



# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕНТГЕНОВСКИХ АППАРАТОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТОМОГРАФОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ ИНСПЕКЦИИ

Михаил Зверев  
info@ostec-ct.ru

Сегодня многие предприятия радиоэлектронной отрасли имеют потребность в проведении томографии. Прежде всего, это производители микроэлектроники, узлов СВЧ, сложных печатных плат. Однако применение томографии в производстве радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) в нашей стране и по сей день является экзотикой. Одной из причин такого положения является недостаток финансирования.

Действительно, затраты на оборудование и программное обеспечение (ПО) для томографии велики даже по сравнению с обычным рентгеновским аппаратом. Цена томографа, как правило, в 1,5-2 раза выше стоимости рентгеновского аппарата аналогичного класса. Под классом понимается мощность и разрешающая способность рентгеновской трубки, максимальный размер исследуемого образца.

Из чего же складывается такая большая разница в стоимости аппаратов? В этой статье мы попробуем разобраться, почему томографы столь недешёвы, и есть ли на то веские причины. Представим себе рентгеновский аппарат/томограф в виде основных частей:

1. излучающая рентгеновская трубка;
2. детектор, регистрирующий излучение;
3. манипулятор для управления положением исследуемого образца;
4. корпус аппарата;
5. рабочая станция для построения изображения;
6. ПО для обработки изображения и построения 3D модели.

## 1. ИЗЛУЧАЮЩИЕ ТРУБКИ

Излучающие трубки рентгеновских томографов претерпели некоторые изменения по сравнению с трубками традиционных аппаратов для проведения 2D инспекции. Прежде всего это касается системы охлаждения. Томографы, предназначенные для точных измерений, как правило, имеют систему принудительного охлаждения трубки. И это неспроста.

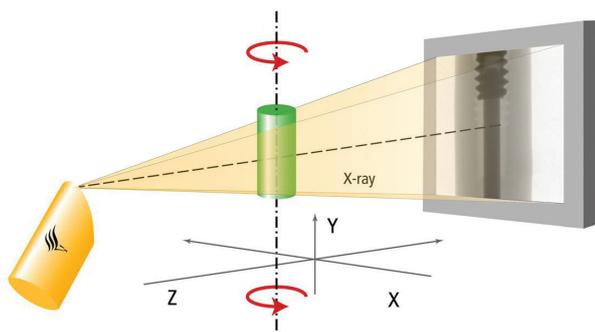


Рис. 1 Получение последовательности 2D проекций образца

Дело в том, что в процессе работы трубка нагревается, и это естественным образом ведёт к изменению её размеров. В 2D аппаратах этим фактом можно пренебречь.

В томографе игнорировать тепловое расширение трубки уже невозможно. Трубка снимает исследуемый образец под разными углами (рис. 1). Затем полученная последовательность 2D проекций с помощью ПО превращается в 3D модель. В зависимости от требуемой точности, необходимо сделать от нескольких сот до нескольких тысяч 2D снимков. Всё это приводит к повышенному нагреву трубки, тепловое расширение при этом составляет доли миллиметра. Но мы измеряем микроны, и для нас такая ситуация недопустима. Компенсация теплового расширения трубки и обуславливает обязательное применение её принудительного охлаждения (рис. 2). И результат себя вполне оправдывает (рис. 3).

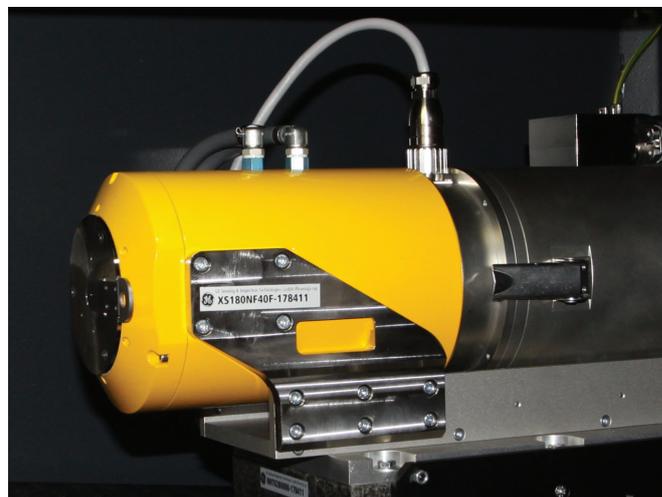


Рис. 2 Излучающая трубка рентгеновского томографа nanotom s

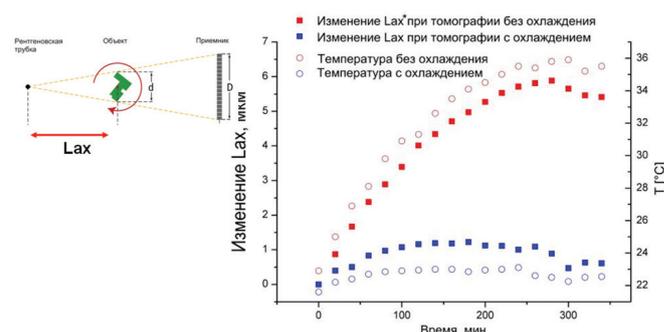
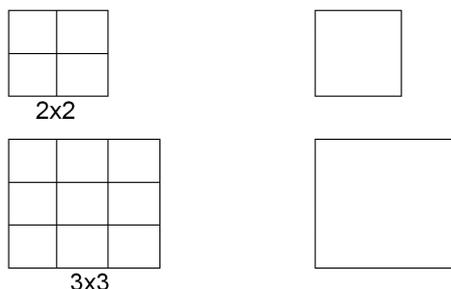


Рис. 3 Компенсация теплового расширения рентгеновской трубки томографа nanotom s

## 2. ЦИФРОВОЙ ДЕТЕКТОР

В подавляющем большинстве компьютерных томографов используются цифровые детекторы. К сожалению, фотоэлектрические усилители (ФЭУ), используемые в 90% традиционных 2D аппаратов, не могут конкурировать с цифровыми детекторами по качеству изображения. Поэтому в томографии ФЭУ, как правило, не применяются. Всё сказанное по поводу режимов работы трубок в равной степени относится и к детектору, регистрирующему изображение. Данное устройство находится в работе постоянно, создавая десятки снимков в минуту. Однако не все детекторы могут выдержать подобный режим эксплуатации, делая снимки с полным разрешением. Несовершенство детекторов привело к появлению режима биннинга, суть которого в том, что изображение с 4-х или 9-ти соседних пикселей усредняется в один большой пиксель.



Как видим, с ростом биннинга растёт размер «усреднённого» пикселя. Это приводит к ухудшению детализации изображения соответственно в 4 или 9 раз. Покупая «бюджетную» установку, заказчик не совершает выгодную сделку. 3D модель, полученная в режиме биннинга, далеко не всегда приемлема по точности. Попытка же построения модели с максимальным разрешением на «бюджетной» технике обычно связана с существенным расходом времени. Дешёвый детектор при максимальном разрешении не может работать быстро.

Инженеры компании GE Sensing@Inspection Technologies phoenix|x-ray сфокусировались на детекторах с системами жидкостного охлаждения. Это повысило контрастность до значения 10000:1 и увеличило скорость работы. К примеру, детектор DXR250RT работает с максимальным разрешением со скоростью 30 кадров/сек. Дополнительная система охлаждения естественным образом привела к общему удорожанию установки. Тем не менее, регулярный рост количества заказанных установок говорит о готовности заказчиков платить дополнительные деньги в случае, когда прирост качества виден невооружённым глазом (рис. 4).

В томографии борются взаимоисключающие тенденции:

1. Желание заказчиков проводить томографические исследования образцов всё большего размера.
2. Нежелание заказчиков платить астрономические суммы за детекторы большого размера. Увеличение физических размеров детекторов ведёт к увеличению размера полупроводниковой светочувствительной матрицы, а это всегда влияет на стоимость.

Производители по-разному пытаются разрешить это противоречие. К примеру, в установках компании GE Sensing@Inspection Technologies phoenix|x-ray детектор перемещается вдоль образца. Полученные части изображения затем «сшиваются» в единую 3D-модель с помощью специализированного ПО. Ранее такое решение применялось при использовании линейных детекторов.

Несмотря на кажущуюся простоту, это связано с некоторыми техническими трудностями. Для успешной сшивки изображения требуется прецизионная система перемещения детектора (рис. 5). И снова приходится констатировать, что оснащение томографа подобной системой перемещения детектора отнюдь не приводит к уменьшению её стоимости.



Рис. 4 Снимок, полученный на цифровом детекторе GE DXR250

## 3. МАНИПУЛЯТОР

В томографии точность манипулятора – одна из важнейших характеристик. Очевиден тот факт, что для проведения измерений с микронными точностями, манипулятор должен быть прецизионным и хорошо защищённым от вибраций.

В компьютерных томографах ведущих производителей для этого применяются пневматические подшипники (рис. 6). Такое техническое решение позволяет существенно снизить амплитуду вибраций, передающихся на образец во время его вращения. Время затухания колебаний также уменьшается, что позволяет делать 2D проекции в более быстром темпе. Манипуляторы в обычных рентгеновских аппаратах выполнены гораздо проще. Они обеспечивают меньшую конструкционную жёсткость и гораздо меньшие размеры инспектируемого образца (рис. 7).

## 4. КОРПУС АППАРАТА

Корпус компьютерного томографа выполняет две важнейшие функции:

- защиту персонала от рентгеновского излучения;
- обеспечение низкого уровня колебаний, передающихся на образец во время работы.

С защитой от рентгеновского излучения всё понятно – чем больше размер инспектируемого образца, тем больше размеры имеет манипулятор. Всё это находится внутри корпуса, поэтому размеры корпуса возрастают с ростом размера образца.

Толщина и вес защиты также возрастают, т.к. инспектирование образцов большего размера требует большей мощности излучения. Но и возрастание веса корпуса не всегда достаточно для гашения колебаний. Для решения этой проблемы применяется множество технических ухищрений. Одно из них – установка томографа на массивное гранитное основание (рис. 8). Труднотворность изготовления подобных изделий весьма высока и сильно влияет на конечную стоимость томографа.

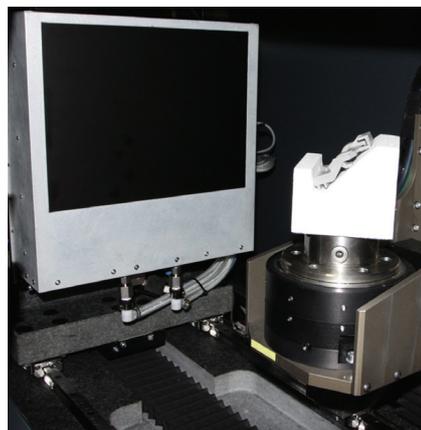


Рис. 5 Детектор установки папотом m с прецизионной системой перемещения и системой жидкостного охлаждения

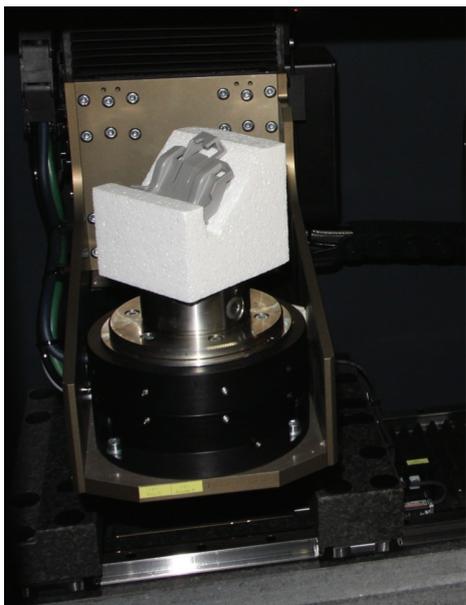


Рис. 6 Пневматический подшпикник в манипуляторе томографа panotom m

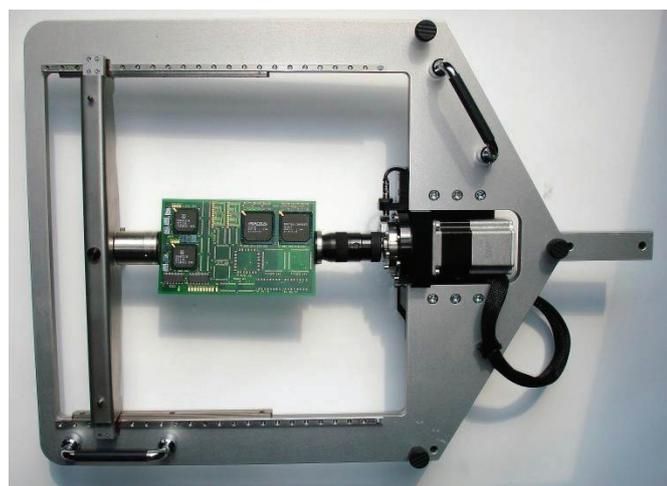


Рис. 7 Манипулятор для проведения томографии в обычном рентгеновском аппарате

## 5. РАБОЧАЯ СТАНЦИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Если сказать в двух словах, то чем мощнее используемые компьютеры, тем быстрее будет строиться 3D модель образца. Экономить на компьютерах ни в коем случае не нужно – их доля в цене установки всё равно невелика. При этом время, сэкономленное при получении результатов, подчас намного дороже. Как правило, для построения моделей используются высокопроизводительные многопроцессорные графические станции. Специальное программное обеспечение позволяет распределять задачу на несколько машин, чтобы работа шла в параллельном режиме (рис. 9).

## 6. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Программное обеспечение для реконструкции 3D изображений составляет весомую часть в общей стоимости рентгеновского томографа. ПО можно разделить на два подкласса:

- ПО для получения 2D изображений;
- ПО для построения 3D-модели.

ПО для получения 2D изображений обычно пишется компанией-производителем томографа. Кроме непосредственно управления аппаратом, подобное ПО может включать множество модулей – компенсации жёсткости излучения, различные решения для увеличе-



Рис. 8 Томограф v|tome|x L450 на гранитном основании

ния скорости получения проекций и т.д. Стоимость подобного ПО определяется исключительно маркетинговой политикой компании-поставщика оборудования и может варьироваться в широких пределах.

ПО для построения 3D-модели является весьма сложным и пишется сторонней организацией. Стоимость подобного ПО весьма высока, но без него все остальные затраты на томографию теряют смысл. Как негласный стандарт с большинством томографов в настоящее время поставляется программа VG Studio Max.

Крайне интересны томографы, оснащённые двумя рентгеновскими трубками. Универсальность позволяет использовать такие аппараты для контроля широкой номенклатуры образцов: от металлических отливок до печатных узлов. Но тема эта столь обширна, что подобным установкам будет посвящена отдельная статья в одном из следующих номеров бюллетеня «Поверхностный монтаж».

В заключение следует сказать несколько слов о традиционных рентгеновских аппаратах, дооборудованных функцией томографии. С точки зрения экономии средств – это хороший вариант. Однако есть у этого пути один крайне негативный фактор – малый максимальный размер исследуемого образца. Как правило, максимальные размеры образцов для 2D и 3D инспекции у подобных аппаратов различаются на порядок, и для 3D этот размер в лучшем случае составляет 50x50 мм. Очевидно, что инспекция образцов такого размера применима только в микроэлектронике и в производстве миниатюрных печатных узлов. Для большинства производителей такие размеры образца являются недостаточными. В этих случаях для полноценного внедрения томографии требуется покупка специализированного томографа (и, соответственно, определенные расходы). Для грамотного выбора аппарата необходимо обращаться к специалистам, чтобы не переплачивать деньги за ненужные опции и выбирать именно то оборудование, которое оптимально подходит для решения ваших задач. ■

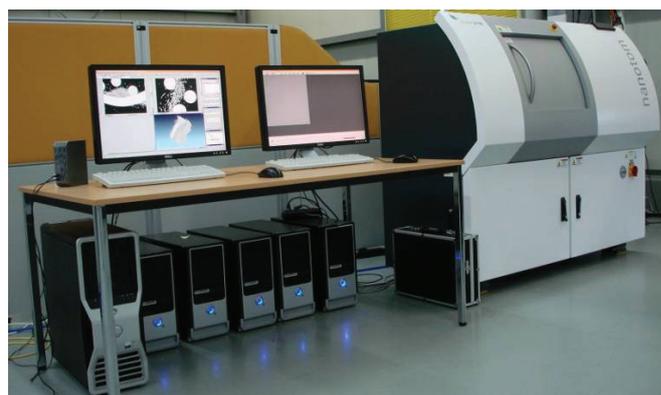


Рис. 9 Компьютерный кластер томографа panotom m