

## **Отзыв официального оппонента**

на диссертационную работу **Гимадеевой Любови Вячеславовны** «Исследование эволюции доменной структуры при переключении поляризации и фазовых переходах в сегнетоэлектрической керамике титаната бария», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

### **Актуальность темы исследования**

Диссертация Любови Вячеславовны Гимадеевой посвящена исследованию особенностей эволюции доменной структуры при переключении поляризации и фазовых переходах в сегнетоэлектрической керамике титаната бария. Исследование эволюции доменной структуры сегнетоэлектриков при внешних воздействиях, определяющей макроструктуру материала, является важной фундаментальной задачей физики конденсированного состояния.

Получение новой информации о формировании и изменении доменной структуры в отдельных зернах сегнетоэлектрической керамики и выявление ее взаимосвязи с макроскопическими диэлектрическими и пьезоэлектрическими характеристиками может быть использовано при создании современных пьезоэлектрических устройств - актюаторов, генераторов напряжения, пьезодатчиков, устройств сбора и накопления электрической энергии, что делает тему диссертации практически значимой и актуальной.

### **Структура и содержание работы**

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка цитируемой литературы (133 ссылки). Общий объем диссертационной работы составляет 103 страницы, включая 56 рисунков и 2 таблицы.

**Первая глава** является обзорной. В ней представлена достаточно полная информация об основных понятиях и определениях, используемых в физике сегнетоэлектриков, свойствах исследуемого в работе объекта - титаната бария, рассмотрено современное состояние исследований процессов переключения и эволюции сегнетоэлектрической доменной структуры во внешнем электрическом поле. Приведен обзор современных методов исследования доменной структуры сегнетоэлектриков.

**Вторая глава** является методической и содержит описание основных характеристик исследуемых образцов, описание экспериментальных установок и методик измерения. В главе также описана разработанная автором в ходе исследования улучшенная методика измерения величины латерального пьезоэлектрического отклика при помощи силовой микроскопии пьезоэлектрического отклика с учётом чувствительности кантилевера.

**Третья глава** посвящена экспериментальному исследованию эволюции доменной структуры при переключении поляризации в отдельных зернах керамики титаната бария в однородном электрическом поле методом силовой микроскопии пьезоэлектрического отклика. На основании полученных результатов выделены три основных стадии эволюции доменной структуры: (1) изменение ориентации двойников под действием механических напряжений, возникающих вследствие обратного пьезоэлектрического эффекта, приводящих к деформации керамики; (2) движение  $180^\circ$ -ных доменных стенок, сопровождаемое движением отличных от  $180^\circ$ -ных доменных стенок, компенсирующих возникающие механические напряжения; (3) движение отличных от  $180^\circ$ -ных доменных стенок, приводящее к уменьшению ширины двойников.

**Четвертая глава** посвящена исследованию локального переключения поляризации с помощью зонда сканирующего зондового микроскопа в монокристаллах и керамике титаната бария, находящихся в тетрагональной фазе.

Установлено, что при переключении в *c*-доменах в монокристалле титаната бария наблюдались образование и рост доменов круглой формы, в то время как в *a*-доменах образуются домены иглообразной формы с заряженными доменными стенками.

На основе полученных результатов сделаны следующие основные выводы:

(1) самопроизвольное обратное переключение, приводящее к быстрой релаксации больших доменов, возникающих при сканировании отрицательным напряжением в кристалле ВТО, вызвано наличием большого поля смещения;

(2) более низкие значения полей активации и смещения в керамике, по сравнению с кристаллом, можно объяснить меньшей толщиной зерен, что делает возможным рост сквозных доменов в керамике и конических доменов с заряженными стенками в кристалле.

**Пятая глава** посвящена исследованию эволюции доменной структуры при сегнетоэлектрическом фазовом переходе без поля и при приложении электрического поля. Установлено, что наблюдаемый выше температуры сегнетоэлектрического фазового перехода контраст СМПО-сигнала связан с пьезоэлектрическим эффектом от остаточных областей полярной фазы, создаваемых зарядами объемного экранирования, локализованными на макроскопических дефектах и границах зерен. Показано также, что эффективная ориентация поляризации в керамике при медленном охлаждении в однородном электрическом поле обусловлена выполнением условий для компенсации возникающих механических напряжений и пироэлектрических полей.

Материалы глав 3 - 5 полностью оригинальны. В заключении четко изложены основные выводы, сделанные на основании результатов исследования.

**Степень обоснованности, достоверности, научная новизна, практическая и теоретическая значимость положений и выводов, сформулированных в диссертации**

Научные положения автора, вынесенные на защиту, являются обоснованными, их достоверность подтверждается применением поверенных и калиброванных средств измерений, аттестованных методик измерений, надежной статистикой экспериментов, применением современных и независимых методов обработки экспериментальных данных. Основные результаты, положенные в основы положений, выносимых на защиту опубликованы в рецензируемых научных журналах, входящих в списки Web of Science и Scopus.

Экспериментальные данные согласованы между собой и не противоречат общепризнанным физическим моделям. Полученные закономерности формирования и эволюции доменных структур и механизмы взаимодействия доменов при локальном переключении поляризации представляют практический интерес для дальнейшего развития методов улучшения пьезоэлектрических и диэлектрических характеристик сегнетоэлектрической керамики.

Фундаментальная значимость проведенного исследования заключается в развитии представлений о стадиях эволюции сегнетоэлектрической доменной структуры в поликристаллических материалах при переключении поляризации в электрическом поле. Полученные автором результаты являются новыми и имеют несомненное значение для развития физики конденсированного состояния и ее приложений. Сделанные выводы полны, логичны и адекватны.

### **Недостатки в содержании и оформлении диссертации**

1. В тексте автореферата и диссертации отсутствуют ссылки на работы автора, что существенно затрудняет определение, где именно опубликованы основные результаты диссертационной работы.

2. В разделе 4.2, где рассматривается локальное переключение в керамике титаната бария, приведены только изображения доменной структуры, сформированной в зернах, в которых спонтанная поляризация ориентирована преимущественно вне плоскости (Рис. 4.7а). Аналогичные результаты желательно было бы привести для описанных в тексте работы зерен с другими ориентациями поляризации (Таблица 1).

3. В выводах не отмечена несомненно значимая разработка улучшенной методики измерения латерального пьезоэлектрического отклика с учетом чувствительности кантилевера, описанная в разделе 2.2.

### **Заключение по диссертации**

Приведенные замечания не затрагивают содержание положений, выносимых на защиту, а также основные результаты и выводы работы и не снижают благоприятного впечатления от представленной к защите работы.

В целом диссертационная работа Гимадеевой Любови Вячеславовны «Исследование эволюции доменной структуры при переключении поляризации и фазовых переходах в сегнетоэлектрической керамике титаната бария» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, обладающую несомненной научной и практической значимостью.

Содержание диссертации соответствует научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Работа отвечает критериям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Гимадеева Любовь Вячеславовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Рыбьянец Андрей Николаевич,

доктор физико-математических наук,

Южный федеральный университет,

главный научный сотрудник

отделения сегнетопьезоматериалов, приборов и устройств



Научно-исследовательского института физики

Адрес: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194

Телефон: +7 918 8903901

Факс: + 8 863 2975072

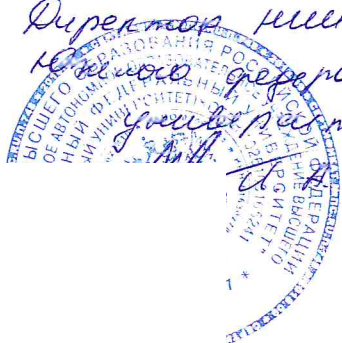
Электронная почта: anrybyanets@sfedu.ru

/Рыбьянец А.Н./

«25» сентября 2023 г.

Подпись Рыбьянца А.Н.  
удостоверяю

Директор ИИИ Физики  
Южного федерального  
университета  
  
А.Н. Рыбьянец