

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и инновациям
ФГАОУ ВО «Белгородский
государственный
исследовательский
университет»
Иванов

«16»

ОТЗЫВ

ведущей организации –

федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» на диссертацию Попова Ивана Ивановича «Акустическая и диэлектрическая релаксация в твердых растворах титаната бария-стронция», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Изучение не полностью упорядоченных материалов в последние годы занимает одно из центральных мест в физике сегнетоэлектриков, так как помимо теоретического значения исследования таких материалов представляют интерес и для практического применения в различных областях современной техники. Особые свойства сегнетоэлектриков с релаксорным поведением и размытыми фазовыми переходами такие как гигантская электрострикция, большая диэлектрическая проницаемость, стеклоподобное поведение и др. выдвигает проблему их исследования в ряд первоочередных. В области размытого фазового перехода в релаксорах происходят интереснейшие процессы возникновения нано- и микронеоднородностей, их кинетики, взаимодействия между собой, приводящие к ряду особенностей в поведении физических свойств. И хотя сейчас в принципе понятно, каким образом характер межатомных и межмолекулярных сил определяет термодинамическое поведение веществ при фазовом переходе, необходимы, разумеется, разработки новых физических представлений, более адекватных действительности, чем используемые в идеализированных моделях. А для этого нужны широкие и тщательные экспериментальные исследования разных физических свойств, которые позволят устанавливать закономерности в классической триаде «состав–структура–свойства» и проверять новые идеи и модели для сегнетоэлектриков и, прежде всего, для релаксоров.

По этим причинам диссертация Попова И.И., посвященная исследованиям акустических и диэлектрических свойств некоторых смешанных перовскитов с различной степенью композиционного упорядочения катионов, а также установлению причин, механизмов и степени влияния разупорядочения на физические свойства релаксорных материалов, несомненно, является **актуальной** в области физики сегнетоэлектриков. Отметим, что тематика диссертации соответствует «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 (направление Н1 – «Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объёмов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта»), а сама работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания и Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 20-32-90148).

В работе привлекает внимание стройная последовательность поставленных автором научных задач, успешное решение которых было в большой степени предопределено удачным выбором в качестве объектов исследований твердых растворов на основе титаната бария, а также анализом и привлечением для интерпретации результатов многочисленных литературных источников и теоретических моделей.

Используя для проведения исследований акустические, диэлектрические и структурные методы, Попов И.И. **впервые** получил ряд новых интересных результатов, которые представлены в диссертации и отражены в научных положениях, выносимых на защиту. Особо следует отметить следующие достижения автора:

1. Неизовалентное замещение ионов Ba^{2+} и Sr^{2+} ионами Bi^{3+} в керамическом твёрдом растворе $Ba_{0,8}Sr_{0,2}TiO_3$, легированном висмутом, сопровождается размытием фазового перехода с кроссовером перехода в релаксорное состояние при концентрации висмута 6 ат. %, что подтверждается уплощением функции распределения времен релаксации, а также выполнением закона Фогеля-Фулчера и связывается с образованием кислородных вакансий для соблюдения принципа электрической нейтральности образца.

2. Анализ температурных зависимостей диэлектрической проницаемости ϵ в твёрдом растворе $Ba_{0,8}Sr_{0,2}TiO_3$, легированном висмутом, в рамках модели Исупова-Смоленского, а также модифицированного закона Кюри-Вейсса

(степенная зависимость) и статистической модели показал, что наилучшим образом размытый пик ϵ в релаксорном состоянии (т.е. при содержании висмута более 6 ат. %) описывается с помощью статистического моделирования.

3. Увеличение концентрации электронов проводимости при добавлении 0,2 масс. % La в твердый раствор $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$ приводит к экранированию поля заряженных дефектов, в результате чего из-за роста подвижности доменных границ происходит увеличение внутреннего трения в сегнетоэлектрической фазе. Уменьшение величины внутреннего трения вблизи температуры фазового перехода обусловлено закреплением межфазных и доменных стенок атомами лантана. Сделаны оценки силы взаимодействия доменных стенок с заряженными дефектами.

Структура диссертации соответствует логике исследования и включает в себя введение, четыре главы, заключение и список литературы из 129 наименований. Работа изложена на 114 страницах, содержит 55 рисунков и 1 таблицу.

Во введении достаточно квалифицированно обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, рассмотрены объекты исследования, показана научная новизна полученных результатов, их практическая и научная значимость, изложены основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации работы, публикациях, структуре и объеме диссертации.

В первой главе представлен литературный обзор по теме диссертации. Даны краткие сведения о ферроиках, приведены данные о кристаллической структуре и диэлектрических свойствах титаната бария, титаната стронция и твердых растворов на их основе. Рассмотрены основные модели, объясняющие возникновение релаксорного состояния в сегнетоэлектриках, приведены примеры и диэлектрические свойства сегнетоэлектрических релаксоров на основе титаната бария.

Во второй главе описаны способы получения и аттестации образцов и экспериментальные методы исследования их структуры, диэлектрических, упругих и неупругих свойств.

Основные результаты диссертации представлены в третьей и четвертой главах. В третьей главе рассматривается размытие фазового перехода при изовалентном замещении ионов Ba^{2+} ионами Sr^{2+} в твердом растворе $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ и неизовалентном замещении ионов Ba^{2+} и Sr^{2+} ионами Bi^{3+} в твердом растворе $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$. Установлено, что неизовалентное замещение сильнее по сравнению с изовалентным замещением размывает фазовый переход и уже при 6 ат. % Bi приводит к возникновению релаксорных свойств.

В четвертой главе представлены результаты по изучению низкочастотных диэлектрических и механических потерь вблизи точки Кюри в твердом растворе состава $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$. Исследовано влияние кинетики фазового преобразования, постоянного электрического поля, добавки атомов лантана на величину максимума потерь, проведено разделение вкладов флуктуационного и доменного механизмов в механические и диэлектрические потери.

Развиваемые в работе физические представления для объяснения аномалий внутреннего трения и диэлектрических свойств, установления связи между особенностями структуры и величинами параметров при фазовых переходах, уточнения модели размытия фазового перехода в сегнетоэлектрических релаксорах не вызывают принципиальных возражений.

Вместе с тем, диссертация не лишена недостатков, по которым можно высказать ряд замечаний:

1. Размытие фазового перехода и возникновение релаксорного состояния связывается автором с образованием кислородных вакансий при замещении двухвалентных ионов бария и стронция трехвалентными ионами висмута. Очевидно, что предложенную гипотезу, хотя она и наиболее вероятна, можно было бы подтвердить изменением концентрации кислородных вакансий, например, отжигом в восстановительной и окислительной средах.

2. Обсуждение результатов по измерению температурных зависимостей внутреннего трения в образце $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3 + 0,2$ масс. % La проведено недостаточно полно. Для объяснения изменения внутреннего трения используется модель взаимодействия доменных границ с точечными дефектами, которая лишь качественно объясняет полученные результаты. Изучаемые образцы являются поликристаллическими, поэтому на величину внутреннего трения также могут оказывать влияние межзеренные границы, что не учитывается выражениями (4.7) и (4.8).

3. К сожалению, в работе приведены результаты температурных измерений внутреннего трения только в образцах $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$ и $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3 + 0,2$ масс. % La. Было бы более наглядно провести исследования в некотором интервале значений концентраций La.

Однако отмеченные недостатки не уменьшают ценность работы и не влияют на основные выводы работы и защищаемые положения. Все выводы и положения, выносимые на защиту, обладают актуальностью и новизной, а личный вклад соискателя не вызывает сомнений. В целом диссертация Попова Ивана Ивановича выполнена на достаточно высоком уровне и является завершенной научно-исследовательской работой.

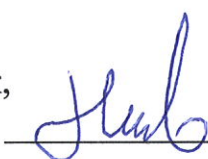
Полученные в диссертации результаты хорошо апробированы: они опубликованы в 4 статьях в научных журналах, рекомендованных ВАК и входящих в базы цитирования Web of Science и Scopus, и 7 тезисах докладов, а также обсуждались на 8 всероссийских и международных конференциях и семинарах.

Автореферат полностью соответствует содержанию и структуре диссертации, а также адекватно отражает полученные в работе результаты.

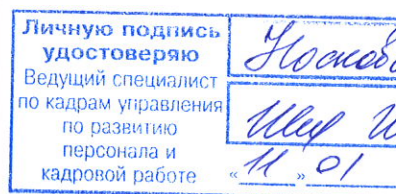
На основании изложенного считаем, что диссертация Попова Ивана Ивановича соответствует паспорту специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния и требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, в том числе п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», 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.

Диссертация соискателя и отзыв на нее были заслушаны и обсуждены на заседании кафедры теоретической и экспериментальной физики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ») 11 января 2023 г., протокол № 7.

Заведующий кафедрой
теоретической и экспериментальной
физики ФГАОУ ВО «Белгородский
государственный национальный
исследовательский университет»,
доктор физико-математических наук,
доцент


Носков Антон Валерьевич

11.01.2023г.



Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

Почтовый адрес организации: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

Телефон организации: +7 (4722) 30-12-11

Веб-сайт: www.bsuedu.ru

E-mail: Info@bsu.edu.ru