

УДК 621.224.1

**Абдуллаева Майрам Дукуевна**

д.т.н., профессор,

Ошский Государственный Университет,

Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР

**Абдуллаева Майрам Дукуевна**

т.и.д., профессор,

Ош мамлекеттик университети,

КРнын УИАнын ТБнун А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту

**Abdullaeva Mairam Dukuevna**

doctor of technical sciences, professor,

Osh State University

Institute of Natural Resources named after A.S. Dzhamanbaeva Southern Branch of the  
National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic**Латипова Мухайё Ибрагимжановна**

ассистент кафедры «Электроэнергетика»,

Ферганского политехнического института Республики Узбекистан

**Латипова Мухайё Ибрагимжановна**

«Электроэнергетика» кафедрасынын ассистенти,

Фергана политехникалык институту. Ўзбекистан Республикасы

**Latipova Mukhayo Ibragimzhanovna**

«Electrical power engineering» departmentsyn assistants

Fergana Polytechnic Institute. Uzbekistan Republics

### **ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ТРОЙНЫХ СПЛАВОВ $\text{BiSbTe}$ - $\text{BiTeSe}$ .**

**Аннотация.** В работе приведены результаты технологии получения термоэлектрических веществ, с целью создания высокоэффективных термоэлектрических преобразователей тепловой энергии в электрическую. Изменение свойств низкотемпературных термоэлементов зависят от методов изготовления образцов. Изложена технология получения однородных образцов с заданной концентрацией носителей заряда, а также свойства прессованных образцов.

**Ключевые слова:** термоэлементы, литые образцы, прессованные образцы, исходные компоненты, термоэлектрические свойства

### **$\text{BiSbTe}$ - $\text{BiTeSe}$ УЧТҮК КУЙМАСЫНАН ЖЫЛУУЛУК ЭЛЕКТРИК ҮЛГҮЛӨРДҮ ДАЯРДООНУН ТЕХНОЛОГИЯСЫ**

**Аннотация.** Эффективдүүлүгү жогору болгон жылуулук энергиясын электр энергиясына айландыруучуну жаратуу максатында термоэлектрик заттарды алуу технологиясы боюнча жыйынтыктар келтирилди. Төмөнкү температуралык жылуулукэлементтеринин касиеттеринин өзгөрүшү үлгүлөрдү даярдоонун усулуна байланыштуу болот. Заряд алып жүрүүчү белгилүү концентрациядагы бир тектүү үлгүлөрдү алуунун технологиясы жана пресстелген үлгүлөрдүн касиеттери берилди.

**Негизги сөздөр:** жылуулукэлементтер, куюлган үлгүлөр, пресстелген үлгүлөр, баштапкы компоненттер, термоэлектрик касиеттер.

## TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING SAMPLES OF THERMOELECTRIC SUBSTANCES FROM TRINARY ALLOYS BiSbTe-BiTeSe

**Abstract.** The paper presents the results of the technology for producing thermoelectric substances with the aim of creating highly efficient thermoelectric converters of thermal energy into electrical energy. Changes in the properties of low-temperature thermoelements depend on sample manufacturing methods. The technology for obtaining homogeneous samples with a given concentration of charge carriers, as well as the properties of pressed samples, are described.

**Key words:** thermoelements, cast samples, pressed samples, initial components, thermoelectric properties

### Введение

Одним из альтернативным источником энергии являются термоэлектрические преобразователи (ТЭП) тепловой энергии в электрическую энергию. Широкое использование их способствует экономии энергии, которых бесполезно выбрасываются после первичной обработки. Несколько тысяч, иногда миллион калорий тепловой энергии, особенно от тепловых электростанций и других производств, расходуется как энергетические потери. Очень редко ими можно дополнительно пользоваться для получения электроэнергии. Одним из способов прямого преобразования этой энергии является термоэлектрический вариант получения электричества. На основе этого метода лежит общеизвестный физический эффект Зеебека [1]. На развитых странах мира этим вопросом занимаются вплотную, однако исследователи восточных стран и Центральной Азии пока ещё не уделяли достаточного внимания. Нынешняя глобальная проблема, связанная с истощением природных ресурсов и нехваткой электрической энергии, диктует важности активизации исследовательских работ в этом направлении.

### Постановка вопроса

Одним из задач термоэлектрической энергетики является повышение

значения коэффициента полезного действия преобразователя. Степень полезного преобразования зависит от электрофизических свойств материалов и веществ, из которых изготавливаются термоэлектрические батареи (ТБ). В свою очередь термоэлектрические свойства низкотемпературных термоэлементов (ТЭ) сильно зависят от методов изготовления образцов, таких как использование монокристаллов, направленных поликристаллов, или литых образцов. Монокристаллы и направленные поликристаллы обычно обеспечивают более высокую эффективность из-за более упорядоченной структуры. С другой стороны, литые образцы могут иметь потенциально более высокую эффективность, но из-за ликвидационной неоднородности они могут проявлять значительный разброс в свойствах от точки к точке и от образца к образцу. Выбор конкретного метода зависит от требований приложения, бюджета и других факторов [1,2,6]. В связи с этой постановкой задачи, в настоящей работе, был рассмотрен вопрос определение и внедрение в практику наиболее приемлемого и несложного метода изготовления термоэлектрических материалов на основе тройных сплавов BiTeSe (n-тип) и BiTeSb (p-тип) соответственно электронной и дырочной проводимостью.

### Метод технологии получения термоэлектрических веществ

Получение однородных образцов с заданной концентрацией носителей заряда представляет собой сложную процедуру. Для создания слитков n- и p-типа используются материалы различной чистоты, загружаемые в кварцевый тигель, помещенный в стальную гильзу. Затем в гильзе создается вакуум до уровня  $10^{-2}$  мм.рт.ст. После этого в гильзу подается аргон до давления 152 кПа. Печь затем нагревается до  $950^{\circ}\text{C}$  для расплавления исходных компонентов, при этом давление инертного газа (аргон) поддерживается на уровне 405-406 кПа. Эта температура поддерживается в течение 20 минут. По завершении этого времени печь выключается, в гильзу подается воздух, и кварцевый тигель извлекается. Благодаря конусной форме используемой ампулы в качестве кварцевого тигля, сплав легко извлекается из него [2,4-10].

Образцы, изготовленные методом порошковой металлургии, обладают значительно более микроскопической однородностью. Механические свойства этих образцов также превосходят свойства кристаллов, которые подвержены легкому расслаиванию по плоскостям спайности. Однако, даже в данном методе необходимо подбирать оптимальные параметры прессовки, такие как давление, температура и время выдержки, так как каждый из этих факторов оказывает влияние на качество образцов.

Режим прессования включает в себя широкий диапазон изменений всех параметров: давление в пределах от  $2,5 \text{ т/см}^2$  до  $11 \text{ т/см}^2$ , температура от

$300^{\circ}\text{C}$  до  $400^{\circ}\text{C}$ . Полученные слитки подвергаются спеканию при температуре  $390^{\circ}\text{C}$  в течение 17 часов, после чего они выдерживаются при комнатной температуре в течение 5 минут. В процессе прессования используются фракции порошка с размерами от 0,125 до 0,5 мм.

Выбор метода изготовления полупроводников термоэлементов был обусловлен наличием установки, поддерживающей данный метод. Процесс прессования термоэлектрического материала для термогенераторов осуществлялся в два этапа: холодный этап при давлении  $5,7 \text{ т/см}^2$  и горячий этап при температуре  $360^{\circ}\text{C}$ . Мы выбрали давление  $4,6 \text{ т/см}^2$  с выдержкой в течение 5 минут при этих условиях, согласно технологии, представленной в источнике. Для литых и прессованных образцов сплава типа p характерное значение добротности при комнатной температуре Z составляет  $3\text{-}3,2\cdot 10^{-3} \text{ K-1}$ , в то время как для твердых растворов типа n такие значения не были получены. Для литых образцов Z оказалось в пределах  $2,8\text{-}3,2\cdot 10^{-3} \text{ K-1}$ , а для прессованных –  $2\cdot 10^{-3} \text{ K-1}$ .

### Результат технологического процесса

На рисунках 1 и 2 приведены результаты исследования термоэлектрической добротности полученных веществ с электронной и дырочной проводимостью соответственно. Как это было приведено выше, имеются различия в значениях Z для прессованных и литых образцов сплавов, и это различие обусловлено степенью совершенства структуры и высокой подвижностью носителей тока.

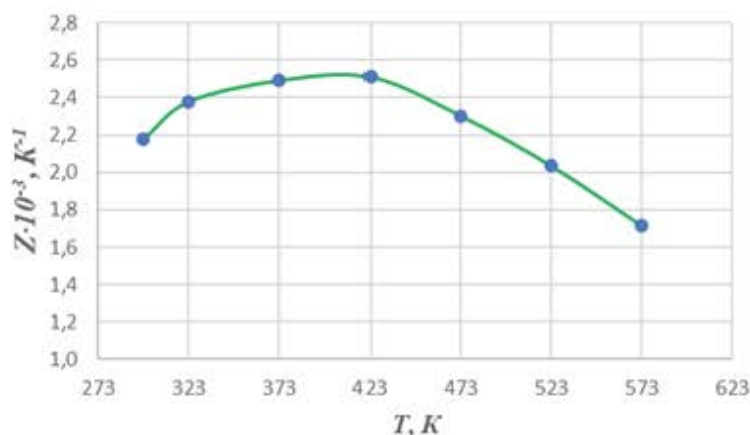


Рис.1. Зависимость термоэлектрической добротности прессованных брикетов n-типа от температуры

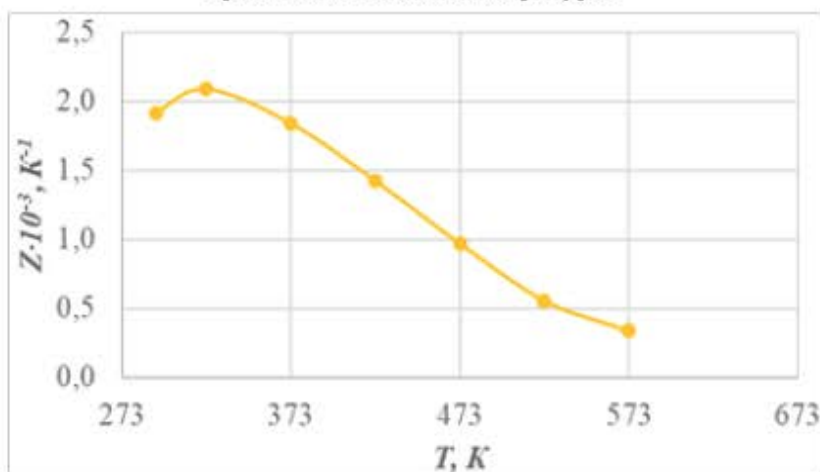


Рис.2. Зависимость термоэлектрической добротности прессованных брикетов p-типа от температуры

Испарение материала не оказывает влияния на термоэлектрические свойства. Поэтому максимальная температура отжига полупроводниковых элементов не должна превышать 430°C. При выборе температуры отжига также важно, чтобы количество испарившегося вещества было ничтожным, поскольку это не существенно влияет на размеры полупроводниковых элементов. В связи с этим отжиг полупроводниковых элементов проводился в вакуумированных кварцевых ампулах при температуре 390°C в течение 17 часов. Вырезка образцов осуществлялась после охлаждения печи.

Действительно, широко известно, что термоэлектрические свойства сплавов при их получении сильно

зависят не только от состава, но и от чистоты исходного компонента. Это означает, что материалы, полученные из различных партий плавок, могут значительно различаться по своим термоэлектрическим свойствам.

На практике оценка характеристик исходного сырья производится на основе термоэлектрических свойств сплавленной основы, то есть нелегированного материала, полученного из данного сырья.

Чтобы обеспечить максимальную точность в определении исходного состава многокомпонентных сплавов, применяется метод контроля и строгий анализ исходных компонентов сплава. Несмотря на то, что этот метод не всегда быстр и дешев, он в значительной степени

обеспечивает достоверное определение характеристик исходных материалов.

### **Заключение**

Таким образом, использование технологической установки описанной выше, при определенных условиях, позволяет получить термоэлектрические вещества для получения полуветвей р- и n-типа из тройных сплавов на основе BiTeSe и BiTeSb является эффективным и экономически выгодным. Вещества достаточно способны конкурировать с

аналогами, полученными применением других методов изготовления. Термоэлектрическая добротность материала позволяет получить термоэлектрические преобразователи, пригодных для использования в низкотемпературной области рабочего режима, для потребителей малой и средней мощности. Развитие исследования в этом направлении способствует открытию еще одной возможности широкого применения альтернативных источников электрической энергии.

### **Список использованной литературы:**

1. Иоффе А.Ф. Полупроводниковые термоэлементы. –М.;Л.: Изд-во АН СССР, 1960. -188 с.
2. Е.К. Иорданишвили Термоэлектрические источники питания, М., Изд-во Советское радио, 1968, стр.184.
3. Латипова М.И., Хомиджонов З.М., Усмонов Я., Набиев М.Б., Исследование термоэлектрических полупроводниковых материалов для высокоэффективных термоэлектродвигателей, Научно-технический журнал наманганского инженерно-технологического института, ТОМ 5 - №1, 2020, с.125-131.
4. Усмонов Я., Способ получения полупроводниковых материалов для термопреобразователей /Усмонов Я., Набиев М., Ахмедов Т., Набиева Н., Юлдашева И.И.//Актуальные вопросы высшего профессионального образования, сборник научных трудов Международной научно-методической конференции, Уфа, Издательство УГНТУ, 2017. с. 108-112.
5. Nabiev M.B., Khomidzhonov Z.M., Latipova M.I., Abdullaev A.A., Obtaining and researching of thermoelectric semiconductor materials for high-efficiency thermoelectric generators with an increased efficiency coefficient, Проблемы современной науки и образования, 2019, №12 (145). Часть 2, Научно-методический журнал, с. 77-81.
6. Гольцман, Б. М. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> / Б. М. Гольцман, В. А. Кудинов, И. А. Смирнов. М.: Наука, 1972. 320 с.
7. Латипова Мухайё Ибрагимжановна, Усмонов Якуб, Набиев Махмуд Базарович, Технология получения низкотемпературных термоэлектрических материалов на основе BiTeSe-BiSbTe под давлением инертного газа//Universum: технические науки. 2020. №10-3 (79).
8. Латипова М.И. Исследование эффективного метода сплавления с последующим легированием низкотемпературных термоэлектрических материалов на основе Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, Scientific-technical journal (ST) FerPI, ФерПИ ИТЖ, НТЖ ФерПИ, 2022, спец выпуск №2, стр.188-191.
9. Latipova M.I. (2022). Termoelektrik o'zgartirgichlar uchun vismut telluridi asosidagi yarimo'tkazgichli materiallarni olish texnologiyasi. Involta Scientific Journal, 1(6), 129–134.
10. Касимахунова А.М., Усмонов Я., Латипова М.И., Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> асосидаги термоэлектрик материалларни олиш технологияси, Монография, ISBN: 978-9943-8501-9-4, Классик нашриёти, 2022.