

Рентген.

Ответы на часто задаваемые вопросы

Ольга Зотова

olgazotova@dipaul.ru

Что собой представляют системы рентгеновского контроля, и где они применяются?

Двухмерные (2D) системы рентгеновского контроля — это практически рентгеновские микроскопы. Рентгеновские лучи образуются в рентгеновской трубке и затем проходят сквозь исследуемый образец на электронно-лучевой преобразователь, например усилитель изображения, который преобразовывает рентгеновские лучи в изображение, которое может изучать оператор (рис. 1). Объекты или материалы исследуемого образца, плотность которых выше, поглощают больше рентгеновских лучей и поэтому отбрасывают более темную тень на детектор. Таким образом, припой или медные дорожки на формируемом рентгеновском изображении выглядят темнее по сравнению с материалом печатной платы. В системе рентгеновского контроля должны быть возможности перемещения исследуемого образца по осям X и Y и увеличения/уменьшения изображения (перемещение по оси Z).

Системы рентгеновского контроля используются в электронной и полупроводниковой промышленности для проверки и отслеживания качества производственных процессов и продукции. Рентгенокопия позволяет изучить те участки изделий и соединения на них, которые невозможно проверить оптически, и при этом не разрушает эти изделия. Например, рентгеновский контроль позволяет изучить качество пайки тех компонентов, выводы которых скрыты под корпусом: BGA, флип-чипы, CSP. Также рентген можно использовать для проверки качества разварки кристалла в корпусах. Но существует и множество других сфер применения рентгеновского контроля. Без использования рентгена единственным способом

проверить качество нужного образца был бы разрушающий или оптический контроль.

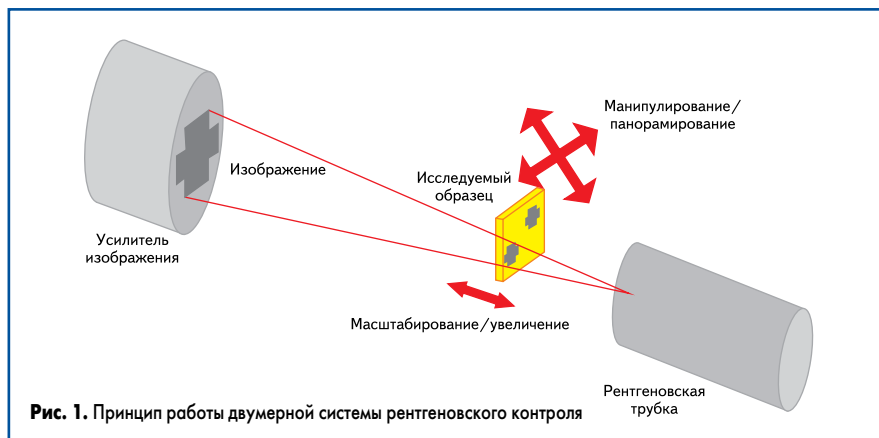
Какой рентген нужно выбирать для работы?

Правильный выбор системы рентгеновского контроля зависит от особенностей вашего производства и собираемых изделий. Но в любом случае будет полезно задать потенциальному поставщику рентгеновского оборудования следующие вопросы (если вы собираетесь использовать рентген для работы с печатными платами и электронными модулями, на которых установлены, например, BGA и флип-чипы):

- Трубка какого типа установлена в рентгене?
- Формируется ли изображение под углом за счет перемещения детектора или исследуемого образца?
- Какой максимальный угол между детектором и исследуемым образцом?
- Насколько просто управлять системой?
- Есть ли опасность столкновения подвижных элементов в системе?
- Установлен ли в системе цифровой детектор для вывода качественного изображения в режиме реального времени?
- Какова чувствительность системы по шкале оттенков серого?
- Может ли система измерять общее количество пустот в паяных соединениях BGA в процентном выражении и определять диаметр этих соединений в автоматическом и ручном режимах?
- Являются ли необходимые для работы возможности системы стандартными или опциональными?
- Какова стоимость системы, включая все необходимые опции, которые не входят в стандартную комплектацию?
- Можно ли посмотреть машину в работе и проверить в ней свои изделия до подписания договора поставки?

В чем разница между цифровыми и аналоговыми системами рентгеновского контроля?

Принципиальное различие заключается в том, что в цифровых системах рентгеновского контроля используется цифровой детектор, а в аналоговых — аналоговый. На практике это означает следующее: цифровые детекторы позволяют получить изображения с гораздо большим числом пикселей, чем аналоговые, и, что важнее, с большим количеством оттенков по шкале серого. Чем выше чувствитель-



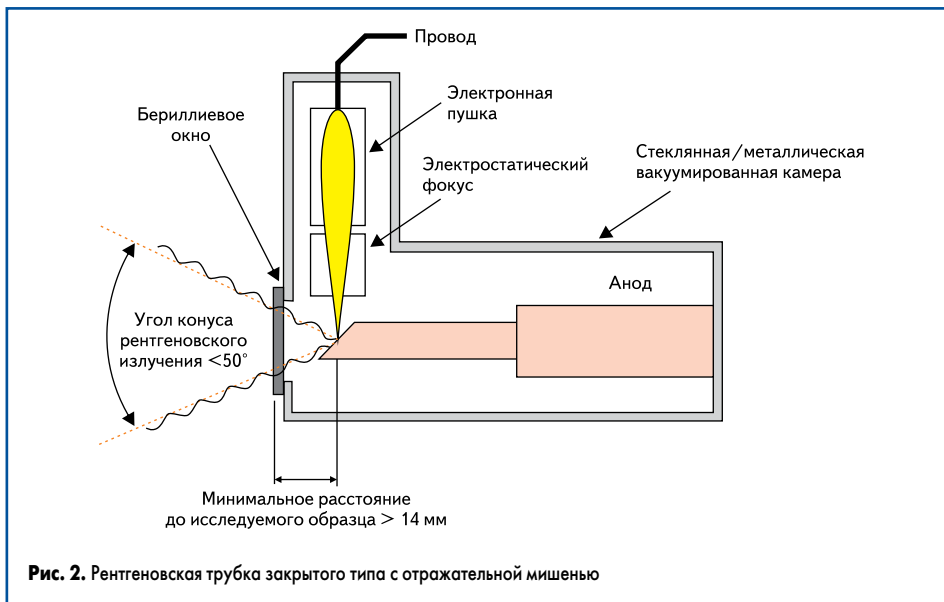


Рис. 2. Рентгеновская трубка закрытого типа с отражательной мишенью

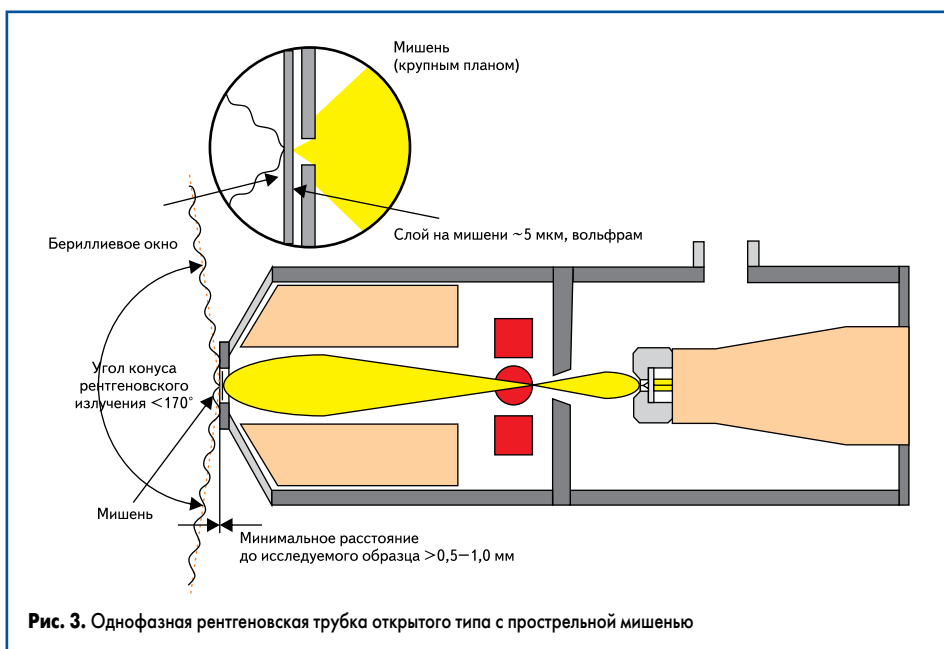


Рис. 3. Однофазная рентгеновская трубка открытого типа с прострельной мишенью

ность по шкале серого, тем отчетливее видна граница на изображении между материалами с похожей, но разной плотностью, а значит, повышается возможность точнее исследовать образец. Например, для обнаружения дефекта, известного как «пузырьки шампанского» (пустоты, расположенные в паяном соединении BGA в одной плоскости), чувствительности аналогового детектора недостаточно, ее хватает только для обнаружения пустот в самом теле паяного соединения.

Что такое трубки открытого и закрытого типа? Что такое NT-трубка? Какая между ними разница?

Рентгеновская трубка — это устройство, испускающее рентгеновские лучи. По сути, рентгеновская трубка — это цилиндр, в котором создан вакуум и возникают электроны, ускоряемые с помощью напряжения для удара о металлическую мишень. В результате удара о мишень появляются рентгеновские лучи. Вакуум нужен в трубке для того, чтобы

электроны смогли достичь мишени и не были поглощены частицами пыли, находящимися в атмосфере.

Изначально в системах рентгеновского контроля использовались трубки рентгеновского контроля, в которых вакуум создается на заводе-изготовителе и которые там же герметично запечатываются. Это трубки закрытого типа (рис. 2). В последние годы для работы с печатными платами и полупроводниками стали популярны трубки открытого типа (или обслуживаемые трубки) (рис. 3). Они позволяют добиться большего увеличения и разрешения. Их можно обслуживать (то есть в этих трубках возможен доступ к мишени и нити, которые являются расходными материалами). В трубках открытого типа вакуум создается вакуумным насосом, который поставляется вместе с системой рентгеновского контроля.

NT-трубка (рис. 4) — это трубка нового типа, в которой эффективно объединены все плюсы трубок открытого и закрытого типа. Она превосходит трубки других типов по возможности увеличения и разрешения получаемого изображения и сроку службы. NT-трубка

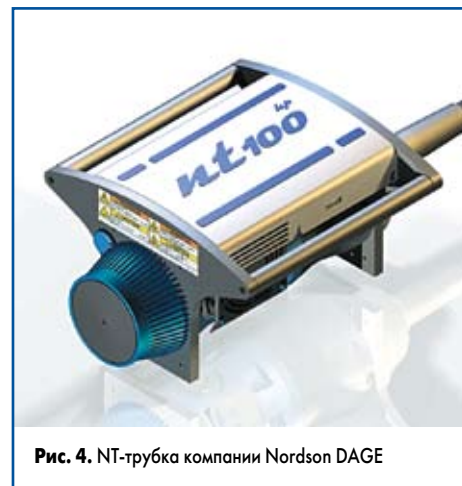


Рис. 4. NT-трубка компании Nordson DAGE

способна распознавать элементы размером до 0,1 мкм. К сожалению, из-за патентов, защищающих этот тип трубки, невозможно привести ее схематическое изображение.

Более подробную информацию о существующих типах рентгеновских трубок можно найти в статье [4].

Что может повлиять на процесс выполнения рентгеновского контроля при переходе со свинцовой на бессвинцовую пайку?

Существующие системы рентгеновского контроля способны обнаруживать дефекты в бессвинцовых материалах, например, под корпусами BGA и CSP, а также при работе с другими компонентами. Единственное, что может понадобиться сделать при переходе на бессвинцовые материалы, — это изменить некоторые настройки рентгеновской трубки, чтобы получить изображения нужной контрастности для облегчения анализа изображения.

Зачем нужно проверять BGA, флип-чипы и CSP под углом?

Если проверять шариковые выводы только под углом в 90°, то есть четко сверху, то шарик припой скроет незначительные отклонения на плоскостях соединения шарикового вывода с платой или корпусом компонента, которые можно увидеть, проверяя компоненты под углом (рис. 5). Но именно исследование этих двух плоскостей и дает больше всего информации о качестве паяного соединения. При исследовании паяного соединения под углом (причем здесь важно, чтобы была возможность выбирать угол самостоятельно) проекция шарикового вывода частично смещается и приоткрывает плоскости соединения припоя с корпусом компонента и платой, что позволяет четче увидеть форму шарикового вывода, а также пустоты в нем и в плоскостях соединения припоя.

Если представить хорошее паяное соединение BGA как футбольный мяч, зажатый (и слегка приплюснутый) между досками, то тогда его исследование под прямым углом сверху вниз ограничит полезную информацию, которую можно получить (рис. 6). Чем больше угол исследования (рис. 7), тем меньше припой шарикового вывода будет закры-

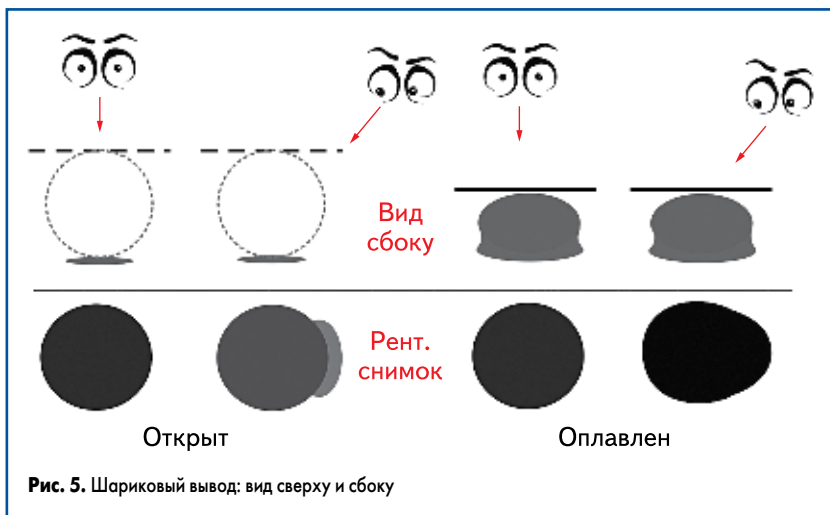


Рис. 5. Шариковый вывод: вид сверху и сбоку

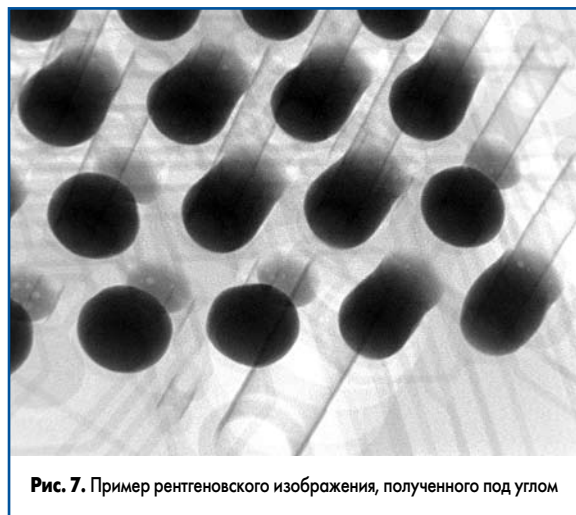


Рис. 7. Пример рентгеновского изображения, полученного под углом

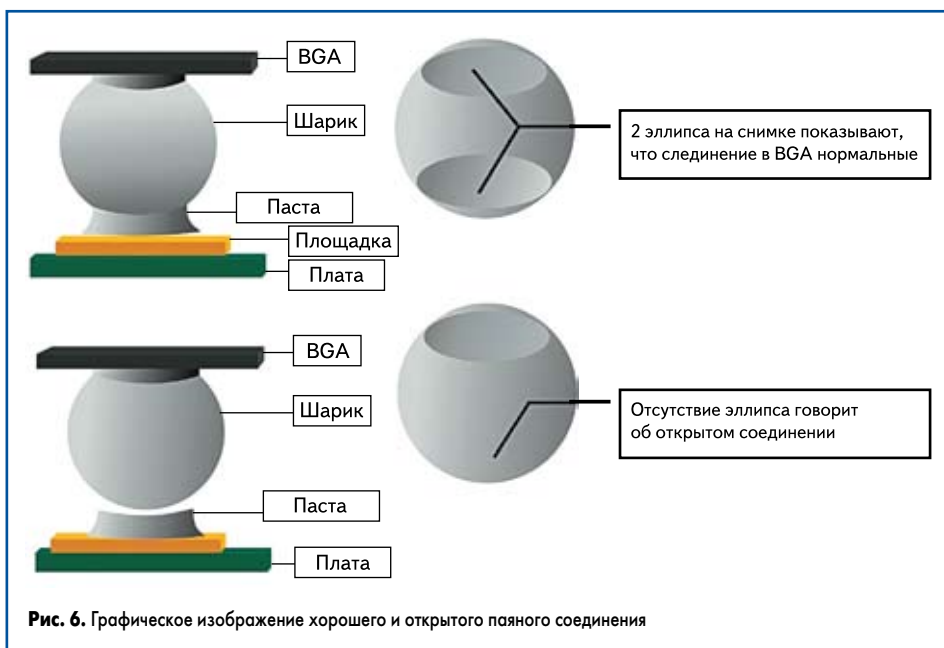


Рис. 6. Графическое изображение хорошего и открытого паяного соединения

вать места соединения с платой и корпусом компонента.

Что такое «геометрическое увеличение» системы рентгеновского контроля?

Геометрическое увеличение системы рентгеновского контроля (рис. 8, 9) можно рассчитать по формуле:

$$\Delta = \text{ФДД}/\text{ФОД}, \quad (1)$$

где ФДД — расстояние между фокусной точкой рентгеновской трубки и детектором; ФОД — расстояние между фокусной точкой рентгеновской трубки и исследуемым образцом.

Исходя из этой формулы (1), можно предположить, что чем больше расстояние между фокусной точкой рентгеновской трубки и детектором (усилителем изображения или панелью, А — на рис. 9), тем больше геометрическое увеличение. Это соответствовало бы истине, если бы сюда не вмешивались законы физики. В то время как между увеличением и расстоянием существует линейная зависимость, интенсивность рентгеновских лучей уменьшается обратно пропорционально ква-

драту этого же расстояния. Другими словами, если увеличить расстояние А в два раза, то геометрическое увеличение станет больше в два раза, но интенсивность рентгеновских лучей в самой дальней точке уменьшится в четыре раза. А значит, чтобы получить в этой дальней точке такое же количество фотонов для формирования равного по качеству изображения, понадобится в 4 раза больше времени. Поэтому в жизни приходится искать компромисс между качеством изображения, скоростью его получения и реальным увеличением изображения.

Не следует путать геометрическое увеличение с системным (или общим) увеличением (рис. 10):

$$X = d_1/d_2, \quad (2)$$

где d_1 — размер объекта на экране монитора оператора; d_2 — реальный размер объекта.

Системное увеличение всегда больше геометрического. Если использовать очень большой монитор и/или детектор для формирования изображения, то системное увеличение может выражаться очень большим числом, не имеющим никакого практического значения. Некоторые усилители изображения

могут работать в так называемом двойном или даже тройном режиме, что существенно влияет на число системного увеличения, но абсолютно никак не влияет на геометрическое увеличение системы.

Как узнать, какую часть исследуемого образца мы видим на экране, особенно если работаем с сильно увеличенным изображением?

Оператор системы рентгеновского контроля Nordson DAGE может быстро получить «карту навигации» по всему рентгеновскому изображению отдельной платы панели или компонента с помощью «мастера» изображения программного обеспечения системы. Карта навигации составляется как мозаика из рентгеновских снимков. Небольшой прямоугольник на карте четко показывает, какой участок исследуемого образца отображается на экране. При изменении увеличения участок, обозначаемый этим прямоугольником, также меняется. И оператор всегда знает, какой именно участок образца исследуется, независимо от используемого увеличения.

В системах Nordson DAGE не используются лазерные указатели или дополнительные камеры для обозначения места исследования образца. И так как карта навигации — это рентгеновское изображение, то одновременно можно видеть сразу обе стороны платы, что облегчает поиск и обнаружение дефектов.

Перемещение изображения в новое место исследования осуществляется одним щелчком мыши на карте навигации. Программное обеспечение быстро перемещает соответствующие элементы системы в нужное положение. Используемый в данный момент угол исследования образца сохранится, а благодаря продуманной конструкции системы и умной работе программного обеспечения столкновение элементов системы невозможно.

Что такое компьютерная томография? Нужна ли она для работы с печатными платами или полупроводниками?

Если сравнить 2D рентгеновское изображение печатной платы или полупроводникового изделия с рентгеновским снимком сломанной

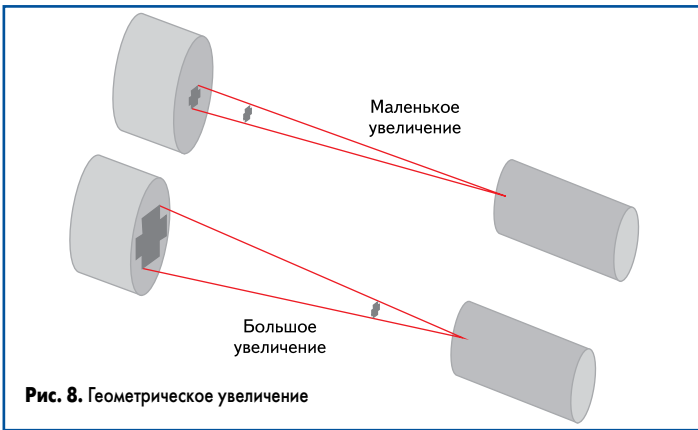


Рис. 8. Геометрическое увеличение

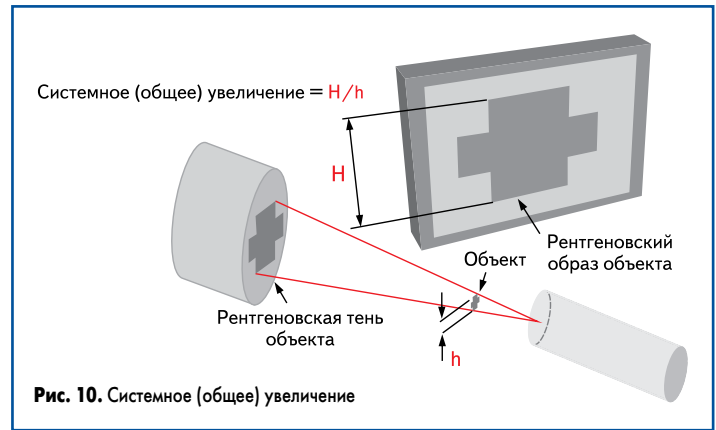


Рис. 10. Системное (общее) увеличение

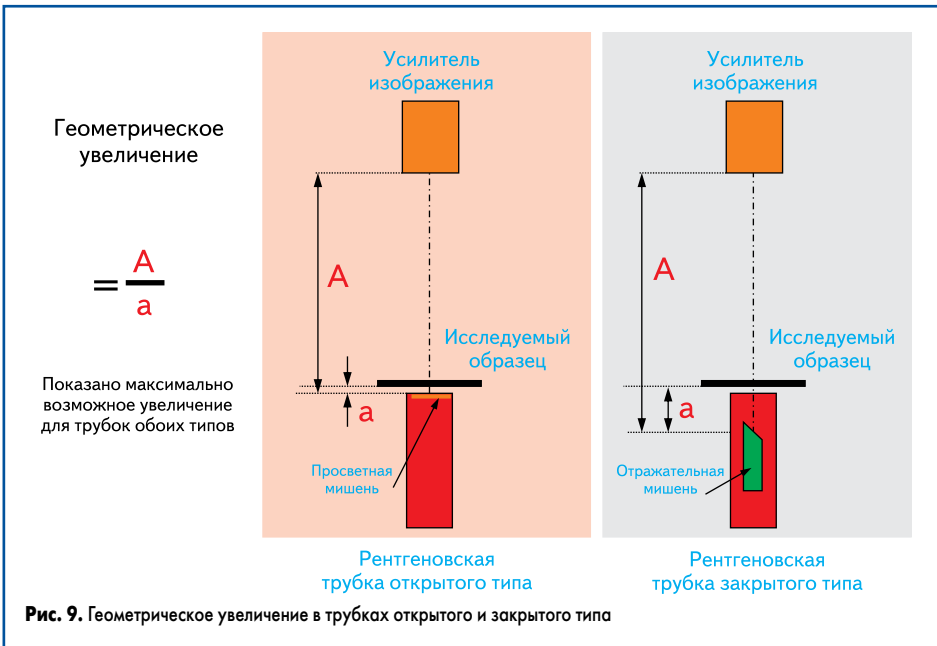


Рис. 9. Геометрическое увеличение в трубках открытого и закрытого типа

руки или ноги человека, то компьютерную томографию можно сравнить с рентгеновским снимком тела человека, полученным в больнице методом аксиальной компьютерной томографии. При компьютерной томографии делается множество 2D рентгеновских снимков исследуемого объекта по всей его длине и под всеми возможными углами поворота этого объекта. Затем полученные изображения передаются в компьютер, который воспроизводит объект, соединяя все полученные изображения. Точность воспроизведения зависит от точности позиционирования образца во время получения изображений. Именно поэтому во время процедуры человек должен сохранять неподвижность.

К сожалению, необходимые для работы с печатными платами и полупроводниковыми изделиями увеличение и разрешение накладывают некоторые ограничения на исследуемые образцы. Так, например, размер образца, пригодного для компьютерной томографии в электронной промышленности, обычно ограничен и не может превышать 10×10 мм. К тому же, чем выше должно быть разрешение и чем больше исследуемый образец, тем больше требуется времени для построения модели на компьютере (от нескольких десятков минут до нескольких часов).

Поэтому при обдумывании вопроса необходимости инвестирования в систему с опцией

компьютерной томографии рекомендуется задать себе следующие вопросы:

- Сможет ли система с опцией компьютерной томографии, используемая в электронной промышленности, предоставить больше информации об исследуемом образце, чем гораздо более быстро получаемое двухмерное изображение этого же образца, полученное на такой же системе рентгеновского контроля без опции компьютерной томографии?
- Каков максимально возможный размер исследуемого образца?



Рис. 11. Пример построения 3D-модели

- Нужно ли разрушать исследуемый образец (например, вырезать какой-то участок платы), чтобы создать его трехмерную модель?
- За какой промежуток времени создается трехмерная модель этого объекта, и какое у нее разрешение?
- Если пожертвовать разрешением в пользу скорости построения модели, то будет ли качество полученной модели достаточным для анализа?

Существует ли в системах рентгеновского контроля компании Nordson DAGE опасность столкновения трубки и исследуемого образца?

Продуманная конструкция систем рентгеновского контроля компании Nordson DAGE (напомним, что рентгеновская трубка находится под рабочим столом с исследуемым образцом, рис. 12 и 13) и умное программное обеспечение полностью исключают возможность столкновения образца с каким бы то ни было элементом конструкции машины. Это позволяет оператору перемещаться по карте навигации простым щелчком мыши, а также безболезненно изменять угол исследования образца даже при большом увеличении.

Чтобы получить в системе рентгеновского контроля максимальное увеличение, необходимо расположить исследуемый образец как можно ближе к рентгеновской трубке. Так как в системах рентгеновского контроля компании Nordson DAGE трубка расположена под рабочим столом с исследуемым образцом, то опасность столкновения трубки с исследуемым образцом исключена. В тех же системах, где трубка расположена над ним, необходимо настраивать движение трубки относительно самой высокой части этого образца. Это значит, что возможное увеличение тех областей, которые расположены дальше этой точки, будет снижено, а значит, будет меньше возможность их тщательного анализа. Поэтому при работе с такой конструкцией рентгена единственным решением достигнуть максимально возможного увеличения изображения будет отключить систему предотвращения столкновения. Это позволит хорошо обученному оператору осторожно подвинуть исследуемый образец вручную ближе к трубке, чтобы улучшить возможности увеличения



Рис. 12. Система рентгеновского контроля Nordson DAGE с усилителем изображения



Рис. 13. Система рентгеновского контроля Nordson DAGE с плоскопанельным детектором

изображения. Но и в этом случае опасность столкновения образца и трубки будет очень высока независимо от опыта оператора.

В системах рентгеновского контроля Nordson DAGE исследуемый образец всегда находится в горизонтальном положении на столе, который перемещается по осям X, Y и Z (увеличение изображения). Детектор, входящий в стандартный комплект поставки, движется по осям X и Y, что позволяет исследовать образец вокруг любой его точки под углом до 70°. Рабочая область в системах XD7600 и XD7500 составляет 458×407 мм, а в системах XD7000 и XD7100 — 601×508 мм.

Какая система рентгеновского контроля лучше: с усилителем изображения или плоскопанельным детектором?

Ответить на этот вопрос однозначно нельзя. Все зависит от сферы применения системы и типа исследуемых образцов. Так, системы с плоскопанельными детекторами изначально разрабатывались для медицинского использования, поэтому в таких рентгеновских установках не уделялось большого внимания размеру изображения и количеству пикселей. Сегодня некоторым производителям удалось достичь более или менее приемлемого качества изображения в 1 Мпиксель. Еще одной слабой стороной систем с плоскопанельным детектором является их чувствительность к радиации из-за использования элементов

из незащищенного аморфного кремния. Использование рентгена в медицинских целях не представляет здесь никакой трудности, так как такие системы не работают в непрерывном режиме и в них используется небольшое значение кВ. В электронной промышленности с ее напряженным графиком работы и высокими значениями кВ это приводит к износу плоскопанельного детектора и необходимости его замены через 2–3 года.

Так как плоскопанельные детекторы больше по размеру обычных усилителей изображения, это также может сказаться на возможности увеличения изображения и изменении размера пикселей в большую сторону.

Однако последние разработки в области плоскопанельных детекторов позволили выпустить на рынок не чувствительные к радиации (из-за использования альтернативного материала) детекторы в 1,3 и 3 Мпикселя и со скоростью 25 кадров/с (компания Nordson DAGE). В результате появления системы рентгеновского контроля с плоскопанельным детектором с такими характеристиками стало возможно эффективно использовать его в электронной промышленности, особенно для анализа медных перемычек в компонентах, которые все чаще заменяют золотые.

Слабой стороной усилителей изображения могут быть: качество работы камеры и линзы в ней, изогнутость линзы и шумы на изображении. Поэтому некоторые компании, чтобы избежать проблемы с изогнутостью линзы, устанавливают в системы рентгеновского кон-

троля большие усилители, в которых используется только центральная часть. И лишь некоторые компании (например, Nordson DAGE) эффективно используют всю поверхность линзы за счет программных решений, позволяющих устранить шумы и компенсировать изогнутость линзы.

Сильная сторона систем с усилителем изображения — возможность анализа более мелких объектов по сравнению с системами с плоскопанельным детектором.

Подводя итог, можно сказать, что, выбирая между системами с усилителем изображения и плоскопанельным детектором, нужно сначала понять, образцы с какими материалами будут использоваться для анализа, каков размер минимальных исследуемых элементов и какая требуется скорость инспекции. После выбора системы того или иного типа нужно убедиться, что выбранная система соответствует требованиям именно электронной промышленности.

Литература

1. <http://www.nordson.com/en-us/divisions/dage/pages/default.aspx>
2. Bernard D. A practical guide to X-Ray inspection criteria and common defect analysis. DAGE Precision Industries.
3. Bryant K. Recent Advances in X-Ray Technology.
4. Бернанд Д. Критерии выбора рентгеновской трубки // Технологии в электронной промышленности. 2010. № 4.