

PACS: 71.20.Nr

М.М. Гаджиалиев, З.Ш. Пирмагомедов, Т.Н. Эфендиева

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАРИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА КРАЯ ЗОНЫ ПРОВОДИМОСТИ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

Институт физики им Х.И. Амирханова Дагестанского научного центра РАН  
ул. Ярагского, 94, г. Махачкала, 367003, Россия

Статья поступила в редакцию 12 февраля 2013 года

*Исследована вольт-амперная характеристика (ВАХ) гетероструктуры (ГС)  $n\text{-GaAs-p-Ge}$  при гидростатическом давлении до 8 GPa при комнатной температуре. По результатам экспериментальных данных найдено, что барический коэффициент дна зоны проводимости арсенида галлия  $\gamma_{C1}$  равен 120 meV/GPa.*

**Ключевые слова:** давление, потенциал, переход, смещение, диффузия, напряжение, контакт, емкость, градиент

*Досліджено вольт-амперну характеристику (ВАХ) гетероструктури (ГС)  $n\text{-GaAs-p-Ge}$  при гідростатичному тиску до 8 GPa при кімнатній температурі. За результатами експериментальних даних знайдено, що баричний коефіцієнт дна зони провідності арсеніда галія  $\gamma_{C1}$  дорівнює 120 meV/GPa.*

**Ключові слова:** тиск, потенціал, перехід, зміщення, дифузія, напруга, контакт, ємність, градієнт

Широкое применение ГС в электронной технике [1] стимулирует исследование их в разнообразных внешних условиях.

Исследование поведения гетероперехода (ГП) при внешних воздействиях, в частности всестороннего давления, может предоставить новые данные о динамике краев зон, составляющих ГС.

В настоящей работе исследуется ВАХ ГС  $n\text{-GaAs-p-Ge}$  при всестороннем давлении с целью определения барического коэффициента края зоны проводимости арсенида галлия.

Коэффициенты зависимости краев зон полупроводника от гидростатического давления не поддаются простому экспериментальному определению и известны только для некоторых материалов. В работе [2] предложен новый метод определения барического коэффициента давления с использованием резких полупроводниковых ГП.

На рис. 1 представлена модель энергетической диаграммы резкого анизотропного ГП  $n\text{-GaAs-p-Ge}$  Шокли–Андерсона [3].

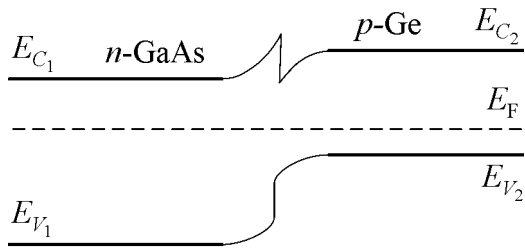


Рис. 1. Энергетическая диаграмма резкого гетероперехода  $n\text{-GaAs-p-Ge}$

В работе [4] был определен таким методом барический коэффициент потолка валентной зоны германия  $\gamma_{V_2} = -10 \text{ meV/GPa}$ .

Согласно теории с ростом всестороннего давления изменяются энергии края дна зоны проводимости  $E_C$  и потолка валентной зоны  $E_V$  [5]. Метод экспериментального определения барических коэффициентов краев зон заключается в следующем. В [2] показано, что если примесные уровни мелкие (т.е. уровни, энергии которых расположены вблизи краев разрешенных зон), то изменение уровня Ферми с изменением давления соответствует изменению края зоны вблизи этого уровня. В этой же работе установлено, что в ГП  $n\text{-}p$  произведение заряда электрона на изменение диффузионного напряжения  $V_D$  с изменением давления (напряжение на границе  $n$ - и  $p$ -полупроводников в отсутствие внешнего напряжения) состоит из разности между барическим коэффициентом потолка валентной зоны полупроводника  $p$ -типа и барическим коэффициентом дна зоны проводимости полупроводника  $n$ -типа и при гидростатическом давлении выражается следующим образом:

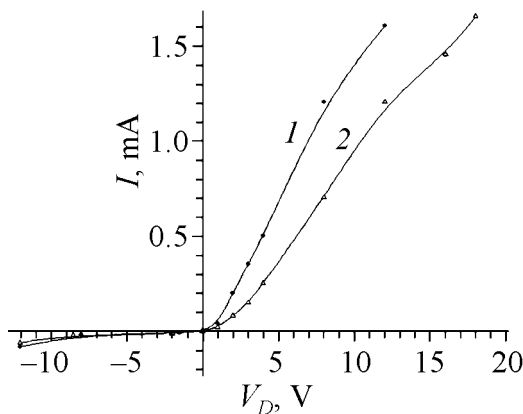
$$e \left( \frac{\Delta V_D}{\Delta P} \right)_{n-p} = \frac{\Delta E_{V_2}}{\Delta P} - \frac{\Delta E_{C_1}}{\Delta P}, \quad (1)$$

где  $e$  – заряд электрона;  $\Delta V_D$  – изменение диффузионного (контактного) напряжения;  $\Delta P$  – изменение давления;  $\Delta E_{V_2}$ ,  $\Delta E_{C_1}$  – изменения соответственно потолка валентной зоны дырочного полупроводника и дна зоны проводимости электронного полупроводника гетеропары.

Из выражения (1) следует, что из экспериментальных данных ВАХ при всестороннем давлении можно вычислить барический коэффициент либо потолка валентной зоны  $\gamma_{V_2} = \frac{\Delta E_{V_2}}{\Delta P}$ , либо дна зоны проводимости  $\gamma_{C_1} = \frac{\Delta E_{C_1}}{\Delta P}$ , если найти изменение диффузионного напряжения  $\Delta V_D$  и использовать из литературы значение одного из указанных барических коэффициентов.

В настоящей работе с целью вычисления барического коэффициента дна зоны проводимости арсенида галлия  $\gamma_{C_1} = \frac{\Delta E_{C_1}}{\Delta P}$  были измерены ВАХ ГП  $n\text{-GaAs-p-Ge}$  в зависимости от гидростатического давления до 8 GPa при комнатной температуре.

Выражение (1) приведено в работе [2] в случае ГП  $n\text{-}p$ . По методу, предложенному в [3], была получена ГС из электронного арсенида галлия ( $n = 2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ) и дырочного германия ( $p = 2 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ ). По данным рентгеноструктурного анализа, пограничная область ГП – монокристалл. Энергетическая диаграмма ГП показана на рис. 1.



**Рис. 2.** Вольт-амперная характеристика гетероперехода  $n\text{-GaAs-p-Ge}$  при всестороннем давлении и комнатной температуре: 1 – при  $P = 0$ , 2 – при  $P = 1.5$  GPa

Измерения ВАХ в зависимости от давления на образцах ГС с размерами  $1 \times 2 \times 2$  mm проводились в аппарате высокого давления типа плоской наковальни с лункой и тороидальной подложкой.

На ГП согласно теории [2] возникает контактное напряжение, обусловленное обменом носителями между контактирующими полупроводниками. Когда к ГС прикладывается всестороннее давление, контактное напряжение  $V_D$  меняется в том случае, если давление приводит к неодинаковому изменению уровней Ферми в составляющих ГС материалах.

Результаты измерения ВАХ ГС с ростом давления при 300 K показали, как и в работе [4], уменьшение как прямых, так и обратных токов. Причем изменение прямых токов в десятки раз превышает изменение обратных. Эти изменения обусловлены ростом ширины запрещенных зон, составляющих ГС, и вариацией контактного потенциала, как показано в работе [2].

На рис. 2 представлена ВАХ в прямом и обратном направлениях приложенных напряжений при  $P = 0$  и  $P = 1.5$  GPa. Величина контактного напряжения на ГП определялась как напряжение, отсекаемое на оси абсцисс при нуле тока касательной, проведенной к кривой прямого тока как при  $P = 0$ , так и при  $P = 1.5$  GPa. Как видно из рис. 2, при токе, равном нулю, получаем, что при  $P = 0$  контактный потенциал  $V_D = 0.7$  V, а при  $P = 1.5$  GPa  $V_D = 0.5$  V.

С ростом давления контактный потенциал уменьшается:  $\frac{\Delta V_D}{\Delta P} \approx -130$  mV/GPa;

$$\gamma_{V_D} = e \frac{\Delta V_D}{\Delta P} = -130 \text{ meV/GPa}.$$

Используя выражение (1) для определения барического коэффициента дна зоны проводимости  $\gamma_{C_1} = \frac{\Delta E_{C_1}}{\Delta P} = \frac{\Delta E_{V_2}}{\Delta P} - e \left( \frac{\Delta V_D}{\Delta P} \right)_{n-p}$ , литературное значение  $\gamma_{V_2} = \frac{\Delta E_{V_2}}{\Delta P} = -10$  meV/GPa [5] и полученную нами величину  $\gamma_{V_D} = -130$  meV/GPa, имеем  $\gamma_{C_1} = -10$  meV/GPa + 130 meV/GPa = 120 meV/GPa.

Полученное нами значение  $\gamma_{C_1} = 120$  meV/GPa близко расчетному значению, данному в работе [5].

1. Ж.И. Алферов, В.М. Андреев, В.И. Корольков, Е.Л. Портной, Д.Н. Третьяков, ФТП **4**, 167 (1970).
2. Y. Kanda, Phys. Lett. **14**, 289 (1965).
3. R.L. Anderson, Solid-State Electron. **5**, 341 (1962).
4. М.М. Гаджалиев, З.Ш. Пирмагомедов, Т.Н. Эфендиева, ФТП **44**, 1222 (2010).
5. М.И. Даунов, И.К. Камилов, С.Ф. Габиров, ФТТ **46**, 1766 (2004).

*М.М. Gadjaliev, Z.Sh. Pirmagomedov, T.N. Efendieva*

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE BARIC COEFFICIENT OF CONDUCTION BAND EDGE OF GaAs

The current voltage characteristic of the *n*-GaAs-*p*-Ge heterostructure (HS) was measured at room temperature and the pressure up to 8 GPa for the purpose of determining dependences of GaAs conduction band bottom on the hydrostatic pressure. The HS samples of  $1 \times 2 \times 2$  mm in size were measured in the high-pressure device of the plane anvil type with a hole and a toroidal support. Using the value of the HS built-in voltage obtained from experimental data and the literature value of the coefficient of the pressure dependence of the Ge valence band top derived from the theoretical formula

$$e \left( \frac{\Delta V_D}{\Delta P} \right) = \frac{\Delta E_{V_2}}{\Delta P} - \frac{\Delta E_{C_1}}{\Delta P}$$

, it was found that the baric coefficient of GeAs conduction band edge was 120 meV/GPa.

**Keywords:** pressure, potential, junction, displacement, diffusion, voltage, contact, capacitor, gradient

**Fig. 1.** The energy diagram of the *n*-GaAs-*p*-Ge sharp heterojunction

**Fig. 2.** Current voltage characteristic of the *n*-GaAs-*p*-Ge heterojunction at hydrostatic pressure and room temperature: 1 – at  $P = 0$ , 2 – at  $P = 1.5$  GPa