

УДК 621.891

**МЕТОД БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ БАРЬЕРНЫХ СЛОЕВ**

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

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ», Минск, Республика Беларусь

Важное значение в технологии интегральных микросхем, особенно на основе субмикронных слоев, имеет не только контроль готовых приборных структур, но и исходных материалов и слоев, используемых в конкретных технологических операциях [1]. Одним из основных параметров, характеризующих качество приповерхностных слоев полупроводниковых пластин является однородность пространственного распределения их электрофизических параметров, например, поверхностного сопротивления, по площади пластины.

Бесконтактные измерения удельного электрического сопротивления  $\rho_s$  полупроводниковых слоев основаны на использовании особенностей пространственного распределения потенциала поверхности, связанных с генерацией неравновесных носителей заряда и формированием продольной фото-ЭДС. Освещение полупроводникового  $p-n$ -перехода приводит к возникновению между двумя областями перехода поперечной фото-ЭДС. В случае неравномерного или локализованного освещения, возникает также напряжение, параллельное переходу (продольный фотоэффект). Это явление обусловлено эффектом реинжекции носителей заряда.

При локальном освещении полупроводника с мелким переходом (0,1-5 мкм), сформированным в процессе диффузии или ионного легирования [2] генерируется вентильная фото-ЭДС ( $J_{PV}$ ). По мере удаления от области генерации избыточных носителей заряда их концентрация падает, и на некотором фиксированном расстоянии от области освещения потенциал поверхности составит  $V_2$ . Разность значений  $V_1-V_2$  определяется процессами растекания тока и зависит от удельного сопротивления полупроводникового слоя. Конструкция электрометрического зонда (рисунок 1) образована двумя емкостными электродами, один из которых выполнен полупрозрачным и через него осуществляется ввод модулированного по амплитуде луча света.

Для нахождения аналитической связи между контролируемым параметром (удельным сопротивлением  $\rho_s$ ) и измеряемыми в методе напряжениями фото-ЭДС, необходимо сначала решить задачу, связанную с протеканием тока через отдельный точечный зонд в конфигурации полупроводникового образца полубесконечного объема. Так как пространственное распределение электрического потенциала в образце имеет сферическую симметрию, то для его определения достаточно решить уравнение Лапласа в сферической системе координат, в котором

оставлен лишь член, зависящий от геометрических характеристик. Определение удельного сопротивления тонкой пластины, как и образца полубесконечного объема с границей, сводится к вычислению поправочной функции. Однако ее расчет для тонкой пластины более сложен, так как тонкая пластина определенной геометрической формы имеет большое число поверхностей и для каждой из них должно выполняться соответствующее граничное условие.

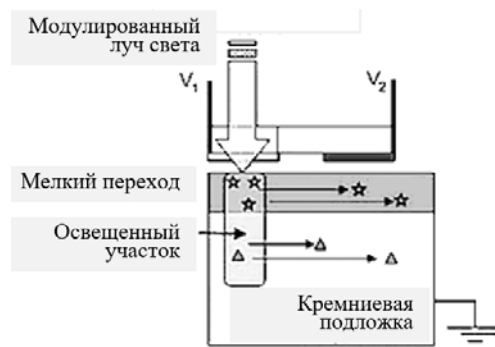


Рисунок 1 – Измерение поверхностного сопротивления двухэлектродным электрометрическим зондом

Эквивалентная схема формирования сопротивления тонкого слоя барьерной структуры приведена на рисунке 2.

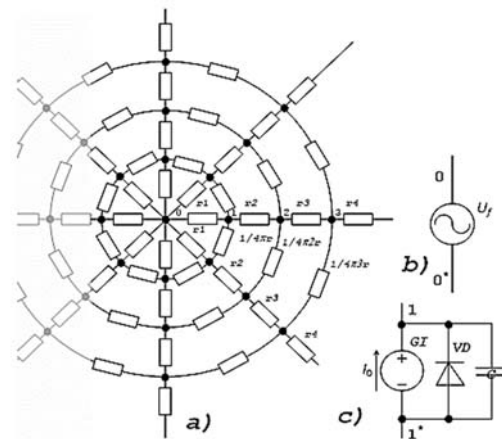


Рисунок 2 – Эквивалентная схема полупроводникового слоя при контроле точечным зондом

В точке 0 при освещении образца точечным источником света формируется барьерная фото-ЭДС (рисунок 2, b), которая может быть измерена бесконтактными конденсаторными методами [3]. Каждый узел схемы образован источником тока утечки  $p-n$  перехода и его емкостью

(рисунок 2, с), и связан между собой сопротивлениями растекания  $r_i$ . Точка 0 находится на поверхности, точка 0\* – под точкой 0, на границе раздела слоев, формирующих  $p-n$  переход. Ввиду эквипотенциальности равноудаленных от зонда узлов, т. е. узлов, имеющих одинаковые индексы, двумерная эквивалентная схема (рисунок 2) может быть преобразована в одномерную схему (рисунок 3).

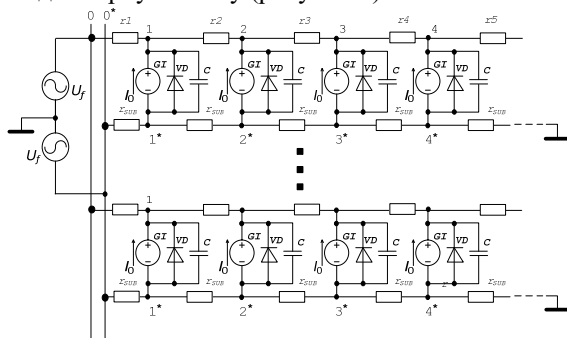


Рисунок 3 – Одномерная эквивалентная схема полупроводникового слоя при контроле точечным зондом

Модель метода измерения совместно с эквивалентными схемами и способами формирования измерительных сигналов образует и ряд выражений, определяющих соотношения между параметрами структуры и измерительного сигнала конденсаторной ячейки чувствительного элемента

$$V = Ae^{-kx},$$

где  $k$  – комплексная функция, определяющая фазовый сдвиг измерительных сигналов и зависящая от параметров эквивалентной схемы измерительной ячейки:

$$\varphi = \arctg \frac{\omega C_S}{G}.$$

Измеряемые бесконтактным способом изменения поверхностного потенциала

$$\frac{V_2}{V_1} = f(R, C, G, r_1, r_2, F).$$

Таким образом, определив в представленном методе параметры фото-ЭДС (амплитуда и фазовый сдвиг) на различном удалении от места освещения структуры (точка 0 на эквивалентной схеме), можно бесконтактным способом опре-

делить такие параметры структуры как удельное сопротивление приповерхностного слоя, ток утечки  $p-n$  перехода, емкость  $p-n$  перехода.

В полупроводниках различают пять основных типов оптического поглощения, из которых наиболее существенными, в данном случае, являются два механизма: собственное поглощение и поглощение на свободных носителях. Параметры оптического излучения выбирают в зависимости от свойств материала полупроводниковых слоев и глубины залегания границы  $p-n$  перехода, формируемого при эпитаксии, диффузии или ионном легировании.

Каждое из измерений пространственно локализовано, и, повторив их для нескольких точек, при перемещении оптико-электронного зонда над поверхностью пластины кремния (сканировании) можно сформировать карту пространственного распределения измеряемых параметров.

Таким образом, данная модификация метода сопротивления растекания фото-ЭДС барьерной структуры при локальном фото-возбуждении неравновесных носителей заряда излучением из области собственного поглощения может использоваться для бесконтактного измерения удельного сопротивления барьерного слоя.

#### Литература

1. Горлов, М.И. Технологические отбраковочные и диагностические испытания полупроводниковых изделий / М.И. Горлов, В.А. Емельянов, Д.Л. Ануфриев. – Мн. : Бел. наука, 2006. – 367 с.
2. Турцевич, А.С. Формирование из газовой фазы функциональных слоев интегральных микросхем / А.С. Турцевич, В.А. Емельянов. – Минск : Интегралполиграф, 2007. – 224 с.
3. Жарин, А.Л. Методы зондовой электротометрии для разработки и исследования свойств перспективных материалов Перспективные материалы и технологии: монография в 2 т. / А.Л. Жарин, К.В. Пантелеев, А.К. Тявловский. – Витебск : Изд-во ВГТУ, 2015. – Т. 1. – 398 с.

УДК 620.179.14/15

### УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ ВИНТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ В СИСТЕМЕ «ДЕНТАЛЬНЫЙ ИМПЛАНТАТ-АБАТМЕНТ» ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ Бусько В.Н.<sup>1</sup>, Рубникович С.П.<sup>2</sup>, Прялкин С.В.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>ГУО «Белорусская медицинская академия последипломного образования», Минск, Республика Беларусь

Дентальные внутрикостные имплантаты, применяемые в стоматологии, по конструкции разделяются на две большие группы: неразборные (моноконтные, однокомпонентные) и разборные (двухкомпонентные). Наиболее широко в практи-

ческой стоматологии применяются двухкомпонентные системы дентальных имплантатов. Разборные дентальные имплантаты имеют в своем составе внутрикостную часть (дентальный имплантат) и наконечную представленную абатмен-