

ОТЗЫВ

Официального оппонента

на диссертацию Галуцкого Валерия Викторовича

«Физико-технологическое моделирование, выращивание и свойства новых
градиентных монокристаллов ниобата лития и ниобата калия»,
представленную им на соискание ученой степени доктора физико-
математических наук по специальности

1.3.8 – физика конденсированного состояния

Актуальность исследований. Поиск новых нелинейно-оптических материалов с градиентными свойствами обусловлен тем, что в широко используемых на сегодняшний день кристаллах ниобата лития и ниобата калия градиент их состава и нелинейно-оптических свойств реализуется неуправляемым способом в соответствии с инконгруэнтным плавлением кристаллов и особенностями их фазовых диаграмм. Проблема состоит в том, что, с одной стороны, существующие технологии выращивания нацелены на получение объемных монокристаллов ниобата лития конгруэнтного состава или, в некоторых случаях, монокристаллов околотехиометрического состава, с другой стороны, использование мощных волоконных лазеров накачки вносит температурные искажения в эффективность нелинейно-оптического преобразования.

Главным преимуществом градиентных монокристаллов ниобата лития и ниобата калия является возможность компенсации искажений при нелинейно-оптическом преобразовании за счет неравномерного распределения температуры по длине кристалла. Возможность формирования градиента нелинейно-оптических свойств в кристаллах ниобата лития и ниобата калия является уникальной технологией, расширяющей возможности оптоэлектронных систем обработки и передачи информации, которые могут быть реализованы только при наличии новых функциональных материалов, моделей физических механизмов, способствующих повышению эффективности за счет создания

дополнительного изменения нелинейно-оптических свойств для компенсации температурных искажений.

Таким образом, есть основания считать, что разработка оптических материалов с градиентом свойств по некоторым параметрам либо набору параметров, а также создание условий для взаимодействующих оптических сигналов, является одним из перспективных направлений развития функциональных свойств существующих фотонных устройств и конструирования новых оптических элементов.

Достоверность и обоснованность научных результатов и выводов диссертации обеспечена корректным применением комплекса взаимодополняющих методик экспериментального и теоретического исследования, адекватных целям и задачам диссертации, привлечением обширного экспериментального материала и его количественным и качественным анализом. Достоверность выводов подтверждается сравнительным анализом результатов, полученных в ходе выполнения данной работы, и теоретических и экспериментальных данных, приведенных в публикациях других авторов, а также определяется использованием разработанных в Кубанском госуниверситете запатентованных методов выращивания градиентных монокристаллов, применением современного оборудования. Измерения проводились на больших выборках при помощи адаптированных к задачам методов анализа. Достоверность представленных в диссертации результатов обусловлена также их обсуждением на научных конференциях и семинарах.

Научная и практическая значимость работы определяется разработкой научно-обоснованной лабораторной технологии выращивания градиентных материалов ниобата лития и ниобата калия с концентрационными профилями основных компонентов, зависящих от координаты кристалла. Также в диссертации предложены новые функциональные оптические элементы на основе нелинейных материалов ниобата лития и ниобата калия, в которых реализованы концентрационные градиенты различных видов. Экспериментально доказана эффективность градиентных материалов ниобата калия и ниобата лития для температурных,

концентрационных и спектрально-кинетических характеристик в оптическом (300...2000 нм) диапазоне и в ТГц-диапазоне (0,4...1,1 ТГц).

Диссертационная работа Галуцкого В.В. состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы из 249 наименований, насчитывает 252 страниц текста.

Во **введении** автором дается анализ проблемы, обосновывается ее актуальность, выдвигается гипотеза о связи свойств функциональных оптических элементов, которые требуется изучить, с градиентным составом нелинейно-оптических кристаллов ниобата лития и ниобата калия.

В **первой главе** приведены основные методы выращивания кристаллов ниобата лития и ниобата калия и анализ устройств на их основе, сформулированы выявленные проблемы и нерешенные задачи.

Во **второй главе** подробно рассмотрены результаты физико-технологического моделирования ростовых процессов инконгруэнтных кристаллов ниобата лития и ниобата калия, результаты синтеза градиентных кристаллов и результаты выращивания градиентных кристаллов ниобата лития и ниобата калия с однонаправленным и двунаправленным изменением концентрации лития. В основе алгоритма создания в растущем кристалле неравномерного управляемого распределения по основным компонентам по длине кристаллической були лежит модель разделения объемов расплава на части с разной стартовой концентрацией оксида ниобия и управление скоростью перемешивания этих объемов за счет относительного перемещения внутреннего и внешнего тиглей, а также отвода части расплава с различным коэффициентом сегрегации по основным примесям за счет его кристаллизации. При этом учитывается масса мениска, масса сегмента кристалла, погруженного в расплав, и строится график теоретической кривой веса растущего кристалла в зависимости от его задаваемой геометрии и системы внутреннего и внешнего тиглей. Дальнейшим развитием метода жидкостной подпитки в диссертационной работе стала реализация твердофазной подпитки. В результате ростовых процессов были получены кристаллы ниобата калия и ниобата лития с градиентом концентрации по

основным компонентам, а также кристаллы с градиентом концентрации оптических примесей.

Третья глава приводятся исследования оптических свойств полученных градиентных кристаллов ниобата лития и ниобата калия. В диссертации предложена техника и методика проведения экспериментов с детализацией спектрально-кинетических параметров исследуемых образцов, при которой для монотонно меняющегося времени затухания люминесценции по спектру не требуется температурная стабилизация исследуемого кристаллического образца.

В диссертации Галуцкого В.В. другим важным методом косвенного контроля и изучения состава выращенных кристаллов ниобата лития и ниобата калия по основным и примесным компонентам предлагается ТГц-спектроскопия. Исследуются ТГц-спектры поглощения и преломления кристаллов при соактивации ионами Er^{3+} , Yb^{3+} и Cr^{3+} , которые служат индикаторами наличия скачкообразных изменений в кристаллической структуре. При температурных исследованиях в ТГц-диапазоне обнаружена различная температурная зависимость показателей преломления для обыкновенной и необыкновенной волны для исследуемых кристаллов, что используется при расчетах эффективности температурной подстройки условий синхронизма взаимодействующих волн.

Четвертая глава диссертационной работы Галуцкого В.В. посвящена анализу результатов моделирования режима работы градиентного PPLN-преобразователя и разработка методики создания периодически поляризованных структур в градиентном ниобате лития.

Разработана физико-математическая модель фотонного устройства на основе преобразователя оптического излучения, который имеет активный элемент с градиентом концентрации ионов Li^+ . С помощью предложенной структуры возможно одновременное преобразование на нескольких длинах волн или широкополосное преобразование геометрически расширенного пучка опорного сигнала. Расчет для различных профилей концентрации лития, перпендикулярных направлению ввода излучения накачки, производился с помощью уравнений, полученных на основе процесса ГВГ.

В пятой главе приводятся результаты моделирования функциональных фотонных структур из градиентных кристаллов ниобата лития и ниобата калия и исследования технологических приемов создания волноводов в градиентном ниобате лития для функциональных оптических элементов.

Одним из факторов, ограничивающих эффективность преобразования, является тепловое воздействие излучения накачки. В диссертации была высказана и доказана гипотеза, что влияние состава кристалла ниобата лития или влияние градиента состава ниобата лития по длине преобразователя смещает максимум эффективности преобразования относительно мощности накачки. Определенные градиенты концентрации лития в PPLN могут способствовать как появлению ярко выраженного максимума эффективности преобразования при определенной мощности накачки, так и сглаживанию эффекта температурных воздействий излучения накачки, делая зависимость эффективности преобразования от мощности накачки более полой.

Также в данном разделе проведен анализ предложенной физико-математической модели PPLN-преобразователя в качестве логического элемента с учетом неоднородности дисперсии групповых скоростей по его длине для создания градиентного PPLN. При известной зависимости коэффициентов преломления от состава кристалла LiNbO_3 , определяемой уравнением Сельмеера, проведена теоретическая оценка влияния градиента состава в PPLN-преобразователе на эффективность реализации в нем логических элементов.

В заключении перечислены основные результаты проведенных исследований, научная новизна и значимость которых не вызывает сомнений.

Автореферат диссертационной работы в полной мере отражает ее содержание.

По диссертационной работе есть ряд замечаний, носящих рекомендательный характер:

1. В работе поверхностно представлена оценка влияния, разработанного автором метода Чохральского с жидкостной подпиткой, на

температурные условия отжига кристаллов ниобата лития и ниобата калия. Насколько существенно наличие градиента состава, а, значит, и градиента физических характеристик, влияет на послеростовые условия отжига?

2. На начальном этапе выращивания кристаллов проводилось затравление. Каков состав по ниобатам лития и калия затравок, ориентированных вдоль разных кристаллографических осей? Очевидно, в случае использования в качестве затравки низкоплавкого состава ниобата лития или ниобата калия рост градиентного состава кристалла может быть затруднен.

3. Процесс вытягивания из расплава кристаллов с заданной геометрией и концентрацией основных компонентов предполагает поддержание высокой стабильности условий синтеза на протяжении нескольких суток. Проводилось ли сравнение в разработанной новой лабораторной методике выращивания отклонения задаваемого градиента состава от экспериментально измеряемого для кристаллов дюймового и двухдюймового диаметров?

4. При реализации оптимального режима преобразования с помощью сформированных PPLN при учете распределения интенсивности по поперечной координате необходимо отметить возможные дифракционные искажения для обеих волн, которые будут проявляться на длине кристалла.

Приведенные замечания не затрагивают основных результатов и не снижают значимость проведенного исследования.

Диссертационная работа Галуцкого В.В. «Физико-технологическое моделирование, выращивание и свойства новых градиентных монокристаллов ниобата лития и ниобата калия» является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором на высоком научном уровне. Положения, выносимые на защиту, представляют собой оригинальный научный результат, который является решением актуальной научной проблемы.

Тема и содержание диссертационной работы соответствует специальности 1.3.8 - физика конденсированного состояния. Основные положения доложены и обсуждены на международных и всероссийских

конференциях. Результаты проведенных исследований опубликованы в 28 работах в изданиях, входящих в перечень ВАК и индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science, 10 патентах и свидетельствах о регистрации программ для ЭВМ.

Диссертационная работа «Физико-технологическое моделирование, выращивание и свойства новых градиентных монокристаллов ниобата лития и ниобата калия» Галуцкого Валерия Викторовича соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г. а ее автор – Галуцкий Валерий Викторович – заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния.

Даю согласие на обработку своих персональных данных.

Официальный оппонент –
доктор физико-математических наук
(1.3.8 – физика конденсированного состояния)

Научно-исследовательский
институт физики ФГАОУ ВО
«Южный федеральный университет»,
директор НИИ физики



Вербенко Илья Александрович

«09» _____ 09 2023г.

НИИ физики ФГАОУВО «Южный федеральный университет» 344090, г.
Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194, тел.: +78632433676, факс: +78632434044,
ilich001@ya.ru, <https://ip.sfedu.ru>