

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

© 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 4 февраля 2004 г. Принята к печати 16 марта 2004 г.)

Исследованы вольт-амперные характеристики, возникающие при встречных градиентах температуры, для „длинных“ $p\text{-}n$ -гетеропереходов Ge-GaAs . Наблюдался рост коэффициента выпрямления в зависимости от величины встречных тепловых потоков, который объясняется термоэлектрическим полем, образующимся на гетерогранице.

В работах [1,2] исследована термоэдс гетероструктуры Ge-GaAs в зависимости от величины градиента температуры. Установлено, что при большом градиенте температуры (БГТ) термоэдс гетероструктуры определяется возникающими при этом неравновесными носителями тока.

Представляется интересным исследовать влияние на вольт-амперную характеристику гетероструктур термоэлектрического поля, возникающего при БГТ. Термоэлектрическое поле, взаимодействующее с диффузионным полем гетероструктуры, возникает, если на гетеропереходе создать встречные тепловые потоки, которые встречаются на пограничной плоскости гетероперехода, поддерживаемой жидким хладагентом при постоянной температуре.

1. Методика эксперимента

„Длинные“ гетеропереходы $p\text{-Ge-n-GaAs}$ были изготовлены по методике, предложенной в работе [3], — переход создавался с помощью внешнего БГТ, направленного так, что материал с высокой температурой плавления находился со стороны высокой температуры теплового поля.

Под длинными мы понимаем гетеропереходы, у которых размеры базовых областей по обе стороны перехода x_1x_3 и x_2x_4 намного больше протяженности областей объемных зарядов x_0x_1 и x_0x_2 , т. е. $x_1x_3 \gg x_1x_0$ и $x_2x_4 \gg x_0x_2$ (рис. 1).

Из $n\text{-GaAs}$ и $p\text{-Ge}$ были изготовлены пластины прямоугольной формы с одинаковыми размерами $0.1 \times 1 \times 3$ мм. После шлифовки и травления пластины накладывались друг на друга таким образом, чтобы получалась общая длина 5 мм. Затем образцы помещались в вакуумную установку и в атмосфере проточного гелия в приконтактной области создавался БГТ. Под большим понимается градиент температуры, при котором концентрация носителей тока в образце изменяется на длине свободного пробега. С ростом градиента температуры, когда германий на плоскости пластины, граничащей с GaAs , начинал расплавляться, сразу выключался нагрев,

в результате чего расплавленный слой кристаллизовался, образуя гетеропереход. Рентгеноструктурный анализ показал, что выкристаллизованная пограничная область между Ge и GaAs является монокристаллической и пограничные плоскости повернуты друг относительно друга не более чем на 3° .

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) изготовленного описанным способом гетероперехода Ge-GaAs аналогична ВАХ, полученной в работе [3] на гетеропереходе, созданном эпитаксией Ge на поверхность GaAs , что указывает на хорошее качество гетероперехода.

Установка для измерения термоэдс при БГТ описана в работе [4]. Измерения проводили по следующей схеме. Вначале измерялась ВАХ при определенной температуре пограничной области гетероперехода при отсутствии тепловых потоков. Затем, сохраняя ту же температуру пограничной области, создавались встречные тепловые потоки с помощью нагревателей, находящихся на торцах длинных диодов, и измерялись ВАХ в зависимости от величины встречных тепловых потоков при сохранении температуры пограничной области. Нагреватели на торцах давали возможность создавать на обеих сторонах гетероперехода одинаковые по величине градиенты температур. Распределение температуры по длине гетероперехода при встречных потоках тепла показано внизу на рис. 1.

2. Результаты эксперимента и их обсуждение

На рис. 2 приведены ВАХ при температуре пограничной области гетероперехода $T_0 = 150$ К как в отсутствие градиента температуры, так и при $\Delta T = T_1 - T_0 = T_2 - T_0$, равных 80 и 120 К.

Из сравнения ВАХ видно, что из-за термоэлектрического поля, вызванного встречными тепловыми потоками, уменьшаются как прямое падение напряжения, при котором начинается экспериментальный рост тока, так и предельное предпробойное обратное напряжение. Вычисление показывает, что увеличивается коэффициент выпрямления ($\eta_0 = 100$, $\eta_1 = 130$, $\eta_2 = 330$) с ростом величины встречных потоков тепла. η_0 , η_1 , η_2 — коэффи-

[†] E-mail: ziyav@yandex.ru

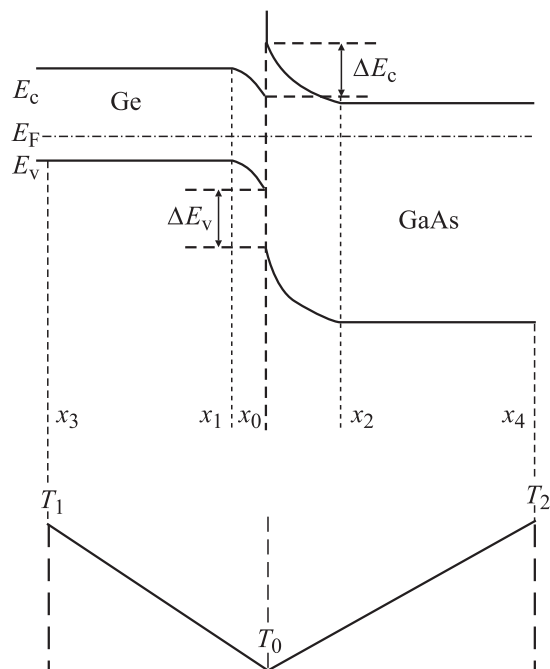


Рис. 1. Энергетическая диаграмма $p-n$ -гетероперехода Ge–GaAs в отсутствие градиента температуры. Внизу — распределение температуры по длине гетероперехода при создании встречных тепловых потоков.

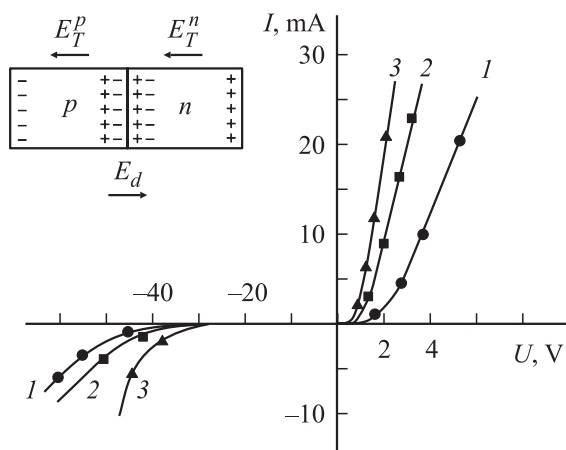


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики гетероперехода p -Ge– n -GaAs при разностях температур между торцами и областью перехода $\Delta T = T_1 - T_0 = T_2 - T_0$, К: 1 — 0, 2 — 80, 3 — 120.

циенты выпрямления при различных значениях разности температур $\Delta T = T_{1,2} - T_0$ между торцами и областью перехода. В нашем случае η_0 получено при $\Delta T = 0$, η_1 — при $\Delta T = 80$ К, η_2 — при $\Delta T = 120$ К.

Наблюдаемые изменения параметров ВАХ можно качественно объяснить следующим образом. Благодаря встречным потокам тепла в базовых областях гетероперехода возникают термоэлектрические поля E_T^n (в n -области) и E_T^p (в p -области), компенсирующие

встроенное поле E_d , возникающее в гетеропереходе в условиях термодинамического равновесия вследствие контактного потенциала $p-n$ -перехода. Как видно из рис. 2 (см. вставку), поле E_d ослабляется из-за того, что заряды двойного электрического поля (положительные со стороны n -типа и отрицательные со стороны p -типа) частично компенсируются дырками (со стороны p -типа) и электронами (со стороны n -типа), поступающими с торцов в область $p-n$ -перехода благодаря встречным тепловым потокам. Ясно, что с ростом величины тепловых потоков с торцов к области перехода растет степень уменьшения поля контактной разности потенциалов E_d , что в свою очередь приводит к изменению ВАХ. Как видно из рис. 2, начало экспоненциального роста прямого тока изменилось от 2 до 1 В.

Наблюдаемое в эксперименте уменьшение величины предпробойного обратного напряжения при возрастании ΔT объясняется следующим образом. При создании тепловых потоков навстречу друг к другу увеличиваются средние температуры базовых n - и p -областей. Известно, что рост температуры приводит к уменьшению обратного напряжения, при котором пробивается гетеропереход.

Список литературы

- [1] Н.С. Лидоренко, И.И. Балмуш, З.М. Дашевский, А.И. Касьян, Н.В. Каломоец. ДАН СССР, **272**, 855 (1983).
- [2] М.М. Гаджалиев, З.Ш. Пирмагомедов. ФТП, **37** (11), 1334 (2003).
- [3] R.L. Anderson. Sol. st. Electron., **5**, 341 (1962).
- [4] М.М. Гаджалиев, В.А. Елизаров. ФТП, **32**, 1313 (1998).

Редактор Т.А. Полянская

Influence of a thermoelectric field on the voltage–current characteristic of a p -Ge– n -GaAs heterojunction

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

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

Abstract The voltage–current characteristics under contrary temperature gradients are investigated for extended $p-n$ Ge–GaAs heterojunctions. The observed increase in the rectification coefficient alongside with that of contrary heat flows is explained by the thermoelectric field arising due to the heterojunction.