



# Контроль печатных плат по признакам внешнего вида

**Основную информацию о состоянии объекта контроля человек получает непосредственно зрительным осмотром 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 зрительно убедиться во внешних проявлениях дефектов.**

**Аркадий Медведев,**  
профессор МАИ

medvedevam@bk.ru

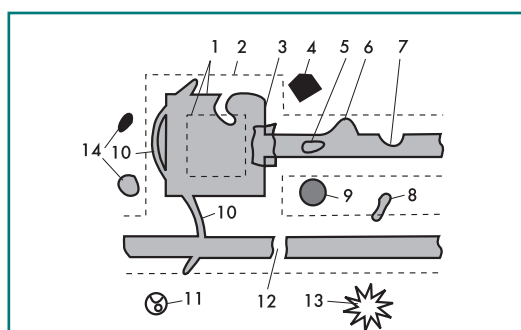
**Критерии контроля по признакам внешнего вида**

## 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, показанных на рис. 1.

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 единиц оптической плотности, непрозрачных — не менее 4,5 единиц оптической плотности.



**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

## Трафаретная печать

Трафаретную печать широко используют в массовом производстве простых печатных плат, не требующих высокой степени разрешения. Она выгодна лишь при тиражах плат более 100 шт. В случаях, когда партия имеет меньший объем, стоимость изготовления сетчатого трафарета окажется настолько высокой, что целесообразнее использовать способ фотолитографии на фоторезистах.

Качество трафаретной печати характеризуется разрешающей способностью, точностью и тиражестойкостью. Разрешающую способность печати оценивают по минимально воспроизводимой ширине штрихов и зазоров между ними в оттиске. Точность в данном случае оценивается позиционными погрешностями элементов оттиска. Тиражестойкость определяется числом оттисков, которые можно сделать с помощью трафарета до падения точности вдвое.

Обеспечение этих критериев качества во многом зависит от свойств трафаретной краски или эмали. Особые требования предъявляются к вязкости и тиксотропности красок. Менее вязкие краски образуют размазанные и тонкие изображения, у них выше тенденция к образованию проколов, чем у более вязких красок. Тиксотропность красок, то есть свойство фиксировать край «толстого» слоя без растекания, очень важна для получения высокого разрешения.

Позиционная точность оттиска в значительной степени зависит от пружинящих свойств сетки, натянутой на рамку и находящейся в напряженно деформированном состоянии.

Типичные дефекты, характерные для процесса трафаретной печати, и их возможные причины:

- смазанные контуры (нерезкость края) и неровность краев элементов изображения являются следствием применения слишком жидкой краски;
- плохое разрешение, слабый и размазанный оттиск при высокой вязкости говорят о слабой тиксотропности краски (или эмали);
- многочисленные поры и проколы в краске возникают либо при сильном разбавлении отверждающейся краски растворителями, либо из-за

забивания пылью или высохшей краской открытых ячеек сетчатого трафарета;

- неравномерное распределение краски по подложке возникает по причине завышения расстояния между платой и трафаретом, недостаточного давления ракеля, перекоса ракеля, неровности и неоднородной жесткости ракеля, неравномерности напряжения сетки, неоднородной вязкости краски;
- неудовлетворительная печать после серии хороших оттисков чаще всего является результатом засыхания краски на трафарете;
- волосовидные линии в оттиске краски возникают из-за оседания пыли и инородных частиц из воздуха, которые работают как трафаретный экран;
- волосовидные линии на чистых полях рисунка появляются в результате царапания трафаретной пленки посторонними твердыми частицами из воздуха или с поверхности (чаще с торцов) заготовок;
- несовмещение элементов заготовки (например отверстий) с элементами отиска может являться следствием потери упругих свойств сетки из-за износа трафарета, повышенной вязкости краски возникают большие усилия деформации сетки неравномерного натяжения сетки, поверхностного коробления заготовки, когда ее трудно удержать на фиксирующих штырях, из-за ослабления вакуумного присоса.

Процесс трафаретной печати особенно восприимчив к чистоте производственных помещений. Поэтому на участки трафаретной печати, так же, как на участки фотолитографии, распространяются особые требования: стабильность температуры —  $21 \pm 1$  °C, влажности —  $50 \pm 5\%$ , класс чистоты (обеспыливания) — 10 000, персонал должен быть обеспечен безворсовой одеждой.

#### Фотолитография

Фотолитография — фотографический процесс на фоторезистах, отличающийся высокой разрешающей способностью. Цель фотолитографии — создать из фоторезиста защитное рельефное покрытие заданной конфигурации для доступа технологических растворов к обрабатываемому основанию. Для образования рельефа используют свойство фоторезиста терять при освещении в результате фотополимеризации (негативный фоторезист) или приобретать в результате фотолиза (позитивный фоторезист) способность к растворению.

Позитивные фоторезисты обладают более высокой разрешающей способностью в силу известных особенностей дифракции и отражения на границе между подложкой и фоторезистом, а также процессов проявления.

Повсеместное применение негативных фоторезистов в производстве печатных плат обусловлено их лучшей стойкостью к воздействию агрессивных сред в процессах формирования токопроводящего рисунка.

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 качество 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.

Вторая группа дефектов связана 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 геометрической 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 направлении корректировки параметров процесса фотолитографии. Тест-элемент размещается на технологическом поле каждого фотошаблона, чтобы иметь возможность контролировать каждую плату или слой МПП.

Третья группа дефектов связана с недостатками фотошаблонов, показанными на рис. 1, загрязненностью 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 негативных фоторезистах, 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 гальванопокрытие наращиваются не выше фоторельефа, геометрия печатных элементов воспроизводится особенно точно. При использовании в этом процессе диэлектриков с ультратонкой (5–10 мкм) фольгой удается достичь точности воспроизведения токопроводящего рисунка  $\pm 5$ –10 мкм.

Металлизация рисунка по трафаретной печати приводит к заземлению краев краски

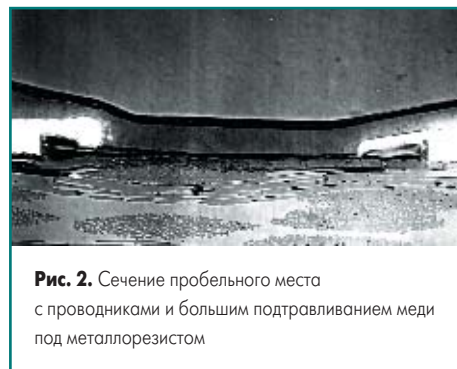


Рис. 2. Сечение пробного места с проводниками и большим подтравливанием меди под металлорезистом

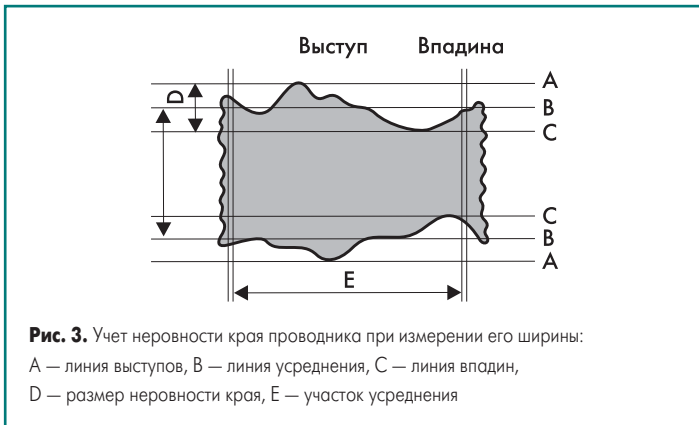
разрастающимся в стороны гальванопокрытием и к искажению токопроводящего рисунка. При удалении заземленного резиста образуются пазухи, в которых могут сосредотачиваться всевозможные загрязнения. Процесс травления расширяет эти пазухи за счет подтравливания меди под фоторезистом и создает источник первых накоплений загрязнений. Степень искажения печатных элементов на операции травления оценивается через отношение толщины вытравленного слоя к глубине подтравливания — коэффициентом подтравливания. Однако только по микрошлифам при металлографическом анализе качества платы можно увидеть профиль проводников и измерить коэффициент подтравливания. Поэтому этот параметр качества используется в основном при отработке процесса травления и анализе отказов.

Для оперативного контроля качества травления используют тест-элементы травления, которые позволяют без измерений геометрии проводников оценить состояние процесса травления (рис. 4). При глубоком подтравливании на краях проводников нависают края металлорезиста (рис. 2), которые могут обламываться, образуя многочисленные тонкие заусенцы, способные вызвать короткие замыкания. Заусенцы имеют толщину всего 10–15 мкм, их трудно обнаружить невооруженным глазом. Возможность коротких замыканий из-за заусенцев проверяется наклеиванием и быстрым сдириванием липкой ленты с вытравленного рисунка. Оторвавшиеся заусенцы обнаруживают себя в виде приклеившихся металлических частичек.

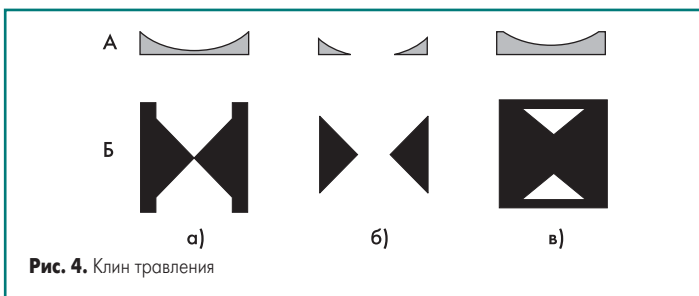
При оплавлении металлорезиста за счет поверхностного натяжения расплавленного припоя медные торцы проводников облучиваются, выравнивая боковой профиль и закрывая пазухи. Однако слишком большое подтравливание уменьшает возможности затекания расплавленного припоя на боковые торцы проводников, что может помешать сглаживанию рельефа проводника.

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.

Размеры печатных проводников, используемых в качестве полосковых линий связи, должны укладываться в определенные допуски, так как изменение ширины печатного про-



**Рис. 3.** Учет неровности края проводника при измерении его ширины:  
 А — линия выступов, В — линия усреднения, С — линия впадин,  
 D — размер неровности края, E — участок усреднения



**Рис. 4.** Клин травления

водника приводит к изменению волнового сопротивления линии в точке неоднородности. Однако если по длине линии имеются чередующиеся изменения ширины, находящиеся друг от друга на длине, достаточно малой по сравнению с критической длиной, такая линия может рассматриваться как однородная, с волновым сопротивлением, соответствующим средней ширине. Длину линии считают критической, если задержка в ней равна половине нарастания импульса сигнала. Если иметь в виду, что, например, время распространения сигнала по печатному проводнику МПП составляет около 7 нс/м, а время нарастания импульса сигнала принять равным 0,1 нс, длина критической линии приблизительно равна 15 мм. Это значит, что усреднение ширины проводника можно осуществлять на длинах, равных или менее 15 мм.

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, как показано на рис. 3. 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.

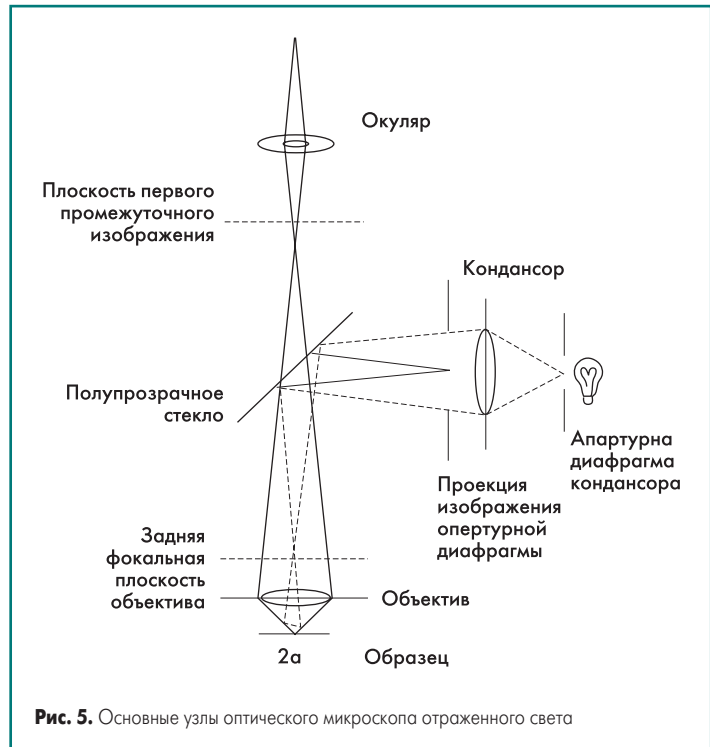
В соответствии с ГОСТ 23752, проводящий рисунок должен быть четким, без вздутий, отслоений, разрывов, темных пятен и окислов. Не допускаются неровности по краям проводящего рисунка (выступы и впадины), уменьшающие минимально допустимые размеры и расстояния между элементами проводящего рисунка, указанные в чертеже;

точечные протравы, уменьшающие минимально допустимую по чертежу ширину печатного проводника в месте протравы; 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».

#### Оптическое тестирование

Контроль печатных плат по признакам внешнего вида является главенствующим 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 в ценообразовании печатных плат, 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, тем больше вероятность пропуска дефектов. И несмотря на то, что



**Рис. 5.** Основные узлы оптического микроскопа отраженного света

большая часть ошибок 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, ведь 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. 5. 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 — стабильный и мощный источник 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. Однако, при этом 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 положение осветительной системы с лампой можно установить так, 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 микро-

скопа. Этого обычно достигают, помещая образец на слой пластилина и вдавливая его в пластилин специальным прессом (рис. 6).

#### Выбор объектива

Основными характеристиками объектива являются числовая апертура и увеличение, которое 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 покровное 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. 7).

#### Формирование и регистрация изображения

Увеличение объектива не очень высоко, и поэтому необходимо дальнейшее увеличение построенного им изображения. Для этого 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 CCD-камерами, позволяющих создавать цифровое изображение. При этом отпадает необходимость в дополнительных линзах. В настоящее время

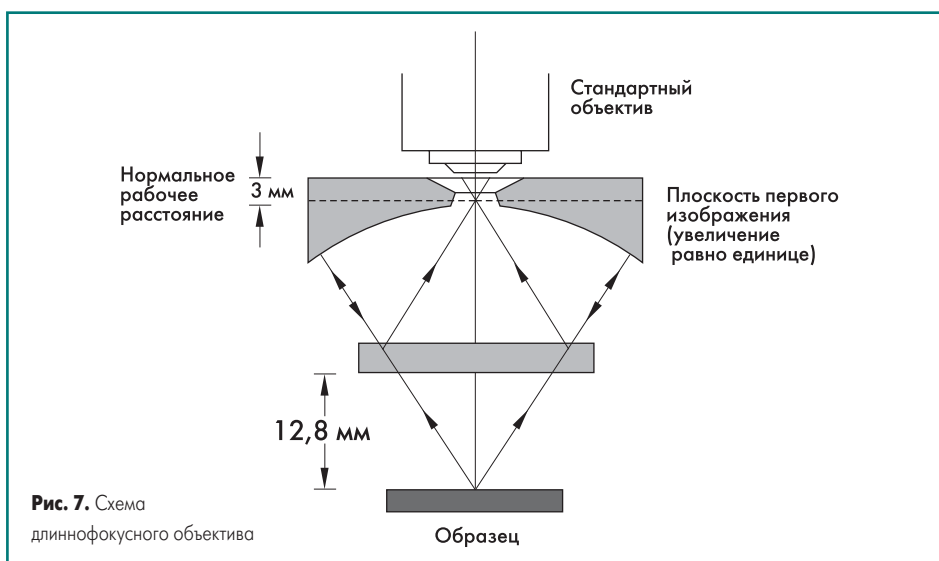
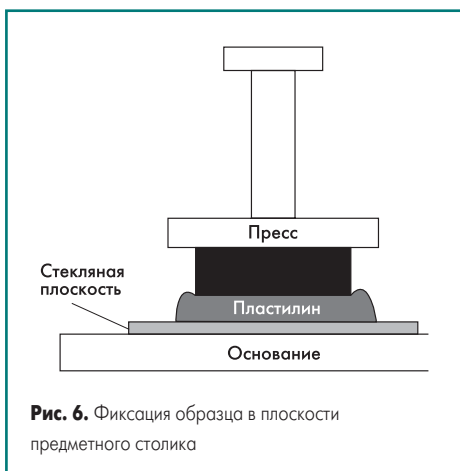
этот способ формирования изображения продолжает интенсивно развиваться.

#### Монокулярное и бинокулярное наблюдение

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

Во многих микроскопах имеется дополнительная промежуточная линза (например 4×), позволяющая с помощью маломощного (3× или 5×) окуляра разрешить все детали изображения. Однако даже без промежуточной линзы не всегда нужно использовать окуляр с увеличением 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 создать некоторые проблемы. Обычно фокусное расстояние левого и правого глаз различается, поэтому необходима независимая фокусировка окуляров. Эту процедуру осуществляют фокусировкой первого окуляра на плоскость образца. После 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 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 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 измерит или пристрастно оценивает каждый элемент. Он просто зрительно узнает дефект, исходя из своего опыта.

При компьютерной обработке 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. Система получает изображение проверяемой печатной платы и сравнивает его с панелью эталонов, хранящейся в памяти АОИ. В качестве эталона могут быть использованы данные САД, фотошаблоны, а также эталонная печатная плата. Различные алгоритмы поиска дефектов анализируют несоответствия между проверяемой и эталонной панелями и принимают решение, являются ли данные различия дефектом или нет. Весь процесс принятия решений базируется на предпочтениях и установках пользователя.

Ниже представлен схематический принцип работы систем АОИ (рис. 8).

**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** — 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 ос-

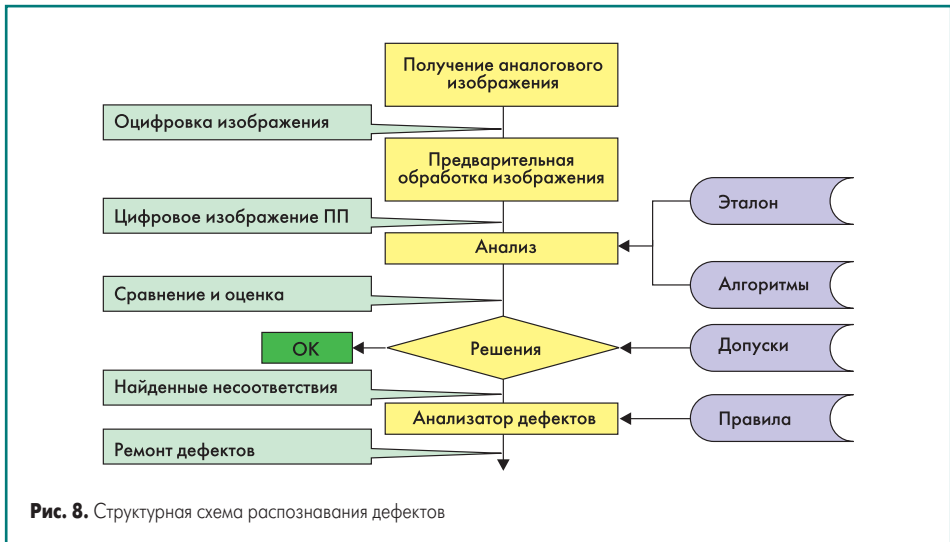


Рис. 8. Структурная схема распознавания дефектов

нове правил, определяемых пользователем, и передает данные для дальнейшей верификации и 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 на середине между пиками. Например, для темных объектов фотошаблона, находящихся на светлом фоне, нужно выделять темный пик, а для светлых на темном фоне — белый пик.

Выделение объектов по цвету, как правило, является более сложной задачей, так как используются различные цветовые модели, внутри которых надо выделить область цве-

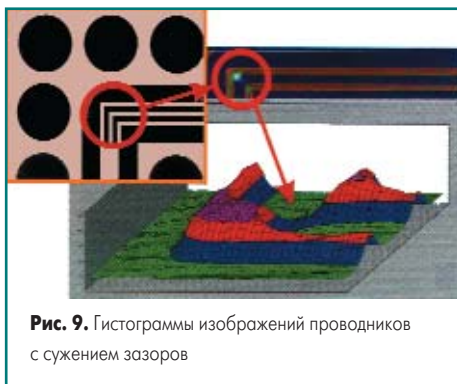


Рис. 9. Гистограммы изображений проводников с сужением зазоров

тового пространства, соответствующую объектам. Для каждой цветовой составляющей выделяется свой интервал яркости, а объединение интервалов определяет заданную область цветного пространства.

Выделение по цвету или яркости прекрасно работает для многих конструкций печатных плат (рис. 9). 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. 10, 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 эталонном 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. 10

Таблица. Сопоставительные характеристики методов тестирования

Электрическое матричное тестирование	Электрический тестер с «летающими щупами»	Автоматическое оптическое тестирование
Основные достоинства	Надежные результаты тестирования плат как электрического изделия;	Возможность тестирования фотошаблонов; высокая производительность процесса; отсутствие дополнительных затрат на адаптер;
Надежные результаты тестирования плат как электрического изделия; возможность тестирования любого типа плат; высокая производительность больших партий ограниченной номенклатуры	возможность тестирования любого типа плат; преимущества при тестировании ограниченных объемов плат широкой номенклатуры	быстрое определение местоположения дефектов
Основные недостатки	Отсутствие возможности тестирования фотошаблонов; высокая стоимость адаптера; сложность определения точного местоположения дефектов	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 его приобретение и правильная расстановка по операциям нуждается в серьезном обосновании. Каждый из видов тестирования: электрическое и оптическое — настолько своеобразны, что по большей части не конкурируют, а дополняют друг друга.

**Оптический метод**

Современный метод автоматического оптического тестирования 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).



Рис. 11. Фотошаблон с дефектом



Рис. 12. Печатная плата с дефектами

проверке небольших партий плат с широкой номенклатурой.

В таблице приведены сопоставительные характеристики методов тестирования печатных плат.

**Примеры распознавания дефектов оптическим тестером**

Для иллюстрации работы оптических тестеров рассмотрим несколько примеров распознавания дефектов.

На рис. 11 показано черно-белое изображение фотошаблона. Обнаружена перемычка, которая после воспроизведения приведет к короткому замыканию. Ее размер составит лишь несколько микрон.

На рис. 12 показано изображение печатной платы, на котором воспроизведены дефекты фотошаблона, показанные на рис. 11. Видно, что дефект хорошо различим.

На рис. 13 показан рисунок слоя питания. Оператору будет сложно определить, правильно ли соединены контактные площадки с основанием и правильно ли проложены проводники.

Здесь показаны дефекты, которые также хорошо были бы обнаружены при электрическом тестировании. Но сейчас они могут быть легко устранены и, если бы они не были обнаружены и устранены сейчас, большую партию плат пришлось забраковать.

Если принять во внимание, что такие дефекты распознаются под микроскопом с большим увеличением и с очень низкой производительностью, можно обосновать необходимость использования АОI. Мало того, как показывает практический опыт, при серьезной загрузке операторов на операциях контроля и ретуши, они пропускают до 12% дефектов. На этом основании можно подсчитать рентабельность использования автоматического оптического тестера. Можно добавить, что в производстве печатных плат на китайских фабриках, где трудозатраты в два раза меньше, чем в России, автоматические оптические тестеры активно используются именно для того, чтобы избежать пропусков дефектов.

Какой бы дефект, каким бы методом не был обнаружен, только по признакам внешнего вида его можно окончательно распознать и диагностировать его влияние на качество.



Рис. 13. Слой питания с трудноидентифицируемым дефектом