

Изготовленный экземпляр установки для бесконтактного контроля однородности распределения параметров ионно-легированных и диффузионных слоев на полупроводниковых пластинах диаметром до 200 мм внедрен в производственный процесс на ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ». При испытаниях установки в качестве тестовых образцов использовались реальные полупроводниковые пластины диаметром 200 мм, содержащие различные дефекты поверхности. Типичные результаты применения метода бесконтактного контроля однородности распределения параметров ионно-легированных и диффузионных слоев на полупроводниковых пластинах диаметром до 200 мм к полупроводниковой пластине, взятой из производственного метода, показаны на рисунках 2 и 3 в различных доступных формах их представления. Пространственное разрешение приведенных

изображений составляет 1 мм, выбранного с учетом приемлемого времени сканирования всей поверхности пластины (порядка 0,5 часа). Полученные результаты показали высокую эффективность разработанного метода в части выявления скрытых дефектов ионно-легированных и диффузионных слоев. В частности, на рисунках 2-3 четко наблюдаются кольцевые структуры вблизи края пластины, повторяющие характерное распределение дислокаций полупроводниковых пластин большого диаметра, полученных из монокристаллов кремния, выращенных по методу Чохральского [1].

Литература

1. Honma, N. Simplified AC photovoltaic measurement carrier lifetime in Czochralski-grown silicon wafers having ring-distributed stacking faults / N. Honma, H. Shimizu, C. Munakata // Jpn. J. Appl. Phys. – 1993, V. 32. – P. 3639-3642.

УДК 620.179.1+534.1

ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ КОМБИНИРОВАННЫМ ОПТОАКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Баев А.Р.¹, Митьковец А.И.², Деленковский Н.В.¹, Размыслович Г.И.¹

¹Государственное научное учреждение «Институт прикладной физики НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь

²Государственное научное учреждение «Институт физики НАН Беларуси имени Б. И. Степанова»
Минск, Республика Беларусь

Развитие комбинированных методов оптоакустического (ОА) контроля позволяет расширить возможности традиционных методов структуроскопии и дефектоскопии твердых и жидких сред. При реализации этих методов возбуждение УЗК в исследуемых объектах производится путем импульсно-лазерного воздействия на их поверхность, а информационный акустический сигнал принимается, как правило, контактными пьезопреобразователями и, значительно реже, бесконтактными ЭМА преобразователями.

Цель настоящей работы состоит в изучении новых возможностей указанного метода и его применения.

При проведении исследований обращено внимание на изучение ряда особенностей возбуждения поверхностных и пластинчатых волн при перемещении круглого пятна лазерного луча (ЛЛ) через зону с моделируемым дефектом типа трещины и поры. Ранее в работах [1, 2] изучались подобные зависимости для возбуждаемых импульсно-лазерным излучением волн Рэлея. При этом пятно ЛЛ имело форму, подобную длинной полосе. С точки зрения практики ОА-контроля удаленных движущихся объектов на наличие дефектов представляет интерес использовать для импульсного возбуждения УЗК лазерный луч с

круглым поперечным сечением, а принимать УЗК ненаправленными преобразователем (ПЭП).

Стандартная электронная схема исследований приведена на рис.1, где объектом изучения служил образец с моделируемой бесконечной трещиной толщиной $h \approx 20$ мкм ($d \ll \lambda$), что реализовалось путем пластинчатых вставок между прижатыми друг к другу образцами. Поверхностная несплошность в виде поры моделировалась путем выполнения отверстия диаметром 1 мм.

Некоторые результаты исследования возбуждения и прохождения волн Рэлея и пластинчатых волн в процессе перемещения зоны преобразования импульсного лазерного излучения в УЗК (пятно ЛЛ) через разный вид несплошности иллюстрируются на рис. 2–5. На рис. 2 приведены сравнительные данные изменения амплитуды волны Рэлея от положения пятна ЛЛ по отношению к усталостной трещине, имеющей высоту 0,4–0,5 мм и моделируемой бесконечной трещине. Рис. 3 демонстрирует поле рассеяния при перемещении пятна ЛЛ. Характер же изменения амплитуды ПАВ при прохождении пятном ЛЛ модельного дефекта типа поры отображен на рис. 4, а особенности лазерного возбуждения и прохождения волн Лэмба в пластинах – на рис. 5. Как непосредственно следует из результатов

исследований, независимо от вида несплошности плавное перемещение через дефектную область пятна ЛЛ сопровождается существенным изменением амплитуды сигнала, что ранее наблюдалось в работе [1] при использовании пятна ЛЛ в виде длинной полосы. При этом изменение амплитуды сигнала изменялось преимущественно в 5–8 и раза. Оптимизируя размеры пятна ЛЛ применительно к конкретному случаю, представляется возможным увеличить чувствительность контроля, а также его производительность.

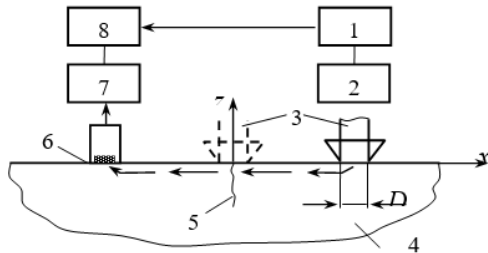


Рисунок 1 – Схема эксперимента по влиянию положения пятна ЛЛ относительно трещины на амплитуду ПАВ и пластинчатых волн:

1 – лазер; 2 – корректор сечения луча; 3 – пятно ЛЛ; 4 – образец; 5 – моделируемый дефект; 6 – приемный преобразователь ПАВ; 7 – усилитель; 8 – Spectronic

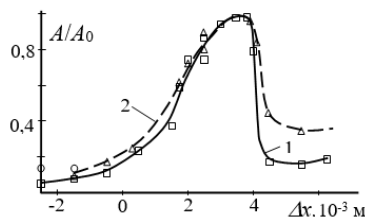


Рисунок 2 – Амплитуда возбуждаемых ПАВ при перемещении пятна ЛЛ относительно усталостной (1) и моделируемой бесконечной трещины (2) в зависимости от расстояния между центром пятна лазерного луча и модельной бесконечной трещины

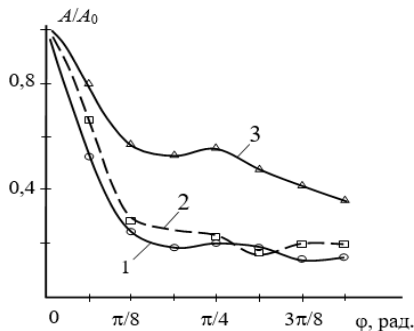


Рисунок 3 – Влияние положения пятна ЛЛ относительно бесконечной трещины на поле рассеяния: $\Delta x, 10^{-3} \text{ м} = 0$ (1); $-1,5$ (2); $2,5$ (3)

Необходимо отметить, что хотя используемый режим лазерного воздействия на твердую поверхность объекта линейный, однако для всех рас-

смотренных случаев механизм возбуждения поверхностных (ПАВ) и пластинчатых мод является достаточно сложным. Так, из-за малой скорости тепловой волны $v_T \ll C$ (C – скорость моды УЗК), времени и области воздействия теплового импульса, граничных условий в тонком поверхностном слое твердого тела генерируются сдвиговые напряжения. Последние и являются источником волн Рэлея, если, конечно, толщина объекта $H \gg \lambda$, где λ – длина волны упругой моды. При $H \sim \lambda$ и менее могут генерироваться пластинчатые моды, что иллюстрирует рис. 5.

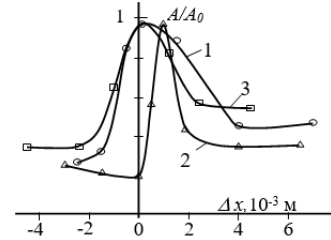


Рисунок 4 – Влияние положения пятна (ЛЛ) диаметром D относительно моделируемой поры на амплитуду акустического сигнала: $D, \text{ мм} = 5$ (1-○); 2 (2-Δ); $3,5$ (3-□).

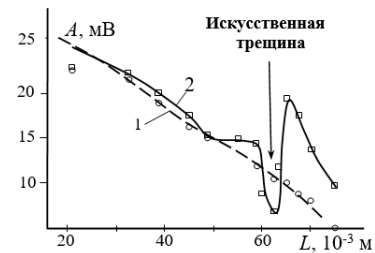


Рисунок 5 – Амплитуда s_0 моды волны Лэмба (1) и возбуждаемой дополнительной моды (2) в пластине с искусственной трещиной в зависимости от расстояния между пятном лазерного луча на объекте и передней гранью призмы приемного ПЭП

Как показывает выполненный в работе качественный анализ, причина возникновения «резонансной картины» при скольжении пятна ЛЛ непосредственно через несплошность (рис. 2, 4) кроется в изменении граничных (импедансных) условий. При этом в области локализации термоупругой энергии (пятна ЛЛ) на границе с дефектом создается свободная граница, отражающая превалирующую часть упругой энергии и служащая дополнительным источником УЗК, а также существенно влияющая на направленность результирующего поля рассеяния. В процессе перемещения пятна ЛЛ изменяются также и геометрические параметры источника колебаний, при характерных размерах которого $l^* = l/\lambda$, согласующихся с рабочей частотой приемного ПЭП f_p , передаточная функция ОА-тракта может быть максимальной.

Неожиданными оказались результаты исследования импульсно-лазерного возбуждения волн Лэмба как в стальной, так и дюралевой пластине толщиной 0,75 мм при длительности импульса, имеющего колокообразную форму, $\tau \sim 14$ нс. При этом прием волн Лэмба производился с помощью призматических наклонных преобразователей. В качестве базового использован ПЭП с рабочей частотой 1 МГц. Как впервые установлено (рис. 4), наряду с основной пластинчатой модой одновременно генерируется дополнительная мода, имеющая в 3 раза большую частоту. Как видно из рисунка.3, при теновом прозвучивании основная s_0 мода достаточно плавно изменяется при смещении пятна ЛЛ в окрестности искусственной тре-

щины глубиной $h \approx 0,3$ мм. Амплитуда же дополнительной моды претерпевает существенные изменения. Причем отношение фиксируемых амплитуд экстремумов достигает 6-7 раз при движении пятна ЛЛ в окрестности дефекта.

Литература

1. А.Р. Баев, В.Г. Гуделев, Г.В. Кулак, А.И. Митьковец Оптико-акустическая диагностика дефектов на поверхности твердых тел. - Проблемы физики, математики и техники, № 1 (18), 2014. - С.72-81.
2. П-т на изобретение N42013, Баев А.Р., Гуделев В.Г., Митьковец А.И. Способ оптоакустического контроля границы соединения материалов публ.30.08.13 Полож.реш.по заявке на ПМ №20130345 от 18.04.13, реш. от 18.04.13.Баев А.Р., Гуделев В.Г., Митьковец А.И.

УДК 621

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ГАЗОВОЙ СМЕСИ

Исаев А.В., Кривицкий П.Г., Черняк А.С., Акиншева А.В.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Анализ состава газовой смеси – это качественное и количественное определение ее компонентов. Анализ может проводиться как в лаборатории, так и с помощью специальных газоанализаторов. Как правило, методы газового анализа основаны на измерении физических параметров и свойств среды, значения которых зависят от концентраций определяемых компонентов.

По характеру измеряемого физического параметра газового анализа различают:

1) Механические методы:

а) Волюмометрический. Измерение сокращения объема анализируемого газового компонента, происходящего в результате реакций абсорбции, сжигания и каталитического окисления

б) Манометрический. Измерение разрежения, получающегося в результате реакции анализируемого газообразного вещества с соответствующим поглотителем

в) Диффузионный. Измерение диффузионного эффекта.

2) Пневматические методы. Применяют для анализа бинарных и псевдобинарных смесей, напр., для определения H_2 в воздухе, H_2 в этилене, CO_2 в инертных газах, Cl_2 в H_2 и т.д.

а) Аэростатический. Основан на измерении плотности газовой смеси.

б) Аэродинамический. Основан на измерении зависящих от плотности и вязкости параметров таких процессов, как дросселирование газовых потоков, взаимодействие струй, вихреобразование и т. д.).

3) Акустические методы. Основаны на измерении поглощения или скорости распространения звуковых и ультразвуковых волн в газовой смеси. Методы не избирательны и применяются,

в частности, для определения CH_4 , O_2 , H_2 в бинарных и псевдобинарных смесях.

4) Адсорбционный метод. Сравнительно простая методика разделения компонентов смеси. Между величинами адсорбции газов и их физическими константами (критической температурой, температурой кипения, константой Ван-дер-Ваальса и др.) существует качественная закономерная зависимость. Сущность метода: если мы имеем постоянные количества адсорбента и адсорбата, то при постоянной температуре состав и объем неадсорбированной фазы будут однозначно определяться составом исходной анализируемой газовой смеси.

5) Тепловые методы:

Термокондуктометрический. Основан на измерении теплопроводности газовой смеси. Находят содержание He , CO_2 , H_2 , CH_4 в бинарных и псевдобинарных смесях. Термохимический. Основан на измерении теплового эффекта химических реакций с участием определяемого компонента. Избирательное определение CO , CH_4 , O_2 , H_2 , контроль в воздухе взрывоопасных и пожароопасных примесей (смесей газообразных углеводородов, паров бензина и т.д.).

б) Магнитные методы. Основаны на измерении магнитной восприимчивости и явлении термомагнитной конвекции. Определение кислорода.

7) Оптические методы:

а) Абсорбционная спектроскопия. Основана на измерении оптической плотности. Применяют для избирательного определения NO_2 , O_3 , H_2S , SO_2 , CS_2 , формальдегида, фосгена, Cl_2 , паров Hg , Na , Pb и других. Источники излучения в абсорбционных методах – лампы накаливания,