

УДК 620.179.1:621.315.592

**БЕСКОНТАКТНЫЕ МЕТОДЫ ЗОНДОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ
В ДИАГНОСТИКЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ**

**К. В. ПАНТЕЛЕЕВ, А. Л. ЖАРИН, Р. И. ВОРОБЕЙ, В. А. МИКИТЕВИЧ,
О. К. ГУСЕВ, А. И. СВИСТУН, А. К. ТЯВЛОВСКИЙ**
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Современная микроэлектроника, в условиях технологической трансформации, требует внедрения передовых методов неразрушающего контроля. К их числу относятся методы сканирующей зондовой электрометрии, которые служат важным инструментом для прецизионной диагностики материалов и структур, обеспечивая решение задач контроля качества. Эти методы бесконтактны и позволяют с высокой точностью картировать фундаментальные электрофизические свойства полупроводников, от контроля исходных пластин до диагностики готовых приборных структур. В основе методов лежит анализ чувствительности поверхностного электрического потенциала к ключевым параметрам материала, таким как работа выхода электрона, удельное сопротивление, время жизни неосновных носителей заряда и концентрация глубоких примесей. Непосредственно измеряемыми физическими величинами выступают контактная разность потенциалов и поверхностная фотоЭДС, возникающая при локальном оптическом возбуждении. Существующая корреляция между величиной фотоЭДС и параметрами, включая время жизни носителей, удельное сопротивление и концентрацию дефектов, открывает широкие возможности для комплексной диагностики полупроводников.

В данной работе обобщены результаты разработки и внедрения трех подходов, созданных в Белорусском национальном техническом университете по заказу ОАО «Интеграл» – управляющая компания холдинга «Интеграл»:

- цифрового метода измерения работы выхода электрона;
- метода определения времени жизни неравновесных носителей и концентрации железа;
- фотостимулированной сканирующей электрометрии.

Цифровой метод измерения работы выхода электрона, реализующий некомпенсационную схему с косвенной аппроксимацией сигнала, позволил в 20–50 раз повысить быстродействие измерений при сохранении точности на уровне 0,1...1 мВ [1].

Метод определения концентрации железа в кремнии р-типа основан на измерении изменения диффузионной длины неосновных носителей до и после низкотемпературного отжига, вызывающего диссоциацию пар Fe–В [2].

Фотостимулированная сканирующая электрометрия анализирует пространственное распределение фотоЭДС для бесконтактного определения удельного поверхностного сопротивления легированных слоев [3].

Эти методики нашли аппаратную реализацию в виде семейства специализированных автоматизированных сканирующих систем серии «СКАН» для пластин диаметром до 200 мм. Системы СКАН-13, СКАН-15 и СКАН-19 оснащены прецизионными приводами сканирования и уникальными электрометрическими зондами. Например, в СКАН-15 [3] реализована двухкамерная архитектура, объединяющая измерительный модуль и камеру для низкотемпературного отжига, что позволяет выявлять примесь и проводить анализ концентрации железа.

Практическая значимость данных методов заключается в решении конкретных технологических задач. Картирование работы выхода электрона эффективно для выявления микродефектов, зон механических напряжений и химических неоднородностей в подложках и эпитаксиальных структурах.

Метод контроля железа является незаменимым инструментом для мониторинга чистоты технологических процессов производства кремния. Контроль однородности удельного поверхностного сопротивления критически важен для характеристики ионно-легированных и диффузионных слоев. Внедрение отечественных разработок в исследовательские центры и на производственные линии формирует основу для полного цикла контроля – от фундаментальных исследований новых материалов до высокопроизводительного тестирования компонентов для систем связи, силовой электроники и специального назначения.

Таким образом, сканирующая зондовая электрометрия представляет собой эффективную методологию неразрушающего контроля, объединяющую передовые физические принципы, цифровые алгоритмы обработки сигналов и прецизионное аппаратное обеспечение. Сочетание высокой пространственной разрешающей способности, быстродействия и возможности мультипараметрического анализа обуславливает определяющее значение этих методов как для фундаментальных исследований в области микроэлектроники, так и для решения задач обеспечения качества и конкурентоспособности серийного производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пантелеев, К. В.** Методы и средства измерения контактной разности потенциалов на основе анализа компенсационной зависимости зонда Кельвина : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.11.01 / Пантелеев Константин Владимирович; БНТУ. – Мн., 2016. – 23 с.
2. **Zharin, A.** Determining the lifetime of minority charge carriers and iron impurity concentration in semiconductor structures with submicron layers / A. Zharin // *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 2, № 4. – С. 3.
3. Универсальный цифровой зондовый электрометр для контроля полупроводниковых пластин / А. Л. Жарин, В. А. Микитевич, А. И. Свистун, К. В. Пантелеев // *Приборы и методы измерений*. – 2023. – Т. 14, № 3. – С. 161–172.