

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПОДВИЖНОСТИ ЭЛЕКТРОНОВ В МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ ДИСИЛИЦИДЕ БАРИЯ

Д. А. Шохонов, И. С. Самусевич, А. Б. Филонов, Д. Б. Мигас

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
П. Бровки, 6, 200013 Минск, Беларусь
e-mail: d.shohonov@gmail.com*

Проведено моделирование температурной зависимости подвижности электронов в монокристалле полупроводникового дисилицида бария (BaSi_2). Моделирование проводилось на основе экспериментальных данных подвижности электронов в поликристаллическом BaSi_2 . Установлено, что для монокристаллического BaSi_2 можно ожидать увеличения значения подвижности электронов при комнатной температуре в сравнении с поликристаллическим BaSi_2 из-за отсутствия рассеяния на межзеренных границах и уменьшения электрон-фононного рассеяния в приближении потенциала деформации.

Ключевые слова: дисилицид бария; механизмы рассеяния; подвижность электронов; монокристалл.

ELECTRON MOBILITY VERSUS TEMPERATURE ON THE MONOCRYSTALL SEMICONDUCTOR BARIUM DISILICIDE

D. A. Shohonov, I. S. Samusevich, A. B. Filonov, D. B. Migas

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
P. Browki 6, 200013 Minsk, Belarus,
Corresponding author: D. A. Shohonov (d.shohonov@gmail.com)*

The dependence of the electron mobility versus temperature in monocrystalline semiconducting barium disilicide (BaSi_2) has been simulated. The simulation was carried out on the basis of experimental data on electron mobility in polycrystalline BaSi_2 . We demonstrate that for the monocrystalline BaSi_2 one can expect an increase in the electron mobility value at the room temperature in comparison with polycrystalline BaSi_2 due to the absence of grain boundaries scattering and decreasing electron-phonon scattering within the deformation potential approximation.

Key words: barium disilicide; scattering mechanisms; electron mobility; monocrystal.

ВВЕДЕНИЕ

Полупроводниковый дисилицид бария (BaSi_2) сегодня считается новым и перспективным материалом для тонкопленочных солнечных элементов и термоэлектрических применений. [1]. Он имеет ширину запрещенной зоны 1,15 – 1,3 эВ [2], достаточно большими значениями коэффициента оптического поглощения вблизи края поглощения и коэффициента Зеебека [1,3]. Кроме того, дисилицид бария обладает значительным временем жизни неосновных носителей [3]. Недавно были изготовлены солнечные элементы с гетеропереходами p- BaSi_2 /n-Si с эффективностью, прибли-

жающей к 10% [4]. К настоящему времени хорошо изучены как теоретически, так и экспериментально электронные и оптические свойства рассматриваемого материала. Недавно мы провели систематическое исследование транспортных свойств поликристаллического BaSi_2 . В поликристаллических материалах подвижность носителей имеет характерные особенности, а именно: межзеренные границы выступают в качестве потенциальных барьеров, которые должны быть преодолены носителями, и, в зависимости от величины потенциального барьера, могут существенно влиять на температурную зависимость подвижности носителей. Также рассеяние на фононах в приближении потенциала деформации может иметь слабую зависимость от размера зерна [5]. В данной работе на основании экспериментальных и теоретических данных о подвижности носителей в поликристаллическом BaSi_2 мы приводим данные о температурной зависимости подвижности электронов в монокристалле BaSi_2 .

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОДВИЖНОСТИ ЭЛЕКТРОНОВ

При моделировании температурной зависимости подвижности электронов мы использовали подход, примененный нами в работе [5]. Необходимые, основные для моделирования параметры, характеризующие материал, были исследованы, однако параметры, характеризующие рассеяние электронов на фононах в приближении потенциала деформации (D – константа, определяемая компонентами тензора деформационного потенциала в случае рассеяния на акустических фононах), являются параметрами нашей модели вследствие выявленной зависимости от размера зерна. Для поликристаллического BaSi_2 значения параметра D находились в диапазоне от 3,4 до 4 эВ: для наиболее представительного значения размера зерна ($\sim 2,7$ мкм) $D = 3,5$ эВ, а для максимального (~ 5 мкм) – 3,4 эВ. При переходе к идеальному монокристаллу, что соответствует размеру зерна, равному бесконечности, можно ожидать дальнейшее уменьшение параметра D . Однако выявление точной зависимости параметра D от размера зерна и экстраполяция к бесконечности весьма затруднительна [5]. Результаты моделирования температурной зависимости подвижности электронов для монокристаллического BaSi_2 представлены на рисунках 1 и 2.

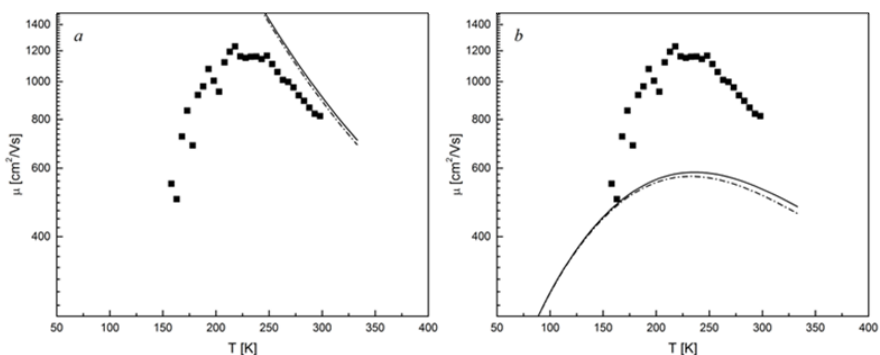


Рисунок 1. – Температурная зависимость подвижности электронов в дисилициде бария (a – моделирование для нелегированного образца: пунктирная линия – $D = 3,5$ эВ, сплошная линия – $D = 3,2$ эВ; b – моделирование для образца, легированного фосфором с концентрацией $9 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$: пунктирная линия – $D = 3,5$ эВ, сплошная линия – $D = 3,2$ эВ; черные квадраты – экспериментальная зависимость подвижности электронов от температуры в поликристаллическом нелегированном BaSi_2)

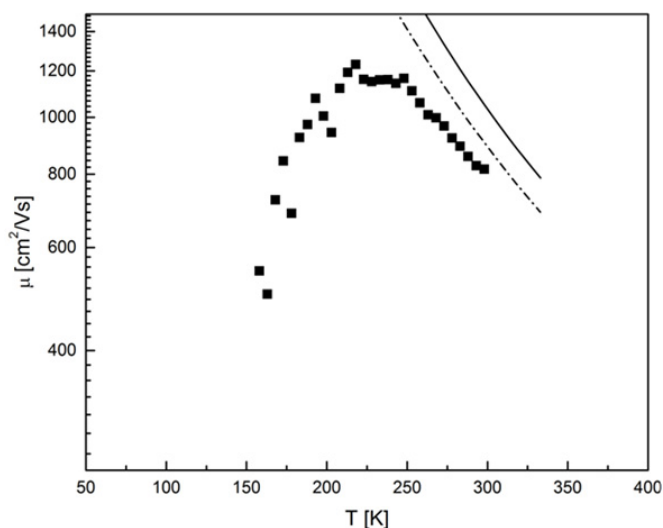


Рисунок 2. – Температурная зависимость подвижности электронов в дисилициде бария (моделирование для нелегированного образца: пунктирная линия – $D = 3,5$ эВ, сплошная линия – $D = 3$ эВ; черные квадраты – экспериментальная зависимость подвижности электронов от температуры в поликристаллическом нелегированном BaSi_2)

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В случае нелегированного монокристаллического BaSi_2 подвижность электронов существенно возрастает в области низких температур в сравнении с поликристаллическим образцом. Это обусловлено отсутствием рассеяния на межзеренных границах в монокристалле. При $D = 3,5$ эВ, что совпадает со значением для поликристалла, значение подвижности электронов при комнатной температуре составляет $\approx 905 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, что выше соответствующего значения подвижности электронов для поликристалла ($\approx 816 \text{ cm}^2/\text{Vs}$). Таким образом, в монокристалле за счет отсутствия рассеяния на межзеренных границах подвижность носителей в области высоких температур выше по абсолютному значению, чем соответствующие значения подвижности в поликристаллическом образце. При $D = 3,2$ эВ значение подвижности электронов при комнатной температуре составляет $\approx 927 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, что несколько больше значения подвижности электронов при комнатной температуре в случае $D = 3,5$ эВ. Для легированного образца подвижность электронов существенно уменьшается по абсолютному значению в сравнении с нелегированным поликристаллическим BaSi_2 . Рост подвижности с ростом температуры в области низких температур обусловлен рассеянием на заряженных центрах. При комнатной температуре значения подвижности электронов составляют ≈ 524 и $\approx 544 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ при $D = 3,5$ и $D = 3,2$ эВ соответственно. При $D = 3$ эВ абсолютное значение подвижности электронов при комнатной температуре для нелегированного образца существенно выше соответствующего значения для поликристаллического образца и составляет $\approx 1051 \text{ cm}^2/\text{Vs}$. Незначительное уменьшение параметра D с $3,5$ до 3 эВ приводит к заметному повышению подвижности электронов при комнатной температуре. Параметр D , характеризующий электрон-фононное взаимодействие, определяется природой материала, и для точной количественной оценки изменения его абсолютного значения при переходе от поли-

кристалла к идеальному монокристаллу требуются дополнительные экспериментальные и теоретические исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. T. Suemasu Exploring the potential of semiconducting BaSi₂ for thin-film solar cell applications / T. Suemasu, N. Usami // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2017. – V. 50, №12. – P. 023001.
2. Electronic properties of thin BaSi₂ films with different orientations / D.B. Migas [et al.] // Jpn. J. Appl. Phys. – 2017. – V. 56, №8. – P. 05DA03.
3. Thermoelectric properties of BaSi₂, SrSi₂ and LaSi / K. Hashimoto [et al.] // J. Appl. Phys. – 2007. – V. 102, №10. – P. 063703.
4. p-BaSi₂/n-Si heterojunction solar cells on Si (001) with conversion efficiency approaching 10%: comparison with Si (111) / T. Deng [et al.] // Appl. Phys. Express – 2018. – V. 11, №5. – P. 062301.
5. Transport properties of *n*- and *p*-type polycrystalline BaSi₂ / T. Deng [et al.] // Thin Solid Films. – 2018. – V. 661, №7. – P. 7 – 15.

ВЛИЯНИЕ ОДИНОЧНОГО СЛОЯ ГРАФЕНА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

В. В. Муравьев, В. Н. Мищенко

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
ул. П. Бровки, 6, 220012 Минск, Беларусь,
e-mail: mishchenko@bsuir.by*

С использованием метода Монте-Карло разработана программа для анализа трехмерной полупроводниковой структуры, в которой использовался одиночный слой графена, размещенный на подложке из карбида кремния. Получены основные характеристики полевого транзистора – зависимости выходного тока стока от величины постоянного напряжения на затворе, а также зависимости выходного тока стока от величины постоянного напряжения на стоке. Показана перспективность использования графена в конструкциях полупроводниковых приборов диапазонов СВЧ и КВЧ.

Ключевые слова: графен; карбид кремния; метод Монте-Карло; полупроводниковый прибор.

THE INFLUENCE OF THE SINGLE LAYER OF GRAPHEN ON THE CHARACTERISTICS OF THE FIELD TRANSISTOR

V. V. Muravyev, V. N. Mishchenka

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
P. Brovki, 6, 220012 Minsk, Belarus,
Corresponding author: V. N. Mishchenka (mishchenko@bsuir.by)*

Using the Monte Carlo method, a program was developed for the analysis of a three-dimensional semiconductor structure, in which a single layer of graphene placed on a silicon carbide substrate was used. The main characteristics of field transistor are obtained: the dependence of the output current of the drain on the value of the constant voltage on the gate, and also the dependence of the output current of the drain on the value of the constant