



БЫСТРОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

КАК С ЭТИМ СПРАВЛЯЮТСЯ СРЕДСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ИНСПЕКЦИИ?

В.Майская

Идеи, процессы производства, материалы и компоненты, которые еще несколько лет считались научным вымыслом, сегодня реализуются в находящих широкое применение печатных платах. Габариты приборов уменьшаются, их функциональная сложность увеличивается, повышается и плотность размещения компонентов на печатной плате. Растет популярность матричных корпусов. В ближайшем будущем можно ожидать и увеличения плотности межсоединений. Печать струей припоя и холодная посадка компонентов активно соперничают с традиционными технологиями пайки. Производители выпускают изделия все меньшими партиями, иногда в партию входит одно изделие! Какие при этом возникают проблемы автоматической оптической инспекции (АОИ), которая формировалась в мире технологий, которые вскоре могут исчезнуть? Каковы достоинства и недостатки АОИ с точки зрения новых материалов и технологических процессов, используемых в промышленности печатных плат? Существуют ли альтернативные технологии инспекции, которые смогут конкурировать или даже заменить АОИ?

ЧТО ПРОИСХОДИЛО С ПЕЧАТНЫМИ ПЛАТАМИ В ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТЬ ЛЕТ?

За прошедшие два десятилетия произошел ряд существенных изменений печатных плат.

Сокращение числа компонентов, устанавливаемых в отверстия, за счет увеличения числа компонентов, монтируемых на поверхность. Это привело к упразднению алгоритмов и режимов освещения, используемых в системах АОИ, предназначенных для проверки монтажа в отверстия.

Уменьшение габаритов компонентов вызвано требованием снижения энергопотребления, которое теперь составляет 1/32 Вт при размере компонента 01005. В результате возросшей функциональной сложности полупроводниковых приборов увеличилось число выводов компонентов при уменьшении их шага. Эти факторы и, соответственно, увеличение плотности размещения элементов на плате, привели к изменению модулей формирования и обработки изображения систем АОИ. Так, для увеличения разрешающей способности системы сейчас используются камеры с разрешением 4 Мпиксела (вместо 1 Мпиксела). Увеличивается и число камер системы. Разработаны алгоритмы, учитывающие тенденции к увеличению разрешения и уменьшению размеров элементов изображения. Для ускорения процесса инспекции элементы на плате проверяются с «казачьим» разрешением. Поскольку высокое разрешение требуется лишь при инспекции самых малогабаритных элементов или элементов, установленных с малым зазором, возможно применение систем

с двумя камерами, с низким и высоким разрешениями или специальных программных средств.

Даже при работе с самым совершенным оборудованием инспекции с уменьшением габаритов элементов и плотности монтажа печатных плат остается проблема выбора этапа проверки. Большинство систем АОИ предназначены для проверки плат после оплавления. Однако при сборке современных печатных плат важной проблемой становится контроль точности нанесения пасты и установки компонента, поскольку ремонт плат с высокой плотностью монтажа и малогабаритными компонентами затруднен. Вот почему все важнее становится инспекция платы на ранних этапах обработки. При этом ряд изготовителей с целью предотвращения новых неисправностей измеряют положение обнаруженного дефекта. Измеренные данные передаются машине установки компонентов.

Установка компонентов под нестандартными углами обусловлено увеличением функциональной сложности компонентов и отказом от монтажа в отверстия. Отношение числа «простых» компонентов к числу «более сложных» устройств уменьшилось с 40:60 в 1990 годы до 20:80 сейчас. При этом теперь на печатной плате могут располагаться несколько тысяч элементов сложной геометрии. Современные системы АОИ благодаря совершенствованию их архитектуры и блока обработки изображения способны исследовать сложные компоненты под различными углами, а не только под стандартными (0, 90, 180 и 270°). Блок обработки изображения большинства современных систем



АОИ располагает так называемым «средством обработки необычной формы», позволяющим проверять компоненты сложной формы.

Применение бессвинцовых припоев, таких как сплав Sn/Ag/Cu, олово, серебро или медь с приемлемой для инспекции поверхностью, но недостаточно высокой отражательной способностью потребовало настройки интенсивности излучения или длительности экспозиции, а также алгоритмов обработки. Большинство изготовителей отмечают трудность ремонта печатных плат с бессвинцовыми припоями с высокими температурами пайки, поэтому возможна проверка до операции пайки после нанесения пасты и установки компонента.

Рост популярности матричных корпусов, в первую очередь корпусов с матричным расположением шариковых выводов (BGA), отличающихся относительно малыми размерами и малой теплоотводящей поверхностью. К тому же корпуса этого типа весьма чувствительны к внешнему воздействию, что существенно затрудняет ремонт печатной платы. Замена компонентов в подобных корпусах весьма дорогостоящая операция. Компоненты в корпусах BGA-типа могут проверяться двумя взаимно исключаящими методами – рентгенодефектоскопии и оптическим. Рентгенодефектоскопия позволяет получать изображения скрытых областей, т.е. проверять присутствие трещин, пустот и других невидимых дефектов паяных соединений. Этот метод достаточно медленный и дорогостоящий, поэтому используется только для проверки матричных корпусов, выводы и контактные площадки которых обычно скрыты, или лишь прототипов для определения правильности процесса, т.е. лишь для индикации каких-то отклонений процесса.

Системы АОИ с усовершенствованными блоками формирования и обработки изображения используются для проверки платы до проведения процесса пайки и внесения поправок при неправильном нанесении пасты или установки компонента.

Рост необходимости установки электрических экранов до пайки обусловлен требованиями мобильных телефонов и других устройств, работающих на радиочастотах. Это приводит к тому, что многие компоненты не могут быть проверены после оплавления, поскольку скрыты экранами. Затрудняется и ремонт экранированных плат. Следовательно, АОИ должно проводиться до установки экрана.

Уменьшение размеров партий обрабатываемых плат связано с непрерывным появлением новых вариантов плат, поскольку расширяется применение их заказных вариантов. Уменьшение размера обрабатываемой партии приводит к необходимости обнаружения дефектов до появления большого числа вариантов плат. Изготовители малых партий с большим числом вариантов плат отдают предпочтение АОИ до оплавления, с тем чтобы сразу находить дефекты при их возникновении. А точное вычисление местоположения дефекта позво-

ляет сократить время отладки процесса на 50% и обеспечивает его контроль с целью сокращения числа будущих дефектов.

Итак, мы рассмотрели основные изменения, происшедшие с печатными платами и АОИ системами за последние десять лет. Что же их ждет впереди?

БУДУЩИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

В будущем можно ожидать изменения четырех основных составляющих технологии печатных плат.

Корпуса компонентов непрерывно совершенствуются с высокой скоростью (по экспоненте). В результате необходимо постоянно адаптировать или совершенствовать как сами системы, так и методы применения АОИ. Пример нового типа компонента – компонент с составной конфигурацией, или конфигураций «корпус поверх корпуса» (Package-on-Package, PoP). Появление компонентов этого типа вызвано необходимостью уменьшения занимаемой площади и толщины плат, используемых в малогабаритных устройствах. Компонент PoP-типа может содержать процессор, поверх которого непосредственно установлена схема памяти. При сборке PoP-компонента сначала нижний корпус устанавливается на стандартный слой пасты с последующей установкой поверх него верхнего корпуса, который предварительно погружается во флюс. Пайка элементов в составном корпусе проводится одновременно. Основные проблемы при использовании PoP-компонентов – точность нанесения пасты, погружения во флюс и установки компонентов, обеспечение требуемого профиля волны и выполнение ремонта. К системам АОИ, используемым для проверки качества плат с такими компонентами, предъявляются следующие требования:

- выполнение АОИ до пайки волной для проверки точности нанесения пасты и установки нижнего корпуса;
- проверка на следующем этапе присутствия флюса и расположения верхнего корпуса относительно нижнего;
- инспекция после пайки всех видимых соединений, при этом проверка одного слоя относительно другого потребует существенных изменений режимов работы оборудования АОИ.

Сейчас выполняется полный контроль и оценка размещения PoP-компонентов относительно платы или координатных меток платы. Кроме того, большинство систем АОИ должны оценивать положение компонента относительно установки на плату или контактных площадок. Но современные системы АОИ должны проверять установку компонентов относительно низлежащих компонентов. Это требует изменения инфраструктуры программных средств и алгоритмов обработки изображения, а заказчики должны проводить двойную операцию инспекции до проведения пайки. Кроме того, поскольку стоимость таких набор-



ных PoP-компонентов вдвое или втрое выше стоимости компонента в стандартном корпусе, этапы контроля точности нанесения пасты/флюса до оплавления становятся весьма критичными, с тем чтобы исключить отбраковку платы после дальнейшей обработки.

Еще один пример компонента нового типа — компонент в корпусе, сопоставимым с размером кристалла (Wafer Level Chip Scale Package, WL-CSP), или в корпусе в масштабе кристалла, создаваемом на уровне пластины (Wafer Level Package, WLP). Размер компонента в таком корпусе мал, как правило, 1,5×1 мм. Корпус этого типа, контактные площадки которого находятся непосредственно на кремниевом кристалле, присоединяется к плате с помощью проводящего связующего вещества. Основная проблема при монтаже корпуса типа WL-CSP — невозможность выполнения ремонта после крепления его на плате. Поэтому основная трудность инспекции компонентов этого типа связана с проверкой точности нанесения связующего материала и установки компонента. А поскольку формируемое системой АОИ изображение связующего материала отличается от вида нанесенной на плату пасты, необходимы оптические системы, способные различать нанесенный на плату адгезив.

Третий вид новых типов компонентов — встроенные пассивные элементы, позволяющие уменьшить размер схемы (более чем на 50%) и увеличить плотность размещения ее элементов. Проверка таких компонентов предусматривает определение правильности размера компонента и его положения. Это может потребовать изменения алгоритмов обработки изображения оборудования АОИ. Правда, поскольку этот вид проверки схож с проверкой «пустой» платы, возможно и применение алгоритмов, используемых в последней.

Изменения материалов печатных плат происходят наряду с изменениями компонентов. Большинство систем АОИ предназначены для проверки плат на основе FR4. Однако сейчас появляются платы, выполненные по новым технологиям. Первый тип таких плат — многослойные платы с высокой плотностью межсоединений (High Density Interconnect, HDI), в которых малогабаритные компоненты соединяются друг с другом с помощью обычных методов полупроводниковой технологии, а WLP-компоненты с составной конфигурацией соединяются по боковым поверхностям. В результате HDI-технология преобразовала «большие» двухмерные платы в компактные трехмерные. Эта технология позволяет формировать проводники и зазоры между ними шириной до 50 мкм и толщиной менее 100 мкм, а также отверстия диаметром 0,15 мм с контактными площадками меньше 0,4 мм, что в результате дает плотность размещения элементов более 20 на 1 см².

Инспекция обычных элементов печатных плат на HDI-платах затруднена из-за большого числа элементов на поверхности плат, приводящих к ложным ответам. Из-за большого числа линий и отверстий HDI-

платы в сравнении с обычной двухмерной платой уменьшается отношение сигнала (изображение элемент, паста, соединение) к шуму (изображение элементов-дистракторов). Чтобы не придавать значения таким отвлекающим внимание элементам, может потребоваться модификация блока обработки изображения некоторых систем АОИ.

Второй новый тип платы — плата, выполненная по технологии тонкопленочных гибких схем. Компоненты монтируются на такую плату с помощью проводящих связующих материалов, которые позволяют сократить потребность в традиционных соединителях и кабелях, а также создавать более интересные конструкции, панели переключения и соединения. Помимо указанного ранее отличия изображения связующего вещества от традиционно используемых припоев и флюсов, сами гибкие платы затрудняют формирование и обработку изображения, поскольку из-за их высокой отражательной способности возрастает частота ложных ответов. И вдобавок при сборке гибких плат они крепятся на жестких пластинах. В результате ухудшается плоскостность плат, что приводит к снижению отношения сигнал-шум. К тому же требования к инспекции гибких плат отличаются от требований, предъявляемых при проверке традиционных печатных плат. Потребители нуждаются в инспекции проводящих линий «чистой» платы для обнаружения таких дефектов, как дефекты типа «мышинных укусов» (в случае обнаружения такие дефекты можно исправить, добавив на контактную площадку проводящую пасту). Дополнительные операции инспекции чистых плат потребуют изменения модулей обработки изображения и генерации программы системы АОИ, предназначенной для контроля точности установки монтируемых на поверхность компонентов.

Таким образом, появление новых материалов печатных плат может потребовать изменения всех элементов системы АОИ. Новые материалы могут стать движущей силой, способствующей созданию нового класса систем АОИ. К тому же они будут стимулировать проведение в первую очередь инспекции до оплавления.

Методы присоединения компонентов вследствие появления новых типов корпусов и материалов печатных плат также потребовали изменения традиционных методов инспекции, основанных на отражательной способности используемых материалов. Форма, отражательная способность и непроницаемость по отношению к лазерному излучению новых материалов, используемых для присоединения компонентов, отличаются от традиционных паст. Это, очевидно, потребует изменения модулей формирования и обработки изображения. Правда, ремонт платы после присоединения компонента затрудняется. Вот почему инспекция до оплавления дает более релевантные результаты, чем инспекция после оплавления.



Наблюдается тенденция к применению методов бестрафаретной пайки, к достоинствам которых относятся гибкость процесса, меньшая стоимость, сокращение операций исправления и исключение отходов производства. Но при этом форма припоя зависит от метода его нанесения: с помощью пьезоэлектрического поршня, вращающегося насоса или приложения давления в течение определенного времени. Для улучшения характеристик паяных соединений могут потребоваться и изменения формы контактных площадок. Необходимы будут и изменения систем АОИ, рассчитанных на контроль нанесенных прямоугольных заготовок. Помимо всего ухудшится точность вычислений объемов элементов.

Обмен данными между всеми системами АОИ потребуется вследствие необходимости инспекции выполненных на новых материалах плат и компонентов новых типов на многих этапах производства печатной платы. К тому же ожидается, что по мере усложнения печатных плат и появления новых элементов и материалов исправлять дефекты после ремонта станет все труднее. Это значит, что платы должны быть исправлены сразу после изготовления. Для снижения числа неисправностей сборки необходимы непосредственная обратная связь по переменным данным, разработка и применение стандартных интерфейсов и блоков обмена данными. До последнего времени использовались разработанные третьей стороной или собственные анализаторы статистических данных. Сейчас такие организации, как IPC, Ассоциация предприятий электронной промышленности/Объединенный Инженерный совет по электронным приборам (EIA/JEDEC), Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) и консорциум RosettaNet разрабатывают для маршрутной карты iNEMI новые стандарты систем автоматизированного проектирования, описания компонентов и сборочных данных. Эти стандарты должны обеспечить обмен данными и улучшить процесс производства печатных плат.

Кооперация производителей и обмен информацией получают все большее распространение. В результате экономической нестабильности мировых рынков поставщики систем АОИ, которые ранее не были открыты для коммуникации, теперь агрессивно ищут контакты с конкурентами. Сокращение бизнеса и уменьшение доходов вынуждают конкурентов работать совместно с тем, чтобы исключить дублирование НИОКР. Кроме того, в результате потребности в различных типах систем инспекции, что обычно предполагает установку в производственной линии оборудования различных поставщиков, необходимо предусмотреть возможность коммуникации этого оборудования и обмена информацией. Поскольку лучшие системы АОИ сопоставимы с точки зрения выполнения операций контроля, конкуренция развертывается между лучшими средствами поддержки АОИ и программным обеспечением, а не лучшими технологиями.

Рассмотрение новых технологий печатных плат свидетельствует, что в будущем произойдет тесно связанное друг с другом совершенствование модулей формирования и обработки изображения или программных средств, а также архитектуры системы. Кроме того, произойдут существенные изменения в области применения АОИ и обмена данными в платформах инспекции. Возрастет и совместное применение рентгеновского анализа и АОИ новых подложек печатных плат, корпусов и связующих материалов, особенно при необходимости проверки скрытых соединений. Правильно разработанная архитектура системы АОИ позволяет «встраивать» новые модули и выводить новые типы данных, не нарушая работы всей системы. Это позволяет оценивать архитектуру и модули системы, не проводя полного технического обследования. Правда, остается необходимость изучения систем поставщиков АОИ и их маршрутной карты. Желательно, чтобы потребитель в первую очередь уделял внимание точности и воспроизводимости результатов системы АОИ, простоте работы с ней и анализу получаемых данных, а не только аппаратным средствам или так называемому «наружному виду».

Поставщик системы АОИ должен продемонстрировать процесс программирования и получаемые результаты. Покупатель должен получить возможность «приложить руки к машине». Кроме того, необходимо предусмотреть возможность расширения библиотеки компонентов и форматов вводимых данных существующих систем потребителя. Другой критический момент – проверка квалификации программиста. И, наконец, АОИ не следует рассматривать, как процесс обнаружения дефектов на конечном этапе производства. Скорее всего, это средство обеспечивает не только непрерывное улучшение процесса производства новых изделий, но и позволяет повышать выход годных уже выпускаемых печатных плат.

За последние 20 лет технология печатных плат существенно изменилась. Пока эти изменения незначительно повлияли на АОИ. Однако появление новых технологий печатных плат (PoP-компонентов, гибких печатных плат и проводящих связующих материалов) может привести к серьезным изменениям технологии АОИ. А поскольку новые материалы и процессы производства позволяют получать более высокий выход годных, могут измениться и способы применения АОИ. Так, потребитель будет отдавать предпочтение инспекции до оплавления. Для получения бездефектных плат на начальном этапе производства потребуется проводить анализ дефектов и данных вычислений, обеспечить обратную связь в ходе изготовления плат и обмен данными между используемыми системами АОИ.

Ожидается и рост применения бестрафаретной печати, что обеспечит большую гибкость производства, сокращение затрат, уменьшение ремонта и исключение производственных отходов. ■