

Научная статья
УДК 539.26, 548.4
doi:10.37614/2949-1215.2025.16.2.017

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ДЕФЕКТНОЙ СТРУКТУРЫ КРИСТАЛЛОВ НИОБАТА ЛИТИЯ ДВОЙНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ПО ДАННЫМ ПОРОШКОВОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ

**Александра Владимировна Кадетова¹, Ольга Владимировна Токко²,
Михаил Николаевич Палатников³, Ирина Викторовна Бирюкова⁴**

^{1, 3, 4}Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья имени И. В. Тананаева
Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия

^{1, 2}Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия

¹ttyc9@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3605-0897>

²solvak@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5928-7198>

³m.palatnikov@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9686-0563>

⁴i.biriukova@ksc.ru

Аннотация

Методом рентгеноструктурного анализа (РСА) установлена дефектная структура кристалла $\text{LiNbO}_3\text{:Er:Mg}$ (0,54:3,59 мол. %). Показано, что при использовании гомогенного легирования Mg занимает не только позиции лития в структуре, но и позиции пустого октаэдра. Суммарная концентрация собственных дефектов в образце $\text{LiNbO}_3\text{:Er:Mg}$ выше, чем в кристалле, легированном только Mg. Помимо точечных дефектов в исследуемом кристалле присутствуют протяженные дефекты, представляющие собой нарушения чередования катионов.

Ключевые слова:

ниобат лития, двойное легирование, рентгеновская дифракция, дефектная структура

Финансирование:

исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-13-20004.

Для цитирования:

Анализ изменения дефектной структуры кристаллов ниобата лития двойного легирования по данным порошковой рентгеновской дифракции / А. В. Кадетова [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2025. Т. 16, № 2. С. 102–107. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.2.017.

Original article

X-RAY ANALYSIS OF CHANGES IN THE DEFECT STRUCTURE OF CO-DOPED LITHIUM NIOBATE CRYSTALS

Alexandra V. Kadetova¹, Olga V. Tokko², Mikhail N. Palatnikov³, Irina V Biryukova⁴

^{1, 3, 4}Tananaev Institute of Chemistry—Subdivision of the Federal Research Centre

“Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences”, Apatity, Russia

^{1, 2}Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia

¹ttyc9@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3605-0897>

²solvak@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5928-7198>

³m.palatnikov@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9686-0563>

⁴i.biriukova@ksc.ru

Abstract

The defect structure of the $\text{LiNbO}_3\text{:Er:Mg}$ (0.54:3.59 mol%) crystal was determined by X-ray diffraction analysis (XRD). It was shown that Mg occupied both lithium and empty octahedron positions in the structure of the crystal obtained by homogeneous doping. The total concentration of intrinsic defects in the $\text{LiNbO}_3\text{:Er:Mg}$ sample was higher than in the crystal doped only with Mg. In addition to point defects, the crystal under study contains extended defects which represent disturbances in the alternation of cations.

Keywords:

lithium niobate, double doping, XRD, structural defects

Funding:

The research is implemented with financial support by Russian Science Foundation, project no 24-13-20004.

For citation:

X-ray analysis of changes in the defect structure of co-doped lithium niobate crystals / A. V. Kadetova [et al.] // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2025. Vol. 16, No. 2. P. 102–107. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.2.017.

Введение

Кристаллы LiNbO_3 , легированные эрбием, сочетают в себе лазерные свойства примеси и нелинейно-оптические свойства матрицы-основы [1]. Спектральный пик ионов Er^{3+} приходится на длину волны 1,54 мкм, что соответствует излучательному переходу $4I_{13/2} \rightarrow 4I_{15/2}$. Добавление эрбия позволяет использовать кристаллы ниобата лития в оптических линиях связи в качестве усилителей [2]. Однако эффективность использования данных кристаллов в оптических устройствах уменьшается из-за их низкой чувствительности к оптическим повреждениям [3]. Для решения данной проблемы кристаллы LiNbO_3 легируют нефоторефрактивными примесями. На сегодняшний день самым востребованным методом повышения стойкости кристаллов LiNbO_3 к оптическому повреждению является легирование магнием [4].

Целью данной работы было установить влияние на структурное состояние ниобата лития совместного добавления магния и эрбия в его матрицу. Исследуемый кристалл ($\text{LiNbO}_3\text{:Er:Mg}$, 0,54:3,59 мол. %) был получен методом Чохральского сотрудниками лаборатории материалов электронной техники ИХТРЭМС КНЦ РАН. Примеси вводились методом гомогенного легирования (примесь вводят в Nb_2O_5 на стадии его выделения из высокочистых ниобийсодержащих растворов), преимуществом которого является более однородное распределение легирующей добавки по объему выращенной були [5].

Для анализа изменения дефектной структуры LiNbO_3 при совместном легировании эрбием и магнием структурные данные сравнивались с ранее полученными данными для номинально чистого кристалла ниобата лития конгруэнтного и стехиометрического составов [6; 7], а также с данными для кристаллов $\text{LiNbO}_3\text{:Mg}$, $\text{LiNbO}_3\text{:Mg:B}$ (концентрация бора в кристалле $\sim 10^{-3}$ мол. %), полученных по аналогичной технологии и с близкими концентрациями Mg в кристалле [8; 9]. Номинально чистый кристалл LiNbO_3 состава, близкого к стехиометрическому, выращивался методом НТТССГ (High Temperature Top Seeded Solution Growth) с добавлением к исходному расплаву флюса K_2O .

Результаты

Исследование дефектной структуры, в частности установление модели расположения собственных и примесных дефектов, проводилось методом Ритвельда по данным порошковой рентгеновской дифракции. В качестве стартовых моделей расположения собственных дефектов использовались общеизвестные модели, предложенные в литературе [10–12]. На рис. 1 представлена элементарная ячейка ниобата лития и возможные модели (M1–M8) расположения в ней собственных дефектов с указанием количества дефектов (литиевых и ниобиевых вакансий), необходимых для зарядовой компенсации. Примесь (Me : Mg^{2+} , Er^{3+}) также может занимать регулярные позиции лития, ниобия и пустого октаэдра (M9–M11).

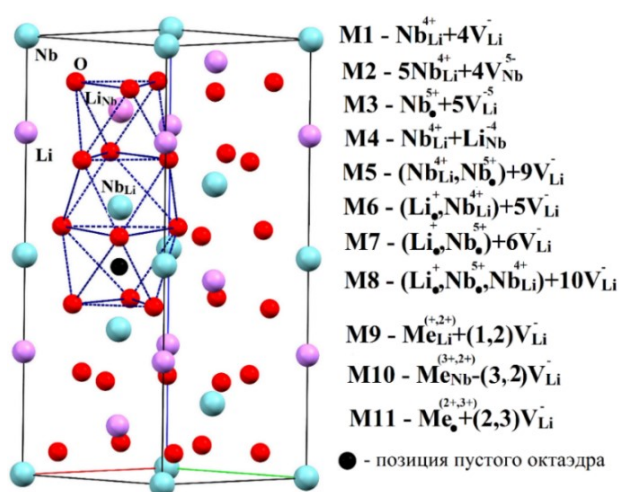


Рис. 1. Элементарная ячейка LiNbO_3 . Модели собственных (M1–M8) и примесных (M9–M11) дефектов в структуре ниобата лития

Для установления дефектной структуры исследуемого кристалла уточнялись все возможные комбинации моделей примесных и собственных дефектов. В случае двойного легирования рассматривалось 40 стартовых моделей. Уточнение методом Ритвельда проводилось с использованием программного комплекса MRIA [13].

В таблице 1 представлены уточненные дефектные модели для исследуемого образца $\text{LiNbO}_3\text{:Er:Mg}$, которые были отобраны по наименьшим R-факторам.

Низкие значения R-факторов не всегда свидетельствуют о том, что модель подобрана правильно. Для выбора наиболее вероятностной модели дополнительно по уточненным значениям заселенностей (G) рассчитываются значения электронейтральности и оценивается стабильность структурных характеристик модели в процессе уточнения.

Согласно вышеперечисленным критериям, наиболее вероятностной модели описания дефектной структуры исследуемого кристалла $\text{LiNbO}_3\text{:Er:Mg}$ соответствовала модель $(\text{Li}_{0,911}\text{Nb}_{0,023}\text{Er}_{0,005}\text{Mg}_{0,027}\text{V}_{0,034})[\text{Nb}_{0,022}\text{Mg}_{0,017}](\text{Nb}_{0,91}\text{V}_{0,09})$ (см. табл. 1).

Таблица 1

Полученные модели дефектной структуры кристалла $\text{LiNbO}_3\text{:Er:Mg}$ (0,54:3,59 мол. %) и соответствующие значения R-факторов (факторов недоверности).

В квадратных скобках указана позиция пустого октаэдра

№	Формула	Факторы недоверности
1	$(\text{Li}_{0,911}\text{Nb}_{0,023}\text{Er}_{0,005}\text{Mg}_{0,027}\text{V}_{0,034})[\text{Nb}_{0,022}\text{Mg}_{0,017}](\text{Nb}_{0,91}\text{V}_{0,09})$	$R_p(\%) = 7,83, R_{wp}(\%) = 10,53$
2	$(\text{Li}_{0,94}\text{Er}_{0,009}\text{Mg}_{0,037}\text{V}_{0,014})[\text{Nb}_{0,02}](\text{Nb}_{0,9}\text{V}_{0,1})\text{O}_3$	$R_p(\%) = 7,92, R_{wp}(\%) = 10,64$
3	$(\text{Li}_{0,98}\text{Nb}_{0,015}\text{Er}_{0,002}\text{V}_{0,003})[\text{Mg}_{0,06}](\text{Nb}_{0,88}\text{V}_{0,12})\text{O}_3$	$R_p(\%) = 8,11, R_{wp}(\%) = 10,86$
4	$(\text{Li}_{0,9}\text{Nb}_{0,02}\text{Er}_{0,005}\text{Mg}_{0,04}\text{V}_{0,035})[\text{Nb}_{0,02}](\text{Nb}_{0,9}\text{V}_{0,01})\text{O}_3$	$R_p(\%) = 7,96, R_{wp}(\%) = 10,60$
5	$(\text{Li}_{0,98}\text{Nb}_{0,017}\text{Mg}_{0,022})[\text{Nb}_{0,014}\text{Mg}_{0,016}\text{Er}_{0,005}](\text{Nb}_{0,89}\text{V}_{0,011})\text{O}_3$	$R_p(\%) = 8,09, R_{wp}(\%) = 10,98$

На рисунке 2 приведен графический результат уточнения методом Ритвельда для исследуемого образца $\text{LiNbO}_3\text{:Er:Mg}$ (0,54:3,59 мол. %). Рентгенограмма получена на дифрактометре ДРОН-6 в медном монохроматизированном излучении ($\lambda = 1,54178 \text{ \AA}$).

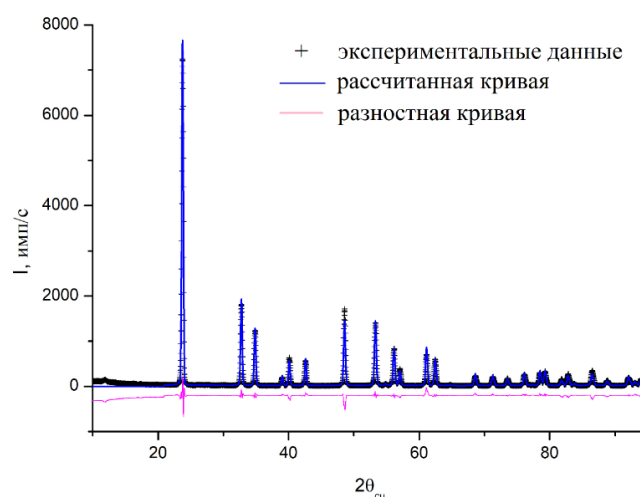


Рис. 2. Графический результат уточнения структурных характеристик исследуемого кристалла $\text{LiNbO}_3\text{:Er:Mg}$ (0,54:3,59 мол. %). Критерии несоответствия (факторы недоверности) профилей теоретической и экспериментальной рентгенограмм: $R_p(\%) = 7,83$; $R_{wp}(\%) = 10,53$

В областях углов рассеяния от 11° до 22° и от $25,3^\circ$ до 31° на рентгенограмме наблюдались слабые отражения — сверхструктурные линии, запрещенные пространственной группой симметрии $R3c$. Наличие данных отражений связано с возникновением протяженных дефектов, представляющих собой нарушения чередования катионов [14].

В таблице 2 приведены уточненные значения периодов элементарной ячейки для исследуемого в работе кристалла в сравнении с данными для номинально чистых кристаллов LiNbO_3 и кристаллов $\text{LiNbO}_3\text{:Mg}$, $\text{LiNbO}_3\text{:Mg:B}$, полученных по аналогичной технологии и с близкими концентрациями Mg.

Таблица 2

Уточненные значения периодов и объема элементарной ячейки легированных кристаллов $\text{LiNbO}_3\text{:Er:Mg}$, $\text{LiNbO}_3\text{:Mg}$, $\text{LiNbO}_3\text{:Mg:B}$, а также номинально чистых кристаллов LiNbO_3

Периоды и объем элементарной ячейки	LiNbO_3		Легированные кристаллы LiNbO_3 (концентрация примесей) мол. %		
	1	2	3	4	5
	Близкий к стех. [6]	Конгр. [7]	(Er:Mg) (0,54:3,59)	(Mg) (4,74) [8]	(Mg:B) (3,7) [9]
a , Å	5,1428	5,1496	5,1533	5,1488	5,1468
c , Å	13,8443	13,8670	13,8577	13,8644	13,8569
V , Å ³	317,09	318,45	318,70	318,29	317,88

Объем элементарной ячейки кристалла $\text{LiNbO}_3\text{:Er:Mg}$ больше, чем у кристаллов номинально чистого состава и у кристаллов $\text{LiNbO}_3\text{:Mg}$, $\text{LiNbO}_3\text{:Mg:B}$. При этом для исследуемого кристалла значение периода a выше по сравнению с остальными кристаллами, а значение периода c выше по сравнению с кристаллами 1, 5 и ниже по сравнению с 2, 4 (см. табл. 2). Наименьший объем имеет кристалл состава, близкого к стехиометрическому, он содержит минимальное количество собственных дефектов.

В таблице 3 приведены уточненные значения коэффициентов заполнения позиций (Li, Nb, собственных и примесных дефектов) и количество вакансий по литию (V_{Li}) и ниобию (V_{Nb}).

Во всех образцах, за исключением номинально чистого кристалла конгруэнтного состава, концентрация ниобиевых вакансий выше, чем концентрация литиевых вакансий, это указывает на то, что в основном компенсация заряда при образовании собственных и примесных дефектов происходит за счет образования ниобиевых вакансий.

Таблица 3

Количество дефектов и вакансий (V) в $\text{LiNbO}_3\text{:Er:Mg}$, $\text{LiNbO}_3\text{:Mg}$, $\text{LiNbO}_3\text{:Mg:B}$, а также в номинально чистых кристаллах LiNbO_3

Дефекты	Заселенность позиций (G)				
	$\text{LiNbO}_3\text{стех}$ [6]	$\text{LiNbO}_3\text{конгр}$ [7]	$\text{LiNbO}_3\text{:Er:Mg}$	$\text{LiNbO}_3\text{:Mg}$ [8]	$\text{LiNbO}_3\text{:Mg:B}$ [9]
V_{Li}	0,007	0,033	0,034	0,014	0,011
V_{Nb}	0,014	0,000	0,090	0,09	0,044
Nb_{Li}	0,004	0,013	0,023	0,011	0,014
$\text{Nb}_{\text{окт}}$	—	—	0,022	0,027	0,017
Er_{Li}	—	—	0,005	—	—
Mg_{Li}	—	—	0,027	0,025	0,017
$\text{Mg}_{\text{окт}}$	—	—	0,017	0,02	0,025

Полученная наиболее вероятностная модель описания дефектной структуры $\text{LiNbO}_3\text{:Er:Mg}$ аналогична таковой для кристаллов $\text{LiNbO}_3\text{:Mg}$ и $\text{LiNbO}_3\text{:Mg:B}$ (см. табл. 3). Часть атомов Mg занимает позиции лития и часть позиции пустого октаэдра. В кристалле с добавлением небольшого количества бора ($\sim 10^{-3}$ мол. %) концентрация магния в пустом октаэдре выше, чем в позиции лития. В остальных образцах — обратная ситуация: эрбий занимает только позицию лития.

Суммарная концентрация дефектов Nb_{Li} , $\text{Nb}_{\text{окт}}$ и вакансий V_{Li} , V_{Nb} в образце $\text{LiNbO}_3\text{:Er:Mg}$ выше, чем в образцах $\text{LiNbO}_3\text{:Mg}$ и $\text{LiNbO}_3\text{:Mg:B}$

Выводы

Методами PCA исследована дефектная структура кристалла ниобата лития при совместном легировании магнием и эрбием. Установлена модель описания дефектной структуры $\text{LiNbO}_3\text{:Er:Mg}$ (0,54:3,59 мол. %) — $(\text{Li}_{0,911}\text{Nb}_{0,023}\text{Er}_{0,005}\text{Mg}_{0,027}\text{V}_{0,034})[\text{Nb}_{0,022}\text{Mg}_{0,017}](\text{Nb}_{0,91}\text{V}_{0,09})$.

Сравнение с данными для кристалла $\text{LiNbO}_3\text{:Mg}$, полученного таким же методом и с близкой концентрацией примеси, показало, что модели расположения собственных и примесных дефектов аналогичны. Однако суммарная концентрация собственных дефектов в образце $\text{LiNbO}_3\text{:Er:Mg}$ выше.

Компенсация заряда при образовании собственных и примесных дефектов происходит за счет образования ниобиевых и литиевых вакансий с преобладанием первых.

Помимо данных дефектов в исследуемом кристалле присутствуют протяженные дефекты, представляющие собой нарушения чередования катионов, а именно: нормальная последовательность укладки катионов вдоль оси c — Li , Nb , $\bullet$, Li , Nb , $\bullet$, Li , Nb ... (LiNbO_3 , $R3c$) — локально заменяется чередованием катионов, характерным для LiNbO_3 с пространственной группой симметрии $R\bar{3}$ — Nb , Li , $\bullet$, Li , Nb , $\bullet$, Nb , Li ... ($\bullet$ — пустой октаэдр).

Список источников

1. Sánchez-Dena O., David Villalobos-Mendoza S., Farías R., David Fierro-Ruiz C. Lithium Niobate Single Crystals and Powders Reviewed—Part II // *Crystals*. 2020. Vol. 10, № 11. P. 990.
2. Mkhitarian N., Zaraket J., Kokanyan N., Kokanyan E., Aillierie M. Electro-optic properties of singly and doubly doped lithium niobate crystal by rare earth elements for optoelectronic and laser applications // *The European Physical Journal Applied Physics*. 2019. Vol. 85, № 3. P. 30502.
3. Yang W.-S., Lee H.-Y., Yoon D.-H. Segregation and laser properties of Er/Mg co-doped LiNbO_3 single crystal // *Journal of Crystal Growth*. 2002. Vol. 244. P. 49–52.
4. Chen Y., Yan W., Guo J., Chen S., Zhang G. et al. Effect of Mg concentration on the domain reversal of Mg-doped LiNbO_3 // *Applied Physics Letters*. 2005. V. 87. P. 212904.
5. Маслобоева С. М., Арутюнян Л. Г. Получение гомогенно легированной эрбием шихты ниобата лития для выращивания монокристаллов высокого оптического качества // *Химические реактивы, реагенты и процессы малотоннажной химии: сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси; Ин-т химии новых материалов; науч. ред. В. Е. Агабеков, Е. В. Королева, К. Н. Гусак. Минск: Беларус. Навука, 2013. С. 239–250.*
6. Tokko O. V., Kadetova A. V., Prusskii A. I., Smirnov M. V., Palatnikov M. N., Sidorov N. V. Structure and Luminescent Properties of Double-Doped $\text{LiNbO}_3\text{:Zn:Mg}$ Crystals // *Phys. Status Solidi A*. 2024. P. 2300796.
7. Fedorova E. P., Aleshina L. A., Sidorov N. V., Chufyrev P. G., Yanichev A. A., Palatnikov M. N., Voskresenskii V. M., Kalinnikov V. T. Stoichiometry and Doping Effects on Cation Ordering in LiNbO_3 Crystals // *Inorganic Materials*. 2010. T. 46, № 2. С. 206–211.
8. Palatnikov M., Makarova O., Kadetova A., Sidorov N., Teplyakova N., Biryukova I., Tokko O. Structure, Optical Properties and Physicochemical Features of $\text{LiNbO}_3\text{:Mg:B}$ Crystals Grown in a Single Technological Cycle: An Optical Material for Converting Laser Radiation // *Materials*. 2023. V. 16. P. 4541.
9. Titov R. A., Kadetova A. V., Manukovskaya D. V., Smirnov M. V., Tokko O. V., Sidorov N. V., Biryukova I. V., Masloboeva S. M., Palatnikov M. N. Features of the Defect Structure of $\text{LiNbO}_3\text{:Mg:B}$ Crystals of Different Composition and Genesis // *Materials*. 2025. V. 18, № 2. P. 436.
10. Lerner P., Legras C., Dumas J. P. Stoechiométrie des monocristaux de métaniobate de lithium // *J. Cryst. Growth*. 1968. V. 3. P. 231–235.
11. Peterson C. E., Carnevale A. Linewidths in nonstoichiometric Lithium Niobate // *J. Chem. Phys.* 1977. V. 56. P. 4848–4851.
12. Zotov N., Boysen H., Frey F., Metzger T., Born E. Cation substitution models of congruent LiNbO_3 investigated by X-ray and neutron powder diffraction // *J. Phys. Chem. Solids*. 1994. V. 55. P. 145–152.
13. Zlokazov V. B., Chernyshev V. V. MRJA — a program for a full profile analysis of powder multiphase neutron-diffraction time-of-flight (direct and Fourier) spectra // *J. Appl. Crystall.* 1992. V. 25. P. 447–451.
14. Kadetova A. V., Tokko O. V., Prusskii A. I., Palatnikov M. N., Sidorov N. V., Teplyakova N. A. Intrinsic stacking fault of the ilmenite type in the structure of lithium niobate crystals of various compositions // *Materialia*. 2023. V. 28. P. 101770.

References

1. Sánchez-Dena O., David Villalobos-Mendoza S., Farías R., David Fierro-Ruiz C. Lithium Niobate Single Crystals and Powders Reviewed—Part II. *Crystals*, 2020, Vol. 10, No. 11, p. 990.
2. Mkhitarian N., Zaraket J., Kokanyan N., Kokanyan E., Aillierie M. Electro-optic properties of singly and doubly doped lithium niobate crystal by rare earth elements for optoelectronic and laser applications. *The European Physical Journal Applied Physics*, 2019, Vol. 85, No 3, p. 30502.
3. Yang W.-S., Lee H.-Y., Yoon D.-H. Segregation and laser properties of Er/Mg co-doped LiNbO_3 single crystal. *Journal of Crystal Growth*, 2002, Vol. 244, pp. 49–52.
4. Chen Y., Yan W., Guo J., Chen S., Zhang G. et al. Effect of Mg concentration on the domain reversal of Mg-doped LiNbO_3 . *Applied Physics Letters*, 2005, Vol. 87, p. 212904.

5. Masloboeva S. M., Arutyunyan L. G. Poluchenie gomogenno legirovannoj erbiem shihty niobata litija dlja vyrashchivaniya monokristallov vysokogo opticheskogo kachestva [Obtaining a homogeneously erbium-doped charge lithium niobate for growing high-quality optical single crystals]. *Himicheskiye reaktivy, reagenty i processy malotonnagnoj himii*. Minsk, Belarus. Navuka, 2013, pp. 239–250. (In Russ.).
6. Tokko O. V., Kadetova A. V., Prusskii A. I., Smirnov M. V., Palatnikov M. N., Sidorov N. V. Structure and Luminescent Properties of Double-Doped $\text{LiNbO}_3\text{:Zn:Mg}$ Crystals. *Phys. Status Solidi A*, 2024, p. 2300796.
7. Fedorova E. P., Aleshina L. A., Sidorov N. V., Chufyrev P. G., Yanichev A. A., Palatnikov M. N., Voskresenskii V. M., Kalinnikov V. T. Stoichiometry and Doping Effects on Cation Ordering in LiNbO_3 Crystals. *Inorganic Materials*, 2010, Vol. 46, No 2, pp. 206–211.
8. Palatnikov M., Makarova O., Kadetova A., Sidorov N., Teplyakova N., Biryukova I., Tokko O. Structure, Optical Properties and Physicochemical Features of $\text{LiNbO}_3\text{:Mg,B}$ Crystals Grown in a Single Technological Cycle: An Optical Material for Converting Laser Radiation. *Materials*, 2023, Vol. 16, p. 4541.
9. Titov R. A., Kadetova A. V., Manukovskaya D. V., Smirnov M. V., Tokko O. V., Sidorov N. V., Biryukova I. V., Masloboeva S. M., Palatnikov M. N. Features of the Defect Structure of $\text{LiNbO}_3\text{:Mg:B}$ Crystals of Different Composition and Genesis. *Materials*, 2025, Vol. 18, No. 2, p. 436.
10. Lerner P., Legras C., Dumas J. P. Stoechiométrie des monocristaux de métaniobate de lithium. *J. Cryst. Growth*, 1968, Vol. 3, pp. 231–235.
11. Peterson C. E., Carnevale A. Linewidths in nonstoichiometric Lithium Niobate. *J. Chem. Phys.*, 1977, Vol. 56, pp. 4848–4851.
12. Zotov N., Boysen H., Frey F., Metzger T., Born E. Cation substitution models of congruent LiNbO_3 investigated by X-ray and neutron powder diffraction. *J. Phys. Chem. Solids*, 1994, Vol. 55, pp. 145–152.
13. Zlokazov V. B., Chernyshev V. V. MRIA—a program for a full profile analysis of powder multiphase neutron-diffraction time-of-flight (direct and Fourier) spectra. *J. Appl. Crystall.*, 1992, Vol. 25, pp. 447–451.
14. Kadetova A. V., Tokko O. V., Prusskii A. I., Palatnikov M. N., Sidorov N. V., Teplyakova N. A. Intrinsic stacking fault of the ilmenite type in the structure of lithium niobate crystals of various compositions. *Materialia*, 2023, Vol. 28, p. 101770.

Информация об авторах

А. В. Кадетова — кандидат физико-математических наук, инженер, старший преподаватель;

О. В. Токко — кандидат физико-математических наук, доцент;

М. Н. Палатников — доктор технических наук, главный научный сотрудник;

И. В. Бирюкова — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник.

Information about the authors

A. V. Kadetova — PhD (Physics & Mathematics), Engineer; Senior Lecturer;

O. V. Tokko — PhD (Physics & Mathematics), Associate Professor;

M. N. Palatnikov — DSc (Engineering), Principal Researcher;

I. V. Biryukova — PhD (Engineering), Leading Researcher.

Статья поступила в редакцию 05.06.2025; одобрена после рецензирования 19.06.2025; принята к публикации 03.07.2025.
The article was submitted 05.06.2025; approved after reviewing 19.06.2025; accepted for publication 03.07.2025.