

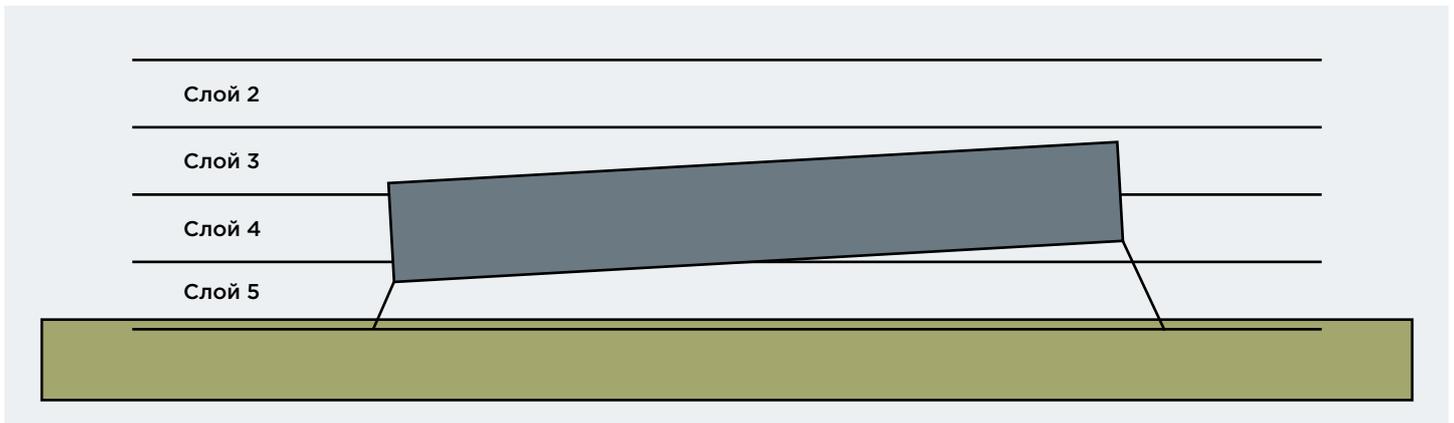
ТЕХНОЛОГИИ

Послойная акустическая микроскопия Sonoscan

Текст: **Томас Адамс**
Илья Нотин
Алексей Чабанов

”

Задача акустической микроскопии — отображение и анализ внутренних структур в изделиях без их разрушения. Для этой цели используются ультразвуковые импульсы, направленные к поверхности образца, с последующей регистрацией отраженного сигнала. Ультразвуковой импульс отражается исключительно на границах раздела материалов, что позволяет увидеть как структуру изделия, так и имеющиеся дефекты. Например, граница раздела эпоксидного компаунда и кремниевого кристалла отражает около 70 % энергии ультразвукового импульса. Остальная часть проходит через границу вглубь образца, где она, в свою очередь, может отразиться от других границ раздела материалов, обеспечивая тем самым наглядное изображение внутренней структуры исследуемого образца.



1
Схема расположения слоев при исследовании компонента в пластиковом корпусе типа BGA

Микросхемы в пластиковом корпусе и другие изделия электроники могут иметь границы раздела на различных глубинах. Амплитуда отраженного сигнала зависит от комбинации материалов, формирующих границу раздела. При оценке надежности компонента один из главных факторов, влияющих на надежность, — наличие дефектов типа воздушных полостей в твердых материалах. Любая подобная граница раздела (воздух — твердое тело) отражает практически 100 % импульса. На акустических изображениях такие полости обозначаются белым цветом. Этот цвет обычно говорит о наличии таких дефектов, как отслоения, непропаи, трещины и пустоты. Амплитуда отраженного сигнала на границе раздела двух твердых материалов меньше и отображается на акустическом изображении в серых тонах. Программно можно назначить и другие особые цвета для отображения различных диапазонов амплитуд.

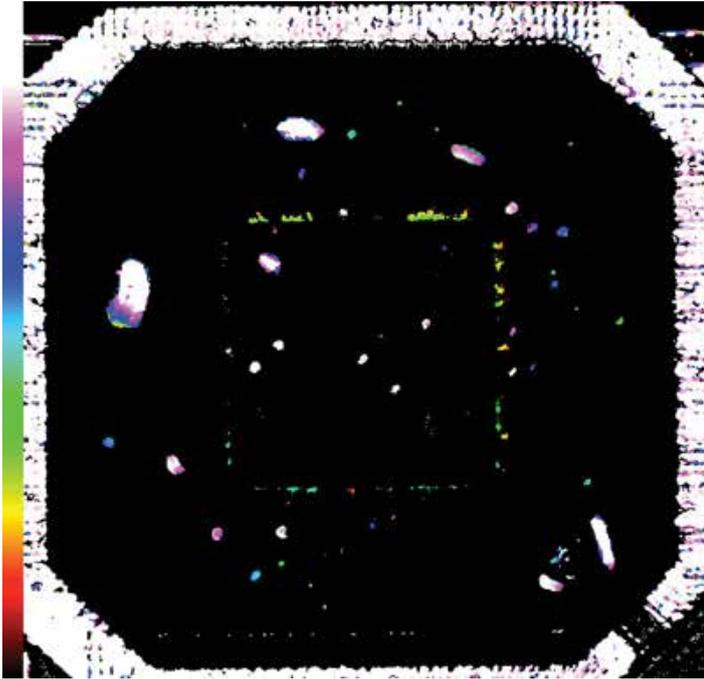
Если на преобразователь акустического микроскопа поступает отраженный сигнал с различных глубин, то полученное изображение может оказаться сложным для анализа. Акустическое изображение обычно представляет собой поле в плоскости XY, но при наличии дефектов на разных глубинах залегания (по оси Z) сложно определить по изображению, на какой глубине он находится. К примеру, если имеется участок белого цвета, трудно сказать, является ли он признаком отслоения компаунда от верхней поверхности кристалла или клеевого слоя между кристаллом и подложкой. В случае микросхем в пластиковых корпусах пустоты в корпусе могут располагаться на различных глубинах.

Для решения данной проблемы можно использовать фильтрацию сигнала с заданием диапазона по глубине. Например, зачастую требуется исследовать область

между кристаллом и компаундом, так как именно там возникает большая часть дефектов, приводящих к отказам компонента. При задании диапазона по глубине, несмотря на то, что преобразователь будет воспринимать все приходящие на него сигналы, программное обеспечение отобразит только те сигналы, время регистрации которых соответствует заданному диапазону глубин. Однако следует помнить, что дефекты могут возникать и на других глубинах, которые не вошли в заданный диапазон.

Компания Sonoscan решила эту проблему, разработав систему, одновременно создающую несколько акустических изображений на различных диапазонах глубин при сканировании образца. При этом время, затрачиваемое на полное сканирование образца, не изменяется, т.к. скорость перемещения преобразователя остается прежней. Для получения изображений верхней и нижней частей кристалла оператор задает два диапазона глубин и получает два изображения области на заданных глубинах. При необходимости оператор может задать десятки и даже сотни таких диапазонов. Программное обеспечение выполнит фильтрацию входящего сигнала и сохранит полученные изображения в отдельные файлы.

Обычно задается более двух диапазонов (слоев) сканирования. Для более полного исследования структуры компонента в пластиковом корпусе и более точного выявления дефектов могут потребоваться шесть, 10 или более диапазонов глубин. Пластиковый компонент в корпусе типа BGA (используемый для примера в статье) помимо прочего имеет дефект монтажа кристалла: кристалл наклонен относительно плоскости подложки. При исследовании данного компонента были получены семь акустических изображений слоев толщиной около



2
Акустическое изображение слоя № 2 верхней части компонента. Заметны пустоты и верхние части проволочных соединений

250 мкм, расположенных на различных глубинах. Слой вблизи верхней поверхности кристалла практически не имеет границ раздела материала за исключением пустот. На рис 1 приведена схема расположения четырех из семи заданных слоев (с № 2 по № 5).

При задании диапазонов глубин возможно получение изображений распределения амплитуд сигнала, полярности и/или времени регистрации сигнала (т.е. расстояния до преобразователя). Все приведенные в данной статье акустические изображения отражают распределение амплитуды сигнала в границах заданных диапазонов. Задаваемые слои могут иметь как одинаковые, так и различные толщины. Наименьшим возможным значением толщины слоя является расстояние, которое ультразвуковой импульс проходит в данном материале за 1 нс. Так, скорость распространения звука в компаундах, используемых в электронике, составляет около 3000 м/с. Это значит, что минимальная толщина исследуемого слоя в таком материале составит 3 мкм. Скорость распространения звука в кремнии и меди составляет соответственно около 8300 м/с и 5010 м/с.

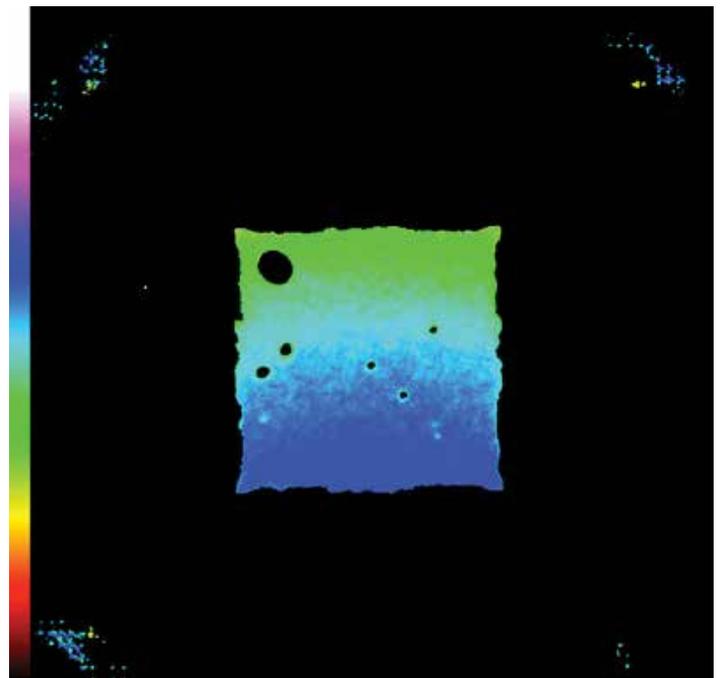
На рис 2 приведено акустическое изображение слоя № 2 компонента в пластиковом корпусе типа BGA. Данный слой включает область вблизи верхней поверхности кристалла. Белые, розовые и синие участки соответствуют пустотам в компаунде. Так, белый цвет соответствует максимальному значению амплитуды отраженного сигнала, за ним следуют розовый и синий цвета. Квадратная структура в центре сформирована верхними частями проволочных выводов, возвышающихся над кристаллом, сам же кристалл не виден.

На рис 3 показано акустическое изображение слоя № 3 того же компонента. В нижней части преобладает синий цвет, плавно переходящий в зеленый, что говорит о том, что кристалл наклонен. Синий цвет показывает, что в этой области кристалл располагается ближе к верхней границе исследуемого слоя, зеленый — соответствующая область кристалла находится глубже.

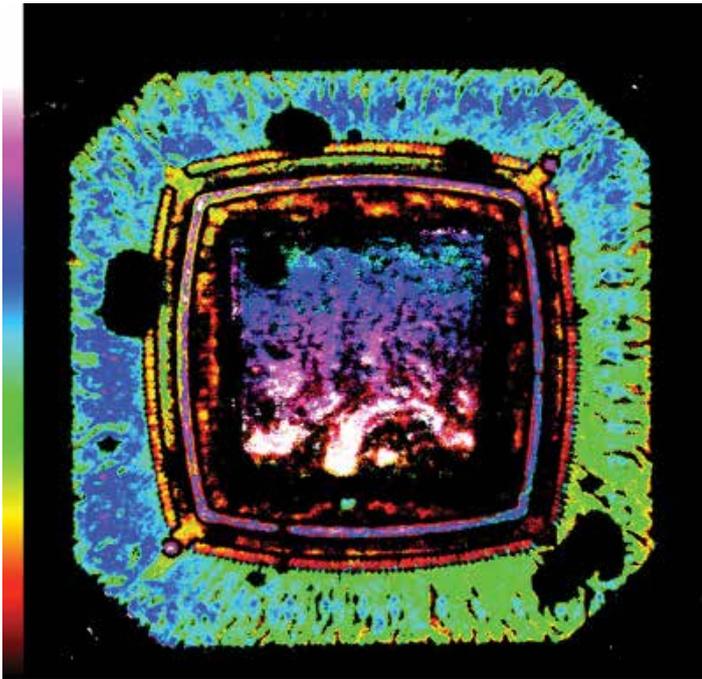
Черные участки на изображении — акустические тени пустот, располагающиеся в вышележащих слоях. Происходит следующее: ультразвуковой импульс практически полностью отражается от пустот, лежащих выше, однако отраженные импульсы фильтруются согласно текущему заданному диапазону толщины. Таким образом, ультразвуковой импульс достигает интересующей нас границы кристалл-компаунд за исключением части импульса, отраженной упомянутыми пустотами, что и приводит к появлению темных областей.

На рис 4 приведено изображение части кристалла и клеевого слоя. Пустоты, находящиеся выше, дают акустические тени, как и в предыдущем случае. Попавшая на изображение верхняя часть наклоненного кристалла окрашена в синий цвет. Наибольший интерес представляют необычные структуры в нижней части, которые могут быть пустотами или другими дефектами клеевого слоя.

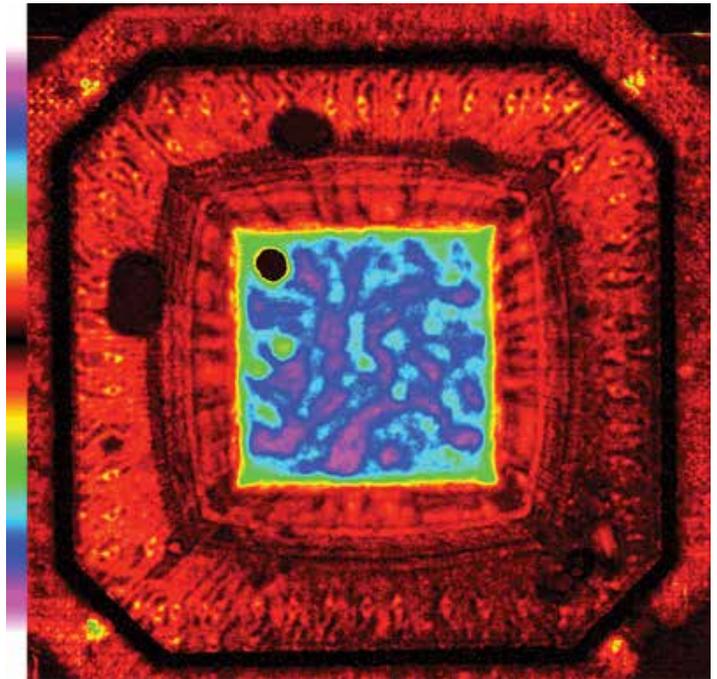
Поверхность клеевого слоя наклонена относительно плоскости изображения (и верхней плоскости компонента), как и сам кристалл. Подложка также выглядит наклоненной, даже учитывая, что изображение отражает распределение амплитуды сигнала, а не пройденное им расстояние. Причиной подобного наклона может быть различие в толщине компаунда: в нижней правой части он может быть толще, чем в верхней левой.



3
Акустическое изображение слоя № 3. Видна поверхность наклоненного кристалла



4 Акустическое изображение слоя № 4, включающего части кристалла и клеявого слоя



5 Акустическое изображение слоя № 5. Видна структура клеявого слоя и наклон подложки

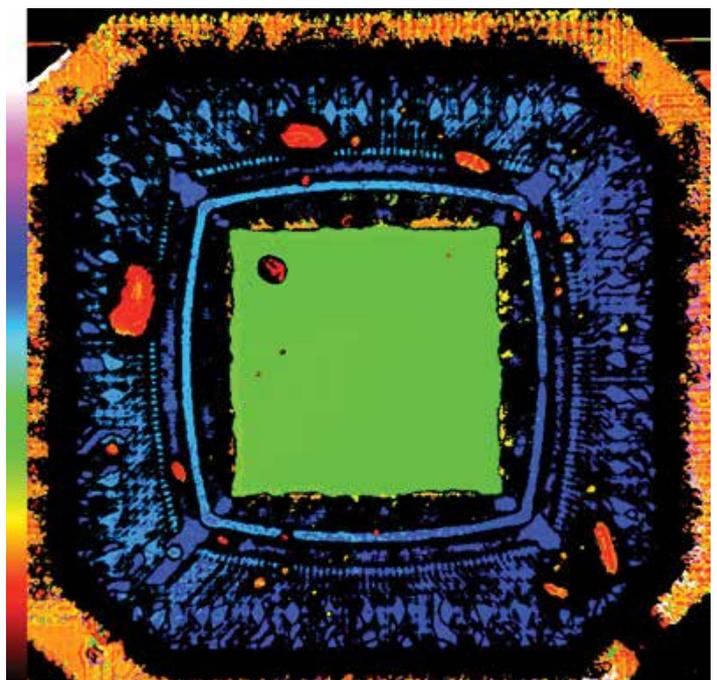
На рис 5 можно увидеть акустическое изображение слоя № 5, который дает представление о структуре клеявого слоя. Розовые участки соответствуют полостям в клеювом слое, а сине-зеленые — областям с хорошей адгезией. На изображении видна и акустическая тень полости в компаунде. Подложка немного наклонена (изображение справа внизу темнее), как и на предыдущем изображении.

На рис 6 представлено не просто акустическое изображение одного слоя. Данное изображение было получено путем регистрации расстояния, пройденного сигналом, с последующим заданием соответствующего цвета. Таким образом, цвета не обозначают дефекты типа пустот. Красным цветом показаны области, расположенные к преобразователю ближе других. В данном случае это полости в верхней части корпуса. Зеленым цветом обозначена поверхность кристалла. Нижняя левая область включает цвета от синего до розового, что говорит о большом расстоянии до преобразователя. Наклоненный кристалл окрашен целиком в зеленый цвет — его площадь намного меньше площади подложки.

Четыре акустических изображения слоев: №№ 2, 3, 4 и 5, рассмотренные выше, позволяют последовательно исследовать внутреннюю структуру компонента типа BGA путем задания следующих друг за другом диапазонов глубин. Каждый заданный слой имеет толщину около 250 мкм. Данный компонент можно исследовать и с использованием 30 слоев толщиной около 40 мкм.

Рассмотренный метод позволяет осуществить тщательный анализ структуры компонентов в пластиковых

корпусах, анализ керамических конденсаторов и других изделий, имеющих слоистую или сложную структуру, включающую дефекты, расположенные на различных глубинах. Это, в свою очередь, дает технологам неоценимые преимущества и возможности при анализе причин отказов компонентов и существующей технологии производства. [N]



6 Акустическое изображение компонента с распределением пройденного сигналом расстояния