

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Титова Романа Алексеевича «Технологические и структурные факторы формирования физических характеристик нелинейно-оптических монокристаллов ниобата лития, легированных цинком и бором», представленной к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7 – Технология неорганических веществ

В настоящее время актуальны высокосовершенные монокристаллы ниобата лития ( $\text{LiNbO}_3$ ), обладающие высокой композиционной однородностью и низким эффектом фоторефракции. При этом в качестве функциональных нелинейно-оптических материалов для лазерной и параметрической генерации наиболее перспективны монокристаллы ниобата лития стехиометрического ( $R=\text{Li}/\text{Nb}=1$ ) и близкого к нему составов ( $R\approx 1$ ), а также монокристаллы, легированные «нефоторефрактивными» катионами металлов (Zn, Mg и др.). Недостатком сильного легирования «нефоторефрактивными» катионами металлов является то, что наиболее существенное снижение эффекта фоторефракции достигается лишь при высоких концентрациях легирующих металлов, близких к пороговым значениям и выше. В свою очередь, наличие концентрационных порогов приводит к сильному возрастанию композиционной и оптической неоднородности кристалла  $\text{LiNbO}_3$ . По этой причине актуальным является выявление концентрационных областей максимального композиционного и структурного упорядочения легированных монокристаллов, а также поиск альтернативных путей (с использованием неметаллических легирующих компонентов) создания высокосовершенных монокристаллов высокой композиционной однородности с максимально низкими эффектами фоторефракции.

В диссертационной работе Титова Р.А. изучено влияние легирующих добавок цинка и бора в широком диапазоне концентраций и особенностей технологий легирования на состояние дефектной структуры, композиционную однородность и оптические свойства кристаллов  $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$  и  $\text{LiNbO}_3:\text{B}$ . Определены оптимальные концентрационные области и отдельные составы легирующих катионов цинка, соответствующие максимальной композиционной однородности и наиболее низкому эффекту фоторефракции кристаллов  $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$ . Обобщено многофакторное воздействие химически активного неметаллического элемента бора на систему кристалл-расплав. Исследованы особенности локализации катионов бора в структуре кристаллов  $\text{LiNbO}_3:\text{B}$  (полученных по разным технологиям легирования) и влияние бора на композиционную однородность, состояние дефектности и фоторефрактивные свойства кристаллов. Выполнены сравнительные исследования структуры монокристаллов  $\text{LiNbO}_3:\text{B}$ , полученных по разным технологиям.

Заслуживают высокой оценки выполненные автором модельные расчёты локализации следовых ( $<10^{-4}$  мас. %) количеств катионов бора в структуре кристалла  $\text{LiNbO}_3$ , позволившие определить наиболее вероятную локализацию катионов бора в кислородно-октаэдрической структуре кристалла. Отличительной чертой работы является подробное исследование спектров комбинационного рассеяния света (КР) кристаллов  $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$  и  $\text{LiNbO}_3:\text{B}$  в геометриях рассеяния  $Y(ZX)Y$  и  $Y(ZZ)Y$  и их интерпретация во взаимосвязи с типом легирующей примеси и технологиями легирования кристаллов. Выполненные расчёты изобарно-изотермического потенциала образования боратов примесных металлов в шихте конгруэнтного состава, с теоретической точки зрения, подтверждают состоятельность предложенного в работе метода легирования неметаллическим элементом бора для получения кристаллов оптического качества.

Стоит сказать и о недостатке работы. Автор использует спектроскопию КР для исследования влияния типа легирующей примеси и её концентрации на особенности структуры кристаллов  $\text{LiNbO}_3:\text{B}$  (0.55, 0.69 и 0.83 мол. %  $\text{B}_2\text{O}_3$  в шихте), полученных по технологии прямого твёрдофазного легирования оксидом бора, и кристалла  $\text{LiNbO}_3:\text{B}$  (1.24 мол. %  $\text{B}_2\text{O}_3$  в шихте), полученного по технологии прямого твёрдофазного легирования

борной кислотой. Однако в работе отсутствуют исследования методом спектроскопии КР кристалла  $\text{LiNbO}_3:\text{B}$  (0.547 мол. %  $\text{B}_2\text{O}_3$  в шихте), полученного по технологии прямого твёрдофазного легирования борной кислотой, и кристалла  $\text{LiNbO}_3:\text{B}$  (0.02 мол. %  $\text{B}_2\text{O}_3$  в шихте), полученного по технологии гомогенного легирования борной кислотой. Сравнение спектров КР кристаллов  $\text{LiNbO}_3:\text{B}$ , полученных по трём технологиям, позволило бы получить дополнительную информацию о воздействии неметаллического элемента бора на структуру кристаллов  $\text{LiNbO}_3:\text{B}$ .

Сделанное замечание не влияет на общее положительное впечатление от работы. Диссертация выполнена на высоком экспериментальном и теоретическом уровне, содержит новые научные и практически значимые результаты, которые опубликованы в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, а также в изданиях, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов кандидатских и докторских диссертаций. Результаты исследований изложены на научных конференциях различного уровня и направлений.

Учитывая вышеизложенное, считаю, что диссертация Титова Р.А. «Технологические и структурные факторы формирования физических характеристик нелинейно-оптических монокристаллов ниобата лития, легированных цинком и бором» полностью удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г. (в редакции от 01.10.2018 № 1168), а ее автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7 «Технология неорганических веществ».

Карпов Максим Александрович, кандидат технических наук, доцент, высококвалифицированный старший научный сотрудник, лаборатория "Когерентная оптика" Отделения Оптики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), 119991, Москва, Ленинский проспект, д. 53.  
karpovma@lebedev.ru, тел. 8-499-1326551.

Я, Карпов Максим Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

16.05.2022

Подпись Карпова М.А. удостоверяю:  
помощник директора ФИАН по научной работе,  
доктор физико-математических наук



Карпов М.А.

Савинов С.Ю.