

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Боднарчук Ядвиги Викторовны

« Особенности формирования сегнетоэлектрических доменов в условиях пространственно неоднородных полей атомно-силового микроскопа и электронного облучения»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Я.В. БОДНАРЧУК посвящена изучению формирования доменов и доменных структур в кристаллах стронций-бариевого ниобата (SBN) методами зондовой микроскопии и особенностей переключения поляризации доменов, связанных с релаксорной природой этого материала. В ней изучаются также процессы и особенности индуцирования доменов и доменных структур в гелий-имплантированных оптических волноводах в кристаллах SBN и ниобата лития (LiNbO_3). Интерес к созданию и свойствам доменных структур в сегнетоэлектрических материалах вызван тем, что задачи преобразования спектра электромагнитного излучения могут быть решены с помощью подобных структур в нелинейных средах. Перспективными в плане создания таких структур с типичными размерами доменов и доменных областей субмикронного масштаба являются микроскопические методы, использующие электрические поля атомно-силовых микроскопов (АСМ) и электронные пучки растровых электронных микроскопов (РЭМ).

Научная и практическая значимость таких структур определяется тем, что путем целенаправленной модуляции физических свойств и структуры среды можно получить практически новые материальные системы с управляемыми параметрами и требуемыми свойствами.

Работа Я. В. БОДНАРЧУК является актуальной, поскольку в ней исследуются особенности физических процессов, лежащих в основе

формирования и эволюции сегнетоэлектрических доменных структур в перспективных кристаллических материалах, пригодных для эффективного преобразования спектральных характеристик электромагнитных полей.

Работа состоит из введения, четырех глав, выводов и списка литературы.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи работы, определены научная новизна, практическая и теоретическая значимость результатов исследования, перечислены методы исследования, изложены выносимые на защиту научные положения, аргументирована достоверность полученных результатов. Здесь же дана информация об апробации и личном вкладе автора диссертации, публикациях по теме исследования, кратко описаны структура и содержание диссертации.

Первая глава представляет собой обзор литературы и посвящена анализу результатов, полученных в предметной области к моменту начала исследований по тематике диссертации. Здесь обсуждаются механизмы сегнетоэлектрического переключения, основные представления о свойствах релаксорных сегнетоэлектриков с акцентом на одноосные релаксорные сегнетоэлектрики SBN, представления о принципах преобразования частоты излучения во вторую гармонику на сегнетоэлектрических доменных структурах, о принципах формирования доменных структур полем зонда атомно-силового микроскопа и электронным облучением. На основе литературного обзора сформулированы задачи диссертационной работы.

Вторая глава посвящена описанию методик проведения экспериментов с помощью зондовой микроскопии в кристаллах SBN. Здесь обсуждаются подходы к формированию доменных структур методом зондовой микроскопии. Описана суть метода микроскопии пьезоэлектрического отклика, позволяющего визуализировать доменные структуры на поверхности любого образца без ее предварительной подготовки. Поясняются детали экспериментальных методик для формирования и исследования изолированных доменов и более сложных доменных структур.

В третьей главе изложены результаты исследования процессов формирования и изучения доменных структур на неполярных поверхностях кристаллов SBN-61. Отмечается, что доменные структуры на неполярных плоскостях этого кристалла с помощью АСМ получены впервые. Характеристики записи одиночных доменов исследуются в полидоменных и монодоменных образцах. Установлено, что в полидоменных образцах зондом АСМ формируются встречные домены (домены с противоположным направлением вектора спонтанной поляризации), в то время как в монодоменных образцах при тех же экспериментальных условиях формируется одиночный домен с асимметрией формы относительно острия зонда АСМ. Указано, что о встречных доменах в объеме сегнетоэлектрических кристаллов ранее сообщалось, однако формирование таких доменов у поверхности образца с помощью АСМ реализовано в работе впервые.

Экспериментально исследованы зависимости размеров одиночных доменов от величины электрического напряжения, приложенного к зонду АСМ и времени формирования. Изучена динамика формирования доменов в полидоменных и монодоменных кристаллических образцах. Изучены скорости движения доменных стенок в кристаллах SBN. Показано, что при анализе эффектов записи доменов должна использоваться модель линейного распределения электрического заряда.

Здесь же экспериментально изучены петли пьезоэлектрического гистерезиса на неполярной поверхности SBN-61 и процессы релаксации одиночных доменов и регулярных доменных структур, формируемых электрическим полем АСМ на неполярной поверхности кристалла. Установлено, что «поперечные» доменные решетки (с границами доменных областей, перпендикулярными полярной оси) более устойчивы в сравнении с «продольными». Это связывается с эффектами экранирования на границах доменных областей, ортогональных направлению спонтанной поляризации. Отмечена зависимость устойчивости доменной решетки от времени ее записи. Экспериментально исследовано влияние температурного отжига на параметры доменных структур.

Четвертая глава диссертации посвящена обсуждению вопросов создания и исследования методами зондовой микроскопии характеристик доменов и регулярных доменных структур в планарных оптических волноводах, созданных в кристаллах SBN и LiNbO₃ методом ионной имплантации.

В работе исследовались планарные волноводы на полярной плоскости кристалла SBN и на неполярной плоскости (на пластинах X – среза) LiNbO₃. На полярных плоскостях кристалла SBN с планарным волноводом, полученным имплантацией ионов He, впервые с помощью АСМ сформированы микродомены, а также одномерные и двумерные доменные структуры. Образцы с планарными волноводами на подложках SBN находились как в монодоменизированном, так и в полидоменном состоянии. В экспериментах обнаружен эффект униполярности монодоменизированных образцов SBN в отношении формирования сегнетоэлектрических доменов, заключающийся в зависимости получения доменных структур с помощью АСМ от направления внешнего поляризующего электрического поля при монодоменизации исходно полидоменных образцов. Влияние униполярности обнаружено и при исследовании зависимостей диаметра одиночных доменов от величины электрического поля и длительности воздействия этого поля в процессе переполаризации материала в волноводной области. Обнаруженная униполярность монодоменизированных образцов связывается в работе с остаточной поляризацией кристалла в полидоменном состоянии вследствие пиннинга доменов на структурно поврежденном имплантированном слое.

Методом растровой литографии АСМ в волноводе на монодоменизированной подложке получены одномерные и двумерные доменные структуры, продемонстрировавшие лучшую стабильность в сравнении с одиночными доменами в том же волноводе. Отмечено значительно меньшее время жизни доменных структур в волноводе, по сравнению с такими структурами в кристаллах без ионной имплантации.

Характеристики одиночных доменов и регулярных доменных структур, сформированных электронным лучом РЭМ на неполярной плоскости (X) ниобата лития, исследовались методом микроскопии пьезоотклика. Выявлены

отличия в зависимостях размеров доменов от времени облучения при разных величинах ускоряющего напряжения электронного пучка, что объяснено глубиной залегания имплантированного слоя с нарушенной структурой.

В заключительной части автор резюмирует основные результаты работы.

К наиболее важным и интересным научным результатам работы можно отнести следующее:

1. В работе впервые продемонстрировано формирование доменов и доменных структур на неполярных поверхностях кристалла SBN методом АСМ, впервые получены и исследованы структуры встречных доменов в этом материале.
2. В планарных оптических волноводах, полученных имплантацией ионов He^+ в кристаллах SBN, впервые продемонстрировано формирование доменов и доменных структур электрическим полем зонда АСМ. Обнаруженные униполярность формирования доменов и особенности кинетики релаксации доменных структур объяснены пиннингом доменных стенок на структурно нарушенном слое.
3. В оптических волноводах, полученных имплантацией ионов He^+ в кристаллах LiNbO_3 X – среза методами зондовой микроскопии впервые исследованы процессы формирования доменов и доменных структур путем электронного облучения.

Достоверность полученных в работе результатов обеспечивается значительным объемом экспериментальных исследований; использованием при проведении экспериментов современного оборудования и хорошо апробированных методик; корректной обработкой экспериментальных данных и отсутствием противоречий между ними и теоретическими положениями; обоснованностью теоретических моделей, используемых при обработке результатов экспериментов.

Замечания по диссертационной работе:

1) При обсуждении характеристик доменных решеток, формируемых на неполярной плоскости кристалла SBN (с. 66) утверждается, что

«...устойчивые решетки во всем интервале $U_{DC}=10\div 50$ В формируется лишь при скорости записи, превышающей некоторую пороговую величину...», хотя на той же странице автор сообщает, что «Можно предположить, что неустойчивость решетки при больших скоростях записи связана с эффектами обратного переключения». Какое из этих утверждений справедливо?

2) При обсуждении особенностей характеристик доменных структур в оптических волноводах, полученных в кристалле SBN имплантацией ионов гелия, предполагается, что основной причиной является пиннинг доменов на слое с поврежденной структурой (с. 91). Однако при ионной имплантации могут существенно изменяться и электродинамические характеристики материала в области этого слоя, включая удельную проводимость. Вопрос о том, могут ли такие изменения являться причиной наблюдаемых эффектов, никак не обсуждается.

3) При описании экспериментальных результатов не во всех случаях проводится их статистическая обработка. Так, о проведении такой обработки свидетельствуют метки доверительных интервалов на рис. 25, 30, однако на многих графиках (например, рис. 23, 24, 26, 32, 34, 35 и т.д.) они отсутствуют.

4) При достаточно высоком качестве оформления работы следует отметить целый ряд неточностей, которые могут быть отнесены к опечаткам. Это заголовок на с. 37, неточность определения величины Δk (с. 31), неравенство $n_1 \ll n_2$ (с. 77), ссылка на имплантацию титана как метод изготовления оптических волноводов в ниобате лития (с. 95) и некоторые другие.

Приведенные выше замечания не носят принципиального характера и не умаляют высокой оценки диссертационной работы. Диссертация изложена ясным физическим языком, выполнена на высоком уровне и представляет собой законченное научное исследование на актуальную тему.

Результаты работы, включая содержание защищаемых положений, в достаточной степени опубликованы в отечественных и зарубежных рецензируемых журналах с высоким импакт-фактором, апробированы на Всероссийских и Международных конференциях. Автореферат точно и полно

отражает содержание диссертации. Личный вклад автора и его высокая квалификация не вызывают сомнения.

Заключение

Диссертация Боднарчук Я.В. является законченным самостоятельным научным исследованием, посвященным актуальной проблеме. Она содержит новые научно обоснованные решения важных научных и практических проблем.

Считаю, что диссертационная работа Боднарчук Я.В. полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, а ее автор, Боднарчук Ядвига Викторовна, заслуживает присуждения ей искомой ученой степени.

Официальный оппонент

Д.ф.-м.н., профессор

Томского государственного университета
систем управления и радиоэлектроники

Шандаров Владимир Михайлович

634034, г.Томск, пр. Ленина, 40, рабочий телефон: (3822) 701-518,
e-mail: ShandarovVM@svch.rk.tusur.ru

Подпись Шандарова В.М.

ЗАВЕРЯЮ

Ученый секретарь



Е.В. Прокопчук