

Теоретическое исследование выходных характеристик полевых транзисторов на основе двухслойного графена

Абрамов И. И., Коломейцева Н. В., Лабунов В. А.

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

Аннотация: В работе с использованием предложенной квантовой диффузионно-дрейфовой модели полевого транзистора (ПТ) на двухслойном графене (ДГ) проведено моделирование выходных вольт-амперных характеристик исследуемого прибора. Показано влияние различных параметров на характеристики приборов.

1. Введение

Важным этапом при разработке нанoeлектронных устройств, например, ПТ на основе графена, является теоретическое исследование (моделирование) их характеристик [1]. Исследование проводится с помощью физико-математических моделей, реализованных в виде программного обеспечения, с целью анализа электрических характеристик моделируемых приборов, полученных на основании исходных данных, а именно: параметров структуры, электрических параметров и параметров окружающей среды.

В данной работе исследованы выходные характеристики ПТ на ДГ при различных напряжениях на верхнем затворе, а также показано влияние толщин верхнего и нижнего диэлектриков на плотность тока стока в зависимости от напряжения сток-исток.

2. Модель. Результаты моделирования

Моделирование проведено с помощью разработанной квантовой диффузионно-дрейфовой модели ПТ на ДГ. Ее описание приведено в [2,3].

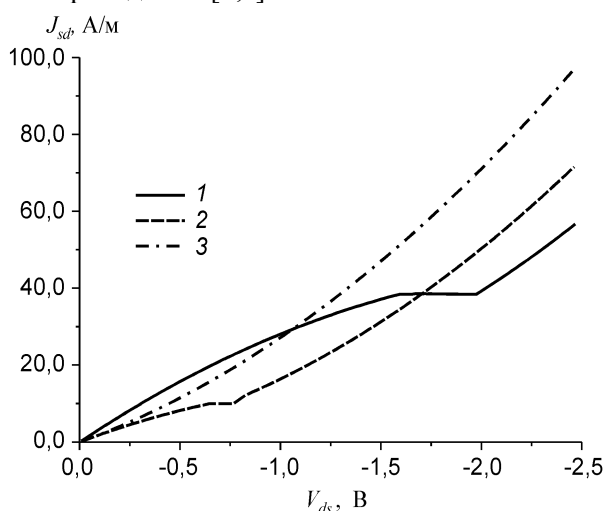


Рис. 1. Выходные характеристики полевого транзистора на двухслойном графене при различных напряжениях на верхнем затворе: 1 — $V_{gt} = -3$ В; 2 — $V_{gt} = -2$ В; 3 — $V_{gt} = -1$ В

Рассчитаны зависимости тока стока от напряжения сток-исток двухзатворного ПТ на ДГ с длиной канала 12 мкм. Материалом верхнего и нижнего подзатворных диэлектриков являлся диоксид кремния. На рис.1 показано влияние напряжения на верхнем затворе на выходные характеристики исследуемого прибора. Расчеты проведены при комнатной температуре при фиксированном напряжении на нижнем затворе равном -10 В. Кривая 1 соответствует напряжению на верхнем затворе $V_{gt} = -3$ В, кривая 2 — $V_{gt} = -2$ В, кривая 3 — $V_{gt} = -1$ В. Установлено, что при $V_{gt} = -3$ В ток стока достигает насыщения при напряжении на стоке $-1,59$ В. Канал обладает проводимостью р-типа до указанного значения. V_d в диапазоне от $-1,59$ В до $-1,97$ В указывает на амбиполярность характеристики. При V_d , превышающей $-1,97$ В, наблюдается резкое возрастание тока стока, а канал обладает п-типом проводимости. На кривой 2 амбиполярный участок мало заметен, а при $V_{gt} = -1$ В (кривая 3) ПТ на ДГ обладает п-типом проводимости. Наилучший вид характеристики из рассчитанных соответствует кривой 1.

Также проведены расчеты ПТ на ДГ при различных толщинах верхнего диэлектрика (рис.2а). Показано, что с увеличением толщины SiO_2 от 8 до 12 нм с шагом 2 нм, ток стока возрастает на амбиполярном участке. Аналогичные исследования показаны на рис.2б. Они иллюстрируют влияние толщины нижнего диэлектрика d_{back} на выходные вольт-амперные характеристики ПТ на ДГ. Кривая 1 соответствует d_{back} равной 90 нм, кривая 2 – $d_{\text{back}} = 100$ нм, кривая 3 – $d_{\text{back}} = 110$ нм. Показано, что изменение толщины верхнего диэлектрика оказывает более сильное влияние на выходные характеристики ПТ на ДГ, чем изменение толщины нижнего диэлектрика. В первом случае важно подбирать d_{top} с точностью до единиц нанометров, во втором случае d_{back} допустимо подбирать с точностью до десятка нанометров.

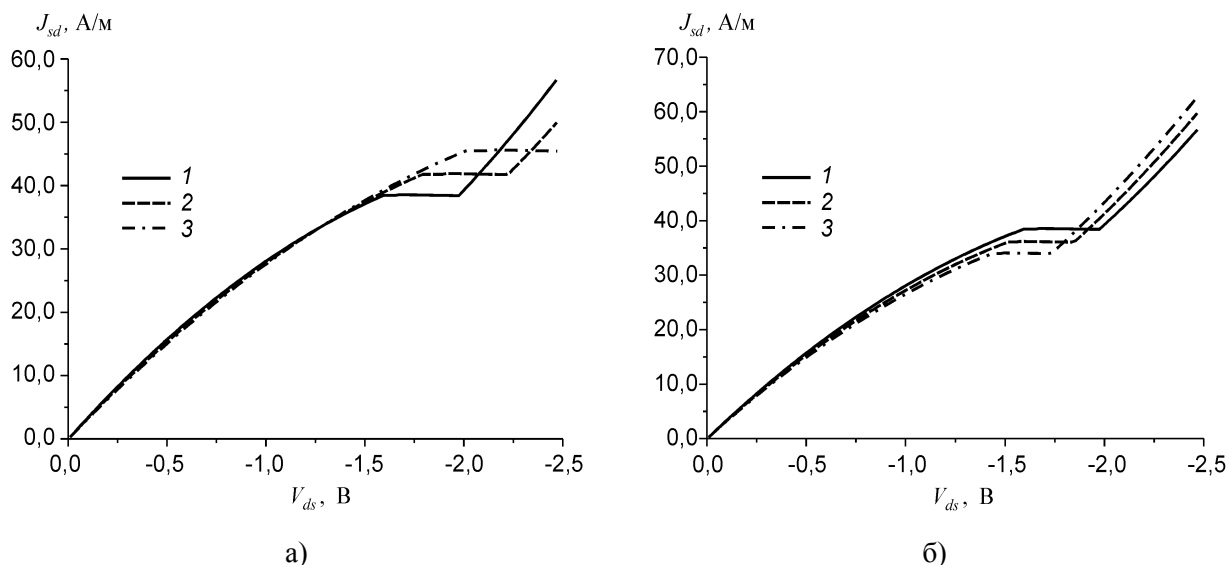


Рис. 2. Выходные характеристики полевого транзистора на двухслойном графене:

- а) при различных толщинах верхнего диэлектрика:
 1 — $d_{\text{top}} = 8$ нм; 2 — $d_{\text{top}} = 10$ нм; 3 — $d_{\text{top}} = 12$ нм;
 б) при различных толщинах нижнего диэлектрика:
 1 — $d_{\text{back}} = 90$ нм; 2 — $d_{\text{back}} = 100$ нм; 3 — $d_{\text{back}} = 110$ нм

3. Заключение

Теоретические исследования ПТ на ДГ показывают перспективность разработки ПТ на данной системе материалов. Показано влияние различных параметров, а именно: напряжения на верхнем затворе, толщин диэлектриков верхнего и нижнего затворов на характеристики прибора. Квантовая диффузионно-дрейфовая модель, с помощью которой проводились данные исследования, включена в систему моделирования нанoeлектронных приборов и устройств NANODEV [4].

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований "Конвергенция" Республики Беларусь.

Список литературы

1. Абрамов И. И. Основы моделирования элементов микро- и нанoeлектроники, LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, Germany, 2016. 444 с.
2. Abramov I. I., Labunov V. A., Kolomejtseva N. V., Romanova I. A., Shcherbakova I. Y. Influence of gate dielectrics of field-effect graphene transistors on current-voltage characteristics // Russian Microelectronics. 2021. V. 50. N 2. P. 118-125.
3. Абрамов И. И., Коломейцева Н. В., Лабунов В. А., Романова И. А., Щербакова И. Ю. Моделирование приборных структур нанoeлектроники на основе 2D материалов // Нанотехнологии, разработка, применение: XXI век. 2023. Т. 15. № 1. С.54-68.
4. 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.