

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ
УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ
ЧЕТЫРЕХЗОНДОВЫМ МЕТОДОМ**

Учебно-методическое пособие для вузов

Составители:
Л.Н. Владимирова,
Е.Н. Бормонтов,
В.И. Петраков

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета
2009

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

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 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.

ДВУХЗОНДОВЫЙ МЕТОД

Для измерения удельного сопротивления образцов правильной геометрической формы с известным поперечным сечением, в том числе для контроля распределения по длине слитков полупроводниковых монокристаллов, может применяться двухзондовый метод. При этом на торцевые грани образца наносятся омические контакты, и между ними пропускают ток. Вдоль линий тока на поверхности образца размещаются два потенци-

тока в точке контакта металлического острия с полупроводником. Пусть на плоской поверхности образца вдоль одной линии размещаются четыре металлических зонда (рис. 2). Через два внешних зонда (1 и 4) пропускают ток J , а между двумя внутренними зондами (2 и 3) измеряют разность потенциалов U . По известному значению тока и измеренной разности потенциалов можно определить удельное сопротивление образца.

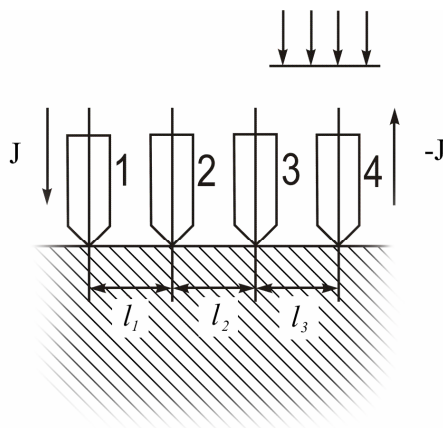


Рис. 2. Схема четырехзондового метода измерения удельного сопротивления

Для получения аналитической связи между удельным сопротивлением ρ с током J и напряжением U необходимо решить задачу о распределении потенциала в полубесконечном полупроводнике вблизи зонда. Решение такой задачи приводит к окончательному выражению для потенциала

$$\varphi(r) = \frac{J\rho}{2\pi r} . \quad (2)$$

По принципу суперпозиции электрический потенциал в любой точке образца равен сумме потенциалов, создаваемых в этой точке током каждого зонда. При этом потенциал имеет положительный знак для тока, втекающего в образец (зонд 1), и отрицательный знак для тока, вытекающего из образца (зонд 4). Для системы зондов, расстояния между которыми l_1, l_2, l_3 (рис. 2), потенциалы измерительных зондов 2 и 3

$$\varphi_2 = \frac{J\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_2 + l_3} \right); \quad \varphi_3 = \frac{J\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{l_1 + l_2} - \frac{1}{l_3} \right).$$

Разность потенциалов

$$U = \phi_2 - \phi_3 = \frac{J\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_2 + l_3} - \frac{1}{l_1 + l_2} + \frac{1}{l_3} \right). \quad (3)$$

Согласно (3), если расстояния между зондами одинаковы $l_1 = l_2 = l_3 = l$, то удельное сопротивление определяется выражением

$$\rho = 2\pi l \frac{U}{J}. \quad (4)$$

Выражение (4) справедливо лишь для полубесконечных образцов. В действительности образцы имеют ограниченный размер и находятся в контакте с изолирующей или проводящей средой.

При использовании формулы (4) для образца, находящегося в контакте с **изолирующей средой**, получается завышение значения ρ в результате растекания тока в ограниченном объеме.

При контакте с **проводящей средой** получаются заниженные значения ρ .

В общем случае формула (4) имеет вид:

$$\rho = 2\pi d \frac{U}{J} F_i, \quad (5)$$

где F_i – поправочный множитель, являющийся функцией межзондового расстояния l , толщины образца d и расстояния от зондов до ближайшей границы образца L (таблица 1).

Таблица 1

*Значение поправочного множителя $F(l, d, L)$
(зонды расположены перпендикулярно краю образца)*

l/d	l/L						
	0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	10.0	∞
0.0	0.9972	0.9810	0.9439	0.8824	0.7965	0.7502	0.6900
0.2	0.9894	0.9750	0.9401	0.8800	0.7949	0.7490	0.6887
1.0	0.6568	0.6373	0.6106	0.5783	0.5398	0.5193	0.4910
5.0	0.1424	0.1316	0.1316	0.1242	0.1162	0.1124	0.1077
10.0	0.0712	0.0689	0.0658	0.0621	0.0581	0.0562	0.0539

Для обычно используемых зондовых головок значения l находятся в интервале 0.7–1.3 мм, а диаметр слитков составляет 20–30 мм. Таким образом, при измерении удельного сопротивления по образующей значение l/d всегда меньше 0.06, а это значит, что краевой эффект определяется величиной l/L . Этот вывод тем более справедлив при измерении по торцу слитка, так как длина слитков всегда больше их диаметров. Следовательно, при измерении на слитках значение F_1 можно брать из табл. 1 при значении $l/d = 0$.

При измерении удельного сопротивления тонких пластин поправочная функция зависит только от отношения толщины пластины d к расстоянию между зондами l . Значения поправочных функций для пластин, контактирующих нижней гранью с изолирующей средой $F_2(d/l)$ и проводящей средой $F_3(d/l)$, приведены в таблице 2.

Ошибки измерений четырехзондовым методом могут иметь различную природу. Для исключения влияния переходных контактных сопротивлений измерения производят компенсационным методом либо используя вольтметр с высоким входным сопротивлением без отбора тока в цепь потенциальных зондов.

Таблица 2

Значения поправочных функций $F_2(d/l)$ и $F_3(d/l)$.

d/l	$F_2(d/l)$ (пластина контактирует с изолирующей подложкой)	$F_3(d/l)$ (пластина контактирует с проводящей подложкой)
0.1	$1.9 \cdot 10^{-6}$	13.863
0.141	$1.8 \cdot 10^{-4}$	9.704
0.2	$3.42 \cdot 10^{-3}$	6.193
0.333	$6.04 \cdot 10^{-2}$	4.159
0.5	0.228	2.78
1.0	0.683	1.504
1.414	0.848	1.223
2.0	0.983	1.094
3.333	0.988	1.0228
5.0	0.9948	1.007
10.0	0.9993	1.00045