

ОТЗЫВ

Официального оппонента, доктора физико-математических наук ШАМРАЯ Александра Валерьевича на диссертационную работу САВЧЕНКОВА Евгения Николаевича на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Дифракция световых волн на регулярных доменных структурах в сегнетоэлектрических кристаллах LiNbO_3 и LiTaO_3 » по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

Диссертационная работа Савченкова Евгения Николаевича посвящена детальному экспериментальному исследованию регулярных доменных структур в сегнетоэлектрических кристаллах LiNbO_3 и LiTaO_3 методами линейной дифракции света и нестационарной фотоэкс и развитию теоретических моделей рассматриваемых явлений.

Актуальность работы связана с широким использованием структур с периодической пространственной модуляцией доменной структуры сегнетоэлектрических монокристаллов для управления лазерным излучением, прежде всего устройствах и приборах для преобразования частоты. Среди таких материалов выделяются ниобат лития (НЛ) и танталат лития (ТЛ), принадлежащие к классу симметрии $3m$, обладающие хорошими электрооптическими и нелинейно-оптическими свойствами. Методы доменной инженерии позволяют создавать в кристаллах НЛ и ТЛ регулярные доменные структуры с высоким качеством и воспроизводимостью параметров, контроль которых является важной и актуальной задачей.

Структура диссертация включает в себя введение, пять глав, с выводами в конце каждой главы, заключения, резюмирующего основные результаты и выводы, списка сокращений и условных обозначений и списка цитируемой литературы, содержащего 142 источника. Работа изложена на 159 страницах и содержит 35 рисунков и 3 таблицы.

Во введении обосновываются актуальность и степень разработанности темы исследования, определены цель и основные задачи работы, теоретическая и практическая значимость, достоверность полученных результатов, их научная новизна, а также представлены научные положения, выносимые на защиту. Приведен перечень публикаций и список конференций, где проводилась апробация результатов работы.

Первая глава содержит обзор работ, посвященных регулярным доменным структурам, сформированным электрической переполяризацией в сегнетоэлектрических монокристаллах ниобата и танталата лития. В главе

представлены характеристики рассматриваемых материалов, методы описания и исследования регулярных доменных структур, а также основные практические применения, связанные с преобразованием спектральных параметров и модуляцией лазерного излучения.

Вторая глава посвящена анализу возмущений тензора диэлектрической проницаемости кристаллов симметрии $3m$, создаваемых ненаклонными доменными стенками в отсутствие внешнего поля, а также регулярными доменными структурами (РДС) в приложенном электрическом поле, вследствие линейного электрооптического эффекта.

В третьей главе представлены результаты экспериментального исследования дифракции световых волн на РДС с ненаклонными доменными стенками в кристалле $1\% \text{MgO:LiTaO}_3$. Рассмотрены условия дифракции без преобразования и с преобразованием поляризации, и проведен теоретический анализ таких видов дифракции.

В четвертой главе описаны результаты теоретических и экспериментальных исследований брэгговской дифракции на РДС с наклонными доменными стенками Y -типа в кристаллах $5\% \text{MgO:LNbO}_3$. Рассматривается два случая дифракции световых волн без преобразования поляризации: при отсутствии внешнего электрического поля, и при приложении к изучаемым образцам напряжения с синусоидальной зависимостью от времени.

Пятая глава посвящена изучению фотоиндуцированной проводимости регулярных доменных структур с наклонными стенками в кристаллах $5\% \text{MgO:LiNbO}_3$ методами дифракции Брэгга и нестационарной фотоэдс.

В диссертации Савченкова Е.Н. отражён значительный объем выполненных теоретических и экспериментальных исследований, среди которых можно выделить следующие важные новые научные результаты:

1. На основе анализа в рамках теории Ландау-Гинзбурга-Девоншира получены соотношения, описывающие полный набор возмущений тензора диэлектрической проницаемости для оптического диапазона частот, вызванных электрическими и упругими полями доменной стенки X -типа в кристаллах симметрии $3m$ в отсутствие внешнего электрического поля.

2. Теоретически и экспериментально исследована анизотропная дифракция Брэгга на РДС с ненаклонными доменными стенками Y -типа в кристалле $1\% \text{MgO:LiTaO}_3$ в отсутствие внешнего поля.

3. Обнаружена и экспериментально исследована методами дифракции Брэгга и нестационарной фотоэдс проводимость регулярной доменной структуры с заряженными доменными стенками Y -типа в кристалле

5%MgO:LiNbO₃, фотоиндуцированная излучением с энергией квантов, меньшей ширины запрещенной зоны монокристаллических образцов ниобата лития.

Теоретическая значимость работы состоит, в развитии подхода к анализу брэгговской дифракции света на РДС, использующего Фурье-разложения создаваемых доменными стенками возмущений по дискретным пространственным гармоникам. Зондирующий сфокусированный лазерный пучок представляется в виде углового спектра плоских волн, а результирующая дифракционная картина является результатом брэгговской дифракции плоских волн на соответствующих дискретных решетках в приближении слабой связи.

Практическая значимость разработанных методик, проведенных экспериментальных исследований и теоретического анализа заключается в определении характеристик РДС в кристаллах ниобата и танталата лития с использованием дифракции Брэгга и нестационарной фотоэдс, влияющих на эффективность их применения в устройствах управления параметрами лазерного излучения и преобразования его спектрального состава.

При чтении диссертационной работы возник ряд замечаний и вопросов:

1. В главе 2, посвященной теоретическому анализу возмущений тензора диэлектрической проницаемости, вызванных доменными стенками, отсутствуют рисунки с рассматриваемыми в анализе конфигурациями, что затрудняет понимание полученных результатов.
2. На Рис. 2.1 зависимости неких «слагаемых» и «членов» уравнения 2.29 без объяснения физического смысла рассматриваемых величин и достаточной интерпретации полученных зависимостей.
3. В главе 3, посвященной экспериментальным исследованиям дифракции также не хватает рисунков, изображающих не просто экспериментальную установку, а также конфигурацию структуры, на которой происходит дифракция (кристаллографическую ориентацию, взаимное расположение доменных стенок, волновых векторов и собственных векторов линейной поляризации).
4. Недостаточно аргументирован выбор конфигурации экспериментальных установок для исследования брэгговской дифракции. В частности, автор использует сфокусированный пучок, что существенно усложняет интерпретацию получаемых дифракционных картинок из-за пространственной зависимости интенсивности оптического излучения как в поперечном, так и в продольном направлении, что при анализе должно учитываться в распределении интенсивности по угловому спектру плоских

волн. Казалось бы, существенно проще было бы использовать колимированный пучок, с учетом того, что все равно снимается угловая зависимость дифракционной эффективности при повороте образца.

5. В некоторых местах автором используется неудачная терминология. Например, высшие (m -ые) порядки брэгговской дифракции, поскольку брэгговская дифракция предполагает один дифракционный порядок. В экспериментах наблюдаются не высшие порядки дифракции, а дифракция на высших пространственных гармониках возмущений диэлектрической проницаемости. Или изотропная и анизотропная дифракция, так как в анизотропных кристаллах дифракция всегда анизотропная (зависит от состояния поляризации), более точно отражают рассматриваемые эффекты понятия дифракции без преобразования поляризации и с преобразованием поляризации.

6. При исследовании селективности брэгговской дифракции желательно было бы сделать оценку перекрестных вкладов от решеток разных порядков при регистрации интенсивности в заданном направлении распространения продифрагировавшего света.

7. Нелинейность отклика на приложенное внешнее электрическое поле объясняется через интерференцию двух вкладов в дифракцию: зависящей от амплитуды поля дифракции на регулярной доменной структуре и дифракции на возмущениях, вызванных доменными стенками. В следующей главе показано, что из-за фотопроводимости дифракционный вклад доменных стенок имеет нестационарный характер, как это учитывалось в анализе?

8. В работе показано, что несмотря на легирование оксидом магния, наличие доменных стенок приводит к значительной фотопроводимости, что потенциально может привести к повышению фоторефрактивной чувствительности, и возникновению эффектов, связанных с формированием фоторефрактивных решеток. Не хватает обсуждения данного вопроса, и почему фоторефрактивным эффектом можно пренебречь.

9. В описании исследований фотопроводимости и нестационарной фотоэдс подчеркнуто, что эксперименты проводились на образцах с наклонными доменными стенками, при этом влияние наклона доменных стенок никак не обсуждается.

Указанные замечания никаким образом не затрагивают защищаемых автором положений и не уменьшают общее положительное впечатление о работе. В целом, диссертационная работа Савченкова Е.Н. является завершенным научным исследованием, содержащим новые результаты и описывающим ранее не наблюдаемые физические эффекты. Работа имеет

большую научную значимость и практическую ценность. Основные результаты работы опубликованы в 25 публикациях: 3 публикации в журналах из перечня ВАК, 4 публикации в журналах, индексируемых в базах Scopus и/или Web of Science; 10 публикаций в сборниках научных трудов и материалов научно-практических конференций, входящих в РИНЦ, 8 публикаций в других научных изданиях. Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации. Диссертация свидетельствует о высокой квалификации автора. Научные положения и выводы диссертации обоснованы и подтверждены соответствующими результатами исследований. Результаты работы доложены и обсуждены на международных и всероссийских конференциях. Считаю, что диссертационная работа Савченкова Евгения Николаевича «Дифракция световых волн на регулярных доменных структурах в сегнетоэлектрических кристаллах LiNbO_3 и LiTaO_3 » полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 «Физика конденсированного состояния» согласно Положению о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук», а ее автор Савченков Е.Н. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв составил:

Шамрай Александр Валерьевич, д.ф.-м.н.

Главный научный сотрудник,

заведующий лабораторией квантовой электроники,

ФТИ им. А.Ф. Иоффе,

194021, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26

Тел.: +7 (812) 297 – 7055

e-mail: achamrai@mail.ioffe.ru

/Шамрай А.В./

Подпись Шамрая А.В. удостоверяю

Ученый секретарь ФТИ им. А.Ф. Иоффе

М.И.

Патров М.И.