

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.286.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Воронежский государственный технический университет»,

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации,

ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 01.04.2025г. № 385

О присуждении Юрьеву Владиславу Александровичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Влияние условий получения на термоэлектрические и механические свойства твердых растворов  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  и  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.5}\text{Se}_{0.5}$ » по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния принята к защите 11.12.2024 года, (протокол заседания № 380) диссертационным советом 24.2.286.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84, приказ о создании совета № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Юрьев Владислав Александрович 10 марта 1997 года рождения, в 2020 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет» с присуждением квалификации магистра по направлению 16.04.01 «Прикладная физика твердого тела». В 2024 году окончил аспирантуру Воронежского государственного технического университета, работает инженером-технологом в акционерном обществе «РИФ» Минпромторга России.

Диссертация выполнена на кафедре твердотельной электроники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Калинин Юрий Егорович, профессор кафедры твердотельной электроники, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.



### **Официальные оппоненты:**

1. Иванов Олег Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры материаловедения и нанотехнологий, федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»;

2. Турищев Сергей Юрьевич, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой общей физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Кузнецовым Денисом Валерьевичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой функциональных наносистем и высокотемпературных материалов и утвержденном проректором по науке и инновациям ФГАОУ ВО «ННТУ «МИСИС», доктором технических наук, профессором Филоновым Михаилом Рудольфовичем, указала, что диссертация Юрьева Владислава Александровича выполнена на актуальную тему, полученные в работе результаты представляются достоверными, а выводы и основные положения, выносимые на защиту – хорошо обоснованными. Отмечено, что результаты диссертации имеют высокую научную и практическую значимость, связанную с уточнением механизмов пластической деформации в полупроводниках и установлением закономерностей изменения термоэлектрических параметров при термической обработке твердых растворов  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  и  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.5}\text{Se}_{0.5}$ . В заключении указано, что диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, которая по актуальности поставленных задач, научной новизне и практической значимости, а также по количеству работ, опубликованных в открытой печати, соответствует квалификационным требованиям п. 9 "Положения о присуждении учёных степеней", утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (со всеми последующими изменениями), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния, а её автор, Юрьев Владислав Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, в том числе 11 работ по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 работы.



Общий объем опубликованных работ составил 2,5 п.л., из них соискателю принадлежит 0,41 п.л.

Лично соискателю в опубликованных в соавторстве работах принадлежит: непосредственное получение экспериментальных данных, разработка методик проведения экспериментов, участие в обсуждении результатов экспериментов и их оформление в виде публикации.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Белоногов Е.К., Гребенников А.А., Дыбов В.А., Костюченко А.В., Кушчев С.Б., Сафонов И.А., Сериков Д.В., **Юрьев В.А.** Влияние фотонной обработки на структуру и субструктуру термоэлектрического материала  $\text{Bi}_2\text{Te}_{3-x}\text{Se}_x$  // Перспективные материалы. 2019. № 12. С. 31-38.

2. Belonogov E.K., Grebennikov A.A., Dybov V.A., Kostyuchenko A.V., Kushchev S.B., Serikov D.V., **Yuryev V.A.**, Safonov I.A Effect of photon treatment on structure and sub-structure of  $\text{Bi}_2\text{Te}_{3-x}\text{Se}_x$  thermoelectric material // Inorganic Materials: Applied Research. 2020. Т. 11. № 2. С. 338-342.

3. Grebennikov A.A., Bocharov A.I., Makagonov V.A., Kalyadin O.V., **Yur'yev V.A.**, Korolev K.G. Improving the characteristics of thermoelectric generator batteries based on bismuth telluride by optimizing the parameters of hot pressing  $n\text{-Bi}_2\text{Te}_{2.4}\text{Se}_{0.6}$  // В сборнике: IOP conference series: materials science and engineering. The II "International Theoretical and Practical Conference on Alternative and Smart Energy". Voronezh, 2021. С. 12008.

4. **Юрьев В. А.**, Чуйко А.Г., Калинин Ю.Е., Гребенников А.А., Каширин М.А. Влияние термической обработки на термоэлектрические и механические свойства твердого раствора  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  p-типа проводимости, полученного методом экструзии // Физика и техника полупроводников, 2024, том 58, вып. 2. С. 63-67.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На диссертацию и автореферат поступило 4 отзыва, все отзывы положительные:

1. **Иванова Лидия Дмитриевна**, к.т.н., ведущий научный сотрудник лаборатории полупроводниковых материалов ФГБУН ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН со следующими замечаниями:

- Почему термообработка проводилась именно 24 часа?

- Не указано количество исследованных образцов, на которых проводили измерения термоэлектрических и механических характеристик. Поэтому трудно оценить воспроизводимость приводимых параметров.



- Если учесть ошибки, которые имеются при определении коэффициента Зеебека, электропроводности и теплопроводности, то значение  $ZT$  приводимое с точностью до 3 знака после запятой не оправдано.

2. **Овчинников Олег Станиславович**, к.ф.-м. н., доцент кафедры техники и технологии Каменского технологического института ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова со следующим замечанием:

- Не была измерена плотность дислокаций в полученных материалах.

3. **Игнатенко Николай Михайлович**, д. ф.-м. н., доцент, профессор кафедры нанотехнологий, микроэлектроники, общей и прикладной физики ФГБОУ ВО «Юго-западный государственный университет» со следующим замечанием:

- Из автореферата не видна степень разработанности изучаемой проблемы в международных и отечественных научных центрах

4. **Кульков Виктор Геннадьевич**, д.ф.-м.н., профессор кафедры фундаментальных дисциплин ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» со следующим замечанием:

- Наличие пункта 1 перечня основных задач исследования, в котором указывается необходимость отработки опытно-промышленной технологии получения твердых растворов методом экструзии  $Bi_2Te_{2,5}Se_{0,5}$  и  $Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_3$ . В дальнейшем тексте автореферата об этой технологии более не упоминается.

**На замечания соискателем даны исчерпывающие ответы и пояснения.**

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в соответствующей отрасли наук, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования, а также способностью оценить научную и практическую значимость приведенных в диссертации результатов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработана** методика изменения концентрации носителей заряда в экструдированных сплавах  $Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_3$  p-типа и  $Bi_2Te_{2,5}Se_{0,5}$  n-типа проводимости, заключающаяся в изотермическом отжиге материала, проводимом при  $T=573$  К в течение 24 часов;

**предложены** механизмы изменения подвижности носителей заряда и фононной составляющей при термической обработке в вакууме экструдированных сплавов  $Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_3$  p-типа и  $Bi_2Te_{2,5}Se_{0,5}$  n-типа проводимости;

**доказана** зависимость подвижности носителей заряда, фононной составляющей теплопроводности и механических свойств в экструдированных сплавах  $Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_3$  p-типа и  $Bi_2Te_{2,5}Se_{0,5}$  n-типа проводимости от концентрации носителей заряда.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:



**доказано**, что изменение электрон-фононного взаимодействия в процессе термической обработки при  $T = 573$  К в течение 24 ч. приводит к росту фононной составляющей теплопроводности в экструдированных твердых растворах  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ , а также к ее снижению в экструдированных твердых растворах  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.5}\text{Se}_{0.5}$ ;

**применительно к проблематике** диссертации результативно использован комплексный подход, совмещающий такие методы получения и исследования термоэлектрических материалов, как керамическая технология, зонная перекристаллизация, экструзия, рентгенофазовый анализ, растровая электронная микроскопия, дифференциальный метод измерения коэффициента Зеебека, четырехзондовый метод измерения электрического сопротивления, метод лазерной вспышки для определения теплопроводности, изучение эффекта Холла для определения типа и концентрации основных носителей тока;

**использована** теоретическая модель, описывающая переход атомов висмута из антиструктурных мест в междоузлия, приводящая к изменению концентрации носителей заряда в исследуемых твердых растворах;

**изложены** доказательства влияния концентрации носителей заряда на подвижность носителей заряда, фононную составляющую теплопроводности и механические свойства в процессе термической обработки при  $T = 573$  К в течение 24 ч. в экструдированных сплавах  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  p-типа и  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.5}\text{Se}_{0.5}$  n-типа проводимости;

**раскрыты** закономерности влияния термической обработки при  $T = 573$  К в течение 24 ч. экструдированных сплавов  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  p-типа и  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.5}\text{Se}_{0.5}$  n-типа проводимости на их термоэлектрическую добротность;

**изучено** влияние концентрации носителей заряда на термоэлектрические и механические свойства экструдированных сплавов  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  p-типа и  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.5}\text{Se}_{0.5}$  n-типа проводимости после термической обработки при  $T = 573$  К в течение 24 ч.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработана и внедрена** в практику опытно-промышленная технология экструзии термоэлектрических сплавов  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  p-типа и  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.5}\text{Se}_{0.5}$  n-типа проводимости, способствующая повышению механических параметров полупроводников;

**определено**, что используемый режим термической обработки экструдированных сплавов  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.5}\text{Se}_{0.5}$  может быть использован для повышения безразмерной термоэлектрической добротности  $ZT$ .

**представлены** рекомендации для совершенствования промышленной технологии производства термоэлектрических сплавов  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  p-типа и  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.5}\text{Se}_{0.5}$  n-типа проводимости, заключающиеся в применении экструзии и



последующей термической обработки, позволяющие получать материалы с высокими механическими и термоэлектрическими параметрами.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**результаты экспериментальных исследований** получены на современном сертифицированном и поверенном оборудовании с **использованием** стандартизированных методик проведения измерений; показана воспроизводимость результатов при различных условиях;

**теория**, используемая для объяснения результатов экспериментов, описания механизмов электропроводности, теплопроводности, термоэдс, коэффициента Холла в экспериментальных образцах, адекватна для описания исследуемых в работе объектов;

**идея базируется** на анализе и обобщении данных о влиянии антиструктурных дефектов на электрические свойства термоэлектрических сплавов  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  p-типа и  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.5}\text{Se}_{0.5}$  n-типа проводимости;

**использованы** современные методики измерений физических свойств, аттестации структуры и фазового состава термоэлектрических сплавов  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  p-типа и  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.5}\text{Se}_{0.5}$  n-типа проводимости, а также методы математической и статистической обработки полученных экспериментальных данных;

**установлено** качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике.

**Личный вклад соискателя состоит в:** анализе литературных источников по теме исследований, участии в синтезе образцов, в анализе, систематизации, обсуждении результатов и подготовке статей к публикации. Экспериментальные данные по исследованию структуры, электрических, механических свойств, эффекта Холла термоэлектрических сплавов, представленных в диссертации, получены автором лично.

Диссертация соответствует шифру специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния и отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

В материалах диссертации Юрьева В. А. содержится решение научной задачи, имеющей значение для дальнейшего развития теории термоэлектрических и механических свойств термоэлектрических сплавов. Работа написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые результаты и положения, и свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

В ходе защиты критических замечаний высказано не было.



На заседании 01.04.2025 г. диссертационный совет за решение научной задачи, имеющей значение для дальнейшего развития физических представлений о закономерностях влияния условий получения и последующей термической обработки на термоэлектрические и механические свойства твердых растворов  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  и  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.5}\text{Se}_{0.5}$ , а также установление корреляции между концентрацией носителей заряда, термоэлектрическими и механическими свойствами полупроводников, принял решение присудить Юрьеву Владиславу Александровичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Белоногов  
Евгений Константинович

Стогней  
Олег Владимирович

01.04.2025 г.