

## Влияние магнитного поля на вольт-амперную характеристику гетероперехода $n\text{-GaAs-p-Ge}$

© М.М. Гаджиалиев<sup>†</sup>, З.Ш. Пирмагомедов

Институт физики Дагестанского научного центра Российской академии наук,  
367003 Махачкала, Россия

(Получена 3 декабря 2007 г. Принята к печати 24 января 2008 г.)

Исследовано влияние магнитного поля на вольт-амперную характеристику гетероперехода  $n\text{-GaAs-p-Ge}$  при 77 и 300 К. Обнаружено слабое изменение прямого и обратного токов гетероперехода в магнитном поле. Установлено, что наблюдаемое изменение токов гетероперехода главным образом обусловлено вариацией потенциального барьера вследствие изменения концентрации неосновных носителей тока с магнитным полем. Найдено, что вольтовая магниточувствительность гетероперехода на порядок меньше, чем вольтовая магниточувствительность германиевого магнитодиода.

PACS: 75.70.Cn, 72.20.Mu, 73.40.Kp

Влияние постоянного магнитного поля на вольт-амперную характеристику (ВАХ) диода с гомопереходами исследовано в работах [1,2].

Было установлено, что как прямой, так и обратный токи диодов уменьшаются при приложении перпендикулярно току магнитного поля. Уменьшение тока приписывалось появлению магнетосопротивления основных носителей тока вследствие уменьшения подвижности и изменения концентрации неосновных носителей тока в магнитном поле.

Отметим, что авторы работ [1,2] обнаружили большое уменьшение тока в длинных диодах при большом уровне инжекции. Длинными называются диоды, у которых большое отношение  $d/L$  ( $d$  — размер базы диода,  $L$  — диффузионная длина носителей тока). Авторы [1,2] показали, что главным образом уменьшение эффективной диффузионной длины неосновных носителей в магнитном поле ответственно за этот эффект.

В работе [3] показано, что вследствие роста потенциального барьера из-за уменьшения концентрации неравновесных носителей в гомодиодах падает ток.

Экспериментальных работ по исследованию ВАХ гетероструктуры в магнитном поле сравнительно мало. В данной работе исследуется ВАХ гетероструктуры  $n\text{-GaAs-p-Ge}$  в магнитном поле 5 кЭ и обсуждается механизм влияния магнитного поля на ВАХ при 77 и 300 К.

Гетероструктуры (в виде длинных диодов) были изготовлены по методу, описанному в работе [4]. Из  $n\text{-GaAs}$  и  $p\text{-Ge}$  были изготовлены пластинки прямоугольной формы с одинаковыми размерами  $0.1 \times 1 \times 3$  мм. После шлифовки и травления пластинки электронного арсенида галлия и дырочного германия накладывались друг на друга таким образом, чтобы получалась общая длина 4 мм. Затем образцы помещались в вакуумную установку, и в атмосфере проточного водорода в области наложения пластинок друг на друга создавался большой градиент температуры, при котором материал с более

высокой температурой плавления (арсенид галлия) располагался со стороны высокой температуры. С ростом температуры, когда плоскость германия, граничащая с арсенидом галлия, начинала расплавляться, сразу выключался нагрев; расплавленный слой снова кристаллизовался, и возник гетеропереход. Рентгеноструктурный анализ показал, что перекристаллизованная пограничная область между германием и арсенидом галлия является монокристаллической и пограничные области арсенида галлия и германия повернуты относительно друг друга не более чем на  $3^\circ$ .

Для исследования ВАХ в поперечном магнитном поле держатель образца с гетероструктурой помещался между полюсами постоянного электромагнита. Измерительная установка позволяла исследовать ВАХ гетероперехода в поперечном магнитном поле до 5 кЭ при температурах 77 и 300 К при двух взаимных ориентациях тока и магнитного поля:  $\mathbf{H} \perp \mathbf{I}$  и  $\mathbf{H} \parallel \mathbf{I}$ .

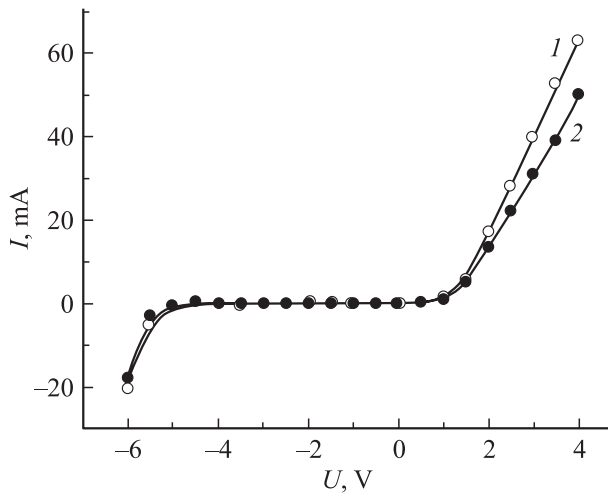
На рис. 1 представлены результаты измерений ВАХ при 300 К в отсутствие магнитного поля и в поперечном магнитном поле 5 кЭ. С ростом прямого смещения выше 1 В прямой ток увеличивается прямо пропорционально квадрату напряжения. При обратном смещении ток в начале не меняется, а при напряжении выше 5 В растет медленно.

В магнитном поле уменьшаются и прямые и обратные токи, причем влияние магнитного поля сильнее сказывается на прямые токи. Кривые, полученные при 77 К (в работе не приведены), имели аналогичный вид, причем величина изменения тока в магнитном поле в этом случае меньше, чем при 300 К.

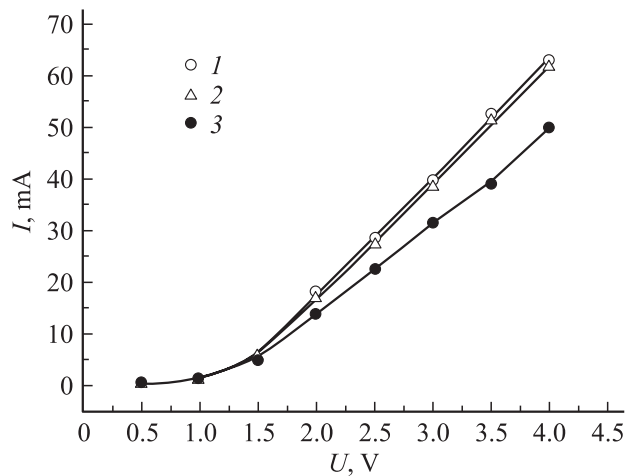
Известно, что свойства неравновесных носителей, возникающих в результате инжекции, являются определяющими для большинства полупроводниковых приборов, в том числе и для приборов, работающих во внешнем магнитном поле.

Известно, что величина эффекта магнетосопротивления тем больше, чем больше подвижность. Установлено, что в полупроводниках с собственной проводимостью магнитное поле может изменять не только

<sup>†</sup> E-mail: ziyav@yandex.ru



**Рис. 1.** Вольт-амперная характеристика гетероперехода  $p\text{-Ge-n-GaAs}$  при 300 К в поперечном магнитном поле 5 кЭ (2) и без магнитного поля (1).



**Рис. 2.** Зависимости прямого тока гетероперехода от напряжения при разных взаимных ориентациях тока ( $\mathbf{I}$ ) и магнитного поля ( $\mathbf{H}$ ): 1 —  $H = 0$ , 2 —  $\mathbf{I} \parallel \mathbf{H}$ , 3 —  $\mathbf{I} \perp \mathbf{H}$ .  $T = 300$  К,  $H = 5$  кЭ.

подвижность, но и концентрацию носителей тока [2]. Вследствие того что скорость рекомбинации носителей существенно выше на поверхности, чем в его объеме, отклоненные к поверхности магнитным полем носители рекомбинируют быстрее, чем они рекомбинировали бы в объеме полупроводника. Генерация же носителей в объеме полупроводника не успевает компенсировать их повышенную рекомбинацию на его поверхности. Таким образом, при высоких уровнях инжекции проводимость толщи полупроводника полностью определяется концентрацией неравновесных носителей, причем концентрации электронов и дырок практически одинаковы.

Известно, что для создания магнитодиодов перспективны высокоомные полупроводники с большой запрещенной зоной, высокой подвижностью носителей тока,

и в которых легко получить хорошие инжектирующие контакты. Необходимо также, чтобы инжектируемые носители тока имели возможность пройти большую часть базовой области до захвата или рекомбинации.

Прямой ток гетероперехода при 300 К, как видно из рис. 1, как в отсутствие, так и при наличии магнитного поля квадратично растет с ростом напряжения выше 1 В, что указывает на высокий уровень инжекции неосновных носителей.

В магнитном поле 5 кЭ прямой ток уменьшается, причем заметное изменение наблюдается при 300 К.

Была подсчитана вольтовая магниточувствительность гетероперехода. Было найдено, что вольтовая магниточувствительность гетероперехода  $n\text{-GaAs-p-Ge}$ , равная в нашем случае 0.3 мВ/Э, почти на порядок меньше, чем у магнитодиодов из Ge. Этот экспериментальный факт объясняется следующим образом. Во-первых, поле 5 кЭ является слабым как для  $p\text{-Ge}$ , так и для  $n\text{-GaAs}$ , из которых составлен гетеропереход. В слабом поле эффект магнетосопротивления в этих материалах маленький. Во-вторых, отношение  $d/L = 2$  (для нашего гетероперехода) меньше оптимального значения  $\sim 9$  для арсенида галлия [1,2]. Эти причины, по-видимому, привели к тому, что вольтовая магниточувствительность гетероперехода  $p\text{-Ge-n-GaAs}$ , как отмечено выше, почти на порядок меньше, чем у магнитодиодов из Ge.

Согласно [1,2], при приложении внешнего магнитного поля перпендикулярно току магнитодиода уменьшается диффузионная длина неосновных носителей тока, что приводит к снижению концентрации неосновных носителей тока.

На рис. 2 представлена зависимость прямого тока гетероперехода от приложенного напряжения при двух ориентациях тока и магнитного поля ( $\mathbf{I} \perp \mathbf{H}$  и  $\mathbf{I} \parallel \mathbf{H}$ ) и в нулевом магнитном поле. Из рис. 2 видно, что максимальное уменьшение прямого тока имеет место при  $\mathbf{I} \perp \mathbf{H}$  и практически нет изменения, когда  $\mathbf{I} \parallel \mathbf{H}$ .

В работе [3] показано, что уменьшение концентрации носителей заряда приводит к росту потенциального барьера диода. Следовательно, при прямом смещении, где ток меняется с изменением высоты барьера, ток через магнитодиод будет уменьшаться в результате роста барьера с изменением концентрации в магнитном поле.

Известно, что в случае резкого анизотипного  $n\text{-p}$ -гетероперехода доминирующими носителями заряда являются электроны, так как барьер для электронов значительно меньше, чем для дырок.

В случае обратного смещения барьер гетероперехода резко увеличивается, поэтому относительное изменение барьера из-за изменения концентрации в магнитном поле значительно меньше, чем в случае прямого смещения, и, как результат этого, обратный ток практически не меняется с магнитным полем, что и видно на рис. 1.

## Список литературы

- [1] Э.И. Каракушан, В.И. Стафеев. ФТТ, **3**, 677 (1961).
- [2] Э.И. Каракушан, В.И. Стафеев. ФТТ, **3**, 2031 (1961).
- [3] R. Parshad, S.C. Mehta. Indian J. Pure Appl. Phys., **5**, 23 (1967).
- [4] М.М. Гаджиалиев, З.Ш. Пирмагомедов. ФТТ, **3**, 677 (1961).

*Редактор Т.А. Полянская*

## **Influence of a magnetic field on the current-voltage characteristic of $n$ -GaAs– $p$ -Ge heterojunction**

*M.M. Gadjaliev, Z.Sh. Pirmagomedov*

Institute of Physics, Russian Academy of Sciences,  
367003 Makhachkala, Russia

**Abstract** The influence of a magnetic field on the current-voltage characteristic of  $n$ -GaAs– $p$ -Ge heterojunction has been investigated at 77 and 300 K. Weak change of direct and reverse currents of heterojunction with a magnetic field has been revealed. It is established, the observable change of heterojunction currents mainly is caused by a variation of a potential barrier owing to changes of charge carriers concentration with a magnetic field. It is found that volt magnetic sensitivity of heterojunction much less than volt magnetic sensitivity of Ge magnetodiode.