

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОНОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СТРУКТУРЕ ИЗ ГРАФЕНА

В.В. Муравьев, В.Н. Мищенко

Белорусский государственный университет информатики и радио-  
электроники, г. Минск

E-mail: [mishchenko@bsuir.by](mailto:mishchenko@bsuir.by)

Использование графена, который обладает высокой подвижностью носителей заряда, высокой теплопроводностью и рядом других положительных свойств, является перспективным для создания новых полупроводниковых приборов с хорошими выходными характеристиками. Большую актуальность представляет моделирование процессов переноса электронов в реальных трехмерных полупроводниковых структурах, содержащих графен.

С использованием метода Монте-Карло [1, 2] была разработана программа моделирования полупроводниковой структуры, содержащей слой графена, при температуре  $T = 300$  К. Канал дрейфа электронов в графене формировался вдоль продольной координаты  $x$ . Две граничных области из материала карбида кремния типа 4H-SiC выполняли функции ввода и вывода электронов. При моделировании использовались следующие общие размеры полупроводниковой структуры: высота структуры равнялась  $0,47 \times 10^{-9}$  м (координата  $y$ ), ширина – значению  $10 \times 10^{-6}$  м (координата  $z$ ), а длина структуры (координата  $x$ ) – значению  $1 \times 10^{-6}$  м. Для материала 4H-SiC значения электрофизических параметров и параметров долин выбирались из данных, представленных в [3, 4], концентрация электронов принималась равной  $1 \times 10^{16}$  см<sup>-3</sup> и использовалась модель, состоящая из электронных долин вида  $M-L-\Gamma$  [4]. В разработанной программе моделирования для областей, состоящих из материала 4H-SiC, были учтены наиболее важные механизмы рассеяния: на полярных оптических фононах, на примесях, на акустических фононах, междолинное рассеяние между неэквивалентными долинами [5].

Зависимости средней дрейфовой скорости электронов  $v$  (кривая 1) и коэффициента диффузии  $D$  (кривая 2) от длины структуры, полученные в результате моделирования при напряженности продольного электрического поля  $F$  равной 100 кВ/см, показаны на рис. 1. На рис. 1 представлены значения  $L/L_d$ , где  $L$  – текущее значение координаты  $x$ , а  $L_d$  – общая длина структуры вдоль этой координаты. Диапазон значения  $L/L_d$  от 0 до 0,2 соответствует одной области из материала 4H-SiC, а диапазон значений  $L/L_d$  в от 0,8 до 1,0 – для второй области из материала 4H-SiC. Как показывает анализ рис. 1, величина средней дрейфовой скорости

электронов остается приблизительно одинаковой и равной приблизительно  $1,0 \times 10^8$  см/с в области слоя графена, т. е. при значениях  $L/L_d > 0,2$  и  $L/L_d < 0,8$ .

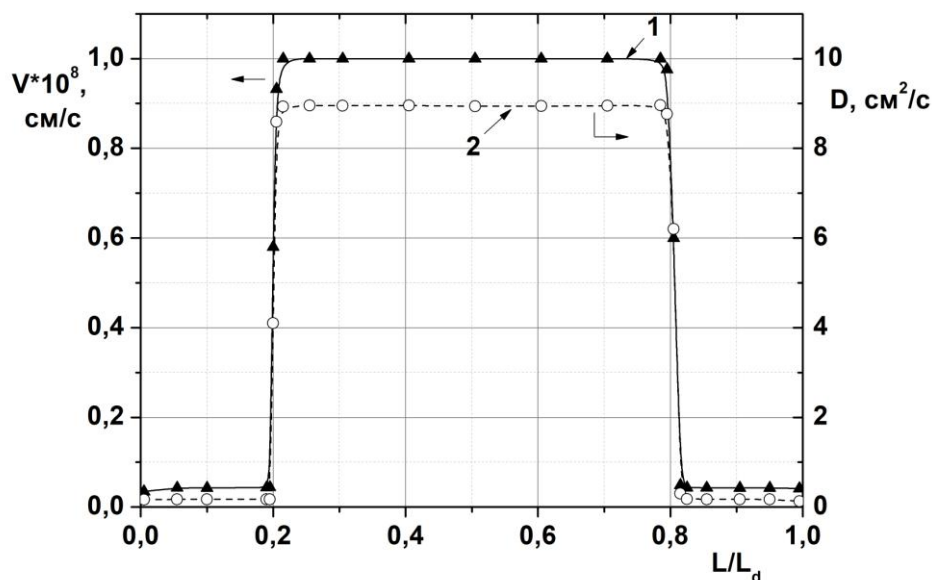


Рис. 1. Зависимости средней дрейфовой скорости и коэффициента диффузии электронов от длины структуры

В областях из материала 4H-SiC значения средней дрейфовой скорости электронов остаются намного меньше скорости электронов, которой они обладают в слое графена. Аналогичная зависимость наблюдается для коэффициента диффузии электронов. Путем моделирования получены и другие основные характеристики переноса носителей заряда – средней энергии и подвижности от длины структуры. Полученные результаты найдут широкое использование при разработке полупроводниковых оптических приборов и приборов диапазонов СВЧ и КВЧ.

1. Hockney R., Eastwood J., Numerical simulation using particles. M. 1987. 640 p.
2. Fawcett W., Boardman D.A., Swain S. // Journal of Physical Chemistry Solids. 1970. Vol. 31. P. 1963–1990.
3. D. Vasileska and S. M. Goodnick, Computational Electronics, Morgan and Claypool, 2006. - 216 p.
4. Persson, C., Lindefelt U. // J. Appl. Phys. 1997. Vol. 86. N. 11. P. 5036–5039.
5. Муравьев В. В., Мищенко В.Н. // Доклады БГУИР. 2017. N 2 (104). С. 5–57.