

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 28.02.2023 г. № 372

О присуждении Попову Ивану Ивановичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Акустическая и диэлектрическая релаксация в твердых растворах титаната бария-стронция» по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния принята к защите 20.12.2022 года (протокол заседания № 369) 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, 84, приказ о создании совета № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Попов Иван Иванович, 21 января 1995 года рождения, в 2018 г. окончил Воронежский государственный технический университет по специальности 16.04.01. Прикладная физика твердого тела. В 2022 г. окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет» по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Работает в должности младшего научного сотрудника в Воронежском государственном техническом

университете, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Справка о периоде обучения выдана в 2022 году федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Воронежский государственный технический университет».

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

Научный руководитель – Гриднев Станислав Александрович, заслуженный деятель науки РФ, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет», кафедра твердотельной электроники, профессор.

Официальные оппоненты:

1. **Даринский Борис Михайлович**, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет», профессор кафедры материаловедения и индустрии наносистем;

2. **Шуба Андрей Витальевич**, доктор физико-математических наук, доцент, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», профессор кафедры математики,

дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород, в своем **положительном отзыве**, подписанном Носковым Антоном Валерьевичем, доктором физико-математических наук, заведующим кафедрой теоретической и экспериментальной физики, и утвержденном проректором по науке и инновациям кандидатом физико-математических наук Репниковым Н.И., указала, что

диссертация Попова И.И. выполнена на актуальную в области физики сегнетоэлектриков тему, полученные в работе результаты представляются достоверными, а выводы и основные положения, выносимые на защиту – хорошо обоснованными. Все выводы и положения, выносимые на защиту, обладают актуальностью и новизной, а личный вклад соискателя не вызывает сомнений. Полученные в диссертации результаты хорошо апробированы: они опубликованы в научных журналах, входящих в базы цитирования Web of Science и Scopus, и обсуждены на всероссийских и международных конференциях и семинарах. В заключении указано, что диссертация Попова Ивана Ивановича соответствует паспорту специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния и требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, в том числе п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор Попов Иван Иванович заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Соискатель имеет 35 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 11 работ, из них в рецензируемых научных изданиях – 4, общим объемом 3,25 п.л., из которых автору принадлежит 1,41 п.л. Во всех работах, опубликованных в соавторстве, автор принимал непосредственное участие в постановке задачи, получении образцов и проведении экспериментальных исследований, анализе полученных результатов и их оформлении в виде публикаций.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Gridnev S. A. Effect of the electronic subsystem on elastic and anelastic properties of ceramic $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ / S. A. Gridnev, **I. I. Popov** // *Ferroelectrics*. – 2019. – Vol. 543. – P. 130-136.

2. Gridnev S. A. Kinetics of phase transformation at the Curie point of ferroelectric ceramic $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ / S. A. Gridnev, **I. I. Popov** // *Ferroelectrics*. – 2020. – Vol. 561. – P. 127-134.

3. Low-frequency internal friction in ferroelectric $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ and $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3 + 0.2 \text{ mass. \% La}$ ceramics / S. A. Gridnev, **I. I. Popov**, M. A. Kashirin, A. I. Bocharov // J. Alloys Compd. – 2021. – Vol. 889. – P. 161764 (7 pp).

4. Gridnev S. A. Diffusion of the phase transition in ferroelectric ceramic $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ / S. A. Gridnev, **I. I. Popov** // AIP Conference Proceedings. – 2022. – Vol. 2466. – №. 1. – P. 060018 (4 pp).

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

На диссертацию и автореферат поступило 5 отзывов, все отзывы положительные:

1. Магомадов Рукман Масудович, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова», без замечаний.

2. Кичанов Сергей Евгеньевич, доктор технических наук, Объединенный институт ядерных исследований, со следующими замечаниями:

– в печатной версии автореферата наблюдается сильная деградация рисунков по сравнению с электронной версией. Так, на рисунке 3 зерна соединения практически неразличимы, на рисунках 1 и 9 графики сливаются, очень трудно различить мелкие надписи. Уверен, что эти проблемы связаны с некорректным репродуцированием при печати автореферата, однако, следует учесть это обстоятельство в будущем;

– в задачах и положениях диссертации применяются довольно спорные термины и обозначения. Например, «...и выявить те из них, которые наиболее адекватно описывают релаксорное поведение...». Какой параметр адекватности используется в работе? Или «более сильное размытие...» в каких единицах установлено?;

– встречается много «бытовой» терминологии, которой нет места в автореферате диссертационной работы: «...вжигание серебрянной пасты...», «...виртуальный сегнетоэлектрик», «кубически-тетрагональном фазовом переходе»;

– в Таблице 1 и на рисунках не отмечены величины ошибок для полученных из эксперимента данных.

3. Тополов Виталий Юрьевич, доктор физико-математических наук, профессор, Южный федеральный университет, со следующими замечаниями:

– в начале названия работы имеется слово “акустическая” (в контексте с диэлектрической релаксацией). Однако ни в элементах научной новизны, ни в выносимых на защиту научных положениях не удаётся найти формулировок, явно указывающих на акустическую релаксацию или на распространение упругих волн в исследуемых образцах. Следует в явной форме представить, что наиболее существенно в плане акустической релаксации, а также к какому диапазону частот это относится;

– на с. 5, 3-я строка снизу в автореферате приводится формула комплексной диэлектрической проницаемости $\epsilon^* = \epsilon' + j\epsilon''$. Обычно при описании поведения диэлектрика в переменном электрическом поле (или при воздействии электромагнитного поля) используют выражение $\epsilon^* = \epsilon' - i\epsilon''$ (см., например, с. 440 книги Павлова П.В., Хохлова А.Ф. “Физика твердого тела”, М., 2000 или с. 177 “Физического энциклопедического словаря”, гл. ред. А.М. Прохоров, М., 1983). В приведенных выше формулах j или i – мнимая единица, однако знаки перед ней различны. Важно пояснить, чем вызвано использование выражения ϵ^* с плюсом на с. 5 автореферата;

– в автореферате встречаются пунктуационные ошибки при названии законов, теорий и т.п. с двумя авторами. Например, в основных результатах диссертационной работы в п. 2 слова “теории Ландау-Девоншира” (с. 17 автореферата) следует писать “теории Ландау – Девоншира”, в п. 4 слова “закон Кюри-Вейсса” (с. 18 автореферата) следует писать “закон Кюри – Вейсса”, и в том же абзаце слова “температуры Фогеля-Фулчера” следует писать “температуры Фогеля – Фулчера”.

4. Таланов Михаил Валерьевич, доктор физико-математических наук, Южный федеральный университет, без замечаний.

5. Раевский Игорь Павлович, доктор физико-математических наук, профессор, Южный федеральный университет, со следующими замечаниями:

– отсутствие ссылок на работы, в которых предложены используемые модели размытия;

– при интерпретации данных о зависимости температуры T_m максимума температурной зависимости диэлектрической проницаемости $(\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2})\text{TiO}_3$ (рис.12а) автор не учитывает, что этот состав уже имеет размытый фазовый переход и зависимость $T_m(E)$ может иметь пороговый характер, что, возможно и является причиной излома на экспериментальной зависимости $T_m(E)$.

На все замечания диссертант дал исчерпывающие ответы.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в области исследования сегнетоэлектрических и релаксорных материалов, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования, а также их согласием.

Выбор ведущей организации обоснован широкой известностью сотрудников своими достижениями в области исследования керамических и диэлектрических материалов и способностью определить научную и практическую ценность диссертации, а также ее согласием. Направление научно-исследовательской деятельности базового структурного подразделения ведущей организации (кафедра теоретической и экспериментальной физики) соответствует теме диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика получения сегнетоэлектрической керамики $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$, легированной висмутом;

предложены объяснения:

– снижения величины максимума диэлектрической проницаемости при увеличении концентрации атомов стронция в твердом растворе $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ за счет изменения доли межзеренного пространства в керамических образцах;

– размытия фазового перехода и появления релаксорных свойств при неизоэлектронном замещении ионов Ba^{2+} и Sr^{2+} ионами Bi^{3+} в керамическом твердом растворе $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ за счет кислородных вакансий, образующихся при компенсации избыточного заряда трехвалентного иона примеси Bi^{3+} ;

– изменения величины внутреннего трения в области фазового перехода в образце $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$ при добавлении 0,2 масс. % La на основе представлений о взаимодействии доменных границ с точечными дефектами;

доказано, что:

– доминирующую роль в появлении релаксорных свойств при добавлении атомов Bi в керамику $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$ оказывают кислородные вакансии;

– добавление атомов La в $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$ приводит к увеличению концентрации электронов проводимости, экранированию поля заряженных дефектов и, следовательно, уменьшению энергии и силы взаимодействия заряженных точечных дефектов с доменными стенками.

Новые понятия, измененные трактовки старых понятий, новые термины **не вводились.**

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что величина пиков внутреннего трения и тангенса угла диэлектрических потерь вблизи T_C в твёрдом растворе $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$ обусловлена как доменным механизмом, так и низкочастотным флуктуационным механизмом;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы сканирующей электронной микроскопии, рентгеновской дифракции, диэлектрической и механической спектроскопии, позволившие исследовать структуру, диэлектрические, упругие и неупругие свойства изучаемых систем;

изложены доказательства влияния различных неоднородностей структуры на релаксационные процессы:

- термически активированного образования зародышей полярной фазы и их роста посредством движения межфазной границы через систему стопоров, приводящего к релаксации параметра фазового превращения полярных областей в керамике $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$;

- кислородных вакансий, влияющих на появление релаксорных свойств в $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$, легированном висмутом;

раскрыты закономерности влияния кислородных вакансий, локальных полярных областей, среднего размера зерен и постоянного электрического поля на физические свойства изучаемых систем;

изучено влияние скорости нагрева и частоты колебаний на кинетику фазового перехода в сегнетоэлектрическом твердом растворе $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$;

проведена модернизация алгоритма обработки диэлектрических данных по модифицированной модели Ландау-Девоншира, позволяющая построить температурные зависимости локального параметра порядка.

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

разработана и внедрена в практику научных исследований кафедры ТТЭ ВГТУ методика получения твердых растворов $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$, легированных висмутом;

определено, что керамика $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$ при добавлении 6 ат. % висмута переходит в релаксорное состояние и поэтому может быть использована для разработки бессвинцовых релаксорных материалов и устройств на их основе;

создана система практических рекомендаций, направленных на детальное исследование механизмов акустической релаксации методом низкочастотной механической спектроскопии в сегнетоэлектриках с размытым фазовым переходом;

представлен практический способ регулирования температуры Кюри и величины диэлектрической проницаемости в твердых растворах на основе титаната бария-стронция, основанный на изменении концентрации примесей и технологических режимов синтеза и спекания.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на современном сертифицированном и поверенном оборудовании с использованием стандартизированных методик проведения измерений; показана хорошая воспроизводимость результатов;

теории, используемые для объяснения результатов экспериментов, описания механизмов размытия фазового перехода, акустической и

диэлектрической релаксации в образцах, адекватны исследуемым в работе объектам;

идея базируется на анализе и обобщении данных о влиянии состава и неоднородностей структуры на физические свойства сегнетоэлектриков с размытым фазовым переходом;

использовано сравнение результатов, экспериментально полученных автором, и данных, представленных в научной литературе по исследуемой тематике;

установлено качественное согласие авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

использованы современные методики измерений физических свойств, исследования морфологии поверхности, аттестации структуры и фазового состава сегнетоэлектриков с размытым фазовым переходом, полученных по керамической технологии, а также методы математической и статистической обработки полученных экспериментальных данных.

Личный вклад соискателя состоит в анализе литературных источников по теме исследований, получении образцов, анализе, систематизации, обсуждении результатов и подготовке статей к публикации. Экспериментальные данные по исследованию структуры, диэлектрических, упругих и неупругих свойств изучаемых систем, представленные в диссертации, получены автором лично.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было. На все заданные в ходе заседания вопросы были даны аргументированные ответы.

На заседании 28.02.2023 г. диссертационный совет за решение научной задачи, развивающей представления о закономерностях влияния состава и внешних воздействий на низкочастотные диэлектрические, упругие и неупругие свойства сегнетоэлектрических твердых растворов на основе титаната бария-стронция, принял решение присудить Попову Ивану Ивановичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой

диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета

Белоногов Евгений Константинович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Стогней Олег Владимирович

28 февраля 2023 года