

Автоматические системы оптического тестирования

незападных печатных плат фирмы Lloyd Doyle

«Джентльменский набор» технологического оборудования для производства современных печатных плат (ПП) должен содержать автоматические системы оптического и электрического контроля. Без автоматического контрольного оборудования невозможно измерять, поддерживать и регулировать параметры технологического процесса в серийном производстве изделий электронной техники, а также обеспечивать функционирование системы управления качеством продукции (СУКп). СУКп должна быть создана на каждом сертифицированном предприятии в соответствии с требованиями ISO 9001-2000, ГОСТ Р ИСО 9001, ГОСТ РВ 15.002. В данной статье рассматриваются технические возможности применения систем автоматического оптического тестирования (АОТ) как одного из основных элементов СУКп в серийном производстве печатных плат.

**Владимир Зипунников,
Вячеслав Кудрявцев,
к. т. н.**

Объем выпуска современных высокотехнологичных ПП, при котором можно надеяться на то, что продукция останется рентабельной после автоматизации производственных процессов, по мнению А. Медведева — это 2–4 м² ПП в час для России и 12 м²/час для зарубежных заводов [1]. Что такое современная высокотехнологичная ПП, каковы последние достижения в технологии печатного монтажа, динамика и перспективы ее развития, каков должен быть обязательный технологический набор в конкурентноспособном производстве? Ответы на эти вопросы дают известные российские и зарубежные специалисты в области печатного монтажа [1–4].

Суть заключается в том, что основным стимулом для развития печатного монтажа (технологий изготовления и сборки ПП) является поразительная динамика увеличения степени интеграции элементной базы нового поколения. Сегодняшний освоенный промышленностью и стандартизованный уровень — это элементная база в корпусах типа BGA, а перспективу специалисты связывают с применением новых корпусов CSP и Flip Chip.

Для изготовления печатных узлов (ПУ) электронной аппаратуры с использованием поверхностно-монтажных активных и пассивных элементов, в том числе и микросхем в корпусах BGA, не говоря уже о микросхемах в корпусах CSP и Flip Chip, часто требуются ПП, класс точности которых должен быть выше (ширина печатного проводника и зазора менее 100 мкм), чем наивысшая точность 5-го класса, формализованная нашим ГОСТ 23751. Поэтому производство ПП и ПУ для аппаратуры, способной конкурировать на свободном рынке, необходимо оснащать базовыми наборами техно-

логического оборудования, с помощью которых можно управлять технологическим процессом производства с минимально допустимым отклонением от заданных параметров, а также заставить эффективно работать СУКп на предприятии. Специалисты считают, что обязательными единицами базового комплекта оборудования для производства сложных ПП, наряду с новыми химико-гальваническими, лазерными и рентгеновскими технологиями, конвейерными технологическими линиями с компьютерным управлением и соответствующим программно-математическим обеспечением, являются автоматические системы оптического контроля (АОИ) и тестеры электрического контроля (ЭТ). Именно эти единицы оборудования призваны выявлять дефекты ПП на ранних и финишных операциях их изготовления, поставлять информацию в СУКп и наладить статистический контроль (Statistical Process Control — SPC) состояния маршрутного техпроцесса производства. SPC — мощный инструмент для понимания причин и измерения любых отклонений от заданных рабочих режимов техпроцесса, которые могут снизить качество изготовленных ПП. SPC определяет, насколько велики вариации параметров техпроцесса и не выходят ли они за границы заданного диапазона, в которых гарантируется качество продукции. Если отклонения лежат в заданных пределах, система сама стремится к равновесию путем регулирования параметров техпроцесса, если отклонения превышают границы диапазона, то система сигнализирует о том, что техпроцесс вышел из-под контроля. Объективность этой информации определяет в целом устойчивость системы управления качеством продукции.

В данной работе авторы попытались обозначить преимущества применения в серийном производстве ПП новых автоматических систем оптического тестирования (АОТ), предлагаемых российскому рынку фирмой Lloyd Doyle Limited (Англия).

Компания Lloyd Doyle Limited с отделениями во многих странах мира (США, Германия, Япония, Корея, Тайвань) многие годы занимается разработкой и производством систем автоматического оптического контроля, непрерывно совершенствуя их программное и аппаратное обеспечение для удовлетворения текущих и перспективных требований производства.

Принцип действия сканирующей системы АОТ тот же, что и у известных с 80-х годов прошлого века систем «технического зрения», называемых сейчас АОИ (Automated Optical Inspection). До недавнего времени АОИ не смогли завоевать широкой популярности в цеховой практике, так как не отвечали требованиям серийного промышленного производства, обладая немалой дороговизной и малой производительностью, невысоким разрешением, несовершенным матобеспечением, способностью не замечать многие дефекты и замечать несуществующие. Однако в последние годы произошли существенные и качественные изменения к лучшему в части усовершенствования программного и аппаратного обеспечения систем АОИ. Конструктивные особенности и технические возможности некоторых современных моделей АОИ, таких компаний как Camtek, Dainippon Screen, Orbotech, Mania-Barco, известны по журнальным публикациям [5, 6]. Современное оборудование АОИ должно обнаруживать дефекты проводящего рисунка на внутренних и наружных слоях базовой заготовки ПП с шириной печатных проводников и зазором между ними до 50 мкм (носители под корпус типа BGA), а в дальнейшем и менее (носители под корпуса следующего поколения).

«Головную боль» у цехового технолога раньше вызывало применение систем «технического зрения» для контроля обычных ПП, а «лишние» проблемы могут возникнуть сегодня в процессе контроля системой АОИ проводящего рисунка ПП повышенной плотности на базовой заготовке большого размера. Группа контактных площадок на ПП под корпус BGA — это микроминиатюрные контактные площадки и сверхтонкие проводники, объединенные на базовой заготовке ПП внешним технологическим контуром для обеспечения надежного токоподвода ко всем элементам проводящего рисунка в процессе нанесения гальванических покрытий. Систему ЭТ, славящуюся безупречной логикой анализа взаимосвязей, невозможно применить в данном случае для обнаружения функциональных дефектов электрических цепей (разрыв цепи и короткое замыкание между цепями) из-за наличия общей шины. Применяя сослагательное наклонение, «...если бы можно было бы каким-то образом развязать электрически отдельные носители на большой заготовке...», то электроконтроль все равно дал бы только

качественный результат, потому что он не «замечает» косметических дефектов. Речь идет о таких дефектах как недопустимое «заужение» и без того уже сверхтонких проводников. Система ЭТ подтвердит целостность цепи, однако в дальнейшем «зауженное» место на проводнике при определенных условиях может стать причиной ее разрыва. Следует заметить, что для ЭТ определение точного месторасположения обнаруженных дефектов всегда являлась проблемой.

Таким образом, надежду на выявление дефектов на ранних стадиях технологического процесса нужно связывать с применением в производстве систем АОИ, несмотря на возникающие отдельные сложные технические проблемы, в первую очередь, при контроле крупногабаритных ПП повышенной плотности. Да, система АОИ обладает рядом бесспорных преимуществ: немедленно сообщает и фиксирует месторасположение опознанного дефекта, классифицирует многие категории дефектов, обладает высокой производительностью, однако также имеет и присущие ей недостатки. Так из-за несовершенства программного обеспечения АОИ пропускает некоторые принципиальные дефекты, иногда не может отличить реальный дефект от ложного, часто фиксирует в протоколе ложные сигналы, а процесс последующей проверки достаточно трудоемок, так как требует вмешательства оператора.

Задача автоматического сканирования больших мультиплицированных заготовок с высокой плотностью межсоединений может быть решена с помощью новой системы АОТ (7). На основе анализа полученного видеоизображения высокого разрешения гарантируется: 100-процентное обнаружение и фиксация реальных, а не ложных дефектов; получение объективной информации о качестве полученного проводящего рисунка («рваный край», «перетрав», «неотрав» печатных проводников, дефекты диэлектрической основы ПП и т. д.). И все это без «лишних» проблем и «головной» боли у цехового технолога. Обнаруженные дефекты могут быть исправлены с помощью специальной ремонтной станции.

Lloyd Doyle предлагает контролировать подобные образцы ПП, используя свои патентованные технические достижения в области получения и анализа высококачественных видеоизображений, а также созданных специальных алгоритмов контроля. Данные научные достижения были реализованы в системах АОТ типа *redline*, EXCALIBUR, PHASER, *duotech* для межоперационного и финишного видеоконтроля дефектов прецизионных ПП. Предлагаемый модельный ряд нового оборудования сочетает в себе последние достижения систем АОИ с логикой систем ЭТ. Такое удачное сочетание, позволившее качественно расширить технические возможности системы АОТ, было достигнуто благодаря:

- запатентованному усовершенствованному программному обеспечению;
- новой оптической системе, снабженной камерой CCD и источником освещения от-

ражательного и флуоресцентного излучения оригинальной конструкции;

- высокой производительности (до 60 м²/час);
- нулевому показателю количества неопознанных и ложных дефектов;
- возможности быстрого перепрограммирования и простоте регулировки задаваемых параметров;
- резкому увеличению выхода годных ПП на последующей финишной операции электрического контроля.

АОТ является специфическим типом системы АОИ, в которой используется алгоритм, заимствованный из системы электрического контроля и предназначенный для проверки целостности цепей и отсутствия коротких замыканий в соответствии со списком соединений (netlist) электрических цепей. АОТ немедленно выдает точную информацию о месторасположении дефекта. Кроме того, АОТ путем анализа отдельных фрагментов видеоизображения заготовки и сравнения элементов проводящего рисунка с эталоном обнаруживает косметические дефекты. Обнаруженные и зафиксированные дефекты выглядят как «перетравленные» (обрыв цепи) или «неотравленные» (мал изоляционный промежуток) печатные проводники. Система отмечает недопустимые «заужения» и частичные «протравы» (наличие в теле проводника мелких отверстий) — такие дефекты на электроконтроле обнаружить нельзя. Выявление описанных дефектов на ранней стадии процесса производства с помощью АОТ позволяет значительно повысить выход годных на последующей операции электрической проверки изготовленных ПП. В тех случаях, когда сложно или невозможно обеспечить надежный контакт щупа тестера с подложкой ПП (гибкая плата, недоступные участки на поверхности даже для «летающих» щупов и т. д.), система АОТ, являясь единственной альтернативой, вполне может занять особую нишу в сфере контроля ПП. АОТ практически не имеет ограничений для автоматического сканирования контролируемой заготовки: ни по разрешению элементов проводящего рисунка (до 2–5 мкм), ни по формату (до 610×760 мм), ни по производительности (время сканирования панели форматом 450×610 мм занимает 13 с). Кроме того, система АОТ является наиболее действенным инструментом для функционирования SPC, так как обладает большей информативностью, чем в отдельности системы ЭТ и АОИ [8]. Полученная объективная и точная информация позволит уверенно заработать системе управления качеством продукции, придать большую устойчивость технологическому процессу, резко ограничив диапазоны вариации его значимых параметров, и обеспечив выход годных изделий с вероятностью на уровне 6σ (9).

Компания Lloyd Doyle выпустила первую свою систему в 1984 году и с тех пор более 150 единиц ее оборудования функционируют по всему миру:

- АОТ типа EXCALIBUR 5000 X (рис. 1) имеет самые высокие из всего модельного ряда технические характеристики и использует запатентованную технологию обнару-



Рис. 1

жения дефектов проводящего рисунка на внутренних и наружных слоях ПП;

- АОТ типа **duotech** — новая разработка, имеющая лазерную и флуоресцентную систему подсветки заготовки. Использование двойной системы освещения позволяет тестировать слои ПП и фотошаблоны из самых современных материалов, том числе и малоконтрастных;
- АОТ типа **PHASER** — новейшая лазерная оптическая система, способная контролировать проводники и зазоры шириной менее 25 мкм;
- АОТ типа **redline** по техническим возможностям мало в чем уступает вышеупомянутым системам, но отличается гибкостью переналадки для контроля нового типа платы и требует меньших капитальных затрат при освоении в производстве.

АОТ типа **redline** (рис. 2) привлекает прежде всего своей приемлемой ценой и меньшими затратами на освоение технологии и эксплуатацию оборудования по сравнению с перечисленными типами АОТ (при тождестве их технических характеристик). Даже системы АОI, проигрывая АОТ в части технических возможностей, требуют гораздо больших расходов на покупку и освоение оборудования.

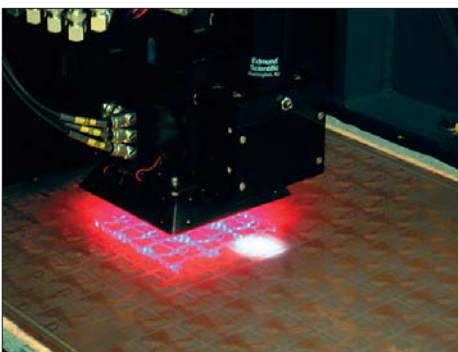


Рис. 2

Система **redline** относится к одной из последних в модельном ряду разработок фирмы. Она обеспечивает экономичный и гибкий оптический контроль наличия функциональных и косметических дефектов на наружных и внутренних слоях ПП, изготовленных из фольгированных ламинатов любого типа, включая и такие низкоконтрастные материалы, как RTF, DSTF. Дефекты на пленочных фотошаблонах слоев ПП, на сухом пленочном фоторезисте (как рельефом, так и защитном, то есть качество нанесения и обработки органических материалов на ПП), могут быть также проверены без всяких проблем. Базовая заготовка с максимальным размером 610×760 мм автоматически сканируется с большой скоростью, при этом система может обеспечить желаемую (по заказу) производительность в диапазоне 20–60 м²/час. Заказчик задает также потребную ему степень разрешения видеоизображения, выбирая из 3 возможных вариантов: величина разрешения в 10,0 мкм позволит контролировать элементы проводящего рисунка с минимальным размером ширины проводника и изоляционного промежутка до 75 мкм; в 7,5 мкм — до 50 мкм; в 5,0 мкм — менее 50 мкм. Полученные в цифровой и графической формах изображения анализируются и с помощью «фирменных» алгоритмов, об особенностях которых упоминалось выше. Таким образом, все функциональные и косметические дефекты будут обнаружены и зарегистрированы. На рис. 3 приведен пример видеоизображения фрагмента сложной ПП (7), на котором расположены три прямоугольные контактные площадки, из которых две верхние не соединены

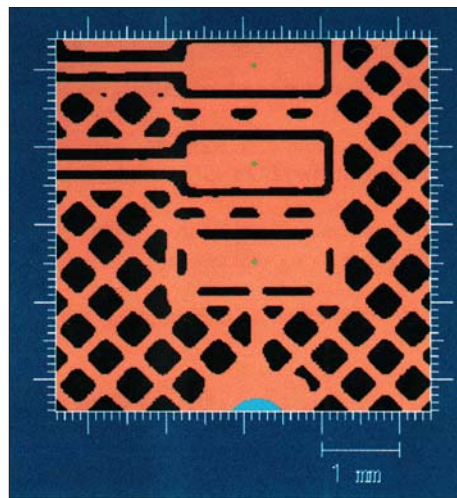


Рис. 3

с экранном слое, а нижняя соединена, и непонятно, дефект это (не до конца вытравлены контуры площадки), или она должна быть электрически соединена с экраном? Однозначный и немедленный ответ на этот вопрос может дать только система АОТ, в программном обеспечении которой заложен алгоритм обработки изображений с использованием механизма нахождения ошибок в ЭТ.

Система **redline** имеет встроенный маркировщик дефектов. Устранение дефектов или отбраковку ПП можно проводить на установке **redline** или на автономной ремонтной станции.

Благодаря таким высоким техническим возможностям нового автоматического контрольного оборудования возникает и новая философия в организации цехового контроля, которая поможет производителям преодолеть синдром недоверия к системам АОТ, если он еще остался после приобретенного опыта работы с системами «технического зрения».

Литература

1. А. Медведев. Продуктроника — 2001. Первые впечатления // Компоненты и технологии. 2001. № 8.
2. Ю. Локшин, А. Медведев. Производство электронных модулей и печатных плат в России // Электронные компоненты. 2001. № 5.
3. J. Schmits, G. Heiser, J. Kukovski. Взгляд в будущее. Технологические тенденции развития электронных компонентов и сборки модулей на печатных платах // Компоненты и технологии. 2001. № 4.
4. Ф. Галецкий. Перспективные для России новые технологии производства печатных плат // Электронные компоненты. 2003. № 8.
5. М. Лев и др. Системы автоматического оптического контроля компании Camtek // Компоненты и технологии. 2003. № 4.
6. А. Медведев. Тестирование в сборочно-монтажном производстве // Электронные компоненты. 2003. № 1.
7. R. Frisk. Just what is it? And what can it do for you? http://www.lloyd-doyle.com/pr/articles_PDF/AOT_Paper.PDF.
8. N. Talbot. The Use of Automated Optical Testing (AOT) in Statistical Process Control (SPC) for Printed Circuit Board (PCB) Production. <http://www.lloyd-doyle.com/pr/articles.asp>.
9. D. Walsh, J. Arena. Seeing AOI for Six-Sigma PCB Manufacturing. Electronic Packaging and Production. <http://www.epp.com>.