

Научная статья
УДК 66.017, 535.37
doi:10.37614/2949-1215.2025.16.2.015

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ ПОРОШКОВ $\text{Er}_{0,99-x}\text{Li}_x\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{Nb}(\text{Ta})\text{O}_4$ ($x = 0; 0,02; 0,05$)

**Максим Владимирович Смирнов¹, Ольга Борисовна Щербина²,
Софья Михайловна Маслобоева³, Михаил Николаевич Палатников⁴**

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

¹m.smirnov@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2645-5524>

²o.shcherbina@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9591-0274>

³s.masloboeva@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9954-8479>

⁴m.palatnikov@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9686-0563>

Аннотация

Проведено исследование люминесцентных свойств порошков $\text{Er}_{0,99-x}\text{Li}_x\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{Nb}(\text{Ta})\text{O}_4$ ($x = 0; 0,02; 0,05$), синтезированных жидкофазным методом. Установлено, что в образцах основные фазы являются ErNbO_4 (моноклинный β -фергусонит, $C2/c$, $Z = 4$) и ErTaO_4 (моноклинный M -фергусонит, $P2/b$, $Z = 2$). Установлено, что существуют две области с наибольшей интенсивностью люминесценции, одна из которых смещается в зависимости от состава порошка. Показано, что Li приводит к увеличению фотолюминесценции, смещению и расщеплению некоторых полос в спектре. Наибольшую интенсивность люминесценции имеет состав $\text{Er}_{0,94}\text{Li}_{0,05}\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{NbO}_4$. Полное изоморфное замещение Nb на Ta в матрице не приводит к заметным спектральным изменениям.

Ключевые слова:

порошки, литий, редкоземельные примеси, люминесцентные свойства

Благодарности:

авторы выражают благодарность Кириллу Андреевичу Яковлеву, ведущему инженеру лаборатории физико-химических методов анализа ИХТРЭМС КНЦ РАН, за помощь в получении и анализе рентгено-дифракционных данных.

Финансирование:

государственное задание по теме НИР № FMEZ-2025-0055.

Для цитирования:

Исследование люминесцентных свойств порошков $\text{Er}_{0,99-x}\text{Li}_x\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{Nb}(\text{Ta})\text{O}_4$ ($x = 0; 0,02; 0,05$) / М. В. Смирнов [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2025. Т. 16, № 2. С. 89–94. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.2.015.

Original article

THE STUDY OF LUMINESCENT PROPERTIES OF POWDERS $\text{Er}_{0,99-x}\text{Li}_x\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{Nb}(\text{Ta})\text{O}_4$ ($x = 0, 0.02, 0.05$)

Maxim V. Smirnov¹, Olga B. Shcherbina², Sofja M. Masloboeva³, Mikhail N. Palatnikov⁴

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

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

¹m.smirnov@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2645-5524>

²o.shcherbina@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9591-0274>

³s.masloboeva@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9954-8479>

⁴m.palatnikov@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9686-0563>

Abstract

The luminescent properties of $\text{Er}_{0,99-x}\text{Li}_x\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{Nb}(\text{Ta})\text{O}_4$ ($x = 0.02, 0.05$) powders synthesized by the liquid-phase method have been studied. It was found that the main phases in the samples are ErNbO_4 (monoclinic β -fergusonite, $C2/c$, $Z = 4$) and ErTaO_4 (monoclinic M -fergusonite, $P2/b$, $Z = 2$). It was found that there are two regions with the highest luminescence intensity, one of which shifts depending on the composition of the powder. It was shown that lithium leads to an increase of photoluminescence, displacement and splitting of some bands in the spectrum. The composition $\text{Er}_{0,94}\text{Li}_{0,05}\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{NbO}_4$ has the highest luminescence intensity. The complete isomorphous substitution of Nb for Ta in the host did not lead to noticeable spectral changes.

Keywords:

powders, lithium, rare earth elements, luminescent properties

Funding:

State task on the topic of research No FMEZ-2025-0055.

For citation:

The study of luminescent properties of powders $\text{Er}_{0.99-x}\text{Li}_x\text{Eu}_{0.005}\text{Sm}_{0.005}\text{Nb}(\text{Ta})\text{O}_4$ ($x=0, 0.02, 0.05$) / M. V. Smirnov [et al.] // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2025. Vol. 16, No. 2. P. 89–94. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.2.015.

Введение

Материалы на основе сложных оксидов REBO_4 (RE — редкоземельный элемент, B — Nb, Ta, V и др.), благодаря уникальному сочетанию механических и люминесцентных свойств, а также хорошей химической и термической устойчивости, имеют потенциальное применение в области светодиодной промышленности, сцинтилляционной и лазерной технике, фотонике, оптоэлектронике, в биологических приложениях [1–3]. Одним из наиболее интересных соединений является ортониобат или ортотанталат эрбия. Er имеет электронную конфигурацию $[\text{Xe}]4f^{11}5d^06s^2$ и позволяет преобразовывать излучение из инфракрасной в видимую область по ир-конверсионному механизму. Изменение температуры приводит к тушению интенсивности ир-люминесцентных оптических переходов Er в видимой области, что позволяет использовать люминофор ErNbO_4 в качестве датчика температуры [3]. Кроме того, микро- и нанокристаллическая керамика ErNbO_4 , полученная цитратным золь-гель синтезом, показывает разрешенные люминесцентные линии переходов иона Er^{3+} , и путем изменения энергии возбуждения при комнатной температуре изменяется цвет материала с зеленого на красный [1].

Легирование матрицы $\text{ErNb}(\text{Ta})\text{O}_4$ различными химическими элементами лантаноидного ряда с активными люминесцентными свойствами дает возможность управлять спектральным диапазоном излучения, что является важным для оптических приложений. Взаимодействие легирующего элемента с кристаллической матрицей приводит к изменению люминесцентных характеристик материала в связи с появлением трансфера энергии между центрами люминесценции, влияния локальной симметрии на вероятность оптических переходов, с появлением механизмов тушения люминесценции, изменения длительности свечения и так далее. Поэтому поиски оптимальных составов $\text{ErNb}(\text{Ta})\text{O}_4:\text{Re}$ с заданными люминесцентными свойствами являются актуальными в области оптического материаловедения и прикладных применений.

Постоянное совершенствование люминесцентных свойств существующих составов ReBO_4 , а также создание новых, более эффективных люминесцентных материалов в связи с недостаточной интенсивностью свечения для многих практических применений приводит к следующему этапу развития люминофоров. Легирование щелочными металлическими ионами является наиболее удачным подходом к увеличению эффективности люминесцентных материалов. Наиболее используемым щелочным металлом в исследовательских работах [4; 5] является литий. Он позволяет увеличить скорость кристаллизации и уменьшить катион-кислородные связи, приводящие к более высоким значениям сил осциллятора оптических переходов легирующих редкоземельных примесей и, как следствие, к более интенсивной люминесценции [4]. Так, в работе [4] показано, что литий увеличивает размер кристаллитов $\text{GdVO}_4:\text{Er}:\text{Yb}$, слегка уменьшает параметры элементарной ячейки относительно нелегированных Li люминофоров, а ир-люминесценция увеличивается в 4 раза при легировании 5 мол % ионами Li^+ .

Целью данной работы является комплексное исследование влияния лития на люминесцентные свойства, фазовый состав, морфологию частиц порошков $\text{Er}_{0.99-x}\text{Li}_x\text{Eu}_{0.005}\text{Sm}_{0.005}\text{NbO}_4$ ($x = 0; 0.02; 0.05$), синтезированных жидкофазным методом. Дополнительной задачей работы является сравнение оптических свойств порошков $\text{Er}_{0.99}\text{Eu}_{0.005}\text{Sm}_{0.005}\text{NbO}_4$ и $\text{Er}_{0.99}\text{Eu}_{0.005}\text{Sm}_{0.005}\text{TaO}_4$.

Результаты

Синтез порошков $\text{Er}_{0.99}\text{Eu}_{0.005}\text{Sm}_{0.005}\text{NbO}_4$, $\text{Er}_{0.99}\text{Eu}_{0.005}\text{Sm}_{0.005}\text{TaO}_4$, $\text{Er}_{0.97}\text{Li}_{0.02}\text{Eu}_{0.005}\text{Sm}_{0.005}\text{NbO}_4$, $\text{Er}_{0.94}\text{Li}_{0.05}\text{Eu}_{0.005}\text{Sm}_{0.005}\text{NbO}_4$ проводили жидкофазным методом. Для синтеза соединений использовали высокочистые фторидные Nb- и Ta-содержащие растворы, которые получали растворением Nb_2O_5 и Ta_2O_5 (99,9, Соликамский магниевый завод, Россия) в HF марки «ос. ч.» (не более 10^{-5} по 27 примесям, АО «Вектон», Россия). Из исходных растворов, взятых в объемах, обеспечивающих заданную концентрацию ниобия и тантала в синтезируемых образцах, проводили аммиачное осаждение

гидроксидов ниобия и тантала при $\text{pH} = 11\text{--}12$. Использовали водный раствор аммиака марки «ос. ч.» (не более 10^{-5} по 23 примесям, АО «Вектон», Россия). Осадок три раза репульпацией промывали деионизированной водой для удаления ионов фтора F^- и аммония NH_4^+ при соотношении твердой и жидкой фаз $\text{T}:\text{V}_{\text{ж}} = 1:3$ и сушили при 100°C .

После сушки осадок (влажностью $\sim 65\%$) смешивали в зависимости от состава образцов с азотнокислыми растворами $\text{Er}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Sm}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3$ с заданной концентрацией Er, Sm и Eu, которые приготавливали растворением оксидов Er_2O_3 , Sm_2O_3 , Eu_2O_3 (99,9, ХИМКРАФТ, Россия) в HNO_3 марки «ос. ч.» (не более 10^{-5} по 23 примесям, АО «Вектон», Россия). Для полного осаждения гидроксидов Er, Sm, Eu в образовавшуюся пульпу вводили 25 %-й раствор NH_4OH до $\text{pH} \sim 8\text{--}9$ и затем осуществляли перемешивание смеси в течение 3 ч. После фильтрации и трехкратной промывки осадка от ионов аммония деионизированной водой при $\text{T}:\text{V}_{\text{ж}} = 1:(2\text{--}3)$ проводили его сушку при 150°C , далее прокалку в печи сопротивления при 700°C в течение 2 ч и размол в шаровой халцедоновой мельнице KM1 (MLW, Leipzig, Germany). Для синтеза порошков с Li получали гидратированный остаток ниобия или тантала, содержащий Y, Bi, Eu, в который после фильтрации и трехкратной промывки осадка от ионов аммония деионизированной водой при $\text{T}:\text{V}_{\text{ж}} = 1:(1,5\text{--}2)$ добавляли раствор азотнокислого лития LiNO_3 , смесь перемешивали в течение 1 ч. Раствор LiNO_3 приготавливали из Li_2CO_3 (99,9, ХИМКРАФТ, Россия) и HNO_3 с заданной концентрацией Li. Последующая обработка остатка проходила по вышеописанной схеме.

Затем порошки прокалывали в течение 4 ч при 100°C . Прокаленные образцы размалывали с целью дальнейшего исследования и приготовления из них керамических образцов заданного состава.

В исходных растворах ниобий и тантал определяли гравиметрическим методом, фторид-ионы — потенциометрическим на иономере «ЭВ-74» с F-селективным электродом «ЭВЛ-1МЗ». Фтор в синтезированных порошках анализировали методом пирогидролиза. Определение Er, Sm, Eu в фильтратах, промывных водах проводили методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП) на спектрометре «Optima 8300 ИСП-АЭС». Этим же методом определяли Er, Sm, Eu, Nb и Ta в порошках при предварительном переводе их в раствор. Li определяли методом АЭС на атомно-абсорбционном спектрометре Analyst 400.

Фазовый состав исходных порошков определяли с помощью многофункционального рентгеновского дифрактометра Rigaku с программным обеспечением SmartLab Studio II (RIGAKU Япония). Скорость движения счетчика $2^\circ/\text{мин}$ (CuK_α -излучение, диапазон сканирования $10\text{--}90^\circ$). Для идентификации фаз использовали базы данных ICDD (PDF 4, relies 2020).

Спектры люминесценции и возбуждения исследуемых образцов регистрировались с помощью спектрофлуориметра FL970 (Techcomp, China) в диапазоне длин волн $200\text{--}900\text{ нм}$ с шагом $0,2\text{ нм}$. В качестве источников возбуждения люминесценции использовалась ксеноновая лампа (150 Вт).

Рентгенофазовый анализ показал, что основная фаза всех порошковых образцов $\text{Er}_{0,99-x}\text{Li}_x\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{NbO}_4$ ($x = 0; 0,02; 0,05$) соответствует фазе моноклинного ортониобата эрбия в структуре β -фергюсонита ErNbO_4 (PDF Card — 04-008-3669) с пространственной группой симметрии $\text{C}2/\text{c}$ (15), $Z = 4$. Основная фаза $\text{Er}_{0,99}\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{TaO}_4$ соответствует моноклинному М-фергюсониту ErTaO_4 (PDF Card — 04-014-1362) с пространственной группой $\text{P}2/\text{b}$ (13) двумя формульными единицами на элементарную ячейку $Z = 2$.

На рисунке 1 представлены распределения интенсивности в двумерном представлении, где ось абсцисс — длина волны фотолюминесценции, ось ординат — длины волны возбуждения ($200\text{--}350\text{ нм}$), порошков $\text{Er}_{0,99-x}\text{Li}_x\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{NbO}_4$ ($x = 0; 0,02; 0,05$) и $\text{Er}_{0,99}\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{TaO}_4$. Они не показывают локализацию в образце порошка активных центров люминесценции, а указывают, какие типы центров свечения есть в образце. Видно, что люминесценция всех образцов сосредоточена в области от $400\text{--}600\text{ нм}$ вне зависимости от длины волны источника возбуждения. «Холмистая» область, то есть место с наибольшей люминесценцией, наблюдается в области $500\text{--}550\text{ нм}$ при возбуждении в диапазоне $215\text{--}230\text{ нм}$, площадь которой может меняться в пределах $\pm 10\text{ нм}$ в зависимости от состава порошков. Такую область обозначим за область I. В «поле» распределения интенсивности можно также заметить динамические области при $400\text{--}450\text{ нм}$, которые мигрируют в области возбуждения $215\text{--}280\text{ нм}$ в зависимости от состава порошков. Миграцию таких областей хорошо видно для образцов, легированных литием (см. рис. 1, а, в и г).

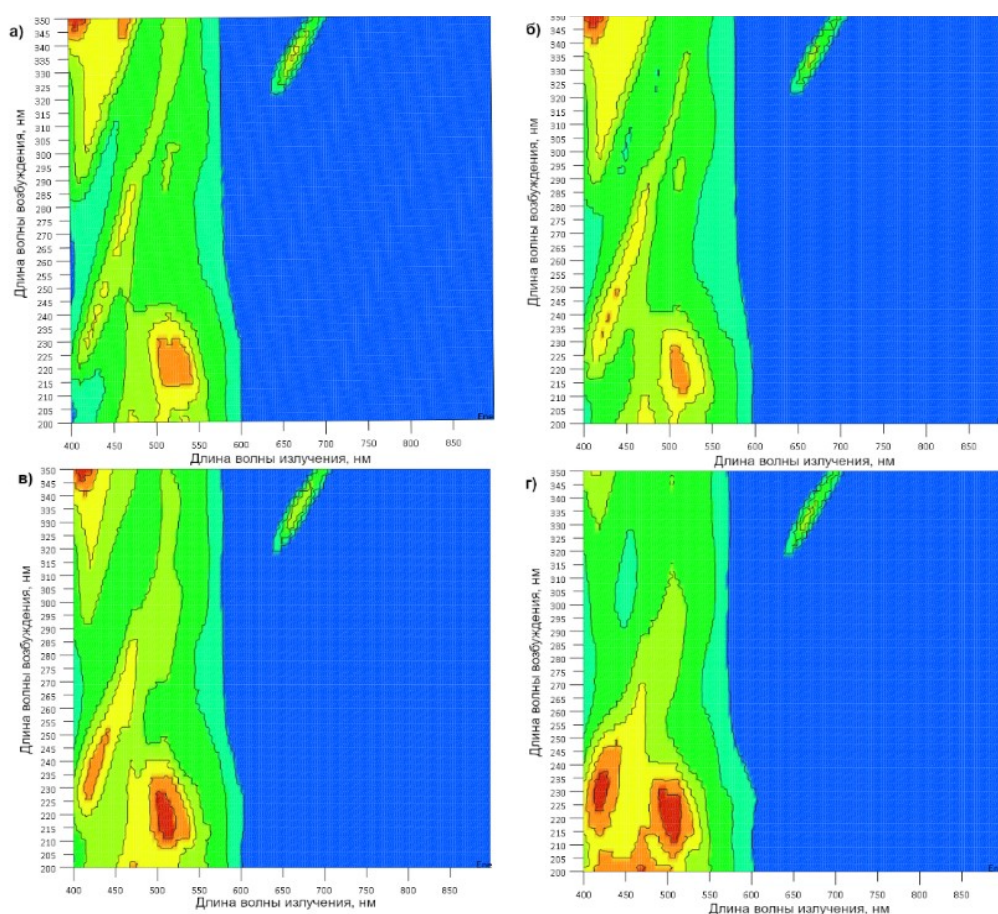


Рис. 1. Распределение интенсивности фотолюминесценции исследуемых образцов в двумерном представлении:
а — $\text{Er}_{0.99}\text{Eu}_{0.005}\text{Sm}_{0.005}\text{NbO}_4$; б — $\text{Er}_{0.99}\text{Eu}_{0.005}\text{Sm}_{0.005}\text{TaO}_4$; в — $\text{Er}_{0.97}\text{Li}_{0.02}\text{Eu}_{0.005}\text{Sm}_{0.005}\text{NbO}_4$,
г — $\text{Er}_{0.94}\text{Li}_{0.05}\text{Eu}_{0.005}\text{Sm}_{0.005}\text{NbO}_4$. Синий цвет — отсутствие люминесценции, коричневый цвет — наибольшая интенсивность люминесценции

Полное изоморфное замещение катиона Nb^{5+} на Ta^{5+} в соединении $\text{Er}_{0.99}\text{Eu}_{0.005}\text{Sm}_{0.005}\text{NbO}_4$ не приводит к сильным перестройкам областей, и «поля» распределения интенсивности фотолюминесценции подобны. Область I становится меньше по площади в образце $\text{Er}_{0.99}\text{Eu}_{0.005}\text{Sm}_{0.005}\text{TaO}_4$, что говорит об уменьшении числа каналов излучательной рекомбинации. Легирование литием приводит к усилению люминесценции в области I, а также к появлению динамических областей с ростом концентрации лития в исследуемых образцах (см. рис. 1). Чем больше концентрация лития, тем выше интенсивность люминесценции в области 400–450 нм, также происходит смещение длины волны в сторону коротких длин волн.

На рисунке 2 представлены спектры фотолюминесценции порошковых образцов при возбуждении в области I. Видно, что спектр люминесценции является сложным ввиду наличия ряда полос люминесценции. Тщательный анализ показал, что «обратные» полосы на контуре спектров (обозначены стрелками на рис. 2) являются полосами поглощения ионов Er^{3+} . Полосы при 444, 455, 471, 488, 496, 524 и 555 нм соответствуют переходу ионов Er^{3+} с основного уровня энергии ($^4\text{I}_{15/2}$) на метастабильные уровни ($^4\text{F}_{3/2}$, $^4\text{F}_{5/2}$, $^4\text{F}_{7/2}$, $^2\text{H}_{11/2}$, $^4\text{S}_{3/2}$). По-видимому, при возбуждении излучением длиной волны 220 нм происходит поглощение возбуждающего излучения матрицей с последующей релаксацией по уровням энергии, испусканием люминесценции в «синей» области, которое затем поглощается ионами Er^{3+} благодаря $4f-4f$ переходам. Характеристическая люминесценция ионов Eu^{3+} не возникает, то есть отсутствует передача энергии от матрицы соединения при возбуждении 220 нм. Ионы Sm^{3+} испускают излучение при 468, 473 и 482 нм, что соответствует переходу $^4\text{I}_{13/2} \rightarrow ^6\text{H}_{9/2}$ [6]. Пик спектра при 412 нм может быть обусловлен излучением ионов Sm^{3+} или Er^{3+} , так как положение данной полосы совпадает с положением уровней энергии переходов $^4\text{K}_{11/2} \rightarrow ^6\text{H}_{9/2}$ (Sm) или $^2\text{H}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ (Er).

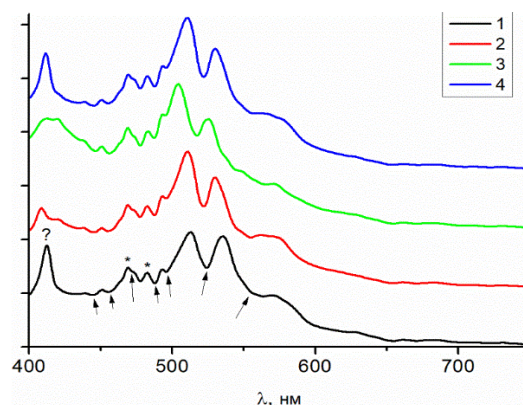


Рис. 2. Спектры фотолюминесценции исследуемых образцов при возбуждении в области I:
1 — $\text{Er}_{0,99}\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{NbO}_4$; 2 — $\text{Er}_{0,97}\text{Li}_{0,02}\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{NbO}_4$; 3 — $\text{Er}_{0,94}\text{Li}_{0,05}\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{NbO}_4$;
4 — $\text{Er}_{0,99}\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{TaO}_4$. Стрелки обозначают «обратные» пики;
* — люминесцентные переходы Sm, $\lambda_{\text{возб}}=220$ нм

Из анализа рис. 2 установлено, что при сравнении спектров люминесценции $\text{Er}_{0,99}\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{NbO}_4$ и $\text{Er}_{0,99}\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{TaO}_4$ «обратные» полосы при 444, 455, 471, 488, 496 нм не меняют своего положения, а полоса при 524 нм смещается на 2 нм в сторону коротких длин волн. Остальные полосы излучения претерпевают «синее» смещение: 412→411, 513→410 и 535→530 нм. Интегральная интенсивность люминесценции порошка $\text{Er}_{0,99}\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{TaO}_4$ выше, чем $\text{Er}_{0,99}\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{NbO}_4$. Литий в структуре соединения приводит к более заметным перестройкам энергетической структуры. Происходит кардинальное изменение полосы при 412 нм: расщепление на две составляющие (408 и 420 нм), изменение ее интенсивности и ширины. Положение «обратных» полос при 444, 455, 471, 488, 496 нм остается неизменным, а полоса при 524 нм смещается в сторону коротких длин волн. По мере увеличения концентрации лития $x = 0 \rightarrow 0,02 \rightarrow 0,05$ в соединении $\text{Er}_{0,99-x}\text{Li}_x\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{NbO}_4$ происходит смещение полос излучения при 513→511→504 и 535→530→525 нм в сторону коротких длин волн, и наибольшее смещение соответствует 10 нм. При этом интегральная интенсивность люминесценции растет с увеличением концентрации лития в $\text{Er}_{0,99}\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{NbO}_4$. Так как центры люминесценции NbO_4 групп испускают широкополосное излучение при 440 нм [7], то полосы люминесценции при 513 и 535 нм относятся к свечению матрицы. Взаимодействие лития с собственными центрами люминесценции посредством электростатического взаимодействия приводит к изменению положения уровней энергии NbO_4 групп, что сопровождается смещением излучения в «синюю» область спектра. При сравнении люминесценции порошков с люминесценцией керамических образцов [1; 3] можно сказать, что прокаливание образцов при 1 100 °С приводит к неполному формированию люминесценции матрицы и излучательных переходов редкоземельных примесей и, как следствие, эффективность люминесценции порошковых образцов слабая.

Выводы

Рентгенофазовый анализ показал, что основной фазой порошков $\text{Er}_{0,99-x}\text{Li}_x\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{NbO}_4$ ($x = 0; 0,02; 0,05$) является фаза на основе ErNbO_4 с моноклинной элементарной ячейкой (структурный тип β -фергюсонит), с пространственной группой симметрии $C2/c$ ($Z = 4$). Основная фаза $\text{Er}_{0,99}\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{TaO}_4$ соответствует моноклинному М-фергюсониту ErTaO_4 с пространственной группой симметрии $P2/b$ ($Z = 2$).

Проведено исследование люминесцентных свойств порошков $\text{Er}_{0,99-x}\text{Li}_x\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{NbO}_4$ ($x = 0; 0,02; 0,05$) и $\text{Er}_{0,99}\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{TaO}_4$. Установлено, что полное изоморфное замещение ниобия танталом в $\text{Er}_{0,99}\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{NbO}_4$ не приводит к заметному перераспределению интенсивности люминесценции. Чем больше концентрация лития, тем выше интенсивность люминесценции в области 500–550 нм при возбуждении 215–230 нм, а также присутствуют динамические области люминесценции, общее смещение которых зависит от концентрации лития в порошке $\text{Er}_{0,99-x}\text{Li}_x\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{NbO}_4$.

Показано, что при возбуждении 220 нм люминесценция матрицы поглощается оптическими переходами Er во всех образцах. Литий в составе ортониобатов, ортотанталатов эрбия приводит к смещению полос излучения и «обратных» полос, соответствующих оптическим переходам Er, в «синюю» область спектра. Наибольшие значения интенсивности люминесценции в серии $\text{Er}_{0,99-x}\text{Li}_x\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{NbO}_4$ ($x = 0; 0,02; 0,05$) показывает состав $\text{Er}_{0,94}\text{Li}_{0,05}\text{Eu}_{0,005}\text{Sm}_{0,005}\text{NbO}_4$.

Список источников

1. Devesa S., Rodrigues J., Teixeira S. S., Rooney A. P., Graça M. P. F., Cooper D., Monteiro T., Costa L. C. Tuning green to red color in erbium niobate micro- and nanoparticles // *Nanomaterials*. 2021. V. 11. P. 660(1–16).
2. Zhang Z., Guo L., Sun H., Peng D., Zou H., Sun N., Zhang Q., Hao X. Rare earth orthoniobate photochromics with self-activated upconversion emissions for high-performance optical storage applications // *J. Mater. Chem. C*. 2021. V. 9. P. 13841–13850.
3. Zhang D.-L., Hou Z.-P., Han F., Hua P.-R., Yu D.-Y., Pun E. Y.-B. Er^{3+} upconversion fluorescence of ErNbO_4 phosphor for optical temperature sensing // *IEEE Photonics Technology Letters*. 2014. V. 26, N. 16. P. 1601–1604.
4. Gavrilović T. V., Jovanović D. J., Lojpur V. M., Đorđević V., Dramićanin M. D. Enhancement of luminescence emission from $\text{GdVO}_4:\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ phosphor by Li^+ co-doping // *Journal of Solid State Chemistry*. 2014. V. 217. P. 92–98.
5. Cates E. L., Wilkinson A. P., Kim J. H. Delineating mechanisms of upconversion enhancement by Li^+ codoping in $\text{Y}_2\text{SiO}_5:\text{Pr}^{3+}$ // *J. Phys. Chem. C*. 2012. V. 116, N. 23. P. 12772–12778.
6. Zhou Y., Lin J., Yu M., Wang S., Zhang H. Synthesis-dependent luminescence properties of $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Re}^{3+}$ (Re = Ce, Sm, Tb) phosphors // *Materials Letters*. 2002. V. 56. P. 628–636.
7. Blasse G., Bril A. Luminescence phenomena in compounds with fergusonite structure // *Journal of Luminescence*. 1970. V. 3. P. 109–131.

References

1. Devesa S., Rodrigues J., Teixeira S. S., Rooney A. P., Graça M. P. F., Cooper D., Monteiro T., Costa L. C. Tuning green to red color in erbium niobate micro- and nanoparticles. *Nanomaterials*, 2021, vol. 11, pp. 660(1–16).
2. Zhang Z., Guo L., Sun H., Peng D., Zou H., Sun N., Zhang Q., Hao X. Rare earth orthoniobate photochromics with self-activated upconversion emissions for high-performance optical storage applications. *J. Mater. Chem. C*, 2021, vol. 9, pp. 13841–13850.
3. Zhang D.-L., Hou Z.-P., Han F., Hua P.-R., Yu D.-Y., Pun E. Y.-B. Er^{3+} upconversion fluorescence of ErNbO_4 phosphor for optical temperature sensing. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2014, vol. 26, N. 16, pp. 1601–1604.
4. Gavrilović T. V., Jovanović D. J., Lojpur V. M., Đorđević V., Dramićanin M. D. Enhancement of luminescence emission from $\text{GdVO}_4:\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ phosphor by Li^+ co-doping. *Journal of Solid State Chemistry*, 2014, vol. 217, pp. 92–98.
5. Cates E. L., Wilkinson A. P., Kim J. H. Delineating mechanisms of upconversion enhancement by Li^+ codoping in $\text{Y}_2\text{SiO}_5:\text{Pr}^{3+}$. *J. Phys. Chem. C*, 2012, vol. 116, N. 23, pp. 12772–12778.
6. Zhou Y., Lin J., Yu M., Wang S., Zhang H. Synthesis-dependent luminescence properties of $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Re}^{3+}$ (Re = Ce, Sm, Tb) phosphors. *Materials Letters*, 2002, vol. 56, pp. 628–636.
7. Blasse G., Bril A. Luminescence phenomena in compounds with fergusonite structure. *Journal of Luminescence*, 1970, vol. 3, pp. 109–131.

Информация об авторах

М. В. Смирнов — кандидат физико-математических наук, научный сотрудник;
О. Б. Щербина — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник;
С. М. Маслобоева — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник;
М. Н. Палатников — доктор технических наук, главный научный сотрудник.

Information about the authors

M. V. Smirnov — PhD (Physics & Mathematics), Researcher;
O. B. Shcherbina — PhD (Engineering), Leading Researcher;
S. M. Maslboeva — PhD (Engineering), Leading Researcher;
M. N. Palatnikov — DSc (Engineering), Chief Researcher.

Статья поступила в редакцию 22.05.2025; одобрена после рецензирования 13.06.2025; принята к публикации 27.06.2025.
The article was submitted 22.05.2025; approved after reviewing 13.06.2025; accepted for publication 27.06.2025.