



ЛАЗЕРНО- УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ . ПРИМЕНЕНИЕ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

Руководитель проекта СУПЖЦ ВВСТ АО «НИИ «Рубин» – Морозова А.А.

Генеральный директор ООО «СофтИнжиниринг» – Рапопорт Б.М.

Заместитель генерального директора ООО «СофтИнжиниринг» - Громов А.Б.

Начальник отдела мат.-моделирования ООО «СофтИнжиниринг» – Ксенофонов Д.М.



Основные направления для достижения среднесрочных целей предприятия. Рынки.

Рынки:

- **Межведомственная защищенная автоматизированная система связи специального назначения** (Единственный поставщик)
- **Автоматизированные системы управления специального назначения** (Единственный поставщик по ряду Заказчиков)
- **Автоматизированные защищенные инфотелекоммуникационные системы**, в том числе международные (Единственный поставщик)
- **Автоматизированные системы управления критически важных объектов** (Кооперация)
- **Автоматизированные инфокоммуникационные системы отраслей промышленности** (Кооперация)
- **Информационно-аналитические системы управления органов Государственной власти** (Кооперация)

Росэлектроника



Ведущее место среди различных методов неразрушающего контроля занимают акустические методы.

Ведущие индустриальные страны активно ведут работы по созданию лазерных ультразвуковых устройств с целью применения во многих областях промышленности, транспорта и медицины: металлургии, аэрокосмической промышленности, микроэлектронике, атомной промышленности, контроля трубопроводов, железных дорог, воздушных и морских судов, медицинской диагностики.

Исследовательские работы по промышленному применению лазерного ультразвука ведутся в научных и учебных центрах США, Канады, Европы, Китая, Кореи, Японии, России, Индии, Бразилии. На данные работы наиболее крупные государственные субсидии выделяются в США и Китае.

Акустические (ультразвуковые) методы широко используются в промышленности для измерения толщины, дефектоскопии и определения характеристик материалов.

С помощью акустических методов можно решить широкий спектр задач, они позволяют:

- обнаруживать дефекты малых размеров (единицы микрон) в металлических и неметаллических материалах;
- определять размеры изделий;
- определять ориентацию, размеры и координаты дефектов;
- выявлять дефекты нарушений сплошности, расслоений, трещин, инородных включений и т. д.;
- определять физико-механические характеристики материалов (модули упругости, распределение температуры, твердость, зернистость и др.).

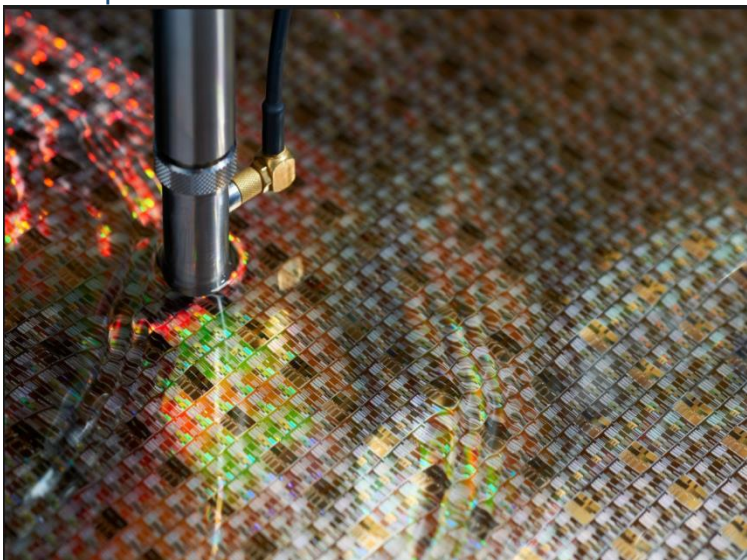
Акустические методы обеспечивают высокую разрешающую способность, точность, надежность, производительность и безопасность процесса контроля.

Более 50% всех приборов неразрушающего контроля, выпускаемых в мире, являются акустическими (ультразвуковые дефектоскопы, толщиномеры, приборы для измерения физико-механических характеристик).

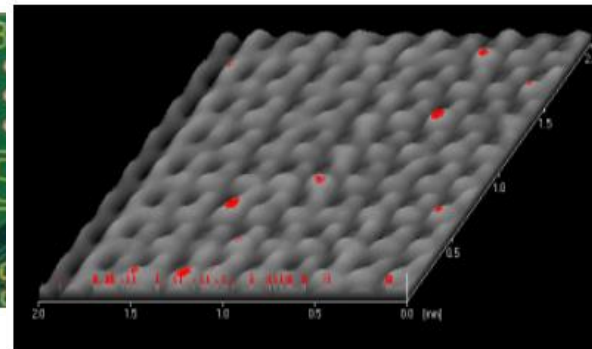
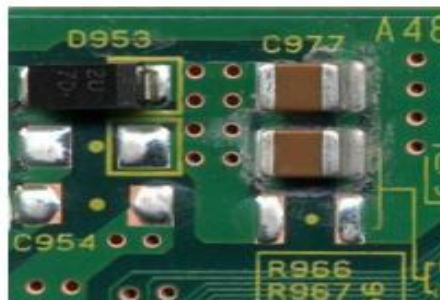
Акустические методы неразрушающего контроля

Параметры	Ультразвуковой метод	Рентгеновский метод
Вид исследуемого материала	Любой	Любой
Проведение обследования	Возможно наличие доступа только к одной стороне исследуемого объекта	Необходим доступ обязательно к двум сторонам исследуемого объекта
Распознавание отдельных дефектов (трещины, каверны, расслоения)	Возможно распознавание всех отдельных структурных дефектов с хорошей точностью	Обеспечивается составное изображение объекта с высоким разрешением. Сложно из полного изображения выделить отдельные структурные дефекты.
Определение тепловых свойств	Возможно определение распределения температуры, температурных коэффициентов материала	Не возможно
Определение механических свойств	Возможно точное определение плотности, упругих модулей материала	Не возможно
Время обследования	Относительно быстрое время (скорость лазерного ультразвука контроля конструкций до 15 м ² в ч)	В несколько раз более длительное время
Обследование при высоких температурах	При использовании лазерного ультразвука возможно обследование при температурах до 1300 °C	Невозможно
Обследование объектов в движении	Возможно	Возможно в отдельных случаях
Безопасность	Не требуются повышенные меры безопасности	Требуются повышенные меры безопасности

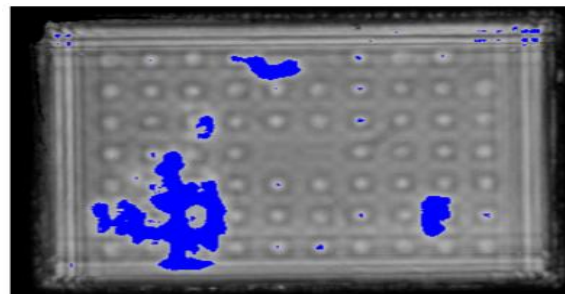
Ультразвуковые волны позволяют осуществлять тестирование при производстве микросхем и определять дефекты в микрочипах



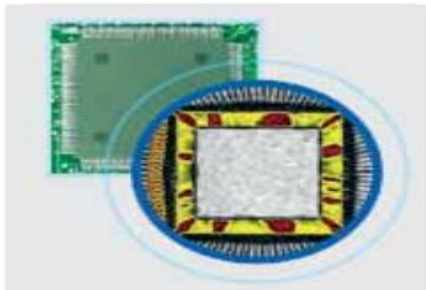
Диагностика при производстве подложек микросхем акустическим микроскопом (установка немецкой фирмы PVA Tepla Analytical Systems)



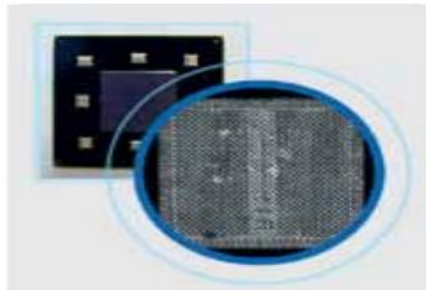
Идентификация дефектов в микрочипе ультразвуком



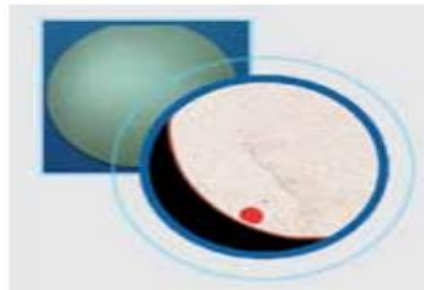
Области применения акустического метода при тестировании микросхем



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)

Методы акустической проверки являются неразрушающими и широко применяются в электронной промышленности как способ обнаружения трещин, пустот и отслоений в микроэлектронных устройствах.

Акустический осмотр генерирует изображения устройства с хорошим разрешением, интерпретируя отражение и преломление ультразвуковых волн, передаваемых через соединительную среду к устройству.

Традиционные методы акустической проверки микросхем имеют несколько недостатков, которые ограничивают их область применения:

- Необходим высококвалифицированный оператор для интерпретации сгенерированных изображений с разрешением дефектов в десятки микрон.
- Необходима соединительная (иммерсионная) среда между источником ультразвука и поверхностью микросхемы, поэтому для плотно упакованных пространств микросхем метод не пригоден.
- Можно проверить ограниченное количество тестируемых микроустройств в онлайн режиме из-за длительного времени проверки и необходимости погружения устройства в иммерсионную среду.

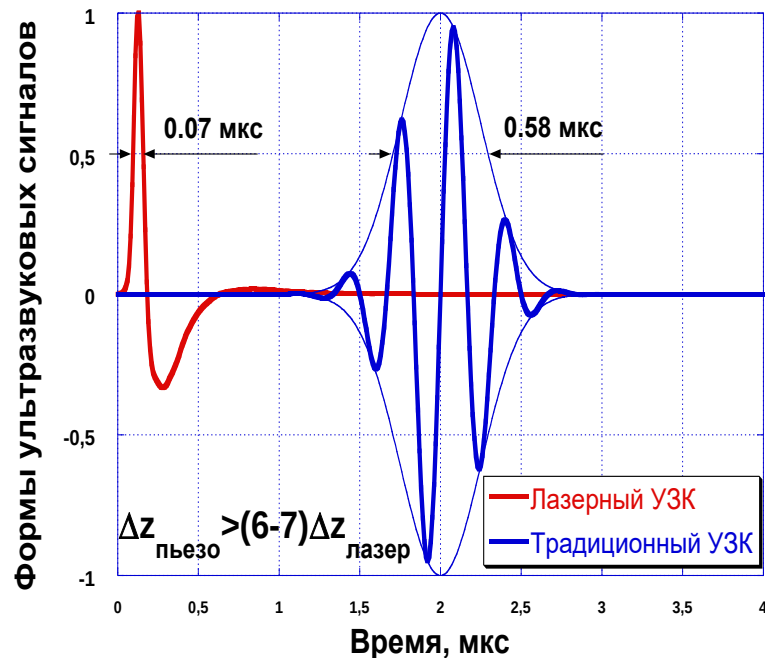
Ограничения традиционного ультразвукового контроля

Ультразвуковые волны обычно генерируются и детектируются пьезоэлектрическими преобразователями, которые соединены с исследуемым (проверяемым) объектом либо прямым контактом, либо водяной прослойкой. Но эти стандартные ультразвуковые технологии имеют серьезные ограничения.

- Невозможно тестирование деталей при повышенной температуре.
- Затруднена проверка деталей, движущихся на конвейере, так как пьезоэлектрические преобразователи требуют непосредственного контакта с поверхностью.
- Затруднен осмотр изогнутых или контурных деталей, так как для пьезоэлектрической трансдукции ультразвука нужна правильная ориентация преобразователя по отношению к поверхности и требуется специализированное устройство для поверхностного контура, которое по конструкции очень сложное и трудно реализуемое.

Эти ограничения устраняются лазерным ультразвуком – используются лазеры для генерации и детектирования ультразвука. Метод лазерного ультразвука называют фотоакустической или оптоакустической микроскопией.

Бесконтактная генерация и детектирование ультразвука выполняется на расстоянии от сантиметров до нескольких метров.



На рисунке приведено сравнение длительности лазерно-ультразвукового импульса (**0.07 мкс**) и пьезоэлектрического (**0.58 мкс**) для сигнала, состоящего из 3-х периодов частоты 2.25 МГц.

Продольное разрешение дефектоскопа определяется длительностью зондирующего УЗ импульса.

При одинаковых частотах пиковых энергий УЗ импульсов длительность импульса лазерного ультразвука в **6-7 раз меньше**, чем для пьезо-ультразвука при одинаковых центральных частотах.

Благодаря этому точность определения глубины залегания дефекта и его обнаружения у лазерного ультразвука в **6-7 раз выше**, чем у традиционного ультразвука.

Преимущества

Малая длительность зондирующего УЗ импульса обеспечивает повышенное пространственное разрешение

Гладкая форма зондирующего УЗ импульса устраняет «мертвую зону» и позволяет различать жесткие и мягкие неоднородности

Малый диаметр УЗ пучка обеспечивает повышенную чувствительность контроля

Гладкий фазовый фронт УЗ пучка устраняет «мертвую зону» и боковые лепестки

Возможность полностью бесконтактных измерений: лазерное возбуждение ультразвука и интерферометрическое детектирование

Росэлектроника

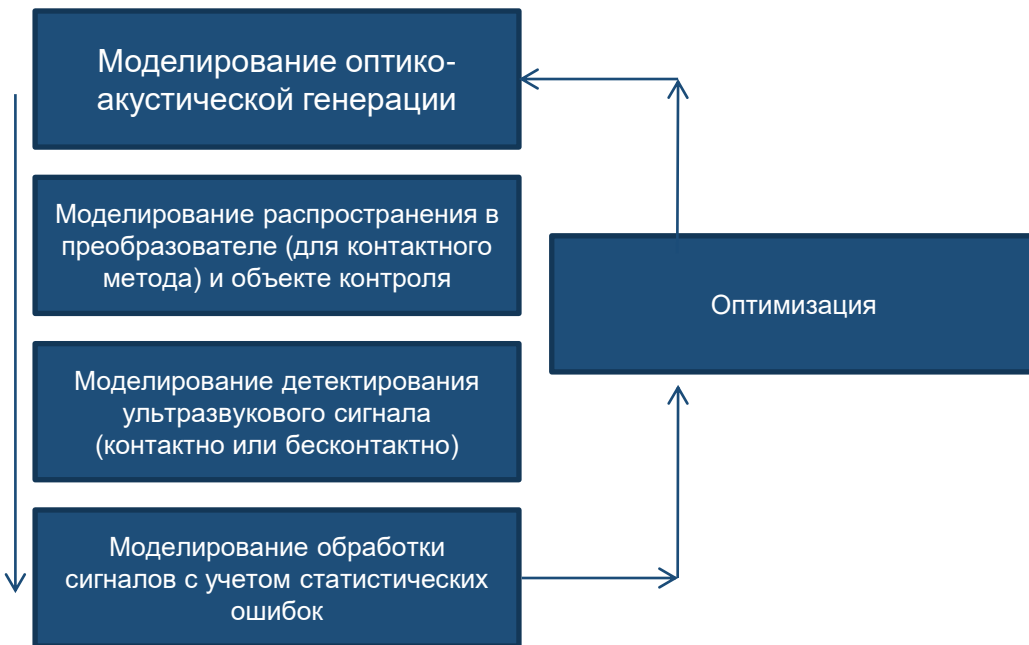


Комплекс лазерного фотоакустического диагностирования позволяет производить диагностику и неразрушающий пооперационный контроль качества при производстве микросхем:

- присоединения кристаллов полупроводниковых приборов и интегральных микросхем к основанию корпусов и кристаллодержателей с применением эвтектики, припойных и клеевых композиций;
- микросварных соединений золотой, алюминиевой, медной и др. проволокой методами термозвуковой, термокомпрессионной, ультразвуковой микросварки;
- сварных и паяных швов корпусов полупроводниковых приборов и интегральных микросхем;
- герметизации интегральных микросхем различными пресс-компаундами;
- монтажа электронных компонентов на различные подложки (SMD, COB);
- адгезии металлизированных покрытий к различным подложкам.

Зарубежные и отечественные исследования показали, что для выявления скрытых дефектов эффективным и достоверным является метод лазерной фотоакустической микроскопии.

Задача полного сопряженного моделирования процесса лазерно-ультразвукового контроля

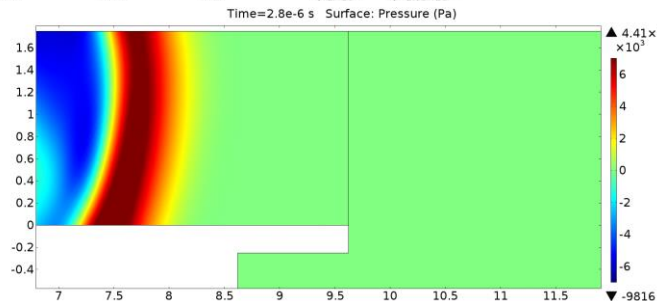
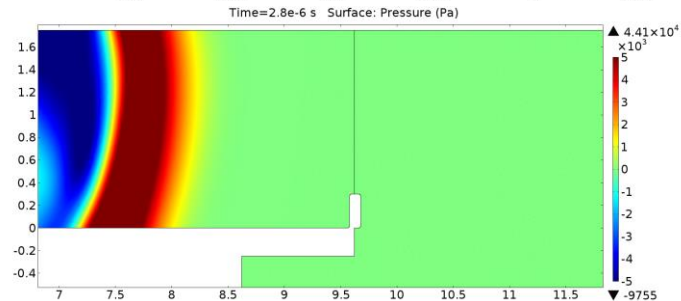
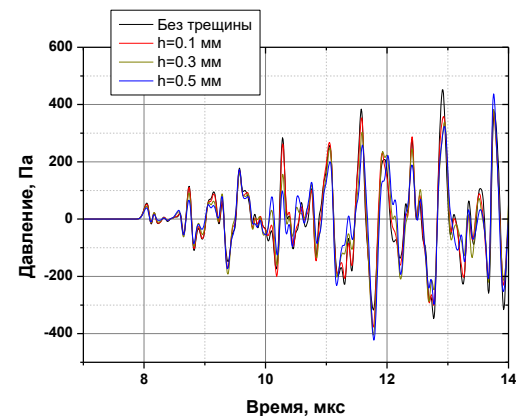
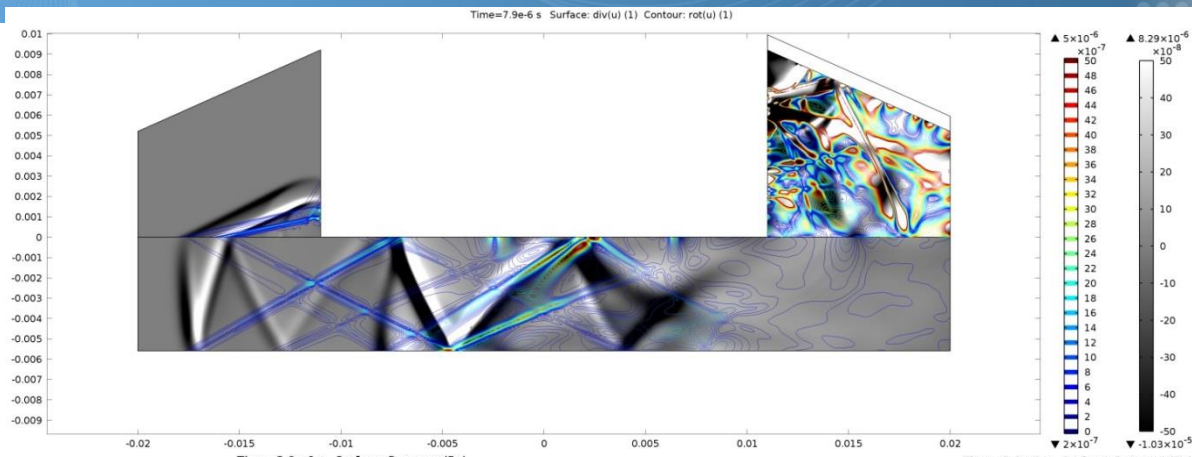


Характеристики задачи:

- Многмасштабность времен процессов: от нс до мс (фактор 10^6)
- Многмасштабность геометрических размеров: от нм до см (фактор 10^7)
- Сопряжение различных областей физики: Теплопроводность, теория упругости, теория рассеяния, пьезоэффект, оптика

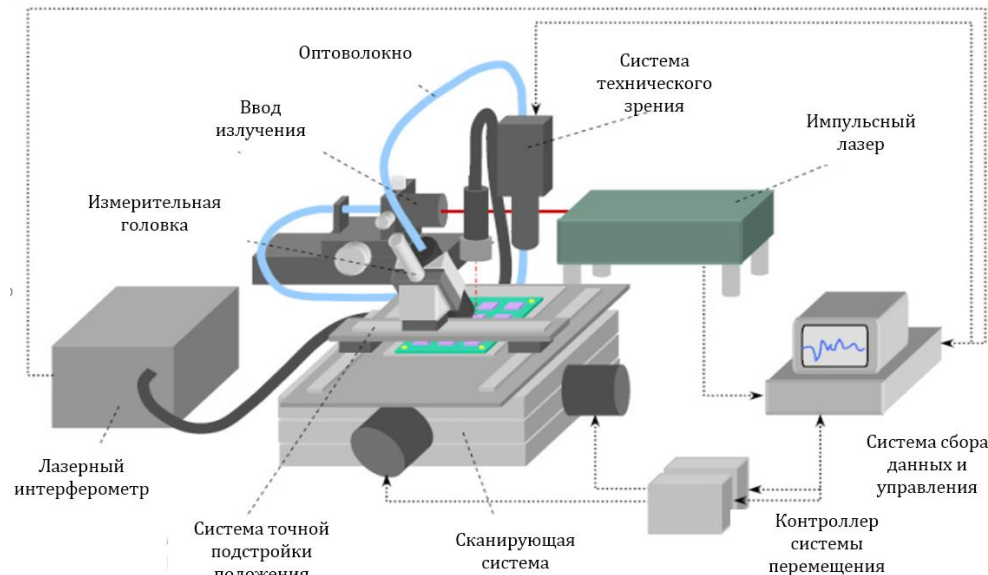
Характерный объем вычислительной задачи (сетка): $10^6 - 10^8$ ячеек – **суперкомпьютерные вычисления**

Суперкомпьютерное моделирование для проектирования ЛУ-систем. Прорыв-2015



Определяющий элемент системы:

Программное обеспечение и методики для обработки сигналов (собственной разработки)



Аппаратное обеспечение системы состоит из стандартных оптических, механических и электронных компонентов

Требования к системе сбора данных:

Число каналов: не менее 4

Частота дискретизации: не менее 1 ГГц (на канал)

Аналоговая полоса пропускания: не менее 300 МГц

Разрешение: не менее 16 бит

Требования к оптической системе (детектирование):

Ширина линии излучения probe-лазера: не более 5 кГц

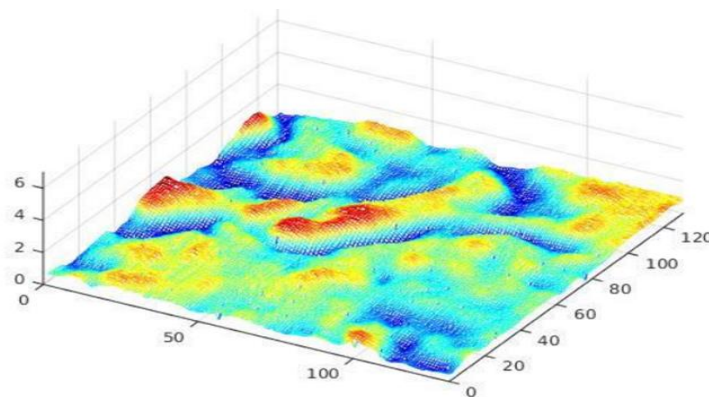
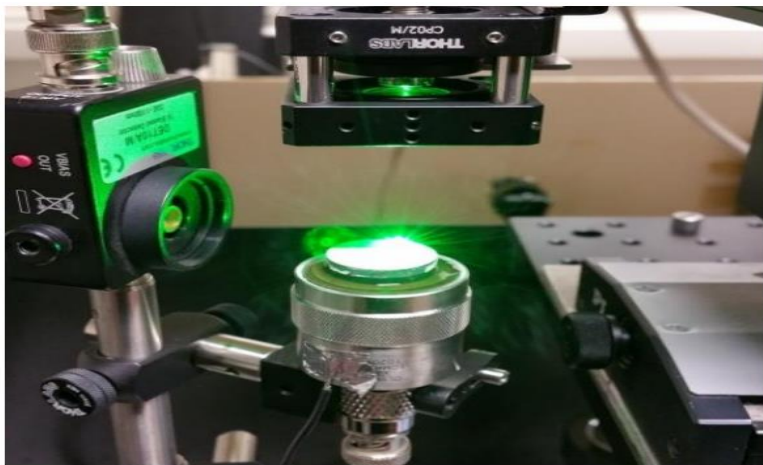
Мощность probe-лазера: не менее 100 мВт

Лазерный высокочастотный режим генерации ультразвуковых волн может использоваться для анализа тонких пленок и покрытий.

Тонкие пленки и покрытия широко используются в микроэлектронной, биотехнологической и аэрокосмической промышленности.

В процессе эксплуатации в материалах возникают высокотемпературные напряжения, что приводит к расслаиванию и разрушению покрытия.

Для обеспечения функциональности структуры очень важно контролировать толщину покрытий и наличие в них микротрещин.

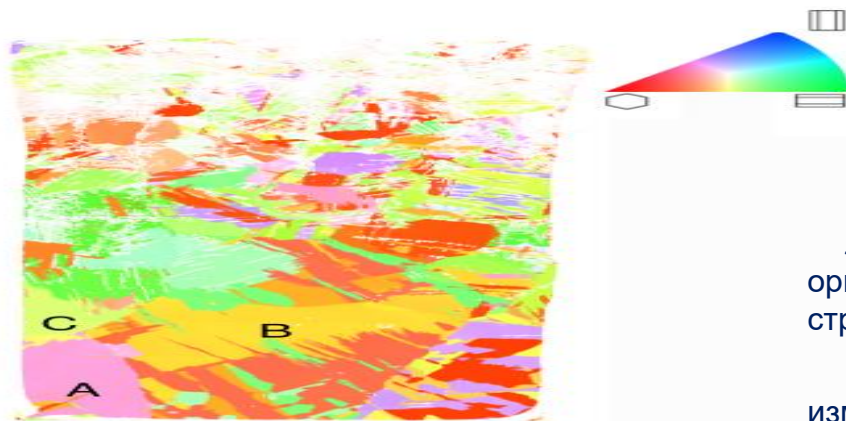


Отображение толщины и шероховатости покрытия (мкм)

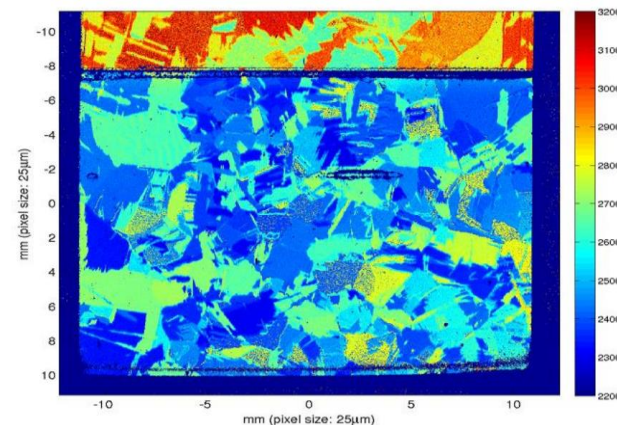
Исследование характеристик покрытий и анизотропии материалов

Характеристики структуры покрытий изучаются на основе анализа скоростей поверхностных ультразвуковых волн

На рисунке справа представлено изображение скорости в послойном покрытии титана. Изменение цвета соответствует изменению скорости волны, что можно использовать для количественного определения физических свойств покрытия.



Кристаллографическая ориентация в титановом образце



Отображение скорости волны в слое

Лазерный ультразвуковой метод позволяет измерить ориентацию кристаллов материалов кубической и гексагональной структуры.

Влияние анизотропии определяется путем анализа малых изменений скорости ультразвука относительно направления распространения.

- Лазерно-ультразвуковая структуроскопия может быть эффективно использована для неразрушающего контроля в микроэлектронной промышленности.
- Контроль структуры материала – грануляции, пористости, поврежденности – проводится в широком диапазоне масштабов от мм до единиц мкм в реальном масштабе времени.
- Лазерно-ультразвуковая структуроскопия может проводиться в автоматизированном режиме, обеспечивающем повышение чувствительности и достоверности контроля.
- Создание российской линейки оборудования для неразрушающего контроля в микроэлектронной промышленности.



Спасибо за внимание

АО «Росэлектроника»
Россия, Москва
ул. Верейская, д. 29, стр.141.
Тел.: +7 (495) 357-09-04
E-mail: info@opkrt.ru www.opkrt.ru

ЛАЗЕРНО- УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ . ПРИМЕНЕНИЕ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

Докладчики:

Морозова Алла Анатольевна

Рапопорт Борис Михайлович_

Ксенофонтов Дмитрий Михайлович

Громов Андрей Борисович

АО «НИИ «Рубин»
Россия, Санкт-Петербург
ул. Кантемировская, д. 5.
Тел.: +7 (812) 670-89-89, 8 962 996 81 70
E-mail: inforubin@rubin-spb.ru www.rubin-spb.ru

ООО «СофтИнжиниринг»
129226, г. Москва, ул. Докукина, д.16, стр. 1
Тел./Факс: +7 (495) 587 43 11
E-mail: info@soft-e.ru