

## Технология Y.QuickScan — оперативная микрофокусная компьютерная томография ( $\mu$ СТ) для серийных полупроводниковых устройств и SMT-приложений

Уменьшение размеров устройств, используемых в электронных и электромеханических компонентах и микросистемах, позволяет создавать еще более сложные и комплексные решения. Помимо других современных тенденций, трехмерные (3D) технологии компоновки определяют необходимость в проведении проверок качества с помощью микрофокусной компьютерной томографии ( $\mu$ СТ). На данный момент  $\mu$ СТ наиболее широко используется для контроля качества продукции, в исследовательской деятельности, при разработке новой продукции и для мониторинга высокотехнологичных процессов обработки, так как длительность проведения данной проверки не позволяет использовать ее для больших объемов образцов и для заводских испытаний.

В данной статье описывается инновационное технологическое решение, Y.QuickScan, которое позволяет проводить  $\mu$ СТ-сканирование всего за несколько минут. Данное решение можно успешно использовать в индустрии производства полупроводниковых компонентов и SMT. Например, для анализа компоновки, который позволяет провести полную оценку расположения проводных соединений и целостности стековых кристаллов. Кроме того, это решение можно использовать для проверки бессвинцовых паяных соединений, даже тогда, когда они располагаются внутри сенсорных систем.

Андреас ЛЕХНЕР  
andreas.lechner@han.yxlon.com  
Енс Питер ШТЕФФАН  
jens-peter.steffen@han.yxlon.com  
Торстен РОТЕР  
thorsten.rother@han.yxlon.com

### Введение

Постоянное уменьшение размеров компонентов и ужесточение контроля их качества и надежности требует создания решений для оперативного рентгеновского контроля с высоким разрешением. Наиболее широко распространенные параметры технологии для рентгеновского контроля опи-

саны в таблице 1. При уменьшении размеров может быть увеличена сложность систем, но развитие технологий компоновки приводит и к увеличению числа выводов. Количество кристаллов, которые пакутся или интегрируются в систему в корпусе (system-in-package), увеличивается ежегодно. При увеличении сложности схемы соединений ключевые парамет-

ры компоновки должны масштабироваться соответственно.

Новые подходы, такие как высокоплотная пайка на подложке или кубообразная компоновка модулей, позволяют активно использовать третье измерение при интеграции систем [1].

Вне зависимости от области использования, будь то заводские испытания, мониторинг процесса технологической обработки, контроль качества, анализ дефектов или исследования и разработки, данные технологические усовершенствования приведут к значительным изменениям в требованиях в отношении проверки. Для того чтобы контролировать целостность точки пайки, широко используются различные (автоматизированные) способы оптического контроля. Однако с увеличением количества скрытых соединений и точек пайки, которые могут быть выполнены как по технологии шариковых выводов, так и представлять собой контакты в герметизированных

Таблица 1. Международный технологический план выпуска полупроводников на 2006 г. [2]

	Год производства			
	2007	2010	2015	2020
Полушаг DRAM/микропроцессора (нм)	65/68	45	25	14
Физическая длина затвора микропроцессора (нм)	25	18	10	6
Число выводов в корпусе	148–4000	170–4851	218–6191	278–7902
Кол-во кристаллов на один стек (система в корпусе)	3–7/6–8	4–10/7–11	5–14/8–14	7–17/10–17
Шаг проводных соединений ( $\mu$ м)	40	30	25	25
Шаг пайки в корпусе BGA ( $\mu$ м)	300–650	150–650	100–650	100–500
Диаметр глухих переходных отверстий ( $\mu$ м)	40–60	30–40	25–30	25–30
Ширина шины	15–35	10–25	8–20	8–20

компонентах (SiP), методики проведения проверки должны постоянно развиваться, чтобы была возможность отображать внутренние структуры компонентов и их состав.

Проверки с помощью рентгеновского контроля высокого разрешения позволяют «заглянуть» внутрь компонентов. Двухмерный микрофокусный рентгеновский контроль внедрила в начале 1980-х компания YXLON/Feinfocus, пионер в области технологий микрофокусного рентгеновского контроля. Сейчас по всему миру используется более 2500 подобных систем. Двухмерный контроль позволяет оценить скрытые точки пайки, включая проведение автоматизированных подсчетов количества пустот или проведение детального тестирования различных параметров корпусов BGA. При помощи наклонного просмотра, когда рентгеновский снимок может быть сделан практически под любым углом, можно проводить усовершенствованные проверки целостности монтажных соединений или наличия открытых контактов в корпусах BGA. Тем не менее, принимая во внимание вышеописанные тенденции, необходимость трехмерных проверок становится очевидной.

### Традиционный метод проведения $\mu$ СТ

Компания YXLON/Feinfocus уже более четырех лет предлагает решения для микрофокусного рентгеновского контроля для трехмерной  $\mu$ СТ. Методология, разработанная YXLON/Feinfocus и другими компаниями, основана на алгоритме реконструкции конического луча, так называемом методе Фельдкампа (Feldkamp) [3]. Источник радиоактивного излучения от локальной точки создает изображение объекта на рентгеновском детекторе (рис. 1).

Необходимое количество изображений, так называемых проекций, создается в ходе вращения образца на  $360^\circ$ . Трехмерная модель создается и визуализируется в средах САПР.

Основным ограничивающим фактором широкого использования  $\mu$ СТ является время проверки, которое составляет от 1 до 8 часов. При этом время реконструкции имеет гораздо меньшее значение. Длительное время сканирования определяется качеством двухмерного изображения. Среди многих других факторов, таких как размер фокусной точки, геометрическое увеличение, быстрые и чувствительные детекторы и пр., существуют два основных требования по качеству изображения, которые непосредственно связаны со временем сканирования:

- снижение влияния помех;
- ограничение значительных смещений по геометрии или производительности.

По причине ограничений в интенсивности микрофокусного рентгеновского излу-

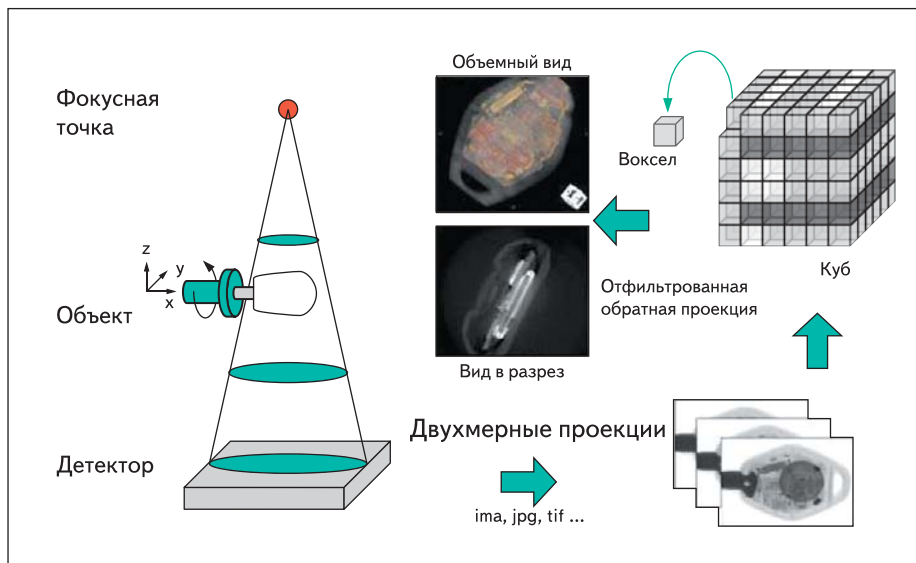


Рис. 1. Реконструкция конического луча

чения для необходимых небольших размеров фокусных точек, интеграции изображения для уменьшения влияния помех время сканирования значительно увеличивается. С другой стороны, это приводит к необходимости создания ряда мер для ограничения смещений по геометрии или изменения производительности по времени (стабильность фокусной точки, интенсивности рентгеновского излучения, теплового расширения и пр.). Другие аспекты также оказывают влияние на качество и разрешение  $\mu$ СТ: оптическое искажение усилителей изображения или возможные ограничения при определении отдельного региона  $\mu$ СТ.

### Технологические преимущества оперативной $\mu$ СТ

Для внедрения проверок с помощью оперативной  $\mu$ СТ стратегия компании YXLON/Feinfocus включала в себя следующее:

- получение высокой интенсивности рентгеновского излучения для фокальных точек небольшого размера для того, чтобы уменьшить уровень помех;
- создание методик для обеспечения максимальной стабильности интенсивности рентгеновских снимков и качества изображения;
- внедрение современных детекторов и реконструкции для использования оперативной  $\mu$ СТ.

В данном разделе описываются основные компоненты необходимые для  $\mu$ СТ.

#### Технология True X-ray Intensity (TXI)

В микрофокусных рентгеновских трубках электроны, которые испускаются иглой, ускоряются по направлению к прострельной мишени с фокусировкой луча электронов. В материале мишени небольшая часть кинетической энергии электронов преобразуется

в рентгеновские лучи. Тогда как в закрытых микрофокусных рентгеновских трубках ток излучения на игле, и напряжение ускорения контролируется. Компания YXLON/Feinfocus разработала технологию, которая позволяет оценивать реальное значение тока, которое достигает цели. Основанная на принципе постоянной обратной связи, технология TXI регулирует ток выброса для того, чтобы обеспечить стабильность рентгеновского излучения и, таким образом, высокое качество снимка. Это позволяет понизить требования  $\mu$ СТ необходимые для получения отдельной проекции и, что более важно, для более стабильного качества проекции при вращении образца на  $360^\circ$ .

#### Высокомощная мишень

По причине того, что до 98% кинетической энергии электронов трансформируется в тепло в непосредственной близости от точки фокусировки, тепловая нагрузка может привести к повреждению мишени. Если необходима более высокая интенсивность излучения рентгеновских лучей, как и в случае с оперативной  $\mu$ СТ, ограничения по теплопроводности приводят к необходимости расфокусировки луча электронов и, как следствие, к уменьшению разрешения изображения по причине более высокого размера точки фокусировки.

Компания YXLON/Feinfocus смогла решить эту проблему путем разработки высокомоощных мишеней. По сравнению со стандартными целями было достигнуто десятикратное увеличение теплопроводности. Поэтому электроны с высокой энергией могут быть хорошо сфокусированы, что создает небольшой размер точки фокусировки для высокого разрешения изображения. Немецкий государственный институт по исследованию и тестированию материалов [4] провел специальное исследование для проверки

данной технологии. Используя маску JIMA [5], тестовый образец с размером 2 мкм<sup>2</sup> может быть эффективно исследован с мощностью мишени в 23 Вт; подробное описание приводится в [6].

### Технология обнаружения и реконструкции

Время реконструкции в значительной степени различается в зависимости от количества проекций и необходимого разрешения  $\mu$ СТ. Как правило, реконструкция куба с 512×512×512 элементами объема (вокселями) может занять от 15 до 30 минут при использовании стандартного ПО. Применяв разработку поставщика, а также отдельные платы аппаратного ускорения, в результате значительно сократилось время: реконструкция 512<sup>3</sup> вокселей для 540 проекций заняла менее 2 минут.

Новые разработки в технологии цифровых рентгеновских детекторов продемонстрировали, что современные массивы датчиков могут обеспечить высокую динамику и разрешения необходимые для проведения оперативной  $\mu$ СТ. Было принято решение использовать высокоскоростной рентгеновский детектор, который имеет размер в пикселях намного меньше 150 мкм и динамический диапазон выше 2000:1 (контрастное разрешение превышает 0,5%).

### Y.QuickScan — сверхскоростная $\mu$ СТ

Компания YXLON/Feinfocus представила Y.QuickScan — разработку для сверхскоростной  $\mu$ СТ для своей системы высокой точности Y.Fox и компактной и универсальной системы Y.Cougar.

Y.QuickScan включает в себя ряд ключевых технологических усовершенствований, таких как:

- технология True X-ray Intensity;
- технология высокомоощных мишеней;
- высокоскоростные цифровые детекторы;
- специализированная разработка для реконструкции.

Y.QuickScan проводит полную  $\mu$ СТ, начиная от этапа сканирования до проверки виртуальных пересечений реконструированной объемной модели, за две минуты, как это указано в таблице 2.

На рис. 2 показано сравнение для BGA. Для стандартной  $\mu$ СТ, которая отображена с левой стороны, были получены 1024 про-

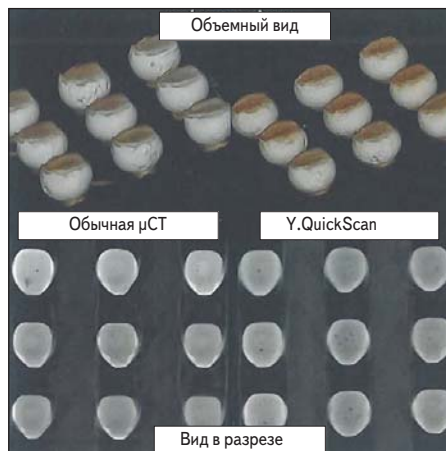


Рис. 2. Стандартная  $\mu$ СТ (слева) и Y.QuickScan (справа) BGA с объемными видами (сверху) и видами в разрезе (снизу)

екции, а для Y.QuickScan — 880. На объемном изображении видно, что оба сканирования позволяют проводить глубинную проверку паяных «шариков» и поверхности соединений. Незначительные различия могут быть обнаружены в отношении гладкости поверхности. На разрезах BGA показано, что даже незначительные пустоты могут быть одинаково хорошо визуализированы, причем Y.QuickScan делает это гораздо быстрее.

Дополнительные примеры использования Y.QuickScan с высоким разрешением приведены на рис. 3. Объемные виды позволяют проводить детальную проверку BGA и соединений. На разрезе 3×3 BGA-сегмента отображаются паяные соединения, микроперемычки и пустоты. На разрезе отдельного «шарика» BGA видно даже покрытие и заполнение микроперемычек.

### Краткое описание

Постоянное увеличение сложности электрических и электромеханических систем и использование трехмерных отображений приводят к увеличению потребности в трехмерной компьютерной томографии ( $\mu$ СТ). Описаны технологические преимущества, призванные устранить недостатки стандартных длительных  $\mu$ СТ-проверок. Они включают в себя:

- технологию True X-ray Intensity для максимальной стабильности рентгеновского излучения и высокого качества изображения;
- технологию высокомоощных мишеней — для обеспечения небольшого размера фокусной точки для высокого разрешения при высокой интенсивности рентгеновского излучения;
- высокоскоростные детекторы для быстрого захвата изображения и специализированные решения для оперативной реконструкции.

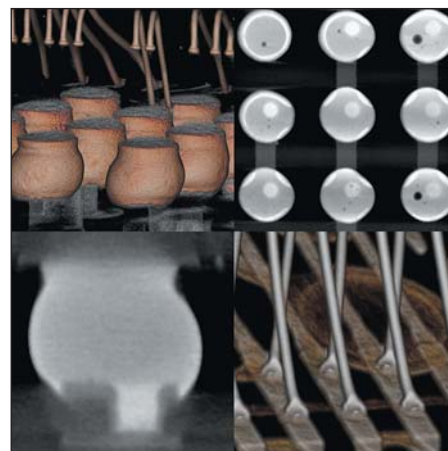


Рис. 3. Примеры использования Y.QuickScan с высоким разрешением

Благодаря значительному снижению времени проверок с помощью  $\mu$ СТ, которое сократилось с нескольких часов до нескольких минут, инновационное решение Y.QuickScan позволяет:

- в значительной степени увеличить оперативность проверок;
- сократить расходы на проверки;
- создавать более широко распространенные приложения  $\mu$ СТ;
- снизить зависимость от смещений по геометрии или производительности;
- обеспечить большую уверенность в отношении целостности, качества и надежности продукции.

Компания YXLON предлагает решение Y.QuickScan — ультрабыстрое сканирование  $\mu$ СТ — на своих системах рентгеновского контроля Feinfocus.

### Литература

1. International Workshop 3D System Integration. 1–2 октября 2007 г., Мюнхен, Германия.
2. Ассоциация промышленности по производству полупроводниковых компонентов: Международный технологический план выпуска полупроводников. 2005–2006 гг. <http://www.itrs.net/>
3. Фельдкамп Л. А., Дейвис Л. К., Кресс Дж. В. Практический алгоритм конических лучей // Журнал оптической американского общества. А: Оптика, наука об изображениях и видении. Т. 1, № 6, июнь 1984 г.
4. Bundesanstalt fur Materialforschung und -prufung — Arbeitsgruppe Computertomographie (Федеральный институт по исследованию и тестированию материалов — рабочая группа по компьютерной томографии). <http://www.ct.bam.de/>
5. Японская ассоциация производителей проверочной аппаратуры. <http://www.jima.jp/>
6. Рейдмейкер Г., Лехнер А. Мультифокусные рентгеновские трубки и высокомоощные цели для осевой микро-СТ. 229-й семинар Федерального бюро Германии по физическим техническим дисциплинам. <http://www.ptb.de/CT2007/>

Таблица 2. Скорость работы Y.QuickScan

	Количество проекций		
	540	720	1080
Получение/сканирование изображения, с	18	24	36
Время реконструкции, с	84	106	162
Всего, с	102	130	198