

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Строгановой Елены Валерьевны

«Исследование, синтез и выращивание оптических

градиентно-активированных кристаллов на основе ниобата лития»,

представленной на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика

Актуальность темы исследования

Получение объемных монокристаллов из расплава остается одной из важных современных технологий производства для получения высокоэффективных и высокотехнологичных продуктов электроники, фотоники, систем связи, возобновляемых энергетических технологий и т.д. Ключевыми продуктами в этой области производства являются светоизлучающие и/или лазерные диоды, солнечные элементы и лазеры на диэлектрических кристаллах. Технология роста кристаллов является фундаментальной основой многих технологических процессов по созданию наноматериалов. Таким образом, важность поиска новых эффективных технологий роста оптических монокристаллов трудно переоценить.

Особое место в оптическом материаловедении занимают нелинейные кристаллы ниобата лития, которые обладают высокой нелинейной поляризацией. Такие оптические кристаллы широко используются для преобразования частоты опорного лазерного излучения. Нелинейная поляризация кристаллов ниобата лития используется при генерации второй и третьей гармоник, смешении частот, в оптических параметрических генераторах, оптических параметрических усилителях и так далее.

Стоимость оптических компонентов на основе ниобата лития (вейферы для PPLN) напрямую зависят от их качества (постоянство показателя преломления, лучевая стойкость). Известная для данных кристаллов проблема отклонения состава от стехиометрии во время ростового процесса, является опреде-

ляющей в оценке качества оптических преобразователей и их цены. С учетом того, что ежегодный объем мирового рынка по производству кристаллов ниобата лития имеет очень высокий уровень, а телекоммуникационная отрасль, в которой оптические компоненты на основе ниобата лития рассматриваются как базовые, является наиболее инвестиционно привлекательной, исследования, связанные с разработкой технологических основ получения новых оптических материалов на основе ниобата лития и их изучение являются весьма актуальными.

Новизна научных результатов и выводов

Главные научные результаты, полученные диссертантом можно представить следующими основными пунктами.

- Разработан и физически обоснован оригинальный способ выращивания монокристаллов с заданным распределением примесей по его длине. Продемонстрирована воспроизводимость разработанного способа получения градиентно-активированных кристаллов ниобата лития состав, которых изменяется в пределах $R = 0,94 \div 0,97$, с реализацией одного или нескольких одновременных концентрационных профилей примесных центров.

- В работе разработан инструментарий проведения цикла исследований от контроля состава при синтезе начальных расплавов ростового процесса до исследований дефектной структуры и оптических свойств, полученных градиентно-активированных кристаллов, на основании, которого впервые получены пороговые концентрации нефоторефрактивной примеси ионов Mg^{2+} и концентрационный интервал перестройки состава градиентно-активированных кристаллов.

- Установлены закономерности влияния концентрационных профилей оптических центров на спектрально-люминесцентные и генерационные параметры оптических градиентно-активированных кристаллов ниобата лития $LiNbO_3:Cr, Mg$; $LiNbO_3:Yb, Mg$; $LiNbO_3:Yb, Er$. Уточнены механизмы дефектообразования в кристаллах с неоднородным легированием примеси при наличии

одновременно двух концентрационных профилей примесных центров ионов $\text{Cr}^{3+} \leftrightarrow \text{Mg}^{2+}$ и $\text{Yb}^{3+} \leftrightarrow \text{Mg}^{2+}$.

Переходя к общей характеристике работы, считаю, что она представляет завершенное научное исследование, в котором рассмотрены и проанализированы вопросы, связанные с задачами и проблемами получения градиентно-активированных кристаллов на основе ниобата лития, исследований физических свойств полученных кристаллов и изучения возможностей их практического использования. На мой взгляд, диссертант успешно справился со всеми поставленными задачами.

Автором проведен анализ методов получения высокосовершенных монокристаллов ниобата лития. Обоснован способ синтеза начальных расплавов и способ выращивания градиентно-активированных кристаллов на основе метода Чохральского. Большое внимание уделено методам и методикам, которые автором были разработаны для исследований физических свойств полученных градиентно-активированных кристаллов.

Предложена физическая модель управления ростового процесса получения градиентно-активированных кристаллов ниобата лития. Определены условия формирования концентрационных профилей примесных центров в кристаллической були, связанные со скоростями диффузионных потоков расплавов в системе сообщающихся тиглей. Определены условия и параметры, которые оказывают максимальное влияние на точность синтеза составов расплавов в основном тигле и тигле реакторе.

Проведены комплексные исследования оптических свойств градиентно-активированных кристаллов ниобата лития с концентрационными профилями ионов хрома и магния с целью изучения механизмов и условий формирования дефектообразований в исследуемых кристаллических образцах.

Определено наличие принципиально двух оптических центров ионов трехвалентного хрома, даже при условии рекордных концентраций (7 ат. %) нефоторефрактивной примеси магния Mg^{2+} . Обнаружено, что концентрационный интервал смены доминирующих оптических центров градиентно-

активированных кристаллов одинаковых по R составов зависит от пороговых концентраций ионов нефоторефрактивной примеси и носит обратных характер (чем ниже пороговые концентрации, тем шире концентрационный интервал перестройки и наоборот).

Для описания спектрально-люминесцентных свойств и особенностей градиентно-активированных кристаллов, автором были предложены оригинальные методы и методики проведения и описания экспериментальных результатов. Например, исследование спектров кинетик люминесценции, с целью пространственно-временного разделения сильно перекрывающихся спектральных полос; метод исследования трансформации спектрально-люминесцентных свойств оптических центров с целью уточнения дефектной структуры градиентно-активированных кристаллов ниобата лития; методика определения квантовой эффективности оптических центров и моделирования генерационных свойств и параметров исследуемых кристаллических образцов. Полученные экспериментальные результаты спектрально-люминесцентных и генерационных параметров полностью коррелируют с теоретическими моделями.

Впервые полученные коэффициенты усиления оптических сигналов в области 1550 нм градиентно-активированных кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Yb,Er}$ (17 дБ) и высокая эффективность оптической накачки градиентно-активированных кристаллов (величина на 25 % превышает эффективность однородно легированных кристаллов) демонстрируют перспективность использования градиентно-активированных кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Yb,Er}$ в качестве оптических компонент и лазерных элементов.

Практическая значимость полученных результатов

Решаемые диссертантом задачи, неразрывно связаны с разработкой эффективных оптических материалов в области высоких технологий. В работе сделан серьезный шаг на пути разработки промышленных технологий получения эффективных оптических материалов с заранее заданными свойствами и неравномерным распределением примесных центров (градиентно-активированные кристаллы).

Разработанные методы и методики теоретического и экспериментального исследования оптических материалов расширяют возможности спектрально-люминесцентного и кинетического анализа с целью прогнозирования высокоэффективных фотонных устройств и лазерных элементов.

Прикладной аспект использования результатов, полученных диссертантом, напрямую связан с созданием новых оптических компонент для инфокоммуникационных технологий и систем связи. Результаты диссертационной работы представляют интерес для использования в учреждениях Российской академии наук, на предприятиях, специализирующихся на создании приборов фотоники и оптоэлектроники.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность положений и выводов диссертанта основывается на корректной постановке задач и достаточной степени методической проработке порядка и последовательности проведенных исследований и экспериментов. Приведенное описание применяемых в работе методов исследований не вызывает нареканий.

Проведение ростовых экспериментов по синтезу и выращиванию градиентно-активированных кристаллов сопровождалось использованием промышленной автоматики (пропорционально-интегрально-дифференциального регулятор, датчик электрической мощности, термопары типа платина-платина-родиевая (ППР) (Pt100% – Pt90%, Rh10%), промышленный контроллер «ADAM»).

Контроль состава градиентно-активированных кристаллов подтверждался современным методом лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии.

Исследования спектрально-кинетических и люминесцентных свойств градиентно-активированных кристаллов проводились апробированными методами, на современной приборной базе, обладающей высокой разрешающей способностью в оптическом спектральном диапазоне. Для объяснения получен-

ных результатов диссертантом использованы методы физико-математического моделирования.

Оценка содержания диссертационной работы

Работа состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы. Объем работы составляет 279 страниц машинописного текста, включая 122 рисунка и 28 таблиц. Список литературы содержит 259 источников. Материал изложен грамотно и хорошо структурирован, каждая глава посвящена определенной задаче исследования. Диссертация содержит большой объем теоретических и экспериментальных результатов, полученных на высоком методическом и научно-техническом уровне.

Личное участие автора заключается в постановке цели и задач исследования, выборе методов исследований, проведении экспериментов и интерпретации полученных результатов, разработке теоретических моделей процессов излучательного и безызлучательного переноса энергии электронного возбуждения и кинетик населенностей энергетических состояний в системе взаимодействующих оптических центров градиентно-активированных кристаллов.

Основные научные результаты опубликованы в 15 статьях в журналах из перечня ВАК, в 12 статьях в журналах, индексируемых в базах данных Scopus, Web of Science, отражены в 7 патентах РФ и 2 свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ, 18 докладах в трудах конференций. Всего по теме диссертации опубликовано 54 научных работы.

Содержание автореферата соответствует основным результатам и защищаемым положениям.

Замечания по диссертационной работе

1. Представленный в работе способ синтеза и выращивания градиентно-активированных кристаллов не прошел апробацию на других эффективных оптических материалах, традиционно получаемых методом Чохральского. Особый интерес представляет масштабирование полученных результатов на кристаллическую матрицу неоспоримого лидера в области лазерных диэлектрических материалов – иттрий алюминиевого граната с примесными оптическими

центрами иттербия (материалы для дисковых лазеров), неодима (наиболее распространённые лазерные среды), а также ионов эрбия (перспективные и широко используемые в области медицины лазерные системы).

2. К сожалению, диссертант не апробировал предложенный метод выращивания градиентно – активированных материалов на базовом материале своей кандидатской диссертации CSB:Cr . С точки зрения нелинейных лазерных сред представляет интерес кристалл лантан-скандиевого бората, который так же широко используется как активный лазерный элемент для чиповых лазеров.

3. Автор в своей работе рассмотрел классические примеры примесных центров оптических материалов, используемых в области телекоммуникаций Yb^{3+} и Er^{3+} , однако, в работе не представлены исследования градиентно-активированных кристаллов с примесными центрами Tm, Pr, Dy, а также Nd.

4. В тексте диссертации используются не всегда удачные и обоснованные авторские термины: «центровый состав», «примесный комплекс». Не понятно, что представляет собой примесный комплекс и чем он отличается от примесного центра? Что входит в понятие «центрового состава»? К сожалению, есть стилистические и грамматические ошибки в оформлении работы.

Однако отмеченные недостатки и сделанные замечания не ставят под сомнение полученные результаты, не снижают научной новизны и практической ценности диссертационной работы и в целом не влияют на общее положительное впечатление от диссертации

Заключение

По объёму проведенных исследований, научной новизне, практической ценности и достоверности полученных результатов можно сказать, что диссертация Строгановой Е.В. является завершённой научно-квалификационной работой, в которой обоснованы теоретические положения и получены новые практические результаты, совокупность которых следует квалифицировать как решение научной проблемы, имеющей важное значение для развития физики и технологии оптических материалов, применяемых в фотонике и оптоэлектронике.

Считаю, что диссертационная работа Строгановой Елены Валерьевны «Исследование, синтез и выращивание оптических градиентно-активированных кристаллов на основе ниобата лития» удовлетворяет критериям, предъявляемым к докторским диссертациям в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденных Правительством Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (редакция от 28.08.2017) (пп. 9 – 14), а ее автор, Строганова Елена Валерьевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

Официальный оппонент –
доктор физико-математических наук,
заведующий кафедрой физики и электроники
ФГБОУ ВО «Южно-Российский
государственный политехнический
университет (НПИ) имени М.И. Платова»

ЧЕБОТАРЕВ Сергей Николаевич
346428, Ростовская область,
г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Южно-Российский
государственный политехнический
университет (НПИ) имени М.И. Платова»
тел.+7(8635) 25-54-81
факс: +7(8635)25-50-56
chebotarev.sergei@gmail.com
<http://www.npi-tu.ru>

Подпись д.ф.-м.н. Чеботарева С.Н. заверяю:

Ученый секретарь ученого совета ЮРГПУ (НПИ)



ХОЛОДКОВА Нина Николаевна