

## ОТЗЫВ

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

Монокристаллы ниобата лития обладают высокой композиционной однородностью, низким эффектом фоторефракции и коэрцитивным полем. Поэтому актуальной является разработка технологий получения и исследования особенностей структуры и физических характеристик таких кристаллов. В настоящее время отсутствуют исследования композиционной однородности и физических свойств многих сильно легированных монокристаллов  $\text{LiNbO}_3$  разного состава, в том числе и монокристаллов легированных цинком и бором, необходимых для разработки технологии их получения. Поэтому исследования влияние легирующих добавок цинка и бора в широком диапазоне концентраций на состояние дефектной структуры, композиционную однородность и оптические свойства кристаллов  $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$  и  $\text{LiNbO}_3:\text{B}$  являются актуальными, что и является целью диссертационной работы Титова Р.А..

Задачи работы заключаются в изучении следующих процессов и явлений:

- физико-химических особенностей системы  $\text{Li}_2\text{O}-\text{Nb}_2\text{O}_5-\text{ZnO}$  и структурных особенностей монокристаллов  $\text{LiNbO}_3$ , легированных цинком в широком диапазоне концентраций (0.04-5.84 мол. %  $\text{ZnO}$  в кристалле);
- физико-химических особенностей системы  $\text{Li}_2\text{O}-\text{Nb}_2\text{O}_5-\text{B}_2\text{O}_3$  и обобщения многофакторного воздействия бора на систему кристалл-расплав;
- особенностей локализации катионов бора в структуре кристаллов  $\text{LiNbO}_3:\text{B}$ ;
- влияния бора на композиционную однородность, состояние дефектности и фоторефрактивные свойства кристалла.

Экспериментально установлено уменьшение концентрации дефектов  $\text{NbLi}$  с увеличением концентрации цинка и практически полным их отсутствием в кристаллах  $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$  при определенной концентрации цинка. Для этих кристаллов установлена концентрационная область максимальной композиционной однородности и упорядочения структурных единиц, в которой порядок расположения катионов вдоль полярной оси промежуточный между порядком в стехиометрическом и конгруэнтном кристаллах. Показано наличие в кристаллах  $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$  дополнительных не менее трёх слабовыраженных порогов при 1.39, 3.43 и 5.19 III мол. %  $\text{ZnO}$  в кристалле.

Для монокристаллов ниобата лития, легированных бором ( $\text{LiNbO}_3:\text{B}$ ) показано, что неметаллический элемент бор входит в структуру кристалла только в следовых количествах ( $\sim 4 \cdot 10^{-4}$  мол. %) вне зависимости от технологии введения катионов бора в шихту конгруэнтного состава. Впервые установлено, что катионы бора  $\text{B}^{3+}$  в следовых количествах встраиваются в тетраэдрические пустоты структуры кристаллов  $\text{LiNbO}_3$ . Это приводит к заметному изменению длин связей и кислородно-октаэдрических кластеров  $\text{MeO}_6$ , искажению кислородного каркаса

кристалла, увеличению отношения  $[Li]/[Nb]$  и к повышению упорядочения структурных единиц катионной подрешётки кристаллов, что влияет на нелинейно-оптические свойства кристалла. Впервые показано, что кристаллы  $LiNbO_3:B$  (0.55, 0.69, 0.83 и 1.24 мол. %  $B_2O_3$  в шихте) отличаются более низким эффектом фоторефракции по сравнению с кристаллом  $LiNbO_3$ стех, и более близким к таковому для кристалла  $LiNbO_3$ конг. Установлено, что технология гомогенного легирования позволяет получить кристаллы ниобата лития, обладающие структурой более совершенной и более близкой к структуре кристалла стехиометрического состава  $LiNbO_3$ стех (5.5 мас. %  $K_2O$ ), полученного по технологии НТТSSG, чем технология прямого твёрдофазного легирования борной кислотой.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в следующем:

- впервые обнаружены слабовыраженные концентрационные пороги в кристаллах  $LiNbO_3:Zn$ , полученных по технологии прямого легирования расплава, при 1.39, 3.43 и 5.19III мол. %  $ZnO$  в кристалле. Они позволяют более точно определить оптимальные концентрационные области легирующих катионов цинка, соответствующие высокой композиционной однородности и наиболее низкому эффекту фоторефракции кристаллов  $LiNbO_3:Zn$ .

- предложен новый способ легирования монокристаллов  $LiNbO_3$  путём внедрения следовых количеств ( $\sim 4 \cdot 10^{-4}$  мол. %) неметаллического элемента бора в тетраэдрические  $O_4$  пустоты кристалла. Способ позволяет получать монокристаллы  $LiNbO_3:B$ , обладающие рядом преимуществ по сравнению с номинально чистыми и сильнолегированными монокристаллами.

Впервые исследованы, полученные по разным технологиям, монокристаллы  $LiNbO_3:B$  разного состава:

- кристаллы  $LiNbO_3:B$  (0.55, 0.69 и 0.83 мол. %  $B_2O_3$  в шихте), полученные по технологии прямого твёрдофазного легирования шихты конгруэнтного состава оксидом бора;

- кристаллы  $LiNbO_3:B$  (0.547 и 1.24 мол. %  $B_2O_3$  в шихте), полученные по технологии прямого твёрдофазного легирования шихты конгруэнтного состава борной кислотой;

- кристалл  $LiNbO_3:B$  (0.02 мол. %  $B_2O_3$  в шихте), полученный по технологии гомогенного легирования с использованием прекурсора  $Nb_2O_5:B$ .

Показано, что для получения оптически совершенных композиционно однородных крупногабаритных близких к стехиометрическому составу монокристаллов  $LiNbO_3:B$  для нелинейной, лазерной и интегральной оптики наиболее оптимальной среди других технологий является технология с использованием химически активного элемента бора.

Результаты диссертационной работы используются в научных исследованиях и в учебном процессе. Материалы диссертационной работы хорошо опубликованы и докладывались на многих зарубежных и отечественных конференциях.

Замечаний по работе не имеем.

Считаем, что диссертационная работа Титова Романа Алексеевича на тему «Технологические и структурные факторы формирования физических характеристик нелинейно-оптических монокристаллов ниобата лития, легированных цинком и бором», соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям, представляемым на соискание учений степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7 – «Технология неорганических веществ».

Фамилия Имя Отчество

Учёная степень, учёное звание

Должность

Структурное подразделение

Полное название организации

Почтовый адрес организации  
e-mail, телефон автора отзыва

Михайлов Михаил Михайлович  
доктор физико-математических наук, профессор  
заведующий лабораторией  
Лаборатория радиационного и космического  
материаловедения  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
Томский государственный университет систем  
управления и радиоэлектроники  
634050, г. Томск, проспект Ленина, 40  
[membrana2010@mail.ru](mailto:membrana2010@mail.ru), 8-913-100-01-06

Я, Михайлов Михаил Михайлович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

 / М. М. Михайлов /

Старший научный сотрудник Лаборатории радиационного и космического материаловедения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кандидат технических наук.

 / А.Н. Лапин /

Подписи Михайлова М.М. и Лапина А.Н. заверяю, Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

 / Е.В. Прокопчук /

