

МИКРОСХЕМЫ В ПЛАСТИКОВОМ КОРПУСЕ: ТРИ РЕЖИМА АКУСТИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ

И.Нотин¹, А.Чабанов¹, Т.Адамс²

УДК 620.179
ВАК 05.11.00

Представьте себе крошечный, невидимый глазу пузырек воздуха, попавший под кристалл в процессе его монтажа на микросхему, которая затем запечатывается в пластиковый корпус. Несмотря на небольшие размеры пузырька, эта полость после монтажа кристалла может занимать до половины площади контакта кристалла с подложкой при толщине полости 10 мкм, что является серьезным дефектом. В процессе работы компонента полость может увеличиться, что приведет к нарушению отвода тепла от кристалла и, как следствие, к перегреву и выходу компонента из строя. Подобные дефекты важно обнаруживать на этапе сборки изделия.

Для обнаружения дефектов микросхем широко используются системы акустической микроскопии компании Sonoscan. С их помощью можно проводить неразрушающий контроль компонентов, а также выстраивать изображения внутренней структуры изделий, включая трехмерные, без разрушения самого компонента. В сегменте инструментов акустической микроскопии Sonoscan – широкий спектр программных и аппаратных средств работы с ультразвуковыми сигналами для создания акустических изображений внутренних структур изделий. Рассмотрим три из них.

РЕЖИМ ОТРАЖЕННОГО СИГНАЛА

Режим отраженного сигнала используется наиболее часто, например, для выявления полостей при монтаже кристаллов. Преобразователь акустического микроскопа направляет к изделию высокочастотные (до 100 МГц) и сверхвысокочастотные (более 100 МГц) ультразвуковые импульсы и детектирует отраженный сигнал. Ультразвуковой импульс отражается только на границах раздела материалов и без отражения проходит сквозь однородные материалы. Скорость распространения в кремнии составляет 8300 м/с, в пластмассовом корпусе – около 3000 м/с. Цикл излучения ультразвукового импульса и приема отраженного сигнала от границы раздела в нескольких миллиметрах под поверхностью изделия занимает всего несколько микросекунд.

¹ ООО Предприятие Остек, micro@ostec-group.ru.

² Компания Sonoscan.

Коэффициент отражения ультразвука от границы раздела определенных материалов может быть рассчитан исходя из акустического импеданса (акустическая скорость, помноженная на плотность) каждого материала. Акустическое сопротивление измеряется в Па·с/м (или Рэйлах (от англ. Rayl) в англоязычной литературе). Плотность кремния равна 2,33 г/см³, таким образом, его акустическое сопротивление составляет около 20 МПа·с/м. Компаунд имеет плотность около 1,17 г/см³ и акустическое сопротивление 3,5 МПа·с/м. Коэффициент отражения ультразвука от границы раздела двух вышеупомянутых материалов может быть рассчитан по формуле:

$$R = \frac{(z_2 - z_1)}{(z_2 + z_1)},$$

где z_1 – акустическое сопротивление компаунда, z_2 – акустическое сопротивление кремниевого кристалла.

После прохождения сквозь верхнюю поверхность компонента в пластиковом корпусе ультразвуковой импульс достигает поверхности кристалла и отражается от нее.

Существуют два типа отраженных сигналов:

- от границы раздела двух различных твердых материалов, содержащие от 20 до 80% энергии первоначального импульса;
- от границы раздела твердого материала и воздуха, которая может отразить до 100% импульса. Справедливо и в случае, если твердый материал граничит с газом, отличным по составу от воздуха, или вакуумом. Это может быть любой дефект, связанный с наличием пустоты в материале, – трещина, расслоение или полость.

Оба типа отраженных сигналов преобразуются в точки акустического изображения. Низкоамплитудные сигналы, отраженные от границ двух твердых материалов, отображаются в диапазоне цветов от темно-серого до светло-серого. Высокоамплитудные отраженные сигналы второго типа отображаются белым цветом. Зачастую для публикации изображений используют другие цвета, так, например, высокоамплитудные сигналы приобретают контрастный красный цвет.

Рассмотрим акустическое изображение микросхемы в пластиковом корпусе, полученное в режиме отраженного сигнала (рис.1). Ультразвуковой импульс был сфокусирован на верхней плоскости кристалла, в которой чаще всего наблюдаются дефекты. Три большие области, окрашенные красным, – пустоты. Такие пустоты (отслоения) с лицевой стороны

кристалла могут увеличиться в процессе работы и привести к обрыву металлических проводочных проводников, подводимых к краю кристалла.

Изображения на основе отраженного сигнала, как правило, получают в диапазоне толщин в окрестности одной области, представляющей интерес, причем диапазон может быть как малым, так и большим. Под работой в диапазоне толщин понимают обработку только тех отраженных сигналов, время детектирования которых соответствует выбранному диапазону толщин в заданной области. На рис.1 в качестве диапазона выбрано расстояние от поверхности компонента до поверхности кристалла. Прочие отраженные сигналы отсечены. Таким образом, внимание оператора фокусируется на требуемой области и он четко видит, что контролируется именно выбранный диапазон толщин без учета выше- и нижележащих слоев.

РЕЖИМ СКВОЗНОГО СКАНИРОВАНИЯ THRU-SCAN

Первый этап работы системы в режиме сквозного сканирования аналогичен режиму отраженного сигнала. Преобразователь направляет ультразвуковой импульс в образец, однако в данном случае не производит прием отраженного сигнала. Ультразвуковой импульс проходит сквозь образец, угасая в областях пустотных дефектов, и детектируется вторым преобразователем, расположенным под изделием.

Задача такого вида микроскопии заключается в выявлении дефектных областей, через которые не прошел ультразвуковой импульс. В таком случае

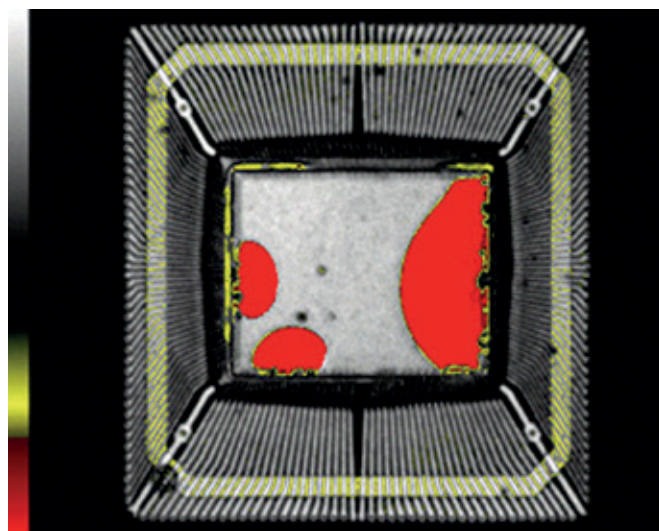


Рис.1. Акустическое изображение компонента, полученное в режиме отраженного сигнала. Красным обозначены пустоты в компаунде

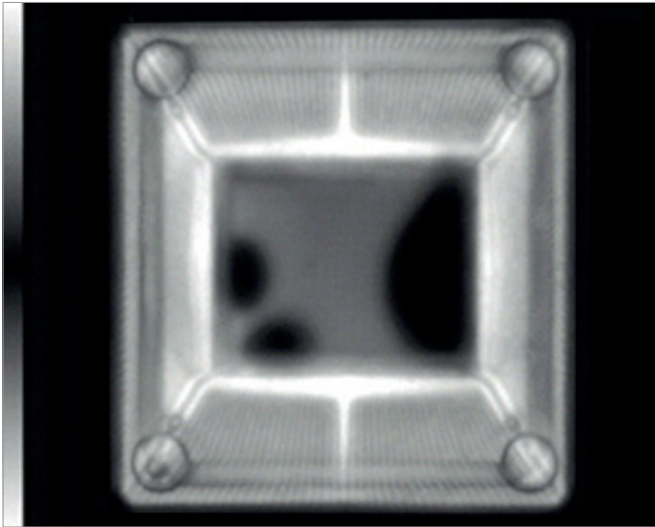


Рис.2. Акустическое изображение компонента, полученное в режиме сквозного сканирования

появляется акустическая тень на изображении, полученном со второго преобразователя.

Стоит учитывать, что режим сквозного сканирования не позволяет получить данные о глубине залегания дефекта. Пустоты на поверхности кристалла, в области контакта кристалла с площадкой и под ней выглядят аналогично. Зачастую режим сквозного сканирования применяется при контроле компонентов в целях экономии, когда необходимо отбраковать компоненты, имеющие потенциально опасные дефекты вне зависимости от глубины расположения.

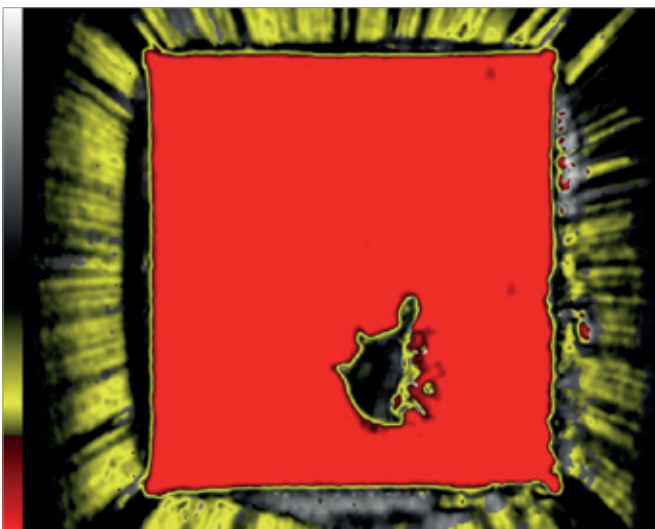


Рис.3. Акустическое изображение компонента в пластиковом корпусе типа VGA, позволившее выявить отслоение компаунда от кристалла

Если посмотреть на акустическое изображение того же компонента, что и на рис.1, но полученное в режиме сквозного сканирования (рис.2), то можно увидеть, что три дефекта создали три большие акустические тени в области кристалла. Прочие внутренние структуры образовали светло-серые тени в результате частичного отражения ультразвукового импульса.

РЕЖИМ Q-ВАМ

Режим Q-ВАМ используется не так часто, как режимы отраженного сигнала и сквозного сканирования, причем в основном – для решения сложных проблем. Этот режим также известен как неразрушающий метод получения поперечного сечения.

Для обнаружения внутренних дефектов (отслоений, трещин и пустот) традиционно проводят механическое вскрытие компонента для получения шлифа (разрушающий метод). В случае успешного применения разрушающего метода можно выявить расположение дефекта и определить природу его появления. Но у этого метода есть ряд недостатков:

- может быть проведена только одна операция контроля компонента;
- компонент разрушается;
- в процессе получения шлифа могут возникнуть дополнительные дефекты, что приводит к ложным результатам контроля.

В режиме отраженного сигнала преобразователь выполняет построчное сканирование образца с получением данных на заданной глубине. В режиме Q-ВАМ преобразователь перемещается вдоль одной линии до тех пор, пока не будет достигнута заданная глубина фокусировки. Таким образом, при первом

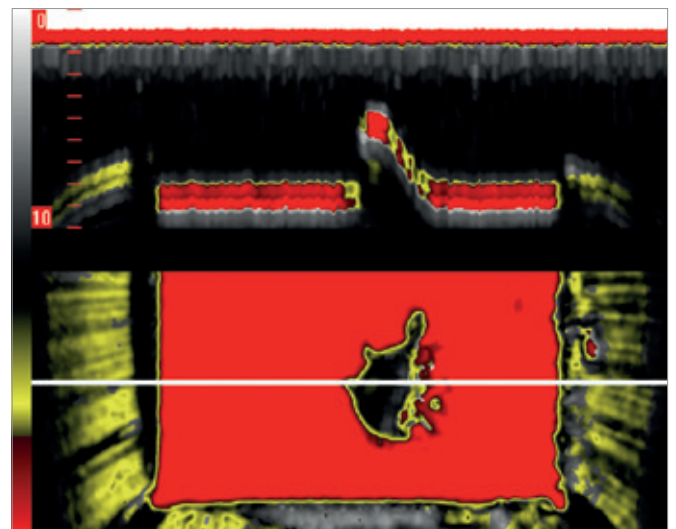


Рис.4. Поперечное сечение трещины в компаунде, полученное в режиме Q-ВАМ

сканировании система получает данные о самой нижней плоскости образца, при втором – о плоскости, расположенной выше. По достижении верхней плоскости система располагает данными, позволяющими сформировать акустическое поперечное сечение по линии сканирования. С помощью этого неразрушающего метода можно отобразить поперечные сечения и в других вертикальных плоскостях. Образец также можно повернуть для получения угловых поперечных сечений.

Упомянутые способы получения сечений являются аналогами разрушающего метода, но без необходимости вскрывать компонент. Изображения, полученные в режиме Q-VAM, отображают те же детали, которые видны на шлифе при разрушающем методе. Кроме того, Q-VAM позволяет отобразить структуры толщиной до 100 Å, которые сложно обнаружить оптическими методами при работе со шлифами.

На акустическом изображении верхней плоскости кристалла в пластиковом корпусе типа BGA (рис.3) красным цветом обозначена область отслоения компаунда. Темную часть в области кристалла сложно интерпретировать. Желтый цвет выводов вызван более слабым по сравнению с полостью отражением импульса.

На поперечном сечении, полученном в режиме Q-VAM по плоскости, обозначенной белой линией (рис.4), горизонтальная красная линия с разрывом в центре соответствует пустоте над кристаллом в компаунде. В области разрыва красная линия расширяется, появляются области, отмеченные желтым цветом. Подобное изображение соответствует трещине в компаунде. Она не достигает верхней части корпуса, однако распространяется далеко вверх, что и приводит к тому, что в режиме отраженного сигнала (см. рис.3) трещина незначительно отражает ультразвуковой импульс.

Таким образом, метод акустической микроскопии позволяет выполнять быстрый неразрушающий контроль изделий в рамках существующего производства, а также выявлять различные дефекты в процессе отработки технологии (поры, полости, непропаи, трещины, отслоения и др.). Возможность заглянуть внутрь компонента и проанализировать обнаруженные дефекты позволяет установить причину их возникновения и на ранних этапах производства корректировать технологический процесс, обеспечив тем самым высокое качество и надежность выпускаемой продукции. ●