

Научная статья

УДК 553.062/.067, 553.251, 553.21/.24, 515.14

doi:10.37614/2949-1215.2025.16.1.001

ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ В ИНСТИТУТЕ ХИМИИ И ТЕХНОЛОГИИ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК НАУЧНОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕМАТИКИ, ПОСВЯЩЕННОЙ СИНТЕЗУ И СВОЙСТВАМ НИОБАТО-ТАНТАЛАТНЫХ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И КЕРАМИЧЕСКИХ ОПТО-, АКУСТОЭЛЕКТРОННЫХ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Михаил Николаевич Палатников¹, Николай Васильевич Сидоров², Ольга Борисовна Щербина³, Ирина Викторовна Бирюкова⁴, Максим Владимирович Смирнов⁵, Софья Михайловна Маслобоева⁶, Ольга Викторовна Палатникова⁷, Владимир Абрамович Сандлер⁸, Роман Алексеевич Титов⁹, Любовь Александровна Бобрева¹⁰, Наталья Александровна Теплякова¹¹, Вадим Викторович Ефремов¹², Илья Николаевич Ефремов¹³, Алексей Анатольевич Габаин¹⁴, Диана Владимировна Мануковская¹⁵

^{1–11, 13–15}Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья имени

И. В. Тананаева Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия

¹²Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия

¹m.palatnikov@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9686-0563>

²n.sidorov@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1075-7421>

³o.shcherbina@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9591-0274>

⁴i.biriukova@ksc.ru

⁵m.smirnov@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2645-5524>

⁶sofia_masloboeva@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9954-8479>

⁷o.palatnikova@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3310-8830>

⁸v.sandler@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6347-9333>

⁹r.titov@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7907-623X>

¹⁰l.bobreva@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5367-295X>

¹¹n.tepliakova@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8237-1643>

¹²v.efremov@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2407-7304>

¹³i.efremov@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8517-1831>

¹⁴a.gabain@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1886-0645>

¹⁵d.manukovskaia@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9139-3502>

Аннотация

В статье представлена краткая история становления в ИХТРЭМС КНЦ РАН исследований по научной и технологической тематике, посвященной твердотельным монокристаллическим и керамическим материалам акусто- и оптоэлектроники, а также история создания на Кольском полуострове крупного промышленного производства монокристаллов. Кратко описаны современные тенденции развития исследований лаборатории материалов электронной техники ИХТРЭМС КНЦ РАН и достигнутые лабораторией научные и технологические результаты.

Ключевые слова:

монокристаллы, керамика, материалы акусто- и оптоэлектроники, люминесцентные материалы

Благодарности:

статья выполнена при поддержке федерального бюджета по теме № FMEZ-2025-0055.

Финансирование:

государственное задание по теме № FMEZ-2025-0055.

Для цитирования:

Формирование и развитие в Институте химии и технологии редких элементов и минерального сырья Кольского научного центра Российской академии наук научной и технологической тематики, посвященной синтезу и свойствам ниобато-танталатных монокристаллических и керамических опто-, акустоэлектронных и люминесцентных материалов / М. Н. Палатников [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2025. Т. 16. № 1. С. 9–15. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.1.001.

Original article

FORMATION AND DEVELOPMENT AT THE ICT KSC RAS OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL TOPICS DEDICATED TO THE SYNTHESIS AND PROPERTIES OF NIOBATE-TANTALATE SINGLE-CRYSTAL AND CERAMIC OPTO-, ACOUSTOELECTRONIC AND LUMINESCENT MATERIALS

Mikhail N. Palatnikov¹, Nikolay V. Sidorov², Olga B. Shcherbina³, Irina V. Biryukova⁴, Maxim V. Smirnov⁵, Sofja M. Masloboeva⁶, Olga V. Palatnikova⁷, Vladimir A. Sandler⁸, Roman A. Titov⁹, Lyubov A. Bobreva¹⁰, Natalya A. Teplyakova¹¹, Vadim V. Efremov¹², Ilya N. Efremov¹³, Alexey A. Gabain¹⁴, Diana V. Manukovskaya¹⁵
^{1–11, 13–15}Tananaev Institute of Chemistry of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences,

Apatity, Russia

¹²Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

¹m.palatnikov@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9686-0563>

²n.sidorov@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1075-7421>

³o.shcherbina@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9591-0274>

⁴i.biryukova@ksc.ru

⁵m.smirnov@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2645-5524>

⁶sofia_masloboeva@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9954-8479>

⁷o.palatnikova@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3310-8830>

⁸v.sandler@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6347-9333>

⁹r.titov@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7907-623X>

¹⁰l.bobreva@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5367-295X>

¹¹n.teplyakova@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8237-1643>

¹²v.efremov@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2407-7304>

¹³i.efremov@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8517-1831>

¹⁴a.gabain@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1886-0645>

¹⁵d.manukovskaia@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9139-3502>

Abstract

This article briefly presents the history of the scientific and technological development of solid-state single crystalline and ceramic materials for acousto- and optoelectronics at the ICT KSC RAS, and the establishment of large-scale industrial production of single crystals on the Kola Peninsula. It also briefly describes current research trends at the ICT KSC RAS, and the laboratory's scientific and technological achievements.

Keywords:

single crystals, ceramics, acousto- and optoelectronic materials, luminescent materials

Acknowledgements:

The article was supported by the federal budget under the topic No. FMEZ-2025-0055.

Funding:

State assignment No. FMEZ-2025-0055.

For citation:

Formation and development at the ICT KSC RAS of scientific and technological topics dedicated to the synthesis and properties of niobate-tantalate single-crystal and ceramic opto-, acoustoelectronic and luminescent materials / M. N. Palatnikov [et al.] // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2025. Vol. 16, No. 1. P. 9–15. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.1.001.

Введение

В подавляющем большинстве случаев высокотехнологичные производства в советские времена и на сегодняшний день размещались и размещаются в средних и южных широтах нашей огромной страны. В арктической зоне располагаются, главным образом, горнодобывающие, в лучшем случае — горно-химические и горно-металлургические предприятия. И только благоприятное стечение обстоятельств (наличие в г. Апатиты Кольского филиала Академии наук СССР, знания и огромная творческая энергия небольшого по размерам задачи коллектива ученых, возглавляемого академиком В. Т. Калинниковым) привело к реализации на Кольской земле проекта построения самого большого в Европе завода по производству монокристаллов.

Обсуждение

В семидесятых годах прошлого столетия химики ИХТРЭМС КФАН СССР разработали эффективные технологии переработки редкометалльного сырья. Технология переработки лопаритовой

руды была использована при создании крупномасштабного химического производства в г. Силламяэ (ЭССР). Была также решена задача получения исходных компонентов для создания технологии кристаллов ниобата и танталата лития (LiNbO_3 и LiTaO_3) — особо чистых пентоксидов ниобия и тантала на основе лопаритовой руды, обогащаемой на Ловозерском ГОКе. В Институте химии был создан опытно-промышленный участок, на котором производили до двух тонн шихты LiNbO_3 и LiTaO_3 , поставляемой на завод по росту кристаллов в г. Богородицке (Тульская обл.).

В самом начале восьмидесятых годов прошлого века к. х. н. Ю. И. Балабанов загорелся крупной идеей — создать в г. Апатиты полный цикл производства кристаллов LiNbO_3 и LiTaO_3 , включая производство исходных компонентов и шихты на базе местного редкометалльного сырья. Одновременно с этим Министерство радиоэлектронной промышленности СССР остро нуждалось в расширении производства кристаллов LiNbO_3 и LiTaO_3 . Причем наиболее массовым потребителем таких кристаллов на тот момент было производство телевизоров, которые выпускали в СССР в огромном количестве.

Этот масштабный проект активно поддержал и возглавил новый на тот момент директор ИХТРЭМС д. х. н., проф. В. Т. Калинин. Таким образом, в ИХТРЭМС возникло новое крупное научное направление — материалы электронной техники. Была создана лаборатория материалов электронной техники, которая должна была освоить все технологические переделы, необходимые для создания производства кристаллов.

Началу строительства предшествовал долгий и очень непростой период согласований. А после принятия решения о строительстве завода ИХТРЭМС и, в первую очередь, лаборатория материалов электронной техники внесли большой вклад в согласование проекта и, собственно, проектирование производства. Для успешного решения столь крупных задач необходимо было разработать и освоить технологии кристаллов LiNbO_3 и LiTaO_3 . Поэтому при лаборатории был создан участок по росту кристаллов, который возглавил к. х. н. Ю. А. Серебряков.

За сравнительно короткое время было освоено выращивание кристаллов LiNbO_3 и LiTaO_3 . Лаборатория материалов электронной техники стала местом обучения и стажировки будущих ростовиков создаваемого в г. Апатиты нового производства. Параллельно с этим начались научные исследования, связанные с усовершенствованием технологии и разработкой новых материалов на основе кристаллов LiNbO_3 и LiTaO_3 .

Совместными усилиями большого количества людей и организаций в середине восьмидесятых годов прошлого столетия в г. Апатиты при активном научном и техническом сопровождении ученых и инженеров лаборатории материалов электронной техники ИХТРЭМС был спроектирован и запущен крупнейший в Европе завод по выращиванию кристаллов. По проекту завод должен был насчитывать более 130 автоматизированных ростовых установок, позволяющих выращивать кристаллы ниобата и танталата лития по разным технологиям, в том числе по технологиям, разрабатываемым в ИХТРЭМС. Были реализованы в промышленном масштабе разработанные в ИХТРЭМС технологии крупногабаритных кристаллов ниобата и танталата лития.

Лаборатория материалов электронной техники ИХТРЭМС участвовала во всех основных этапах создания производства: в синтезе шихты, выращивании кристаллов, термической и электротермической обработке и выходном контроле качества кристаллов. Большая роль в развитии и масштабировании производства на предприятии ООО «Северные кристаллы» принадлежит его генеральному директору, ныне сотруднику лаборатории материалов электронной техники ИХТРЭМС КНЦ РАН Ю. А. Савельеву.

Он всемерно способствовал научно-технической кооперации ИХТРЭМС КНЦ РАН и ООО «Северные кристаллы», а также помогал внедрению технологических разработок ученых ИХТРЭМС в производственный процесс. Так, например, в ООО «Северные кристаллы» была внедрена технология крупногабаритных кристаллов ниобата и танталата лития высокой степени структурной и оптической однородности, технология кристаллов некоторых проблемных срезов (например, среза $Y + 36$). Был создан участок по производству гранулированной шихты ниобата и танталата лития с высокой насыпной плотностью, что заметно повысило технико-экономические показатели технологии, внедрены термостойкие контейнеры из слоистой керамики, заменяющие платиновые на отдельных технологических переделах и т. д.



академик
В. Т. Калинин



К. Т. Н.
Ю. И. Балабанов



К. Х. Н.
Ю. А. Серебряков



Ю. А. Савельев

Предприятие «Северные кристаллы» было открыто в годы перестройки. Тогда спрос на его продукцию был огромен. Достаточно сказать, что почти все телевизоры, выпускавшиеся в СССР, содержали в себе функциональные элементы из кристаллов, выращенных в г. Апатиты. Кроме того, оно успешно работало на военно-промышленный комплекс, выполняя заказы оборонной промышленности.

Предприятие «Северные кристаллы» не пережило бурных экономических катаклизмов, но оно в течение длительного времени (более 20 лет) обеспечивало потребности гражданского и оборонно-промышленного комплекса РФ в кристаллах LiNbO_3 и LiTaO_3 и изделиях из них.

В то же время в ИХТРЭМС продолжались, продолжают и успешно развиваются фундаментальные и прикладные исследования полярных кристаллов и родственных материалов, выполняемые в тесном сотрудничестве с различными производственными предприятиями, институтами РАН и университетами. Эти исследования направлены на модифицирование существующих и создание новых материалов электронной техники на базе сырья Кольского полуострова. При этом лаборатория материалов электронной техники применяет для выращивания кристаллов установки промышленного типа, что позволяет сравнительно легко внедрять новые разработки в промышленное производство.

Сохранено опытное производство: кристаллы поставляются высокотехнологичным предприятиям и научным организациям РФ для выпуска различных функциональных элементов, проведения научных исследований и разработки новых изделий и технологических процессов. Всего за время существования лаборатории поставлены сотни килограмм кристаллов LiNbO_3 и LiTaO_3 различного состава. Лаборатория выполняла исследования более чем по 15 проектам РФФИ, десяткам проектов РАН, федеральной целевой программе, международному проекту INTAS. В настоящее время лаборатория работает в рамках проекта РНФ. За время существования лаборатории опубликовано более десятка монографий, сотни статей, соответствующих в современных реалиях УБС 1 и 2, индексируемых в базах данных WoS и Scopus с квартилями Q1 и Q2. Значительная доля этих работ опубликована за последние 5 лет, например [1–17]. Многие разработки лаборатории защищены патентами РФ.

В рамках исследований по созданию новых оптических и акустоэлектронных материалов выращены более сотни составов кристаллов LiNbO_3 и LiTaO_3 одинарного и двойного легирования, многие из которых обладают уникальным сочетанием свойств. Обнаружено новое оптическое явление — низкотемпературная импульсная люминесценция номинально-чистых и легированных кристаллов LiNbO_3 и LiTaO_3 . Предложено непротиворечивое объяснение наблюдаемых явлений. Проводятся успешные исследования, посвященные повышению температурной устойчивости акустоэлектронных устройств на поверхностных акустических и объемных волнах [18], определены критерии температурного диапазона устойчивой работы пьезоэлектрических устройств [15]. Успешно решается очень важная задача — понижение степени оптического искажения сигнала в оптических устройствах. Именно для этого применяется легирование кристаллов LiNbO_3 и LiTaO_3 . Во многом решена важная проблема технологии кристаллов LiNbO_3 — одновременное повышение их оптической однородности и оптической стойкости. Для этого используется одинарное и двойное легирование кристаллов LiNbO_3 некоторыми примесями: В, Mg:В, Zn:В [5; 10; 11; 13].

Кроме того, лаборатория занимается разработкой методов синтеза и исследованием порошкообразных и керамических люминофоров типа $\text{RENb}(\text{Ta})\text{O}_4$ (RE: Gd, Y, Er, Yb), активированных РЗЭ (Eu, Tb, Pr, Sm, Er, Lu). Разработан метод жидкофазного синтеза более сотни составов ультрадисперсных порошков твердых растворов (ТР) на основе соединений $\text{RENb}(\text{Ta})\text{O}_4$, например $\text{YNb}_{0.7}\text{Ta}_{0.3}\text{O}_4$, $\text{Y}_{0.8}\text{Eu}_{0.2}\text{NbO}_4$ и $\text{Y}_{0.74}\text{Li}_{0.03}\text{Bi}_{0.03}\text{Eu}_{0.2}\text{NbO}_4$. Найдены подходы к многократному повышению интенсивности люминесценции путем легирования примесями, участвующими в трансфере энергии к редкоземельным катионам-активаторам. Жидкофазный метод, в отличие от метода твердофазного синтеза, дает возможность гомогенизировать исходные смеси на молекулярном уровне, снизить температуру и продолжительность синтеза, получить монофазные, композиционно однородные и ультрадисперсные порошки с высокой интенсивностью люминесценции [1; 3; 7–9; 12; 14].

Важной и не вполне заранее прогнозируемой характеристикой синтезированных нами люминофоров являются их фототоксические свойства. Так, например, при использовании для фотодинамической инактивации мелкодисперсных порошков ТР $\text{Y}_{0.8}\text{Eu}_{0.2}\text{NbO}_4$ подавление различной бактериальной микрофлоры при дневном свете составляет не менее 99,6 %.

Описанные выше направления составляют лишь часть научной и технологической активности лаборатории. Так, некоторые исследования, например исследования кристаллов LBO и КТР, проводятся по заказу высокотехнологичных российских компаний в целях оптимизации технологии производства монокристаллов.

Список источников

1. Palatnikov M. N., Shcherbina O. B., Smirnov M. V., Deyneko D. V., Masloboeva S. M. Luminescence and mechanical properties of GdNbO_4 ceramic phosphors doped by Eu^{3+} , Sm^{3+} , Tb^{3+} , Er^{3+} // *J. Alloys Compd.* 2025. Vol. 1037. P. 182432.
2. Sidorov N. V., Pyatyshev A. Yu., Galutskiy V. V., Stroganova E. V., Skrabatun A. V. Features of the defect structure of a lithium-gradient nonlinear optical single crystal LiNbO_3 and their manifestation in the Raman spectra // *Spectrochim. Acta, Part A.* 2025. Vol. 327. P. 125340.
3. Palatnikov M. N., Shcherbina O. B., Smirnov M. V., Masloboeva S. M. Structural, mechanical and luminescence characteristics of gadolinium orthoniobate-tantalates doped with Tb, Er and Eu // *Opt. Mater.* 2025. Vol. 163. P. 116950.
4. Sidorov N. V., Palatnikov M. N., Teplyakova N. A., Manukovskaya D. V., Pyatyshev A. Yu., Skrabatun A. V., Sverbil P. P. Comparison of optical properties and defective structure features of photorefractive nonlinear optical single crystals $\text{LiNbO}_3\text{:Cu}(0.015 \text{ wt}\%)$ and $\text{LiNbO}_3\text{:Cu}(0.042 \text{ wt}\%)$, suitable as optical materials for laser radiation transformation in the terahertz spectral region // *Opt. Laser Technol.* 2025. Vol. 183. P. 112334.
5. 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 $\text{LiNbO}_3\text{:Mg:B}$ crystals of different composition and genesis // *Materials.* 2025. Vol. 18 (2). P. 436.
6. Palatnikov M., Sidorov N., Pyatyshev A. Control of structure uniformity in ceramic lithium tantalate with a different stoichiometry via Raman spectra // *Ceram. Int.* 2025. Vol. 51 (1). P. 1193–1203.
7. Gusev G. A., Masloboeva S. M., Yagovkina M. A., Popova T. B., Zamoryanskaya M. V. Excitation energy transfer in gadolinium tantalum niobates activated with Eu^{3+} and Tb^{3+} // *Ceram. Int.* 2024. Vol. 50 (22). Part B. P. 47259–47267.
8. Palatnikov M. N., Shcherbina O. B., Smirnov M. V., Deyneko D. V., Andryushin K. P., Masloboeva S. M. Structure, microstructure, mechanical and luminescent properties of $(\text{Y}_{0.96}\text{Eu}_{0.01}\text{Sm}_{0.01}\text{Tb}_{0.01}\text{Er}_{0.01})\text{NbO}_4$ ceramics obtained by uniaxial hot pressing // *Ceram. Int.* 2024. Vol. 50 (20). P. 38989–38998.
9. Shcherbina O., Smirnov M., Zelenina E., Efremov V., Masloboeva S., Palatnikov M. Structural, Mechanical, and Luminescent Characteristics of $\text{Gd}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Nb}_{1-y}\text{Ta}_y\text{O}_4$ ceramic solid solutions // *Appl. Phys. A.* 2024. Vol. 130. P. 664.
10. Titov R., Kadetova A., Tokko O., Sidorov N., Palatnikov M., Teplyakova N., Masloboeva S., Biryukova I., Efremov I., Manukovskaya D. Influence of doping technology on the stoichiometry and features of the localization of B^{3+} cations in $\text{LiNbO}_3\text{:B}$ single crystals // *Crystals.* 2023. Vol. 13 (8). P. 1245.
11. 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 (13). P. 4541.
12. Palatnikov M. N., Shcherbina O. B., Masloboeva S. M., Smirnov M. V., Sidorova O. V., Kadetova A. V., Zelenina E. V., Efremov V. V., Fedorinova Y. P. Sol-gel synthesis and structural and luminescent characteristics of a $\text{Gd}_{0.96}\text{Eu}_{0.01}\text{Sm}_{0.01}\text{Tb}_{0.01}\text{Er}_{0.01}\text{Nb}_{0.9}\text{Ta}_{0.1}\text{O}_4$ polycrystalline solid solution // *J. Korean Ceram. Soc.* 2023. Vol. 60. P. 657–668.

13. Palatnikov M., Sidorov N., Kadetova A., Titov R., Biryukova I., Makarova O., Manukovskaya D., Teplyakova N., Efremov I. Growing, Structure and Optical Properties of LiNbO₃:B Crystals, a Material for Laser Radiation Transformation // *Materials*. 2023. Vol. 16 (2). P. 732.
14. Palatnikov M. N., Shcherbina O. B., Smirnov M. V., Andryushin K. P., Shilkina L. A., Reznichenko L. A., Efremov V. V., Masloboeva S. M. Optimization of obtaining of transparent luminescent ceramics YNbO₄ by uniaxial hot pressing from crystal powders synthesized by sol-gel // *Opt. Mater.* 2022. Vol. 129. P. 112541.
15. Palatnikov M. N., Sandler V. A., Sidorov N. V., Makarova O. V., Manukovskaya D. V. Conditions of application of LiNbO₃ based piezoelectric resonators at high temperatures // *Phys. Lett. A*. 2020. Vol. 384 (14). P. 126289.
16. Palatnikov M. N., Sidorov N. V., Kadetova A. V., Teplyakova N. A., Makarova O. V., Manukovskaya D. V. Concentration threshold in optically nonlinear LiNbO₃:Tb crystals // *Opt. Laser Technol.* 2021. Vol. 137. P. 106821.
17. Palatnikov M. N., Kadetova A. V., Aleshina L. A., Sidorova O. V., Sidorov N. V., Biryukova I. V., Makarova O. V. Growth, structure, physical and chemical characteristics in a series of LiNbO₃:Er crystals of different composition grown in one technological cycle // *Opt. Laser Technol.* 2022. Vol. 147. P. 107671.
18. Palatnikov M. N., Sandler V. A., Sidorov N. V., Makarova O. V. Thermal hysteresis of electromechanical characteristics of Y+42° cut LiTaO₃ single crystals // *Inorg. Mater.* 2017. Vol. 53. P. 708–712.

References

1. Palatnikov M. N., Shcherbina O. B., Smirnov M. V., Deyneko D. V., Masloboeva S. M. Luminescence and mechanical properties of GdNbO₄ ceramic phosphors doped by Eu³⁺, Sm³⁺, Tb³⁺, Er³⁺. *J. Alloys Compd.*, 2025, vol. 1037, p. 182432.
2. Sidorov N. V., Pyatyshev A. Yu., Galutskiy V. V., Stroganova E. V., Skrabatun A. V. Features of the defect structure of a lithium-gradient nonlinear optical single crystal LiNbO₃ and their manifestation in the Raman spectra. *Spectrochim. Acta, Part A*, 2025, vol. 327, p. 125340.
3. Palatnikov M. N., Shcherbina O. B., Smirnov M. V., Masloboeva S. M. Structural, mechanical and luminescence characteristics of gadolinium orthoniobate-tantalates doped with Tb, Er and Eu. *Opt. Mater.*, 2025, vol. 163, p. 116950.
4. Sidorov N. V., Palatnikov M. N., Teplyakova N. A., Manukovskaya D. V., Pyatyshev A. Yu., Skrabatun A. V., Sverbil P. P. Comparison of optical properties and defective structure features of photorefractive nonlinear optical single crystals LiNbO₃:Cu(0.015 wt%) and LiNbO₃:Cu(0.042 wt%), suitable as optical materials for laser radiation transformation in the terahertz spectral region. *Opt. Laser Technol.*, 2025, vol. 183, p. 112334.
5. 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 LiNbO₃:Mg:B crystals of different composition and genesis. *Materials*, 2025, vol. 18, no. 2, p. 436.
6. Palatnikov M., Sidorov N., Pyatyshev A. Control of structure uniformity in ceramic lithium tantalate with a different stoichiometry via Raman spectra. *Ceram. Int.*, 2025, vol. 51, no. 1, pp. 1193–1203.
7. Gusev G. A., Masloboeva S. M., Yagovkina M. A., Popova T. B., Zamoryanskaya M. V. Excitation energy transfer in gadolinium tantalum niobates activated with Eu³⁺ and Tb³⁺. *Ceram. Int.*, 2024, vol. 50, no. 22, Part B, pp. 47259–47267.
8. Palatnikov M. N., Shcherbina O. B., Smirnov M. V., Deyneko D. V., Andryushin K. P., Masloboeva S. M. Structure, microstructure, mechanical and luminescent properties of (Y_{0.96}Eu_{0.01}Sm_{0.01}Tb_{0.01}Er_{0.01})NbO₄ ceramics obtained by uniaxial hot pressing. *Ceram. Int.*, 2024, vol. 50, no. 20, pp. 38989–38998.
9. Shcherbina O., Smirnov M., Zelenina E., Efremov V., Masloboeva S., Palatnikov M. Structural, Mechanical, and Luminescent Characteristics of Gd_{1-x}Eu_xNb_{1-y}Ta_yO₄ ceramic solid solutions. *Appl. Phys. A*, 2024, vol. 130, p. 664.
10. Titov R., Kadetova A., Tokko O., Sidorov N., Palatnikov M., Teplyakova N., Masloboeva S., Biryukova I., Efremov I., Manukovskaya D. Influence of doping technology on the stoichiometry and features of the localization of B³⁺ cations in LiNbO₃:B single crystals. *Crystals*, 2023, vol. 13, no. 8, p. 1245.
11. Palatnikov M., Makarova O., Kadetova A., Sidorov N., Teplyakova N., Biryukova I., Tokko O. Structure, optical properties and physicochemical features of LiNbO₃:Mg,B crystals grown in a single technological cycle: an optical material for converting laser radiation. *Materials*, 2023, vol. 16, no. 13, p. 4541.
12. Palatnikov M. N., Shcherbina O. B., Masloboeva S. M., Smirnov M. V., Sidorova O. V., Kadetova A. V., Zelenina E. V., Efremov V. V., Fedorinova Y. P. Sol-gel synthesis and structural and luminescent characteristics of a Gd_{0.96}Eu_{0.01}Sm_{0.01}Tb_{0.01}Er_{0.01}Nb_{0.9}Ta_{0.1}O₄ polycrystalline solid solution. *J. Korean Ceram. Soc.*, 2023, vol. 60, pp. 657–668.
13. Palatnikov M., Sidorov N., Kadetova A., Titov R., Biryukova I., Makarova O., Manukovskaya D., Teplyakova N., Efremov I. Growing, Structure and Optical Properties of LiNbO₃:B Crystals, a Material for Laser Radiation Transformation. *Materials*, 2023, vol. 16, no. 2, p. 732.

14. Palatnikov M. N., Shcherbina O. B., Smirnov M. V., Andryushin K. P., Shilkina L. A., Reznichenko L. A., Efremov V. V., Masloboeva S. M. Optimization of obtaining of transparent luminescent ceramics YNbO_4 by uniaxial hot pressing from crystal powders synthesized by sol-gel. *Opt. Mater.*, 2022, vol. 129, p. 112541.
15. Palatnikov M. N., Sandler V. A., Sidorov N. V., Makarova O. V., Manukovskaya D. V. Conditions of application of LiNbO_3 based piezoelectric resonators at high temperatures. *Phys. Lett. A.*, 2020, vol. 384, no. 14, p. 126289.
16. Palatnikov M. N., Sidorov N. V., Kadetova A. V., Teplyakova N. A., Makarova O. V., Manukovskaya D. V. Concentration threshold in optically nonlinear $\text{LiNbO}_3\text{:Tb}$ crystals. *Opt. Laser Technol.*, 2021, vol. 137, p. 106821.
17. Palatnikov M. N., Kadetova A. V., Aleshina L. A., Sidorova O. V., Sidorov N. V., Biryukova I. V., Makarova O. V. Growth, structure, physical and chemical characteristics in a series of $\text{LiNbO}_3\text{:Er}$ crystals of different composition grown in one technological cycle. *Opt. Laser Technol.*, 2022, vol. 147, p. 107671.
18. Palatnikov M. N., Sandler V. A., Sidorov N. V., Makarova O. V. Thermal hysteresis of electromechanical characteristics of Y+42° cut LiTaO_3 single crystals. *Inorg. Mater.*, 2017, vol. 53, pp. 708–712.

Информация об авторах

М. Н. Палатников — доктор технических наук, главный научный сотрудник;
Н. В. Сидоров — доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник;
О. Б. Щербина — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник;
И. В. Бирюкова — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник;
М. В. Смирнов — кандидат физико-математических наук, научный сотрудник;
С. М. Маслбоева — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник;
О. В. Палатникова — кандидат технических наук, старший научный сотрудник;
В. А. Сандлер — кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник;
Р. А. Титов — кандидат технических наук, научный сотрудник;
Л. А. Бобрева — кандидат технических наук, научный сотрудник;
Н. А. Теплякова — кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник;
В. В. Ефремов — кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе;
И. Н. Ефремов — младший научный сотрудник;
А. А. Габаин — ведущий инженер;
Д. В. Мануковская — младший научный сотрудник.

Information about the authors

M. N. Palatnikov — DSc (Engineering), Chief researcher;
N. V. Sidorov — DSc (Physics and Mathematics), Chief researcher;
O. B. Shcherbina — PhD (Engineering), Leading researcher;
I. V. Biryukova — PhD (Engineering), Leading researcher;
M. V. Smirnov — PhD (Physics and Mathematics), Researcher;
S. M. Masloboeva — PhD (Engineering), Leading researcher;
O. V. Palatnikova — PhD (Engineering), Senior researcher;
V. A. Sandler — PhD (Physics and Mathematics), Leading researcher;
R. A. Titov — PhD (Engineering), Researcher;
L. A. Bobreva — PhD (Engineering), Researcher;
N. A. Teplyakova — PhD (Physics and Mathematics), Leading researcher;
V. V. Efremov — PhD (Engineering), Deputy director for scientific work;
I. N. Efremov — Research Assistant;
A. A. Gabain — Leading engineer;
D. V. Manukovskaya — Research Assistant.

Статья поступила в редакцию 01.09.2025; одобрена после рецензирования 22.09.2025; принята к публикации 30.09.2025.
The article was submitted 01.09.2025; approved after reviewing 22.09.2025; accepted for publication 30.09.2025.