

# Производство гибких и гибко-жестких печатных плат.

## Часть 6. Специальные средства контроля и испытания печатных плат

Эта статья — продолжение описания технологий гибких печатных плат, начатого публикациями «Часть 1. Производство гибких печатных плат без металлизированных отверстий» [1], «Часть 2. Производство гибких печатных плат с металлизированными отверстиями» [2], «Часть 3. Производство гибких и гибко-жестких плат. Нанесение покровного слоя» [3], «Часть 4. Изготовление гибких и гибко-жестких многослойных печатных плат» [4], «Часть 5. Специальные виды обработки» [5].  
Материалы статьи — результат плодотворного сотрудничества науки и производства: инженеринговой компании «Электрон-Сервис-Технология» и ФГУП «Государственный Рязанский приборный завод» [6].

**Аркадий Медведев,**  
д. т. н., проф. МАИ  
**Геннадий Мылов**  
**Валентина Люлина**  
**Юрий Набатов**  
**Петр Семенов**  
**Аркадий Сержантов**

Контроль и испытания объектов производства преследуют две цели.

1. Оценка пригодности изделий к использованию — разбраковка.
2. Использование полученной информации для управления производством, направленного на увеличение выхода годной продукции востребованного качества.

Следовательно, для управления процессом используется технологический контроль и для оценки качества — выходной контроль. Ряд скрытых дефектов можно обнаружить только в ходе изготовления. Тогда техническому контролю подвергаются заготовки плат на соответствующих операциях.

Приемка плат осуществляется по Техническим условиям (ТУ) или Техническим требованиям (ТТ), разрабатываемым предприятием-изготовителем на основании отечественных и международных стандартов (МЭК, IPC, PERFAG и др.). В условиях отсутствия современных отечественных стандартов при разработке ТУ, как правило, из зарубежных стандартов заимствуют требования и методы контроля, из отечественных — процедуры контроля и испытаний.

Общие представления об объемах операций контроля можно получить из перечня в таблице 1.

### Контроль по признакам внешнего вида (визуальный контроль)

Основную информацию о состоянии объекта контроля человек получает непосредственно с помощью внешнего осмотра или путем визуализации различных физических эффектов, выявляющих неоднородности поверхности и объема объекта наблюдения. Большая часть признаков внешнего вида является основополагающей при оценке качества печатных плат. Более того, любой другой вид контроля в случае обнаружения дефекта подтверждается внешним осмотром поверхности или вскрытием печатных плат, позволяющим убедиться в наличии дефектов, имеющих внешние проявления.

### Фотошаблоны

Требования к качеству изображения на фотошаблонах состоят в том, что на прозрачных и непрозрачных элементах изображения в зонах недопустимости дефектов не должно быть пятен, разрывов, проколов и других дефектов, как показано на рис. 1.

Таблица 1. Примерный перечень операций контроля печатных плат

Операция	Наименование	Метод/оборудование	Частота проверки образца
Раскрой материала	Размер заготовки Толщина фольги	Измерение размера Прибор для замера толщины	Каждая заготовка
Сверление	Диаметр отверстия Замасливание отверстий	Калибровочный щуп Визуальный осмотр	Каждая заготовка
Очистка	Плоская поверхность Шероховатость	Визуальный осмотр	Каждая заготовка
Первичная металлизация отверстий	Прямая металлизация Анализ раствора Толщина меди	Визуальный осмотр Омметр Калориметр	Каждая заготовка
Основная металлизация	Напряжение и ток в ванне Анализ электролита	Вольтметр, амперметр Калориметр Металлографический анализ	Каждая заготовка
Травление	Параметры рисунка проводников Протравы Подтравливание Нависание	Визуальный осмотр Микроскоп Металлографический анализ	Каждая заготовка
Печатная схема	Обрыв или короткое замыкание	Электрический тестер Визуальный осмотр	Каждая заготовка
Паяльная маска	Включения Паста в отверстиях Цвет Паста на контактной площадке	Визуальный осмотр	Каждая заготовка
Контактные покрытия	Зачистка меди Толщина Разрыв или короткое замыкание Инородный материал в покрытии Свинец в золочении	Визуальный осмотр Рентгеноспектральный анализ	Каждая заготовка
Маркировка	Четкость маркировки	Визуальный осмотр	Каждая заготовка
Обработка по контуру	Размер Дефекты края Шероховатость края	Инструмент для измерения размера Визуальный осмотр	Каждая заготовка
Скрайбирование	Конфигурация скрайбирования Глубина скрайбирования	Визуальный осмотр	Каждая заготовка
Контроль отверстий	Наличие всех отверстий Качество металлизации Совмещение Диаметр отверстия	Счетчик отверстий Металлографический анализ Калибры для отверстий	Каждая заготовка
Упаковка и отправка	Имя заказчика, номер заказа Проверка содержимого поставки Количество	Визуальный осмотр Проверка количества	Каждая партия

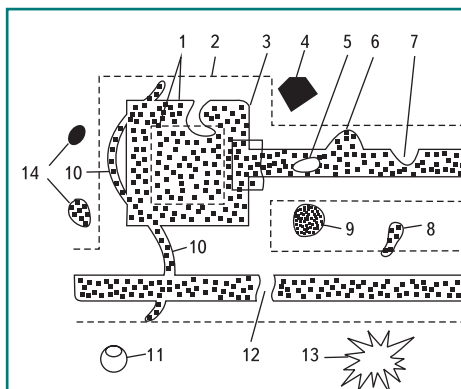


Рис. 1. Характерные дефекты фотошаблонов:

- 1 — номинальный и минимальный размеры контактной площадки;
- 2 — граница зоны недопустимости дефектов пробельных мест;
- 3 — зона недопустимости дефектов соединений;
- 4 — непрозрачные включения; 5 — прокол;
- 6 — выступ; 7 — впадина; 8 — непрозрачное пятно;
- 9 — пятно от остатков раствора;
- 10 — следы пылинки; 11 — пузырь в стекле;
- 12 — разрыв; 13 — след от удара по стеклу;
- 14 — дефекты в зоне допустимости

Размеры элементов изображения на фотошаблонах должны соответствовать требованиям рабочего чертежа с учетом технологических припусков, которые определяются методом изготовления печатных плат, технологическим режимом и применяемым оборудованием. Они не могут быть общими, а устанавливаются в каждом конкретном производстве в виде стандарта предприятия.

Измеренная денситометром оптическая плотность пробельных мест должна быть не более 0,2, а непрозрачных — не менее 4,5.

### Фотолитография

Фотолитография — фотографический процесс на фоторезистах, отличающийся высокой разрешающей способностью.

Качество фоторельефа в значительной мере зависит от возможности формирования бездефектных пленок контролируемой и воспроизводимой толщины. Дефекты рельефа имеют разнообразный характер и причины. Наиболее часто они появляются, когда уровень качества материалов (в первую очередь фоторезистов) соответствует нижнему уровню. Тогда фоторезист может иметь неравномерную толщину, низкую светочувствительность, многочисленные проколы, недостаточную пластичность, плохую адгезию и т. д., что приводит к потере точности воспроизведения рисунка, шелушению и отслоению пленки фоторезиста и т. п. Нередко плохое качество фоторезиста связано с нарушением сроков и условий хранения.

Дефекты второй группы связаны с неправильно подобранными режимами экспозиции и проявления фоторезиста (скорость конвейера, давление струй и температура проявляющего раствора, температура и давление воды в магистральных отмывочного модуля). Для подбора этих режимов и текущего контроля гео-

метрической точности воспроизведения рисунка служит тест-элемент, содержащий 12 зон различной плотности рисунка переплетения. При контроле режимов проявления и экспозиции полученное изображение тест-элемента сравнивают с утвержденным образцом, чтобы принять решение о направленности корректировки параметров процесса фотолитографии. Тест-элемент размещается на технологическом поле каждого фотошаблона, чтобы иметь возможность контролировать каждую плату или слой МПП.

Дефекты третьей группы связаны с недостатками фотошаблонов, показанными на рис. 1, запыленностью рамы экспонирования и рабочих помещений. Фоторезисты с той или другой точностью воспроизводят эти дефекты и тени от пылинок и загрязнений. Рассеяние света и переэкспонирование уменьшают размер дефектов в негативах фоторезиста, но расширяют их в позитивных пленках. В этом отношении негативные фоторезисты более предпочтительны.

### Травление рисунка

Травление печатного рисунка представляет собой процесс удаления незащищенных фоторезистом участков металлической пленки (фольги, гальванопокрытия) путем химического или электрохимического растворения.

Если химический состав и физические свойства вытравливаемых пленок однородны, что относится, например, к случаю травления фольги, то действие травителей должно быть изотропным.

Травление рисунка по фольге с металлизацией всей поверхности близко к изотропно, если пренебречь несколько большей скоростью травления гальванических слоев.

Если гальваническое наращивание идет по рельефу, сформированному из сухого пленочного фоторезиста так, что гальванопокрытия наращиваются не выше фоторельефа, то геометрия печатных элементов воспроизводится особенно точно. При использовании в этом процессе диэлектриков с ультратонкой (5–10 мкм) фольгой удается достичь точности воспроизведения токопроводящего рисунка  $\pm 5\text{--}10$  мкм.

Степень искажения печатных элементов на операции травления оценивается через отношение толщины вытравленного слоя к глубине подтравливания — коэффициентом подтравливания. Однако профиль проводников можно увидеть (и измерить коэффициент подтравливания) только по микрошлифам при металлографическом анализе качества платы. Поэтому данный параметр качества используется в основном при обработке процесса травления и анализе отказов.

Для оперативного контроля качества травления пользуются тест-элементами травления, которые позволяют без измерений геометрии проводников оценить состояние процесса травления. При глубоком подтравливании на краях проводников нависают края металлогезиста, которые могут обламываться, образуя многочисленные тонкие заусенцы, способные вызвать короткие замыкания. Заусенцы имеют толщину всего 10–15 мкм, и их

трудно обнаружить невооруженным глазом. Возможность коротких замыканий из-за заусенцев проверяется наклеиванием и быстрым сдергиванием липкой ленты с вытравленного рисунка. Оторвавшиеся заусенцы обнаруживают себя в виде приклеившихся металлических частичек.

Требования к печатному рисунку обычно формулируются по минимуму ширины печатного проводника и минимуму ширины изоляционного зазора между краями элементов. Ограничение максимальной ширины печатного проводника в этом случае определяется минимальным изоляционным зазором.

Измерение ширины проводников производится, как правило, с помощью обычных микроскопов, поле зрения которых едва ли превышает 10 мм при измерении размеров проводников шириной 0,1–0,5 мм. В связи с этим измерение их ширины осуществляется между средними линиями неровности края. Минимальные и максимальные значения размеров, соответствующие впадинам и выступам неровностей края, в допуск на ширину проводников для обеспечения заданного волнового сопротивления не входят и ограничиваются только заданными чертежом минимальными значениями ширины проводников и изоляционных зазоров.

В соответствии с ГОСТ 23752 проводящий рисунок должен быть четким, без вздутий, отслоений, разрывов, темных пятен и окислов. Не допускаются неровности по краям проводящего рисунка (выступы и впадины), уменьшающие минимально допустимые размеры и расстояния между элементами проводящего рисунка, указанные в чертеже; точечные протравы, уменьшающие минимально допустимую по чертежу ширину печатного проводника в месте протрава; остатки трафаретной краски или фоторезиста по контуру проводящего рисунка, если они приводят к уменьшению минимально допустимых расстояний между элементами проводящего рисунка. ГОСТ 23752 устанавливает общие требования к рисунку готовых плат.

Металлические вкрапления в изоляционных промежутках удаляют обычно при контроле по мере обнаружения. Дефекты соединений можно устранить приемами, описанными в ГОСТ 27200-87 «Платы печатные. Правила ремонта» и ГОСТ Р 51039-97 «Платы печатные. Требования к восстановлению и ремонту».

### Техника оптического тестирования

Контроль печатных плат по признакам внешнего вида является главным видом тестирования, поскольку он самый информативный. Мало того, независимо от вида используемых методов контроля качества печатных плат, окончательное решение о характере и допустимости обнаруженных дефектов принимается по результатам визуального анализа. Для этого используются монокулярные, бинокулярные, безокулярные микроскопы. Если же объемы производства настолько велики, что трудозатраты на визуальный контроль становятся значительными для расчета цены печат-



Рис. 2. Основные узлы оптического микроскопа отраженного света

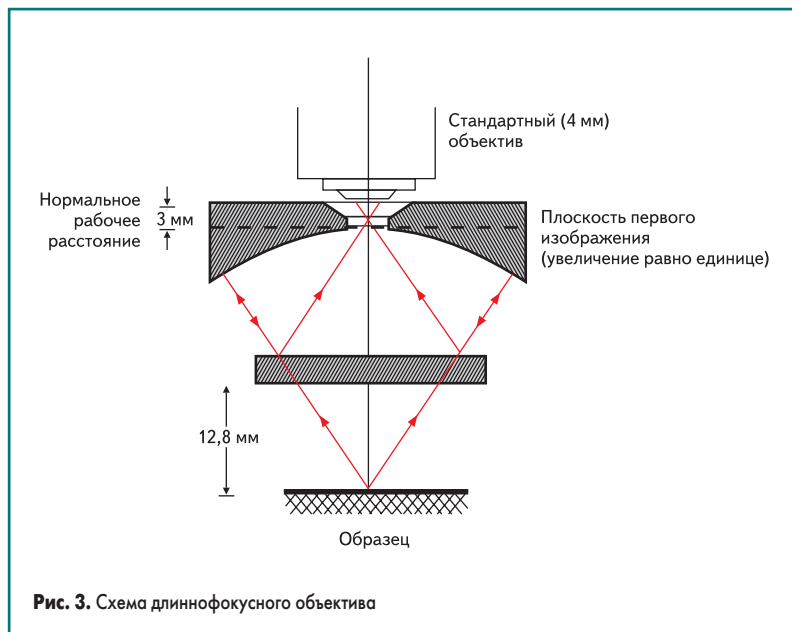


Рис. 3. Схема длиннофокусного объектива

ной платы, приходится рассматривать необходимость использования автоматических оптических тестеров. Вместе с тем, при визуальном контроле зрительная и психологическая утомляемость оператора приводит к пропуску дефектов. И чем мельче элементы печатных плат, то есть чем они прецизионнее, тем больше вероятность пропуска дефектов. И независимо от того, что большая часть дефектов все-таки обнаруживается на последующих стадиях производства, вплоть до проверки функционирования аппаратуры, цена ошибок возрастает по мере опоздания в их обнаружении. Поэтому особенно актуально избегать ошибок в фотошаблонах, поскольку они будут тиражироваться во всей партии плат, изготавливаемых с этого фотошаблона.

**Оптическая микроскопия**

Оптический микроскоп — наиболее распространенный прибор анализа качества печатных плат.

Изображение объекта в оптическом микроскопе формируется при помощи системы стеклянных линз, имеющих более высокий показатель преломления, чем воздух. Упрощенная схема оптического микроскопа отраженного света приведена на рис. 2. Микроскоп содержит осветительную систему, штатив с предметным столиком и систему формирования изображения.

**Источник света и конденсор**

Осветительная система должна обеспечивать равномерное освещение поверхности платы, чтобы все детали ее структуры находились в одинаковых условиях. Источник света должен быть достаточно ярким. Обычно источником света служит лампа накаливания. В более дорогих микроскопах используются ксеноновые разрядные трубки, являющиеся стабильным и мощным источником белого света.

Помимо источника, важным элементом осветительной системы является конденсор, увеличивающий яркость освещения объекта. Для этого изображение источника фокусируют близко к задней фокальной плоскости объектива,

и образец оказывается освещенным почти параллельным пучком. Апертурная диафрагма осветительной системы ограничивает количество света, поступающего от источника и попадающего на образец. Контраст изображения можно повысить, закрывая апертурную диафрагму конденсора. При этом, однако, резко уменьшается яркость изображения и могут появиться артефакты, связанные с дифракционными явлениями. Вторая диафрагма, называемая полевой, помещается в плоскости изображения объектива. Она расположена в осветительной ветви микроскопа отражающего света, снижает отражение света и устраняет нежелательный световой фон (так называемую засветку) изображения. Размер диафрагмы объектива должен регулироваться в соответствии с размером рассматриваемой области, зависящим от степени увеличения микроскопа. Апертурная и полевая диафрагмы обычно представляют собой ирисовые диафрагмы, диаметр которых можно изменять в широких пределах.

Во многих микроскопах отраженного света осветительную систему с лампой можно установить в такое положение, чтобы он начал работать как микроскоп проходящего света. Это очень удобно для исследования тонких полупрозрачных плат.

**Предметный столик**

Основным требованием, предъявляемым к штативу микроскопа и предметному столику, является их механическая устойчивость. Если разрешающая способность равна приблизительно 1 мкм, стабильность положения образца в плоскости изображения должна быть не хуже этого предела. Дополнительные условия связаны с установкой образца в фокус объектива путем вертикального перемещения его по оптической оси микроскопа. Точность регулировки фокуса должна быть выше глубины резкости объектива для самого большого увеличения. Поэтому стабильность положения образца по оси оптической системы не менее важна, чем по плоскости предметного столика.

Юстировку микроскопа обычно проводят по всем трем координатам с помощью микрометрических винтов координатного перемещения. При этом механическая свобода системы должна быть сведена к минимуму. «Свободой» называют разницу в положении микрометрического винта при помещении объекта в одну и ту же точку путем движения из противоположных направлений.

Плоскость образца должна быть строго перпендикулярной оптической оси микроскопа. Этого обычно достигают, помещая образец на слой пластилина и вдавливая его в пластилин специальным прессом.

**Выбор объектива**

Основными характеристиками объектива являются числовая апертура и увеличение, указание о котором всегда можно найти на его корпусе. Как правило, линзы объектива ахроматизованы и могут работать в широком диапазоне длин световой волны для изучения цветных деталей печатных плат.

Яркость изображения (количество света, приходящегося на единицу площади) уменьшается обратно пропорционально квадрату увеличения объектива. Чем больше апертурный угол (угол конуса) объектива, тем большее количество света он собирает.

Для объективов с самым большим увеличением и большим значением числовой апертуры рабочее расстояние между объективом и поверхностью образца не превышает 0,1 мм. Из-за этого объектив легко повредить в процессе фокусировки путем вдавливания его в покрывное стекло, а замена хорошего объектива обходится совсем не дешево.

В настоящее время производятся специально разработанные длиннофокусные объективы с большим рабочим расстоянием. В них обычно создается промежуточное изображение без предварительного увеличения (рис. 3).

**Формирование и регистрация изображения**

Увеличение объектива не слишком велико, и поэтому необходимо дальнейшее увеличение построенного им изображения. Для это-

го есть три возможности. Первая состоит в использовании окуляра и дополнительных линз, помещаемых между объективом и окуляром. Вторая — в фокусировке изображения на светочувствительную фотопленку и его последующем фотоувеличении. Третий способ — это сканирование изображения и демонстрация его на мониторе. В последние годы достигнут значительный прогресс в развитии высококачественных ПЗС-матриц, называемых в оптике также ССД-камерами, которые позволяют создавать цифровое изображение. При этом отпала необходимость в дополнительных линзах. В настоящее время этот способ формирования изображения продолжает интенсивно развиваться.

**Монокулярное и бинокулярное наблюдение**

Изображение можно рассматривать при помощи монокулярной насадки, увеличивающей первичное изображение в 3–15 раз. Типичный объектив имеет увеличение  $\times 40$  и разрешение 0,4 мкм. Чтобы человеческий глаз с его разрешающей способностью 0,2 мм различил такие детали, требуется дальнейшее увеличение изображения в  $200/(0,4 \times 40) = 12,5$  раза.

Во многих микроскопах имеется дополнительная промежуточная линза (например,  $\times 4$ ), позволяющая с помощью маломощного ( $\times 3$  или  $\times 5$ ) окуляра различить все детали изображения. Однако даже без промежуточной линзы не всегда нужно использовать окуляр с увеличением  $\times 15$ , поскольку при большом увеличении уменьшается размер изучаемой области, а предельно разрешимые детали кажутся «стертыми».

В некоторых микроскопах световой луч делит на два и используют бинокуляр. Это удобно, но следует знать, что использование бинокуляра может создавать некоторые проблемы. Обычно фокусное расстояние левого и правого глаза различается, и поэтому необходима независимая фокусировка окуляров. Эту процедуру осуществляют фокусировкой первого окуляра на плоскость образца. После этого вторым глазом регулируют фокусное расстояние второго окуляра (не изменяя плоскость образца), пока два изображения не совпадут. Перед этим необходимо отрегулировать расстояние между окулярами, которое должно соответствовать индивидуальному межглазному расстоянию исследователя. Отметим, что бинокулярный микроскоп не обеспечивает стереоскопического изображения, для создания которого нужно иметь два объектива, сфокусированных на одну область образца. Стереомикроскопы с двумя объективами в настоящее время производятся промышленно, но их увеличение не превышает  $\times 50$ . Это обусловлено трудностью размещения сразу двух объективов близко к поверхности образца.

**Распознавание объектов изображения  
Компьютерная обработка изображений**

Оператор, анализирующий качество поверхности печатной платы, без труда выделяет и распознает на изображении ее отдельные элементы (проводники, зазоры, посторонние

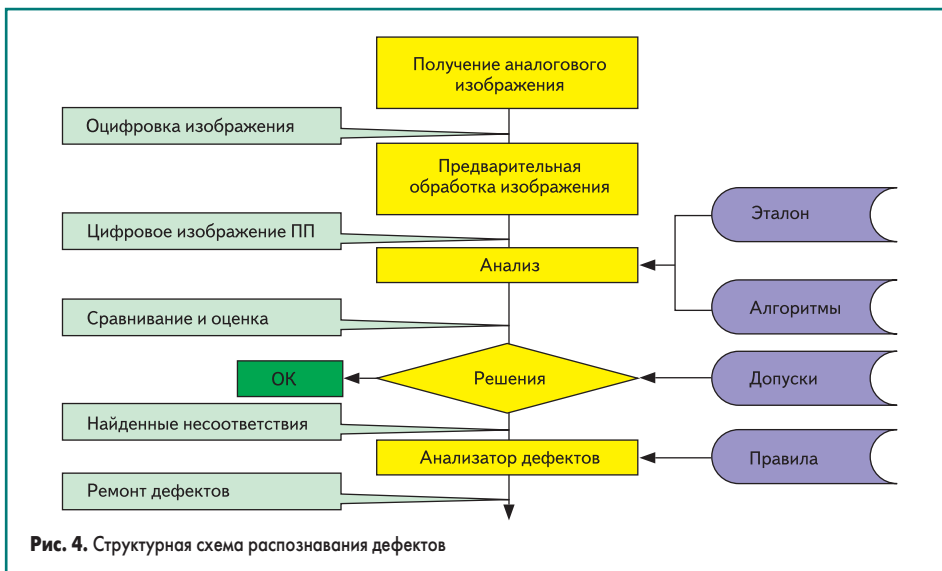


Рис. 4. Структурная схема распознавания дефектов

предметы, некачественные элементы поверхности диэлектрика и т. д.). На объекты, которые его не интересуют в данный момент, он просто не обращает внимания и легко исключает их из анализа. Если его спросить, каким образом он отличает разные элементы печатной платы, он попытается назвать некоторые формальные признаки (размер и форма проводника, цвет и текстура диэлектрического основания), но вряд ли в процессе реальной работы он измеряет или пристрастно оценивает каждый элемент. Он просто, исходя из своего опыта, зрительно узнает дефект.

При компьютерной обработке изначально после ввода все пиксели изображения являются равноценными по возможности отнесения их к какому-то типу объектов. Для распознавания аналогично тому, как их узнает человек, требуется определить формальные признаки, по которым их можно выделить из изображения в конкретные элементы и затем классифицировать, то есть определить тип объекта.

**Принципы работы АОИ**

Системы АОИ используют современную оптику, аппаратное и программное обеспечение, а также библиотеки различных алгоритмов нахождения дефектов. Эти алгоритмы работают на основании логических правил, влияющих на принятие окончательных решений. Система получает изображение проверяемой печатной платы и сравнивает его с «эталонной» панелью, хранящейся в памяти АОИ. В качестве эталона могут быть использованы данные САД, фотошаблоны и эталонная печатная плата. Различные алгоритмы нахождения дефектов анализируют несоответствия между проверяемой и эталонной панелями и принимают решения, являются ли данные различия дефектом или нет. Весь процесс принятия решений базируется на предпочтениях и установках пользователя.

Далее представлен схематический принцип работы систем АОИ (рис. 4):

- Получение изображения — оптический блок, включающий в себя объектив, системы освещения и сканирующую камеру, передает изображение проверяемой печатной платы для последующей обработки.

- Предварительная обработка изображения — обработка и подготовка полученного изображения к сравнению с эталоном.
- Анализ — производится проверка изображений с использованием алгоритмов нахождения дефектов, осуществляющих сравнение подготовленного изображения с эталонным и работающих в пределах разрешенных допусков.
- Решение — принятие решения о соответствии или несоответствии платы эталону, базирующееся на правилах и предпочтениях пользователя.
- Анализатор дефектов маркирует местоположение дефекта, классифицирует его на основе правил, определяемых пользователем, и передает данные для дальнейшей верификации, управления и стабилизации производственного процесса.

Современные системы АОИ используют дублирующие методы нахождения дефектов и элементы искусственного интеллекта для обеспечения высокого уровня детектирования при нулевом количестве ложных срабатываний.

Каждый пиксель изображения имеет уникальные координаты X и Y, значение яркости и (или) цвета в соответствии с цветовой моделью. Пиксели, образующие объекты изображения, часто отличаются от фона по этим свойствам, что позволяет выделить пиксели изображения, обладающие одинаковыми значениями яркости или цвета, то есть соответствующие объектам.

Выделение по яркости производится по гистограмме яркости, на которой вручную или автоматически с помощью специального алгоритма выделяются интервалы яркости, соответствующие объектам. Пики на гистограмме, как правило, соответствуют близким по яркости, однородным участкам изображения, то есть объектам и фону. Для выделения анализируемой области нужно установить границу интервала посередине между пиками. Например, для темных объектов фотошаблона, находящихся на светлом фоне, нужно выделять темный пик, а для светлых на темном фоне — белый пик.



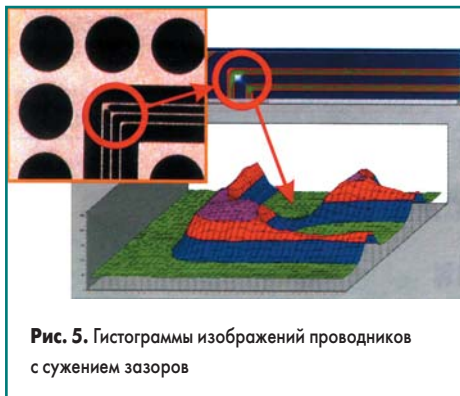


Рис. 5. Гистограммы изображений проводников с сужением зазоров

Выделение объектов по цвету, как правило, является более сложной задачей, так как используются различные цветовые модели, внутри которых надо выделить область цветового пространства, соответствующую объектам. Для каждой цветовой составляющей выделяется свой интервал яркости, а объединение интервалов определяет заданную область цветового пространства.

Выделение по цвету или яркости прекрасно работает для многих конструкций печатных плат, как показано на рис. 5. Однако существует много изображений, на которых элементы рисунка печатных плат имеют схожие яркости и цвета и различаются только внутренней текстурой. Под текстурой понимается упорядоченный узор (рисунок), который образуют пиксели, формирующие изображение объекта. Вариации этого узора могут быть связаны с разбросом яркости, характером распределения точек разной интенсивности, направленностью.

### Контроль печатных плат с помощью АОИ

Контроль печатных плат может быть признан целесообразным на всех операциях изготовления печатных плат, как показано на рис. 6, по результатам которых делаются выводы о дефектности платы и принимается решение о ее отбраковке или ремонте. Используется специализированная сканирующая система проверки печатных плат, оборудованная моторизованным предметным столом, цифровой камерой и компьютером с программным обеспечением. Работа системы заключается в последовательном вводе изображений отдельных фрагментов платы, их «сшивки» в единое изображение и сравнение последнего с эталонным изображением платы. Эталонные изображения находятся во встроенной базе данных (электронной библиотеке) и предустанавливаются перед началом работы оператора. В результате сравнения тестируемой платы с эталоном области несовпадения выделяются цветом. Классификация дефектов производится оператором путем выбора типа дефекта из меню. Координаты дефекта фиксируются автоматически. Процесс тестирования заканчивается формированием протокола, куда заносится информация, включающая код оператора, код эталона, автоматически распознанный номер платы, список дефектов, заключение оператора, его комментарии и, по необходимости, изображение платы.



Рис. 6. Распределение процедуры контроля по операциям

Таблица 2. Сопоставление методов тестирования

Электрическое матричное тестирование	Электрический тестер с «летающими щупами»	Автоматическое оптическое тестирование
Основные достоинства		
Надежные результаты тестирования плат как электрического изделия; возможность тестирования любого типа плат; высокая производительность при больших партиях ограниченной номенклатуры	Надежные результаты тестирования плат как электрического изделия; возможность тестирования любого типа плат; преимущества при тестировании ограниченных объемов плат широкой номенклатуры	Возможность тестирования фотошаблонов; высокая производительность процесса; отсутствие дополнительных затрат на адаптер; быстрое определение местоположения дефектов
Основные недостатки		
Отсутствие возможности тестирования фотошаблонов; высокая стоимость адаптера; сложность определения точного местоположения дефектов	Отсутствие возможности тестирования фотошаблонов; большая, по сравнению с адаптерным и оптическим методами, продолжительность тестирования	Анализируются не электрические соединения, а их изображения; результаты оптического тестирования могут нуждаться в проверке другими методами; отсутствует тестирование металлизации отверстий

### Сопоставление методов тестирования

Оборудование для тестирования печатных плат настолько дорого, что нуждается в серьезном обосновании для приобретения и правильной расстановки по операциям. Каждый из видов тестирования — электрическое и оптическое — настолько своеобразен, что они по большей части не конкурируют, а дополняют друг друга.

#### Оптический метод

Современный метод автоматического оптического тестирования (АОИ — Automated Optical Inspection) позволяет очень быстро произвести диагностику платы независимо от ее размера. Данный метод не требует изготовления дополнительной дорогостоящей оснастки для каждого типа плат. Однако его существенный недостаток — ограниченность проверки правильности взаимного расположения проводников только в одном слое, без учета переходных отверстий печатной платы. Метод получил наибольшее распространение для тестирования фотошаблонов, внутренних слоев многослойных печатных плат (без глухих и скрытых отверстий).

#### Электрический метод

В электрических методах используют две системы тестирования:

- Матричное тестирование («ложе гвоздей»). При использовании матричной системы те-

стирования для каждого типа плат изготавливается специальный переходной адаптер, на который впоследствии накладывается тестируемая плата. Достоинство метода — высокая скорость проверки, недостаток — большая стоимость адаптера. В итоге матричное тестирование целесообразно для проверки больших партий печатных плат ограниченной номенклатуры.

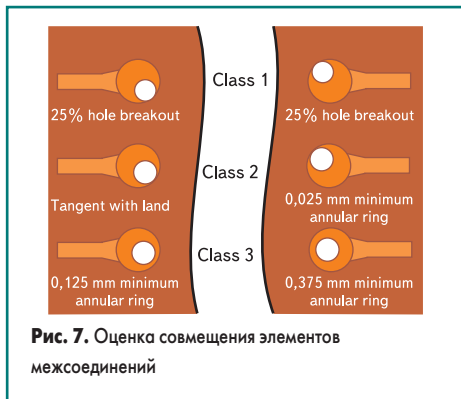
- «Летающие щупы». При безадаптерном тестировании изготовление дополнительных устройств не требуется. Над поверхностью платы передвигаются головки с зондами, обычно по две или четыре на каждую сторону платы, и опускаются на контактные площадки тестируемой печатной платы. Скорость проверки данным способом ниже, чем адаптерным. Однако данный метод тестирования выгоден при проверке небольших партий плат с широкой номенклатурой.

#### Сопоставительные характеристики методов тестирования

В таблице 2 приведены сопоставительные характеристики методов тестирования печатных плат.

#### Примеры дефектов совмещения

На рис. 7 показан пример выявления и нормирования дефектов совмещения отверстий с контактными площадками. Стандарты МЭК



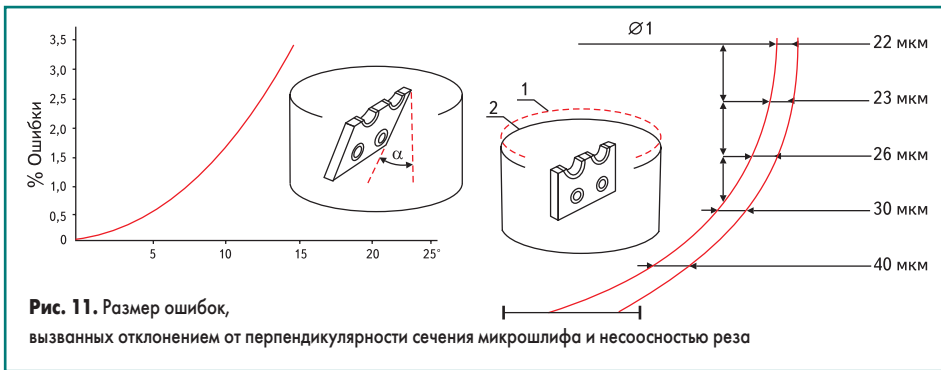
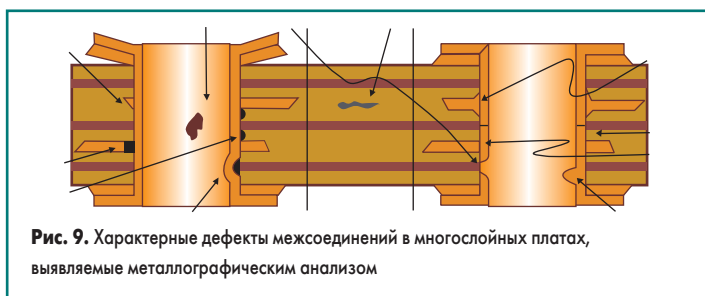
и IPC нормируют эти смещения для различных классов аппаратуры, отличающихся мерой ответственности и условиями эксплуатации.

На рис. 8 показаны примеры смещения покровной пленки с контактными площадками.

**Металлографический анализ многослойных печатных плат**

Наиболее достоверно контроль металлизации отверстий и внутренних соединений МПП выполняется с помощью микрошлифов. По микрошлифам можно выявить нарушенные формы элементов соединений, дефекты сращивания металлизации с контактной площадкой внутреннего слоя, глубину подтравливания диэлектрика в МПП, качество механической обработки отверстий, толщину межслойной изоляции и другие важные элементы внутренней структуры печатных плат (рис. 9). В стандартах нормируется качество металлизации в зависимости от ответственности аппаратуры (рис. 10).

Изготовление микрошлифов связано с разрушением образцов, что исключает применение этого метода для контроля металлизации отверстий на рабочем поле платы, а результаты измерений толщины меди по микрошлифам отверстий, расположенных на технологических слоях, могут дать ошибочные результаты: при недостаточной рассеивающей



способности электролитов вследствие краевого эффекта толщина металлизации на краях платы может оказаться неопределенно больше, чем на рабочем поле платы. Однако при отработке методов контроля выбор критериев годности по толщине и качеству металлизации отверстий может быть осуществлен только по сечению микрошлифов.

На первых этапах отработки новых технологических процессов металлографический контроль печатных плат по микрошлифам тест-элементов технологического поля является обязательным для каждой платы. По мере отработки процесса контроль по микрошлифам становится выборочным и служит лишь для проверки стабильности технологического процесса.

Для получения плоской поверхности среза образец устанавливается во фторопластовую форму и заливается компаундом, например, эпоксидным компаундом холодного отверждения, или акрилатными составами (такими, как бутакрил технический и т. п.). Может успешно применяться опрессовка образца пластмассами горячего отверждения. Заливочный состав должен иметь хорошую адгезию с поверхностью образца. При механической обработке шлифа необходимо предусмотреть меры, исключающие нагрев образца. Срез следует отшлифовать и отполировать известными способами, применяя все более и более тонкие абразивы. Шлифование производят на ткани, закрепленной на вращающемся круге, от самой грубой до самой тонкой зернистости абразива. При переходе на более мелкозернистый абразив необходимо соблюдать особую осторожность и чистоту, чтобы не перенести частицы более крупного абразива на операцию более тонкой обработки. Во избежание смазывания металлов следует обработку шлифа вести под углом 45° к образцу, а не вдоль или поперек образца. Переходить к следующей стадии шлифовки можно только тогда, когда следы предыдущей совершенно стерлись.

Окончательная отделка микрошлифа — полирование — производится на бильярдном сукне или авиационном войлоке (кордном фетре), натянутом на диски. Частота вращения — диска 50–500 об./мин.

При шлифовании среза необходимо выдерживать перпендикулярность плоскости образца к плоскости шлифования, а срез выполнять точно по оси отверстия (рис. 11), иначе неизбежно возникают ошибки в оценке толщины металлизации.

Полирование нужно производить алмазными пастами или на пастах ГОИ, состав которых приведен в таблице 3.

**Таблица 3.** Состав паст ГОИ

Компоненты пасты	Содержание, %		
	Грубая паста	Средняя паста	Тонкая паста
Оксид хрома	81	76	74
Силикагель	2	2	1,8
Стеарин	10	10	10
Расщепленный жир	5	10	10
Олеиновая кислота	–	–	2
Сода двууглекислая	–	–	0,2
Керосин	2	2	2

Продолжительность обработки микрошлифа на пастах ГОИ не должна превышать: на грубой 3–5 мин, на средней 2–3 мин, на тонкой 1–2 мин. Большая продолжительность полировки приводит к заваливанию краев покрытий разной твердости и вследствие этого — к потере четкости границ раздела при наблюдении под микроскопом. Для выявления кристаллической структуры покрытия и получения контраста между покрытиями применяется химическое травление микрошлифа. Далее приводятся два состава травящих растворов, применяемых в технологии печатного монтажа.

- Раствор № 1:  
 • бихромат калия — 2 г;

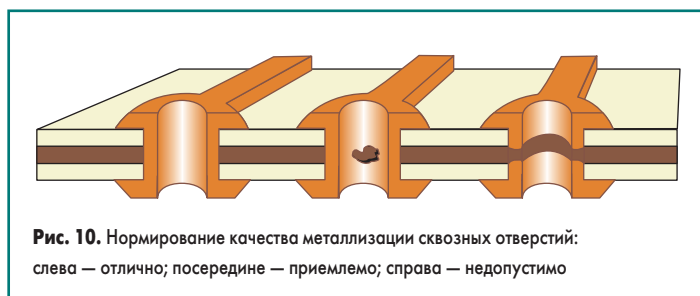




Рис. 12. Пресс для опрессовки образцов для металлографического анализа



Рис. 13. Отрезная пила для разреза опрессованного образца по осям отверстий

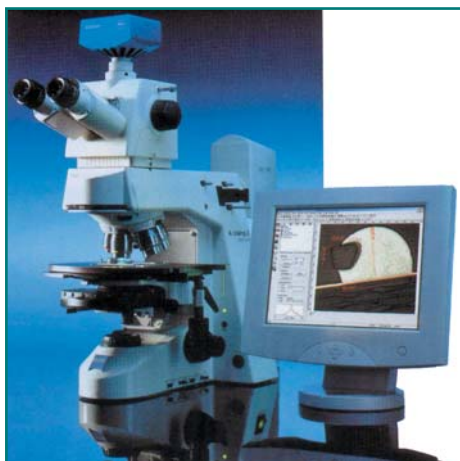


Рис. 15. Металлографический микроскоп с видеокамерой и компьютерной обработкой

- вода — 100 мл;
  - хлористый натрий, насыщенный раствор водный — 4 мл;
  - серная кислота — 8 мл.
- Раствор № 2:
- 3%-ный водный раствор перекиси водорода — 50 мл;
  - 25%-ный водный раствор аммиака — 50 мл.
- Перед травлением микрошлифы необходимо промывать в спирто-бензиновой смеси для удаления остатков жиров от операции поли-



Рис. 14. Полировочная машина

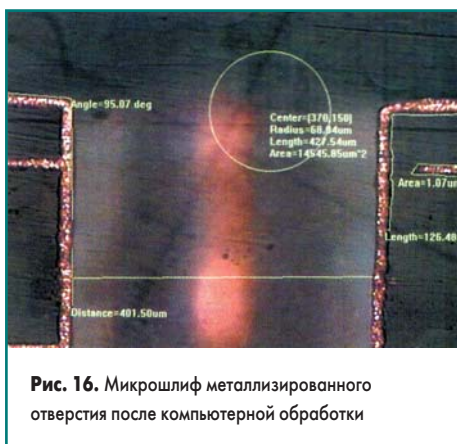


Рис. 16. Микрошлиф металлизированного отверстия после компьютерной обработки



Рис. 17. Микрошлиф стыка металлизации

- Не допускаются металлические вкрапления в объеме диэлектрика и инородные включения в металлических покрытиях.
  - Металлизация отверстий должна быть сплошной, плотной, мелкозернистой с минимальными межкристаллитными прослойками.
- Для изготовления микрошлифов давно практикуется использование комплекта лабораторного оборудования: штамп для вырубки образцов, ручной пресс для опрессовки образцов в пресс-форме (рис. 12); пила для точного разреза образца по осям отверстий (рис. 13); полировочная машина для доводки поверхности микрошлифа (рис. 14); металлографический микроскоп с видеокамерой и компьютерной обработкой информации (рис. 15). На рис. 16, 17 показаны примеры микрошлифов, выполненных с использованием этой техники.

### Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ в производстве электроники

#### Общая характеристика методов рентгеноспектрального анализа

Основной задачей рентгеноспектрального анализа является качественное и/или количественное определение химического состава исследуемого образца. Рентгеноспектральный анализ позволяет определить практически все химические элементы, за исключением ряда наиболее легких. Он отличается высокой точностью: в отдельных случаях погрешность анализа не превышает 0,1–0,3%. Для рентгеноспектрального анализа характерны высокая производительность, достигающая сотен элементопределений в час, и возможность практически полной автоматизации. Поэтому рентгеноспектральный анализ широко применяется в технике и научных исследованиях [7, 8].

Возможность определения состава рентгеновскими методами основана на том, что каждый элемент периодической системы обладает индивидуальным, присущим только ему характеристическим рентгеновским спектром. Чтобы осуществить анализ, необходимо, прежде всего, возбудить характеристическое излучение атомов образца и исследовать его спектральный состав с помощью спектрометра. Измерив длины волн характеристического спектра, можно, используя таблицы длин волн характеристических линий элементов, определить элементный состав образца (выполнить рентгеноспектральный анализ).

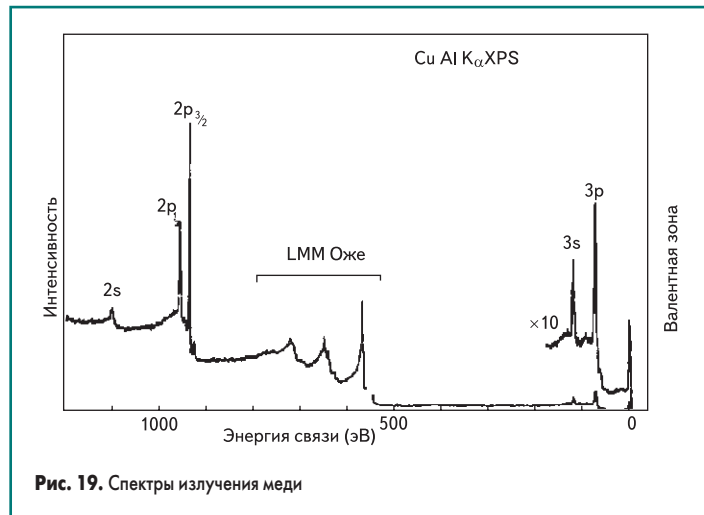
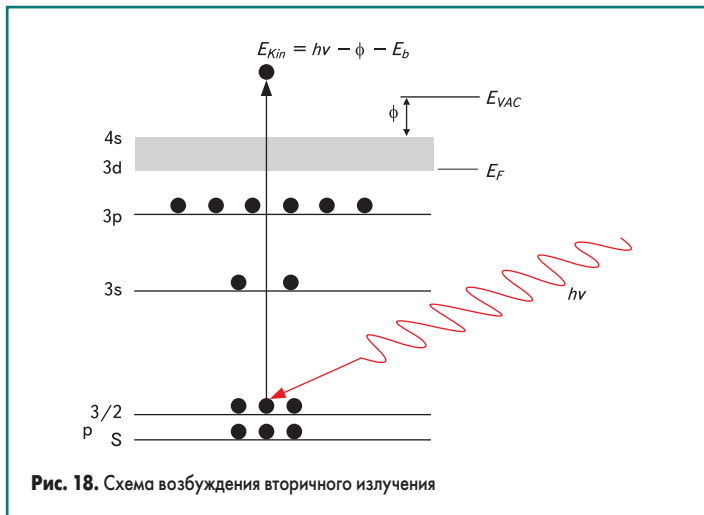
рования пастой ГОИ, затем обмывать водой и высушивать спиртом.

Толщину и качество покрытий контролируют с помощью обычных или металлографических микроскопов при увеличении в 50–200 раз. При тщательном изготовлении микрошлифа можно достичь точности измерения толщины покрытия  $\pm 0,7$  мкм.

Требования, предъявляемые к качеству металлизации и обработки отверстий печатных плат, состоят в следующем:

- Толщина медного гальванопокрытия в отверстиях должна быть не менее 25 мкм.
- Глубина подтравливания диэлектрика должна находиться в пределах 10–30 мкм.
- Медное гальванопокрытие не должно иметь грубой границы с торцами контактных площадок на внутренних слоях.
- Поверхность меди в отверстиях должна иметь защитное покрытие заданной толщины.





Возбуждение характеристического излучения атомов исследуемого образца может быть достигнуто путем его бомбардировки быстрыми электронами (анализ по первичным спектрам) или путем облучения рентгеновскими лучами (анализ по вторичным спектрам, или флуоресцентный анализ).

При анализе по первичным спектрам исследуемый образец помещают в вакуум. Системы фокусировки и отклонения электронного пучка дают возможность проводить анализ в микрообъеме и в заранее выбранном участке поверхности образца (локальный микроанализ). Следует отметить сложности, возникающие при исследовании состава диэлектриков (заряд поверхности первичными электронами) и легкоплавких металлов и материалов (испарение под действием электронного пучка).

Наиболее широкое распространение получил флуоресцентный метод анализа. Анализ по флуоресцентному излучению обладает некоторыми преимуществами по сравнению с анализом по первичным спектрам: образец располагается вне вакуумного объема, в ходе анализа образец не нагревается, и поэтому его химический состав не меняется; во вторичном спектре отсутствует фон, характерный для тормозного излучения, благодаря чему повышается контрастность анализируемых линий, а значит, и чувствительность метода. Однако следует отметить недостаток флуоресцентного анализа: вторичные спектры имеют малую интенсивность; для легкоатомных образцов ограничена возможность анализа с атомными номерами менее 12.

Физической основой анализа состава по рентгеновским спектрам является однозначная связь между атомным номером химического элемента и длинами волн генерируемого им рентгеновского характеристического излучения. Флуоресцентное излучение возбуждается в результате поглощения фотона атомом вещества (рис. 18). При достаточно большой энергии первичного фотона  $h$  может произойти ионизация оболочки атома, включая  $K$ -оболочку, вследствие чего атом покидает электрон с энергией  $W_{кин}$ . На освободившееся место в  $K$ -оболочке перейдет электрон с  $L$ -оболочки. При этом испускается фотон характеристического излучения  $h_K$  и т. д. В результате в ато-

ме будет наблюдаться целый ряд переходов электронов между выше- и нижележащими уровнями энергии, сопровождающихся эмиссией фотонов характеристического излучения, которое называется флуоресцентным. Это название подчеркивает, что характеристические лучи возникли при облучении вещества фотонами, а не электронами.

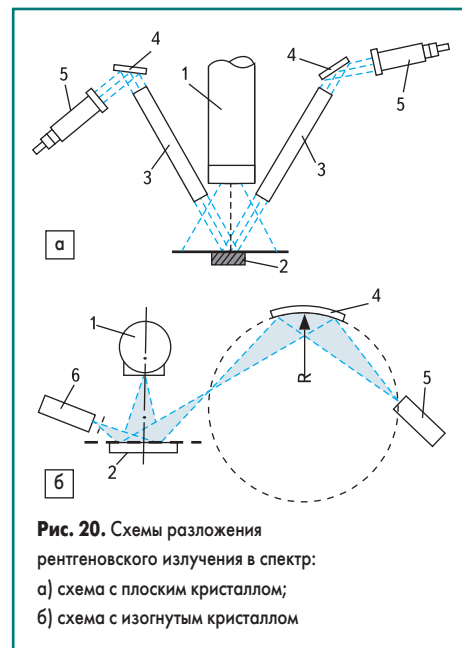
Все переходы, заканчивающиеся на  $K$ -уровне, приводят к испусканию  $K$ -серии; переходы, заканчивающиеся на уровнях  $L$ , — к испусканию  $L$ -серии и т. д. Вероятность переходов неодинакова, поэтому интенсивность рентгеновских характеристических линий различна (рис. 19). Характеристические спектры химических элементов сходны по строению, что обусловлено одинаковой структурой внутренних оболочек. Экспериментально установлено, что при увеличении порядкового номера элемента спектры смещаются в сторону коротких длин волн, то есть более высоких частот (закон Мозли).

Возникшее в исследуемом образце характеристическое рентгеновское излучение анализируется с помощью спектрометров. В отличие от видимой части спектра рентгеновское излучение прозрачно для обычной оптики. Поэтому для рентгеноспектроскопии вынужденно используются дифракционные методы, которые делятся на две группы: кристалл-дифракционные и энергодисперсионные (бескристалльные).

**Кристалл-дифракционный рентгеноспектральный флуоресцентный анализ**

В кристалл-дифракционных спектрометрах для выделения заданной линии спектра из флуоресцентного излучения образца используется дифракция излучения на кристалле. Если менять угол между излучением и дифракционной решеткой, образуемой кристаллом, путем поворота кристалла, то для всех длин волн, входящих в излучение образца, будет последовательно выполняться условие дифракции на данном кристалл-анализаторе. Происходит разложение рентгеновского спектра по длинам волн. Излучение регистрируется детектором.

Для разложения рентгеновского излучения в спектр используют спектрометры с плоскими и изогнутыми кристаллами (рис. 20).



Спектрометр с плоским кристаллом имеет высокую светосилу, обусловленную тем, что одновременно используется для отражения почти вся поверхность большого плоского кристалла. Однако его разрешающая способность низкая.

Высокую разрешающую способность можно обеспечить при использовании спектрометров, в которых применяются различные рентгенооптические фокусирующие схемы с изогнутым кристаллом. Одним из таких спектрометров является спектрометр по схеме Кошуа. Рентгеновский флуоресцентный спектрометр (рис. 21) состоит из трех основных узлов: рентгеновской трубки, излучение которой возбуждает спектр флуоресценции исследуемого образца, кристалла-анализатора для разложения лучей в спектр и детектора для измерения интенсивности спектральных линий.

**Аналитические возможности метода Качественный анализ**

Разность энергий электронного перехода с одного уровня на другой  $E_{1,2}$  индивидуальна для каждого атома. Это обстоятельство используется в рентгенофлуоресцентном анализе.



Положение линий в РФА легко оценить, используя закон Мозли:

$$\Delta E = h\nu \cong ((2\pi m_e e^4 (Z-\xi)^2) / h^2) (1/n_0^2 - 1/n_1^2),$$

где  $\nu$  — частота рентгеновской линии;  $m_e$  — масса электрона;  $e$  — заряд электрона;  $h$  — постоянная Планка;  $Z$  — атомный номер элемента;  $\xi$  — постоянная экранирования;  $n_0$  и  $n_1$  — главные квантовые числа начального и конечного состояний. Кроме того, для удобства идентификации каждого элемента можно использовать некоторые соотношения: приблизительно можно указать, что в  $K$ -серии интенсивности  $I$  основных линий равны:  $I(\alpha_2) = 50$ ,  $I(\beta_1) = 20$ ,  $I(\beta_3) = 10$ , остальные слабее. В  $L$ -серии:  $I(\alpha_2) = 12$ ,  $I(\beta_1) = 50$ ,  $I(\beta_2) = 20$ ,  $I(\beta_3) = 8$ ,  $I(\gamma_1) = 10$ , остальные слабее.

**Количественный анализ**

Переход от измеренной интенсивности аналитической линии к содержанию определяемого элемента — этап, завершающий процесс рентгенофлуоресцентного анализа. Основная его задача — обеспечить получение правильного значения концентрации элемента в анализируемом образце. Эту задачу решают разными способами в зависимости от степени сложности состава пробы. Рассмотрим наиболее распространенную классификацию, выделяя две группы способов анализа, различающихся определением относительной интенсивности аналитической линии.

Если интенсивность аналитической линии элемента сравнивают с интенсивностью какой-либо другой линии, зарегистрированной в определенной последовательности или одновременно от того же излучателя, то анализ выполняют способом внутреннего стандарта. В качестве внутреннего стандарта может быть использован любой сигнал, зарегистрированный от пробы и изменяющийся при смене условий анализа по тому же закону, что и аналитическая линия. Если при нахождении концентрации элемента интенсивность его аналитической линии регистрируется в определенной последовательности или одновременно от независимого излучателя, то принято считать, что анализ выполняют способом внешнего стандарта. В способе внешнего стандарта сравнивают интенсивности аналитических линий, зарегистрированных от разных образцов, поэтому такой способ имеет много приемов, позволяющих учитывать различие химических составов проб и рабочих эталонов (рис. 22).

**Параметры первичного рентгеновского луча**

Особенности производства электроники состоят в миниатюрности элементов межсоединений, покрытий, компонентов, размеры которых исчисляются микронами и долями миллиметров. С их размерами должен сопоставляться размер пятна зондирования образцов рентгеновским лучом. Для его уменьшения применяют различные способы использования апертур и средств коллимации (рис. 23). Использование апертур (рис. 23а) — наиболее простой способ уменьшения пятна, но он связан с большими потерями энергии излучения и, значит, с потерей чувствительности

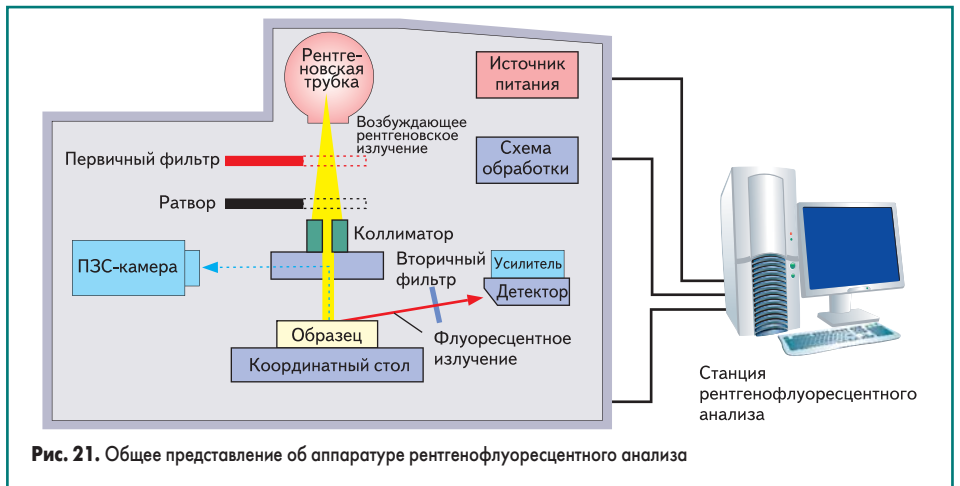


Рис. 21. Общее представление об аппаратуре рентгенофлуоресцентного анализа

**Список стандартных проб применительно к производству электроники**

Стандартные фольги, мкм						Основа и поверхность	Стандартные образцы, мкм		Стандартные композиции		Сертифицированные диски и фольги, мкм, %	
Тип	Толщина	Тип	Толщина	Тип	Толщина		Тип	Толщина	Тип	Компонент	Тип	Компонент
Au	0,05	Sn	0,25	Pd	0,05	Ag/Cu	0,5	Ni-p	P (6)	Ag-Ni/Cu	Ag (1)/Ni (10)	
	0,1		0,1		P (9)		Au (1)/Ni (10)					
	0,25		1		0,25		Pb-Ni		Pd (80)		Ni-P/Cu	10 мкм
	0,5		2		1		Sn-Ni		Sn (70)		P 9%	
	1		5		2		Zn-Ni		ZN (90)		Ni-P/Fe	10
	2		10	3	0,25		2		Sn (60)	Sn-Pb/42 Alloy	Sn 60%	
	3		20	5	0,5		5		Sn (80)		10	
	5		50	8	1		2		Sn (90)		15	
Ni	0,25	Pb	0,25	Rh	12,5	Au/Cu Single layer	0,5	Sn-Zn	Sn (70)	Sn-Pb/Cu Sn 60%	20	
	0,5		1		0,1				30			
	1		2		0,25				40			
	2		5		0,5				10			
	5		10		1				Sn 80% Foils		10	
	10		2,5		0,5				Sn-Pb		5	
Ag	0,1	Co	0,05	Cr	0,05	Au/Cu Double layer	0,5	Sn-Ag	Ag (3,5)	Sn-Bi	Bi (3)	
	0,25		0,1		0,1				Sn-Cu		Cu (3)	
	1		0,25		0,25							
	2		0,5		0,5							
	5		1		1							
Cu	0,25	Ti	1	Mo	10	Au/Ni	2	Ni/Cu	5	Ni/Fe	10	
	0,5		5		4				20			
	1		10		10				20			
	2		1		20				5			
	5		5		1				10			
	10		8		2				20			
Fe	2,5	In	5	W	6	Pb/Cu	5	Sn/Cu	10	Zn/Fe	20	
	5		10		6				5			
			15		8				10			

Рис. 22. Набор стандартных проб

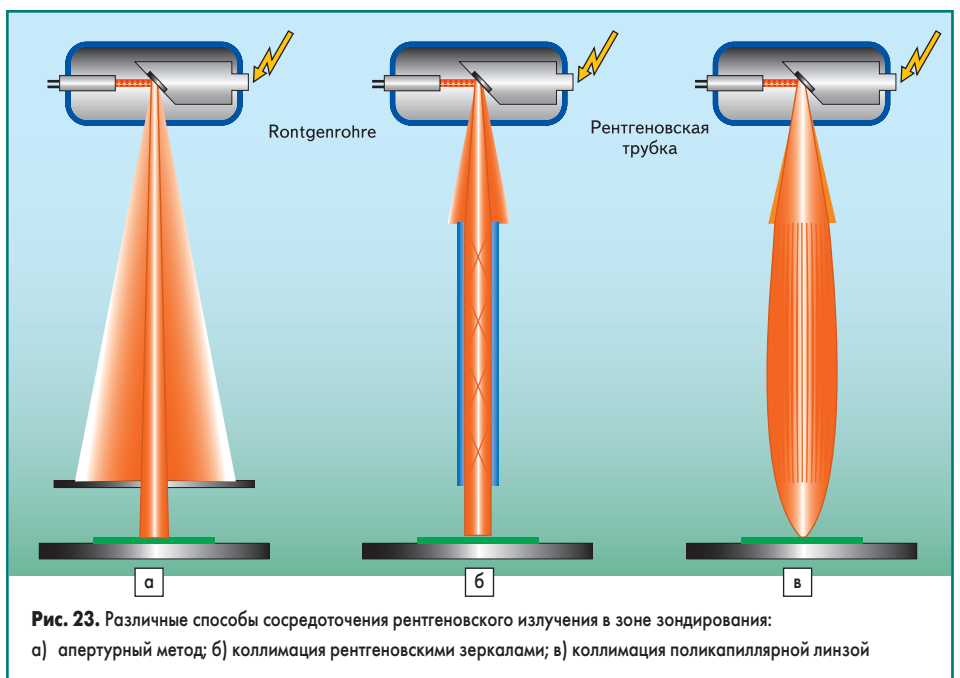


Рис. 23. Различные способы сосредоточения рентгеновского излучения в зоне зондирования: а) апертурный метод; б) коллимация рентгеновскими зеркалами; в) коллимация поликапиллярной линзой

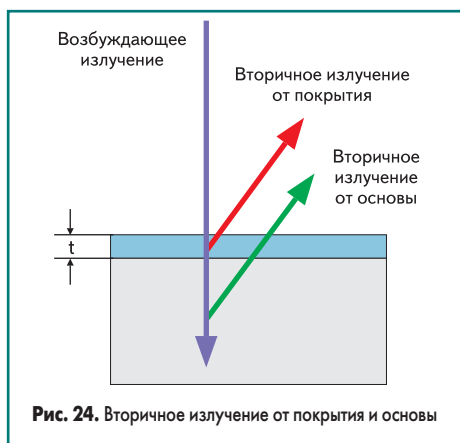
прибора. Средства коллимации (рис. 23б, в) позволяют сконцентрировать лучевую энергию в ограниченной зоне и, значит, увеличить энергию вторичного излучения или уменьшить мощность рентгеновского излучения. Поликапиллярная линза (рис. 23в) фокусирует исходящее из рентгеновского источника излучение так, что за счет ее использования формируется луч высокой плотности мощности, покрывающий очень малую область зондируемой поверхности, исчисляемой микронами.

Различия в толщинах покрытий и содержания компонентов в сплавах можно регистрировать, измеряя и сопоставляя интенсивность спектральных линий характеристического излучения соответствующих элементов покрытий и композиций. Используя координатный стол, можно растривать поверхность образца и получать информацию о распределении того или другого элемента или распределение толщины покрытия зондируемого образца.

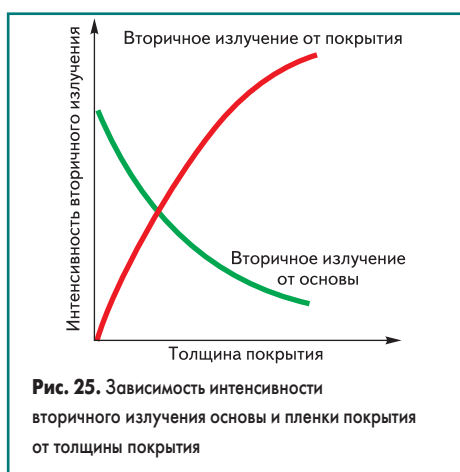
Наиболее просто определяется толщина покрытия основы (рис. 24) за счет измерения разницы интенсивности их вторичного излучения. Чем толще пленка покрытия, тем более интенсивно ее вторичное излучение и тем более она экранирует излучение основы (рис. 25).

Приборы флуоресцентного анализа, снабженные компьютерной обработкой спектров вторичного излучения, позволяют измерять толщины многослойных покрытий (рис. 26): двуслойных (рис. 26а), трехслойных (рис. 26б) и сплавов (рис. 26в).

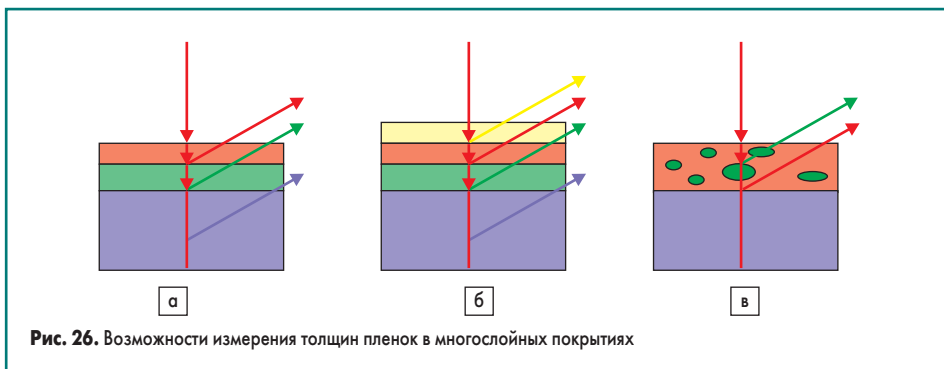
Для примера можно привести результаты измерений двуслойного (табл. 4) и трехслойного покрытий (табл. 5).



**Рис. 24.** Вторичное излучение от покрытия и основы



**Рис. 25.** Зависимость интенсивности вторичного излучения основы и пленки покрытия от толщины покрытия



**Рис. 26.** Возможности измерения толщин пленок в многослойных покрытиях

**Таблица 4.** Результаты измерения толщин пленок в двуслойном покрытии

Характеристика	Au	NiP
Толщина слоя, мкм	0,62	1,51
Погрешность измерения, мкм	0,005	0,07

**Таблица 5.** Результаты измерения толщин пленок в трехслойном покрытии

Параметры	Au	Ni	Cu
Толщина слоя, мкм	0,48	12	13
Погрешность, мкм	0,01	1	3

Поставляемые приборы рентгеновского флуоресцентного анализа отличаются:

- размером формируемого на образце пятна;
- форматом плат, размещаемых для анализа;
- набором стандартных образцов для калибровки анализатора;
- способом коллимации рентгеновского луча.

Для примера уместно привести характеристики одного из рентгеновских флуоресцентных микроскопов SFT9350 японской фирмы СИ.

Усовершенствованный рентгеновский микроскоп осуществляет высокоточное измерение благодаря улучшенным характеристикам флуоресцентного рентгеновского излучения 75 Вт рентгеновской трубки в сочетании с очень маленькими прицельными коллиматорами.

В результате микроскопы серии SFT9300 могут измерять микроучастки и тонкие пленки, такие как выводы микросхем, разъемы и ПП, которые тяжело измерять традиционными средствами вследствие недостаточной интенсивности флуоресцентного рентгеновского излучения самих измеряемых образцов.

**SFT9350**

Оснащение измерительной головки:

- камера для крупных образцов;
- рентгеновская трубка с Мо-мишенью с воздушным охлаждением;
- высоковольтный источник питания 50 кВ, 1,5 мА;
- первичный фильтр: автопереключение Мо;
- вторичный фильтр: переключение Со;
- детектор: пропорциональный счетчик;
- программируемый координатный стол высокой точности с платформой 420×330 мм с перемещением по X-Y-Z 400×300×50 мм;
- цветная ПЗС-камера для позиционирования образцов;
- увеличение ×1, ×2 или ×6;
- лазерная указка для функции фокусирования;

- функция переключения фокусного расстояния: 10/40/70 мм;

- защита от повреждения чувствительных частей системы.

Режимы измерения:

- точечное (по одной точке) измерение;
- непрерывное измерение любого многоточечного положения;
- функция поиска центра: настройка 8 направлений (по вертикали, горизонтали, диагонали);
- функция обработки изображений: позиционирование при непрерывном измерении, коррекция и выполнение после обработки изображения (включает положение фокальной точки и координаты по Z).

Функции качественного анализа (объемного):

- спектральное измерение;
- функция идентификации маркерного элемента KL;
- дисплей сравнения (наложение и разделение);
- функция сохранения спектра и изображения образца.

Метод измерения фундаментальных параметров тонких пленок:

- максимум 5 слоев;
- максимум 10 элементов (от титана (Ti) до висмута (Bi)).

Объемный анализ (метод калибровочных кривых):

- RoHS- и ELV-анализ для измерения опасных веществ;
- композиционный анализ до 14 элементов (от титана (Ti) до висмута (Bi)) в образце;
- анализ электролитических растворов (только ионы металлов).

Анализ пленок (метод калибровочных кривых):

- измерения тонких пленок: одиночной, двойной и из сплавов.
- Опции программного обеспечения:
- сопоставление спектра;
- функция составления спектра;
- обработка изображений.
- Коллиматор 93S:
- 0,053; 0,13; 0,23 мм (круглый);
- 0,2×0,025; 0,025×0,2 мм (прямоугольный).
- Оснащение рентгеновской станции:
- настольный ПК Dell;
- операционная система Windows XP;
- ПО MS Office (Word и Excel);
- ЖК-монитор с плоским экраном;
- клавиатура, мышь;
- цветной принтер.

### Заключение по флуоресцентному методу анализа

Основными преимуществами рентгеноспектрального флуоресцентного метода, используемыми в производстве электроники, являются:

- возможность определения почти всех химических элементов, за исключением наиболее легких, на одном приборе в широком диапазоне концентраций, начиная от  $10^{-4}$ – $10^{-3}$ % до 100%;
- простота подготовки образцов плат к анализу, в частности, для некоторых приборов возможно обойтись вообще без подготовки проб;
- высокая точность анализа, ограничиваемая лишь представительностью стандартных проб и надежностью данных о составе стандартных образцов, используемых для градуировки;
- высокая производительность метода: время, необходимое для выполнения анализа — в зависимости от типа прибора, количества определяемых элементов и требований к точности анализа, измеряется минутами или даже секундами.

### Общее заключение

Арсенал средств разрушающего и неразрушающего тестирования печатных плат постоянно расширяется. Но к оптическим методам распознавания прибегают всегда, когда хотят

увидеть и идентифицировать обнаруженный дефект даже при использовании АОИ.

Более глубокое проникновение в сущность процессов позволяет осуществить металлографический анализ. Производство МПП, тем более гибких и гибко-жестких печатных плат, не может обойтись без этого вида анализа.

Качественный и количественный анализ печатных плат позволяют выполнить рентгенофлуоресцентные средства. Этот метод открывает технологу глаза на главные параметры печатных плат: толщину и состав покрытий.

Полный набор средств контроля и тестирования печатных плат — мощное средство получения достоверной информации о состоянии производства, позволяющей оперативно управлять качеством продукции в сочетании с увеличением выхода годных. ■

### Литература

1. Медведев А., Люлина В., Мылов Г., Набатов Ю., Семенов П., Сержантов А. Производство гибких и гибко-жестких печатных плат. Часть 1. Производство гибких плат без металлизированных отверстий // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 3.
2. Медведев А., Люлина В., Мылов Г., Набатов Ю., Семенов П., Сержантов А., Шкундина С. Производство гибких и гибко-жестких печатных плат. Часть 2. Производство гибких плат с металлизированными отверстиями // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 4.
3. Медведев А., Люлина В., Мылов Г., Набатов Ю., Семенов П., Сержантов А. Производство гибких и гибко-жестких печатных плат. Часть 3. Нанесение покровного слоя // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 5.
4. Медведев А., Люлина В., Мылов Г., Набатов Ю., Семенов П., Сержантов А. Производство гибких и гибко-жестких печатных плат. Часть 4. Изготовление гибких и гибко-жестких многослойных печатных плат // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 6, 7.
5. Медведев А., Мылов Г., Люлина В., Набатов Ю., Семенов П., Сержантов А., Шкундина С. Производство гибких и гибко-жестких печатных плат. Часть 5. Специальные виды обработки // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 8.
6. Технологии в производстве электроники. Часть III. Гибкие печатные платы / Под общ. ред. А. М. Медведева и Г. В. Мылова. М.: Группа ИДТ, 2008.
7. Ноймайер П. Совмещение измерения толщины покрытий и анализа состава материалов // Электроника, НТБ. 2002. № 2.
8. Грибков М., Медведев А., Мылов Г., Сержантов А. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ в производстве электроники // Производство электроники. 2007. № 6.