

## ОТЗЫВ

научного руководителя о соискателе **Швецовой** Наталье Александровне, представившей диссертацию «Анизотропия электромеханических свойств и нелинейные процессы в текстурированных и пористых сегнетопъезокерамиках на основе твердых растворов ниобата калия-натрия и цирконата-титаната свинца» по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния, к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Швецова Наталья Александровна в 1994 году окончила механико-математический факультет Ростовского государственного университета по специальности «Прикладная математика», а в 2023 году окончила очную аспирантуру Южного федерального университета (очное бюджетное обучение) по направлению 03.06.01 Физика и астрономия, по специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния. В научно-исследовательском институте физики Южного федерального университета работает с 1989 года, в настоящее время в должности научного сотрудника отделения сегнетопъезоматериалов, приборов и устройств.

С начала работы в отделении сегнетопъезоматериалов, приборов и устройств НИИ физики ЮФУ Швецова Н.А. проявила склонность к научно-исследовательской работе, победила в конкурсе «Старт» (ФАСИЕ) и руководила проектом «Разработка макетного образца ультразвукового модуля аппарата сверхзвуковой сдвиговой визуализации и диагностики», а также проектом Минобразования РФ «Обеспечение проведения научных исследований».

Кроме того, Швецова Н.А. принимала участие в следующих проектах НИР и НИОКР: «Исследование процессов комплексного синергетического воздействия физических факторов на биологические ткани» (Министерство образования и науки РФ); «Разработка и изготовление экспериментальных образцов ультразвукового преобразователя по варианту предложенной Заказчиком конструкции с пьезоэлектрическими элементами из кристаллического ниобата лития, высокотемпературной пьезокерамики на

основе титаната висмута и пьезокерамики на основе ЦТС» (Госкорпорация Росатом); «Особенности кристаллических систем с локальными нарушениями структуры на мезо- и наноразмерных масштабных уровнях, испытывающих последовательные структурные и магнитные фазовые переходы» (Министерство образования и науки РФ); «Разработка и экспериментальное обоснование технологии создания интерфейса мозг-мозг (ИММ) на основе биоэлектрической активности и неинвазивной обратимой стимуляции как принципиально нового канала коммуникации и управления» (Министерство образования и науки РФ совместно с ФПИ); «Разработка многофункционального медицинского комплекса для ультразвуковой диагностики и терапии новообразований молочной и щитовидной желез» (НИОКР в рамках реализации постановления Правительства Российской Федерации от 09 апреля 2010 г. № 218); «Разработка метода комплексной ультразвуковой диагностики и активации нефтеносных пластов для повышения эффективности добычи тяжелых нефтей» (Российский научный фонд); «Разработка системы ультразвуковой коагуляции и ультразвуковых преобразователей для автоматической манжеты остановки кровотечения» (Министерство обороны РФ).

Швецова Н.А. специализируется в области электрофизических, ультразвуковых и акустических измерений, технологии функциональных керамических материалов. Имеет опыт в разработке и изготовлении пьезокерамических элементов и ультразвуковых преобразователей, проведении расчетов и исследований акустических полей фокусирующих ультразвуковых преобразователей, конечно-элементном и конечно-разностном моделировании особенностей волновых процессов в сегнетоактивных и диссипативных средах, а также проведении измерений комплексных электрофизических параметров сегнетопьезокерамик различных составов и структуры.

Под моим руководством в период с 2016 по 2023 годы Швецова Наталья Александровна выполнила диссертационную работу «Анизотропия электромеханических свойств и нелинейные процессы в текстурированных и пористых сегнетопьезокерамиках (СПК) на основе твердых растворов ниобата

калия-натрия и цирконата-титаната свинца», целью которой являлось комплексное исследование электромеханических свойств и нелинейных процессов в текстурированных и пористых СПК на основе твердых растворов ниобата калия-натрия и цирконата-титаната свинца.

Швецовой Н.А. успешно проведены исследования кристаллической, микро- и доменной структуры, а также комплексных электромеханических характеристик горячепрессованных и пористых СПК на основе ниобата калия-натрия (КНН) и цирконата-титаната свинца (ЦТС), в результате которых установлены стохастические связи между микро- и мезоструктурными особенностями и комплексными электромеханическими характеристиками текстурированных и пористых СПК на основе КНН и ЦТС. Показано, что различия комплексных электромеханических параметров и их частотных зависимостей для различных срезов образцов текстурированной горячепрессованной пьезокерамики КННТ обусловлены наличием кристаллической текстуры, а именно преимущественной ориентацией пластинчатых кристаллитов, ось текстуры [101] которых параллельна оси давления при горячем прессовании, и особенностями доменной структуры кристаллитов. Получены полные наборы комплексных упругих, диэлектрических и пьезоэлектрических параметров бессвинцовой горячепрессованной СПК на основе КНН и пористой СПК на основе ЦТС, что является большой и трудоемкой работой.

В результате исследования частотных зависимостей комплексных электромеханических параметров горячепрессованных и пористых СПК на основе КНН и ЦТС обнаружены области аномальной упругой и электромеханической дисперсии. Показано, что причиной ее возникновения в СПК КННТ является кристаллическая текстура. Аномальная упругая и электромеханическая дисперсия пористой СПК на основе ЦТС обусловлена изменением соотношения масштаба пространственной неоднородности пористой пьезокерамики и длины волны резонансных колебаний полуволнового пьезоэлемента с увеличением частоты.

Выполненные Швецовой Н.А. прецизионные измерения позволили получить временные и полевые зависимости комплексных диэлектрических, упругих, пьезоэлектрических и электромеханических параметров СПК на основе ЦТС по результатам которых впервые определены физические механизмы, ответственные за релаксационные и переходные процессы, наблюдаемые в СПК на основе ЦТС при воздействии слабых постоянных электрических полей, а также выявлены особенности электромеханического гистерезиса и процессов переключения плотных и пористых СПК на основе ЦТС. Важным новым результатом является и то, что экспериментально наблюдаемый гистерезис полевых зависимостей, а также релаксационный характер временных зависимостей комплексных характеристик пьезокерамики на основе ЦТС при воздействии слабых постоянных электрических полей обусловлен главным образом обратимыми смещениями  $90^\circ$ -ых доменных стенок. Кроме того, проведенные исследования позволили установить, что пористая СПК на основе ЦТС демонстрирует высокие значения механической деформации при переключении поляризации, сравнимые с деформацией плотной СПК одинакового состава, что объясняется равенством величин обратного пьезомодуля  $d_{33}$  и большей упругой податливостью  $S_{33}^D$  пористой СПК, а именно мезоструктурными особенностями пьезокерамического каркаса.

По теме диссертации Швецовой Н.А. опубликовано 42 научные публикации, в том числе 34 статьи в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на многочисленных всероссийских и международных конференциях, симпозиумах и конгрессах, наименования которых приведены в автореферате диссертации. Особо следует отметить международные конференции: International symposium «Physics of Lead-Free Piezoactive and Relative Materials (LFPM)»; International Conference «Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications (PHENMA)»; International Symposium for Therapeutic Ultrasound (ISTU); Russia/CIS/Baltic/Japan Symposium on Ferroelectricity (RCBJSF); International Scientific Conference «2021 Radiation and

Scattering of Electromagnetic Waves» (RSEMW-2021). За свою публикационную активность Швецова Н.А. получила благодарность ректора ЮФУ.

Наталья Александровна целеустремленный ученый, проявляет инициативу, способна к обучению, самостоятельна, аккуратна, большинство экспериментальных результатов, представленных в диссертации, получены ею самостоятельно. Она успешно освоила новые экспериментальные методики исследования частотных зависимостей комплексных электромеханических параметров сегнетопьезокерамических материалов, а также методики исследования и анализа нелинейных, релаксационных и переходных явлений, происходящих в сегнетопьезокерамике под действием слабых постоянных электрических полей, основанные на анализе пьезорезонансных спектров. Эти навыки позволили ей установить физические механизмы, определяющие доменно-ориентационные, переходные и релаксационные процессы в слабых и сильных электрических полях.

Наталья Александровна награждена именной стипендией и дипломом Американского акустического общества за успехи в исследовании комплексных электромеханических характеристик керамических и композиционных сегнетоэлектриков, а также стипендиями Президента Российской Федерации, Правительства Российской Федерации и Губернатора Ростовской области, дипломами и сертификатами участника международных конференций, дипломом победителя программы «УМНИК» ФАСИЕ. Она является автором четырех патентов на изобретения РФ в области новых функциональных материалов, преобразователей и устройств на их основе.

Считаю, что представленная Швецовой Н.А. диссертация «Анизотропия электромеханических свойств и нелинейные процессы в текстурированных и пористых сегнетопьезокерамиках на основе твердых растворов ниобата калия-натрия и цирконата-титаната свинца» является завершенной научно-квалификационной работой, посвященной важным проблемам физики конденсированного состояния, в том числе задачам установления стохастических связей состав - структура - свойства для новых

сегнетоэлектрических материалов и проблемам практического применения разработанных и исследованных объектов, а сам соискатель достиг в ходе своей работы квалификации кандидата наук.

Диссертация Швецовой Н.А. удовлетворяет всем критериям, установленным в п. 2 «Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Южный федеральный университет", предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Швецова Наталья Александровна, несомненно заслуживает присуждения ей искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния.

25.12.2023

Рыбьянец Андрей Николаевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, заведующий отделением сегнетопьезоматериалов, приборов и устройств, ФГАОУ ВО "Южный федеральный университет", Научно-исследовательский институт физики, научный руководитель

Личную подпись Рыбьянца А.Н. удостоверяю:

Директор НИИ физики, д.ф.-м.н.

Вербенко Илья Александрович

25.12.2023

