

Simulation of field-effect transistors based on bilayer graphene and resonant-tunneling heterostructures based on 2D-materials with vertical transport

I. Abramov, V. Labunov, N. Kalameitsava

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus, E-mail: nanodev@bsuir.edu.by

The two-dimensional materials such as bilayer graphene and transition metal dichalcogenides represent a prospect for the development of new micro- and nanoelectronics devices. Bilayer graphene can be used as channel of two-gate field-effect transistor (FET). Particularity of the FET based on bilayer graphene is that it is possibility to operate of graphene channel conductivity changed band gap. In this case electric field perpendicular to the channel of the FET is applied. Calculation of band gap depends on material and width of top-gate and back-gate dielectrics, applied voltages. In laboratory "Physics of devices of micro- and nanoelectronics" at BSUIR we develop a quantum drift-diffusion model [1] of the FET based on bilayer graphene taking into account changing band gap [2,3]. The model allows to calculate output and transfer characteristics of the FET based on bilayer graphene. In the paper the comparison of transfer characteristics of the FET based on bilayer graphene with different dielectrics of top and back gates has been carried out. Similar researches of transfer characteristics of the FET based on monolayer graphene was considered in paper [4].

The two-dimensional materials are also transition metal dichalcogenides such as MoS_2 , WSe_2 , WS_2 . The paper [5] was devoted of investigation of properties of the material systems accenting difference of material properties which depend on number of layers. Taking into account the particularities simulation of resonant-tunneling heterostructures with vertical transport was carried out. In particular heterostructures based on material systems $\text{MoS}_2/\text{WSe}_2$ and MoS_2/WS_2 were simulated. Investigation was fulfilled with the use of developed combined model of resonant-tunneling structures proposed for heterostructures with vertical transport [2]. Influence of spacer regions on IV-characteristics of the heterostructures was demonstrated. Simulation of heterostructures with vertical transport including GaN, SiC and graphene also was considered. This study was supported by the State Programs of Scientific Research "Convergence", "Photonics and electronics for innovations", "Materials science, new materials and technologies" of Republic of Belarus.

1. I. I. Abramov. Bases of micro – and nanoelectronic devices simulation. LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany. 2016. 444p.
2. I. I. Abramov, N. V. Kalameitsava, V. A. Labunov, I. A. Romanova, I.Yu. Shcherbakova. "Simulation of nanoelectronic device structures based on 2D-materials". Nanotechnology: development and applications - XXI century, **15**, N 1, pp. 54-68, 2023.
3. I. I. Abramov, V. A. Labunov, N. V. Kalameitsava, I. A. Romanova, I. Y. Shcherbakova. "Simulation of various nanoelectronic devices based on 2D materials". Proc. of SPIE., ed. by V. F. Lukichev, K. V. Rudenko. **12157**. pp. 121570U-1-9, 2022.
4. I. I. Abramov, N. V. Kolomeitseva, V. A. Labunov, I.A. Romanova, I.Yu. Shcherbakova. Influence of gate dielectrics of field-effect graphene transistors on current-voltage characteristics //Russian Microelectronics, **50**, N2, pp. 118-125, 2021.
5. A. Laturia, M. L. Van de Put, W. G. Vandenberghe. "Dielectric properties of hexagonal boron nitride and transition metal dichalcogenides: from monolayer to bulk". 2D Materials and applications, **4**, N 28, pp. 1-6, 2018.

Моделирование полевых транзисторов на основе двухслойного графена и резонансно-туннельных гетероструктур на основе 2D-материалов с вертикальным транспортом

И. Абрамов, В. Лабунов, Н. Коломейцева

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь,
E-mail: nanodev@bsuir.edu.by*

Двумерные материалы, такие как двухслойный графен и дихалькагениды переходных металлов, считаются перспективными при разработке приборов микро- и наноэлектроники. Двухслойный графен может быть использован в качестве канала двухзатворного полевого транзистора (ПТ). Особенностью ПТ на основе двухслойного графена (ДГ) является возможность управлять проводимостью графенового канала за счет изменения ширины запрещенной зоны E_g . Ее расчет зависит от материала и толщины подзатворных диэлектриков, а также от прикладываемых смещений. В научной лаборатории БГУИР «Физика приборов микро- и наноэлектроники» была разработана квантовая диффузионно-дрейфовая модель [1] полевого транзистора на двухслойном графене, учитывающая изменение E_g [2,3]. Модель позволяет рассчитывать выходные и передаточные характеристики ПТ на ДГ. В работе проведено сравнение передаточных характеристик ПТ на ДГ с различными подзатворными диэлектриками. Подобные исследования передаточных характеристик ПТ на основе однослойного графена были рассмотрены в [4].

К двумерным материалам также относятся дихалькагениды, в частности, MoS_2 , WSe_2 , WS_2 . Исследованию свойств этой системы материалов посвящена статья [5], в которой акцентируется различие свойств материала в зависимости от количества слоев. С учетом этих особенностей проведено моделирование резонансно-туннельных гетероструктур с вертикальным транспортом. В частности, промоделированы гетероструктуры на основе материальных систем $\text{MoS}_2/\text{WSe}_2$ и MoS_2/WS_2 . Исследование проведено с помощью комбинированной модели резонансно-туннельных структур, предназначенной для гетероструктур с вертикальным транспортом [2]. Показано влияние спейсеров на характеристики исследуемых гетероструктур.

Также в докладе рассмотрено моделирование гетероструктур с вертикальным транспортом, включающих GaN , SiC и графен.

Работа выполнена в рамках Государственных программ научных исследований "Конвергенция", "Материаловедение, новые материалы и технологии", "Фотоника и электроника для инноваций" Республики Беларусь.

1. И. И. Абрамов. Основы моделирования элементов микро- и наноэлектроники. LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany. 2016. 444 с.
2. И. И. Абрамов, Н. В. Коломейцева, В. А. Лабунов, И. А. Романова, И. Ю. Щербакова. Моделирование приборных структур наноэлектроники на основе 2D-материалов // Нанотехнологии, разработка, применение: XXI век, **15**, N 1, pp. 54-68, 2023.
3. I. I. Abramov, V. A. Labunov, N. V. Kalameitseva, I. A. Romanova, I. Y. Shcherbakova. "Simulation of various nanoelectronic devices based on 2D materials". Proc. of SPIE., ed. by V. F. Lukichev, K. V. Rudenko. **12157**. pp. 121570U-1-9, 2022.
4. I. I. Abramov, N. V. Kolomeitseva, V. A. Labunov, I. A. Romanova, I. Yu. Shcherbakova. Influence of gate dielectrics of field-effect graphene transistors on current-voltage characteristics // Russian Microelectronics, **50**, N2, pp. 118-125, 2021.
5. A. Laturia, M. L. Van de Put, W. G. Vandenberghe. "Dielectric properties of hexagonal boron nitride and transition metal dichalcogenides: from monolayer to bulk". 2D Materials and applications, **4**, N 28, pp. 1-6, 2018.