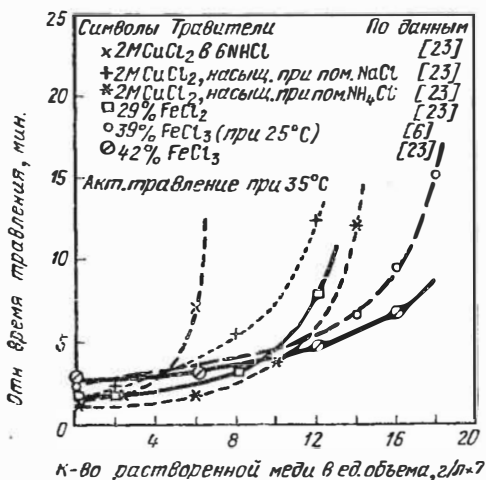


Рис. 6.4. Зависимость длительности травления от концентрации растворенной меди при травлении в растворах FeCl_3 и CuCl_2 с температурой 35°C .

в растворе меди по сравнению с растворами на основе FeCl_3 показано на рис. 6.4.

Растворы по мере увеличения истощаемости можно расположить в следующем порядке: 2M CuCl_2 , насыщенный NH_4Cl , 2M CuCl_2 насыщенный NaCl и 2M CuCl_2 в 6NHCl . В растворах $\text{NH}_4\text{Cl} - \text{CuCl}_2$ при понижении температуры осаждается медный аммиачный хлорид.

Скорость травления уменьшается до $1/3$ от своего первоначального значения, если количество меди достигает 42 г/л .

в растворе $6\text{NH}_4\text{Cl} - \text{CuCl}_2$ и 65 г/л в насыщенных растворах $\text{NaCl} - \text{CuCl}_2$.

Температура и режим перемешивания должны быть стандартизированы для каждой установки и травильного раствора. Время, необходимое для травления данного веса, применяется иногда для определения необходимости замены или регенерации травителя.

Один из методов качественного анализа Cu_2Cl_2 состоит в погружении кусочка меди в раствор травителя примерно на 1 мин , с последующей промывкой его водой, обработкой в щелочном очистителе и еще одной промывкой. В результате появляется пленка соломенно-желтого цвета из нерастворимой гидроокиси меди CuOH . Хотя CuOH и растворима в кислотах, но если концентрация CuOH достаточно высока, то на платах будет оставаться пленка CuOH . Процесс контроля ванн состоит в химическом анализе растворенной меди и количества кислоты. Если вместо меди травятся другие металлы, то процессы анализа значительно усложняются. Окунание в 5% -ный раствор HCl после травления — простой и эффективный способ удаления продуктов травления.

Практика травления. При использовании CuCl_2 может быть применен любой из обычных методов травления: погружение в ванну, с воздушным перемешиванием, распыление или разбрызгивание.

Самыми эффективными из них являются разбрызгивание, распыление и воздушное перемешивание. Это видно из реакции (18), связанной с регенерацией CuCl_2 , частично объясняющей принципы регенерации меди из травильного раствора.

Повышение температуры до определенного предела и воздушное перемешивание ускоряют травление. Дальнейшее повышение температуры вызывают образование паров травителей типа HCl , которые воздействуют на некоторые резисты.

Травильные растворы на основе CuCl_2 не следует применять для плат, покрытых сплавом олово — свинец; сплав олово — никель обычно сопротивляется раствору хлорной меди, и может иметь место лишь точечное разрушение. Потемневшие поверхности проводников можно осветлить обработкой металлическими щетками.

Необходимо проводить основательную промывку после травления. Рекомендуется обработать плату в 5% -ном (по объему) растворе HCl и потом тщательно промыть водой.

Ванны и трубопроводы для травителей обычно изготавливают из поливинилхлорида или других химически стойких пластмасс. Можно применять фаянс и стекло, но они хрупки и поэтому недолговечны.

На производственных линиях с ваннами из пластмассы должны быть размещены приборы для регулирования температуры, предупреждения перегрева и опасности воспламенения. Обычно применяются кварцевые нагреватели, погружаемые в раствор.

Очень подходят титановые детали для насосов, нагревателей, кассет и т. д. Нержавеющую сталь применять не следует. Детали, которые непосредственно не соприкасаются с травильным раствором, могут быть изготовлены из монель-металла.

Трудности, возникающие при травлении в хлорной меди.

1. Низкая скорость травления объясняется низкой температурой, недостаточным перемешиванием или несоответствием химического состава травильного раствора заданному. Если температура и режим перемешивания отвечают техническим требованиям, увеличить время травления можно уменьшив количество ионов меди. Для сокращения времени травления необходимо откорректировать травильный раствор.

2. Разрушение фоторезистов может происходить при избыточном количестве кислоты в растворе особенно при повышенных температурах. Корректировку производят либо нейтрализацией излишков кислоты введением NaOH, либо разбавлением раствора водой. Если количество кислоты и характеристики фоторезиста были предварительно учтены, причиной разрушения фоторезиста может быть неудовлетворительная обработка подложки перед покрытием ее резистом, а также недостаточное время экспозиции или недостаточно горячая сушка фоторезиста.

3. Осадок желтого цвета на медной поверхности. Обычно это гидроксид меди. Она нерастворима в воде и остается в виде осадка после травления плат и обработки щелочью. Раствор, в котором промывают плату перед окончательной промывкой, должен иметь кислую реакцию. Может образоваться осадок белого цвета. Вероятно, это хлористая медь, которая остается после травления и имеет недостаток количества ионов хлора и кислоты. Промывка 5%-ным раствором HCl перед окончательной промывкой водой удаляет этот осадок.

4. Слив отработанных растворов. Слив использованного травильного раствора тоже представляет проблему, как и в случае применения хлорного железа. Хотя непосредственное устройство отстойника не осложняется образованием нерастворимых гидроксидов, как в случае применения хлорного железа, раствор токсичен из-за присутствия ионов меди. Проблемой является также коррозия сливных систем. Медь может быть извлечена из отработанного раствора электролизом [23] или химическим замещением

металлом с более высоким потенциалом, чем у меди. Для этого пригодна алюминиевая или чугунная стружка из механических цехов.

Регенерация. Регенерация меди из травильных растворов на основе хлорной меди возможна несколькими методами.

1. Обработка окисляющим агентом. Как показано в реакции (18), химическую регенерацию можно проводить, воздействуя на отработанный раствор кислородом или подобными активными окислителями, например перекисью водорода или гидрохлоритом натрия [8].

Процессы окисления отражены реакциями



Перекись водорода вводят медленно. Затем раствор энергично перемешивают. При этом необходима хорошая вентиляция для удаления паров соляной кислоты. На каждый грамм растворенной меди необходимо 1,75 мл 30%-ной перекиси водорода или 14 мл 5%-ного гидрохлорита натрия.

Обычно половину раствора отливают, добавляют достаточное количество кислоты, затем при тщательном перемешивании медленно добавляют необходимое количество окисляющего агента, после чего раствор доливают до полного объема, добавляя окисляющий агент по необходимости.

2. Замена раствора. Блэк и Култер [24] показали, что в принципе для регенерации раствора хлорной меди может быть применена реакция (18). Они применяли 100 л травящего раствора 2 (табл. 6.3) при 38° С для травления в установке с разбрызгиванием. После травления десяти плат размером 45 × 45 см с медной фольгой толщиной 35 мк они заменяли (с помощью дозирочного насоса) 3 л примененного травильного раствора 2 л соляной кислоты (37%) и одним литром воды.

Замена раствора выполняется при содержании в травильном растворе небольшого количества меди, меньше 30 г/л.

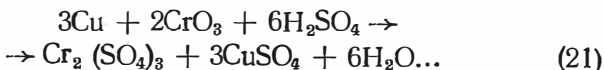
3. Электролитическая регенерация. Электрохимическое восстановление меди из травильного раствора на основе хлорной меди по реакции (16), по мнению многих, является наиболее эффективным и экономичным методом регенерации. Системы регенерации и их экономическое сравнение рассмотрены Шарпом и Гарном [23]. Для проведения в большом масштабе электролитической регенерации необходимы большие капиталовложения на оборудование и затраты на материалы и электроэнергию.

7. Хромовосерная кислота

Общие сведения. Раствор смеси хромовой и серной кислот является предпочтительным травителем для плат, покрытых сплавом олово — свинец. Хотя эти растворы являются сильными окислителями, на слой припоя они не оказывают

влияния из-за образования нерастворимой пленки сульфата свинца. Этот травитель имеет несколько недостатков: скорость травления значительно ниже, чем при применении других травителей; ванна истощается при накоплении примерно 35 г/л растворенной меди *).

Реакцию травления меди в смеси хромовой и серной кислот можно записать в следующем виде:



В продажу хромовая кислота поступает в кристаллическом виде. Ее стоимость выше стоимости хлорной меди, хлорного железа и персульфата аммония. Можно приобрести специальные готовые травители для работы с печатными платами, покрытыми припоем.

Существуют рецепты травителей не только для плат с припоем, но также и для плат, покрытых сплавом олово — никель. Когда в качестве резиста используют золото, сеткографические лаки на основе винила и фоторезисты, можно использовать травильный раствор на основе хромовой кислоты. Однако при высоких концентрациях и температурах травитель агрессивен по отношению к фоторезистам.

Было установлено, что смесь хромовой и серной кислот является хорошим травителем для фоторезистивного травления слоев кобальта. Травление кобальтовой фольги толщиной 100 мкм смесью хромовой и серной кислот при 38° С способом разбрызгивания дает почти совершенно гладкие стенки с малым подтравливанием или совсем без подтравливания.

Свойства и контроль. Рецепты травителей с хромовой кислотой приведены в табл. 6.4. Повышение температуры

Таблица 6.4

Состав травящих растворов хромовосерной кислоты

Компоненты	Растворы	
	1 [22]	2 [11]
CrO ₃ , г/л	240	480
Na ₂ SO ₄ , г/л	40,5	—
96%-ная H ₂ SO ₄ , г/л	180	31
Медь, г/л	—	4,9

*) Как правило, травители допускают более высокое содержание меди. (Прим. автора).

и перемешивание значительно увеличивают скорость травления. Причем если перемешивание осуществляется прокачиванием воздуха, то скорость травления значительно меньше по сравнению с травлением при перемешивании с помощью вибрации или по сравнению с травлением распылением и разбрызгиванием. Кроме того, при прокачивании воздуха образуется токсичный туман и летят брызги. Пары травителя предельно агрессивны и приводят к выходу из строя оборудования в результате коррозии. Для предотвращения этого в некоторые рецепты введены противотуманные добавки. Для удержания тумана над поверхностью травителя в резервуарах для травления на практике можно использовать засыпку в ванну плавучей пластмассовой крошки. В этом травильном растворе или его парах разрушаются резиновые шланги, перчатки и электроизоляционные материалы.

Для регулирования плотности раствора применяется гидрометр. Плотность раствора необходимо поддерживать на уровне 30° Боме при 20° С и 28° Боме при 26° С. Для понижения плотности используют воду. Для определения количества растворенной меди применяются колориметрические стандарты, составленные добавлением определенных количеств меди к свежему раствору с концентрацией 30° Боме.

Трудности, возникающие при травлении

Действие на припой. Защитные свойства припоя определяются образованием на его поверхности нерастворимых веществ. Если содержание сульфата в ванне становится очень низким, то травильный раствор может начать воздействовать на припой. Такое же действие может вызвать присутствие ионов хлора в растворе в результате избытка кислоты или при использовании воды с очень высоким содержанием хлоридов. Трубопроводы, подающие деионизированную воду, необходимо периодически промывать хлористым раствором для устранения появившихся водорослей и других организмов, которые быстро растворяются в этой воде. Если промывочный раствор впоследствии вымывается неполностью, это может быть источником загрязнения других растворов хлористыми ионами. Причиной разрушения может быть также состав припоя; если содержание свинца слишком низкое, то пленка сульфата получается тоньше и теряет защитные свойства. Причиной разрушения защитного слоя припоя может быть также избыточное количество катализатора.

— Медь травится медленно или совсем не травится. Это вызвано низким содержанием хрома (высокая или низкая плотность раствора в °Боме), низкой температурой, недостаточным количеством кислоты или высоким содержанием растворимой меди (около 40 г/л).

Плотность раствора необходимо поддерживать по возможности ближе к 30° Боме, и рН примерно 0,1 при температуре 26—32° С. Когда количество меди превысит 40 г/л, раствор следует заменить.

— *Загрязнение диэлектрика.* Диэлектрики типа гетинаксов на фенольных смолах иногда разрушаются хромовой кислотой. Удаление разрушенного слоя представляет определенную трудность, и такие платы обычно бракуют.

— *Слив отработанных растворов.* Канализация использованных растворов на основе хромовой кислоты представляет серьезную проблему. Ионы хрома, так же как и ионы меди, вредны для растений при попадании их в сточные воды. Самым безопасным способом слива является использование для этих целей кладбища или свалки.

— *Техника безопасности.* Хромовая кислота является очень сильным окисляющим агентом. Она разрушающе действует на одежду, пластмассы и многие металлы. Техника безопасности состоит в обеспечении хорошей вентиляции для удаления паров из помещения, использовании перчаток, защищающих руки от кислоты, фартуков и масок для лица и глаз и хранение растворов вдали от воспламеняющихся материалов. Воспаление кожи, раздражение слизистой оболочки носа являются обычными болезнями людей, работающих с хромом. Некоторые изготовители рекомендуют защитные перчатки, обувь и фартуки изготовлять из синтетической резины, например неопренового каучука, а не из натуральной резины, на которую хромовая кислота может оказывать разрушающее воздействие.

8. Другие травильные растворы

Выявляя проблемы, возникающие при работе с известными в настоящее время травителями, Миллер и Шлабах предложили использовать травильный раствор на основе хлората натрия, который сохраняет работоспособность при содержании растворенной меди 300 г/л и относительно постоянную скорость травления в течение срока действия ванны. Были разработаны два рабочих режима: контроль добавлением HCl по сигналу, получаемому от электронной пары Pt — Ag, и простое травление без добавок, которое возможно с сохранением скорости травления до содержания в растворе 300 г/л меди. О рабочих температурах эти авторы ничего не сообщают. Осадок меди, остающийся в растворе, удаляют фильтрованием. При работе с травителем необходимо соблюдать осторожность, так как хлорат натрия очень взрывоопасен, особенно в присутствии органических веществ (например, при использовании скребков для снятия резиста).

Медь и ее сплавы можно травить и в других травящих веществах, например в HNO_3 , $\text{NaCN} \cdot \text{H}_2\text{O}_2$, растворах на базе NH_4OH . Другие металлы травятся целым рядом

специальных травящих веществ и другими методами, сведения о которых имеются в литературе. Некоторые из этих процессов травления описаны в следующих разделах.

Для получения дополнительных сведений о травлении читатель должен обратиться к литературе [26—27].

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ И ИХ ОБРАБОТКА

Самыми обычными материалами для изготовления печатных плат являются диэлектрики, к которым адгезивно приклеен металл, имеющий высокую электропроводность. В качестве подложки в большинстве случаев применяют органические диэлектрики, хотя известно, что в микроэлектронике существенную роль играют керамические подложки.

Самым обычным металлом, применяемым для фольгирования диэлектриков, является медь. Однако необходимость повышения рабочих температур аппаратуры и использование при сборке сварки привели к применению других металлов. К ним можно отнести: алюминий, сплавы Ni — Co — Fe и подобные сплавы, сплавы на базе никеля, чистый никель, нержавеющую сталь и др.

9. Термопластичные пластмассы

Благодаря своей универсальности синтетические органические полимеры применяются в качестве диэлектриков для печатных плат. Внесение армирующих материалов и наполнителей в полимеры еще больше расширяет возможности последних.

В этом разделе будут описаны свойства подложек на органической основе, определяющие их химическую стойкость и устойчивость по отношению к растворителям. Несмотря на то, что существует опасность порчи органических диэлектриков химическими растворами и растворителями, многочисленные испытания и производственный опыт доказали возможность изготовления высоконадежных и электропрочных систем на базе диэлектриков типа эпоксидная смола — стеклоткань, фольгированных медью.

Тип подложки может определять выбор травителя и условия травления. Более температуроустойчивыми являются

эпоксидные и другие терморезистивные пластики, а также керамика и стекло, при условии ограничения времени нахождения в травильном растворе.

Если слой металлизации не полностью покрывает диэлектрик, то следует избегать применения органических растворителей и длительного нахождения платы в кислотных и щелочных растворах. Применение горячих растворов приводит к размягчению, деформированию термопластических материалов, например, акрилов, винилов, целлюлозы, стиролов, полиэтилена, ацетилов, полиэфиров, поликарбонатов и хлорированных полиэфиров.

Кроме того, некоторые химические растворы могут воздействовать на адгезивы, с помощью которых приклеивается к диэлектрику медная фольга, вызывая их размягчение, разрыхление и даже полное разрушение.

Если металл отслаивается от подложки при подготовке или в процессе травления, то необходимо проконсультироваться по этому вопросу с изготовителем данного материала.

Степень химической стойкости подложки ограничивает возможности применения травильных и других растворов. Химическая стойкость материалов является переменной величиной даже для специальных материалов (например, эпоксидных стеклотекстолитов), поскольку состав диэлектрика изменяется от изготовителя к изготовителю. Однако существуют типовые значения химической стойкости, которые можно использовать для руководства.

В этом разделе материалы не сравниваются по другим свойствам, например по прочности сцепления, наполнителям, армирующим материалам и химическим свойствам. Эти сведения и сведения о керамических материалах имеются в другой литературе. Выбор материалов обсуждается в других разделах этой книги.

ABS (акрилонитрил — бутадиен стирол). Термопластики этого типа в большом количестве применяют для литья деталей пишущих машинок, корпусов моторов, крышек для приборов и многих других деталей. Они имеют особое значение, так как дают очень гладкие беспористые поверхности, легко металлизированные химическим способом (в основном никелем), причем металлизация может быть использована в качестве или окончательного покрытия, или токопроводящего слоя для последующего наращивания в гальванической ванне.

Сила сцепления металлов с поверхностью этих материалов равна, а часто и превосходит силу сцепления, получаемую адгезивным приклеиванием металла (фольгированием). Физические и электрические свойства делают ABS наиболее пригодными для использования их в качестве подложек печатных плат. Например, из них могут быть изготовлены приборные панели для автомобилей, имеющие на обратной стороне печатную схему, которая значительно упрощает монтаж. ABS-пластики имеют относительно хорошую химическую стойкость. Вода, неорганические соли, щелочи и неокисляющие кислоты не оказывают на них почти никакого воздействия. Эти пластики растворяются в эфирах, кетонах, альдегидах и в некоторых хлорированных углеводородах. Они нерастворимы в большинстве спиртов и углеводородных растворителях, хотя в некоторых из них при длительном воздействии пластики могут вспучиваться и размягчаться. ABS-пластики под действием некоторых химикатов, например уксусной кислоты, растрескиваются. Спирты и масла не оказывают влияния на детали, не имеющие трещин. На основании сказанного можно заметить, что следует отдавать предпочтение позитивным фоторезистам, проявляемым и растворяемым в щелочных растворах. Негативные фоторезисты, для которых необходимо проявление в кислоте или трихлорэтилене, применять не следует, так как они требуют некоторых растворителей на основе кетоновых соединений, оказывающих вредное действие на эти пластмассы. Проблема особенно усложняется, если пластиковое основание облегчают просверливанием отверстий. Травители на основе хлорного железа и персульфата аммония не вредны для ABS-пластиков. Смесь хромовой и серной кислот и другие окисляющие травящие вещества, например азотную кислоту, применять нельзя.

Ацетиловые термопластики. Используются там, где необходимо уменьшение веса в сочетании со стабильностью размеров, простотой изготовления, устойчивостью к коррозии, малым влагопоглощением, устойчивостью к истиранию, уменьшением шума, стойкостью против старения и другими свойствами при приемлемой стоимости. Эти термопластики обладают отличными диэлектрическими свойствами, которые в соединении с присущими им механическими свойствами делают их весьма пригодными для электротехнических целей, особенно там, где необходимы высокая прочность и термостойкость (от 80° С в течение длительного

периода до 150° С кратковременно). Типичным является применение их для вращающихся переключателей и электрических пружинных контактов.

Химическая стойкость ацетиловых пластиков относительно спиртов, альдегидов, сложных эфиров, эфиров, гликолей, нефтяных углеводородов (газолин, смазочное масло и т. д.) достаточно высока. При длительном воздействии ацетиловые пластики склонны к поглощению некоторых из перечисленных веществ.

Сильные кислоты, особенно действующие как окислители, при повышении температуры разрушают эти смолы. Сильные основания могут воздействовать на отдельные компоненты смолы, а не на сополимер, который обычно поступает в продажу.

Растворители для фоторезистов необходимо применять очень осторожно. Для непосредственного печатания рисунка методом сеткографии можно применять ацетилы, которые исключают использование кетонов или других агрессивных растворителей. Персульфат аммония, хлорное железо и хлорная медь при комнатной температуре пригодны для травления меди на этом диэлектрике. Если часть платы, например, внутри отверстий, не покрыта металлом, то более всего подходит травитель на основе персульфата аммония.

Ацетилы могут быть металлизированы медью и проходить обработку в гальванической ванне. При этом допускается предварительная обработка поверхности (декапирование) в сильных кислотах. Благодаря стабильности размеров деталей из этого материала можно применять металлические покрытия, обладающие большой хрупкостью, например хром и сплав олово — никель.

Акриловые термопластики. Получают из мономеров метилметакрилата. В продажу поступают в виде обычных формовочных порошков, литых пластин, формовочных порошков для ударопрочных деталей и полированных листов (например, люцит и плексиглас).

Литые пластины могут быть использованы для специальных печатных схем, если необходимо иметь прозрачную подложку. Обычными примерами являются электрические и механические индикаторы. Из них могут быть сделаны литые детали для автомобилей, например задние фонари, циферблаты и пульта управления с включением печатных схем, полученных приклеиванием, избирательной металлизацией или травлением. Рабочая температура не больше 90° С.

Сцепление с металлическим слоем значительно повышается после травления поверхности окисляющими кислотами или обработки тонким абразивом.

Если температуру поддерживать ниже температуры деформации, материал сохраняет хорошую химическую стойкость. Из этого материала могут быть изготовлены приспособления для крепления печатных плат в травильной ванне на основе хлоридов железа и меди или персульфата аммония. Концентрированные растворы смеси хромовой и серной кислот разрушают акриловые смолы. Концентрированная азотная кислота, одна или в смеси с концентрированной серной или соляной кислотами, растворяет эти материалы, в то время как обычные щелочи, мыла, нефтяные масла, растворы солей и разбавленные кислоты на них никак не действуют.

Хлороформ, дихлордиэтан, трихлорэтилен, бензол и другие хлорированные или ароматические соединения для акриловых смол являются растворителями и фактически используются для травления и склеивания этих смол. Применяя эти материалы, растворители для резисторов необходимо предварительно проверять. Многие из них разрушающе действуют на акриловые смолы. Краски или виниловые резисты можно наносить непосредственно на поверхность и удалять нефтяными растворителями, не оказывая вредного влияния на диэлектрик.

Целлюлоза. Имеются в виду термопластики, получаемые из разного сырья, например из очищенного хлопкового волокна и древесной целлюлозы. Самыми известными из этой группы материалов являются нитроцеллюлоза, ацетатная целлюлоза, бутират-ацетатная целлюлоза, пропионат-целлюлоза и этилцеллюлоза. Каждый из этих материалов имеет свои особенности.

Нитроцеллюлоза. Вероятно, является самым старым пластиком, изготовленным человеком. Она была предшественником многих пластиков, существующих в настоящее время. Недостатками нитроцеллюлозы являются ее склонность к воспламенению и взрыву.

Старение приводит к пожелтению; под действием света и атмосферы нитроцеллюлоза становится хрупкой и растрескивается. Кетоны, хлорированные углеводороды и многие другие растворители растворяют ее. Сильные кислоты, например азотная и серная, также быстро разрушают нитроцеллюлозу.

Ацетатная целлюлоза. Этот термопластик во многих случаях заменил нитроцеллюлозу. Он пригоден для литья и удовлетворяет требованиям по жесткости, прочности, прозрачности либо в бесцветном, либо в цветном исполнении, кроме того, имеет высокую ударопрочность и цветоустойчивость. Ацетат-целлюлоза способна к самогашению и влагоустойчива при введении специальных добавок так называемых ингибиторов.

Температурный диапазон постоянной эксплуатации — $30 \div +80^{\circ}\text{C}$. Этот материал из-за низкой стоимости используют для корпусов микрофонов, каркасов для катушек и других электрических и электронных деталей. Электрические и физические свойства ацетатной целлюлозы вполне удовлетворительны. Очень тонкие пленки из нее можно использовать для изготовления телеграфной ленты или электрической изоляции. Во избежание выделения летучих компонентов, которые вызывают вздутия в металлическом покрытии или его отслаивание, перед металлизацией на поверхность наносится твердое покрытие на лаковой основе.

Химическая стойкость ацетатной целлюлозы по отношению к углеводородам, высокомолекулярным спиртам и разбавленным кислотам очень хорошая. На нее оказывают воздействие и даже могут растворить следующие вещества: метиловый и этиловый спирты, кетоны, сложные эфиры и хлорированные углеводороды, например хлористый этилен. Сильные окисляющие кислоты и щелочи также действуют на нее. Можно применять хлорное железо, хлорид меди и персульфат аммония, но только при комнатной температуре.

Этот материал применялся в качестве временной подложки для печатных и механически отформованных схем, которые после гальванической обработки не нуждаются в подложке и последнюю после изготовления платы растворяют и вымывают соответствующими растворителями.

Бутират — ацетатная целлюлоза. Этот термопластик получают обработкой целлюлозного волокна уксусной и масляной кислотами. Материал может быть использован для литья под давлением или вакуумной формовки (при размягчении материала нагревом). Детали из него можно также получать методом «центробежного литья». Благодаря высокой температуре испарения пластификаторов этот тип целлюлозы меньше расположен к растрескиванию. Это позволя-

ляет проводить непосредственную металлизацию поверхности без предварительного покрытия ее лаком. На бутирате может быть выполнено селективное гальваническое покрытие, т. е. его можно использовать в качестве основной подложки. Иногда бутират применяется в качестве временной подложки, на которой формируется схема. Затем может быть присоединен постоянный изолятор. Во многих случаях в качестве основной подложки используют постоянный внешний кожух или покрытие на основе эпоксидных или полиэфирных смол. Затем слой бутират-ацетатной целлюлозы полностью вымывают органическими растворителями. На различных стадиях такого процесса изготовления может быть использовано травление.

Материал устойчив к растворам хлорного железа, хлорной меди и персульфата аммония. Он также устойчив к азотной, уксусной, соляной кислотам (10% по объему) и серной кислоте с концентрацией 3—5% (объемных).

Сильные щелочи (едкий натрий, едкий калий) с концентрацией до 10% (весовых) оказывают разрушающее действие на бутират-ацетатную целлюлозу. Концентрации ниже 5% могут быть применены, но кратковременно, причем это время зависит от температуры растворов. Обычные солерастворители, бензин и вода не оказывают никакого влияния. Этиловый спирт, четыреххлористый углерод и толуол вызывают вспучивание, а ацетон, хлористый этилен, метилацетат, хлороформ и многие другие органические растворители полностью растворяют этот пластик.

Пропионатная целлюлоза. Этот термопластик представляет интерес из-за его твердости, жесткости, стабильности размеров и устойчивости к внешним воздействиям. Он сохраняет хорошую поверхность при изменении, например, для изготовления кнопок, корпусов радиоаппаратуры и телефонных аппаратов, рулевых колес автомобилей, электрических розеток, переключателей и других деталей, конструкция которых требует жесткости.

Химическая стойкость материала вполне удовлетворительна. Этот тип целлюлозы стоек при комнатной температуре в растворах хлорного железа, хлорной меди и персульфата аммония. Он устойчив также по отношению к алифатическим органическим растворителям (алканы), многоатомным спиртам, нефтяным растворителям, к обычным кислотам и щелочам. Сильные кислоты и щелочи оказывают на этот материал вредное воздействие. Повышенная темпе-

ратура ускоряет разрушение. Спирты с низким молекулярным весом, кетоны, эфиры и некоторые хлорированные углеводороды, а также растворители для снятия фоторезиста и лаков будут вызывать растворение пластика этого типа.

Этилцеллюлоза. Этот термопластик применяется там, где необходима ударная прочность в сочетании с воздействием температур (длительное воздействие $-45 \div +90^\circ \text{C}$). В промышленности применяется для изготовления шестерен, корпусов радиоприемников, электрических дворников для автомобилей, фотовспышек и выключателей для холодильников. Имеет великолепную стабильность размеров. Может быть использован для выполнения печатных соединений к релейным переключателям.

Продолжительное воздействие слабых кислот или непродолжительное воздействие сильных кислот приводит к полному разрушению материала. Разбавленные щелочи не оказывают никакого действия (за исключением случая длительного контакта при высокой температуре). Сильные щелочи аналогично действуют при длительном контакте. Органические растворители типа дихлорэтилена, трихлорэтилена, бензоловый спирт и многие другие органические растворители для снятия фоторезистов растворяют этилцеллюлозу. Сильные щелочи, используемые для проявления позитивных фоторезистов, можно применять только кратковременно (если они имеют контакт с неизолированным пластиком). Хлорное железо (с низким содержанием соляной кислоты), персульфат аммония и хлорная медь (также с низким содержанием соляной кислоты) могут быть без всяких опасений использованы при комнатной температуре.

Хлорированный полиэфир. Эта группа термопластиков пригодна для применения в коррозионных средах при повышенных температурах. Все они обладают химической стойкостью к органическим и неорганическим кислотам. Исключение составляют дымящиеся азотная и серная кислоты. Полиэфирные смолы находят применение для изготовления трубопроводов, насосов, измерительных приборов и для покрытия резервуаров. Важным преимуществом данного материала является сочетание высокой стойкости к истиранию с малым по сравнению с некорродирующими металлами весом. Для изготовления деталей из полиэфирных смол можно применять литье под давлением и экструдирование. Нанесение жидкой смолы дает плотное беспористое покрытие.

тие. Для такого нанесения можно использовать распылители, предназначенные для работы с жидкостями, имеющими такую же, как полиэфирные смолы, текучесть. После нанесения покрытие подвергают термообработке, оплавляя при температуре 220—260° С, в результате чего ликвидируются все, даже микроскопические, поры. В упрощенном варианте возможно использование водных суспензий. На нагретую металлическую поверхность полиэфирные смолы можно наносить так называемым методом кипящего слоя. Детали из полиэфирных смол можно легко сваривать струей горячего воздуха (145° С). Эти смолы совершенно нечувствительны к сильным кислотам и щелочам (за исключением кислот, обладающих сильными окислительными свойствами) и большинству органических растворителей. При использовании плат из полиэфирных пластиков можно применять травители любого типа. Полиэфирные смолы рекомендуется использовать для выполнения покрытий на печатных платах и других деталях, получаемых травлением, если они используются в сильно агрессивных средах.

Полиамиды (нейлон). Эти термопластики поступают в продажу в виде двух основных компаундов, обозначаемых марками 6/6 и 6/10. Некоторые амины самоконденсируются, образуя нейлоны, обозначаемые одиночными числами в соответствии с числом атомов углерода в первоначальной аминокислоте. Типичными примерами являются нейлоны 6 и 11. Эти материалы имеют очень большую твердость. Они используются там, где необходимо сочетание механических и прочностных свойств с низким коэффициентом трения, большой износостойкостью, хорошей коррозионной стойкостью и отличными электрическими свойствами. Нейлон типа 6/6 широко используется для отливки электрических штепсельных вилок, для изготовления корпусов электродрелей. Этот тип нейлона может быть использован при необходимости при температурах от 130° до 150° С, тогда как тип 6 может быть использован только при температурах от 80° до 95° С. Стекло и другие наполнители делают этот материал еще более термостойким.

Все известные на период написания книги нейлоны поглощают влагу. При оценке механических и электрических свойств необходимо учитывать атмосферные условия. Нейлоны обычно используются в печатных переключателях и других печатных платах со скользящими контактами. В электротехнической промышленности нейлоны используются в основном для изоляции при изготовлении электрических кабелей. В будущем этот материал, возможно, будет применяться для изоляции печатных схем.

Поликарбонат. Термопластики этого типа обладают высокими противоударными свойствами и температурной стойкостью. Испытания на удар при температурах от 0 до 100° С показали хорошие результаты. При температурах в диапазоне —13 ÷ —55° С поликарбонаты становятся хрупкими (ломкими), хотя сопротивление удару все еще достаточно велико. Температурная стойкость позволяет использовать эти материалы при температурах до 120° С без наполнителей и 150° С при хорошем армировании стеклом. Электроизоляционные свойства материала весьма стабильны в широком диапазоне значений температуры и влажности. Он применяется для изготовления электрических разъемов в электронных устройствах, рабочих колес насосов, оптических линз. При армировании стеклом поликарбонаты могут заменять металл. Их можно прессовать, штамповать, подвергать термической обработке при сохранении жестких допусков на размеры. Широко используется также холодная штамповка, но в этом случае надо учитывать упругую деформацию материала после штамповки. Применимы также воздушно-термическая сварка, растворители и клеи. Для нанесения металлических покрытий можно использовать вакуумное напыление. Методы химической металлизации, например, путем восстановления меди, неприменимы.

Отличные электрические свойства в сочетании с прочностью, легкостью обработки, химической стойкостью и оптической прозрачностью могут быть использованы для изготовления специальных печатных схем.

Химическая стойкость позволяет использовать этот материал в воде, в солевых растворах, в углеводородах алифатического ряда (соединения с открытой цепью), в высших спиртах, растительных маслах и жирах. Растворители типа четыреххлористого углерода, ацетона, толуола и этилацетата вызывают вспучивание и трещины. Для полного растворения поликарбоната могут быть использованы хлористый метилен и хлорбензол. Органические растворители, применяемые для удаления резистов, как правило, воздействуют на этот материал и могут растворять его. Сильные щелочи при длительном воздействии вызывают гидролиз и разрушение. Могут быть использованы некоторые позитивные фоторезисты, если для их снятия применять разбавленные щелочи. Разбавленные кислоты не влияют на них, хотя сильные кислоты постепенно разрушают этот материал.

Для травления можно использовать хлорное железо, хлорную медь, персульфат аммония, смесь хромовой и серной кислот (кратковременно и без нагрева) и другие кислотные и разбавленные щелочные растворы.

Полиэтилены. Эти термопластики имеют малый удельный вес и при низких температурах достаточную прочность и химическую стойкость. Диапазон рабочих температур от 230° до 120° С. При повышении температуры может происходить смолообразование. Температура плавления лежит в пределах 130° С.

Химической стойкостью к сильным кислотам (за исключением сильных окислителей, типа азотной кислоты), щелочам и большинству органических растворителей полиэтилен обладает только при комнатной температуре. При температурах свыше 60° С на него разрушающе воздействуют хлорированные углеводороды и другие ароматические соединения типа бензола и ксилола. В технологии полиэтилена применяется сварка. Для изготовления бачков и бутылок используется формовка дутьем. Полиэтилены химически стойки в растворах любых травителей при обычно применяемых температурах и режимах. Предпочтение отдают обычно хлорному железу или персульфату аммония. Трубки и детали трубопроводов из полиэтилена поступают в продажу. Продается также полиэтилен, металлизированный медью, который применяется для микроволновых устройств. Прочность сцепления с металлом, хотя гораздо ниже, чем для других материалов, но все же вполне достаточна для практического использования. Особое внимание следует обратить на исключение чрезмерного перегрева во время пайки.

Полипропилены. Эти термопластики обладают свойствами, ставящими их между вышеперечисленными термопластиками, за исключением особых ограничений на диапазон рабочих температур. Они сравнительно дешевы и могут быть использованы в серийном производстве для литья под давлением, прессования и автоматической механической обработки. Модифицированные смолы пригодны для продолжительного использования без механических нагрузок при температурах вплоть до 160° С. Ударная прочность при низких температурах мала.³⁹ Полипропилены имеют хорошие электрические свойства. Диэлектрическая прочность для кратковременных воздействий увеличивается с температурой.

Эти материалы имеют хорошую химическую стойкость. Растворы неорганических солей, обычные кислоты и щелочи не разрушают этот термопластик даже при нагревании, но сильные окислители, такие как дымящая азотная кислота, растворяют его. В настоящее время нет растворителей, которые растворяли бы эти смолы при комнатной температуре. Хлорированные углеводороды, например трихлорэтилен и ароматические (циклической структуры) органические растворители, приводят только к размягчению смолы и вызывают вспучивание и набухание.

Использование полипропиленов для подложек печатных схем ограничено. Способность многократно противостоять термообработке при стерилизации позволяет специализировать использование таких материалов для медицинской электроники.

Облученные полиолефины. Модифицированные полиолефины большой плотности, представляющие собой диэлектрики с малыми потерями (облученные), находят широкое применение в виде металлизированных листов для микроволновых полосковых систем. В продаже имеется листовой материал как без покрытий, так и с медным и алюминиевым покрытием.

Диэлектрические свойства материала определяются диэлектрической прочностью в 20 *в/мкм*, поверхностным удельным сопротивлением в 10^{12} *ом* и объемным удельным сопротивлением 10^{16} *ом*. Химическая стойкость материала по отношению к разбавленным кислотам и всем щелочным растворам довольно хорошая. Окисляющие вещества постепенно разрушают его. Устойчивость в органических растворителях ограничивается температурами не выше 32° С.

Фоторезисты на полиолефиновых подложках применяют без сушки в печи или даже нагрева свыше 32° С. Травление рекомендуется проводить в хлорном железе при температуре 20° С. Необходимо избегать перегрева диэлектрика выше 32° С. Перегрев свыше 32° С может вызвать коробление и вспучивание. Содержание меди в растворе для травления не должно превышать 15 *г/л*.

Гальванические процессы следует проводить при комнатной температуре. Температур выше 32° С необходимо избегать. Для удаления фоторезиста предпочтение следует отдавать растворителям типа МЭК (метил — этил — кетон), ацетону или низкокипящим кетоновым растворителям. Еще раз напоминаем — нагрев не допускается.

Термопластичный полистирол. Может быть получен с широкой гаммой свойств в зависимости от изменения структуры смолы или от наличия добавок, таких как каучук или метилметакрилат. Каучук придает полистиролу повышенную ударную вязкость, добавка акрилонитрила повышает химическую стойкость полистирола. Полистирол бесцветен, легко обрабатывается, дешев, имеет хорошие электроизоляционные свойства и высокую размерную стабильность. Он покрывается трещинами под действием большинства растворителей. Полистирол желтеет и делается хрупким под действием ультрафиолетового облучения.

Превосходные электроизоляционные свойства объясняют широкое применение полистирола в качестве катушек индуктивности, конденсаторов, кабелей и других изделий. Применение полистирола ограничивается невозможностью продолжительной эксплуатации при температуре от 60 до 80° С низкой точкой размягчения (85° С) и хрупкостью (кроме ударопрочных полистиролов).

Полистирол химически стоек к воздействию воды, низкомолекулярных спиртов, кислот, щелочей, высококипящих минеральных масел и специальных моющих растворов.

Ацетон и алифатические углеводороды (гептан и другие) вызывают глубокое растрескивание поверхности деталей из полистирола и могут привести к их полному разрушению. Полистирол растворяется в хлорированных (например в ТХЭ) и в ароматических (например в бензине) углеводородах. Средства для снятия фоторезистов могут растворить полистирол или вызвать его растрескивание.

Обычные травители при комнатной температуре не оказывают на полистирол воздействия.

Низкая стоимость и легкая обрабатываемость полистирола в сочетании с его прекрасными электроизоляционными свойствами позволяют рекомендовать его (в особенности ударопрочные полистиролы) для изготовления специальных печатных схем.

Винилы. Термопластичный поливинилхлорид и сополимеры винила могут существовать в виде неметаллического отделочного покрытия, в виде отливок, литьевого порошка, листов и в других формах. Способы получения и наполнители определяют широкую гамму свойств винилов, от гибких до твердых. Самый распространенный представитель этой группы материалов поливинилхлорид (ПВХ). Его максимальная рабочая температура 80° С, и поэтому

как материал для печатных плат ПВХ находит ограниченное применение.

Химическая стойкость ПВХ по отношению к агрессивным средам определила его широкое использование именно там, где требуется это свойство, например при изготовлении химических ванн технологических линий, изоляции кабелей и проводов, травильных камер, фурнитуры, труб и деталей соединения трубопроводов. На ПВХ не оказывает воздействия ни один из общепринятых травителей. Под действием горячей воды ПВХ размягчается и вытягивается. ПВХ растворим в кетонах (например, в ацетоне), в ароматических растворителях (типа бензин и толуол). Под действием хлорированных углеводородов ПВХ набухает, а затем разрушается.

Обычно приходится решать проблему защиты поверхности трубопроводов и деталей травильных машин, выполненных из ПВХ, от воздействия паров растворителей или составов для удаления резистов. В большинстве травильных машин в качестве конструкционного материала для изготовления ванн и деталей трубопроводов используется ПВХ. Гальванические линии часто выходят из строя именно из-за воздействия хлорированных углеводородов на ПВХ, из которого изготовлены ванны. Нестойки и защитные краски — на основе ПВХ.

Псевдожидкий слой ПВХ может быть использован для выполнения защитного покрытия на металлических деталях. Может быть использован также пластизол (полихлорвиниловая паста) с последующим задубливанием и получением твердого беспористого покрытия.

Иногда на основе винилов выполняют резисты.

Феноксидные термопластики. Пластики этой группы прочные, жесткие, негорючие. Высокий предел прочности при растяжении сохраняет свое значение вплоть до температуры размягчения, т. е. до 77°C . Низкий коэффициент термического расширения, простота получения деталей литьем, размерная стабильность, негорючесть и удовлетворительные электрические свойства феноксидов объясняют распространение этого материала в электронике. Феноксиды обладают прекрасными клеящими свойствами. Клеевые соединения сохраняют прочность при температурах от -54 до $+88^{\circ}\text{C}$. Клей получают нагреванием феноксидов до 175°C . При помощи феноксидов можно постоянно или временно склеивать разнородные металлы. Применение

феноксидов в печатных платах ограничено. Из других пластиков в феноксидах ближе всего эпоксидные смолы и фенопласты.

Особая структура феноксидов определяет характер их химической стойкости. Феноксиды стойки по отношению к кислотам, так как являются полиэфирами. Благодаря своему аморфному строению феноксиды нестойки к воздействию органических растворителей, а так как феноксиды представляют собой полярный компаунд, то особенно легко они растворяются полярными растворителями. Феноксиды химически стойки в разбавленных кислотах и щелочах, а также в растворах хлорного железа, хлорной меди, персульфата аммония и других травителей.

Феноксиды растворимы в кетонах (ацетон, МЭК), в хлорированных и ароматических углеводородах и в большинстве эфиров. В этом плане растворимость феноксидов в толуоле и ксилоле обусловлена трудностями при смывании резистов. Рекомендуется использовать фоторезисты позитивного действия, смываемые щелочами.

10. Терморезистивные пластмассы

Алкиды. Эта группа пластмасс, получаемая из полиэфиров, может быть изготовлена прессованием или литьем как с наполнителями, так и без них. Возможно применение скоростного литья низкого давления (алкиды быстро отверждаются). Получаемые свойства алкидов можно регулировать выбором наполнителей. Высокое электрическое сопротивление объясняет применение алкидов для изготовления корпусов бобин автомобильной системы зажигания, цоколей радиоламп, корпусов разъемов, опрессовки электрорадиоэлементов (например, резисторов). Максимальная рабочая температура алкидов лежит в пределах от 150° до 230° С, в зависимости от наполнителя.

Химическая стойкость алкидов так же высока, как и стойкость других терморезистивных пластмасс после прессования. На алкиды действуют крепкие растворы кислот и щелочей, в то время как слабые растворы действуют только при повышенной температуре или при достаточно длительном времени воздействия. Органические растворители совсем или почти не оказывают воздействия на алкиды. По сравнению с другими терморезистивными пластмассами

алкиды отличаются повышенным водопоглощением. Обще-принятые травители не оказывают действия на алкиды.

Аллилы. Эти термореактивные пластмассы могут быть рекомендованы для изготовления корпусов электрических разъемов методом прессования. Они обладают малой усадкой после прессования, высоким электрическим сопротивлением даже в условиях повышенной влажности, стойки против возгонки при повышенных температурах и химически стойки в различных средах. Самыми известными представителями этой группы материалов являются диаллилфталат (ДАФ), диаллилизифталат, малеиновый и хлорэндиновый диаллилы. Из них высоким электрическим сопротивлением и лучшей размерной стабильностью отличается ДАФ. Все эти смолы используются в комбинации с такими наполнителями, как силиконы, стекловолокно, асбест, синтетические волокна. Детали из этих материалов получают как литьем, так и прессованием. Эти материалы обычно бывают в листах или в таблетках. Детали, полученные из диаллилизифталата с наполнением стекловолокном, имеют максимальную рабочую температуру около 235° С. Диаллилфталат в комбинации с акриловыми (полиэтилен терефталат) и полиэфирными смолами может быть поставлен в виде пресспорошков, таблеток и гранул.

Аллилы обладают самой высокой химической стойкостью среди термореактивных материалов. Самым стойким является диаллил изофталат в комбинации со стекловолокнистым наполнителем. Потеря веса на испытаниях этого материала при выдержке в течение месяца в воде, ацетоне, 1%- и 10%-ном растворе едкого натрия, 3%- и 30%-ном растворах серной кислоты составляет менее 1% первоначального взвешивания.

При месячной выдержке в 20%-ном растворе едкого натрия этот материал потерял 2,5% веса. Месячная выдержка в 10%-ном растворе азотной кислоты и в концентрированной хромовой кислоте равносильна потере 1,5% первоначального веса. Самая низкая химическая стойкость зафиксирована в растворах едкого натрия.

Общепринятые травители и растворы для удаления резистов не влияют или почти не влияют на эти материалы. При правильном подборе клеев фольгированные материалы на основе аллилов могут обеспечить большую температурную и химическую стойкость, чем эпоксида. Свойства аллилов могут быть варьированы выбором различных наполнителей.

Аминопласты. Эти термореактивные пластмассы представляют собой продукт реакции формальдегида с мочевиной, меламином, анилином, дициандиамидом, этиленомочевинной и сульфонамидом. Все эти вещества находят применение в качестве дешевых литевых материалов. Аминопласты тверды, жестки, износоустойчивы, хорошо работают на сжатие, нехрупки при температурах ниже 0° С, устойчивы против плесени, обладают высоким электрическим сопротивлением, а также химически стойки в обычных органических растворителях, в горючесмазочных материалах, в щелочах и в разбавленных кислотах.

Применение этих материалов ограничивается такими их недостатками, как сильная усадка при прессовании, последующая усадка при хранении и эксплуатации, растрескивание при циклическом изменении относительной влажности окружающего воздуха (это особенно характерно для аминопластов на основе мочевины), постепенное снижение предела прочности и электрического сопротивления. Материалы на основе меламинов и мочевины нестойки в сильных окисляющих кислотах и в сильных щелочах. Аминопласты на основе меламинов с наполнителем из альфа-целлюлозы стойки в слабых растворах серной кислоты, разрушающих также включения мочевины. При кипячении аминопласта в 1%-ном растворе едкого натрия заметно обесцвечивание пластмассы, изготовленной с применением меламинов. Отбеливающие средства воздействуют как на меламины, так и на мочевины (на последнюю сильнее).

Для применения в качестве печатных плат больше подходят аминопласты с меламином. Их можно отформовывать в горячем виде, а затем обрабатывать резанием при комнатной температуре. Правда, при последующей обработке трудно избежать растрескивания материала.

Эпоксиды. Это самые популярные в производстве печатных плат термореактивные пластмассы. Чаще всего эти смолы комбинируют со стекловолокнистыми наполнителями, и в этом случае они обладают прекрасными электрическими, механическими и химическими свойствами. Свойства можно в значительной степени изменить, подбирая комбинации смолы с наполнителем. Такие комбинации часто являются находкой и собственностью фирмы. Продукт высокого качества и высокой надежности может быть получен только при хорошо контролируемом производстве на основе какой-то постоянной комбинации «смола — наполнитель».

Эпоксиды обладают высокой химической стойкостью. Они выдерживают при комнатной температуре действие крепких кислот и щелочей, даже при воздействии, определяемом ходом технологического процесса и поэтому достаточно длительном. Эпоксиды могут быть разрушены при длительном воздействии сильных щелочей, особенно при повышенной температуре.

Растворы для удаления резистов почти не действуют на фольгированные медью эпоксидные подложки. Более сильные разрушения подложки заметны при прямой печати и последующем травлении, когда подложка не защищена слоем меди. Следует сводить к минимуму нахождение эпоксидов в растворах для удаления резистов и в парах органических растворителей. По опыту известно, что просверленная заготовка платы без металлизации отверстий, находящаяся под воздействием растворов для снятия резистов, ацетона, ксилола или других растворителей, склонна к расслаиванию. На очевидное превышение времени воздействия на заготовку различных органических растворителей указывает вздутие поверхности платы вокруг отверстий, заметное наощупь.

Травление плат на основе эпоксидов описано в гл. 5.

Полиэфиры. Исторически эти пластмассы предшествовали эпоксидам в производстве печатных плат. Полиэфиры со стекловолокнистыми наполнителями были заменены эпоксидами, имеющими лучшую размерную стабильность и более высокую химическую стойкость. Полиэфиры дешевле эпоксидов и, поскольку они обладают также удовлетворительными химическими, электрическими и физическими свойствами, их до сих пор используют в тех случаях, когда применение эпоксидов нерационально по экономическим соображениям.

Основной представитель полиэфиров в виде пленки для использования в производстве печатных плат — это майлар *). Майларовые пленки представляют собой очень прочные подложки для фольгирования. Самые тонкие из них склонны сморщиваться при вытравливании рисунка на фольге, и во избежание этого их приходится оправлять в несущую раму. Майлар находит широкое применение для изготовления плоских гибких кабелей и гибких печатных схем. Высокая диэлектрическая постоянная майлара

*) Патентованное название фирмы «Дюпон Компани».

позволяет его использовать для изготовления схем на очень тонких подложках, не ухудшая электрических характеристик схемы.

Химическая стойкость майлара высока. Сопротивление майлара химическому воздействию ледяной уксусной кислоты, 20%-ному раствору серной кислоты, 10%-ному раствору едкого натрия, ацетону этилацетату, трихлорэтилену, ксилолу, машинному маслу, силиконовым маслам, асфальту, глифталевым смолам и силиконовой смоле GE SR28 *) было оценено как «превосходное» [29].

«Хорошим» было признано сопротивление майлара химическому воздействию концентрированной соляной кислоты, 35%-ного раствора азотной кислоты, 12%-ного раствора NH_4OH и силиконовой смолы GE SR80 *).

«Слабым» было признано сопротивление майлара химическому воздействию дымящей азотной кислоты и концентрированного раствора NH_4OH .

Концентрированные серная и хромовая кислоты и горячий раствор едкого натрия используются для активации поверхности майлара перед химической металлизацией [30, 31]. Горячую концентрированную серную кислоту можно использовать для протравливания в майларе отверстий; в этом случае в качестве резиста может быть применена медная фольга. Это очень опасная операция, и поэтому ее нужно проводить при достаточно эффективной вытяжке и прочих необходимых мерах безопасности. Серная кислота должна быть совершенно сухой. После травления все следы кислоты должны быть удалены тщательной промывкой. Влага после промывки может быть удалена с пленки обильным поливом ксилолом или ТХЭ. Для удаления резиста или зачистки краев полученных отверстий может быть применен мелкий абразивный порошок.

Для травления фольги на майларе может быть применен любой из общепринятых травителей. Для определения характера воздействия на майлар растворов для удаления резистов необходима технологическая проба.

Одним из основных недостатков майлара является то, что при пайке его легко можно расплавить, деформировать или расслоить с фольгой. Механическая обработка майлара может быть осуществлена общепринятыми способами. Во время сверления нужно следить за тем, чтобы не перегреть

*) Производства фирмы «Дженерал Электрик Компани».

и таким образом не оплавить материал. Если за этим не проследить, то оплавленный майлар может вытечь вокруг отверстия поверх фольги и причинить ряд неудобств при проведении последующих технологических операций. Рабочая температура майлара от -60 до $+65^{\circ}\text{C}$, а точка его плавления в соответствии с данными изготовителя находится в интервале от 121 до 129°C .

Фенопласты. Эти терморезистивные пластмассы получают соединением фенола с формальдегидом под влиянием соответствующих катализаторов. Эти смолы используют для опрессовки и литья. Фенопласты имеют высокую диэлектрическую постоянную и хорошую ударную вязкость, а также хорошее сопротивление воздействию тепла, кислот, щелочей и воды. Фенопласты имеют небольшой удельный вес и легко обрабатываются резанием.

Использование фенопластов для производства печатных плат началось при подборе соответствующих наполнителей.

Фенопласты относятся к горючим материалам, но это их свойство в значительной степени варьруется в зависимости от выбранного наполнителя.

Разбавленные кислоты почти не действуют на фенопласты при комнатной температуре. Концентрированные окисляющие кислоты, уксусная кислота и сильные щелочи действуют на фенопласты разрушающим образом. Концентрированные органические и восстанавливающие кислоты при комнатной температуре действуют на фенопласты слабо. Слабые щелочи действуют разрушающе, но скорость такого разрушения при комнатной температуре относительно мала. Зато нагретые крепкие растворы щелочей при работе с фенопластами нужно применять осторожно.

Несмотря на то, что фенопласты довольно стойки к воздействию органических растворителей, следует применять с большой осторожностью любые составы для удаления резистов. Опасность меньше, когда заготовка фольгирована с двух сторон, а отверстия металлизированы или еще не просверлены. При прямой печати и последующем травлении необходимо снимать резист быстро и осторожно, стараясь не задевать других участков заготовки. Наибольшей осторожности требует применение растворов для удаления фоторезистов. При использовании фенопластовых подложек нельзя использовать для травления смесь хромовой и серной кислот, особенно в подогретом виде. Самый безопасный травитель в этом случае — хлорное железо. Изготовители фоль-

Гированных фенопластов гарантируют безопасное нахождение этих материалов в течение 30 мин в травящих растворах хлорного железа, хромовой кислоты и персульфата аммония. Для травления плат, покрытых припоем, следует применять смесь персульфата аммония с серной кислотой при комнатной или лишь слегка повышенной температуре. Стандартная максимальная рабочая температура фенопластов с бумажным наполнителем равна 121° С. Если в качестве наполнителя используют стекло, слюду или асбест, то максимальная рабочая температура составляет 260° С.

Силиконы. Эти терморезистивные пластмассы дороже органических. Силиконовые смолы в сочетании со стекловолокнистыми или другими наполнителями предназначены в основном для производства плат, работающих при относительно высокой температуре. Возможно достижение рабочих температур до 315° С. Обычно имеющиеся в продаже в США силиконовые смолы рассчитаны на производство изделий, предназначенных для эксплуатации при максимальной рабочей температуре 250° С. Распространение силиконовых пластиков для производства печатных плат сдерживается трудностью решения проблемы их фольгирования из-за слабой адгезии меди.

Слабые кислоты и щелочи почти не действуют на силиконовые пластики. Слегка растворяют их сильные кислоты. Сильные щелочи и органические растворители действуют в зависимости от температуры, состава и т. д. С осторожностью нужно использовать органические составы для удаления резистов. Для травления меди на силиконовых подложках следует применять растворы хлорного железа или персульфата аммония.

Тетфлон *). Фтороуглеродистые терморезистивные смолы, а также фторопластовые полуфабрикаты нашли широкое применение в промышленности. Фторопласты проникли в такие отрасли, как космос, авиация, автомобилестроение, электронная вычислительная техника, связь, электротехника, инструментальная промышленность. Фольгированные и нефольгированные пленки и листы фторопластов могут быть также применены и в производстве печатных схем как обычных, так и гибких.

Широко известна превосходная химическая стойкость фторопластов. Фторопласты стабильны до температур

*) Патентованное название фирмы «Дюпон Компани».

порядка 200° С. На фторопластовых подложках могут быть осуществлены практически любые виды паек без нарушения или деформации подложки.

Из-за высокой химической стойкости требуется специальная обработка поверхности фторопластов перед металлизацией. Чаще всего для этой цели применяются смеси щелочных металлов с NH_3 или нафталином. Могут быть применены также подогретые галогенизированные углеводороды, только не для обработки тефлона перед металлизацией отверстий.

11. Металлы

Медь. Медь, описанная выше для применения на различных подложках, на сегодня является главным фольгирующим материалом. В настоящем разделе рассматриваются поперечные микрошлифы медных проводников, приготовленных описанными выше способами и протравленных стан-

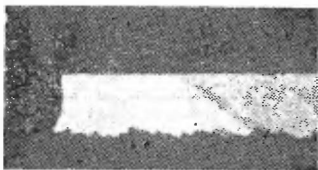


Рис. 6.5. Фотопечать и травление платы фольгированной медью толщиной 50 мкм. Условия: раствор FeCl_3 плотностью 42° Боме, 38° С, 3 мин (увеличение 300×).

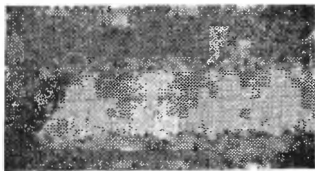


Рис. 6.6. Фотопечать и травление платы фольгированной медью толщиной 50 мкм. Условия: хромово-серная кислота, 38° С, 3 мин (увеличение 300×).

дартными методами. В качестве примеров взят стандартный материал G-10, фольгированный одноунциевой медью. Все образцы протравлены методом разбрызгивания травителя, описанным выше. Каждый образец был изъят из травильной ванны, как только стало заметным сквозное протравливание. Травление осуществлялось в хлорном железе, персульфате аммония и в смеси хромовой и серной кислот.

Фоторезист KPR, метод прямой печати и последующего травления. На рис. 6.5 показана типичная картина после травления в хлорном железе в течение 2 мин. Такая же картина была получена после травления в течение 3 мин в пер-

сульфате аммония, катализированном хлористой ртутью.

На рис. 6.6 показана типичная картина края проводника после травления в смеси хромовой и серной кислот. Заметно некоторое подтравливание.

На рис. 6.7 и 6.8 показана типичная картина после травления в смесях персульфат аммония — серная кислота и хромовая кислота — серная кислота, соответственно. Заметен гибкий край меди, нависший в результате подтравливания, трудный для исправления дефект. Крацевание



Рис. 6.7. Луженая плата. Толщина фольги 50 мкм, толщина припоя 25 мкм. Условия: хромово-серная кислота, 38° С, 3 мин (увеличение 300*).



Рис. 6.8. Луженая плата. Толщина медной фольги 65 мкм, припоя—25 мкм. Условия травления: хромово-серная кислота, 38° С, 2 мин (увеличение 300*).

в этом случае не рекомендуется, так как это загрязнит плату. Частично могут помочь ультразвуковая обработка или обработка липкой лентой. Лучше всего в этом случае принять нагревание платы до расплавления припоя, при этом нависшая медь может раствориться в припое.

Оба травильных раствора вызывают потемнение припоя и в связи с этим получаемый рисунок схемы имеет низкую контрастность.

Золото по никелю. Такая комбинация используется на меди в качестве резиста для медных травителей. Применяется как средство предупреждения взаимной диффузии меди и золота при повышенных температурах. В этом случае также может иметь место некоторое изменение цвета из-за образования пленки окислов. Покрытие никель — золото образует, кроме того, барьер между медью и припоем. Припой в этом случае ложится хорошо, и площадь поперечного сечения проводников не уменьшается. Присутствие в покрытии никеля заметно изменяет конфигурацию подтравливания. В хлорном железе никель травится быстрее, и поэтому золото образует заметный козырек. Напротив, в персульфате

аммония никель почти не травится, выступая над краем медного проводника. Интенсивное крацевание или ультразвуковая обработка после этого могут испортить покрытие, если слой никеля был достаточно тонок (менее 1,2 мкм).

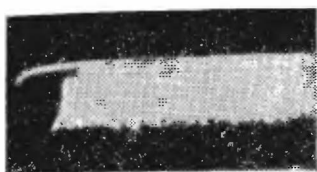


Рис. 6.9. Золото поверх никеля. Толщина медной фольги 50 мкм, никеля — 5 мкм, золота — 2,5 мкм. Условия травления — раствор FeCl_3 плотностью 42° Боме, 38°C , 2 мин (увеличение $300\times$).



Рис. 6.10. Золото поверх никеля. Толщина медной фольги 75 мкм, никеля — 5 мкм, золота — 2,5 мкм. Условия травления — раствор FeCl_3 плотностью 42° Боме, 38°C , 1 мин (увеличение $300\times$).

На рис. 6.9 показан случай нависания золота над протравленным краем никеля. Практически не отличается от него и картина подтравливания на рис. 6.10, хотя время



Рис. 6.11. Золото поверх никеля. Толщина медной фольги 50 мкм, никеля — 2,5 мкм, золота — 2 мкм. Условия травления: персульфат аммония с хлорной ртутью, 38°C , 3 мин (увеличение $300\times$).

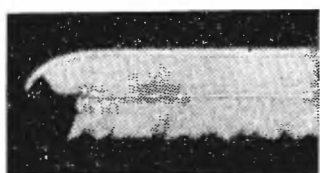


Рис. 6.12. Золото поверх никеля. Толщина медной фольги — 75 мкм, никеля — 2,5 мкм, золота — 2 мкм. Условия травления: персульфат аммония с хлорной ртутью, 38°C , 1,5 мин (увеличение $300\times$).

травления было меньше. В меньшей степени никель травится в смеси хромовой и серной кислот. На рис. 6.11 (сплошное покрытие по меди) и рис. 6.12 (избирательное покрытие по меди) показаны результаты травления с золотом по никелю в персульфате аммония. Подтравливание заметно и в этих

случаях. На рис. 6.11 заметно подтравливание никеля под нетронутым слоем золота.

Олово — никель и золото по олово — никель. На рис. 6.13 показана типичная картина подтравливания, полученная на меди со сплошным покрытием при травлении методом разбрызгивания раствора хлорного железа. На рис. 6.14

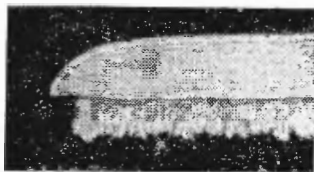


Рис. 6.13. Золото поверх сплава олово — никель. Толщина медной фольги — 50 мкм, слоя олово — никель — 3,8 мкм, золота — 2 мкм. Условия травления: раствор FeCl_3 плотностью 42° Боме, 38° С, 2 мин (увеличение 300 \times).

Рис. 6.14. Золото поверх сплава олово — никель. Толщина медной фольги — 75 мкм, слоя олово — никель — 4,5 мкм, золота — 2 мкм. Условия травления: раствор плотностью 42° Боме, 38° С, 1 мин (увеличение 300 \times).



Рис. 6.15. Золото поверх сплава олово — никель. Толщина медной фольги — 50 мкм, слоя олово — никель — 4,5 мкм, золота — 2 мкм. Условия травления: персульфат аммония с хлорной ртутью, 38° С, 3 мин (увеличение 300 \times).

Рис. 6.16. Золото поверх сплава олово — никель. Толщина медной фольги — 75 мкм, слоя олово — никель — 4,5 мкм, золота — 2 мкм. Условия травления: персульфат аммония с хлорной ртутью, 38° С, 2 мин (увеличение 300 \times).

показана типичная картина края проводника после травления в хлорном железе. Плата была избирательно покрыта медью, затем олово — никелем, затем золотом. На практике толщина слоя золота может быть существенно меньше.

Такие результаты могут быть получены после травления плат с покрытием олово — никелем без золота или с исполь-

зованием в качестве травителя хромовой кислоты, что правда, потребует увеличения времени травления.

Типичные примеры результатов травления плат с покрытием золотом по олово — никелю в персульфате аммония показаны на рис. 6.15—6.18. Хотя во всех этих случаях время травления не превышало нормы, заметно подтравливание.

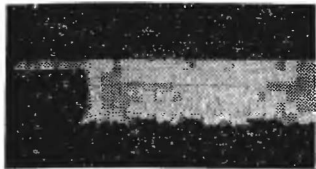


Рис. 6.17. Сплав олово — никель. Толщина медной фольги — 25 мкм, слоя олово — никель — 4,5 мкм. Условия травления: персульфат аммония с хлорной ртутью, 38° С, 3 мин (увеличение 300×).



Рис. 6.18. Сплав олово — никель. Толщина медной фольги — 50 мкм, слоя олово — никель — 3,7 мкм. Условия травления: персульфат аммония с хлорной ртутью, 38° С, 2 мин (увеличение 300×).



Рис. 6.19. Золото поверх серебра. Толщина медной фольги 50 мкм, слоя серебра — 3,7 мкм, золота — 2,5 мкм. Условия травления: хромово-серная кислота, 38° С, 3 мин (увеличение 300×).



Рис. 6.20. Золото поверх серебра. Толщина медной фольги 75 мкм, слоя серебра — 3,7 мкм, золота — 2,5 мкм. Условия травления: раствор FeCl_3 плотностью 42° Боме, 38° С, 1 мин (увеличение 300×).

Золото по серебру. Такое покрытие употребляют нечасто из-за миграции и обесцвечивания серебра. Образцы были исследованы для сравнения действия травителей.

На рис. 6.19—6.22 показаны поперечные сечения проводников, покрытых золотом по серебру и протравленных соответственно в смеси хромовой и серной кислот, в хлорном

железе и в персульфате аммония. Подтравливание серебра заметно при использовании хромовой кислоты и особенно персульфата аммония.

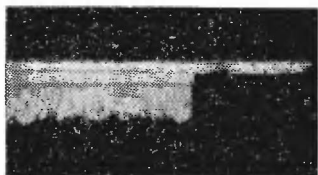


Рис. 6.21. Золото поверх серебра. Толщина медной фольги — 43 мкм, слоя серебра — 3,7 мкм, золота — 2,5 мкм. Условия травления: $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8 - \text{H}_9\text{Cl}_2$, 38° С, 3 мин (увеличение 300×).



Рис. 6.22. Золото поверх серебра. Толщина медной фольги — 75 мкм, слоя серебра — 3,7 мкм, слоя золота — 2,5 мкм. Условия травления: $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8 - \text{H}_9\text{Cl}_2$, 38° С, 1,5 мин (увеличение 300×).



Рис. 6.23. Золото. Толщина медной фольги — 50 мкм, слоя золота — 2,5 мкм. Условия травления: раствор FeCl_3 плотностью 42° Боме, 38° С, 2 мин (увеличение 300×).

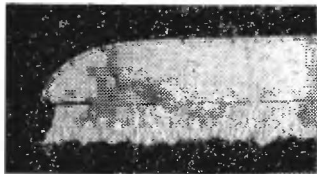


Рис. 6.24. Золото. Толщина медной фольги — 80 мкм, слоя золота — 2,5 мкм. Условия травления: раствор FeCl_3 плотностью 42° Боме, 38° С, 1 мин (увеличение 300×).

Золото. На рис. 6.23 и 6.24 показаны типичные примеры поперечного сечения проводников, покрытых золотом, после травления в хлорном железе и в смеси хромовой и серной кислот.

На рис. 6.25 и 6.26 показаны поперечные сечения проводников, протравленных персульфатом аммония, с избирательным и сплошным покрытием золотом. Как и в предыдущих примерах, заметно нависание золота. Как было замечено выше, с нависанием следует бороться, чтобы избежать электрического короткого замыкания в схемах при их экс-

платации. При использовании наиболее хрупких золотых сплавов могут оказаться действительными ультразвуковое возбуждение травильной ванны и последующая ультразвуковая очистка платы.

Алюминий. Хотя алюминий и его сплавы и не используются в производстве печатных схем, их следует рассмотреть благодаря их свойствам, приближающим их к этой



Рис. 6.25 Золото. Толщина медной фольги — 50 мкм, слоя золота — 2,5 мкм. Условия травления: $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8 - \text{H}_2\text{Cl}_2$, 38° С, 3 мин (увеличение 300×).

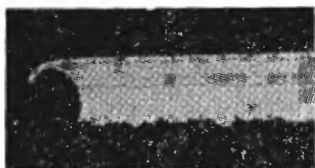


Рис. 6.26 Золото. Толщина медной фольги — 75 мкм, слоя золота — 2,5 мкм. Условия травления: $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8 - \text{H}_2\text{Cl}_2$, 38° С, 1,5 мин (увеличение 300×).

отрасли. Эти материалы имеют малый удельный вес, хорошую электрическую проводимость, их можно с удовлетворительными результатами сваривать, паять, анодировать, наносить на них гальванические покрытия, травить. Алюминиевые сплавы широко применяются в производстве полупроводников для металлизации схем и изготовления низкоомных выводов.

Предварительная очистка зависит от применяемого резиста, толщины фольги и требований к качеству ее поверхности. При применении фоторезистов (пригодных для производства большинства печатных схем) требуются рисунки с тонкими линиями, и поэтому предварительная очистка может заключаться лишь в погружении алюминия в сильно разбавленную щелочь (иногда с использованием катодной зачистки) при температуре 60° С и последующей его промывке деионизированной водой.

Если необходимо глубокое травление, предпочтительнее использовать виниловые резисты, наносимые при помощи трафаретной печати, хотя и в этих случаях могут быть применены фоторезисты. Предварительная очистка проводится, как указано выше. После травления необходимо проводить полную промывку водой (лучше в струе деиониро-

ванной воды). Остатки продуктов травления с поверхности платы или боковых поверхностей проводников удаляются после обработки в 10%-ном (по объему) растворе HNO_3 или в разбавленной хромовой кислоте. Чистый алюминий инертен к воздействию травильного раствора смеси хромовой и серной кислот.

Наиболее пригодны для травления хлорное железо (от 12 до 18° Боме), NaOH (5—10%) и растворы с фосфорной кислотой. Растворы ($\text{HCl} + \text{HF}$), ($\text{FeCl}_3 + \text{HCl}$) и персульфат аммония с HgCl_2 также травят алюминий.

Травление золота. Золото и его сплавы чаще всего травят в царской водке или в смеси 1 части HNO_3 , 1 части HCl и 2 частей H_2O . Щелочные цианистые растворы при комнатных температурах оказывают слабое действие. Скорость травления повышается при нагревании или добавлении окисляющих агентов (H_2O_2).

Для электролитического травления золота могут быть использованы соляная кислота или щелочно-цианистые растворы. Для получения максимальной стойкости в травящих растворах, фоторезист должен пройти термическую обработку.

Сплавы, использующиеся для сварки со стеклом. Некоторые сплавы, типа $\text{Fe} - \text{Ni}$ и $\text{Fe} - \text{Ni} - \text{Co}$, могут иметь коэффициент расширения, как у сортов стекла, применяемых в электронной промышленности. Поскольку теперь этими металлами можно металлизировать диэлектрики, это обеспечивает также надежность сварных соединений выводов компонентов (например, при монтаже интегральных схем) с проводниками печатной схемы.

Плоские корпуса интегральных схем имеют фотопротравленные или штампованные коваровые выводы толщиной от 0,1 до 0,35 мм.

Обычно фоторезисты наносят, применяя методы, описанные в гл. 4.

Травление улучшается после очистки в щелочном растворе с последующей промывкой, погружением в 50%-ной HCl (по объему) и промывкой водой.

Эти сплавы можно успешно травить в хлорном железе (42° Боме), в смеси хромовой и серной кислот, в хлорной меди, а также в растворе, содержащем 20% азотной кислоты 20% соляной кислоты и 60% H_2O (везде процент объемный).

Если использовать хлорное железо, то для поддержания $\text{pH} \approx 0,2$ добавляют соляную кислоту. В этом случае

обеспечивается нормальное травление без воздействия на резист.

Необходимо поддерживать определенную кислотность раствора, чтобы предотвратить образование гидроокиси в виде илистых осадков. Избыточное травление, как и обычно, приводит к появлению пор и раковин.

Молибден. Молибден находит применение в тех случаях, когда необходимо обеспечить стойкость к воздействию высокой температуры (540—815° С) и высокую прочность. В электронике он используется для печатных схем металло-керамических баллонов вакуумных ламп и в вакуумной технологии. Электропроводность молибдена примерно вдвое меньше электропроводности меди.

Молибден и его сплавы применяются, если необходимо получить малое термическое расширение. Особенно интересен этот металл в технике высокого вакуума. Его можно применять вместо сплавов Ni — Co — Fe для образования вакуумплотных спаев со стеклом, работающих при высокой температуре. Ртуть на молибден не оказывает влияния, но смачивает его, делая особенно пригодным для переключателей с ртутными контактами. Молибден успешно применялся с Ni, Au, Cu, Ag, с использованием диффузионной сварки, напыления или гальванических покрытий. С молибденом могут быть применены негативные фоторезисты. Для глубокого травления наиболее подходит фоторезисты марки КМЕР. Если время травления превышает 30 мин, следует применять виниловые лаки.

Предварительную очистку проводят в растворах хромовой или соляной кислот или по методу электрополировки. Для удаления окиси перед травлением может быть выполнено анодное протравливание в 50—70%-ном (по объему) растворе серной кислоты или в растворе H_2SO_4 — H_3PO_4 . Повреждение фоторезистов уменьшается с понижением концентрации и температуры раствора и подводимого напряжения.

Для химического травления необходимо применять следующий раствор (при 38° С): 1 часть HNO_3 (70%-ной), 1 часть H_2SO_4 (96%-ной), 3 части H_2O .

Для электролитического травления необходимо применять 10-20%-ный раствор NaOH, содержащий кислород, перекись водорода или подобные им окисляющие агенты.

Никель и никелевые сплавы. Никель находит широкое применение в виде металлической фольги и электролитиче-

ского покрытия для печатных плат благодаря его хорошей свариваемости. Другой областью его применения являются магнитные сплавы и сплавы типа нихрома, требующие специальных методов травления.

Для выполнения рисунка на никелевых сплавах применяют обычные методы, описанные в гл. 4. Для травления используется раствор хлорного железа (42°C Боме) при температуре примерно 38°C . Другими травящими веществами является раствор, состоящий из 1 части HNO_3 (70%-ной), 1 части HCl , 3 частей H_2O (или 4 частей HCl (37%-ного) и 1 части H_2O).

Серебро. Серебро — самый дешевый благородный металл, обладающий наиболее высокой электро- и теплопроводностью по сравнению со всеми другими металлами, хорошей ковкостью (уступая в этом качестве только золоту), высоким коэффициентом отражения видимого света, имеет высокую точку плавления и относительно хорошую химическую стойкость. Благодаря своим свойствам серебро находит широкое применение в электронной промышленности.

К серебру применимы обычные методы получения рисунка.

Перед травлением необходимо в операцию очистки включать промывку в разбавленной HNO_3 .

Травление может быть выполнено в 70%-ной азотной кислоте, но при этом выделяется значительное количество тепла в результате высокой скорости реакции. Эффективными травителями являются смеси азотной и серной кислот. Если слой серебра находится на латунной или медной подложках, применяют смесь из 1 части HNO_3 (70%-ной, по объему) и 19 частей H_2SO_4 (96%-ной по объему), в которой будет растворяться серебро и оставаться нетронутой подложка.

Из этих растворов необходимо удалять воду; растворы нужно часто заменять, чтобы избежать образования осадка серебра на меди.

Травление можно производить в растворе, содержащем 40 г хромовой кислоты, 20 мл серной кислоты (96%-ной) и 2000 мл воды [32], с последующей промывкой в 25%-ном растворе аммиака.

Тонкие пленки серебра травят в 55%-ном (по весу) растворе азотнокислого железа (окисном), разбавленном водой или этиленгликолем. Растворы щелочного цианида

и перекиси водорода также растворяют серебро. Можно использовать электролитическое травление в 15%-ном (по объему) растворе азотной кислоты (70%-ном) при напряжении 2 в и катоде из нержавеющей стали.

Нержавеющая сталь. Некоторое применение в печатных платах находит нержавеющая сталь.

Травление сплавов марок 300—400 можно выполнять в следующих растворах;

1. FeCl_2 (от 38 до 42° Боме), можно добавить 3%-ной HCl .

2. 1 часть HCl (70%-ной), 1 часть HNO_3 (70%-ной), от 1 до 3 частей H_2O (по объему). Скорость травления составляет около 75 мкм/мин при 80° С. Этот травитель применим для высоких марок (от 300 до 400).

3. $\text{FeCl}_3 + \text{HNO}_3$.

4. 100 частей HCl (37%-ной), 6,5 частей (весовых) HNO_3 , 100 частей (весовых) H_2O .

Коррозийная стойкость металлов. Общие сведения о коррозионной стойкости металлов и резисты для новых травителей можно найти в литературе [33—36].

ПОДТРАВЛИВАНИЕ, ФАКТОР ТРАВЛЕНИЯ И НАВИСАНИЕ

При травлении по мере увеличения глубины травления по вертикали имеется тенденция к горизонтальному распространению процесса травления от поверхности боковых стенок, т. е. к подтравливанию. Степень подтравливания определяется фактором травления. Для наших целей фактор травления определяется как отношение глубины травления к боковому расстоянию травления (рис. 6.27).

В практике наиболее высокий фактор травления получается при травлении распылением с вертикальным положением платы. Травление погружением дает более низкий фактор травления. Травление тонких линий с минимальным подтравливанием лучше всего осуществляется при периодическом извлечении печатной платы из травильной

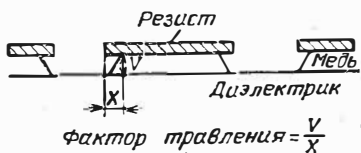


Рис. 6.27. Определение «фактора травления» при травлении печатной платы.

ванны для визуального определения начала подтравливания. Явление подтравливания нужно учитывать и при изготовлении фотооригиналов, особенно для плат с толстым слоем металлизации, высокой четкостью изображения и тонкими линиями. При травлении листового металла фактор травления можно довести до минимума, нанося резист на обе стороны листа для осуществления травления с двух сторон.

При фотогравировке часто применяют присадки. В качестве средства для образования защитных пленок на боковых стенках оголенного проводника можно использовать специальные присадки или травить порошковыми травителями [17, 37]. Дополнительную информацию о травлении линий и подтравливании можно найти в [16—20].

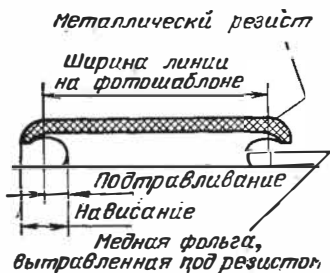


Рис. 6.28. Подтравливание и нависание при использовании металлического резиста.

Картина подтравливания и нависания для металлических резистов показана на рис. 6.28. Нависание особенно опасно для печатных плат, предназначенных для аппаратуры, работающей при сильных вибрациях, или самолетной аппаратуры, поскольку пленка, образующая навес, опадает в виде металлических стружек и может вызывать короткое замыкание.

Навис после травления ликвидируется крацеванием щеткой из мягкой латуни или ультразвуковой обработкой, промывкой и применением липкой ленты (непрактично и подвергает металл излишнему шелушению) или применением резиста.

ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ

Технология травления и оборудование, применяемые в настоящее время, развились из четырех основных методов: травления погружением, травления барбатированием, травления распылением и травления разбрызгиванием. Травление распылением является самым универсальным

методом, поскольку обеспечивает большую скорость процесса, хорошо повышает производительность и обеспечивает травление с высокой разрешающей способностью.

12. Травление погружением

Травление погружением (в глубоком резервуаре) представляет собой наиболее простой метод травления. Платы погружаются в раствор до окончания травления.

Травление погружением требует большой продолжительности, т. е. не удовлетворяет требованиям крупносерийного производства. Ускоряет процесс нагрева травителя и его перемешивание. Равномерность травления достигается при равномерном нагреве и хорошем перемешивании. Метод погружения особенно пригоден для травления в лабораторных условиях небольших плат или опытных образцов.

13. Травление с барбатируванием воздуха (пузырьковое травление)

Травление с барбатируванием воздуха по сути дела, представляет модифицированную технологию травления погружением. Пузырьки воздуха проходят через травитель и перемешивают его, обеспечивая подачу свежих порций раствора к поверхности платы и также удаляя продукты реакций травления. Кроме того, воздух обеспечивает подачу кислорода в ванну; кислород увеличивает эффективность травителя, дополнительно окисляя металл и регенерируя травитель. Более подробно это описано при рассмотрении травителей.

Давление воздуха достигает 6,4 атм. Трубопровод диаметром 12,5 мм расположен внизу резервуара, на конец трубопровода надет наконечник с отверстиями диаметром 0,8 мм. В больших резервуарах используется воздух по всему резервуару. Необходима соответствующая вентиляция. Наибольшее применение при травлении с барбатируванием воздуха находит хромово-сернокислотный травитель. Может применяться также персульфат аммония, но при этом требуются охлаждающие змеевики.

Подготовленные для обработки платы помещают в кассету на расстояние около 1,5 см друг от друга. Необходимо

обеспечить закрепление плат снизу, чтобы создать свободное прохождение раствора вдоль поверхности. В некоторых случаях кассету заменяют двумя стержнями, продетыми через отверстия в верхней и нижней частях плат, причем зазоры между платами обеспечиваются введением шайб.

Для закрепления концов прутка используют обрезки резиновых трубок соответствующего диаметра. Во время травления оператор вынимает кассету, поворачивает ее, что способствует ускорению травления. Стержни или стойки кассет должны быть выполнены из титана. Тогда кассету с платами можно легко перевернуть, не опасаясь разрушить металл. Можно применять и пластик.

Более равномерное травление достижимо при периодическом изменении положения кассеты в течение всего цикла травления.

Поскольку платы имеют большой вес, установочные приспособления должны быть прочными и выполнены из материалов, не подвергающихся разрушению в травителе. Для этой цели очень подходят виниловые пластики в силу их химической стойкости при температуре не выше 80°C (когда они не подвергаются воздействию сильных органических растворителей). Промывка в воде наиболее эффективно проходит в трехкаскадном проточном резервуаре. Промывка под душем при размещении плат в кассетах не эффективна. После окончания промывки и проведения нейтрализации вынутые из кассеты платы погружают в холодную воду для промывки и высушивают струей воздуха до сухого состояния или всю кассету с платами промывают в спирте и высушивают.

14. Травление разбрызгиванием

Травление разбрызгиванием имеет большие преимущества перед пузырьковым, поскольку обеспечивает более равномерное травление и минимум подтравливания. Ограничение этого способа травления состоит в том, что здесь одновременно можно обрабатывать только несколько плат, даже применяя двойные лопасти. Оно широко применяется в технологии фотогравировки.

Раствор для травления нагнетается в сопло турбиной, закрепленной на валу приводного двигателя, и подается к протравливаемым платам центробежной силой. Скорость

вращения вала и конструкция сопла (форма и размеры) определяют количество раствора и силу струи, входящей в контакт с платой. Скорость вращения турбины регулируется, позволяя подобрать режим в зависимости от типа металла и травителей.

Для изготовления турбины применяют разнообразные конструктивные материалы, например нержавеющей сталь,

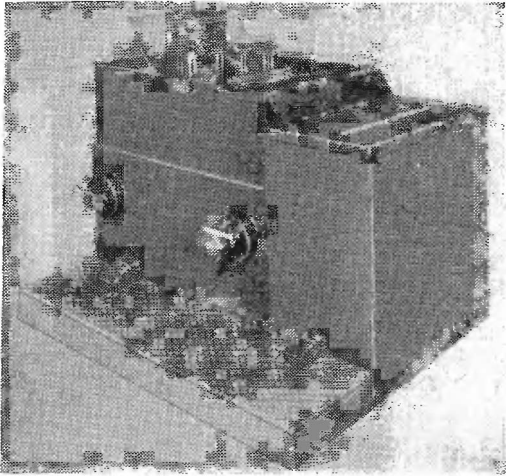


Рис. 6.29. Травильная установка для травления разбрызгиванием. Размер платы 60×60 см², емкость бака: 190 л, мощность нагревателя 1,6 кВт, скорость вращения турбинки регулируется в диапазоне от 420 до 620 об/мин.

эбонит, пластмассу и керамику. До недавнего времени основной резервуар выполнялся из легкой керамики. Рекомендуется оборудовать установку вытяжной вентиляции. При этом способе применяются следующие травители: хлорное железо, хлорная медь и смесь хромовой и серной кислот. Персульфат аммония не применяют из-за опасности перегрева и, следовательно, необходимости установки змеевиков охлаждения. Растрескивание от удара, характерное для всех керамических изделий, также представляет опасность для такого оборудования. Поэтому конструкция делается чрезвычайно прочной. Несмотря на эти недостатки, в настоящее время в эксплуатации находятся машины, проработавшие в течение многих лет.

Основным недостатком является невысокая скорость травления разбрызгиванием. Этим объясняется постепенная замена этого метода более производительными автоматическими травильными машинами. Качество травления, степень подтравливания и равномерность травления обычно получаются вполне приемлемыми. Как и в других травильных машинах, платы можно поворачивать и во время обработки для получения равномерного травления. На рис. 6.29 показана травильная машина с разбрызгиванием раствора.

15. Травление распылением

Среди методов травления распылением различают одно- и двухстороннее травление, а по положению плат — горизонтальное и вертикальное.

Хорошо известно, что при травлении распылением получается высокий фактор травления и короткое время обработки. Этому способствует большая сила удара травителя о поверхность, постоянная раствора и усиление окисления. Как и при других методах травления, для получения самой высокой разрешающей способности или при травлении плат, изготовленных на материале с толстой фольгой, необходимо наблюдать за степенью подтравливания и точно соблюдать время травления. Разработка рисунка схемы также должна учитывать эффект подтравливания.

Машины, предназначенные для травления распылением, непрерывно совершенствовались по мере развития технологии химически стойких металлов и пластмасс, необходимых для конструирования. Широко используется в конструкциях таких машин поливинилхлорид как листовой, так и литьевой. Стержни держателя, кожух нагревателя, охладительные змеевики, гайки и болты, оси и другие детали, требующие высокой прочности и хорошей теплопроводности, выполняются в основном из титана. Этот металл пригоден при использовании всех травителей из хлорной меди, хлорного железа, персульфата аммония и разбавленных и концентрированных азотной и серной кислот. Часто применяются поликарбонатные пластмассы и сплавы.

В некоторых машинах находят применение корпуса для фильтров из полиэтилена, которые также пригодны для оперирования с обычными травильными растворами.

Детали насосов, распыляющие сопла и другие элементы,

требующие хорошей химической стойкости и стабильности при несколько повышенной температуре, выполняют из дешевых поликарбонатных смол.

Очень важно, чтобы органические растворители, масла и растворители для резистов не попадали на пластмассовые детали, которые от их воздействия будут разрушаться.

Другим важным обстоятельством является то, что поливинилхлориды разрушаются при нагреве. Это разрушение будет происходить при температурах около 55°C . Если трубы из поливинилхлорида применять для подачи горячих растворов, расширение и растягивание труб может быть настолько большим, что движущиеся части в некоторых системах разбрызгивания заклиниваются и перестают работать.

Простая травильная машина состоит из прямоугольной камеры с крышкой в верхней части и отстойником в нижней. Раствор откачивается из отстойника и поступает из распыляющего сопла на поверхность платы. Таким образом, с поверхностью постоянно соприкасается свежий раствор. За счет этого поддерживается высокая скорость травления. Равномерность травления зависит от однородности и силы распыленной струи, характера стекания струи и факторов, специфических для каждого типа травителей, а также от рисунка схемы. Для производства особенно подходят двухсторонние травильные машины.

Вертикальное травление. Осуществляется помещением плат в раму, похожую на раму буфетного ящика, которая крепко держит платы при опускании их в рабочую зону распылительной камеры. На рис. 6.30 показана обычная вертикальная машина с распылением. Более равномерное травление происходит, если сопла во время травления вибрируют. Установлено также, что травление происходит быстрее при распылении раствора перпендикулярно, а не наклонно к плоскости платы.

При увеличении числа сопел этот эффект можно уменьшить, но не исключить полностью. Наилучшие результаты получаются при движении и колебании сопел во всех направлениях и при большом их числе. Некоторая неравномерность травления вызывается скоплением раствора на нижнем конце платы. Этот эффект можно свести к минимуму поворотом платы во время травления. Например, если для полного травления требуется 4 мин, то реле времени можно установить на половину или четвертую часть этого времени.

В конце каждого интервала плату нужно поворачивать на 180° . Отключать реле времени нужно вручную, даже если это может быть выполнено автоматически. Это положение

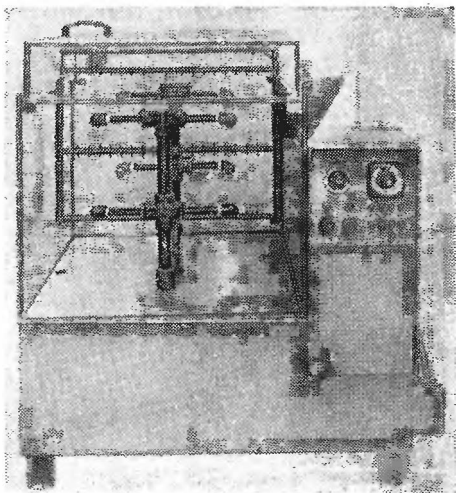


Рис. 6.30. Вертикальная травильная машина с разбрызгиванием.

является общим для травильных машин, так как оператору необходимо останавливать машину и вынимать раму для контроля процессора.

В машинах этого типа не выполняются операции промывки и нейтрализации. Эффективная недорогая установка для промывки представляет собой узкий бак (тоже с распылением) с распыляющими соплами для воды; в этот бак можно легко перенести всю раму с платами. Бак должен быть сконструирован таким образом, чтобы при установке раму можно было разворачивать. В такой бак можно также залить кислоту или другой раствор для нейтрализации.

Хотя при травлении распылением требуется короткое время по сравнению с травлением барбатированием, одновременно можно обрабатывать только несколько плат и панелей. Это значительно снижает общую производительность по сравнению с пузырьковым травлением (барбатированием).

Если процесс движения сопел механизирован, то надо помнить об износе или ослаблении крепежных соединений, так как это может привести к нарушению движения сопел.

Необходимо следить за исправностью уплотнений (кольца, прокладки), металлических деталей, распыляющих сопел, сочленений системы трубопроводов, щеток двигателя и плавких предохранителей.

В большинстве травильных машин раствор подается сверху. Насос для подачи раствора в отстойник должен быть целиком выполнен из пластика. При двухстороннем травлении обе стороны платы должны находиться на одинаковом расстоянии от распыляющих сопел. Давление жидкости, подающееся к соплам на обе стороны от платы, должно быть одинаковым. Если это условие не выполнить, то двухстороннее травление не будет равномерным.

Чтобы избежать попадания в насос кристаллизуемых солей или нерастворенных кусочков металла, которые могут привести к повреждению насоса или засорению сопел, в системе подачи раствора должен быть фильтр. Эффективным средством для удаления сухих частиц хлорного железа или хромовой кислоты с поверхности машины является 5%-ный (или более концентрированный) раствор HCl.

Автоматическое вертикальное травление. При этом способе сначала платы закрепляют в рамах, а затем рамы помещают в травильную машину. Поворотом ходового винта или с помощью другого механизма раму переносят через камеру травления, где осуществляется одно- или двухстороннее распыление несколькими колеблющимися соплами. По мере продвижения рама проходит через камеру промывки с распылением воды и затем выходит из машины.

Время травления регулируется изменением скорости вращения ходового винта. Стандартным оснащением таких машин являются встроенные нагреватели и охлаждающие змеевики.

Контроль давления в каждом ряду распыляющих сопел, а также наличие закрывающих и открывающих клапанов обеспечивают дополнительные преимущества.

Отстойник для травильного раствора имеет большой объем по сравнению с отстойниками неавтоматических машин для травления погружением, и это позволяет обработать большое количество плат, прежде чем будет израсходован весь травитель. Производительность гораздо выше по сравнению с машинами травления. Необходимо указать возможные проблемы при эксплуатации этой машины.

1. Многократная промывка водой может вызывать разбавление раствора травителя.

2. Ходовой винт, применяемый для передвижения рам с платами, сильно изнашивается и имеет непродолжительный срок службы.

3. При неточной установке рам ходовой винт будет повреждаться, что приведет к его заклиниванию.

4. Необходима соответствующая вентиляция, поскольку при загрузке и выгрузке рам пары травильного раствора выходят из машины.

При оптимальной конфигурации распыляющих сопел и оптимальном подборе давления, скорости и других переменных можно получить травление с большим разрешением.

Получить более равномерное травление можно настраивая машину на режим с двумя рабочими циклами и поворачивая рамы между ними.

Горизонтальное травление. Одна из разновидностей горизонтального травления, а именно одностороннее, очень давно применялась для фотогравировки, еще до производства печатных схем. Сейчас этот метод применяется для травления плат с тонкими линиями.

Для технологии печатных схем были разработаны способы сильного распыления, специальные присадки для уменьшения подтравливания и достижения высокого фактора травления.

Обычно в производстве печатных схем предпочтение отдают двухсторонним горизонтальным машинам, поскольку в большинстве случаев платы являются двухсторонними. Эти машины могут работать с кассетами, которые применяются в машинах с погружением. Машины горизонтального травления имеют сливное приспособление в левой части камеры травления. Платы помещают в раму, которая вдвигается в камеру травления. По мере выполнения травления рама автоматически продвигается в камеру промывки. Циклом обработки управляет реле времени. Травление проводится с помощью независимо управляемых рядов распыляющих сопел сверху и внизу камеры. На рис. 6.31 показана обычная машина для горизонтального травления.

Горизонтальное машинное травление имеет следующие преимущества:

- 1) возможность двухстороннего травления;
- 2) возможность получения очень тонких линий при одностороннем травлении;
- 3) наличие встроенной камеры промывки и наличие автоматического управления; разбрызгивание воды сверху

и снизу и смывающее действие на обе стороны платы одновременно предупреждает высыхание травильного раствора на плате и моментально прекращает процесс травления; ручная обработка плат исключается;

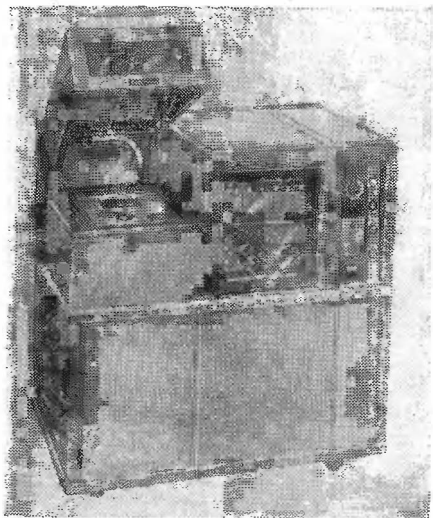


Рис. 6.31. Горизонтальная травильная машина с разбрызгиванием травителя (фирма Western Techn. Inc.).

4) легкое обеспечение взаимной изоляции камер травления и промывки, исключающее попадание воды в травящий раствор и попадание травящего раствора в промывочную камеру;

5) герметизированная камера травления не требует вентиляции, даже при нагреве до 38°C .

6) наличие охлаждающих змеевиков, не допускающих перегрева и поддерживающих постоянную температуру (для персульфата аммония);

7) отдельные насосы, клапаны и манометры обеспечивают точную регулировку при травлении плат с разной площадью верхней и нижней стороны;

8) колебание распыляющих сопел и большое их количество приводят к равномерному травлению по всей площади;

9) встроенный насос, перкачивающий продукты из отстойника травильной камеры и из камеры промывки, допу-

скает наполнение или сливание емкостей без расплескивания, быстро и надежно. Насос должен иметь электрический реверс как для заполнения, так и для сливания;

10) наличие минутного и секундного датчиков времени обеспечивает точное слежение за временем травления;

11) наличие титановых нагревателей, не подвергающихся растрескиванию от удара;

12) хорошо защищенный электрический пульт управления (физически и электрически);

13) доступность ко всем частям машины;

14) простые и тем не менее эффективные механические соединения;

15) наличие фильтров перед насосом, подающим раствор к соплам, которые препятствуют попаданию твердых частиц и повреждению или засорению насоса или распыляющих сопел;

16) возможность применения сетки для помещения на ней тонкого металлического листа для травления; иногда требуется две сетки;

17) удобная конструкция позволяет легко передвигать или грузить машину, а также облегчает демонтаж;

18) химическая и температурная стабильность конструкционных материалов.

К ограничениям и недостаткам этих машин относятся следующие:

1) минимальный размер панели, которую можно обработать в такой машине;

2) машины с устройством промывки удаляют массу травящего вещества, но не проводят нейтрализации;

3) высокая начальная стоимость машин, обладающих всеми или большинством необходимых свойств;

4) хотя время травления для двухсторонней меди толщиной 35 мкм и при свежем растворе хлорного железа составляет только 1 мин, производственные возможности машины ограничены;

5) сливные отверстия в промывной ванне должны быть достаточно большого сечения для обеспечения быстрого стока. Однако через спуск трудно очень быстро отводить воду при быстром повторении нескольких операций травления. Это затрудняет работу нижних распылителей воды и может привести к переливу в отстойник травящего раствора. Этой проблеме придается особое значение, когда в бак для промывки сливается еще и охлажденная вода;

6) у большинства машин имеется термочувствительный элемент термостатического действия. Поэтому возможно, что слив травильного раствора будет производиться в тот момент, когда нагреватель еще включен. Это представляет определенную опасность. Если машина оборудована встроенными переключающими насосами, то эту опасность можно свести к минимуму, используя такую электрическую схему, в которой цепь перекачивающего насоса включается с отключением цепи нагревателя. Это не дает 100%-ной гарантии, поскольку когда цепь перекачивающего насоса будет отключена и цепь нагревателя снова включена, отстойник будет уже пустым. Желательно термочувствительное устройство помещать рядом с нагревательным элементом. В этом случае для обратного включения нагревателя потребуется ручная операция.

Автоматические машины для горизонтального травления. Эти машины обладают преимуществами, описанными при рассмотрении машин горизонтального травления в объеме травителя. В дополнение к ним автоматические машины позволяют проводить конвейерную загрузку и обработку плат до 600 мм шириной и любой длиной и имеют встроенные сложные устройства промывки и нейтрализации. При этом нет необходимости в вибрации платы. Платы загружаются в машину на открытый горизонтальный конвейер, который несет их через камеры травления и промывки. Ролики конвейера устанавливаются попеременно сверху и снизу, обеспечивая доступ раствора к плате с обеих сторон. Эти машины предназначены для массового производства плат. Большие отстойники травящего вещества уменьшают простои для замены травящего раствора.

На рис. 6.32 показана автоматическая машина горизонтального травления.

К ограничениям и недостаткам машин этого типа относятся следующие:

- 1) приобретение машины требует значительных капиталовложений. Монтаж, слесарно-водопроводные работы, электротехнические работы и прокладка газоотводящих каналов обходится дорого. Для установки машины требуются значительные площади и они экономичны только при полной загрузке;

- 2) наличие большого количества движущихся деталей, сочленений, прокладок, арматуры и так далее очень усложняет обслуживание;

3) вибрирующие распылители перестают работать или выходят из фазы, если соединительные фланцы не затянуты должным образом. Неплотные соединения вызывают снижение давления в распылителе. Верхний и нижний распылители должны одновременно обрабатывать одну противоположную сторону одного участка платы. В противном случае небольшие легкие платы могут наклониться или перевернуться на конвейерной ленте и привести к значительному повреждению машины из-за заклинивания конвейера;

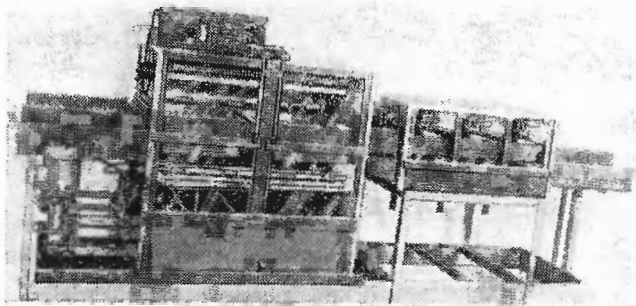


Рис. 6.32. Автоматическая горизонтальная травильная машина с разбрызгиванием травителя марки Chemcut Mod. 502 (фирма Centre Circuits).

4) при нагреве травящих растворов на обеих сторонах платы в большом количестве образуется пар. Машина должна иметь сапуны и должна быть оборудована вытяжной вентиляцией;

5) для определения давления верхнего и нижнего насосов необходимы измерительные приборы; в противном случае регулировка для компенсации разного воздействия травителя на нижнюю и верхнюю поверхности плат становится невозможной, и это приводит к дефектам;

6) спускные отверстия для воды должны обеспечивать быстрый сток воды. Водопроводные трубы в травильной камере должны иметь плотные клапаны, чтобы избежать перехода травящего раствора в водопровод.

16. Удаление резиста для сеткографии

Сетчатогографические резисты на базе винилов и асфальтов легко удаляют с помощью различных нефтяных растворителей, ксилола, минеральных спиртов, лаковых разбавителей или смесей этих веществ с трихлорэтиленом. В продаже имеются специальные растворители и растворы. Если применяются термически обработанные резисты, хорошо действует смесь ацетона и трихлорэтилена. Для того чтобы гарантировать полное удаление при обработке тампоном из ткани или мягкой щеткой (для ускорения процесса), меняют последовательно несколько кювет. В этом случае полезен нагрев, но он представляет опасность, так как возможно воспламенение растворителя и токсичность его паров.

Резисты для сетчатогографических трафаретов растворяются в растворителях.

В некоторых имеющихся в продаже растворителях могут содержаться осветляющие медь средства, такие как лимонная кислота или фенол. Они обеспечивают лучшую десорбцию резиста, но с ними надо очень аккуратно обращаться. В этом случае остаются в силе все соображения об осветлении после удаления резиста, высказанные в разд. 17.

17. Удаление фоторезиста

Фоторезисты свободно удаляются с помощью следующих методов:

- 1) раздубливания и смывки с помощью имеющихся в продаже растворителей;
- 2) проявления изображения проявителями;
- 3) крацевания поверхности сухой проволочной щеткой.

Негативные резисты KPR, KPF-2, KPL и смеси KPR, KPL и DCR удаляются при применении TCL-растворителя «Stoddard», хлорида метилена и специальных растворителей [26, 38, 39]. В этом случае резист не растворяется, а скорее набухает, разрывая адгезионную связь с подложкой. Поскольку резист занимает большую площадь, для смывки разбухшей пленки высокого давления, в случае, если удалить резисты трудно (например, после термической обработки), эффективно применять 3-мин пропитку (в за-

зависимости от стойкости подложки к раствору) и последующую очистку мягким хлопчатобумажным тампоном, пропитанным раствором. Толстые покрытия удалялись легче, чем тонкие.

Другие негативные фоторезисты КМЕР, КОР и КТЕР можно относительно легко удалить с помощью специальных растворов. Легкость удаления зависит от степени задубливания. Удаление фоторезиста КТFR происходит труднее всего. Поскольку эти резисты применяют чаще всего на металлических масках или металлических деталях, соображения, связанные с химической стойкостью, можно не учитывать. Поэтому большее распространение получило удаление фоторезиста химическим путем. Набухшую пленку можно удалять тампоном и струей воды.

С проводником платы с гальваническим покрытием весьма трудно удалить фоторезист из-под нависшего верхнего слоя металла. Помогает смягчить пленку обработка трихлорэтиленом (жидкого или парообразного). Затем пленку можно удалить химической очисткой в холодном растворителе и мягкой латунной щеткой. Помогает снять пленку электрохимическая очистка, сопровождающаяся, однако, значительным газообразованием.

Позитивные резисты AZ-15, AZ-17, AZ-1350 и AZ-340 могут быть полностью удалены ацетоном, кетонами, ацетатом целлюлозы и другими растворителями и сильными щелочными растворами. Пригодны растворы или резистивные растворители, специально разработанные для этих резистов.

Фоторезисты могут удаляться с помощью высокотемпературного обжига (от 400° до 500° C), механической шлифовки или кипячения в H_2SO_4 , $CrO_3-H_2SO_4$ или бензоловых сульфокислотах. Ни один из этих методов не подходит для обычных печатных плат.

Для хорошего травления очень важна очистка после снятия резиста с плат, покрытых металлическим резистом. Фоторезист, оставленный на краях проводников, приводит к возникновению неровностей и неполному травлению. В некоторых случаях неотравленные площадки получают из-за остатков масла в растворителях. Металл, который нужно травить, необходимо очистить так же, как при подготовке для гальванической обработки. Горячая щелочная электроочистка (катодная) и мягкой щеткой (не абразивной), затем промывка водой, окунание в 20%-ную сер-

ную кислоту, промывка водой, окунание в 20%-ную серную кислоту, проверка и, наконец, травление дадут возможность получить высококачественные изделия с хорошим процентом выхода.

При очистке и перед травлением плат можно применять крацевание вращающейся латунной щеткой, используя тонкие абразивные материалы и очистку мылом. Требуется, кроме того, полная промывка и немедленная сушка. Платы с металлическими резистами можно чистить вращающейся щеткой при использовании щелочных осветлителей. Абразивные материалы не следует применять, поскольку ими можно разрезать пленку резиста, и это может вызывать разрыв печатного проводника при травлении. Во время всех операций очистки и ручной обработки необходимо оберегать поверхность платы от механических повреждений. Те же самые соображения надо учитывать при удалении резистов, применяемых в сеткографии.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ТРАВЛЕНИЯ

Существует большое количество новых и более совершенных методов производства печатных плат. Некоторые из них приводятся ниже.

18. Гибкие схемы

Гибкие печатные схемы применяются в ракето- и самолетостроении, автомобильной промышленности, вычислительных устройствах, технике связи, станкостроении и других областях. Майлар толщиной от 0,06 до 0,25 мм можно соединить с медной фольгой. Кроме того, легко металлизуются медью фторопласты, гибкие эпоксидные материалы с основой из полиэфирных волокон, винил и т. п. при толщине волокон от 0,01 до 0,5 мм. Имеются машины для непрерывного осуществления процесса печати и травления. Две такие модели показаны на рис. 6.33 и 6.34.

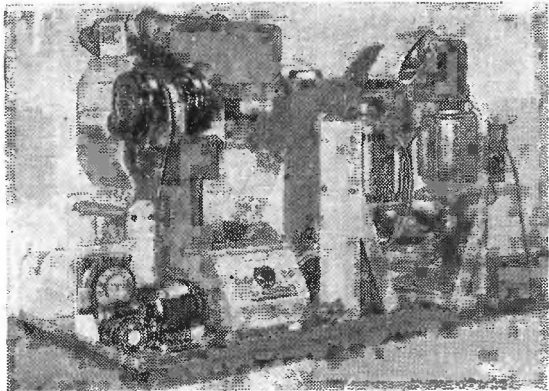


Рис. 6.33. Автоматическая травильная машина для травления гибких печатных схем модели 1232 (фирма GT Schjeldahl Co).

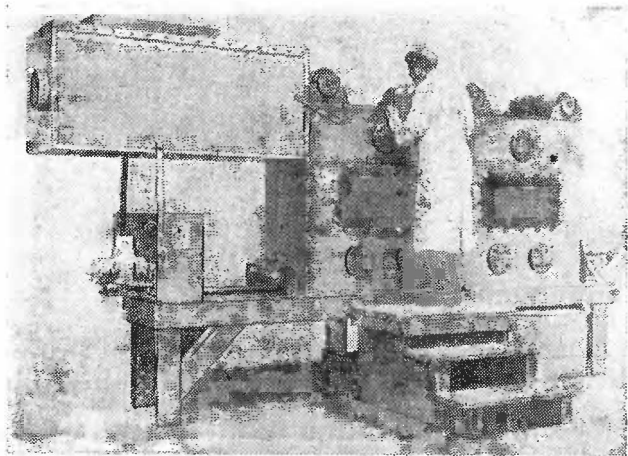


Рис. 6.34. Автоматическая травильная машина для травления гибких печатных схем модели 1232-24 (фирма GT Schjeldahl Co).

Электрoлитическое травление (электротравление) успешно применяется на металлах и сплавах, которые химически протравливаются с трудом (тантал, молибден, вольфрам, жаропрочные сплавы).

Процесс заключается в присоединении обрабатываемого изделия к анодной шине в гальванической ванне, в среде электрoлита, образующегося растворением ионов травящегося металла. Процесс очень точно управляем, поскольку удаление металла происходит только во время приложения электрического напряжения. Необходимо следить за подтравливанием, которое иногда может быть значительным. Электротравление плат с тонкими линиями является еще не изученной проблемой и требует разработки.

Требуемый рисунок отпечатывается с позитива с применением резистов для сеткографии или фоторезистов. Медь в электрoлите типа разбавленной H_2SO_4 является анодом, и площади, не защищенные резистом, травятся, как и при обычном травлении.

Широко применяется электротравление металлических деталей. С его помощью легко изготавливаются надписи, изображения букв или цифр. Для этой цели создается сэндвич, состоящий из проводящей пластины (катод), защитного трафарета из пластика или ткани с рисунком, который надо воспроизвести, и металла, на котором производится травление. Ткань и прокладку пропитывают соответствующим электрoлитом и прочно прижимают к аноду.

При электротравлении возникают следующие проблемы.

1. Как только протравятся до подложки изолированные площадки, контакт нарушается и электрoлитическое травление прекращается. На платах может образоваться недостаточный зазор между проводниками, контактными площадками и т. д. Для преодоления этого эффекта иногда применяются электрoлиты, которые могут действовать и как химические травители. В них травление и заканчивают. С помощью электротравления можно свободно и быстро травить химически не растворимые металлы.

2. Загрязнения, посторонние включения и композиционная и металлургическая неоднородность поверхности металлов будут влиять на скорость травления, приводя к неравномерному травлению. Может иметь место разрушение металла по границам зерен

3. Характер рисунка, форма и размер детали, изменение расстояния между катодом и анодом приводят к изменениям плотности тока на поверхности. Гораздо быстрее протравливаются края и углы печатной схемы или панели, чем центр. Во время травления внешние края проводящих линий, контактных площадок сильно подтравливаются, в то время как в центре травление еще не закончено.

4. Имеет место сильное подтравливание на всей плате, связанное с природой метода травления и материала.

5. Электротравление иногда приводит к возникновению внутренних напряжений и растрескиванию некоторых металлов, например вольфрама.

20. Процесс Марози

В этом процессе электролитическое травление используется для автоматического изготовления печатных плат. Металлический шаблон схемы, выполненный в масштабе 1:1, закрепляют на поверхности вращающегося цилиндра. Этот шаблон изготовлен методами фототравления, а вытравленную часть рисунка заполняют очень прочной, химически стойкой эпоксидной смолой. При работе этот шаблон является катодом, а медный слой фольги платы — анодом. Печатные платы с гальваническим покрытием и металлизированными отверстиями или без них автоматически вводятся в машину с заданной скоростью. Синхронно с движением плат вращается барабан, и рисунок схемы формируется почти так же, как если бы барабан отпечатывал его на каждую плату. Расстояние между анодом и катодом поддерживается примерно 0,1 мм. Промежуток анод — катод между платой и вращающимся шаблоном заполняется электролитом, состоящим из церина, поташа и азотной кислоты. Довольно надежно гарантируется непрерывность из-за твердого слоя, который постоянно остается на плате, пока она не прошла полностью через машину. Сечение проводников схемы получается большим в центре и уменьшается к краям платы из-за электротравящего действия, что может оказаться полезным в специальных случаях, например для деталей коммутатора или вращающихся переключателей. Здесь имеет место также и химическое травление. Растворенную в электролите медь можно извлечь электроосаждением или удалением с помощью ионообменных смол. При соответствующем контроле и отлаженной технологии процессов можно изготавливать платы с гальваническим покрытием и металлизированными отверстиями очень быстро.

Изменение расстояния между анодом и катодом в процессе травления из-за неравномерного покрытия на плате создает трудности. Проблемы регулировки зазора, потери диэлектрического заполнения на катоде, избыток меди в травителе, кристаллизация и так далее делают данный процесс очень сложным. Стоимость оборудования значительно снижается при массовом производстве.

21. Гальваническое покрытие только одних отверстий

Недавно был разработан метод изготовления печатных схем со сверлением отверстий через пленку органического лака и их последующей металлизацией. Хотя метод включает операцию по нанесению дополнительного покрытия, он обеспечивает более плотное расположение отверстий и менее критические допуски на печатную схему и с большей вероятностью гарантирует, что все отверстия будут иметь гальваническое покрытие после травления (пистоны остаются). Ряд плат был сделан по этому методу, и были получены превосходные результаты.

22. Тонкопленочная схема

Для изготовления тонкопленочных схем можно применять описанные выше химические методы травления. Широко распространены для получения тонкопленочных схем

Электропроводящая поверхность с фоторезистом



После электроформовки



Рисунок резиста на обратной стороне



После вытравливания меди и удаления резиста



Рис. 6.35. Изготовление биметаллической маски электроформовкой и травлением.

и методы, не основанные на химическом травлении, например, металлизация нанесением через маски, микромехани-

ческая, ультразвуковая или электронно-лучевая обработка напыленной металлической пленки и т. д.

Маски, необходимые для получения схем с тонкими линиями, выполняют по технологии травления или с применением травления. Для получения сложного рисунка часто применяются биметаллические структуры, одна из которых представлена на рис. 6.35.

ПЛАНИРОВКА УЧАСТКА ТРАВЛЕНИЯ

Участок травления предназначен для проведения четырех основных операций:

- 1) очистки до и после травления;
- 2) травления и промывки;
- 3) нейтрализации;
- 4) снятия покрытия (резиста).

Эти операции необходимо проводить в строгой последовательности. На каждом рабочем месте следует предусмотреть наличие полок и столов, где можно было бы складывать изделия до и после операции.

23. Выбор оборудования

Выбор оборудования необходимо осуществлять с учетом следующих факторов:

- 1) максимального размера обрабатываемой платы;
- 2) количества плат, обрабатываемых ежедневно;
- 3) запланированной производственной площади;
- 4) особенностей процесса травления: узкие или широкие проводники, метод изготовления плат (фотохимический или комбинированный) и т. д.;

5) типа плат (металлический резист, печать и травление и т. д.)

Максимальный размер обрабатываемых плат будет определять размер емкостей для проведения травления, промывки, очистки и нейтрализации. Следовательно, он будет влиять на размеры кассет или конвейера. Для платы $300 \times 450 \text{ мм}^2$ размер кассеты (рамы) или конвейера должен быть еще больше. Поэтому необходимо иметь дополнительную комнату для облегчения загрузки и разгрузки.

Количество обрабатываемых плат будет определять тип травильного оборудования. На этом оборудовании нужно будет dotравить нужное количество плат за обычный рабочий день, принимая во внимание время приготовления раствора и действительное время (в чел.-час), необходимое для травления. Когда обрабатывается большое количество плат одного типа, необходимо подумать об автоматическом оборудовании. Исключение ручного труда (по возможности) сокращает расходы и приводит к конечной выгоде.

Стеллажи для хранения, тара, столы и полки должны быть на каждом участке, где могут накапливаться платы, например: стеллажи для трафаретов, плат с фоторезистом, плат после травления.

24. Технологический процесс

Схема техпроцесса зависит от типа применяемого резиста. Например, платы с фоторезистом, предназначенные только для травления, подвергаются технологической обработке в соответствии с операциями, рассмотренными в разд. «Общие вопросы травления». Перед травлением буквы и свободную от фоторезиста медь проверяют для выявления наличия грязи, следов масла и т. д. Если на плате имеется гладкая водоотталкивающая поверхность, платы подвергаются обработке, начиная с очистки.

При большом количестве плат можно применить автоматическую травильную машину, однако преимущество двух небольших машин в этом случае состоит в том, что можно применять два разных травителя.

После травления с плат удаляют резист. Платы для удаления резиста нужно поместить в хорошо вентилируемую или закрытую камеру, поскольку паров растворителя в воздухе не должно быть. Затем нужно удалить остатки травителя, щелочных очистителей и кислотных промывочных средств. После удаления резиста и промывки платы обезжиривают в парах трихлорэтилена (ТХЭ). После изготовления их можно подвергнуть окончательной очистке щелочью, водой, 20%-ной HCl, промывке водой под душем и сушке на открытом воздухе. На платах с металлическим резистом сначала удаляют органический резист, а уже затем их подвергают обработке описанным способом.

На платах с гальванической металлизацией выступ, образованный из-за подтравливания, можно удалить ультразвуковой очисткой.

Как только платы поступают с травления, их проверяют. Если наблюдается избыточное подтравливание, то необходимо проверить условия травления. Когда требуется высокое качество обработки сначала с применением свежего травителя, изготавливают платы с жесткими допусками и наиболее сложные.

Необходимо обеспечить рабочие места приспособлениями для работы на различных этапах процесса: для хранения после травления, для хранения до и после удаления резиста. Прежде чем поместить их в шкафы для хранения, платы следует просушить. Никогда не следует укладывать вместе влажные или сухие платы, так же как и необходимо избегать царапин.

25. Требования к помещению

Пол должен быть выполнен из химически стойкой керамики и цементного раствора или покрыт эпоксидным пластиком. Для этих целей пригодно покрытие из стекло-эпоксидного пластика толщиной 1,5—3 мм, приклеенного к обработанному и сухому цементному полу. Деревянные полы также можно покрывать этим материалом. Наклон полов должен обеспечить быстрый и свободный сток воды или других растворов.

Баки и трубопроводы необходимо располагать несколько выше уровня пола, чтобы можно было их свободно сливать и держать их по возможности сухими. Предпочтительны баки, расположенные выше уровня пола с деревянной обрешеткой клиренса. Когда трубопроводы проходят под баками или в проходах, они должны быть выполнены из химически стойких материалов или иметь хорошую защиту от коррозии.

Растворы, вызывающие сильную коррозию, никогда нельзя сливать прямо в канализацию. Необходимо использовать трехсекционный отстойник, гарантирующий соответствующее разбавление раствора до попадания в основную канализационную систему. Предпочтение для этих целей следует отдавать цементным желобам с эпоксидным покрытием. Особо важными в травильном производстве являются: стабильное электрическое питание, хорошая вытяжная вентиляционная система, складские площади и меры по технике безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. P. E i s l e r (ed), «The Technology of Printed Circuits», chap. 7, Academic Press Inc., New York, 1959.
2. T. O. S c h l a b a c h and D. D. R i d e r, «Printed and Integrated Circuit», McGraw-Hill Book Company, New York, 1963.

3. Electronic Industries Association, Components Bull. 2, New York, June, 1959.
4. S. W. Chaikin, C. W. McClelland, J. J. Jannay, and S. Landsman, Ind. Eng. Chem., vol. 51, p. 305—308, 1959.
5. R. W. Beattie, ATE J., vol. 15, N 3, p. 272—276, 1959.
6. W. F. Nekervis, «The Use of Ferric Chloride in the Etching of Copper», Dow Chemical Co., Midland, Mich., 1962.
7. B. M. Schaffert, «Ferric Chloride Etching of Copper for Photoengravings», Photo-Engravers Research Inc., Columbus, Ohio, 1959.
8. J. O. E. Clark, Marconi Rev., vol. 24, N 142, p. 134—152, 1961.
9. E. B. Saubestre, Ind. Eng. Chem., vol. 51, p. 288—290, 1959.
10. L. E. Vaaler, Photoengravers Bull., vol. 37, N 10, p. 41—44, 1948.
11. Anon., Photoengravers Bull., vol. 36, N 11, p. 19—24, 1947.
12. G. MacDougall, Patra J., vol. 8, p. 35—40, 1944.
13. B. Baars and L. S. Ornstein, J. Electrodepositors Tech. Soc., vol. 13, pp. 1—8, 1937.
14. Anon, Phot. J., vol. 55, p. 168—175, April, 1915.
15. W. N. Greer, Plating, vol. 48, p. 1005—1098, 1961.
16. D. B. Alnutt, Photoengravers Bull, vol. 47, N 7, p. 10—18, 1958.
17. P. M. Daugherty, U.S. Patent 3,144,368, August, 1964.
18. J. R. Sayers and J. Smit, Plating, vol. 48, p. 789—793, 1961.
19. E. C. Jubb, Plating, vol. 51, p. 311—316, 1964.
20. H. S. Hoffman, «Methods of Producing Fine Lines in Printed Circuits», Proceedings of the 1960 Fall Meeting of the Institute of Printed Circuits, Inc., Chicago, Ill.
21. «Etching of Printed Circuits with Ammonium Persulfate», Food Machinery and Chemical Corporation, New York; U.S. Patents 2,978,801; 3,129,153.
22. T. D. Schlabbach and B. A. Diggory, Electrochem. Tech., vol. 2, p. 118—121, 1964.
23. L. H. Sharpe and P. D. Garn, Ind. Eng. Chem., vol. 51, p. 293—298, 1959.
24. O. D. Black and L. H. Cutler, Ind. Chem., vol. 50, p. 1539—1540, 1958.
25. B. Miller and T. D. Schlabbach, Ind. Eng. Chem. Process Design Develop., vol. 4, N 3, p. 259—263, July, 1965.
26. Kodak Photo-sensitive Resists for Industry, Publ. P-7, 1962, Eastman Kodak Company, Rochester, N.Y.
27. M. Straschill, «Pickling of Metals», R. Draper, Ltd., Teddington, 1963.
28. Ref. 2, chaps. 2—3.
29. «Engineering with DuPont Films», DuPont Bull. A-17616, G-1.
30. J. S. Judge, J. R. Morrison, and D. E. Speliotis, J. Appl. Phys., vol. 36, p. 948—949, 1965.
31. E. Saubestre, Metal Finishing, vol. 60, N 6, p. 67—73, N 8, p. 45—49, 525, N 9, p. 59—63, 1962.
32. P. F. Kury, J. Electrochem. Soc., vol. 103, p. 257, 1956.

33. F. L. L a Q u e and H. R. C o p s o n, «Corrosion Resistance of Metals and Alloys», 2d ed., Reinhold Publishing Corporation, New York, 1963.
34. L. L. S h r e i r, «Corrosion», 2 vols., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1963.
35. H. H. U h l i g, «The Corrosion Handbook», John Wiley & Sons, Inc., New York, 1948.
36. U. R. E v a n s, «Corrosion and Oxidation of Metals», Edward Arnold (Publishers) Ltd., London, 1960.
37. Ref. 1, p. 69.
38. Printed Circuit Materials Directory, Electron. Packaging Production, vol. 4, N 12, December, 1964.
39. «Metal Finishing Guidebook», Metals and Plastics Publications, Inc., New Jersey, yerly.
40. New Methods in Printed Circuitry, Western Manufactory, July, 1963, p. 26—29; U.S. Patent 3,239,441.
41. E. A r m s t r o n g and E. F. D u f f e k, Electron. Packaging Production, vol. 6, N 5, p. 20—25, May, 1966.

ПРЕССОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛАТ

Джон Э. Мартин,

фирма «Дженерал Электрик Компани», Кошоктон, Огайо, США

ВВЕДЕНИЕ	378
МАТЕРИАЛЫ	378
1. Системы смол	378
2. Материал В-типа (связующие слои)	379
3. Фольгированный медью листовой материал	379
4. Процесс прессования многослойных плат	380
ОБОРУДОВАНИЕ	380
5. Пресс	380
6. Термодатчики	381
7. Оборудование для фиксации слоев	381
ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ	382
8. Выбор сырья	382
9. Определение конечной толщины	383
ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ЭТАПЫ	383
10. Подготовка слоев печатной платы	383
11. Хранение и обращение со связующими листами	384
СБОРКА И ПРЕССОВАНИЕ	384
12. Общие сведения	384
13. Два метода управления температурой	385
14. Приложение давления	387
15. Снятие напряжений	387
ДЕФЕКТЫ ПРЕССОВАНИЯ	388
16. Плохая связь между слоями	388
17. Вдутия внутри собранной платы	388
18. Мелкие пузырьки	389
19. Смещение внутренних слоев	389
20. Перекос платы в процессе пайки погружением	389
21. Образование пор в процессе пайки	390

Первоначальный толчок развитию многослойных плат дала миниатюризация, однако разработчикам вскоре стало понятно, что в многослойную плату можно включить земляной слой, экранированные проводники, а в некоторых случаях даже встроенные конденсаторы. Это устраняет некоторые паразитные связи, неизбежные в обычных печатных платах. По этим причинам можно ожидать, что в ближайшем будущем технология производства многослойных плат будет стремительно развиваться.

Когда данная книга писалась, существовало довольно пренебрежительное отношение к процессам прессования, необходимым для получения высококачественных многослойных плат. Цель данной главы — дать представление о материалах, технологическом оборудовании и методах, применяемых в производстве многослойных плат.

Объектом рассмотрения будем считать стекловолоконистые материалы, пропитанные эпоксидной смолой; такие материалы значительно упрощают технологию прессования, так как допускают определенные отклонения от режимов обработки. Следовательно, в качестве сырья будут рассмотрены фольгированный медью стеклотекстолит, полностью полимеризованный, и стеклоткань, пропитанная эпоксидной смолой и неполностью полимеризованная.

МАТЕРИАЛЫ

1. Системы смол

Известны сотни возможных систем эпоксидных смол, из которых лишь некоторые пригодны для склеивания под давлением. Тем не менее для склеивания под давлением пригодны только материалы, специально поставляемые для этих целей. При этом необходимо следовать всем рекомендациям изготовителей по режиму полимеризации, который зависит от количества и типа катализатора.

Система эпоксидной смолы состоит из двух составляющих — смолы и катализатора. Отдельно обе составляющие

могут храниться сколь угодно долго. Однако сразу после их смешивания начинается полимеризация, скорость которой зависит от температуры. Полимеризацию можно определить как необратимый процесс соединения малых молекул в более крупные. В результате этого получается прочный материал, стойкий к большинству растворителей. В эпоксидных системах имеет место прямое химическое сложение и в процессе реакции нет обезвоживания, например, в системах с фенольными смолами. Полностью полимеризованная эпоксидная смола обладает высокой электрической и механической прочностью, хорошей адгезией почти к любой поверхности и мало подвержена действию обычных растворителей.

2. Материал В-типа (Bonding sheats)

Поставщик связующих листов для прессования многослойных плат перемешивает смолу и катализатор в точно отмеренных пропорциях. Лента стеклоткани пропускается через ванну с этой смесью, там пропитывается, а потом отжимается роликами для удаления излишней смолы и получения расчетного содержания смолы в ткани. Пропитанная смолой стеклоткань подвергается в сушилке воздействию высокой температуры до тех пор, пока не перестанет прилипать на ощупь. Такое состояние упрощает обращение с материалом, несмотря на то, что необратимая полимеризация еще не наступает.

Другими словами, смола, пропитывающая стеклоткань, при нагревании разжижается, превращается в гель, а затем наступает полная полимеризация, после которой смолу уже невозможно расплавить нагреванием. Этот частично полимеризованный материал называется материалом В-типа, или связующим листом. Использование именно этого материала в производстве многослойных плат предполагается автором данной главы.

3. Фольгированный медью листовой материал

Для изготовления фольгированных листов расчетной толщины берут необходимое количество слоев материала В-типа для получения расчетной толщины, накладывают

с одной или с обеих сторон медную фольгу и помещают весь пакет в пресс с нагретыми плитами. В результате нагревания смола связующих слоев разжижается, приобретает текучесть и хорошо смачивает стекло, ткань и фольгу. При продолжении нагревания происходит полимеризация, в результате чего все слои пакета соединяются в монолитный блок. Таким образом получается заготовка, из которой травлением получают отдельные схемы. Последние затем собирают в пакеты со связующими листами и прессуют для получения многослойной структуры.

4. Процесс прессования многослойных плат

Все сказанное выше необходимо для понимания сущности этапов технологического процесса. Необходимо усвоить, что то тепло, которое разжижает смолу связующих листов, может вызвать ее полную полимеризацию, поэтому очень важно, чтобы оборудование обеспечивало быстрый нагрев для разжижения смолы до момента полимеризации. Принципиально можно вызвать полимеризацию смолы путем слабого нагрева, минуя ее разжижение, но это приводит к дефектам связи между слоями.

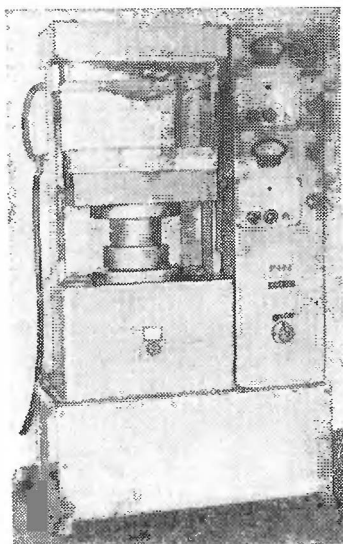


Рис. 7.1. Гидравлический пресс с электрообогревом.

ОБОРУДОВАНИЕ

5. Пресс

Прежде всего нужен пресс (рис. 7.1) с плитами, размеры которых несколько больше размеров заготовки для самой большой платы схемы. Плиты пресса должны быть строго плоскопараллельными, что достигается грунтовкой или механической обработкой. Неплоскостность плит должна

быть в пределах допусков на толщину готовой платы. В конструкции плит должно быть предусмотрено водяное охлаждение для быстрого снижения температуры. Пресс должен обеспечивать регулируемое давление прессования до 70 кг/см^2 .

Обычно применяют прессы двух типов, отличающиеся скоростью нагрева. Пресс, разработанный для длительных нециклических операций, имеет значительную тепловую мощность, необходимую для поддержания нужной температуры. Однако такой пресс имеет довольно большое время разогрева до температуры полимеризации.

Пресс, плиты которого могут быть разогреты до температуры полимеризации за несколько минут, обеспечивает значительно более быстрый и надежный производственный цикл. Более детально это объясняется в разд. «Сборка и прессование».

6. Термодатчики

Другой весьма желательной частью оборудования является потенциометр с весьма точными термопарами в качестве датчиков, которые могут быть размещены по краю заготовки платы во время прессования. Поскольку пределы температуры для обеспечения нормального процесса определены, эти приборы позволяют выполнять прессование неквалифицированному персоналу.

Само собой разумеется, что в конструкции печатной схемы должно быть предусмотрено удаление участков заготовки с термопарами на последующих этапах изготовления платы.

7. Оборудование для фиксации слоев

Для удержания схем в определенном положении во время прессования необходимы специальные приспособления. Обычно такое приспособление состоит из двух алюминиевых или стальных пластин с отверстиями для направляющих штырей, расположенных за пределами рисунка схемы (рис. 7.2 и 7.3).

Штыри служат для фиксации схем и связующих листов в определенном положении в процессе прессования. Необходимо, чтобы штыри были несколько короче конечной тол-

щины пакета и обеих пластин приспособления. Другими словами, штыри должны остаться в плавающем положении и при минимальной толщине пакета, в противном случае плиты пресса будут упираться в них.

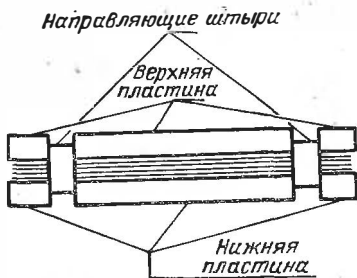
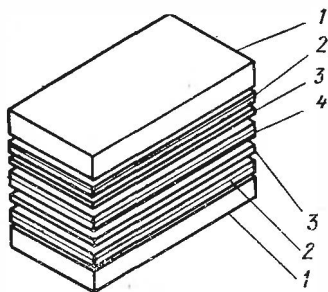


Рис. 7.2. Пакет, готовый для прессования. На практике площадь плиты пресса превышают площадь пакета и площадь пластин.

1—плита, 2—прокладки, 3—пластина (металлическая), 4—фольга и связующие листы.

Рис. 7.3. Предлагаемый метод фиксации. Длина направляющего штыря должна быть больше суммарной толщины пакета и одной пластины. Длина направляющего штыря должна быть меньше суммарной толщины прессованного пакета и обеих пластин.

ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ

8. Выбор сырья

Прежде всего необходимо уточнить толщину приобретаемых фольгированных и связующих листов. Как правило, толщина фольгированных листов, не считая толщины меди, составляет от 75 до 125 мкм. Связующие листы обычно имеют толщину от 90 до 140 мкм. В зависимости от типа печатной схемы между каждой парой фольгированных листов прокладывается один или два слоя связующих листов толщиной 140 мкм. Во всяком случае толщина связующих листов должна быть вдвое больше промежутка между фольгированными слоями (рис. 7.4), подлежащего заполнению.

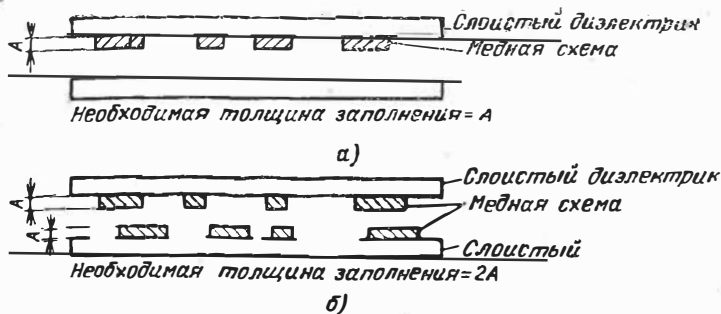


Рис. 7.4 Толщина слоя связующих листов.

9. Определение конечной толщины

Зная номинальную толщину материала, поступающего от поставщика, можно достоверно определить толщину готового продукта. Если необходимо получить малые допуски по толщине готового изделия, проводят пробное пресование и, в зависимости от результата, корректируют конечную толщину, подбирая толщину и количество слоев заготовки. Хорошо зарекомендовала себя конструкция, обладающая, если это возможно, симметрией по обе стороны от средней плоскости. В этом случае конструкция механически уравновешена (отсутствие такого равновесия является главной причиной коробления готовых плат).

ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ЭТАПЫ

10. Подготовка слоев печатной платы

Как правило, внутренние слои платы для получения рисунка схемы подвергаются травлению, а на двух наружных медь полностью сохраняется для осуществления металлизации в случае, если с ее помощью после сверления выполняются межслойные соединения в плате. Листы, предназначенные для пресования, должны быть тщательно промыты водой и высушены в печи. Слои с вытравленным рисунком обрабатывают с помощью пемзы или тонкого абразива

ного порошка. Другой хороший метод очистки состоит в погружении слоев с вытравленным рисунком на 5 сек в концентрированную серную кислоту (98%-ную).

После тщательной промывки и сушки в течение 20 мин в печи при температуре $+125^{\circ}\text{C}$ заготовки можно брать руками лишь в чистых хирургических перчатках.

11. Хранение и обращение со связующими листами

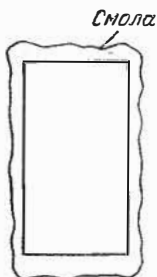
Связующие листы при хранении постепенно полимеризуются. Однако существует несколько марок материала, который остается годным после хранения в течение нескольких месяцев при температуре не более $+15^{\circ}\text{C}$. Поставщик обязан указывать допустимый срок хранения поставляемого им материала, а также рекомендовать лабораторный метод проверки пригодности материала к употреблению. Некоторые материалы требуют хранения при пониженной температуре. Иногда перед прессованием материал, хранящийся в охлажденном состоянии, должен быть выдержан в течение нескольких часов в помещении при комнатной температуре и относительной влажности воздуха меньше 50%. Последнее необходимо, чтобы избежать попадания конденсированной влаги в зону прессования.

СБОРКА И ПРЕССОВАНИЕ

12. Общие сведения

Важным моментом в процессе прессования является приложение максимального давления именно в тот момент, когда смола переходит в состояние геля. Если приложить давление, когда смола находится в жидком состоянии, значительное количество смолы будет выдавлено и в готовой плате образуются пустоты. Если приложить давление после того, как смола из состояния геля перейдет в твердое состояние, между слоями возникает плохая связь. Это требование является определяющим для процесса прессования (рис. 7.5).

*Давление приложено,
когда смола была
в жидком состоянии.*



*Излишек смолы
выдавлен*

а)

*Давление приложено,
когда смола была
в состоянии геля*



*Выдавлен минимальный
излишек смолы*

б)

Рис. 7.5. Признаки правильного и неправильного приложения давления.

13. Два метода управления температурой

Метод 1. Если применяется пресс с медленным прогревом, необходимо предварительно довести его до рабочей температуры, рекомендованной поставщиком связующих листов. Обычно это температура порядка 175°C . Затем производят сборку пакета в приспособлении, описанном выше. Помещая приспособление в пресс, желателно проложить между ним и плитами прессы несколько листов плотной бумаги. Правда, это образует теплоизоляционный слой, но он, как правило, существенно не влияет на скорость процесса. В то же время эта мера не только желательна, но и необходима для большинства современных мощных прессов. Плиты прессы приводят в соприкосновение с пакетом, и производится предварительное сжатие для обеспечения контакта между листами и нагревом пакета с использованием его теплопроводности. Одновременно ведут наблюдения за кромкой пакета. Через несколько минут на кромке появляется и начинает пузыриться смола. Это значит, что смола находится в жидкой фазе. В этот момент термопара покажет температуру порядка $120 - 125^{\circ}\text{C}$. Момент, когда смола перестанет пузыриться, соответствует наступлению состояния геля. Это происходит через 1—2 мин после начала

пузырения смолы. Как только наступит состояние геля, необходимо приложить полное давление прессования (рис. 7.6).

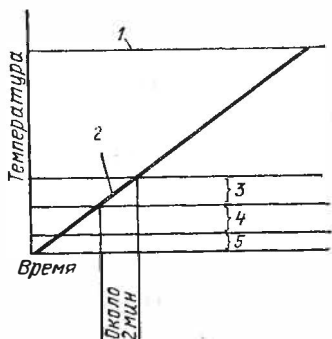


Рис. 7.6. 1-й метод прессования (с медленным прогревом): нагреть плиты пресса до температуры отверждения; начать цикл прессования при этой температуре до достижения полного отверждения: 1 — температура отверждения; 2 — время приложения полного давления прессования; 3 — смола в состоянии геля; 4 — смола в жидком состоянии; 5 — смола в состоянии В,

Метод 2. Если есть возможность использовать пресс с быстрым нагревом, применяется цикл со ступенчатым прессованием. Он включает в себя предварительное контактное сжатие пакета в холодном состоянии, последующий нагрев

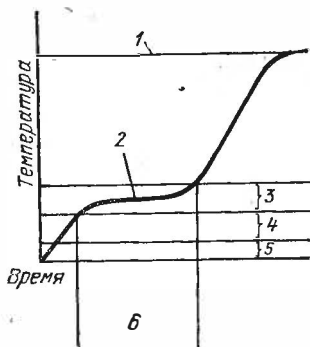


Рис. 7.7. 2-й метод прессования (с быстрым прогревом): начать цикл прессования при комнатной температуре; поднять температуру до достижения температуры геля; приложить полное давление прессования и поднять температуру до достижения температуры отверждения:

1 — температура отверждения; 2 — время приложения полного давления прессования; 3 — смола в состоянии геля; 4 — смола в жидком состоянии; 5 — смола в состоянии В; 6 — допустимая выдержка намного дольше, чем при 1 методе прессования.

до температуры 125—130° С и выдержку при этой температуре в течение нескольких минут, пока смола не придет в состояние геля. Сразу после этого одновременно повышают давление и температуру до значений, необходимых для прессования (рис. 7.7).

14. Приложение давления

На рис. 7.6 и 7.7 представлен в виде диаграмм рост температуры, соответствующей методу 1 и методу 2. Диаграммы построены без соблюдения какого-либо масштаба, поскольку скорость изменения температуры зависит от применяемого оборудования и материала. Тем не менее можно заметить, что второй метод обеспечивает большую свободу выбора момента приложения максимального давления, поскольку в этом методе имеется период в несколько минут, в течение которого может быть приложено давление, обеспечивающее качественное прессование. В случае же применения метода 1 ошибка в 2 мин может привести к браку. Поскольку в большинстве прессов с электрическим нагревом требуется примерно 20 мин для прогрева от температуры геля до температуры прессования, метод 1 рекомендуется именно для такого прессового оборудования. Выбор величины давления прессования базируется на рекомендациях поставщика связующих листов.

Удобно, что высококачественная эпоксидная смола относительно мало чувствительна к превышениям расчетной длительности термообработки. По этой причине термообработку следует проводить до полного отверждения смолы связующего листа, после смола станет нечувствительной к последующим возможным отклонениям технологического процесса. Удвоенная длительность термообработки фольгированных медью слоев платы не приведет к браку. По окончании прессования нагреватель выключается и в плиты пресса подается охлаждающая вода. Давление пресса не сбрасывается до тех пор, пока температура заготовки не снизится до 50%. Если температура не измеряется прибором, пресс нужно охлаждать настолько, чтобы до плит можно было безболезненно дотронуться рукой. После такого охлаждения спрессованный пакет готов для окончательной обработки. Обычно последняя включает обрезку краев, сверление, металлизацию отверстий, покрытие золотом и травление рисунка.

15. Снятие напряжений

Если обнаруживается тенденция платы к короблению при последующей обработке, это может быть объяснено действием напряжений, возникающих при слишком быст-

ром охлаждении пресса. Во избежание коробления рекомендуется следующая операция: после удаления из пресса и обрезки краев плату зажать между двумя пластинами и поместить на 40 мин в лабораторную печь с температурой 125° С.

ДЕФЕКТЫ ПРЕССОВАНИЯ

16. Плохая связь между слоями

Возможные причины:

— Смола слишком приблизилась к состоянию полной полимеризации еще до приложения полного давления. В этом случае смола практически не выходит по краю пакета.

— Наличие инородного материала, грязи или жира. Необходимо обеспечить чистоту поверхностей схем, особенно на непротравленных участках. Для очистки применяется обработка парами трихлорэтилена, абразивной пудрой или концентрированной серной кислотой. После очистки необходимо тщательно промыть платы в проточной воде, высушить в печи и брать их руками только в чистых хирургических перчатках.

— Применение связующих листов с просроченным сроком хранения. Перед применением сырья необходимо проводить рекомендованные поставщиком испытания на текучесть смолы. Результаты испытаний нужно сравнивать с эталонными данными, полученными от поставщика.

17. Вздутия внутри собранной платы

Возможные причины:

— Недостаточная для обеспечения герметизации всей платы толщина связующего листа. Толщина связующего листа должна быть вдвое больше общей толщины медной фольги, т. е. между медными листами толщиной 50 мкм каждый необходимо прокладывать связующий лист толщиной от 250 до 500 мкм.

— Приложение полного давления в период, когда смола еще не перешла в состояние геля. Необходимо следить за появлением по краям слишком большого количества смолы.

Если это имеет место, при прессовании следующего пакета необходимо до приложения полного давления дать несколько большую выдержку.

— Попадание воздуха между слоями в результате недостаточного давления прессования. Эта причина будет исключена, если давление будет составлять от 28 до 35 кг/см^2

— Неравномерное давление. Исключить эту причину можно, применяя прокладки из нескольких листов бумаги толщиной 0,25 мм между плитами пресса и пакетом.

— Плохая связь между слоями, рассмотренная выше. Такой дефект бывает замечен в виде светлого пятна на поверхности платы.

18. Мелкие пузырьки

Мелкие вздутия, повторяющие рисунок переплетения волокон стеклоткани. Иногда такие вздутия позволяют группами, иногда — на большей части поверхности платы. Часто такие вздутия соответствуют рисунку схемы. Возможная причина — плиты пресса раскрыты прежде, чем они достаточно охладились.

19. Смещение внутренних слоев

Возможная причина — сила сцепления между слоями недостаточна. Этот дефект можно исключить

— применяя слой с высоким поверхностным натяжением в горячем состоянии;

— увеличивая ширину линий проводников;

— уменьшая давление прессования, что, однако, может создать другие трудности.

20. Перекося платы в процессе пайки погружением

Возможные причины:

— Несбалансированная конструкция. Необходимо всегда стремиться к созданию симметричной конструкции, т. е. располагать слои симметрично относительно центральной плоскости.

— Возникшие в процессе прессования напряжения, не снятые в достаточной мере. Чтобы быть уверенным в отсутствии этой причины, необходимо после обрезки краев платы подвергать их отпуску для снятия напряжений, как указано выше.

21. Образование пор в процессе пайки

Возможная причина — присутствие инородных материалов. Таким материалом могут быть пузырьки воздуха при недостаточном давлении прессования, обычно обнаруживаемые визуально перед пайкой. Это могут быть микроскопические количества воды, прилипшие насекомые или другие включения, способные испаряться при температуре пайки.

ЭЛЕКТРОМОНТАЖ

Монтаж — это процесс соединения компонентов между собой. Применительно к печатным схемам компонентами могут быть как активные и пассивные дискретные элементы, которые использовались с начала развития электроники, так и микрорезисторные схемы. В любом случае в печатных платах соединения обеспечивают проводники, а для создания контакта используется пайка. Поскольку пайка имеет свою специфику, она рассматривается в специальной части. В настоящей же части рассматриваются вопросы, касающиеся компонентов и плат.

Хотя собранная печатная схема, как правило, является конструктивным элементом большого и значительно более сложного электронного устройства, прямые затраты, связанные с изготовлением печатной схемы, являются основной частью общей стоимости изготовления аппаратуры. Вероятность ошибок при монтажных работах значительно больше, чем при изготовлении плат. Это означает, что основное внимание должно уделяться составлению монтажного процесса и его контролю.

Большое разнообразие количественных и качественных требований к печатным узлам и блокам делает невозможным создание единой документации для процесса монтажа. Поэтому следующие две главы рассматривают некоторые примеры, которые помогут читателю проанализировать эти процессы. Необходимо помнить (это касается всей книги, но особенно следующих двух глав), что надо четко определить свои собственные задачи и ясно их формулировать. Слепое применение представляемых процессов в конкретном производстве создает столько же новых проблем, сколько решает старых.

Глава, посвященная защите схемы от воздействия внешней среды, включенная в этот раздел, содержит большое количество сведений, полезных как конструктору, так и технологу.

Темы о защите монтажа от воздействия внешней среды, как например зачистка плат, включены в главы, посвященные пайке, металлизации и травлению.

При выборе процесса монтажа необходимо рассмотреть все его факторы. Назначение этой главы не в том, чтобы дать совершенный образец, подходящий для любого случая, а в том, чтобы приведенные данные помогли бы определить направление поисков учета всех факторов выбранного процесса.

РУЧНАЯ СБОРКА

Уэйн Л. Жослэн,

фирма «Хьюлетт — Паккард Компани», Пало Альто, Калифорния, США

ВВЕДЕНИЕ	394
1. Эталонная плата	394
2. Монтажный процесс	395
3. Экономические соображения	396
ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ	397
4. Конструкция	397
5. Стоимость	398
ПЛАНИРОВАНИЕ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА	398
6. Визуальные вспомогательные средства	399
7. График обучения	399
8. Анализ действия правой и левой рук	400
9. Подготовка выводов	401
10. Схема монтажного поста	402
МОНТАЖНЫЙ ПРОЦЕСС	404
11. Подгибка выводов	404
12. Проверка перед пайкой	404
13. Пайка	404
14. Специальные компоненты	405
15. Допайка ручным паяльником	406
16. Окончательный контроль	406
17. Испытания и ремонт	406
18. Защитные покрытия	406
19. Хранение	407
ЕДИНИЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО	407
КРУПНОСЕРИЙНЫЙ ПРОЦЕСС	407
20. Планирование	407
21. Схемы поста сборки	408
22. Электромонтажная пайка	409
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	409

В процессе сборки функционального электронного блока на печатную плату устанавливаются навесные элементы различных типов и конфигураций. Установка навесных элементов характеризуется несколькими параметрами, значение каждого из которых при рассмотрении выбранного метода, зависит от дальнейшего использования аппаратуры. К печатным платам, используемым в бортовых ЭВМ, ввиду специфичных ограничений будут предъявляться иные технические требования, отличающиеся от требований, предъявляемых к платам, используемым в дешевых транзисторных приемниках. Приведенные примеры иллюстрируют крайние значения очень широкого спектра таких определяющих характеристик плат, как надежность и стоимость.

1. Эталонная плата

Для того чтобы показать различие в подходе к выбору процесса монтажа, должен быть выбран эталон платы. Типовая плата показана на рис. 8.1.

На плате, имеющей печатный разъем, смонтированы транзисторы в корпусах ТО-5, 0,25-вт угольные резисторы, диоды в стеклянных корпусах, слюдяные конденсаторы. Хотя плата имеет стандартное расположение отверстий для монтажа резисторов, диодов, транзисторов и конденсаторов и не используется формовка выводов, необходимо показать, что могло бы произойти, если бы это было иначе. Плата — двухсторонняя с металлизированными отверстиями, изготавливаемая для использования в промышленной аппаратуре. Ударная и вибрационная надежности не превосходят надежности при транспортировке. Качественные требования обычные для большинства типов плат. Применительно к специфике процесса могут быть сделаны некоторые допущения.

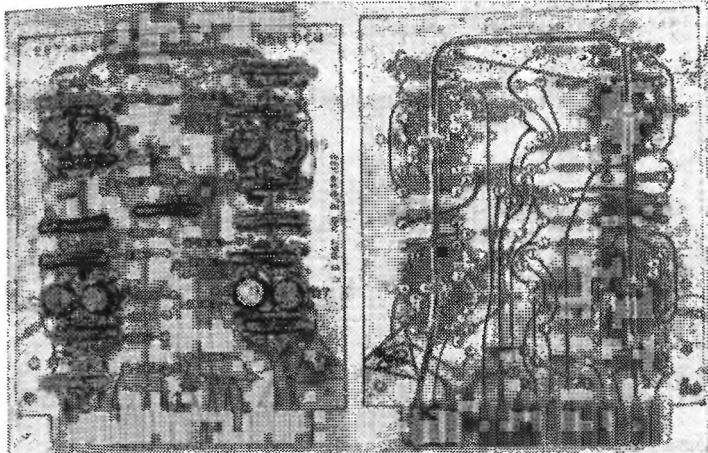


Рис. 8.1. Типовая или эталонная плата (производства фирмы «Бекман Инст.»).

2. Монтажный процесс

Сборка и монтаж печатного блока могут быть представлены как процесс, состоящий из нескольких этапов. В типовой процесс входят следующие этапы или операции:

1. Подготовка (комплектование всех необходимых деталей).
2. Подготовка компонентов (обрезка и формовка выводов).
3. Очистка плат (промывка в очистителе или активном флюсе с последующим прополаскиванием в воде для подготовки платы к пайке).
4. Контроль (осмотр компонентов и плат для проверки размеров и выявления повреждений).
5. Рассортировка компонентов по ячейкам в соответствии с последовательностью монтажа.
6. Сборка блока.
7. Контроль расположения компонентов и их номиналов.
8. Пайка (ручная, погружением, машинная).
9. Очистка платы (удаление остатков припоя и флюса).
10. Дополнительный монтаж компонентов, которые могут быть повреждены при очистке или под действием нагрева при пайке.

11. Стопроцентный визуальный контроль пайки, выявление незапаянных компонентов, контроль внешнего вида.
 12. Исправление паек и ошибок в монтаже.
 13. Электрические испытания (эти испытания дают возможность не проверять компоненты, монтируемые дополнительно по п. 10).
 14. Исправление дефектов и повторная проверка блока.
 15. Испытания на влагоустойчивость (при необходимости).
 16. Передача на склад для хранения.
- Все указанные операции могут выполняться вне зависимости от особенностей имеющегося процесса.

3. Экономические соображения

Не существует двух идентичных процессов сборки. Решения, касающиеся выбора технологии сборки, зависят от особенностей производства. Принять такое решение помогают приводимые ниже данные (табл. 8.1). Умножая

Таблица 8.1

Типовые временные нормы сборки на один компонент

Виды выводов компонентов	Ручная формовка	Машинная формовка		Гидравлическая формовка	
	ручная, гибка, установка, подрезка выводов после пайки	формовка	ручная установка	формовка	ручная установка
Аксиальные выходы (резистор, диод)	0,0037	0,0005	0,0010	0,0005	0,0007
Радиальные выходы	0,0037	0,0010	0,0010	—	—
Транзистор	0,0032	0,0012	0,0015	—	—

Примечание. На каждую операцию проверки по маркировке или по эталону прибавить 0,0010 час. Для ручной подгибки вывода под платой (прибавить 0,0006 час на каждый вывод.

и складывая эти данные (время в часах) применительно к особенностям производства, можно вычислить трудоемкость операций. Приводимое время является справочным,

данные получены практическим путем, и хотя они не могут быть универсально использованы для всех случаев, порядок величины соответствует действительности.

Ниже приводится стоимость оборудования для определения возможности его использования в каждом частном случае.

Оборудование	Стоимость, долл.
Вращающийся стол с ячейками	125
Приспособление для формовки аксиальных выводов	1200
Приспособление для формовки выводов транзисторов	2000
Приспособление для формовки радиальных выводов	200
Приводной узел для пп. 3 и 4	150
Шаговый конвейер	80
Гидравлический пресс для формовки выводов	800
Штампы для пресса (только для аксиальных выводов) за комплект	150

Примеры.

1. 100 компонентов с аксиальными выводами, гибка ручная, подгибка выводов, 100 проверок: $100 (0,0037 + 0,0010 + 0,0012) = 0,590 \text{ час.}$

2. 100 компонентов с аксиальными выводами, формовка машинная, 4 проверки: $100 (0,0005 + 0,0010) + 4 \cdot 0,0010 = 0,154 \text{ час.}$

3. 100 компонентов с аксиальными выводами, формовка в штампе, 4 проверки: $100 (0,0005 + 0,007) + 4 \cdot 0,0010 = 0,124 \text{ час.}$

Данные подтверждаются практикой.

ОСНОВНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ

Организация производства плат базируется в основном на особенности их конструкции и их стоимости. Рассмотрим эти слагаемые подробнее.

4. Конструкция

Первое самое важное требование к конструкции — правильность компоновки. Сюда входят: типы компонентов, их разнообразие, местоположение и сопряжение их с инструментом, который будет использован в сборке. Обычно опытный технолог может упростить компоновку, снизив при этом стоимость при одновременном повышении качества.

Качество — второе требование к конструкции. Смонтированный блок должен по качеству соответствовать требуемому уровню. Трудно установить точный критерий качества. Многие фирмы определяют свои требования к качеству технологичностью, внешним видом, соответствием стандартам на выпускаемую продукцию. При этом выпускаемая аппаратура работает в течение определенного времени или определенного числа циклов, чем и подтверждается ее работоспособность.

Надежность — третье требование, зачастую полностью зависящее от качества. Под надежностью здесь понимается степень уверенности в работоспособности аппаратуры в необходимых климатических условиях и в поддержании этой работоспособности в течение определенного времени.

Военные требования, касающиеся надежности, также могут влиять на изменение монтажного процесса.

5. Стоимость

При учете всех требований выбранный метод должен приводить к поставленной цели с минимальными затратами. Очевидно, блок, требующий применения особой технологии, обойдется дороже. Однако и в этом случае необходимо стремиться к минимальной стоимости.

Стоимость зависит от трудоемкости, объема производства и применяемого оборудования. Комбинация этих трех параметров в соответствии с требованиями, предъявляемыми к конструкции, и определяет границы выбора конструктивного решения.

ПЛАНИРОВАНИЕ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Обычно мелкосерийным считается выпуск около 100 единиц продукции в месяц. При этом можно применять следующее оборудование:

приспособление для формовки и обрезки выводов компонентов с аксиальными выводами; приспособление для формовки и обрезки выводов компонентов с радиальными выводами; приспособление для формовки и обрезки выводов транзисторов; штамп и пресс для обрезки и рихтовки

выводов компонентов с аксиальными выводами; вращающийся стол и тара для компонентов с вертикальными роторными носителями компонентов.

6. Визуальные вспомогательные средства

На печатный блок наносятся маркировочные обозначения. На каждый компонент наносят маркировку, обозначающую очередность его установки (вначале устанавливаются компоненты меньших размеров — диоды и резисторы, затем компоненты больших размеров).

Следующим шагом является запись номеров компонентов, соответствующих последовательности их установки, и обозначение межцентровых расстояний для подготовки оборудования. Обе записи размножаются. Первая копия используется как справочный документ, вторая служит руководством для раскладок компонентов в соответствующие ячейки тары, перенумерованные в соответствии с последовательностью монтажных операций.

7. График обучения

Основной проблемой при определении стоимости трудовых затрат при сборке является учет влияния кривой обучения. Одним из факторов, определяющих конвейерную сборку, является запоминание оператором того, что он должен делать. Невозможно за короткий период запомнить большие наборы монтажных операций. После некоторого наблюдения можно изучить и запомнить места установки компонентов. Если бы оператору надо было устанавливать только один компонент на каждую плату, влияние кривой обучения резко уменьшилось бы. В этом случае платы проходили бы мимо оператора, который устанавливал бы на каждую из них только один компонент. При этом время обучения было бы минимальным и один цикл охватывал бы одну плату. Именно таким образом используется вращающийся стол. На столе помещается большое количество плат. После установки компонента стол поворачивается, подавая на монтаж следующую плату. После одного полного оборота берется новый компонент и операция повторя-

ется. Если платы настолько малы, что перед оператором может быть размещено 10 или более плат, вращающегося стола не требуется.

8. Анализ действия правой и левой рук

Анализ проведен при исследовании предварительной гибки и обрезки выводов 0,25-вт угольных резисторов. Интересно сравнить этот анализ с анализом машинной формовки выводов компонентов.

Левая рука

1. Взять горсть компонентов из ячейки (это производится для каждого типа компонентов).
2. Переместить детали в рабочую зону.
3. Переместить один компонент к кончикам пальцев.
4. Проверить ориентацию.
5. Сориентировать при необходимости.
6. Держать компонент.
7. Отпустить компонент.
8. Передвинуть руку к столу.
9. Удерживать стол.
10. Освободить руку.
11. Повторить пп. 1—10 для всех плат на столе.
12. После установки данных компонентов на всех платах, заполнить ячейку другими деталями.

Правая рука

1. Держать плоскогубцы.
2. Держать плоскогубцы.
3. Переместить стол.
4. Держать плоскогубцы.
5. Держать плоскогубцы.
6. Ухватить компонент плоскогубцами за правый вывод около корпуса.
7. Держать плоскогубцы.
8. Переместить компонент к столу.
9. Вставить компонент.
10. Удалить плоскогубцы.
12. Держать плоскогубцы.

Анализ машинной формовки и обрезки выводов на вертикальных носителях компонентов дан ниже.

Левая рука

1. Обозначить гнезда рабочего колеса (производится однажды на всю партию компонентов).
2. Переместить в рабочую зону.
3. Удерживать стол.

Правая рука

1. Держать плоскогубцы.
2. Захватить компонент плоскогубцами за правый вывод рядом с корпусом.
3. Переместить компонент к столу.

4. Удерживать стол.
5. Удерживать стол.
6. Передвинуть стол.

4. Вставить компонент.
5. Удалить плоскогубцы.
6. Захватить следующий компонент.

Второй процесс явно быстрее, но имеет ограничение, связанное с требованием, чтобы все платы для разной аппаратуры имели равные межцентровые расстояния для данного компонента. В противном случае применение штампа становится неэкономичным.

9. Подготовка выводов

Формовка выводов вручную допускает возможность большего разброса в межцентровых расстояниях. Однако, если объем производства достаточно велик для машинной

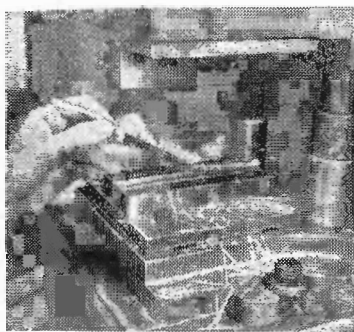


Рис. 8.2. Групповая подгибка осевых выводов компонентов в штампе.



Рис. 8.3. Машинная подрезка и подгибка выводов транзисторов.

установки, весьма желательна формовка в штампе перед непрерывной машинной установкой компонентов.

Формовка в штампе осуществляется наклейкой двухсторонней липкой ленты на резисторы и диоды перед удалением их из фабричной упаковки. Полученную таким образом полосу помещают в гидравлический пресс, где производится формовка и обрезка выводов на заданный размер (рис. 8.2) (желательные размеры таковы: межцентровые расстояния 12,7 мм, длина выступающего с обратной стороны платы вывода около 1 мм.) Запечатанные в ленту

компоненты устанавливаются на вращающийся вертикально-дисковый транспортер. Ряды нумеруют, как ячейки на вращающемся столе. При комбинации вертикального транспортера с вращающимся столом трудоемкость установки

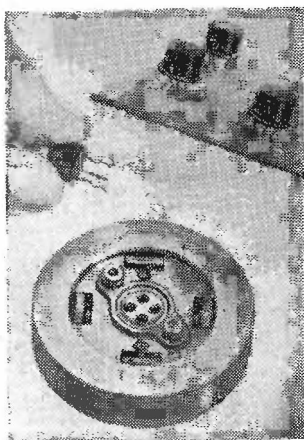


Рис. 8.4. Подрезка и подгибка выводов транзисторов вручную.

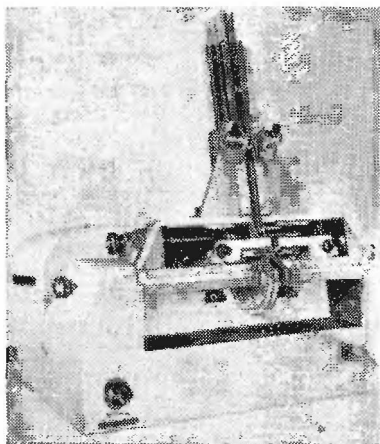


Рис. 8.5. Индивидуальная подгибка осевых выводов компонентов при помощи приспособления.

компонентов становится наименьшей. Различные методы предварительной формовки выводов компонентов изображены на рис. 8.3—8.5.

10. Схема монтажного поста

Монтажный пост — вращающийся стол диаметром 1220 мм с одним рядом ячеек и одним вертикальным транспортером. Операционная карта имеет перенумерованную последовательность компонентов, соответствующую номерам ячеек или ряду деталей на носителе. Платы устанавливаются на пластмассовых (пенопластовых) рамах или в другом аналогичном приспособлении. Единственным необходимым ручным инструментом является набор плоскогубцев-утконосов. Подготовленные компоненты переносятся на рамы (рис. 8.6 и 8.7).

Пост может быть использован также на операциях установки отдельных объемных компонентов. Здесь же вносится

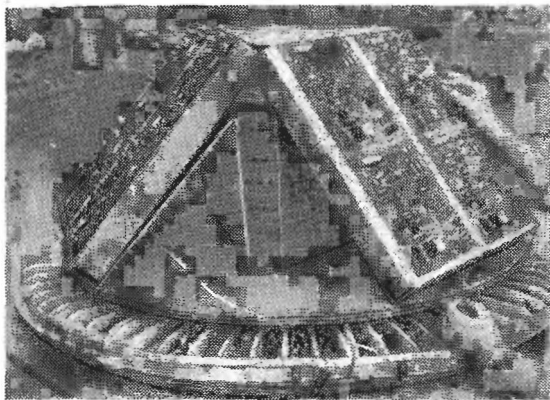


Рис. 8.6. Поворотный рабочий пост.

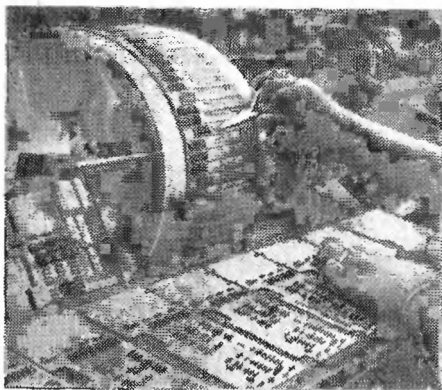


Рис. 8.7. Установка на платы предварительно подготовленных компонентов, размещаемых на вертикальных рамах и на барабанах.

большинство исправлений и производится повторный контроль. При значительном объеме производства отыскание дефектов удобнее производить на другом рабочем месте. И в этом случае правильное решение зависит от специфики производства.

11. Подгибка выводов

Если по технологическому процессу выводы компонентов после установки на плату должны быть подогнуты, то плату помещают в специальное приспособление. Оно состоит из рамы, прилегающей к плате, на верху которой помещается металлическая плита, покрытая вакуумной резиной толщиной 19 мм.

Оператор использует пару отогнутых бокорезов, которыми вывод захватывается, подгибается в плате и обрезается за один прием. Подгибка начинается с левого нижнего угла и идет по всей плате.

Предварительно подрезанные выводы должны иметь дополнительный запас длины для обрезки после подгибки.

12. Проверка перед пайкой

Одна из плат, установленных на столе, должна быть подвергнута полному визуальному контролю на правильность расположения компонентов и их номиналов. Цель этой проверки, найти постоянно повторяющуюся ошибку. Если один компонент неправильно поставлен на одной плате, то вероятно повторение той же ошибки и на других платах.

Для обнаружения ошибок могут быть использованы накладные прозрачные пленки из майлара. На них рисуют или наклеивают очертания компонента или его кодирующий цвет. Другим методом является вырезание очертания компонента на жестком шаблоне. Все типоразмеры компонентов определенного вида размещают на одном шаблоне. Набор таких шаблонов помогает обнаружить отсутствующие компоненты.

13. Пайка

Таким образом, плата смонтирована для пайки. Чаще всего и с хорошими результатами для пайки применяют водорастворимые флюсы. Там, где требуются канифольные флюсы, технология пайки слегка варьируется.

При небольшом объеме производства наиболее распространённой является пайка погружением. На плату с помощью базовых штифтов крепится резиновая маска. Затем плата помещается в клещеобразное приспособление, захватываемое одной рукой. Плата проходит через струйное устройство с педальным управлением для обработки флюсом и затем погружается в ванну с припоем при температуре на поверхности 254°C . Сначала погружают один край, и потом перекаत्याющим движением запястья и кисти плата проводится через всю поверхность припоя (рис. 8.8).

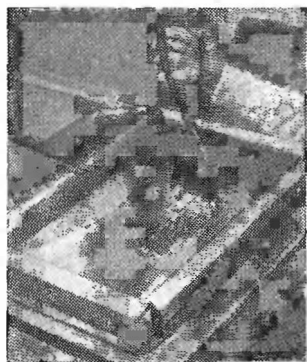


Рис. 8.8. Пайка погружением.

После пайки плата охлаждается. Резиновая маска снимается, затем плата помещается в стандартное устройство для мойки и очистки с использованием моющего раствора. Если вода жесткая, необходимо ее смягчить, чтобы избежать образования нерастворимой пленки на плате. Если используется канифольный флюс, водную мойку заменяет фреоновая ванна или ванна с аналогичным растворителем. Необходимо очень осторожно подходить к выбору растворителя флюсов, поскольку некоторые растворители могут смыть маркировку компонентов.

Иногда изготавливается оборудование для регенерации растворителей. Ультразвуковая мойка неприемлема, поскольку она может привести к повреждению полупроводниковых приборов.

14. Специальные компоненты

Если имеются компоненты, не выдерживающие мойки или температуры пайки погружением, то они устанавливаются после этих операций. К ним относятся разъемы, потенциометры и некоторые виды туннельных диодов. Их обычно бывает немного, и они монтируются отдельно на столе.

15. Допайка ручным паяльником

Операция производится на ремонтном poste. Паяльник должен иметь мощность не выше 50 *вт*, при этом следует остерегаться перегрева проводников. Излишек припоя можно удалять всасывающим устройством, смонтированным на паяльнике. Особенно полезно такое устройство, если необходимо удалить компоненты.

Если при пайке используется канифольный флюс, необходимо применять соответствующий растворитель. Промывка производится зубной щеткой или тампоном.

16. Окончательный контроль

Все платы подвергаются визуальному контролю, при котором проверяют правильность монтажа и обнаруживают возможные дефекты. При обнаружении последних плату направляют к ремонтнику. Контролер не имеет права производить допайку. Допаянные места желательно отмечать краской.

Рабочее место контролера должно быть достаточно хорошо освещено. Желательно также установить четырехкратное увеличительное стекло.

17. Испытания и ремонт

Эта стадия призвана существенно сократить время последующей проверки готовой платы. Чем меньше ошибок будет пропущено на этой стадии, тем меньше ошибок будет обнаружено при испытаниях платы.

Комплектность испытательного оборудования зависит от особенностей производства, его объема и наличия квалифицированного персонала.

18. Защитные покрытия

Влагозащитные покрытия наносятся либо пульверизацией, либо погружением. Пульверизация предпочтительнее, так как ее легче осуществить. Если необходима герметизация, то платы обычно предварительно подсушивают в термощкафу, чтобы снизить их влажность.

Необходимое оборудование, которое при этом может потребоваться, включает в себя камеру распыления, пистолет-распылитель, а при покрытии погружением — вытяжной бокс или сушильную камеру. Весьма полезно применять проволочную сетку для сушки плат после напыления. При покрытии погружением требуется иметь место для стряхивания излишнего покрытия. В этом случае полезно использовать подвесные зажимы.

19. Хранение

Итак, смонтированы платы, готовые для хранения на складе или для окончательной сборки продукции. Платы желательно транспортировать в контейнерах. Иногда, казалось бы, специальные контейнеры не обязательны, однако снижение стоимости ремонта поврежденных плат вполне окупает их применение.

ЕДИНИЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

В этом случае предварительную формовку выводов компонентов не производят. Все платы помещают перед оператором на подставке из пенопласта толщиной 25 мм. Если платы велики и имеют большое число компонентов, то сборку можно производить, как при небольших сериях. Если невозможно использовать пайку погружением, можно использовать ручную пайку, причем во избежание повреждения платы мощность паяльника не должна превышать 50 *вт*.

КРУПНОСЕРИЙНЫЙ ПРОЦЕСС

Главным отличием крупносерийного и мелкосерийного процессов является использование поточной сборочной линии. Расчеты показывают небольшое теоретическое преимущество применения такой линии, даже с учетом потерь на балансировку времени.

20. Планирование

Организация линии сборки требует специального планирования. Для сведения общего времени сборки к минимуму все операции должны продолжаться в течение при-

близительно равных отрезков времени. Если это условие не соблюдать, то одни рабочие места будут перегружены, а другие — недогружены.

Балансировка времени на линии должна быть проведена применительно к различным объемам продукции, с учетом, что число операторов на линии влияет на выпуск продукции в единицу времени. Для поддержания четкости выпуска каждый оператор должен иметь операционные карты.

21. Схемы поста сборки

Пост сборки состоит из конвейера, по которому движутся платы; конвейер передвигают вручную или при помощи

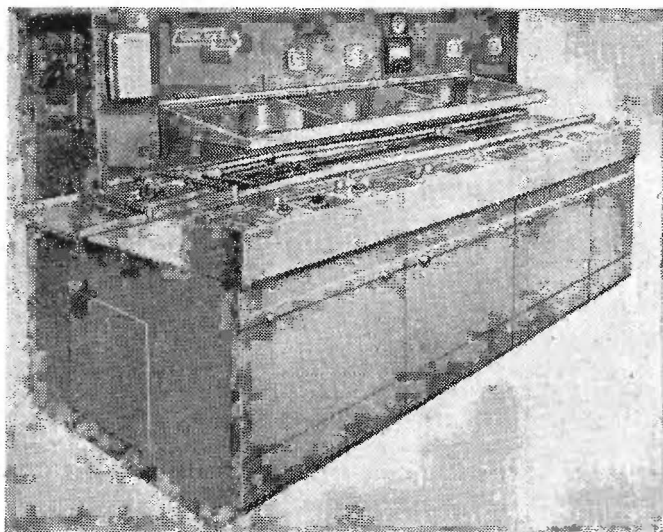


Рис. 8.9. Машина для пайки.

электропривода. Количество перенумерованных ячеек, очевидно, такое же, как при использовании вращающегося стола, однако здесь они неподвижны. В данном случае полезным может оказаться вертикальный транспортер для подачи компонентов.

Чаще всего используется машина для пайки волной, хотя пайка может осуществляться и погружением. Платы либо передаются с монтажной линии на приспособления для пайки, либо машина для пайки является составной частью конвейера. В любом случае плата автоматически флюсуется и оплавляется (рис. 8.9). Два главных преимущества такого оборудования — стандартизация процесса, улучшающая качество пайки, и снижение стоимости сборки за счет снятия ручного труда при монтаже и снижения количества переделок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

.....

Был рассмотрен сборочный процесс применительно к мелкосерийному производству.

Единичное и крупносерийное производства сравнивались с мелкосерийным производством. Были исследованы ограничения, связанные с конструкцией и стоимостью. Приводились данные, помогающие в решении вопросов применительно к мелкосерийному производству. Для выбора процесса необходимо:

- 1) последовательно рассмотреть ограничивающие факторы;
- 2) произвести экономический анализ;
- 3) приложить к этому здравый смысл.

Таким образом, можно получить оптимальный процесс применительно к любым условиям производства.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СБОРКА

Ф. Х. Лоусон

*фирма «Юниверсал Инструментс, Инк.», Бингамтон,
Нью-Йорк, США*

ВВЕДЕНИЕ	411
ПАРАМЕТРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИ- МЕНЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ	411
1. Однородность рисунков печатного монтажа	411
2. Варианты сборочных размещений	412
3. Расположение отверстий	412
4. Разновидности компонентов с аксиальными выво- дами	413
5. Разновидности транзисторов	415
6. Другие компоненты	415
ПОДГОТОВКА КОМПОНЕНТОВ И ВВОД ИХ В УСТА- НОВОЧНУЮ МАШИНУ	416
7. Компоненты с аксиальными выводами	416
8. Транзисторы	419
ТИПЫ УСТАНОВОЧНЫХ МАШИН	420
9. Установочная машина одготипного компонента	420
10. Многообразие типов компонентов	423
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ КОМПОНЕН- ТОВ	425

Основная цель использования полуавтоматической или автоматической сборки компонентов на печатных платах — снижение ее стоимости за счет исключения ручного труда. Механизация сборки плат дает еще ряд преимуществ.

В связи с возрастающим значением надежности вычислительной, ракетной и космической техники особо важное значение имеет получение схем, не имеющих дефектных соединений, что обеспечивается правильной механической сборкой. Унификация схемных исполнений плат позволяет получить наивысшее качество их механической сборки.

Правильно спроектированное установочное и зажимное оборудование имеет, кроме того, и то преимущество, что оно допускает плотный монтаж компонентов с минимальными контактными площадками вокруг отверстий на плате со стороны схемы и минимальными расстояниями между контактными площадками и смежными проводниками, ограничивая длину выводов с обратной стороны платы.

Последнее преимущество особенно важно при миниатюризации. Большинство потребителей сборочного оборудования интересуется, прежде всего, его стоимостью. Чтобы ясно себе представить экономичность данного процесса в сравнении с ранее применявшимися ручными методами, необходимо учесть: размеры плат, форму и точность изготовления плат, номенклатуру плат, номенклатуру компонентов, характер расположения отверстий и компонентов, используемую технику установки компонентов.

Эта глава рассматривает влияние разновидностей плат и компонентов на целесообразность механической сборки, выбор оптимального типа технологического оборудования.

ПАРАМЕТРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ

1. Однородность рисунков печатного монтажа

Как правило, считают, что автоматическая сборка заключается в формовке выводов, установке их в отверстия платы с последующей их загибкой или расклепкой на обратной стороне платы. Однако максимальная экономическая эффективность автоматизации может быть получена лишь в том случае, если конструкция платы допускает проведение легкой и быстрой установки компонентов в рабочие приспособления и их быстрое извлечение из этих приспособлений.

Эти операции могут быть выполнены автоматически только в том случае, если габаритные размеры плат унифицированы и выполняются с необходимой точностью, допускающей возможность изготовления приемных магазинов, кассет или фиксирующих

механизмов, призванных обеспечить надежную и производительную работу.

Даже если механизированная сборка печатных плат не применяется, стандартизация габаритных размеров различных типов плат, в особенности базовых установочных отверстий, пазов, ребер, необходима для оптимального использования сборочных приспособлений.

Один из путей достижения однородности состоит во введении базовых координатных отверстий на первых этапах изготовления плат с последующим использованием их в качестве меток при штамповке или сверлении отверстий и для ориентации платы при монтаже компонентов.

2. Варианты сборочных размещений

Сравнительно немногие потребители плат печатного монтажа понимают преимущества стандартизации или группировки (типизации) сборочных размещений. Там, где последнее требование выполнено, автоматическая сборка особенно целесообразна с экономической точки зрения, так как благодаря этому могут быть стандартизованы базовые механизмы, что позволяет довести до минимума потери времени на смену инструмента и наладку и одновременно максимально увеличить надежность работы оборудования.

Преимущества стандартизации в этом аспекте, конечно, ограничиваются частой сменой типоразмеров плат, что требует предварительного тщательного анализа величин запланированных производственных партий, графиков проектирования, изготовления и функционального назначения схем.

При имеющемся многообразии типоразмеров компонентов инженер может выбрать самое экономичное решение лишь в том случае, если он глубоко понимает технику сборки и хорошо знает возможности технологического оборудования. Поэтому стандарты в масштабах отрасли не были установлены. Исключением, пожалуй, является осуществленная изготовителями оборудования стандартизация инструмента для наиболее типичных компонентов, таких как полуваттные сопротивления и диоды.

3. Расположение отверстий

Важные преимущества имеет размещение отверстий в соответствии со стандартной координатной сеткой как при производстве плат до сборки, так и при автоматизации монтажа. Упрощается проектирование и изготовление отсчетных и фиксирующих механизмов, шаблонов для пантографического стола или числовых контрольных систем, повышается их надежность.

Стоимость затраченного инженерного труда окупается во много раз в результате экономии перфорационного оборудования и рабочего времени. Например, мастер-шаблон для перфорационной машины с ручным пантографом, управляемым вручную (в слу-

чае использования координатной сетки), стоимостью в 400 долл. может быть использован в сочетании с соответствующей маской за номинальную стоимость для любых схем на дискретных компонентах.

Если бы систему координатной сетки не использовали, то пришлось бы изготавливать индивидуальные кондукторы стоимостью в среднем 40 долл. каждый. Таким образом, мастер-шаблон, использование которого стало возможным из-за применения системы координатных сеток, уже оправдывает себя при применении, по крайней мере, десяти вариантов сборочных размещений компонентов.

Правильное проектирование оборудования автоматической сборки требует выбора установки компонентов по одной оси. Если это невозможно, то взаимно перпендикулярные оси x и y предпочтительнее располагать под произвольным углом относительно устанавливаемых компонентов. Экономия в приспособлениях, времени наладки, в обработке плат многократно окупает расходы на конструирование и внедрение новой техники.

Слоистые материалы из бумаги, пропитанной фенольными эпоксидными смолами, с контрольными отверстиями или пазами, выполненные в той же форме, что и отверстия под компоненты, обеспечивают желаемую точность.

Более высокую точность для монтажа с большой плотностью для работы в условиях высокой влажности или при высоких температурах можно получить, используя эпоксидные или фенольные стеклотекстолиты с просверленными отверстиями. Характерно, что в то время как платы, имеющие номинальный зазор между отверстием и выводом величиной до 0,18 мм, допускают нормальную установку компонентов, условия хорошей паяемости диктуют установление зазора не менее 0,5—0,75 мм. Чем меньше зазор, тем более строгие требования предъявляются к базовому установочному механизму, установочной оснастке и способам правильной установки оснастки и платы.

4. Разновидности компонентов с аксиальными выводами

Разнообразие диаметров выводов является главным ограничением возможности использовать тот или иной установочный механизм или устройство для разных компонентов. Там, где колебания превышают 0,25 мм в диаметре, обычно желательно использовать другой механизм или, по крайней мере, какую-нибудь другую оснастку.

Минимальный промежуток для установки данного компонента определяется его длиной, поскольку формирующий механизм должен иметь место для зажима между концом тела компонента и вершиной формовки вывода. Кроме того, длина вывода определяет максимально возможный промежуток для установки компонентов, потому что длина его после формовки должна обеспечивать установку компонента в отверстия платы и расчеканку (загибку) с обратной стороны.

Изменение диаметра корпуса компонента решающе влияет на силу удара при сборке. Это объясняется тем, что положение

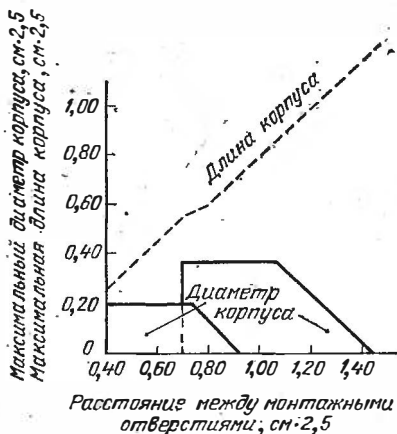


Рис. 9.1. Диаграмма выбора монтажной головки.

компонента по отношению к плате будет меняться в зависимости от его диаметра, а установка совершается давлением на горизонтальную часть вывода после гибки.

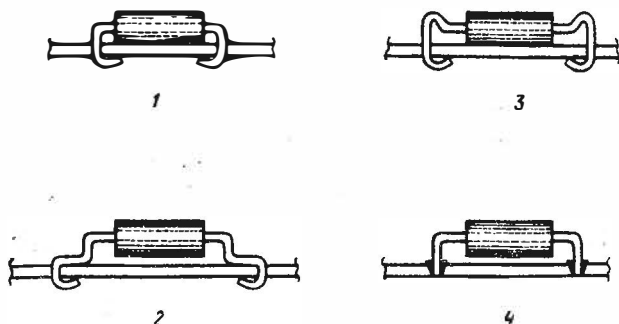


Рис. 9.2. Формовка аксиальных выводов:

1 — стандартный; 2 — установка над платой; 3 — с разгрузочной петлей; 4 — установка на наконечниках.

На рис. 9.1 графически показана связь между длиной корпуса компонента, его диаметром и установочным просветом.

Однородные цилиндрические компоненты более всего подходят для автоматической установки, поскольку они легко подаются либо уложенными на ленте, либо при помощи магазинов. Однако

прямоугольные компоненты, выпрямители в виде шляпки и другие неоднородные компоненты тоже могут быть установлены после специальной обработки для подачи в установочный механизм.

На рис. 9.2 показаны различные применяемые конфигурации выводов. Оснастка установочного механизма может быть приспособлена к этим и другим требованиям.

5. Разновидности транзисторов

Для правильной установки транзисторов правильное оформление и выпрямление выводов является обязательным условием.

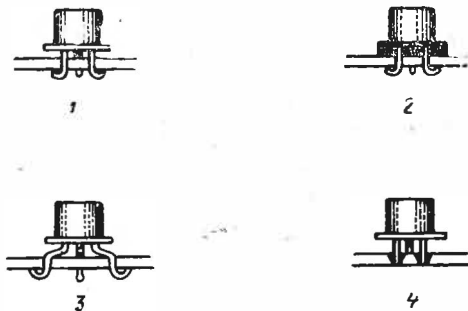


Рис. 9.3. Формовка выводов транзисторов:

1 — керамическая прокладка; 2 — установка на подставке; 3 — изгиб выводов; 4 — установка на наконечниках.

Желательна установка приборов с тремя выводами с круговым расположением, что позволяет стандартизовать расположение отверстий для транзисторов.

Удовлетворительная работа оборудования по установке транзисторов существенно зависит от непрерывной, надежной подачи компонентов в установочную машину. В соответствии с этим для успешной работы автомата недопустимы незначительные отклонения в размерах корпуса, однородности его конфигурации и даже конфигурации припоя или сварного шва у выводов. Изменение типов компонентов требует основательной смены набора инструмента.

На рис. 9.3 изображены формы выводов транзисторов и характер гибки.

6. Другие компоненты

Использование интегральных микросхем и других многовыводных модулей представляет наибольшие трудности из-за отсутствия единообразия в размерах и формах корпусов, из-за затрудни-

тельной формировки выводов и решения проблем подачи компонентов к установочным механизмам. Предпосылками для успешного преодоления таких трудностей являются тщательный контроль производства компонентов или модулей и проектирование их с самого начала с учетом возможности автоматической установки.

ПОДГОТОВКА КОМПОНЕНТОВ И ВВОД ИХ В УСТАНОВОЧНУЮ МАШИНУ

7. Компоненты с аксиальными выводами

Для надежной работы установочного оборудования компоненты должны быть единой, однородной формы, всегда в одном и том же положении по отношению к установочному механизму. Выводы должны быть прямыми, а компоненты необходимо тем или иным способом подавать к установочному механизму. Широко используются следующие разновидности подач: ручная, лотковая, магазинная, на пластиковой ленте с фиксацией компонентов корпусами или выводами. Последний способ пожалуй, наиболее широко используется (рис. 9.4—9.6).

1. Для лент рекомендуется бумага с усилием разрыва 22—27 кг.

2. Непараллельность продольной оси корпуса компонента относительно поверхности ленты не должна превышать 0,75 мм.

3. Непараллельность взаимного расположения компонентов на ленте не должна превышать 0,75 мм.

4. Компоненты, имеющие полярные выводы, должны быть одинаково ориентированы на ленте.

5. В ленте может не хватать не более трех компонентов подряд, причем в этом случае в обе стороны от пробела должно быть не менее трех компонентов.

6. По всей длине намотки расстояние между обеими полосками ленты не должно отклоняться более чем на 1,5 мм.

Ручная подача имеет то преимущество, что обеспечивает надежное прохождение компонентов, но поскольку темп машине задает оператор, процесс имеет замедленный характер. В частности, может вызывать затруднения подача элементов к оператору в определенной последовательности.

Лотковая подача требует ручной или механической загрузки лотка, и она чувствительна к образованию заторов из-за отсутствия идентичности компонентов или выводов, погнутых в процессе обработки.

Преимущество магазинной подачи заключается в том, что компоненты закрыты в магазинах вплоть до их ввода в установочную машину, но эта подача тоже чувствительна к заторам там, где компоненты неоднобразны (рис. 9.7).

Компоненты с двумя выводами на одном конце и одним выводом на другом или маленькие компоненты, которые не могут быть фиксированы на ленте, монтируются на длинных непрерывных лентах из пластика. Хотя это и превосходный способ компоновки для таких компонентов, но извлечь их из ленты в установочном механизме довольно трудно.

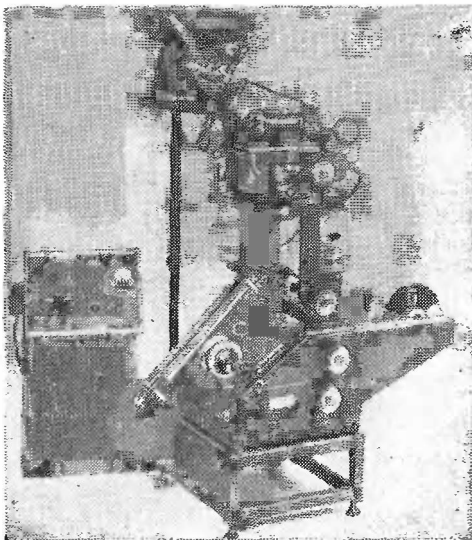


Рис. 9.4. Станок для подготовки компонентов с аксиальными выводами. Осуществляет подачу компонентов, обрезку выводов на заданный размер, проверку и корректирование ориентации диодов и фиксацию компонентов на ленте или в магазине.



9.5. Две катушки с намотанными лентами, использующими различные методы фиксации компонентов с аксиальными выводами, готовы для заправки в установочный механизм.

Фиксация корпусов на ленте применяется обычно для больших тяжелых компонентов. Недостатком является возможность изгиба выводов компонентов, что препятствует нормальной работе

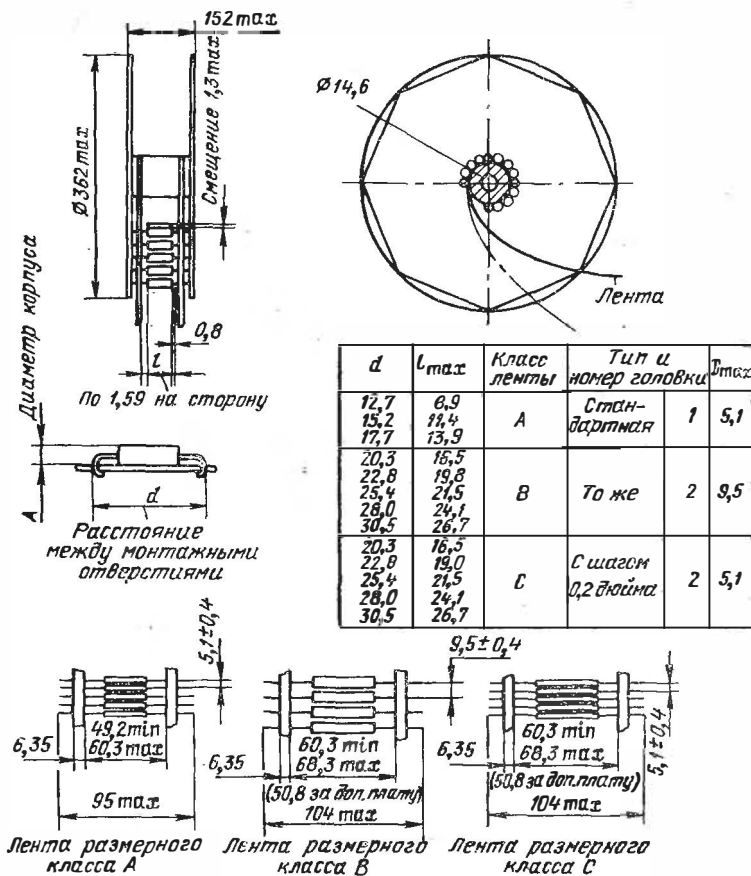


Рис. 9.6. Стандартные параметры ленты для фиксации компонентов за аксиальные выводы (все размеры в миллиметрах).

установочного механизма. В основном же используется фиксация выводов, поскольку это гарантирует точную подачу компонентов в машину, причем выводы прочно зажаты, что обеспечивает захват компонентов механизмом установки.

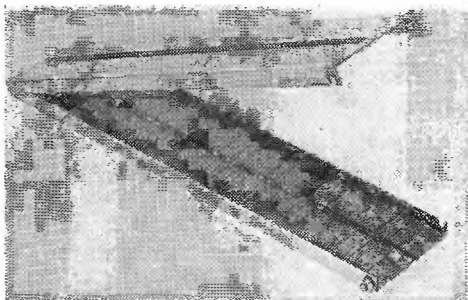


Рис. 9.7. Открытый магазин с загруженными в него ориентированными диодами, подготовленный для установочной машины.

8. Транзисторы

Перед подачей транзисторов на установочную машину их выводы должны быть выпрямлены или ориентированы и обрезаны до желаемой длины. Особенно эффективны машины по подготовке

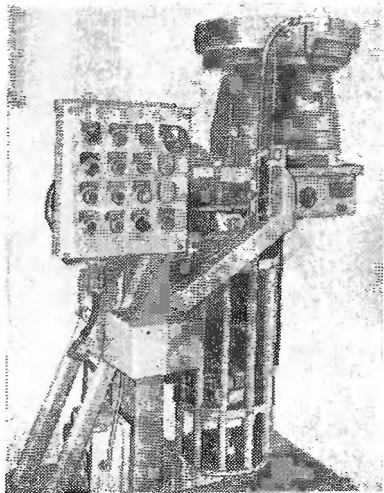


Рис. 9.8. Машина для подготовки транзисторов в корпусах ТО-5 к автоматической установке на платы. Транзисторы скатываются по направляющим, затем производится резка выводов и установка транзисторов в магазины.

компонентов; тогда между выводами гарантируется промежуток для работы выпрямляющих, отсекающих и формирующих инструментов. Установка компонентов на площадке в 5 мм с круговым расположением штырей является наиболее практичной (рис. 9.8).

9. Установочная машина одностипного компонента

Установка вручную. На рис. 9.9 показана базовая одноконтинентная одноплатная сборочная машина с установкой вручную. Она включает стол установки заготовок, обеспечивающий устойчивость машины и ориентирующий положение платы, аппарат для загибки или расчеканки, сборочную раму в виде буквы С и установочную головку. Обычно использование такой машины может

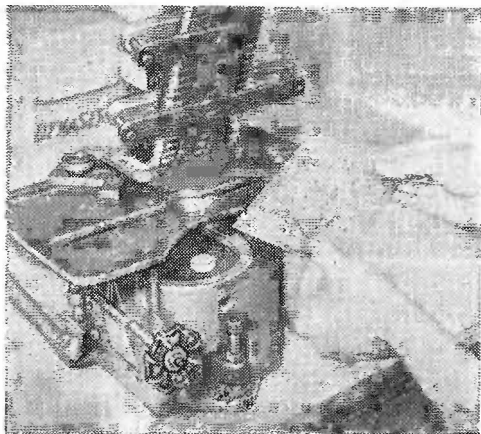


Рис. 9.9. Одноместная машина для монтажа плат с ручной установкой координат.

и должно ограничиваться применением плат, компонентов, сборочных размещений для небольших партий. Для каждой платы и вида компонентов должен применяться отдельный набор инструмента или приспособлений для размещений.

Устанавливается определенный тип компонента, и платы подвергаются этой операции столько раз, сколько компонентов должно быть на плате. Достижимая производительность установки компонентов составляет около 600 шт/час.

Одноплатная установка с пантографом. Станок, показанный на рис. 9.10, обеспечивает установку множества одинаковых компонентов на данную плату при одной наладке, которая осуществляется индексацией иглы пантографа в шаблоне согласно чертежу. Запуск осуществляется нажатием иглы.

Максимальная производительность установки компонентов составляет 5400 шт/час, в зависимости от плотности размещения радиодеталей; как правило, производительность находится в пределах 1500—2000 шт/час.

Продолжительность цикла механической установки компонентов и подготовки выводов равна 0,5 сек. Скорость установки, помимо этого, зависит от времени обработки плат и расстояния между компонентами на плате.

Этот тип станков рассматривается как универсальная рабочая «площадка» в «семье» установочных машин. Эффективность его использования распространяется на все виды плат, комбинации радиодеталей, их позиции независимо от масштабов производства.

Во многих случаях на станках данного типа можно получить более высокую производительность, чем на автоматических станках в крупносерийном производстве. Важным достоинством станка этого типа в сравнении с другими более сложными образцами является его прочность, надежность и то, что он минимально подвержен простоям. Последняя черта особенно важна в сравнении с многопозиционными станками, где выход из строя одной позиции может повлечь прекращение работы всей системы.

Групповая обработка плат, установка компонентов с помощью пантографической платы, индексация в направлении оси x, ручная загрузка и выгрузка плат. Несколько фирм, занимающихся изготовлением крупных партий однотипных плат, осознали преимущества групповой обработки.

Для достижения более высокой экономичности компоненты располагают в направлении оси подачи, позволяющем производить установку нескольких компонентов при одном положении иглы пантографа. Автоматическая индексация в направлении оси подачи выполняется установочным механизмом в соответствии с индексацией платы.

На рис. 9.11 показано устройство, приспособленное для магазинной подачи.

Установочные станки с цифровым управлением. Одноэлементный тип. С появлением систем цифрового управления были найдены дополнительные возможности экономии рабочего времени, за счет операторов, занятых на обслуживании станков полный рабочий день. Были также устранены ошибки в расположении плат до выполнения установочных операций. Трудно определить с точки зрения экономической эффективности уровень автоматизации с применением

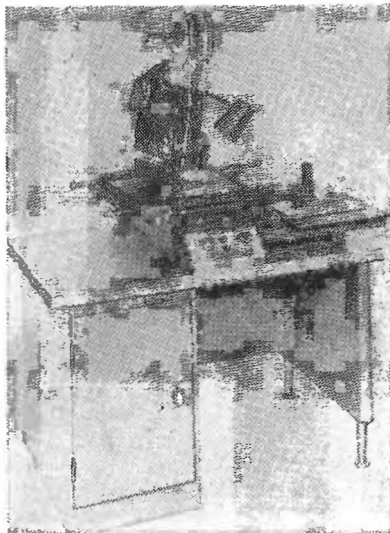


Рис. 9.10. Одноместный ручной монтажный станок с пантографом. Наибольший экономический эффект получается при установке нескольких компонентов за один ход.

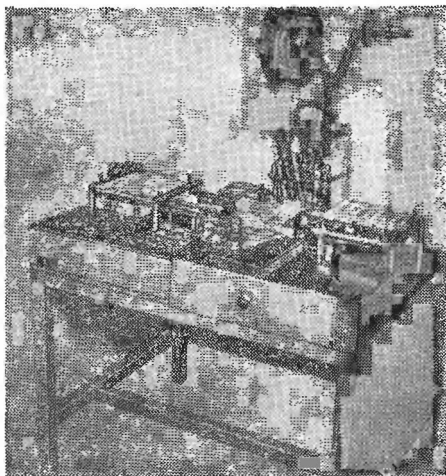


Рис. 9.11. Станок с магазином для плат.

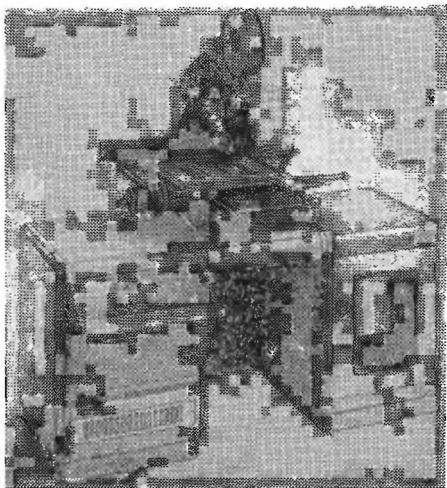


Рис. 9.12. Одноместная автоматическая монтажная машина с цифровым управлением.

станков с цифровым управлением. Он зависит от всех переменных, влияющих на возможность автоматической сборки. Использование цифрового управления распространяется все больше. В некоторых случаях два станка обслуживаются одним оператором.

Даже там, где оператор занят в течение всего рабочего дня, быстродействующая контрольная система в сочетании с почти безошибочным расположением платы делает применение этого оборудования экономически целесообразным.

Производительность t установки компонентов достигает 4200 шт/час (рис. 9.12).

10. Многообразие типов компонентов

Поточные линии. Там, где встречается большой объем специфических плат, включающих одинаковые компоненты, часто используется поточная линия, состоящая из серии отдельных рабочих

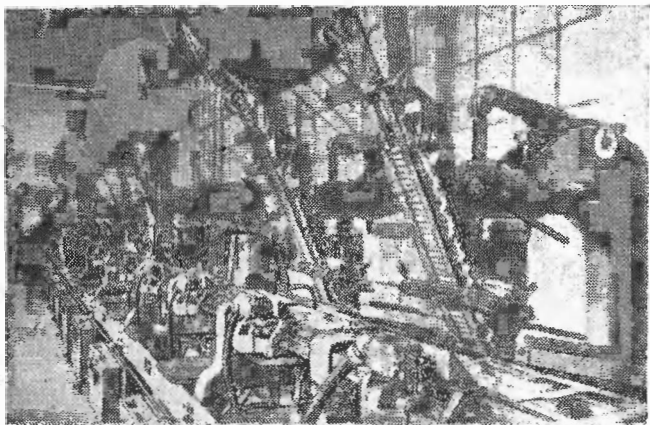


Рис. 9.13. Многоместная конвейерная машина для монтажа большого количества типоразмеров компонентов на каждой позиции конвейера. Монтажный механизм выбирает координаты монтажных отверстий по специальному ключу, имеющемуся на плате.

позиций, на которых печатная плата последовательно обрабатывается. На рис. 9.13 показана типичная линия для сборки телевизионных плат.

Преимущества таких систем следующие:

1. одновременная установка компонентов на несколько плат в течение каждого машинного цикла;
2. обслуживание нескольких установок одним или несколькими операторами;

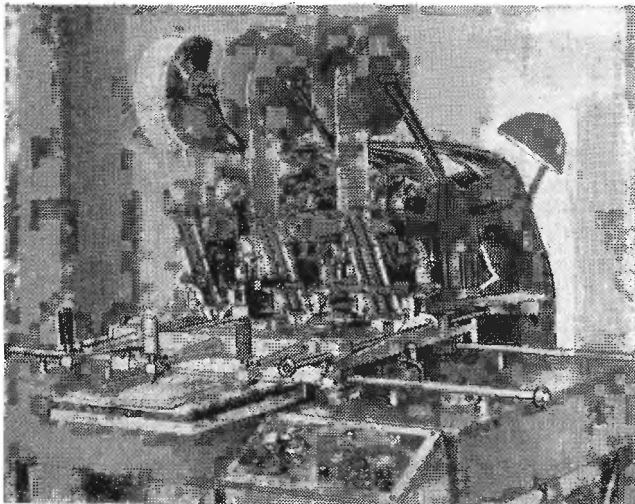


Рис. 9.14. Многоместный станок с пантографом, предназначенный для установки трех различных компонентов за один шаг.

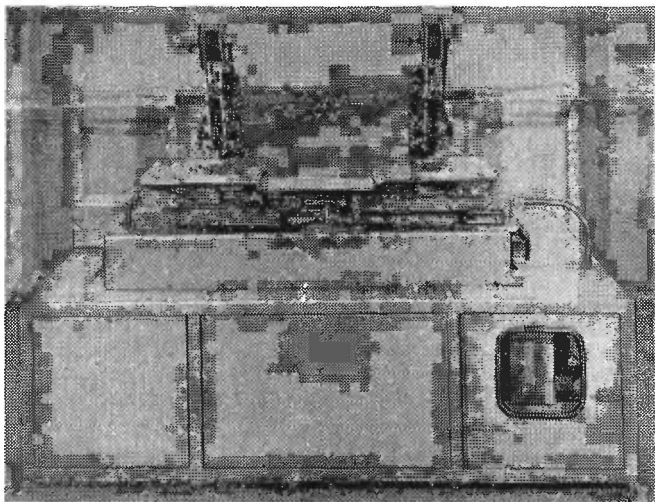


Рис. 9.15. Многоместная машина с цифровым управлением для установки одинаковых компонентов одновременно двумя головками с целью увеличения производительности монтажа в пересчете на одного оператора.

3. компенсация отклонений размеров плат благодаря использованию держателей, в которые платы загружаются до их обработки на всех позициях.

К недостаткам относятся полный простой линии из-за неисправности в любой ее позиции и сложность наладки.

Нормальный цикл машины равен 0,3 сек.

Там, где имеется плотный монтаж двух или трех различных компонентов одних и тех же габаритов, полярности и так далее, может быть использована многопозиционная пантографическая машина с ручным или цифровым управлением для установки всех компонентов с настройкой и регулировкой по одной эталонной плате. На рис. 9.14 и 9.15 показаны примеры этих машин.

Конечно, эти методы требуют, чтобы некоторые компоненты были установлены вручную или вторым ходом станка.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ

Поскольку на каждой плате обычно имеются компоненты с различными значениями полярности и геометрических размеров, было сделано много попыток последовательно расположить различные компоненты на одной плате с помощью единого механизма.

Тщательно проработанные попытки решить эту задачу, используя компоненты с относительно широким диапазоном размеров и промежутком между ними, были оставлены из-за сложности этой проблемы.

В настоящее время выработаны три группы требований, на которые направлены усилия разработчиков.

Существуют компоненты, имеющие одинаковые геометрические размеры, но различные электрические параметры.

Наиболее часто решаемые проблемы связаны с установкой 0,25- и 0,5-вт резисторов различной величины. В этих случаях механизмы установки и отгибки несложны. Требуется только последовательно распределить компоненты. Там, где требуется расположить компоненты последовательно на ленте с закреплением их выводами, это легко осуществить, если радиодетали поставляются на картонных лентах. В этом случае ленты могут быть уложены на рабочем месте так, чтобы оператор, взяв деталь, укрепил ее корпусом в ленту и передал на вход для выпрямления выводов.

В настоящее время этот метод используется несколькими фирмами, и надежность установки деталей в ленты с соблюдением желаемой последовательности такова, что считают экономически нецелесообразным проверять правильность установки этих деталей. Промежуток между каждым последовательным рядом на ленте может быть обеспечен, если включить в конце последовательного ряда такой же компонент, но с короткими выводами. Это приводит к тому, что один компонент выпадает из ленточного механизма, благодаря чему обеспечивается желательный промежуток на ленте.

Там, где в установочном механизме используется магазинная подача, может быть использована установка последовательной укладки, показанная на рис. 9.16. В этом случае магазины, обычно используемые для подачи компонентов в машину, должны быть загружены вручную или при помощи механизированной загрузки

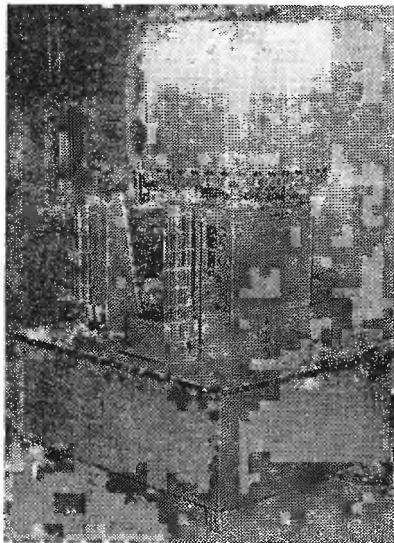


Рис. 9.16. Механизм для подачи в заданной последовательности из магазинов резисторов с мощностью рассеяния 0,5 и 0,25 *вт*. Емкость механизма 40 магазинов. Магазины загружаются в механизм на приспособлении, видимом слева от всего устройства.

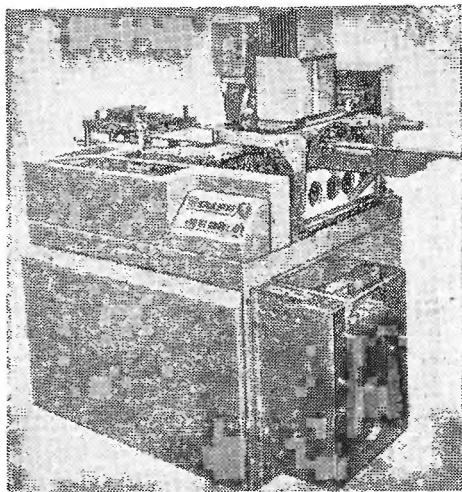


Рис. 9.17. Установка до 24 резисторов (с помощью рассеяния 0,25 *вт*) на плату, которая механически подается в позицию монтажа. Выбор позиции осуществляется под управлением сигналов от фотопреобразователя. Компоненты выбираются в заданной последовательности из магазинов.

до установки их на станок, выполняющий последовательную подачу радиодеталей.

При другом методе используется механизм для последовательного расположения компонентов как составной части установочного станка. В этом случае магазины, используемые как средства ввода, монтируются в желаемой последовательности и селекторный механизм перемещает компоненты к месту установки в заданной последовательности. Задача усложняется тогда, когда желательно устанавливать вперемежку 0,25-вт резисторы и диоды. В этом

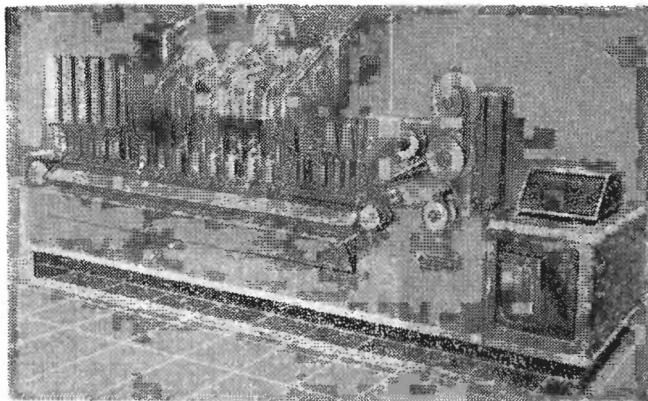


Рис. 9.18. Типовая установка для сортировки компонентов по группам и установки их на ленту с выбранными параметрами.

случае компоненты имеют в основном почти одинаковые геометрические размеры, но обычно необходимо ориентировать диоды в двух различных электрических направлениях, обращая внимание на точность расположения магазинного устройства (рис. 9.17).

Наиболее сложная проблема возникает, когда используются компоненты различных геометрических конфигураций. Было найдено, что наибольшая надежность получается тогда, когда различия диаметров выводов составляют максимум 0,25 мм. Существенные колебания в размерах корпусов могут быть допущены при условии, если только длина корпуса согласуется с необходимым размером промежутка для установки. Ход станка должен быть выполнен таким, чтобы компенсировать разницу в диаметрах корпусов.

Наилучшим ответом для решения задачи последовательного расположения компонентов этого типа является использование принципа программированной подачи, использующего различные подающие средства. Кроме того, подача деталей с помощью ленты с закрепленными на ней выводами обеспечивает лучшие способы центрирования деталей для их установки или для проверки ввода деталей в механизм установки.

На рис. 9.18 показано типичное устройство для подачи компонентов в необходимой последовательности и требования к нему.

В любом случае затрачиваемый труд и стоимость оборудования для последовательной установки деталей, наладка и регулировка станков, ожидаемые простои — все это должно быть тщательно сопоставлено со стоимостью сборки плат, с использованием многооперационной обработки больших количеств плат. Нет простых правил, которые могли бы помочь в данном сравнении. Во всех случаях требуется кропотливое производственно-инженерное изучение факторов в данной отрасли.

ГЕРМЕТИКИ И ПОКРЫТИЯ

Чарльз А. Харпер,

*фирма «Вестингауз Электрик Корпорейшн», Балтимор,
Мэриленд, США*

ВВЕДЕНИЕ	430
ЗАЛИВОЧНЫЕ СМОЛЫ	430
1. Эпоксидные смолы	431
2. Силиконы	441
3. Полиуретаны	445
4. Полиэфирсы	449
5. Терморезактивные гидроуглероды	449
6. Терморезактивные акрилы	450
ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ	451
7. Покрытия и программа испытаний по MIL-1-46058	455
8. Результаты испытательной программы MIL-1-46058	459
9. Ремонтоспригодность покрытий	463
10. Влияние разных условий окружающей среды на материалы покрытий	463
ТРЕБОВАНИЯ К ПОКРЫТИЯМ ПЛАТ ОБЪЕКТОВ	467
ОЧИСТКА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ПЕРЕД ПОКРЫТИЕМ	467
ЛИТЕРАТУРА	467

ВВЕДЕНИЕ

Всегда желательно, а зачастую необходимо обеспечить защиту печатных плат от воздействия окружающей среды. Такая защита особенно необходима в большинстве случаев военного применения. Факторы окружающей среды, заставляющие прибегать к защите против них, — это пыль и грязь, влажность, солевое распыление и механические воздействия. Защита от вышеуказанных факторов обычно производится заливкой или покрытием печатных плат. Покрытий обычно достаточно, если все перечисленные факторы не превышают норм. Однако там, где требуется максимальная механическая прочность и надежность работы печатных плат, и там, где позволяет конструкция устройства, следует предусмотреть общую заливку печатных плат.

Глава посвящена рассмотрению видов заливочных смол и защитных покрытий.

Под покрытием здесь понимается изоляционный слой толщиной до 0,3—0,5 мм. Заливкой будем считать применение жидких изоляционных смол в значительно более толстых слоях с применением при этом как специальных форм, так и корпусов (футляров) для заливки печатных плат.

ЗАЛИВОЧНЫЕ СМОЛЫ

Печатные платы можно заливать любыми из известных заливочных смол. Ниже будут описаны разные классы заливочных смол от твердых хрупких смол до мягких эластичных, с широким диапазоном физических свойств. Имеется много эластичных смол, которые обеспечивают ремонтируемость платы. Следовательно, возможность ремонта плат не является ограничивающим фактором в применении заливочных смол, как это обычно считают, чего нельзя сказать о защитных покрытиях.

1. Эпоксидные смолы

В течение многих лет эпоксиды применяются при герметизации электронных устройств и дают большие преимуще-

щества при их использовании. Имеется много типов эпоксидных смол и много методов их модификаций для улучшения свойств. Все классы имеют определенные, свойственные им характеристики, которые важны в электронных устройствах. Основными среди этих свойств являются: низкая усадка, отличная адгезия, стойкость к воздействиям окружающей среды и возможность применения для заливки и заключения в капсулу электронных устройств.

Разные типы эпоксидных смол и их модификации приведены ниже.

Бифенольные эпоксиды. Один из наиболее широко применяемых классов эпоксидов. Эти материалы получают в виде жидкости в широком диапазоне вязкости, а также в твердом виде. Наиболее применяемыми в электронной промышленности США были такие смолы как: Shell Epon 828, Jones-Dabney Epi-Rz 510, Ciba-6010, Bakelite ERL-2774, Dow D.E.R. 331 и другие, приблизительно эквивалентные. Каждый из этих эпоксидов имеет вязкость в диапазоне 10 000—20 000 *спз* при комнатной температуре. Эту вязкость можно уменьшить нагреванием (рис. 10.1).

В конечной стадии свойства бифенольных эпоксидов, как и других, рассматриваемых в этой главе, определяются типом отверждающего вещества, применяемого с эпоксидной смолой. Несколько основных типов отверждающих веществ — алифатические аминовые, ароматические аминовые, каталитические и кислотные ангидридные. Вообще говоря, алифатические аминовые отверждающие вещества получают в смеси веществ смола — отверждающее вещество, которая имеет относительно короткий срок жизни, но обладает способностью отверждаться при комнатной температуре или при низких температурах в относительно короткие промежутки времени. Примерами таких отверждающих веществ являются диэтиленовый триамин (ДЭТА) и триэтилен тетрамин (ТЭТА). Алифатически-амино-отвержденные смолы обычно развивали наивысшие экзотермические тем-

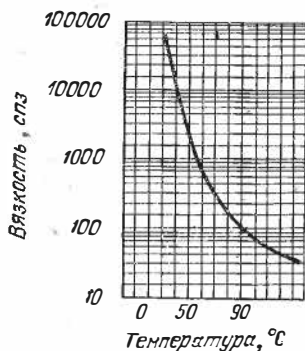


Рис. 10.1. Температурная зависимость вязкости стандартной бифенольной эпоксидной смолы [1].

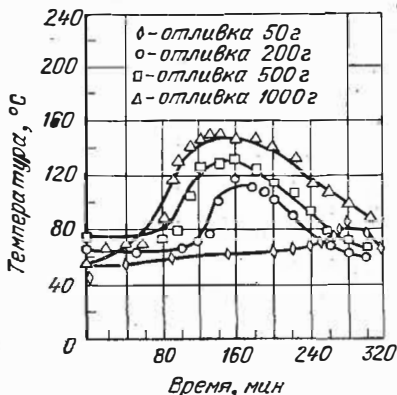
пературы во время реакции отверждения, что в зависимости от массы материала, который может отверждаться одновременно, приводило к сильному растрескиванию и даже обугливанию смоляной массы от экзотермического тепла, которое выделялось при смешивании и отверждении слишком большого количества материала. Эпоксидные смолы, отвержденные с алифатическими аминами, имеют самую большую тенденцию деградировать как электрически, так и физически, когда рабочая температура достигает свыше 100°C . Алифатически-амино-отвержденные эпоксиды находят большое применение там, где можно употреблять небольшие массы, где желательно отверждение при комнатной температуре и где рабочая температура не превышает $85\text{--}100^{\circ}\text{C}$.

Ароматические amino-отвержденные эпоксиды обычно имеют значительно более длительный срок жизни, чем алифатически-амино-отвержденные эпоксиды. Ароматические аминовые образования требуют отверждения при повышенных температурах. Некоторые ароматические аминовые отверждающие вещества также бывают твердыми и должны расплавляться перед введением в эпоксиды. Типичными из ароматических аминовых отверждающих веществ являются метафениленовый диамин (МФДА или М-ФДА), метиленовый дианилин (МДА) и диамино-дифенил-сульфон (ДДС или ДАДС). Смолы требуют для отверждения с этими отверждающими веществами нагрева до температуры 100°C или выше. Эти композиции отвержденной смолы могут работать при температурах значительно выше тех, которые безопасны для алифатически-амино-отвержденных смол. Однако с ароматическими аминовыми отверждающими веществами нелегко работать из-за твердой природы большинства отверждающих веществ и из-за того, что некоторые из них, такие как МФДА, легко испаряются при нагревании и вызывают осаждение красителя и осадков.

Каталитические отверждающие вещества также имеют значительно больший срок жизни, чем алифатические аминовые отверждающие вещества, и так же, как ароматические амины, обычно требуют отверждения эпоксидной системы при температурах в 100°C и выше. Типичным из этих отверждающих веществ является пиперидин, В- F_3 -этиламин комплекс, бензилдиметиламин (БДМА) и три (метил-амино-метил)-фенол (ДМФ-30). Смолы, отвержденные с этими широко применяющимися веществами, имеют относительно

хорошие температурные свойства по сравнению со свойствами эпоксидов, отвержденных с алифатическими аминами. При некоторых реакциях отверждения с каталитическими веществами экзотермический эффект также становится весьма заметным, особенно при большой массе смеси. Это справедливо для пиперидина, экзотермические кривые которого показаны на рис. 10.2.

Рис. 10.2. Экзотермические кривые для бифенольных эпоксидных смол с 5%-ным пиперидином в качестве отвердителя при 60 °С [3].



Кислотные ангидридные отверждающие вещества являются особенно важными отвердителями для эпоксидных смол, особенно жидких и ангидридных композиций. Создание жидких кислотных ангидридов представляет основной интерес для потребителей эпоксидов потому, что значительно лучшие высокотемпературные свойства получались от ангидридно-отвержденных эпоксидных смол, лучше даже, чем свойства эпоксидных систем, отвержденных ароматическими аминами.

Некоторые композиции ангидридно-отвержденных эпоксидных смол сохраняют большинство электрических свойств до 150 °С и выше и почти полностью сохраняют механические свойства даже после длительной термообработки до 200 °С. Кроме того, с жидкими ангидридами очень легко работать, так как они легко смешиваются со смолами, что уменьшает вязкость неотвержденной смеси из-за низкой вязкости ангидридов.

Время жизни кислотных ангидридных композиций на много больше времени жизни алифатических аминовых смоляных композиций, и запахи резко сокращаются по срав-

нению с аминowymi отверждающими веществами. Типичными из жидких ангидридных отверждающих веществ являются метил-ангидрид-надик (NMA), додекенил янтарный ангидрид (DDSA), гексагидрофталевый ангидрид (ННРА — точка плавления при 35°С) и алкендиновый ангидрид. Аминовые ускорители (промотеры), такие как бензил-диметиламин (БДМА) или ДМФ-30, применяются для ускорения отверждения смесей кислотный ангидрид—эпоксидная смола. Некоторые свойства трех ангидридно-отвержденных систем показаны в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Свойства некоторых ангидридно-отвержденных бифенольных эпоксидных смол

Свойства	Марка смолы		
	NMA *)	ННРА **)	DDSA ***)
Температура тепловой деформации, °С	153	135	76
Усадка, %	1,43	3,3	—
Предел прочности при сжатии, кг/см ²	1200	1100	—
Предел прочности при растяжении, кг/см ²	450	610	—
Предел прочности при изгибе, кг/см ²	1200	1500	920
Потеря веса (после 20 час при 190°С), %	0,10	0,19	—
Диэлектрическая постоянная:			
на частоте 60 гц	3,31	3,30	2,82
на частоте 10 ⁶ гц	3,12	3,05	2,71
Коэффициент диэлектрических потерь (× 10 ⁻³):			
на частоте 60 гц	3,4	5,18	4,11
на частоте 10 ⁶ гц	1,38	10,3	8,27

*) 84 части отвердителя на 100 частей смолы и 2,2 части; отверждение 4 час при 80°С плюс 15 час при 150°С.

***) 85 частей смолы и 0,93 части; отверждение 2 час при 90°С плюс 18 час при 120°С.

***) Ускоритель отверждения: 132 части смолы и 1,4 части; отверждение 4 час при 80°С плюс 24 час при 100°С.

Новолаковые эпоксиды. Композиции новолаковой эпоксидной смолы обладают улучшенными высокотемпературными свойствами. Новолаковые эпоксидные смолы содержат в молекуле структуру бензино-кольцевого или фенольного типа и таким образом объединяют отличную термическую стабильность фенольных структур с реактивностью и исключительной многосторонностью эпоксидов. Кроме наивысшей термической стабильности они имеют высокую реактивность ко всем хорошо известным эпоксидным отверждающим веществам и катализаторам.

Так как их средняя эпоксидная функциональность более 3 или 4, то легко образуются плотные структуры с поперечным соединением, отвержденные массы, которые имеют высокую термическую стойкость, химическую реактивность и адгезию лучше, чем у бифенольных эпоксидов, имеющих эпоксидную функциональность, приближающуюся к двум. Высокая функциональность допускает сложное поперечное соединение между смолой и отвердителем, что повышает температуру смягчения и стойкость к термическому разрушению. Функциональность новолакового эпоксида ERR-0100, производимого фирмой «Union Carbide Plasties», усредняет около 5 эпоксидных групп на молекулу; функциональность смолы D.E.N.-438, производимой фирмой «Dow Chemical Company», соединяет в среднем 3,3 эпоксидные группы на молекулу (сравните с функциональностью 2,10 и ниже для большинства обычных эпоксидных смол). Устойчивая поперечная связь отвержденного новолакового эпоксида обеспечивает отличное сохранение механических свойств при высоких температурах и тем самым расширяет области применения, в которых можно использовать свойства эпоксидов.

Вязкость многих новолаковых эпоксидов высокая, но не может быть сокращена обычными путями; растворителями, смолами с более низкой вязкостью, разбавителями, нагреванием или отвердителями с низкой вязкостью.

Отвердители, применяемые с обычными бифенольными А эпоксидными смолами, также могут применяться и с новолаковыми эпоксидными, так как реакция отверждения проходит через эпоксидные группы молекулы.

Обычно необходимо дополнительное отверждение для развития максимальных свойств новолаковых эпоксидных смол. Некоторые типичные свойства ангидридно-отвержденных новолаковых эпоксидов показаны в табл. 10.2.

Циклоалифатические диэпоксиды. Эти смолы представляют класс эпоксидных материалов, которые не содержат фенольных колец, имеющих в большинстве эпоксидных смол. Они дают необычное сочетание низкой вязкости, низкого давления паров, высокой реактивности к кислотным отвердителям, таким как поликарбоксылные кислоты и ангидриды. Широкий диапазон свойств отвержденной смолы зависит от выбора эпоксида растворителя. Возможны как жесткие, так и гибкие отвержденные смолы. Эти композиции свободны от ароматических структур, очень хоро-

**Некоторые свойства новолаковых эпоксидных смол,
отвержденных ангидридами *)**

ERLB-0447 (метил-ангидрид-надик)

Свойства	Соотношение по весу			
	100	100	100	185
Верхний предел температуры отверждения, °С	160	205	160	205
Растяжение, кг/см ²	800	800	720	490
Относительное удлинение, %	2,5	2,5	2,3	1,6
Модуль упругости, кг/см ² × 10 ⁻⁸	3,74	3,70	3,50	3,20
Температура тепловой деформации, °С	145	161	162	181

ERLB-0,447 (гексагидрофталевый ангидрид)

Свойства	Верхний предел температуры отверждения, °С	
	160	205
Предел прочности при растяжении, кг/см ²	600	730
Относительное удлинение, %	1,9	2,7
Модуль упругости, кг/см ² × 10 ⁻⁸	3,50	3,3
Температура тепловой деформации, °С	161	158

*) Union Carbide ERLB-0447 (твердые вещества ERSR-011).

**Электрические характеристики на частоте 60 гц,
отвердитель/катализатор: *) NMA/БДМА: отверждение
при 250 °С**

Температура, °С	Коэффициент потерь	Диэлектрическая постоянная
23°	0,017	4,02
200°	0,060	4,29

*) Union Carbide ERLR-0447 (ERSB-0111 на стекле марки 181).

шо сопротивляются образованию следов углерода под действием электрической дуги, цветостойки под воздействием электрической дуги, цветостойки под воздействием ультрафиолетового света. Эта группа эпоксидов создана фирмой «Union Carbide Corporation» и обозначается как Bakelite ERL-4050, ERL-4052, ERL-4201, ERL-4221, ERL-4289 и ELS-4071.

Некоторые типичные свойства отвержденных циклоалифатических диэпоксидов показаны в табл. 10.3.

Эластичные эпоксиды. Часто бывает необходимо получить улучшенные термоударные свойства для эпоксидных смол, а также сократить внутренние напряжения на залитых компонентах. Для этого произведены работы по созданию многих композиций эластичных эпоксидных смол. Четыре основных из применяемых эпоксидов — полиамиды, полисульфиды, поликарбоксильные кислоты и полиуретаны. Каждый из них может реагировать с эпоксидными смолами для получения эластичного продукта отвержденной смолы.

Хотя эластичные эпоксиды улучшают сопротивление к термическому удару и сокращают внутренние напряжения, но при этом происходит некоторая деградация электрических свойств. Однако обычно удается достичь некоторого компромисса между электрическими и физическими свойствами.

Некоторые результаты взаимодействия вышеупомянутых эластичных эпоксидов со стандартными бифенольными эпоксидными смолами показаны в табл. 10.4—10.7.

Большой выбор эластичных эпоксидов и смол приведен в соответствующих каталогах. При этом всегда необходимо консультироваться с поставщиками смол, чтобы не ошибиться в выборе эластичной композиции. Следует также упомянуть, что полисульфиды можно применять только как заливочные и покрывающие материалы, в качестве эластичного материала с низкой влагопроницаемостью и относительно низкой термической прочностью. Такие полиуретаны можно также применять отдельно, о чем сказано подробнее в следующем разделе.

Кроме вышеупомянутых рецептов эластичных композиций для эпоксидных смол, приводятся сведения о том, что линейные полиазелаиновые полиангидриды (РАРА) имеют многочисленные преимущества, если применяются в качестве смягчающего преобразователя для эпоксидных смол.

Некоторые свойства диэпоксидных смол, отвержденных циклоалифатическими соединениями

Элементы композиций	Состав в частях (по весу)						
Эпоксидная смола							
ERL-4050	150	—	—	—	—	—	—
ERL-4052	—	100	100	—	—	—	—
ERL-4201	—	—	—	100	—	—	—
ERL-4221	—	—	—	—	100	—	—
ERL-4289 *)	—	—	—	—	—	100	100
Отвердитель:							
димерная кислота **)	—	—	—	97	—	65	—
гексагидрофталевый ангидрид	70	53	—	—	100	2	63
этиленгликоль	—	—	—	—	4	—	2,5
BF ₃ -MEA	—	—	1,5	—	—	—	—
Катализатор:							
октоат олова	—	—	—	2,0	—	2,5	—
диметилбензилами	1,0	1,0	—	—	1,0	—	1,0
Управляемые свойства:							
вязкость, <i>сПз</i> , при 25° С	210	200	350	1850	230	1450	420
время жизни до достижения вязкости 10 000 <i>сПз</i> при 25° С, дни	8	3	300	1	6	2	4
отверждение, часы, °С	2140; 4160	2120; 4160	4160	1120; 1160	2120; 4160	1120; 4160	1120; 4160
Физические свойства:							
температура «падения» образца, °С	110	44	35	43	182	20	100
предел прочности при растяжении, <i>кг/см²</i>	700	300	240	230	630	77	600
относительное удлинение, %	6,5	17	40	40	2,5	140	5
Электрические свойства:							
коэффициент рассеяния 60 <i>гц</i> при 25° С	0,022	—	0,031	0,012	—	0,028	0,008
при 50° С	0,004	—	0,082	0,035	—	—	0,004
при 100° С	0,007	—	—	0,048	—	0,004	0,002
при 150° С	0,046	—	—	0,090	—	0,039	0,047
устойчивость к действию электрической дуги, <i>сек</i> (ASTM D 495-61)	> 200	> 200	> 200	140	200	75	> 200

*) Смола ERL-4289 с кремниевым наполнителем удовлетворяет требованиям стандарта MIL-1-16923 С, тип D.

**) EMPOL 1022 производства фирмы «Emery Industries».

Свойства комбинаций бифенольные эпокси́ды — полисульфи́ды

Свойства	Весовое соотношение эпоксид (полисульфид)					
	1 : 0	2 : 1	1 : 1	1 : 2	1 : 3	0 : 1
Относительное удлинение, %	1	10	30	50	100	200
Твердость по Шору, шкала А	100	98	95	70	50	35
Удельное сопротивление, ом·см	10 ¹⁴	10 ¹³	10 ¹²	10 ¹¹	10 ¹⁰	10 ⁹
Диэлектрическая постоянная при 10 ⁶ гц	3,5	3,7	4,0	5,5	6,5	7,5
tg δ при 10 ⁶ гц	0,005	0,01	0,03	—	—	—

Таблица 10.5

Свойства систем бифенольные эпокси́ды — полиами́ды [8]

Характеристики	Весовые соотношения эпоксидов (полиамидов)						
	80 : 20	70 : 30	60 : 40	50 : 50	40 : 60	30 : 70	25 : 75
Температура тепловой деформации, °С	105	100	58	38	18	—	—
Твердость	B70*	B66	B58	B50	B30	A70**	A40
Удельное сопротивление, ом·см	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁴	10 ¹²	10 ¹⁰	10 ⁹	10 ⁸
Поглощение влаги, %	0,15	—	0,20	—	0,50	1,0	2,0

*) По Барколю, шкала М.

**) По Шору, шкала А.

Влияние поликарбоксильной кислоты на бифенольную эпоксидную смолу, отвержденную ангидридом [9]

Свойства	Состав 1 *)	Состав 2 **)
Твердость по Шору, шкала Д, 10 сек	86	72
Потери воздуха при выдержке 64 час при 150°С образцов диаметром 50 мм, высотой 3 мм, %	0,23	3,51
Водопоглощение при кипячении в воде в течение 2 час образца диаметром 50 мм, толщиной 3 мм, в % увеличения веса	+0,16	+1,40
Диэлектрическая постоянная на частоте 1 кГц при 25°С	3,45	4,23
Коэффициент рассеяния на частоте 1 кГц при 25°С	0,0063	0,0258
Объемное сопротивление при 25°С	$1,18 \times 10^{15}$	$1,41 \times 10^{14}$

*) Состав 1. 100 частей эпоксидной смолы, 75 частей фталевого ангидрида и 0,1 части БДМА. Цикл полимеризации 2 час при 120°С и 16 час при 150°С.

***) Состав 2. 100 частей эпоксидной смолы, 53,6 части фталевого ангидрида и 79,5 части Harsigue E. Цикл полимеризации 16 час при 150°С. Harsigue E изготавливается фирмой «Harschem Div., Wallace Tiernan, Inc».

Таблица 10.7

Свойства системы бифенольный эпоксид — полиуретан

Свойства	Весовое соотношение : эпоксидная смола — полиуретан				
	0 : 100	25 : 75	50 : 50	75 : 25	100 : 0
Максимальная прочность на растяжение, кг/см ²	350	140	420	700	700
Максимальное удлинение, %	420	350	10	10	10
Твердость по Шору, шкала А	90	60	—	—	—
Твердость по Шору, шкала D	40	15	80	85	90
Температура размягчения, °С	*)	*)	38	80	127

*) Ниже предела измерений прибора.

Эти эпокси́ды, смягченны́е РАРА, не увеличивают твердости и сохраняют свою вязкость, не увеличивая потери в весе в период до 8 недель при 150° С. Потеря веса для этого периода не превышает 1%.

2. Силиконы

Силиконовые смолы получили очень широкое распространение в заливке электронных приборов. Они имеют несколько важных свойств, которые способствуют их широкому применению.

Во-первых, в большинстве своем они удобны в применении: силиконовые смолы получают в широком диапазоне вязкостей и большинство из них можно отверждать при комнатной температуре или более низких. Во-вторых, большинство силиконов сохраняют их свойства в широком температурном диапазоне, обычно от -65° до $+200^{\circ}$ С, а в некоторых случаях до $+300^{\circ}$ С. Третье главное преимущество — отличные электрические свойства силиконов и в первую очередь низкие электрические потери. Для практических целей можно считать, что имеется три класса силиконов, пригодных для защиты печатных плат: RTV-силиконы и эластичные смолы, силиконовые гели, жесткие нерастворимые смолы.

RTV-силиконы и эластичные смолы. RTV-силиконы, т. е. силиконы, вулканизирующиеся при комнатной температуре, и эластичные силиконовые смолы находят наиболее широкое применение. Эти материалы имеют отличное сопротивление к тепловому удару и низкие внутренние напряжения отверждения. Некоторые могут отверждаться при комнатных температурах, а другие — при относительно низких температурах. Хотя в большинстве своем они окрашены, но можно получить и несколько видов прозрачных эластичных смол. Такие прозрачные смолы более широко применяются, так как кроме оптической прозрачности они имеют лучшие свойства по сравнению с пигментированными материалами. Отверждение некоторых прозрачных смол задерживается, если эти смолы во время реакции отверждения соприкасаются с определенными материалами.

Широко известными ингибирующими материалами являются сернистовулканизованная резина и некоторые

Типичные свойства RTV-силиконов после отверждения при 35° С

Физические свойства	Время отверждения	
	24 час	7 дней
Цвет	Темно-желтый	
Твердость по Шору, шкала А (ASTM Д 676)	40	42
Предел прочности при растяжении, кг/см ² (ASTM D 412)	21	21
Относительное удлинение, % (ASTM Д 412)	150	150
Точка хрупкости, (ASTM Д 746)	-100	
Усадка линейная, %	0,3	0,5
Поглощение воды, % (после 7 дней погружения при 25° С)	0,3	
Теплопроводность, кал/см·°С·сек	0,48·10 ⁻³	
Коэффициент объемного термического расширения на 1° С (при 25—150° С)	8,056·10 ⁻⁴	
Электрические свойства	После 24 час при относительной влажности 50%	После 1 недели при относительной влажности 96%
Электрическая прочность**), кв/мм 1,5 мм толщина, стандартные электроды, 110 см, быстрый подъем напряжения (ASTM Д 149)	22	—
Диэлектрическая постоянная:		
60 гц	3,50	3,89
10 ³ гц	3,44	3,60
10 ⁵ гц (ASTM Д 150)	3,37	3,45
Коэффициент рассеяния:		
60 гц	0,020	0,069
10 ³ гц	0,011	0,035
10 ⁵ гц (ASTM Д 150)	0,0046	0,0075
Объемное удельное сопротивление, ом·см (ASTM D 257)	3,0 × 10 ¹³	1,1 × 10 ¹³

*) Гранулированный силикон марки RTV 601 производства фирмы Dow.

**) Электрическая прочность зависит от толщины образца. Например, электрическая прочность образца из RTV 601 толщиной 0,375 мм равняется приблизительно 38 кв/мм (измерение с применением конденсаторов Кардвелла ER-SO-ES в качестве электродов).

RTV-силиконы. Там, где данный фактор является нежелательным, можно произвести покрытие ингибирующей поверхности одним из многочисленных неингибирующих покрытий. Свойства типичного отвержденного RTV-силикона показаны в табл. 10.8, а свойства типичной отвержденной эластичной смолы в табл. 10.9.

Таблица 10.9

Свойства типичных прозрачных эластичных силиконовых смол *) [13]

В состоянии поставки

Удельный вес при 25° С, минимум	1,02
Вязкость при 25° С, <i>спз</i>	4000—6500
Срок годности при хранении при 25° С, минимум	6 мес.
Время жизни при 25° С, минимум	2 час

После отверждения (24 час при 25° С)

(1 часть по весу отверждающего вещества к 10 частям по весу основной смолы).

Отверждались до неклеякого состояния при 25° С	24 час
Удельный вес, минимум	1,02
Твердость по Шору, шкале А (72 час при 25° С) (ASTM D 676)	30
Электрическая прочность **), <i>кв/мм</i> (ASTM D 149)	20
Диэлектрическая постоянная, максимум (ASTM D 150) при 10 ² <i>гц</i>	2,88
при 10 ⁵ <i>гц</i>	2,88
Коэффициент рассеяния, максимум (ASTM-150) при 10 ² <i>гц</i>	0,002
при 10 ⁵ <i>гц</i>	0,002
Объемное удельное сопротивление, <i>ом·см</i> , минимум (ASTM D 257)	1×10 ¹³

*) Гранулированный силикон марки Силгард 184 Производства фирмы «Dow» (отверждение при комнатной температуре).

***) Испытание на образцах 1,5-мм толщины, стандартные электроды 6 мм по ASTM, скорость подъема 500 *в/сек*.

Силиконовые гели. Силиконовые гели, как показывает название, находятся после отверждения в гелевом состоянии. Хотя эти материалы являются гелями, они имеют большую вязкость и могут выдерживать значительные механические нагрузки. Свойства отвержденного силиконового геля показаны в табл. 10.10.

Свойства типичного отвержденного силиконового геля *) [14]

Физические свойства

Цвет	Бесцветный
Удельный вес при 25° С	0,970
Точка замерзания, °С	Ниже — 60
Коэффициент теплопроводности <i>кал/сек·°С/см</i> : при 150° С	0,0007
при 200° С	0,0008
Коэффициент объемного термического расширения на °С	960×10^{-6}

Электрические свойства

	при 23° С	при 150° С
Электрическая прочность **), <i>кв/мм</i>	32	
Диэлектрическая постоянная **) при 100 <i>гц</i> — 0,1 <i>Мгц</i>	3,0	2,6
Коэффициент рассеяния ***):		
100 <i>гц</i>	0,005	0,002
1,0 <i>кгц</i>	0,0005	0,0005
0,1 <i>Мгц</i>	0,0001	0,0001
Объемное удельное сопротивление, <i>ом·см</i>	1×10^{15}	1×10^{14}

*) Гранулированный диэлектрический гель производства фирмы «Dow»; образец отверждался 16 час при 80° С.

**) 60 *гц*, быстрый подъем, расстояние 0,5 *мм* между сферическими электродами диаметром 12,7 *мм*.

***) Применение в качестве электродов неподвижного воздушного конденсатора Кардвелла емкостью 54 *пф* (ASTM D 150-54T).

Особенно интересное свойство силиконового геля состоит в том, что прямо сквозь гель можно вставлять испытательные зонды для проверки схем и компонентов. После удаления испытательных зондов гелевое покрытие восстанавливается самостоятельно.

Жесткие нерастворимые силиконы. Эта группа материалов менее применима, чем другие группы упомянутых выше силиконов. Причина в том, что их сопротивление тепловому удару и растрескиванию не столь хорошее, как у эластичных материалов, а их жесткие нерастворимые смолы не так удобны для работы, как материалы, отверждающиеся при комнатной температуре. Однако там, где необходимы свойства силиконов и высокая жесткость, они находят применение.

3. Полиуретаны

Уретаны или полиуретаны представляют другой класс эластичных заливочных смол, которые все шире применяются для заливки печатных плат.

Отвержденные полиуретановые смолы очень вязкие, обладают высокой прочностью сдвигов по сравнению с большинством других эластичных материалов.

Полиуретаны очень хорошо противостоят термическому удару и удобны в работе. Они отверждаются при комнатной или при более низких температурах. Преимущество полиуретанов перед силиконами состоит в их отличной адгезии к большинству материалов. Однако рабочие температуры полиуретанов обычно не выше 150° С. Необходима также тщательная сушка заливаемых деталей, чтобы не было пузырьков, которые могут возникнуть при взаимодействии полиуретанов с влагой.

Интересное исследование отлитых полиуретановых компаундов, отвержденных при комнатной температуре, было проведено монтезанской лабораторией фирмы «Белл телефон компани», где были продемонстрированы их отличные механические свойства после теплового старения, электрические свойства после испытания влажностью при 95° С и низкое поглощение воды. Испытания проводились над группой полиуретанов на базе преполимера с полиэфирной основой, полученного из касторового масла [15].

Физические свойства полиуретанов показаны в табл. 10.11, а электрические — в табл. 10.12.

Ниже дано краткое описание составных частей полиэфирных компаундов, приведенных в табл. 10.11 и 10.12.

Полисин U-56: преполимер на полиэфирной основе, полученный из касторового масла; эквивалентный вес на NCO-группу 420; содержит 10% NCO.

Полисин U-63: преполимер на полиэфирной основе, полученной из касторового масла; эквивалентный вес на NCO-группу 308; содержит 13,6% NCO.

Полисин 12: полиольный изоцианат; эквивалентный вес 150; функциональность 4,2; гидроксильное число 370.

Полисин 51: полиольный изоцианат; эквивалентный вес 186; функциональность 2,6; гидроксильное число 295.

Полисин 52: полиольный изоцианат; эквивалентный вес 103; функциональность 2,9; гидроксильное число 340.

Физические свойства нескольких полиуретановых компаундов [15]

Компаунд	Состав весовых частей	Вы- держ- ка при 27° С, мин	Предел прочности при растяжении, кг/см ² *)		Относительное удлинение при растяжении, %		Жесткость на изгиб **), кг/см ²		Твердость по Шору, шкалы А и D ***)	
			исход- ный	после двух мес. при 110° С	исход- ный	после двух мес. при 110° С	исход- ная	после двух мес. при 110° С	исход- ная	после двух мес. при 110° С
Полисин U-56 Полисин 51 Триэтилендиамин Противопенная присадка****)	68,5 31,5 0,125 0,03	80	28	22	330	305	45	43	A70	A83
Полисин U-56 Полисин 12 Триэтилендиамин	73,5 26,5 0,125	22	70	88	130	135	320	640	D50	D54
Полисин U-56 Полисин 52 Триэтилендиамин	68,0 32,0 0,125	54	16	20	140	230	55	49	A80	A75
Полисин U-56 Масло DB Триэтилендиамин	50,0 50,0 0,25	53	5,6	4,2	45	45	31	27	A50	A48

Полисин U-56 Масло DB Триэтилендиамин	60,0 40,0 0,2	60	12	12,5	75	115	51	42	A60	A60
Полисин U-63 Полисин 12 Ароклор 1254 Триэтилендиамин	60,0 40,0 25,0 0,063	42	16	40	64	120	62	120	D35	D40
Полисин U-63 Полисин 12 Ароклор 1254 Триэтилендиамин	60,0 35,0 15,0 0,063	42	52	124	120	100	365	640	D60	D60
Полисин U-63 Полисин 12 Ароклор 1254 Триэтилендиамин	74,0 27,0 25,0 0,003	30	210	113	25	100	710	780	D53	D69

*) Метод измерений ASTM D638-58T.

**) Метод измерений ASTM D747-58T.

***) Метод измерений ASTM D1746-61.

****) Использование во всех компаундах.

Электрические свойства нескольких полиуретановых компаундов [15]

Компаунд	Сопротивление изоляции, ом **)		Диэлектри- ческая по- стоянная ***) 1000 кГц	Коэффициент рассеяния, 1000 кГц
	исходное	после 28 дней при 35° С и от- носительной влажности 90%		
1 *)	$2 \cdot 10^{12}$	$3 \cdot 10^9$	3,4	0,0
2 *)	$2 \cdot 10^{12}$	$8 \cdot 10^{11}$	3,6	0,03
4 *)	$2 \cdot 10^{12}$	$6 \cdot 10^{10}$	3,6	0,03
5 *)	$2 \cdot 10^{12}$	$4 \cdot 10^{10}$	3,8	0,04
6 *)	$2 \cdot 10^{12}$	$2 \cdot 10^9$	3,4	0,03
12 ****)	$2 \cdot 10^{12}$	$2 \cdot 10^{12}$	3,7	0,03
13 ****)	$2 \cdot 10^{12}$	$2 \cdot 10^{12}$	2,6	0,01
14 ****)	$2 \cdot 10^{12}$	$2 \cdot 10^{12}$	3,2	0,02

*) В соответствии с табл. 10.11 для компаундов 1—6.

**) ASTM D 257.

***) ASTM D 1531-59T.

****) Состав в весовых частях: 12 — полисин U = 63 — 60 в. ч.; полисин 12 — 40 в. ч.; ароклор 1254 — 25 в. ч.; триэтилендиамин — 0,063 в. ч.; 13 — полисин U = 63 — 60 в. ч.; полисин 12 — 35 в. ч.; ароклор 1254 — 15 в. ч.; триэтилендиамин — 0,063 в. ч.; 14 — полисин U = 63 — 74 в. ч.; полисин 12 — 27 в. ч.; ароклор 1254 — 25 в. ч.; триэтилендиамин — 0,063 в. ч.

Масло DB: уретановый сорт касторового масла; изоцианат; эквивалентный вес 442, функциональность 2,7; гидроксильное число 163.

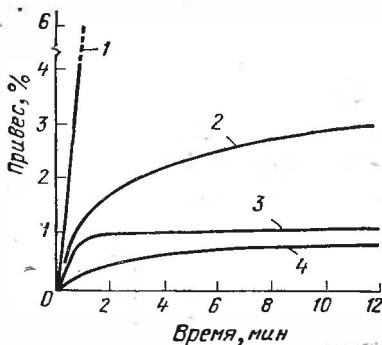


Рис. 10.3. Сравнительный график водопоглощения для некоторых заливочных смол при 23°С [15].

1 — полиамидные эпоксины; 2 — полисульфидные эпоксины; 3 — ангидридные эпоксины; 4 — полиуретановый компаунд [12].

Противопоенная присадка: силиконовое масло с наполнителем из двуокиси кремния.

Ароклор 1254: хлорированный бифенил.

На рис. 10.3 показано низкое водопоглощение полиэфирных компаундов.

4. Полиэфиры

Полиэфирные смолы были первыми среди жидких смол, которые применялись для заливки электронных приборов. В большей части обычные полиэфиры являются сополимерами основной полиэфирной смолы и стиролового мономера. Наилучшая стабильность при высокой температуре получается в полиэфирах, которые сополимеризуются с триаллиловым циануратом. Большинство полиэфиров имеют более высокую усадку, чем эпоксида, устойчивы к термическому удару, стойки к воздействию влажности и адгезия у них хуже, чем в эпоксидах. Однако электрические свойства полиэфиров обычно очень хорошие. Полиэфиры широко применяются, так как их стоимость очень низка по сравнению со стоимостью других смол, рассмотренных в справочнике.

5. Терморезактивные гидроуглероды

Типичными материалами этого вида являются Buton A-500 и Buton 100, сополимерные продукты бутадиенстирола, выпускаемые фирмой Enjay Chemical. Терморезактивные гидроуглероды можно образовывать как эластичные отвержденные смолы в очень широком диапазоне твердости.

Главными преимуществами терморезактивных гидроуглеродов являются их высокие электрические свойства и низкое поглощение влаги. Отвержденные смолы прозрачны, и эластичные их виды легко поддаются ремонту. Некоторые из наиболее важных свойств отвержденных терморезактивных гидроуглеродных смол показаны в табл. 10.13.

Таблица 10.13

Свойства отвержденных терморезактивных гидроуглеродных смол [16]

Составы смол	Весовые части		
	А	В	С
Buton 100 или Buton A-500	80,0	80,0	80,0
Виниловый толуол	20,0	20,0	20,0
Луперзол 101 (1)	1—3	1,0	—
Т — бутил пербензоил	—	—	0,5

Составы смол	Весовые части		
	А	В	С
Дитретичная перекись бутила	—	—	1,0
Перекись дикумила	—	1,0	—
Цикл отверждения, час:			
при 120° С	2,0	2,5	2,5
при 130° С	1,0	—	—
при 138° С	—	1,0	1,0
при 150° С	1,0	—	—
при 163° С	—	2,0	2,0
Физические свойства:			
усадка, см/см	0,05	0,06	0,05
предел прочности при изгибе, кг/см ²	210—280	340—450	280—350
твердость по Шору	A100	D 90	D85
Электрические характеристики, ом × 10 ¹⁴	3,8	3,5	—
Удельное поверхностное сопротивление			
Объемное удельное сопротивление, ом·см 10 ¹⁵	2,8	2,6	—
Диэлектрическая постоянная при:			
60 гц	2,5	2,5	—
1 кгц	2,5	2,6	2,6
1 Мгц	2,6	2,7	2,8
Коэффициент рассеяния при:			
60 гц	0,003	0,003	—
1 кгц	0,002	0,002	0,002
1 Мгц	0,002	0,002	0,002

6. Термореактивные акрилы

Относительно новый класс синтетических смол, который был недавно создан и имеет потенциальное применение для заливки печатных плат, известен как термореактивные акрилы [17]. Эти смолы были созданы фирмой Фримэн Кемикл Корпорейшн и продаются в США под торговым названием Ниполь. Важнейшими свойствами этих материалов является хорошая термоустойчивость (до 260° С), которая приближается к лучшим композициям эпоксидных смол. Потеря веса до 5% происходит после 1000 час при 200° С.

Подобно другим смолам, рассматриваемым ниже, термореактивные акрилы нерастворимы и, следовательно, не дают побочных продуктов во время отверждения. Подобно полиэфирам, их можно модифицировать такими мономера-

Свойства компаунда Ниполь 46—4001 *), содержащего различные количества стирола [17]

* Свойства	Содержание стирола, %			
	0	20	30	50
Вязкость по Брукфилду (при 24° С), <i>спз</i>	—	1650	195	23
Твердость по Барколю (при 24° С)	43	45	45	38
Предел прочности при растяжении, <i>кг/см²</i>	340	600	580	670
Модуль упругости при растяжении, <i>кг/см²·10⁸</i>	3,7	3,4	2,85	3,25
Относительное удлинение, %	1,7	4,3	5,1	5,6
Предел прочности при изгибе, <i>кг/см²</i>	1330	1300	1370	1350
Модуль упругости при изгибе, <i>кг/см²·10⁸</i>	3,5	3,5	3,3	3,4
Ударная вязкость (образец без надреза), <i>м/кг</i>	0,13	0,20	0,23	0,26

*) Производства фирмы «Фримэн Кемикл Корпорейшн».

ми, как стирол. Электрические свойства сравнимы со свойствами полиэфирных смол, которые очень хороши в их рабочем температурном диапазоне. Физические свойства Ниполя 46—4001 показаны в табл. 10.14 для компаундов, содержащих разные количества стиролового мономера. Основные электрические свойства Ниполя 46—4440, в зависимости от частоты и температуры, показаны на рис. 104.

ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Функциональные требования к конструкции часто диктуют необходимость нанесения защитного покрытия на печатные платы. Кроме того, военный стандарт MIL-Std-275В „Печатный монтаж для электрической аппаратуры” требует обязательного выполнения покрытия при определенных расстояниях между проводниками печатных плат, как показано в табл. 10.15.

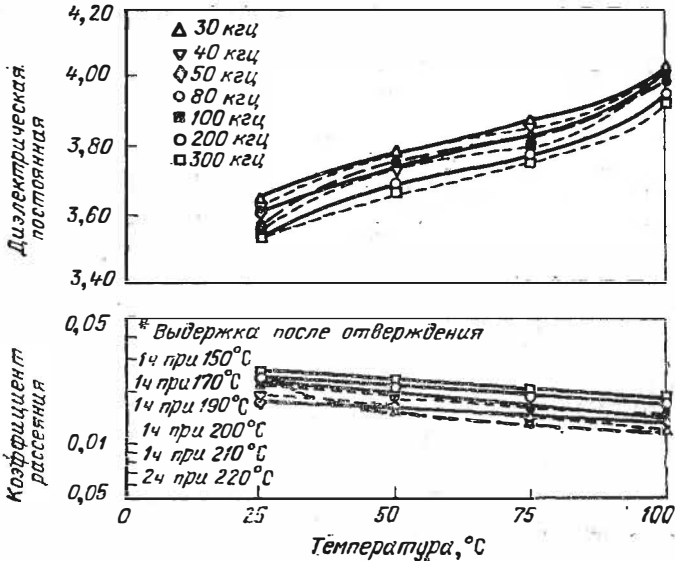


Рис. 10.4. Влияние температуры на коэффициент рассеяния и диэлектрическую постоянную при разных частотах для материала Ниполь 46-4440 [17].

При анализе табл. 10.15 очевидно, что расстояния между проводниками можно сократить за счет нанесения покрытий на печатные платы. Поэтому при принятии решения о необходимости покрытия печатных плат следует руководствоваться требованиями стандарта MIL-Std-275B, а также требованиями конкретных условий эксплуатации.

Один из наиболее важных технических вопросов, рассматриваемых при выборе покрытий печатных плат, — это защита платы от влияния повышенной влажности и агрессивной среды на сопротивление изоляции покрытия и влияние толщины покрытия, температуры и влажности на другие важные электрические свойства, такие как коэффициент рассеяния, диэлектрическую постоянную добротность. Основная функция покрытия — предотвратить возникновение и миграцию коррозионных продуктов, способных проводить ток. Важны также эластичность покрытия, сопротивления покрытия растрескиванию при термическом ударе, легкость применения и обработки покрытия, способность покрытия модифицироваться для разных толщин, оптическая

Минимальные допустимые расстояния между печатными проводниками согласно MTL-Std-275 В для непокрытых и покрытых плат [18]

Напряжение между проводниками (постоянного тока или пиковое переменного тока), в	Минимальное расстояние, мм
Платы без покрытия, от уровня моря до высоты 3000 м	
0—150	0,6
151—300	1,25
301—500	2,5
Свыше 500	0,005
Платы без покрытия, свыше 3000 м	
0—50	0,6
51—100	1,25
101—170	3,1
171—250	6,2
251—500	12,5
Свыше 500	0,02
Платы с покрытием, все высоты	
0,50	0,25
31—50	0,4
51—150	0,5
151—300	0,7
301—500	1,5
Свыше 500	0,005

прозрачность покрытия для возможности чтения маркировки на компонентах и платах, легкость снятия покрытия и ремонта печатных плат, а также влияние коррозии при покрытии схемы и компонентов и физические и электрические воздействия покрытия на компоненты.

Ясно, что некоторые из этих конечных свойств покрытых печатных плат определяются материалом диэлектрического основания, его чистотой, гальваническим покрытием на проводниках, так же как и покрывающим материалом. Перечень разных материалов, применяемых для изготовления печатных плат, показан в табл. 10.16.

**Некоторые обычно применяемые фольгированные
материалы для печатных плат**

Описание материала	Военный стандарт	Наименования по классификации Национальной ассоциации электротехнической промышленности
Эпоксидная смола, бумажная основа, огнестойкий	MIL-P-13949C, тип PX	FR-3
Эпоксидная смола, бумажная основа, огнестойкий	MIL-P-22324, тип PEE	FR-3
Фенольная смола, бумажная основа	MIL-P-13949C, тип PP	
Эпоксидная смола, стеклоткань, универсального применения	MIL-P-13949C, тип GE	G-10
Фенольная смола, бумажная основа	MIL-P-13949C, тип PBE	XXX
Эпоксидная смола, стеклоткань, универсального применения, температуро-устойчивый	MIL-P-13949C, тип GB	G-11
Эпоксидная смола, стеклоткань, огнестойкий	MIL-P-13949C, тип GF	FR-4
Эпоксидная смола, стеклоткань, огнестойкий	MIL-P-13949C, тип GR	
Эпоксидная смола, стеклоткань, температуро-устойчивый и огнестойкий	MIL-P-13949C, тип GH	FR-5
Эпоксидная смола, стекловата	MIL-P-13949C, тип GX	
Политетрафторэтиленовая смола, стеклоткань, (нетканая)	MIL-P-13949C, тип GP	
Политетрафторэтиленовая смола, стеклоткань	MIL-P-13949C, тип GT	
Политетрафторэтиленовая смола, стеклоткань	MIL-P-19161A, тип GTE	
Силиконовая смола, стеклоткань	MIL-P-997, тип GS	
Меламиновая смола, стеклоткань	MIL-P-15037, тип GM	
Полиэфирная смола, стеклоткань	MIL-P-8013C, тип 1, 2, 3	

Примечание. Можно получить много других композиций. Этот перечень просто показывает наиболее обычные композиции.

7. Покрытия и программа испытаний по MIL-1-46058

Количество покрытий, которые могут применяться к печатным платам, очень велико. Преобладают, однако, эпокси́ды, полиуретаны, силиконы, акрилы, полистиролы и лаки типа MIL-V-173. Химическая природа этих покрытий схожа с природой заливочных смол, уже рассмотренных выше; количество модификаций и комбинаций этих покрытий также очень велико. Наиболее широко применяемые покрытия описываются в военных стандартах MIL-1-46058. Классификация изоляционных компаундов для покрытий печатных плат по требованиям этих стандартов следующая:

класс А — универсальные покрытия,

тип FR — эпоксидные,

тип PUR — полиуретановые;

класс В — термостойкие покрытия,

тип SR — силиконовые,

класс С — покрытия с низкими диэлектрическими потерями,

тип PO — полистиролы.

Разработан стандарт MIL-1-46058 («Требования к военной аппаратуре») на основании соответствующих исследований, проводимых в США электронным управлением вооруженных сил (Орловский и Розен) и отделением военной электроники фирмы «Моторола» (Беккасито).

Программа, применяемая для оценки качества покрытий печатных плат, может являться отличным руководством для выбора покрытий.

Некоторые из ключевых пунктов этой программы приведены ниже более подробно. Вся сложная испытательная программа, которая проводилась по MIL-1-46058, схематически показана на рис. 10.5. Измерения первоначально проводились на двух схемах, как показано на рис. 10.6. с образцом X, соответствующим военным ТУ. Две испытательные схемы дают очень похожие результаты. Цикл испытаний на влагоустойчивость показан на рис. 10.7.

Примечание. Температурный допуск был равен $\pm 2^\circ$ во всех точках в пределах камеры, за исключением непосредственной близости образцов и поверхностей камеры [18].

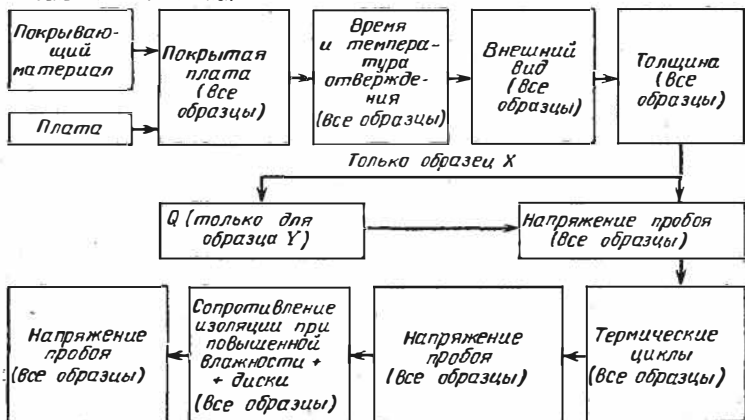
Испытательные схемы изготавливались способом травления на следующих материалах толщиной 1,5 мм:

1) тип PP — фенольная смола, бумажная основа; 2) тип PE — эпоксидная смола, бумажная основа; 3) тип GE — эпоксидная смола, стеклотканая основа, универсальный; 4) тип GE — эпоксидная смола, стеклотканая основа, огнестойкий; 5) тип GB — эпоксидная смола, универсальный, термостойкий.

Перед покрытием испытательные платы очищались и обезжиривались в трихлорэтилене. Каждый тип покрытия наносился щеткой на три идентичные испытательные схемы. Одну плату оставляли непокрытой; она применялась как контрольный образец. Покрытие на испытательных платах обрабатывали теплом по инструкциям изготовителя и затем отверждали в течение 7 дней при комнатной температуре. Это делалось для обеспечения полного отверждения покрытия.

На испытательных платах подвергали проверке: толщину покрытия; внешний вид покрытия; время отверждения и темпера-

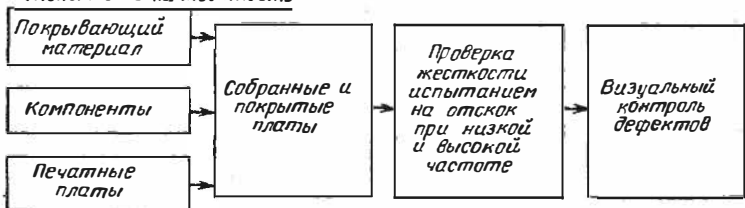
А. Основные испытания



В. Испытание на истирание



С. Испытание на жесткость



Д. Испытание на гибкость

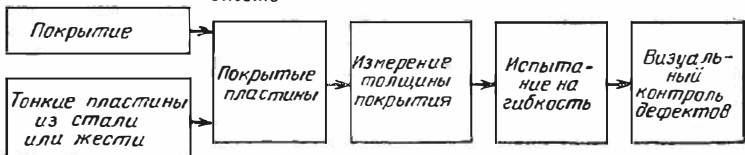


Рис. 10.5. Схема оценочных испытаний по стандарту MIL-C-46058 [18].

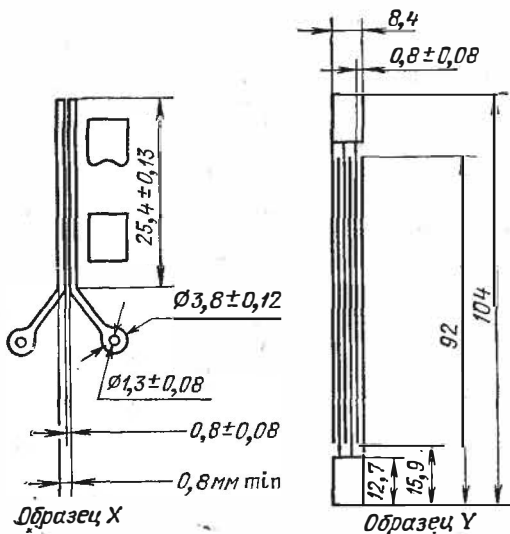


Рис. 10.6. Два типа испытательных плат для оценки качества покрытия печатных плат (все размеры в мм).

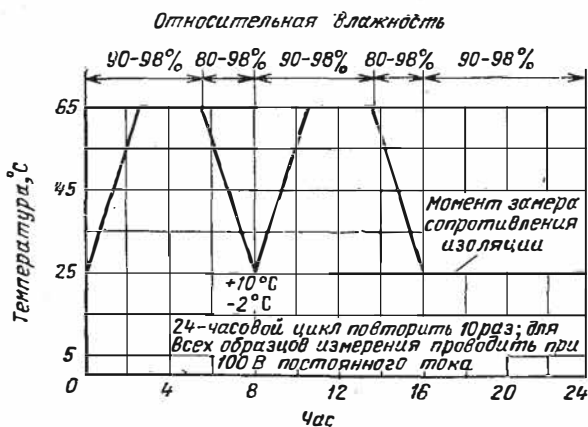


Рис. 10.7. График испытания на повышенную влажность по стандарту MIL-C-46058. Допускаемое отклонение температуры во всех точках камеры, кроме измеренной непосредственно на ее стенках или на поверхности испытуемого образца, не должно превышать $\pm 2^\circ \text{C}$ [18].

туру; температурный цикл; сопротивление изоляции в условиях влаги; коэффициенты рассеяния и Q при 1,50 и 100 Мгц; напряжение пробоя; стойкость к вибрации; гибкость; износостойчивость.

Схема испытательной программы дана на рис. 10.5. Методы испытания, применяемые в оценке этих параметров, следующие:

1. Толщина. Проведены три измерения толщины в разных местах испытательной панели на цифровом индикаторе, имеющем точность $\pm 0,0025$ мкм. По трем измерениям вычислено среднее арифметическое значение толщины.

2. Внешний вид покрытия. После того, как покрытие испытательные панели были отверждены, они визуально исследовались на наличие раковин, складок, трещин, шелушения покрытия и обесцвечивания проводников.

3. Температурный цикл. Испытательные схемы подвергались пяти циклам температурно-циклических испытаний, описанных в методике 102А стандарта MIL-Std-202В (Методы испытания электронных компонентов).

Последовательность термоциклов следующая:

Температура, °С	Время, мин
$-55 \begin{smallmatrix} +0 \\ -3 \end{smallmatrix}$	30
$25 \begin{smallmatrix} +10 \\ -0 \end{smallmatrix}$	10—15
$85 \begin{smallmatrix} +3 \\ -0 \end{smallmatrix}$	30
$25 \begin{smallmatrix} +10 \\ -5 \end{smallmatrix}$	10—15

4. Сопротивление изоляции в условиях влажной атмосферы. Все испытательные схемы подвергались четырнадцати циклам испытаний на влажность в соответствии с методикой 106 MIL-Std-202В.

Графическое представление циклов испытаний на влажность показано на рис. 10.7.

Во время циклов ко всем образцам прикладывалось постоянное напряжение 100 в.

Измерения стойкости изоляции проводились вначале испытаний и затем первый, пятый, седьмой, десятый и четырнадцатый циклы с применением мегомметра производства фирмы «Кейтли Инструментс Инк» (модель 610).

Измерения сопротивления изоляции проводились у испытательных образцов, сохраняемых при 25° С и 90—95% -ной относительной влажности.

5. Коэффициент рассеяния и Q при 1,50 и 100 Мгц. Коэффициент Q и коэффициент рассеяния испытательных схем с двумя параллельными линиями определяются Q -метром при 1,50 и 100 Мгц.

Для частот от 20 до 100 Мгц применялся Q -метр производства фирмы Woonton Radio Co (модель 190-А). Для частот ниже 20 Мгц применялся Q -метр (модель 260-А) производства той же фирмы.

6. Напряжение пробоя. Испытания диэлектрика на пробивное напряжение проводились до и после термических циклов, а также до и после испытания на влажность.

Все испытательные образцы испытывались при 1500 в переменного тока в течение 60 сек

7. Стойкость к вибрации. Соответствующие покрытия наносились на печатные платы размером 125 × 180 мм, содержащие имитирующие компоненты. Вес применяемых имитаторов изменился от 2 г для транзисторов ТО-5 до 31 г для бумажных конденсаторов. Компоненты ТО-5 монтировались в одинаковых позициях на всех печатных платах. Толщина покрытия менялась от 0,075 до 0,38 мм.

Три непокрытые платы испытывались вместе с покрытыми. Все платы подвергались следующим вибрационным испытаниям: испытание на удар по методике 2А MIL-T-4807А, низкочастотная вибрация по методике 201 MIL-Std-202В, высокочастотная вибрация по методике 204А, В, MIL-Std-202В. После всех вышеупомянутых вибрационных испытаний покрытия исследовались на растрескивание.

8. Гибкость. Покрытия наносились щеткой на пластинки из оловянной фольги толщиной 0,25 мм и имели толщину от 0,075 до 0,4 мм.

Покрытия отверждались в течение 7 дней до проведения этих испытаний. Сравнительные испытания на изгиб проводились следующим образом.

Испытательная плата помещалась покрытой стороной вверх на прутке из нержавеющей стали диаметром 3 мм в точке на одинаковом расстоянии от верхнего и нижнего краев платы.

Покрытая плата затем изгибалась в обе стороны за 1 сек. Покрытие исследовалось на наличие трещины.

9. Износоустойчивость. Покрытия наносились щеткой на стальные пластины 10 × 10 см² и имели толщину $0,3 \pm 0,17$ мм. Покрытие платы отверждалось в течение 7 дней до проведения абразивного испытания. Для каждого покрытия испытывались три покрытые платы, и из результатов выводили среднее число. Индекс износа покрытия определялся следующим образом.

Покрытые стальные пластины взвешивались сначала с точностью до 0,1 гм, и замеры веса записывались. Затем они помещались на поворотный стол абразивного станка Gabeг и подвергались 200 циклам абразивной обработки с применением калибровочных кругов CS-10 с нагрузкой 1000 г, приложенной к кругам.

После испытаний покрытые пластины вновь взвешивались с той же точностью.

Износ вычислялся следующим образом:

$$\text{Износ } (\mu\text{м}) = \frac{(A - B) \cdot 1000}{C},$$

где A — вес образца перед абразивной обработкой; B — вес образца после абразивной обработки; C — записанное число циклов абразивной обработки.

8. Результаты испытательной программы MIL-1-46058

Некоторые важные заключения из этого исследования состоят в следующем:

1) Покрытия можно получить на эпоксидных, полиуретановых, силиконовых и полистироловых смолах, которые обеспечат электри-

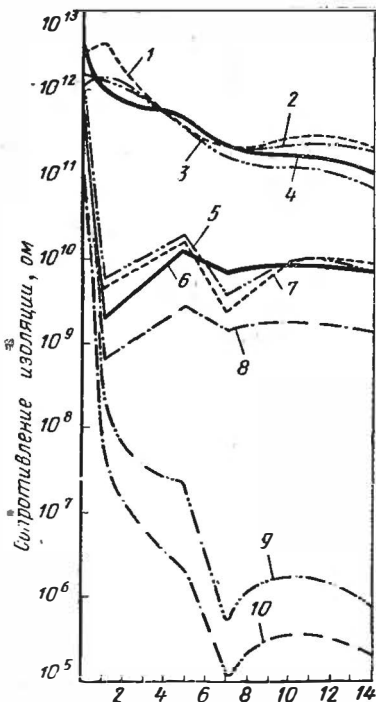


Рис. 10.8. Графики зависимости сопротивления изоляции гетинаксовой печатной платы от количества циклов испытаний на повышенную влажность в соответствии с рис. 10.7.

Образец С при испытаниях не корродировал, тогда как образец D корродировал незначительно. Для сравнения приведено сопротивление изоляции непокрытой платы [18].

- 1 — образец С (образец X типа GB);
- 2 — образец С (образец Y типа PE);
- 3 — образец С (образец X типа PE);
- 4 — образец С (образец Y типа GB);
- 5 — образец D (образец X типа PE);
- 6 — образец D (образец Y типа GB);
- 7 — образец D (образец X типа GB);
- 8 — образец D (образец Y типа PE);
- 9 — непокрытый образец типа PE;
- 10 — непокрытый образец типа GB.

ческие свойства, отвечающие MIL-1-46058 при неблагоприятных окружающих условиях, определенных ниже. Много покрытий успешно проходили испытание на термический удар без растрескивания. Опыт показал, однако, что относительно высокий процент некоторых покрывающих материалов будет корродировать или обесцвечивать медные проводники после циклических испытаний на влажность и что покрытия, которые допускают коррозию, могут давать резкое падение сопротивления изоляции в отличие от покрытий, которые не вызывают коррозию.

Это показано на рис. 10.8, на котором сравниваются результаты испытаний непокрытых плат, в которых не возникла коррозия во время циклов испытаний на влажность.

2) Относительно коэффициента рассеяния и Q при 1,50 и 100 $гц$, то анализ изменения свойств покрытий показал, что слой и смола значительно отличаются; эти сравнения производились на определенных частотах. Наивысшие величины Q получены со стеклоэпоксидными слоями.

Величина Q уменьшается с увеличением частоты для покрытых и непокрытых плат. Изменение от 1 до 50 $Мгц$ и от 50 до 100 $Мгц$ приблизительно одинаковое и указывает на почти линейную зависимость в пределах 1—1000 $Мгц$. Типичные результаты измерений Q и коэффициента рассеяния показаны в табл. 10.17.

3) Коэффициент диэлектрических потерь и Q измерялись на частотах 1; 5 и 100 $Мгц$ на материалах марки GB, полученных от трех разных поставщиков. Средняя толщина покрытия была в пределах 0,0075 до 0,094 $мм$. На всех трех частотах при толщине покрытия ниже 0,05 $мм$ было отмечено очень малое изменение Q . Однако при толщине покрытия более 0,05 $мм$ началось быстрое снижение Q .

Измерения Q и коэффициента рассеяния испытательных панелей, покрытых эпоксидами (образец типа X, рис. 10.6) [18]

Материал основы	Тип образца	Средняя толщина покрытия, мм	Среднее значение Q	Средний коэффициент рассеяния	Среднее значение Q	Средний коэффициент рассеяния	Среднее значение Q	Средний коэффициент рассеяния
			1 Мец		50 Мец		100 Мец	
GE	контрольный	—	82,2	0,012	79,2	0,013	61,2	0,016
		0,14	67,7	0,014	70,0	0,014	56,7	0,018
GB	контрольный	—	148,1	0,007	113,6	0,009	89,3	0,011
		0,28	68,0	0,015	64,9	0,015	51,9	0,019
GF	контрольный	—	107,9	0,009	89,5	0,011	78,1	0,013
		0,31	58,4	0,017	66,1	0,015	63,1	0,016
EXXXX(PE)	контрольный	—	43,8	0,023	45,3	0,022	33,8	0,030
		0,46	33,9	0,029	40,2	0,025	33,2	0,030
PP	контрольный	—	59,2	0,017	44,1	0,023	45,4	0,022
		0,30	43,0	0,023	42,4	0,024	36,4	0,028
GE	контрольный	—	73,8	0,014	72,0	0,014	66,0	0,015
		0,067	90,3	0,011	61,8	0,016	72,7	0,014
GB	контрольный	—	130,0	0,008	89,7	0,011	123,9	0,008
		0,3	86,3	0,012	118,9	0,008	69,8	0,014
GF	контрольный	—	85,6	0,012	86,9	0,012	89,0	0,011
		0,25	80,4	0,012	66,3	0,015	73,5	0,014
EXXXX(PE)	контрольный	—	86,6	0,012	34,0	0,029	27,4	0,036
		0,20	49,0	0,020	56,9	0,018	47,7	0,021
PP	контрольный	—	57,1	0,018	49,6	0,020	31,4	0,032
		0,28	49,0	0,020	44,5	0,023	34,1	0,029

Материал основы	Тип образца	Средняя толщина покрытия, мм	Среднее значение Q	Средний коэффициент рассеяния	Среднее значение Q	Средний коэффициент рассеяния	Среднее значение Q	Средний коэффициент рассеяния
			1 Мгц		50 Мгц		100 Мгц	
GE	контрольный	—	75,1	0,013	94,6	0,011	73,2	0,014
		0,20	60,1	0,017	78,3	0,013	59,2	0,017
GB	контрольный	—	118,4	0,008	124,4	0,008	85,8	0,012
		0,25	66,9	0,015	91,7	0,011	69,5	0,014
GF	контрольный	—	89,6	0,011	134,4	0,007	77,4	0,013
		0,30	64,4	0,016	74,0	0,014	56,4	0,018
EXXXP(PE)	контрольный	—	48,9	0,020	40,3	0,025	34,3	0,029
		0,25	41,5	0,024	41,6	0,024	36,7	0,027
PP	контрольный	—	66,5	0,015	46,2	0,022	34,6	0,029
		0,28	45,6	0,022	44,2	0,23	37,1	0,027
GE	контрольный	—	78,9	0,013	80,9	0,012	60,3	0,017
		0,41	63,2	0,016	61,6	0,016	51,8	0,019
GB	контрольный	—	133,7	0,007	104,2	0,010	91,9	0,010
		0,41	73,3	0,014	92,8	0,010	64,2	0,016
GF	контрольный	—	111,2	0,009	98,2	0,010	70,4	0,014
		0,56	66,5	0,015	79,1	0,013	59,9	0,017
EXXXP(PE)	контрольный	—	54,3	0,018	42,7	0,023	31,6	0,032
		0,33	41,1	0,024	41,0	0,024	36,9	0,027
PP	контрольный	—	58,1	0,017	51,1	0,020	37,2	0,027
		0,33	47,1	0,021	42,9	0,023	36,7	0,027

4) С испытуемыми схемами, имеющими покрытие толщиной 0,0075—0,09 мм, проводили испытания на влажность в течение 30 дней, определенные методикой 106A MIL-Std-202B. Минимальное сопротивление было 10^9 ом, что свидетельствует о хорошей защите печатных плат даже при этих толщинах покрытия.

Покрытия в этом диапазоне толщины можно применять для обеспечения удовлетворительного сопротивления изоляции, когда они еще имеют незначительное влияние на другие электрические свойства, такие как Q . Там, где важны диэлектрическая постоянная, Q и коэффициент рассеяния, необходимо применять покрытия толщиной ниже 0,05 мм.

5) Напряжения коронного разряда диэлектрического пробоя измерялись на покрытых испытательных панелях для каждого из 10 разных расстояний (0,25; 0,38; 0,54; 0,64; 0,8; 1,5; 2,4; 3,0; 4,8; 6,4 мм) при разных давлениях и относительной влажности.

Условия испытаний соответствовали требованиям стандартов MIL-Std-446 и MIL-E-5400. При этом не замечалось коронного разряда до пробоя, в то время как на непокрытых испытательных панелях он происходил при напряжении, не достигающем значения пробивного.

9. Ремонтпригодность покрытий

Ремонтпригодность печатных плат часто необходима. Исследователи фирмы Signal Corps при ремонте эпоксидных, полиуретановых и силиконовых покрытий применяли как химические, так и механические средства для обдирания покрытий. Данные, полученные при 10-дневных испытаниях на влажность покрытых образцов, которые обдирались и ремонтировались химическими и механическими средствами, показали следующее:

1. Химические и механические средства ремонта могут успешно применяться.

2. Эпоксидные, полиуретановые и силиконовые покрытия совместимы одно с другим, т. е. не замечено больших изменений сопротивления изоляции после 10-дневных испытаний на влажность, когда одно покрытие применялось для ремонта другого.

3. Пескоструйная очистка площади ремонта до повторного покрытия дала несколько лучшие результаты благодаря лучшей адгезии покрытия к слою основания.

Было установлено, что температура кончика паяльника при механической обдирке для смягчения покрытия должна поддерживаться на уровне 135—200° С. Этого достаточно для смягчения покрытия. Применение более горячего паяльника в диапазоне 260—320° С обжигает и из-за подводимого тепла повторно осаждает материал покрытия на схеме, создавая необходимость в очистке от загрязнения.

10. Влияние разных условий окружающей среды на материалы покрытий

Как уже упоминалось, сопротивление изоляции материала покрытия меняется с изменением температуры и влажности.

Табл. 10.18 показывает, что сопротивление изоляции разных покрытий на эпоксидно-стеклянной плате является функцией

Сопrotивление изоляции нескольких покрытий печатных плат как функция температуры [19]

Тип покрытия	Номер образца	Сопrotивление изоляции, мом		
		исходное	при 55° С	при 125 °С
Эпоксид/полиамид	1	2000	2000	0,5
Модифицированный эпоксид	2	2000		
Эпоксид	3	2000	2000	60
Эпоксид/полиамид	4	2000	2000	0,8
Полиуретан	5	2000	2000	2 000
Эпоксид	6	2000	2000	0,5
Полиуретан	7	2000	2000	10 000
Силикон	8	2000	2000	40 000
Эпоксидный полиуретан	9	2000	2000	2 100
Контрольная (без покрытия)	XX	2000	2000	100 000

температуры. Табл. 10.19 показывает изменение сопротивления изоляции разных покрытий в функции температуры при относительной влажности 95%.

По военным стандартам считается, что влажность сильнее влияет на покрытия, защищающие плату, чем большинство других факторов окружающей среды.

Таблица 10.20

Сопrotивление изоляции трех печатных плат с двумя разными полиуретановыми покрытиями после воздействия агрессивной среды [20]

Номер образца	Сопrotивление изоляции, ом	
	платы, покрытые материалом P.U. П2 *	Платы, покрытые материалом АВО 130-007 *
1А	$4,0 \cdot 10^{11}$	$4,5 \cdot 10^8$
В	$9,5 \cdot 10^{10}$	$5,0 \cdot 10^{10}$
С	$1,5 \cdot 10^{10}$	$1,5 \cdot 10^{11}$
2А	$4,0 \cdot 10^{11}$	$2,4 \cdot 10^9$
В	$4,0 \cdot 10^{11}$	$1,0 \cdot 10^9$
С	$1,7 \cdot 10^{11}$	$4,5 \cdot 10^8$
3А	$1,0 \cdot 10^{11}$	$1,2 \cdot 10^{10}$
В	$1,5 \cdot 10^{11}$	$1,0 \cdot 10^8$
С	$3,5 \cdot 10^{11}$	$4,0 \cdot 10^{10}$
Среднее	$2,3 \cdot 10^{11}$	$1,7 \cdot 10^9$

* Материалы фирмы «Autonetics Division, North American Aviation, Inc».

Сопротивление изоляции нескольких покрытий печатных плат как функция температуры и влажности [19]

Тип покрытия	Номер образца	Сопротивление изоляции, мом					
		при 26° С и относительной влажности 95%		при 71° С и относительной влажности 95%		24 час после испытания на влажность	
		24 час	168 час	27 час	171 час	комнатная температура	125° С
Эпоксид/полиамид	1	90	110	0,5	0,5	3 500	0,5
Модифицированный эпоксид	2	0,5	0,5	0,5	0,5	800	0,5
Эпоксид	3	70 000	30 000	25	25	300 000	50
Эпоксид/полиамид	4	100	80	0,5	0,5	8 000	1,0
Полиуретан	5	50 000	5 000	120	50	400 000	1400
Эпоксид	6	50	25	0,5	0,5	300	1,0
Полиуретан	7	130 000	100 000	400	380	500 000	1200
Силикон	8	15	6 000	22	600	500 000	5000
Эпоксид/полиуретан	9	200 000	75 000	500	550	700 000	1800
Контрольный (без покрытия)	XX	5	0,5	1,5	0,5	400 000	4000

**Сопротивления изоляции печатных плат с двумя разными
полиуретановыми покрытиями* после 20 циклов
испытаний на влажность**

Номер образца	Сопротивление изоляции, ом	
	платы, покрытые мате- риалом Р.У.П-2	платы, покрытые мате- риалом АВО 130-007
1А	$2,0 \cdot 10^{11}$	$3,0 \cdot 10^{11}$
В	$2,0 \cdot 10^{11}$	$1,7 \cdot 10^{11}$
С	$2,0 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{11}$
2А	$2,5 \cdot 10^{11}$	$2,0 \cdot 10^{11}$
В	$3,0 \cdot 10^{11}$	$2,0 \cdot 10^{11}$
С	$3,0 \cdot 10^{11}$	$5,0 \cdot 10^{11}$
3А	$2,0 \cdot 10^{11}$	$3,0 \cdot 10^{11}$
В	$2,0 \cdot 10^{11}$	$3,0 \cdot 10^{11}$
С	$2,0 \cdot 10^{11}$	$3,0 \cdot 10^{11}$
4А	$3,0 \cdot 10^{11}$	$3,0 \cdot 10^{11}$
В	$3,0 \cdot 10^{11}$	$3,0 \cdot 10^{11}$
С	$3,0 \cdot 10^{11}$	$2,0 \cdot 10^{11}$
5А	$1,0 \cdot 10^{12}$	$5,0 \cdot 10^{11}$
В	$1,0 \cdot 10^{12}$	$1,0 \cdot 10^{11}$
С	$3,0 \cdot 10^{11}$	$1,0 \cdot 10^{11}$
Среднее	$3,5 \cdot 10^{11}$	$2,7 \cdot 10^{11}$

* Платы и типы покрытия такие же, как и в табл. 10.20.

Табл. 10.20 и 10.21 показывают электрическое сопротивление полиуретанового покрытия, когда на него соответственно воздействовали солевым распылением и влажностью. При этом наблю-

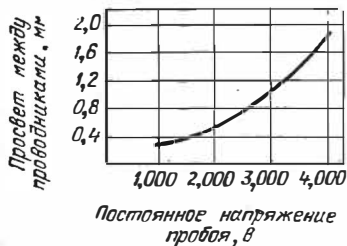


Рис. 10.9. Зависимость величины постоянного напряжения пробоя от величины просвета между проводниками (26°C, 50% относительной влажности, материал подложки марки GE, двухунциевая медь).

дается, что сопротивление изоляции одного из покрытий значительно ниже после действия агрессивной среды, чем после воздействия влажности, хотя другое покрытие такой разницы не показывает.

Основная мысль состоит в том, что все условия при испытаниях на влажность окружающей среды следует рассматривать при определении наилучших условий.

Кроме улучшения сопротивления изоляции покрытия также обеспечивают для печатных плат повышение пробивного напряжения.

Пробивное напряжение непокрытого эпоксидного стеклотекстолита марки G-10 для разных расстояний между проводниками показано на рис. 10.9.

ТРЕБОВАНИЯ К ПОКРЫТИЯМ ПЛАТ ОБЪЕКТОВ

Кое-что необходимо сказать о требованиях к покрытиям для печатных плат, которые применяются в космической среде. Кроме требований к качеству электрической изоляции и защите от влажности, материалы, применяемые внутри кабин космического корабля, подвергаются воздействию других условий, таких, как 100%-ный кислород, высокие температуры и перемежающийся вакуум.

Технические условия требуют дегазации до уровня менее 1% при давлении 10^{-6} мм рт. ст. Общее количество летучих органических веществ должно быть менее 100 весовых частей на миллион частей веса образца и общее количество СО менее 22 частей на миллион после воздействия кислородом при 250 мм рт. ст. до 3 дней при 93° С. Другие технические требования включают испытания на запах и токсичность.

ОЧИСТКА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ПЕРЕД ПОКРЫТИЕМ

Часто говорилось (и пожалуй это оправдано), что чистка платы до покрытия также необходима, как само покрытие.

Многие загрязнения сильно уменьшают сопротивление изоляции, особенно при высокой влажности окружающей среды. При очистке возникает много трудностей, в связи с чем имеются разные точки зрения по поводу методов очистки. При обычных методах применяют такие растворители, как фреон, метиловый спирт, разные хлорированные растворители или разные водные растворы. Используется также пемза и вода. Первостепенная проблема состоит в том, что растворители, которые лучше всего удаляют жиры и масла, зачастую одновременно снимают маркировочные обозначения на компонентах, а также могут влиять на свойства последних. Применяемая система очистки должна, конечно, быть совместимой с очищаемыми материалами. Следовательно, нет единого рецепта относительно оптимальных очищающих материалов и методов очистки.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. А. Н а г р е г, Electronic Packaging with Remins McGraw-Hill Book Company. New York, 1961.
2. С. А. Н а г р е г, «Plastics for Electronics», Kiver Publications, Inc., Chicago, Ill., 1964.

3. Shell Chemical Corporation, «Epon 828», Technical Data Bulletin, 1959.
4. Allied Chemical and Dye Corporation, National Aniline Division, «Anhydride Hardeners for Epoxy Resins», Technical Data Bulletin.
5. Union Carbide Chemicals Company, «Novolac Epoxies», Technical Data Bulletin, and private communications with C.F. Pitt.
6. Union Carbide Chemicals Company, «Cycloaliphatic Diepoxides», Technical Data Bulletin, and private communications with C. T. Patrick, Jr.
7. Thiokol Chemical Corporation, «Thiokols», Technical Product Bulletin, 1959.
8. Chemical Division, General Mills, Inc., «Versamids», Technical Product Bulletin, 1960.
9. Harchem Division, Wallace & Tiernan, Inc., «Harcures», Technical Product Bulletin, 1963.
10. E. I. du Pont de Nemours & Co., Inc., «Adiprene L», Technical Product Bulletin, 1960.
11. R. G. Black, J. J. Seiwert and J. B. Boylan, PAPA Offers Many Advantages as a Converter for Epoxies, *Plastics Technol.*, March, 1964, Linear Polyazelaic Polyanhydride as a Converter for Epoxy Resin Systems, Proc. SPE 20th Ann., Tech. Conf., Atlantic City, N.J., January, 1964.
12. G. L. Moses, Glossary, Directory/Encyclopedia Issue, *Insulation*, June, 1964.
13. Dow Corning Company, «Electronic Materials», Technical Data Bulletin, August, 1963.
14. D. Christensen, Dielectric Gel — A New Silicone Potting Compound, Proc. 2d Natl. Conf. Elec. Insulation Washington, D.C., December, 1959.
15. L. Montesano, Room-Temperature-Curing Polyurethane Casting Compounds, *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Develop.*, vol. 3, p. 133—137, June, 1964.
16. Enjay Chemical Company, «Buton Resins», Technical Data Bulletin, 1961.
17. F. Fekete, New Family of Thermosetting Acrylic Resins, *Plastics Technol.*, March, 1963; F. Fekete, T. E. Doyle, F. G. Singleton and G. P. Werber, Electrical Properties of Thermosetting Acrylic Resins, Proc. 5th Natl. Conf. Elec. Insulation, Chicago, I, September, 1963. (Also see Ref. 23).
18. «Final Report-Contract Number DA-36-039 Sc-89136», U.S. Army Electronics Material Support Agency, Standardization Engineering Division, Ft. Monmouth, N.Y.; A. J. Beccasio, Conformal Coatings for Printed Circuit Assemblies, *Insulation*, 1963.
19. J. P. Farris and F. T. Mansur, Protective Coatings for Printed Assemblies, *Insulation*, May, 1962.
20. P. T. Etchason, Rapid Curing Polyurethane Circuit Board Coatings, *Autonetics M. P. Project Rept.*, PR-62-203, Apr. 5, 1962.
21. P. T. Etchason and J. J. Licari, High-reliability Polyurethane Insulation Coating for Circuit Board Protection, *Insulation*, June, 1962.
22. J. J. Licari, Autonetics Division, North American Aviation, Inc., private communications.

ПАЙКА

Пайка является основой сборки печатной схемы, так как сборка в принципе состоит в одновременной пайке всех установленных на плате компонентов. Этот раздел был составлен как практическое руководство для использования пайки при сборке электронных схем, и поэтому здесь глубоких знаний не требуется.

В тексте при упоминании о специфических процессах сделаны лишь ссылки к более основательным теоретическим исследованиям. Таким образом, читатель не будет обременен такими вопросами, как образование структуры припоев, металлургия припоев, общие принципы выбора и проектирования материала и специальные методы испытаний. Однако практические аспекты, имеющие непосредственное отношение к производству печатных схем, будут рассмотрены детально шаг за шагом для многих случаев.

В этом разделе содержится подробное описание производства печатных плат. Другие вспомогательные материалы служат для уточнения (детализации) этапов подготовки печатных плат к конечной стадии производства — пайке.

Из всех электронных сборок печатные платы наиболее связаны с пайкой, так как именно в этом случае пайка как метод сборки используется для получения максимума экономии, идентичности и надежности. И поэтому необходимо продолжать работы по совершенствованию процесса сборки печатных плат, бездефектной пайки и повышения надежности.

ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОЙ ПАЙКИ

Хазард Х. Манно,

*директор отделения проектирования и исследования припоев
фирмы «Альфа Металс, Инк», Джерси Сити, Нью-Джерси,
США*

ВВЕДЕНИЕ	471
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПАЙКЕ	472
1. Поверхность проводника	472
2. Поверхность печатной платы	472
НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ	473
3. Электролитическая медь	473
4. Золото	477
5. Ковар и свариваемые со стеклом металлы	479
6. Серебро	480
7. Иммерсия олова	480
8. Олово — свинец	481
9. Олово — пикель	482
СООТНОШЕНИЕ РАЗМЕРОВ ПРОВОДНИКА И ОТВЕР- СТИЯ	482
РАСПОЛОЖЕНИЕ ПЛОЩАДОК ДЛЯ ПАЙКИ	483
ФОРМА ПЛОЩАДКИ ОКОЛО ОТВЕРСТИЯ	484
СТАБИЛЬНОСТЬ РАЗМЕРОВ	484
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ	484
ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПАЙКИ И ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ	486
РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ	486

Чтобы исключить ненужное увеличение затрат и быть уверенным в качестве изготовления печатных плат, нужно с самого начала проектирования учитывать требования пайки. Они просты и однозначны и состоят в правильном выборе металлической проводящей поверхности для печатных плат и некоторых физических параметров, таких как соотношение размеров проводника и отверстий, направление площадки для пайки, распределение компонентов по плате.

Выбор основного материала будет рассмотрен ниже. Важность выбора при проектировании заключается в том, что различные металлические поверхности требуют различных флюсов для обеспечения надежного сцепления, что, в свою очередь, будет влиять на всю сборку, из-за того, например, что существует потенциальная опасность коррозии, если применяемый флюс не дает возможности осуществить соответствующую очистку. К тому же необходимо удовлетворять различным промышленным и государственным стандартным техническим условиям. Это часто определяет тип металлической поверхности, которая применяется в данном случае.

Для двухсторонних плат со сквозными отверстиями необходимо уделять внимание соотношению размеров проводник/отверстие, для того чтобы обеспечить капиллярное затекание припоя в эти отверстия. В противном случае это приведет к дополнительным ручным операциям при заполнении слишком больших отверстий тонкими проводниками; с другой стороны, слишком маленькие отверстия с толстыми проводниками неудобны при сборке и к тому же препятствуют свободному затеканию флюса и припоя в места пайки. Как будет видно из следующей главы, движение печатной платы по припою критично связано с геометрией площадок для пайки. Если не будет возможности точно определить направление движения, потребуются дополнительные операции для получения высокого качества. Другим параметром, определяющим качество пайки, является размещение элементов, которое влияет на время пайки и температуру припоя, стабильность качества соединения, расстояние между соседними проводниками и т. д.

Напомним, что каждая пайка объединяет две или несколько металлических поверхностей в одно металлургическое соединение. Ограничимся двумя металлическими частями, а именно выводом компонента и контактной площадкой печатной платы, хотя все изложенные ниже соображения применимы к другим комбинациям металлических проводников. Таким образом, под словом «вывод» будем понимать ту часть металлического проводника, которая присоединена к печатной плате (вывод компонента, проводники, «пяточки» и т. д.), а под словом «плата» — часть металлической поверхности на печатной плате, к которой присоединяется проводник.

1. Поверхность проводника

Обычно сборщик печатных плат мало обращает внимания на материал проводника, так как последний в основном задается производителем компонентов. Более того, так как компоненты являются массовой продукцией, то экономически невыгодно проводить индивидуальную обработку проводников. Поэтому единственным требованием является то, чтобы поверхность его легко поддавалась пайке. Поверхность, поддающаяся пайке, детально рассмотрена в гл. 14.

Выводы компонентов, полученных без сертификата, следует проверить на паяемость в соответствии с договором между потребителем и изготовителем компонентов.

2. Поверхность печатной платы

В печатной плате качество поверхности можно оценить заранее. Ввиду того что печатные платы являются устройством, конструируемым потребителем для разных целей, он обычно сам определяет тип и качество металлических проводников на печатных платах. При этом он учитывает следующее.

Как было показано в предыдущих главах, использование тех или иных методов производства плат имеет определенные преимущества и недостатки и конечную продукцию разного качества и стоимости. Так как пайка представляет собой процесс смачивания поверхности проводника, то

наиболее важным является его поверхностный слой. И хотя почти каждую поверхность можно подготовить к пайке (или с помощью предварительной химической обработки, или используя очень сильные флюсы), необходимо помнить, что обычно разработчик ограничен в выборе таких материалов.

В некоторых случаях стоимость данного метода пайки может повлиять на экономические соображения по выбору определенного производственного процесса. Для того чтобы помочь в выборе материала, здесь приведен список наиболее широко используемых поверхностей и покрытий в печатных платах. Поверхности рассмотрены с точки зрения легкости пайки, необходимого типа флюса, способа хранения и надежности (табл. 11.1).

НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

3. Электролитическая медь

Является наиболее распространенной поверхностью при большом объеме выпуска и низкой стоимости. В большинстве случаев металлизированный диэлектрик изготавливается с медным покрытием. Таким образом, медь является наиболее экономически выгодным исходным материалом, так как не требует дополнительной операции по покрытию. Электролитическая медь получает также все большее применение в дорогостоящих конструкциях высокой надежности, хотя при этом используются различные органические защитные и отделочные покрытия. Чистая медная поверхность является наиболее благоприятной для пайки. К тому же, если произошла потеря паяемости из-за неправильного хранения или нарушения технологического процесса, то восстановление способности к спаиванию осуществляется крайне просто и недорого.

После того как печатная плата, покрытая электролитической медью, прошла последнюю операцию изготовления, медь обычно очень хорошо паяется. Для того чтобы сохранить эту паяемость, достаточно покрыть плату слоем чистой канифоли для обеспечения высокого качества пайки при сборке. Особенно хорошо такие защитные слои сочетаются с пайкой канифольным флюсом. Канифольные защитные слои можно наносить с растворителями, удаляющими воду

Паяемость основных металлов печатных плат

Металл платы	Наиболее мягкий из рекомендованных флюсов		Защитные покрытия против старения	Восстановление паяемости	Загрязненные припой		Общий эффект
	свежеприготовленный	после хранения			опасный уровень	влияние на соединение	
Медь (без покрытия)	Канифоль	Активированная канифоль	Рекомендуется	Химическая обработка	0,3—0,8	Зернистость; повышение температуры плавления	Экономия и наилучшие результаты
Золото (по меди и т. д.)	То же	То же	Нет	Удалить покрытие	0,03—0,2	Тусклое и зернистое	Избегать, если возможно
Ковар	Не имеется	Органическая кислота	Нет	Химическая обработка	Нет	Неизвестно	Соединяется со стеклом свариванием. Выводы.
Серебро	Канифоль	Активированная канифоль	Обычно нет	То же	0,2—1,0	Зернистость; повышение температуры плавления	Не тускнеет от серы

Припой (химическое лужение)	То же	Термоспособность к спаиваемости	Да	Удалить покрытие	Неизвестен	Неизвестно	Не рекомендуется хранить
Припой (гальваническое лужение)	То же	Активированная канифоль	Обычно нет	Удалить покрытие	Неизвестен	Неизвестно	Отличная сохранность при хранении
Оловянисто-свинцовое покрытие (погружением или горячим лужением)	Канифоль	Активированная канифоль	Обычно нет	Удалить покрытие	Неизвестен	Неизвестно	Наилучшая сохранность при хранении
Олово — никель	Активированная канифоль	Органическая кислота	Да	Химическая обработка	Нет	Неизвестно	Твердое — пригодно для контактных поверхностей

с поверхности платы, исключая проведение отдельной операции. Растворы канифоли быстро испаряются, и через несколько минут сушки плата покрывается канифольной пленкой, не требующей дополнительной обработки.

Использование защитных покрытий особенно рекомендуется для тех сборок, которые требуют относительно неактивных флюсов. В тех случаях, когда используются активные флюсы, значение защитных покрытий не так велико.

Необходимо сказать об осторожности в применении водяных лаков в качестве защитных покрытий, так как они имеют тенденцию изменять свои свойства при старении до такой степени, что становится несовместным с канифольными флюсами. К тому же их трудно удалить растворами, применяющимися в производстве печатных плат. Обработка растворителями ограничена тем, что она может вызвать расслоение платы, влиять на пластмассовые детали компонентов или смывать маркировку.

Таким образом, водяные лаки часто образуют трудноудаляемый слой между припоем и медью и отрицательно влияют на качество.

Если паяемость меди ухудшилась до такой степени, что она создает трудности в производстве, то можно применить химические реагенты для восстановления этой способности в сравнительно короткий срок. Следует напомнить, что эти химические реагенты должны воздействовать только на продукты коррозии меди в местах пайки, ибо в противном случае существует опасность уменьшения поперечного сечения проводников. Для меди можно воспользоваться любым из имеющихся на рынке основных флюсов.

При соответствующей подготовке в качестве защитных покрытий можно использовать даже бесцветную канифоль или слегка активированные канифольные флюсы. Полностью активированные флюсы, так же как и флюсы на основе органических кислот, не требуют предварительной обработки, если только приняты меры предосторожности, предохраняющие поверхность платы от загрязнения посторонними веществами, например маслом. Соображения по выбору флюсов описаны в гл. 12.

Некоторым недостатком использования меди в печатных платах является загрязнение ванны с припоем при пайке погружением или волной. В результате соприкосновения меди с расплавленным припоем часть основного металла с поверхности попадает в ванну с припоем. Чрезмерное на-

копление меди в ванне с припоем может вызвать трудности при пайке, а иногда и потребовать полной замены припоя. Однако на практике установлено, что большинство изготовителей печатных плат не меняют припой в своих аппаратах в течение ряда лет. Постоянная смена загрязненного припоя повышенной частоты дает постоянный низкий уровень загрязняемости, свойственный каждой хорошо налаженной поточной линии. Однако бывают такие непредусмотренные явления, как стекание припоя обратно в ванну, случайное падение печатной платы или других компонентов в ванну с припоем (когда их не сразу вынимают), а также использование низкокачественных припоев для восполнения ванны, которые могут вызвать загрязнение припоя до такой степени, что уже невозможно получить высококачественную продукцию. В этом случае замена припоя нужна.

Следует также предупредить тех, кто хочет паковать непокрытую медь в тару из материала, содержащего серу. Паяемость меди сильно ухудшается в присутствии серы как в атмосфере, так и в таких упаковочных материалах, как газетная, оберточная бумага или картон. По этой причине рекомендуется хранить печатные платы с медной подложкой без защитного покрытия в коробках из пластмассы или картона, не содержащего серу.

4. Золото

Золото — благородный металл, имеющий много незаменимых достоинств. Однако по разным причинам золото при использовании его в качестве поверхности для пайки имеет много недостатков.

Из-за высокой стоимости и химической инертности золота на практике даже в тонких слоях используют его в покрытиях крайне малой толщины. Обычно толщина слоя не превышает 25 мкм, что с трудом поддается контролю и измерению. К тому же довольно трудно установить качество тонкого покрытия, его пористость, наличие раковин, плотность, равномерность слоя. По этим причинам качество печатных плат с золотым покрытием даже в лучшем случае остается сомнительным. Пока не установлен хороший контроль за процессом гальванического покрытия и не произведен тщательный анализ качества анодирования, покрытие может получиться неравномерным, а следовательно, может ухудшиться надежность.

В основе пайки лежит смачивание, поэтому для пайки самым важным является состояние поверхности, на которой происходит пайка. Может показаться, что поверхность золота легко смачивается и поэтому при пайке получается хороший контакт. На самом же деле золото легко и быстро растворяется в оловянисто-свинцовых припоях и может целиком сойти с основного металла. В результате процесс смачивания будет уже происходить на той поверхности, на которую было нанесено золото. Когда золотое покрытие



Рис. 11.1. 15% (весовых) золота в эвтектике олово — свинец, увеличение $200\times$ (травление в хлорном железе).

равномерно и плотно, то окружающая среда не влияет на поверхность основы и, следовательно, соединение качественно. Если же золотое покрытие имеет губчатую структуру и неоднородно по толщине, то через такое покрытие возможна диффузия окружающих газов. Нередко можно наблюдать, что металл под слоем золота окисляется. И если в этом случае золотое покрытие частично растворено, то смачивания не получается, так как флюсы, которые воздействовали на поверхность золотого слоя, не имеют возможности за ограниченное

время проведения процесса проникнуть через пористое золото и очистить вторую поверхность от окислов. Следствием этого является трудно исправимая несмачиваемость, так как в этом случае необходимо снимать золотой слой с основного металла, а затем, чтобы получить хорошее смачивание, очистить поверхность химическим путем.

Другая проблема, которая возникает из-за быстрого растворения золота в припое, — образование интерметаллических соединений (рис. 11.1). При этом золото придает оловянисто-свинцовым соединениям хрупкость. Такое повышение хрупкости, как показывают лабораторные исследования, вызывает трудно предсказываемое уменьшение прочности пайки в том случае, когда содержание золота в припое достигнет 20%. Однако очень сомнительно, что диффузия золота из тонкого покрытия, даже в течение про-

должительного времени, может повысить содержание золота во всем объеме припоя в месте шва до такого большого значения. Пайка обычно выполняется в течение нескольких секунд, и этого времени недостаточно для существенной диффузии золота в припой. В результате областью высокой концентрации интерметаллических соединений становится поверхность раздела между золотом и припоем и содержание золота в этой зоне может легко достичь критической величины, сильно понижая прочность соединения.

Другая проблема, которая возникает при соединении с золотом,— это появление матовой поверхности в результате растворения золота в припое. Это всегда было проблемой, так как по внешнему виду такой шов похож на холодную пайку, подлежащую браковке. В особо важных случаях, как например, при пайке по инструкциям NASA, необходимо золото перед пайкой удалять.

Необходимость использования золота для покрытия поверхности ламелей печатного разъема, который является неотъемлемой частью печатной схемы, не является серьезным основанием для покрытия всей платы золотом.

В большинстве серьезных исследований по определению стоимости частичного покрытия поверхностей плат золотом по сравнению с полным покрытием сформулированы определенные экономические преимущества для случаев, когда часть платы не покрывается золотом, что позволяет получить надежные паяные соединения.

Загрязнение жидкого припоя золотом может серьезно осложнить процесс пайки.

5. Ковар и свариваемые со стеклом металлы

В последние годы было сделано несколько попыток использовать в печатных платах материал, который был бы одинаково удобен для пайки и для сварки. Его можно было бы использовать в сборках, в которых для соединения используются оба метода попеременно или одновременно. Неудачной может оказаться попытка пайки по сварному шву, так как вокруг места сварки поверхность всегда неровная и окисленная. За короткое время процесса пайки флюсы не смогут активно очистить зону значительного окисления. Для таких поверхностей, когда они чисты, используются флюсы группы органических или неоргани-

ческих кислот, хотя возможно использование флюсов из активированной канифоли, если в технологический процесс входит предварительное травление.

Большинство свариваемых материалов, кроме покрытых золотом или оловянисто-свинцовым покрытием, не растворяются в сплавных припоях и поэтому не вызывают загрязнения ванны.

6. Серебро

Серебро является еще одним благородным металлом, который нашел широкое применение в качестве материала для контактов и для других целей. Однако из-за склонности серебра к миграции, о чем очень много писалось еще на заре развития промышленности печатных плат [3], оно применяется в качестве покрытия значительно реже, чем это могло бы быть.

При использовании защитных покрытий серебро применять можно, так как эти покрытия обеспечивают защиту от проникновения влаги, одного из неизменных условий миграции.

Загрязнение серебром ванны с припоем не так страшно, как загрязнение другими элементами; присутствие серебра в количестве до 2,5% не влияет на свойства припоя. Припой, содержащий около 2% серебра, иногда даже специально применяются при пайке печатных плат. Раньше добавление серебра в припой было попыткой некоторых изготовителей улучшить качество пайки на печатных платах. Ныне при углублении познаний сущности процессов пайки печатных плат такое использование этого дорогого металла признано нецелесообразным.

Сохранность серебряных поверхностей при длительном хранении зависит целиком от окружающей среды. Как и на медь, на серебро отрицательно влияет сера. Материалы упаковки так же, как и среда, в которой они хранятся, не должны содержать серы. Окисление и влажность сами по себе не снижают паяемости поверхностей, покрытых серебром.

7. Иммерсия олова

Является разновидностью химического осаждения олова на медь. В случае, если плата используется сразу, поверхность паяется хорошо. Однако она быстро теряет паяемость,

и даже наличие защитных покрытий не всегда дает возможность долго ее сохранять. Поэтому этот метод использовать не рекомендуется. Непокрытая медь гораздо лучше.

8. Олово — свинец

Покрытие оловянисто-свинцовой пленкой может быть произведено или электрохимическим методом, или погружением в расплав. Основное различие между этими двумя методами заключается в качестве ожидаемой надежности. Лучшим является погружение в расплавленное олово. Если поверхность правильно обработана в расплаве, то она имеет хорошую паяемость в течение длительного хранения. Однако, если покрытие расплавленным припоем имеет очень малую толщину, из-за его стекания очень трудно отличить хорошо смоченную поверхность от несмоченной (когда расплав удаляется, остается только тонкий слой, который не может скатиться).

При нанесении припоя электрохимическим методом возникают свои проблемы. Припой может быть нанесен на не совсем чистую поверхность и при нагревании может не смачивать ее. Применение горячей обработки после электрохимического осаждения дает возможность определить степень надежности гальванического покрытия поверхности оловянисто-свинцовой пленкой, так как сразу становятся видны участки, на которых осаждение происходило по загрязненной поверхности. Более дешевым и простым контролем за гальваническим осаждением является постоянный контроль качества в виде проверки на паяемость перед осаждением.

Оловянисто-свинцовые покрытия, так же как и медь, могут использоваться со всеми применяемыми флюсами. Защитные покрытия на оловянисто-свинцовую пленку не нужны, так как припой долго сохраняет паяемость. В добавление к тому, что такое покрытие является хорошим защитным слоем против травления, оловянисто-свинцовое покрытие имеет еще одно большое преимущество — оно не загрязняет ванну с припоем посторонними веществами. Хотя это и не самое дешевое покрытие, но оно может быть рекомендовано для получения высокой надежности и однородности характеристик пайки.

Анодирование олово-никелевой пленкой является старым методом, который лишь недавно нашел применение в печатных платах. Его преимущество перед другими покрытиями его экономичность. Другим преимуществом этого метода является твердость поверхности покрытия, которая пригодна для ламелей печатного разъема взамен золота. Блестящая поверхность покрытия приятно смотрится и имеет высокую химическую стойкость.

Проблемой при нанесении оловянисто-никелевой пленки является обработка флюсом, так как даже при правильном нанесении пленки ни один из активированных канифольевых флюсов не будет эффективным после старения. Поэтому требуются другие органические или неорганические флюсы, тогда изменения качества при старении не будет. Растворение никеля не дает какого-либо нежелательного загрязнения ванны с припоем, таким образом, и с этой стороны нет противопоказаний для применения этого метода.

СООТНОШЕНИЕ РАЗМЕРОВ ПРОВОДНИКА И ОТВЕРСТИЯ

Соотношение размеров проводника и отверстия является фактически компромиссом между различными требованиями при проектировании плат, если не принимать во внимание его влияния на соединение пайкой. С точки зрения монтажа чем больше отверстие и тоньше провод, тем легче вставлять выводы как вручную, так и автоматически. К тому же качество выводов элементов обычно не контролируется потребителем. Разработчик предпочитает использовать одинаковые отверстия, в результате чего обычно бывает трудно обеспечить получение оптимальных паек.

Когда необходимо, чтобы припой и флюс затекли в металл через отверстие (вытравленное, сделанное механическим или другим способом), соотношение размеров проводника и отверстия становится критичным, особенно в платах с двусторонним покрытием. Обычно зазор менее 0,025 мм создает препятствие на пути флюса или газа, который заполняет пустоты, что ухудшает качество пайки.

С другой стороны, если диаметр проводника мал, а отверстие велико, то нельзя использовать капиллярность получаемых зазоров. В этом случае качество пайки также будет невысоким.

Эмпирическое правило для выбора соотношения размера проводника и отверстия следующее: если считать, что провод расположен точно в центре отверстия, то зазор должен быть не менее 0,05 мм на каждую сторону. Если это трудно выполнить, то не следует забывать, что идеальная пайка по всему периметру отверстия требуется редко. Легко подсчитать плотность тока через пайку, как это показано в разд. «Расчет электрического контакта». Эти расчеты дадут возможность определить необходимую степень заполнения отверстия припоем. В тех случаях, когда невозможно сделать идеальную пайку по некоторым другим соображениям и нельзя выдержать соотношение размеров проводника и отверстия, необходимо загибать выводы, чтобы удовлетворить требованиям идеальной пайки в соединении по прочности и плотности тока.

РАСПОЛОЖЕНИЕ ПЛОЩАДОК ДЛЯ ПАЙКИ

В печатных схемах с высокой плотностью монтажа существует тенденция уменьшения расстояния между проводниками настолько это позволяют сделать электрические характеристики. Однако это увеличивает опасность образования «перемычек» припоя между соседними проводниками (короткое замыкание между соседними проводниками из-за наплывов припоя). Для того чтобы избежать этого, разработчик должен обеспечить, чтобы все линии, расположенные близко друг к другу, были параллельны движению припоя по плате. Это окажет дополнительное стирающее воздействие, которое уменьшит опасность возникновения «перемычек». Иногда направление перемещения платы по припою приходится выбирать исходя из ее габаритов. Площадки для электрических контактов, покрытые драгоценными металлами и располагающиеся под углом к контактному краю платы, действуют как ковши, из-за них припой поднимается по печатной плате туда, где он нежелателен. Однако в общем случае достаточно при параллельном плотном расположении монтажа обеспечить одно направление движения платы. Следует помнить, что обычное оборудование для пайки имеет ограничение по ширине, и поэтому рекомендуется выбирать, когда возможно, направление движения вдоль длинной стороны платы. Применение покрытий типа остановителей пайки (гл. 12) может решить эту проблему.

Так как форма и размер проводников определяются требованиями к допустимой плотности тока и расстояниями между проводниками на плате, то форма площадки (к которой припаивается компонент) в основном зависит от решения разработчика.

В табл. 11.2 указаны некоторые конфигурации площадок с одним отверстием, которые иногда используются в комбинациях — несколько отверстий в одной и той же площадке. Когда выбрана основная форма площадки, то важны направление выводов элементов и внешний вид платы после пайки.

СТАБИЛЬНОСТЬ РАЗМЕРОВ






Стабильность размеров платы во время пайки является важным параметром. Большинство изготовителей заготовок дают коэффициенты температурного расширения только в направлении x и y ; а тем временем расширение в направлении z в три-четыре раза больше из-за эффекта расслоения.

Есть сведения, что некоторые материалы при пайке погружением (температура повышается до 210°C) расширяются на $0,025$ мм. В платах с односторонним покрытием и со сквозными отверстиями расширение должно быть скомпенсировано применением вязкого покрытия (гальванического) медью (как например фтороборатное медное покрытие) или предварительно напряженных пистонов, вставляемых в отверстия.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ

После того как схема соединений полностью спроектирована, рекомендуется определить теплоемкость сборки и ее влияние на каждое соединение. Это важно сделать потому, что, с одной стороны, площадка около точки пайки должна быть нагрета до температуры плавления, и поэтому необходимо, чтобы в этих точках не было эффективных теплоотводов. С другой стороны, чрезмерный перегрев может повредить компоненты. В связи с этим рекомендуется распределять элементы таким образом, чтобы теплоемкость всех одновременно паяемых соединений была примерно одинакова.

Конфигурация контактных площадок

Тип площадки	Предпочтительное направление для вывода элемента	Форма получающейся пайки	Примечание
 Каплеобразная овальная	Вдоль большой оси симметрии	Равномерная и почти круглая	Хорошая разработка, увеличенная контактная поверхность
 Круглая	Любое	Равномерная и круглая	Одинаковая форма всех паек
 D-образная	В направлении к вершине	Неравномерная	Нет широкого применения
 Прямоугольная	Вдоль стороны	То же	То же
 Клиновидная	В направлении расширения	» »	Применяется, если пространство очень ограничено

В гл. 12 подробно рассмотрены различные химические вещества, которые могут быть использованы в производстве печатных плат для облегчения пайки, а следовательно, и всей сборки. К ним относятся: флюсы, припой, защитные покрытия, остановители пайки, травители для улучшения качества пайки и отверстий и др. Какое бы покрытие ни применялось, разработчик должен быть уверен, что оно наносится на чистую поверхность, свойства покрытия учитываются в окончательном монтаже, а экономические расчеты оправдывают эту меру.

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Так как через паяное соединение проходит электрический ток от вывода к проводнику на плате, то на стадии проектирования необходимо рассчитать соответствующую электропроводность паяного соединения. Это является простой задачей, если известны все исходные данные. Однако довольно часто и разработчики и инженеры по изготовлению схем делают в чертежах указание — «паять», не указывая размеров, необходимых для расчета токонесущей способности, получаемого соединения.

Для того чтобы свести потери энергии к минимуму и избежать излишнего перегрева схемы, необходимо вычислить токонесущую способность используемых проводников.

В табл. 11.3 приведены расчетные величины для токонесущей способности медных проводов в зависимости от диаметра провода и его температуры. Если известен протекающий ток, то нужный провод выбирается по таблице.

Таким образом можно подсчитать необходимый размер выводов компонентов в соответствии с величиной тока, проходящего через эти выводы. В печатных схемах токи обычно малы и необходимый диаметр провода получается настолько небольшим, что могут возникнуть трудности в производстве и использовании элементов. Следовательно, размер выводов компонентов на самом деле не определяется током, который протекает через них, и по току имеется очень большой запас, составляющий несколько сот процентов. Подобное положение справедливо и для печатных проводников. Хотя выбор толщины (0,35—0,7 мм)

Токонесущая способность провода из отожженной меди, окружающая температура 20° С

Диаметр сплошной жилы, мм	Диаметр витой жилы, мм	Диаметр в изоля- ции, мм	Ток, а						Разрывное усиление, кг	
			50° С		70° С		100° С			
			сплошн.	витой	сплошн.	витой	сплошн.	витой	сплошн.	витой
4,1	5,3	7,5	75,7	79,4	98,1	102,8	122,9	128,7	380	360
3,2	4,2	5,8	55,8	58,6	72,5	76,1	90,9	95,4	220	230
2,5	3,0	4,2	40,9	41,7	53,1	54,3	66,8	68,2	140	144
2,0	2,5	3,7	30,7	31,1	39,8	40,4	50,0	50,7	90	90
1,6	2	3,3	23,2	23,5	30,1	30,5	37,8	38,3	56	56
1,3	1,5	2,9	17,6	17,7	22,9	22,9	28,6	28,7	36	36
1,0	1,2	2,6	13,6	13,3	17,5	17,2	21,9	21,5	22	22
0,8	1,0	1,4	9,8	10,1	12,6	13,1	15,8	16,4	14	14
0,65	0,8	1,2	7,5	7,8	9,7	10,0	12,2	12,6	8,5	8,5
0,5	0,6	1,1	5,9	6,1	7,6	7,8	9,5	9,8	5,9	5,9

меди обычно зависит от величины протекающего тока, толщина покрытия обычно постоянная во всей схеме и не отражает требования к токонесущей способности каждого отдельного проводника. В результате правильно спроектированная печатная плата будет иметь большой запас по токонесущей способности.

Используя эти два фактора как основу для расчетов токонесущей способности, можно заключить, что если токонесущая способность паяного соединения равна или превышает токонесущую способность выводов компонентов

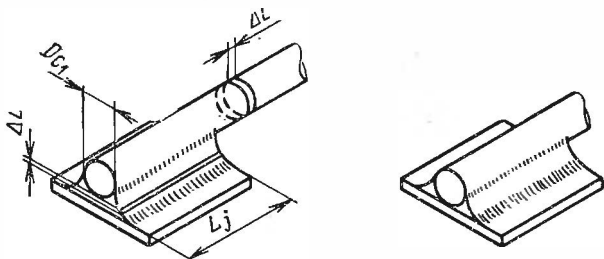


Рис. 11.2. Пайка круглой проволоки к плоской контактной площадке. Слева — весь ток проходит через сечение припоя. Справа — через припой лишь часть тока, остальной ток проходит в месте непосредственного контакта проволоки с площадкой.

и печатных проводников платы, то общие электрические характеристики всей схемы не ухудшаются.

Считая, что подводимые к точке пайки проводники обладают требуемой токонесущей способностью и не нагреваются выше допустимой температуры, рассмотрим и проанализируем электрические характеристики сопротивления паяного соединения. Изображения паяных соединений приведены на рис. 11.2.

Для анализа рассмотрим бесконечно тонкое поперечное сечение вывода, перпендикулярное к направлению протекания тока. Сопротивление вывода равно:

$$R_c = \rho_c (\Delta L / A_c). \quad (1)$$

То же справедливо для такого же сечения в припое:

$$R_s = \rho_s (\Delta L / A_s), \quad (2)$$

где R — сопротивление, ом ; ρ — удельное сопротивление, $\text{мкм} \cdot \text{ом} / \text{см}$; A — площадь сечения, перпендикулярного

направлению протекания тока, $см^2$; ΔL — бесконечно малая толщина слоя, перпендикулярного направлению протекания тока.

Можно определить эквивалентную площадь поперечного сечения припоя, необходимую для пропускания тока, протекающего через определенное поперечное сечение вывода. Как установлено ранее, сопротивление проводника должно быть равно сопротивлению припоя на той же длине.

Поэтому

$$R_s = R_c, \quad \rho_s (\Delta L / A_s) = \rho_c (\Delta L / A_s), \quad \rho_s / A = (\rho_c / A_c) (\rho_s / \rho_c) = A_s / A_c. \quad (3)$$

Отношение между удельным сопротивлением припоя и вывода является важным параметром, который используется

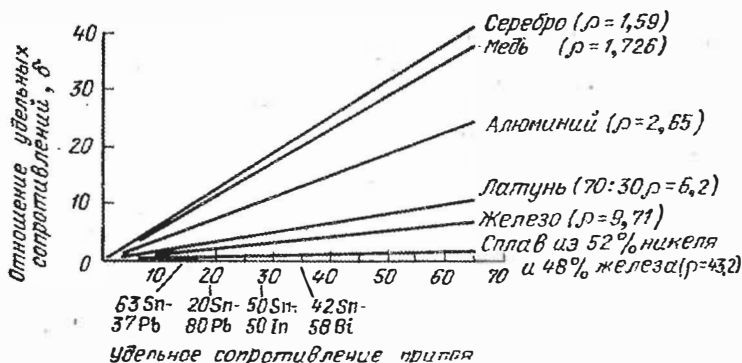


Рис. 11.3. Отношение удельных сопротивлений шести основных металлов в зависимости от удельного сопротивления припоя.

во многих вычислениях и называется *дельта-отношением* удельных сопротивлений:

$$\delta = \rho_s / \rho_c = A_s / A_c. \quad (4)$$

Значения этого параметра приведены на графике рис. 11.3. Затем, используя приведенную выше формулу, получаем:

$$\delta = \frac{A_s}{A} = \frac{L_j D_{c1}}{(\pi/4) D_{c1}^2}, \quad L_j = \frac{\pi}{4} \delta D_{c1}. \quad (5)$$

Таким образом, при соединении внахлестку круглого вывода с плоским печатным проводником длина пайки L_j равна геометрической постоянной $(\pi/4)$, умноженной на δ и на диаметр вывода.

Аналогично можно получить формулы для любой конфигурации паяного соединения. Если материалы выводов в одном соединении разные, то расчеты должны производиться исходя из вывода с большим удельным сопротивлением. Эти расчеты основаны на предположении, что весь ток проходит через паяное соединение. Но так бывает не всегда. В реальном соединении между металлическими проводниками может существовать электрический контакт не только в месте пайки. В большинстве случаев невозможно заранее определить площадь контактирования этих проводников и нельзя, основываясь на этом факте, спроектировать их надежное электрическое соединение. Паяное соединение проектируется для наихудшего случая, т. е. с расчетом, что проводники не касаются друг друга. В результате всегда получается запас по току на надежность.

Хотя для расчета по наихудшему случаю имеется много формул, которые дают определенный запас на надежность, до сих пор не было сделано попытки определить величину коэффициента запаса. Такая попытка будет сделана после полного рассмотрения вопроса.

Расчет коэффициента запаса электрического паяного соединения определяется по общей методике, применяемой в других областях. Невозможно установить точные правила, поскольку имеется слишком много переменных: паяемость основных металлов, флюс, припой, способ пайки, время, температурный режим и т. д. Только ясное понимание каждого конкретного случая применения помогает при оценке необходимого коэффициента запаса по надежности. Для простых печатных плат (припой оловянисто-свинцовый 60/40, плата медная) расчет очень прост. Хорошие результаты для односторонних плат дает эмпирическая формула

$$l = 9t.$$

Для двухсторонних плат с металлизированными отверстиями или пистонами

$$l = 5t,$$

где t — толщина печатного проводника; l — длина соединения пайкой.

Следует учесть, что формула расчета уже содержит соответствующий коэффициент запаса по надежности.

Механическая прочность соединения получается также удовлетворительной. Опыт и испытания показали, что пра-

вильно спаянные соединения на печатной плате обычно разрушаются при приложении нагрузки, большей предельной прочности на разрыв. Паяные соединения обычно не подвергаются ударной нагрузке, величиной которой больше той, которая может испортить компоненты или саму печатную плату. В большинстве случаев компоненты разрушаются при воздействии нормальной силы от 900 до до 1500 г, а если компоненты прочнее, то металлизированные отверстия вырываются из платы при нагрузке от 1,8 до 2,3 кг. Паяное соединение может выдержать гораздо большую нагрузку.

В случае, если необходима повышенная прочность паяного соединения, рекомендуется загибать концы проводника с другой стороны платы и таким образом получать дополнительное механическое упрочение соединения. В большинстве случаев, когда использовались тяжелые компоненты, например трансформаторы, физические испытания показали, что прежде чем начнет разрушаться паяный шов, разрушается материал платы. Если имеются сомнения на этот счет, необходимо просто провести механические испытания, приложив максимально возможную силу непосредственно к паяному соединению, и посмотреть, в каком месте начнется разрушение. Важно определить не уровень нагрузки, при которой произойдет разрушение, а соединение, которое первым выйдет из строя. Поэтому для таких испытаний не требуется специального оборудования. Для получения таких данных можно использовать простые плоскогубцы. Рекомендуется зажимать плату в тиски в направлении, параллельном направлению действия силы.

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПАЙКИ

Хауард Х. Манко,

*директор отделения проектирования и исследования припоев
фирмы «Альфа Металс, Инк.», Джерси Сити, Нью-Джерси,
США*

ВВЕДЕНИЕ	493
ФЛЮСЫ ДЛЯ ПАЙКИ	493
1. Беловодная канифоль	493
2. Активированная канифоль	494
3. Путь к прогрессу	495
4. Водорастворимые флюсы	497
5. Ограничения	499
ПРИПОИ	501
6. Выбор припоя	501
7. Припой для изготовления печатных схем	502
8. Классификация сортов припоя в зависимости от содержания примесей	504
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	511
9. Защитные покрытия	511
10. Остановители пайки (маски)	513
11. Защитные покрытия для паек	514
12. Травление для улучшения паяемости	514
ОЦЕНКА МАТЕРИАЛА	515

В этой главе будут рассмотрены материалы и химические вещества, применяемые при пайке печатных схем, вопросы правильного выбора флюса и припоя соответствующих операций очистки, а также различные виды защитных покрытий, сохраняющие паяемость, защитные покрытия для селективной пайки, травители, улучшающие паяемость, и окончательные покрытия, сохраняющие качество паяных соединений после очистки [1].

ФЛЮСЫ ДЛЯ ПАЙКИ

В табл. 1.11 были приведены данные по рекомендуемым флюсам для разных металлов. Электронные компоненты на первых печатных платах были громоздки и неудобны. Они часто выполнялись из гигроскопических материалов и не могли быть использованы в процессах, связанных с обработкой в растворах. Основным методом пайки при небольших партиях был ручной. Затраты на пайку по сравнению с общей стоимостью не были так велики, как в наши дни. Кроме того, к аппаратуре тех лет не предъявлялись такие жесткие требования, как в наши дни. В связи с этими обстоятельствами в то время проводились изыскания такого флюса для пайки, остатки которого после пайки не создавали бы гигроскопичности и коррозии и не обладали электропроводностью. Эти требования удовлетворялись при использовании флюсов типа беловодной канифоли.

1. Беловодная канифоль

С химической точки зрения канифоль является смесью нескольких компонентов. Основную часть составляет сосновая смола, специфическое строение которой зависит от источника сырья. В общем случае канифоль является смесью нескольких дитерпеновых кислот, основными из которых являются: силвиновая кислота (известная так же как абиетиновая кислота); *d* — пимериновая кислота; *l* — пермериновая кислота.

Обычно в канифоли содержится от 80 до 90% абиеино-вой кислоты; от 10 до 15% пермериновых кислот. Коммерческое название «беловодная канифоль» относится к сорту материала, определяемого колориметрическим методом в соответствии с ASTM D509—55.

Со временем этот флюс стал предметом больших споров. Хотя он обладает рядом неоспоримых качеств, этот флюс не удовлетворяет всем требованиям эффективного флюсования. Абиеиновая кислота, содержащаяся в канифоли, способна уменьшать небольшие матовые пятна на металлических поверхностях из-за образования соединений, которые сами по себе не являются проводниками, негигроскопичны и не поддаются коррозии. Это происходит в определенном интервале температур. За пределами этого интервала температур материал быстро становится неактивным. Стало ясно, что пока не будет очень хорошего контроля за процессом пайки и за состоянием получаемой поверхности, применение беловодной канифоли может привести к возникновению серьезных трудностей при пайке.

Некоторые изготовители электронной аппаратуры выбирают именно такой путь и получают эффективную и надежную пайку, жестко контролируя качества. Это оправдано, если выпускаемая аппаратура предназначена для работы в любых окружающих условиях и отказы из-за плохого качества флюсования недопустимы.

2. Активированная канифоль

Для улучшения способности канифольных флюсов очищать поверхность в них можно ввести ряд органических и неорганических веществ. Эти вещества называют «активаторами», а флюс после их добавки активированной канифолью. В активированной канифоли активатор служит для очистки поверхности, а канифоль выполняет все остальные функции флюсования, т. е. активирование поверхности, обеспечение температурной стабильности и т. д. Очевидно, что природа активатора и его содержание во флюсе определяют коррозионное воздействие флюса на металл. Флюсы подразделяют на слабо активированные (соответствуют типу А по MIL-F-14256) и полностью активированные.

Наилучшие рецепты флюсов составлены так, что большая часть активатора при температуре пайки разлагается или

испаряется. Это условие очень хорошо выполняется в трубчатых припоях с сердцевинной, выполненной из флюса, когда можно быть полностью уверенным, что весь флюс в процессе пайки будет нагрет до температуры пайки. Из-за того что флюс выплавляется из сердцевинки раньше, чем начинает плавиться окружающий его припой, остатки флюса в области пайки получают не опаснее самой беловодной канифоли. При применении жидких флюсов нет полной уверенности в том, что весь активатор в жидком флюсе нагрелся до температуры пайки. Поэтому из-за того что активатор, содержащийся во флюсе, является потенциальным источником коррозии и возникновения токов утечки, остаток активатора и использованный флюс необходимо удалить. Полное удаление флюса из активированной канифоли может быть выполнено обработкой паяного соединения в нескольких технологических растворах. Поэтому данный флюс раньше всего нашел применение в печатных схемах с герметизированными компонентами. Более широкое внедрение активированной канифоли происходило вместе с совершенствованием компонентов.

В то же время автоматические методы пайки для массового производства электронной аппаратуры развились до такой степени, что наиболее важными аспектами стали скорость пайки и надежности. В этом отношении активированные флюсы имеют определенные преимущества перед беловодной канифолью», благодаря чему и получают все большее и большее распространение в промышленности. Было разработано много методов очистки поверхности, включая использование ультразвука, обработку в парах растворителя и т. д. После этих операций большая часть флюса удаляется с поверхности и она остается достаточно чистой. При использовании для удаления флюса относительно дорогих органических растворителей применяют различные способы восстановления растворителя, понижающие общую стоимость процесса.

3. Путь к прогрессу

Известны две тенденции в использовании активированных канифольных флюсов. Изготовители относительно недорогой аппаратуры, такой как бытовые приборы, телевизоры и радиоприемники, стали использовать активированные

флюсы без последующего удаления. Было обнаружено, что некоторые флюсы можно оставлять на поверхности плат без каких-либо вредных последствий, например в телевизорах, габаритные размеры которых обусловлены размерами кинескопа, остается много места для печатных плат со свободным расположением проводников. Здесь платы могут нормально функционировать, даже если на поверхности платы будут остатки флюса из активированной канифоли. Изготовители такой аппаратуры, как вычислительные машины и военные приборы, основными требованиями к которым являются надежность и компактность, стали использовать активированные флюсы с последующей тщательной очисткой. Было обнаружено, что с помощью растворителей на базе органических хлоросодержащих соединений, которые широко применялись из-за их безопасности, невозможно удалить все ионизированные продукты, получающиеся при попадании различных загрязнений, одним из которых является флюс (табл. 12.1).

Таблица 12.1

**Источники ионизированных материалов
и продуктов коррозии**

Тип	Примеры
Технологические растворы Запотевание	Гальваническая обработка, травление, флюсование и т. д. Во время ручных операций, сборки и осмотра
Осадка из окружающей среды	Промышленные осадки, дым и т. д.
Технологическое оборудование Упаковочные материалы	Смазочные масла, охлаждающие эмульсии и т. д. Сера в бумаге, грязные и использованные коробки и т. д.

Такие источники загрязнений, как запотевание, осадки из окружающей среды, технологическое оборудование, упаковочные материалы, могут послужить основными причинами коррозии и низкого качества паяных соединений.

Термин «коррозия» принят в радиоэлектронной промышленности не только для обозначения физического влияния на металлические проводники, но также для того, чтобы указать на наличие на их поверхности ионизированных

веществ, которые под влиянием влаги приведут к возникновению токов утечки между соседними проводниками.

В связи с продолжающимся уменьшением размеров приборов и все возрастающей сложностью аппаратуры, а также увеличением числа компонентов, присутствие этих ионизированных веществ на поверхности платы становилось все более и более нежелательным. В наиболее важных отраслях электронной промышленности специалисты были вынуждены искать оперативное решение. В качестве временной меры было решено при использовании растворов для удаления остатков активированных флюсов производить вторичную очистку. Эта вторичная очистка проводилась в водных растворах и служила для удаления всех ионизированных веществ, возникающих по разным причинам (табл. 12.1), и веществ, которые оставались после удаления канифоли в виде неиспользованных остатков активатора.

Более поздние разработки в этой области дали возможность исключить эту вторичную очистку. Были получены неогнеопасные растворы, содержащие как полярные, так и неполярные компоненты для удаления как канифоли (неполярные), так и активаторов (полярные) с платы после пайки. Эти растворы могут использоваться при производстве любой аппаратуры, и их можно регенерировать.

4. Водорастворимые флюсы

Исследования на этом не закончились. С появлением нового направления в борьбе за чистоту платы, состоящего в стремлении найти метод получения надежной пайки в сочетании с быстрым удалением осадков, начались поиски водорастворимых флюсов. Было предложено много различных веществ, дающих различные результаты.

Основным препятствием на пути этих новых материалов была известная консервативность промышленников. Отрасль производства печатных плат уже несколько лет успешно использовала канифольные флюсы и поэтому оказывала большое сопротивление радикальному изменению этого метода. Сами по себе водорастворимые флюсы имели много недостатков. Основным недостатком было разбрызгивание припоя из-за того, что в месте пайки при нагреве до температуры пайки 260°C мгновенно образовывалось

большое количество водяного пара, приводящего к разбрызгиванию. К тому же не делалось серьезных попыток разработки удовлетворительного инженерного метода удаления остатков этих флюсов с плат.

Очевидные преимущества водорастворимых флюсов, решающих сложную проблему удаления канифоли, выделяются особенно наглядно при рассмотрении возможности получения серии флюсов, обладающих следующими качествами:

- хорошей способностью к очистке поверхности в широком температурном диапазоне;
- возможностью быстрого и легкого удаления флюсов и их осадков;
- отсутствием разбрызгивания;
- возможностью применения с большим количеством металлов без предварительного залуживания.

После окончания работы над этой серией флюсов они были внедрены в производство, широко исследованы и приняты промышленностью в большинстве случаев с успехом. Новые водорастворимые флюсы могут наноситься любым из разработанных методов, включая погружение, нанесение кистью, набрызгивание, или вспенивание. Место пайки при контакте с расплавленным припоем смачивается очень быстро. А это уменьшает тепловой удар и вероятность повреждений. Пайка получается особенно аккуратной и блестящей и отвечает всем требованиям контроля качества и эстетики. Однако основным преимуществом является возможность быстро и легко удалять остатки флюса с поверхности платы, используя такой дешевый продукт, как вода.

Преимущества, получаемые при использовании водорастворимых флюсов, состоят в следующем:

- Флюсы достаточно активны для большинства используемых металлов, применяемых в радиоэлектронной промышленности и не требуют какой-либо специальной подготовки поверхности к пайке. Нет необходимости так тщательно сохранять паяемость во время хранения. Случайные загрязнения деталей коррозирующими веществами не являются в этом случае мешающими факторами, так как после пайки проводится окончательная очистка. Надежность паяных соединений, получаемых в результате одновременной пайки при автоматизированном процессе, может быть более высокой.

— Время и температура пайки значительно уменьшаются, и как следствие предельно уменьшается вероятность теплового разрушения печатной схемы или компонентов. К тому же при существующем технологическом оборудовании для пайки можно получить более высокие скорости процесса.

— Ввиду того что для проведения пайки требуется тонкий слой флюса, количество испаряемого вещества значительно уменьшается и нет такого большого задымления, как при использовании канифольных флюсов, и разбрызгивания, как при использовании водных флюсов.

— Легкое получение красивых и мелких паек, отвечающих всем требованиям. Поверхность пайки получается исключительно гладкой и блестящей.

— Флюсы составляются таким образом, чтобы их можно было легко удалять с помощью воды, спирта или фреона *).

5. Ограничения

Хотя на основании вышеизложенного может показаться, что наконец найден путь решения всех проблем пайки, существует некоторый ряд вопросов, которые надо решить прежде, чем эти новые флюсы будут широко применяться в промышленности. Основная проблема заключается в существующих государственных стандартах и в существующем отношении к чистоте спаянного изделия.

Хотя не возникает споров относительно необходимости обеспечения надежности и чистоты радиоэлектронных устройств, выпускаемых для армии и по правительственным заказам, существует два подхода к проблеме достижения требуемой чистоты. Первый из них основан на неправильном представлении, что при использовании относительно неактивного флюса для пайки чистота сборки может быть гарантирована. При этом не учитывается чистота компонентов, упаковочных материалов, а основным источником загрязнения считаются флюсы для пайки.

Второй подход выглядит более реалистично. Без попытки определить степень влияния различных источников загрязнения последователи этого подхода констатируют лишь их присутствие, а так как пайка обычно является последней

*) Патентованное название фирмы «Дюпон Компани».

Сравнение флюсов

Жидкий флюс	Изделие	Поверхность	Цена	Результаты		Примечание
				Надежность соединения	Требует очистки	
Беловодная канифоль	Чистое	Светлая	Средняя	Хорошая	Нет	Требует тщательного контроля за материалом и процессом не рекомендуется грязь может повлиять на паяемость не рекомендуется
	Чистое	Темная	Данных нет	Плохая	Нет	
	Грязное	Светлая	Высокая	Средняя	Не всегда*)	
	Грязное	Темная	Данных нет	Плохая	Не всегда*)	
Активированная канифоль	Грязное	Светлая	Средняя	Очень хорошая	Рекомендуется*)	Широко применяется
	Грязное	Темная	Средняя	Хорошая	Рекомендуется*)	Широко применяется
Органические водные флюсы	Грязное	Темная	Низкая	Очень хорошая	Обязательно	Сильное разбрызгивание
Водорастворимый флюс, не дающий разбрызгивания	Грязное	Темная	Низкая	Очень хорошая	Обязательно	Требует окончательной проверки паяемости

*) В зависимости от технических требований.

операцией в технологическом процессе изготовления аппаратуры, они утверждают, что хорошая очистка после пайки гарантирует достижение хороших результатов. Они придерживаются того взгляда, что флюсы как катализаторы химической реакции должны быть введены в начале процесса и удалены в конце и плохой практикой является попытка использования сравнительно малоактивных материалов, которые бы к концу процесса не оставались в конечном изделии. Ввиду того, что использование сильного флюса сопровождается соответствующей очисткой, выбор типа флюса для пайки не является критичным, в случае, если потребитель уверен, что он не повлияет на компоненты, входящие в изделие. В этом отношении флюсы отличаются от припоев, которые остаются в изделии в виде неотъемлемой его части. В табл. 12.2 приведено сравнение параметров наиболее важных флюсов.

ПРИПОИ

Хотя обычно считается, что припой состоит из сплава олова со свинцом, имеется большое количество других легкоплавких сплавов, пригодных для пайки. Температура точки плавления сплавов может лежать в диапазоне 139—320° С; эти металлические сплавы обычно состоят из олова со свинцом, висмута, индия, сурьмы, кадмия и серебра. Они ни в коей мере не являются единственными сплавами, которые можно применять для пайки в этом температурном диапазоне, но наиболее характерны и широко применяются.

6. Выбор припоя

Припои обычно выбираются по следующим характеристикам.

Температура. Здесь идет речь не только о точке плавления, так как припой никогда не используется при этой температуре, а о температуре пайки, которая всегда выше точки плавления, для того чтобы дать металлу большую текучесть и хорошую смачивающую способность. Обычно используется превышение температуры над точкой плавления от 22 до 67° С. Это значение зависит также от времени пайки и типа используемого оборудования. Превышение

на 22°C температуры точки плавления применяется для сплавов с низкой точкой плавления, а 67°C — для сплавов с высокой точкой плавления. Принимается также во внимание вероятность теплового разрушения и влияние температуры на изделие. В печатных схемах перегрев может вызвать коробление, расслоение или изменение цвета.

Механическая прочность. Этот параметр обычно важно учитывать при проектировании изделий с паяными соединениями. Однако, как показывает опыт, в печатных платах с пайками, выполненными оловянисто-свинцовыми припоями, припой никогда не является слабым звеном изделия. Изделие обычно разрушается или в компонентах, или в местах металлизированных отверстий. В тех случаях, когда разрушение происходило в месте пайки, обнаруживалось, что причиной разрушения являлось или плохое смачивание, или плохое гальваническое покрытие (дополнительную информацию можно получить в гл. 11).

Электрические характеристики. Электропроводность или сопротивление являются очень важной характеристикой, поскольку паяные соединения являются частью электрической схемы. Чтобы избежать локального перегрева, необходимо обеспечить определенную токоносящую способность электрических соединений. Подробно это было рассмотрено в гл. 11.

Плотность, линейный коэффициент теплового расширения и специальные свойства. Эти физические параметры важно знать при разработке уникальных устройств. Однако в случае обычной печатной схемы они не играют существенной роли.

7. Припой для изготовления печатных схем

В промышленности печатных схем имеется определенная стандартизация: наиболее широко применяемыми сплавами являются оловянисто-свинцовые сплавы (63 : 37 и 60 : 40), а также сплавы с низким содержанием олова (40 : 60), которые используются, в основном, из экономических предпосылок. Оловянисто-свинцовые сплавы дают наилучшее смачивание при наименьшей стоимости. Хотя существует много сплавов с лучшими электрическими или механическими свойствами, ни один из них не обладает всеми этими качествами при той же стоимости металлов, и поэтому в элект-

ронной промышленности и промышленности печатных схем повсеместно приняты оловянисто-свинцовые сплавы.

Важнейшей проблемой является выбор соотношения содержания олова и свинца в специальных случаях. В большинстве случаев оно определяется компромиссом между стоимостью, которая наиболее высока для оловянисто-свинцовых сплавов (63 : 37), и текучестью, точкой плавления, прочностью и другими качествами. Когда экономия диктует

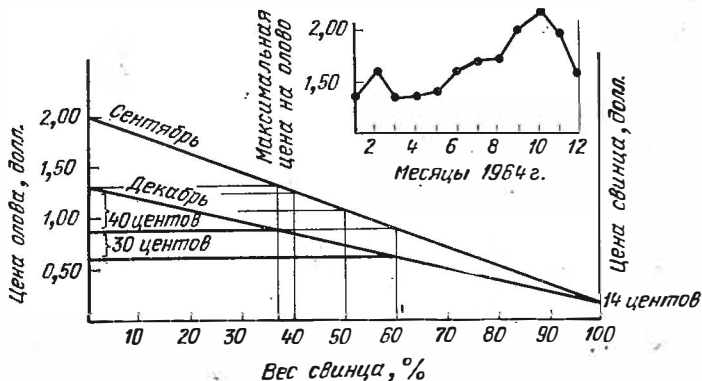


Рис. 12.1. Цена припоя в зависимости от содержания и цены олова и свинца в 1964 г. в США.

использование сплавов с низким содержанием олова, то необходимо снизить требования к внешнему виду и простоте изготовления. Применение сплавов с низким содержанием олова во избежание неприятностей требует тщательного наблюдения за технологическим процессом. Для лучшего понимания экономических факторов обратимся к рис. 12:1. На рисунке изображен график зависимости цен на припой от их состава (на сентябрь — декабрь 1964 г.). Небольшая вставка в верхнем правом углу показывает изменение цены на олово в 1964 г. Даже с изменением цены на олово разница в ценах сплавов, богатых оловом и бедных оловом, значительна. Как можно видеть из графика, цена за фунт металла в припое с содержанием олова больше чем 40 : 60 была на 0,4 долл. выше в сентябре и 0,3 долл. в декабре. Этот график иллюстрирует экономические соображения, которые принимались в расчет при выборе сплавов в промышленности печатных схем.

Для того чтобы оценить различные сплавы с точки зрения выбора наиболее экономически эффективного, автор произвел пайку печатных плат припоями с различным соотношением содержания олова и свинца при различных температурах. Эти исследования показали, что при некотором изменении требований к проектированию изделия и выбору материалов можно использовать припой с низким содержанием олова. Единственным нареканием со стороны покупателей, которое было зарегистрировано при проведении испытаний, был внешний вид припоев с низким содержанием олова, который все более ухудшается с увеличением содержания свинца. Это может быть объяснено металлургическими свойствами системы олово — свинец. Автор в результате этих испытаний разработал новый сплав с низким содержанием олова, но с некоторыми добавками, улучшающими текучесть и внешний вид сплава. Использование нового сплава в качестве припоя позволяет получить дополнительную экономию без значительного ухудшения качества и внешнего вида по сравнению с использованием припоев с высоким содержанием олова.

8. Классификация сортов припоя в зависимости от содержания примесей

Для защиты интересов покупателей многие правительственные и промышленные организации выпустили технические условия на чистоту припоев, обеспечивающие определенные гарантии. Степень загрязнения припоя зависит от источника металла, а цена его повышается с увеличением чистоты сплава. Рассмотрим три основных градации сортов припоев и соответствующие им технические условия.

Примечания:

1. Для других элементов, не обозначенных в таблице, максимальное содержание в сплаве должно быть следующее:

Висмут	0,25%
Медь:	
Сплавы марок от 70 А до 2 В, включительно	0,8%
Сплавы марок 2,5 и 1,5	0,34%
Железо	0,02%
Алюминий, цинк	0,005% (каждого)

Химический состав припоев ASTM32-58T

Марка сплава (припоя)	Олово (желательно), %	Свинец (номинально), %	Мышьяк, %			Серебро, %		
			минимально	желательно	максимально	минимально	желательно	максимально
70A	70	30	—	—	0,12	—	—	—
70B	70	30	—	—	0,50	—	—	—
60A	60	40	—	—	0,12	—	—	—
60B	60	40	—	—	0,50	—	—	—
50A	50	50	—	—	0,12	—	—	—
50B	50	50	—	—	0,50	—	—	—
45A	45	55	—	—	0,12	—	—	—
45B	45	55	—	—	0,12	—	—	—
40A	40	60	—	—	0,12	—	—	—
40B	40	60	—	—	0,50	—	—	—
40C	40	58	1,8	2,0	2,0	—	—	—
35A	35	65	—	—	0,25	—	—	—
35B	35	65	—	—	0,50	—	—	—
35C	35	63,2	1,6	1,8	2,0	—	—	—
30A	30	70	—	—	0,25	—	—	—
30B	30	70	—	—	0,50	—	—	—
30C	30	68,4	1,4	1,3	1,5	—	—	—
25A	25	75	—	—	0,25	—	—	—
25B	25	75	—	—	0,0	—	—	—
25C	25	73,7	1,1	1,3	1,5	—	—	—
20B	20	80	—	—	0,50	—	—	—
20C	20	79	0,8	1,0	1,2	—	—	—
15B	15	85	—	—	0,50	—	—	—
10B	10	90	—	—	0,50	—	—	—
5A	5 ⁵	95	—	—	—	—	—	—
5B	5 ⁵	95	—	—	0,12	—	—	—
2A	2 ⁶	98	—	—	0,12	—	—	—
2B	2 ⁶	98	—	—	0,50	—	—	—
2,5	0 ⁷	97,5	—	—	0,40	2,3	2,5	2,7
1,5	1 ⁸	97,5	—	—	0,40	1,3	1,5	1,7

Припой оловянисто-свинцовые. Химический состав (% по весу)
(из федеральных технических условий QQ-S-571)

Марка	Олово	Свинец	Сурьма	Висмут	Серебро	Медь не более
70	69,5—71,5	Остальное	0,20—0,50	0,25	—	0,08
63	62,5—63,5	То же	0,10—0,25	0,10—0,15	—	0,08
62	61,5—62,5	»	0,20—0,50	0,25	1,75—2,25	0,08
60	59,5—61,5	»	0,20—0,50	0,25	—	0,08
50	49,5—51,5	»	0,20—0,50	0,25	—	0,08
40	39,5—41,5	»	0,20—0,50	0,25	—	0,08
35	34,5—36,5	»	1,60—2,00	0,25	—	0,08
30	29,5—31,5	»	1,40—1,80	0,25	—	0,08
20	19,5—21,5	»	0,80—1,20	0,25	—	0,08
10	9,00—11,00	»	0,20	0,03	1,70—2,40	0,08
5	4,5—5,5	»	0,50	0,25	—	0,08
5	94,0	0,20	4,00—6,00	—	—	0,08
90	—	Остальное	11,0—13,0	0,25	—	0,08
1,5	0,75—1,25	То же	0,40	0,25	1,3—1,7	0,3
2,5	0,25	»	0,40	0,25	2,30—2,70	0,30
5,5	0,25	»	0,40	0,25	5,00—6,00	0,30

Марка	Железо не более	Цинк не более	Алюминий не более	Мышьяк не более	Кадмий не более	Всего примесей не более	Диапазон температуры плавления, °С	
							твердая фаза	жидкая фаза
70	0,02	0,005	0,005	—	—	0,080	182	194
63	0,02	0,005	0,005	—	—	0,080	182	182
62	0,02	0,005	0,005	—	—	0,080	177	188
60	0,02	0,005	0,005	—	—	0,080	182	190
50	0,02	0,005	0,005	—	—	0,080	182	215
40	0,02	0,005	0,005	—	—	0,080	182	238
35	0,02	0,005	0,005	—	—	0,080	182	245
30	0,02	0,005	0,005	—	—	0,080	182	254
20	0,02	0,005	0,005	—	—	0,080	182	276
10	—	0,005	0,005	—	—	0,10	268	298
5	0,02	0,005	0,005	—	—	0,080	270	312
5	0,08	0,030	0,030	—	0,030	0,030	232	240
90	0,02	0,005	0,005	0,600	—	0,080	245	247
1,5	0,02	0,005	0,005	—	—	0,080	308	308
2,5	0,02	0,005	0,005	—	—	0,030	304	304
5,5	0,02	0,005	0,005	—	—	0,030	303	363

2. Анализы обязательны только для элементов, обозначенных в табл. 12.3 и в примечании 1.

Однако если есть подозрения о наличии в сплаве других элементов или это выявляется по результатам обычных анализов, то необходимо провести дальнейшие исследования для определения, не превосходит ли общее содержание этих элементов 0,08%.

3. Химические требования.

Технические условия (ТУ) 1А, 2А, 2В, 3А, 3В, 4А, 4В, В, В, 6А и Е-07 фактически соответствуют сплавам марок 45В, 40В, 40С, 30В, 30С, 25В, 25С, 20В, 20С, 15В и 2,5 соответственно.

4. Новые федеральные ТУ схожи с приведенным выше для сплавов марок 70В, 60В, 50В, 45В и 40В, за исключением содержания мышьяка (от 0,2 до 0,5%). Кроме того, в новых федеральных ТУ есть новый сплав, называющийся «эвтектический сплав», с содержанием олова 63%, мышьяка от 0,10 до 0,25%, висмута от 0,10 до 0,25% и других элементов в соответствии с ограничениями, установленными ASTM.

5. Допустимое содержание олова от 4,5 до 5,5%.

6. Допустимое содержание олова от 1,5 до 2,5%.

7. Максимальное содержание олова 6,25%.

8. Максимальное содержание олова от 0,75 до 1,25%.

9. При использовании меди и медных сплавов, максимальное содержание мышьяка 0,02% и должно быть регламентировано договором между поставщиком и заказчиком.

Регенерированные сплавы. Может быть закуплен скрап олова и свинца и проведена его очистка обычными металлургическими методами. Хотя покупная цена скрапа крайне низкая, очищать его экономически невыгодно, так как степень загрязнения скрапа очень велика. Другими словами, восстановление чистого олова и свинца из скрапа обойдется дороже, чем выплавка этих металлов из обогащенных руд. Однако во время второй мировой войны, когда снабжение США оловом было затруднено и расход олова контролировался государством, сбор и очистка скрапа стало одним из основных источников олова. Поэтому федеральные технические условия QQ-S-571 и ТУ на марку В по ASTM устанавливали допустимую степень загрязнения собранного и рафинированного металла, пригодного для использования в радиоэлектронной и электротехнической промышленности. В настоящее время этот сорт припоя используется редко. При автоматизированном массовом производстве высокая степень загрязнения припоя может вызвать серьезные проблемы, поскольку в процесс включаются дополнительные переменные параметры. Интересно отметить, что даже некоторые крупные потребители припоев в машиностроении, например, для пайки радиаторов или рефрижераторов отказались от регенерированных

материалов в пользу более чистых для того, чтобы избежать брака и трудностей при автоматизации процесса.

Вирджинские сорта припоев. Термин «вирджинские сорта» относится к припоям, которые состоят из олова и из свинца, полученных из руды. Этот сорт соответствует В32 по техническим условиям ASTM для материалов припоя (В32, марка А).

Напоминаем читателю, что не все металлы, получаемые переработкой руды, имеют высокую степень чистоты. К счастью, контроль чистоты свинца и олова при закупке сырья может быть таким, что не только можно выдержать требуемую степень чистоты, но и значительно превысить ее. Таким образом, степень загрязнения, приведенная в табл. 12.3 и 12.4, определяет лишь максимально допустимые уровни присутствия каждой конкретной примеси. Кроме того, технические условия разрешают наличие не более 0,08% тех элементов, которые отдельно не оговорены.

Кроме материалов марки А, в табл. 12.4 приведены данные по материалам марки В, которая соответствует федеральным техническим условиям (QQ- S-571).

Необходимо упомянуть о примесях мышьяка. Возможность появления серого олова («оловянной чумы») в пайках в оборудовании, изготовленном по различным военным и правительственным заказам, или в аппаратуре для космических исследований сделала жизненно важным добавление в припой мышьяка. Есть сообщения, что небольшие добавки мышьяка устраняют это.

ПРИПОЙ МАРКИ ВАКУЛОЙ *)

Присутствие окислов олова и свинца, а также других неметаллических примесей в припое до сего времени во внимание не принималось. В некоторых фундаментальных трудах по основным характеристикам припоев показано, что в припое присутствует в виде вкраплений большое количество окислов олова и свинца и других неметаллических включений.

В настоящее время имеется возможность удалить эти вкрапления. Обработанный таким образом сплав продается под торговым названием Вакулой. На рис. 12.2 показана

*) Торговое название фирмы Alpha Metals Inc.

разница между двумя образцами одного основного сплава. Один был получен в соответствии с требованиями к припоям марки А по ASTM. Другой обрабатывается методом Вакулой и отлит в виде такого же слитка. Два таких фунтовых слитка были расплавлены в вакууме и охлаждены. Обычный пруток имел относительно большое содержание окислы и изменение цвета поверхности, которая также была испорчена мелкими отверстиями и газовыми

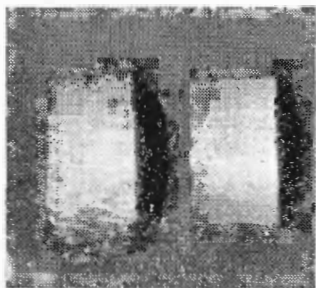


Рис. 12.2. Образцы припоя (дегазированные). Стандартный припой (слева); отметьте степень наличия кислорода. Яркий, чистый, свободный от кислорода припой, прошедший обработку по методу Вакулой (справа).

карманами. Образец сплава Вакулой оставался блестящим и на поверхности, и можно было заметить очень немного газовых карманов.

Хотя проведение плавки в вакууме является хорошим способом демонстрации разницы между обычным припоем и Вакулой, но различие между этими двумя материалами гораздо глубже, чем это можно определить по качеству поверхности. На рис. 12.3 приведены фотографии, отображающие различие в микроструктуре слитка из обычного сплава и Вакулой, отлитых одинаковыми способами. Припой, содержащий 50% свинца, имеет богатую свинцом фазу d в матрице эвтектической структуры. Это легко видно в слитке обычного припоя после отливки. Однако при том же увеличении слитков, отлитый по методу Вакулой, имеет определенную дендритную структуру d -фазы внутри эвтектической матрицы. Это может быть объяснено наличием или отсутствием центров ядрообразования внутри охлаждающейся жидкости, которые в одном случае вызывают образование многих маленьких кристаллов около множества ядер, образованных включениями окислов, как это происходит в обычном образце, а при методе Вакулой образуются гораздо более крупные кристаллы чистого материала.

Качество Вакулоя можно легко сохранить с помощью простых мер предосторожности, таких как использование закрывающего поверхность ванны припоя трафарета для уменьшения поверхностного окисления, поддержание соответствующего уровня припоя в ванне, чтобы избежать

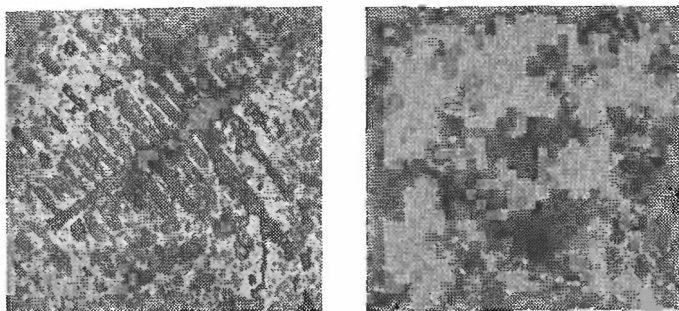


Рис. 12.3. Оловянисто-свинцовый (50 : 50), 200-кратное увеличение (слева). Отметьте небольшое количество частиц, богатых свинцом (справа). Припой оловянисто-свинцовый (50 : 50) с обработкой по методу Вакулой. Отметьте дендритную структуру α -фазы.

увеличения количества окалины и пополнение ванны сплавом только марки Вакулой. Процесс Вакулой может быть использован почти для всех низкоплавких сплавов, применяемых для пайки.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Для получения защитных покрытий на печатной плате используется много различных веществ. Их назначение различно, но можно классифицировать их функции по трем основным категориям.

9. Защитные покрытия

Так как паяемость печатной и других металлических поверхностей является качеством, которое необходимо сохранять, а как показывает опыт, в большинстве случаев металлические поверхности, предназначенные для пайки,

портятся со временем из-за воздействия на них окружающей среды, были разработаны защитные покрытия, которые при нанесении их на поверхность, предназначенную для пайки, сохраняют ее паяемость в течение продолжительного времени. Эти покрытия не создают барьера между флюсом и основным металлом, так как их состав согласуется с составом флюса и перед пайкой их предварительно удалять не требуется.

Необходимо иметь две основные группы защитных покрытий. Одна — для канифольных флюсов, где для приготовления защитного покрытия, усиливающего, а не ослабляющего активность флюса, требуется чистая канифоль. Применение в этом случае водорастворимых лаков вредно, так как они подвергнуты старению, в результате которого становятся не растворимыми в большинстве очистителей, и создают трудности при пайке, а не помогают ей. Другую группу составляют покрытия конверсионного типа, которые используются в сочетании с кислотными флюсами. Конверсионные покрытия фактически, как это видно из названия, представляют собой пленки, образуемые из основных металлов, которые подвергаются химическому воздействию для образования тонкого химического слоя, предохраняющего металл от дальнейшего стирания. Эта группа материалов может быть использована только в сочетании с кислотными флюсами, где абсолютным требованием является тщательная и качественная очистка. Использование конверсионных покрытий в сочетании с канифольными флюсами или при неправильной очистке вызовет серьезные трудности, связанные с возникновением электрических шумов и токов утечки. К тому же эти конверсионные покрытия обязательно должны быть согласованы с типом применяемого кислотного флюса.

Многие из разработанных защитных покрытий наносятся на влажные платы, и поэтому растворитель должен быть выбран такой, чтобы он вытеснял воду, а сам быстро испарялся.

Так как покрытие получается сухим, было установлено, что поверх него можно наносить без каких-либо вредных последствий защитные (от припоя) краски. Однако этот способ может быть рекомендован только для массового производства дешевых изделий, когда некоторое отслоение защитной краски после пайки не вызывает дополнительных проблем.

10. Остановители пайки (маски)

Остановителями пайки являются органические покрытия, которые наносятся на те области, где пайка не производится. Таким образом, когда схема избирательно покрыта таким веществом, непокрытыми остаются только те участки, к которым припаиваются компоненты. В результате исключается возможность образования перемычек из припоя, загрязнения и излишнего расхода припоя.

Краски для защитной маски обычно состоят из одного или двух компонентов. Они наносятся через трафарет, напылением через маску или другим способом. Маска перед пайкой должна пройти термообработку, чтобы она могла без разрушения выдерживать воздействия температуры пайки во время пайки. Само собой разумеется, что поверхность перед нанесением покрытия должна быть абсолютно чистой. Необходимо также, чтобы защитная краска для маски была химически совместима с применяемым флюсом. В некоторых случаях при несоблюдении этого условия флюсы вызывают коробление и разрушение маски (это справедливо для большинства неэпоксидных материалов.)

Другим видом защитных масок, применяемых в настоящее время, являются такие покрытия, которые после пайки удаляют механическим путем. Эти счищаемые защитные покрытия обычно состоят из одного компонента и требуют только сушки на воздухе.

Защитные маски дают дополнительное преимущество: состоящее в образовании барьера между атмосферой и печатной схемой, исключаящего опасность коррозии и возникновения токов утечки.

Дополнительные затраты, связанные с применением маски, окупаются тем, что для пайки требуется меньше припоя и можно использовать медные печатные проводники без оловянисто-свинцового или какого-либо другого покрытия.

Одним из самых серьезных недостатков использования неудаляемых масок является то обстоятельство, что через них невозможно делать ремонт. Маска перед ремонтной пайкой должна быть механически удалена сдиранием или каким-либо другим методом. Наиболее распространенные растворители, применяемые для удаления маски, одновременно могут вызвать сильное повреждение других частей печатной схемы.

11. Защитные покрытия для паяк

Это материалы, которые наносят на паяные соединения для сохранения чистоты поверхностей после пайки, особенно в изделиях радиоэлектронной и электротехнической аппаратуры.

Химическая чистота изделия, получаемая соответствующим удалением флюса, является тем качеством, которое необходимо сохранять. Наличие водяных паров или пыли в атмосфере на предприятии или на складе может оказать воздействие почти на все схемы. Опасность такого воздействия рассматривалась выше (см. «Флюсы для пайки»).

Защитные покрытия, наносимые на пайки, отличаются от масок тем, что их состав позволяет делать через них пайку. Это важно для последующих ремонтных работ с такими схемами. Одновременно такие защитные покрытия создают барьер для влаги, предотвращая влияние сконденсированной влаги на изделие. В этом отношении они похожи на лаки, наносимые на поверхности с гальваническим покрытием в декоративных целях. Покрытие для защиты паяк наносятся обычными методами: пульверизацией, кистью или окунанием.

12. Травление для улучшения паяемости

Как было указано выше, паяемость различных металлов при старении ухудшается и достигает уровня, зависящего от типа основного металла, окружающей среды и времени хранения. Применяя малоактивные флюсы, например беловодную канифоль, необходимо для восстановления паяемости использовать обработку химическими растворами. Чаще всего для получения печатных проводников применяется медь. Для восстановления паяемости ее необходимо протравить в кислотном растворе. Однако травящий раствор не должен затронуть основной массы меди или вызвать утоньшения проводников и ухудшения качества поверхности. Кроме того, травитель не должен действовать на оловянисто-свинцовый сплав и другие материалы, которыми покрывается медь. Такие буферные растворы можно получить от соответствующих поставщиков под соответствующими и торговыми марками и названиями.

Поскольку травители являются сильными кислотами, их не следует использовать в качестве флюсов, а перед

флюсованием необходимо проводить соответствующую очистку. Некоторые специалисты считают, что такую обработку выгодно проводить на определенном этапе технологического процесса производства печатной платы, а затем защищать эту поверхность от дальнейшего разрушения нанесением защитного покрытия, как описано выше.

Гальваническое покрытие частично загрязненной поверхности сделать не так трудно, как многие думают. Гальваническое нанесение оловянисто-свинцового покрытия на грязную медную поверхность выполняется очень часто. При этом, как правило, будет происходить отслаивание припоя.

Таким образом, рекомендуется проводить химическое травление перед гальваническим покрытием. В некоторых случаях оно сочетается с предварительной оценкой паяемости перед гальваническим покрытием, после чего определяется, есть ли необходимость в травлении.

ОЦЕНКА МАТЕРИАЛА

На основе информации, полученной выше, можно провести экспериментальный отбор материалов. На рис. 12.4 изображена простая схема выполнения отбора.

Начнем с левого верхнего угла «Основной металл». Достаточно сказать об этой стадии коротко: основной металл для выполнения печатных проводников обычно выбирается из соображений общей экономии или в соответствии с требованиями различных промышленных технических условий. Он составляет основную часть изделия и, используя таблицу для выбранного основного металла, можно легко определить тип флюса. Исходя из общих соображений, необходимо также определить, соответствует ли флюс специфике изделия; если нет, то необходимо выполнить одну или обе из следующих дополнительных процедур:

1) заменить основной металл на такой, который позволяет использовать удобный флюс, если основной металл удовлетворяет требованиям к самой печатной плате);

2) изменить качество поверхности утоньшением или химическим травлением с последующим предохранением подготовленной поверхности.

В правом верхнем углу — «Выбор припоя». Специальные соображения, необходимые на данной стадии, были рассмотрены в разделе «Припой». Напоминаем читателю, что в большинстве случаев как наилучший для получения высокого качества и надежности, принят¹ эвтектический оловянисто-свинцовый сплав, тогда как сплавы с низким содержанием олова используются в качестве припоев лишь в массовом производстве дешевой продукции.

После выявления всех этих вопросов можно перейти к основной проверке на совместимость.

Опасность коррозии изделия является одним из наиболее важных факторов в выборе материалов. В печатных платах наи-

более опасна химическая коррозия, и часто ее источником является флюс. Поэтому долг разработчика — обеспечить легкое и полное удаление с платы остатков флюса, паров флюса и осадков от флюса, вызывающих коррозию. Это исключает возможность коррозии.

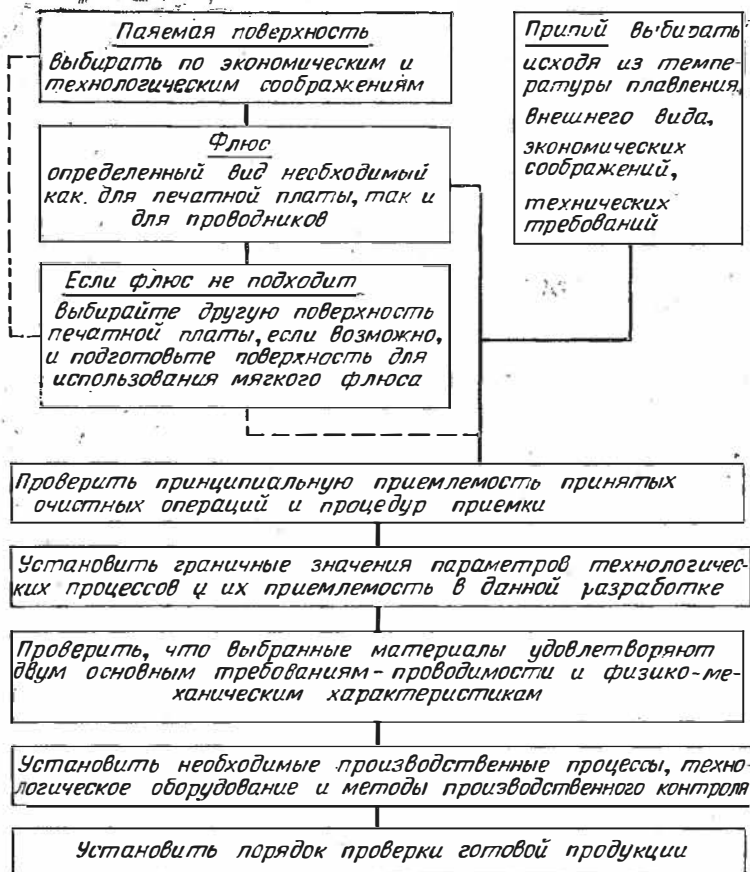


Рис. 12.4. Схема отбора материалов пайки.

После того как проблемы, связанные с коррозией, решены, необходимо, чтобы разработчик удостоверился в применимости известных методов очистки к его изделию, поскольку он знает материал и функции изделия лучше, чем технологи. Однако не рекомендуется выбирать специальное оборудование для очистки, так как в этом случае затрагиваются вопросы опыта производства и экономики, с которыми обычно разработчик не знаком.

ПРОЦЕССЫ ПАЙКИ И ОБОРУДОВАНИЕ

Хауард Х. Манго,

*директор отделения проектирования и исследования припоев
фирмы «Альфа Металс, Инк.», Джерси Сити, Нью-Джерси,
США*

ВВЕДЕНИЕ	518
ОПЕРАЦИИ; ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ ПАЙКЕ	518
1. Защита при помощи маски	519
2. Химическая обработка для улучшения паяемости	520
3. Применение защитных покрытий	520
4. Сборка	521
ОПЕРАЦИЯ ПАЙКИ	521
5. Предварительная очистка	522
6. Обработка флюсом	526
7. Предварительный нагрев	534
8. Процесс пайки	534
УДАЛЕНИЕ ПРИПОЯ С ПЛАТ	566
9. Химическое удаление	566
10. Удаление припоя амальгамированием	567
11. Удаление припоя с помощью вакуума	567
ОПЕРАЦИИ ПОСЛЕ ПРОЦЕССА ПАЙКИ	567
12. Значение удаления осадков флюса	569
13. Осадки, растворимые в воде	569
14. Осадки, растворимые в растворителе	571

ВВЕДЕНИЕ

Эта книга может служить рабочим руководством, и поэтому необходимо придерживаться технических условий и инструкций изготовителя.

Как правило, к оборудованию прилагаются инструкции, в которых описывается процесс его использования и дан адрес, по которому можно обращаться с рекламациями.

Рекомендуется особенно тщательно определять некоторые контрольные параметры для непрерывного регулирования температуры, входного напряжения, скорости конвейера и импедансного угла (определяемого как угол между изделием, направлением движения и поверхностью припоя или горизонталью и т. д.). Наиболее удобно такой контроль производить по эталонам.

Очень важно, чтобы были точно определены технические условия на каждое изделие, установлены точные допуски на все параметры и были определены лица, которые могут санкционировать внесение изменений в процесс.

В этой главе описывается предельный по сложности технологический процесс и все другие процессы, которые влияют на качество паяных соединений. Вместе с технологией в общих чертах рассматривается необходимое оборудование. Главу грубо можно разделить на три части: операции до пайки, процесс пайки и операции после пайки. В подобной книге трудно привести общую схему технологического процесса, поскольку она варьируется в каждом частном случае. Все этапы этого процесса будут использоваться одновременно только в редких случаях. Обычно конкретные условия и экономические соображения диктуют необходимость исключения определенных операций и позволяют получить экономический выигрыш.

ОПЕРАЦИИ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ ПАЙКЕ

В этом разделе рассматриваются операции, проводимые между завершением травления печатной платы и подготовкой платы к пайке.

В гл. 12 описывались преимущества использования маски на поверхности печатной платы. Само по себе применение этого метода зависит от типа используемой маски и поэтому требует некоторых дополнительных сведений о ней. Как правило, материалы наносятся на поверхности платы с помощью металлической или шелковой сетки, имеющей 160—200 отв/см². Сетка должна быть абсолютно чистой. Если материал будет наноситься на поверхность через недоброкачественную или загрязненную сетку, то возникают проблемы несмачиваемости. Это не то же самое, что подтекание, но приводит к тем же результатам. При подтекании мы сталкиваемся с фактическим наполнением маски на ту поверхность, где она нежелательна. Эта миграция покрытия обычно появляется в результате недостаточного контроля качества материалов или нанесения слишком толстого покрытия.

После нанесения маску обрабатывают в соответствии с техническими требованиями изготовителя. Эпоксидные материалы, где требуются один или два компонента для правильного отверждения, важно тщательно смешивать. При других материалах, где используется испарение растворителя или термическое загустение, требуются перемешивание и точное соблюдение режима отверждения.

Ясно, что поверхности под маской должны быть абсолютно чистыми, в противном случае маска будет отслаиваться и пузыриться в том месте, куда попала грязь. Это в свою очередь может вызвать подтекание и другие недопустимые дефекты.

В некоторых случаях желательно наносить маску на защитные покрытия, описанные в гл. 12, чтобы предохранить поверхность, например, от окисления при последующей термообработке. На пайку не должны влиять различные пары и другие побочные продукты, оставленные маской, а также окислы на поверхности, возникающие в период термообработки. Этого можно достигнуть, применяя нестареющие защитные покрытия, в противном случае покрытия отвердеют и сами превратятся в источник загрязнений. Часто маски окрашиваются в разные цвета для наблюдения и более легкого распознавания. Это, однако, нужно делать осторожно, так как могут появиться химически не совместимые с маской материалы, вызывающие свежую коррозию,

которую нелегко будет обнаружить, если пользоваться масками темных тонов. Необходимо проконсультироваться с поставщиками органических материалов по вопросу о совместимости.

2. Химическая обработка для улучшения паяемости

В табл. 11.1 авторы привели данные о паяемости различных поверхностей, используемых в печатных платах, и о соответственном облегчении пайки с помощью различных флюсов. Всегда можно столкнуться с неожиданным загрязнением поверхностей органическими материалами. Возникающие трудности можно избежать, применяя растворители, которые всегда нужно выбирать таким образом, чтобы они не оставляли после себя осадочных слоев. Травление медных поверхностей или поверхностей других химических материалов для восстановления паяемости является обычно очень быстрой и незаменимой операцией.

Высокое качество, получающееся в результате такой операции, предшествующей пайке, является дополнительным достоинством. Точно так же можно улучшить паяемость выводов компонентов. Паяемость 100%-ных компонентов гарантировать трудно; как будет описано в гл. 14, для надежной пайки необходима жесткая программа проверки паяемости компонентов.

Соответствующее удаление химических растворов, используемых для восстановления паяемости, должно рассматриваться как часть общего процесса очистки. Кроме того, присутствие влаги на поверхности может помешать пайке, так как образующиеся пары ведут к большому разбрызгиванию. Осушение само по себе — дорогостоящее удовольствие, и поэтому рекомендуется применение защитных покрытий (как это описано в гл. 12), которые исключают увлажнение и быстро высыхают.

3. Применение защитных покрытий

Если поверхности нужно спаять, то для улучшения паяемости удобно нанести на них защитные покрытия. Как указывалось выше, этот метод можно использовать для осушения, так как защитное покрытие вытесняет воду и защищает поверхность.

Паяемость поверхности может нарушиться за время окончательной сборки или хранения. Защитные органические материалы обычно наносятся погружением в раствор, пульверизатором или кистью. После испарения растворителя они готовы для использования.

При использовании кислотных флюсов применение смоляных защитных покрытий нежелательно. В некоторых случаях успешно применяются конверсионные покрытия вместе с кислотными флюсами (см. гл. 12); существуют также материалы, которые химически взаимодействуют с поверхностью, образуя защитный металлический слой. Конверсионные покрытия используют скорее с эстетической точки зрения, чем с технической. Если бы эти защитные покрытия были частью производственного процесса, нужно было бы соблюдать предосторожность при окончательной очистке, чтобы быть уверенным, что все продукты ионизации после последней операции паяния удалены.

4. Сборка

Монтаж компонентов и окончательная сборка возможны, когда печатная плата хорошо защищена и подготовлена. Для монтажа компонентов существуют различного рода автоматические установки. Иногда компоненты на ленте смотаны на больших катушках и на ленте же подаются к месту монтажа. Сами компоненты обычно не касаются поверхности ленты, и выводы их могут загигаться таким образом, что не остается клея. Однако в тех случаях, когда клейкая лента касается вывода, желательно предварительно убрать остатки клея, чтобы они не мешали пайке.

Другой проблемой при осуществлении сборки, которая часто отражается на чистоте места пайки, являются механические повреждения, которые появляются во время закрепления проволочных выводов. Любые зазубрины и надсечки на выводе уменьшают его прочность из-за возникновения местных напряжений, в результате чего общая прочность соединения уменьшается и может произойти повреждение.

ОПЕРАЦИЯ ПАЙКИ

Существуют несколько тесно связанных операций, которые обычно выполняются непосредственно перед пайкой, хотя предварительную очистку можно было бы включить и в предыдущий раздел.

5. Предварительная очистка

Успех пайки зависит во многом от того, как соединена поверхность платы с печатным монтажом и выводами компонентов. Хотя флюсы обладают определенной очищающей способностью и предназначены для устранения на металлических поверхностях потускнения (пятен), различные операции предварительной очистки, описанные ранее, помогают лучше подготовить поверхности к пайке. Флюсы сами по себе оказываются бесполезными, если на поверхности есть пятна жира, краски или воска. Чтобы получить прочное соединение, должны быть тщательно удалены любые инородные материалы на поверхностях, оставшиеся от предварительной механической обработки, такие как кусочки диэлектрика, охлаждающие эмульсии и пыль от длительного хранения на складе. Кроме того, пайку затрудняют глубокая ржавчина и металлические стружки. Если можно выполнять операции, предшествующие пайке, применяют флюсы.

Для удобства описания операции по предварительной очистке разделены на две основные группы:

- 1) удаление случайных инородных материалов соответствующей очисткой;
- 2) удаление загрязнения с поверхности химическим травлением или шлифовкой.

Методы очистки более подробно описаны в разделе операций, проводимых после процесса пайки. В 1-й группе в основном представляют интерес растворители, способные удалять органические материалы, наиболее часто встречающиеся на поверхности печатной схемы, до и после сборки. Именно для этой цели рекомендуется применение обезжиривающих или сходных с ними растворов. Конечно, можно при помощи защитных покрытий и соблюдения специальных технологических мер избежать осаждения грязи на поверхностях и этим полностью исключить стадию очистки.

Удаление материалов возможно за счет механической шлифовки, хотя по качеству этот способ хуже, чем химическая обработка. Ниже описано несколько методов, которые могут быть успешно применены. При этих методах обычно бывает трудно учесть количество одновременно удаляемого основного материала; однако правильное использование методов позволяет получить высокую надежность.

Абразивное дутье. Для осветления поверхности фольги перед пайкой можно использовать сухие абразивные порошки или шламы абразивных материалов. Обычно используют очищенные частицы твердого материала, например двуокиси кремния. Сухой абразив или песок продувается с большой скоростью через сопла, расположенные над поверхностью платы. При этом поверхность физически разрушается и в результате образуется свежий металлический слой, пригодный для паяния. Одной из проблем применения этого метода является сам абразивный материал, который может оседать и застревать в щелях и труднодоступных местах и вынуждает проводить тщательную очистку.

При использовании простой платы дополнительная воздушная продувка или охлаждающий агент позволяют удалить большую часть абразивного материала вместе с частицами металла, удаленного с самой поверхности. Если эту операцию провести тотчас же после обработки флюсом, то свежесформированные металлические поверхности будут меньше поддаваться повторному окислению. Поверхности, обработанные флюсом, сохраняют паяемость вплоть до момента осуществления операции пайки.

На рис. 13.1 показана плата с печатным монтажом, на которую снизу подается пар, удаляющий потускнение и окислы с компонентов и печатных проводников. За этой операцией следует обработка сухим воздухом для удаления всех частиц и обработка пенным флюсом, чтобы защитить поверхности от окисления. При использовании этого метода можно паять никелевые и коваровые выводы компонентов с помощью активированных смоляных флюсов, достигая высокой надежности.

Этим же способом можно паять оловянно-никелевые поверхности, так как поверхности, гальванически или химически покрытые оловом и никелем, легко паяются с помощью активированной канифоли. Применение этого метода позволяет обходиться без дорогостоящего гальванизирования и предварительного облуживания и дает такую же высокую надежность. Подобная операция может выполняться на отдельных участках общей сборки с помощью машины, подобной машине для очистки электродов запальной свечи автомобиля. При этом особенно важно защитить площади, где недопустимо воздействие абразива. При правильной технике защиты можно избежать попадания частиц в трещины, которые не поддаются обычной очистке.

Очистка поверхности. Для очистки поверхности и механического полирования можно применять пемзу и сходные с ней очистительные материалы в различных растворах. Состав раствора, в котором взвешен абразивный материал,

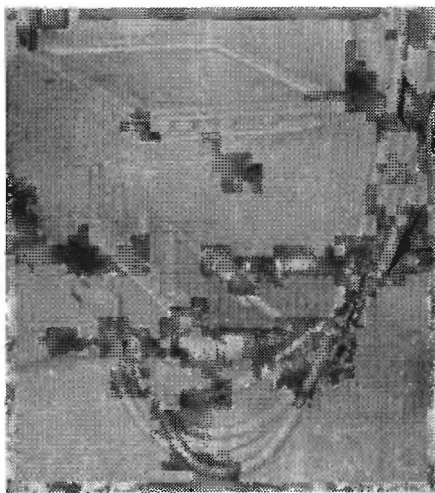


Рис. 13.1. Продувание печатной платы паром.

выбирается таким, чтобы можно было удалить пленки инородных материалов, также присутствующих на поверхностях.

Использование абразивов для плат с проводниками из мягких металлов представляет некоторую опасность. Если абразивные частицы вкрапливаются в поверхность, предназначенную для паяния, и если они по своей природе не поддаются пайке, то площадь заполнения припоем значительно уменьшается, что приводит к несмачиваемости или неполной смачиваемости поверхности. Действие абразивного материала на поверхность может быть проверено погружением плоского кусочка испытываемого материала в припой на 3—5 сек с последующим вытаскиванием его в вертикальном направлении с тем, чтобы дать возможность стечь припою с поверхности. Иногда встряска или постукивание для удаления излишнего припоя помогают в этой проверке. При внешнем осмотре осушенных поверхностей, пока они свежие, будут видны булавочные проколы и иног-

да несмоченные площадки. При испытании горизонтальной поверхности нельзя давать припою затвердевать, так как под действием гидростатического давления припой будет стремиться разлиться по плате и будет зрительно закрывать несмоченные участки фольги. Для такой проверки рекомендуется использовать бесцветный канифольный флюс, помогающий обнаружению граничной линии смачиваемости.

Аппретирование проволочной щеткой и полировка. Полировка площадок, предназначенных для пайки, или обработка их проволочной щеткой преследуют ту же цель, что и другие абразивные методы, использующие очищающие полировочные составы. В большинстве случаев обработка проволочной щеткой или жесткой нейлоновой щеткой предпочтительнее полировки, так как при этом получается более неровная с большей площадью поверхность, способствующая смачиванию. Однако количество основного металла, удаляемого при тщательной полировке, меньше, чем при обработке проволочной щеткой, так что выбор метода диктуется необходимостью. Щетки, особенно вращающиеся, должны все время тщательно очищаться, чтобы избежать повторного загрязнения отполированных поверхностей материалом, удаленным при предыдущей полировке. Кроме того, рекомендуется не использовать компаунды, желательно использовать быстровращающиеся нейлоновые щетки или щетки из синтетического волокна, которые, по мнению авторов, не оказывают такого вредного воздействия на паяемость поверхности, как проволочные щетки или сочетание компаундов с полировочными кругами.

Зачистка поверхности. За последние годы было выпущено много блоков, особенно для авиационных устройств, собранных с помощью пайки с предварительной зачисткой потускневших слоев и других материалов канцелярской резинкой. При этом получена высокая надежность паяных соединений без применения дорогостоящих операций. Используемая для этого каучуковая резинка слабо воздействует на основной металл, который достаточно прочен, чтобы удалить с него потускнение или инородные материалы. Частицы каучука и окисного слоя должны быть тщательно удалены. В некоторых случаях специфика требует, чтобы при ручной пайке печатного монтажа удаление золотого металлического покрытия происходило таким же образом. Это необходимо из-за того, что золото ухудшает прочность пайки.

Если отобран основной материал для флюса и выбран тип растворителя, то нужно еще определить полный состав (включая добавки), зависящий главным образом от метода применения флюса.

Ниже даны пять основных методов обработки флюсом печатных плат при массовом производстве и два метода, пригодных для опытного производства небольших партий или при пайке микроминиатюрных схем. Желательно, чтобы изготовители флюса знали об окончательном выборе типа флюса. Изготовитель лично или в приложенной к флюсу документации должен дать методику по определению нужной консистенции и модификации основного флюса для использования его в конкретном оборудовании и при ручных операциях.

Изготовитель должен регламентировать методы проверки плотности для поддержания нужного соотношения между твердым веществом флюса и связующим составом, методы титрования для установления концентрации корректирующего активатора и кривые разбавления нужными разжижителями для поддержания необходимой активности флюса и компенсации испарения летучих компонентов.

Надо указать также на важность правильного выбора разжижителей. Большинство флюсов разжижается химикатами, имеющимися в продаже. Покупка этих химикатов иногда оказывается дешевле, чем приобретение готовых флюсов у изготовителей.

Однако только изготовители флюса знают точный рецепт его изготовления, поверхностное натяжение, требуемое для хорошего флюсования, правильное смешивание растворителей, необходимых для получения максимальной активности рабочего вещества, правильный выбор соотношения летучих и нелетучих компонентов флюса для получения наиболее хороших результатов при пайке. Поэтому в каждом случае рекомендуется пользоваться специальными разжижителями, выпускаемыми изготовителями. Это, в конце концов, окажется более экономичным, так как исключает дорогостоящие повторные обработки и трудности во всем процессе.

Очистка щеткой. Это простейшая операция при обработке флюсом. Используются простые малярные или кислотоустойкие щетки, ручные или вращающиеся. Они пригодны

для всех жидких флюсов, как сделанных на основе смолы, так и кислотных. При этом методе трудно получить единообразие и проконтролировать количество флюса, но все же можно обрабатывать флюсом отдельные площадки на плате.

Соотношение флюса и связующего вещества зависит от количества флюса, которое должно наноситься на площадку и может быть изменено. Этот метод пригоден в тех случаях, когда компоненты заводятся под плату и не проходят в отверстия. Его обычно используют при ручной обработке, когда выпуск продукции ограничен и допустимы большие вариации в размерах панелей, а состав компонентов прост.

Распыление. Этот метод применяют только с жидкостями. Оборудование подобно тому, которое используется при окраске пульверизацией. Может быть достигнута высокая степень однородности и осуществлен точный контроль за толщиной покрытия. Однако сложно наносить флюс на выбранные площадки при обработке флюсом без масок.

Соотношение растворитель — флюс очень велико, причем растворитель обычно содержит летучие материалы, которые или испаряются в рабочей зоне, или оседают каплями при выходе из сопла, образуя вязкие капли концентрированного флюса, попадающие на поверхность платы. Соответствующая вентиляция и другие меры предосторожности могут удорожить этот метод. Метод легко автоматизировать, и его часто используют в различных автоматических устройствах пайки.

Применение плоских и вращающихся масок возможно в больших автоматических системах, где маска размещается между флюсом и рабочей частью, изолируя площадки, на которые флюс не должен попадать. Однако количество флюса, скапливающегося на этих масках, и необходимость непрерывной их очистки делают такое использование дорогостоящим.

Покрывание пеной. Покрывание пеной (рис. 13.2) ограничивается жидкими флюсами, которые обладают уникальным сочетанием высокого поверхностного натяжения и однородности характеристик слоя. Оборудование состоит из резервуара для жидкости с погруженными в него газовыми соплами или пористыми камнями, которые устроены так, чтобы на поверхность резервуара выходил равномерный поток пены (см. схему на рис. 13.3).

Изделие проходит над этой вспененной поверхностью, и флюс прилипает к изделию ровным слоем регулируемой

толщины. Этот метод только частично пригоден для селективной обработки флюсом. При нем соотношение связующего вещества и флюса является критическим, так как образование пены и флюса зависит главным образом от вязкости флюса, от природы связующего вещества, давления газа, от высоты слоя жидкости над вспенивающим устройством и т. д. Этот процесс используется в основном на автоматических линиях для пайки печатных схем. Особенно он пригоден в тех случаях, когда не предусмотрено удаление смолы. Содержание смолы в флюсе низкое (15—20% по весу), а после пайки осадки практически отсутствуют.

Окунание. Этот метод применим к жидкостям, хотя здесь вязкость не является решающим фактором. Никаких специальных приспособлений для этой операции не требуется, но однородность и контроль за количеством не могут обеспечиваться при платах больших размеров. Края могут обрабатываться флюсом в избирательном порядке. Соотношение флюса и связующего вещества очень существенно, и его нужно периодически поддерживать, чтобы компенсировать испарение. Метод пригоден для автоматизации и часто используется при паянии.

Обработка волной флюса. Жидкий флюс непрерывно накачивается через лоток, образуя выступающую волну, в которую окунается изделие. Изделие может, таким образом, перемещаться над контейнером с флюсом без изменения направления движения, так как флюс накачивается навстречу изделию. Этот метод требует правильного выбора флюса и связующего вещества, чтобы избежать чрезмерных скоростей потока. Соотношение флюса и связующего вещества должно тщательно контролироваться. Этот метод часто используется при скоростных операциях обработки флюсом на автоматических линиях. Устройство для обработки волной флюса, показанное на рис. 13.4, пригодно для работы с тефлоновой маской при использовании кислотных флюсов. Показана (рис. 13.5) и другая модификация волновой обработки флюсом. Устройство совмещает ультразвуковую кавитацию с волновой обработкой флюсом. Здесь высокостоящая волна площадью почти в 10 дм^2 возбуждается ультразвуком и позволяет осуществлять одновременно предварительную очистку ультразвуком и обработку флюсом, что при правильном выборе флюса помогает исключить случайные загрязнения при сборке, делая таким образом воздействие флюса на основной металл более надежным.

Этот принцип гарантирует высокую степень однородности при пайке, так как с его помощью удаляют инородные материалы, которые мешают смачиваемости поверхностей. Сама

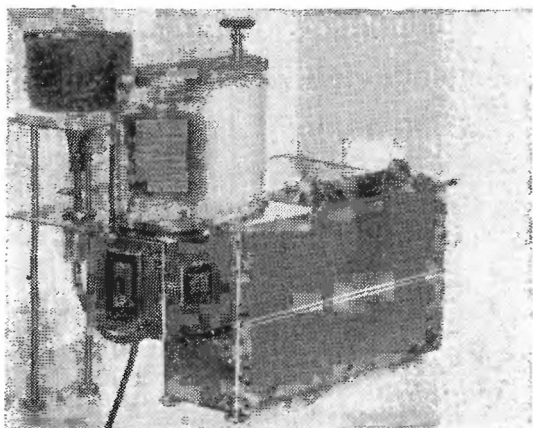


Рис. 13.4. Устройство для обработки волной флюса.

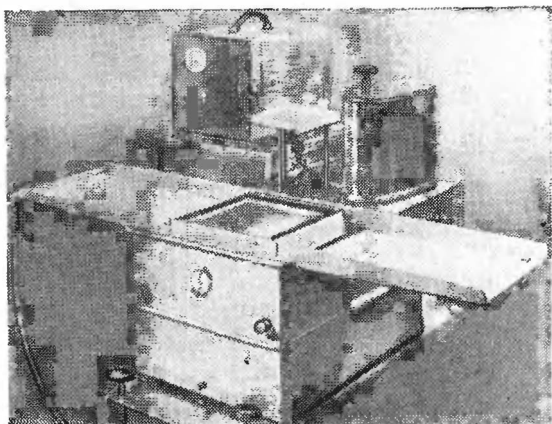


Рис. 13.5. Установка для обработки ультразвуковой волной.

кавитация будет предотвращать поверхностные окклюзии, которые уменьшают площадь связи. Такое же устройство может также использоваться для очистки монтажа после

пайки. Высота жидкости будет определяться силой воздействия ультразвука на компоненты. С помощью этого метода компоненты, которые не изолируются, могут быть очищены до желаемой степени. В другом устройстве (рис. 13.6) флюс накачивается волной, которая далее поддерживается на высоком уровне щетками. Это дает возможность обработать флюсом компоненты с концами длиной в 3 мм. Устройство, показанное на рис. 13.6, может быть также приспособлено для обработки пенным флюсом.

Ручная пайка. До настоящего времени рассматривалась возможность использования жидких флюсов при пайке

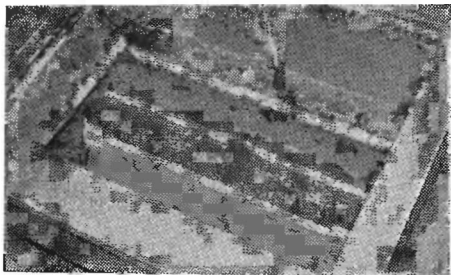


Рис. 13.6. Устройство для обработки волной флюса с одновременным применением щеток.

плат с печатным монтажом. Пайка используется и для других целей, таких как ремонт, исправление и замена компонентов на платах. При этом выполняются только локальные пайки. Другой проблемой является паяние компонентов на панели вручную, когда производится индивидуальная пайка. Здесь можно использовать либо припой с введенным в середину флюсом, либо жидкий припой.

Исследуем эти методы.

Метод 1. Использование припоя с сердцевинной. Флюс может быть размещен внутри трубчатого припоя. В этом случае флюс состоит из твердого вещества, порошка или очень густой пасты. Когда такой припой соприкасается с нагретой поверхностью фольги (но не с паяльником!), флюс, который имеет точку плавления гораздо ниже, чем припой, вытечет из припоя и смочит поверхность. При дальнейшем контакте (нагревании) температура припоя достигает точки плавления и он превращается в жидкость, кото-

рая растекается по поверхности, предварительно очищенной и обработанной флюсом. Таким образом, флюс и припой наносятся одновременно, но из-за разных точек плавления флюс успевает подготовить поверхность к металлургическому соединению. Метод введения флюса в сердцевину припоя сложен и создает опасность, что небольшие ямки и выбоины могут вызвать разрыв в сердцевине флюса. При использовании припоя с таким разрывом никакой флюс не сможет подготовить поверхность и пайка получится непрочной.

Одним из основных преимуществ использования припоя с сердцевиной является то, что количество флюса, нужное для каждого соединения, устанавливается предварительно и, следовательно, контролируется. Существуют различные методы информации потребителя о соотношении флюса в припое. Соотношение приводится либо в объемном отношении флюса к припою, либо в весовом. Для справок приведена табл. 13.1.

Таблица 13.1

Сердцевинный припой — количество флюса в сплаве

ASTM B 284—58T («беловодная канифоль»)		QQ-S-571C		
требуемый вес, %	предельный вес, %	номер сердцевины	% по объему	% по весу
0,55	0,45—0,65	1	10	1,1±0,2
1,10	0,9—1,30	2	20	2,2±0,4
2,20	1,90—2,50	3	30	3,3±0,6+0,7
3,30	2,60—3,90	—	—	—

Сердцевинный припой может быть изготовлен в различной форме и поэтому особенно ценен в автоматических устройствах. Это широко применяемая форма нанесения флюса. Для каждого отдельного случая должно быть правильно выбрано соотношение флюса и твердого вещества в сердцевине.

Основные выводы состоят в следующем:

1. Чтобы паять поверхность, потребуется какое-то количество флюса для предварительной очистки. Это количество невелико при новом изделии или при ремонте, однако для ручной пайки печатных схем потребуется более высокий процент флюса.

2. Для пайки нужны определенные температура и время. Важно отметить, что чрезмерное нагревание жала паяльника может вызвать отслаивание металлических частей печатных схем от подложки и поэтому необходимо пользоваться флюсом и производить пайку за возможно короткий срок.

3. Количество допустимых осадков флюса зависит от общей очистки самой платы.

Структура сердцевинного припоя и метод его использования даст уверенность в дезактивации флюсов, которая невозможна при работе с внешними жидкими флюсами. Прежде чем флюс попадает на поверхность, предназначенную для пайки, его надо разогреть и выплавить из сердцевины. Поэтому правило пользования сердцевинным флюсом таково, что удаление остатка флюса не обязательно, тогда как удаление внешнего активированного флюса считается желательным из-за возможной коррозии. Удаление неактивированных флюсов, внешних или из сердцевины, не обязательно.

Поэтому рекомендуется сделать несколько опытов с различными количествами флюса в припое, чтобы установить, какая сердцевина наиболее подходит для каждого конкретного случая.

При неправильном использовании сердцевинного припоя появляется опасность его перегрева. Высокая температура будет способствовать испарению низкокипящих компонентов флюса, вызывая тем самым большое увеличение объема и разбрызгивание. При более значительном перегреве может получиться герметичное оплавление рабочей части трубки припоя, затрудняющее доступ флюса к поверхности пайки. Если происходит разбрызгивание, то рекомендуется применять паяльники с более низкой температурой. Если паяльник поднести к припою так, чтобы флюс быстро нагрелся, в то время как концы паяльной проволоки закупорены, разбрызгивание будет еще сильнее. Однако, если припой подогревается на горячей поверхности и к тому же имеются открытые отверстия для флюса, разбрызгивание заметно уменьшается. Использование более низкого содержания флюса в сердцевине также помогает уменьшить разбрызгивание.

Метод 2. Применение внешнего флюса и использование брускового или проволочного сердцевинного припоя. Возможно использование внешнего флюса, который может на-

носиться на площадки, предназначенные для пайки, и брускового либо проволочного сердцевинного припоя. Этот метод занимает много времени и поэтому не очень распространен. Одну модификацию этого метода, однако, стоит отметить. Использование специально окрашенных, быстро сохнувших паяльных флюсов может производиться как часть профилактической процедуры. В этом случае контролер при помощи небольшой щетки из верблюжьего волоса наносит окрашенный флюс на все те соединения, которые подлежат коррекции или переделке. Таким образом можно даже производить перестановку компонентов. Этот флюс быстро высыхает и оставляет тонкую пленку в том месте, где должна производиться пайка, и так как пленка окрашена, то оператор легко находит соединения, подлежащие исправлению.

Метод 3. Отметим еще один путь использования флюса с припоем. Этот метод используют, главным образом, для миниатюрных конструкций при применении плоских компонентов в печатных схемах. Разработано специальное соединение припоя с флюсом, названное «паяльной пастой», которая может наноситься на поверхности и затвердевать на месте. После затвердевания смесь припоя и флюса образует похожее на краску однородное плотное покрытие. Этот материал наносится избирательно на плату с печатным монтажом на те места, где должна производиться пайка. В сущности это операция по предварительному размещению крошечных брикетов в нужных местах без применения дополнительных средств удержания их на местах в течение всего монтажа. Затем концы, предназначенные для пайки, располагают на площадках, где уже нанесена сухая паяльная паста, и всю поверхность соединения равномерно подогревают горячим воздухом, газом, в термостате концентрированным облучением, паяльником или каким-нибудь другим способом, чтобы затвердевшая паяльная паста превратилась в утолщение нужной формы. Для этого метода характерно предварительное нагревание припоя и флюса для каждого отдельного соединения.

7. Предварительный нагрев

После обработки флюсом важными факторами считаются время выдержки флюса и температура. Было выяснено, что недостаточно подвергнуть изделие обработке флюсом.

а нужно, чтобы флюс находился на поверхности достаточное время при определенной температуре, называемой «температурой активации». Продолжительность и температура выдержки определяют степень готовности поверхности фольги к пайке. Иногда вводят дополнительные операции: сушку и предварительный нагрев. Точное время и температура этих процессов зависят от способа использования, но так как предварительный нагрев дает некоторые положительные эффекты, то им можно пользоваться, если даже система флюс — основной металл не нуждается в этом.

Часто платы перед флюсованием проходят какую-либо обработку в гальванических ваннах. Если плата при этом впитает (за счет пористости) некоторое количество раствора или воды, то пайка при повышенной температуре приведет к закипанию, вызывая не только разбрызгивание самого припоя, но и образование большого количества паров, которые могут проникнуть в припой, образуя полости. Поэтому очень полезен предварительный нагрев, проводимый либо до обработки флюсом, либо после нее.

Подогрев между обработкой флюсом и пайкой испаряет также любые растворители и разбавители, используемые при изготовлении флюса. Это приводит к уменьшению разбрызгивания и уменьшению образования газа, которые действуют так же, как и поглощаемые жидкости, описанные выше, вызывая пористость паяных соединений и самой платы.

Кроме того, предварительный нагрев уменьшает термический удар, полученный платой во время пайки. Если плата с компонентами подогревается постепенно и однородно, то уменьшаются изгиб и перекашивание, сопровождающие операции окунания печатной схемы в припой. На рис. 13.7 показано устройство, которое излучает тепло, идущее с обеих сторон транспортера. Это предпочтительнее теплового устройства, где тепло излучается с пластин, размещенных непосредственно под панелью с печатным монтажом, так как любое просачивание флюса с панели на горячую поверхность пластины будет вызывать ее загрязнение и образует нежелательный экран на ней. Другим эффективным методом является струя горячего воздуха. Удар горячего воздуха по поверхности улучшает качество конечного соединения и к тому же устраняет опасность загрязнения нагревателя просачивающимся флюсом. Если источник тепла не находится непосредственно под изделием, обычно для собирания просачиваемого флюса используют алюми-

евую фольгу. Фольгу ежедневно меняют, обеспечивая чистоту устройства при минимальной стоимости.

Такая промежуточная операция особенно полезна в тех случаях, когда используются флюсы с низким содержанием канифоли, с высокой концентрацией связующего вещества или растворителя. В описываемых ранее флюсах, где высокоэффективный органический кислотный флюс суспензирован в быстровысыхающем связующем веществе,

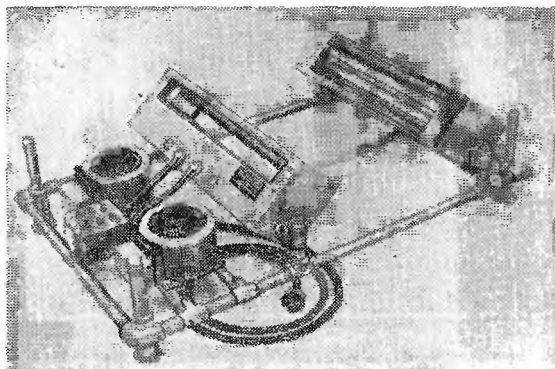


Рис. 13.7. Устройство для предварительного подогрева.

эта предварительная операция нагрева помогает удалить связующие вещества. С другой стороны, возникает опасность пересушки, которая уменьшает подвижность флюса и может даже вызвать преждевременное отверждение агентов флюса, которые быстро становятся непригодными для пайки. Так как органические материалы имеют тенденцию твердеть в виде углеродистых слоев, которые обычно не удаляются расплавленным припоем, это само по себе может вызвать ухудшение паяемости. Поэтому перед началом монтажа нового участка рекомендуется сделать небольшую выдержку между обработкой флюсом и пайкой для проведения предварительного нагрева и, если необходимо, сушки. Некоторое дополнительное удлинение сборки при этом явится дешевым способом страхования от каких-либо изменений в конструкции, сборке или материале. При предварительном нагреве следует также строго контролировать количество выделяемого тепла, так чтобы поддерживался правильный режим процесса.

Процесс пайки — это нанесение расплавленного припоя на обработанные флюсом поверхности с целью получения смачивания, требуемого для металлургического соединения. Процесс пайки печатной схемы заключается в одновременной подаче тепла и припоя. В связи с редким использованием ручной пайки описание инструментов для ручной пайки, ремонта и перепайки будет дано ниже. Заметно стремление подразделять пайку на ручную и автоматическую, но в действительности это искусственное разграничение. Более правильно классифицировать операции по их основному содержанию — температуре и подаче припоя. Этим облегчается их выбор и применение в нужных случаях.

В табл. 13.2 сравниваются основные методы пайки. Они расположены в порядке возрастания пригодности к массовому производству продукции и автоматизации. Далее все они будут рассмотрены подробно со всеми своими преимуществами и недостатками. Будут отмечены также различные варианты и дополнительные качества этих методов.

Пайка окунанием в тигель. В самом старом методе пайки печатных схем был, вероятно, использован тигель для пайки с окунанием вручную. При этом припой содержится в расплавленном виде при температуре паяния и вся его масса обладает достаточным количеством тепла, чтобы обеспечить паяемость печатной схемы. При пайке окунанием тигель используется и как источник тепла и как место для хранения припоя. Предварительно обработанную флюсом плату с печатным монтажом медленно погружают в тигель с припоем и через определенный промежуток времени вытаскивают обратно. Преимущество такого метода пайки заключается в том, что можно контролировать вес и температуру припоя, остающегося на плате. Если его получается больше, чем положено, легкое соскабливание позволит избавиться от излишнего припоя. При правильно собранной плате однородность паяных соединений такова, что соскабливание требуется редко. Отметим, что соскабливание может представлять некоторую опасность, так как при застывании припоя можно сдвинуть компоненты и этим самым вызвать трещину в паяном соединении. Другой способ удаления излишка припоя заключается в том, что производится вторичное окунание в тот же тигель.

Сравнение методов пайки

Метод пайки	Температура припоя	Время пайки	Тепловая деформация изделия	Капиталовложения	Объем продукции	Время	Необходимо контролировать			Рисунок
							температуру	уровень (припоя)	угол входа	
Окунанием	Выше средней	Продолжительное	Большая	Малые	Малый	Обработка вручную	×	—	—	13.8
С волочением	То же	То же	То же	Умеренные	Умеренный	×	×	×	—	—
Волной	Средняя	Среднее	Малая	Средние	Средний	×	×	×	×	13.9 13.13
Каскадная	»	Короткое	Средняя	Высокие	»	×	×	×	×	13.14
Струей	»	Среднее	Данные отсутствуют	Данные отсутствуют	»	×	×	×	×	13.15

Поверхность припоя в тигле необходимо каждый раз очищать, прежде чем погрузить в припой очередную плату с печатным монтажом. Это преследует следующие цели: удаляет все окислы и потускнения с поверхности расплава, которые служат термическим барьером между припоем и изделием, удаляет загрязнения с поверхностей, предназначенных для пайки, и осуществляет непосредственный контакт между ними. Снятие верхнего слоя обычно происходит с помощью скребка из несмачивающегося материала, который выдерживает повышенную температуру и не растворяется в припое. Такими материалами являются тефлон, теплостойкое стекло, керамика, нержавеющая сталь. Очистить поверхность припоя от окислов можно, создавая на поверхности расплава пену из жидкостей или газов. Кроме того, можно пользоваться неактивными компонентами флюса, которые часто называют накрывающим слоем. В качестве таких материалов могут использоваться теплостойкие смолы, сходные со смолами флюса, пальмовое масло, стеариновая кислота, воск и т. д. Они не только предохраняют поверхности от потускнения, но и уменьшают образование окалины. Жидкости, такие как силиконовые масла, жиры и различные нефтяные продукты, также могут образовывать пену на поверхностях, предохраняя их от дальнейшего окисления. Однако их применение должно быть тщательно исследовано, так как осаждение их конденсированных паров может создать серьезные проблемы ухудшения паяемости печатных схем. Требуется соответствующая вентиляция и правильное экранирование платы от испарений этих материалов, особенно от силиконовых масел, которые тяжело удалять при окончательной сборке.

Для уменьшения окисления припоя можно использовать инертный газ, например азот или CO_2 . В некоторых случаях на поверхность припоя наносятся твердые материалы, например куски активированного угля, расколота ореховая скорлупа, гранулированный асбест или гравий (размером с горошину). Эти материалы служат, главным образом, механическим экраном между кислородом атмосферы и поверхностью припоя.

Тигель с припоем обычно оборудуется электрообогревом. Имеется большое разнообразие моделей тиглей, и выбор зависит от конкретных требований (рис. 13.8).

Рассмотрим общие принципы выбора. Тигель конструируется так, чтобы середина имела более высокую темпера-

туру, чем периферия. Это создает естественную конвекцию, которая будет перемешивать припой. При этом поддерживается высокая степень однородности и исключаются «мертвые места» в течение отдельных периодов. Это конструктивное требование легко осуществляется при размещении нагревающего элемента в середине тигля. Нагревание необходимо контролировать. Если термическая мощность элемента не согласована с массой припоя и требуемой

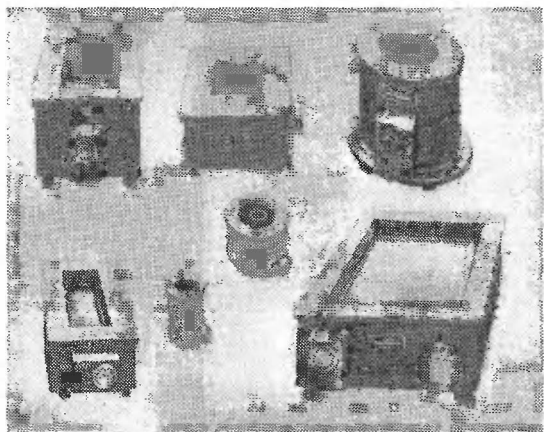


Рис. 13.8. Тигли для припоя.

температурой, возникнут большие температурные неоднородности. Желательно иметь такой тепловой элемент, который восполнял бы потери тепла и обеспечивал устойчивую температуру во все время паяния. Такой элемент, однако, потребует длительного времени для разогрева тигля от комнатной до рабочей температуры, и поэтому для ускорения подготовки тигля к паянию потребуются дополнительный быстронагревающий элемент. К сожалению, трудно сконструировать такой идеальный элемент для коммерческого тигля, осуществляющего любые пайки. Следовательно, для универсальности тигля добавляется некоторый температурный регулятор (главным образом биметаллический), действующий на «+» и на «—». При автоматической пайке допускаемые отклонения от температуры пайки меньше и поэтому требуется более сложный температурный контроль.

В тиглях обычно предусмотрена вытяжная вентиляция для удаления неприятных запахов и вредных испарений, получающихся при разложении флюсов. Воздух проходит в вытяжные отверстия вдоль поверхности припоя, способствуя как окислению припоя, так и охлаждению верхнего слоя. Быстрое перемещение воздуха вдоль тигля над припоем снижает температуру припоя на 5°C . Было замечено, что температура уменьшается приблизительно на 1° , даже когда нет движения воздуха. Эти, а также температурные изменения, вызванные окунанием больших паяемых масс, могут быть легко компенсированы увеличением массы припоя или его дополнительным перемешиванием.

Чистота припоя способствует повышению качества и однородности паяных соединений. Уровень чистоты сплава необходимо тщательно контролировать. Если загрязнения достигают уровня, при котором возникают проблемы производственного брака (индивидуальные для каждого процесса), сплав припоя должен быть либо очищен, либо заменен. Возможна металлургическая очистка паяльной ванны, но используемые для этого материалы являются высококоррозийными, низкокипящими и опасными как для оборудования, так и для вентиляционной системы. Поэтому рекомендуется выбрасывать загрязненный припой и заменять его чистым.

Некоторое количество загрязнений можно удалять из паяльной ванны, подбирая режим нагревания и охлаждения. Если продукты загрязнения плавятся при более высокой температуре, чем припой, то при охлаждении они либо всплывают, либо осаждаются на дно тигля из-за разности удельных весов.

Загрязненность увеличивается и за счет материалов, погружаемых в тигель с припоем. Медь, например, быстро растворяется в припое, в результате чего припой приходится браковать по медному загрязнению. В изделиях с очень малым поперечным сечением, таких как тонкая проволока, дополнительная опасность заключается в том, что воздействие припоя на изделия с малым поперечным сечением может вызвать повышение их хрупкости и даже полное растворение, что можно видеть на примере тонких проволочек из меди (диаметром в $0,0025\text{ мм}$) и золота, опущенных приблизительно на 10 сек в тигель с оловянисто-свинцовым припоем. Тигель с припоем может быть загрязнен также арматурой и держателями, периодически вводимыми в ти-

гель, хотя сами они и не паяются. Одним из вредных загрязнителей является алюминий. Тигель, держатели и арматура должны быть выполнены из стали или другого конструктивного материала. Если выяснен характер загрязнения припоя, то можно составить план охлаждения тигля на конец рабочей недели таким образом, чтобы все или почти все продукты загрязнения снимались с припоя до его полного затвердевания. При нагревании припоя в начале следующей рабочей недели его необходимо хорошо перемешать, чтобы предотвратить появление выделений и сохранить однородность.

Медь, например, образует интерметаллическое соединение Cu_6Sn_5 , которое понижает содержание олова в припое, приводит к возрастанию температуры плавления системы, а следовательно, температуры, необходимой для прочной пайки. Поднятие температуры тигля в этом случае не решает проблемы, так как возрастание температуры в паяльной ванне увеличивает скорость растворения меди изделия в припое, что приводит к дальнейшему увеличению количества интерметаллических соединений. Это вызовет необходимость дальнейшего увеличения температуры и, таким образом, приведет к замкнутому кругу. Когда содержание оловянно-медного соединения в припое начнет вызывать понижение его подвижности, следует охладить ванну с припоем на $3^{\circ}C$ относительно нормальной температуры. При этом оловянно-медные кристаллы отделяются от припоя и их можно будет удалить перфорированным черпаком. После удаления этих продуктов, паяльную ванну снова нагревают до температуры плавления и добавляют припой, который должен быть теперь несколько богаче оловом, чем первоначальный сплав. Эта добавка олова возместит его потери в ванне, обусловленные медным загрязнением. Надо заметить, однако, что с помощью этой процедуры можно отделить только часть меди. Медь, находящуюся в припое в растворенном состоянии, таким способом удалить нельзя.

Способны образовывать металлические соединения также другие материалы, такие как железо, которое всплывает на поверхность. Они могут быть удалены по мере накопления, и припой можно использовать без охлаждения или нагревания. Некоторые из этих загрязнений можно оставлять в паяльной ванне до конца рабочей недели, например кадмий, который не особенно влияет на работоспособность

паяльной ванны. Кадмий может быть удален в конце недели таким же образом, как медь.

Пайка с волочением. Работу тиглей с припоем можно автоматизировать, создав машину, обычно называемую волочительно-паяльной. Здесь изделие поступает на приводную полосу конвейера, проходит на нем различные стадии сборки и другие операции, предшествующие пайке, и затем поступает в тигель.

Обычно панели с печатным монтажом устанавливаются на лопасть, скрепленную цепью таким образом, чтобы вдоль тигля с припоем лопасть удерживала панель с печатным монтажом на поверхности расплавленного металла. Глубина погружения в припой зависит от веса панели с печатным монтажом и от лопасти, соединенной со свободно плавающими панелями, которые протаскиваются вдоль тигля с припоем. В конце тигля с припоем лопасть поднимается конвейерным механизмом и переносится на конечный пункт конвейера.

Пока лопасть и панель с печатным монтажом устанавливаются так, чтобы они могли свободно плавать на поверхности тигля, существует определенная опасность. Поскольку уровень припоя в тигле изменяется, отдельные участки могут погрузиться либо слишком глубоко, либо недостаточно глубоко для получения прочного соединения.

При этой операции предусмотрены устройства для снятия загрязнений с поверхности припоя перед каждой лопастью. Хотя это более механизированный процесс, чем окунание, время выдержки изделия в припое имеет тот же порядок, что в тигле, и гораздо больше, чем при пайке волновой и подобных процессах.

Этот метод применяется обычно в тех случаях, когда выпускается большое количество однородных печатных схем. Когда же приходится паять на этих же устройствах печатные схемы разных видов и содержания, этот метод считается неудобным, так как трудно проследить за тем, чтобы получились оптимальные результаты. Кроме того, тепловая деформация плат, обусловленная продолжительным временем пайки, получается больше, чем при других методах, которые будут описаны ниже. Качество выпускаемой продукции намного повысится, если к протягивающему устройству добавить мешалку. Правильный отбор материалов, постоянный контроль за качеством пайки панелей и перемешивание дадут в результате высокую степень одно-

родности и хорошую надежность при пайке с протягиванием.

Пайка волной. На сегодняшний день большинство плат с печатным монтажом паяется с помощью оборудования, предназначенного для пайки волной. Этот метод был первоначально разработан для машины, осуществляющей пайку струей (рис. 13.9), и иногда ассоциируется с этим видом операции.

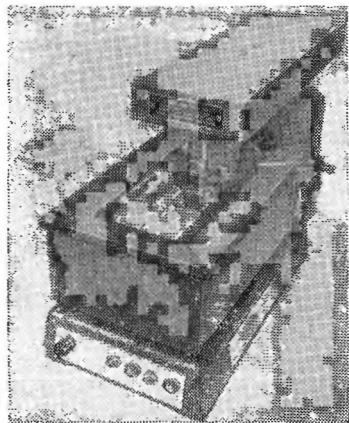


Рис. 13.9. Самая маленькая машина для пайки волной с встроенной автономной системой перекачки. Эта модель, как и более крупные модели, использующие перекачку: ма-
сла, рассчитана] на припой с температурой плавления около 220° С.

Пайка волной — это автоматический метод подачи припоя, когда поток припоя нагнетается в желоб, образуя волну, через которую пропускается изделие. На рис. 13.9—13.11 показаны машины для пайки волной, которые могут быть пригодны для любой технологической линии. На рис. 13.12—13.13 показана вся система пайки — обработку флюсом, предварительный нагрев, пайку и последующую очистку. У пайки волной много преимуществ. Энергичное движение припоя по поверхности, предназначенной для смачивания, уменьшает величину времени пайки на несколько порядков. Уменьшение времени смачивания достигнуто как

благодаря быстрой передаче тепла [движущимся припоем, так и благодаря механическому движению припоя у поверхностей, которое помогает термодинамическим силам «размазывать» припой. В результате температурная деформация изделий снижается так же, как и уровень обогрева вообще, и можно паять приборы, особенно чувствительные к перегреву.

Рисунок печатной схемы, проходя через волну припоя, претерпевает некоторую тепловую деформацию. Когда плата проходит через волну припоя, деформации подвергаются места контакта рисунка с припоем. Деформация как бы совершает движение, противоположное движению платы.

Рис. 13.10. Самая большая модель машины для пайки волной, допускающая использование волны шириной до 60 см. Допускает длительную работу при температурах до 470°C . В правом верхнем углу один из возможных вариантов устройства для нагнетания масла, совместимый с этой машиной.

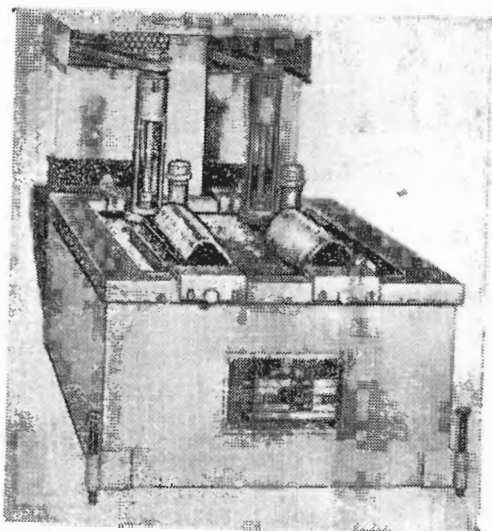
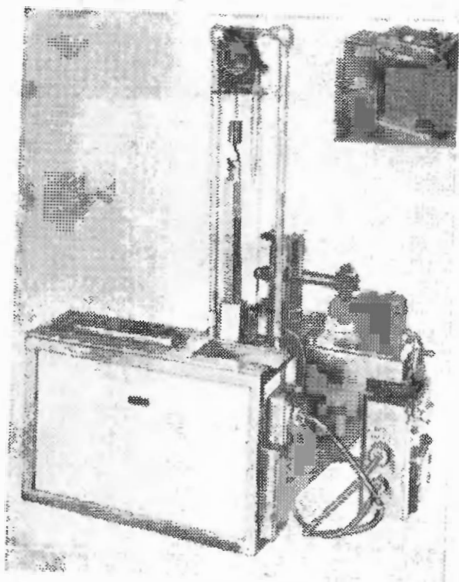


Рис. 13.11. Машина, использующая двойную волну припоя для улучшения формы получаемых лаяных соединений. Перед второй волной припоя подачи флюса нет.

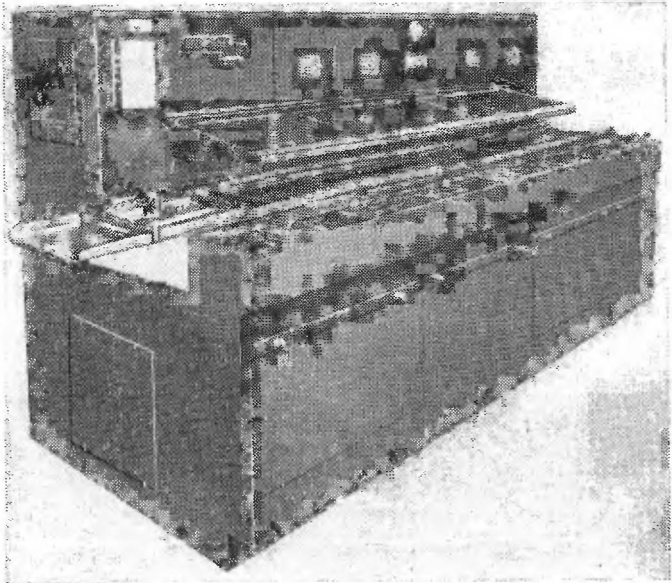


Рис. 13.12. Пример технологической линии.

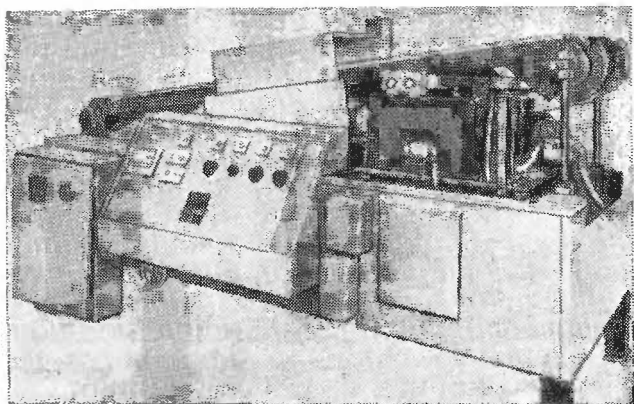


Рис. 13.13. Технологическая линия для флюсования, предварительного подогрева и пайки печатных плат. Импе́дансный угол между изделием и припоем регулируется с целью получения минимального желоба волны.

Но к тому времени, когда плата с печатным монтажом освободится от волны припоя, на ней не будет видно вспучивания или общей деформации. В этом основное отличие пайки волной от пайки окунанием.

То, что свежий припой нагнетается все время поверх старого припоя, препятствует скоплению отходов на поверхности соприкосновения с изделием. В результате отпадает необходимость непрерывной очистки. Кроме того, весь флюс и осадки флюса, которые ухудшают работу и обычно плавали бы на поверхности паяльных ванн, уносятся волной в специальный резервуар и не соприкасаются с последующими изделиями.

Еще одно важное преимущество пайки волной заключается в том, что припой, который отсасывается из основного резервуара, имеет всегда одинаковую температуру и новый поступающий припой не успевает охладиться воздухом или по другим причинам. Таким образом, температура припоя в месте контакта с платой всегда однородна и может легко контролироваться и поддерживаться постоянной. Сочетание этих свойств делает этот способ пайки эффективным орудием автоматизации и пригодно для большого количества изделий с высокой производительностью и надежными паяными соединениями. Имеется большое количество присадок, которые могут всплывать на поверхность резервуара с волной припоя и уменьшать шлакообразование, а в некоторых случаях способствуют восстановлению шлака в металл.

Можно вместе с припоем подавать масло, которое будет благоприятно воздействовать на изделие. Масло служит в этом случае дополнительным барьером между припоем и атмосферой и препятствует быстрому окислению последнего. Замечено, что окислы вызывают появление бугров и способствуют стеканию припоя с обрабатываемых поверхностей, когда изделие выходит из волны припоя и начинается отвердевание. На рис. 13.9 показано такое устройство, где припой накачивается на изделие вместе с маслом. Отдельно показана форсунка, впрыскивающая масло, которая может быть присоединена к устройству, как показано на рис. 13.10. Устройство сконструировано таким образом, чтобы по всей волне припоя получался равный слой масла. Качество впрыскиваемого масла можно легко проконтролировать. Масло впрыскивают у основания лопастей турбины, где скорость припоя наибольшая. Обычно применяют авто-

матизированный процесс впрыскивания, который разбрызгивает крошечные капли масла по всей волне припоя. В этом устройстве масло, имеющее осадки флюса, заново не циркулирует. В том случае, если при любом способе пайки используют такой масляный слой, необходимо провести соответствующую очистку после пайки.

Очевидно, что для уменьшения времени пайки волной важно осуществлять предварительный нагрев перед пайкой, чтобы сообщить флюсу нужную температуру и тем самым необходимую подвижность для очистки поверхности припоя. В большинстве случаев пайки во время нагревания целесообразна некоторая обработка флюсом, но это совершенно не пригодно при пайке волной, поскольку флюс немедленно уносится при первом же соприкосновении с волной припоя. Загрязнение припоя является и в этом случае острой проблемой, хотя пайка проходит в более короткое время и при более низкой температуре. Энергичное движение волны припоя по поверхности, предназначенной для смачивания, может увеличивать скорость растворения некоторых загрязняющих включений, так что следует рассмотреть возможность покрытия платы металлом, не поддающимся эрозии под действием расплавленного припоя. Никель, хотя и хуже поддается пайке, чем медь, служит прекрасным барьером даже при тонком слое между легкорастворимой медью и оловом припоя. Паяемость металла зависит от свойств примененного флюса. Предварительное лужение медных поверхностей — один из методов, служащих этой цели. Можно также сделать маску из материала, стойкого к действию припоя, для уменьшения площади меди, подвергаемой воздействию припоя. Есть один момент, который требует более пристального внимания, чем при ранее описанном способе пайки в тиглях. Речь идет об образовании шлака в тигле с припоем. Если не присутствуют дополнительные материалы и поверхность припоя покрывается слоем шлака, его можно рассматривать как тонкую пленку, состоящую из окислов олова и свинца. Припой на скате волны не всегда может преодолеть этой слой окислов, и во многих случаях поверхности капель припоя покрываются сухим шлаком. Слой материала, серебристого и довольно мягкого (пористого), образуется на стенах тигля с припоем. Было установлено, что это жидкость, которой определено не хватает текучести. Содержание: 99,5% или более беспримесного чистого металлического припоя, осталь-

ное окислы. При добавлении восстановителя, аналогичного по составу покрывающему слою, описанному выше, этот материал легко переходит обратно в жидкую металлическую фазу. Можно использовать любой мягкий флюс, который уменьшает поверхностное натяжение припоя и ведет себя как осадитель шлака. Таким образом, если паяльная машина простаивает и появляется такой серебристый пористый материал на поверхности припоя, достаточно прибавить активный поверхностный слой, чтобы решить эту проблему. Если таких мер не принять, то пористый слой достигнет места всасывания припойной волны, шлак попадает на плату вместе с припоем, вызовет комковатые паяные соединения и снизит общее качество монтажа.

Паяльная машина может работать вхолостую несколькими способами. Обычно, когда используется относительно вязкий канифольный флюс, одновременно с собственно пайкой припойной волной будет удалено большое количество канифоли с платы и канифоль вытеснена на поверхность припоя, где она будет вести себя либо как образователь шлака, либо как защитный поверхностный слой припоя. Однако если содержание твердого флюса или скорость, с которой изделие проходит сквозь волну припоя, сделать ниже критического значения, то количество канифоли, поступающей на поверхность, будет недостаточным для того, чтобы предотвратить появление пористого слоя шлака, и тигель будет работать в режиме, называемом «сухим».

Это допустимо, когда используют кислотные флюсы, растворимые в воде, когда канифоль не требуется для очистки поверхности от загрязнения и когда образуется большое количество пористого шлака. В этом случае применение различных материалов или инертных газов для защиты поверхности (как описано выше) не помогает уничтожению слоя пористого шлака. Для решения проблемы необходимо использовать материалы, которые в малой дозе оказывают различное действие на поверхностную активность припоя, а также геттера для шлака.

Как развитие волнового метода была создана машина с каскадной подачей припоя (рис. 13.14). И волна и каскад являются, в сущности, потоком припоя, который накачивается вверх и затем опускается под действием собственного веса. Изделие вводится при максимальном уровне припоя. Потоком припоя, однако, можно управлять и в зависимости от изделия направлять его на место, которое должно

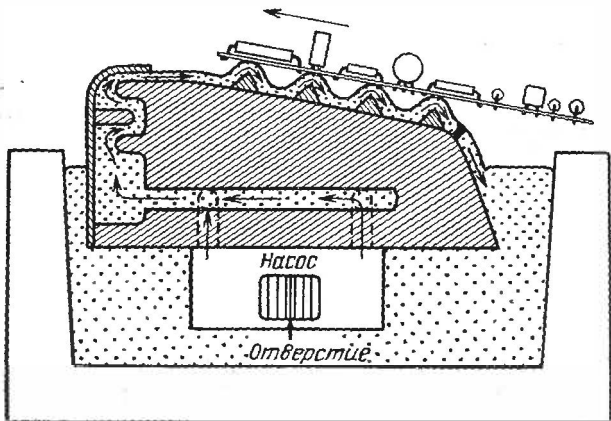


Рис. 13.14. Пример каскадной многократной пайки. Машины такого типа могут также работать при вертикальной подаче плат.

смачиваться. Такой вид пайки называется пайкой струей. Если поток непрерывен, то количество припоя может быть

рассчитано заранее в зависимости от материала обрабатываемой панели.

Все сказанное о волновой, или каскадной пайке можно отнести также и к пайке струей. Добавим только, что это очень сложный метод и реализуется он только в специальных устройствах (рис. 13.15).

Для повышения надежности пайки механизированное оборудование применяется теперь и для предварительного покрытия плат. На рис. 13.16 показана машина, где платы без компонентов погружаются в тигель с припоем и покрываются маслом. В течение всей операции плата вращается со все возрастающей скоростью таким образом, что, когда она выходит из припоя и проходит через масло над ним, центро-

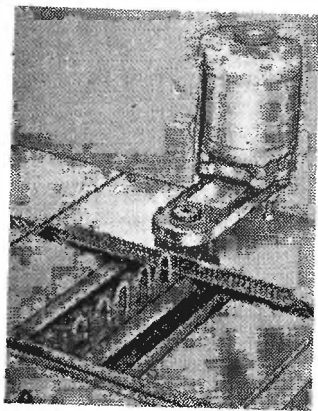


Рис. 13.15. Устройство для пайки струей.

центрируется.

бежные силы удаляют все излишки припоя с поверхности, оставляя покрытие, имеющее хорошую смачиваемость толщиной порядка 1,5 мкм со смазкой.

Ручная пайка. До сих пор мы рассматривали пайку панелей с печатным монтажом машинами с одновременной пайкой всех соединений. Однако часто возникает необходимость либо припаять что-то в монтаже, либо перепаять

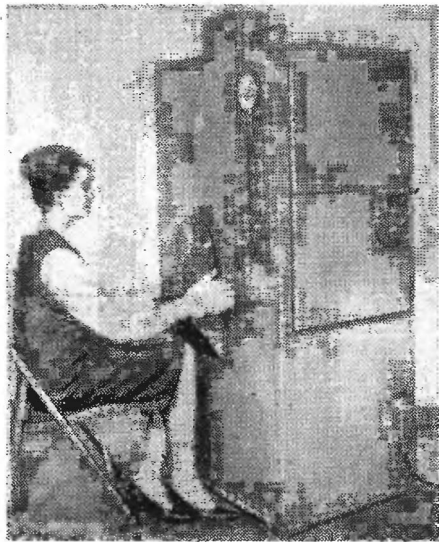


Рис. 13.16. Автоматическая центробежная лудильная машина.

элемент на готовой плате. Это могут быть ремонтные работы, исправления, починка поврежденных соединений, подбор компонентов, изменение схемы или введение температурно-чувствительных компонентов. В некоторых случаях требуется собрать панель со схемой полностью вручную из-за малых габаритов или по техническим условиям ASA для военных или других целей.

Пайка панелей с печатным монтажом с помощью паяльника должна проводиться осторожно из-за высоких температур. Обычно паяльник работает при таких температурах, что плата с печатным монтажом при очень длительной пайке может быть разрушена.

Чтобы пояснить это, вспомним, что плата с печатным монтажом представляет собой структуру, состоящую из медного слоя проводника и неметаллического изоляционного материала с какой-нибудь клейкой прослойкой. Чрезмерный нагрев будет в большинстве случаев вызывать отслоение меди от основы из-за разрушения клейкой прослойки, а в некоторых случаях и из-за разрушения материала самой панели. Такая плата считается бракованной. Чтобы избежать этой и других подобных проблем, мы вначале поговорим о самих паяльниках.

Так получается, что паяльникам всегда уделяли мало внимания, особенно газовому, хотя он является одним из старейших инструментов, используемых при пайке, и, однако, очень мало было сделано для того, чтобы ввести на него промышленные стандарты. Качество паяльника как инструмента почти не улучшалось. Это наводит на мысль, что нет двух взаимозаменяемых паяльников, выполненных разными производителями. Вот из-за чего мы должны более глубоко рассмотреть вопрос о паяльниках и выяснить основные критерии отбора.

Группа паяльников, которая должна стать ведущей при работе с печатными схемами — это паяльники-пистолеты. При работе с ними температурный контроль затруднен, но количество выделяемого тепла прямо пропорционально времени замыкания выключателя (электрического контакта). Во многих пистолетах жало паяльника обогревается одним витком вторичной обмотки трансформатора, который работает на больших токах и быстро нагревает наконечник. Эти паяльники громоздки, тяжелы и пригодны разве только для случайных паек разнообразных соединений. Стремление монтажников использовать эти пистолеты из-за их быстрого нагрева неоправдано. Так как современный паяльник может простаивать включенным в течение сотен часов без всякого ущерба, то при пайке любых печатных схем монтажники могут обойтись и без паяльных пистолетов. У последних жало может перегреваться, и монтажник никогда не может быть уверен в том, что оно имеет нужную температуру.

Еще о паяльниках. Как уже было сказано выше, паяльники не всегда подогреваются электричеством. До XX века жало паяльника подогревали огнем, углем, в камине и другими непосредственными способами. Только в 1893 г. был заявлен первый патент на электрический нагрев паяльника. К тому времени большинство паяльников были громоздки

и использовались для пайки больших металлических изделий. С появлением электричества в обиходе появились менее громоздкие паяльники, нагреваемые электричеством. Современная промышленность использует жало самых разнообразных форм и размеров.

Несмотря на долгую историю паяльников, в литературе не было обнаружено никакого инженерного обоснования их. Однако требования, предъявляемые к такому широко используемому инструменту, становятся все более и более серьезными. Тонкая работа по сборке печатных схем и компонентов требует тщательной балансировки термических характеристик и правильного подбора жала паяльника.

Паяльники обычно классифицируют по мощности. Однако это может ввести в заблуждение, если ничего не говорится о свойствах жала. Кроме мощности должна быть известна эффективность жала, которая определяется как количество тепловой энергии, которая в действительности выделяется на жале паяльника и на самой поверхности припоя. Кроме того, нужно знать теплоемкость жала и скорость восстановления температуры. Эти три параметра и другие, которые подробнее будут рассмотрены дальше, однозначны для каждой модели паяльника и могут служить для сравнения и оценки всех паяльников.

Максимальная температура. Максимальная температура — это температура равновесия, при котором количество тепла, передаваемое в спираль, равно количеству тепла, рассеиваемому вокруг, и температура жала поддерживается на одном уровне. Хорошо сконструированный паяльник должен иметь одну и ту же максимальную температуру для заданного напряжения, постоянную для каждой модели.

Теплоемкость. Теплоемкость — это в нашем случае количество тепла, содержащегося в паяльнике и способного совершать пайку. Она зависит от удельной теплопроводности различных металлических деталей, которые находятся между элементом, содержащим тепло, и изделием. Количество тепла, запасенного в любой из этих деталей, зависит от их объема и температуры. Если теплоемкость жала не соответствует теплоемкости изделия, может произойти один из двух следующих вариантов.

1. Теплоемкость жала может оказаться слишком малой. Отдельные пайки могут снизить максимальную температуру жала настолько, что монтажнику придется ждать ее вос-

становления, а это означает потерю производственного времени. Если конфигурации паяного соединения и жала согласованы, то можно производить пайку соединений, не дожидаясь восстановительного периода, так как в этом случае количество тепла, нужное для получения паяного соединения, будет относительно небольшим.

2. Теплоемкость жала может оказаться слишком большой. В этом случае слишком много тепла будет подано на изделие, что может повредить его.

Скорость восстановления. Скорость восстановления — это применительно к паяльнику скорость восстановления максимальной температуры после расхода тепла за время работы. Она пропорциональна мощности и обратно пропорциональна теплоемкости и рабочей нагрузке жала и ограничивается условиями теплового равновесия.

Без приемлемой скорости восстановления паяльник не пригоден для работы. Мощность, теплоемкость и рабочую нагрузку выбирают исходя из того, что высокая максимальная температура или большая теплоемкость, с одной стороны, будут увеличивать время восстановления, а, с другой — малая теплоемкость при низкой температуре позволит уменьшить его. Когда жало предназначается для какой-то специальной работы, нужно иметь в виду все три характеристики и найти оптимальное их сочетание.

На рис. 13.17 показаны различные виды паяльников, имеющих в обиходе. (В действительности, здесь представлены только характерные серийные модели, выпускаемые разными изготовителями.)

Рассмотрим их внимательно, чтобы установить методику, с помощью которой можно было бы использовать основную группу паяльников в различных условиях.

Исходные предпосылки следующие:

1. Для потребителя невозможно всегда иметь наготове большое разнообразие паяльников, чтобы приспособливаться к различным работам, требующим разных тепловых режимов.

2. Непрактично пытаться обзавестись одним паяльником для выполнения всех работ.

Необходимость иметь основную группу паяльников не исключает необходимости в жалах с разными максимальными температурами из-за различия применяемых припоев. Так как источником тепла паяльника является сопротивление, то можно регулировкой входного напряжения изме-

нять подачу тепла в жало. Была изучена зависимость количества тепла от входного напряжения.

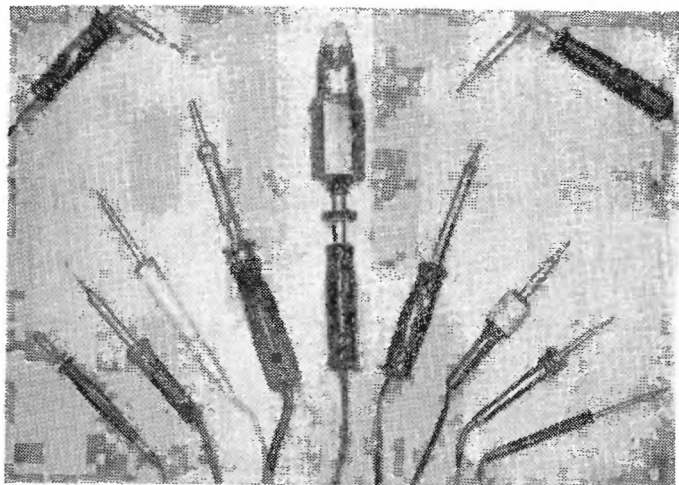


Рис. 13.17. Разновидности паяльников с сетевым питанием.

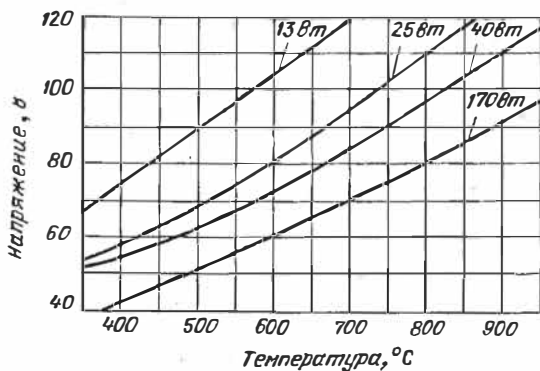


Рис. 13.18. Графики зависимости температуры жала паяльника от напряжения.

На рис. 13.18 показаны типовые кривые графической зависимости температуры от напряжения. Пользуясь ими, можно приспособить основную группу паяльников для широкого диапазона работ.

Для практического использования результатов этой работы понадобились несложные устройства. Различные автотрансформаторы могут легко изменять напряжение. Например, ЛАТР средней мощности может питать 5—10 паяльников одновременно. Всегда существует вероятность

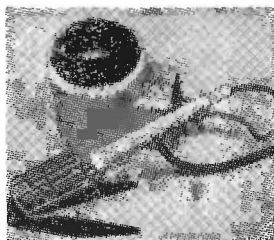
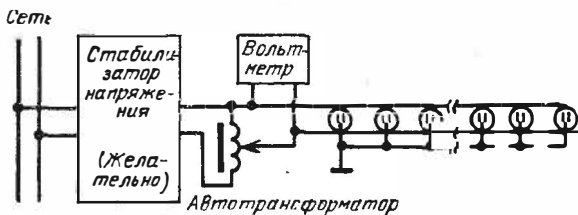


Рис. 13.19. Регулирование температуры жала паяльников на производственной линии. Число розеток ограничивается только мощностью выбранного оборудования.

изменения напряжения сети на 5—10 в в течение рабочего дня; поэтому между входной цепью и ЛАТРОм следует помещать стабилизатор напряжения.

На рис. 13.19 показано такое устройство. Отметим, что число штепсельных розеток ограничивается только номинальной мощностью всего устройства. Легко установить, какой ток (в амперах) протекает через каждый паяльник в зависимости от его мощности и входного напряжения. Таким образом можно установить, сколько паяльников можно подключить к одному ЛАТРОу.

В заключение отметим, что мощность паяльника неоднозначно определяет максимальную температуру на конце жала. Большинство изготовителей паяльников, однако, поддерживают приблизительно одинаковую максимальную температуру для разных размеров наконечников паяльников, сконструированных для работы с печатными схемами. Так, группа паяльников, предназначенных для выполне-

ния паёк на печатных платах, должна иметь максимальную температуру приблизительно $400\text{--}420^\circ\text{C}$, независимо от размеров наконечников и их конфигурации.

При этом следует помнить, что неизбежен разноразличий напряжения сети на разных рабочих местах, а так как мощность паяльников измеряется количеством тепла, развиваемого в резисторном элементе, то очевидна необходимость контролировать входное напряжение. Как правило, необходимо постоянно следить за напряжением, а в некоторых случаях достаточно перераспределять рабочую нагрузку на имеющейся на предприятии линии питания, чтобы быть уверенным, что напряжение не меняется.

Теперь можно дать некоторые рекомендации по выбору паяльника. При выборе типа паяльника необходимо руководствоваться многими критериями. Рассмотрим наиболее важные из них, которые можно разделить на три группы:

1. *Тепловые требования* зависят от свойств основного металла (теплоемкости и теплопроводности), конфигурации элементов (массы и геометрии), условий окружающей среды (температуры и окислительной активности) и типа флюса и припоя.

2. *Характер производства* определяется условиями производства (массового или индивидуального), производительностью, психофизиологическими характеристиками рабочего и требованиями к изготавливаемой аппаратуре (температура и время пайки).

3. *Тепловые характеристики паяльника*. Здесь имеют значения форма и размеры жала, мощность нагревателя. Одним из трудноопределимых характеристик является к. п. д. паяльника (т. е. относительное количество тепла, передаваемого от нагревательного элемента к концу жала). Именно поэтому целесообразно говорить о температуре жала, а не о мощности.

На практике паяльник чаще всего выбирают экспериментально. Для облегчения этой задачи в табл. 13.3 представлены 6 основных групп, на которые можно разделить паяльники. Очевидно, что сначала надо попытаться использовать самый маленький низковаттный паяльник, и только если он не подойдет, можно выбирать паяльник помощнее. Если даже у самого маленького паяльника окажется слишком много тепла, используется уменьшение напряжения, которое рассчитывается с помощью специальных кривых.

Классификация паяльников

Основные группы паяльников	Мощность, <i>вт</i>
Миниатюрные	До 25
Малой мощности	25—35
Средней мощности	35—45
Большой мощности	45—60
Легкий режим	60—100
Тяжелый режим	Свыше 100

Нельзя выбирать паяльник без жала. Следует руководствоваться следующими правилами (см. рис. 13.20, где представлены различные виды имеющихся жал):

1. Выбирать такую конфигурацию жала, которая дает максимальную площадь контакта между жалом и изделием. Это обеспечит лучшую передачу тепла

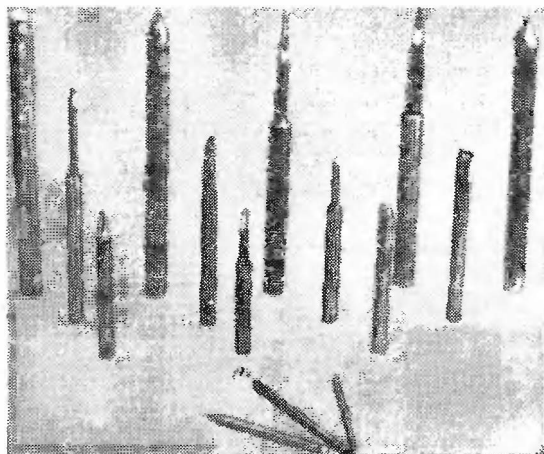


Рис. 13.20. Разновидности жал паяльников.

2. При выборе конфигурации следует рассмотреть наиболее удобный для работы вариант. Промышленность выпускает как прямые паяльники, так и Г-образные.

3. Для лучшей передачи тепла в жало конусообразный конец паяльника должен быть как можно короче. Удлиненная конусность имеет меньшую площадь теплопередачи.

4. Следует выбирать наиболее короткие жала, чтобы уменьшить колебание температуры и укоротить путь тепла от нагревательного элемента.

5. Следует правильно решить подачу тепла и помнить, что диаметр стержня определяет передачу тепла от элементов, чем он больше, тем лучше передача; диаметр жала определяет передачу тепла к изделию. Загнутые жала имеют более высокую температуру, но меньшую теплоемкость. Большие жала имеют более низкую температуру, но и больший запас тепла.

6. Срок службы незащищенных наконечников короткий, а расходы по восстановлению формы достаточно высоки. Жала, закрытые чехлом, имеют более длительный срок службы, но им труднее придать новую форму, соответствующую форме нового изделия.

Передача тепла от медного жала лучше, чем от любого другого, и это должно быть учтено при выборе паяльника.

Можно напомнить, что жала первых паяльников были сделаны из меди. Однако из-за быстрого искажения формы и загрязнения, вносимого в паяное соединение, современная электронная промышленность переключилась на большие размеры наконечников, с чехлом из стали, которые считаются более экономичными, хотя их начальная цена намного выше. Эти жала не требуют переделки формы, имеют стойкость более 200 рабочих часов и находят применение в практике, если только теплопроводность жала остается достаточной при уменьшенной теплопроводности слоя стали.

При выборе миниатюрных паяльников важна их общая длина, вес и форма. На рис. 13.21 показаны четыре маленьких паяльника разной мощности, от 12,5 до 25 *вт* (сверху вниз)). Отметим, что модель С может быть мощностью от 18 до 50 *вт*. Осторожность нужна при выборе модели А из-за ее чрезвычайно малых размеров и пригодности только для миниатюрных схем.

Вспомогательные средства для пайки. При паянии используются вспомогательные инструменты различного вида, конфигурации и размеров, ограничиваемые только теми из них, которые используются для пайки печатных схем.

Теплоотводы и экраны (рис. 13.22). Как видно из названия, теплоотводы служат для отвода тепла от чувствительных к температуре компонентов. Обычно для создания

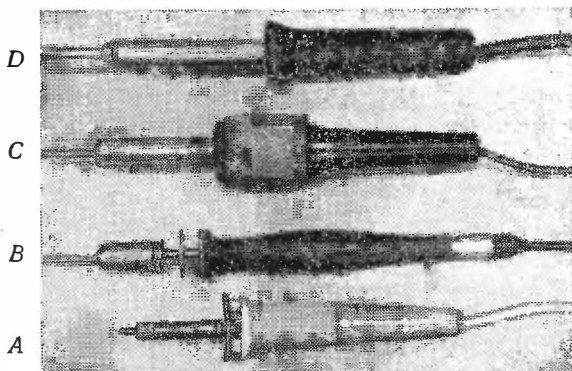


Рис. 13.21. Миниатюрные паяльники.

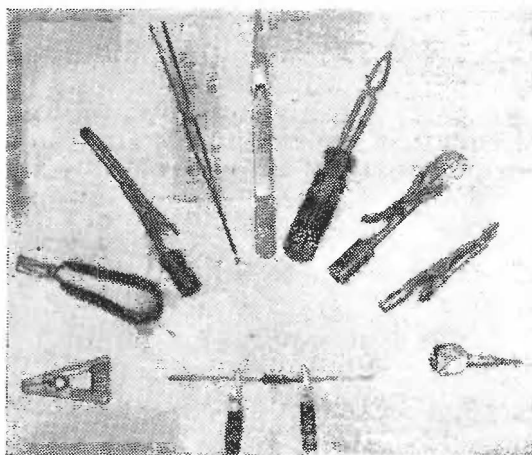


Рис. 13.22. Теплоотводы.

теплоотвода используется медь. Если существует опасность механического повреждения компонента из-за веса медного теплоотвода, его большой теплоемкости и теплопроводности

сти, то используется алюминий, имеющий хорошую теплопроводность, но малую теплоемкость. Кроме того, инструменты из алюминия дешевы.

Разнообразные инструменты, находящиеся в распоряжении монтажников, как правило, снабжены пружинными зажимами типа крокодил, которыми легко закрепляются на детали. При пайке печатной схемы окунанием или волной температура самой платы может достигать 150°C . Если эта температура окажется слишком высокой для теплочувствительных компонентов, то между ними и окружающей средой необходимо поместить тонкую прокладку из термоизоляционного материала. Это предохранит компоненты от тепловых воздействий при пайке. Прокладки либо оставляют на панели, либо удаляют позже. Если нельзя применить изолирующую прокладку, то используют воздушный зазор между поверхностью панели и самим компонентом, который будет служить для этой же цели.

Целлюлозовые губки (рис. 13.22) для очистки жал находят все большее и большее применение в промышленности. Это простое приспособление имеет преимущество перед другими материалами, которые могут повредить жало вместо того, чтобы очистить его. Это особенно справедливо для жал в кожухе из стали.

Слой стали, каждый раз стираемый при обтирании, помогает удалять осадки с наконечника. Губка должна быть всегда смочена водой, и если она обугливается, значит она смочена недостаточно.

В миниатюрных паяльниках необходимо подождать несколько секунд после очистки паяльника губкой, прежде чем производить пайку, причем время ожидания будет зависеть от того, скоро ли паяльник восстановит свою способность к пайке, поскольку мокрая губка понижает температуру жала.

Не следует слишком сильно вытирать жало паяльника и совсем освобождать его от расплавленного припоя. После того как наконечник очищен, рекомендуется немедленно нанести на него свежий припой.

Распределители для припоя (рис. 13.23) являются самым верным средством сохранения припоя в чистоте. Они исключают захват припоя руками, изгиб и поломку, а также помогают оператору вводить припой в труднодоступные места. Распределители пригодны как для сердцевинного, так и для сплошного проволочного припоя. Некоторые

фирмы продают припой небольшими количествами, упакованными в контейнеры, которые могут заменить распределители; разница между контейнерами и распределителями заключается в свободном доступе к припою. Сердцевинный припой никогда не режут бокорезом и другими инструментами, оказывающими сдавливающее действие. Это может легко закупорить сердцевину, и последующее соединение

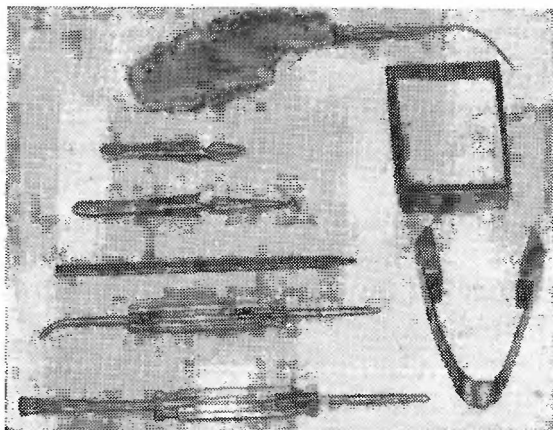


Рис. 13.23. Приспособления для пайки.

с флюсом может оказаться неполным. Если кончик распределителя используется для закрепления проволоки во время остывания должны быть приняты меры предосторожности, так как может истощиться запас флюса в сердцевине, даже если припой не расплавится.

Здесь следует упомянуть об одном распределителе припоя. Устройство, показанное на рис. 13.24, может быть смонтировано на любом паяльнике. Таким образом, припой с флюсом или без него подносится к изделию той же рукой, что и инструмент. Вторая рука оператора свободна для поддерживания и размещения компонентов во время пайки. Можно предварительно определить точное место, куда добавляется припой на изделии, что обеспечивает правильное нагревание и тем самым исключает сгорание флюса в сердцевине.

Для продвижения припоя служит маленький храповик на верхушке паяльника. Его можно поворачивать, поднимая и опуская припой относительно точки пайки.

Подставка с расплавленным припоем (рис. 13.25). Жало с чехлом из стали требует непрерывного облуживания. Однако в течение длительного бездействия при высоких

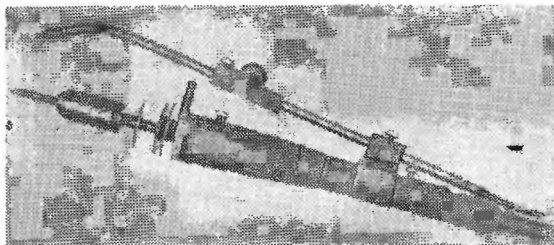


Рис. 13.24. Распределитель для припоя.

температурах трудно удержать жало луженым. Необходимо покрыть жало припоем непосредственно перед пайкой. Для этого была изготовлена асбестовая подставка с небольшим количеством расплавленного припоя. Припой не предназначен для пайки, а служит лишь для того, чтобы избежать несмачиваемости наконечника, когда паяльник не используется.

Температура расплавленного припоя в этом случае является критической, и ее нужно контролировать. Припой содержится при температурах на несколько градусов выше точки плавления. Паяльник будет способствовать подъему этой температуры. Правильный выбор паяльника должен учитывать и это обстоятельство.

Подставка с подогревом (рис. 13.26). Такие подставки служат для контроля температуры паяльника. Подставка содержит температурно-чувствительный элемент, обычно биметаллическую пластинку, которая будет либо включать паяльник при понижении температуры, либо отключать при повышении.

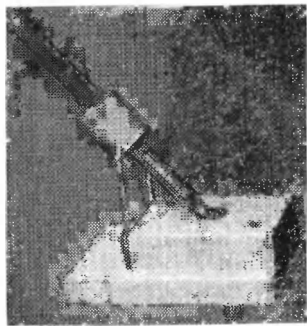


Рис. 13.25. Подставка с расплавленным припоем

Осуществление пайки на печатных схемах. Было много дискуссий в промышленности по поводу правильного подведения тепла к месту пайки. Надо вспомнить, что паяльник является только источником тепла, а флюс и припой не должны поступать непосредственно на него для осуществления пайки на печатных платах, а должны наноситься прямо на поверхности, предназначенные для пайки. Старое правило на этот счет гласит, что «паяльник должен быть приложен к участку с большой массой, а припой и флюс должны располагаться с противоположной стороны этого

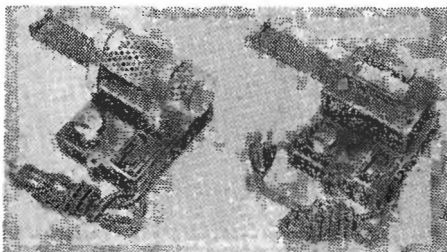


Рис. 13.26. Подставка для паяльника с подогревом.

участка, который и плавится только тогда, когда достаточное количество тепла будет передано к той части, куда нанесены флюс и припой». Тогда тепло будет передаваться от участка с большей массой к участку с меньшей массой. Чтобы это пояснить, рассмотрим печатную плату. Во-первых, проводочный вывод компонента можно рассматривать как элемент, масса которого по сравнению с массой тонкого проводника панели печатного монтажа больше. Следовательно, горячий инструмент нужно подводить прямо к выводу, а припой и флюс (обычно в виде сердцевинного припоя) надо наносить на другую сторону панели с печатным монтажом и ждать, пока достаточное количество тепла пройдет через вывод компонента, чтобы расплавился припой, а также пока достаточное количество тепла перейдет от вывода на саму плату для осуществления пайки.

Более современная точка зрения заключается в использовании принципов термодинамики. Так как паяльник, даже правильно зачищенный, будет всегда покрываться тонким слоем горячего припоя, его можно считать «сухим», и такое «сухое» жало при соприкосновении с поверхностью,

предназначенной для пайки, потребует длительного времени для соответствующей передачи тепла. Рассмотрим эту поверхность, предназначенную для получения тепла. Когда осуществляется контакт с «сухим» жалом, на поверхности также присутствует слой окислов. Тепло должно пройти от металла наконечника через окисный слой жала и через собственный окисный слой в основной металл. Это очень неэффективная передача тепла, требующая длительного времени. В течение продолжительного периода нагревания теплопроводность основного металла будет препятствовать переходу тепла в зону соединения, увеличивая таким образом продолжительность операции и создавая опасность теплового повреждения. Однако, если поместить небольшое количество флюса и припоя между «сухим» наконечником и самим компонентом, то сначала очищается потускнение и затем лудится площадка, куда должно прийти тепло от горячего металлического наконечника через горячий припой. Тепло передается через смоченный вывод компонента. Передача тепла происходит очень быстро, и сердцевинный припой, расплавляясь, будет растекаться вдоль теплового потока к концу вывода компонента, продвигая расплавленный флюс впереди себя.

Этот метод намного лучше особенно для пайки печатных плат. При таком методе тепло передается компоненту с большой скоростью, уменьшая опасность расслаивания платы. В этом методе обычно используется сердцевинный припой. Однако можно использовать и жидкий флюс с проволочным припоем. Наконец, можно использовать паяльную пасту или консервированный паяльный крем. В некоторых случаях работа с платами с печатным монтажом, особенно в сочетании с зажимами для механических контактов или проволочными закрутками, проводится при предварительной подготовке к пайке. При этом рассуждения о передаче тепла сохраняют свою силу.

Иногда для пайки печатного монтажа используются другие инструменты. Они представляют собой инструменты с импульсным нагревом, имеющие обмотку с большим сопротивлением или нагревающий элемент из вольфрама или подобного материала. Нагрев элемента происходит за счет кратковременного импульса большого тока. После нагрева элемент немедленно охлаждается. Это удобно при пайке маленьких компонентов (плоских модулей) на панели с печатным монтажом. В других инструментах использует-

ся оптика для концентрирования световых лучей, направленных в нужное для нагревания место, дутье горячего газа, миниатюрное пламя и т. д. Однако обычный паяльник все же остается наиболее употребляемым инструментом при ручной пайке печатных схем.

УДАЛЕНИЕ ПРИПОЯ С ПЛАТ

Во многих случаях, когда требуется ремонт, переделка или инженерное изменение печатной схемы, необходимо удалить старый припой и, если дальнейшая пайка нежелательна, снять с меди слой лужения (более подробно см. гл. 11). Часто бывает, что компонент по разным причинам нельзя установить при общей компоновке панели и его приходится впаивать позднее. Чтобы не удалять припой из монтажных отверстий, рекомендуется загоразивать их так, чтобы исключить попадание в них припоя. Поэтому в том месте, где пайка выполняется позднее, следует применять защитную ленту. Для этой же цели можно также вводить в отверстия круглые зубчатые или пластичные шпильки. При этом пайка платы будет проводиться как обычно и в результате будут образованы контактные площадки, покрытые защитной лентой или пронизанные шпильками.

Опишем три основных метода удаления припоя с поверхности, которые могут быть применены либо ко всей печатной плате, либо к ее части и к отдельным соединениям.

9. Химическое удаление

Можно удалять припой с медных поверхностей химическим путем, используя борофтористоводородную кислоту и перекись водорода. Было найдено несколько различных растворов, рекомендуемых для использования в этих целях. Наиболее распространенный рецепт:

42%-ная борофтористоводородная кислота	250 мл
30%-ная перекись водорода	60 мл
Вода (включая смачивающий агент)	до 1 л

Для достижения наибольшей эффективности надо пользоваться свежеприготовленной смесью.

Чтобы удалить свинец и олово с меди, латуни и других медных сплавов, поверхности погружают в раствор на 5—10 мин при комнатной температуре.

Другие снимающие растворы, содержащие 50% азотной кислоты, и смачивающий агент при повышенных температурах, азотную кислоту и перекись водорода при более высоких температурах или гидроокись натрия, также считаются эффективными очистителями меди и ее сплавов, а также стали от сплавов свинца и олова. Кроме того, для снятия многих металлических покрытий и припоя используют различные обдирочные материалы.

10. Удаление припоя амальгамированием

Как олово, так и свинец растворимы в жидкой ртути. Полученный раствор называется амальгамой. Ниже перечислены вещества, растворимые в ртути, с которых нельзя снять припой без их повреждения:

Висмут, кадмий, золото, серебро, свинец, олово, цинк — их легко амальгамировать при комнатной температуре.

Мышьяк, сурьма, медь *), платина — их трудно амальгамировать при комнатной температуре.

Хром, кобальт, железо, никель не растворяются в ртути, и припой поэтому может быть снят с этих поверхностей.

Амальгамирование часто применяется для удаления припоя вокруг сердцевинного флюса при лабораторных исследованиях.

Если припой растворяется в ртути, то ртуть может быть регенерирована следующей химической обработкой: амальгаму активно смешивают при комнатной температуре с 10—15%-ной соляной кислотой (азотная кислота используется реже). Для хорошей регенерации необходимо тщательно устанавливать соотношение между количеством амальгамы и кислоты.

Некоторые патенты США были основаны на технике удаления припоя с помощью ртутных паров и жидкости, но они нашли ограниченное применение в промышленности.

11. Удаление припоя с помощью вакуума

Последний метод удаления припоя — механический. Припой повторно нагревают и отсасывают с поверхностей с помощью вакуума или, в некоторых случаях, вдуванием воздуха в углубления с припоем. Это старый способ. В начале века были заявлены патенты на паяльник, имеющий или небольшое отверстие и сосуд для всасывания воздуха, или устройство со сжатым воздухом. Таким паяльником припой после повторного нагревания мог быть удален с соединения. Сейчас имеются более сложные устройства такого типа. В электронных установках преимущественно используются устройства всасывающего типа; так предотвращается опасность того, что капли припоя будут разбрызгиваться, вызывая короткое замыкание и другие нежелательные побочные эффекты. При использовании этого метода удаления припоя важно помнить, что дополнительное нагревание может иногда привести к повреждению печатной схемы, и поэтому следует пользоваться теплоотводами.

ОПЕРАЦИИ ПОСЛЕ ПРОЦЕССА ПАЙКИ

Перестановка, ремонт и приемка считаются операциями, осуществляемыми после пайки, о них говорится в гл. 14. Здесь же рассмотрим вопрос об общей чистоте монтажа и об оборудовании, которое используется для получения требуемой чистоты. Вначале должна быть произведена грубая очистка, а затем, после завер-

*) Измельченная медь будет легко амальгамироваться.

шения всех дополнительных операций, таких как приемка и наладка, производится окончательная тщательная очистка. Часто спрашивают: «Какая чистота приемлема?». Зная оборудование и его возможности, а также условия, в которых оно будет работать, можно определить степень чистоты.

Бытовые приборы, такие как радиоприемник или телевизор, не имеют ничего общего с навигационными авиасистемами или с радарными установками, от которых зависят человеческие жизни. Такие контрасты доказывают, что не существует определенного правила для чистоты монтажа, применимого ко всем устройствам.

Еще одним последствием пайки является коррозия (см. гл. 15), которая может повредить проводники. Она может вызвать увеличение сопротивления цепи и физическое повреждение проводников за счет их ослабления. Кроме того, в результате коррозии могут появиться токи утечки, которые особенно опасны из-за их непостоянства. Изменения влажности атмосферы будут вызывать изменение величины тока утечки. Коррозия может вызвать загрязнение всей системы в виде непроводящих осадков, механических контактов и т. д. (В этом отношении опасна не только коррозия. При использовании флюсов на основе смолы или других подобных материалов, которые образуют непроводящие испарения в непосредственной близости от соединяющихся поверхностей, пары могут осаждаться и образовывать изолирующие слои, которые будут мешать электрическим контактам).

Кроме флюсов и их осадков существует еще много других источников коррозии в электронных установках. Загрязнения при сборке могут появиться до осуществления пайки, так как многие установки подвергаются воздействию сильных, химически активных растворов. Эти вспомогательные растворы могут вызвать коррозию. Иногда процедуры по очистке не доводятся до конца или совершенно не контролируются. Кроме того, всегда имеется опасность загрязнения при хранении на складе. Участки могут быть заполнены материалом, способствующим загрязнению. И, конечно, источники коррозии могут всегда оседать из воздуха.

Паяльные флюсы сами по себе могут стать источниками коррозии, если они неправильно выбраны и если не было произведено очистки. Кроме того, нельзя забывать, что операции, произведенные после пайки, подобно окончательному хранению на складе, могут также стать источником загрязнения.

Рассмотрим некоторые из этих источников загрязнения:

1. Процессы обработки растворами, такими, например, как при металлизации или травлении.

2. Конденсация флюсов. Хлорид, вносимый при окончательной сборке за счет различных ручных операций, может способствовать коррозии материалов гораздо больше, чем другие факторы.

3. Осадки из окружающей среды. Это особенно сильно сказывается в индустриальных районах. Например, сера, находящаяся в воздухе, может воздействовать на серебряную поверхность.

4. Загрязнение при ручной обработке сопровождается нанесением масел, смазки и других соединений, которые способствуют загрязнению.

5. Упаковочные материалы. Следует посоветоваться с экспертами по упаковке, которые могут порекомендовать соответствующие материалы, уменьшающие коррозию.

Чтобы распознавать коррозию, существуют различные растворы. Так как пайка является обычно завершающей операцией при сборке, нарушение чистоты может быть исправлено при эксплуатации.

Очистка не является сложной процедурой и более подробно описывается дальше. Если имеется уже очищенное устройство, должны быть приняты меры, чтобы оно не было подвергнуто вторичному загрязнению вследствие неправильного обращения, упаковки или хранения.

12. Значение удаления осадков флюса

Значение правильного удаления осадков флюса после пайки нельзя принижать. Каждый флюс, будучи химически активным, может до некоторой степени способствовать коррозии; при этом бывает, что тот же флюс не обеспечивает удаления потускнения с поверхностей, предназначенных для пайки. Требования изготовителя к материалам флюса ранее не указывались. Для монтажа специальных устройств можно использовать только беловодную или правильно обработанную активированную канифоль (как в сердцевинном припое). При этом каждый вариант должен рассматриваться более детально с учетом конкретных особенностей. Таким образом, можно с уверенностью сказать, что для получения хорошей пайки необходимо проведение операции по удалению флюса. Правильное удаление флюса зависит от системы его использования. Растворы, используемые для удаления, должны состоять из материалов, способных растворять как связующее вещество флюса, так и материал флюса, в каком бы виде он ни был (в необработанном или в растворенном). Чтобы доказать это, можно использовать в качестве примера активированные канифольные флюсы. При их использовании после пайки образуются две основные группы материалов: канифоль и осадки канифоли, которые растворяются в органических растворителях, и активаторы и осадки активатора, которые растворяются в воде.

Если для очистки использовать только органический растворитель или только воду, то та или другая часть осадков флюса не растворится и останется на поверхности. Поэтому сначала необходимо удалить канифоль и ее осадки каким-нибудь органическим растворителем, а затем продолжить очистку с помощью воды. Следует разделить процедуры по очистке в соответствии с этими двумя группами материалов и рассмотреть их в отдельности. Кроме того, очистку можно усовершенствовать за счет использования механического перемешивания, ультразвуковой кавитации и установок для обезжиривания в парах растворителей.

13. Осадки, растворимые в воде

Когда материал и его связующие вещества растворяются в воде, задача намного упрощается. Изделие до конца отмывается в воде. Однако простое промывание водой — недостаточно, так как она

быстро загрязняется веществами, снятыми с изделия, и при высушивании остаются тонкие пленки коррозионных веществ флюса, которые опять надо удалять. Они распределяются ровным слоем по всем промытым поверхностям. Это может быть исправлено одним из следующих способов:

1. Прodelать несколько промываний водой. Изделие погрузить в загрязненную воду и оттуда переместить последовательно в более чистую, завершая все это ополаскиванием в чистой воде. Этот способ называется противоточным методом очистки. Резервуары с дистиллированной водой заменяются после прохождения через них определенного количества изделий, так что большая часть загрязненной воды регулярно удаляется из установки. При этом резервуары передвигают вдоль линии таким образом, что второй, более загрязненный резервуар становится первым для ополаскивания, а промывание чистой водой является завершающей операцией. Если используется непрерывный поток воды, тот же самый принцип может быть применен к отдельным платам, движущимся против направления потока.

2. Введение нейтрализующих агентов. В этом случае первое ополаскивание производится водой. Второй резервуар содержит химикаты, которые вступают в реакцию с коррозионными веществами, содержащимися во флюсе, в результате чего получается вещество, легко растворимое в воде. Выбор нейтрализатора зависит от типа используемого флюса. Рекомендуются использовать нашатырный спирт, так как он способствует очистке меди и ее сплавов. Кроме того, он взаимодействует с большинством солей соляной кислоты, которые хорошо растворяются в воде. На металле следы нашатырного спирта испаряются, не оставляя каких-либо осадков. Операция нейтрализации сопровождается дополнительным промыванием водой. Последняя промывка обычно производится горячей водой, чтобы увеличить температуру всего монтажа до уровня, при котором изделие высыхает само по себе, чтобы не подвергать его для осушки воздействию атмосферного или сжатого воздуха.

Иногда чтобы ускорить высыхание, используют такие быстро высыхающие растворители, как спирты, которые хорошо смешиваются с водой.

Особенно тщательно надо выбирать воду для окончательной промывки. Многие источники воды обогащаются различными химикатами для поддержания биологической чистоты воды. Эти материалы, главным образом хлориды, вредны для очистки монтажа, так как они содержат дополнительное количество материала, вызывающего ионизацию. Поэтому для окончательной промывки нужно пользоваться дистиллированной или деминерализованной водой, особенно при выпуске электронной аппаратуры. Эта вода обычно дорого стоит и поэтому используется перегонная промывка. Степень загрязнения воды контролируется датчиками проводимости или пробными нитратами серебра. Важно отметить, однако, что все эти процедуры по очистке не защитят монтаж, если не будут приняты меры для предохранения от повторного загрязнения плат руками, оседанием пыли и т. д. (подробнее см. гл. 14).

14. Осадки, растворимые в растворителе

К этой группе принадлежат флюсы, основой которых является канифоль (смола). Чрезвычайно трудно удалить канифоль и ее осадки растворимыми в воде моющими средствами и совершенно невозможно сделать это одной водой. Однако растворители не будут удалять активаторы и осадки веществ, способных к ионизации, вызывающих повреждения в электрическом монтаже. Поэтому при обычном растворении сначала удаляют канифоль и ее осадки, а затем следует нейтрализация водой. В заключение выполняется очистка, как описано в гл. 12.

Если монтаж способен выдерживать температуру парового обезжиривания, то это самый успешный и быстрый метод, который может быть настоятельно рекомендован. На рис. 13.27 показана схема парового обезжиривания. Жидкость кипит в резервуаре А, где помещается нагревательная спираль, пар поднимается и соприкасается с холодным изделием, которое вводится в обезжириватель. Пар конденсируется и образует дистиллят, который растворяет вещества, растворимые в нем. Раствор, обогащенный растворенным веществом, поступает обратно в обогреваемую камеру, и свежий пар заново поступает на поверхность для дополнительной очистки. Когда изделие удаляется, оно уже наполовину сухое. Неиспользованный пар конденсируется на стенках установки и поступает в резервуар В, где собирается чистая жидкость. Избыток раствора в этом резервуаре поддерживает уровень растворителя в нагреваемой камере. Возможны различные вариации этой установки. Некоторые содержат ванну с начальным раствором, активированным ультразвуком, после чего следует операция парового обезжиривания. Другие оборудованы насосом (С на рис. 13.27), который перекачивает очищенный растворитель из резервуара В в распылительное отверстие для быстрейшего удаления флюса. Существуют также автоматические установки.

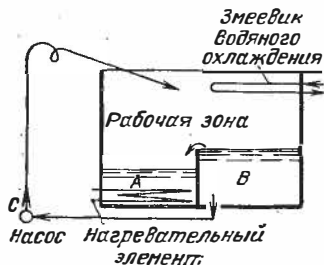


Рис. 13.27. Схема устройства для обезжиривания в парах растворителя.

КОНТРОЛЬ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Хауард Х. Малко,

*директор отделения проектирования и исследования припоев
фирмы «Альфа Металс, Инк», Джерси Сити, Нью-Джерси,
США*

ВВЕДЕНИЕ	573
ПРОВЕРКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ	574
1. Проверка плотности	575
2. Удельное сопротивление экстрагированной воды	577
3. Определение кислотности	578
4. Поверхностное натяжение	578
5. Вязкость	579
6. Показатель рН	579
7. Анализ состава припоя	580
8. Дегазация	580
9. Специальные испытания	581
ПРОВЕРКА ПАЯЕМОСТИ	581
10. Выводы компонентов	582
11. Проверка выводов компонентов	585
12. Проверка паяемости методом погружения	587
13. Испытание на мениск	589
ПРЕДПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ	593
НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ	594
ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ	594
14. Подробнее о «проверяемости»	595
15. Система припой — флюс — основной металл	597
16. Обзор конструктивных параметров	606
17. Чистота печатных схем	606
18. Механические испытания и оценка первоначального расчета	609

При проведении испытаний и контроля качества аппаратуры особенно проявляется громадный экономический выигрыш, который можно получить от пайки. Поскольку качество пайки можно оценивать как разрушающими, так и неразрушающими методами, проверка качества конечного изделия производится очень быстро, если придерживаться простых правил, сформулированных ниже.

Наиболее важным фактором является то, что изделия состоят из многих компонентов, которые соединяются пайкой, и что отдельные, подлежащие соединению поверхности, должны, следовательно, поддаваться пайке. Эта способность, называемая паяемостью, определяется как свойство поверхности, которое делает возможным смачивание ее расплавленным припоем при использовании заданного флюса и определенной температуры.

Нет причин сомневаться в том, что плохо паяющаяся в условиях испытаний поверхность будет плохо паяться также и в рабочих условиях. Поэтому сама по себе проверка паяемости играет существенную роль в обеспечении надежности при сборке аппаратуры. Паяемость является очень важным показателем качества поверхности печатной платы, металлизированных отверстий, глазков и других соединительных приспособлений на двухсторонних платах и качества поверхности выводов компонентов, монтируемых на печатной плате.

Однако одной хорошей паяемости всех поверхностей недостаточно. Необходимо также непрерывно контролировать качество припоя, флюса и условия пайки. Больше того, необходимо регулярно проверять качество конечного изделия с целью обнаружения мельчайших отклонений от оптимального уровня качества и своевременного принятия контрмер. Наконец, качество готовых изделий будет гарантироваться устранением тех немногих паяных соединений, которые по той или иной причине не отвечали установленным требованиям, и поэтому проверка и устранение обнаруженных неисправностей повысит надежность продукции до требуемой величины. Конечный технический контроль должен сопровождаться очисткой.

Таким образом, контроль качества исходных материалов для пайки и проверка паяемости поверхностей в сочетании с точным соблюдением всех технологических параметров обеспечат заданное качество конечного изделия. Даже при этом условии сохраняется неизбежность коррекции непредвиденных ошибок, т. е. необходимость конечного контроля готового изделия. Чем лучше, точнее соблюдение технологических режимов, тем реже случаи необходимости таких исправлений.

Очень важно рассмотреть общую философию всякой технологии. Пайка, как и любая другая область технологии требует точного соблюдения параметров установленного процесса и материалов. Всякие ошибочные экономические соображения, такие как применение несоответствующих материалов, могут привести к серьезным экономическим потерям в результате многочисленных исправлений, доработок и общего снижения надежности и качества конечного изделия. Опыт показывает, что всегда, когда оборудование и материал соответствуют разрабатываемому изделию, вложенные затраты окупаются за короткое время.

ПРОВЕРКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Покупатель всегда вправе заранее установить требования к качеству изделий, получаемых от поставщика. По отношению к печатным схемам нельзя считать такие требования полными, если они не имеют пункта о паяемости. Хотя многие стремятся ввести этот пункт в технические требования, сделать это очень трудно. Неблагоприятным является то, что потребители компонентов и плат подробно определяют размеры, электрические и другие параметры схемы, не учитывая необходимости получить изделие, которое будет паяться с применением флюса, пригодного для конечной сборки.

Если в условия договора включена оценка паяемости всех поверхностей, то задача проверки исходных материалов упрощается.

Очень часто в производстве печатных схем приходится использовать материалы, которые поддаются пайке только сразу после их производства (в дальнейшем их старение приводит к потере этой паяемости). Поэтому чтобы избежать применения таких материалов, в технических условиях должны учитываться и эти обстоятельства.

Суммируя сказанное, автор рекомендует во все технические условия на печатные платы и комплектующие изделия для них включать пункт, определяющий паяемость.

Контроль качества исходных материалов должен охватывать проверку флюсов, припоев и химикатов для пайки. Хотя при производстве этих материалов обычно строго придерживаются соответствующей рецептуры, что исключает необходимость полной проверки, целесообразно следить за теми техническими и химическими параметрами, которые гарантируют качество и однородность этих материалов. По табл. 14.1 читатель легко может выбрать метод испытаний, соответствующий каждому конкретному применению. Ниже эти методы описываются более подробно. Специальные испытания некоторых видов продукции должны проводиться совместно с поставщиком, чтобы была гарантия соблюдения технических условий и влияния их на возможность поставки и стоимость.

1. Проверка плотности

Плотность является свойством материала, которое характеризует как содержание твердых веществ в составе, так тип и качество используемых растворителей. Плотность материала определяется весом единицы объема этого материала. Плотность припоя можно использовать для однозначного определения соотношения между оловом и свинцом (если в сплаве олово — свинец нет еще какой-нибудь составляющей).

На рис. 14.1 показана зависимость плотности оловянисто-свинцовых сплавов от содержания свинца, которое определяется взвешиванием припоя сначала в воздухе, потом в воде и вычисляется делением величины веса в воздухе на потерю веса в воде.* Для специально отлитых болванок существуют три непосредственно откалиброванные в единицах отношения содержания олова — свинца. Для растворов измерение плотности является в большинстве случаев простым средством определения однородности исходных продуктов. Для припоев плотность также является важным параметром, хотя для определения сортности через плотность необходимо провести дополнительные операции.

Измерение плотности жидкостей обычно осуществляется с помощью гидрометра. Гидрометр является, по существу,

Рекомендуемые испытания исходных материалов

Материалы	Плотность	Сопротивляемость выделению воды	Титрование кислоты	Поверхностное напряжение	Вязкость	pH	Анализ сырого Sn	Спектрографический анализ		Дегазация	Специальные испытания
								общий	специальный		
Флюсы:											
Беловодная канифоль	×	×	—	× ^o	×	—	—	—	—	—	Кислотное число канифоли
МА канифоль	×	×	—	× ^o	×	—	—	—	—	—	
А канифоль	×	×	×	×	×	—	—	—	—	—	
WBO кислота	×	—	×	—	—	×	—	—	—	—	
WSO кислота	×	—	×	× ^o	×	×	—	—	—	—	
Кислота	×	—	×	—	—	×	—	—	—	—	
Химикаты:											
Травильные вещества	×	—	×	—	—	×	—	—	—	—	Влияние на полированную поверхность
Защитные покрытия	×	—	—	×	—	—	—	—	—	—	
Маски	×	—	—	×	×	—	—	—	—	—	
Снимающиеся покрытия	×	—	—	×	×	×	—	—	—	—	
Изолирующие покрытия	×	—	—	×	×	—	—	—	—	—	Электрическая прочность
Очистители	×	—	—	×	—	×	—	—	—	—	Пригодность в качестве полярных растворителей
Припой:											
Sn/Pb (ASTMA)	×	—	—	—	—	—	×	×	—	×	
Sn/Pb (QQS-571)	×	—	—	—	—	—	×	×	Sb	×	

Примечание: o — главным образом для пенообразных флюсов, * — для процесса Вакулой.

калиброванным поплавком, уровень погружения которого соответствует плотности жидкости. Стержень поплавка, выступающий над поверхностью жидкости, может иметь шкалу для считывания показаний. Измерение плотности должно производиться в сосуде (обычно цилиндрическом)



Рис. 14.1. Плотность оловянисто-свинцовистых сплавов.

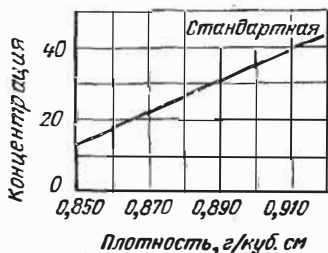


Рис. 14.2. Плотность раствора беловодной канифоли в изопропиловом спирте при 25° С.

достаточной ширины, чтобы между стенками сосуда и гидрометра не возникало трения, и гидрометр не прилипал к стенкам цилиндра. При определении плотности жидкости необходимо учитывать температуру, так как плотность большинства растворов прямо пропорциональна температуре; в противном случае могут быть получены ошибочные результаты.

На рис. 14.2 показана кривая плотности раствора беловодной канифоли в чистом изопропиловом спирте. Флюсы этого типа применяются для проверки паяемости при проведении различных испытаний. Плотность выражается в граммах на кубический сантиметр при температуре 25° С. (Это принято во всех отраслях промышленности, применяющих пайку).

2. Удельное сопротивление экстрагированной воды

Измеряя эту величину определяем степень присутствия ионизируемых материалов в канифольевых флюсах. В основном испытания проводятся именно для этих флюсов. Измеряется проводимость дистиллированной и деминерализо-

ванной воды до и после добавления определенного количества флюса с извлечением из него ионизирующихся материалов посредством непродолжительного кипячения. Кипячение служит двойной цели: выделить все ионизирующие материалы и удалить из раствора абсорбированную двуокись углерода, которая ослабляет изолирующие свойства воды. Грубо говоря, канифольные флюсы без активаторов имеют чрезвычайно высокое сопротивление экстрагированной воды (до 200 000 *ом/см* и выше), а слабоактивированные флюсы — от 20 000 до 50 000 *ом/см*. Подробно метод испытаний описан в стандарте MIL-S-14256C. Опыт автора показывает, что предложенный метод позволяет проверить качество почти всех флюсов, поскольку обладает чувствительностью к соотношению количества активирующего вещества, канифоли и спирта в составе флюса. Вместе с этим метод требует большого искусства, чистого и специально оборудованного рабочего места и лабораторной посуды; испытания не должны проводиться без предварительной подготовки.

Эти методы испытаний распространяются только на канифольные флюсы. Поскольку во многих случаях остатки флюса сохраняются после пайки на поверхности, очень большое значение приобретают их электрические свойства. Эти методы не пригодны для испытаний других типов флюсов из-за того, что сопротивление экстрагированной воды в неканифольных флюсах чрезвычайно низко и этот показатель становится бессмысленным.

3. *Определение кислотности*

Эта операция должна проводиться в соответствии с типом проверяемого материала и по методике обычного аналитического анализа. Например, флюсы с активированной канифолью контролируют по результатам вычислений, считая все ионы хлоридами. Это обеспечивает простой способ контроля качества по количеству активирующего вещества в каждой партии флюсов и позволяет осуществить проверку исходных материалов на их активность.

Технические сведения, сообщаемые изготовителем этих материалов для органо- и неоргано-кислотных флюсов, помогают определить тип химического титрования, требуемого для флюса заданного состава.

4. Поверхностное натяжение

Это одна из наиболее важных характеристик пенистых флюсов и органических покрытий, обеспечивающих в некоторых случаях определенные физические характеристики изделия в целом. Поверхностное натяжение измеряется обычно с помощью капиллярных трубок. Этот параметр зависит от температуры, поэтому для получения достоверной информации проводить измерения нужно с особой тщательностью. Этот вид испытаний не проводится, если при использовании материала не возникает никаких неприятностей.

5. Вязкость

Вязкость флюса может оказаться очень важным параметром, если для нанесения флюса используются механизированные средства, работа которых в сильной степени зависит от текучести флюса. Вязкость имеет температурную зависимость и, следовательно, измерения должны проводиться все время при одной температуре. Вязкость, так же как и поверхностное натяжение, измеряют только в случае необходимости.

6. Показатель рН (показатель концентрации водородных ионов)

рН — это показатель, определяющий кислотность, щелочность или нейтральность раствора и обычно используемый для быстрой идентификации типа флюса (органического или неорганического). Метод определения рН является хорошим методом для входных испытаний.

В некоторых случаях, когда в качестве очистителей используются хлорированные растворители, проверка на рН становится очень важной, хотя собственно растворители не имеют показателя рН, так как не являются полярными растворами. Если хлорированный растворитель оказался плохо стабилизированным, то в результате его разложения образуются кислоты, которые могут оказать очень вредное влияние на все изделие. Измерить рН можно путем смешивания очистителя в отношении 1 : 1 с дистиллированной или деионизированной водой. Жидкости не смешиваются и после взбалтывания и отстаивания снова разделяются. Теперь можно проверить рН водной части смеси, которая

должна содержать все ионизированные вещества. В результате можно быстро определить, правильно ли стабилизирован очиститель и не произошло ли его разложение с выделением соляной кислоты.

7. Анализ состава припоя

Анализ состава припоя обычно выполняется мокрыми методами. Для оловянисто-свинцовых сплавов, которые наиболее широко применяются для пайки печатных схем, мокрый метод используют для количественного анализа содержания олова в припое. Менее точно соотношение между оловом и свинцом можно установить измерением плотности сплава.

Чтобы установить наличие в рецептуре примесей, например сурьмы, используют методы спектрографического анализа. Сурьма как средство борьбы с «оловянной чумой», входит в состав всех припоев, соответствующих стандарту QQ-S-571.

8. Дегазация

Последним видом испытаний является определение степени дегазации, помогающей установить, правильно ли была проведена обработка сплава по методу Вакулой. Посредством вакуумного плавления с последующим остыванием слитка в вакууме неметаллические примеси выводятся на поверхность припоя. Если материал очищен с помощью процесса Вакулой, то на поверхности слитка появляется минимальное количество окалина и газа. Нормальные припои вирджинских сортов дают разное количество окислы на поверхности при изменяющемся количестве газа, что значительно снижает качество пайки.

Необходимым оборудованием для проведения таких испытаний является вакуумный насос, дающий разрежение 10^{-4} мм рт. ст.

Образец припоя (около 100 г) помещают в контрольную трубку Пикерса, которая герметически соединяется с патрубком вакуумного насоса. Воздух откачивается, и по мере создания вакуума припой в трубке расплавляется над газовой горелкой. Затем расплавленный припой энергично встряхивается в течение 5 мин и затем ему дают остыть в вакууме. Гладкая и чистая поверхность слитка указывает на высокое качество сплава.

9. Специальные испытания

Различные изделия подвергаются особым испытаниям, например проводится проверка канифоли на кислотное число (которое определяет качество канифоли), проверка влияния травителей на полированную поверхность для определения интенсивности воздействия на основной металл, а также проверка качества очистки, влажности, характеристик старения для защитных покрытий, электрической прочности, теплового сопротивления, электрических свойств и т. д. Все эти испытания проводятся, если появляется необходимость получить какие-то определенные свойства материала для конкретного изделия.

ПРОВЕРКА ПАЕМОСТИ

Самым важным свойством, которое всегда проверяется при проведении входных испытаний, является паяемость всех предназначенных для пайки поверхностей. Способы проведения таких испытаний описаны в различных федеральных и фирменных технических условиях и подразделяются в основном на две группы — испытания по определению паяемости выводов компонентов и испытания по определению паяемости печатных проводников на плате. В этом порядке они и будут рассмотрены ниже.

Проверка паяемости выводов компонентов, описанная ниже, соответствует методам испытаний, установленным стандартом RS-178A, очень похожим на методы испытаний, определенные в военном стандарте 202 (метод 208). Метод заключается в покрытии выводов припоем при заданной температуре способом простого погружения флюсованных очень мягким флюсом выводов в расплавленный припой на заранее установленное время. Качество полученного покрытия проверяется визуально. Если испытания проводятся правильно и при высокой квалификации персонала, то этот метод вполне удовлетворяет производственным требованиям. При более сложных и надежных испытаниях, разработанных доктором Песселем (RCA), флюс не используется. В этом случае вокруг вывода наматывают предварительно заготовленный прутки припоя диаметром 0,25 мм, затем припой расплавляют, погружая вывод в несмачивающую среду и исследуется контактный угол между расплавленным припоем и выводом компонента.

Этот метод испытаний был разработан и изучен как в Европе, так и в США. В США этот метод не нашел должного признания, поскольку он требует очень сложного оборудования.

Для печатных плат и необработанных металлизированных диэлектриков имеются три метода испытаний, а именно: испытание погружением края, испытание на мениск и испытание на плавание. Наиболее простым методом является испытание паяемости погружением. Именно этот метод применяется для проверки паяемости печатных плат. Испытания на мениск требуют сложной аппаратуры. Испытания на плавание для проверки паяемости металлизированных сквозных отверстий, глазков и подобных соединений очень кратко можно описать следующим образом. Платы, содержащие сквозные металлизированные отверстия, соответствующим образом флюсуют и опускают на поверхность расплавленного припоя на 5 сек. Затем платы снимают с поверхности припоя и визуально проверяют наличие пробок припоя в малых отверстиях и однородность смачивания стенок в больших отверстиях. Паяемость отверстий требует дальнейших исследований, и этим занимается подкомитет Института интегральных схем (США).

10. Выводы компонентов

Испытание паяемости выводов компонентов проводят в соответствии с EIA PS-178-1. Поскольку этот стандарт имеет очень широкое применение в промышленности, он приведен ниже без сокращений.

1. *Цель.* Настоящий стандарт распространяется на методы определения паяемости проволочных выводов и клемм, которые обычно паяются мягким припоем. *Стандарт не следует рассматривать как методику проведения пайки.*

Паяемость определяется как способность выводов деталей к смачиванию новой порцией припоя, подтверждающая, что обработка, проведенная для обеспечения пайки при изготовлении детали, была удовлетворительна и что эта обработка проводилась на заданном участке детали, обеспечивая надежность паяного соединения.

Применимость этого стандарта, так же как и размер испытываемых выводов, должна рассматриваться до внесения их в рабочие технические условия. Температура припоев и время выдержки, заданные в этом стандарте, обычно относятся к деталям с выводами диаметром до 1,1 мм. Изменения в температуре тигеля (п. 7) и процедура погружения (п. 8.2) должны быть включены и в технические условия для выводов больших размеров.

2. Область распространения стандарта. Этот стандарт определяет методику проведения испытаний на паяемость выводов, клемм и монтажных приспособлений, которые должны соединяться пайкой с использованием канифольного флюса и сортов припоя, определяемых стандартом QQ-S-571. Время и температура пайки определены для проволочных выводов диаметром не более 1,1 мм. Для выводов большого диаметра, многожильных выводов или других деталей процедура испытаний может быть изменена в соответствии с требованиями п. 10. Стандарт описывает условия испытаний в пп. 7.1—7.4.

3. Определения.

Паяемость. Свойство металлической поверхности, позволяющее смачивание ее припоем; смачивание определяется как образование однородной, гладкой, не имеющей разрывов и прилипающей пленки припоя на основном металле.

Проволочный вывод. Для этого стандарта проволочным выводом считается любая проволочная деталь компонента, к которой производится пайка.

4. Требования. Погружение испытываемой поверхности в расплавленный припой производится при определенных условиях (п. 8.2). Поверхность считается паяемой, если после вынимания ее из припоя и охлаждения она отвечает требованиям, описанным в п. 9.

5. Оборудование.

5.1. Тигель для припоя: термостатированный тигель для припоя с электронагревом емкостью 2 л. Регулировка температуры должна проводиться в соответствии с требованиями п. 7.

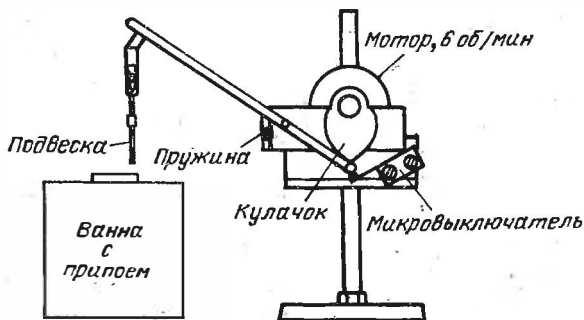


Рис. 14.3. Рекомендуемое устройство для погружения при проверке паяемости.

5.2. Устройство для погружения. Это устройство должно иметь вертикально двигающийся погружающий рычаг с кулачковым приводом от электродвигателя. Скорость погружения и извлечения деталей должна соответствовать требованиям п. 8.2.

Рекомендуемое устройство для погружения показано на рис. 14.3. Возможно применение и других механизмов, удовлетворяющих требованиям п. 8.2.

5.3. Оптические приборы: подходит любая оптическая система, просветная или проекционная, с увеличением приблизительно в 10 раз.

6. Материал.

6.1. Припой должен содержать 60% Sn и соответствовать последней редакции стандарта QQ-S-571.

6.2. Флюс не должен вызывать коррозии; должен содержать 25% (весовых) канифоли и 75% спирта. Канифоль должна соответствовать классу А, типу А, градации федеральных технических условий LLL-R-626. В качестве спирта должен быть использован 90%-ный изопропиловый спирт. Флюс не должен содержать дополнительных активаторов.

7. Условия испытаний (табл. А).

Таблица А

Условия испытаний	Припой	Температура, °С	Флюс
1	60	232° ± 5°	п. 6.2
2	60	271° ± 5°	п. 6.2
3	60	232° ± 5°	нет
4	60	271° ± 5°	нет

Условия испытаний, обозначенные цифрами 3 и 5, применимы в тех случаях, когда пайка осуществляется струей припоя без флюса.

8. Процесс испытаний. Необходимо удостовериться, что детали, поступающие для испытаний, не имеют загрязнения испытываемой поверхности жиром, потом и т. д. и соответствуют утвержденному состоянию поставки.

8.1. Условия испытаний 1 являются стандартными. Образцы для испытаний по условиям 1 и 2 (табл. А) должны погружаться во флюс, определенный в п. 6.2, на минимальную глубину, необходимую для покрытия паяемых поверхностей. Тело образцов с проволочными выводами должно погружаться на глубину 3 мм; выводы, не связанные с телом образца, должны погружаться на глубину 20 мм. Время выдержки во флюсе — 5÷10 сек. Затем сразу следует погружение в ванну с припоем. Для защиты компонентов, чувствительных к нагреву, можно применить теплоотвод.

8.2. Расплавленный припой (состав его дан в п. 6.1) должен быть размешан лопаточкой из чистой нержавеющей стали, чтобы гарантировать однородность температуры и состава всей ванны. Непосредственно перед погружением необходимо очистить поверхность расплава от окалины и сгоревшего флюса. После флюсования образца вывод погружается в расплавленный припой на глубину, установленную п. 8.1.

Скорость погружения и извлечения образцов из ванны припоя должна быть равна 25 ± 5 мм/сек, время пребывания в припое $5 \pm 0,5$ сек. Для выполнения операции рекомендуется использовать устройство, описанное в п. 5.2.

По договоренности между потребителем и поставщиком операция, имитирующая вышеназванные условия, может проводиться вручную.

Охлаждение образцов проводится на воздухе. Остатки флюса следует снимать с образцов промывкой в чистом изопропиловом спирте. Для испытаний по условиям 3 и 4 табл. А флюсование не применяется, поскольку эти условия рассчитаны на пайку без флюса.

9. **Оценка.** После окунания в припой проверка детали проводится по рекомендациям п. 5.3.

Новое однородное прилипающее покрытие припоем должно покрывать минимум 95% площади испытываемой поверхности. Непокрытыми могут остаться только небольшие точечные отверстия, несмачиваемые участки, шероховатые пятна при условии, что такие дефекты не сконцентрированы на одном участке.

Например, для провода диаметром 0,77 мм должно быть не более 6 непокрытых участков диаметром 0,77 мм на 25 мм длины.

10. **Отклонения.** Для других поверхностей, подлежащих пайке, например проводов диаметром больше 1,143 мм, или для условий, не указанных здесь, температура ванны, установленная в разд. 7, и процедура погружения, описанная в п. 8.2, должны быть соответствующим образом изменены по соглашению между поставщиком и потребителем.

Не допускается, однако, никаких отклонений от требований к припою, флюсу и паяемости, установленных в п. 9.

11. Проверка выводов компонентов *)

1. **Цель.** Настоящий стандарт распространяется на метод определения паяемости выводов электрорадиокомпонентов.

2. **Уровни паяемости.** Установлены два уровня паяемости: 2015223-1 — наивысшая степень паяемости, которую можно достигнуть практически;

2015223-2 — минимальная степень паяемости.

3. **Оборудование и материалы для испытаний.**

3.1. **Припой.** Следует применять припой в виде проволоки марки SN63 в соответствии с последней редакцией федеральных технических условий QQ-S-571. Диаметр проволоки припоя равен 0,254 мм. Номинальное значение температуры плавления этого сплава 183° С.

Для удаления возможных загрязнений припой должен быть очищен ополаскиванием его в 99%-ном изопропиловом спирте с последующим погружением его на 1 мин в концентрированную соляную кислоту, смешанную с водой в отношении 1 : 1 (при комнатной температуре). Затем проволоку припоя необходимо вымыть в проточной воде и вытереть чистой тонкой бумагой. Припой нельзя трогать руками, а рекомендуется брать чистыми щипцами. Рекомендуется до применения припоя хранить в сушильном шкафу.

3.2. **Нагревательная ванна.** Ванна для расплавления припоя должна быть заполнена жидким полиэтиленгликолем марки Carbo-

*) Технические условия 2015223 фирмы RCA.

вах-400). Температура ванны должна быть $195 \pm 2^\circ \text{C}$. Пары полиэтиленгликоля гигроскопичны и поэтому рекомендуется иметь соответствующую вентиляцию для предотвращения коррозии металлических частей испытательного оборудования.

В испытательной установке, которая вполне удовлетворяет условиям испытаний, Carbowax-400 заливается в фарфоровую чашку емкостью 50 мл, в которой имеется нагревательный элемент с терморегулятором.

3.3. Образцы. Выводы и другие детали должны быть проверены на соответствие состоянию поставки. Очистки и флюсования не проводятся. Должны быть приняты меры, предотвращающие загрязнения спаиваемых поверхностей следами пальцев, маслами или жирами. Изоляция любого вида должна быть удалена с вывода полностью, но так, чтобы вывод не был поцарапан или еще как-нибудь поврежден.

4. Процесс проведения испытаний.

4.1. Наложение заготовки припоя.

Кусочек припоя обматывается один раз вокруг участка проводочного вывода или проверяемой детали для образования плотно прилегающей (рис. 14.4, а) петли.

Лишний припой тщательно отрезается (рис. 14.4, б) с помощью небольших ножниц. Если позволяет длина вывода, то на каждом выводе, проверяемом на паяемость, следует разместить по меньшей мере два или еще лучше три таких кусочка. Все операции следует выполнять только с помощью чистых пинцетов.

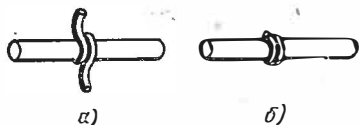


Рис. 14.4. Наложение проводочного припоя на испытуемый образец.

Вывод нужно изогнуть таким образом, чтобы участок, на котором намотан припой, мог быть погружен в плавильную ванну почти в горизонтальном положении.

4.2. Процедура погружения. Образец погружается в плавильную ванну в горизонтальном положении на глубину не менее 3 мм. Для компонентов, чувствительных к нагреву, используется теплоотвод в виде пинцетов. Во всех других случаях пинцет должен иметь малую теплопроводность, чтобы уменьшить потери тепла.

Образцы помещают в плавильную ванну на время, достаточное для расплавления припоя. Обычно оно составляет 10 сек. В случае испытания толстых выводов или при избыточных тепловых потерях время погружения может быть увеличено.

Приблизительно по истечении двух секунд после того, как припой расплавится, образцы удаляют из ванны и охлаждают до комнатной температуры.

4.3. Очистка образцов. Если компонент после испытаний не будет использован в изделии, достаточно вытереть его насухо папиросной бумагой. Однако если компонент должен использоваться, необходимо промыть его в проточной воде. Затем следует произвести соответствующую сушку.

4.4. Проверка образцов. Критерием степени паяемости по этому методу проверки является приблизительная оценка контактного угла, который образован границей расплавленного припоя

и испытываемой поверхностью. Капли припоя в контрольных образцах исследуют с помощью соответствующих оптических средств с увеличением приблизительно в 10 раз. Когда проверяется соответствие ТУ 2015223-1, контур капли и контактный угол будут приблизительно такими, как показано на рис. 14.5, а. Для ТУ 20152231-2 контур капли и контактный угол должны соответствовать рис. 14.5, б. На рис. 14.6 показаны типы брака.



Рис. 14.5. Внешний вид капель припоя в соответствии с техническими условиями:

а — технические условия 2015223-1 («превосходство»); б — технические условия 2015223-2 («удовлетворительно»).

5. Модификация проверки. Эта проверка на паяемость применима в основном к проволочным выводам или подобным деталям до 1 см в диаметре. Когда это необходимо из-за необычного размера или формы детали, условия проверки могут быть модифицированы при условии наличия соглашения между покупателем и поставщиком. Не допускается вносить изменения модификации ни в состав плавильной ванны, ни в определение контактного угла при оценке образцов.

6. Прочность сцепления покрытия. Металлические покрытия на выводах должны проходить следующую проверку. Вывод четыре раза обматывают вокруг стержня таким образом, чтобы витки были по возможности перпендикулярны продольной оси стержня. Диаметр стержня должен быть равен удвоенному диаметру провода

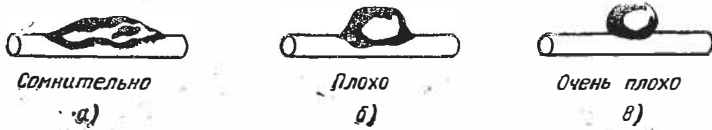


Рис. 14.6. Внешний вид неудовлетворительных капель припоя.

вывода $\pm 10\%$. При проверке не должно быть заметно отслаивания или шелушения покрытия намотанной части вывода, которая осматривается через лупу с 5—10-кратным увеличением.

7. Сроки испытаний. Все испытания должны проводиться в 14-дневный срок после получения деталей.

Все детали должны соответствовать настоящим ТУ в течение 90 дней после приемки, при хранении их в нераскупоренной таре при условиях, соответствующих производственным.

12. Проверка паяемости методом погружения

Для печатных схем предлагается следующий метод испытаний, разработанный Институтом печатных схем и изложенный ниже полностью.

1. Цель.

1.1. Настоящий стандарт устанавливает метод испытаний, определяющий паяемость печатных плат, который может быть взаимно согласован между поставщиком и заказчиком.

1.2. Определение паяемости выполняется для того, чтобы удостовериться, что технологические процессы не влияют неблагоприятно на паяемость плат. Она определяется путем оценки степени смачиваемости печатных плат новой порцией припоя. Испытание собственно металлизированной поверхности диэлектрика проводится с целью подтверждения паяемости материала до обработки.

1.3. Стандарт не следует истолковывать как технологическую инструкцию по пайке или подготовке печатных схем к пайке.

2. Определения.

2.1. *Паяемость*: свойство металлической поверхности, которое способствует ее смачиванию припоем.

2.2. *Смачивание*: образование однородной гладкой непрерывной и прилипающей пленки припоя на основном металле.

3. Требования.

Испытываемая поверхность погружается в расплавленный припой при точно установленных условиях (п. 6.3).

Поверхность считается «паяемой», если после удаления из припоя, охлаждения и очистки она удовлетворяет требованиям, сформулированным в п. 7.

4. Оборудование.

4.1. *Тигель для припоя*: термостатированный тигель для припоя, размеры которого соответствуют размерам образца, а вместительность не меньше 2 кг припоя.

4.2. *Погружающее устройство*: погружающее устройство показано на рис. 14.3. Подобное устройство можно использовать при условии удовлетворения следующих требований:

а) скорость погружения, время выдержки и скорость извлечения находятся в пределах, необходимых для проведения испытаний;

б) сохраняется перпендикулярность платы и припоя;

в) колебания, вибрация и другие посторонние движения отсутствуют.

4.3. *Оптическое оборудование*: просветная или проекционная оптическая система с десятикратным увеличением.

5. Материал.

5.1. *Припой*: припой должен содержать 60 или 63% Sn в соответствии с последней редакцией федеральных технических условий QQ-S-571.

5.2. *Флюс*: флюс из неактивированной беловодной канифоли по стандарту MIL-F-14256. Должен содержать не больше 25% канифоли, растворенной в нехлорированном растворителе, например, в 99%-ном изопропиловом спирте. Флюс не должен содержать дополнительных активаторов.

5.3. *Растворитель флюса*: растворителем флюса должен быть изопропиловый спирт или трихлорэтилен.

5.4. *Контрольные образцы*, контрольные образцы, которые требуются для испытаний, представляют собой участки металличе-

ской поверхности по кромке платы, которые размещаются таким образом, чтобы был возможен хороший сток расплавленного припоя после удаления образца из тигля.

Образцом может быть обрезок платы, изделие или специально подготовленная плата. Для проверки диэлектрика-полуфабриката пригоден любой обрезок материала шириной 15 мм.

6. Процедура испытаний.

6.1. Печатные схемы следует проверять сразу же после получения от поставщика; необходимо предотвратить всякие возможности загрязнения поверхностей.

6.2. *Флюсование.* Образцы погружают во флюс (см. п. 5.2), который затем стекает в течение 60 сек перед погружением образца в припой.

6.3. *Погружение в припой.* Расплавленный припой (см. п. 5.1) перемешивают чистой лопаточкой из нержавеющей стали, что гарантирует его равномерную температуру и состав.

Шлак и подгоревший флюс снимают с поверхности расплавленного припоя непосредственно перед погружением платы. Скорости окундания и извлечения равны 25 ± 6 мм/сек и время выдержки равно $4 \pm 0,5$ сек.

После извлечения плату устанавливают в вертикальном положении, и припой затвердевает. Рекомендуется использовать механическое устройство, описанное в п. 4.2. По взаимному соглашению между потребителем и поставщиком можно использовать также любое другое приспособление или проводить операции вручную.

6.4. *Очистка.* После того как припой затвердевает, для облегчения осмотра с образцов снимают остатки флюса. Для этой цели используют растворители, определенные в п. 5.3.

7. *Осмотр.* После погружения в припой все детали проверяют с помощью оптических средств, которые определены в п. 4.3. Новый равномерный слой из припоя должен покрывать 95% проверяемой поверхности. На поверхности допускаются только очень мелкие несмоченные пятна или непокрытые участки основного металла при условии, что эти дефекты не концентрируются в одной области.

13. Испытание на мениск

Этот метод испытаний, который был разработан фирмой «Дженерал Электрик» по заказу Вооруженных сил США, назван испытанием на мениск и описан в отчете фирмы R64ELS-4 в январе 1964 г. Вся информация можно также получить в Институте печатных схем.

Описание варианта этого метода, приведенного ниже, взято из военного стандарта P-55110 A.

Паяемость. Метод мениска. Контрольные образцы представляют собой четыре односторонние или две двухсторонние платы (рис. 14.7).

Подготовка рисунка. Контрольные образцы подготавливают с помощью фототравления (рис. 14.7). Покрытие, если оно необходимо, выполняется в соответствии с техническими условиями MIL-STD-275.

Подготовка для испытаний. Калибровка аппаратуры. Калибровка контрольной аппаратуры состоит в следующем:

а) поместить контрольную пластинку рис. (14.8) в прибор для испытаний (рис. 14.9);

б) установить пластинку так, чтобы она вводилась в припой в горизонтальном положении, образуя мениски равного размера. Минимальные размеры пригод-

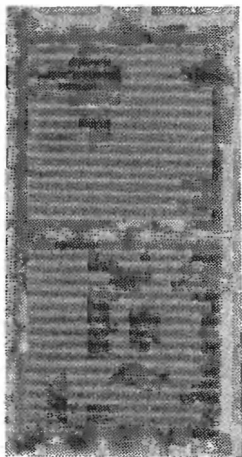


Рис. 14.7. Образец платы для испытания паяемости методом мениска. Схема платы выполнена в виде параллельных проводников шириной 1,91 мм с расстоянием между ними 1,27 мм. Размеры платы — 101,6 мм × 127,0 мм.

ного тигля с припоем 200 × 300 × 75 мм³. Припой, содержащий 60 или 63% Sn, должен соответствовать стандарту QQ-S-571;

в) предварительно контрольную пластинку нагреть погружением ее в тигель с припоем на 1 мин;

г) вынуть пластинку из тигля, охладить в течение 1 мин;

д) вместо контрольной платы для регистрации размеров мениска применить стеклянную пластину толщиной 3 мм, площадью 12 × 12 см².

Пластину предварительно протравливать с обеих сторон концентрированной (48%) фтористоводородной кислотой в течение 3 мин и затем поместить над отверстиями в приборе для контроля и уравновесить грузом 400 г;

е) погрузить контрольную арматуру в ванну после первого снятия окисла с припоя, пока не вырастут мениски припоя, которыми можно коснуться стекла и образовать на нем три круглых пятна. Зафиксировать глубину погружения. Погружение должно быть таким, чтобы арматура как раз входила в ванну к концу 1,5-мин периода охлаждения;

ж) измерить циркулем пятна, оставленные менисками на стеклянной пластине с точностью до 0,1 мм и усреднить результаты.

Два измерения (6 пятен) должны в среднем соответствовать 14—15 мм;

з) когда глубина погружения установлена такой, что как погружение, так и извлечение занимают по 1,5 мин на 14—15 мм, аппаратура считается откалиброванной.

Очистка контрольных образцов. Очистка двух двухсторонних или четырех односторонних плат заключается в следующем:

а) 5-сек погружение в 10%-ную фтористоборную кислоту;

б) промывка водой;

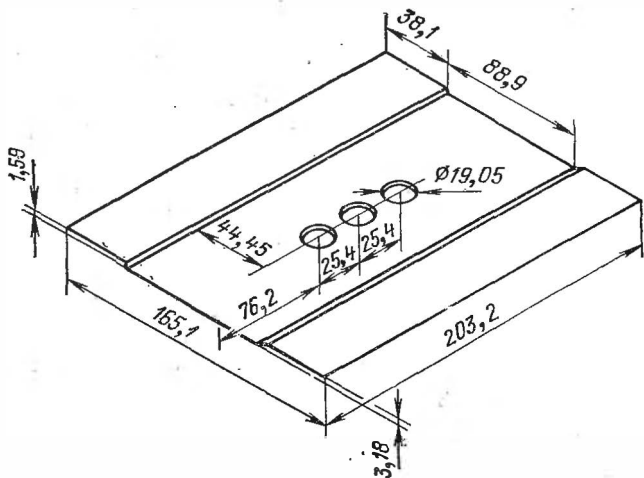


Рис. 14.8. Пластинка для испытания паяемости методом мениска.

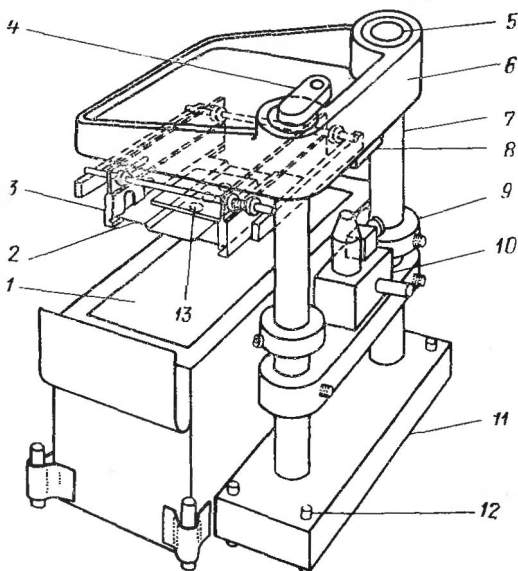


Рис. 14.9. Прибор для испытания паяемости методом мениска:

1 — ванна с припоем; 2 — испытательное приспособление; 3 — зажим для удержания образца платы или пластинки; 4 — стопор для удержания суппорта в верхнем положении; 5 — подшипники скольжения; 6 — суппорт для монтажа испытательного приспособления и сообщения ему равномерного вертикального перемещения; 7 — закаленная стальная колонка; 8 — опорная плита для приспособления регулировки глубины погружения; 9 — передвижная втулка для задания глубины погружения; 10 — приспособление для регулировки глубины погружения; 11 — опорная плита приспособления; 12 — винт для регулировки горизонтальности приспособления; 13 — стеклянная пластинка или печатная плата.

- в) очистка пемзой;
- г) промывка водой;
- д) 10-сек погружение в 10%-ную фтористоборную кислоту;
- е) промывка водой;
- ж) сушка струей чистого воздуха или инертного газа.

Флюсование. Платы флюсуются непосредственно после очистки и флюсование производится 25%-ным раствором беловодной каннифоли в изопропиловом спирте. Флюс может быть нанесен с помощью щетки или погружением.

Методы осмотра и испытаний. *Испытание на паяемость.* Процедура испытаний и последующего осмотра заключается в следующем:

- а) калибровка;
- б) предварительный нагрев в течение 1,5 мин в ванне с припоем при $230 \pm 5^\circ \text{C}$;
- в) охлаждение в течение 1,5 мин. Непосредственно перед окончанием охлаждения поместить очищенную и флюсованную плату

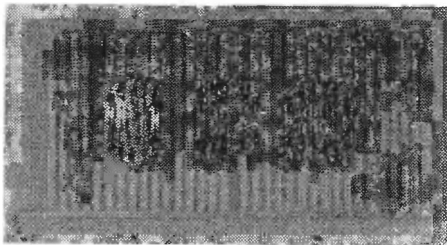


Рис. 14.10. Пример плохой спаиваемости. Левое и правое пятна представляют собой пример хорошей паяемости. У них приблизительно равны диагонали из верхнего левого угла в нижний правый и из верхнего правого угла в нижний левый. Центральное пятно не обеспечивает такой равномерности диагоналей при подобном измерении. Допускаемое отклонение между длинами диагоналей 1,02 мм. Если разница между диагоналями составляет 1,27 мм или больше, результаты испытаний следует признать неудовлетворительными.

на контрольную арматуру с противовесом 400 г, а нижнюю арматуру в ванне поместить так, чтобы она максимально погрузилась в припой в конце 1,5-мин периода охлаждения. Перед погружением снять с припоя слой окислов;

г) погрузить плату на 12 сек. Затем поднять арматуру с платой из тигля и вынуть контрольную плату. Плату охладить и провести такие же операции с только что очищенной и флюсованной второй платой. Затем проверить другую сторону первой двухсторонней платы (процедура не является обязательной для односторонних пластин), а затем и второй.

Затем каждое пятно измеряется по диаметру (рис. 14.10) с помощью циркуля с точностью до 0,1 мм.

Вычислить среднее арифметическое значение измерений. Средняя величина должна быть в пределах от 23,8 до 24,6 мм для плат с покрытием чистой медью и от 22,3 до 23,1 мм, если на меди имеется гальваническое покрытие. Другие размеры мениска могут появиться в результате несоблюдения режима испытаний.

Если размеры пятен находятся в указанном диапазоне, следует провести испытания двух двухсторонних плат, взятых из партии уже готовых изделий.

Средний размер пятна на этих пластинах должен быть больше 21,3 мм. Контрольные платы, давшие размер не более 21,3 мм, следует рассматривать как сильно загрязненные, и пайку или производство этих плат следует прекратить. Размер 21,3 мм является критерием брака для плат всех типов.

Визуальный осмотр. Пятна припой, полученные на контрольных печатных платах, должны быть визуально проверены на качество смачиваемости. Смоченная поверхность отличается от несмоченной тем, что припой на ней более темного цвета и очень тонкий в противоположность светлomu более толстому покрытию на несмоченной площади. На несмачиваемой поверхности металл контактирует с расплавленным припоем, но нигде прочно не пристает к ней.

Если установлено, что несмачиваемая площадь на одном пятне превышает 25% полного размера пятна, то плата должна быть забракована.

ПРЕДПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ

Важным участком в общей системе контроля качества является получение высокой надежности при пайке печатных плат благодаря контролю паяемости выводов компонентов непосредственно перед пайкой. Это очень важно во всех случаях, когда между моментами испытаний и моментами использования прошло относительно большое время. Очень полезно проводить периодический выборочный контроль паяемости компонентов или печатных плат, что позволит избежать брака. Это опять основывается на том предположении, что если детали при испытании оказались непригодными для пайки, они не будут пропаяны в процессе сборки и это приведет к снижению качества и надежности всего изделия.

Другим важным этапом контроля является проверка работы оборудования. Необходимо контролировать правильность рабочих характеристик оборудования. Проверяются такие параметры, как скорость конвейера (которая определяет время пайки и флюсования) и температура пайки. Для такого контроля применимы прямые методы измерений, которые используются в других отраслях промышленности.

Несмотря на все эти предосторожности, руководители производства, как правило, тщательно осматривают первые из изготовленных изделий, чтобы увериться в том, что качество выпускаемой продукции приемлемо и удовлетворяет установленным стандартам. Здесь уместно упомянуть о рекомендациях, которые можно найти в гл. 15 относительно анализа основных видов брака в зависимости от качества материала и процессов.

НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

Поскольку технологический процесс постоянно изменяется, непрерывный контроль его параметров затруднителен и для массового производства следует рекомендовать использование автоматической регулировки таких параметров, как температура пайки и давление воздуха.

Необходимость соблюдения режима каждой отдельной операции не так важна, как получение приемлемого качества изделия. Однако как только появляются первые признаки брака, эта информация становится существенной, и чем быстрее она может быть получена, тем быстрее может быть возвращен первоначальный уровень качества.

Заслуживает внимания использование окончательного контроля непосредственно после производства для получения автоматической обратной связи, устанавливающей качество технологической линии и характеристики каждого отдельного этапа технологического процесса.

ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ

Как было показано раньше, окончательный контроль не просто является выходной проверкой качества, а служит также для непрерывного наблюдения за работой технологической линии при окончательном контроле. При проведении окончательного контроля обычно рассматривают четыре характеристики выпускаемого изделия.

Первой и наиболее важной следует считать характеристику, которую можно определить как «проверяемость». Это такое качество паяного соединения, которое делает возможным визуальное определение всех параметров качества пайки, например: «смачиваемости», геометрической формы

и внешнего вида. Следует помнить, что излишек припоя не влияет на токонесущую способность или прочность паяного соединения. Это доказано в работе, выполненной специально на эту тему.

Второй характеристикой, которая проверяется при проведении окончательного контроля, является «смачиваемость». Здесь мы соприкасаемся с качеством собственно паяного соединения и характером связи припоя с основным металлом. Смачиваемость для наших целей может быть определена как близость припоя к паяемой поверхности и зависит от состояния поверхности соединяемых металлов.

Теоретически чистые поверхности при наличии соответствующего поверхностного натяжения должны иметь идеальную смачиваемость, а полностью испорченные и загрязненные поверхности должны быть полностью несмачиваемыми. Практически можно удостовериться, что реальные условия смачиваемости находятся где-то между этими двумя предельными случаями.

Контактный угол между расплавленным припоем и основным металлом может служить прекрасным индикатором достигнутой степени смачиваемости.

Третьей характеристикой, которая рассматривается при проведении окончательного контроля, является геометрическая форма паяного соединения. Предполагается, что в этом случае проверка гарантирует соответствие первоначальным расчетам как прочности, так и токонесущей способности.

Четвертой характеристикой, которая требует не только визуальной проверки, является чистота печатной платы. Этой характеристикой часто пренебрегают, что может быть причиной возникновения серьезных проблем. В зависимости от требований к аппаратуре и исходя из экономических соображений можно рекомендовать проверку чистоты изделия с помощью простых химических способов.

14. Подробнее о «проверяемости»

Термин «проверяемость» требует более подробного обсуждения, поскольку мы пытаемся оценивать качество паяного соединения, исходя из его внешнего вида. Поэтому очень важно, чтобы критерии качества были определены визуально. С этой точки зрения аккуратная, хорошо сфор-

мированная капля припоя на месте пайки является признаком хорошего паяного соединения. Важно также, чтобы по форме капли были видны контуры соединяемых поверхностей. На рис. 14.11 показано как в месте пайки легко



Рис. 14.11. Хорошее соединение, с ясным контуром проволоки и с хорошим растеканием припоя по плоскости подвески.



Рис. 14.12. Излишек припоя не улучшает качества паяного соединения.

различимы два провода — вставленный и обмотанный вокруг клеммы. По определению это свидетельствует о высоком качестве паяного соединения.

На рис. 14.12 показана та же самая конструкция, но с чрезмерно большой каплей припоя. Здесь контур проводов не виден, а сама капля имеет ровную и блестящую поверхность. Место соединения проводов визуальнo опреде-

лить нельзя и, следовательно, паяное соединение следует признать неудовлетворительным.

Паяное соединение не должно быть расположено в области, доступной для визуального осмотра только при использовании зеркальных приспособлений. Право контролера — поставить под сомнение качество паек с избытком припоя.

Исследование параметров паяного соединения показывает, что простое увеличение массы припоя не улучшает прочность или токонесущую способность соединения. Размер капли должен быть достаточно большим, чтобы весь шов оказался пропаянным, но для целей контроля необходимо, чтобы контуры соединяемых частей были ясно видимы (вспомним, что это было основным положением при рассмотрении требований к конструкции.)

Чтобы определить размер капли для обеспечения пайки хорошего качества, контролер должен знать требования к механическим и электрическим параметрам паяных соединений, которые использованы при проектировании схемы, и определить минимальные размеры капли, которые могли бы удовлетворять этим требованиям. Затем он должен определить размеры капли (с запасом), при которых паяное соединение легко проверяется.

15. Система припой — флюс — основной металл

Предполагая, что в какой-то момент мы имеем совершенно чистую металлическую поверхность и что не может произойти окисления или другого воздействия на нее окружающей среды, рассмотрим структуру паяного соединения. Для того чтобы произошло взаимодействие между припоем и основным металлом A , необходимо иметь три элемента; припой, основной металл и либо флюс, либо атмосферу, в которой процесс проводится (воздух или пары). При температуре расплава припоя основной металл, имеющий относительно высокую точку плавления, является твердым, сохраняется в том же состоянии, сплав припоя делается жидким и флюс обычно также является жидким, хотя он может быть и газообразным.

Рассмотрим каплю жидкого припоя, нанесенную на плоскую горизонтальную металлическую поверхность в атмосфере паров флюса. Фактически мы имеем три фазы: твердую S , жидкую L и пар V (рис. 14.13).

В точке суммарного термодинамического равновесия при условии отсутствия диффузии или химической реакции система будет иметь граничную линию соприкосновения всех трех фаз (А на рис. 14.13).

Если мы рассмотрим плоскость, перпендикулярную к этой линии, то увидим, что границы трех фаз образуют между собой некоторый угол. Этот угол θ , образованный поверхностями жидкости и твердого тела, называется краевым углом.

Рассмотрим баланс векторов в точке А на рис. 14.13. Вся система находится в равновесии под действием трех сил. Вектор γ_{LV} является вектором силы поверхностного

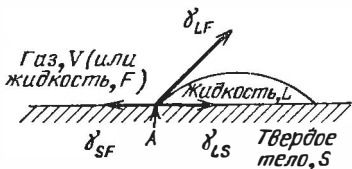


Рис. 14.13. Схема термодинамического равновесия при смачивании.

натяжения между жидкостью и ее парами и действует тангенциально относительно поверхности жидкости. При отсутствии других сил сила поверхностного натяжения жидкости должна превратить ее поверхность в сферу, которая имеет наименьшую поверхность среди всех тел

равного объема. Обычно против этой силы поверхностного натяжения действуют сила тяжести и сила внутреннего натяжения между жидкостью и окружающей ее средой, в результате чего капля жидкости не имеет формы шара.

Силы внутреннего поверхностного натяжения γ_{LS} и γ_{SV} действуют вдоль поверхности твердого тела в противоположных направлениях. Величина поверхностной энергии определяется характерными свойствами взаимодействующих материалов. По обе стороны имеется твердая поверхность, для изменения формы которой требуются большие энергетические затраты. В отличие от силы поверхностного натяжения жидкости эти внутренние силы сами по себе не могут привести к физическим изменениям в системе.

Из векторной диаграммы получаем:

$$\gamma_{SV} = \gamma_{LS} + \gamma_{LV} \cos\theta.$$

Здесь γ_{SV} является силой, которая натягивает жидкость на твердое тело силой смачивания. Другими словами, смачивание имеет место, если γ_{SV} больше чем сумма γ_{LS} и $\gamma_{LV} \cos\theta$. Соотношения между этими силами можно определить, зная

угол θ , образуемый двумя поверхностями. Два предельных значения угла θ определяют два экстремальных случая: полное несмачивание при $\theta = 180^\circ$ (рис. 14.14, а) и полное смачивание при $\theta = 0^\circ$ (рис. 14.14, б). Частичное смачивание соответствует значениям θ меньшим 180° и большим 0° (рис. 14.14, в). Это понятие частичного смачивания необходимо рассмотреть подробнее, особенно если вспомнить, что при пайке в системе редко достигается равновесие. Обычно время пайки слишком мало и система затвердевает раньше, чем достигается равновесие. В этом случае все, что касается краевого угла, требует дополнительного рассмотрения. Разделим весь диапазон значений угла θ от 0 до 180° на три части следующим образом:

1. $\theta > 90^\circ$. Если определено, что система охлаждается после достижения полного термодинамического равновесия, условие $\theta > 90^\circ$ показывает на плохую смачиваемость твердой поверхности жидкостью. Вероятно, в этом случае жидкий припой нигде не смачивает поверхности, а охлаждается на ней в виде слитка

с формой, образованной действием различных сил, например сил поверхностного натяжения и тяжести. Лишь физическое наличие капелек припоя мешает нам определить действительное равенство $\theta = 180^\circ$. Поперечное сечение образца позволит определить действительную ситуацию. Если система охладилась до достижения термодинамического равновесия, условие $\theta > 90^\circ$ указывает на наличие смачиваемости. Припой охлаждается в процессе смачивания паяемой поверхности, следовательно, формирующая сила действовала в направлении несмачивания и угол пересечения поверхностей прямо пропорционален скорости смачивания в том же промежутке времени. В этом случае поверхность сначала смачивалась, затем по каким-то причинам (возможно, из-за образования некоторого рода интерметаллического слоя) припой отставал и металл оставался несмоченным.

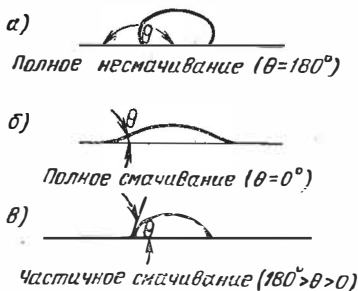


Рис. 14.14. Связь между величиной краевого угла и степенью смачивания.

2. $90^\circ > \theta > M$. Это указывает на случай, соответствующий предельному смачиванию. Обычно $M \leq 75^\circ$, и если не поставлено специальных условий, такое смачивание не желательно. Предельное значение M является чисто произвольным и устанавливается в результате опыта и с целью удовлетворения специальных требований к индивидуальной системе пайки.

3. $\theta < M$. Это соответствует хорошему смачиванию. M имеет такую же величину, как и в п. 2. Если требуется очень высокое качество, величина M может быть взята меньше 75° .

Другим важным фактором, который влияет на равновесие сил в системе, является размер «площади жесткого соединения». Этот фактор принимается в расчет, когда необходимо определить процент металлической поверхности, возможной для смачивания из-за неоднородности или частичной загрязненности. Неоднородность поверхности возникает в результате образования интерметаллических соединений, наличия включений и окклюзий (металлических окислов, сульфидов и т. д.) либо в припое, либо в основном металле, наличия неметаллических инородных частиц или присутствия поглощенных поверхностью паров, которые не выделились в процессе смачивания. В настоящее время нет метода измерения или оценки размеров «площадки жесткого соединения» поверхности. Эта величина рассчитывается с учетом воспроизводимости результатов для сравнимых систем из одинаковых материалов и при одинаковых условиях смачивания. Если при этом методы подготовки поверхности и процедуры очистки сохраняются неизменными, то площадь жесткого соединения оказывается одинаковой, а результаты расчетов совершенно однородными.

Эти теоретические соображения относительно смачивания легко могут быть переведены в практические простые процедуры контроля. Очевидно, что значение краевого угла можно использовать как параметр, определяющий степень или состояние смачивания системы пайки. Однако необходимо ввести понятие о частичном смачивании для некоторых дальнейших объяснений в практических условиях. Вспомним, что система редко достигает полного равновесия в процессе пайки. Обычно время пайки слишком коротко и система охлаждается раньше, чем достигнуто равновесие. В этом случае определение угла смачивания дает ценную информацию об условиях смачивания поверх-

ности и надежности конечного изделия. Это приводит к направлению, в котором проходит смачивание, и достигнутой стадии смачивания, а это поможет определить, достаточно ли было время пайки и были ли поверхности достаточно чистыми для получения хорошего соединения.

Из практических соображений разобьем диапазон значений угла θ от 0 до 180° на три отдельных поддиапазона.

1. $\theta < M$ (θ меньше чем M). Это указывает на хорошую смачиваемость. M — предельный краевой угол, который обычно произвольно устанавливается равным 75° (или меньше, если требуется очень высокое качество).

2. $90^\circ > \theta > M$ (90° больше чем θ больше чем M). Это указывает на предел по степени смачиваемости, и если не поставлено специальных условий, такое смачивание неприемлемо.

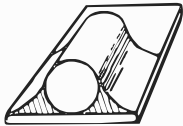
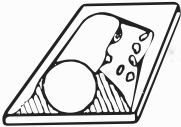

3. $\theta \geq 90^\circ$ (θ равно или больше чем 90°). Это указывает на отсутствие смачиваемости или на условие, определенное как «несмачиваемость». Припой охлаждается до смачивания или в процессе смачивания паяемой поверхности. В случае смачивания действующая сила работает в направлении несмачивания и степень несмачиваемости прямо пропорциональна углу между двумя пересекающимися поверхностями.

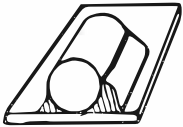
Значение M может быть принято в качестве критерия хорошего смачивания и прочности паяных соединений при их контроле (табл. 14.2).

Все соображения, которые касаются краевого угла, должны быть приняты с оговоркой, что этот угол зависит от количества припоя и основного металла. Чтобы проиллюстрировать эту зависимость, возьмем два предельных случая. Бесконечно большая поверхность основного металла с ограниченным количеством припоя будет давать действительную картину смачивания. С другой стороны, если имеется ограниченная (малая) поверхность металла и большое количество припоя, припой по необходимости будет образовывать большой наплыв; здесь краевой угол не связан с условиями смачивания.

Определение условий смачивания очень сильно зависит от «проверяемости». Избыток припоя на ограниченной поверхности основного металла скрывает проверяемую область и, следовательно, приводит к ошибочным оценкам. Поэтому не рекомендуется проводить пайку с избытком припоя. Кроме того, вспомним, что процесс пайки выполняется

Контрольная карта соединений припоем

Тип	Схема соединений	Краевой угол	Описание соединения
1. Хорошая смачиваемость		$0^{\circ} - M^{\circ}$	Припой спадает плавно, что указывает на малый краевой угол. Поверхность припоя чистая, гладкая, без пор и бугров (рис. 14.15)
2. Плохая смачиваемость		$M^{\circ} - 90^{\circ}$	Припой имеет большой краевой угол. Поверхность припоя неоднородна. Вокруг неоднородностей остаются несмачиваемые области (рис. 14.17)
3. Несмачиваемость		$90^{\circ} - 180^{\circ}$	Припой не покрывает полностью поверхность и имеет большой краевой угол. Припой образует капли или пузырьки, скатывается с ранее смоченных соседних областей, либо не смачивает их совсем (рис. 14.16)

<p>4. Недостаточный нагрев</p>		<p>Обычно большой</p>	<p>Припой затвердевает до смачивания. Обычно из-за того, что действие флюса недостаточно, поверхность припоя тусклая, равная и непрерывная</p>
<p>5. Соединение канифолью</p>		<p>Обычно большой</p>	<p>Соединение достигается благодаря затвердевшему флюсу, обычно типа канифоли. В наилучшем случае это соединение не имеет металлического или электрического контакта и имеет малую механическую прочность. Капля припоя непрерывна</p>
<p>6. Холодное соединение</p>		<p>Обычно малый</p>	<p>Соединение как бы покрыто инеем. В худшем случае это соединение является местом разрушения</p>

в ограниченное время, которое не создает возможности системе припой — флюс — основной металл достичь равновесия. Контактный угол, следовательно, является только

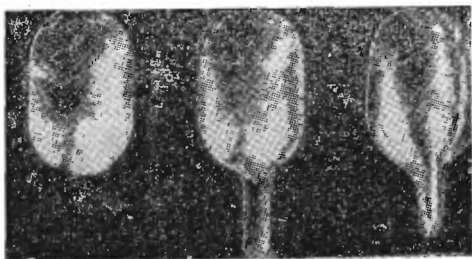


Рис. 14.15. Хорошее смачивание.

индикатором условий смачивания в данной системе, а не определяет его абсолютную величину. Поверхности, припой и флюсы при идеальных условиях и большом времени пайки могли бы, как правило, давать значительно меньший краевой угол, чем углы, получаемые в реальной пайке.



Рис. 14.16. Несмоченные поверхности.

Ниже приведены примеры паек, помогающие оценить их качество с помощью краевого угла.

На рис. 14.15 приведена фотография пайки на печатной плате с хорошим смачиванием.

На рис. 14.16 показана несмоченная поверхность. При несмачивании мы наблюдаем следующее явление: припой сначала смачивает поверхность, а затем скатывается с нее из-за плохой смачиваемости, оставляя тонкое покрытие припоя на основном металле. Припой тогда собирается на поверхности в капельку. Обычно это является результатом неправильной подготовки поверхности и не должно иметь место при качественном соединении пайкой. Так как при соединении всегда имеется больше одной поверхности, обе граничные

поверхности должны иметь хорошую смачиваемость. В случае, показанном на рис. 14.17, однако, только печатные проводники были смочены, а транзисторные выводы нет.

Чтобы принять или забраковать пайку, обычно определяют требуемое увеличение при осмотре. Человеческий глаз не всегда может ясно уловить разницу между контактными углами и состояниями смачивания. Для начального контроля рекомендуется малое увеличение. При увеличении от 2 до 10 раз уже вполне определенно можно классифицировать качество пайки. При оценке сомнительных случаев необходимо более высокое увеличение (в 150—200 раз), с помощью которого можно определить даже граничные случаи.

Из-за ошибок контролера и из-за определенной величины отклонений при воспроизведении одинаковых паяных соединений можно ожидать некоторых отклонений в точности классификации качества паек. Следовательно, необходимо определить, какая часть паяемой площади не соответствует требованиям качества.

Для типовых технических условий можно считать, что если более 5% площади классифицируется как «недостаточно смачиваемая», деталь следует считать бракованной.

Величина процента площади с плохой смачиваемостью в значительной степени зависит от типа изделия и ожидаемого качества паяния. Цифра 5, которая упоминается выше, соответствует достаточно надежным соединениям. Для схемы среднего качества можно допустить наличие 10—15% несмоченной площади. Допустимы даже еще большие площади, если заблаговременно известно, что определенное количество повреждений на площади паяния вызывается при обработке до операции пайки. Такие процессы, как серебрение, глубокие царапины или прикрытие части площади арматурой при проведении операций предварительной очистки, будут создавать большие площади с плохой паяемостью или подобным несоответствием техническим условиям. Когда существуют такие физические причины,



Рис. 14.17. Несмоченные выводы.

наличие площадок с плохой паяемостью допустимо, пока общая площадь поверхности с хорошей смачиваемостью достаточна, чтобы не заботиться о физических и электрических свойствах паяных соединений с учетом некоторого запаса. Обычно в этих случаях требуется подбор компонентов при настройке. Однако, когда не существует физических причин образования площадей с недостаточной смачиваемостью, размер таких площадей служит индикатором эффективности процесса смачивания при пайке, и этим нельзя легко пренебрегать.

При повторяемости дефектов следует хорошо изучить их причину и попытаться исключить их путем внесения изменений либо в конструкцию, либо в технологический процесс.

16. Обзор конструктивных параметров

При первоначальном расчете детально определяется, например, запас токонесущей способности и механической прочности до и после пайки; важно, чтобы все эти параметры были тщательно проверены на последнем этапе конструирования для получения уверенности, что замыслы конструктора полностью выполняются в каждом изделии. Таким образом, на этой последней стадии важно проверить не только смачивание, а также геометрическую конфигурацию каждого паяного соединения и такие признаки, как длину вывода в соединяемой области, направление вывода и контактов и все проверяемые поверхности. Следует также проверить число витков вывода вокруг клеммы, глубину введения выводов в отверстия и металлизацию отверстий, высоту паяного шва в металлизированном отверстии и т. д.

17. Чистота печатных схем

Хотя чистота является основным критерием проверки и контроль чистоты применяется не только для паяных соединений, важно вспомнить, что следы флюса или его остатков указывают на плохое проведение последующей очистки. Кроме того, многие операции пайки по своей природе приводят к появлению мелких капелек припоя. Эти маленькие металлические частицы могут сместиться со своих мест в конечном изделии и вызвать короткие замыка-

ния в схеме и другие нежелательные посторонние эффекты. Когда изделие неправильно очищено после пайки или флюсы не удаляются совсем, зрительный контроль тоже затруднен. Чистота, следовательно, является одним из факторов, который должен быть учтен в технических условиях при соответствующем процессе контроля.

Недавние исследования по надежным маломощным схемам подтверждают важность очищения печатных схем от загрязнений и коррозии. Проанализируем и посмотрим, что действительно означает коррозия и почему она нежелательна. Считается, что коррозия может ухудшать качество проводников. Она может увеличить сопротивление проводников схемы, а высокое сопротивление нежелательно. Она может также быть причиной снижения физических характеристик проводников, приводя их к хрупкости. Кроме того, продукты коррозии сами по себе могут быть причиной возникновения токов утечки. Токи утечки особенно нежелательны, поскольку они сильно меняются в зависимости от влажности атмосферы и иногда имеют прерывчатый характер.

Продукты коррозии могут также быть причиной загрязнений во всей системе в виде непроводящих налетов на механических контактах, контактных парах реле и т. д.

Коррозия определенно является проблемой. Однако важно вспомнить, что коррозия не всегда вызывается флюсом. Хотя флюс и остатки флюса являются обычно первыми причинами образования коррозии, в радиоэлектронных устройствах имеется еще много других источников коррозии. Ухудшение работы изделия может быть следствием воздействия на него сильных, химически активных растворов, используемых в операциях, предшествующих пайке. Иногда очистка после гальванической обработки проведена плохо или ее нельзя проверить. Остатки растворов могут стать причиной коррозии. Более того, всегда имеется опасность загрязнения схемы при хранении. Детали могут быть упакованы в материал, который может вызывать загрязнение. И, конечно, вещества, вызывающие коррозию, могут всегда попасть из воздуха. Припойные флюсы тоже способствуют коррозии материалов, если они выбраны несоответствующим образом и если не проводилась очистка после пайки. Более того, не следует никогда забывать, что операции, следующие за пайкой, например, неправильное хранение, могут также быть причиной загрязнения платы.

Перечислим некоторые из этих дополнительных источников загрязнений:

1. Процессы, связанные с воздействием растворов, такие как получение гальванических покрытий и травление.

2. Запотевание, коррозионно действующие хлориды, попавшие на изделие при различных операциях, могут увеличить коррозию значительно сильнее всех других взятых в отдельности факторов.

3. Осадки из окружающей среды. Это особенно важно при промышленной окружающей атмосфере. Сера в воздухе, например, может воздействовать на посеребренную поверхность.

4. Загрязнение от технологического оборудования. Обычно станки используют смазку, охлаждающие эмульсии и т. д., которые создают загрязнение плат.

5. Упаковочные материалы. Если возникает опасность коррозии, всегда надо поговорить с экспертами по упаковке, которые могут рекомендовать тип упаковочного материала, позволяющего избежать коррозии.

При возникновении опасности коррозии проблема решается по-разному. Так как пайка является обычно последней технологической операцией, грубые нарушения чистоты могут быть устранены перед началом операции. Однако если изделие очищено, необходимо позаботиться, чтобы не появилось загрязнений из-за плохой упаковки или хранения (см. гл. 12).

Чистота легко проверяется после проведения очистки следующим образом. Как показано ранее, для изделий опасно наличие ионизируемых веществ, главным образом хлоридов.

Самой простой и наиболее совершенной является проверка подложки на проводимость в дистиллированной или деминерализованной воде, либо выщелачивание ионизируемых веществ с поверхности в предварительно измеренном количестве деминерализованной воды. В результате этого определяется присутствие ионизируемых веществ.

Но по той причине, что чаще всего одним из основных виновников коррозии является хлористый водород, многие способы проверки стандартизованы в виде анализа на наличие хлористого водорода с помощью нитрата серебра.

18. Механические испытания и оценка первоначального расчета

Все ранее приведенные соображения касались контроля и оценки качества элементов при условии, что первоначальный расчет соответствовал требованиям по токонесущей способности и механической прочности при заданных условиях эксплуатации. Хотя визуальный контроль при таких обстоятельствах вполне достаточен, он предполагает, что первоначальный расчет и макеты выполняются и испытываются при наиболее строгих условиях (включая испытания на разрушение), позволяющих быть уверенным в соответствии каждого изделия техническим условиям. Испытания на сжатие и растяжение изделия, вибрацию и влажность дают исчерпывающую информацию относительно каждого сочетания материалов и конструкций, выбранных для изделия. Однако, как только найдено, что они подходят, визуальная проверка параметров, устанавливаемая четвертой группой технических условий, включается в окончательный контроль и позволяет быть уверенным, что ни один из приведенных параметров не изменился.

Опыт автора подсказывает, что брак возникает обычно из-за некоторых изменений в технологическом процессе, либо в характеристиках компонентов и материалов, на которые давались точные гарантии поставщиком и которые потребитель не проверял, так как покупал их по паспортным данным. Это лишний раз подчеркивает важность входного контроля свойств материалов. Хороший поставщик не будет изменять сертификаты, а будет использовать дополнительные пункты или изменять марку в зависимости от качественных параметров, особенно важных для изделия

ДЕФЕКТЫ ПАЙКИ И ИХ ИСПРАВЛЕНИЕ

Хазард Х. Манно,

*Директор отделения проектирования и исследования припоев
фирмы «Альфа Металс, Инк.», Джерси Сити, Нью-Джерси,
США*

ВВЕДЕНИЕ	612
(Как использовать информацию, содержащуюся в этой главе)	
ПЛОХАЯ СМАЧИВАЕМОСТЬ	613
1. Посторонние примеси на поверхности печатной платы	613
2. Прочная окисная пленка	615
3. Недостаточное флюсование	615
4. Недостаточные время или температура пайки	616
НЕСМАЧИВАЕМОСТЬ	616
ХОЛОДНАЯ ПАЙКА	617
ТРЕЩИНЫ В ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ	618
ИЗБЫТОК ПРИПОЯ НА ПЕЧАТНОЙ СХЕМЕ	619
5. Импедансный угол	620
6. Более высокая температура пайки или большая продолжительность пайки	620
7. Подогрев	620
8. Плотность флюса	621
НАТЕКИ ПРИПОЯ	621
9. Плохая паяемость	622
10. Наличие больших незаполненных отверстий в плате	622
11. Недостаточное время пайки и низкая температура	622
12. Низкая температура жала паяльника	623
ПАУТИНА ИЗ ПРИПОЯ	623
13. Наличие водорастворимых лаков	624
14. Неправильная термообработка платы	624
15. Окалина	625

ПРИЧИНЫ ПЯВЛЕНИЯ БЕЛОГО ОСАДКА НА ПОВЕРХНОСТИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ	625
16. Водорастворимые лаки	626
17. Неправильная термообработка диэлектрика	627
18. Несовместимость флюса и защитных покрытий	627
19. Ухудшение материала платы после обработки в различных растворах	628
20. Старение канифольного флюса	628
ТЕМНЫЙ ОСАДОК И СЛЕДЫ ТРАВЛЕНИЯ	629
21. Остатки канифольных флюсов	629
22. Остатки кислотных флюсов	629
23. Обугливание органических флюсов	630
ЗЕЛЕНый ОСАДОК	630
24. Продукты коррозии	631
25. Абиаты меди	631
26. Осадки персульфатов	632
ПРОДУКТЫ КОРРОЗИИ БЕЛОГО ЦВЕТА НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ	633
ТОЧЕЧНЫЕ ОТВЕРСТИЯ И ГАЗОВЫЕ РАКОВИНЫ В ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ	635
27. Органические загрязнения	636
28. Влага в платах	637
29. Полировочные реагенты в гальванических растворах	637
30. Температурный дисбаланс	638
УЛАВЛИВАНИЕ МАСЛА	638
ТУСКЛый ПРИПОЙ	639
31. Металлические примеси	640
32. Влияние флюса	640
33. Сплавы с низким содержанием олова	641
ЗЕРНИСТый ПРИПОЙ	641
34. Интерметаллические кристаллы	642
35. Окалина	642
36. Вкрапление инородных материалов	642
ЖЕЛТый ОТТЕНОК ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	643
ОБРАЗОВАНИЕ ПЕРЕМЫЧЕК	643

ВВЕДЕНИЕ

(КАК ИСПОЛЬЗОВАТЬ ИНФОРМАЦИЮ, СОДЕРЖАЩУЮСЯ В ЭТОЙ ГЛАВЕ)

Постоянный анализ проблем, возникающих при производстве печатных схем, раскрыл множество дефектов, которые непосредственно связаны с процессом пайки. Все эти дефекты можно разбить на определенные категории, которые представлены в настоящей главе. Хотя все эти дефекты проявляются в бесконечном разнообразии вариантов, представленная здесь информация может служить руководством для принятия общих решений.

Эта глава составлена в произвольном порядке, так как еще не определено, какая из рассматриваемых проблем важнее.

Несмотря на то, что пайка рассматривается часто как основная причина отказов в печатных схемах, необходимо проверить и другие близкие пайке операции, чтобы убедиться, что корень зла гнездится именно в операции соединения. Операция пайки не таит в себе никакого «волшебства», и если блоки вдруг перестают работать, как они это делали раньше, то причина кроется в каких-то технических неполадках. Они вызваны либо незаметными изменениями в материале подложки печатной платы, в медной фольге или в элементах, а также в материале припоя или флюса, либо изменениями в процессе пайки, например таких параметров, как температура и время пайки, импедансный угол, концентрация флюса и чистота припоя.

Очевидно, что представленная в этой главе информация не применима во всех ситуациях. Однако читатель сможет найти здесь информацию, которая поможет выбрать быстрый и простой метод для решения каждой конкретной задачи. Невозможно заранее предвидеть проблему во всех ее комбинациях. Неверно также предположение, что каждое условие вызывается лишь одним проблематическим фактором; обычно заслуживают внимания сразу несколько, но в подобной книге невозможно перечислить все возможные комбинации этих факторов. Читателю надлежит сделать свое собственное заключение, чтобы определить встретившийся ему дефект.

Раздельная проверка каждого такого фактора несомненно полезна. Например, если деталь сильно окислена и, следовательно, не может паяться с нормальным флюсом и, кроме того, флюс не ложится на всю поверхность, то это нарушение представляет собой уже сложную проблему, которая может быть устранена только при исправлении обоих условий, т. е. при подборе химически адекватного флюса и выборе способа нанесения флюса, обеспечивающих покрытие всей поверхности платы.

ПЛОХАЯ СМАЧИВАЕМОСТЬ

Смачиваемость и механизм образования паяного соединения подробно описаны в гл. 14. Достаточно напомнить, что плохая смачиваемость недопустима при любой пайке. Плохую смачиваемость можно определить как состояние, при котором соединяемые поверхности только частично покрываются расплавленным припоем, а несмачиваемые участки остаются без припоя. Например, в случае пайки меди это проявляется в наличии точечных отверстий и участков оголенной меди на поверхностях, имеющих отличающиеся от чистого припоя общую окраску и вид. Плохую смачиваемость не следует путать с несмачиваемостью. Плохая смачиваемость может быть вызвана многими причинами, из которых ниже перечислены наиболее часто встречающиеся. Иногда плохую смачиваемость можно ликвидировать повторным флюсованием и повторной пайкой. В этом отличие ее от несмачиваемости, которую таким способом устранить нельзя.

1. Посторонние примеси на поверхности печатной платы

Остатки нефтяных продуктов, жира, красок, воска могут оказаться между флюсом (припоем) и поверхностью печатной схемы или компонента. Это может стать причиной серьезного брака. Все такие вещества обычно удаляют с помощью органических растворителей в процессе очистки.

В некоторых случаях эти вещества попадают на поверхность от грязной защитной маски или из-за затекания мате-

риала маски на контактные площадки платы. После термобработки органические вещества, предназначенные для защиты поверхности от смачивания припоем, не могут быть удалены растворителями.

Можно сразу определить, произошло ли затекание вещества маски, по слабой смачиваемости только на краях контактных площадок, ближайших к слою маски. Единственным средством против этого дефекта является шлифование поверхностей, предназначенных для пайки, при котором нужно только принять меры, исключающие попадание абразива на поверхность платы.

Попадание абразивного материала также является серьезной проблемой, вызывающей слабое смачивание и несмачивание. В гл. 13 подробно рассматривается опасность брака, связанная с задирами на поверхности после шлифования. Если абразивный материал оказался ввертываемым в поверхность и вызвал несмачивание или слабое смачивание, необходимо провести глубокое травление, снимающее поверхностный слой, в котором остались частички абразива, и таким образом получить чистый металл, хорошо смачиваемый припоем. Глубокое травление является нежелательной операцией, поскольку оно может вызвать серьезные побочные эффекты.

Следует упомянуть еще об одном виде загрязнения. Силиконовые масла, часто используемые для облегчения освобождения деталей из полости прессформы и в качестве смазки, также могут попасть на поверхность печатной платы или компонентов схемы и вызвать плохую смачиваемость. Удаление этого масла является очень трудной операцией и его использование следует ограничить только теми случаями, которые не приводят к плохой паяемости. Использование силиконовых масел в качестве защищающего ванну припоя слоя является другим источником таких дефектов, поскольку эти масла при нагревании выделяют пары, которые могут сконденсироваться на паяемой поверхности и вызвать различные затруднения.

С чисто производственной точки зрения попадание инородных материалов на поверхность печатных плат и на выводы компонентов никогда не должно быть причиной плохой смачиваемости, поскольку это легко определить при испытаниях на паяемость, которые описаны в гл. 14.

2. Прочная окисная пленка

Наличие прочной окисной пленки, которую нельзя удалить с помощью обычного флюса, выбранного для пайки, может привести к слабой смачиваемости. Появление такой пленки может быть вызвано неправильными условиями хранения или технологическими операциями, осуществляющимися без надлежащего контроля. При такой ситуации фактически нельзя требовать замены флюса, но если все же эта ситуация имеет место, то достаточно провести травление перед пайкой, чтобы улучшить паяемость еще до флюсования (см. гл. 12).

Если дефект определенно вызван наличием прочной окисной пленки и источник ее появления обнаружен и оказался неустранимым, то необходимо либо ввести в качестве обязательной операции предварительное травление, либо сменить флюс на такой, который способен разрушить пленку. В этом случае улучшению пайки способствуют увеличение времени обработки флюсом и предварительный подогрев перед пайкой.

Наличие прочной окисной пленки и слабую смачиваемость легко обнаружить при испытаниях на паяемость. Это еще раз доказывает важность и экономическую выгоду проведения таких испытаний.

3. Недостаточное флюсование

Причиной частичного или слабого смачивания может быть недостаточное флюсование, например, в результате недостаточного контроля за давлением воздуха при флюсовании вспениванием или неправильной регулировки высоты волны флюса при волновом флюсовании.

Плотность флюса также является важным фактором, поскольку она определяет количество флюса, наносимого на поверхность, и, следовательно, его эффективность. Измерение плотности флюса описано в гл. 4. Контролирование плотности флюса исключает также возможность случайного использования флюсов несоответствующей марки или качества при отсутствии маркировочного знака, небрежном хранении, обработке и т. д.

Если на поверхность платы вообще никакого флюса не наносить, то на печатной плате или на компонентах

может удержаться некоторое количество припоя, который, по существу, физически застывает на поверхности. Это состояние легко распознать. Новичок, однако, может ожидать того, что припой совершенно не прилипнет к поверхности, а это практически почти невозможно.

4. Недостаточные время или температура пайки

Недостаточные время или температура пайки могут привести к плохой смачиваемости вследствие нарушения основных условий, обеспечивающих качество пайки. Читателю следует помнить, что температура, соответствующая точке плавления не подходит для пайки и что для хорошей пайки требуется температура выше точки плавления на 55—85°C. Время пайки для типовой платы зависит от оборудования и режима пайки и должно соблюдаться с точностью $\pm 0,5$ сек.

Температуру пайки довольно просто поддерживать с помощью простого следящего устройства непрерывного действия. Время пайки определяется скоростью конвейера и может быть замерено. Плохая пайка может иметь место, если высота самой волны припоя периодически меняется и, следовательно, некоторые участки на плате остаются пропущенными. Этот дефект, однако, сразу обнаруживается.

НЕСМАЧИВАЕМОСТЬ

Это состояние очень похоже на слабую смачиваемость и отличается лишь тем, что в процессе пайки погружением или пайки волной припой физически отталкивается по всей поверхности и, следовательно, еще до застывания скатывается с поверхности, создавая состояние несмачиваемости, показанное на рис. 15.1. Причины, вызывающие несмачиваемость, аналогичны причинам слабой смачиваемости и не требуют дополнительного рассмотрения. Для того чтобы можно было распознать несмачиваемость, очень важно убедиться в существовании углублений на поверхности припоя, поскольку при излишке припоя на контактных площадках печатной платы его невозможно содрать. Подробно это описано в гл. 14.

Повторная пайка палат, в которых обнаружена несмачиваемость, не улучшает положения, поскольку металл

фольги в данном случае нельзя обработать ни дополнительным флюсованием, ни припоем. Чтобы получить хорошую

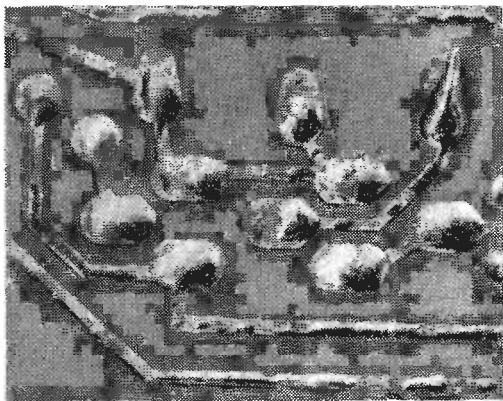


Рис. 15.1. Несмачиваемость, которая отличается от слабой смачиваемости тем, что здесь не видно участков основного металла.

пайку, необходимо полностью удалить припой с поверхности. Металлизация загрязненной поверхности также может привести к несмачиваемости. Поэтому необходимо обдирку вести до поверхности основного металла.

ХОЛОДНАЯ ПАЙКА

Это состояние, показанное на рис. 15.2, определяется наличием треснутого и неровного паяного шва, который появляется при смещении компонентов относительно печатной платы во время застывания припоя. Обнаруженное перемещение компонентов и движение жидкого припоя во время застывания является признаком несомненного нарушения целостности шва и необходимости его исправления. Брак можно исключить, если обеспечить плавный перенос печатных схем после пайки.

Холодную пайку можно исправить только перепайкой и ее не следует путать с растрескавшимся паяным швом, описанным ниже.

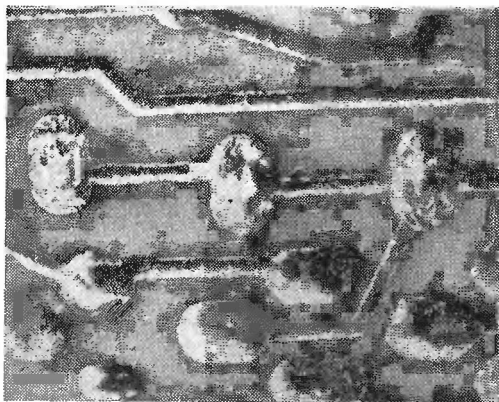


Рис. 15.2. Нарушенное соединение. Вызвано перемещением компонентов во время застывания припоя, что мешает образованию однородной капли припоя. Этот дефект виден только на трех паяных соединениях с выводами.

ТРЕЩИНЫ В ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

Они появляются обычно в результате различных коэффициентов термического расширения припоя, печатных плат, слоя металлизации в отверстиях, и выводов, вводимых в точку пайки. Трещины бывают различных видов и избежать их можно, выбирая материалы с меньшими коэффициентами линейного расширения. Гальванопокрытия имеют большую пластичность, они более податливы к сжатию и растяжению и поэтому не допускают появления трещин. Очень удобно, что припой является материалом, который отпускается при комнатной температуре, и напряжения, возникающие при охлаждении паяного шва, не вызывают появления трещин после затвердевания припоя, хотя при этом и изменяются размеры печатной платы. Рис. 15.3 иллюстрирует случай, когда трещины фактически определяются пластичностью гальванически нанесенной меди в отверстиях. Такое состояние, однако, не возникало бы при использовании более хрупких гальванопокрытий, если применялись платы с большей теплостойкостью и меньшим коэффициентом линейного расширения. Все эти дефекты не связаны с самим припоем, а обусловлены побочными

эффектами термического воздействия в процессе пайки и, следовательно, не могут рассматриваться как проблемы пайки.



Рис. 15.3. Трещины в паяном соединении вызваны недостаточной пластичностью медного слоя. Проблема решается изменением метода металлизации.

ИЗБЫТОК ПРИПОЯ НА ПЕЧАТНОЙ СХЕМЕ

Было время, когда качество печатных схем оценивалось по наличию округлого «жирного» утолщения в местах пайки. Этим критерием руководствовались контролеры, проверяющие качество изделий. Однако фундаментальные исследования в этой области показали, что утолщение не увеличивает ни токопроводящей способности, ни прочности паяного соединения и поэтому является необязатель-

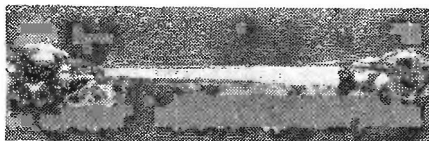


Рис. 15.4. Утолщения от избытка припоя (слева), когда невозможно рассмотреть выводы и качество смачивания на соединении. Справа хорошо виден контур провода.

ным. Более важным фактором является экономия припоя. Кроме того, наличие «жирных» утолщений неудобно и для проведения контроля паяных соединений. На рис. 15.4 показаны утолщения от избытка припоя в местах паек. Здесь не видно выводов и нельзя определить степень смачиваемости поверхностей. Избыток припоя не увеличивает прочности или токопроводности и вообще не приносит никакой пользы.

Если уже образованы утолщения от избытка припоя, то для исправления ситуации рекомендуется сделать следующее.

5. Импедансный угол

К появлению утолщения может привести неправильный угол соприкосновения волны припоя с платой. Более незаметные утолщения и контурную пайку можно получить, если изменить угол таким образом, чтобы припой мог стекать с поверхностей так же, как он стекает из резервуара с жидким припоем.

Наиболее подходящим считается наклон плат под углом от 1 до 7° к горизонтали.

6. Более высокая температура пайки или большая продолжительность пайки

Используя эти два фактора, можно снять излишки припоя и в тех случаях, когда припой застывает на поверхности до того, как появляется возможность его слить, даже при правильном выборе угла соприкосновения (см. выше). В результате можно повысить температуру утолщения и обеспечить слив припоя. Если это невозможно, нужно рассмотреть следующие рекомендации.

7. Подогрев

Предварительный подогрев платы дает результат, проиллюстрированный на рис. 15.6. Подогрев повышает общую температуру пайки и, кроме того, обеспечивает лучшие условия для флюсования.

8. Плотность флюса

Изменение плотности флюса способствует улучшению качества пайки. Применение канифольных флюсов повышенной плотности может, например, улучшить условия для слива припоя.

Эта мера неудобна в том смысле, что повышенная плотность флюса может оказать вредное влияние в тех случаях, когда на поверхности должно оставаться минимальное количество флюса без применения очистки. Следовательно, необходимо выбирать оптимальную плотность флюса с точки зрения получения небольших утолщений и незначительных остатков флюса на поверхности.

НАТЕКИ ПРИПОЯ

Натеки припоя возникают как на печатных платах при пайке погружением или пайке волной, так и на компонентах и выводах при ручной пайке. Натек — это обычно излишняя



Рис. 15.5. Натек на плате являются результатом плохой паяемости. Подобные дефекты возникают при наличии больших незаполненных отверстий и низкой температуры пайки.

масса припоя, застывающая в виде конических сосулек с острыми концами (рис. 15.5). В некоторых случаях для оплавления концов этих сосулек и их удаления применяется обработка платы второй волной припоя или во второй ванне с припоем. Такую меру применять нецелесообразно в тех случаях, когда образование натеков указы-

вает на плохую смачиваемость или несмачиваемость, т. е. на дефекты, не устраняемые многократным паянием. Недостаточна эта мера и в таких случаях, когда причиной появления натеков было слишком короткое время пайки или низкая температура. Удаление натеков обработкой платы шкуркой или каким-либо другим абразивом равноценно по результату вторичному погружению в припой. Причины образования натеков состоят в следующем.

9. Плохая паяемость

К образованию натеков может привести плохая паяемость. Этот случай можно распознать по несмачиваемости или плохой смачиваемости по краям участков платы, на которых основания натеков скрывают этот дефект. Дефект трудно устранить повторным погружением, поскольку при этом состояние поверхности основного металла не улучшается.

10. Наличие больших незаполненных отверстий в плате

Это тоже может вызвать натеки, подобные показанным на рис. 15.5. Дефект нельзя исправить, пока компоненты не будут введены в предназначенные для них отверстия. Натеки образуются фактически из припоя, который заливается в пустые отверстия во время пайки. Перед застыванием этот припой выливается из отверстий под действием силы тяжести и образует натеки. Этот тип натеков обычно встречается в односторонних платах и редко в двухсторонних с металлизированными отверстиями.

11. Недостаточное время пайки и низкая температура

Эти условия тоже могут вызвать появление натеков на печатных платах. В этом случае устранить дефект можно либо повышением температуры припоя, либо уменьшением скорости, с которой платы проходят зону паяния. В тех случаях, когда нельзя следовать ни одной из этих рекомендаций, большинство натеков можно удалить с платы

с помощью подогрева. Эту операцию не следует путать с применением вторичной пайки, которая часто используется для устранения натеков.

12. Низкая температура жала паяльника

Подобные условия могут возникать при ручной пайке. Образуемые при этом натеки имеют направление, в котором жало паяльника удаляли от точки пайки. Дефект можно исправить, если сильнее разогреть паяльник или увеличить время пайки. Количество припоя, имеющегося на жале паяльника, также влияет на образование натеков. В тех случаях, когда количество припоя велико, натеки образуются даже в тех случаях, если время и температура пайки соответствуют режиму пайки.

ПАУТИНА ИЗ ПРИПОЯ

Образование паутины из припоя обычно бывает вызвано прилипанием припоя к поверхности диэлектрика между



Рис. 15.6. Образование паутины из припоя, показанной на этой печатной плате, вызвано обычно неправильной термообработкой диэлектрика, который при пайке становится мягким и липким, что и вызывает прилипание к нему припоя.

металлическими полосками. Такое название дефекта объясняется внешним видом этих образований, действительно напоминающих паутину (рис. 15.6). Появление паутины можно объяснить тремя причинами.

13. Наличие водорастворимых лаков

Эти материалы могут вызвать образование перемычек из припоя, или паутины. Если материалы, используемые для покрытия печатных плат, несовместимы с используемым флюсом, то при флюсовании они не удаляются. При нагревании в процессе пайки они размягчаются, становятся липкими и за счет этого удерживают припой, который остается на поверхности в форме, показанной на рис. 15.6. В случае образования такой паутины на поверхности платы можно попробовать очистить несколько плат с помощью сильных растворителей, например ацетона, МЭК (метилэтилкетона) или метилхлорида, для удаления следов покрытия. Если и после этого паутина припоя не появляется, то вероятнее всего ее появление обусловлено неправильной термообработкой платы.

Необходимо, однако, учитывать, что сильные растворители, хотя и снимают большинство органических покрытий с поверхности, но ухудшают общее качество платы. Следовательно, применение сильных растворителей может быть только диагностической мерой. Необходимо также помнить, что большинство водорастворимых лаков и других несовместимых с флюсами защитных покрытий очень трудно удаляется даже сильными растворителями, и поэтому необходимо быть абсолютно уверенным в том, что покрытие действительно удалено. Рекомендуется наряду с применением растворителей применять очистку абразивами.

14. Неправильная термообработка платы

В принципе механизм образования паутины в этом случае подобен описанному выше. Причина ухудшения качества поверхности платы не совсем ясна, хотя довольно просто установить, что поверхность становится липкой во время пайки и в результате образуется паутина. В нескольких случаях автор обнаружил, что предварительный отпуск плат до монтажа улучшал положение, а это может служить доказательством того, что неправильная термообработка не является единственной причиной образования рассматриваемого дефекта. Наиболее целесообразно для устранения паутины проконсультироваться с поставщиком диэлектрика и следовать его рекомендациям.

Испытанием, помогающим проверить, имеются ли в самом материале платы (с покрытием или без покрытия) какие-либо дефекты, является погружение его в припой без флюса. В этом случае тепловое воздействие на поверхность платы сильнее и переключек из припоя может получиться больше. Наличие вязких тяжелых канифольных флюсов на поверхности может полностью исключить возможность образования паутины, поскольку флюс и его остатки обладают теплоизоляционными свойствами, и поэтому припой за короткое время не достигнет поверхности платы и не успеет сделать ее липкой, а следовательно, паутина из припоя не образуется.

15. Окалина

Если окалина и примеси в припое соприкасаются с поверхностью печатной платы, также может образоваться паутина. Обычно этот технологический брак, связанный с эксплуатацией оборудования, легко исправляется. Использование защитного слоя на поверхности ванны припоя в этом случае значительно уменьшает вероятность появления паутины.

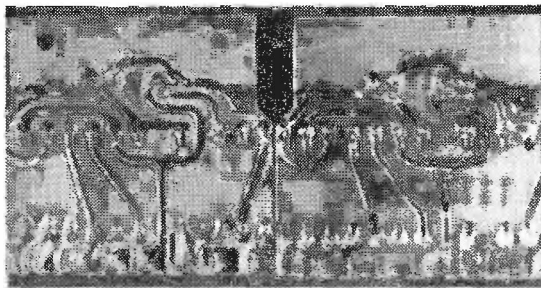
ПРИЧИНЫ ПОЯВЛЕНИЯ БЕЛОГО ОСАДКА НА ПОВЕРХНОСТИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Часто обнаруживается, что после пайки или последующей очистки на поверхности остается белый осадок органического происхождения, который не оказывает воздействия на величину удельного сопротивления поверхности печатной платы (рис. 15.7). Однако поскольку поверхность платы в этом случае выглядит неряшливо, т. е. теряет товарный вид, то наличие такого осадка недопустимо.

Пытаясь доказать большое влияние температуры пайки на образование осадка на платах, автор провел ряд испытаний, позволяющих сделать следующие выводы.

Платы с белым осадком в процессе обработки полностью покрывались флюсом и лишь частично погружались в припой сначала с одной, а затем и с другой стороны. Белый осадок появлялся только на той стороне, которая была в непосредственном контакте с горячим припоем. Наличие

и марка флюса никак не влияли на конечный результат, пока не был применен относительно сухой флюс с малой теплоемкостью. Если применялись водорастворимые флюсы, то осадок был небольшой или отсутствовал полностью. В зависимости от температуры припоя и времени выдержки получалось разное количество белого осадка. Применение



• **Рис. 15.7.** Белый осадок, связанный с присутствием водорастворимых лаков. Убрать его можно, сняв покрытие. Показаны предварительно очищенная плата и неочищенная.

небольшого количества воды, вылитой на плату, предотвращало образование осадка на этом участке, хотя вода при температуре пайки вызывала бурный процесс парообразования.

Флюсы обычно содействуют образованию белого осадка, но резко вызывают брак, так как он очень просто ликвидируется заменой одного флюса другим. Существует также возможность использовать растворитель флюса или остатки флюса в качестве маски, совершенно закрывающей белый осадок. В некоторых случаях канифольные флюсы в процессе операции очистки удаляют этот белый осадок.

16. Водорастворимые лаки

Водорастворимые лаки, особенно если они уже давно затвердели, могут быть причиной появления белого осадка на печатной плате после пайки. Это связано с несовместимостью таких лаков с канифольными флюсами, в результате которой лак не удаляется вместе с флюсами. Покрытие, таким образом, остается на поверхности и очевидно пре-

терпевает какие-то химические изменения под влиянием нагрева во время пайки, оставляя белый осадок. Такой осадок легко удаляется после пайки с помощью очистки платы сильным растворителем. Однако чтобы вообще избежать появления белого осадка, рекомендуется перед пайкой лаковое покрытие снять.

17. Неправильная термообработка

Неправильная термообработка диэлектрика также может послужить причиной появления белого осадка. Явление носит случайный характер, может появляться только время от времени. Обычно наблюдается в определенной партии печатных плат, изготовленных из одной партии диэлектрика, и исчезает при переходе к другой партии. Белый осадок, который образуется в результате неправильной термообработки диэлектрика, можно удалить с помощью соответствующих растворителей. Брак такого вида трудно исправить без сотрудничества с поставщиками диэлектрика. Интересно отметить, что часто образование осадка прекращается, если применить предварительную очистку диэлектрика теми же растворителями, которые снимают осадок. По-видимому, в этом случае растворитель снимает дефективный слой на поверхности, который является причиной образования белого осадка. Точная картина процесса отслоения или образования материала, дающего осадки, не совсем ясна. Нагревание листов диэлектрика не всегда решает проблему. Опознать диэлектрик с таким дефектом можно по характерному изменению окраски нагретых поверхностей. Но эти изменения цвета не всегда однородны и меняются от участка к участку.

18. Несовместимость флюса и защитных покрытий

Возможна несовместимость флюса с защитными и другими органическими покрытиями, имеющимися на поверхности печатной платы. Это особенно касается некоторых масок из смол на меламиновой основе и водорастворимых флюсов. Уже говорилось о том, что значительно облегчить решение проблемы в этом случае можно только при замене флюса.

19. Ухудшение материала платы после обработки в различных растворах

В соответствии с данными поставщика диэлектрика и печатных плат установлено, что существует определенная зависимость между появлением белого осадка и применяемыми технологическими растворами. Автор провел ряд лабораторных испытаний, которые подтвердили, что температура и время выдержки материалов в электролитах влияют на вероятность появления белого осадка. Поэтому рекомендуется сокращать время обработки изделий в растворах, насколько это возможно, и поддерживать возможно более низкую температуру. Это, в частности, касается электролитов, содержащих олово — никель.

Эксперименты проводились с платами, изготовленными из одного и того же материала, которые в оптимальном технологическом режиме и не давали никаких деградаций; увеличение времени выдержки их в электролите на 50% вызвало появление белого осадка.

20. Старение канифольного флюса

На рис. 15.8 помещена фотография печатной платы с остатками флюса на стороне с печатными проводниками.



Рис. 15.8. Остатки канифольного флюса на плате, которые становятся белыми после выдержки платы при повышенной влажности. Это происходит при использовании как активированных, так и неактивированных канифольных флюсов.

Эти остатки канифольного флюса после выдержки в условиях повышенной влажности в течение нескольких недель

привели к появлению белого осадка. Такое явление наблюдалось на платах, покрытых даже неактивированной беловодной канифолью. Точный механизм происходящих процессов еще не ясен. Существует предположение, что белый осадок — это результат появления в слое флюса сетки тончайших трещин и поглощения влаги. На контрольных платах с поверхностью высокой чистоты образование белого осадка не показало ухудшения удельного поверхностного сопротивления сверх величины, определяемой пайкой. Кроме того, при повторном нагреве плат осадок становится прозрачным, хотя и несколько темнеет.

ТЕМНЫЙ ОСАДОК И СЛЕДЫ ТРАВЛЕНИЯ

Очень часто на верхней или нижней стороне печатной платы или на самой пайке обнаруживается темный осадок. Наблюдается также изменение окраски паек. Это является обычно результатом неправильного флюсования или неправильного снятия флюса. Рассмотрим все возможные ситуации.

21. Остатки канифольных флюсов

Оставленные канифольные флюсы дают темно-коричневый осадок на печатной плате. Снятие канифольных флюсов через несколько часов после пайки сильно затруднено, и они могут остаться на тех участках платы, где не было интенсивного перемешивания растворителя. Следовательно, платы немедленно после пайки должны быть обработаны в очищающей ванне (если предстоит снимать остатки флюса).

22. Остатки кислотных флюсов

Кислотные флюсы, оставленные после пайки на паяемых поверхностях, могут вызывать потемнение или травящее действие, которое нельзя ни смыть, ни удалить с поверхности пайки. Явление легко имитируется нанесением кислотного флюса на поверхность горячего припоя в экспериментальном образце. Затем можно провести сравнение с пятнами, обнаруженными на изделии.

Чтобы исключить потемнение припоя, оказалось необходимым разработать специальные флюсы. Эти флюсы действуют довольно мягко и пригодны только для изделий, которые уже подвергались пайке или лужению. Мерой предупреждения дефектов такого типа является немедленное удаление кислотных флюсов или, в некоторых случаях, их нейтрализация.

23. Обугливание органических флюсов

Имеется множество флюсов, для которых температура пайки может превышать термическую стабильность составляющих веществ.

Если появляются следы обугливания, необходимо точно поддерживать рекомендуемую температуру пайки, задаваемую поставщиком. Необходимо применять флюсы с более высоким температурным пределом, но того же типа, и это поможет исключить появление нежелательного осадка, который не растворяется растворителями, обычно используемыми в технологии печатных плат.

ЗЕЛЕНЬЙ ОСАДОК

Зеленая окраска для большинства людей, работающих в электронной промышленности, ассоциируется с наличием продуктов коррозии. Однако это не всегда справедливо, если для пайки применялись канифольные флюсы. К тому же очень трудно бывает установить различие между чисто зеленым цветом и голубоватыми оттенками осадков, которые могут быть вызваны другими веществами, применяемыми в технологии печатных плат. В общем случае можно сказать, что зеленый налет указывает на наличие дефектов и необходимость тщательной проверки изделия контролерами. Это особенно важно, если зеленый налет появляется постепенно по мере старения изделия или после его хранения в течение определенного периода.

Как будет показано ниже, появление зеленого налета может быть результатом либо неправильной очистки и фактически возникшей коррозии, особенно в сплавах меди (поскольку ионы меди в большинстве неорганических солей имеют зеленый или голубоватый цвет), либо неправильной

очистки от каких-то других веществ, используемых в обработке печатных плат, например, персульфатов, которые также имеют голубоватый цвет. Наконец, продукты реакции меди и беловодной канифоли могут привести к появлению зеленых прозрачных осадков, химически и электрически инертных, но неправильно расцениваемых как продукты коррозии.

24. Продукты коррозии

Зеленый налет часто образуется при пайке меди и медных сплавов с применением флюса без канифоли. Продукты коррозии, содержащие ионы меди, всегда имеют голубоватый или зеленоватый цвет и поэтому появление зеленой окраски является отличным индикатором плохой очистки. Зеленый осадок, связанный с канифолью, подробно рассматривается ниже. Если зеленые продукты коррозии обнаружены, необходимо обязательно проверить все изделие более тщательно, особенно на наличие вызывающих коррозию веществ, которые, вероятно, остались на поверхности в трещинах или в местах, не доступных для проверки. Удаление этих веществ зависит от их типа и происхождения. При этом очень важно знать, какие технологические растворы и флюсы использовались. Удаление этих веществ химическим путем осуществляется довольно просто при условии, что в результате операции очистки изделие не может быть повреждено.

25. Абиаты меди

Абиаты меди — это продукты взаимодействия окиси меди и абиетиновых кислот беловодной канифоли. Они имеют зеленую окраску и их часто путают с продуктами коррозии. Эти вещества, если они получаются из химически чистых окиси меди и абиетиновой кислоты, являются хорошими изоляторами и не содержат никаких примесных ионов, которые могут вызвать появление токов утечки или какие-либо другие ухудшения электрических характеристик схемы. Автор проводил изменения поверхностного сопротивления в печатных платах с покрытием обыкновенной беловодной канифолью и абиатами меди и не смог уловить разницу полученных результатов. Для выяснения механизма обра-

зования абиатов меди и их свойств автор провел серию следующих испытаний.

Небольшое количество оксидов и сульфидов меди смешивалось с небольшим количеством чистой беловодной канифоли. Смесь нагревалась в кварцевых пробирках на слабом огне приблизительно 5 мин до температуры, не превышающей 150° С. В результате получался зеленый абиат меди, в котором можно заметить тонкую суспензию металлического абиата. Некоторые сорта меди образуют медное зеркало на кварце. Зеленый абиат растворяли в спирте, медь отфильтровывали и получался чистый прозрачный зеленый продукт, электрические характеристики которого определялись после испарения спирта. Как уже упоминалось, несмотря на интенсивную зеленую окраску, не наблюдалось никаких ухудшений канифоли.

Чистая медь сначала очищалась от металлической окисной пленки, затем помещалась в виде суспензии в канифоль при той же температуре в атмосфере чистого сухого азота. Нельзя было заметить никаких изменений в окраске канифоли. Вес меди за время эксперимента совершенно не менялся. Такие же испытания повторялись затем в обычной атмосфере, и медленное окрашивание в зеленый цвет при этом указывало на образование в пробирке абиатов меди. Они появлялись в результате медленного окисления меди воздухом и после того как окисная пленка на поверхности меди соприкасалась с канифолью. В этом случае отмечалось небольшое уменьшение веса меди. Проведенные испытания показывают, что металлическая медь не вступает в реакцию с канифолью и что канифоль вступает в реакцию с окисью меди и образует зеленый абиат меди.

Трудно определить, вызвано ли зеленое окрашивание только наличием абиатов меди или в этом повинны также и продукты коррозии, но образование этого осадка само по себе не должно вызывать особой тревоги, поскольку появление такого осадка неприятно только с эстетической точки зрения.

26. Осадки персульфатов

Вещества, которые используются для травления и для других операций обработки печатных плат, иногда обнаруживаются на печатных платах после пайки. Вероятно, растворы этих веществ поглощаются трещинами на плате.

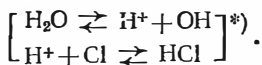
Под действием тепла при пайке они выталкиваются на поверхность. Их иногда принимают за продукты коррозии, вызываемой флюсом. Хотя эти материалы должны быть удалены, как и все другие продукты коррозии, их происхождение легче определить, если известны рецепты технологических растворов. Возможность появления описанного дефекта можно исключить, введя очистку платы перед пайкой. Следование требованиям, определяющим режимы очистки непаяных печатных плат, является гарантией хорошего качества. Все, чего требуется достигнуть,— это концентрации ионизированных материалов не более 1 : 1 000000. В некоторых случаях эти остатки легко отличимы от продуктов коррозии благодаря их кристаллическому виду. После начала цикла коррозии идентификацию уже сделать не просто и требуется провести химический анализ.

ПРОДУКТЫ КОРРОЗИИ БЕЛОГО ЦВЕТА НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Мы рассматривали вопрос о появлении белого осадка на печатных платах. Следует рассмотреть также возникновение белого осадка на выводах компонентов или металлических поверхностях. Особенно часто такой осадок наблюдается при использовании сплавов, богатых свинцом. Белые аморфные вещества, показанные на рис. 15.9, являются результатом воздействия на выводы примесных хлоридов. Механизм процесса детально описан ниже.

Появление белого осадка вызвано коррозией оловяно-свинцового припоя в присутствии хлоридов. Металлические выводы обычно защищены от воздействия окружающей среды плотным слоем липкой вязкой окиси свинца.

При наличии ионов хлора происходит следующая реакция. Для простоты в формуле используется хлористоводородная кислота, так как ее легко получить из ионов хлора и воды по следующему уравнению:



*) В книге нет реакций, отражающих собственно процесс коррозии.

Возникающий при реакции с кислотой хлорид свинца образует рыхлый слой, нестабильный во влажной атмосфере, содержащей углекислый газ CO_2 . Как видно из правой части нижнего уравнения, описывающего цикл коррозии, хлорид свинца легко преобразуется в более стабильный углекислый свинец PbCO_3 , освобождая новые ионы хлора, которые вступают в реакцию со слоем окиси свинца. Углекислый свинец, являющийся конечным продуктом процесса коррозии, образует очень пористый белый налет, который

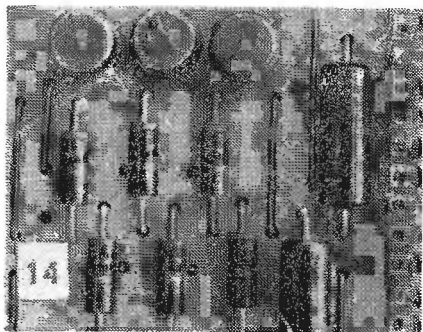


Рис. 15.9. Белые продукты коррозии, появляющиеся на проводах с большим содержанием свинца после 24 часовой выдержки при повышенной влажности, из-за присутствия примеси хлоридов.

не защищает металлических выводов. В результате атмосферный кислород проникает к поверхности металла и вызывает ее окисление. Окись свинца снова превращается в хлорид свинца при наличии свободных ионов хлора. Ионы хлора регенерируются при дальнейшем преобразовании хлорида свинца в углекислый свинец, и этот процесс продолжается до тех пор, пока не израсходуется весь свинец, при условии, что в окружающей среде имеются вода и углекислый газ.

Как видно из всего сказанного, присутствие хлоридов в любых изделиях, где пайка осуществляется оловяно-свинцовыми припоями, всегда является потенциальным источником дефектов. При применении канифольных флюсов негигроскопичная канифоль обволакивает хлориды и не допускает образования белых продуктов коррозии. Однако достаточно с поверхности удалить только канифоль

и оставить активаторы хлоридного типа и другие хлоридные примеси, описанная реакция происходит очень быстро. На рис. 15.8 показан именно такой случай, когда использовался активированный канифольный флюс и неправильная очистка проводила к выпадению на поверхности хлоридов с относительно большой концентрацией. Выдержка во влажной атмосфере в течение 24 час привела к образованию описанного осадка.

Очистка платы от остатков флюса описана в гл. 12 и 13 при рассмотрении операций пайки. Различные процедуры испытаний и проверки как часть системы контроля качества описаны в гл. 14.

ТОЧЕЧНЫЕ ОТВЕРСТИЯ И ГАЗОВЫЕ РАКОВИНЫ В ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

На рис. 15.10 показана типичная картина газовых раковин на печатных платах. Такой дефект следует отличать от точечных отверстий или пор, которые значительно

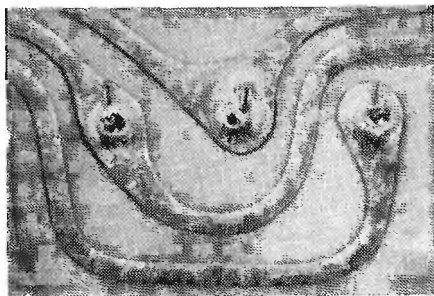


Рис. 15.10. Газовые раковины на печатных платах с золотым покрытием, вызванные содержанием большого количества полирующего реагента в электролите золочения. Раковины не появляются, если из электролита удалить эти органические материалы.

меньше в диаметре. Однако испытания плат в вакууме показали, что поры обычно скрывают под собой крупные полости и могут быть классифицированы как газовые раковины или как свидетельство наличия неоднородности в паяном соединении. Появление пор и пузырей на поверхности указывает также на существование газовых раковин или вздутий,

которые не вышли на поверхность. Для лучшего понимания этого процесса рассмотрим тепловой баланс пайки.

Тепло при пайке подается с нижней стороны платы. Это условие сохраняется и при предварительном нагреве. Следовательно, верхняя сторона платы обычно имеет более низкую температуру, чем нижняя. На верхней стороне имеются также относительно массивные проводники тепла в виде выводов компонентов, клемм и тому подобных элементов, выходящих из платы. Эти металлические детали выполняют



Рис. 15.11. Газовый пузырь в паяном соединении. В этой плате дефект появился из-за наличия точечных отверстий.

роль теплоотводов. Таким образом, более низкая температура и наличие теплоотводов приводят к тому, что верхняя часть капли припоя застывает раньше. Газ, попавший или образовавшийся внутри капли припоя из-за высокой температуры, расширяется. Если поверхность капли застыла, этот газ выбрасывается через основание капли припоя, поскольку только там остался припой, который не застыл. Именно поэтому большинство точечных отверстий и газовых пузырей находится на нижней стороне печатной платы. Если нижняя сторона платы остыла раньше, чем газовый

пузырь расширился настолько, что достиг основания капли, то в местах паек образуются полые капли припоя с большими газовыми пузырями. На рис. 15.11 показан типичный пример крупного газового пузыря в паяном соединении, имеющем множество точечных проколов.

27. Органические загрязнения

Наличие на печатных платах и на проволочных выводах компонентов загрязнений органического происхождения может привести к образованию во время пайки газов и, как следствие, к появлению газовых пузырей, полостей и пор. Эти дефекты появляются из-за неправильного хранения изделий или несовершенства оборудования для автоматизи-

ческой сборки, формовки выводов и т. п. Простой очистки поверхностей слабыми растворителями обычно достаточно для удаления всех органических загрязнений. Однако силиконовые масла и другие материалы, содержащие кремний, иногда не поддаются растворению в обычных растворителях. Выходом из положения может быть замена смазки. (Силиконовые масла вызывают также плохую смачиваемость.)

Под словом «загрязнения» можно понимать также несоответствующий флюс. Хотя это и случается довольно редко, некоторые флюсы содержат вещества, которые могут вызвать такие же дефекты, как и загрязнения, т. е. появление пузырей и пор. Проблема решается простой сменой рецептуры флюса.

28. Влага в платах

Влага может попасть в платы из электролитов и других технологических растворов. Эта влага может поглощаться материалом платы (при использовании дешевых сортов) и захватываться пористыми покрытиями или трещинами в металлизированных отверстиях. В результате воздействия тепла при пайке влага испаряется и могут образоваться газовые раковины. Такое положение легко исправляется простым введением непродолжительной операции предварительного прогрева плат перед сборкой или пайкой. Чтобы удалить влагу и в то же время не создать никакой опасности для платы и для компонентов, достаточно выдержки платы в течение 2 час при 80° С.

В плате могут остаться ионизируемые вещества, поскольку нет никакой гарантии, что трещинами была захвачена чистая вода, а не растворы травления или электролиты. Этого можно не опасаться, так как за счет нагрева при пайке эти вещества выталкиваются на поверхность, и если после пайки проводится тщательная промывка, то всякая опасность появления брака из-за наличия этих веществ полностью исключается.

29. Полировочные реагенты в гальванических растворах

Полировочные реагенты, особенно при золочении, приводят к образованию газовых раковин. Как видно из рис. 15.10, большое количество полировочного реагента

может дать большие газовые раковины, если этот реагент, который соединяется с золотом в электролите в результате электрофореза, испаряясь при температуре пайки, дает газовые раковины и проколы. Наилучшим методом ликвидации этих дефектов является смена электролита на такой, который содержит наименьшее количество органических веществ и полирующих реагентов.

Чтобы не допустить появления таких дефектов в платах с уже нанесенным покрытием, автор предлагает провести промежуточную операцию лужения. Платы флюсуют и подаются на паяльную установку без компонентов; пустые платы после пайки резко встряхивают, чтобы удалить весь лишний припой с поверхности и из отверстий. Затем платы подают на линию сборки, где монтируются компоненты, и после флюсования на вторичную пайку. В этом случае при второй пайке газовых пузырей не образуется. Но это удорожает процесс и не может быть рекомендовано для постоянного использования.

30. Температурный дисбаланс

При низких температурах или малой продолжительности пайки температурный дисбаланс особенно активно влияет на образование газовых раковин. Механизм застывания капель припоя в точках пайки и образование в них раковин описан выше. Удерживая длительное время поверхностный слой капли расплавленным, можно добиться того, что все газы выйдут через основание паяного соединения и не окажут никакого воздействия на его характеристики. Это простейший способ не допустить образования газовых раковин в платах, но он может быть рекомендован не всегда. Время пайки и ее температуру окажется возможным снизить, если ввести подогрев плат после флюсования и нагревание инфракрасными лучами верхней части платы во время пайки, чтобы удержать поверхностные слои припоя в расплавленном состоянии.

УЛАВЛИВАНИЕ МАСЛА

Иногда при выполнении операций по исправлению дефектов пайки обнаруживается, что как только горячее жало паяльника касается капли припоя, она взрывается.

При более тщательном изучении платы на ее поверхности можно найти брызги припоя и масла. Опыт показывает, что в этом случае вместе с припоем на поверхность печатной платы при относительно низкой температуре подается масло. Если температуру и время пайки сократить ниже критических значений, то масло захватывается каплей припоя на плате.

При повторном нагревании соединения для выравнивания шва или исправления другого дефекта масло расширяется, и если оно было захвачено массой металла, создает большое внутреннее давление. Расплавление любой части металлической оболочки вокруг капли масла вызывает эффект взрыва. Это очень опасно для оператора, поскольку расплавленные брызги могут попасть на кожу или даже в глаза. Увеличение времени пайки или повышение ее температуры обычно решают эту проблему. В случае необходимости применяется также подогрев верхней стороны платы, чтобы сохранить припой на плате расплавленным как можно дольше. Интересно отметить, что до сих пор мало уделяется внимания эффекту захвата флюса таким же образом.

ТУСКЛЫЙ ПРИПОЙ

Это явление можно разделить на два основных случая:

1. Операция пайки проводится на участке давно и припой внезапно становится тусклым. (Причиной может быть наличие металлических примесей или влияние флюса, как описано ниже.)

2. Технологическая линия только что запущена и припой сразу получается тусклым; тогда виновной может быть любая из рассмотренных ниже причин.

Проанализируем каждую из них отдельно.

31. Металлические примеси

Если рассматривается пайка золоченых поверхностей, то именно в этом случае металлические примеси могут вызвать потускнение припоя. Единственной мерой предотвращения дефекта является сведение к минимуму содержания в припое примесей, металлических и неметаллических. Более подробно это описано в гл. 14.

Если примесей в припое мало, но припой все равно остается тусклым, то это обычно связано с растворением золота, имеющегося на печатных проводниках. Это явление наблюдали и изучали многие ученые, которые рекомендовали использование слаборастворимого слоя золота (пористое золото растворяется быстрее, чем плотное гальваническое покрытие) или замену материала покрытия. Тусклый припой на плате рассматривался в прошлом как большой недостаток и NASA предлагает даже совсем удалять золото с поверхностей, подлежащих пайке, соскабливая его, и повторно проводить пайки таких участков после удаления золота.

32. Влияние флюса

Флюс, особенно на горячей поверхности, может вызвать потускнение припоя. Это можно отнести к полностью активированным канифольным флюсам и флюсам кислотного типа, которые, оставаясь долгое время на поверхности, могут немного протравить поверхность и вызвать ее потускнение. Простым решением в этом случае является немедленная промывка платы после пайки.

Чтобы устранить уже возникшее потускнение, необходимо повторно нагреть припой, который после этого становится таким же блестящим, как и до нанесения флюса.

Использование некоторых неорганических флюсов кислотного типа тоже приводит к образованию тусклого налета оксихлорида цинка (если применяется хлорид цинка). Этот налет можно удалить только с помощью 1%-ного раствора соляной кислоты, который вступает в химическую реакцию с оксихлоридом цинка, делает его растворимым и удаляет с поверхности. Однако такой флюс не рекомендуется применять для пайки печатных плат, даже если выводы компонентов сделаны из нержавеющей стали и используются другие материалы, плохо поддающиеся пайке. В таких случаях для паяемых элементов потребуется предварительная очистка.

Собственное свойство сплавов с низким содержанием олова состоит в том, что они имеют тусклый вид. Следовательно, когда применяется промышленный сплав 40/60, то поверхность припоя получается относительно тусклой. От скорости, с которой застывает расплав, зависит степень этого потускнения.

Если сразу после пайки применяется обработка воздушным шабером, то можно добиться относительно блестящей поверхности при сплавах с низким содержанием олова, хотя при нормальной длительности охлаждения поверхность тускнела. Потускнение припоя не следует смешивать с влиянием примесей в припое или с холодной пайкой. (Здесь тоже застывший припой может иметь морозный узор или быть тусклым.) Возможность потускнения следует учитывать при удешевлении припоя и находить компромиссное решение.

ЗЕРНИСТЫЙ ПРИПОЙ

Прежде всего следует определить, что следует понимать под зернистым припоем. Зернистый припой выглядит так, будто на поверхности капли припоя имеются маленькие зернышки, которые выступают над поверхностью и делают ее неровной. Это особенно заметно при тщательном рассмотрении припоя на выводах компонентов. Явление связано с одной из трех описанных ниже причин. Тот же припой в другом месте имеет нормальный вид, и на нем зерен не заметно.

Одним из способов распознавания, какая из трех возможных причин привела к образованию зернистости, является применение острых скребков. Зернышки и комочки после среза изучаются под микроскопом.

Если зерна состоят из металлоподобных частиц, то выше вероятность того, что причиной их образования является наличие интерметаллических соединений. Если частицы неметаллические по природе и похожи скорее на окалину, то причина описана ниже.

В некоторых случаях по цвету частиц можно определить состоят ли они из пластика подложки или из других посторонних материалов.

34. Интерметаллические кристаллы

Кристаллы, которые образуются при сильном загрязнении припоя основным металлом, могут вызвать образование соединений с зернистой структурой. Особенно часто этот дефект вызывают медь или серебро, которые в основном используются в печатных схемах. Если в припое при анализе обнаруживается большой процент основного металла, то припой рекомендуется немедленно сменить.

35. Окалина

В некоторых случаях, особенно при пайке волной из-за плохой системы подачи припоя, на его поверхности скапливается окалина, попадающая в волну припоя и смешивающаяся с ним. Попадание окалины в места пайки вызывает зернистость капель припоя на плате.

Если такая ситуация возникает, то окалину, набившуюся в жиклер насоса, необходимо немедленно смыть сильной струей, и работу машины нужно остановить на несколько часов. Необходимо, следовательно, разобрать установку, очистить насос подачи припоя и снова запустить оборудование. Эта процедура обходится довольно дорого, и поэтому экономически более выгодна автоматизация подачи припоя в волну.

В некоторых случаях, когда привод насоса осуществляется ременной передачей, можно снять ремень и повернуть шкив веревкой в обратном направлении. Таким образом снимается большая часть окалины с насоса. При реверсе насоса очень полезным может оказаться введение соли олова в ванну или применение сопла с защитным слоем от припоя. Такая операция требует, однако, много времени, и ее не рекомендуется проводить постоянно.

36. Вкрапление инородных материалов

В некоторых случаях вкрапление инородных материалов в выводы компонентов тоже вызывает зернистость их поверхности. Здесь влияние оказывают частицы более крупные, чем те, которые рассматриваются при несмачиваемости и слабой смачиваемости. Наличие вкраплений

таких материалов можно проверять до и после пайки, но изоляция, подтеки или заусенцы на компонентах, стружки материала печатной платы, оставшиеся от операции штамповки, часто становятся причиной указанных дефектов.

ЖЕЛТЫЙ ОТТЕНОК ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Иногда на поверхности всех паяных соединений появляется желтый оттенок или нечто вроде желтой пленки. Обычно это связано с высокой температурой пайки, когда образуются окислы олова определенного типа, имеющие желтый оттенок. Когда такая желтая пленка появляется на паяных соединениях, необходимо проверить температуру пайки и устранить неисправность в системе регулирования температуры.

Это явление сопровождается изменением окраски самой печатной платы и другими нежелательными последствиями, поскольку действию высокой температуры подвергается все изделие.

ОБРАЗОВАНИЕ ПЕРЕМЫЧЕК

Образование перемычек — это такой дефект, когда избыток припоя соединяет два соседних печатных проводника



Рис. 15.12. Образование перемычек на печатной плате из-за ее плохой конструкции. Стрелкой показано направление движения припоя. Изменение направления движения примерно на 90° устраняет возможность образования перемычек на этом участке, но из-за плохой конструкции этот дефект может появиться в другом месте.

(рис. 15.12). Иногда возможность появления перемычек ослабляется при использовании масла в паяльной ванне.

Причиной образования перемычек может быть неверный расчет конструкции платы (рис. 15.12), когда припой не может протекать по ней в нужном направлении, так как направление линии пайки не параллельно пути прохождения расплавленного припоя. Как показано на рис. 15.12, всегда вызывает образование перемычек изгиб в 90° .

Средством предупреждения этого дефекта является такой выбор направления пайки, чтобы на его пути было наименьшее число поперечин, или же применение паяльной маски. Можно, конечно, изменить конструкцию платы.

Загрязненный припой или окалина, попавшая на поверхность, также могут вызвать этот дефект. Замена припоя и очистка оборудования для пайки волной обычно предотвращают эти дефекты.

ИСПЫТАНИЯ

Неотъемлемой задачей производства является подтверждение соответствия параметров изделия техническим условиям. Хотя чаще всего основное внимание уделяется технологическому контролю, гарантирующему высокое качество изделия, возрастает роль также и выходных испытаний. Все, что касается технологического контроля, было изложено в разделах книги, описывающих соответствующие процессы. Настоящий раздел посвящен описанию функциональных и электрических испытаний.

В нем рассматривается большое количество методов испытаний и их применение. Однако если вы хотите правильно решить поставленные перед вами конкретные задачи, то прежде всего необходимо позаботиться об их точном определении.

Процесс испытаний должен быть совместимым с методами, использованными при изготовлении и сборке конечного изделия. Поэтому перед изучением настоящего раздела может оказаться полезным краткое ознакомление с соответствующими главами разделов, касающихся сборки и пайки.

КОНТРОЛЬ СБОРКИ

Харолд Э. Симэн,

Пауэрипси, Нью-Йорк

ВВЕДЕНИЕ	648
ПОДГОТОВКА К ИСПЫТАНИЯМ	648
1. Конструирование изделий с учетом требований испытаний	648
2. Анализ изделия с точки зрения испытаний	651
ИСПЫТАНИЯ ПЕРЕД СБОРКОЙ	653
3. Проверка компонентов при их получении	653
4. Контроль компонентов в процессе сборки	654
5. Выборочный или партионный контроль	654
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	656
РАССМОТРЕНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СХЕМ	659
6. Входные условия	659
7. Выходные условия	660
ОБРАЩЕНИЕ С ПЛАТАМИ	660
МЕТОДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ИСПЫТАНИЙ	662
8. Программирование переключателями	662
9. Программирование с помощью реле	665
10. Программирование с помощью коммутационной штуккерной панели	667
11. Предварительное программирование с помощью панели с запаянными перемычками	667
12. Дискретное программирование	669
13. Запоминаемые программы	672
МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ	673
ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПРИЕМКЕ	675
14. Решение по приемке при ручном контроле	675
15. Решение по приемке при автоматическом контроле	676

ЦИФРОВЫЕ КОМПАРАТОРЫ	678
16. Анализ данных	679
УСЛОВИЯ ГАРАНТИИ КАЧЕСТВА	680
17. Электрические испытания	680
18. Механические испытания	682
19. Эксплуатационные стандарты	682
РАБОТА ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	682
20. Операционная последовательность	683
21. Эксплуатация оборудования	683
22. Техническое обслуживание оборудования	685
23. Квалификация	686
24. Поддержание бесперебойности работы	686
25. Организация	686

Процесс изготовления блоков на печатных платах состоит из большого количества операций. Он начинается после завершения разработки электрической схемы и завершается выпуском блока, полностью готового к работе. В данном разделе рассматриваются проблемы испытаний «полностью готовых блоков». Поскольку в данной книге невозможно рассмотреть все вопросы, связанные с испытанием печатных схем, то рассматриваются только наиболее важные из них. Описываемые методы испытаний не касаются каких-то определенных печатных схем; следует помнить, что при изготовлении конкретных блоков всегда будут возникать свои специфические проблемы при их испытаниях.

ПОДГОТОВКА К ИСПЫТАНИЯМ

1. Конструирование изделий с учетом требований испытаний

Правильность изготовления блока на печатных схемах лучше всего проверить, обеспечив подключение источника питания, входные сигналы, условия нагрузки, контрольные приборы и заданные условия эксплуатации.

Многие из проблем, с которыми может столкнуться инженер в ходе испытаний, могут быть вызваны общей конструкцией блока. Количество этих проблем можно сократить, если соблюдать ряд правил при конструировании.

Основные правила. Существует ряд правил проектирования блоков, при соблюдении которых испытания упрощаются.

1. Обеспечьте необходимые контрольные выводы от соответствующих точек схемы.

2. Не соединяйте параллельно подобные компоненты на одной и той же печатной схеме.

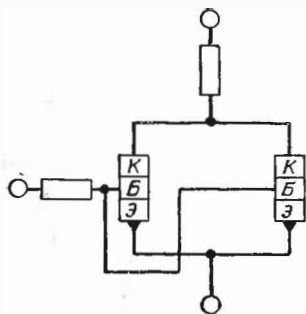
3. Предусмотрите возможность подключения бистабильных схем с соответствующим испытательным устройством.

4. Обеспечьте условия одноконтурной работы последовательных схем.

5. Обеспечьте подключение источника питания к одним и тем же зажимам на каждой печатной плате.

6. Стандартизируйте зажимы платы, размеры платы и ее форму. Рассмотрим два примера. Схема с параллельно включенными компонентами (транзисторами), представленная на рис. 16.1, практически непригодна к испытаниям с какой-либо степенью уверенности.

Печатная плата, имеющая такую схему, была бы соединена через ее выводы и, если бы один транзистор был открыт,



○ Контакты печатной платы

Рис. 16.1. Два транзистора, включенные параллельно на одной и той же плате.

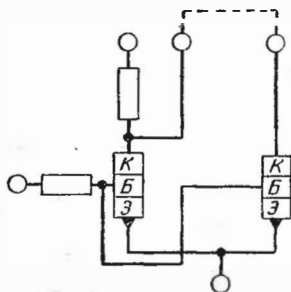


Рис. 16.2. Два транзистора, включенные параллельно с помощью соединений, находящихся вне печатной платы.

Другой транзистор мог бы обеспечить ток нагрузки в период испытаний, позволяя принять схему. Однако открытый транзистор в этой схеме будет нагружать другой транзистор, вызывая его преждевременный отказ: транзистор с короточными электродами может быть выявлен и не выявлен при испытаниях в зависимости от используемых уровней напряжения и испытательного оборудования.

Решением этой частной задачи, связанной с параллельными компонентами, является внешнее соединение обоих коллекторов, т. е. соединение их за пределами платы, как показано на рис. 16.2. Это позволяет измерять такие параметры, как падение напряжения от коллектора к эмиттеру по заданной испытательной схеме для каждого транзистора.

Другой пример, иллюстрирующий излишнее усложнение испытаний, показан на примере каскадной схемы рис. 16.3.

Без дополнительной контрольной точки, обозначенной F , схема могла быть оценена с помощью характеристики выхода E (ручная проверка в данном случае не рассматривается). Характеристика транзистора Q_1 может быть на границе и даже за пределами технологических требований,

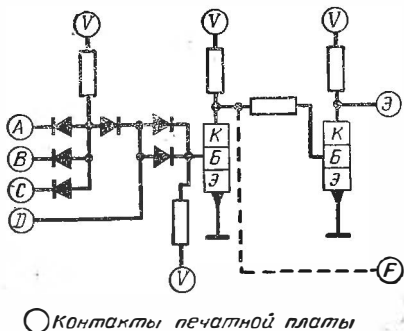


Рис. 16.3. Транзисторная схема с добавленной контрольной точкой.

но, скомпенсированная характеристикой транзистора Q_2 , может быть не оценена. Добавление вывода испытательной точки позволяет избежать этого.

Стандартизация. Установление стандартного выполнения общей схемы и компоновки печатных схем обуславливает возможность стандартного выполнения общей схемы и конструкции испытательного оборудования. Если каждая печатная схема имеет стандартное оконечное устройство, тогда испытательное оборудование требует только соответствия этому оконечному устройству. Для каждого используемого оконечного устройства необходимо предусматривать соответствующее ему устройство на испытательном оборудовании. Значение стандартизации возрастает с увеличением степени автоматизации; это особенно существенно в отношении физической конфигурации печатных схем. Создавать оборудование общего применения для различных форм и размеров печатных схем экономически и технически нецелесообразно.

Понимание важности испытания для всего процесса создания печатных схем помогает при разработке надежного испытательного оборудования. Это понимание достигается только в ходе полной проверки изделия. Во-первых, при проверке изделия наибольшее внимание следует уделять следующим моментам:

1. Физической совместимости между различными типами печатных плат.
2. Физической совместимости отдельных схем внутри общей печатной схемы.
3. Требованиям, предъявляемым к испытаниям.
4. Требованиям к процессам изготовления.
5. Количеству идентичных печатных схем.
6. Размеру партии образцов.
7. Требованиям к производству функции времени.
8. Специфическим требованиям, таким, как электрические испытания в условиях вибраций.

Во вторых, следует уделять внимание следующей группе вопросов:

1. Сколько печатных схем, которые будут испытываться, имеют одинаковые требования к напряжению на одинаковых режимах?
2. Каковы требуемые различные входные сигналы и где они должны быть использованы?
3. Насколько различна нагрузка схемы как на входных, так и на выходных зажимах?

Если продолжать перечислять моменты, на которые следует обратить внимание при испытаниях, то их лучше представить в табличном виде (табл. 16.1—16.4). Из этих

Таблица 16.1

Требуемые виды испытаний для различных печатных схем

Тип печатной схемы	Контроль целостности цепей	Контроль напряжения	Функциональные испытания на постоянном токе	Нефункциональные испытания на постоянном токе	Испытания на переменном токе
A	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
B	»	»	»	Нет	Нет
C	Нет	»	Нет	Есть	»
D	»	Нет	»	Нет	Есть

Требуемые типы разъемов для различных печатных схем

Тип печатной платы	10-контактный разъем	20-контактный разъем	Другие
A	+	—	—
B	+	—	—
C	—	+	—
D	—	+	—
E	—	—	+

Таблица 16.3

Классификация печатных схем по схемным признакам

Тип печатной схемы	Логика по току	Логика по напряжению	Другие признаки	Аналоговый выходной сигнал	Логический выходной сигнал
A	Есть	—	—	—	—
B	»	—	—	—	—
C	—	—	Есть	Есть	—
D	—	Есть	—	—	Есть
E	—	»	—	—	»

Таблица 16.4

Необходимость досборочных испытаний

Тип печатной схемы	Проверка печатного монтажа (до установки компонентов)	Испытания узлов (испытания до полной сборки)	Специальные испытания
A	Есть	—	—
B	»	Есть	—
C	—	»	—
D	Есть	—	Есть
E	»	—	—

таблиц начинает вырисовываться форма испытательного оборудования, вид и количество требуемых испытаний, количество печатных схем, которое необходимо испытать в единицу времени, совместимость и несовместимость.

Надежность работы блока — результат надежности каждого элемента этого блока. Например: если печатная схема имеет десять сопротивлений и вероятность, что все десять исправны на 98%, эта же печатная схема имеет десять конденсаторов и вероятность, что все они исправны на 90%, и вероятность исправности панели до установки на ней блока — 99%, и исправность работы блока гарантируется на 95% времени, тогда общая надежность блока на печатных схемах равна произведению вероятностей ($0,98 \times 0,9 \times 0,99 \times 0,95 = 82,9\%$).

Если надежность сопротивлений снижается до 50%, тогда общая надежность становится $0,5 \times 0,9 \times 0,99 \times 0,95 = 42,3\%$. Отсюда видно, как важно не допустить использования неисправных элементов при сборке блока.

3. Проверка компонентов при их получении

Компоненты, используемые в блоках на печатных схемах, обычно проходят выборочные испытания по графику, который гарантирует качество. График составляется на основе прогноза уровня качества данной группы по результатам испытаний случайного образца, взятого из этой группы. Первоначальный график выборочных испытаний может быть заменен выдачей групповых сертификатов. При таком методе испытания будет выборочно проверена одна группа из пяти. Если испытания проходят успешно, то принимаются все пять групп. Такой метод может привести к снижению стоимости испытаний, обеспечивая тот же самый уровень качества. Оборудование, используемое при этом типе испытаний, должно быть точным и универсальным и должно включать некоторые средства для фиксирования результатов испытания. Конечно, вид проводимых испытаний будет диктоваться типом компонентов и их назначением.

В табл. 16.5 приведены испытания, проводимые при получении транзисторов.

Печатная плата должна пройти испытания до установки на ней компонентов.

4. Контроль компонентов в процессе сборки

Этому испытанию подвергаются компоненты, которые до установления их в блок были подвергнуты воздействию (изменена их форма). Оборудование для этого типа испытания обычно простое и недорогое. Оно становится неотъемлемой частью линии сборки. При испытаниях используются следующие виды оборудования:

1. Устройство для проверки транзисторов или диодов (полупроводниковые приборы).

2. Устройство для обнаружения правильности коммутации проводников, для проверки короткого замыкания и проверки правильности соединения разъема с соответствующими проводниками.

3. Устройство, используемое для определения сохранения изоляционных свойств печатной схемы на различных этапах процесса.

Испытания транзисторов при входном контроле

Обозначение

Испытание

- I_{CEX} — ток запирающего, обратное смещение эмиттер — коллектор, обратное подключение базы;
- I_{CEO} — ток запирающего, обратное смещение эмиттер — коллектор, база разомкнута;
- $V_{V_{CEO}}$ — пробивное напряжение, обратное смещение коллектор — эмиттер, база разомкнута;
- $V_{BE} (sat)$ — напряжение насыщения база — эмиттер, установленные значения токов I_C и I_B ;
- $V_{CE} (sat)$ — напряжение насыщения коллектор — эмиттер, установленные значения токов I_C и I_B ;
- h_{FE} — статическое отношение прямых токов для схемы с общим эмиттером;
- t_{on} — время включения;
- t_{off} — время выключения;
- $I_{CEX} (life\ test)$ — ток запирающего, измеряемый периодически в течение 1000 час выдержки на старение в термошкафу.

5. Выборочный или партионный контроль

При изготовлении большой партии печатных схем одного типа проверка осуществляется выборочным методом. Этот метод проверки весьма перспективен. Задача этого метода заключается в выявлении любых недостатков и неустойчивости в процессе до производства большой группы. Это

осуществляется путем анализа брака выбранной группы, прошедшей через стадии испытания, в процессе сборки

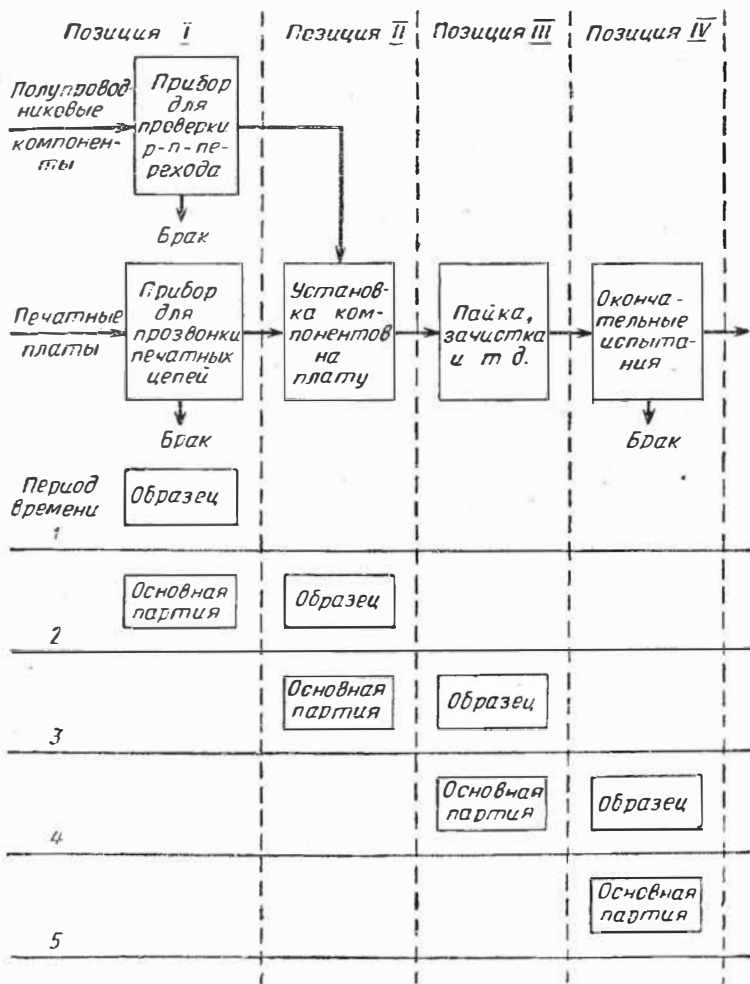


Рис. 16.4. Схема испытаний в процессе изготовления.

и окончательной стадии испытания. На рис. 16.4 представлен этот процесс.

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

При экономическом расчете испытательного оборудования прежде всего учитывается количество схем, испытываемых в данный период времени.

Метод оценки стоимости включает рассмотрение всех вспомогательных методов. Например, рассматриваются экономические факторы, входящие в выбор ручного или автоматического испытательного оборудования. На рис. 16.5 представлен метод и форма анализа стоимости двух методов.

Из этих данных следует вывод: метод аналогичен общему анализу и может использоваться во многих случаях; производительность ручного испытательного устройства — 360 изделий/час; производительность автоматического испытательного устройства — 1800 изделий/час.

Оборудование полностью окупается в течение трех лет, длительность программы три года, средняя испытательная нагрузка в ходе программы — 1400 схем/час в течение 240 рабочих дней в году при 7-часовом рабочем дне. Таким образом:

1400 печатных схем/час · 7 час/день · 240 дней/год ·

3 года = 7 000 000 печатных схем (общая программа испытательных работ).

Используя метод 1, ручное испытательное устройство, получим стоимость испытания одной схемы следующим образом:

1. Потребное количество испытательных устройств определяется путем деления заданного объема испытания в час на производительность ручного испытательного устройства:

$$\frac{1400 \text{ печатных схем/час}}{360 \text{ печатных схем/час}} = 3,9 \text{ или } 4 \text{ испытательных устройства.}$$

2. На рис. 16.5 общая стоимость первого ручного испытательного устройства составляет 82 500 долл. Стоимость каждого последующего устройства составляет 62 500 долл. Стоимость трех последующих испытательных устройств 187 500 долл.

Общие затраты на всю программу = 270 000 долл.

3. Путем деления общей стоимости программы испытаний на количество испытываемых печатных схем получаем стоимость испытания одной единицы (печатной схемы):

$$\frac{270\,000}{7\,000\,000} = 0,0386 \text{ долл./шт.}$$

Статья расхода	Метод 1. Ручное испытательное устройство			Метод 2. Автоматическое устройство		
	I год	II год	III год	I год	II год	III год
Разработка	5 000			15 000		
Конструирование	15 000			45 000		
Оборудование (амортизация)	12 500	8 250	4 250	50 000	33 000	17 000
Установка				25 000		
Обслуживание	500	500	500	12 000	12 000	12 000
Эксплуатация	12 500	1 200	1 200	12 000	12 000	12 000
Всего:	45 000	20 750	16 750	159 000	57 000	41 000
Общий итог:			82 500			257 000
Стоимость каждого последующего устройства:						
Оборудование (амортизация)	12 500	8 250	4 250			
Обслуживание	500	500	500			
Эксплуатация	12 000	12 000	12 000			
Всего:	25 000	20 750	16 750			
Общий итог:			62 500			

Рис. 16.5. Сравнение стоимости ручного и автоматического контроля.

Используя метод 2, автоматическое испытательное устройство, получим стоимость испытания одной схемы следующим образом:

1. Потребное количество испытательных устройств определяется путем деления заданного объема испытания в час на производительность автоматического испытательного устройства:

$$\frac{1400 \text{ печатных схем/час}}{1800 \text{ печатных схем/час}} = 1 \text{ испытательное устройство.}$$

2. На рис. 16.5 общая стоимость для автоматического испытательного устройства составляет 257 000 долл.

3. Путем деления общей стоимости программы испытаний на количество испытываемых печатных схем получаем стоимость испытания одной единицы (печатной схемы).

$$\frac{257\,000}{7\,000\,000} = 0,0367 \text{ долл./шт.}$$

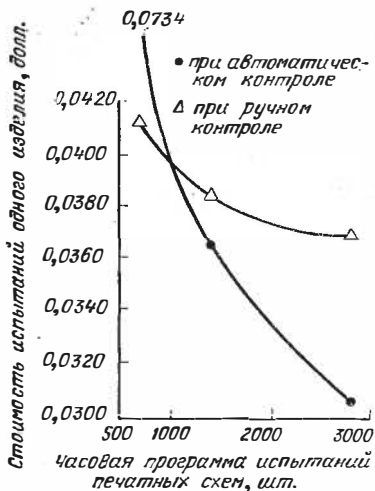


Рис. 16.6. Стоимость испытания одного изделия при ручном и автоматическом контроле.

Выводы: Значения стоимости испытания единицы (печатной схемы) при каждом методе оказались очень близкими. Построив графики стоимости для различных объемов программы испытаний, мы определим по точке пересечения этих графиков, при какой программе испытаний стоимости испытаний единицы изделия будут равны, как показано на рис. 16.6.

Окончательное решение о выборе метода испытаний (ручного или автоматического), когда стоимости испытаний единицы изделия оказываются очень близкими, принимается на основании учета конкретных особенностей данного производства.

К этим особенностям относятся возможность увеличения или снижения объемов производства, переналадки оборудования для другой программы, моральный износ оборудования и т. д.

При рассмотрении факторов, определяющих стоимость единицы изделия, стоимость разработки и конструирования, стоимость установки оборудования, стоимость самого оборудования, уход за ним, площадь, занимаемая им, коммунальные услуги и бытовые помещения, подготовка операторов, подготовка обслуживающего персонала, наглядные пособия, инструкции, программирование и т. д.— важно понимать значение каждого из них.

Если это не сделано, то последующие расчеты исказят действительную стоимость.

РАССМОТРЕНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СХЕМ

Печатная схема помещается в условия, которые позволяют соединить ее с соответствующими входными и выходными схемами. Для каждого испытания на печатную схему должны быть поданы определенные входные и выходные сигналы.

6. Входные условия

Большинство испытаний осуществляется путем имитации рабочих условий, так что печатная схема, выполняющая роль усилителя, получила бы входной сигнал, имитирующий «самый плохой» сигнал, который может быть реально получен. Для имитации входных сигналов используют синусоидальные, импульсные или экспоненциальные генераторы.

Иногда требуется входное условие, которое не может быть реализовано промышленными испытательными приборами. Тогда необходимо создать входной имитатор или использовать проверенную схему, которая обеспечит входное условие для схемы при ее испытании. Пассивные входные условия (например, открытая схема) или уровни напряжения имитируют путем использования промышленных источников питания, делителей напряжения или других стандартных схем. При переключении входного испытательного оборудования от одного зажима к другому следует обратить особое внимание на обеспечение согласования между входами генератора и испытываемой печатной схемы.

7. Выходные условия

Выходные условия обычно имитируют с помощью цепей, которые обеспечивают действительные условия нагрузки. Однако, когда условия нагрузки изменяются как функции работы схемы, необходимо использовать реальные схемы. Особое внимание следует обратить на сохранение требуемых импедансов схемы. Выходная нагрузка имитируется «самой худшей», какая может быть для схемы в рабочих условиях.

ОБРАЩЕНИЕ С ПЛАТАМИ

Методы, используемые при подключении печатных схем к испытательному оборудованию, в большой степени зависят от количества печатных схем, которые нужно использовать в данный период времени, экономических и физических факторов испытательного устройства и печатных схем.

Существует три метода: ручной, полуавтоматический и автоматический. В некоторых случаях сочетание этих трех методов может оказаться лучшим, чем использование одного из них.

Ручной метод является самым простым и требует только наличия соответствующих испытательных гнезд и необходимых контактных зажимов, к которым испытываемые печатные схемы подключаются. Печатные схемы вручную доставляют на место испытаний, отдельно включают, испытывают и удаляют.

Полуавтоматическое зажимное приспособление увеличивает производительность ручной системы путем обеспечения определенного контактного давления, правильной установки и снижения усталости оператора. Большинство полуавтоматических контактных систем используют воздушные или пружинные прижимы для обеспечения контакта печатной схемы с контактами испытательного оборудования. Оператор только устанавливает схему в нужное положение и включает механизм, обеспечивающий контакт.

Автоматический метод используется при необходимости проведения массовых испытаний, где ручная работа слишком непроизводительна и неэкономична.

Автоматическая система должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Вызывать как можно меньше напряжений и деформаций печатных схем.

2. Печатные схемы не должны устанавливаться одна на другую, так как это может привести к повреждению проводников печатной схемы.

3. Обеспечивать защиту печатных схем от неправильно работающей системы.

4. Легко приспособляться к изменениям формы печатных схем.

Автоматическое устройство может использовать промежуточное устройство, которое помещается между испытуемой печатной схемой и самим автоматическим устройством. Печатная схема загружается в это устройство, а затем автоматическое устройство само поворачивает, подсоединяет это устройство, а не печатную схему.

При разработке метода контактирования должны учитываться применяемые усилия, контактируемые поверхности и используемые материалы. Модели контактной системы после изготовления должны быть подвергнуты испытаниям на срок службы, чтобы определить износ, работоспособность системы и степень загрязнения поверхности контактов. Контактная система должна создаваться с учетом как электрических, так и механических характеристик схемы. Например, предпочтение отдается «сухим» контактам, не изменяющим силы тока. (Для регулирования мощности схемы используются внешние переключатели.)

При точном измерении наибольшие трудности возникают из-за контактных сопротивлений, контактных емкостей и индуктивности выводов. Существование этих параметров легко объяснимо. Все контакты подвергаются износу, и износ изменяет как физические, так и электрические характеристики. Эти изменения влияют на проводимые измерения, вызывая ошибочные результаты. Следовательно, чтобы обеспечить требуемую надежность контактной системы, должны быть усовершенствованы программы замены и ремонта. Программа должна быть разработана на основе тщательно контролируемых экспериментов, проводимых на контактной системе.

Поскольку контакты, вероятно, будут заменены или обновлены несколько раз, то очень важно учесть эти мероприятия. Один из лучших методов, который можно использовать (если позволяют электрические требования), заключается в применении буферного контакта; при этом контакт, требующий замены, помещается между контактом испытательного устройства и зажимами испытуемой печатной

схемы (автоматический оператор, использующий промежуточное устройство, описанное выше, будет выполнять две функции — роль буферного контакта и роль устройства для обслуживания панели).

МЕТОДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ИСПЫТАНИЙ

При анализе изделия начинает вырисовываться программа работы испытательного оборудования. Если графики и таблицы указывают на заметное различие характеристик в производственной линии, то программирование становится существенно необходимым. Если, с другой стороны, отличия в изделии невелики, то программирование играет меньшую роль. Программирование — это термин, применяемый для определения всего необходимого для установления требуемых испытательных условий для данного изделия.

Объем программирования может изменяться от простой установки переключателя, проводимой по методике испытаний, отпечатанной на машинке, до запоминания данных в электронно-вычислительных устройствах. Кроме того, необходимо также включить условия, когда испытываемая схема сама анализируется с помощью программно-вычислительного устройства. Тогда условия испытаний, обеспеченные вычислительным устройством, и принятые критерии будут использованы непосредственно для испытательного устройства. Тип программирования, используемый в данном оборудовании, будет продиктован исходя из экономических критериев. Он может быть определен путем анализа и составления графика стоимости для различных методов программирования, используя тот же самый метод, который описан ниже, при экономическом анализе требований, предъявленных к оборудованию.

8. Программирование переключателями

Для программирования подходят поворотные переключатели, группы кнопочных переключателей и координатные переключатели. Каждый метод испытаний требует предварительного составления программы, указывающей последовательные положения переключателей для каждого

замера. Для схемы, показанной на рис. 16.7, должна быть записана следующая программа испытаний.

Для печатной схемы типа А переключатель 1 должен быть поставлен в положение 1, переключатель 2 в положе-

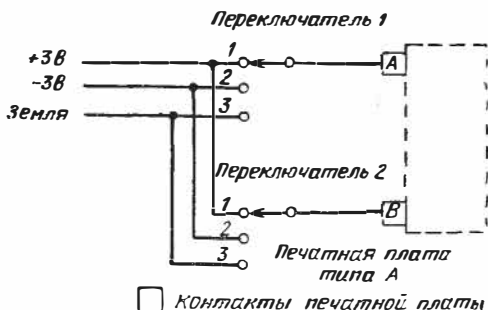


Рис. 16.7. Программирование с ручным переключением.

ние 2 и т. д. Программа излагается на типовой карте, как показано в табл. 16.5.

Таблица 16.5

Типовая таблица для ручной установки переключателей

Номер испытания	Номер переключателя	Положение переключателя	Функции	Контакты печатных схем
1	1	1	+3 в	А
1	2	2	-3 в	Б
2	1	2	-3 в	А
2	2	1	+3 в	Б
3	1	3	земля	А
3	2	3	земля	Б

Программирование переключений производится, если число переключателей и их позиций не слишком велико. Однако недостаток этого программирования заключается в том, что программу трудно перестроить, если изменяются или сама печатная схема, или требования к испытаниям. Кроме того, в производственных условиях имеет значение износоустойчивость переключателей. Переключатели, не обеспечивающие хорошего контакта, приведут к бра-

ковке качественных плат или к приемке некачественных плат. Следовательно, должны быть установлены строгие

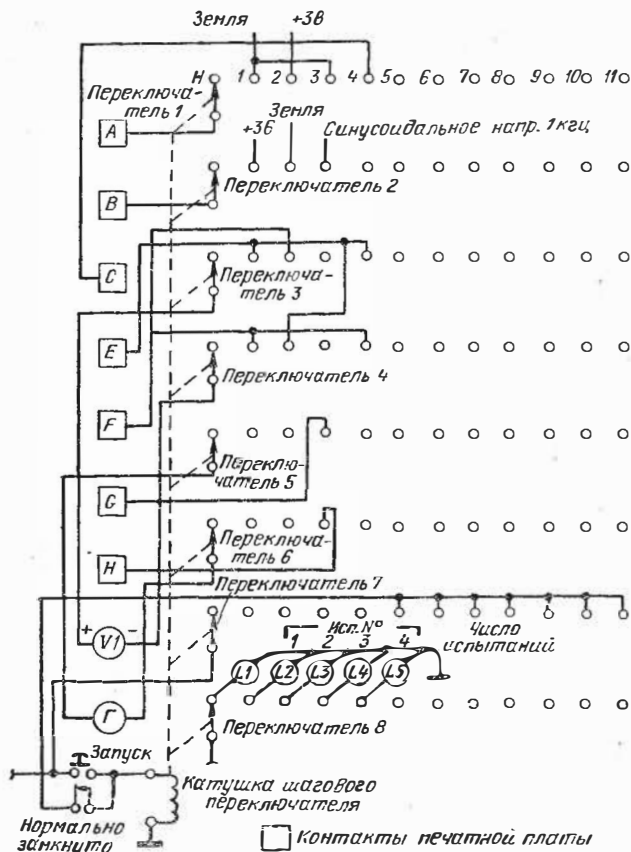


Рис. 16.8. Испытательная схема с шаговым искателем.

эксплуатационные правила с периодической заменой переключателей.

Следующий этап программированного переключения — использование ступенчатых переключателей. Этот метод особенно желателен, когда проводится ряд последовательных испытаний.

На рис. 16.8 иллюстрируется типичное построение испытания с помощью шагового искателя. Квадратики с буквами

обозначают зажимы печатной платы, подвергающейся испытанию. В данном случае использовался 8-контактный 12-позиционный переключатель. Операции производятся в такой последовательности:

1. Оператор вставляет в разъемное гнездо испытываемую печатную плату, подсоединяя любую требуемую силовую цепь.

2. Оператор нажимает и потом отпускает кнопку пуска. Шаговый искатель ставится в положение 1, где «земля» подключается к зажиму *A*, $+3в$ — к зажиму *B*, зажим *E* соединяется с положительным полюсом вольтметра, зажим *F* — с отрицательным полюсом вольтметра и лампочка испытания *I* загорается (L_1).

Затем оператор сравнивает показания вольтметра с допускаемыми напряжениями, указанными в программе для испытания *i*.

3. Нажимая и отпуская кнопку пуска переключателя, оператор, наблюдая за показаниями вольтметра (или осциллографа, как, например, в испытании 3), может выполнять четыре замера, заложенные в конструкции искателя.

4. При включении шагового искателя в пятый раз последний возвращается в исходную позицию.

Существует много типов искателей, пригодных для программирования таких испытаний.

Гораздо сложнее метода испытаний с использованием шагового искателя метод с применением более чувствительных переключательных компонентов, таких, как реле.

9. Программирование с помощью реле

Широко распространено для программирования испытаний использование реле.

Реле более долговечны, особенно если пользоваться реле с разъемом, оно гораздо проще и дешевле в эксплуатации. Реле могут быть использованы как дополнительные элементы в испытательной схеме с программированием переключателями (рис. 16.9) или скомпонованы для выполнения многосхемных последовательных испытаний.



Рис. 16.9. Один переключатель на две независимые схемы.

Рис. 16.10 показывает шестисхемную трехступенчатую (ступени расположены последовательно) релейную схему. Эта схема может быть сконструирована и для любого числа ступеней с любым числом цепей для каждой ступени. Ограничением при этом могут быть либо размеры аппаратуры,

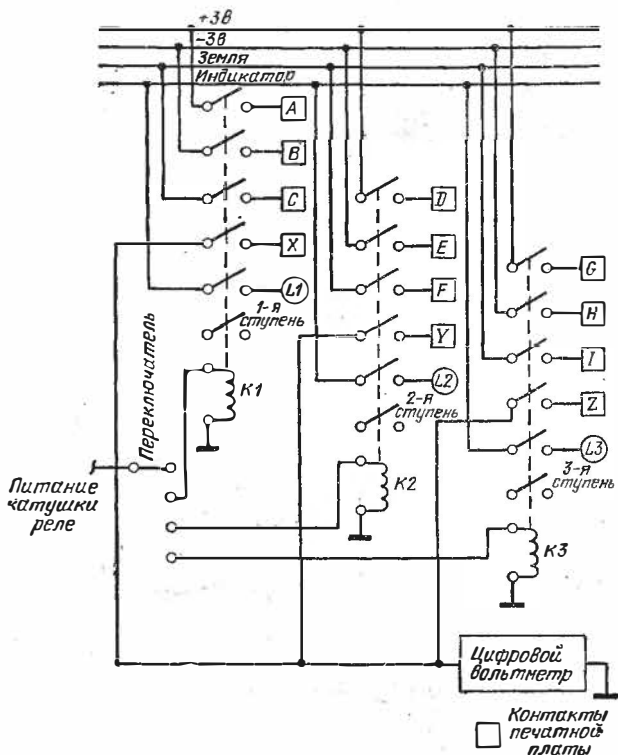


Рис. 16.10. Трехступенчатая релейная схема (шесть схем на каждую ступень).

либо наличие необходимых компонентов. На примере, показанном на рис. 16.10, оператор может устанавливать переключатель 1 в положение 1, 2 и 3, устанавливая последовательно каждую из релейных цепей (ручная установка переключателя в этом примере может быть заменена автоматическими при помощи решающих схем, которые будут описаны ниже).

10. Программирование с помощью коммутационной штеккерной панели

При испытании малых партий разнотипных печатных схем наиболее простым методом является проводниковое программирование при помощи штеккерного включения. При этом используется панель с гнездами, к которым подводятся

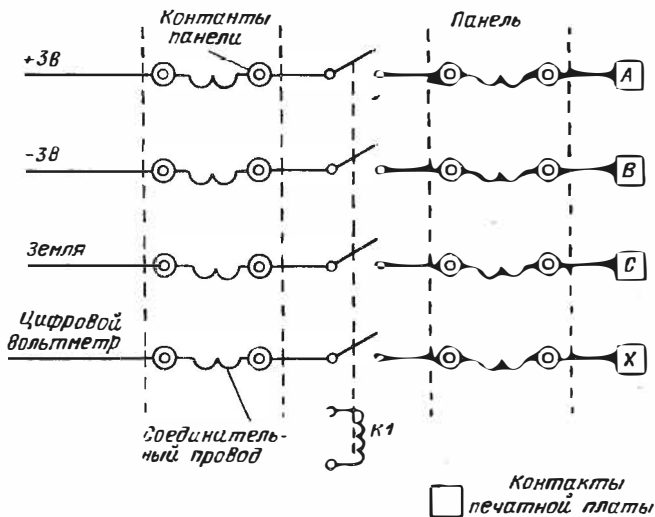


Рис. 16.11. Пример программирования с помощью коммутации штеккерами.

различные выводы тестера и к которым подключаются печатные схемы. Оператор, следуя программе, устанавливает на панели необходимые проводники для каждого типа печатной схемы (рис. 16.11). После окончания испытаний схемы оператор может удалить все проводники с последующей настройкой для испытания печатной схемы другого типа

11. Предварительное программирование с помощью панели с запаянными перемычками

При испытании большого числа различных печатных схем, когда требуется скорость и точность и когда необходима сложная аппаратура, весьма заманчивым становится

предварительное программирование с помощью панели с запаянными переключками. Многие фирмы изготавливают панели различных типов и размеров. Подсоединение панели производится с помощью соответствующего разъема.

Разъем изготавливается с контактами, расположение которых соответствует каждому виду панели и аппаратуры. Эти контакты постоянно подключены к испытательной аппаратуре.

Проводники подсоединяются к гнездам панели в желаемом порядке, так что когда панель вставляется в разъем, между тестером и печатной схемой устанавливаются необходимые связи.

При использовании схемы, показанной на рис. 16.8, предварительно подготовленная панель и ее разъем располагались между переключающими элементами и зажимами, к которым подсоединяется испытуемая печатная схема. Фактически мы «запомнили» последовательность испытаний на панели для данной печатной схемы. Оператор работает в той же последовательности, что указана для данного примера, с тем только добавлением, что устанавливает и удаляет панель при изменении типа испытываемой печатной схемы, когда требуется другая последовательность испытаний.

Использование панелей дает возможность создания многосторонней испытательной системы. Любые изменения печатных схем, или изменения последовательности испытаний могут быть легко учтены перестройкой проволочных соединений на панели.

Другим преимуществом использования панелей является возможность размещать схемные компоненты или целые схемы на панели, используя ее как часть испытательной схемы для данной печатной платы.

На рис. 16.12 показано, как электрическая цепь может быть смонтирована на панели.

Другим видом предварительного программирования является использование специально сконструированных печатных плат в качестве программных карт для каждого вида испытываемых печатных схем. Программные карты



Рис. 16.12. Коммутационная панель со схемными компонентами.

вставляют в тестер и соединяют заданные испытательные схемы через печатные разъемы. Этот метод дает также возможность монтировать компоненты на программных картах.

Недостатком использования программных карт является то обстоятельство, что изменения схемы или программы испытаний требуют переработки или замены программных карт.

Другой формой предварительного программирования является использование разъемных узлов. Ответная и входная части разъема используются таким же образом, как и программные карты. Недостатки этой системы характерны для программных карт вообще и, в частности, выражаются в механическом износе разъема, если последний часто включается и выключается.

В любой системе с использованием предварительного программирования необходимо учитывать влияние проводникового монтажа и клеммных соединений на точность испытательных замеров.

12. Дискретное программирование

Термин «дискретная запоминаемая программа» означает использование комплекта перфокарт или перфоленты и т. д. с записанной на них программой для данного типа печатной схемы используется при программировании испытательной аппаратуры для данной схемы.

Программы могут быть записаны в виде перфокарт и лент, карт и лент с магнитной записью и оптически сканируемых таблиц.

Использование любой запоминаемой программы заключается в установлении «языка», имеющего определенный «смысл» для испытательной аппаратуры и для программиста.

Рассмотрим перфокарту как пример запоминания испытательной программы. Обратившись снова к рис. 16.8, рассмотрим, что может быть сделано для испытания следующих соединений.

*Зажим печатной
схемы*

A
B
C

Присоединение

Земля
+3 в
Открыто (разомкнуто)

<i>E</i>	Положительный полюс вольтметра I
<i>F</i>	Отрицательный полюс вольтметра I
<i>G</i>	Разомкн/то
<i>H</i>	Разомкнуто

Рис. 16.13 показывает форму перфокарты, содержащей информацию для испытания 1. Язык, используемый нами, является символами действительной функции или соединения, которое мы хотим сделать, т. е. мы используем букву *G*, чтобы представить соединение с «землей», символ «+» вместе с числом 3, чтобы представить соединения с «+3 в», и т. д. Заметьте, что пустые колонки показывают конец поля для данной контактной площадки (зажима) печатной схемы. «0» в колонках 6, 14 и 16 означает, что подсоединений к зажимам *C*, *G* и *H* в продолжение испытания 1 нет.

Поскольку перфокарты имеют ограниченное число колонок, очевидно, что для проведения комплекса испытаний может потребоваться несколько карт.

Для распознавания перфокарт должны быть приняты некоторые меры с тем, чтобы обеспечить надлежащую их последовательность. Это достигается отделением примерно трех крайних колонок для записи порядкового номера.

Таким образом мы создали язык для программирования нашей аппаратуры. Этот язык довольно прост, поскольку в нем используются простые буквенно-числовые символы, имеющие смысл для программиста. Аппаратура для перевода символов в электрические символы с тем, чтобы устанавливать необходимые для испытаний соединения, выпускается многими фирмами.

Рис. 16.14 показывает форму перфокарты, требуемую для испытаний 2. «X» в колонке 18 был выбран как символ, представляющий конечный сигнал испытаний. Другой символ может быть избран для подачи сигнала в испытательную аппаратуру об окончании всех испытаний печатной схемы данного типа.

На рис. 16.15 показана типичная блок-схема программированного с помощью перфокарт тестера.

Другой метод, упомянутый как используемый для запоминаемых программ, отличается только способом, которым язык, т. е. информация, выражается и считывается.

Испытание 1

Зажим печатной схемы	A		B				C		E		F		G		H		
Колонка перфо- карты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Соединение	зем- ля		+	3		0		+	V		-	V		0		0	

Рис. 16.13. Перфокарта с тест-информацией.

Испытание 2

Зажим печатной схемы			A				B		C		E		F		G		H	
Колонка перфо- карты	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Соединение	X		+	3	зем- ля			0		-			+	0		0		0

Рис. 16.14. Перфокарта с другой тест-информацией:

1 — испытания 2; 2 — контакт печатной платы; 3 — колонка перфокарты; 4 — соединение; 5 — земля.

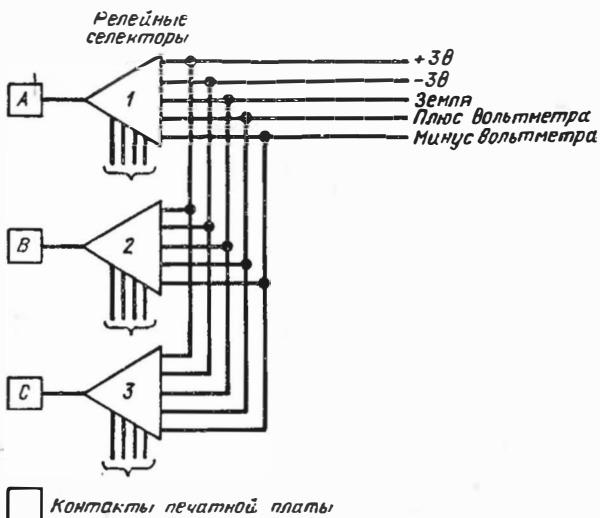


Рис. 16.15. Релейный тестер, программируемый перфокартами.

13. Запоминаемые программы

При испытании очень больших партий печатных схем различных типов большой экономический эффект дает использование ЭВМ по сравнению с другими формами программирования. ЭВМ функционирует следующим образом:

1. По получении команды, ручной или автоматической, испытательная программа для данного типа печатной схемы записывается в блоки памяти ЭВМ (ферритовые сердечники, магнитную ленту, магнитный диск и т. д.).

2. Испытательная программа далее должна быть передана к аппаратуре, выполняющей испытания.

3. Испытательная программа вводит в действие те или иные исполнительные устройства испытательной аппаратуры.

Аналогично готовятся тест-программы для вышеописанного способа программирования. В этом случае в соответствующую часть ЭВМ закладываются необходимые программы. Испытательными программами, запомненными таким образом, ЭВМ может обслуживать несколько тестеров.

МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ

Мультиплексорами называются схемы, переключающие общие элементы тестера из одного положения в другое. При этом используются переключатели, шаговые искатели. Мультиплексирование используется, когда группа испытаний проводится применительно к одной печатной схеме. Результаты каждого испытания должны быть одинаковыми для любой печатной схемы, входящей в партию.

Мультиплексирование используется также для сканирования группы испытательных положений при выполнении одновременного испытания двух и более печатных схем (рис. 16.16).

Операция мультиплексирования может быть приспособлена для приемки или отбраковки схем таким образом, чтобы только по сигналу «приемка» мультиплексор мог переходить к следующему испытанию. Используемая часовая схема в основном зависит от основного тактового цикла тест-системы. Переключатели с приводом от кулачкового вала или схемы с осциллографическим контролем используются в основном как часовые схемы. Каждый тип такой схемы дает последовательно идущие импульсы, которые служат запускающими сигналами мультиплексора.

Поскольку решение о приемке или отбраковке в мультиплексорном тестере не может быть вынесено до окончания всех испытаний, необходимо временное запоминающее устройство. Результат каждого дискретного испытания запоминается и по завершению последнего испытания мультиплексор «обыскивает» запоминающее устройство, находя испытание с отрицательным результатом.

Временный или рабочий накопитель собирается на реле, логических вентилях или других бистабильных устройствах. На рис. 16.17 принятые или отбракованные схемы подают рабочее напряжение на запоминающее реле, только когда проводится приемное испытание. Реле находится в рабочей или в открытой позиции, только если все испытания

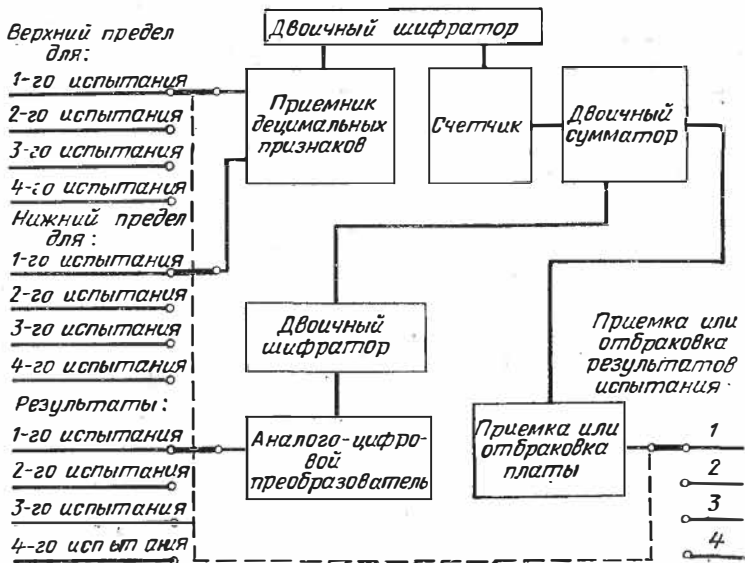


Рис. 16.16. Четырехполюсный переключатель, используемый для мультиплексирования.

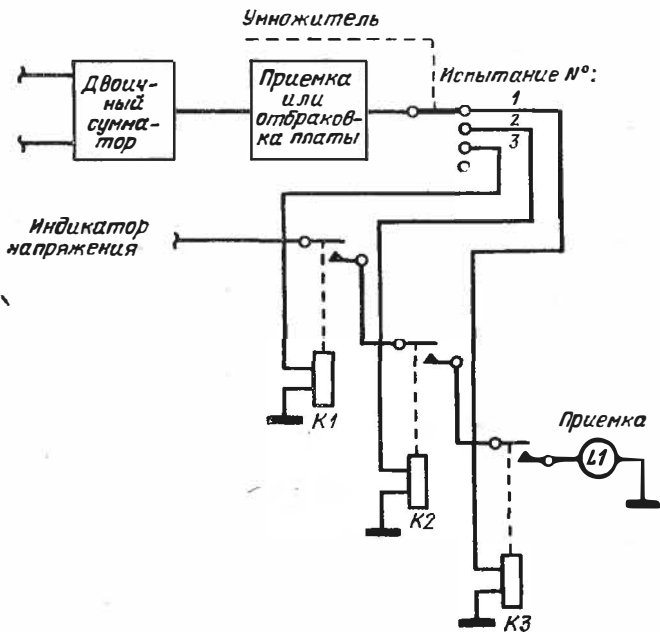


Рис. 16.17. Рабочий накопитель с использованием запирающего реле.

заканчиваются приемкой — индикаторная лампочка «принято» горит.

Перед началом следующей серии испытаний все реле должны быть сброшены.

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПРИЕМКЕ

В ходе испытаний может быть принято решение в трех видах:

1. Личное решение, когда оператор решает, принимать или забраковать испытываемые платы.

2. Автоматическое решение, когда автоматическая аппаратура решает, принимать или забраковать платы.

3. Цифровой анализ, когда информация, накопленная оператором, лично или автоматически анализируется, после чего выносится решение о приемке, отбраковке или классификации плат.

Во всех случаях решение принимается путем сравнения результатов испытаний с критерием приемки. Принятие решения обычно связывается промышленным методом, используемым в данном испытании.

14. Решение по приемке при ручном контроле

Принимая, бракуя или сортируя платы, оператор выносит решение, сравнивая результаты испытаний с критерием приемки. Например, оператор может наблюдать выходное напряжение платы с помощью вольтметра, цифрового вольтметра или осциллографа. Наблюдаемый результат сравнивается затем с критерием приемки. Если приемным критерием считается уровень напряжения $+3 в \pm 1\%$, оператор принимает как годные любые значения между $+3,03$ и $+2,97 в$. Оператор должен отбраковать печатную схему с любым другим значением напряжения.

В производственных испытаниях, когда велик объем проверяемых партий и необходима высокая производительность, очевидны преимущества использования испытательного оборудования, дающего результаты испытаний в цифровой форме. Существует много испытательной аппаратуры такого типа.

15. Решение по приемке при автоматическом контроле

Вынесение автоматического решения о приемке при отбраковке требует предварительного запоминания испытательного критерия годности, выраженного в соответствующей форме. Результаты испытания должны быть преобразованы в ту же форму и затем сравнены с критерием приемки.

Измерительные реле (аналоговые). Релейные измерители настраиваются вручную перед испытанием и являются

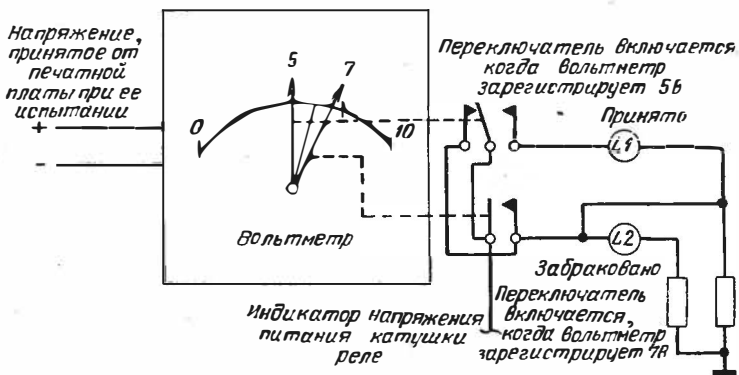


Рис. 16.18. Схема измерительного реле с двумя программируемыми рабочими точками.

недорогими и точными. Они применяются в системах с автоматическим принятием решения и выпускаются во многих вариантах: для измерения силы тока, для одной или нескольких операций с симметричной и несимметричной шкалами. Принцип работы одинаков для всех типов. Движение стрелки связано с контактным переключателем, который срабатывает, когда стрелка достигнет установленного значения.

Точки, в которых переключатели срабатывают, устанавливаются вручную установкой упоров на шкале. Переключатели подключены к аппаратуре приемки. Например (рис. 16,18), две рабочие точки установлены на 5 и 7. Если напряжение на испытываемой схеме больше 5, но меньше 7, включается индикатор «принято». Если напряжение больше 7 или меньше 5, зажигается индикатор «забраковано».

Компараторы напряжения (аналоговые). Если критерий приемки выражается определенным уровнем напряжения, может быть использовано устройство, известное как компаратор напряжения, которое выносит решение о приемке или браковке автоматически.

Критерий приемки для данного испытания «запоминается» как входной сигнал на компараторе напряжения

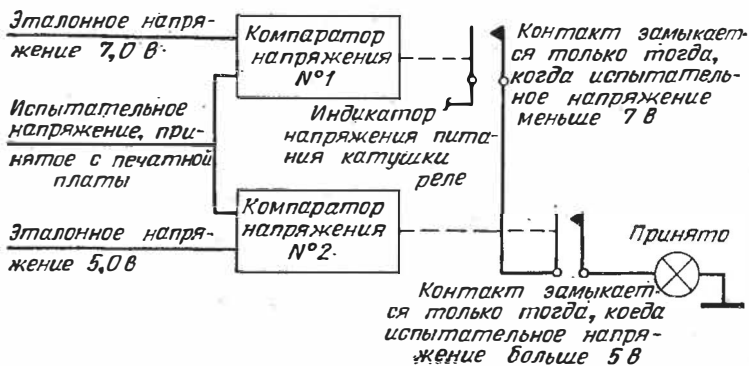


Рис. 16.19. Блок-схема с двумя компараторами напряжения.

(при этом могут быть использованы в качестве эталонных источников выпрямитель, батарея и т. д.).

Напряжение на зажиме испытываемой печатной платы становится другим сигналом в компараторе. Если критерий приемки (относительное напряжение) и испытательное напряжение равны по величине и полярности, генерируется сигнал «принято» (обычно замыканием контактов реле).

На рис. 16.19 два компаратора напряжения используются совместно для определения приемного испытательного напряжения. Нормально разомкнутые релейные контакты соединяются последовательно с устройством принятия решения, т. е. испытательное напряжение лежит в заданных пределах, оба релейных контакта замыкаются, показывая «принято».

Эти компараторы могут быть соединены (см. рис. 16.20), чтобы задействовать автоматически принимающий решение тестер.

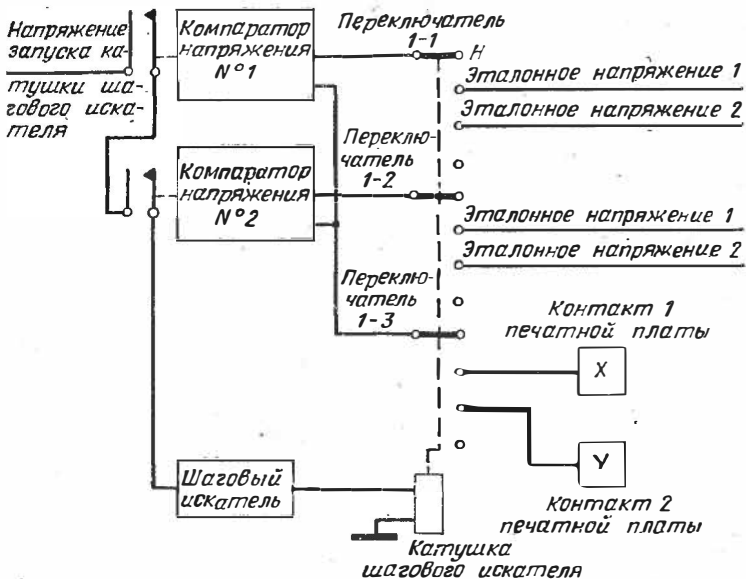


Рис. 16.20. Последовательный тестер с использованием компараторов напряжения.

ЦИФРОВЫЕ КОМПАРАТОРЫ

Наиболее многосторонним методом автоматического принятия решения является метод цифрового сравнения. По этому методу результаты испытания должны преобразовываться в цифровую форму и сравниваться с критерием приемки, предварительно заполненным в цифровой форме. Блок-схема на рис. 16.21 является типичной для выполнения автоматического сравнения результатов испытания с критерием приемки. Принцип работы имеет то преимущество, что вычитание двоичных чисел (прибавлением дополнений) дает в результате несущий или не несущий сигнал, если результат испытаний равен или больше верхнего предела, или менее нижнего предела. Подсчет выполняется схемой двоичного сумматора.

Выход двоичного сумматора соединен со схемами, накапливающими результаты каждого цикла сложения. Приемный сигнал может генерироваться, только если несущий сигнал накапливается, когда верхний и нижний пределы

сравниваются с результатом испытания. Любая другая комбинация проверяемых признаков не генерирует сигнала приемки.

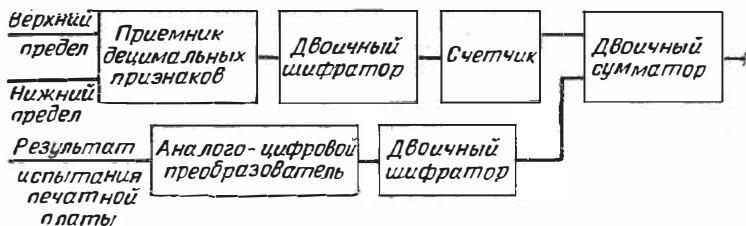


Рис. 16.21. Блок-схема метода автоматического цифрового сравнения.

Данные о верхнем и нижнем пределах могут быть запомнены путем установки переключателей, предварительным проводниковым программированием или любым другим способом, используемым в тестере.

16. Анализ данных

Решение о приемке или отбраковке может иногда приниматься на основе анализа данных испытания. Для принятия решения таким образом схема тестера должна иметь возможность записи (в цифровой форме) результатов каждого замера. Данные испытания могут записываться различными способами, например:

1. Ручная запись: оператор записывает действительное значение результата испытания, считывая его с вольтметра, осциллографа или цифрового вольтметра.

2. Печатный выход: электрическая пишущая машинка соединяется с аппаратурой цифрового выхода.

3. Перфокарта: перфоратор соединен через соответствующее декодирующее устройство с аппаратурой цифрового выхода.

4. Магнитная лента: считывающее устройство соединено с цифровым выходным устройством.

Качество нельзя определить в изделии, но качество изделия может быть измерено в процессе испытания. Для измерения качества изделий должны быть измерены все параметры, связанные с качеством. Для надлежащей организации качественного контроля требуется точное надежное оборудование, способное выполнять как электрические, так и механические испытания.

17. Электрические испытания

Поскольку при этом требуется более высокая точность, чем при испытании готового изделия, при котором контролируется лишь правильность сборки, требования к испытаниям качества превышают требования к испытаниям готового изделия.

Например, в испытании готового изделия достаточно убедиться, что сопротивление цепи между точками А и В

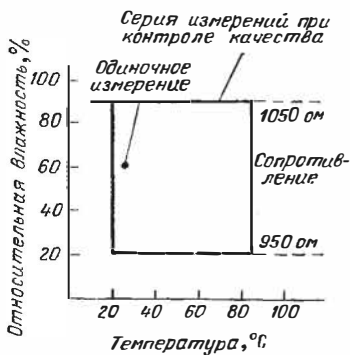


Рис. 16.22. Серия измерений при контроле качества.

равно $1000 \text{ Ом} \pm 5\%$ при соответствующих температуре и относительной влажности. Это требование обуславливает большое количество необходимых измерений и аппаратуры. На рис. 16.22 приведено одно измерение, сделанное при комнатной температуре и комнатной влажности, достаточное для удовлетворения требований испытаний готового изделия. Качественный же контроль со всеми его замерами

(в пределах прямоугольника) необходим, чтобы гарантировать выполнение технических условий.

На рис. 16.23 показан пример схемы из трех отдельных сборок на печатных платах. Схемы соединены таким образом, что входной сигнал проходит через каждую схему. Для данного случая принимаем:

1. Время прохождения сигнала через схему определено номинально в 15 нсек и в худшем случае 30 нсек.

2. За время прохождения сигнала через три схемы имеются номинально две задержки и одна задержка в худшем случае, или $15 \text{ нсек} + 15 \text{ нсек} + 30 \text{ нсек} = 60 \text{ нсек}$

Сборка на печатных платах

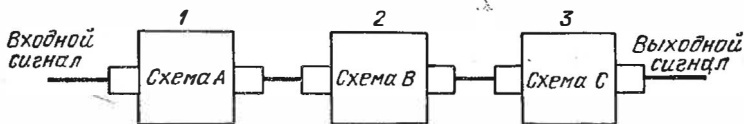


Рис. 16.23. Каскадная цепь.

общей задержки. Формула выбрана конструктором, который основывается на статистической оценке схем.

При производственных испытаниях данная схема должна быть принята, если время прохождения сигнала равно или меньше 30 нсек. Чтобы гарантировать качество печатных схем, использованных в этом примере, необходимо контролировать параметр задержки. Качественный контроль требует для этого замера испытательного оборудования, которое могло бы воспроизводить как входную, так и выходную нагрузки, а также записывать данные о результатах испытания. Распределение этого параметра должно быть нанесено на диаграмму и затем сравнено с первоначальной статистической оценкой, чтобы удостовериться, что этот вредный сдвиг в распределении отсутствует.

Качественный контроль основывается на испытаниях образцов благодаря большому числу потенциальных испытаний, которые могут потребоваться. При конструировании аппаратуры для качественных испытаний особое внимание должно быть уделено программированию, так как испытание образцов может потребовать быстрых переналадок одного типа печатной платы в другой.

Оборудование для производственных испытаний может быть использовано для качественного анализа с дополнением аппаратуры для записи необходимых данных.

18. Механические испытания

Удар, вибрация, воздействие пламени, паяемость и другие испытания производятся для установления структурных качеств печатной схемы. Выбранный вид испытаний и необходимое для их осуществления оборудование зависят от конфигурации печатной схемы и условий ее эксплуатации. Во многих случаях, как, например, при испытаниях на вибростойкость на специальном вибростенде, используется аппаратура для контроля электрической части схемы. Однако конструктор испытательного оборудования должен учитывать в этом случае дополнительные требования, предъявляемые к испытательной аппаратуре.

19. Эксплуатационные стандарты

Разработка печатных схем в соответствии с эксплуатационными стандартами значительно увеличивает объем работ и испытательного оборудования. Эксплуатационные стандарты определяются контрольными лабораторными испытаниями и тщательным анализом данных. Эти стандарты периодически включаются в программы, как производственного контрольного оборудования, так и оборудования для качественного контроля. Таким образом, этот стандарт становится качественным критерием для всей испытательной аппаратуры.

РАБОТА ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Работа испытательного оборудования зависит как от производимого на нем анализа, так и от его конструкции. Успешная работа испытательного оборудования является функцией от планируемого использования всех его возможностей.

20. Операционная последовательность

Последовательность испытательных операций должна быть изучена, отражена в техдокументации с учетом максимального использования всех возможностей оборудования.

На рисунке 16.24 изображена типичная блок-схема производственных испытаний печатных схем. Каждая группа

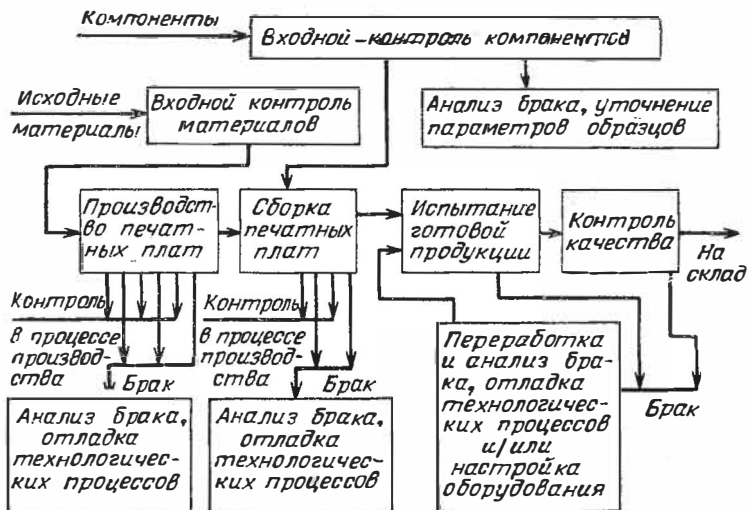


Рис. 16.24. Операционная блок-схема.

основных операций содержит обратный контур для отладки процесса в случае, если анализ принятых и отбракованных плат показывает на недоброкачественный контроль.

21. Эксплуатация оборудования

Наиболее эффективное использование оборудования дает его плановая эксплуатация. Главными этапами планирования эксплуатации являются:

1. Группировка партий плат одинаковых типов для испытаний, что уменьшает количество аппаратуры и время на переналадку.

2. Периодические профилактические работы, которые дают возможность осуществления активной планируемой эксплуатации и снижают потери времени на мелкий ремонт оборудования.

3. Периодическая калибровка, устанавливающая контроль за правильностью работы оборудования и уменьшающая необходимость проведения нежелательных повторных испытаний.

4. Незапланированный ремонт, препятствующий сбоям в технологическом процессе. Основой для планированной эксплуатации, следовательно, является заранее определенная и запроектированная работа тестеров, что производится следующим образом. К. п. д. эксплуатации тестеров равен эффективному проценту каждой из следующих составляющих: управление оборудованием, механическая часть работы, электрическая часть работы, действия оператора.

Например, допустимо, что тестер управляется вручную, имеет полуавтоматический контактор, электрические испытательные узлы, и обслуживается оператором, что к. п. д. управления равен 90%; к. п. д. механический 95%; к. п. д. электрический 95%; к. п. д. оператора 90%. Общая эффективность $0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,9 = 73,1\%$ (при этом допустимо, что 26,9% времени оборудование может не давать выхода продукции).

Работа испытательного оборудования должна быть спланирована таким образом, чтобы сверх прочих своих задач она могла бы фиксировать случающиеся в нем неполадки. Необходимо предусматривать различные непредвиденные потери времени, технические изменения и неожиданные периодические изменения нагрузки. Кроме того, необходимо предусмотреть возможность эффективного проведения повторных испытаний отбракованных плат после их исправления.

Расчет для определения требований, предъявляемых к тестеру с учетом фактора эксплуатации оборудования применительно к производственным испытаниям, таков: допустим A — ежедневная испытательная нагрузка 1000 печатных схем, B — ежедневные повторные испытания 100 печатных схем, C — ежедневная пропускная способность тестера 1000 печатных схем, D — использование тестера на 73,1%, E — запланированный дополнительный объем работы, приблизительно 15%.

С учетом дополнительной нагрузки общее число требуемых тестеров равно

$$\frac{A+B}{CD} = \frac{1000+100}{1000 \cdot 0,731} E = 1,5 \cdot 1,15 = 1,73$$

На рис. 16.25 графически представлено использование оборудования для производственных испытаний по сравнению с его техническими возможностями.

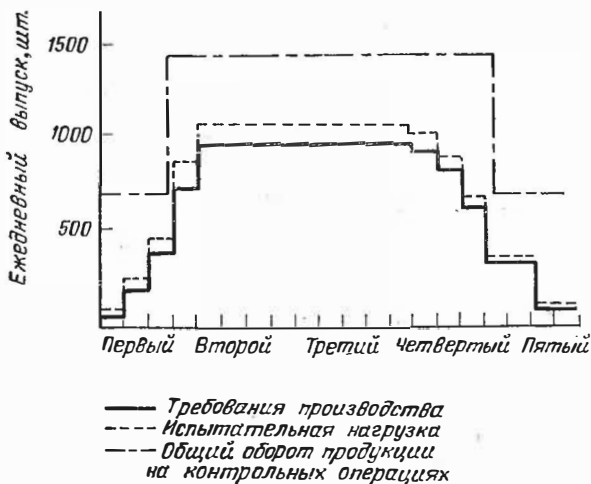


Рис. 16.25. Использование оборудования по сравнению с техническими возможностями.

22. Техническое обслуживание оборудования

Эксплуатация производственного испытательного оборудования требует сочетания высокой квалификации и правильного выполнения операций.

Квалификация вырабатывается соответствующим инструктированием и тренировкой в работе с оборудованием в перерывах между настоящими испытаниями.

Соблюдение программы планово-профилактического ремонта и спецификаций калибровки снижает количество внеплановых ремонтов. Например, если тестер имеет панельные испытательные схемы для программирования различных печатных узлов, необходимо сконструировать и встроить в тестер панельный калибратор. Этот калибратор может

использоваться как для калибровки, так и для технического обслуживания без дополнительной потери производственного времени тестера.

23. Квалификация

Уровень квалификации оператора зависит от типа оборудования. Слишком высокие требования к квалификации приводят к ошибкам и утомлению оператора. С введением цифрового считывания на большинстве испытательного оборудования и использованием автоматического принятия решений требования к квалификации оператора снижаются.

Техник, обслуживающий аппаратуру, с другой стороны, должен быть весьма умелым. Ему необходимо хорошо знать аппаратуру и испытываемую продукцию. Для подготовки техников желательно применять как аудиторное обучение, так и обучение непосредственно на рабочем месте.

24. Поддержание бесперебойности работы

Бесперебойность работы является функцией либо технического обслуживания, либо самой конструкции аппаратуры. Бесперебойность работы обеспечивается решением проблем, возникающих в продолжении испытательной операции. Часто приходится решать проблемы, причина которых не ясна. Например, если скорость отбраковки на данной испытательной операции внезапно повышается, а причина повышения не очевидна, необходимо ее исследовать. В процессе исследования необходимо попытаться определить, были ли нарушены границы испытаний, наблюдались ли отклонения в характеристиках радиоэлементов, на печатных платах, или повреждение нанесено в процессе монтажа. Короче говоря, приходится исследовать весь процесс и с помощью критического анализа решать все производственные трудности, возникающие в процессе испытаний.

25. Организация

Организация испытательного участка, обеспечение его оборудованием, обучение операторов — главное для успешной работы. Хорошая организационная структура с четко

определенными границами ответственности и надлежащих функций показана на рис. 16.26. Поток информации на рис. 16.26 является весьма прямым. Конструкторы схемы и раскладки ее должны выдавать перечень необходимых деталей и компонентов, сборочные чертежи и специальные технические условия для групп сопровождения

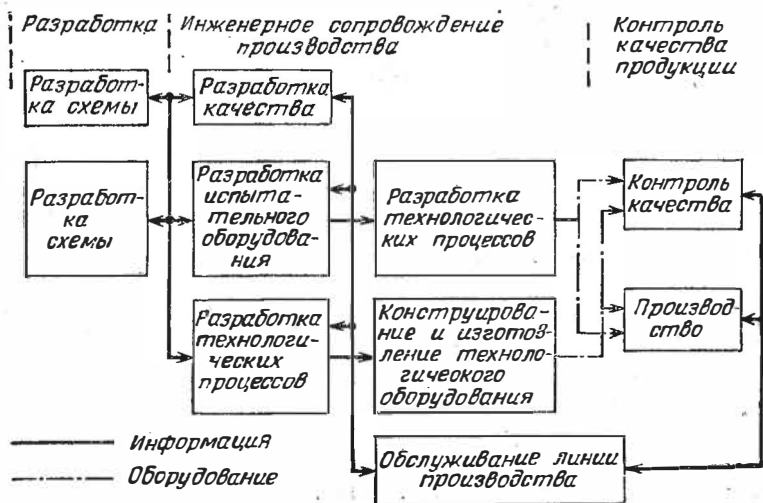


Рис. 16.26. Организация и поток информации.

производства. На основании полученных сведений группы сопровождения производства устанавливают необходимость наличия того или иного вида оборудования или технологического процесса в общей схеме производства плат. Необходимое оборудование и технологические процессы устанавливаются также и для участков технического контроля, сборки и испытаний. Эти участки находятся в ведении групп обслуживания и текущего ремонта. Не показан на этой схеме этап контроля производства плат, призванный обеспечивать соблюдение графика движения деталей и сборок в производственном потоке.

КЛАССЫ ТОЧНОСТИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ И ПАРАМЕТРЫ

Данные, приведенные в приложении *), позволяют инженерам и конструкторам критически подойти к требованиям к печатным платам и выбрать технически обоснованные предельные отклонения размеров, удовлетворяющие условиям наибольшей экономичности плат. В помощь читателю в организации производства печатных плат предлагается пересмотренная система квалификации плат по точности. Система охватывает IV класса, с I по IV, в соответствии с повышением точности обработки и ростом стоимости.

Выбор класса точности печатной платы по какой-либо таблице не означает, что и другие параметры платы следует выбирать по этому же классу. По каждому параметру следует назначать тот класс, который необходим для удовлетворения конкретных технических требований.

Опубликованные ниже сведения помогут читателю при разработке технических требований к печатным платам, но тем не менее составители справочника рекомендуют для решения сложных вопросов обращаться к высококвалифицированным изготовителям печатных плат.

ДОПУСКАЕМЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ РАЗМЕРОВ ДЛЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Обычно I класс точности печатных плат указывает на применение самых дешевых процессов механической обработки и (или) самых дешевых материалов.

*) Разработка Института печатных схем, Чикаго, Иллинойс, США.

Классы II, III и IV соответствуют возрастанию степени точности механической обработки и (или) стоимости примененных материалов.

Таблица П.1

Класс точности	Расстояние между центрами отверстий, мм (дюйм)	Номинальная ширина проводников и расстояний между ними, мм (дюйм)
I и II	Свыше 2,54 (0,100)	Свыше 0,381 (0,015)
III и IV	До 25,4 (0,100) включительно	До 0,381 (0,015) включительно

В табл. П.1 приведена классификация печатных плат по точности межцентровых расстояний и в зависимости от ширины печатных проводников и расстояний между ними.

1. Монтажные отверстия

В табл. П.2 приведены допускаемые отклонения диаметров отверстий, выполненных на подложках толщиной до 1,59 мм (0,00625 дюйма). Данные относятся к неметаллизированным отверстиям.

К допуску на диаметр отверстия следует прибавлять $\pm 0,025$ мм (0,001 дюйма), если отверстия выполняются в подложках толщиной от 1,59 до 3,18 мм (0,0625—0,125 дюйма).

В табл. П.2 приведена фактически суммарная ширина поля допуска, расположение нулевой линии внутри которого может быть уточнено. Например, допуск $\pm 0,1$ может быть при необходимости представлен как $\begin{matrix} +0,13 \\ -0,08 \end{matrix}$ или как $\begin{matrix} +0,15 \\ -0,05 \end{matrix}$ и т. п.

Отклонения на размеры монтажных отверстий, пазов, прорезей и других отверстий могут быть больше указанных в таблице, если это допустимо исходя из условий монтажа и из особенностей конфигурации компонентов. При необ-

ходимости, за счет повышенных расходов, могут быть реализованы более жесткие допускаемые отклонения по сравнению с указанными в табл. П.2.

Таблица П.2

Номинальный диаметр, мм (дюйм)	Класс точности			
	I	II	III	IV
	мм			
До 0,81	±0,08	±0,05	±0,025	±0,025
Свыше 0,81 до 1,6	±0,10	±0,08	±0,05	±0,025
Свыше 1,6 до 4,78	±0,13	±0,10	±0,08	±0,05
Пазы и прорезы до 50,8	±0,13	±0,08		
	дюйм			
До 0,032	±0,003	±0,002	±0,001	±0,001
Свыше 0,032 до 0,063	±0,004	±0,003	±0,002	±0,001
Свыше 0,063 до 0,188	±0,005	±0,004	±0,003	±0,002
Пазы и прорезы до 2,0	±0,005	±0,003		

Методы измерений. Диаметры отверстий, ширину пазов и прорезей до 19,02 мм (0,749 дюйма) измеряют при помощи: круглых и конических калибров-пробок; при условии отклонения от перпендикуляра к плоскости платы не более чем на 5°. Длину пазов и прорезей проверяют при помощи штангенциркуля или на оптическом компараторе; глубину прорезей — при помощи штангенциркуля, микрометрического глубомера или на оптическом компараторе.

2. Металлизированные отверстия

Самый распространенный в практике допуск на толщину слоя металлизации в отверстиях $\begin{matrix} +100\% \\ -0\% \end{matrix}$. При этом допуск на диаметр металлизированного отверстия складывается из допуска на диаметр неметаллизированного отверстия и минимальной толщины слоя металлизации.

Пример расчета (все размеры в мм):

Размеры	Допуск на металлизированное отверстие, %	Размеры металлизированного отверстия
Диаметр отверстия 1,32	$\pm 0,1$	1,32
Минимальная толщина слоя гальванической меди 0,025	-0,050	—
Минимальная толщина гальванического слоя припоя 0,13	-0,025	Общая минимальная толщина слоя металлизации 1,24
Общий допуск	$\pm 0,1$ -0,18	

При необходимости, например на печатных ламелях разъема, толщина гальванического покрытия на печатных платах может превышать номинальную на величину, указанную в табл. П.3.

Таблица П.3

Класс точности	Превышение толщины относительно номинальной, %
I и II	200
III и IV	100

Если на обратной стороне односторонних плат с металлизацией отверстий не требуется контактных площадок, то стоимость плат увеличивается.

Методы измерений. Металлизированные отверстия измеряют так же, как и неметаллизированные.

Толщина слоя металлизации проверяется автоматическим управлением гальваническим процессом; приготовлением и измерением микрошлифов.

Методы измерения. Переносным компаратором для размеров до 12,7 мм (0,5 дюйма), оптическим компаратором для размеров 12,7 мм (0,5 дюйма) и более, координатографом.

3. Смещение центра контактной площадки (относительно координатной сетки)

Рассматриваемый параметр определяется диаметром круга, внутри которого лежат центры контактных площадок; центром этого круга является узел координатной сетки. При оценке точности совпадения центров контактных площадок на схемах, расположенных по обе стороны подложки платы, и при отсутствии базовых отверстий приведенные в табл. П.4 допускаемые отклонения следует удвоить. При

Таблица П.4

Расстояние между базовыми точками, мм (дюйм)	Класс точности			
	I	II	III	IV
С регистрацией базовых точек				
До 152,4 (6,0)	0,50 (0,020)	0,36 (0,014) *)	0,25 (0,010) *)	0,15 (0,006)
152,4 (6,0) и более	0,71 (0,028)	0,50 (0,020)	0,36 (0,014) *)	0,25 (0,010) *)
Без регистрации базовых точек				
До 152,4 (6,0)	0,80 (0,030)	0,50 (0,020)	Регистрация базовых точек обязательна	
152,4 (6,0) и более	1,02 (0,040)	0,71 (0,028)		

*) В соответствии с MIL-STD-275.

этом контроль можно производить по минимальной ширине кольца (расстоянию от края отверстия до края контактной площадки), если схема не содержит других признаков для более точного отсчета.

При выполнении контактов печатного разъема точность их размещения на плате должна соответствовать требованиям, предъявляемым ответной частью разъема.

Методы измерений. Переносным компаратором, оптическим компаратором; координатографом.

Для печатных плат I, II и III классов точности стандартами MIL-STD-275 и MIL-P-55110 установлены предельные размеры минимальных контактных площадок (колец) в зависимости от различных условий. Для печатных плат IV класса точности минимальная ширина кольца контактной площадки установлена 0,05 мм (0,002 дюйма).

Конструктор должен рассчитывать диаметр контактной площадки в зависимости от точности совпадения центров отверстия и площадки и выполнения их размеров.

Пример расчета.

Объект расчета — печатная плата IV класса точности с металлизированными отверстиями.

Минимальный диаметр контактной площадки равен $2 \left(\frac{A}{2} + \frac{B}{2} + \frac{C}{2} + \frac{D}{2} + E \right) = 2 \left(\frac{0,76}{2} + \frac{0,28}{2} + \frac{0,15}{2} + \frac{0,10}{2} + 0,05 \right) = 1,39$, где A — максимальный диаметр металлизированного отверстия, например равный 0,76 мм (см. табл. П.3); B — допускаемое смещение центра отверстия относительно координатной сетки (см. табл. П.4); C — допускаемое смещение центра контактной площадки относительно координатной сетки (табл. П.5); D — допускаемое уменьшение размеров контактной площадки в процессе изготовления печатной платы IV класса точности по аналогии с проводниками (табл. П.7); E — минимальная допустимая ширина кольца контактной площадки для печатных плат IV класса

Методы измерения. Переносным компаратором, оптическим компаратором, координатографом.

5. Ширина печатных проводников и просветов между ними

В табл. П.5 приведена минимальная ширина проводников для печатных плат разных классов. Даны значения для наихудших условий выполнения фотобелка и его уменьшения (обычно в масштабе 1 : 4), а также для наибольшего изменения ширины печатных проводников в процессе их изготовления.

В табл. П.6 приведены ориентировочные значения допускаемых отклонений ширины печатных проводников и про-

Ширина проводников	Класс точности			
	I	II	III	IV
В чертеже На готовой плате *)	0,79 0,53	0,38 0,25	0,25 0,15	0,13 0,08

*) Приведенные значения не учитывают влияния пор, царапин и других дефектов на проводниках, уменьшающих ширину проводников не более чем на 25%.

Таблица П.6

Допускаемые отклонения ширины проводников	Класс точности			
	I	II	III	IV
Без гальванического покрытия	+0,15	+0,10	+0,05	+0,025
С покрытием	-0,25	-0,13	-0,10	-0,05
	+0,38	+0,20	+0,10	+0,05
	-0,25	-0,13	-0,10	-0,05

Допускаемые отклонения	Класс точности			
	I	II	III	IV
Без гальванического покрытия	+0,25	+0,13	+0,10	+0,05
С покрытием	-0,15	-0,10	-0,05	-0,025
	+0,25	+0,13	+0,10	+0,05
	-0,38	-0,20	-0,10	-0,05

светов между ними. Изготовитель печатных плат устанавливает более точные величины допускаемых отклонений с учетом конкретных особенностей производства.

Данные табл. П.6 относятся к печатным платам, выполненным на подложках толщиной до 1,59 мм. На более толстых платах, где отношение диаметра отверстия к толщине платы менее 2 : 3, более продолжительный процесс металлизации может привести к расширению проводников.

Данные табл. П.6 относятся также к одноунциевой медной фольге (толщиной 35 мкм). При травлении каждой дополнительных 25 мкм медной фольги ширина проводника может уменьшиться на 25 мкм.

Методы измерений. Переносным компаратором, 40-кратным микроскопом или оптическим компаратором.

Измерение ширины проводников, покрытых припоем, дает завышенные результаты из-за маскировки явления подтравливания.

6. Отклонение края платы от координатной сетки
(табл. П. 7)

Таблица П.7

Класс точности, мм			
I	II	III	IV
$\pm 0,38$	$\pm 0,25$	$\pm 0,20$	$\pm 0,13$

Методы измерений: штангенциркулем; оптическим компаратором.

7. Допуски на габаритные размеры печатных плат
(при использовании координатной сетки с шагом
2,5 табл. П. 8).

Таблица П.8

Класс точности, мм			
I	II	III	IV
$\pm 0,76$	$\pm 0,50$	$\pm 0,41$	$\pm 0,25$

Методы измерений: штангенциркулем; рейсмасом со стрелочным индикатором.

8. Допуски на коробление и изгиб готовых плат

Коробление может быть больше указанного при большой неравномерности распределения проводников и площади металлизации на двусторонних платах (табл. П.9).

Коробление может быть уменьшено специальным отбором материалов, режимами обработки и проведением рихтовки. Более жесткие требования по короблению характерны для микроминиатюрных конструкций, где выигрыш в пространстве является главным диктующим фактором.

Таблица П.9

Для односторонних плат, мм/мм толщины		
толщина	гетнакс	стеклотекстолит
1,59	0,025	0,015
2,38	0,020	0,010
3,18	0,012	0,008
6,35 и более	0,008	0,006
Для двухсторонних плат		
0,79	0,020	0,015
1,59	0,015	0,010
2,38	0,010	0,007
3,18	0,007	0,005

Методы измерений.

Плату укладывают на плоскую поверочную плиту таким образом, чтобы три угла плиты касались платы. Величина коробления определяется высотой четвертого угла платы относительно плиты. Точно такие же результаты получаются при установке проверяемой платы на четыре угловых упора.

9. Толщина печатных плат

См. стандарты NEMA, а также MIL-P-13949 и руководящие технические материалы Института печатных схем.