

- [1] Антонов-Романовский В. В., Степанов Б. И., Фок М. В. и др. Выход люминесценции системы с тремя уровнями энергии. — ДАН СССР, 1955, т. 105, в. 1, с. 50—53.
- [2] Иванов-Омский В. И., Коломиец Б. Т., Смирнов В. А. Рекомбинационное излучение в InSb при магнитоконцентрационном эффекте. — ДАН СССР, 1965, т. 161, в. 6, с. 1308—1309.
- [3] Болгов С. С., Малютенко В. К., Пипа В. И. «Отрицательная» люминесценция в полупроводниках. — Письма ЖТФ, 1979, т. 5, в. 23, с. 1444—1447.
- [4] Болгов С. С., Малютенко В. К., Пипа В. И. Люминесценция полупроводников в условиях дефицита носителей тока. — ФТП, 1983, т. 17, в. 2, с. 208—212.
- [5] Kessler F. R., Mangelsdorf J. W. — Phys. St. Sol., 1981, v. 105b, p. 525—535.
- [6] Morimoto T., Chiba M. — Phys. Lett., 1984, v. 104a, p. 55—58.
- [7] Агранович В. М., Галанин М. Д. Перенос энергии электронного возбуждения в конденсированных средах. М., 1978. 384 с.
- [8] Ансельм А. И. Введение в теорию полупроводников. М., 1978. 616 с.

Институт полупроводников
АН УССР
Киев

Получено 22.06.1987
Принято к печати 22.09.1987

ФТП, том 22, вып. 3, 1988

**ПЕРЕХОД КОНТАКТА ПОЛУПРОВОДНИК—
ЖИДКИЙ МЕТАЛЛ
ОТ ВЕНТИЛЬНОГО К ОМИЧЕСКОМУ.
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКА
НА ТЕМПЕРАТУРУ ПЕРЕХОДА**

Гольдберг Ю. А., Ильина М. В., Поссе Е. А., Царенков Б. В.

1. Данная работа продолжает нашу работу [1], в которой показано, что контакт полупроводник—жидкий металл, исходно вентильный, в процессе его непрерывного нагревания при некоторой температуре необратимо переходит в омический. Предложена модель, объясняющая такой переход исчезновением поверхностных состояний, закреплявших уровень Ферми глубоко в запретной зоне и создававших потенциальный барьер для электронов, и образованием новых поверхностных состояний, закрепляющих уровень Ферми на поверхности полупроводника вблизи дна зоны проводимости. Предполагалось, что эти состояния возникают после растворения приповерхностного слоя полупроводника в жидком металле.

Цель данной работы — показать, что переход контакта от вентильного к омическому обусловлен именно растворением приповерхностного слоя полупроводника в жидком металле, а не другими причинами. Для этого изучалось влияние кристаллографической ориентации поверхности полупроводника, контактирующей с жидким металлом, и концентрации носителей заряда на температуру перехода контакта полупроводник—жидкий металл от вентильного к омическому в процессе его нагревания.

2. Объектом исследования была выбрана контактная пара GaAs—Ga. В ней контактирующий металл — основной компонент самого полупроводника, т. е. не является ни донором, ни акцептором, и при его взаимодействии с полупроводником не образуются твердые растворы; кроме того, удобно и то, что Ga является достаточно низкотемпературным растворителем GaAs.

Структура представляла собой пластинку *n*-GaAs, на одной стороне которой был исследуемый контакт, а на противоположной — базовый омический; толщина пластинок ~0.3 мм. Все структуры исходно были вентильными.

Изучалось изменение *I—U*-характеристики контакта при непрерывном нагревании структур от комнатной температуры со скоростью 5 град/мин. Такая невысокая скорость позволила обойтись без ступенчатого нагревания,

необходимого для стабилизации $I-U$ -характеристики во времени при фиксированной температуре.

Параметром, характеризующим асимметрию $I-U$ -характеристики, был взят коэффициент выпрямления $K_r = I_{пр}/I_{обр}$ ($|U|=0.5$ В).

3. Для изучения влияния ориентации поверхности полупроводника на температуру перехода от вентиляльного к омическому $T_{ом}$ были изготовлены структуры GaAs—Ga на основе пластинок n -GaAs, вырезанных из

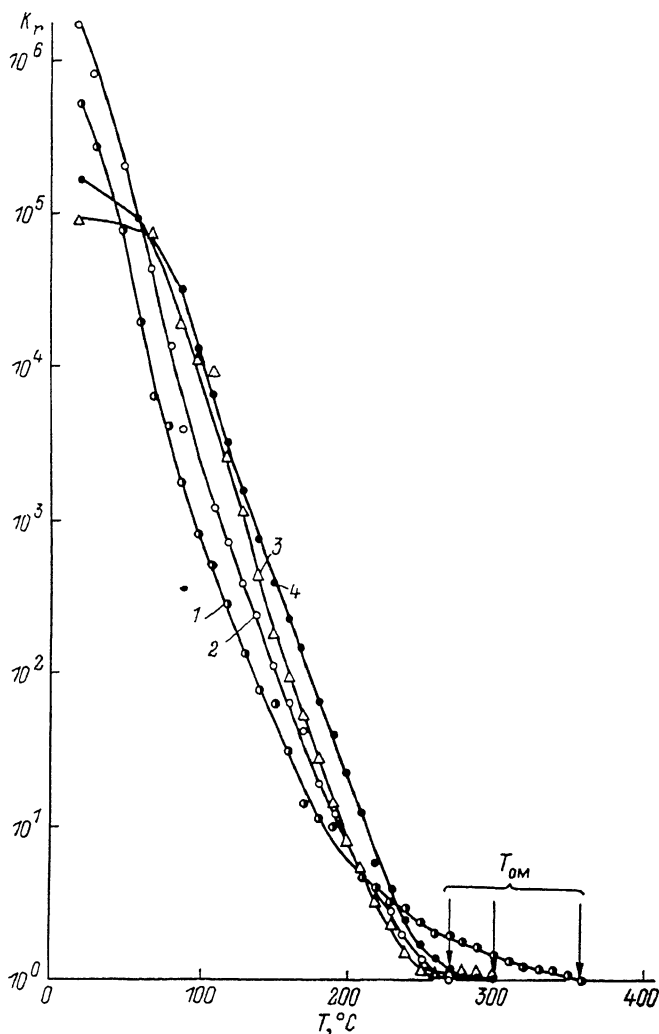


Рис. 1. Температурная зависимость коэффициента выпрямления структур n -GaAs—Ga, различающихся ориентацией поверхности GaAs, при их непрерывном нагревании. Ориентация: 1 — (111) А, 2 — (111) В, 3 — (100), 4 — (110). Концентрация электронов в GaAs $n = 5 \cdot 10^{15}$ см $^{-3}$ (293 К).

одного и того же слитка и ориентированных по плоскостям (100), (110), (111) А, (111) В. Слиток специально не легировался и имел концентрацию электронов $5 \cdot 10^{15}$ см $^{-3}$ (293 К).

Предварительными опытами было установлено, что температура перехода $T_{ом}$ существенно зависит от условий обработки поверхности полупроводника. Поэтому при изучении влияния ориентации на $T_{ом}$ необходимо было обеспечить одинаковую обработку по-разному ориентированных поверхностей кристалла. Для этого все пластинки одновременно шлифовались микропорошками и затем обрабатывались методом химико-динамической полировки, при которой страивался деформированный шлифовкой слой. Затем на противоположной поверхности пластинки создавался базовый омический контакт вплавлением

индия при 500 °С. После этого создавался исследуемый контакт GaAs—Ga. Пластины GaAs травились в $3\text{H}_2\text{SO}_4+1\text{H}_2\text{O}_2+1\text{H}_2\text{O}$ в течение 10—15 с, и на них электрохимически осаждался слой Ga из водного раствора GaCl_3 . Толщина слоя Ga была порядка 100 мкм.

Коэффициент выпрямления при комнатной температуре $K_r=10^5\div 10^6$ и с ростом температуры независимо от ориентации поверхности уменьшается быстро в интервале 50—200 °С, а затем — медленно и при температуре $T_{0\text{M}}$ становится равным единице (рис. 1), т. е. контакт полупроводник—жидкий металл превращается в омический (необратимо).

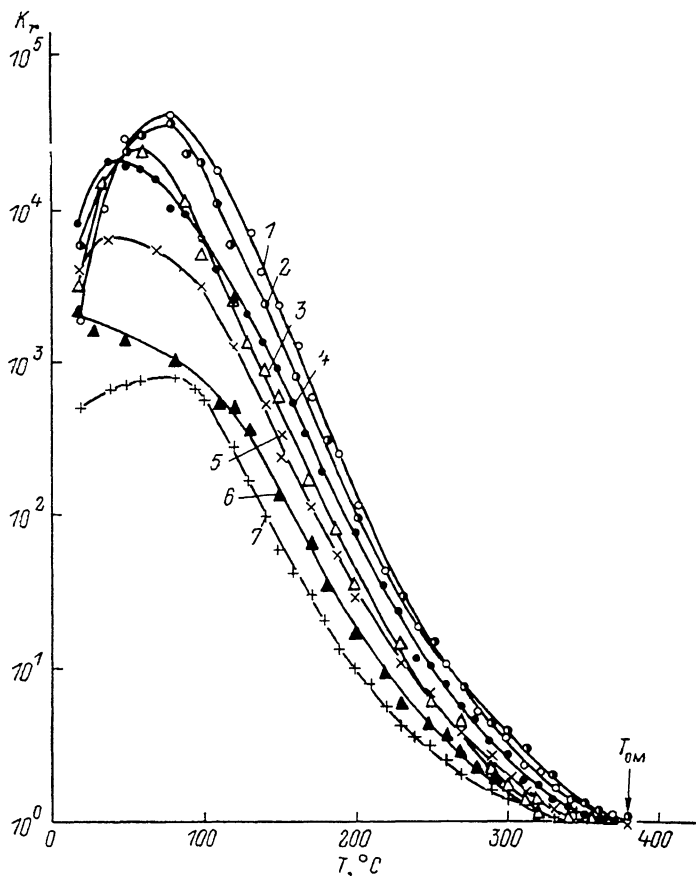


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента выпрямления K_r структур $n\text{-GaAs—Ga}$, различающихся концентрацией электронов в GaAs, при их непрерывном нагревании. Концентрация электронов в GaAs при 293 К; n , см^{-3} : 1 — 10^{15} , 2 — $5 \cdot 10^{15}$, 3 — 10^{16} , 4 — $5 \cdot 10^{16}$, 5 — 9×10^{16} , 6 — $4 \cdot 10^{17}$, 7 — $9 \cdot 10^{17}$. Контактующая поверхность GaAs ориентирована по плоскости (100).

Из эксперимента (рис. 1) следует, что температура перехода существенно зависит от кристаллографической ориентации поверхности полупроводника: она наименьшая для ориентации (111) В, наибольшая для ориентации (111) А и находится в этом промежутке для ориентаций (100) и (110), что коррелирует с соответствующей способностью к растворению разных граней кристалла [2].

4. Для изучения влияния концентрации электронов в полупроводнике на температуру перехода $T_{0\text{M}}$ были изготовлены структуры $n\text{-GaAs—Ga}$ на основе пластинок GaAs с концентрацией электронов $n=10^{15}\div 10^{18} \text{ см}^{-3}$ (293 К), ориентированных по плоскости (100). Пластины были изготовлены и механически отполированы в промышленных условиях и химико-динамически не полировались. Базовый омический и исследуемый контакты к ним были изготовлены по методике, описанной в п. 3.

Из эксперимента (рис. 2) следует, что температура перехода $T_{0\text{M}}$ не зависит от концентрации электронов в полупроводнике во всем исследованном интервале концентраций.

Отметим, во-первых, что возрастание K_r с ростом температуры на начальном участке характеристики $K_r(T)$ связано с разрушением поверхностных окисных пленок во время нагревания [3] и, во-вторых, что различие в значениях $T_{ом}$ для структур с ориентацией (100), представленных на рис. 2 и 1, связано с разной обработкой поверхности полупроводника.

5. В работе [1] мы предположили, что переход контакта полупроводник—жидкий металл от вентильного к омическому происходит в результате перестройки поверхностных состояний (максимум плотности состояний оказывается вблизи дна s -зоны), которая является следствием растворения приповерхностного слоя полупроводника.

Зависимость $T_{ом}$ от ориентации поверхности полупроводника и способности грани кристалла к растворению и независимость $T_{ом}$ от концентрации электронов подтверждают предположение, что переход контакта от вентильного к омическому связан прежде всего с растворением приповерхностного слоя полупроводника.

Толщина растворенного слоя GaAs в жидком Ga при температуре образования омического контакта была оценена следующим образом. Поскольку данных по растворимости As в Ga при температурах $< 500^\circ\text{C}$ в известной нам литературе нет, мы воспользовались результатами [4], согласно которым атомная доля As, соответствующая насыщенному раствору-расплаву Ga—As, $x_{As} = 4479 \exp[-13\,112/T(K)]$ в интервале температур $580 \div 670^\circ\text{C}$, и экстраполировали эту зависимость до 300°C . Отсюда была вычислена толщина растворенного слоя GaAs, которая оказалась порядка 10 \AA , т. е. порядка величины постоянной решетки GaAs.

6. Таким образом, установлено, что температура перехода контакта полупроводник—жидкий металл от вентильного к омическому:

— существенно зависит от кристаллографической ориентации поверхности полупроводника и тем ниже, чем выше способность грани кристалла к растворению в жидком металле;

— не зависит от концентрации электронов в полупроводнике ($10^{15} \div 10^{18} \text{ см}^{-3}$).

Контакт становится омическим после растворения в жидком металле тонкого, близкого к монокристаллическому, приповерхностного слоя полупроводника.

Л и т е р а т у р а

- [1] Гольдберг Ю. А., Поссе Е. А., Царенков Б. В. Переход контакта полупроводник—жидкий металл от вентильного к омическому. — ФТП, 1986, т. 20, в. 8, с. 1510—1513.
- [2] Galos H. C., Lavine M. C. — J. Phys. Chem. Sol., 1960, v. 14, p. 169—174.
- [3] Гольдберг Ю. А., Лаперашвили Т. А., Наканидзе Г. А., Царенков Б. В. Влияние термообработки на характеристику прямой ток—напряжение Au— n -GaP поверхностно-барьерных структур. — Письма ЖТФ, 1982, т. 8, в. 14, с. 866—869.
- [4] Perea E. H., Fonstad C. G. — J. Electrochem. Soc., 1980, v. 127, N 2, p. 313—315.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Получено 15.09.1987
Принято к печати 22.09.1987

ФТП, том 22, вып. 3, 1988

ФОТОМАГНИТНЫЙ ЭФФЕКТ В n -InSb В КВАНТОВОМ ПРЕДЕЛЕ

Кадушкин В. И., Денисов А. А.

Измерения нечетного фотомагнитного эффекта ФМЭ [1^{-3}], выполненные на вырожденных образцах n - $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ в квантовом пределе, обнаружили аномальную зависимость ЭДС ФМЭ от магнитного поля, а именно в области магнитных полей непосредственно за θ^+ -экстремумом осцилляций Шубникова—