



# АКУСТИЧЕСКАЯ МИКРОСКОПИЯ: ВЫЯВЛЕНИЕ СКРЫТЫХ ДЕФЕКТОВ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

В.Костюченко / [micro@ostec-group.ru](mailto:micro@ostec-group.ru)

**Р**азвитие современной техники невозможно без компонентной базы микроэлектроники, качество которой в значительной степени зависит от ее надежности. Чем сложнее технологический процесс, тем важнее обеспечение качества выпускаемой продукции. При этом для соответствия характеристик изделий предъявляемым требованиям важная роль принадлежит эффективному контролю на всех этапах их производства.

Традиционно для обнаружения в изделиях скрытых дефектов используются разрушающие и неразрушающие методы контроля. Разрушающий контроль (РК) основан на приложении управляемого воздействия к образцу с последующим его разрушением. Например, качество микросварки проволочных выводов можно тестировать на отрыв соединения с помощью установки DAGE 4000Plus, доводя механическим усилием металлическую петлю до разрушения. РК делает тестируемое изделие непригодным для дальнейшего использования и связан, как правило, со значительными затратами, а результаты его характеризуются определенной недостоверностью. По этим причинам на стадиях производства и эксплуатации более предпочтителен неразрушающий контроль (НК), причем при его использовании информацию о внутренней структуре образца получают без механических воздействий.

Провести НК, как правило, достаточно просто, например, следует выбрать излучение, для которого объект прозрачен. В частности, тело человека прозрачно для рентгеновского излучения, металлы – для  $\gamma$ -излучения и ультразвуковых (УЗ) колебаний. Именно ультразвук широко применяется для НК. При его использовании важно правильно выбирать частоту и мощность излучения, создавать подходящие генераторы и преобразователи, корректно расшифровывать полученные данные. Методы НК можно разделить на две основные категории – поверхностного и объемного контроля.

Обнаруживать дефекты, выходящие на поверхность, позволяют поверхностные методы НК. К ним относятся магнитный, электромагнитный, электрический методы контроля, использование проникающих веществ. Однако для обнаружения внутренних дефектов в материале эти методы мало пригодны.

Для обнаружения внутренних дефектов материала используют объемные методы НК. Наиболее распространенные из них в микроэлектронике – УЗ (акустическая) микроскопия и рентгеновский анализ.

В акустических методах применяются упругие механические колебания, обеспечивающие распространение волн в твердой среде. Достоверность таких методов в 3–4 раза выше, чем радиационных, в которых

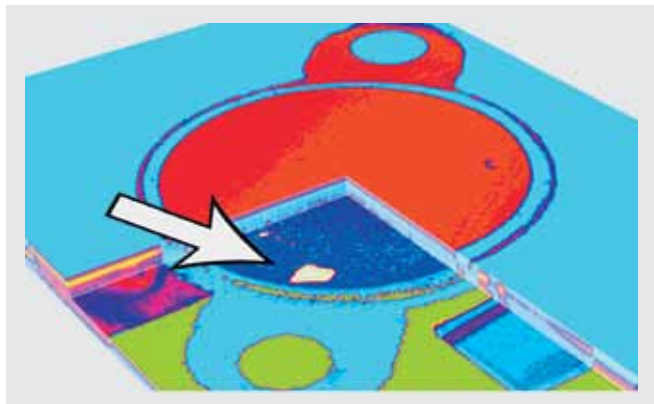


Рис.1. Акустическое 3D-изображение гибридного устройства (стрелка указывает на внутренний дефект)



используются электромагнитные колебания и волны. Акустическая микроскопия (АМ), не разрушая материал, позволяет обнаруживать физические недостатки объекта (трещины, пустоты, расслоения, пористость), образующиеся при изготовлении, тестировании и работе изделия (рис.1), причем АМ дает возможность определять также и его структурные изменения.

УЗ-волна, проходя через образец, может поглощаться, рассеиваться или отражаться. Она чувствительна к упругим свойствам материала, особенно к трещинам и воздушным зазорам. Это делает АМ предпочтительным методом обнаружения расслоений, трещин, пустот и пористости в микроэлектронике. Использование звуковой волны позволяет также послойно исследовать образцы на различных глубинах, визуализируя его внутренние особенности.

Лидер в этой отрасли – компания Sonoscan – первой начала применять АМ для неразрушающего контроля и анализа изделий микроэлектроники. Развиваясь с 1984 года, она вобрала передовой опыт в данной области, запатентовав технологию C-SAM. В дополнение к акустическому исследованию структуры и дефектов образца на различных глубинах метод часто используется для определения других свойств материалов – акустического импеданса, скоростей распространения и затухания волны.

На границе раздела между материалами УЗ-импульс разделяется на отраженную и пропущенную составляющие, причем, чем выше разница сопротивлений по такой границе, тем больше амплитуда отклика и значительнее контраст изображения. Некоторые отклики имеют отрицательную (перевернутую) полярность (рис.2), что в большинстве случаев свидетельствует о наличии расслоений, трещин и пустот.

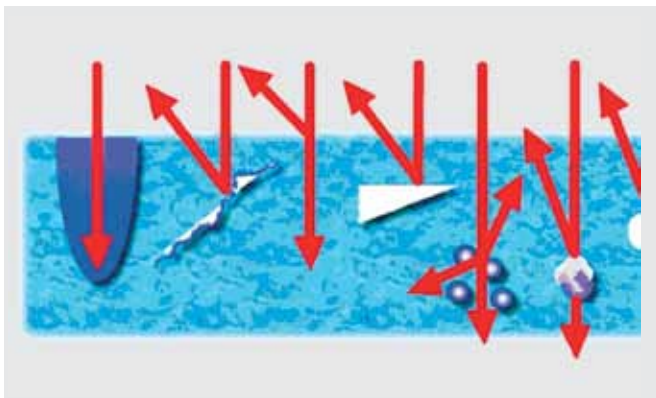


Рис.2. Варианты распространения акустических волн

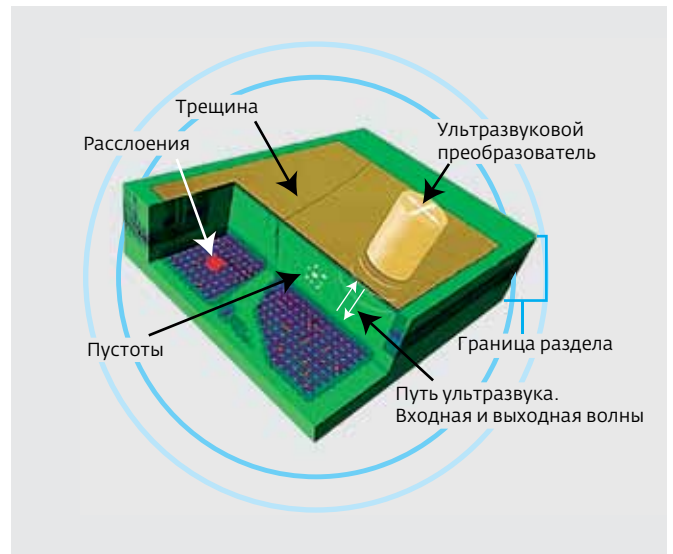


Рис.3. Виды дефектов

### РЕЖИМ ОТРАЖЕНИЯ

Технология C-SAM позволяет создавать изображения с помощью сфокусированного в пятно направляемого на образец и отражаемого от поверхностей раздела УЗ-импульса. Для каждой задачи частота импульса и дизайн линзы выбираются так, чтобы оптимизировать разрешение пятна и глубину проникновения. В режиме отражения для передачи и приема УЗ-импульсов используется преобразователь. Отраженное от препятствий в глубине образца эхо возвращается в разное время, свидетельствуя об особенностях материала (рис.3). Оператору, чтобы создать изображение на интересующей его глубине, достаточно выбрать соответствующий электронный строб-импульс.

### РЕЖИМ ПЕРЕДАЧИ

Подход основывается на том, что ультразвук передается по всей толщине образца. Поскольку воздушное пространство дефектов не может передавать его, потери сигнала указывают на наличие таких дефектов. Изменения в передаваемом сигнале также служат доказательством наличия в изделиях пространственных дефектов. Эти данные часто являются ключевыми в производственных процессах микроэлектроники и служат основой для внесения в них определенных изменений. Существует огромное число вариантов получения изображений (рис.4), причем, чтобы обеспечить более полную оценку и проверку дефектов, часто одновременно используется несколько режимов визуализации.

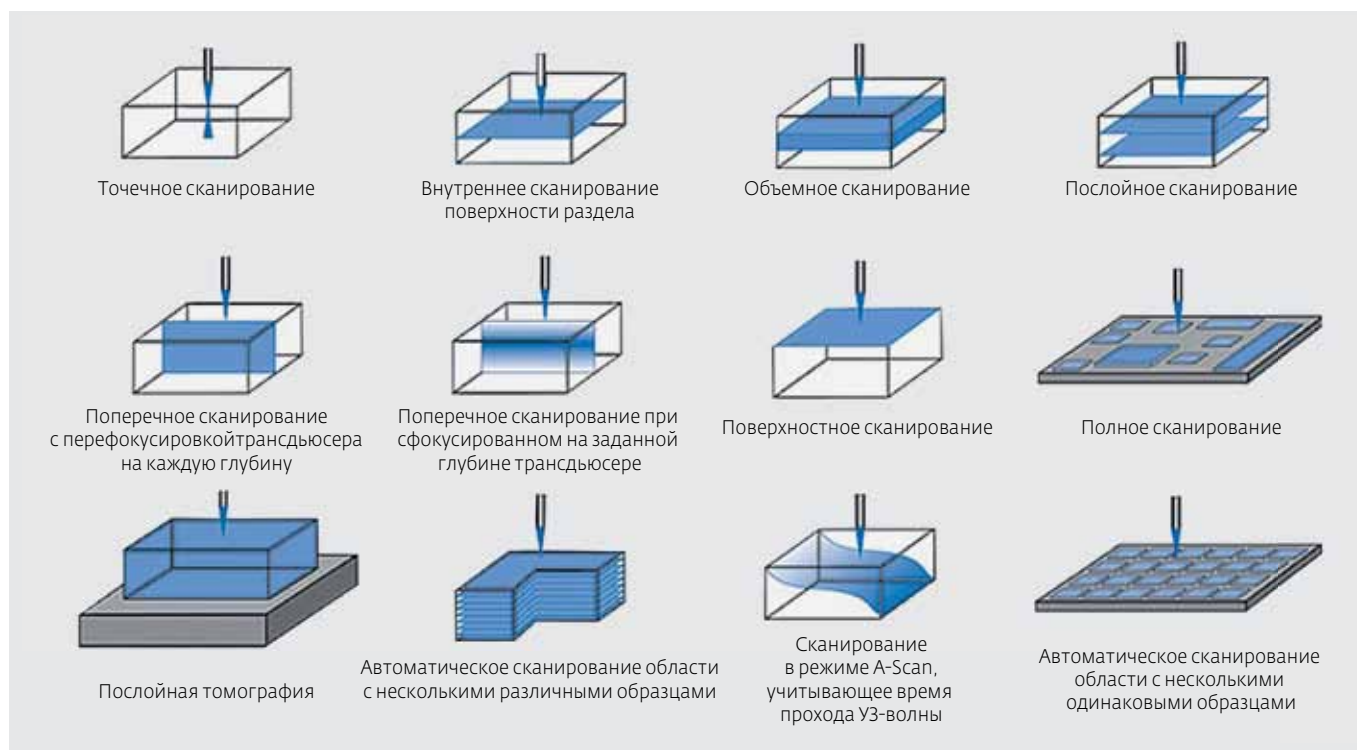
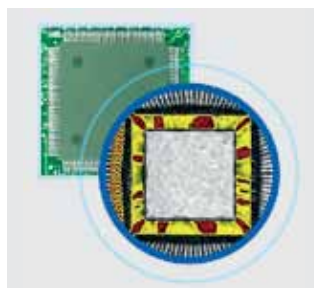


Рис.4. Методы создания изображений

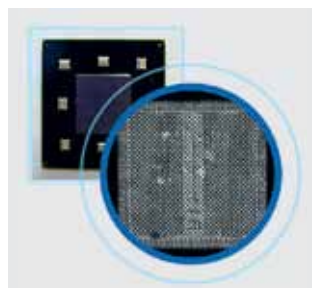
Например, оптимальный метод изучения ориентации различных слоев к поверхности образца – создание поперечного сечения (Q-VAM). Для поиска внутренних расслоений рекомендуется

использовать сканирование слоя – C-Mode. Если требуется обнаружить в материале на неизвестной глубине пустоты, включения и другие неоднородности, подходит 3V объемное сканирование.

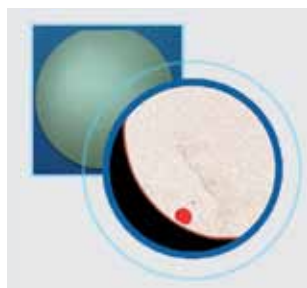
### Области, в которых АМ эффективна



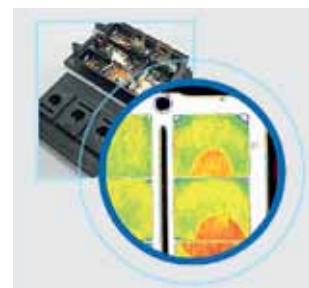
**Микросхема в пластиковом корпусе**  
Скрытые дефекты при корпусировании микросхемы могут привести к отказу устройства (красный и желтый цвета – наиболее опасные области расслоений)



**"Перевернутый" чип/кристалл**  
Устройства регулярно исследуются на недостаточность заливки и на качество шариковых выступов (области белого цвета)



**Сварка пластин**  
Оценка качества сварки пластин может помочь выявить расслоения или пустоты



**Биполярный транзистор с изолированным затвором**  
Для хорошей теплопередачи и надежной работы IGBT требуют качественной пайки кристаллов и надлежащих допусков по толщине (белый цвет – дефекты пайки в углах кристаллов)





Рис.5. Пустоты и трещины в пластиковых интегральных схемах

### ПЛАСТИКОВЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ (PIC) – ОБРАЗОВАНИЕ ПУЗЫРЕЙ И ТРЕЩИН

На рис.5 показаны пустоты и расслоения, обнаруживаемые при послойной томографии. Метод создания автоматизированного мультифокусного томографического изображения позволяет получить картину устройства во всех его точках, формировать трехмерную модель изделия (рис.6), проводить поиск и диагностику вероятных дефектов.

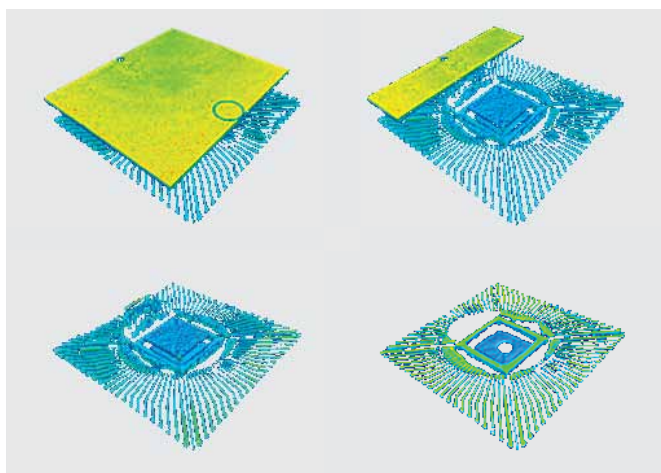


Рис.6. Трехмерный объемный вид (3V Profile)

Естественно, в работе представлена лишь малая часть областей, где эффективна АМ. Методы НК с ее использованием хорошо зарекомендовали себя в производстве МЕМС и светодиодов, при исследовании сборок кристаллов и ВГА-микросхем.

Все представленные выше режимы исследования компания Sonoscan воплотила в цифровом акустическом сканирующем микроскопе высокого разрешения D9500 (рис.7) для НК и объемной визуальной инспекции изделий микроэлектроники. Микроскоп пригоден для контроля качества компонентов микроэлектроники на производстве и в научно-исследовательских работах. В частности, благодаря применению УЗ возможно исследование однородных материалов и корпусов ИС с большой толщиной стенок.

В целом важно отметить, что использование НК на всех стадиях изготовления, проверки и эксплуатации изделий микроэлектроники существенно повышает их надежность, причем современные технологии обеспечивают реализацию всего комплекса АМ, генерацию двух- и трехмерных моделей образцов, проведение статистического анализа их серий. Сертифицированные лаборатории Sonoscan по всему миру позволяют оперативно выполнять экспресс-анализ образцов, составлять отчеты и подбирать оптимальную конфигурацию оборудования и программное обеспечение для этих целей. Технологическая и сервисная поддержка специалистов компании "Остек" открывает новые возможности построения высокоэффективной акустической лаборатории для различных целей: от прототипирования и мелкосерийного производства до поточных высокоинтегрированных линий сборки изделий микроэлектроники.



Рис.7. Цифровой акустический сканирующий микроскоп D9500

Более подробно основные принципы работы используемых режимов акустического сканирования будут представлены в ближайших номерах информационного бюллетеня "Степень интеграции".