

12. Grundmann, M. The physics of semiconductors. an introduction including nanophysics and applications / M. Grundmann. – Cham: Springer, 2021. – xxxviii+890 p.
13. Поклонский, Н.А. Статистическая физика полупроводников / Н.А. Поклонский, С.А. Вырко, С.Л. Поденок. – М.: КомКнига, 2005. – 264 с.
14. Shockley, W. Electrons and holes in semiconductors: with applications to transistor electronics / W. Shockley. – New York: R.E. Krieger Pub. Co., 1976. – xxiv+558 p.
15. Marshak, A.H. On the inappropriate use of the intrinsic level as a measure of the electrostatic potential in semiconductor devices / A.H. Marshak // IEEE Electron. Dev. Lett. – 1985. – Vol. 6, № 3. – P. 128–129.
16. Duschl, R. Epitaxially grown Si/SiGe interband tunneling diodes with high room-temperature peak-to-valley ratio / R. Duschl, O.G. Schmidt, K. Eberl // Appl. Phys. Lett. – 2000. – Vol. 76, № 7. – P. 879–881.
17. Franks, V.M. An alloy process for making high current density silicon tunnel diode junctions / V.M. Franks, K.F. Hulme, J.R. Morgan // Solid State Electron. – 1965. – Vol. 8, № 3. – P. 343–344.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БАРЬЕРНЫХ СТРУКТУР SiC/Si И Pt₂Si/SiC/Si

Н. В. Полонский, М. В. Лобанок, П. И. Гайдук

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030 Минск, Беларусь,
e-mail: Palonski.Mikita@yandex.by*

Проведены сравнительные исследования вольт-амперных характеристик барьерных структур Pt₂Si/SiC/Si и SiC/*n*-Si, изготовленных на высокоомном кремнии *n*-типа проводимости методом молекулярно-лучевой эпитаксии с последующими операциями осаждения слоев платины, термического отжига и формирования контактов. Получены обратные токи $\sim 1.5 \times 10^{-7}$ А и $\sim 1.5 \times 10^{-5}$ А соответственно для структур Pt₂Si/SiC/Si и SiC/*n*-Si. Из температурных зависимостей обратного тока определены значения величин потенциального барьера и барьера Шоттки в структурах SiC/Si и Pt₂Si/SiC/Si, которые составили 0.35 эВ и 0.685 эВ соответственно.

Ключевые слова: тонкие пленки; барьерные структуры, SiC/*n*-Si, Pt₂Si/SiC/Si, вольт-амперные характеристики, энергия активации.

COMPARATIVE STUDY OF BARRIER STRUCTURES SiC/Si AND Pt₂Si/SiC/Si

M. V. Palonski, M. V. Lobanok, P. I. Gaiduk

*Department of Physical electronics and nanotechnology, Belarusian State University, Belarus
Corresponding author: M. V. Palonski (Palonski.Mikita@yandex.by)*

A comparative study of the current-voltage characteristics of Pt₂Si/SiC/Si and SiC/*n*-Si barrier structures fabricated on high-resistance *n*-type conductivity silicon by molecular beam epitaxial with subsequent operations of platinum layer deposition, thermal annealing and contact formation was performed. The reverse currents $\sim 1.5 \times 10^{-7}$ A and $\sim 1.5 \times 10^{-5}$ A were obtained for the Pt₂Si/SiC/Si and SiC/*n*-Si structures, respectively. The potential barrier and Schottky barrier values in the SiC/Si and Pt₂Si/SiC/Si structures, which were

0.35 eV and 0.685 eV, respectively, were determined from the temperature dependences of the reverse current.

Key words: thin films; barrier structures; SiC/*n*-Si; Pt₂Si/SiC/Si; current-voltage characteristics; activation energy.

ВВЕДЕНИЕ

Гетероструктуры SiC/Si перспективны для изготовления высоковольтных полупроводниковых приборов, обладающих повышенной температурной, химической и радиационной стойкостью [1]. В частности, вертикальные диодные структуры SiC/Si можно использовать в качестве силовых выпрямляющих диодов, газовых датчиков в агрессивных средах и МЭМС-структурах [2–4]. Важным условием функционирования диодных структур на основе SiC является создание надежных контактов. Особый интерес вызывают барьерные контакты Шоттки к слоям SiC на основе силицидов платины, которые вместе с хорошими выпрямляющими свойствами способны выдерживать жесткие условия эксплуатации [5]. В вертикальной диодной конфигурации барьер силицид/SiC включен последовательно с гетероструктурой SiC/Si, которая также может быть барьерной. Так, в работе [6] сообщалось, что гетеропереход SiC/*n*-Si является невыпрямляющим. В то же время в работе [7] авторы при исследовании вольт-амперных характеристик (ВАХ) структур SiC/*n*-Si сообщали о выпрямляющих свойствах. Поэтому для разработки вертикальных диодных структур на основе силицид/SiC/Si необходима информация об электрофизических свойствах не только структуры силицид/SiC, но и гетероперехода SiC/Si. В настоящем сообщении приведены результаты сравнительных исследований ВАХ структур SiC/Si и Pt₂Si/SiC/Si.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве исходных подложек использованы высокоомные пластины кремния *n*-типа проводимости с ориентацией поверхности вдоль (111). Структура SiC/Si выращивалась методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Толщина слоев SiC составляла 100 нм. Легирование *n*-типа проводимости слоев SiC определялось термозондом. Затем исходная структура разделялась на два образца. Все образцы перед нанесением металлов очищались в пятипроцентном растворе плавиковой кислоты.

На лицевую сторону (поверхность SiC) первого образца наносились слои Pt толщиной 23 нм. После этого проводился отжиг при 350 °С в инертной среде в течение 10 минут. Следующим этапом на лицевой стороне формировались контакты методом фотолитографии и селективного травления в растворе HF:HNO₃ в пропорции 1:3. На заключительном этапе, на обратной стороне (поверхность Si) первого образца наносилась галлий-алюминиевая паста.

Для исследования электрофизических характеристик гетероперехода SiC/*n*-Si, на тыльную и обратную сторону второго образца наносились слои Al толщиной 30 нм. Следующим шагом проводился отжиг при 350 °С в окисляющей среде (O₂) в течение 10 минут. Затем формировались контакты методом фотолитографии и селективного травления в растворе HNO₃:H₂O:H₃PO₄ в пропорции 1:5:20.

Для измерений ВАХ при различных температурах прибор ИППП-1 был снабжен системой подогрева элементом Пельтье до температуры 100 °С.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

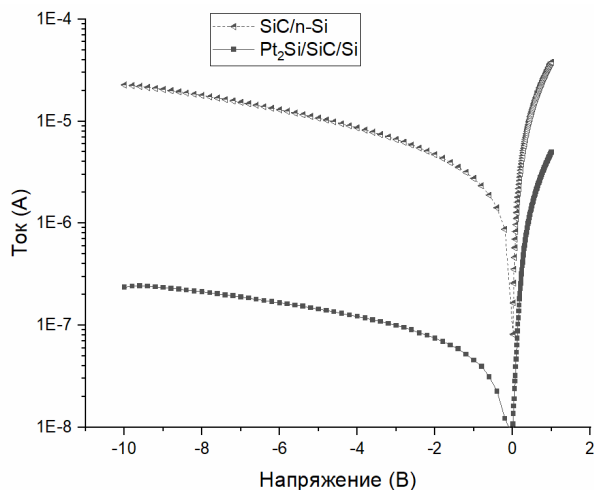


Рисунок 1. ВАХ структур $Pt_2Si/SiC/Si$ и $SiC/n-Si$

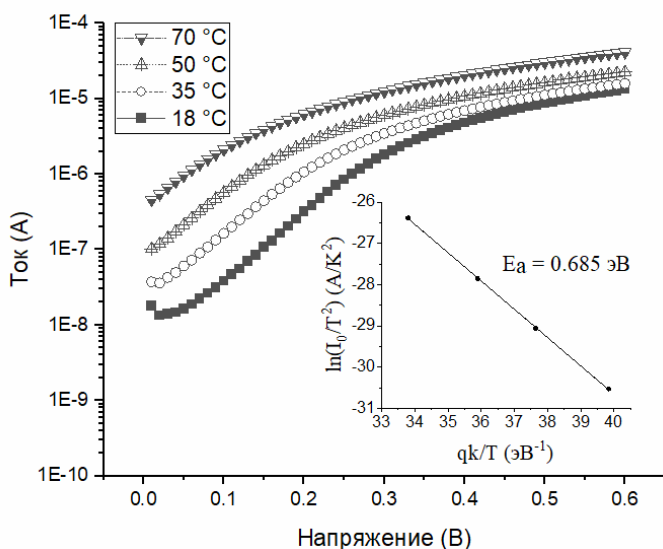


Рисунок 2. Типичная ВАХ структур $Pt_2Si/SiC/Si$ при различных температурах измерения.

Вставка показывает зависимость обратного тока, деленного на температуру в квадрате, от температуры

На рис. 1 представлены ВАХ структур $Pt_2Si/SiC/Si$ и $SiC/n-Si$, измеренные при комнатной температуре. Видно, что кривые ВАХ выпрямляющие для обоих типов структур. Данное поведение кривых устанавливает, что в структуре $Pt_2Si/SiC/Si$ и $SiC/n-Si$ есть область пространственного заряда. Можно также заметить, что значения обратных токов у структуры $Pt_2Si/SiC/Si$ приблизительно на два порядка меньше, чем у $SiC/n-Si$. Для более детального исследования потенциального барьера и барьера Шоттки, анализировались энергии активации обеих структур.

На рис. 2, 3 показаны типичные значения ВАХ структур $Pt_2Si/SiC/Si$ и $SiC/n-Si$ при температурах от 18 до 70 °C. Линейные участки ВАХ были аппроксимированы с помощью формулы Родерика [8].

Температурные зависимости величин обратного тока (I) и параметра (I/T^2) (рис. 2, 3) демонстрируют существенные различия величины энергии активации обоих типов структур.

В случае $Pt_2Si/SiC/Si$ величина энергии активации равняется высоте барьера Шоттки. В случае $SiC/n-Si$, значение энергии активации характеризует величину потенциального барьера на стороне Si. Из сравнительного анализа результатов измерения параметров барьера Шоттки и потенциального барьера можно сделать вывод, что влияние барьера Шоттки на ВАХ структуры $Pt_2Si/SiC/Si$ является преобладающим, тогда как вклад потенциального барьера контакта $SiC/n-Si$ незначителен.

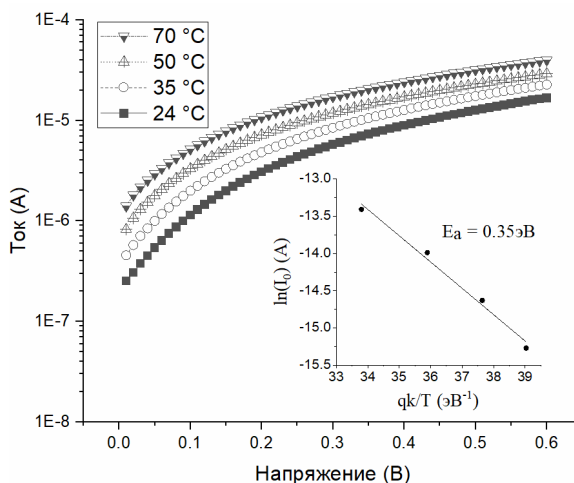


Рисунок 3. Типичная ВАХ гетероперехода $SiC/n-Si$ при различных температурах измерения. Вставка показывает зависимость обратного тока от температуры

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сформированы структуры $Pt_2Si/SiC/Si$ и $SiC/n-Si$. Результаты вольт-амперных характеристик указывают на выпрямляющие свойства в сформированных структурах. В результате измерений структуры $Pt_2Si/SiC/Si$ и SiC/Si Обратные токи при комнатной температуре у структур $Pt_2Si/SiC/Si$ и $SiC/n-Si$ были получены $\sim 1.5 \times 10^{-7} A$ и $\sim 1.5 \times 10^{-5} A$ соответственно. На основании температурной зависимости токов насыщения структур $Pt_2Si/SiC/Si$ и SiC/Si были рассчитаны энергии активации. В случае $Pt_2Si/SiC/Si$ значение энергии активации составляла ~ 0.685 эВ соответствующей барьеру Шоттки. Для структуры SiC/Si значение энергии активации составляла ~ 0.35 эВ, что соответствовало величине потенциального барьера на стороне Si.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования выполнены в рамках проекта T22-030 Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (№ ГР 20221052), а также, частично, проекта государственной программы научных исследований Фотоника и электроника для инноваций (проект 3.1.2, № ГР 20212702).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Ferro G. 3C-SiC Heteroepitaxial Growth on Silicon: The Quest for Holy Grail/ G. Ferro // Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences. - 2015. - №76. - p. 40-56.
2. Chung, G.S. Electrical characterization of Au/3C-SiC/n-Si/Al Schottky junction / G.S.Chung, K.S.Kim, F.Yakuphanoglu// Journal of Alloys and Compounds. - 2010. - vol.507. - p.508-512.
3. Bourenane, K. Electrical properties of Schottky diode Pt/SiC and Pt/porous SiC performed on highly resistive p-type 6H-SiC / K. Bourenane, A. Keffous, G. Nezza. //Vacuum. - vol. 81. - № 5. -p. 663-668.
4. Shenoy, P.Vertical Schottky Barrier Diodes on 3C-SiC Grown on Si / P.Shenoy, A.Moki, B. J.Baliga, D.Alok, K.Wongchotigul, M.Spencer //IEEE International Elecctr on Devices Meeting. - 1994. - p.

5. Shenai, K. Optimum semiconductors for high-power electronics / K. Shenai, R. S. Scott, B. J. Baliga//IEEE Transactions on Electron Devices. - №36 – vol.9– p 1811-1823.
6. Carrier transport mechanisms of p-SiC/n-Si hetero-junctions/ Su J. [et al.] // Solid State Sciences . — 2014. — V.13. —p. 434-437
7. Effects of interface state charges on the electrical properties of Si/SiC heterojunctions / Liang J. [et al.] // Appl. Phys. Lett. — 2014. — V. 105, № 151607. —p.1—3.
8. Rhoderick E.H., Williams R.H. Metal-Semiconductor Contacts. – Oxford: Clarendon Press. – 1988.

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБОРНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ НАНОМЕТРОВЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СЛОЕВ SiGe ПОСЛЕ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

С. Л. Прокопьев, В. А. Зайков

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030 Минск, Беларусь,
e-mail: prokopyev@bsu.by*

Методами измерения вольтамперных характеристик обнаружено, что после воздействия импульсов длительностью 80 нс лазерного излучения на длине волны 0,69 мкм с плотностью энергии 0,82–1,4 Дж/см² на поликристаллические слои Si/SiGe толщиной 230–270 нм, наблюдается увеличение силы прямого тока в указанных слоях.

Ключевые слова: поликристаллические слои Si/SiGe; импульсное лазерное облучение; вольтамперные характеристики; барьерная структура.

ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF POLY-SiGe BASED DEVICE STRUCTURES AFTER PULSED LASER IRRADIATION

S. L. Prakopyeu, V. A. Zaikov

*Belarusian State University, Nezavisimosti av. 4, 220030 Minsk, Belarus
Corresponding author: S. L. Prakopyeu (prokopyev@bsu.by)*

Using methods of current-voltage characteristics measurement, it was found the current increase in the polycrystalline 200–300 nm thick SiGe layers after pulsed laser irradiation (80 ns pulse duration at a wavelength of 0.69 μm) and an energy density of 0.82–1.4 J/cm².

Key words: polycrystalline Si/SiGe layers; pulsed laser annealing; current-voltage characteristics, barrier structure.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка полупроводниковых приборных структур для применения в качестве фотоприемных структур в ИК-области является актуальной в настоящее время [1]. В частности, ведется поиск новых подходов к формированию таких структур на основе элементов IV группы [2]. С другой стороны отметим, что импульсное воздействие на полупроводниковые структуры используется для контролируемого изменения их электрофизических свойств [3]. В данной работе представлены результаты электрофизических исследований воздействия наносекундного лазерного излучения на поликристаллические слои SiGe.