Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу **Грешнякова Евгения Дмитриевича**
«Исходная доменная структура и ее эволюция при переключении поляризации в монокристаллах ниобата лития и танталата лития с отклонением от стехиометрического состава»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.8. *Физика конденсированного состояния*

Диссертация Евгения Дмитриевича Грешнякова посвящена исследованию влияния пространственной неоднородности состава кристаллов ниобата и танталата лития на формирование их доменной структуры и процессы ее переключения. Актуальность работы проистекает, с одной стороны, из большого количества промышленных применений исследуемых кристаллов: микроэлектроника, нелинейная оптика, различные пиро- и пьезо-преобразователи, с другой стороны, из возможности использования полученных экспериментальных данных для развития теоретических представлений о механизмах и формах эволюции доменных структур сегнетоэлектрических кристаллов и теории фазовых переходов первого рода.

Безусловным достоинством диссертационной работы является согласование в рамках единого исследования методов характеризации сегнетоэлектрических материалов с технологическими процессами подготовки кристаллических образцов, а также изготовления действующего прототипа устройства, демонстрирующего применение обнаруженных в работе свойств доменной структуры кристаллов.

Разнообразие использованных автором методик позволяет говорить о достоверности всех полученных в диссертационной работе результатов и обоснованности сделанных в ней выводов и заключений.

Диссертационная работа состоит из введения, семи основных глав, которые последовательно раскрывают логику проведенного исследования, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы. Общий объем работы составляет 110 страниц, включая 63 рисунка, 4 таблицы, список литературы из 138 наименований. Каждая глава завершается краткими выводами, основные выводы и перспективы развития темы исследования содержатся в заключении. После списка литературы приведен список публикаций автора по теме диссертации.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, ее научная новизна, практическая и теоретическая значимость, перечислены методы исследования, указан личный вклад автора, степень достоверности, апробация работы и представлены положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** представлен обзор литературы. В ней приведены основные определения и понятия физики сегнетоэлектриков, обсуждаются современные представления о формировании и эволюции доменных структур во внешнем электрическом поле и механизмах его экранирования. Описаны основные физические свойства и особенности доменной структуры исследуемых материалов — одноосных сегнетоэлектриков ниобата и танталата лития конгруэнтного и стехиометрического состава. Рассмотрены основные современные методы визуализации доменной структуры на поверхности и в объеме сегнетоэлектриков. Тщательный анализ приведенных литературных данных позволяет автору сформулировать основные задачи исследования.

Вторая глава является методической. Она содержит основные характеристики исследуемых образцов, описание экспериментальных установок и методик, среди которых сканирующая зондовая микроскопия пьезоэлектрического

отклика, сканирующая электронная микроскопия, конфокальная микроскопия комбинационного рассеяния света и микроскопия генерации второй гармоники излучения Вавилова–Черенкова.

Третья глава посвящена исследованию заряженных доменных стенок, образующихся при фазовом переходе в ниобате лития с градиентами состава. Было установлено, что 1) исходная доменная структура монокристаллов ниобата лития с градиентами состава содержит заряженные доменные стенки, образующиеся в месте смены знака градиента; 2) при охлаждении из параэлектрической фазы до комнатной температуры, заряженные доменные стенки в ниобате лития не изменяют своей формы под действием пироэлектрического поля; 3) шероховатость заряженных доменных стенок определяется величиной изменения градиента состава в области локализации стенки; 4) анализ формы изолированных доменов показал наличие двух типов доменов: (1) растущих с поверхности и имеющих ограненную форму, (2) выступов с заряженной доменной стенки, растущих к поверхности и обладающих цилиндрической формой.

Четвертая глава посвящена исследованию исходной доменной структуры, образующейся при фазовом переходе и изменяющейся при последующем охлаждении в танталате лития с градиентами состава. Было установлено, что 1) в областях с однородным отклонением от стехиометрического состава образуется полидоменная структура; 2) наличие градиентов состава приводит к образованию монодоменных слоев, в которых знак градиента определяет направление спонтанной поляризации, в месте смены знака градиента образуется заряженная доменная стенка; 3) форма заряженной доменной стенки изменяется в результате роста выступов под действием пироэлектрического поля; 4) изменение формы

сечений доменов от шестиугольной к треугольной определяется изменением отклонения состава от стехиометрического с глубиной.

В **пятой главе** приведены результаты экспериментального исследования перестройки исходной доменной структуры в танталате лития с полидоменным слоем и с заряженной доменной стенкой при приложении внешнего переменного и постоянного электрического полей. При этом выявлены: 1) образование и рост к полярной поверхности выступов на заряженной доменной стенке во внешнем электрическом поле; 2) основные этапы эволюции исходной доменной структуры при переключении поляризации во внешнем постоянном поле; 3) процесс формирования и распада лабиринтовой доменной структуры при переключении во внешнем электрическом поле; 4) что исходная доменная структура полностью распадается, образуются монодоменные области при повторном переключении поляризации.

Шестая глава посвящена изучению переключения поляризации в зависимости от состава на неполярном срезе ниобата лития. В результате проведенного исследования 1) получена зависимость роста клиновидных доменов от приложенного напряжения при локальном переключении в широком диапазоне составов от конгруэнтного до стехиометрического; 2) выявлена линейная зависимость длины доменов от приложенного напряжения в широком диапазоне составов; 3) выявлена корневая зависимость ширины основания доменов от приложенного напряжения в широком диапазоне составов; 4) выявлена логарифмическая зависимость ширины доменов от длительности приложенного напряжения в широком диапазоне составов; 5) показано, что размеры доменов при локальном переключении поляризации обратно пропорционально зависят от отклонения от стехиометрического состава; 6) показано, что средняя длина

элементарных ступеней убывает при увеличении отклонения от стехиометрического состава.

В **седьмой главе** обсуждаются электромеханические характеристики бидоменных актюаторов, созданных из пластин с заряженной доменной стенкой и изготовленных термодиффузионным сращиванием монодоменных пластин. У созданного в работе бидоменного актюатора, созданного по оригинальной методике термодиффузионного сращивания монодоменных пластин установлена линейная зависимость и отсутствие гистерезиса отклонения свободного конца актюатора от приложенного напряжения; показано отсутствие эффекта усталости к циклическим нагрузкам; выявлено сохранение характеристик после температурных воздействий от -196°C до 600°C.

В **заключении** ясно сформулированы основные результаты, полученные при выполнении диссертационной работы. Список литературы содержит обширную библиографию, касающуюся затронутых в диссертации вопросов. Ознакомление с диссертационной работой Грешнякова Е.Д. оставляет после себя весьма благоприятное впечатление. Стилистика автора делает текст интересным и понятным. У меня не возникло сколько-нибудь существенных замечаний к тексту диссертационной работы.

Таким образом, диссертационная работа Грешнякова Евгения Дмитриевича «Исходная доменная структура и ее эволюция при переключении поляризации в монокристаллах ниобата лития и танталата лития с отклонением от стехиометрического состава» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, содержание которой соответствует научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию и отражает полученные результаты.

Работа отвечает критериям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор **Грешняков Евгений Дмитриевич** заслуживает присуждения ученой степени физико-математических наук по специальности 1.3.8.*Физика конденсированного состояния*.

Илья Владимирович Шнайдштейн – к.ф.-м.н., доцент кафедры общей физики и физики конденсированного состояния физического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Раб. телефон: +7(495)939-11-28

Электронный адрес: shnaidshtein@physics.msu.ru

Адрес организации: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ имени М.В.Ломоносова, дом 1, строение 2, Физический факультет

И.В. Шнайдштейн, 15 сентября 2022 г.

Подпись Шнайдштейна И.В.

Заверяю

Декан физического факу

МГУ имени М.В. Ломоно

д.ф-м.н., профессор Сысоев Н.Н.