

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И  
ИННОВАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
ФЕРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.АУЭЗОВА  
ФЕРГАНСКИЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИНСТИТУТ ОБЩЕСТВЕННОГО  
ЗДРАВООХРАНЕНИЕ

МАТЕРИАЛЫ

Международной научной конференции

**“ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ  
СРЕД”**

Фергана, 24-май, 2024 год.

11. Mamatova, Mahliyo Adhamovna, & Mamirjonova, Gulnoza Shokirjon Qizi (2024). EXTENSION AND APPLICATION OF NEWTON'S METHOD IN NONLINEAR OSCILLATION THEORY. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 4 (3), 607-613.
12. Хайдаров, З., Мухаммадаминов, С. Х., Гуфронова, Д. Ш., & Эргашева, Г. Ш. (2023, November). ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНТАКТА ПОЛУПРОВОДНИК-ПЛАЗМА ГАЗОВОГО РАЗРЯДА. In *Fergana state university conference* (pp. 54-54).
13. Саидов, Р. М., Рахимов, Р. Х., Юсупов, Б. Д. У., & Холдоров, М. К. Б. У. Эффективность сушки и прокаливания сварочных электродов в печах с использованием излучения наноструктурированной функциональной керамики (НФК). *Computational nanotechnology*, (2020). (2), 64-70.
14. Холдоров, М.Б.Ў. Основные физико-химические принципы получения высокочастотной конденсаторной керамики. *Scientific progress*, 3(1), (2022). 412-418.
15. Саидов, Р. М., Рахимов, Р. Х., Юсупов, Б. Д. У., & Холдоров, М. К. Б. У. Новый метод сушки и прокаливания сварочных электродов с использованием излучателей из функциональной керамики. *Computational Nanotechnology*, (2020). (1), 44-51.
16. Egamberdiyevich, O. K., Malikovna, Z. S., X. M. B. Ugli, & Abdusattor-Ugli, E. E. Used for effect interpretation abnormal photo voltage. *Academicia: an international multidisciplinary research journal*, 11(2), (2021). 783-786.
17. Холдоров, М. Б. Ў. Основные физико-химические принципы получения высокочастотной конденсаторной керамики. *Scientific progress*, 3(1), (2022). 412-418.
18. Onarqulov, Karimberdi Egamberdiyevich, Raxmatov, G'ulomjon Raxmonberdiyevich, & Xoldorov, Muxammadkarim Botirali o'g'li. qishloq xo'jaligi mahsulotlarini infraqizil qurutish va sifatli saqlashdagi ayrim tahlillar. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 3 (4-2), (2023). 295-300.
19. Onarkulov, Karimberdi, & Kholdorov, Muhammadkarim. Study of processes of fruit and vegetable drying in infrared light drying device. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 3 (4), (2023). 932-937.
20. Onarkulov, K., Gaynazarova, K., & Tashlanova, D. (2022). Termoelektrik samaradorlikni qotishmalardagi elektronlar va teshiklarning harakatchanligiga bog'lanishi. *Science and innovation*, 1(A4), 56-59.
21. Q.I.Gaynazarova. CRYSTAL STRUCTURE OF CHALCOGENIDES OF THERMOELECTRIC ALLOYS BASED ON  $\text{Bi}_2(\text{BVI})_3$  and  $\text{Sb}_2(\text{BVI})_3$ , (BVI–Se, Te). Материалы международной конференции «Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниковых микро- и наноструктурах» Фергана-2023.с.110-112

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ

### РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ $\text{Bi}_2\text{Te}_3 - \text{Sb}_2\text{Te}_3$

Б.У.Омонов<sup>1</sup>, Р.Холматова<sup>2</sup>

Ферганский государственный университет<sup>1,2</sup>

[omonovbunyodjon.1994@gmail.com](mailto:omonovbunyodjon.1994@gmail.com)

**Аннотация.** В статье исследована зависимость электрофизических свойств полупроводниковых тонких пленок  $p$  – типа на основе примесей Bi, Sb и Te

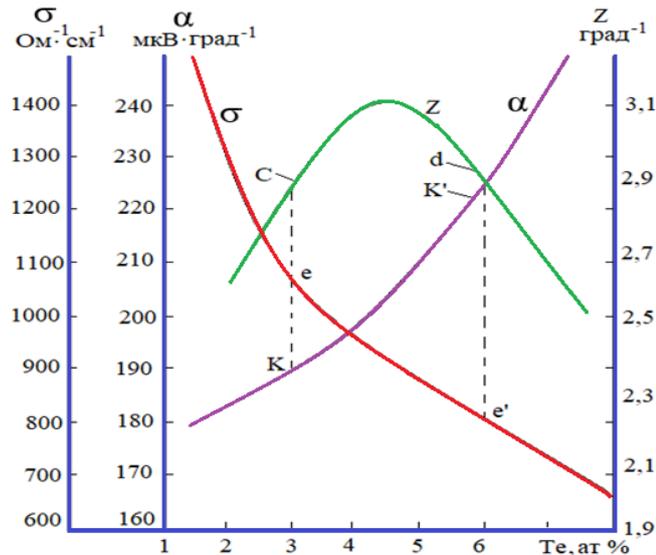
температуры подложек.

**Ключевые слова:** подложка, удельное сопротивление, адгезия конденсация, диффузии и концентрации.

Анизотропия свойств реальных образцов зависит от метода их приготовления. Но для них общей является то, что электропроводность обладает максимальной анизотропией, а анизотропии термоэдс отсутствует. Термоэлектрическая эффективность в твердых растворах  $\text{Bi}_2\text{Te}_3 - \text{Sb}_2\text{Te}_3$  максимальна в направлениях, параллельных плоскости спайности [1]. Из-за того, что ориентация кристаллических зерен в прессованных материалах также, как в материалах, полученных направленной кристаллизацией, тоже должно снижать величину  $Z$ . Анизотропии термоэлектрических свойств  $Z$  поликристалла при полной хаотичности в расположении частиц должно быть меньше, чем согласно расчету Айрапетяна [2], т.е. в поликристалле должно наблюдаться снижение  $Z$  на 11%. Казалось бы, точно такое же снижение  $Z$  из-за поликристалличности должно иметь место и в прессованных образцах. Однако это не так, дело в том, что сплав  $\text{Bi}_2\text{Te}_3 - \text{Sb}_2\text{Te}_3$  анизотропен не только по термоэлектрическим, но и по механическим свойствам. При измельчении слитка частицы сплава имеют форму чешуек и иголок, что при прессовании приводит к частичной ориентации частиц в плоскости, перпендикулярной к силе прессования, и дает некоторую анизотропию свойств прессованных образцов. Анизотропия в прессованных образцах электропроводности равна 1,8. Это соответствует некоторой средней ориентации частиц, при которой снижение  $Z$  по сравнению с монокристаллом составляет 4÷5 %, а не 11%, как в поликристалле при полной хаотичности расположения частиц. Связь величины зерна с анизотропией термоэлектрических свойств изучалась в твердом растворе  $\text{Bi}_2\text{Te}_3 - \text{Sb}_2\text{Te}_3$  в работе [3].

В работе [4] с целью определения необходимых количеств вводимого избыточного теллура для получения сплавов р- типа со значением эффективности более  $3 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ , проведены исследования зависимости

термоэлектрических свойств от концентрации теллура в растворе  $\text{Sb}_{1,5}\text{Bi}_{0,5}\text{Te}_3$ , выращенных методом вертикальной зонной плавки с последующим зонным выравниванием. На рис.1. приведены результаты этих исследований при 300 К. Из рис.1. видно, что для удовлетворения условия  $Z > 3 \cdot 10^{-3}\text{K}^{-1}$  существуют области значений  $\sigma$  в интервале от 800 до 1100  $\text{Om}^{-1}\text{cm}^{-1}$  и  $\alpha$  от 190 до 225 мкВ/К. При максимальных значениях  $Z$ , как отмечают авторы, величина коэффициента решёточной теплопроводности ( $\chi_p$ ) составляет  $(1,2 - 1,3) \cdot 10^{-2}$  Вт/см·К. В случае промышленного выращивания указанного термоэлектрического материала методом зонной плавки (без зонного выравнивания) для получения материалов с  $Z > 3 \cdot 10^{-3}\text{K}^{-1}$  рекомендовано вводить в расплав ~4 ат. % избыточного теллура. Кроме указанного выше состава дырочного материала, в термогенераторных устройствах широко используется сплав р- типа проводимости состава  $\text{Sb}_{1,48}\text{Bi}_{0,52}\text{Te}_3$ , образцы которого, полученные направленной кристаллизацией (вертикальной зонной плавкой), имеют максимальную эффективность при легировании его 2,5-3,0 вес. % Те. Как известно [5], методы направленной кристаллизации применяются для изготовления низкотемпературных термоэлектрических материалов, используемых в мелкосерийном производстве приборов специального назначения или маломощных ТЭГ, когда требуется небольшое количество однородного полупроводникового материала с высокими термоэлектрическими характеристиками. В промышленном производстве термоэлектрических ветвей применяются технологии, учитывающие возможность высокой производительности и экономичности при минимальных потерях качества материала. Такими методами являются методы прессования порошков, а также термомеханическая обработка, включающая деформацию экструзией при повышенных температурах и последующий отжиг материалов.



**Рис.1. Зависимость термоэлектрических свойств от концентрации избыточного теллура в растворе  $\text{Sb}_{1,5}\text{Bi}_{0,5}\text{Te}_3$  при 300 К.**

Значения термоэлектрической добротности материалов  $p - (\text{Bi}, \text{Sb})_2\text{Te}_3$ , получаемых методом прессования достигают величины  $\sim 2,5 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ , а у экструдированных ветвей диаметром 0,5 мм при коэффициенте вытяжки  $\sim 600$ ,  $Z = (3,1 \div 3,2) \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$  [6]. Снижение термоэлектрической эффективности прессованных и экструдированных материалов по сравнению с монокристаллами связано, главным образом, с разориентацией кристаллических зёрен. Кроме того, уменьшение  $Z$  может быть обусловлено такими дефектами, как границы зёрен, окисные плёнки, дислокации, вакансии, микротрещины и др., рассеивающие электроны и фононы. Как монокристаллы и «направленные поликристаллы», прессованные и экструдированные материалы обладают анизотропией физических свойств, меньшей степени их анизотропии. Появление анизотропии при формировании порошков следует рассматривать в двух аспектах: первый связан с текстурой, из-за преимущественной кристаллографической ориентации механически диспергированных частиц зёрен, второй определяется явлениями, непосредственно связанными с процессом формирования, а именно - с явлениями на границах кристаллитов и их объеме при приложении направленного давления. Если в первом случае анизотропия является по своей

сущности кристаллографической, то во втором случае «анизотропия прессования» (технологическая анизотропия) имеет место и у изотропных материалов. На этапах дробления, засыпки, холодного прессования порошков большое влияние оказывает образование так называемой «текстуры укладки», наличие которой и природа возникновения были изучены в [7] на низкотемпературных термоэлектрических материалах. В этой работе показано, что «текстура» в изделиях из прессованных хрупких материалов образуется в результате наиболее выгодной укладки частишек порошков, ограниченных определёнными кристаллографическими плоскостями. Такая огранка должна возникать при дроблении исходного слитка по плоскостям скола содержащихся в нём монокристаллов.

У материалов  $p - \text{Sb}_{1,48}\text{Bi}_{0,52}\text{Te}_3$ , выше  $373^\circ\text{K}$  хорошо заметна анизотропия термо-э.д.с, в то время как анизотропия электропроводности и теплопроводности существует, начиная с отрицательных температур. Причём, значения этих параметров параллельно направлению одноосного прессования более высокие, чем в перпендикулярном. Анизотропия эффективности выше  $373^\circ\text{K}$  не только сильно уменьшается, но и меняет «направление» около  $523^\circ\text{K}$ . Таким образом, прессованный дырочный материал в интервале  $373-573^\circ\text{K}$  по своей эффективности близок к изотропному и в этом отношении является более технологичным.

Для термогенераторов, работающих в интервале температур от комнатных до  $600\text{K}$ , наиболее эффективными являются составы  $p - \text{Bi}_{0,52}\text{Sb}_{1,48}\text{Te}_3$  и  $p - \text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$ , содержащие избыточный теллур в количестве 2-4 вес. % и дополнительно легированные  $0,1 \div 0,2$  вес. % Рв. Материалы на основе соединений  $\text{A}^{\text{V}}\text{B}^{\text{VI}}$  обладают анизотропией физических свойств. Особенно ярко это выражено на монокристаллах и «направленных» поликристаллах, что определяется кристаллографической особенностью структуры этих материалов, представляющей собой набор сложных слоев квинтетов, перпендикулярных оси симметрии третьего порядка. Из-за наличия

слоистой структуры сплавы легко скалываются по плоскостям спайности (0001), в монокристаллах и направленных поликристаллах плоскость спайности зёрен ориентируется параллельно оси слитка, и величина термоэлектрической эффективности максимальна в этом направлении и достигает значений  $(3 \div 3,4) \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ . Эти значения значительно выше, чем на горячепрессованных образцах и близки к Z ветвей из материалов, полученных методом направленной кристаллизации. Но этот метод пока не нашёл широкого внедрения из-за существующие технологические затруднения, а также отсутствия специальных методик коммутирования ветвей термоэлементов на основе экструдированных материалов. Поэтому задача поиска эффективных, высокопроизводительных методов изготовления ветвей с высокими термоэлектрическими и механическими свойствами остаётся актуальной. В последнее время активно разрабатывается новое направление получения твердых растворов полупроводниковых материалов путём выращивания слитков в открытых тиглях под давлением инертного газа, которое обуславливает высокую химическую однородность и приобретение новых физико-механических и электрических свойств, совершенно отличных от аналогичных материалов, но полученных традиционными методами.

Исходя из вышеприведенных поставлены следующие задачи исследования:

1. Установление технологической схемы, разработка конструкции и методики получения низкотемпературных сплавов дырочного типа проводимости на основе халькогенидов сурьмы и висмута. Рабочий цикл может быть реализован как в вакууме, так и в среде инертного газа при давлении до 4 атмосфер.

2. Разработка установки для выращивания полупроводникового термоэлектрического сплава на основе материалов  $\text{Bi}_2\text{B}_3^{\text{VI}}$  и  $\text{Sb}_2\text{B}_3^{\text{VI}}$  ( $\text{B}^{\text{VI}} - \text{Se, Te}$ ).

3. Оптимизировать основные технологические процессы выращивания и легирования низкотемпературных сплавов дырочного типа проводимости с целью получения высоких значений термоэлектрической эффективности.

4. Исследование термоэлектрические и электрофизические свойства образцов сплавов  $\text{Bi}_2\text{V}_3^{\text{VI}}$  и  $\text{Sb}_2\text{V}_3^{\text{VI}}$  ( $\text{V}^{\text{VI}} - \text{Sb, Te}$ ).

5. Разработать рекомендации по использованию низкотемпературные сплавы дырочного типа проводимости на основе  $\text{Bi}_2\text{V}_3^{\text{VI}}$  и  $\text{Sb}_2\text{V}_3^{\text{VI}}$  ( $\text{V}^{\text{VI}} - \text{Sb, Te}$ ) с повышенной эффективностью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Омонов, Б. У. (2022). ТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕГРАДАЦИЯ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СЛОЕВ  $\text{PbS}$ . *IJODKOR O'QITUVCHI*, 2(19), 24-28.
2. Рахмонкулов, М. Х. (2023, November). ТЕРМИЧЕСКИЕ ДИФФУЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СЛОЯХ  $\text{PbTe}$  И  $\text{PbSe}$ . In *Fergana state university conference* (pp. 280-283).
3. Онаркулов, К. Э., Махмудов, Ш. А., & Омонов, Б. У. (2023, November). ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК  $\text{PbTe}$  ПОД ВОЗДЕЙСТВИИ  $\gamma$ -ИЗЛУЧЕНИЯ. In *Fergana state university conference* (pp. 69-69).
4. Omonov, B. U., & Muhammadaminov, S. (2022). OYNING SINODIK DAVRINING SIDERIK DAVRIDAN UZUNLIGINI TUSHUNTIRISH. *IJODKOR O'QITUVCHI*, 2(19), 20-23.
5. O'G'Li, B. U. B. (2020). UMUMIY O'RTA TA'LIM MAKTABLARIDA "OY TUTILISHI VA UNING SHARTLARI" MAVZUSINI O'QITISHDA INTERFAOL METODLARDAN FOYDALANISH. *Science and Education*, 1(7), 160-164.
6. Юлдашев, А. А., Хошимов, Х. А. Ё., & Омонов, Б. У. Ё. (2022). ОПТРОНЛАР ЯРАТИШНИНГ ХОСЛИКЛАРИ. *Scientific progress*, 3(2), 827-832.
7. KHUSANOV, Z., & Omonov, B. (2018). Using interactive methods of teaching the theme on astronomy" The Moon is the natural satellite of the Earth" in general schools. *Scientific journal of the Fergana State University*, 1(1), 20-22.
8. Рахмонкулов, М. Х., Ахмедова, Д., & Омонов, Б. (2022). ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАССИВНЫХ И ПЛЕНОЧНЫХ ХАЛЬКОГЕНИДАХ СВИНЦА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С КИСЛОРОДОМ. *PEDAGOG*, 5(7), 22-25.
9. Онаркулов, К. Э., & Омонов, Б. У. (2023). КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 3(4), 394-402.
10. oglu Omonov, B. U. UMUMIY O'RTA TA'LIM MAKTABLARIDA "OY TUTILISHI VA UNING SHARTLARI" MAVZUSINI O'QITISHDA INTERFAOL METODLARDAN FOYDALANISH.
11. Onarqulov, K. E., Rahmanqulov, M. K., Zaynolobidinova, S. M., & Omonov, B. U. ON THE KINETICS OF THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF POLYCRYSTALLINE FILM STRUCTURES. *Annotation*, 293, 2.

## ТЕРМОЭЛЕКТР YURITUVCHI KUCH KOEFFITSIENTI VA ELEKTR O'TKAZUVCHANLIKNI DOIMIY TOKDA ZOND USULIDA O'LGHASH

B.U. Omonov<sup>1</sup>, G.F. Jo'rayeva<sup>2</sup>