

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.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходными подложками для формирования структур Si/SiGe служили пластины кремния ориентации (001). Методом химического осаждения из газовой фазы (ХОГФ) при температуре 470 и/или 500 °С на пластинах кремния выращивался слой SiGe толщиной 230–270 нм. Импульсная лазерная обработка (ИЛО) слоев SiGe проводилась с использованием рубинового лазера на длине волны 0,69 мкм с плотностью энергии 0,82–1,4 Дж/см². Длительность лазерных импульсов составляла 80 нс. Электрофизические исследования проводились методами измерения вольтамперных характеристик (ВАХ) с использованием прецизионного анализатора полупроводниковых приборов Hewlett-Packard HP4156В. Для проведения измерений на исследуемые образцы наносились контакты из серебряной пасты. На рис. 1 схематически представлено расположение контактов на исследуемых образцах.

На нижнюю сторону подложки Si (1) и на рабочую поверхность слоя SiGe (2) наносили по две контактных площадки. Измерения их вольтамперных характеристик (ВАХ) (а именно пары контактных площадок, расположенных на одной стороне образца (т.е. пары 3 и/или 4) проводились для контроля качества нанесения контактных площадок.

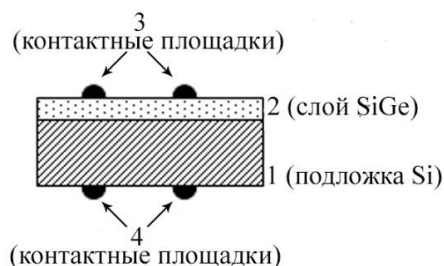


Рисунок 1. Структура на основе слоев SiGe для электрофизических измерений

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2–4 представлены результаты исследований электрофизических свойств приборных структур с поликристаллическими слоями SiGe после ИЛО. Типичные вольтамперные характеристики структуры, выращенной ХОГФ при $T = 500$ °С, представлены на рис. 2, 3. Данная структура подвергалась воздействию ИЛО с плотностью энергии 1,2 Дж/см². Выбор указанной величины плотности энергии ИЛО обусловлен тем, что по результатам исследований методом растровой электронной микроскопии (не показано) установлено, что плотность энергии ИЛО, равная 1,2 Дж/см², является предпочтительной для формирования гладкой поверхности поликристаллического слоя SiGe. При этом на поверхности такой структуры достигается пренебрежимо малое количество неоднородностей.

Как видно из рис. 2, 3, формируется типичная барьерная структура (рис. 2, кривая 2). Также видно, что контакты к структуре были омическими и не вносили дополнительных искажений ВАХ (рис. 2, кривая 1).

Вольтамперные характеристики, представленные на рис. 4, были получены на структурах, выращенных методом ХОГФ при температуре 470 °С. ИЛО структур проводилась при плотности энергии ИЛО: 0,82 Дж/см²; 0,98 Дж/см²; 1,2 Дж/см²; 1,4 Дж/см².

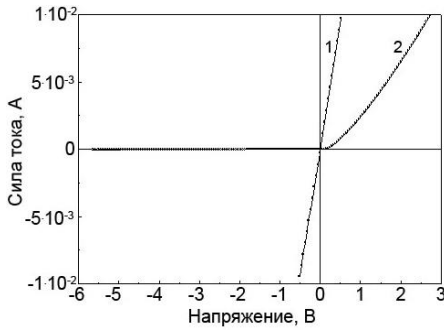


Рисунок 2. Вольтамперная характеристика контактных областей (1) структуры с поликристаллическими слоями SiGe и ее вольтамперная характеристика (2). $T_{\text{ХОГФ}} = 500 \text{ }^\circ\text{C}$, плотность энергии ИЛО $1,2 \text{ Дж/см}^2$

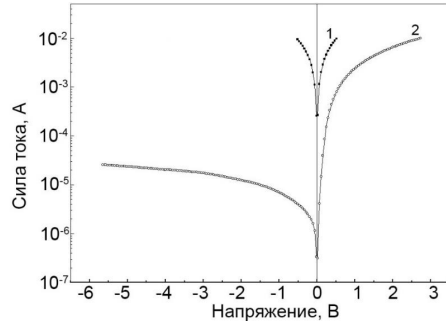


Рисунок 3. Вольтамперные характеристики в логарифмических координатах. $T_{\text{ХОГФ}} = 500 \text{ }^\circ\text{C}$, плотность энергии ИЛО $1,2 \text{ Дж/см}^2$

Как следует из анализа ВАХ (рис. 4), в этом случае также формируется типичная барьерная структура. Следует отметить, что ИЛО практически не влияет на вид обратных ветвей ВАХ, однако из анализа прямой ветви ВАХ, можно сделать вывод, что с увеличением плотности энергии ИЛО наблюдается увеличение силы тока.

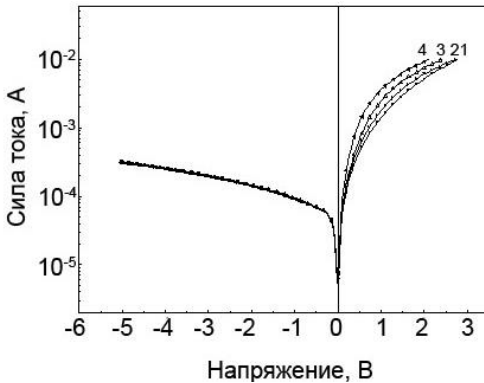


Рисунок 4. Вольтамперные характеристики в логарифмических координатах. $T_{\text{ХОГФ}} = 470 \text{ }^\circ\text{C}$, плотность энергии ИЛО: 1 – $0,82 \text{ Дж/см}^2$; 2 – $0,98 \text{ Дж/см}^2$; 3 – $1,2 \text{ Дж/см}^2$; 4 – $1,4 \text{ Дж/см}^2$

однако из анализа прямой ветви ВАХ, можно сделать вывод, что с увеличением плотности энергии ИЛО наблюдается увеличение силы тока. Так увеличение плотности энергии ИЛО с $0,82$ до $1,4 \text{ Дж/см}^2$ приводит к увеличению силы прямого тока в $1,77$ раза при напряжении 2 В . Обратный ток в данном диапазоне плотности энергии ИЛО практически не изменяется (в $1,03$ раза, при напряжении -4 В). Это можно объяснить протеканием процессов рекристаллизации слоев при ИЛО, сопровождаемых уменьшением концентрации активных рекомбинационных центров и, в целом, улучшением структурного качества исследуемых слоев при ИЛО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Импульсное наносекундное лазерное воздействие на поликристаллические слои Si/SiGe при увеличении плотности энергии от $0,82$ до $1,4 \text{ Дж/см}^2$ приводит к увеличению силы тока в прямом направлении в $1,77$ раза при напряжении 2 В , что следует

из измерения вольтамперных характеристик в диапазоне напряжений 0–3 В. Мы полагаем, что данный эффект обусловлен плавлением и последующей кристаллизацией поликристаллических слоев SiGe при импульсной лазерной обработке, которая, в целом, способствует повышению структурной однородности слоев SiGe.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Photodetectors: Devices, Circuits and Applications / Ed. by S. Donati. – New York: John Wiley & Sons, 2020. – 464 p.
2. Silicon–germanium receivers for short-wave infrared optoelectronics and communications / D. Benedikovic [et al.] // Nanophotonics. – 2021. – Vol. 10, № 3. – P. 1059–1079.
3. N-type heavy doping with ultralow resistivity in Ge by Sb deposition and pulsed laser melting / C. Carraro [et al.] Appl. Surf. Sci. – 2020. – Vol. 509. – P. 145229 (1-7).

ПРОБЛЕМЫ ВЫРАЩИВАНИЯ ТРУБЧАТЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ ДЛЯ НЕПЛАНАРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

А. И. Простомолотов¹, Н. А. Вerezub¹, Т. Т. Кондратенко²

¹⁾ *Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, пр. Вернадский 101/1,
119526 Москва, Россия, e-mail: aprosto@inbox.ru*

²⁾ *Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, пр. Ленинский 53,
119991 Москва, Россия, e-mail: vkrkt@yandex.ru*

Анализируются процессы термомеханики применительно к существующему и хорошо отлаженному процессу выращивания методом Чохральского поликристаллических сильно дислокационных кремниевых труб большого диаметра для эпитаксиальных реакторов. Отмечается, что для выращивания трубчатых малодислокационных монокристаллов кремния малого диаметра требуется существенная модернизация стандартного теплового узла, которая в данной работе реализуется применительно к установке «РЕДМЕТ-10» для метода Чохральского. С помощью компьютерного моделирования рассчитываются процессы термомеханики в такой модернизированной установке. Характеризуются параметры выращенных трубчатых монокристаллов кремния, оценивается их пригодность для изготовления силовых полупроводниковых приборов по непланарной технологии.

Ключевые слова: монокристалл; кремний; трубы; моделирование; теплообмен.

PROBLEMS OF GROWING TUBULAR SILICON SINGLE CRYSTALS FOR NON-PLANAR POWER ELECTRONICS TECHNOLOGIES

A. I. Prostormolotov¹, N. A. Verezub¹, T. T. Kondratenko²

¹⁾ *Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS, Vernadskii av. 101/1,
119526 Moscow, Russia,*

²⁾ *Lebedev Physical Institute. RAS, av. Leninsky 53, 119991 Moscow, Russia
Corresponding author: A. I. Prostormolotov (aprosto@inbox.ru)*