

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ
УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ
ЧЕТЫРЕХЗОНДОВЫМ МЕТОДОМ**

Учебно-методическое пособие

Воронеж
Издательский дом ВГУ
2019

Содержание

Введение	4
1. Теоретическая часть	6
1.1. Особенности измерения удельного сопротивления полупроводниковых материалов	6
1.2. Методы измерения удельного сопротивления полупроводников	9
1.2.1. Двухзондовый метод	9
1.2.2. Четырехзондовый метод	11
1.2.3. Метод движущегося зонда	16
1.2.4. Бесконтактные методы	17
2. Практическая часть	22
2.1. Измерительная установка	22
2.2. Проведение измерений	23
3. Контрольные вопросы	25
4. Список рекомендованной литературы	26

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Особенности измерения удельного сопротивления полупроводниковых материалов

Полупроводники представляют собой обширный класс материалов, по уровню электропроводности занимающий промежуточное положение между хорошо проводящими проводниковыми материалами и почти не проводящими диэлектрическими, а главное их отличие от других материалов заключается в сильной зависимости свойств полупроводников от типа и количества введенных в него примесей, а также от вида и уровня внешних воздействий (температура, облучение и т.д.).

Определяющим фактором в оценке электрофизических параметров полупроводника является состояние его поверхности, а, следовательно, и способ ее предварительной обработки перед измерительными процедурами.

Реальная поверхность полупроводника всегда отличается от свойств объема, поскольку на ней присутствуют дефекты различной природы и протяженности. В частности, на поверхности полупроводника могут иметь место:

- дефекты роста кристаллов (выходы дислокаций, дефекты упаковки и др.);
- нарушенные механической обработкой слои (резка, шлифовка, полировка и др.);
- адсорбция атомов, молекул и ионов из окружающей среды (физическая адсорбция или хемосорбция);
- реальный обрыв объема кристаллической решетки на поверхности, что соответствует обрыву ковалентных связей и появлению на энергетической диаграмме дополнительных энергетических уровней в запрещенной зоне (время перехода носителей заряда на поверхностные

уровни составляет $\sim 10^{-8}$ с, поэтому их называют быстрыми состояниями, через них осуществляется поверхностная рекомбинация);

- наличие оксидных пленок на поверхности полупроводника, что также создает дополнительные энергетические уровни (время перехода свободных носителей заряда на эти уровни от $\sim 10^{-3}$ с до нескольких суток, поэтому такие уровни называются медленными состояниями).

Поверхностные дефекты изменяют свойства поверхности в сравнении с объемом. Поверхностные уровни могут захватывать электроны и дырки, локализуясь на поверхности полупроводника. Из-за такой локализации возникает пространственный заряд, что приводит к искривлению энергетических зон. Область пространственного заряда проникает в полупроводник на глубину порядка 10^{-6} м.

Появление поверхностных зарядов ухудшает частотные свойства полупроводниковых материалов, поэтому к таким материалам и технологическим средам, с которыми они контактируют, предъявляются повышенные требования.

Поверхность полупроводника, не защищенная должным образом от внешних воздействий, обычно имеет нестабильные свойства. Адсорбция различных примесей на поверхности сопровождается образованием дополнительных энергетических уровней в запрещенной зоне полупроводника.

Перераспределение носителей заряда между объемными и поверхностными состояниями может существенно повлиять на электрические свойства приповерхностной области (вплоть до образования слоя с электропроводностью противоположного типа).

Поверхность кремния после любой очистки при непродолжительном контакте с воздухом покрывается пленкой окисла, толщина которого колеблется в пределах 1 – 5 нм. Образование тонкой окисной пленки еще

А

более усложняет картину энергетических уровней, поскольку поверхностные состояния могут находиться не только в полупроводнике, но и в окисле.

Во многих случаях поверхностные явления оказывают на характеристики приборов более сильное влияние, чем физические свойства объема полупроводника.

Величина удельного сопротивления полупроводниковых слитков или пластин является одним из основных параметров, указываемых в сертификате полупроводникового материала. Кроме того, из температурной зависимости удельного сопротивления (или проводимости) можно определить ширину запрещенной зоны полупроводника, энергию ионизации примесных уровней и другие параметры полупроводника.

Именно удельное сопротивление полупроводника позволяет получить на его основе полупроводниковый прибор с заданными электрическими характеристиками, а большой разброс величины удельного сопротивления по слитку может быть причиной увеличения производственного брака.

Удельное сопротивление у полупроводников в отличие от металлов измерить обычным методом «амперметра-вольтметра» зачастую невозможно, т.к. в результаты измерений войдут переходные сопротивления на контактах металл-полупроводник, которые могут во много раз превосходить искомое сопротивление измеряемого образца. Поэтому для измерений удельного сопротивления полупроводников используют зондовые методы.

1.2 Методы измерения удельного сопротивления полупроводников

1.2.1 Двухзондовый метод

Цель любого из зондовых методов измерения удельного сопротивления полупроводника – минимизация или исключение влияния на измеряемую величину контакта металл (зонд) - полупроводник.

Для измерения удельного сопротивления образцов правильной геометрической формы с известным поперечным сечением, в том числе для контроля распределения этого параметра по длине слитков полупроводниковых монокристаллов, может применяться двухзондовый метод.

При его применении на торцевые грани образца наносятся омические контакты и между ними пропускают ток. Вдоль линий тока на поверхности образца размещаются два потенциальных зонда, между которыми измеряется разность потенциалов (рис.1).

Если образец однороден, то его удельное сопротивление ($\text{Ом} \cdot \text{см}$)

$$\rho = \frac{U S}{J l}, \quad (1)$$

где J - сила тока, протекающего через образец, A ;

U - разность потенциалов между измерительными или потенциальными зондами, B ;

l - расстояние между зондами, см ;

S - площадь поперечного сечения, см^2 .

Чтобы устранить влияние сопротивлений контактов зондов с образцом на результаты измерений, необходимо предельно уменьшить протекающий через них ток. Для этого используют вольтметры с высоким входным сопротивлением ($\sim 10^8 \text{ Ом}$ и более) или компенсационный метод измерения напряжения.

Влияние контактных сопротивлений в компенсационном методе исключается следующим способом (рис. 1).

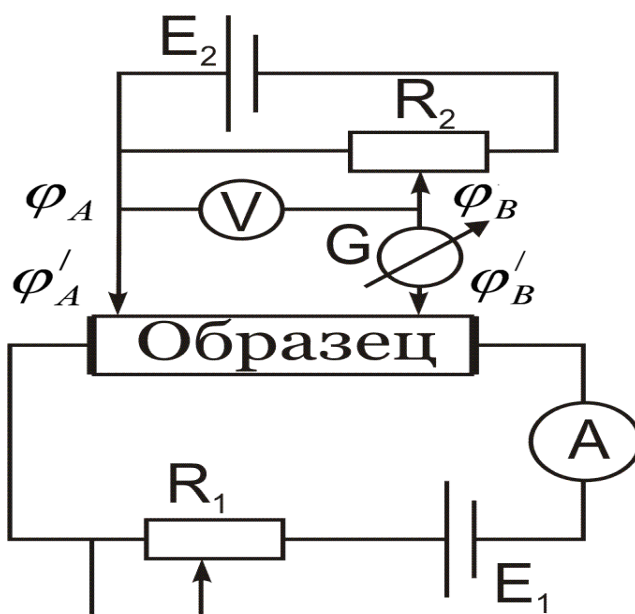


Рис.1. Компенсационная схема измерения напряжения.

От источника E_2 на измерительные зонды подается компенсирующее напряжение, равное по величине и противоположное по знаку падению напряжения, возникающему в результате прохождения тока через образец. Когда оба напряжения (компенсирующее и искомое падение напряжения) выравниваются, ток через гальванометр будет отсутствовать.

Обозначим через φ_A и φ_B потенциалы резистора R_2 , а через φ'_A и φ'_B потенциалы зондов. Из схемы видно, что:

$$\varphi_A = \varphi'_A,$$

следовательно, ток через гальванометр будет идти только тогда, когда $\varphi_B \neq \varphi'_B$. Другими словами ток через гальванометр отсутствует, если падение напряжения на нем $\varphi_B - \varphi'_B = 0$ или $\varphi_A - \varphi_B = \varphi'_A - \varphi'_B$.

Таким образом, измеряя напряжение в момент компенсации, как показано на схеме, мы определяем падение напряжения на образце между