

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Калмыкова Рустама Мухамедовича «Влияние примеси CdSe на термоэлектрические свойства сплавов PbTe», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Актуальность работы для науки и практики.

В диссертационной работе Калмыкова Р.М. представлены результаты экспериментальных исследований влияния добавок CdSe на теплофизические и электрофизические свойства сплавов на основе PbTe, необходимые для разработки рекомендаций по повышению эффективности термоэлектрических преобразователей энергии, что соответствует области исследований по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Удельная электропроводность и коэффициент термо-ЭДС, подробному исследованию которых посвящена работа, являются одними из основных параметров материалов, характеризующих термоэлектрическую мощность преобразователей. В качестве объекта исследования выбран теллурид свинца – материал, обладающий наибольшим значением термоэлектрической добротности в области температур $400^{\circ}\text{C} \div 800^{\circ}\text{C}$. Теллурид свинца с селенидом кадмия, наряду с твердыми растворами, образуют различные фазы тройных соединений, в ряду псевдобинарной диаграммы состояния этих компонент, со свойствами, отличными от свойств исходных компонент. Исследование термоэлектрических свойств таких объектов необходимы для создания компонент электронной техники для прямого и обратного превращения энергий – тепловой и электрической. В частности, для создания датчиков излучения и получения электроэнергии за счет утилизации тепловых потерь различных энергетических установок в различных областях техники.

Основные научные результаты их обоснованность и достоверность.

В работе представлена экспериментальная установка, а также защищенная патентом методика синтеза сплавов PbTe с CdSe. Эта методика, а также установленные оптимальные режимы отжига, обеспечили объемную однородность образуемых фаз соответствующих соединений и их сплошность. Высокое качество образцов, оцененное по результатам тщательных структурных исследований, современными методами электронно - микроскопического, спектроскопического и рентгенофазового анализа, позволили соискателю получить экспериментальные данные по температурным зависимостям электросопротивления и термо-ЭДС, необходимые для расчета фактора мощности исследованных объектов. Интерпретация полученных в работе результатов основана на анализе связи свойств со структурой образца PbTe и семи сплавов, представляющих собой твердые растворы и различные тройные соединения, в том числе с дробной стехиометрией, из элементов исходных компонент PbTe и CdSe. Этот анализ выполнен по результатам исследования соответствующих систем в стабилизированном состоянии, обеспечивающем равновесную концентрацию носителей заряда, которое достигалось оптимизацией параметров отжига для каждой из этих систем.

В результате критического анализа сведений из литературных источников, диссертант освящает основные проблемы, связанные с технологией синтеза материалов на основе PbTe, с высокой термоэлектрической добротностью и исследованиями структуры, состава и их свойств. Совокупность приведенных в работе научных положений может рассматриваться как решение научной задачи, в рамках проблемы синтеза термоэлектрических материалов, обеспечивающих необходимые характеристики компонент, создаваемых на их основе. Обоснованность и достоверность результатов работы определяются тем, что все экспериментальные данные по свойствам и структуре образцов получены на хорошо апробированных измерительных установках, в том числе высокотехнологичных, реализующих современные физико-химические

методы исследования. Представленные данные согласуются с имеющимися в литературе сведениями о физико-химических свойствах и методах получения полупроводниковых соединений на основе PbTe, а так же не противоречат признанным положениям теории и практики рассматриваемых вопросов.

Новизна результатов, значимость их для практики и замечания

К основным результатам, определяющим научную новизну диссертационной работы, следует отнести: новую методику получения термоэлектрических материалов из жидкой фазы на основе PbTe и оптимальные параметры технологии изготовления исследованных образцов; установленные структурные характеристики и факты образования новых фаз в твердых сплавах PbTe при концентрациях примеси CdSe: 0,5; 1; 2; 3; 5; 7 и 10 мол%, том числе фаз кубической и гексагональной сингонии, а так же данные по параметрам этих решеток; оптимизированные параметры отжига для соответствующих составов сплавов; влияние отжига на фазовые изменения и температурные зависимости удельной электропроводности, коэффициента термо-ЭДС и термоэлектрической мощности в твердых сплавах PbTe при концентрациях примеси CdSe: 0,5; 1; 2; 3; 5; 7 и 10 мол%.

Представленные экспериментальные результаты температурных зависимостей электрофизических параметров различных фаз системы PbTe-CdSe могут быть использованы для расчетов экстремума термоэлектрической добротности по установленной для них теплопроводности. Диспергирование полученных материалов и изготовление из них наноструктурированных материалов с низкой теплопроводностью, может быть хорошим продолжением представляемой работы.

База полученных данных может найти практическое применение при создании приборов и устройств микро- и наноэлектроники, новых композиционных материалов, термоэлектрических преобразователей и др.

Методика получения сплавов с различной стехиометрией и их отжига при соответствующих температурах, стабилизирующих различный уровень носителей заряда р-типа, предоставляет возможность задавать необходимые характеристики функциональным термоэлектрическим материалам.

К основным недостаткам работы следует отнести:

1. Исследования температурных зависимостей удельной электропроводности и коэффициента термо-ЭДС, которые являются одними из основных характеристик термоэлектрических материалов, диссертант выполнил хорошо апробированными методами, представленными в литературе еще в прошлом веке. Поэтому может быть, было и не обязательно подробно представлять их в работе. Однако, для оценки коридора ошибок полученных значений по этим свойствам, необходимы сведения об особенностях реализации известных методик с указанием геометрических размеров образцов, в том числе, размеров рабочего участка крепления зондов, а также основных характеристик измерительных приборов. Это необходимо для повышения значимости полученной базы данных, следовательно, и результатов анализа зависимостей значений соответствующих свойств от содержания «примеси» CdSe.
2. В работе нет сведений о структурах образцов до отжига, а также являлись ли они равновесными, что можно было установить путем повторного исследования хотя бы одного свойства. База данных по свойствам для исследованных образцов до отжига представляла бы такую же ценность, как и результаты для них после отжига. Значимость сравнительного анализа свойств образцов до и после отжига при этом была бы явно выше.

Заключение

Сделанные замечания не влияют на положительную оценку выполненной работы и не ставят под сомнение основные результаты и выводы диссертации. Работа Калмыкова Р.М. выполнена на высоком научном уровне с использованием современных методов и не противоречат признанным положе-

ниям теории и практики рассматриваемых вопросов.

Результаты проведенных исследований широко апробированы на российских и международных семинарах, конференциях и симпозиумах. Содержание диссертации отражено в периодической печати, в том числе: 6 в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов кандидатских и докторских диссертаций, из которых 3 работы индексируются международными системами цитирования Scopus и Web of Science, 13 – в сборниках конференций и 1 патент на изобретения.

Автореферат правильно и полно передает содержание диссертации.

Диссертация представляет собой законченную научно - квалификационную работу, в которой приводится решение научной задачи по синтезу материалов, обеспечивающих создание преобразователей энергии с заданными характеристиками. Она удовлетворяет всем требованиям Постановления Правительства РФ от 24.09.2013г. №842 «О порядке присуждения ученых степеней» к кандидатским диссертациям, а ее автор, Калмыков Рустам Мухамедович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент:

доктор физико–математических наук, профессор кафедры физики конденсированного состояния и наносистем ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»

367000, Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Гаджиева, д. 43-а,
Тел.: +7 (909) 481-46-68, E-mail: dairpalchaev@mail.ru

Подпись проф. Палчаева Д.К. удостоверяю.

Ученый секретарь



Омарова З.У.

18.11.2020
[Handwritten signature]