

отличаться от проектного  $L_d$  (более 20 % [3]), что может быть причиной принятия решения о непригодности установки ДУ для эксплуатации.

Предлагается при проектировании установок ДУ выбор вентилятора осуществлять с учетом давления газов  $P_{ЕС}$  при нормируемой температуре дыма (более 300 °С). Затем по аэродинамической характеристике выбранного вентилятора определять объемный расход удаляемого установкой воздуха при давлении в сети без учета давления  $P_{ЕС}$  газов (воздуха). На основании чего

определять объемный расход удаляемого через клапан ДУ воздуха  $L_B$ .

#### Литература

1. ТКП 45-4.02-273-2012. Противодымная защита зданий и сооружений. Системы вентиляции. Строительные нормы и правила проектирования.
2. СНБ 4.02.01. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
3. НПБ 23-2010. Противодымная защита зданий и сооружений. Методы приемо-сдаточных и периодических испытаний.

УДК 621.891

### УСТАНОВКА ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ ОДНОРОДНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИОННО-ЛЕГИРОВАННЫХ И ДИФфуЗИОННЫХ СЛОЕВ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИНАХ ДИАМЕТРОМ ДО 200 ММ

Свистун А.И.<sup>1</sup>, Воробей Р.И.<sup>1</sup>, Гусев О.К.<sup>1</sup>, Жарин А.Л.<sup>1</sup>, Пантелеев К.В.<sup>1</sup>, Петлицкий А.Н.<sup>2</sup>, Пилипенко В.А.<sup>2</sup>, Тявловский А.К.<sup>1</sup>, Тявловский К.Л.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»

Минск, Республика Беларусь

Разработанная в НИЛ полупроводниковой техники Белорусского национального технического университета установка бесконтактной фотостимулированной сканирующей электрометрии обеспечивает контроль однородности распределения параметров ионно-легированных и диффузионных слоев на полупроводниковых пластинах диаметром до 200 мм на основе бесконтактных измерений распределения контактной разности потенциалов (КРП) и модулированной поверхностной фотоЭДС на разных длинах волн.

Внешний вид рабочей зоны опытного экземпляра измерительной установки (с откинутой крышкой) показан на рисунке 1.

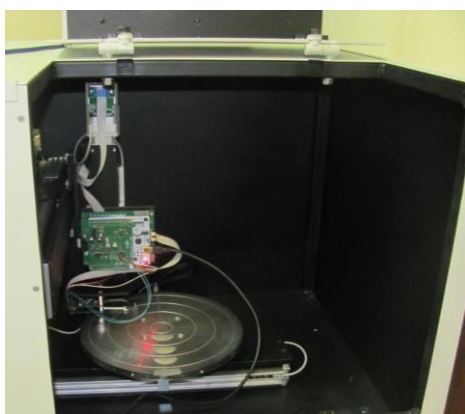


Рисунок 1 – Опытный экземпляр измерительной установки для бесконтактного контроля однородности распределения параметров ионно-легированных и диффузионных слоев на полупроводниковых пластинах диаметром до 200 мм

Программное обеспечение управления измерительной установки бесконтактной фотостимулированной сканирующей электрометрии обеспечивает управление измерительной установкой с использованием исключительно виртуальной системы управления, в рамках которой все управляющие элементы представлены на экранном интерфейсе персонального компьютера (ПК).

Процесс измерений начинается с установки блока измерительных преобразователей в точку с выбранными координатами и задания границ зоны сканирования. Желаемая точка позиционирования может быть указана как числовыми координатами в соответствующем поле ввода, так и щелчком левой кнопки мыши на схематичном изображении держателя. Погрешность задания положения сканирующей системы составляет  $\pm 0,1$  мм при погрешности определения (измерения) текущего положения сканирующей системы до  $\pm 0,01$  мм.

В процессе измерений текущие результаты сканирования выводятся на вкладке «Working Graph» в соответствии с выбранной цветовой схемой. Поскольку диапазон значений регистрируемого параметра до окончания процедуры сканирования не может быть достоверно известен, схема (диапазон индексированных цветов) динамически корректируется в процессе построения визуализированного изображения. По завершении сканирования выполняется завершающая обработка визуализированного изображения распределения параметров ионно-легированных и диффузионных слоев в соответствии с выбранной методикой. В частности, такая обработка может

включать перезадавание или нормализацию диапазона отображаемых значений, обрезку визуализированного изображения, расчет производных физических величин (поверхностной фотоЭДС, концентрации примеси железа в кремнии), интерполяцию изображения и др. (рисунок 2). Количественная характеристика распределения исследуемых параметров ионно-легированных и диффузионных слоев обеспечивается автоматизированной статистической обработкой результатов измерений, включающей построение гистограммы распределения значений интересующего параметра в заданном пользователем диапазоне. Обработанное изображение может быть сохранено в файл в оригинальном формате .dsd и, при необходимости, вновь прочитано из dsd-файла.

Вкладка «3D Graph» (рисунок 3) обеспечивает построение трехмерного графика распределения выбранного параметра на основе результатов сканирования. Выбор проекции и угла наблюдения графика является динамическим и может изменяться пользователем в реальном времени путем «вращения» графика вокруг трех координатных осей с помощью «мыши». С помощью отдельной вкладки «System» обеспечивается изменение системных параметров измерительной установки и ее виртуальной системы управления, включая задание амплитуды и частоты вибрации чувствительного элемента электрометрического зонда, амплитуды и частоты воздействующего модулированного оптического излучения и других вспомогательных параметров, в том числе раздельно для разных режимов измерения.

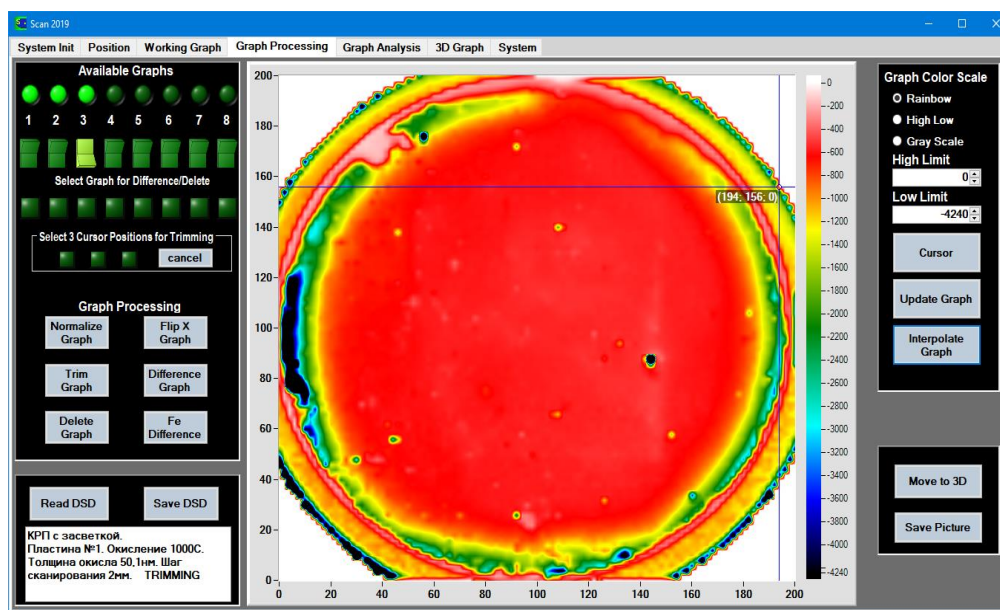


Рисунок 2 – Обработанные результаты сканирования полупроводниковой пластины

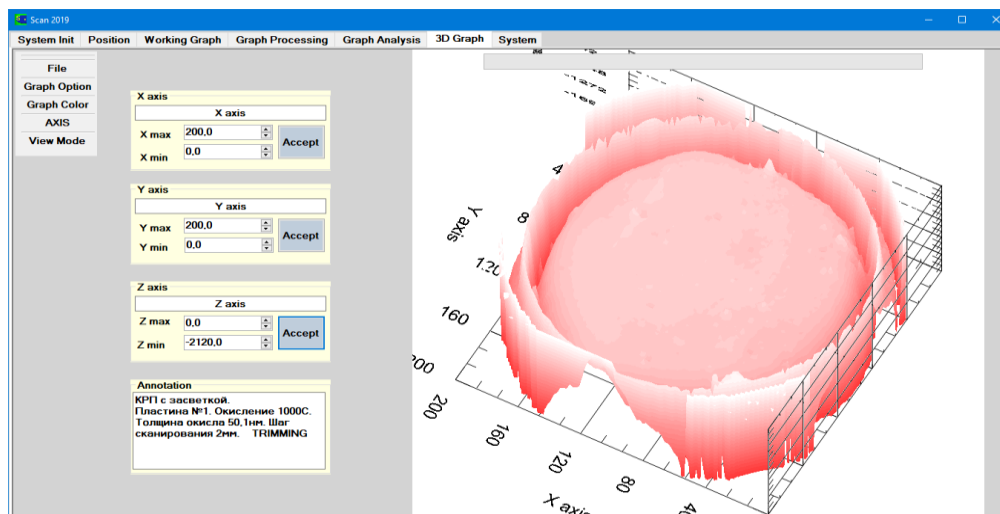


Рисунок 3 – Представление результатов контроля в виде трехмерного графика распределения параметра

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.<sup>1</sup>, Митьковец А.И.<sup>2</sup>, Деленковский Н.В.<sup>1</sup>, Размыслович Г.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственное научное учреждение «Институт прикладной физики НАН Беларуси»  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Государственное 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