

## ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ В ДИАГНОСТИКЕ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Кузнецов А. С., студент,  
Максименко А. П., студент,  
Чиж Р. В., студент

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент Гацкевич Е. И.

**Аннотация.** Рассматриваются физические принципы и аппаратная реализация современных методов ультразвукового неразрушающего контроля. Проведен анализ эволюции приборостроения в данной области, включая переход от ручного контроля к автоматизированным ультразвуковым комплексам. Особое внимание уделено направлению высокочастотного контроля – акустической микроскопии. Рассмотрено ее применение в микроэлектронике для неразрушающей диагностики критических дефектов в интегральных схемах и корпусах типа BGA.

Неразрушающий контроль – комплекс методов, позволяющих оценить целостность материалов и конструкций без их повреждения или нарушения пригодности к эксплуатации. В современном производстве, где требования к безопасности и долговечности изделий растут, методы диагностики имеют критически важную роль. Ультразвуковой неразрушающий контроль (УЗК) выделяется как один из наиболее эффективных. Метод базируется на использовании упругих волн ультразвукового диапазона, которые вводятся в объект и отражаются от внутренних неоднородностей, таких как трещины, поры, инородные включения или расслоения. Анализ параметров отраженных или прошедших сквозь объект сигналов позволяет оператору или автоматизированной системе определить наличие, точное местоположение и геометрические размеры скрытых дефектов.

Эффективность ультразвукового контроля напрямую зависит от качества и функциональности используемых инструментов, которые базируются на фундаментальных физических принципах, в частности, на пьезоэлектрическом эффекте. Ключевым элементом любой системы является пьезоэлектрический преобразователь, способный трансформировать электрические колебания в механические и наоборот. В зависимости от задач диагностики применяются различные методы зондирования. Наиболее распространенным является эхо-импульсный метод, использующий один преобразователь для излучения и приема сигнала, что позволяет проводить контроль при одностороннем доступе к изделию. Также применяется теневой метод, требующий двустороннего доступа, где фиксируется уменьшение амплитуды сигнала при прохождении через дефектную область. Современные дефектоскопы позволяют визуализировать полученные данные в различных форматах. Существует представление в виде А-скана, который является одномерным графиком амплитуды сигнала, В-скана, отображающего двухмерное сечение объекта, и С-скана, формирующего планарное изображение дефектов в определенном слое или объеме.

Развитие приборостроения оказало существенное влияние на эволюцию методов ультразвуковой дефектоскопии. Традиционные ручные методы контроля постепенно уступают место автоматизированным системам, особенно, когда речь идет о крупносерийном производстве или диагностике ответственных узлов. Автоматизированный ультразвуковой контроль (АУЗК) представляет собой технологию, позволяющую проводить высокоскоростное сканирование с высокой степенью повторяемости результатов. Система АУЗК включает в себя не только дефектоскоп и преобразователи, но и сложные средства

позиционирования. Именно точное позиционирование датчика относительно поверхности объекта является необходимым условием для получения корректного С-скана высокого разрешения. Внедрение роботизированных манипуляторов позволяет исключить человеческий фактор, обеспечить стабильность акустического контакта и проводить диагностику объектов со сложной геометрией, что ранее было затруднительно.

Одной из наиболее высокотехнологичных и требовательных областей применения ультразвукового контроля является микроэлектроника. Сектор производства электронных компонентов имеет жесткие требования к разрешающей способности оборудования, так как размеры дефектов исчисляются микрометрами или даже долями микрометров. В этой отрасли классические методы дефектоскопии трансформировались в отдельное направление – акустическую микроскопию. Для реализации контроля используются специализированные сканирующие акустические микроскопы, работающие с высокочастотным, часто гиперзвуковым излучением. Это позволяет достичь микрометрового и субмикрометрового разрешения, необходимого для проверки целостности интегральных схем.

Особую значимость акустическая микроскопия приобрела с распространением корпусов BGA, Flip Chip и CSP, где выводы расположены под корпусом микросхемы и недоступны для визуального осмотра. В процессе производства, а также после климатических и вибрационных испытаний в таких компонентах могут возникать скрытые дефекты. К ним относятся расслоения между компаундом и кристаллом или подложкой, образование пустот в паяных соединениях, микротрещины в кремнии и нарушения герметичности. Такие дефекты, как внутренние отслоения, невозможно выявить с помощью рентгеновского контроля, так как материалы могут иметь близкую плотность, однако для ультразвуковых волн граница раздела между плотным материалом и воздушной полостью является идеальным отражателем.

Применение ультразвукового метода в микроэлектронике позволяет проводить неразрушающую послойную визуализацию внутренней структуры компонента. Акустический микроскоп, сканируя поверхность чипа по растровому принципу, формирует детальное изображение, на котором видны области нарушения адгезии или наличие пустот в шариковых выводах. Это делает метод незаменимым инструментом для входного контроля комплектующих, отладки технологических процессов, сборки и анализа причин отказов аппаратуры. Важно отметить, что ультразвуковое воздействие на используемых мощностях является безопасным для полупроводниковых структур.

Таким образом, ультразвуковой контроль остается одним из самых востребованных методов диагностики в промышленности. Его развитие неразрывно связано с приборостроением. Переход от ручных приборов к роботизированным комплексам на базе фазированных решеток и высокочастотная акустическая микроскопия открывают новые возможности для обеспечения качества. Внедрение автоматизированных систем и совершенствование алгоритмов обработки сигналов позволяют существенно повысить достоверность контроля, что актуально для таких критически важных отраслей, как аэрокосмическая промышленность и микроэлектроника.

#### **Список использованных источников**

1. Неразрушающий контроль [В 5 кн.]. Акустические методы контроля / И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов. – 1991. – 287с.
2. Костюченко, В. Акустическая микроскопия: выявление скрытых дефектов в микроэлектронике // Наноиндустрия : научно-технический журнал. – 2012. – № 3. – URL: <https://www.nanoindustry.su/journal/article/3240> (дата обращения: 21.11.2025).