

ЛАБОРАТОРИЯ АНАЛИЗА ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРОНИКИ

Текст: Аркадий Медведев
Аркадий Сержантов



Отказы из-за неисправных электронных компонентов и печатных плат обходятся предприятиям дорого. Предотвратить их или, как минимум, уменьшить их последствия заблаговременно, еще в ходе производственного процесса, поможет всесторонний углубленный контроль качества. Сегодня лаборатории анализа дефектов и отказов аппаратуры – необходимый элемент каждого предприятия, заботящегося о высоком уровне надежности своей продукции. Комплекс современных технических средств и методик, дополняющий традиционные проверки, закрепленные в стандартах, открывает новые возможности для более тонкого анализа характерных дефектов производства, построения моделей разрушений слабых мест и отработки конструкции и технологии для улучшения надежности электронных устройств.

В ответственной аппаратуре повсеместно начинают использовать решения, повышающие плотность ее компоновки: микрочипы, технология chip-on-chip и др. Эти решения позволяют получить оптимальное сочетание функциональности, производительности и надежности. Не снижается также тенденция к уменьшению геометрических размеров электронных систем. Всё это ведет к увеличению количества компонентов на единице площади печатной платы, а значит – к росту количества межсоединений, требований к их надежности и электрической изоляции между ними. Практика показывает, что именно эти элементы конструкции электронной аппаратуры становятся сегодня одной из основных причин ее отказов в процессе эксплуатации.

Стандартом ГОСТ 23752.1 предписан определенный набор средств для контроля качества печатных плат в процессе приемосдаточных и периодических испытаний¹. Однако эти средства далеко не всегда дают возможность выявить скрытые производственные дефекты, способные вызвать отказы в процессе длительной эксплуатации. Поэтому предприятия, которые ставят перед собой задачу стабильного выпуска высоконадежной продукции, создают по собственной технологической документации аналитические лаборатории для постоянного мониторинга состояния технологического процесса. Хорошо оборудованная лаборатория обычно имеет в своем составе аппаратуру для проведения спектроскопического, микроскопического (в том числе металлографического) и интроскопического анализа.

Спектроскопия

Методы Фурье-спектроскопии в лабораториях электронных производств применяют для обнаружения слабых остатков веществ и исследования их химического состава. Они позволяют выявлять и идентифицировать загрязнения, которые не видны в оптический микроскоп и малоразличимы при использовании методов, предлагаемых государственными стандартами. Между тем, такие слабые остатки способны привести к отказам в разных элементах конструкции печатной платы.

Например, уровень очистки поверхностей печатных плат от остатков технологических загрязнений является основополагающим для влагозащиты аппаратуры, поскольку, как оказалось², все без исключения влагозащитные покрытия влагопроницаемы, и только стерильно чистые поверхности под лаком устойчивы к воздействию влаги³. Это особенно важно в связи с продолжающейся миниатюризацией и уменьшением энергоемкости сложных электронных узлов⁴. Наличие малейших следов загрязнений поверхности печатных плат неизбежно приводит к появлению токов утечки и, как следствие, к процессам образования токопроводящих мостиков за счет электрохимической миграции⁵ (рис 1). Наилучшим методом неразрушающего выявления трудно наблюдаемых загрязнений на поверхности печатной платы, позволяющим определить их происхождение, на сегодня можно считать инфракрасную Фурье-спектрометрию.



1

Образование токопроводящих мостиков между печатными проводниками в результате сочетания разности потенциалов, влаги и загрязнений поверхности печатных плат

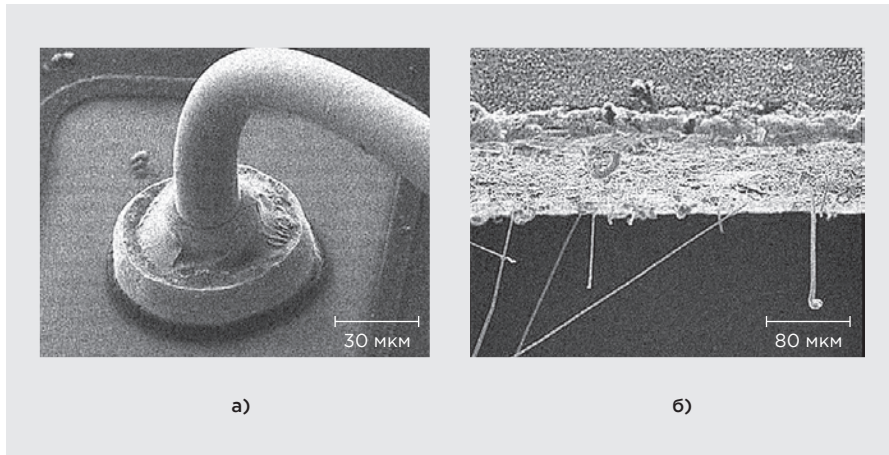
Еще одна проблема, решаемая средствами спектроскопии, связана с загрязнением припоев. Подробного изучения составов припоев простыми оптическими методами недостаточно, поскольку вредные примеси в них либо только частично видимы, либо обнаруживаются не все. Требования к надежности аппаратуры повышаются, качество элементов межсоединений должно быть гарантировано во всех точках системы, а этих элементов становится всё больше, их размеры уменьшаются. Если в 60-х годах прошлого века считалась достаточной наработка на отказ (λ -характеристика) паек 10^{-8} 1/час, то сегодня требуется уже 10^{-12} 1/час. Очень важно применительно к пайке иметь хорошо подготовленную монтажную поверхность, оценку которой выполняют средствами рентгеноспектрального флюорографического анализа⁶.

Микроскопия

Обычные (оптические) микроскопы распространены на участках технического контроля и в лабораториях электронных производств, но перманентная миниатюризация делает их недостаточно информативными для отработки технологий и управления качеством производственных процессов. Полную информацию о состоянии межсоединений дают сканирующие (растровые) электронные микроскопы, потому что глубина сфокусированного пространства в них на порядок больше, чем в оптических. На рис 2 показаны примеры высококачественных изображений, полученные на сканирующем электронном микроскопе при оценке микросварного соединения при наблюдении «усов», образовавшихся из оловосодержащего покрытия на печатной плате⁷.

В составе оборудования для металлографического анализа⁸ электронные сканирующие микроскопы позволяют увидеть, как деформируются элементы межсоединений в многослойных структурах печатных плат (рис 3) и как может повраться внутреннее соединение в многослойных печатных платах (рис 4).

В металлографии используют обычный оптический микроскоп с увеличением порядка 200x с возможностью измерений и документирования кристаллических структур. В сканирующем электронном микроскопе увеличение может достигать нескольких тысяч крат (до 1 000 000x), и если регистрировать характеристическое рентгеновское излучение,



2

Фотографии, полученные на сканирующем электронном микроскопе: а – микросварное соединение; б – образование «усов» из оловосодержащего покрытия

испускаемое образцом после его облучения пучком электронов, то можно «разглядывать» объект в композиционном контрасте и одновременно определять элементный состав наблюдаемых элементов структуры.

Получение четкого детализированного изображения при металлографическом анализе важно тем, что с его помощью можно настроить технологию пайки. При анализе качества паяных соединений необходимо видеть, какой критической толщины образовалось интерметаллическое соединение: при его отсутствии процесс пайки считается незавершенным, а при большой толщине интерметаллида пайка считается ненадежной (рис 5).

Интроскопия

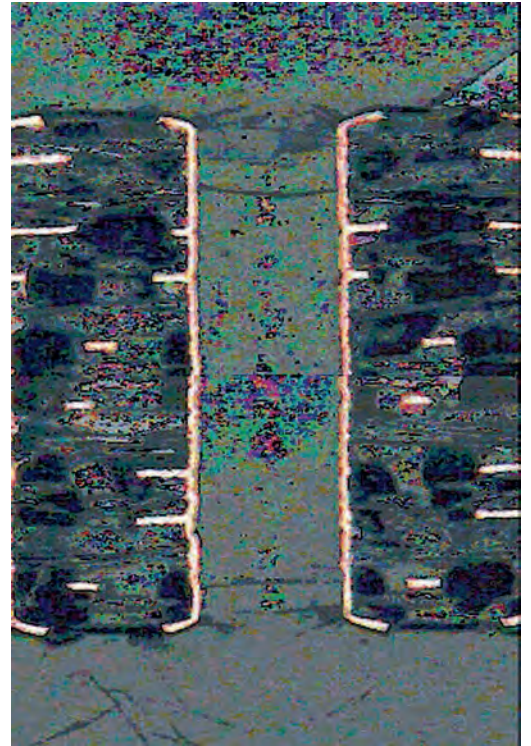
Рентгеновское изображение и ультразвуковое сканирование – средства интроскопии, особенно востребованные для обнаружения внутренних неоднородностей в проводниковых структурах (рентген) и электроизоляционных конструкциях (ультразвук). Анализ состояния невидимых для визуального осмотра неоднородностей – предвестников отказов – может значительно улучшить производственные процессы. Для оценки качества паяк ВГА-компонентов применение рентгеновской аппаратуры особенно необходимо в связи с тем, что их шариковые выводы расположены под корпусом, и их дефекты, а также дефекты их пайки, можно обнаружить лишь методами рентгеновской интроскопии (рис 6) и с помощью технологии периферийного (граничного) сканирования JTAG (рис 7). Для этой цели сегодня разрабатывают программы, реализующие автоматическую оценку качества паяк шариковых выводов⁹.

Под рентгеном можно увидеть точность совмещения элементов межсоединений в многослойных печатных платах (рис 7).

Еще более мощный и информативный инструмент исследования – рентгеновская компьютерная томография, которая позволяет увидеть срезы объекта в любой плоскости (рис 8).

Лаборатория анализа качества электронной аппаратуры

Предприятия, владеющие средствами металлографии, электрического тестирования, интроскопии, термомеханического анализа, в своем понимании проблем контроля качества продвинулись настолько далеко, что обнаружили, что и этих средств зачастую оказывается недостаточно для достоверного выявления причин отказов. Была осознана потребность в более тонком анализе состояния электронной аппаратуры во всех ее эле-



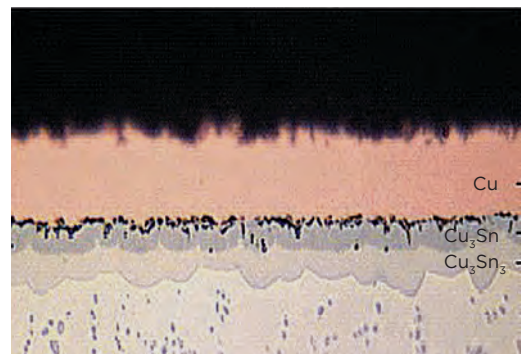
3

Металлографический шлиф металлизированного отверстия после нагрева до температур пайки



4

Начало разрыва соединения внутреннего слоя МПП с металлизацией отверстия



5

Микрошлиф паяного соединения, по которому можно оценить толщину интерметаллических слоев

ментах: электронных компонентах, печатных платах, паяных соединениях, разъемах, влагозащите, радиационной стойкости и т. п. Лаборатория, способная объективно и доказательно проводить такой анализ, должна также иметь еще целый ряд дополнительных средств контроля качества электронных устройств¹⁰⁻¹⁹. К ним относятся:

- оборудование, реализующее термомеханический метод исследования полимеров, который позволяет определить температуры стеклования и деструкции базовых материалов;
- разрывные машины для определения пластичности гальванически осажденной меди в отверстиях печатных плат;
- машины для определения прочности паек на срез;
- гидростат для экспертного определения чистоты отмывки плат от технологических загрязнений;
- средства для пайки при проведении всевозможных анализов;
- электрические измерительные приборы для испытаний электрической изоляции и проводимости;
- средства функционального, параметрического и диагностического контроля электронных средств: печатных плат, печатных узлов и блоков, электронных устройств в целом.

Аналитическая лаборатория предназначена для:

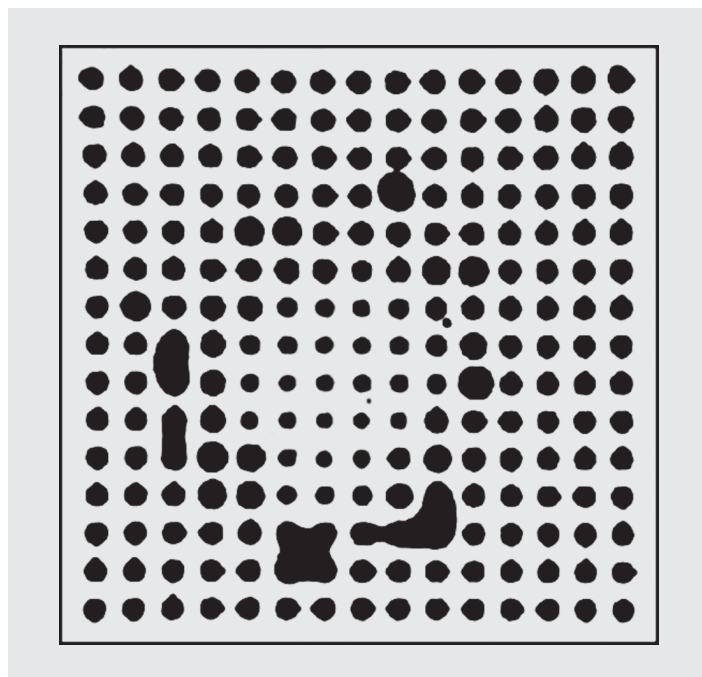
- входного контроля базовых материалов;
- анализа состояния технологии производства электронной аппаратуры;
- анализа дефектов печатных плат, печатных узлов (электронных модулей), электронных блоков;
- анализа причин отказов электронной аппаратуры.

Рекомендуемые типы проверок, состав и назначение технических средств лаборатории приведены в **Т 1**.

Средства глубокого анализа состояния всех элементов электронной аппаратуры – это глаза и уши технолога и конструктора в деле определения степени совершенства разработки и производства с точки зрения обеспечения качества и надежности продукции и технологического процесса. Неприятно слышать от руководства: «Делайте хорошо, и вам не потребуются ваши лаборатории. Нет денег на ваши забавы!» Такая точка зрения не имеет права на существование, поскольку оценить, насколько результаты производства соответствуют критерию «делайте хорошо», можно только при помощи аппаратуры, позволяющей всесторонне изучить качество изделия, достоверно диагностировать уровень его надежности. **▢**

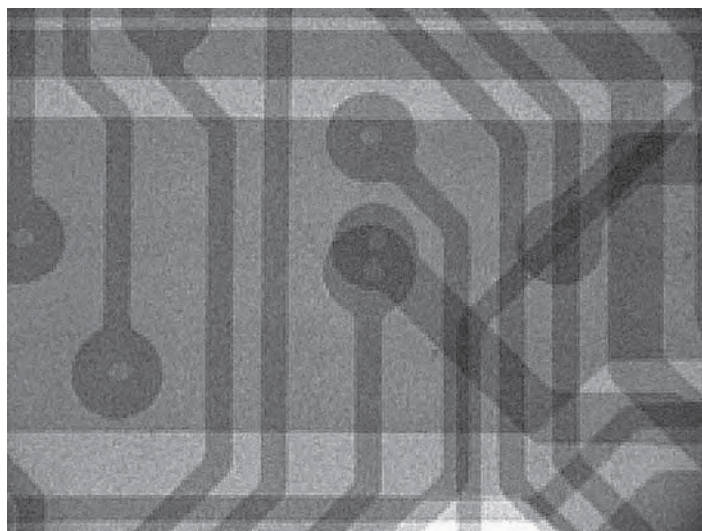
Литература

1. ГОСТ 23752.1. Платы печатные. Методы испытаний.
2. **Левкина Н., Ванцов С., Медведев А.** Влагозащитные покрытия печатных плат // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2018. № 7. С. 124–129.
3. **Медведев А., Боданов А.** Эффективность влагозащиты печатных узлов // Технологии в электронной промышленности. 2018. № 6. С. 52–56.



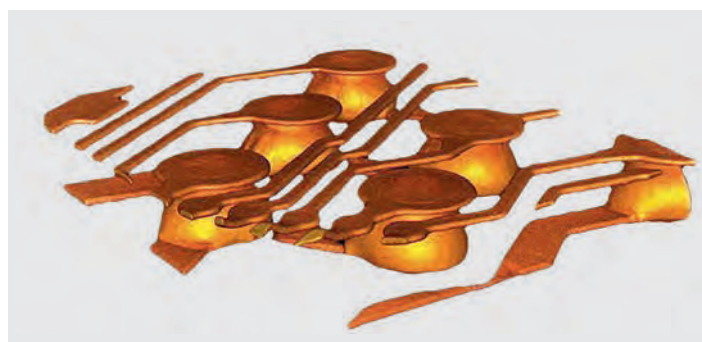
6

Рентгеновское изображение паек под корпусом BGA-компонента



7

Рентгеновское изображение внутренних слоев многослойной печатной платы



8

Томография межсоединений в двусторонней плате

Т 1

Состав и назначение технических средств лаборатории анализа качества электронной аппаратуры

ВИД ТЕСТИРОВАНИЯ	КОНТРОЛЬНАЯ АППАРАТУРА	УРОВЕНЬ СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ		
		ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ	ПЕЧАТНЫЕ УЗЛЫ (ЭЛЕКТРОННЫЕ МОДУЛИ)	БЛОКИ
Функциональный контроль межсоединений	Тестеры с контактирующими устройствами типа «летающие щупы»	Проверка монтажных соединений («прозвонка»)	-	-
Граничное тестирование	Системы периферийного сканирования JTAG	-	Проверка узла на отсутствие дефектов монтажа после сборки	Проверка блоков на отсутствие вторичных дефектов перед функциональным контролем
Функциональный контроль работоспособности аппаратуры	Специализированные комплексы «под ключ» для каждого конкретного изделия	-	Проверка работоспособности электронных модулей	Проверка работоспособности электронных модулей и блоков в целом
Внутрисхемный контроль	Тестеры с контактирующими устройствами типа «летающие щупы»	Проверка качества соединений и изоляции разобщений	Внутрисхемное тестирование: проверка межсоединений и состояния электронных компонентов, проверка узла на соответствие конструкторской документации	Проверка межзубовых соединений в блоке и состояния электронных модулей
Диагностический контроль	Находится в разработке в МАИ	Прогнозирование надежности межсоединений	Углубленный внутрисхемный контроль, в том числе с использованием дополнительных внешних воздействий	
Металлографический анализ	Комплект металлографического оборудования: машина для микрошлифов, металлографический микроскоп, оснастка для заливки шлифов	Анализ качества внутренних межсоединений в многослойных печатных платах	Анализ качества паяных соединений	Анализ качества непаяных соединений и разъемов
Реологический анализ	Лабораторная разрывная машина	Анализ адгезии фольги к диэлектрическому основанию печатных плат Анализ пластичности металлизации отверстий	Анализ прочности паяных соединений	Анализ прочности непаяных соединений (пресс-фит)
Термографический анализ	Термомеханический анализатор	Определение температуры стеклования базовых материалов на входном контроле	Определение термоустойчивости неметаллических деталей	Определение термоустойчивости неметаллических деталей
Рентгеновская интроскопия	Узкофокусный рентгеновский аппарат	Определение точности совмещения пространственных элементов в многослойных платах	Определение качества паяных соединений, недоступных для визуального контроля (типа BGA)	Определение качества непаяных соединений