

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор ФГБОУ ВО
«МИРЭА - Российский технологи-
ческий университет», доктор хими-
ческих наук, профессор,




_____ Н.И. Прокопов

« 10 » _____ 2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Цема Александра Алексеевича «Спектрально-люминесцентные и кинетические исследования градиентно-активированных кристаллов ниобата лития с оптическими центрами Yb^{3+} , Er^{3+} », представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика

Актуальность

Интерес к исследованию и выращиванию оптических материалов обусловлен современными тенденциями развития компонентной базы фотоники и оптоэлектроники, в частности для использования в атмосферных оптических линиях связи (АОЛС) в спектральном диапазоне 2–5 мкм. Наиболее перспективными материалами для разработки фотонных структур и устройств являются нелинейные кристаллы.

В качестве объектов исследований выступали новые материалы – оптические градиентно-активированные кристаллы с реализованными концентрационными профилями примесных центров (Yb^{3+} , Er^{3+} , Ce^{3+} и Zn^{2+}) вдоль продольной координаты кристаллической були (главной оптической оси, совпадающей с осью роста c). Легирование исследуемых образцов ионами редкоземельных элементов Yb^{3+} и Er^{3+} обусловлено необходимостью получения излучения для компонент АОЛС в спектральных областях 1,4–1,7 мкм и 2,7–3 мкм, совпадающих с окнами прозрачности атмосферы.

Общая характеристика работы

Основное содержание диссертации изложено в четырех главах. Во введении сформулированы цели и задачи диссертации, обоснована актуальность исследований, представлены выносимые на защиту положения, отмечается новизна и практическая ценность полученных результатов.

Глава 1 посвящена исследованию спектрально-люминесцентных и оптических характеристик материалов, традиционно используемых для получения генерации в области 1,5 мкм. Рассмотрены спектрально-кинетические и люминесцентные свойства эффективных твердотельных матриц, а также свойства ниобата лития, однородно легированного редкоземельными ионами Yb^{3+} , Er^{3+} .

В главе 2 описаны основы технологии получения градиентно-активированных кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Er}(\text{Ce}, \text{Zn})$. Рассмотрено физико-математическое моделирование процесса подпитки расплава в системе двойных тиглей с целью получения градиентно-активированных кристаллов ниобата лития. Объяснены методики получения экспериментальных данных и обработки результатов.

В главе 3 представлены результаты спектрально-люминесцентных и кинетических исследований градиентно-активированных кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Yb}, \text{Er}$ и $\text{LiNbO}_3:\text{Er}(\text{Ce}, \text{Zn})$. Определено влияние концентрационных профилей оптических центров на спектрально-люминесцентные характеристики и кинетики затухания люминесценции исследуемых образцов градиентно-активированных кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Yb}, \text{Er}$ и $\text{LiNbO}_3:\text{Er}(\text{Ce}, \text{Zn})$.

В главе 4 исследована квантовая эффективность градиентно-активированных кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Yb}, \text{Er}$ и $\text{LiNbO}_3:\text{Er}$ и процессы усиления оптических сигналов полученными образцами. Определены спектры сечений поглощения, излучения, проведены расчеты спектров усиления градиентно-активированных кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Yb}, \text{Er}$ и $\text{LiNbO}_3:\text{Er}(\text{Ce}, \text{Zn})$. Разработан макет оптического усилителя и лазера, на котором получены спектры усиления градиентно-активированных кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Er}$ и $\text{LiNbO}_3:\text{Er}, \text{Yb}$ и генерационного излучения.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы по диссертационной работе.

Изложенные в диссертации результаты докладывались на профильных научных конференциях, прошли апробацию на научных семинарах. Основные результаты опубликованы в рецензируемых научных журналах, запатентованы и реализованы в виде программ для ЭВМ. Автореферат диссертации и опубликованные статьи полностью раскрывают ее содержание. В тексте диссертации отмечена степень личного участия автора в работах, написанных коллективно.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в проведении сравнительного анализа спектрально-кинетических и генерационных параметров градиентно-активированных кристаллов и однородно легированных кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Yb}, \text{Er}$; $\text{LiNbO}_3:\text{Er}$; $\text{LiNbO}_3:\text{Er}(\text{Ce}, \text{Zn})$. Получены новые

сведения о процессах и закономерностях влияния концентрационных профилей примесных ионов на оптические свойства градиентно-активированных кристаллов ниобата лития. Среди основных результатов можно выделить следующие:

1 Впервые проведено физико-математическое моделирование процесса подпитки расплава с целью получения градиентно-активированных кристаллов ниобата лития LiNbO_3 с одним или одновременно двумя концентрационными профилями примесных центров Li^+ , Nb^{5+} , Mg^{2+} (Zn^{2+}).

2 Проведены расчеты сечений излучения и коэффициента усиления в исследуемых образцах градиентно-активированных кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Er}$, $\text{LiNbO}_3:\text{Er}(\text{Ce}, \text{Zn})$ в области 1,5 мкм. Установлено, что при одинаковых концентрациях ионов Er^{3+} кристаллы $\text{LiNbO}_3:\text{Er}(\text{Ce}, \text{Zn})$ демонстрируют увеличение сечения излучения не ниже уровня 50 % и рост коэффициента усиления не ниже 15 % по сравнению с кристаллами $\text{LiNbO}_3:\text{Er}$. При этом в градиентно-активированном кристалле LiNbO_3 с концентрационным профилем ионов Er^{3+} не менее чем на 50 % увеличивается коэффициент усиления по сравнению с кристаллом $\text{LiNbO}_3:\text{Er}(\text{Ce}, \text{Zn})$.

3 Проведен сравнительный анализ генерационных параметров однородно легированных кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Yb}, \text{Er}$, $\text{LiNbO}_3:\text{Er}$ и градиентно-активированных кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Yb}, \text{Er}$ (изменение концентрации Yb^{3+} от 1,2 до 0,6 ат.%; изменение концентрации Er^{3+} от 0,02 до 0,3 ат.%), $\text{LiNbO}_3:\text{Er}$ (изменение концентрации Er^{3+} от 4,1 до 2,5 ат.%), который показал, что градиентно-активированный кристалл $\text{LiNbO}_3:\text{Yb}, \text{Er}$ обладает минимальной пороговой мощностью накачки 0,49 кВт/см².

4 Разработан макет активного лазерного элемента на основе градиентно-активированного кристалла с реализацией одновременных концентрационных профилей оптических центров ионов Yb^{3+} и Er^{3+} . При уровне опорного сигнала от 0,12 мВт до 0,41 мВт получен диапазон изменения значения усиления оптического сигнала от 10 до 18 дБ на длине волны 1546 нм.

Практическая ценность полученных результатов

Разработанные макеты оптического усилителя и лазера на базе градиентно-активированных кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Yb}, \text{Er}$ могут служить основой для разработки экспериментальных устройств, а методики спектрально-кинетических и люминесцентных исследований градиентно-активированных кристаллов позволят расширить базу инструментария анализа оптических материалов.

Получены спектры сечений излучения и коэффициентов усиления градиентно-активированных кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Yb}, \text{Er}$ и $\text{LiNbO}_3:\text{Er}(\text{Ce}, \text{Zn})$. Рассчитанные коэффициенты усиления оптических сигналов для градиентно-ак-

тивированного кристалла $\text{LiNbO}_3:\text{Yb,Er}$ демонстрируют превышение в несколько раз величины коэффициента усиления градиентно-активированного кристалла $\text{LiNbO}_3:\text{Er}$. Для кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Er}(\text{Ce}, \text{Zn})$ наблюдается рост эффективного сечения излучения и коэффициента усиления оптического сигнала более чем на 30 % по сравнению с кристаллами $\text{LiNbO}_3:\text{Er}$ в области 1,5 мкм. Полученные спектры коэффициентов усиления оптических сигналов градиентно-активированных кристаллов и $\text{LiNbO}_3:\text{Er}$ демонстрируют увеличение эффективности процесса генерации в области 1,5 мкм не менее чем на 20 % по сравнению с кристаллами $\text{LiNbO}_3:\text{Er,Ce}$ с постоянной концентрацией примесных центров.

Рекомендации по использованию результатов

Результаты диссертационной работы представляют интерес для использования в учреждениях РАН, на предприятиях, специализирующихся на создании приборов фотоники и оптоэлектроники.

Замечания и недостатки

1 В диссертационном исследовании представлены расчеты сечений излучения градиентно-активированных кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Er}(\text{Ce,Zn})$, однако не представлены результаты экспериментальных исследований спектров усиления оптических сигналов на исследуемых кристаллических образцах.

2 В диссертационном исследовании отмечено, что в градиентно-активированном кристалле возможно взаимодействие между двумя оптическими неэквивалентными кристаллографическими центрами Er_1 и Er_2 в градиентно-активированном кристалле $\text{LiNbO}_3:\text{Er}$. Однако в работе не представлены результаты детального изучения данного вопроса.

3 Спектры усиления оптических сигналов и генерационного излучения в полученных образцах в интервале температур от 20 °С до 150 °С не анализировались, хотя такие исследования имеют практический интерес для разработки экспериментального устройства.

Отмеченные замечания не носят принципиального характера, не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования и не снижают научной и практической значимости выполненной работы.

Заключение

Анализ диссертации, публикаций автора в журналах из перечня, рекомендованного ВАК, БД Scopus, свидетельств РИД, подтверждают достижение поставленной цели и решение задач научно-исследовательской работы. На основании выполненных исследований в диссертационной работе Цема А. А. обоснованы теоретические положения и получены новые практические результаты, совокупность которых следует квалифицировать как решение научной задачи, имеющей важное значение для развития фотоники и оптоэлектроники.

Диссертационная работа «Спектрально-люминесцентные и кинетические исследования градиентно-активированных кристаллов ниобата лития с оптическими центрами Yb^{3+} , Er^{3+} » полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук (пп. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.), а ее автор, Цема Александр Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

Отзыв составлен кандидатом технических наук, доцентом, директором Физико-технологического института, заведующим кафедрой оптико-электронных приборов и систем (ОЭПС) РТУ МИРЭА Кузнецовым Владимиром Викторовичем (Место работы: ФГБОУ ВО «Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА). Адрес: 119454, Москва, пр. Вернадского 78, тел. +7(916)159-49-48, e-mail: kuznetsov@mirea.ru), доктором технических наук, профессором, профессором кафедры ОЭПС РТУ МИРЭА Гущо Юрием Петровичем (Место работы: ФГБОУ ВО «Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА). Адрес: 119454, Москва, пр. Вернадского 78, тел. +7(919)777-34-16, e-mail: gucsho@mirea.ru), доктором технических наук, профессором кафедры ОЭПС, директором Научно-технологического центра «Интегральная радиофотоника» РТУ МИРЭА Белкиным Михаилом Евсеевичем (Место работы: ФГБОУ ВО «Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА). Адрес: 119454, Москва, пр. Вернадского 78, тел. +7(916)742-25-11, e-mail: belkin@mirea.ru).

Результаты диссертационной работы Цема А.А. обсуждены и одобрены на заседании кафедры оптико-электронных приборов и систем Физико-технологического института РТУ МИРЭА 23 сентября 2019 г., протокол №2.

Директор Физико-технологического института,
заведующий кафедрой ОЭПС РТУ МИРЭА,
кандидат технических наук, доцент

Кузнецов В.В.

профессор кафедры ОЭПС,
доктор технических наук, профессор

Гущо Ю.П.

профессор кафедры ОЭПС,
директор НТЦ «Интегральная радиофотоника»
доктор технических наук



Белкин М.Е.
Подпись: Кузнецов В.В., Гущо Ю.П., Белкин М.Е.
ОБЕЯЮ:
правления кадров
Филатенко Л.Г.
10 2019 г.