

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Цема Александра Алексеевича  
«Спектрально-люминесцентные и кинетические исследования градиентно-активированных кристаллов ниобата лития с оптическими центрами  $\text{Yb}^{3+}$ ,  $\text{Er}^{3+}$ »,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика

Диссертационная работа Цема А.А. посвящена актуальному направлению исследований нового класса оптических материалов с неравномерным контролируемым распределением примесных центров. Одной из задач является повышение эффективности фотонных устройств на их основе для разработки многоканальных излучательных модулей в ближнем ИК диапазоне спектра для различных приборов лазерной техники. Наибольший интерес представляют нелинейные кристаллы, на основе которых создаются фотонные структуры, позволяющие увеличивать количество выходных оптических сигналов, а также расширять спектральный диапазон за счет нелинейных эффектов преобразования суммарных и разностных частот.

Для повышения эффективности оптической накачки за счет компенсации неравномерного распределения теплового поля, в данной работе в качестве перспективной активной лазерной среды рассматривается кристалл ниобата лития, легированный редкоземельными ионами  $\text{Yb}^{3+}$  и  $\text{Er}^{3+}$ , а также примесными ионами  $\text{Ce}^{3+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$ , распределение которых описывается заданными наперед концентрационными профилями. Автором проведены комплексные исследования спектрально-люминесцентных и кинетических свойств синтезированных оптических градиентно-активированных монокристаллов  $\text{LiNbO}_3$  с концентрационными профилями ионов  $\text{Yb}^{3+}$ ,  $\text{Er}^{3+}$  и примесными центрами  $\text{Ce}^{3+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$ .

Из материалов, представленных в автореферате, следует, что цель диссертационного исследования соответствует основным выводам и выносимым на защиту научным положениям.

Наиболее интересные полученные результаты:

- на основе проведенного моделирования экспериментально получены образцы градиентно-активированных кристаллов ниобата лития различного состава и геометрии с одним или несколькими концентрационными профилями оптических и/или примесных центров;
- проведена количественная оценка оптической мощности процесса излучения в спектральной области вблизи 1,5 мкм при оптической накачке полупроводниковым лазером с длиной волны генерации 980 нм. Установлено, что квантовая эффективность излучения в области 1,5 мкм составляет величину порядка 70 %;

- для градиентно-активированных кристаллов  $\text{LiNbO}_3:\text{Er}(\text{Ce},\text{Zn})$  с концентрационными профилями Ce и/или Zn выявлен характер изменения спектров люминесценции ионов  $\text{Er}^{3+}$  в области спектра вблизи 3 мкм;
- определена закономерность влияния концентрационного профиля оптических центров  $\text{Er}^{3+}$  в кинетических исследованиях градиентно-активированных кристаллов  $\text{LiNbO}_3:\text{Yb},\text{Er}$  и  $\text{LiNbO}_3:\text{Er}(\text{Ce},\text{Zn})$ , заключающаяся в изменении люминесцентного времени жизни Er при комнатной температуре в области спектра вблизи 1,5 мкм;
- полученные градиентно-активированные кристаллы  $\text{LiNbO}_3:\text{Er}(\text{Ce},\text{Zn})$  демонстрируют уменьшение люминесцентного времени жизни возбужденного состояния  $\text{Er}^{3+}I_{13/2}$  до 480–500 мкс, что может быть объяснено наличием нескольких неэквивалентных кристаллографических позиций ионов  $\text{Er}^{3+}$ ;
- определено, что скорость переноса энергии электронного возбуждения имеет функциональную зависимость от продольной координаты градиентно-активированного кристалла и в области концентраций акцепторов Er от  $4 \cdot 10^{19}$  до  $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  и доноров Yb от  $1,2 \cdot 10^{20}$  до  $0,9 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$  характеризуется эффектом насыщения, что определяет оптимальный диапазон концентраций доноров и акцепторов для полученного лабораторного образца активного лазерного элемента на основе градиентно-активированного кристалла  $\text{LiNbO}_3:\text{Yb},\text{Er}$ ;
- 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 спектральной области 1,5 мкм;
- разработан макет оптического усилителя и лазера с активным элементом, выполненным на основе оптического градиентно-активированного кристалла  $\text{LiNbO}_3:\text{Yb},\text{Er}$  и  $\text{LiNbO}_3:\text{Er}$ .

Научная новизна диссертационной работы и ее практическая ценность не вызывают сомнений. На основании материала изложенного в автореферате, можно заключить, что диссертация Цема А.А. представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Основные результаты и положения диссертационного исследования опубликованы в научных журналах, рекомендованных ВАК и индексированных в БД Scopus, а также апробированы на Всероссийских и международных конференциях по специальности.

В качестве замечаний к автореферату можно отметить следующее:

1. Рисунок 9 (стр.14). Из текста не ясно, с какой погрешностью было измерено время жизни оптических центров.

2. Некоторую путаницу вызывает одинаковая нумерация источников списка цитируемой литературы и собственных публикаций по теме диссертации. При этом, например, ссылки в тексте, в таблицах и в основных результатах работы интерпретируются неоднозначно.

3. На стр. 19, стр.22 обозначение размерности «kW/cm<sup>2</sup>» дано латиницей, хотя в русском языке есть обозначение «кВт/см<sup>2</sup>».

Указанные замечания не являются принципиальными и не умаляют важность и значимость полученных результатов.

Считаю, что диссертация «Спектрально-люминесцентные и кинетические исследования градиентно-активированных кристаллов ниобата лития с оптическими центрами Yb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup>» удовлетворяет требованиям Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 01.10.2018) «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Цема Александр Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

Петров Виктор Валерьевич

кандидат физико-математических наук (01.04.21 – лазерная физика)

старший научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЛФ СО РАН)



В.В. Петров

Почтовый адрес:

630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 15Б, ИЛФ СО РАН

Тел. +7(383)330-98-36, электронный адрес: vpetv@laser.nsc.ru

Подпись Петрова В.В. заверяю,  
Учёный секретарь ИЛФ СО РАН,  
к.ф.-м.н.



П.В. Покасов