

ЭВОЛЮЦИЯ БАРЬЕРНОГО КОНТАКТА GaAs—Ni В ОМИЧЕСКИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Джаманбалин К. К., Дмитриев А. Г.

Исучена эволюция прямой и обратной ветвей ВАХ, напряжения емкостной и токовой отсечек и высоты потенциального барьера при переходе барьерного контакта GaAs—Ni в омический под воздействием лазерного излучения.

Установлено, что омический контакт формируется в два этапа. На первом этапе происходят изменения в объеме полупроводника при неизменности высоты барьера, а на втором — на границе металл—полупроводник, приводящие к устранению барьера.

1. В работе [1] сообщалось о том, что в процессе непрерывного нагревания структуры металл—полупроводник при некоторой температуре происходит переход вентильного контакта в омический. В этих экспериментах использовался металл той же группы, что и металл, входящий в состав соединения; температура плавления металла была ниже, чем температура плавления соединения. По мнению авторов [1], при нагревании происходит частичное растворение полупроводника в металле и на вновь образовавшейся поверхности полупроводника, находящейся в контакте с металлом, возникают новые состояния, закрепляющие уровень Ферми либо в зоне проводимости, либо вблизи ее дна и ответственные за образование омического контакта.

Данная работа посвящена изучению эволюции барьерного контакта в омический при дозированном облучении импульсами лазера поверхностно-барьерных структур, в которых металл имел температуру плавления выше температуры плавления арсенида галлия, что исключало возможность растворения полупроводника в металле.

2. Объектами исследования были поверхностно-барьерные структуры, изготовленные химическим осаждением никеля на поверхность эпитаксиального слоя арсенида галлия. Эпитаксиальные слои выращивались газофазной эпитаксией на подложках из *n*-GaAs с концентрацией электронов $1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Толщина эпитаксиального слоя около 10 мкм, подвижность электронов в нем $(5 \div 6) \cdot 10^3 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ (300 К), толщина осажденного металла 1.3 мкм, площадь барьерного контакта $(5.0 \div 5.5) \cdot 10^{-2} \text{ см}^2$.

Исследуемые структуры со стороны металла облучались импульсами ОКГ на стекле с неодимом длительностью 10^{-3} с и длиной волны 1.06 мкм. Интенсивность падающего излучения (Φ) изменялась ступенчато.

Как до, так и после каждого облучения производились следующие измерения (300 К):

- прямой ветви ВАХ на постоянном токе и на импульсах;
- обратной ветви ВАХ на постоянном токе и на импульсах;
- импеданса при обратном смещении (измерялся мостовым методом на частоте 100 кГц); измеренные параметры параллельной эквивалентной схемы пересчитывались в емкость барьера C и его проводимость G с учетом сопротивления контактов и толщи R_0 , которое определялось из импульсной ВАХ;
- спектральной зависимости фототока от энергии падающих фотонов, когда последняя меньше ширины запрещенной зоны полупроводника, что позволяло определять высоту потенциального барьера φ_B [2].

Исходные структуры имели ВАХ вентиляльного типа (рис. 1 и 2) и характеризовались следующими параметрами:

- концентрацией ионизированных примесей на границе слоя объемного заряда $N=(1 \div 3) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$;
- емкостным напряжением отсечки $U_{\text{отс}}^0=0.9 \div 1.0 \text{ В}$;
- напряжением токовой отсечки $U_{\text{отс}}^I=0.5 \div 0.6 \text{ В}$;
- напряжением пробоя $U_B=75 \div 80 \text{ В}$;
- последовательным сопротивлением контактов и толщи $R_0=5 \div 8 \text{ Ом}$;
- барьерной емкостью при нулевом смещении $C_0=(1.5 \div 1.6) \cdot 10^4 \text{ пФ/см}^2$;
- активной составляющей проводимости барьера $G_a \approx 0 \text{ Ом}^{-1}$;
- высотой потенциального барьера $\varphi_B \approx 0.95 \div 0.99 \text{ эВ}$.

Приведенные значения параметров относятся к различным структурам.

3. По мере увеличения интенсивности падающего излучения происходили изменения ВАХ и параметров структур. При этом можно выделить две области интенсивностей, в пределах каждой из которых эти изменения носили каче-

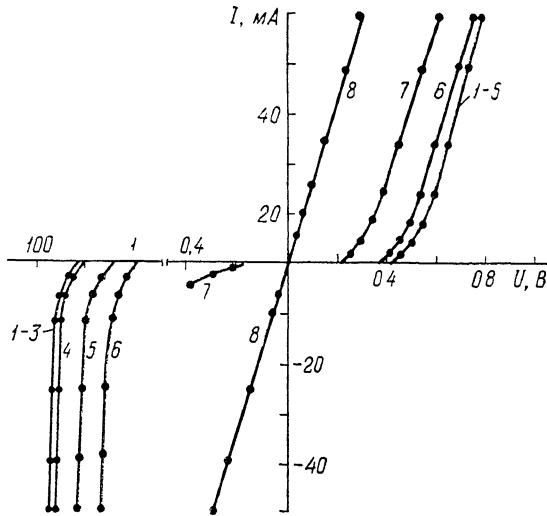


Рис. 1. ВАХ структур GaAs—Ni после облучения.

Интенсивность падающего излучения, кВт/см²: 1 — 0, 2 — 0.08, 3 — 0.10, 4 — 0.12, 5 — 0.14, 6 — 0.16, 7 — 0.20, 8 — 0.25.

ственно разный характер (рис. 3). Переход от первой области ко второй обнаружился, когда интенсивность облучения превосходила критическое значение $\Phi_{\text{кр}}=0.12 \div 0.14 \text{ кВт/см}^2$. При достижении пороговой интенсивности $\Phi_{\text{лор}}=0.25 \text{ кВт/см}^2$ барьерный контакт переходил в омический (рис. 1).

3.1. Изменения прямой ветви ВАХ после облучения интенсивностью $\Phi < \Phi_{\text{кр}}$ проявлялись в появлении избыточного тока, значение которого возрастало по мере увеличения Φ (рис. 2, кривые 2—7). При малых интенсивностях облучения избыточный ток проявлялся только на начальном участке ВАХ в области малых плотностей тока, в то время как при больших плотностях его не было и отклонений ВАХ от исходной не наблюдалось (рис. 1, кривые 1—5; рис. 2, кривые 1—4). Переход от участка избыточного тока к исходной ВАХ происходил при некотором токе, величина которого зависела от Φ и увеличивалась с ее ростом. Напряжение токовой отсечки оставалось неизменным и имело такое же значение ($0.5 \div 0.6 \text{ В}$), как и у исходных структур (рис. 1 и 3).

После облучения интенсивностью $\Phi > \Phi_{\text{кр}}$ ВАХ становилась отличной от исходной во всем интервале токов, а участок, представляющий собой избыточный ток, оставался единственным на ВАХ (рис. 1, кривые 6—8; рис. 2, кривые 5—7). При этом ВАХ сохраняла вентиляльный характер и линейный участок в области больших плотностей тока (рис. 1, кривые 6—8). Напряжение токовой отсечки становилось меньше, чем у исходных структур, и уменьшалось с ростом Φ (рис. 1, кривые 6—8; рис. 3). Это свидетельствует об уменьшении вы-

соты потенциального барьера, предшествующем образованию омического контакта. При достижении $\Phi_{\text{пор}} = 0.25 \text{ кВт/см}^2$ ВАХ становилась линейной во всем интервале токов и барьерный контакт переходил в омический (рис. 1, кривая 8; рис. 2, кривая 7).

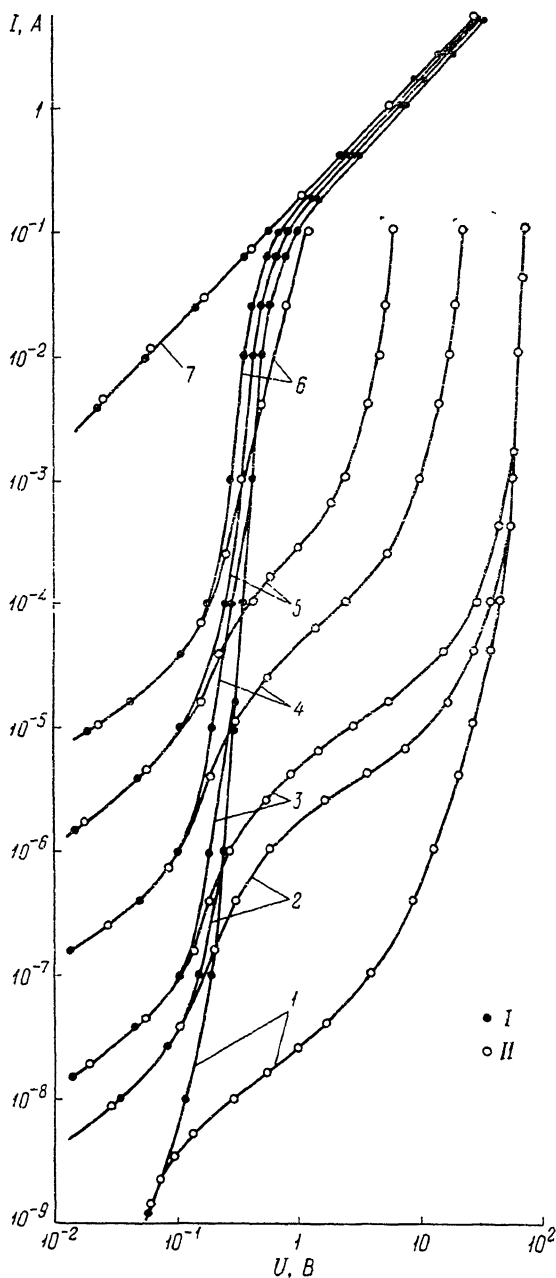


Рис. 2. Зависимость прямого (I) и обратного (II) токов от напряжения после облучения. Интенсивность падающего излучения, кВт/см^2 : 1—0, 2—0.08, 3—0.10, 4—0.14, 5—0.16, 6—0.20, 7—0.25.

3.2. Изменение обратной ветви ВАХ в предпробойной области после облучения интенсивностью $\Phi < \Phi_{\text{кр}}$ сказывалось также на появлении избыточного тока, значение которого возрастало по мере увеличения Φ (рис. 2, кривые 2—7). Причем при малых смещениях ($U \leq kT/q$) величина избыточного обратного тока не отличалась от величины избыточного прямого тока (рис. 2). Как и

в случае прямого тока, при малых интенсивностях облучения избыточный обратный ток проявлялся на начальном участке ВАХ в предпробойной области, в то время как в области пробоя отклонений ВАХ от исходной не наблюдалось (рис. 1, кривые 1—3; рис. 2, кривые 1—3). Напряжение пробоя оставалось неизменным и имело такое же значение ($75 \div 80$ В), как и у исходных структур (рис. 3).

После облучения интенсивностью $\Phi > \Phi_{кр}$ обратная ветвь ВАХ становилась отличной от исходной во всем интервале токов (рис. 1, кривые 4—8; рис. 2, кривые 4, 5), а участок, представляющий собой обратный избыточный ток,

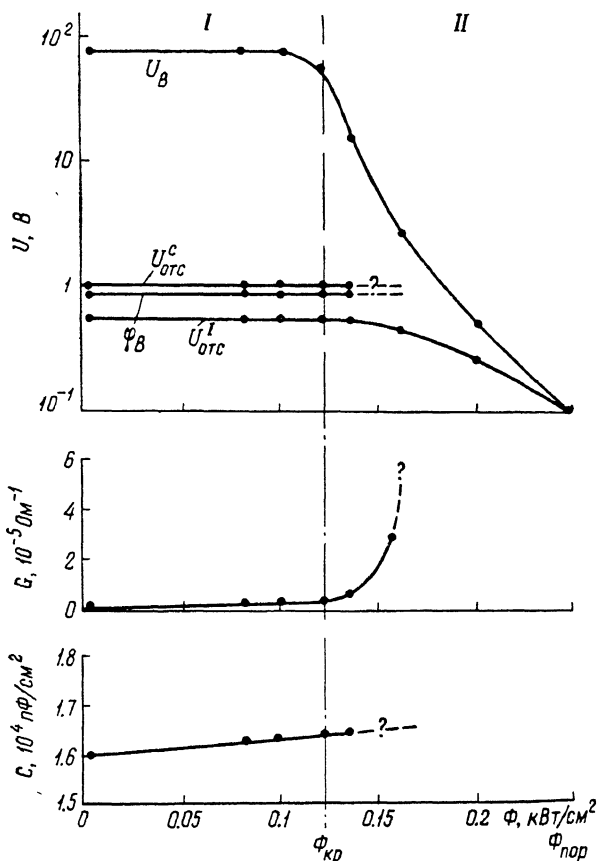


Рис. 3. Зависимость параметров структур GaAs—Ni от интенсивности падающего излучения.

оставался единственным на ВАХ. Напряжение пробоя становилось меньше, чем у исходных структур, и уменьшалось с ростом Φ (рис. 2 и 3). При достижении $\Phi_{пор}$ ВАХ становилась линейной во всем интервале токов и не зависела от полярности приложенного напряжения (рис. 1, кривая 8; рис. 2, кривая 7).

3.3. Изменение импеданса структур после облучения интенсивностью $\Phi < \Phi_{кр}$ проявлялось в увеличении емкости, уменьшении наклона зависимости $C^{-2}(U)$, что указывало на увеличение концентрации ионизированных примесей на границе слоя объемного заряда (N увеличивалась в 2—3 раза), и появлении активной составляющей полной проводимости. При этом емкостное напряжение отсечки $U_{отс}^c$ оставалось неизменным (рис. 3) и имело такое же значение ($0.9 \div 1.0$ В), как и у исходных структур. При достижении $\Phi_{кр}$ активная составляющая импеданса резко возрастала, что не давало возможности достоверно измерить емкость барьера и определить его емкостные параметры.

3.4. Спектральная зависимость фототока после облучения интенсивностью $\Phi < \Phi_{кр}$ не изменялась, и высота потенциального барьера, определенная из нее, оставалась неизменной ($0.95 \div 0.99$ эВ) (рис. 3). При достижении $\Phi_{кр}$ из-за

большого избыточного тока нельзя было фиксировать фотоответ, что не давало возможности по фотоответу судить об изменениях высоты потенциального барьера при $\Phi > \Phi_{i.p.}$.

Следует отметить, что облучение структур сериями импульсов малой интенсивности ($\Phi_2 = 0.08 \text{ кВт/см}^2$) в режиме, когда доза превосходила дозу облучения одиночным импульсом с интенсивностью $\Phi_{пор} = 0.25 \text{ кВт/см}^2$, не приводило к заметным изменениям ВАХ по сравнению с теми изменениями, которые появлялись при облучении одиночным импульсом с $\Phi_2 = 0.08 \text{ кВт/см}^2$; не изменялись также и параметры структур. Это означает, что переход контакта металл—полупроводник от вентильного к омическому определяется не дозой облучения, а его интенсивностью.

4. Полученные экспериментальные результаты позволяют сделать вывод о том, что эволюция ВАХ и параметров структур после облучения интенсивностями $\Phi < \Phi_{кр}$ и $\Phi > \Phi_{кр}$ имеет разную природу.

На первом этапе при $\Phi < \Phi_{кр}$ появление избыточного тока в прямом и обратном направлениях, активной составляющей импеданса, а также увеличение емкости барьера свидетельствуют об изменениях в объеме полупроводника и, вероятно, об образовании электрически активных центров, о чем свидетельствуют данные емкостных измерений, и о появлении состояний в запрещенной зоне, обеспечивающих протекание избыточного тока. Обоснование этой гипотезы будет дано в нашей следующей работе. Неизменность напряжения емкостной и токовой отсечки и высоты потенциального барьера, определенного из фотоэлектрических измерений, свидетельствует о неизменности барьера на границе металл—полупроводник, который, как известно, для полупроводников АШВ не зависит от работы выхода электронов из металла и возникает в результате захвата электронов состояниями, закрепляющими уровень Ферми на поверхности [3].

На втором этапе при $\Phi > \Phi_{кр}$ наряду с продолжающимися изменениями в объеме полупроводника, о чем свидетельствует уменьшение напряжения пробоя, происходят, по-видимому, еще и структурные изменения на границе металл—полупроводник, которые приводят к уменьшению высоты потенциального барьера. Об этом свидетельствуют уменьшающееся до нуля напряжение токовой отсечки и переход вентильного контакта в омический. Предположение о структурных изменениях на границе металл—полупроводник подтверждается увеличением адгезионной прочности металлических пленок к арсениду галлия после лазерного воздействия.

Список литературы

- [1] Гольдберг Ю. А., Поссе Е. А., Царенков Б. В. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 8. С. 1510—1513.
- [2] Crowell C. R., Spitzer W. G., Howarth L. E., Labate E. // Phys. Rev. 1962. V. 127. P. 2006.
- [3] Spicer W. E., Lindau I., Skeeth P., Su C. Y., Chys P. // Phys. Rev. 1980. V. 44. N 6. P. 420—423.

Ленинградский
государственный технический университет

Получена 18.06.1990
Принята к печати 12.07.1990