

Расчет вольт-амперных характеристик двухбарьерных резонансно-туннельных гетероструктур на основе $\text{MoS}_2/\text{WSe}_2$ с вертикальным транспортом

Абрамов И. И., Коломейцева Н. В., Ермак В.О.

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

Аннотация: В работе представлена комбинированная модель, основанная на решении уравнений Шредингера и Пуассона и предназначенная для моделирования резонансно-туннельных гетероструктур на основе 2D-материалов. С ее помощью показано влияние количества слоев активной области приборной структуры, представляющей собой потенциальные барьеры с расположенной между ними квантовой ямой, на вольт-амперные характеристики (ВАХ) двухбарьерной гетероструктуры на основе $\text{MoS}_2/\text{WSe}_2$ с вертикальным транспортом.

1. Введение

Необходимость дальнейшей миниатюризации в нанoeлектронике привела к исследованию не только графена, полученного из графита, но и к получению и использованию в приборных структурах других 2D-материалов, в частности дихалькогенидов, таких как MoS_2 , MoSe_2 , MoTe_2 , WSe_2 , WS_2 и др. [1,2]. В связи с отсутствием в графене запрещенной зоны использование 2D-материалов в электронике более предпочтительно. Дихалькогениды имеют конечную запрещенную зону, в частности, наиболее известные из дихалькогенидов: MoS_2 и WSe_2 , имеют следующие значения запрещенной зоны 1,8 эВ и 1.62 эВ соответственно. Они обладают сходными физическими свойствами с графеном и могут использоваться в различных устройствах нанoeлектроники, например полевых транзисторах, приборах работающих на эффекте резонансного туннелирования т.д.

В данной работе рассмотрено моделирование резонансно-туннельных гетероструктур на основе $\text{MoS}_2/\text{WSe}_2$.

2. Модель. Результаты моделирования

Предложенная модель резонансно-туннельных структур модифицирована на случай моделирования гетероструктур на основе 2D-материалов с вертикальным транспортом [3,4]. Модель основана на самосогласованном решении уравнений Шредингера и Пуассона. Она может учитывать влияние приконтактных областей и использоваться для гетероструктур на основе дихалькогенидов при определенном задании исходных данных.

В докладе рассмотрено моделирование двухбарьерных гетероструктур на основе $\text{MoS}_2/\text{WSe}_2$ с вертикальным транспортом с квантовой ямой, изготовленной из 5 слоев MoS_2 и расположенной между потенциальными барьерами WSe_2 шириной в 2 слоя, с применением предложенной комбинированной модели резонансно-туннельных гетероструктур [3,4]. Квантовая яма MoS_2 расположена между потенциальными барьерами WSe_2 высотой 0,67 эВ. Эффективная масса и диэлектрическая проницаемость данных материалов составляют для WSe_2 $m^*=0,33m_0$, $\epsilon = 7,7\epsilon_0$ и $m^*=0,45m_0$, $\epsilon = 7,3\epsilon_0$ для MoS_2 соответственно. Активная область в свою очередь расположена между приконтактными областями MoS_2 шириной в 20 нм, легированными донорной примесью $2 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$.

На рис. 1 показано влияние количества слоев WSe_2 , представляющих собой потенциальные барьеры, на ВАХ исследуемой гетероструктуры. Установлено, что пиковые токи увеличиваются на порядок с уменьшением числа слоев WSe_2 с 3 до 2, а пиковые напряжения смещаются в область более высоких значений.

На рис.2 проиллюстрировано влияние ширины квантовой ямы на плотность тока исследуемой гетероструктуры. Анализ ВАХ двухбарьерной гетероструктуры показывает, что пиковые токи, пиковые напряжения, токи и напряжения долины смещаются в область более высоких значений с увеличением количества слоев MoS_2 с 4 до 5.

3. Заключение

Таким образом, с применением предложенной комбинированной модели резонансно-туннельных гетероструктур, исследованы электрические характеристики двухбарьерных гетероструктур на основе $\text{MoS}_2/\text{WSe}_2$ с вертикальным транспортом. Проведен анализ рассчитанных характеристик гетероструктур с двухслойными барьерами и пятислойными квантовыми ямами. Выявлены

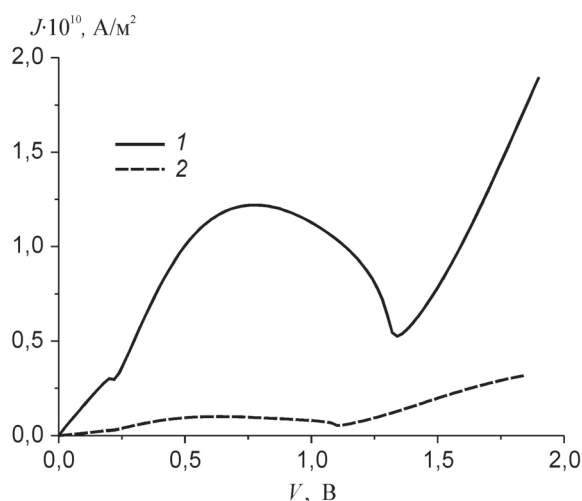


Рис. 1. ВАХ двухбарьерных резонансно-туннельных гетероструктур на основе MoS_2/WS_2 с различной толщиной потенциальных барьеров: 1) 2 слоя WS_2 ; 2) 3 слоя WS_2

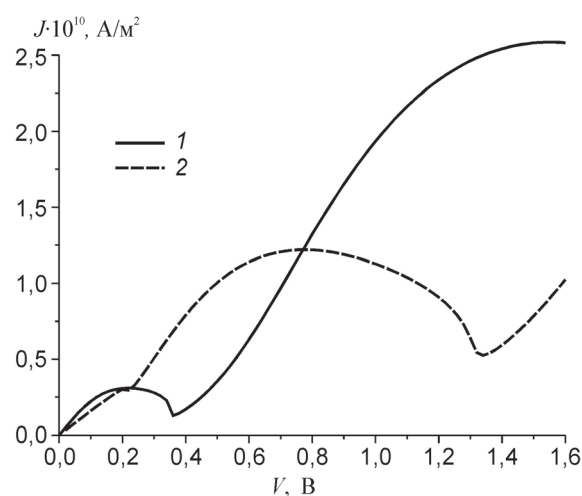


Рис. 2. ВАХ двухбарьерных резонансно-туннельных гетероструктур на основе MoS_2/WS_2 с различной шириной квантовой ямы: 1) 4 слоя MoS_2 ; 2) 5 слоев MoS_2

особенности области отрицательной дифференциальной проводимости на ВАХ при изменении количества слоев в активной области приборной структуры. Разработанная модель, модифицированная на случай вертикального транспорта в гетероструктурах на 2D-материалах, включена в систему моделирования нанoeлектронных приборов NANODEV [5].

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований "Материаловедение, новые материалы и технологии" Республики Беларусь.

Список литературы

1. Dragoman M., Dragoman D. 2D Nanoelectronics. Physics and devices of atomically thin materials. 2017. NanoScience and Technology. Springer. 199 p.
2. Miro P., M. Audiffred, Heine T. An atlas of two-dimensional materials // Chem. Soc. Rev. 2014. V. 43. P. 6537.
3. Абрамов И. И., Коломейцева Н. В., Лабунов В. А., Романова И. А., Щербакowa 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., 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.