

## ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

о диссертации Смирнова Максима Владимировича

«Структурные дефекты и рекомбинационные процессы в монокристаллических и керамических твердых растворах  $\text{LiNbO}_3:\text{Me}$  (Me – Nb, Zn, Mg) и  $\text{ANbO}_4$  (A – Gd, Y)», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 - Физика конденсированного состояния

Диссертация М.В. Смирнова выполнена в области физики разупорядоченных кристаллических сред – важной области физики конденсированного состояния и посвящена установлению роли особенностей дефектной структуры в формировании излучательных/безызлучательных рекомбинационных процессов различного типа в полученных по разным технологиям (разрабатываемых в ИХТРЭМС КНЦ РАН) нелинейно-оптических монокристаллах  $\text{LiNbO}_3$  (номинально чистых и легированных цинком и магнием в широком диапазоне концентраций) и в керамиках  $\text{LiNbO}_3$  и  $\text{ANbO}_4$  (A – Gd, Y). Монокристаллические объекты диссертационного исследования отличаются низким эффектом фоторефракции и перспективны в качестве новых функциональных материалов для генерации, преобразования и модуляции лазерного излучения, а керамики  $\text{ANbO}_4$  - в качестве новых люминесцентных материалов. Особенности их структуры, как нестехиометрических фаз переменного состава, предоставляют широкие возможности для качественного улучшения физических характеристик материалов путем изменения состава и состояния дефектности. В работе затронуты также некоторые вопросы физического материаловедения и оптики, решение которых актуально для разработки физических основ промышленных технологий монокристаллов  $\text{LiNbO}_3:\text{Me}$  (Me – Nb, Zn, Mg) и керамик  $\text{ANbO}_4$ .

Научная новизна работы заключается, прежде всего, в установлении закономерностей изменения механизмов излучательной рекомбинации дефектных центров в видимой и ближней инфракрасной (ИК) области спектра в матрицах серий монокристаллов  $\text{LiNbO}_{3\text{конг}}$ ,  $\text{LiNbO}_{3\text{стех}}$ ,  $\text{LiNbO}_{3\text{стех}}$  (6.0 масс. %  $\text{K}_2\text{O}$ ),  $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$  (0.04÷5.19 мол.%  $\text{ZnO}$ ) и  $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$  (0.19÷5.29 мол.%  $\text{MgO}$ ) и керамик  $\text{LiNbO}_3$ ,  $\text{ANbO}_4$  (A – Gd, Y), номинально чистых и активированных ионами  $\text{Eu}^{3+}$ , в зависимости от состава, температуры и технологий получения. Автором впервые с использованием метода фотолюминесценции и оптической абсорбционной спектроскопии проведены сравнительные исследования зонной структуры монокристаллов  $\text{LiNbO}_3$  различного состава, полученных по разным технологиям. Впервые установлено, что спектрально фотолюминесценция в кристаллах и керамиках  $\text{LiNbO}_3$  и  $\text{ANbO}_4$  разного состава зависит как от возбуждения центров свечения, локализация которых наблюдается на поверхностных макродефектах, так и от центров свечения бесконечно транслируемой структуры кристаллической матрицы. Установлены пороговые концентрации легирующих элементов в кристаллах  $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$  и  $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ , при которых скачком изменяется система центров свечения в оптической области. Установлен аддитивный характер вкладов в общий люминесцентный сигнал в ближней ИК области от собственных дефектов и впервые показано, что интенсивность сигнала зависит, кроме того, от концентрации гидроксильных групп в кристалле. Впервые в исследованных объектах изучено температурное тушение фотолюминесценции и объяснен механизм тушения.

Полученные в работе научные данные вносят весомый вклад в создание физических основ промышленных технологий монокристаллов ниобата лития разного состава. Результаты

исследований применены в лаборатории материалов электронной техники ИХТРЭМС КНЦ РАН при отработке на промышленных установках технологий выращивания крупногабаритных оптически высокосовершенных монокристаллов  $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$  и  $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ , характеризующихся низким эффектом фоторефракции, с минимальной фотолюминесценцией матрицы кристалла. Метод также может быть перспективен для определения связанного водорода в структуре кристалла  $\text{LiNbO}_3$ , что важно при создании протонообменных слоёв в волноводных устройствах на основе ниобата лития. В лазерной технике результаты работы можно использовать для оценки эмиссионных свойств матрицы кристалла с целью создания твердотельного лазера на редкоземельных элементах (РЗЭ), основанном на трансфере энергии между центрами свечения кристаллической решетки и РЗЭ за счёт спектрального перекрытия спектра поглощения  $4f^n-4f^n$  переходов последнего со спектром люминесценции дефектного центра.

Представленные в диссертации научные результаты были получены в ходе исследований, проводившихся М.В. Смирновым во время обучения в аспирантуре при ФИЦ КНЦ РАН и работы в ИХТРЭМС КНЦ РАН в качестве инженера-исследователя. Результаты многократно докладывались на конференциях различного уровня. М.В. Смирновым по теме диссертации в соавторстве опубликовано 16 статей в ведущих отечественных и международных научных журналах, включая журналы, имеющие высокий ( $Q_1$  и  $Q_2$ ) квартиль. В 2022 году за цикл научных работ по теме диссертации М.В. Смирнов был удостоен специальной стипендии Губернатора Мурманской области. С 2020 года по настоящее время М.В. Смирнов является исполнителем в гранте РФФИ «Аспиранты» № 20-33-90078.

За время учебы в аспирантуре и работы в лаборатории материалов электронной техники ИХТРЭМС КНЦ РАН М.В. Смирнов проявил себя ответственным и инициативным сотрудником, приобрел серьезные навыки и фундаментальные знания в области физики разупорядоченных кристаллических сред, физического материаловедения, технологий монокристаллов и керамик, стал высококвалифицированным специалистом-физиком, способным на высоком научном уровне самостоятельно решать достаточно сложные научные задачи, проводить научные эксперименты, интерпретировать полученные данные. Его отличает высокий теоретический уровень, тщательность в постановке физического эксперимента, умение анализировать литературные данные, умение планировать свою работу, целеустремленность и настойчивость в достижении поставленных целей, хорошая коммуникабельность и умение эффективно работать в научном коллективе. Личный вклад М.В. Смирнова в проведение исследований по теме диссертации, в получение экспериментальных результатов, в их теоретическую интерпретацию может быть оценен, как существенный и определяющий.

Диссертация М.В. Смирнова хорошо оформлена, графические и табличные материалы достаточно полно отражают полученные автором результаты. Из литературного обзора логически следуют цели и задачи диссертационного исследования. Текст изложения материала диссертации строго научный. Все главы работы логически связаны между собой, содержат грамотные выводы, по которым можно судить о завершенности раздела и решении задач на конкретном этапе работы. Автореферат хорошо оформлен и полностью отражает содержание работы. Поставленные в диссертации научные задачи решены в полном объеме и на высоком научном уровне.

Считаю, что диссертация М.В. Смирнова представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научно-методическом уровне. По

актуальности темы, объёму, обоснованности научных положений, сформулированным выводам, научной новизне и практической значимости диссертация полностью удовлетворяет п.2 Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова. Диссертация М.В. Смирнова «Структурные дефекты и рекомбинационные процессы в монокристаллических и керамических твердых растворах  $\text{LiNbO}_3:\text{Me}$  ( $\text{Me} - \text{Nb}, \text{Zn}, \text{Mg}$ ) и  $\text{ANbO}_4$  ( $\text{A} - \text{Gd}, \text{Y}$ )» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния. Смирнов Максим Владимирович рекомендуется для присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Главный научный сотрудник лаборатории материалов электронной техники Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева – обособленного подразделения федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ИХТРЭМС КНЦ РАН), доктор физико-математических наук, профессор Сидоров Николай Васильевич

184209, г. Апатиты, Мурманская область,  
ул. Академгородок, 26А, ИХТРЭМС КНЦ РАН.  
тел. (81555)79194; +7-921-27-68-188  
e-mail: n.sidorov@ksc.ru

Подпись главного научного сотрудника лаборатории материалов электронной техники ИХТРЭМС КНЦ РАН, доктора физико-математических наук, профессора Сидорова Николая Васильевича заверяю. Ученый секретарь ИХТРЭМС КНЦ РАН, к.т.н.

Т.Н. Васильева