

Инструментарий для расчета характеристик гетероструктур, содержащих GaN, SiC и графен

Абрамов И. И., Коломейцева Н. В., Батура М. П., Ермак В.О.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь
nanodev@bsuir.edu.by

Аннотация: В работе рассмотрен инструментарий, предназначенный для моделирования характеристик гетероструктур, содержащих GaN, SiC и графен с вертикальным транспортом. С его помощью промоделированы структуры на основе материальной системы GaN/SiC с учетом различия в задании гетерограниц Ga/Si и Ga/C.

1. Введение

В работе исследован транспорт через вертикальные гетероструктуры на основе GaN/SiC. Моделирование приборных структур является одним из этапов разработки любого нанoeлектронного устройства на основе различных материальных систем [1]. Разработка моделей для расчета электрических характеристик гетероструктур с чередованием нескольких атомных слоев является актуальной задачей [2]. В данной работе моделирование ряда гетероструктур проведено с помощью разработанного инструментария и модифицированного на случай расчета характеристик гетероструктур, содержащих GaN, SiC и графен с вертикальным транспортом.

2. Модель. Результаты моделирования

В докладе использована комбинированная модель резонансно-туннельных диодов [3], модифицированная на случай учета вертикального транспорта носителей заряда и предназначенная для моделирования гетероструктур, содержащих GaN, SiC, Si и графен. В модели решаются уравнения Шредингера и Пуассона для учета влияния приконтактных областей прибора. Инструментарий, разработанный на базе данной модели, реализован на языке Compact Visual Fortran.

С помощью разработанного программного обеспечения [4,5] проведено его тестирование при расчете характеристик гетероструктур, содержащих GaN, SiC, Si и графен с вертикальным транспортом. В частности, на примере многобарьерной структуры $Al_{0,18}Ga_{0,82}N/GaN$, двухбарьерных структур Si_3N_4/SiO_2 и графен/SiC рассчитан коэффициент прохождения в зависимости от энергии электронов при различных приложенных напряжениях. Результаты расчетов параметров гетероструктур, содержащих GaN, SiC и графен с вертикальным транспортом, подтверждают адекватность предложенной модели.

В результате проведенных исследований рассчитаны вольт-амперные характеристики двухбарьерной гетероструктуры GaN/SiC с гетерограницей Ga/Si с шириной барьеров равной 1,0 нм (рис. 1).

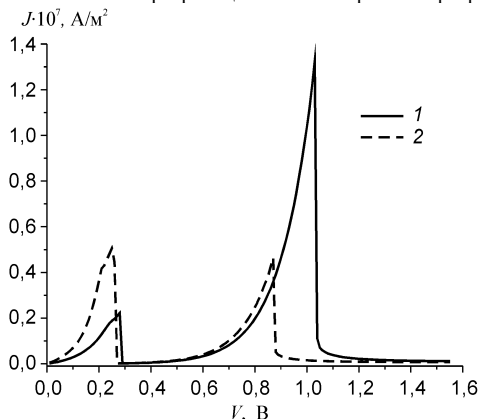


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики двухбарьерных резонансно-туннельных гетероструктур GaN/SiC с гетерограницей Ga/Si с различной шириной квантовой ямы: 1) $W_w=1,6$ нм; 2) $W_w=1,8$ нм.

Для данного случая высота потенциальных барьеров задается равной 0,92 эВ согласно исследованиям работы [6]. Расчеты проведены для гетероструктур с различной шириной квантовой ямы 1,6 нм и 1,8 нм. Число шагов сетки пространственной дискретизации задавалось равным 536 и 538 соответственно. В структурах также присутствуют спейсерные области GaN шириной 5 нм. При контактные области шириной 20 нм легированы донорной примесью величиной $1 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$. Аналогичные исследования проведены для гетероструктуры GaN/SiC с гетерограницей Ga/C (рис. 2). В данном случае их различие учитывалось только за счет различия в высоте потенциальных барьеров [6]. Для случая гетероструктуры GaN/SiC с гетерограницей Ga/C высота потенциального барьера значительно ниже GaN/SiC с гетерограницей Ga/Si и составляет 0,51 эВ. Проведенные расчеты показывают смещение пиковых напряжений в область более низких значений при увеличении ширины квантовой ямы. Очевидно, что плотности пиковых токов и токи долины для случая с гетерограницей Ga/C дают лучший результат.

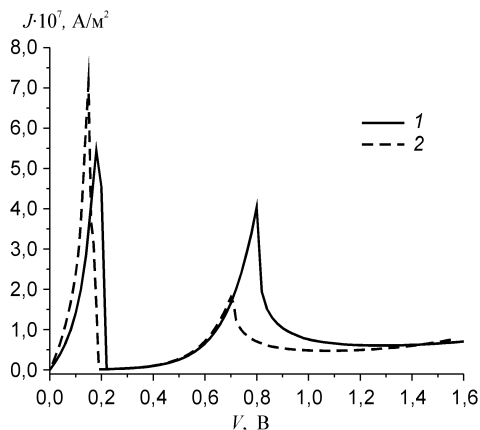


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики двухбарьерных резонансно-туннельных гетероструктур GaN/SiC с гетерограницей Ga/C с различной шириной квантовой ямы: 1) $W_q=1,6$ нм; 2) $W_q=1,8$ нм.

3. Заключение

В работе представлены результаты моделирования вертикального транспорта в двухбарьерных резонансно-туннельных гетероструктурах GaN/SiC с учетом гетерограниц Ga/Si, Ga/C. Показана важность учета данного фактора при расчетах и изготовлении устройств на данных гетероструктурах ввиду малости активной области (несколько атомных слоев материалов) исследуемых приборных структур. На примере варьирования ширины квантовой ямы для обоих случаев продемонстрировано влияние данного фактора на вольт-амперные характеристики гетероструктур.

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований "Фотоника и электроника для инноваций", подпрограмма "Микро- и нанoelectronика" Республики Беларусь.

Список литературы

1. Абрамов И. И. Основы моделирования элементов микро- и нанoelectronики. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. 444 с.
2. Абрамов И. И., Коломейцева Н. В., Лабунов В. А., Романова И. А., Щербакова И. Ю. Моделирование приборных структур нанoelectronики на основе 2D материалов // Нанотехнологии, разработка, применение: XXI век. 2023. Т. 15. № 1. С.54-68.
3. Абрамов И. И., Гончаренко И. А., Коломейцева Н. В. Комбинированная модель резонансно-туннельного диода // Физика и техника полупроводников. 2005. Т. 39, № 9. С. 1138-1145.
4. Abramov I. I., Labunov V. A., Kalameitsava N. V., Romanova I. A., Shcherbakova I. Y. Simulation of various nanoelectronic devices based on 2D materials // Proc. of SPIE. 2022. V. 12157. P. 121570U-1-9.
5. Abramov I. I., Baranoff A. L., Goncharenko I. A., Kolomejtseva N. V., Bely Y. L., Shcherbakova I. Y. A nanoelectronic device simulation software system NANODEV: New opportunities // Proc. of SPIE. 2010. V. 7521. P. 75211E1-1-11.
6. Lee J., Davis R.F., Nemanich R.J. Direct bonding of GaN and SiC; A novel technique for electronic device fabrication // International Journal of High Speed Electronics and Systems. 2004. V. 14. N 1. P. 83-105.