

А. В. ИОФФЕ

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКА НА ГРАНИЦЕ С МЕТАЛЛОМ

На границе между некоторыми полупроводниками и металлическими электродами происходят явления, получившие уже техническое применение (детекторы, выпрямители, фотоэлементы). Диффузионная теория граничного слоя полупроводника, разрабатываемая за последние годы Б. И. Давыдовым, и в особенности теория Д. И. Блохинцева и Б. И. Давыдова, учитывающая возникающие на границе двух разных проводников объемные заряды, дают хорошее качественное объяснение наблюдаемым здесь явлениям. Ничем по существу не отличается от нее недавно появившаяся подробно разработанная теория выпрямления Шоттки. Шоттки называет лишь «гальваническим» скачком то, что Давыдов и Блохинцев определяют, как разность контактных потенциалов.

Обе теории приходят к заключению, что в полупроводнике, обладающем «электронным» механизмом проводимости, возникает слой с пониженной концентрацией носителей тока и, следовательно, с повышенным сопротивлением тогда, когда контактный потенциал металла выше полупроводника.

В полупроводнике с «дырочным» механизмом тока слой с повышенным сопротивлением появляется на границе с металлом более низкого контактного потенциала. Этими слоями обе теории объясняют выпрямительные эффекты в полупроводниках.

Таким образом сопротивление полупроводника должно зависеть от природы металлического электрода. Это заключение подтверждается результатами наших опытов (табл. 1).

Таблица 1

Образец	Cu ₂ O	Cu ₂ S	Tl ₂ S	V ₂ O ₅	CdO	ZnO	WO ₃	TiO ₂
Знак носителей тока	+	+	+	—*	—	—	—	—
Mg	—	—	—	—	—	—	—	3.600
Al	43.000	120	—	50.000	—	3·10 ⁵	390	—
Zn	10.600	—	9·10 ⁶	5.900	900	6·10 ⁵	146	—
Au	2.500	3	4·10 ⁶	1.900	2.100	7·10 ⁵	3.300	50.000
C	3.700	—	—	1.600	—	—	4.800	—

* В данной таблице V₂O₅ представляет исключение.

Мы применяли электроды четырех видов: 1) тонкую фольгу с резиновой прокладкой, прижимаемую к шлифованной поверхности полупроводника сильной пружиной; 2) слой металлов, нанесенные в пустоте на хорошо проводящую резину, смешанную с тонким графитовым порошком; 3) слой металла (Mg), нанесенный на мягкую свинцовую фольгу; 4) аквадаг или графит, нанесенный непосредственно на полупроводник.

Из полупроводников исследованы были Cu_2O , V_2O_5 , WO_3 , ZnO , TiO_2 , Tl_2S , Se , Cu_2S , CdO , CdS , PbS ; из металлов были применены: Mg, Al, Zn, Ag, Au, Pt, C, Pb. Характер носителей тока определялся по знаку термоэлектродвижущей силы. Контактные потенциалы измерялись ионизационным методом. Сопротивления измерялись на мосте Витстона, а при низких температурах при помощи электрометра.

В табл. 1 приведены некоторые из полученных результатов. В первой строке указаны исследованные полупроводники, во второй—знак носителей тока. В первом вертикальном столбце металлические электроды в порядке возрастающих контактных потенциалов. Сопротивления даны в омах.

Легко видеть, что сопротивление «электронных» полупроводников резко возрастает при переходе от металлов с малым контактным потенциалом (Mg, Al) к большому контактным потенциалам (Au, C). Наоборот, сопротивление «дырочных» столь же резко при этом падает. Это противоположное действие тех же электродов исключает всякие объяснения, основанные на различных механических свойствах контакта или на присутствии пленок окислов на некоторых из них.

Во всех случаях различие было наиболее резким при малых напряжениях. Здесь сопротивление не зависело от знака тока даже в тех случаях, когда полупроводник находился между разными электродами. С повышением напряжения сопротивление падало гораздо быстрее для тех электродов, где оно было больше. Таким образом с возрастанием приложенного напряжения зависимость сопротивления от металла электродов уменьшалась. Ранее мы установили, что токи в сильных полях не зависят от природы электродов.

С понижением температуры сопротивление полупроводников резко возрастает. Однако соотношение сопротивлений Cu_2O с золотыми и алюминиевыми электродами не изменялось существенно даже в жидком воздухе, когда удельное сопротивление возрастает в 10^6 раз. Не было также большой разницы в этом отношении между полупроводниками (Cu_2O , WO_3) с разным содержанием примесей, хотя их удельное сопротивление отличалось в тысячи раз. По мере ухудшения контакта добавочное сопротивление возрастало.

В виду того что измеренное с различными электродами сопротивление того же образца может различаться в сотни раз, необходимо было перейти к измерению, результат которого не зависел бы от природы электродов. С этой целью мы применяли зонды, касающиеся поверхности полупроводника, и компенсационным методом определяли разность потенциалов, устанавливающуюся между ними во время прохождения известного тока. При помощи зондов мы могли измерить падение потенциала как для внутреннего участка образца, так и вблизи электродов.

В табл. 2 приведены разности потенциалов и сопротивления соответственных участков полупроводника в процентах к общему значению в зависимости от электрода. Расстояние между средними зондами составляло около 1 мм, между зондом и электродом—порядка 2,5 мм. Поэтому при равномерном распределении потенциала участки у электродов должны иметь сопротивление в 2,5 раза больше, чем между средними электродами.

Т а б л и ц а 2

Образец	Cu ₂ O	Cu ₂ O	Cu ₂ S	CdO	WO ₃	WO ₃	TiO ₂	TiO ₂
Знак носителей тока . . .	+	+	+	—	—	—	—	—
Средний участок	0,5	8	0,4	0	0,5	0,2	0,02	4
Mg	—	—	—	—	—	—	0,04	14
Al	—	—	78	—	4,5	—	—	—
Zn	98	64	—	40	—	1,2	—	—
Au	—	—	21	60	—	—	99,95	—
C	1,5	28	—	—	95	98,5	—	—
Аквадаг	—	—	—	—	—	—	—	82

Измерения распределения потенциала при помощи зондов подтверждают появление приэлектродных слоев большого сопротивления в тех случаях, когда «электронный» полупроводник соприкасается с металлом большего контактного потенциала или «дырочный» полупроводник— с металлом меньшего контактного потенциала.

Теория Блохинцева-Давыдова и Шоттки связывают эти слои с выпрямительным действием полупроводников. Только в одном случае (Cu₂S на границе с Al) мы наблюдали сильное выпрямление. Во всех же других приэлектродное сопротивление вовсе не зависело от направления тока при малых напряжениях ($1 \cdot 10^{-3}$ В—0,1 В), затем появлялась некоторая асимметрия, растущая сначала с ростом напряжения, а начиная с 3—5 В снова уменьшающаяся с дальнейшим возрастанием напряжения до 30 В. Нужно отметить, что среднее значение поля оставалось небольшим—от 1 до 100 В/см. Поле же в приэлектродном слое могло достигать значительных величин, если толщину слоя считать равной дебаевскому радиусу действия ионов в соответственном растворе.

Отметим, что резко выраженные добавочные сопротивления наблюдались нами и у полупроводников с малым удельным сопротивлением, где их нельзя было бы ожидать по диффузионной теории.

Настоящее сообщение является предварительным.

Физико-технический институт
Академии Наук СССР
Ленинград

Поступило
28 IV 1940