

Влияние одноосной деформации на вольт-амперную характеристику *p-Ge/n-GaAs* гетероструктуры

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

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

E-mail: ziyav@yandex.ru

(Получена 28 декабря 2015 г. Принята к печати 1 февраля 2016 г.)

Исследовано влияние одноосной деформации с силой до 6 кг/см^2 на вольт-амперную характеристику *p-Ge/n-GaAs* гетероструктуры при 300 и 77 К.

Найдено увеличение с давлением как прямого, так и обратного тока, причем изменение прямого тока на порядок больше, чем обратного. Исследована деформация и в зависимости от кристаллографических направлений, обнаружено, что при направлении сжатия, параллельном $\langle 111 \rangle$, эффект максимален. Результат может быть использован при создании датчиков одноосной деформации.

Первые измерения вольт-амперной характеристики (ВАХ) при одноосной деформации (ОД) на гетероструктуре (ГС) *p-Ge/n-Si*, согласно литературе, были проведены в работе [1], где был обнаружен существенный рост чувствительности прямого тока к деформации по сравнению с обратным током. В этой работе не было изучено влияние направления сжатия.

Известно, что ОД нарушает симметрию кристалла и снимает вырождения зон [2].

В настоящей работе приведены результаты измерения ВАХ *p-Ge/n-GaAs* ГС в зависимости от давления до 6 кг/см^2 при 77 и 300 К и двух направлениях сжатия $\langle 100 \rangle$ и $\langle 111 \rangle$. В работах [3,4] исследовано ОД на *p-n*-переходе Ge и найдено, что большой эффект сжатия наблюдается в направлении $\langle 111 \rangle$. В литературе нет сведений о зависимости от направления сжатия в GaAs, поэтому результаты измерения на ГС *p-Ge/n-GaAs*, приведенные на рис. 1, 2 и 3, получены при направлении ОД в ГС, параллельном с $\langle 111 \rangle$ в обоих составляющих ГС.

Образцы были изготовлены путем сплавления плоскостей касания кубиков *p-Ge* и *n-GaAs* с размерами $2 \times 2 \times 2 \text{ мм}$ в вакууме при 1000°C по методу, предложенному в работе [5]. Размеры образцов ГС, готовых к измерению, составляли $2 \times 2 \times 3 \text{ мм}$. Измерения ВАХ при ОД были проведены по известной методике, предложенной в работе [3]. Результаты измерения ВАХ ГС *p-Ge/n-GaAs* при прямом смещении при 300 и 77 К представлены на рис. 1 и 2. На рис. 1 приведены также форма образца и направление сжатия.

Из рис. 1 и 2 видно, что при прямом смещении ток вначале растет в зависимости от приложенного напряжения и величины ОД, а при достижении $\sim 1.5 \text{ В}$ ток стремится к насыщению. Согласно рис. 2, с понижением температуры влияние ОД на прямой ток увеличивается. К примеру, изменение прямого тока с ростом давления от 0 до 2 кг/см^2 при 300 К составляло 0.5 мА при напряжении 0.2 В , а при 77 К аналогичное изменение равнялось 0.6 мА при 0.2 В .

Незначительный рост эффекта сжатия с понижением температуры на прямой ток связан с увеличением

подвижности носителей тока. Это изменение чувствительности к ОД больше, чем аналогичное изменение в случае обычных *p-n*-переходов почти на порядок. С практической точки зрения, исходя из высокой чувствительности к ОД ГС, был предложен прибор в работе [1].

Рост чувствительности при ОД ГС обусловлен также тем, что диффузионное напряжение на ГС меняется с давлением и изменяется темп генерации и рекомбинации в решетке [4]. ОД изменяет энергетическую зонную структуру и, следовательно, из-за этого меняется плотность неосновных носителей тока [4]. Изменение плотности неосновных носителей тока зависит от типа деформации, анизотропная деформация оказывает большее изменение, чем гидростатическое давление, благодаря изменению симметрии кристалла.

С ростом напряжения и величины давления, как было отмечено выше, наблюдается стремление к насыщению эффекта, что связано с ослаблением генерационно-рекомбинационного процесса.

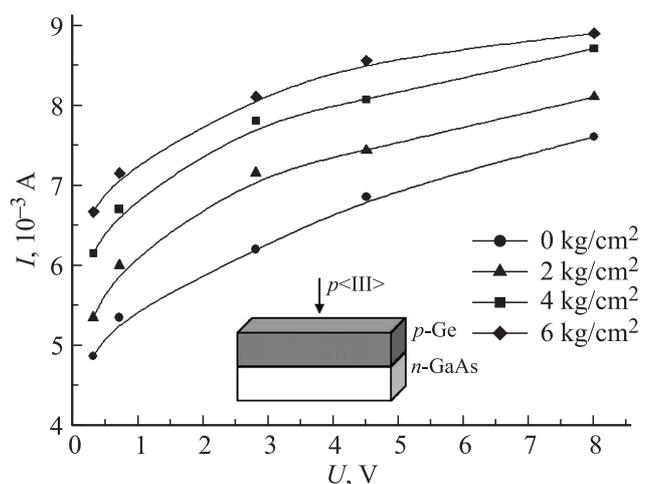


Рис. 1. Зависимость прямого тока гетероперехода *p-Ge/n-GaAs* от напряжения при давлениях 0, 2, 4, 6 кг/см^2 и 300 К.

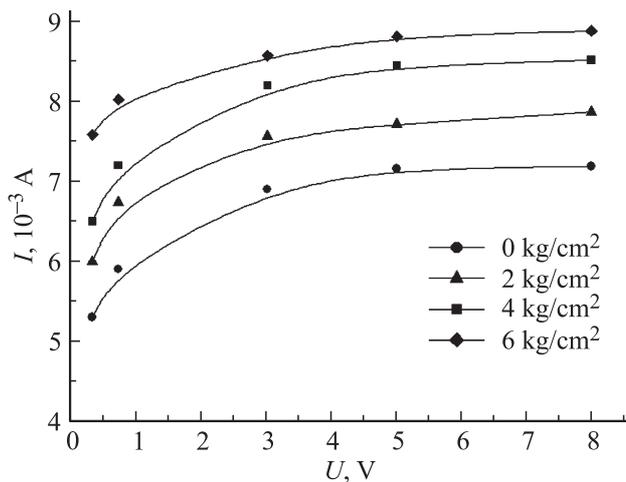


Рис. 2. Зависимость прямого тока гетероперехода $p\text{-Ge}/n\text{-GaAs}$ от напряжения при давлениях 0, 2, 4, 6 кг/см² и 77 К.

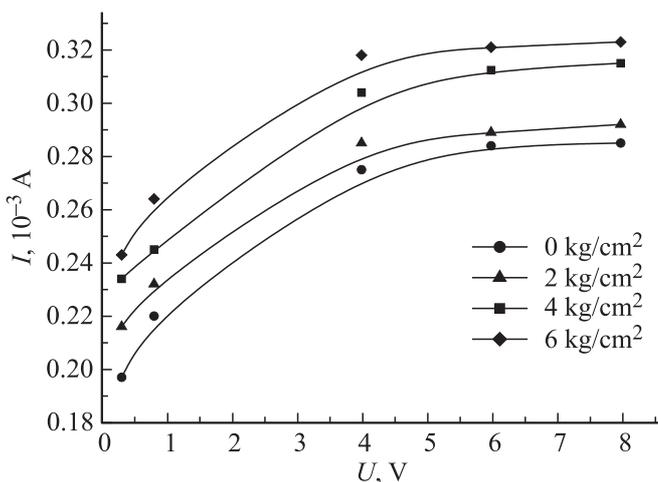


Рис. 3. Зависимость обратного тока гетероперехода $p\text{-Ge}/n\text{-GaAs}$ от напряжения при давлениях 0, 2, 4, 6 кг/см² и 300 К.

На рис. 3 представлены измерения ВАХ ГС $p\text{-Ge}/n\text{-GaAs}$ при ОД в случае приложения к ГС обратного смещения при 300 К. Из рисунка видно, что на обратном токе наблюдаются слабые изменения тока, при 300 К, к примеру, с ростом давления от 0 до 2 кг/см² при напряжении 0.2 В обратный ток растет на величину 0.01 мА. Слабое изменение обратного тока с давлением, вероятно, обусловлено резким уменьшением темпа генерации и рекомбинации неосновных носителей в результате роста барьера в ГС при обратном смещении.

Как известно [4], в результате ОД возникают генерационно-рекомбинационные уровни и меняется плотность неосновных носителей, что влечет за собой изменения ВАХ, обуславливаемые влиянием давления на зонную структуру полупроводников, составляющих ГС.

При обратном напряжении пробой при нулевом давлении наблюдался при $V_{\text{обр}}$, равном 30 В, а при ОД 4 кг/см², например, пробой происходил при 18 В. Объяснением такому изменению напряжения пробоя, как показано в работе [4], является то, что обратное напряжение увеличивает область истощения, перемещая край перехода в область высоких ОД. В свою очередь увеличение степени ОД приводит к росту обратного тока, который способствует пробоя, раньше, чем в случае отсутствия давления.

Список литературы

- [1] Y. Kanda, T. Tokai, H. Kozuka. Jpn. J. Appl. Phys., **4**, 701 (1965).
- [2] Г.Л. Бир, Г.Е. Пикус. Симметрия и деформационные эффекты в полупроводниках (М., Наука, 1972) с. 584.
- [3] W. Rindner. J. Appl. Phys., **33** (8), 2479 (1962).
- [4] J.J. Wortman, J.R. Hauser, R.M. Burger. J. Appl. Phys., **35**, 2122 (1964).
- [5] R.L. Anderson. Sol. St. Electron., **5**, 341 (1962).

Редактор Г.А. Оганесян

Abstract The effect of uniaxial deformation up to 6 kg/cm² on the voltage-current characteristic of $p\text{-Ge}/n\text{-GaAs}$ heterostructure has been investigated at temperatures 300 and 77 K. It is found that both direct and reverse currents increase with pressure and the increase in direct current is much more pronounced than for the reverse one. The dependence on crystallographic directions is investigated. It has been revealed that the effect of uniaxial deformation is greatest for $\langle 111 \rangle$ direction of compression. The result can be used for uniaxial deformation sensors.