

### Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу **Аликина Юрия Михайловича** «Исследование кинетики доменной структуры сегнетоэлектриков при переключении поляризации в неоднородном электрическом поле», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Работа Аликина Юрия Михайловича посвящена изучению кинетики доменной структуры сегнетоэлектриков при переключении поляризации в неоднородном электрическом поле. Наиболее успешно доменная инженерия используется для изготовления электрооптических и нелинейно-оптических устройств, таких как преобразователи частоты лазерного излучения с рекордной эффективностью на основе периодически поляризованных кристаллов, преимущественно семейства ниобата лития. В работе исследовалось формирование нанодоменных структур при локальном переключении поляризации на неполярном срезе одноосного сегнетоэлектрика ниобата лития, легированного оксидом магния и многоосного сегнетоэлектрика магнониобата-титаната свинца. Впервые выявлен эффект релаксации клиновидных доменов с заряженными доменными стенками, созданных при локальном переключении на неполярных срезах ниобата лития. Изучено формирование доменной структуры, состоящей из *a*- и *c*-доменов, при локальном переключении поляризации на (111) срезе магнониобата-титаната свинца в ромбоэдрической фазе. Однако эволюция сложной доменной структуры, состоящей из сегнетоэлектрических и сегнетоэластических доменов, не исследовалась современными методами с высоким пространственным разрешением, что и обеспечивает **актуальность** данной работы.

#### Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка цитируемой литературы, со-

стоящего из 133 библиографических ссылок. Общий объем диссертации составляет 105 страниц, содержит 62 рисунка и одну таблицу. Общие выводы и перспективы дальнейшей разработки темы представлены в заключении.

В первой главе представлено современное состояние исследований процессов переключения и эволюции сегнетоэлектрической доменной структуры во внешнем электрическом поле, обсуждаются современные представления о роли различных механизмов экранирования. Описаны физические свойства и особенности доменной структуры монокристаллов семейства ниобата лития и магнониобата-титаната свинца. Приведен обзор современных методов визуализации доменной структуры сегнетоэлектриков на поверхности и в объеме и основных тенденций доменной инженерии.

Вторая глава является методической и содержит основные характеристики исследуемых образцов, описание экспериментальных установок и методик. Исследование доменной структуры и переключение поляризации производилось на неполярном Y срезе конгруэнтного ниобата лития  $\text{LiNbO}_3$  (CLN), легированного 5% оксидом магния (MgOCLN) и (111) срезе магнониобата-титаната свинца (PMN-PT) находящимся в ромбоэдрической фазе при комнатной температуре.

Третья глава посвящена исследованию роста доменов с заряженными доменными стенками при локальном переключении поляризации на неполярных срезах MgOCLN.

В неполярном срезе конгруэнтного ниобата лития были продемонстрированы закономерности роста клиновидных доменов при локальном переключении поляризации. Выявлена зависимость отклонения заряженных доменных стенок клиновидных доменов от полярного направления от амплитуды и количества переключающих импульсов. Созданы статические регулярные доменные структуры с периодом 0,75 мкм и коэффициентом заполнения 0,5 локальным переключением двумя импульсами различной полярности. Впервые изучен рост



изолированного домена от точки приложения отрицательного импульса к заземленному полосовому электроду и выявлены стадии процесса.

Четвертая глава посвящена исследованию обратного переключения клиновидных доменов с заряженными доменными стенками.

В неполярном срезе конгруэнтного ниобата лития впервые изучен и объяснен эффект частичного обратного переключения доменов с заряженными доменными стенками в результате визуализации доменов методом силовой микроскопии пьезоэлектрического отклика, и предложены пути его уменьшения. Рассмотрен процесс формирования мениска адсорбированной воды на зонде сканирующего зондового микроскопа, измерены зависимости формы доменов в условиях высокой влажности.

Пятая глава посвящена исследованию закономерностей формирования самоорганизованных доменных структур при локальном переключении в монокристаллах многоосного сегнетоэлектрика магнониобата-титаната свинца в ромбоэдрической фазе.

Изучены особенности формирования доменной структуры, состоящей из *a*- и *c*-доменов, при локальном переключении поляризации на (111) срезе PMN-PT в ромбоэдрической фазе. Установлено, что при увеличении влажности вблизи точки приложения напряжения растет *c*-домен, что сопровождается исчезновением *a*-доменов. Рассмотрен процесс самопроизвольного роста доменов после завершения локального переключения поляризации.

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

Научные положения автора, вынесенные на защиту, достаточно обоснованы, их достоверность подтверждается рядом публикаций в рецензируемых научных журналах, входящих в списки Web of Science и Scopus. Экспериментальные данные согласованы между собой и не противоречат общепризнанным фи-

зическим моделям. Научная новизна данного исследования заключается в том, что были получены новые данные об эволюции доменной структуры и росте заряженных доменных стенок в контролируемых сильнонеравновесных условиях в двух модельных системах: (1) одноосном сегнетоэлектрике MgOCLN при локальном переключении на неполярном срезе и (2) многоосном сегнетоэлектрике PMN-PT.

В качестве одного из наиболее интересных результатов надо отметить обнаруженное неожиданное изменение формы доменов при последовательном приложении серии импульсов с одинаковым напряжением и длительностью: после каждого импульса ширина основания существенно растет, а длина изменяется незначительно. Также неожиданными и оригинальными являются результаты исследования процессов слияния встречно растущих клиновидных доменов при переключении поляризации импульсами различной полярности, приводящих к формированию полосового домена с нейтральными стенками. Несомненно, интересна предложенная модель, описывающая зависимость от длительности приложения поля размеров доменов, растущих при локальном переключении в одноосных сегнетоэлектриках, основанная на учете влияния запаздывания экранирования деполяризующего поля. Очевидное прикладное значение имеет предложенная методика формирования стабильной регулярной доменной структуры, а также результаты исследований влияния обработки поверхности и влажности воздуха на процессы формирования и трансформации доменных структур. Важное методическое значение имеет обнаруженный факт влияния зонда атомно-силового микроскопа на доменную структуру кристалла при определенных условиях. В целом можно заключить, что полученные автором результаты являются новыми и имеют важное значение для физики конденсированного состояния и ее приложений. Сделанные выводы вполне обоснованы, логичны и адекватны.



## Вопросы и недостатки в содержании и оформлении диссертации

1. При формулировке научной новизны работы в целом «потерялось» обнаруженное неожиданное изменение формы доменов при последовательном приложении серии импульсов с одинаковым напряжением и длительностью, хотя этот результат отмечен в выводах главы.
2. В описании получения регулярных доменных структур предложенным методом (стр. 56) отмечено, что удалось получить структуру, «с периодом 0.75 мкм,.. которая является оптимальной для преобразования длины волны излучения в периодически поляризованных кристаллах». Но оптимальный период регулярной структуры зависит от типа преобразования, от длины когерентности этого преобразования в данной активной среде. Тут надо было бы более подробно указать, о каком именно преобразовании идет речь.
3. Чисто оформительские замечания: было бы неплохо подписи к рисункам сделать или другим шрифтом, или изменить интервал между строк – как-то отделить их от основного текста. И проследить, чтобы подписи к рисункам не «перебежали» на другую страницу от рисунка (стр. 50, 51–52, 54–55 и др.).
4. В формулах (1.3), (1.4) (стр. 23) неожиданно поменялся шрифт; надо предполагать, что разными шрифтами обозначены одни и те же переменные.
5. В целом текст написан хорошим стилем, однако имеются отдельные стилистические огрехи, например, на стр. 25 «...полевые и временные зависимости размеров доменов, разные авторы существенно отличаются».

Очевидно, сделанные замечания не затрагивают защищаемые положения, результаты и выводы работы, ни в коей мере не снижают общего благоприятного впечатления.

## Заключение по диссертации

В целом диссертационная работа Аликина Юрия Михайловича «Исследование кинетики доменной структуры сегнетоэлектриков при переключении поляризации в неоднородном электрическом поле» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу. Замеченные недостатки не умаляют ее общей научной значимости.

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 диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Аликин Юрий Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Втюрин Александр Николаевич,

доктор физико-математических наук,  
Институт физики им. Л.В. Киренского

Сибирского отделения Российской академии наук  
– обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН,  
главный научный сотрудник.

Адрес: 660036, Красноярск, Академгородок, 50, стр. 38

Телефон: +7(391-2) 43-26-35, +7 908 200-4440

Адрес электронной почты: vtyurin@iph.krasn.ru

\_\_\_\_\_ /Втюрин А. Н./ «08» 09 2023 г.

Подпись А. Н. Втюрина заверяю:  
Ученый секретарь ИФ СО РАН

К.Ф. - И.И.

*[Handwritten signature]*



Злотников А. О.