

Заключение диссертационного совета МГУ.013.3

по диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Решение диссертационного совета от «8» июня 2023 г. № 8

О присуждении Кадетовой Александре Владимировне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Дефекты структуры и нелинейно-оптические свойства легированных кристаллов ниобата лития» по специальности 1.3.8 - Физика конденсированного состояния принята к защите диссертационным советом МГУ.013.3 13 апреля 2023 г., протокол № 4.

Соискатель Кадетова Александра Владимировна, 1994 года рождения, в 2018 году окончила магистратуру физико-технического института Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петрозаводский государственный университет», в 2022 году окончила аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук».

Соискатель работает в должности инженера на кафедре физики твёрдого тела Петрозаводского государственного университета.

Диссертация выполнена в лаборатории материалов электронной техники Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра Российской академии наук.

Научный руководитель – Палатников Михаил Николаевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник с исполнением обязанностей по руководству лабораторией материалов электронной техники Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Еремин Николай Николаевич, доктор химических наук, доцент, член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой кристаллографии и кристаллохимии, и.о. декана геологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Цыбуля Сергей Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела исследования катализаторов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук».

Левин Иван Сергеевич, кандидат физико-математических наук, и.о. ведущего научного сотрудника лаборатории №2 «Химии нефти и нефтехимического синтеза» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева Российской академии наук.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 30 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 20 работ, из них 14 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Перечень статей, опубликованных в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus и RSCI:

1. Kadetova A.V. Nonlinear optical properties of lithium niobate crystals doped with alkaline earth and rare earth elements / Palatnikov M.N., Kadetova A.V., Smirnov M.V., Sidorova O.V., Vorobev D.A. // *Optical Materials*. – 2022. – V. 131. – Art. 112631(1-8). IF = 3.754 (WoS) (вклад 0.6)

2. Kadetova A.V. Growth, structure, physical and chemical characteristics in a series of LiNbO₃:Er crystals of different composition grown in one technological cycle / Palatnikov M.N., Kadetova A.V., Aleshina L.A., Sidorova O.V., Biryukova I.V., Makarova O.V. // *Optics & Laser Technology*. – 2022. – V. 147. – Art. 107671(1-9). IF = 4.939 (WoS) (вклад 0.2)

3. Kadetova A.V. Growth and concentration dependences of properties of LiNbO₃:Tb crystals grown in a single technological cycle / Palatnikov M.N., Sidorov N.V., Kadetova A.V., Makarova O.V. // *Optical Materials*. – 2021. – V. 122. – Art. 111755(1-9). IF = 3.754 (WoS) (вклад 0.3)

4. Kadetova A.V. Concentration threshold in optically nonlinear LiNbO₃:Tb crystals / Palatnikov M.N., Sidorov N.V., Kadetova A.V., Teplyakova N.A., Makarova O.V., Manukovskaya D.V. // *Optics & Laser Technology*. – 2021. – V. 137. – Art. 106821. IF = 4.939 (WoS) (вклад 0.2)

5. Кадетова А.В. Особенности структуры кристаллов LiNbO₃:Tb различного химического состава / Палатников М.Н., Алешина Л.А., Сидорова О.В., Кадетова А.В., Сидоров Н.В., Бирюкова И.В., Макарова О.В. // *Журнал технической физики*. – 2021. – Т.91, № 6. – С. 956–963.

Kadetova A.V. The Structure of LiNbO₃:Tb Crystals with Various Chemical Compositions / Palatnikov M.N., Aleshina L.A., Sidorova O.V., Kadetova A.V., Sidorov N.V., Biryukova I.V., Makarova O.V. // *Technical Physics*. – 2021. – V. 66, no. 6. – P. 909–916. IF = 0.489 (WoS) (вклад 0.3)

6. Кадетова А.В. Сравнительные исследования реальной структуры кристаллов LiNbO₃:ZnO, выращенных с использованием прямого и гомогенного легирования / Палатников М.Н., Сидоров Н.В., Кадетова А.В., Алёшина Л.А., Теплякова Н.А., Бирюкова И.В., Макарова О.В. // *Кристаллография*. – 2020. – Т. 65, №1. – С. 23–31.

Kadetova A.V. Comparative Study of Real Structure of LiNbO₃:ZnO Crystals Grown by Direct and Homogeneous Doping / Palatnikov M.N., Sidorov N.V., Kadetova A.V., Biryukova I.V., Makarova O.V. // Crystallography Reports. – 2020. – V. 65, no. 1. – P. 18-26. IF = 0.667 (WoS) (вклад 0.2)

7. Kadetova A.V. Raman spectroscopy and X-Ray analysis of non-stoichiometric lithium niobate crystals / Sidorov N.V., Teplyakova N.A., Palatnikov M.N., Aleshina L.A., Sidorova O.V., Kadetova A.V. // Journal of Solid State Chemistry. – 2020. – V. 282. – P. 121109–121115. IF = 3.656 (WoS) (вклад 0.2)

8. Кадетова А.В. Исследование структурной и оптической однородности кристаллов LiNbO₃:ZnO различного генезиса / Палатников М.Н., Сидоров Н.В., Кадетова А.В., Алешина Л.А., Теплякова Н.А., Маслобоева С.М., Макарова О.В. // Перспективные материалы. – 2019. – № 9 – С. 24–37.

Kadetova A.V. Investigation of Structural and Optical Homogeneity of LiNbO₃:ZnO Crystals. Palatnikov M.N., Sidorov N.V., Kadetova A.V., Aleshina L.A., Teplyakova N.A., Masloboeva S.M., Makarova O.V. // Inorganic Materials: Applied Research. – 2020. – V. 11, no. 2. – P. 320–329. SJR = 0.287 (Scopus) (вклад 0.1)

9. Kadetova A.V. Raman Scattering in Non-Stoichiometric Lithium Niobate Crystals with a Low Photorefractive Effect / Sidorov N.V., Palatnikov M.N., Kadetova A.V. // Crystals. – 2019. – V. 9, no. 10. – P. 535–572. IF = 2.67 (WoS) (вклад 0.1)

10. Кадетова А.В. Упорядоченная подрешетка дефектов в кристалле ниобата лития / Алёшина Л.А., Сидорова О.В., Кадетова А.В., Сидоров Н.В., Теплякова Н.А., Палатников М.Н. // Неорганические материалы. – 2019. – V. 55, № 7. – С. 738–743.

Kadetova A.V. Ordered Defect Lattice in Lithium Niobate Crystals / Aleshina L.A., Sidorova O.V., Kadetova A.V., Sidorov N.V., Teplyakova N.A., Palatnikov M.N. // Inorganic materials. – 2019. – V. 55, no. 7. – P. 692–697. IF = 0.907 (WoS) (вклад 0.3)

11. Кадетова А.В. Пороговые эффекты и аномалии физических характеристик в кристаллах LiNbO₃ / Палатников М.Н., Сидоров Н.В., Макарова О.В., Кадетова А.В., Алёшина Л.А., Панасюк С.Л., Юдин И.В., Иванова Е.В., Заморянская М.В. // Неорганические материалы. – 2019. – Т. 55, № 6. – С. 642–649.

Kadetova A.V. Threshold effects and anomalies in the physical characteristics of LiNbO₃:ZnO crystals / Palatnikov M.N., Sidorov N.V., Makarova O.V., Kadetova A.V., Aleshina L.A., Panasyuk S.L., Yudin I.V., Ivanova E.V., Zamoryanskaya M.V. // Inorganic materials. – 2019. – V. 55, no. 6. – P. 600–606. IF = 0.907 (WoS) (вклад 0.1)

12. Kadetova A.V. Concentration threshold effect on properties of zinc-doped lithium niobate crystals / Palatnikov M.N., Sidorov N.V., Makarova O.V., Manukovskaya D.V., Aljoshina L.A.,

Kadetova A.V. // Journal of the American Ceramic Society. – 2017. – V. 100, no. 8. – P. 3703–3711.

IF = 4,186 (WoS) (вклад 0.3)

13. Кадетова А.В. Особенности структуры и оптические свойства кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{ZnO}$ (3,43 – 5,84 мол.%) / Сидоров Н.В., Теплякова Н.А., Яничев А.А., Палатников М.Н., Макарова О.В., Алешина Л.А., Кадетова А.В. // Неорганические материалы. – 2017. – № 5. – С. 491–497.

Kadetova A.V. Structure and optical properties of $\text{LiNbO}_3:\text{ZnO}$ (3,43 – 5,84 mol.%) / Sidorov N.V., Teplyakova N.A., Palatnikov M.N., Makarova O.V., Aljoshina L.A., Kadetova A.V. // Inorganic materials. – 2017. – V. 53, no. 5. – P. 489–495. IF = 0.907 (WoS) (вклад 0.2)

14. Кадетова А.В. Исследование структуры сильно легированных кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{ZnO}$ ($[\text{ZnO}] \sim 4,02 – 8,91$ мол.%) / Палатников М.Н., Сидоров Н.В., Алешина Л.А., Кадетова А.В., Бирюкова И.В., Макарова О.В. // Перспективные материалы. – 2017. – № 6. – С. 5–14.

Kadetova A.V. Research of physicochemical properties and structure of strongly doped $\text{LiNbO}_3:\text{ZnO}$ ($[\text{ZnO}] \sim 4.02–8.91$ mol %) crystals / Palatnikov M.N., Sidorov N.V., Aleshina L.A., Kadetova A.V., Biryukova I.V., Makarova O.V. // Inorganic Materials: Applied Research.- 2017 – V.8, no. 5 – P. 674–680. SJR = 0.287 (Scopus) (вклад 0.3)

На автореферат поступило 5 дополнительных отзывов, все положительные.

Выбор официальных оппонентов обосновывался их профессиональной квалификацией и наличием публикаций в области физики конденсированного состояния.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований, получены научные результаты и решены научные задачи, имеющие значение для развития в области физики конденсированного состояния.

Наиболее значимые результаты работы:

1. Установлено, что в структуре как номинально чистых, так и легированных Zn, Er и Tb кристаллов LiNbO_3 возникают области, в которых нарушается чередование катионов и образуется дефект укладки по типу ильменита. Концентрация данных дефектов не превышает 4%;

2. Кристаллы, полученные методом прямого легирования цинком, обладают менее дефектной структурой по сравнению с кристаллами, полученными методом гомогенного легирования: в последних в бóльшем количестве присутствуют дефекты типа ниобий и цинк в пустом октаэдре и наблюдается большое количество литиевых и ниобиевых вакансий;

3. Установлено, что в кристаллах, легированных тербием, пороговая концентрация составляет около ~ 2 мол%, а в кристаллах LiNbO_3 , легированных эрбием, ~ 2.48 мол%;

4. В легированных редкоземельными элементами (тербий и эрбий) кристаллах ниобата лития с увеличением концентрации примеси в кристалле изменяется модель расположения

собственных и примесных дефектов: при низких концентрациях примесь занимает позиции лития, при высоких ($Tb \approx 2.7$ мол%, $Er > 2.48$ мол%) примесь размещается дополнительно еще и в пустых октаэдрах;

5. Теоретическая оценка эффективности преобразования лазерного излучения во вторую гармонику показала, что кристаллы $LiNbO_3:Zn$, полученные методом прямого легирования, наиболее перспективны для применения в нелинейной оптике, как среда для генерации второй гармоники;

6. В волоконно-оптических линиях связи предпочтительнее использовать кристаллы, легированные эрбием в области допороговых (до 2 мол%) концентраций примеси; для создания лазеров, излучающих в синей области спектра, могут быть рекомендованы «допороговые» кристаллы $LiNbO_3:Tb$ с концентрацией тербия $< \sim 2$ мол%, поскольку они характеризуются структурной однородностью на макро-, микро- и атомарном уровнях и обладают высокой стойкостью к оптическому повреждению.

По результатам работы выработаны рекомендации для оптимизации технологии выращивания легированных цинком, эрбием, тербием кристаллов ниобата лития с низкими значениями фоторефракции и высокой эффективностью нелинейно-оптического преобразования для применения в различных областях оптики.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Сверхструктура в номинально-чистых и легированных цинком, эрбием и тербием кристаллах ниобата лития представляет собой области ильменитоподобного чередования катионов на плоскости (110) в цепочках кислородных октаэдров;

2. Кристаллы $LiNbO_3:Zn$, выращенные из шихты, полученной путем прямого твердофазного легирования, обладают более упорядоченной катионной подрешёткой, содержат меньшее количество дефектов типа Nb и Zn в пустом октаэдре по сравнению с кристаллами $LiNbO_3:Zn$, полученными методом гомогенного легирования;

3. В кристаллах, легированных Er и Tb, при низких концентрациях примесь занимает позиции лития, при высоких ($Tb \approx 2.7$ мол%, $Er > 2.48$ мол% и выше) примесь размещается дополнительно еще и в пустых октаэдрах. В кристаллах, легированных Tb и Er, пороговые концентрации примесей, при которых структурные и оптические характеристики изменяются скачкообразно, равны ~ 2 мол% и ~ 2.48 мол% для $LiNbO_3:Er$;

4. Кристаллы $LiNbO_3:Zn$, полученные методом прямого легирования, обладают наибольшими значениями коэффициентов нелинейно-оптической восприимчивости и наиболее перспективны для применения в нелинейной оптике как среда для генерации второй гармоники.

На заседании 08.06.2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Кадетовой Александре Владимировне ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 3 доктора наук, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета МГУ.013.3
доктор физико-математических наук,
профессор, академик РАН

А.Р. Хохлов

Ученый секретарь
диссертационного совета МГУ.013.3
кандидат физико-математических наук, доцент

И.А. Малышкина

8 июня 2023 г.

Подписи А.Р. Хохлова и И.А. Малышкиной удостоверяю,
Учёный секретарь физического факультета МГУ,
профессор

В.А. Каравасев