



Научная статья  
2.6.17 - Материаловедение (технические науки)  
УДК 541.64:546.65:535.37

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.02.017



## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГАЛЛАТА ЕВРОПИЯ ПЕРОВСКИТНОЙ СТРУКТУРЫ

Владимир Антонович Новоженов<sup>1</sup>, Владимир Петрович Смагин<sup>2</sup>,  
Анастасия Борисовна Рошколаева<sup>3</sup>, Наталья Егоровна Стручева<sup>4</sup>,  
Лина Викторовна Затонская<sup>5</sup>

1, 2, 3, 4, 5 Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

<sup>1</sup> novozhenov@mail.asu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9073-5427>

<sup>2</sup> smaginV@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4782-6355>

<sup>3</sup> anastasiya\_roshkolaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2851-1529>

<sup>4</sup> strucheva@chem.asu.ru., <https://orcid.org/0000-0001-7507-1725>

<sup>5</sup> zatonskayalv@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2842-2710>

**Аннотация.** Методом соосаждения из растворов нитратов европия и галлия выделены смеси гидратированных оксидов  $\text{Eu}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Ga}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Последующим прокаливанием при  $800^\circ\text{C}$  в течение 24 часов получен галлат европия. Идентификация продукта проведена методами рентгенофазового анализа (РФА) и ИК спектроскопии. Установлено соответствие его структуры структурному типу перовскита  $\text{EuGaO}_3$  орторомбической симметрии (пр. гр.  $R\bar{6}2m$ , параметры кристаллической решетки:  $a = 0,5000$  нм,  $b = 0,7565$  нм,  $c = 0,5213$  нм). В спектре люминесценции  $\text{EuGaO}_3$  зарегистрирована серия характеристичных для ионов  $\text{Eu}^{3+}$  узких полос, связанных с  $^5D_0 \rightarrow ^7F_j$  переходами 4f-электронов. Полосы неоднородно уширены у основания со слабо выраженной штарковской структурой. Наиболее интенсивной является дуплетная полоса  $^5D_0 \rightarrow ^7F_2$  электронного перехода с максимумами, расположенными при длинах волн 609 нм и 630 нм. Возбуждение люминесценции происходит в результате переноса энергии фононного колебательного движения оксидной матрицы на возбужденные уровни ионов  $\text{Eu}^{3+}$ . В спектре возбуждения зарегистрирована соответствующая структурированная полоса при длинах волн  $< 350$  нм. Коротковолновая часть полосы связана с переходом 2p-электронов ионов  $\text{O}^{2-}$  на 4f-орбиталь ионов европия в оксидном окружении.

**Ключевые слова:** галлат европия, перовскитная структура, синтез, соосаждение, люминесценция.

**Для цитирования:** Синтез и исследование оптических свойств галлата европия перовскитной структуры / В. А. Новоженов, [и др.]. // Ползуновский вестник. 2022. № 2. С. 122-128. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.02.017, EDN: <https://elibrary.ru/kxwyqx>.

Original article

## SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF OPTICAL PROPERTIES OF EUROPIUM GALLATE PEROVSKITE STRUCTURE

Vladimir A. Novozhenov <sup>1</sup>, Vladimir P. Smagin <sup>2</sup>, Anastasiya B. Roshkolaeva <sup>3</sup>,  
Natalea E. Strucheva <sup>4</sup>, Lina V. Zatonskaya <sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Altai State University, Barnaul, Russia

<sup>1</sup> novozhenov@mail.asu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9073-5427>

<sup>2</sup> smaginV@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4782-6355>

<sup>3</sup> anastasiya\_roshkolaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2851-1529>

<sup>4</sup> strucheva@chem.asu.ru., <https://orcid.org/0000-0001-7507-1725>

<sup>5</sup> zatonskayalv@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2842-2710>

**Abstract.** Mixtures of hydrated oxides  $\text{Eu}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{Ga}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  were isolated from solutions of europium and gallium nitrates by the method of co-shrinkage. By subsequent calcination at 800 °C for 24 hours, europium gallate was obtained. The identification of the product was carried out by X-ray phase analysis and IR spectroscopy. Its structure has been found to correspond to the structural type of  $\text{EuGaO}_3$  perovskite of orthorhombic symmetry (e.g.  $Pbnm$ , crystal lattice parameters:  $a = 0.5000$  nm,  $b = 0.7565$  nm,  $c = 0.5213$  nm). A series of narrow bands characteristic of  $\text{Eu}^{3+}$  ions associated with  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_j$  transitions of 4f-electrons was registered in the luminescence spectrum of  $\text{EuGaO}_3$ . The stripes are inhomogeneously widened at the base with a weakly pronounced Stark structure. The most intense is the  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$  doublet band of the electron transition with maxima located at wavelengths of 609 nm and 630 nm. The excitation of luminescence occurs as a result of the transfer of the energy of the phonon vibrational motion of the matrix to the excited levels of  $\text{Eu}^{3+}$  ions. A corresponding structured band was registered in the excitation spectrum at wavelengths < 350 nm. The short-wave part of the band is associated with the transition of 2p-electrons of  $\text{O}^{2-}$  ions to the 4f-orbital of europium ions in an oxide environment.

**Keywords:** europium gallate, perovskite structure, synthesis, coprecipitation, luminescence.

**For citation:** Novozhenov, V. A., Smagin, V. P., Roshkolaeva, A. B., Strucheva, N. E. & Zatonskaya, L.V. (2022). Synthesis and investigation of optical properties of europium gallate perovskite structure. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 122-128. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.02.017.

### ВВЕДЕНИЕ

Перовскитоподобные оксиды являются объектом пристального внимания исследователей [1–4]. Это связано с наличием у них комплекса перспективных свойств для применения в химической промышленности, микро- и оптоэлектронике. К таким оксидам относятся галлаты редкоземельных элементов – тройные соединения редкоземельных элементов с галлием и кислородом с различными кристаллическими решетками, включая решетку со структурой перовскита. Практический интерес представляют галлаты европия. В своем составе они содержат ионы  $\text{Eu}^{3+}$ , являющиеся люминесцирующим компонентом многих люминофоров красного и белого свечения. Изучению галлатов европия посвящены работы [5, 6–8]. В большинстве случаев синтез проводят спеканием при температурах

значительно больше 1200 °C [9]. В статьях [7, 8, 10] описана методика получения прокаливанием исходных оксидов, далее прессованием продуктов прокаливания в таблетки и отжигом. После первого отжига таблетки перемалывали, полученный порошок прессовали в бруски и вновь отжигали. Продукты характеризуются нарушенной стехиометрией вследствие потерь оксида галлия в процессе синтеза и обжига. Нарушение кристаллической структуры отрицательно сказывалось на их свойствах. В спектрах наблюдалось неоднородное уширение полос, обусловленное неэквивалентностью окружения люминесцирующих ионов.

Целью данного исследования являлась разработка синтеза, отличающегося уменьшением температуры и сокращением количества стадий, и установление спектральных свойств галлата европия.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

За основу взят метод синтеза, разработанный авторами [11, 12]. В качестве исходных веществ были выбраны  $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (х. ч.) и  $\text{Ga}(\text{NO}_3)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  (х. ч.). Вещества взяты в стехиометрическом соотношении, соответствующем соотношению оксидов европия и галлия в галлате европия (1 : 1). Нитраты европия и галлия раздельно растворяли в подкисленной азотной кислотой дистиллирован-

ной воде. Растворы смешивали и вводили раствор аммиака (х.ч., 25 %). В результате был получен белый хлопьевидный осадок смеси гидратированных оксидов галлия и европия. Со временем осадок переходил в мелкодисперсное кристаллическое состояние. Его отфильтровывали. Фильтрат проверяли на полноту осаждения добавлением раствора аммиака. Процесс образования гидратированных оксидов европия и галлия соответствует уравнению (1).



Смесь  $\text{Eu}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Ga}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  подсушивали на воздухе и прокаливали в муфель-

ной печи на воздухе в течение 24 часов при температуре 800 °С (реакция 2):



В результате синтеза получены белые кристаллические вещества. Идентификация проведена методами ИК-спектроскопии и рентгенофазового анализа. Зарегистрированы спектры возбуждения люминесценции и люминесценции.

ИК-спектры зарегистрированы на спектрометре «Инфралюм ФТ-801» в диапазоне волновых чисел 4000–500  $\text{cm}^{-1}$  после осаждения гидратированных оксидов и после прокаливания смесей оксидов при 800 °С. РФА выполнен на рентгеновском дифрактометре «XRD-6000» («Shimadzu», Япония) на  $\text{CuK}\alpha$ -

излучении. Анализ фазового состава проведен с использованием баз данных PDF 4+, а также программы полнопрофильного анализа POWDERCELL 2.4. Спектры люминесценции и возбуждения люминесценции зарегистрированы на спектрофлуориметре Shimadzu RF-5301 PC в интервале длин волн 500–800 нм при селективном возбуждении люминесценции излучением с длиной волны 240 нм и в интервале длин волн 300–440 нм при регистрации люминесценции на длине волны 595 нм соответственно.

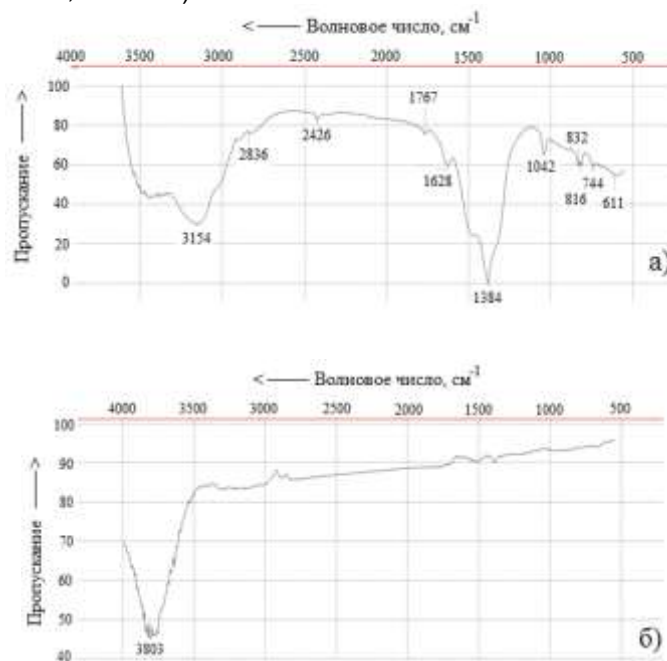


Рисунок 1 – Инфракрасные спектры смеси гидратированных оксидов европия и галлия после осаждения (а) и прокаленного вещества (б)

Figure 1 - Infrared spectra of a mixture of hydrated europium and gallium oxides after deposition (a) and calcined substance (b)

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГАЛЛАТА ЕВРОПИЯ ПЕРОВСКИТНОЙ СТРУКТУРЫ

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ИК-спектре продуктов осаждения (рисунок 1, а) наблюдаются полосы, соответствующие валентным и деформационным колебаниям молекул воды в диапазонах  $> 3000 \text{ см}^{-1}$  и  $< 1600 \text{ см}^{-1}$ .

Кроме того, присутствуют неинтенсивные полосы валентных и деформационных колебаний связи N–H в ионе аммония и колебания нитрат ионов, адсорбированных на поверхности аморфных гидратированных оксидов галлия и европия. Полосы этих колебаний перекрываются с полосами молекул воды и O–H групп, а также наблюдаются в области волновых чисел  $< 1100 \text{ см}^{-1}$  в виде неинтенсивных полос.

В ИК-спектре продуктов прокаливания (рисунок 1, б) зарегистрирована полоса с максимумом  $3800 \text{ см}^{-1}$ . Она связана с валентными колебаниями O–H связей молекул воды, находящихся в пустотах кристаллической структуры галлата европия. Полосы колебаний побочных продуктов синтеза после прокаливания не зарегистрированы. Полосы колебаний связей металл–кислород характеризуются невысокой интенсивностью и преимущественно расположены в области  $< 500 \text{ см}^{-1}$ .

Результаты рентгенофазового исследования продуктов синтеза после прокаливания приведены на рисунке 2 и в таблице 1.

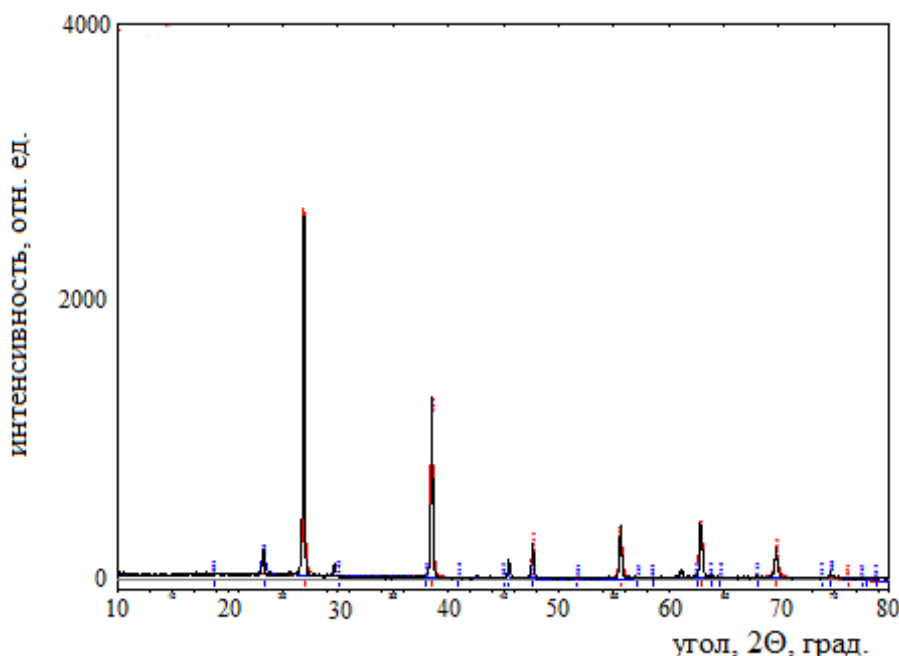


Рисунок 2 – Рентгенограмма галлата европия

Figure 2 - X-ray of europium gallate

Таблица 1 – Результаты РФА галлата европия

Table 1 - Results of XRF analysis of europium gallate

Образец	Обнаруженные фазы	Содержание фаз, масс. %	Параметры решетки, Å	Размер ОКР, нм	$\Delta d/d \cdot 10^{-3}$
EuGaO <sub>3</sub> Степень кристалличности ~92%	EuGaO <sub>3</sub>	95	a = 5.000 b = 7.565 c = 5.213	294	0.5
	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5	a = 5.130	45	1.3

Анализ результатов РФА показал, что в результате проведенного синтеза получен галлат европия состава  $\text{EuGaO}_3$  перовскитной орторомбической структуры. В качестве примеси присутствует оксид европия  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ . Его присутствие обусловлено потерей оксида галлия при прокаливании, что соответствует данным [7, 8, 10]. Параметры кристаллической структуры полученного продукта близки к параметрам галлата европия, приведенным в работе [9].

При возбуждении люминесценции галлата европия наблюдалось характерное для ионов  $\text{Eu}^{3+}$  красное свечение. Спектр люминесценции приведен на рисунке 3.

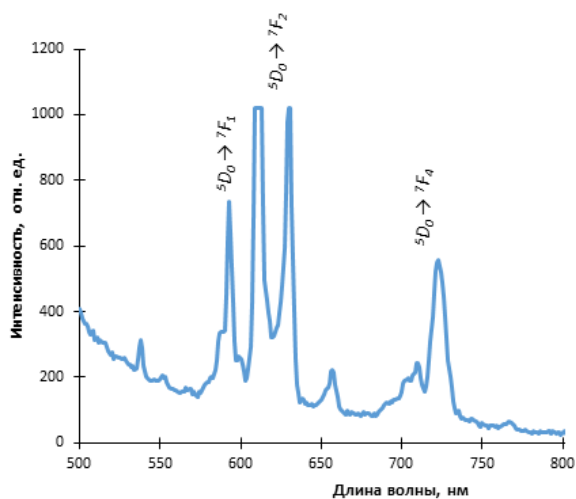


Рисунок 3 – Спектр люминесценции галлата европия,  $\lambda_{\text{в}} = 240 \text{ нм}$

Figure 3 - Luminescence spectrum of europium gallate,  $\lambda_{\text{в}} = 240 \text{ nm}$

В спектре зарегистрирована серия характеристических для ионов  $\text{Eu}^{3+}$  узких полос люминесценции, связанных с  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_j$  переходами  $4f$ -электронов [17]. Наиболее интенсивной является дуплетная полоса  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$  электронного перехода. Ее максимумы расположены при длинах волн 609 нм и 630 нм. Полоса магнитно-дипольного  ${}^5D_0 \rightarrow {}^5F_1$  электронного перехода представляет собой триплет. Это ее максимально возможная мультиплетность. Однако компоненты мультиплета разрешены плохо. Максимум наиболее интенсивного компонента полосы находится при длине волны 593 нм. В отличие от полосы электрического дипольного  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$  перехода, сильно подверженного влиянию энергетического поля, создаваемого ближним окружением ионов  $\text{Eu}^{3+}$ , эта полоса практически не зависит от структурного окружения

ионов  $\text{Eu}^{3+}$ . Полоса, соответствующая электронному переходу  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_4$ , также является триплетной. Максимумы компонент полосы соответствуют длинам волн 701 нм, 709 нм и 721 нм [13, 14].

В спектре возбуждения люминесценции галлата европия зарегистрирована структурированная полоса, связанная с переносом колебательной энергии фононов оксоанионной матрицы на возбужденные уровни ионов  $\text{Eu}^{3+}$  (рисунок 4). Это наиболее интенсивная спектральная полоса. Она расположена при длинах волн  $< 350 \text{ нм}$ . Коротковолновая часть полосы связана с переходом  $2p$ -электронов ионов  $\text{O}^{2-}$  на  $4f$ -орбиталь ионов европия в оксидном окружении [15, 16].

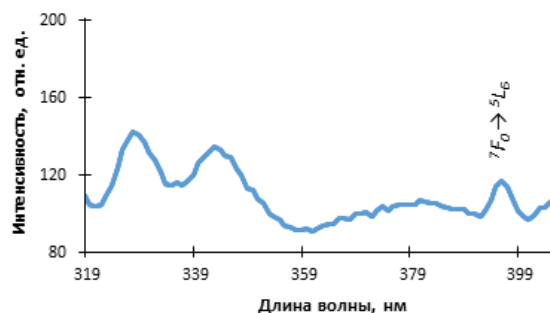


Рисунок 4 – Спектр возбуждения люминесценции порошкообразного образца  $\text{EuGaO}_3$ ,  $\lambda_{\text{л}} = 595 \text{ нм}$

Figure 4 - Luminescence excitation spectrum of powdered sample  $\text{EuGaO}_3$ ,  $\lambda_{\text{л}} = 595 \text{ nm}$

Также в спектре присутствуют полосы, связанные с собственным поглощением возбуждающего излучения ионами европия. Например, полоса с максимумом 395 нм во многих европийсодержащих материалах является наиболее интенсивной. Она соответствует  ${}^7F_0 \rightarrow {}^5L_6$  переходу  $4f$ -электронов ионов  $\text{Eu}^{3+}$  из основного в возбужденное энергетическое состояние [17].

## ВЫВОДЫ

Таким образом, для синтеза галлата европия применена методика, позволившая уменьшить температуру синтеза с 1200–1500 °С до 800 °С, исключить стадии размола или мехактивации. Установлено, что продуктом примененного синтеза является галлат европия со структурой орторомбического перовскита. Его люминесценция связана с  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_j$  электронными переходами в ионах  $\text{Eu}^{3+}$ . Полосы в спектрах люминесценции структурированы, неоднородно уширены у

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГАЛЛАТА ЕВРОПИЯ ПЕРОВСКИТНОЙ СТРУКТУРЫ

основания. Это связано с неоднородностью структуры люминесцирующих центров, которая может наступать в результате нестехиометрии соединения. Возбуждение люминесценции происходит в результате переноса энергии фононного колебания оксоанионной матрицы на возбужденные уровни ионов европия и переходов  $2p$ -электронов ионов  $O^{2-}$  на  $4f$ -орбиталь ионов европия в оксидном окружении, также зарегистрировано собственное поглощение энергии источника ионами  $Eu^{3+}$ . Полученные результаты показывают возможность применения данного синтеза для получения порошка галлата европия, предназначенного для включения в состав предшественников компактных люминофоров, в том числе оптической керамики, а также прекурсоров монокристаллов или стекол оптического назначения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Главатских Т.Ю. Ионопроводящие оксиды на основе галлата лантана: синтез, структура, микроструктура и физико-химические свойства : автореф. дис. ... канд. хим. наук. Москва, 2004. 105 с.
2. Петров Г.С., Башкиров Л.А., Лубинский Н.Н. [и др.]. Физико-химические свойства индатов неодима, лантана // Труды БГТУ. Серия 3: Химия и технология неорганических веществ. 2010. № 18. С. 103–107.
3. Lopez I., Lorenz K., Nogales E. Study of the relationship between crystal structure and luminescence in rare-earth-implanted  $Ga_2O_3$  nanowires during annealing treatments // J. Mater. Sci. 2013. № 49. P. 1279–1285.
4. Senyshyn A., Ehrenberg H., Vasylechko L. [et al.]. Computational study of  $LnGaO_3$  ( $Ln = La-Gd$ ) perovskites // J. Phys. : Condens. Matter. 2005. № 17. P. 6217–6234.
5. Li C., Soh K.C.K., Wu P. Formability of  $ABO_3$  Perovskites // J. Alloys Compd. 2004. № 372. P. 40–48.
6. Feng L.M., Jiang L.Q., Zhu M. [et al.]. Formability of  $ABO_3$  Cubic Perovskites // J. Phys. Chem. Solids. 2008. № 69. P. 967–974.
7. Sallavard G., Szabo G., Paris R.A. Sur les monogallateslant hanidiques  $LnGaO_3$ . Comptes Rendus des Seances de l'Academie des Sciences, Serie // Sciences Chimiques. 1969. № 268. P. 1050–1053.
8. Geller S., Curlander P.J., Ruse G.F. Perovskite-like rare earth gallium oxides prepared at atmospheric pressure // Materials Research Bulletin. 1974. № 9. P. 637–644.
9. Портной К.И., Тимофеева Н.И. Кислородные соединения редкоземельных элементов ; под ред. К.И. Портного. М. : Металлургия, 1996. 65 с.
10. Baran E.J. Structural chemistry and physico-chemical properties of perovskite-like materials // Cat. Today. 1990. V. 8. P. 151.
11. Пат. 2663736 Российская Федерация, МПК С 01 F 17/00, С 01 G 15/00. Способ получения

галлата лантана  $LaGaO_3$  / В.А. Новоженов [и др.]; патентообладатель ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный университет» № 2016126014 ; заявл. 16.05.2018 ; опубл. 09.08.2018, Бюл. № 22. 7 с.

12. Пат. 2721700 Российская Федерация, МПК С 01 В 13/36, С 01 F 17/00, С 01 G 15/00. Способ получения галлатов неодима  $NdGaO_3$ ,  $Nd_5Ga_3O_{12}$  и  $Nd_4Ga_2O_9$  / В.А. Новоженов, О.В. Белова ; патентообладатель ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный университет» № 2019126486; заявл. 20.08.2019; опубл. 21.05.2020, Бюл. № 15. 10 с.

13. Шилов С.М. Люминесцентно-спектральные свойства соединений европия (III) в нанопористых носителях // Известия Российского гос. пед. ун-та им. А.И. Герцена. 2008. С. 62–74.

14. Каплянский А.А., Кулинкин А.Б., Куценко А.Б., Феофилов С.П., Захарченя Р.И., Василевская Т.Н. Оптические спектры трехзарядных редкоземельных ионов в поликристаллическом корунде // Физика твердого тела. 1998. № 8. С. 1442–1449.

15. Уклеина И.Ю. Оксифториды иттрия и РЗЭ: синтез, люминесценция и оптика : дис. ... канд. хим. наук. Ставрополь, 2005. 158 с.

16. Rakov N., Guimaraes R.B., Lozano W.B., Maciel G.S. Structural and Spectroscopic Analyses of Europium Doped Yttrium Oxyfluoride Powders Prepared by Combustion Synthesis // J. Appl. Phys. 2013. V. 114. № 4. P. 043517(1–7).

17. Dieke G.H. Spectra and energy levels of rare earth in crystals. N.Y. Interscience Publ., 1968. 457 p.

### Информация об авторах

*В. А. Новоженов – доктор химических наук, профессор, профессор кафедры физической и неорганической химии, институт химии и химико-фармацевтических технологий, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет».*

*В. П. Смагин – доктор химических наук, доцент, профессор кафедры техносферной безопасности и аналитической химии, институт химии и химико-фармацевтических технологий, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет».*

*Н. Е. Стручева – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры физической и неорганической химии, институт химии и химико-фармацевтических технологий, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет».*

*А. Б. Рошколаева – магистрант кафедры физической и неорганической химии, институт химии и химико-фармацевтических технологий, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет».*

*Л. В. Затонская – кандидат химических наук, доцент кафедры техносферной безопасности и аналитической химии, инсти-*

тут химии и химико-фармацевтических технологий, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет».

## REFERENCES

1. Glavatskikh, T.Yu. (2004). Ion-conducting oxides based on lanthanum gallate: synthesis, structure, microstructure and physico-chemical properties. Candidate's thesis. Moscow. (In Russ.).
2. Petrov, G.S., Bashkirov, L.A., Lubinsky, N.N. [et al.]. (2010). Physical and chemical properties of neodymium and lanthanum indates. *Proceedings of BSTU. Series 3: Chemistry and Technology of Inorganic Substances*. (18), 103-107. (In Russ.).
3. Lopez, I., Lorenz, K. & Nogales, E. (2013). Study of the relationship between crystal structure and luminescence in rare-earth-implanted Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanowires during annealing treatments. *J. Mater. Sci.* (49), 1279-1285.
4. Senyshyn, A., Ehrenberg, H., Vasylechko, L. [et al.]. (2005). Computational study of LnGaO<sub>3</sub> (Ln = La-Gd) perovskites. *J. Phys. : Condens. Matter*. (17), 6217-6234.
5. Li, C., Soh, K.C.K. & Wu, P. (2004). Formability of ABO<sub>3</sub> Perovskites. *J. Alloys Compd.* (372), 40-48.
6. Feng, L.M., Jiang, L.Q., Zhu, M. [et al.]. (2008). Formability of ABO<sub>3</sub> Cubic Perovskites. *J. Phys. Chem. Solids*. (69), 967-974.
7. Sallavard, G., Szabo, G. & Paris, R.A. (1969). Sur les monogallateslanthanidiques LnGaO<sub>3</sub>. *Comptes Rendus des Seances de l'Academie des Sciences, Serie. Sciences Chimiques*. (268), 1050-1053.
8. Geller, S., Curlander, P.J. & Ruse, G.F. (1974). Perovskite-like rare earth gallium oxides prepared at atmospheric pressure. *Materials Research Bulletin*. (9), 637-644.
9. Portnoy, K.I. & Timofeeva, N.I. (1996). Oxygen compounds of rare earth elements; ed. K.I. Portnoy. Moscow: Metallurgy. (In Russ.).
10. Baran, E.J. (1990). Structural chemistry and physicochemical properties of perovskite-like materials. *Cat. Today*. (8), 151.
11. Novozhenov, V.A. [et al.] (2018). The method of obtaining lanthanum gallate LaGaO<sub>3</sub>. *Pat. 2663736 Russian Federation*, publ. 08/09/2018, Bull. №. 22. (In Russ.).
12. Novozhenov, V.A. & Belova, O.V (2019). Method for obtaining neodymium gallates NdGaO<sub>3</sub>, Nd<sub>5</sub>Ga<sub>3</sub>O<sub>12</sub> and Nd<sub>4</sub>Ga<sub>2</sub>O<sub>9</sub>. *Pat. 2721700 Russian Federation*, publ. May 21, 2020, Bull. №. 15. (In Russ.).
13. Shilov, S.M. (2008). Luminescent-spectral

properties of europium (III) compounds in nanoporous carriers. *Izvestiya Rossiyskogo Gos. Ped. Un. them. A.I. Herzen*. 62-74. (In Russ.).

14. Kaplyansky, A.A., Kulinkin, A.B., Kutsenko, A.B., Feofilov, S.P., Zakharchenya, R.I. & Vasilevskaya, T.N. (1998). Optical spectra of triply charged rare-earth ions in polycrystalline corundum. *Physics of the Solid State*. (8). 1442-1449. (In Russ.).
15. Ukleina, I.Yu. (2005). Yttrium and REE oxyfluorides: synthesis, luminescence and optics. Candidate's thesis. Stavropol. (In Russ.).
16. Rakov, N., Guimaraes, R.B., Lozano, W.B. & Maciel, G.S. (2013). Structural and Spectroscopic Analyses of Europium Doped Yttrium Oxyfluoride Powders Prepared by Combustion Synthesis. *J. Appl. Phys.* 114(4). 043517(1-7).
17. Dieke, G.H. (1968). Spectra and energy levels of rare earth in crystals. N.Y. Interscience Publ.

## Information about the authors

V. A. Novozhenov - Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of the Department of Physical and Inorganic Chemistry, Institute of Chemistry and Chemical-Pharmaceutical Technologies, Altai State University.

V. P. Smagin - Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technosphere Safety and Analytical Chemistry, Institute of Chemistry and Chemical-Pharmaceutical Technologies, Altai State University.

N. Y. Strucheva - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physical and Inorganic Chemistry, Institute of Chemistry and Chemical-Pharmaceutical Technologies, Altai State University.

A. B. Roshkolaeva - student of the Department of Physical and Inorganic Chemistry, Institute of Chemistry and Chemical-Pharmaceutical Technologies, Altai State University.

L. V. Zatonskaya - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety and Analytical Chemistry, Institute of Chemistry and Chemical-Pharmaceutical Technologies, Altai State University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.03.2022; одобрена после рецензирования 17.04.2022; принята к публикации 17.05.2022.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 22; approved after reviewing on 17 Apr 22; accepted for publication on 17 May 22.