

Исследование гетероперехода $p\text{-Ge}-n\text{-GaAs}$ при всестороннем давлении

© М.М. Гаджиалиев, З.Ш. Пирмагомедов[¶], Т.Н. Эфендиева

Институт физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского научного центра Российской академии наук, 367003 Махачкала, Россия

(Получена 23 ноября 2009 г. Принята к печати 17 февраля 2010 г.)

Экспериментально исследована вольт-амперная характеристика гетероперехода $p\text{-Ge}-n\text{-GaAs}$ при всестороннем давлении до 8 ГПа и температуре 300 К. С использованием результатов эксперимента вычислен барический коэффициент края валентной зоны германия.

Согласно теории Шокли [1], подтвержденной экспериментом, всестороннее давление приводит к росту сопротивления гомопереходов, обусловленного увеличением ширины запрещенной зоны полупроводника.

Как показано в работе [2], с ростом давления меняются энергии дна зоны проводимости E_C и потолка валентной зоны E_V [2]. В работе [3] предложен простой экспериментальный метод вычисления барического коэффициента давления краев зоны проводимости и валентной зоны, который заключается в следующем. Известно, что, если примесные уровни мелкие, изменение с давлением уровня Ферми соответствует изменению края зоны вблизи уровня Ферми. В случае $p-n$ -гетероструктуры, согласно [3], произведение заряда электрона на изменение с давлением диффузионного напряжения V_D (напряжение на границе p - и n -полупроводников) состоит из разности между барическим коэффициентом потолка валентной зоны полупроводника p -типа и барическим коэффициентом дна зоны проводимости полупроводника n -типа и дается следующим выражением:

$$e \left(\frac{\Delta V_D}{\Delta P} \right) = \frac{\Delta E_{V1}}{\Delta P} - \frac{\Delta E_{C2}}{\Delta P}, \quad (1)$$

где ΔE_{V1} — изменение с давлением потолка валентной зоны дырочного полупроводника, ΔE_{C2} — изменение с давлением дна зоны проводимости электронного полупроводника, ΔV_D — изменение с давлением диффузионного (контактного) напряжения, e — заряд электрона, ΔP — изменение давления.

Из формулы (1) видно, что можно вычислить барический коэффициент дна зоны проводимости ($\Delta E_{C2}/\Delta P$) или барический коэффициент потолка валентной зоны ($\Delta E_{V1}/\Delta P$), если из эксперимента найти изменение диффузионного напряжения с давлением и использовать из литературы значение одного из указанных коэффициентов.

С целью вычисления барического коэффициента потолка валентной зоны $\gamma_{V1} = \frac{\Delta E_{V1}}{\Delta P}$ германия были измерены вольт-амперные характеристики (ВАХ) гетероперехода (ГП) $p\text{-Ge}-n\text{-GaAs}$ в зависимости от гидростатического давления до 8 ГПа при комнатной температуре.

ГП, в котором создан переход от материала с p -типом проводимости к полупроводнику с n -типом проводимости, отличается от гомоперехода, в частности, тем, что в нем барьер для электронов существенно меньше, чем для дырок и, следовательно, диффузионный ток практически полностью обусловлен электронами. Последнее обстоятельство должно проявляться на ВАХ ГП и, следовательно, на ее поведении под давлением.

По методике, предложенной в работе [4], был изготовлен резкий ГП $p\text{-Ge}-n\text{-GaAs}$. Рентгеноструктурный анализ показал, что пограничная область ГП является монокристаллом и пограничные плоскости перехода повернуты относительно друг друга не более чем на 3° . Это обстоятельство указывает на хорошее качество полученного ГП. Энергетическая диаграмма ГП дана на рис. 1.

Измерения под давлением на образцах ГП с размерами $0.8 \times 2 \times 2$ мм проводились в аппарате высокого давления типа плоской наковальни с лункой и тороидальной поддержкой.

Согласно теории [4], в ГП возникает контактное напряжение, обусловленное обменом носителями между контактирующими полупроводниками. Когда прикладывается к ГП гидростатическое давление, контактное напряжение меняется с давлением, если давление приводит к неодинаковому изменению уровней Ферми в обоих материалах.

Результаты измерения ВАХ ГП при 300 К в зависимости от давления представлены на рис. 2. Видно,

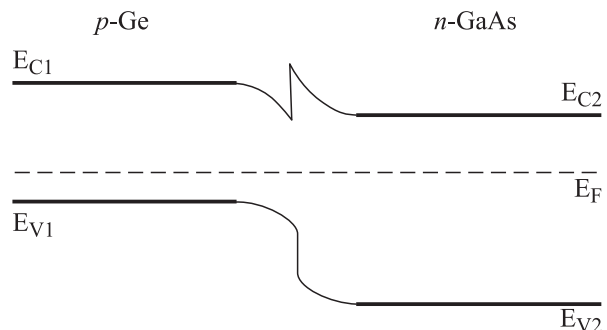


Рис. 1. Энергетическая диаграмма гетероперехода $p\text{-Ge}-n\text{-GaAs}$.

[¶] E-mail: ziyav@yandex.ru

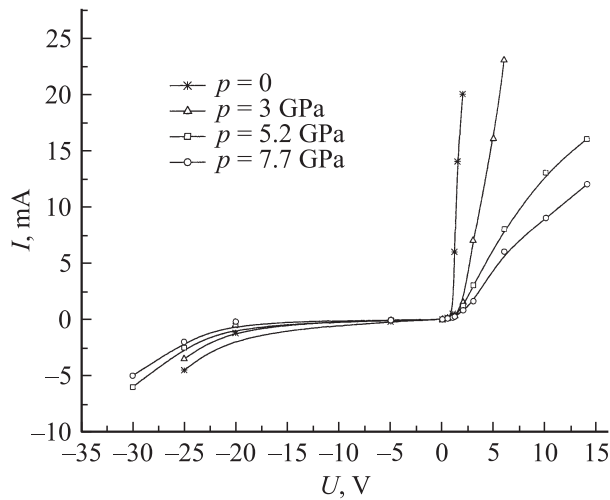


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика p -Ge– n -GaAs-гетероперехода при всестороннем давлении до 8 ГПа и температуре 300 К.

что прямой и обратный токи меняются с давлением. Как видно из рисунка, при изменении давления от 3 до 7 ГПа прямой ток при 5 В уменьшается в ~ 4.5 раза, а обратный ток при 25 В уменьшается в ~ 1.3 раза. Таким образом, наблюдается сильное изменение прямого тока по сравнению с обратным током. Коэффициент выпрямления ГП при этом уменьшается от 300 при 3 ГПа до 60 при 7 ГПа.

Диффузионное напряжение V_D было определено как величина напряжения, отсекаемого при экстраполяции прямой ветви ВАХ к нулю токов. Изменение V_D с давлением ΔV_D было найдено как изменение отсекаемого напряжения на оси абсцисс.

Из экспериментально измеренных прямых ветвей ВАХ было найдено, что при изменении давления от 0 до 3 ГПа V_D меняется от 0.76 до 0.43 В. Используя найденное из эксперимента значение $\Delta V_D = -0.33$ В, при росте давления $\Delta P = 3$ ГПа получим для барического коэффициента V_D величину: $e(\Delta V_D/\Delta P) = -110$ мэВ/ГПа.

Для $\gamma_V = (\Delta E_{V1}/\Delta P)$ по формуле (1), используя полученную величину $e(\Delta V_D/\Delta P) = -110$ мэВ/ГПа и найденное из литературы [2] значение $\gamma_{C2} = 100$ мэВ/ГПа, находим: $\gamma_V = -10$ мэВ/ГПа. В литературе [2] для γ_V германия дано значение -6 мэВ/ГПа. Видно, что найденное нами значение γ_V германия близко к литературному значению.

Список литературы

- [1] W. Shockley, J. Bardeen. Phys. Rev., **77**, 407 (1950).
- [2] М.И. Даунов, И.К. Камилов, С.Ф. Габиров. ФТТ, **46**, 1766 (2004).
- [3] Y. Kanda. Phys. Lett., **14**, 289 (1965).
- [4] R.L. Anderson. Sol. St. Electron., **5**, 341 (1962).

Редактор Л.В. Беляков

Investigation p -Ge– n -GaAs heterojunction at hydrostatic pressure

M.M. Gadjaliev, Z.Sh. Pirmagomedov, T.N. Efendieva

Amirkanov Institute of Physics,
Daghestan Scientific Center,
Russian Academy of Sciences,
367003 Makhachkala, Russia

Abstract The heterojunction current–voltage characteristic p -Ge– n -GaAs is investigated experimentally at pressure of 8 GPa and temperature of 300 K.

Using results of experiment the baric factor of the Ge valence band edge has been calculated.