

# **Kremniy-qattiq eritmalarga asoslangan *n*- va *p*- turli elektrodlar uchun termoelektrik tadqiqotlar**

**Ergashev Murodjon A'zamjon o'g'li<sup>1</sup>.**

Talaba.

**Mamatkarimov Odiljon Oxundedayevich<sup>1</sup>**

*Fizika-matematika fanlari doktori. Professor*

**Kuchqarov Behzod Xoshimjanovich<sup>2</sup>.**

*Fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD). Dotsent*

<sup>1</sup>*Namangan muxandislik-texnologiya institute*

<sup>2</sup>*Impuls Medical Institut.*

[Tel:+998977054042](tel:+998977054042)

E-mail: [e.murodjon4042@gmail.com](mailto:e.murodjon4042@gmail.com)

[bxquchqarov@mail.ru](mailto:bxquchqarov@mail.ru)

**Annotatsiya:** Quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirishda yarimo'tkazgich moddalarni ro'li juda katta. Shu o'rinda biz ham ilmiy ishimizda SiGe moddalardan tayyorlangan nanostrukturaviy materiallar sohasini rivojlantirish uchun turli hil tajribalarni amalga oshirib kelmoqdamiz. Nanostrukturali termoelektrik materiallar va xususan SiGe moddalarining qotishmalari tuzilishi va xossalari tadqiq etish orqali, SiGe moddalarining nanostrukturalar orqali turli materiallarning termoelektrik ko'rsatkichlarini oshirish sohasidagi yutuqlarni ko'rib chiqdik. Nanostrukturali materiallardagi fononlarni tashishni o'rganish natijalari keltirilgan. Materiallar xususiyatlarining issiqlik va elektr xususiyatlariga ta'sirini tahlil qilish bo'yicha ishlar tahlili o'tkazilganda, material panjarasi issiqlik o'tkazuvchanligini kamaytirish imkoniyatlari, termoelektrik materiallarni o'tish metall silisidlari bilan o'zgartirishi hamda nanostrukturaviy yondashuvlardan foydalangan holda termoelektrik ko'rsatkichni oshirishda ijobiy natijalarga erishish imkoniyatini ko'rsatadi.

**Kalit so'zlar:** kaskadli, segmentli, generator, konvertatsiya, termo-emf, kaskadli, segmentli, argon, kogerent, kristallit, precursor, rietveld, Fritsch, argon, kalorimetr.

**Термоэлектрические исследование в *n*- и *p*-тип электродах на основе кремний-твердые растворы.**

**Эргашев Муроджон Аъзамжон угли<sup>1</sup>.**

*Студент.*

**Маматкаримов Одилжан Охундаевич<sup>1</sup>**

*Доктор физико-математических наук. Профессор*

**Кучқаров Бехзод Хошимжанович<sup>2</sup>.**

*Доктор философских наук по физике и математике доцент(PhD),  
Доцент.*

<sup>1</sup>*Наманганский инженерно-технологический институт*

<sup>2</sup>*Impuls Medical Institute*

[Тел:+998977054042](tel:+998977054042)

E-mail: [e.murodjon4042@gmail.com](mailto:e.murodjon4042@gmail.com)

[bxquchqarov@mail.ru](mailto:bxquchqarov@mail.ru)

**Аннотация:** Роль полупроводниковых материалов в преобразовании солнечной энергии в электричество очень велика. На данный момент мы проводим различные эксперименты в нашей научной работе по развитию области наноструктурированных материалов из материалов SiGe. Изучая структуру и свойства наноструктурированных термоэлектрических материалов и, в частности, сплавов материалов SiGe, мы рассмотрели прогресс в области повышения термоэлектрических характеристик различных материалов за счет наноструктур материалов SiGe. Представлены результаты исследования фононного транспорта в наноструктурированных материалах. При анализе влияния свойств материала на тепловые и электрические свойства проанализирована возможность снижения теплопроводности сетки материала, замены термоэлектрических материалов на силициды переходных металлов, а также повышения термоэлектрических характеристик с использованием наноструктурных подходов, что указывает на возможность достижения положительных результатов. результаты.

**Ключевое слово:** каскад, сегмент, генератор, порошок, конверсия, термо-ЭДС, каскад, сегмент, аргон, когерент, кристаллит, прекурсор, Ритвельд, Фрич, аргон, калориметр.

### **Thermoelectric studies for *n*- and *p*- various electrodes based on silicon-solid solutions**

**Ergashev Murodjon A'zamjon o'g'li<sup>1</sup>.**

*Student.*

**Mamatkarimov Odiljon Okhundaevich<sup>1</sup>.**

*Doctor of Physical and Mathematical Sciences. Professor.*

**Kuchkarov Bekhzod Khoshimjanovich<sup>2</sup>.**

*Doctor of Philosophy (PhD) in Physical and Mathematical Sciences, Docent.*

<sup>1</sup>*Namangan Engineering and Technology Institute.*

<sup>2</sup>*Impuls Medical Institute*

[Tel:+998977054042](tel:+998977054042)

E-mail: [e.murodjon4042@gmail.com](mailto:e.murodjon4042@gmail.com)

[bxquchqarov@mail.ru](mailto:bxquchqarov@mail.ru)

**Annotation:** The role of semiconductor materials in converting solar energy into electricity is very large. At this point, we are conducting various experiments in our scientific work to develop the field of nanostructured materials made of SiGe materials. By studying the structure and properties of nanostructured thermoelectric materials, and in particular alloys of SiGe materials, we reviewed the progress in the field of increasing the thermoelectric performance of various materials through nanostructures of SiGe materials. The results of the study of phonon transport in nanostructured materials are presented. When analyzing the effects of material properties on thermal and electrical properties, the possibility of reducing the thermal conductivity of the material grid, replacing thermoelectric materials with transition metal silicides, and increasing the thermoelectric performance using nanostructural approaches were analyzed. indicates the possibility of achieving positive results.

**Keywords:** cascade, segment, generator, powder, conversion, thermo-emf, cascade, segment, argon, coherent, crystallite, precursor, rietveld, Fritsch, argon, calorimeter.

В настоящее время в нашей стране бурно развиваются научные исследования в области полупроводников. Роль полупроводниковых материалов в преобразовании солнечной энергии в электричество очень велика. На данный момент в нашей научной работе мы проводим различные эксперименты по развитию области наноструктурированных материалов из материалов SiGe. Исследуя структуру и свойства наноструктурированных термоэлектрических материалов и, в частности, сплавов материалов SiGe, мы рассмотрели прогресс в области повышения термоэлектрических характеристик различных материалов за счет наноструктур материалов SiGe. Представлены результаты исследования фононного транспорта в наноструктурированных материалах. При анализе влияния свойств материала на тепловые и электрические свойства проанализирована возможность снижения теплопроводности сетки материала, замены термоэлектрических материалов на силициды переходных металлов, а также повышения термоэлектрических характеристик с использованием наноструктурных подходов, что указывает на возможность достижения положительных результатов. результаты. Проведен анализ существующих инструментов и научных работ по компьютерному моделированию процессов синтеза

материалов и в результате аналитического обзора литературы сформированы основные цели и задачи статьи.

В результате проведенных научных исследований широкое применение структур SiGe в термоэлектрических генераторах ограничено, прежде всего, низким КПД, а эффективность преобразования напрямую зависит от качества материала. Нашей целью было разработать технологию термоэлектрического преобразования тепловой энергии в электрическую и создать материалы для новых устройств [1-2]. В настоящее время растет спрос на материалы с высокими термоэлектрическими характеристиками, которые могут эффективно работать в различных температурных диапазонах. Наименее изучены термоэлектрические материалы, пригодные для использования в регионах с высокими температурами, поскольку их применение пока ограничивается космическими технологиями.

В последние годы большое внимание уделяется изучению высокотемпературных материалов. Об этом свидетельствует тот факт, что активность публикаций по теме и количество цитирований значительно возросли за последние 10 лет. Это явление может быть связано с развивающимися технологиями создания каскадных и сегментных термоэлектрических генераторов [3]. КПД и диапазон рабочих температур таких генераторов можно значительно увеличить за счет использования эффективных и жаропрочных материалов.

Наноструктурированные материалы на основе SiGe открывают новые возможности для производства электроэнергии и использования в высокотемпературном диапазоне, при этом возможно сохранение свойств вещества. В частности, в последние годы сплавы SiGe используются в генераторных батареях для рекуперации тепла в металлургических процессах в диапазоне температур от 800°C до 1100°C. Исследование наноструктурированных материалов на основе сплавов SiGe показало возможность повышения термоэлектрической эффективности материала на 10-15%. На основании этого установлено, что наноструктурированные материалы на основе кремний-германиевых сплавов SiGe решают следующие актуальные задачи.

- высокие потери энергии в виде отходящего тепла в современных электростанциях и двигателях внутреннего сгорания;
- низкий КПД и высокая стоимость термоэлектрических устройств современного производства.

- небольшой диапазон температурных диапазонов (свыше 300°C) в преобразовательных устройствах обеспечивает управление тепловой энергией.

### **Цель и задачи работы**

Основной целью проводимой научной работы является получение объемных наноструктурированных образцов германия-кремния[4-5]. Типовое и комплексное экспериментальное исследование структурных и транспортных свойств термоэлектрических материалов n- и p-типа [6]. Видно, что на основе данных физического моделирования температурных полей методом конечных элементов метод оптимизации параметров спекания порошков заключается в повышении термостойкости и проводимости исследуемого образца.

оптимизация процесса механоактивации порошков кремния и германия;

- физическое моделирование температурных полей при спекании, исследование материалов для установки искрового плазменного спекания (ИПС) методом конечных элементов;

- разработка технологии спекания крупногабаритных наноструктурированных термоэлектриков;

- измерение теплопроводности, электропроводности и теплового коэффициента, исследование свойств наноструктурированных термоэлектриков, производимых в широком диапазоне температур;

- заключается в применении свойств шмении и германиевых материалов путем изучения стабильности материала при высоких температурах.

### **Научная новизна работы.**

Показано, что в качестве научной новизны проведенных научных исследований целесообразно принять следующее[6].

1. Впервые установлено образование твердого раствора в системе  $\text{Si}_{0,8}\text{Ge}_{0,2}$ .

2.Влияние механоактивации на структуру и свойства материала, обрабатываемого в системе SiGe, определялось количеством примесей и

характеристиками воздействия приготовленного образца с использованием воздействия различных методов обработки.

3. Используя метод искрового плазменного спекания, позволяющий получить оптимальные параметры комбинирования материалов SiGe, удалось получить структуры материалов с высокой плотностью объемного материала и сохранением наноразмерных элементов.

4. Установлено, что в образцах SiGe нановключения  $\text{SiO}_2$  являются кристаллическими, а не аморфными, что впервые было доказано экспериментально при механической активации[7].

Оптимизированы параметры механоактивации образца кремний-германиевых (SiGe) наноструктур, что позволило сократить время обработки, тем самым снизив трудозатраты[8-9]. При производстве материала также удалось снизить количество примесей в материале.

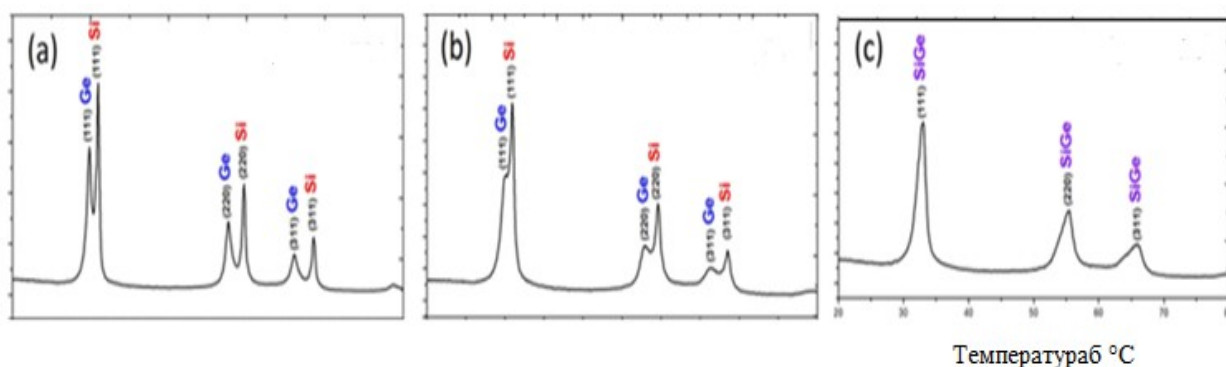


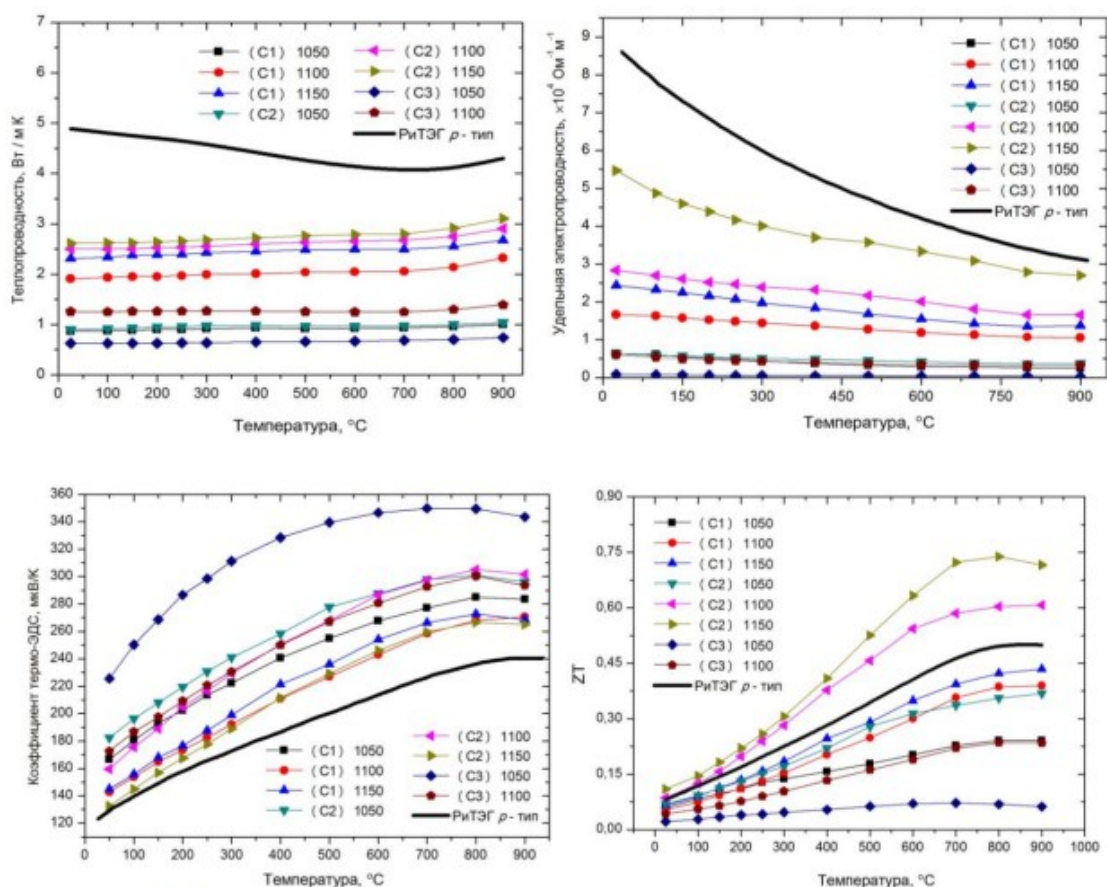
Рисунок 1 – Дифрактограммы образцов

Изменение контактного сопротивления образца в результате управления температурой и электрическими полями показало, что оно имеет большое практическое значение в процессе спекания материала [10-11]. Показано, что для получения нанодисперсного материала для использования в методах обработки материалов и сплавов на его основе целесообразно использовать наноструктурированный термоэлектрический метод SiGe [12]. Также решения для наноструктурированных термоэлектрических материалов p- и n-типа  $\text{Si}_{0,8}\text{Ge}_{0,2}$ . При скорости нагрева  $100\text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$  и времени выдержки до  $1100\text{ }^\circ\text{C}$  можно получить указанные температуры спекания более 5 минут. Способность увеличивать термоэлектрический показатель используется в промышленности на 20-30% по сравнению с наноструктурированными твердыми растворами кристаллов  $\text{Si}_{0,8}\text{Ge}_{0,2}$ .

## **Методология и методы исследования**

Моделирование распределения тепла и электрических полей в процессе спекания веществ в объемные наноструктурированные материалы осуществляется с использованием программного метода конечных элементов [13-14]. Синтез материала осуществляется путем механической активации порошковых смесей и последующей консолидации в установке твердых растворов системы SiGe. Проведена оптимизация режима механоактивации порошков [15-16]. Для полученных порошков проведены детальные микроскопические и рентгенофазовые исследования. Размер структурных составляющих и их свойства в объемных наноструктурированных образцах изучены методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии. Также для оценки размерных свойств полученных материалов был рассчитан средний размер кристаллитов с использованием уширения рентгеновских пиков методами Ритвельда [17].

Для определения теплопроводности материала в диапазоне температур от 25 °С до 1000 °С изучалась термодиффузия материалов методами лазерной вспышки, методом сравнения теплоемкости в дифференциальном сканирующем калориметре и методом сравнения теплоемкости в дифференциальном сканирующем калориметре. плотность изучалась. Удельную электропроводность и коэффициент термо ЭДС изучали в диапазоне температур от 25 °С до 1000 °С методом гидростатического взвешивания.



**Рисунок 1: Температурная зависимость теплопроводности, удельной электропроводности, коэффициента термо-ЭДС и термоэлектрической добротности ZT наноструктурированных сплавов SiGe p – типа и эталонного кристаллического образца.**

Стабильность полученных материалов подтверждена в диапазоне температур 400 °С – 1000 °С. Термоэлектрические свойства многофазных наноструктур обусловлены длительным отжигом материала при 1000 °С. Показано, что получение низких значений термоэлектрического индекса  $ZT \sim 0,6$  при 900 °С многофазной системы SiGe-FeSi<sub>2</sub> на основе германия-кремния и дисилицида железа обусловлено переходом орторомбической модификации дисилицида железа в тетрагональную в процессе синтеза наноструктурированного материала[18].

При сравнении результатов известных исследований со всеми полученными теоретическими работами путем математического моделирования с использованием метода конечных элементов определена и количественно определена связь между контактным сопротивлением и температурным полем, возникающим в форме и образце в процессе искрового плазменного спекания. Изучено и определено все аспекты процесса спекания, обнаружено, что распределение плотности тока и температуры в объеме образца и оборудования перекрываются в один

момент времени. Развивающиеся значения местных температурных радиантов позволили определить.

### **Краткое содержание**

В термоэлектрических исследованиях доказано, что образование твердого раствора в системе SiGe впервые может быть достигнуто для кремний-германиевых (SiGe) материалов *n*- и *p*-типа на основе твердых растворов кремния. Оптимизация параметров механоактивации была проведена менее чем за час, что позволило снизить процент загрязнения образцов абразивами до менее 1%. Впервые эффект завершения образования твердого раствора на стадии отжига спеченного материала в установке из сплавов SiGe *p*-типа открыл новые возможности для оптимизации процесса производства нанокристаллических материалов из твердых сплавов SiGe. Росту рекристаллизации в значительной степени препятствует высокая скорость нагрева 10 °C/с и малое время выдержки 5 минут, при этом достигается высокая насыпная плотность ~99%, при спекании материалов частицы представляют собой наноструктурированные SiGe. сплавов *n*- и *p*-типа проводимости, при температуре 800 °C соответственно значения термоэлектрического индекса результаты использования кристаллических сплавов SiGe *n*-типа для генераторов увеличиваются на 25-30%.

### **Использованная литература:**

1. Литвинов В.Г., Ермачихин А.В., Кусакин Д.С. DLTS исследование диода Шоттки на основе гетероструктуры InGaAs/GaAs с квантовой ямой // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2013. Вып. 44. № 2. С. 91-96.
2. Ермачихин А.В., Кострюков С.А., Литвинов В.Г., Рыбин Н.Б. Исследование шумовых свойств и электронных состояний диода Шоттки на основе гетероструктуры InGaAs/GaAs с квантовой ямой // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2012. Вып. 41. № 3. С. 98-103.
3. Садофьев Ю.Г., Литвинов В.Г. Исследование электрофизических свойств гетероэпитаксиальных слоев ZnSe на GaAs(001) // Неорганические материалы. 2000. Т. 36. № 12. С. 1432-1437.
4. Luque A., Andreev V. Concentrator Photovoltaics. Madrid: Springer, 2007.
5. Meinel A.B., Meinel M.P. Applied Solar Energy. Addison Wesley Publishing Co., 1976.
6. Rumyantsev V.D., Sadchikov N.A., Chalov A.E., Ionova E.A. Terrestrial Concentrator PV Modules Based on GaInP/GaAs/Ge TJ Cells and Minilens Panels // Photovoltaic Energy Conversion. 2006. pp. 632 - 635.
7. Taggart S. CSP: Dish Project Inch Forward // Renewable Energy Focus, July/August 2008. pp. 52-54.
8. Андреев В.М. и др., "Фотовольтаический концентрирующий модуль," RU 2395136, 2010.

9. В Kh Kuchkarov, FA Saparov [“To definition of surface state density of semiconductor-dielectric interface”](#) 2010/4/1 ФИЗИКА ФАНИНИНГ БУГУНГИ РИВОЖИДА ИСТЕЪДОДЛИ ЁШЛАРНИНГ ЎРНИ. Str. 137-140.
10. В Kh Qochqorov, M Ergasheva, N Rakhimov, SI Vlasov. [“To study the interface semiconductor-dielectrics centres effect on the state density”](#) 2010/11/1. Конференция посвященная 80-летию академика М.С.Саидова.
11. В Kh Qochqorov, M Ergasheva, N Rakhimov, SI Vlasov. [“To study the interface semiconductor-dielectrics centres effect on the state density; Yarimotkazgich-diehlektrik chegara sokhasidagi markazlarning kholat zichligiga ta'sirini”](#) 2010/11/15.
12. Власов С.И., Кучкаров Б.Х., Исмаилов Б.К. “Влияние Термоциклических Обработок На Свойства Границы Раздела SiO<sub>2</sub> - Si Структур A1 - SiO<sub>2</sub>-N-Si” Современные Проблемы Физики Полупроводников – 2011. 2011/11/1.
13. Овсянников А.В., Власов С.И., Кучкаров Б.Х. “Генерационные Характеристики Границы Раздела Si - SiO<sub>2</sub>” Современные Проблемы Физики Полупроводников – 2011. 2011/11/1.
14. В Kuchkarov, O Mamatkarimov , A Abdulkhayev “Influence of the ultrasonic irradiation on characteristic of the structures metal-glass-semiconductor” ICECAE 2020 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 (2020) 012027. doi:10.1088/1755-1315/614/1/012027.
15. В. Н. Kuchkarov, О. О. Mamatkarimov, А. А. Abdukarimov, А. Khalmirzayev, D. M. Mirtojjiyeva “Influence of all-round compression on formation of the mobile charge in lead-borosilicate glass structure” *AIP Conf. Proc.* 2432, 030039 (2022)<https://doi.org/10.1063/5.0089980>.
16. ОО Mamatkarimov, ВН Kuchkarov, N Yu Sharibaev, АА Abdulkhayev. [“Influence Of The Ultrasonic Irradiation On Characteristic Of The Structures Metal-Glass-Semiconductor”](#) European Journal of Molecular & Clinical Medicine. 2021/1/1. №8/01 str 610-618.
17. Behzod Khoshimjonovich Kuchkarov, Odijon Ohundedaevich Mamatkarimov. [“Influence of ultrasonic action on the rate of charge formation of the inversion layer in metal-glass-semiconductor structures”](#) 2019 y. №29/4 str. 125-134.
18. Behzod Khoshimjanovich Kuchkarov, Odiljon Oxundedaevich Mamatkarimov, Abrorbek Abdulloxonovich Abdulkhayev. “Relaxation Dependence Of The Capacity Of A Three-Layer Structure In The Process Of Charge Formation Of An Inversion Layer” Scientific and Technical Journal of Namangan Institute of Engineering and Technology. 2019 y. №1/6 стр 26-33.