

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации **Швецовой Натальи Александровны «Анизотропия электромеханических свойств и нелинейные процессы в текстурированных и пористых сегнетопъезокерамиках на основе твердых растворов ниобата калия-натрия и цирконата-титаната свинца»**, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности **1.3.8. Физика конденсированного состояния**

В последние годы требования к функциональным характеристикам пьезоэлектрических материалов значительно возросли. Новые монокристаллические, пьезокерамические и пьезокомпозитные материалы широко используются в качестве активных элементов исполнительных механизмов, гидрофонов, ультразвуковых преобразователей, а также устройств диагностики и неразрушающего контроля и в медицинской аппаратуре. В связи с растущими требованиями к электромеханическим свойствам функциональных материалов для современных пьезоэлектрических и ультразвуковых применений, наряду с повышенными эксплуатационными характеристиками (высокая прочность, устойчивость к механическим ударам), а также с возрастающим вниманием к экологическим проблемам, в настоящее время возрос интерес к бессвинцовым сегнетопъезокерамическим материалам, которые могли бы обладать такими же характеристиками, как и свинецсодержащие составы для высокотемпературных применений, а также в качестве исполнительных устройств и ультразвуковых преобразователей в пьезоэлектрических устройствах.

Изучение новых классов функциональных материалов и разработка технологических инструментов для создания новых материалов с контролируемыми свойствами, необходимыми для массового промышленного производства несомненно являются **актуальными** задачами для исследователей, изучающих новые функциональные материалы, и разработчиков пьезоэлектрических и ультразвуковых устройств.

В связи с этим, диссертация Швецовой Н.А., **целями** которой было установление стохастических связи между микро- и мезоструктурными особенностями и комплексными электромеханическими характеристиками текстурированных и пористых сегнетопъезокерамик на основе бессвинцовых композиций ниобата калия-натрия и цирконата-титаната свинца, выявление физических механизмов, определяющих характер полевых и временных зависимостей комплексных электромеханических характеристик сегнетопъезокерамик на основе цирконата

титаната свинца (ЦТС) под действием слабых постоянных электрических полей, а также определение особенностей электромеханического гистерезиса и процессов переключения плотных и пористых сегнетопъезокерамик на основе ЦТС представляется **своевременной** и **актуальной** как для физики конденсированного состояния, так и для развития технологии функциональных материалов и устройств.

В качестве объектов исследования были выбраны плотные и пористые пьезокерамики на основе твердых растворов ЦТС состава $\text{Pb}_{0.95}\text{Sr}_{0.05}\text{Ti}_{0.47}\text{Zr}_{0.53}\text{O}_3 + 1$ масс. % Nb_2O_5 , полученные методом обычного спекания и выжигания порообразователя, а также бессвинцовая сегнетопъезокерамика на основе твердых растворов КНН состава $(\text{Na}_{0.48}\text{K}_{0.52})(\text{Nb}_{0.9}\text{Ta}_{0.1})\text{O}_3 + 0.8$ масс. % $\text{CdO} + 0.5$ масс. % MgO , полученная методом горячего прессования. Данный выбор объектов позволил соискателю решать одновременно, как актуальные физические, так и прикладные задачи, связанные с разработкой новых методов исследования пьезоэлектрических материалов, особенностями их физических и электромеханических свойств, а также возможностью реализации полученных результатов в практических применениях.

В диссертации представлены результаты рентгеноструктурного анализа, исследования микро- и доменной структуры бессвинцовой сегнетопъезокерамики КНН, изготовленной методом горячего прессования, найдены величины ее комплексных диэлектрических, электромеханических, упругих параметров и их частотные зависимости, а также приведены результаты исследования микроструктуры пористой сегнетопъезокерамики ЦТС, определен полный набор ее комплексных диэлектрических, электромеханических, упругих параметров и их частотные зависимости. Выполнены исследования процессов переключения и релаксационных процессов в пористых и плотных сегнетопъезокерамиках системы ЦТС в слабых и сильных электрических полях.

Научная новизна основных результатов диссертационной работы

Полученные Швецовой Н.А. в диссертации результаты являются **новыми**. Автором изучена кристаллическая, микро- и доменная структуры плотных и пористых сегнетопъезокерамик на основе КНН и ЦТС с применением методов атомно-силовой и электронной микроскопии и выявлена кристаллическая текстура в образцах бессвинцовой пьезокерамики КНН с преимущественной ориентацией пластинчатых кристаллитов, ось $[101]$ которой параллельна оси давления при горячем прессовании, а также определены полные наборы комплексных диэлектрических, упругих и

электроmechanических параметров пьезоkerамики КНН, их частотные зависимости в диапазоне от 100 кГц до 70 МГц методом анализа пьезорезонансных спектров.

Выявлены зависимости комплексных диэлектрических, упругих и электроmechanических характеристик керамики системы ЦТС от пористости в интервале от 0% до 50% и получены частотные зависимости комплексных параметров плотной и пористой керамики системы ЦТС в диапазоне от 100 кГц до 20 МГц, а также обнаружены области аномальной дисперсии и определены физические механизмы, ответственные за аномальную дисперсию упругих и электроmechanических свойств пористой керамики на основе ЦТС и горячепрессованной керамики на основе КНН.

Разработан метод исследования временных и полевых зависимостей комплексных параметров сегнетопьезоkerамик при воздействии слабых электрических полей, основанный на анализе частотных зависимостей комплексного сопротивления экспериментальных образцов при пьезоэлектрическом резонансе, выполнены прецизионные измерения и получены временные и полевые зависимости комплексных диэлектрических, упругих, пьезоэлектрических и электроmechanических характеристик сегнетопьезоkerамик на основе ЦТС.

Определены физические механизмы, ответственные за релаксационные и переходные процессы, наблюдаемые в сегнетопьезоkerамиках на основе ЦТС при воздействии слабых постоянных электрических полей, выявлены особенности электроmechanического гистерезиса и процессов переключения плотных и пористых сегнетопьезоkerамик на основе ЦТС и установлены стохастические связи между микро- и мезоструктурными особенностями и комплексными электроmechanическими характеристиками текстурированных и пористых сегнетопьезоkerамик на основе КНН и ЦТС.

Практическая значимость диссертационной работы

Результаты диссертационной работы использованы автором при разработке, создании и применении новых типов функциональных материалов, преобразователей и устройств на основе пористых сегнетоэлектрических керamik системы цирконата титаната свинца, а также их бессвинцовых аналогов. Ряд результатов, полученных при выполнении данной диссертационной работы, может быть использован в научно-исследовательском и учебном процессах.

Надежность и достоверность результатов, полученных в диссертации, основана на использовании при выполнении экспериментов апробированных методов изготовления объектов исследования, контроля их доменной и микроструктуры,

современных программных средств и измерительной аппаратуры, а также согласием полученных результатов с современными теоретическими представлениями об особенностях микроструктуры, электромеханических свойств и нелинейных процессов в текстурированных и пористых сегнетопьезокерамиках.

Основные результаты диссертации были представлены на Международных и Всероссийских научных конференциях, симпозиумах и конгрессах.

По теме диссертации автором опубликовано 42 научных работы, 34 из которых опубликованы в рейтинговых изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science, в том числе 27 научных статей, 11 глав в коллективных монографиях и 4 патента на изобретения.

Тема, задачи и основные результаты диссертации соответствуют формуле специальности и пунктам 1 и 6 направлений исследования Паспорта специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Диссертация написана достаточно понятным языком, результаты проиллюстрированы и в целом доказаны. При всех достоинствах диссертационная работа не лишена некоторых **недостатков**:

1. Значения некоторых параметров пьезокерамики КННТ, приведенные в Таблицах 2.1 и 2.2 для перпендикулярного среза (стр. 66 и 67), отличаются от приведенных в Таблицах 2.3 и 2.4 (стр. 71 и 72) (например, $d_{33} = 140$ пКл/Н и 99,8 пКл/Н, соответственно).

2. На рисунках 3.18 - 3.22 (стр. 102 - 104) представлены зависимости от частоты комплексного коэффициента электромеханической связи k_t (а) и модуля упругости C_{33}^D (б) пьезокерамических дисков СПК системы ЦТС с различной пористостью. Количество экспериментальных точек для образцов с различной пористостью отличается, и на рис. 3.22 для пористости 37% приведены и аппроксимированы только 3 экспериментальные точки без каких-либо пояснений.

3. В тексте диссертации встречаются ошибки, стилистические неточности (например, «температурные зависимости свойств», «Способность сегнетоэлектриков изменять спонтанную поляризацию», «выравнивание доменов» и т.д.) и неуместные неологизмы типа «домены керамики пьезоэлектричны», что несколько затрудняет восприятие изложения.

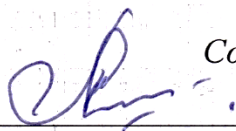
4. В списке работ автора необходимо указывать статьи на языке оригинала, а не их переводные версии, например, статьи в Technical Physics Letters и Bulletin of the

Russian Academy of Sciences: Physics – это переводные версии работ из отечественных журналов «Письма в Журнал Технической Физики» и «Известия РАН. Серия физическая».

Перечисленные выше замечания, часть из которых носит характер пожеланий, не снижают общей положительной оценки диссертации.

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, ее **основные результаты, выводы и научные положения** обладают **достоверностью, научной новизной и практической значимостью**. Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и соответствует требованиям, предусмотренным пунктами 2.3 и 2.4 действующего Положения о присуждении ученых степеней в Южном федеральном университете, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, **Швецова Наталья Александровна**, заслуживает присуждения ей искомой ученой степени **кандидата физико-математических наук** по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

28.03.2024



Согласен на обработку моих персональных данных:

Солнышкин Александр Валентинович,

доктор физико-математических наук

по специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния,

доцент, профессор кафедры физики конденсированного состояния

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»,

официальный оппонент.

Адрес места работы: 170100, Тверь, ул. Желябова, 33,

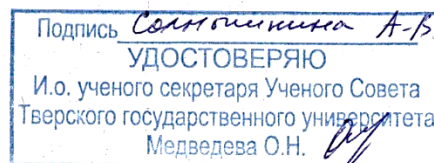
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»,

тел. + 7(4822) 58-53-20 (добавочный 108),

e-mail: Solnyshkin.AV@tversu.ru

Удостоверяю

Врио ректора



И.С.Н. Смирнов