

ОТЗЫВ

официального оппонента, ведущего научного сотрудника Института физики микроструктур РАН, д.ф.-м.н. В.Л.Миронова на диссертационную работу Турыгина Антона Павловича «Эволюция доменной структуры сегнетоэлектриков при локальном переключении поляризации и эффекты самоорганизации», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа А.П.Турыгина посвящена исследованиям процессов формирования доменных структур в сегнетоэлектрических материалах при локальном переключении поляризации полем зонда сканирующего зондового микроскопа. Актуальность данной работы обусловлена, во-первых, важностью объектов исследований – особенности доменной структуры сегнетоэлектрических кристаллов и керамик интенсивно изучаются многими группами в мире, усилия которых сконцентрированы как на изучении фундаментальных аспектов динамики доменов в сегнетоэлектриках, так и на практических приложениях при разработке систем хранения информации; во-вторых, новизной и перспективностью методов, применяемых для исследования. Методы сканирующей зондовой микроскопии, такие как атомно-силовая микроскопия (АСМ) в различной модификации, а также силовая микроскопия пьезоэлектрического отклика (МПО) в различных вариантах, широко используются для изучения особенностей морфологии поверхности и доменной структуры сегнетоэлектриков. С этой точки зрения, исследования, предпринятые в диссертационной работе А.П.Турыгина, безусловно, являются важными и актуальными.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав и заключения.

Во введении сформулированы цели и задачи диссертационной работы, обоснованы актуальность темы, выбранной для исследования, научная новизна работы и ее практическая значимость, а также приводятся положения, выносимые на защиту. Приведены сведения об апробации работы и личном вкладе автора.

В первой главе дан обзор литературы по основным проблемам, затронутым в диссертации. В ней представлены основные свойства сегнетоэлектриков, современные представления о процессах переключения поляризации, кинетике доменной структуры и методах визуализации сегнетоэлектрических доменов. Подробно описано использование методов сканирующей зондовой микроскопии при исследовании сегнетоэлектриков. Приведены основные физические параметры и особенности доменной структуры исследованных материалов.

Во второй главе приведены характеристики исследуемых образцов, описаны используемое экспериментальное оборудование и методики измерений.

В третьей главе приведены результаты исследований переключения поляризации на неполярных срезах кристаллов ниобата лития под действием импульсного электрического поля зонда АСМ. Обсуждаются особенности формирования аномально длинных доменов на Y срезе ниобата лития, легированного магнием.

Четвёртая глава посвящена исследованию эффектов взаимодействия изолированных доменов на неполярном срезе. Проведены эксперименты по формированию рядов доменов зондом АСМ с разным расстоянием между точками приложения импульсного поля. Было выявлено три режима чередования длин доменов в ряду: равномерный, квазипериодический и хаотический, была построена фазовая диаграмма реализации различных режимов в зависимости от амплитуды импульсов напряжения и расстояния между доменами.

Пятая глава посвящена исследованию явления самоорганизации доменных структур на неполярном срезе ниобата лития при сканировании вдоль линии зондом АСМ с постоянным приложенным напряжением и при сканировании заземлённым зондом вблизи ранее созданного домена. Выявлены режимы формирования различных периодических доменных структур с чередованием длин доменов в ряду. Проведено моделирование процессов генерации и взаимодействия доменов, позволившее объяснить полученные результаты.

В шестой главе представлены результаты исследования доменной структуры ряда сегнетоэлектрических керамик. Изучено влияние легирования

на их доменную структуру. Исследованы особенности локального переключения поляризации в отдельных зернах керамик.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Наиболее важными результатами диссертации А.П.Турыгина являются следующие:

1. Проведены экспериментальные исследования переключения поляризации на неполярных срезах кристаллов ниобата лития под действием импульсного электрического поля, создаваемого зондом АСМ. На Y срезе ниобата лития, легированного магнием, обнаружено формирование аномально длинных доменов, многократно превышающих пространственный масштаб переключающего поля зонда.

2. Экспериментально исследованы эффекты взаимодействия доменных стенок в рядах доменов, сформированных зондом АСМ в нескольких режимах: а) при подаче импульсного напряжения в периодически расположенных вдоль линии точках поверхности; б) при приложении постоянного напряжения и сканирования с постоянной скоростью вдоль линии на поверхности; в) при сканировании заземленным зондом вблизи предварительно сформированного одиночного домена. Показано, что взаимодействие приводит к формированию самоорганизованных пространственных доменных структур с различными, периодически меняющимися длинами доменов. Эти явления подтверждены моделированием процессов генерации и роста доменов с учетом электростатического взаимодействия доменов с заряженными доменными стенками.

3. Проведены исследования доменной структуры ряда сегнетоэлектрических керамик и изучено влияние легирования образцов различными легирующими примесями на доменную структуру. Исследованы особенности локального переключения поляризации в отдельных зернах керамик зондом АСМ. Установлена нетривиальная зависимость скорости роста домена от среднего значения поля зонда на доменной стенке, демонстрирующая тот факт, что кинетика доменной стенки представляет собой активационный процесс.

Результаты диссертации А.П.Турыгина являются новыми, достоверными и имеют несомненную научную и практическую значимость. Достоверность полученных результатов подтверждается применением современных методов исследований локальных свойств сегнетоэлектрических материалов,

согласием с результатами других авторов и непротиворечивостью известным физическим представлениям.

Однако можно сделать несколько критических замечаний.

1. В тексте диссертации и в автореферате нет ссылок на работы автора. Это существенно затрудняет определение, где именно опубликованы основные результаты диссертационной работы.

2. В третьей главе рассматривается процесс переключения поляризации на неполярном Y срезе ниобата лития и отмечается аномально большая длина растущих доменов, в несколько раз превышающая область поля зонда, в которой значение амплитуды поля превосходит порог переключения. Это объясняется влиянием заряженных доменных стенок на кинетику переключения поляризации. Однако конкретно этот механизм не рассмотрен, что вызывает много вопросов, требующих обсуждения.

а) Не понятно как происходит генерация каждого следующего домена в поле зонда и как конкретно заряд стенок влияет на переполаризацию доменов?

Кроме того, в главе 4 утверждается, что при приложении импульса переключающего напряжения образец приобретает объемный заряд, который распространяется на область диаметром порядка 20 мкм от точки приложения зонда. Почему этот заряд не учитывается при объяснении аномально большого роста домена?

С другой стороны, как известно, на кинетику переключения поляризации большое влияние оказывает адсорбированный слой на поверхности кристалла (см. работу V.Ya. Shur, A.V. Ievlev, E.V. Nikolaeva, E.I. Shishkin, M.M. Neradovskiy, Influence of Adsorbed Surface Layer on Domain Growth in the Field Produced by Conductive Tip of Scanning Probe Microscope in Lithium Niobat. // J. Appl. Phys., 110(5) 052017(2011)), однако данный аспект при объяснении аномального роста доменов в диссертации почему-то не рассматривается.

На рисунке 3.3 домен имеет сложную форму. Передняя часть (приблизительно половина) представляет собой клиновидный домен. Затем следует домен прямоугольной формы. Кроме того, на рисунке 3.6 приведено изображение домена (также длиной 40 мкм) у которого форма имеет

утолщение в середине. Т.е. происходит распространение доменов в перпендикулярном направлении?

б) Чем лимитируется процесс переключения?

В тексте утверждается, что максимальная длина домена достигала 30 мкм (хотя на рисунке 3.3 приведен домен длиной 40 мкм). Однако на рисунках 3.4 измерения проведены только до длин менее 2,5 мкм. Какова зависимость длины домена от напряжения на больших временах переключения? Есть ли там насыщение?

3. Диссертация содержит большое число описок, опечаток, несогласованных предложений и ошибок. В качестве примера, приведу лишь небольшой отрывок текста на стр. 59:

« На основе результатов, полученных локальном переключении поляризации на неполярных срезах CLN и MgO:LN можно сделать следующие краткие выводы:

1. При переключении на неполярном срезе LN происходит формирование клиновидных доменов, вытянутых в полярной направлении.
2. В тонких кристаллах CLN было выявлено, что локальное поляризации на X- и Y-неполярных срезах демонстрирует существенное отличие от поляризации на полярных срезах, при этом домены на Y срезе существенно длиннее».

Было бы полезно дать прочитать текст диссертации постороннему человеку.

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Диссертация А.П. Турыгина является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на достаточно высоком уровне. Работа имеет выраженный экспериментальный характер. Все положения, выносимые на защиту, хорошо обоснованы, подкреплены результатами экспериментов. Результаты диссертационной работы хорошо апробированы. Они опубликованы в статьях в реферируемых журналах, неоднократно докладывались на российских и международных научных конференциях. Автореферат соответствует представленной диссертации.

На мой взгляд, диссертационная работа А.П. Турыгина по объему представленных результатов и по степени их апробации удовлетворяет требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Турыгин Антон Павлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Ведущий научный сотрудник
отдела магнитных наноструктур ИФМ РАН, доктор
физико-математических наук
(01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики)




Миронов Виктор Леонидович

30 апреля 2019 г.

Подпись В.Л. Миронова заверяю:
Начальник отдела кадров ИФМ РАН



 М.Л. Осипенко

Миронов Виктор Леонидович
Институт физики микроструктур РАН — филиал Федерального
государственного бюджетного научного учреждения
«Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики
Российской академии наук»
Адрес: 603950, г. Нижний Новгород, ГСП-105
Телефон: +7 (831) 417-94-88;
Факс: +7 (831) 417-94-88;
Электронная почта: mironov@ipmras.ru

30 апреля 2019 г.