

**УТВЕРЖДАЮ:**

Проректор по НИР ФГБОУ ВО  
«Кабардино-Балкарский государственный  
университет им. Х.М. Бербекова»  
профессор С.Ю. Хаширова



« 3 мая 2020 г.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный  
университет» им. Х.М. Бербекова

Диссертационная работа Калмыкова Рустама Мухамедовича на тему «Влияние примеси CdSe на термоэлектрические свойства сплавов PbTe» выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет» им. Х.М. Бербекова. В период подготовки диссертации Калмыков Рустам Мухамедович обучался в аспирантуре в «Кабардино-Балкарском государственном университете» им. Х.М. Бербекова по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника. В настоящее время работает в должности старшего преподавателя кафедры физических основ микро- и наноэлектроники «Кабардино-Балкарского государственного университета» им. Х.М. Бербекова.

В 2015 году Калмыков Р.М. с отличием окончил «Кабардино-Балкарский государственный университет» им. Х.М. Бербекова по направлению подготовки «Электроника и наноэлектроника» с присуждением степени «Магистр техники и технологии».

В 2019 году Калмыков Р.М. окончил очную аспирантуру «Кабардино-Балкарского государственного университета» им. Х.М. Бербекова по

специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, получив диплом об окончании аспирантуры с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель исследователь» по направлению подготовки 03.06.01 – Физика и астрономия.

Справка №0185 о сдаче кандидатских экзаменов выдана 22 ноября 2019 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет» им. Х.М. Бербекова.

Научный руководитель – Кармоков Ахмед Мацевич, доктор физико-математических наук, профессор, работает в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет» им. Х.М. Бербекова в должности профессора кафедры электроники и информационных технологий.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

**Личное участие автора.** Представленные в диссертационной работе данные получены автором самостоятельно. Постановка цели и задач диссертации, планирование работы проводилось совместно с научным руководителем, который также принимал участие в обсуждении полученных результатов.

**Достоверность результатов.** Степень достоверности полученных результатов обуславливается использованием для их получения общепризнанных и широко известных методов, таких как: сканирующая электронная микроскопия, рентгеновская дифрактометрия, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Полученные в работе данные экспериментальных измерений и выводы физически обоснованы и согласуются с известными теоретическими и экспериментальными данными.

**Научная новизна.** Наиболее существенные научные результаты, полученные автором в ходе диссертационного исследования, заключаются в следующем:

1. Разработана новая методика получения термоэлектрических материалов на основе теллурида свинца путем воздействия на жидкий расплав ультразвуковыми волнами при оптимальных условиях, защищенная патентом Российской Федерации.
2. Обнаружены структурные изменения и образование новых фаз в твердых сплавах PbTe при концентрациях примеси CdSe 0,5; 1; 2; 3; 5; 7 и 10 мол%.
3. Установлена зависимость параметра решетки  $a$  от концентрации примеси CdSe в матрице PbTe, а также образование новых фаз кубической и гексагональной сингонии.
4. Установлено влияние изотермического отжига на фазообразование и политермы удельной электропроводности, коэффициента термоЭДС и термоэлектрической мощности в твердых сплавах PbTe при концентрациях примеси CdSe 0,5; 1; 2; 3; 5; 7 и 10 мол%.
5. Используя модель обобщенной проводимости Максвелла, проведена оценка вклада проводимости образующихся новых фаз.

#### **Практическая значимость работы.**

Полученные экспериментальные результаты фазообразования, температурных зависимостей теплофизических и электрофизических параметров теллурида свинца и системы PbTe-CdSe могут быть использованы для дальнейшего развития физики термоэлектрических материалов, а также включены в справочные издания по теплофизическим свойствам полупроводниковых материалов.

Результаты работы могут найти практическое применение при создании приборов и устройств микро- и нанoeлектроники, новых композиционных материалов, термоэлектрических преобразователей и др.

**Полнота изложения материалов диссертации.** Основные результаты диссертации опубликованы в 20 печатных изданиях, в том числе 6 статей в изданиях, рекомендованных ВАК, из которых 3 работы индексируются

международными системами цитирования Scopus и Web of Science, а также 1 патент на изобретения.

1. Калмыков Р.М. Методические особенности синтеза полупроводниковых сплавов на основе теллурида свинца / Р.М. Калмыков, А.М. Кармоков // Известия КБГУ. – 2016. – Т.6. – №4. – С. 31-34.
2. Калмыков Р.М. Влияние изотермического отжига на электропроводность и термоЭДС PbTe, легированного CdSe / Р.М. Калмыков, А.М. Кармоков // Прикладная физика. – 2017. – №4. – С. 55-59.
3. Калмыков Р.М. Удельная электропроводность и термоЭДС соединения PbTe с примесями CdSe / А.М. Кармоков, Р.М. Калмыков, Х.Х. Лосанов // Известия КБГУ. – 2017. – Т.7. – №3. – С. 71-74.
4. Калмыков Р.М. Зависимость площади межфазной поверхности в поликристаллах и композиционных материалах от концентрации и геометрии наночастиц / А.М. Кармоков, Р.М. Калмыков, О.А. Молоканов, О.О. Молоканова // Фундаментальные исследования. – 2017. – Т.3. – №10. – С. 449-453.
5. Калмыков Р.М. Термоэлектрическая добротность композита PbTe-углеродные наночастицы / Р.М. Калмыков, А.М. Кармоков, О.О. Молоканова, О.А. Молоканов, М.М. Кармоков, А.Х. Дышекова, А.А. Усаев // Фундаментальные исследования. – 2017. – Т.1. – №11. – С. 76-81.
6. Калмыков Р.М. Температурные и концентрационные зависимости электропроводности и термоЭДС соединения PbTe с примесями CdSe / Р.М. Калмыков, А.М. Кармоков // Известия вузов. Физика. – 2018. – Т.61. – №3. – С. 76-81.
7. Kalmykov R.M. Electrophysical properties of PbTe doped with CdSe / R.M. Kalmykov, A.M. Karmokov, Z.V. Shomakhov // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. 816, (2017). DOI:10.1088/1742-6596/816/1/012006.
8. Kalmykov R.M. Temperature and concentration dependences of the electrical conductivity and thermal EMF of the PbTe compound with CdSe impurities /

R.M. Kalmykov, A.M. Karmokov // Russian Physics Journal. – 2018. – Vol. 61. – №3. – P. 484-490. DOI: 10.1007/s11182-018-1423-5.

9. Kalmykov R.M. The influence of structural and phase changes on the thermoelectric properties of PbTe doped with CdSe/ R.M. Kalmykov, A.M. Karmokov, Z.V. Ansokova // Nano Hybrids and Composites. – 2020. – Vol. 28. – P. 20-25. DOI: 10.4028

10. ПАТЕНТ РФ №2642890. Кармоков А.М., Калмыков Р.М. Способ получения термоэлектрического материала для термоэлектрических генераторных устройств на основе теллурида свинца. 29.01.2018. Бюл. №4.

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях и симпозиумах: Международная научно-техническая конференция «Микро- и нанотехнологии в электронике», г. Нальчик (2012 г., 2014 г., 2017 г., 2018 г., 2019 г.); Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2014», г. Москва, 2014 г.; Всероссийская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективные инновационные проекты молодых ученых», г. Нальчик (2015 г., 2017 г.); XVIII Всероссийская молодежная конференция «Физика полупроводников и наноструктур, полупроводниковая опто- и наноэлектроника», г. Санкт-Петербург, 2016 г.; Международная конференция «Интеллектуальные системы и микросистемная техника», г. Нальчик, 2017 г.; Международный междисциплинарный симпозиум «Физика поверхностных явлений, межфазных границ и фазовые переходы», г. Туапсе (2017 г., 2018 г.); III Международная научно-практическая конференция «Физика и технология наноструктур», г. Курск, 2017 г.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере Российской Федерации. Грант №0017817. Тема НИР: «Разработка новых полупроводниковых материалов теллурида свинца и тонкопленочных систем на их основе для приборов электронной техники».

В диссертационной работе не содержатся заимствованные материалы, представленные без ссылки на авторов и источника публикации.

Диссертация подверглась проверке по программе «Антиплагиат» и установлена уникальность 90%.

Диссертационное исследование «Влияние примеси CdSe на термоэлектрические свойства сплавов PbTe» представляет собой научно-квалификационную работу и удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям (раздел II «Положения о порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. №842). Тема и содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, п.п. 1,2.

По объему выполненных работ и новизне полученных результатов диссертационная работа Калмыкова Р.М. «Влияние примеси CdSe на термоэлектрические свойства сплавов PbTe» рекомендуется для защиты на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Заключение принято на заседании кафедры «Электроника и информационные технологии».

Присутствовало на заседании 17 человек.

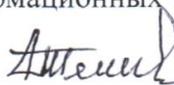
Результаты голосования: «за» – 17 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Протокол №7 от «28» февраля 2020 г.

Председатель заседания,

Зав. кафедрой электроники и информационных технологий,

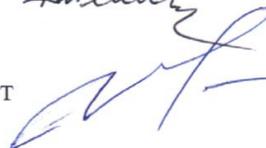
д-р техн. наук, профессор



Р.Ш. Тешев

Руководитель подразделения,

Директор ИИЭиР, к.ф.-м.н., доцент



Н.В. Черкесова