

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ЮФУ801.01.06,
созданного на базе Научно-исследовательского института физики ЮФУ
по диссертации на соискание ученой степени **кандидата наук**

аттестационное дело № _____,
решение диссертационного совета от 17.04.2024 № 42

О присуждении **Швецовой** Наталье Александровне, гражданину РФ, ученой степени **кандидата** физико-математических наук.

Диссертация «**Анизотропия электромеханических свойств и нелинейные процессы в текстурированных и пористых сегнетопьезокерамиках на основе твердых растворов ниобата калия-натрия и цирконата-титаната свинца**» по специальности **1.3.8. Физика конденсированного состояния**, принятая к защите **12.02.2024** (протокол заседания № **39**) диссертационным советом ЮФУ801.01.06, созданным на базе Научно-исследовательского института физики ЮФУ, приказ № 306-ОД от 01.11.2022.

Соискатель **Швецова** Наталья Александровна, 1971 года рождения, в 1994 году окончила механико-математический факультет Ростовского государственного университета, в 2023 году окончила очную аспирантуру Южного федерального университета по направлению 03.06.01 - Физика и астрономия, по специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния и работает в должности научного сотрудника в Научно-исследовательском институте физики Южного федерального университета Министерства науки и высшего образования РФ.

Диссертация выполнена в отделении сегнетопьезоматериалов, приборов и устройств Научно-исследовательского института физики Южного федерального университета Министерства науки и высшего образования РФ.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук **Рыбняц** Андрей Николаевич, заведующий отделением сегнетопьезоматериалов, приборов и устройств Научно-исследовательского института физики Южного федерального университета Министерства науки и высшего образования РФ.

Официальные оппоненты: **Коротков** Леонид Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, Воронежский государственный технический университет, профессор кафедры твердотельной электроники, и **Солнышкин** Александр Валентинович, доктор физико-математических наук, доцент, Тверской государственный университет, профессор кафедры физики конденсированного состояния, дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Соискатель имеет по теме диссертации 42 публикации (общим объемом 26,61 п. л. в соавторстве, из которых соискателю принадлежит 6,01 п. л.), 34 из которых опубликованы в российских и международных журналах, входящих в базы данных Scopus и/или Web of Science, а 24 в рецензируемых изданиях из Перечня ВАК РФ. Список авторских публикаций включает 27 статей и 11 глав в коллективных монографиях, из них в зарубежных журналах: "Ferroelectrics" (16 статей); "Journal of Nano- and Electronic Physics" (1 статья); "Journal of Advanced Dielectrics" (2 статьи); коллективных монографиях Springer Proceedings in Materials (4 главы), Nova Science Publishers Inc. (7 глав), в российских журналах «Известия РАН. Серия физическая» (6 статей) и «Письма в ЖТФ» (2 статьи), а также 4 патента на изобретения, которые вместе в полной мере отражают содержание диссертации.

Наиболее значимые публикации соискателя:

1. Ultrasonic Methods for the Study of Relaxation Phenomena in Dissipative Media / **N. A. Shvetsova**, I. A. Shvetsov, E. I. Petrova, and A. N. Rybyanets // *Ferroelectrics*. – 2023. – Vol. 612, No 1. – P. 123-128.
2. Нелинейные и релаксационные процессы в пьезокерамике в области слабых постоянных электрических полей / **Н.А. Швецова**, И.А. Швецов, Е.И. Петрова, А.Н. Резниченко, А.Н. Рыбнянец // *Известия РАН. Серия физическая*. – 2023. – Т. 87. – № 9. – С. 1362-1368.
3. Microstructural features and complex electromechanical parameters of $\text{Pb}_{0.95}\text{Sr}_{0.05}\text{Ti}_{0.47}\text{Zr}_{0.53}\text{O}_3 + 1\% \text{Nb}_2\text{O}_5$ porous piezoceramics / **N. A. Shvetsova**, E. I. Petrova, M. A. Lugovaya [et al.] // *Ferroelectrics*. – 2022. – Vol. 591, No 1. – P. 143-149.
4. Microstructure characterization and properties of porous piezoceramics / **N. A. Shvetsova**, I. A. Shvetsov, M. A. Lugovaya [et al.] // *Journal of Advanced Dielectrics*. – 2022. – Vol. 12, No 2. – P. 2160006-1-2160006-4.
5. Microstructural features and complex electromechanical parameters of lead-free ferroelectric ceramics / **N. A. Shvetsova**, M. A. Lugovaya, I. A. Shvetsov [et al.] // *Ferroelectrics*. – 2022. – Vol. 591, No 1. – P. 136-142.
6. Method of Electromechanical Characterization of Ferroelectric Materials / **N. A. Shvetsova**, S. A. Shcherbinin, M. A. Lugovaya [et al.] // *Ferroelectrics*. – 2020. – Vol. 561, No 1. – P. 100-105.

На автореферат диссертации поступило 7 положительных отзывов.
Сапожников О. А. (МГУ, Москва) заметил, что «... на рисунке 5 использованы ... плохо читаемые обозначения по осям, а ... на рисунке 6 (в, г) кривые ... являются

неоднозначными». **Соловьевым А. Н.** (КИПУ имени Февзи Якубова, Симферополь) замечено, что на стр. 9 нет ссылки на отечественный ОСТ и что «... значения некоторых параметров пьезокерамики КННТ, приведенные в Таблице 1 и в тексте ... (стр. 11), существенно отличаются».

В отзывах **Шура В. Я.** (УрФУ имени Первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург), **Малышкиной О. В.** (ТГУ, Тверь), **Лушников С. Г.** (ФТИ имени А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург), **Петрова И. Д.** (РГУПС, Ростов-на-Дону) и **Арсланова Т. Р.** (ИФ имени А. И. Амирханова ДФИЦ РАН, Махачкала) замечаний и вопросов не обнаружено.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что **Коротков Л. Н.** – специалист в области физики сегнетоэлектриков, сегнетоэластиков, релаксоров и мультиферроиков в виде монокристаллов и керамики, а также материалов на их основе для твердотельной электроники, а **Солнышкин А. В.** – специалист в исследовании пиро-, пьезо- и диэлектрических свойств сегнетоэлектриков, а также процессов переключения в сегнетоэлектрических керамике, кристаллах. тонких пленках и полимерах.

Диссертационный совет отмечает, что в результате проведенных соискателем исследований *разработана* комплексная экспериментальная методика исследований с применением рентгено- и микроструктурного анализа и метода силовой микроскопии пьезоотклика, позволившая *выявить* кристаллическую текстуру в бессвинцовой сегнетопьезокерамике (СПК) на основе твердых растворов ниобатов калия-натрия с преимущественной ориентацией пластинчатых кристаллитов, ось [101] которых параллельна оси давления при горячем прессовании образцов, а также *разработан* метод исследования зависимостей комплексных параметров СПК от слабых электрических полей. При этом *установлены* стохастические связи между микро- и мезоструктурными особенностями текстурированной и пористой СПК составов $(\text{Na}_{0.48}\text{K}_{0.52})(\text{Nb}_{0.9}\text{Ta}_{0.1})\text{O}_3 + 0.8 \text{ масс. \% CdO} + 0.5 \text{ масс. \% MgO}$ (КННТ) и $\text{Pb}_{0.95}\text{Sr}_{0.05}\text{Zr}_{0.53}\text{Ti}_{0.47}\text{O}_3 + 1 \text{ масс. \% Nb}_2\text{O}_5$ (ЦТС) с одной стороны и их комплексными электромеханическими характеристиками – с другой; *определены* полные наборы

комплексных пьезоэлектрических, упругих и диэлектрических параметров СПК на основе твердых растворов КННТ и ЦТС, а также зависимости этих параметров от частот в диапазоне от 100 кГц до 70 МГц с использованием метода анализа пьезорезонансных спектров; *обнаружены* области аномальной дисперсии упругих и электромеханических свойств пористой СПК на основе ЦТС и горячепрессованной СПК на основе КННТ и *выявлены* механизмы аномальной дисперсии, связанные с наличием кристаллической текстуры, квазистержневой мезоструктуры и с особенностями доменной структуры кристаллитов этих СПК; *выявлены* зависимости комплексных диэлектрических, упругих и электромеханических характеристик СПК ЦТС от её пористости до 50% и *определены* их зависимости от напряженности электрического поля и времени его воздействия, а также *предложено* физическое обоснование механизмов, ответственных за релаксационные и переходные процессы при воздействии слабых постоянных электрических полей, и *выявлены* особенности электромеханического гистерезиса и процессов переключения поляризации как в плотной, так и пористой СПК ЦТС.

Теоретическая значимость полученных результатов обоснована тем, что *впервые доказано* наличие кристаллической текстуры в СПК КННТ, а именно преимущественной ориентации пластинчатых кристаллитов, ось текстуры [101] которых параллельна оси давления при горячем прессовании; *выявлены* аномальная упругая и электромеханическая дисперсии, а также анизотропия упругих и электромеханических свойств, которые определяются характерными особенностями кристаллической текстуры и доменной структуры кристаллитов СПК, влияние которых усиливается с увеличением резонансной частоты пьезоэлемента; *показано*, что комплексные диэлектрические, упругие и электромеханические характеристики пористой СПК ЦТС в значительной мере определяются микроструктурными особенностями мезоструктурных квазистержневых элементов, сформированных группами кристаллитов, ориентированных в определенных направлениях, и *выявлено*, что аномальная дисперсия упругих и электромеханических характеристик пористой СПК

обусловлена изменением соотношения масштаба пространственной неоднородности трехмерного каркаса СПК и длины волны резонансных колебаний пьезоэлемента, приводящим к возрастанию вклада мезоструктурных квазистержневых элементов в комплексные характеристики СПК с увеличением резонансной частоты, и что, несмотря на значительно меньшие значения остаточной поляризации и поляризации насыщения по сравнению с плотной СПК, пористая СПК ЦТС демонстрирует высокие значения механической деформации при переключении поляризации, сравнимые с деформацией плотной СПК того же состава, что связано с практически равными значениями обратного пьезомодуля d_{33} обеих СПК и большей упругой податливостью S_{33}^D пористой СПК ЦТС, обусловленными мезоструктурными особенностями керамического каркаса.

Применительно к проблематике диссертации эффективно использован комплекс современных методов экспериментального исследования, апробированных способов получения и методов контроля состава, микро- и доменной структуры, а также современной метрологически аттестованной технологической и измерительной аппаратуры, в том числе, современного программного обеспечения; апробированных составов твердых растворов и использованием статистически значимых выборок экспериментальных образцов каждого типа и состава; изложены научные положения, их доказательства, технологии изготовления и методы исследования СПК, факты и выводы об особенностях новых методов исследования зависимостей комплексных параметров от частоты приложенного поля и анализа процессов переключения и сегнетоэлектрического гистерезиса, а также доменно-ориентационных и релаксационных процессов, происходящих в СПК под действием слабых и сильных электрических полей; определены кристаллическая структура и микроструктура плотных и пористых СПК на основе КННТ и ЦТС, доменная структура их кристаллитов с применением методов атомно-силовой и электронной микроскопии, кристаллическая текстура в СПК на основе КННТ, а также полные наборы комплексных диэлектрических, упругих и электромеханических параметров СПК на основе КННТ и ЦТС, зависимости этих свойств и параметров от частоты

измерительного поля; *обнаружены* области аномальной дисперсии упругих и электромеханических свойств СПК на основе ЦТС и КННТ, и *предложены* физические механизмы, ответственные за аномальную дисперсию; *установлены* зависимости комплексных параметров СПК ЦТС от времени воздействия и напряженности электрического поля и *предложены* физические механизмы, ответственные за релаксационные и переходные процессы в СПК при воздействии слабых постоянных электрических полей, а также *выявлены* особенности электромеханического гистерезиса и процессов переключения плотных и пористых СПК ЦТС.

Значение полученных соискателем результатов для практики определяется возможностью их применения при разработке и создании новых функциональных материалов, электромеханических преобразователей и других устройств с использованием материалов, изготовленных на основе исследованных СПК.

Оценка достоверности полученных результатов выявила, что применены апробированные методы изготовления объектов исследования, контроля их микро- и доменной структуры, современные программные средства и измерительная аппаратура, что подтверждается *согласием* полученных результатов с современными представлениями об особенностях микроструктуры, электромеханических свойств и о нелинейных процессах в текстурированных и пористых СПК, *воспроизводимостью* полученных результатов и их *соответствием* современным представлениям физики твердого тела, физики активных диэлектриков, а также известным литературным данным.

Личный вклад соискателя состоит в том, что она лично получила все основные экспериментальные результаты, разработала измерительные стенды и методики измерения и обосновала выводы, отраженные в научных положениях, выносимых на защиту. Соискателем изготовлены экспериментальные образцы СПК, проведен анализ микро- и доменной структур, выполнены измерения комплексных электромеханических параметров СПК, характеризующихся

различными структурами и составами. Совместно с научным руководителем определена цель диссертации, сформулированы задачи, проведен анализ результатов и выводов, обсуждены научные положения, подготовлены совместные научные публикации и доклады на конференциях.

На заседании 17.04.2024 диссертационный совет отметил, что рассматриваемая диссертация соответствует критериям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет», и принял решение присудить Швецову Н. А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из которых 10 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета (дополнительных членов не вводилось), проголосовали: за – 18, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета
ЮФУ801.01.06 Тер-Оганесян Никита Валерьевич

Ученый секретарь диссертационного совета
ЮФУ801.01.06 Гегузина Галина Александровна

22.04.2024

