

УДК 546.736.442.6+537.621.4+666.265

**И. Н. Кандидатова**, младший научный сотрудник (БГТУ);  
**Л. А. Башкиров**, доктор химических наук, профессор (БГТУ);  
**Л. С. Лобановский**, кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник (НПЦ НАН Беларуси по материаловедению);  
**С. В. Труханов**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник  
(НПЦ НАН Беларуси по материаловедению);  
**П. П. Першукевич**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник  
(Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси)

### СИНТЕЗ, МАГНИТНЫЕ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$ ( $0,7 \leq x \leq 1,0$ )

Керамическим методом получены твердые растворы  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  ( $0,7 \leq x \leq 1,0$ ), изучена их кристаллическая структура, магнитные и люминесцентные свойства. Установлено, что синтезированные твердые растворы в интервале температур 5–300 К являются парамагнетиками. Рассчитанные значения эффективного магнитного момента ионов  $\text{Nd}^{3+}$  в исследованных твердых растворах ниже теоретического. Сделано предположение о наличии в твердых растворах  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  с  $0,7 \leq x \leq 0,9$  «частичного замораживания» орбитального магнитного момента ионов  $\text{Nd}^{3+}$  кристаллическим полем орторомбически искаженной структуры перовскита. Показано, что твердый раствор  $\text{Nd}_{0,1}\text{La}_{0,9}\text{GaO}_3$  является эффективным фотолуминофором, излучающим в ИК-области, и перспективен для использования в ИК-светодиодах.

$\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  ( $0,7 \leq x \leq 1,0$ ) solid solutions were synthesized by the ceramic method, their crystal structure, magnetic and luminescent properties were investigated. The solid solutions investigated behave as paramagnetics in temperature region of 5–300 K. Calculated values of  $\text{Nd}^{3+}$  ion effective magnetic moment in solid solutions investigated are lower than theoretical. There probably exists “partial freezing” of orbital moment of  $\text{Nd}^{3+}$  ions by the crystal field of the orthorhombically distorted perovskite structure of  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  gallates. It is shown that  $\text{Nd}_{0,1}\text{La}_{0,9}\text{GaO}_3$  is an efficient phosphor with IR-emission, so it is prospective for use in IR-LEDs.

**Введение.** Особое место среди современных перспективных материалов занимают соединения оксидов редкоземельных и других металлов со структурой перовскита, которые широко применяются в электронной и химической промышленности [1–3]. Твердые растворы алюминатов, галлатов, индатов лантана со структурой перовскита, легированные парамагнитными ионами редкоземельных элементов, являются перспективными материалами для изготовления активных элементов лазерной техники [4–6], а также хорошими фото- и катодолуминофорами [7, 8], которые могут быть использованы при создании светодиодов белого света.

При частичном изовалентном замещении парамагнитных ионов редкоземельных элементов в  $\text{LnAlO}_3$ ,  $\text{LnGaO}_3$ ,  $\text{LnInO}_3$  (Ln – редкоземельный элемент) диамагнитными ионами лантана  $\text{La}^{3+}$  наблюдается магнитное разбавление ионов редкоземельных элементов, приводящее к уменьшению их взаимодействия между собой и усилению влияния кристаллического поля на спин-орбитальное взаимодействие, что приводит к «частичному замораживанию» орбитального момента ионов редкоземельных элементов кристаллическим полем. В литературе подобные исследования практически отсутствуют, несмотря на их большую научную и практическую значимость.

Цель настоящей работы – синтез керамическим методом твердых растворов  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  с высокой степенью магнитного разбавления  $x$  парамагнитных ионов  $\text{Nd}^{3+}$  диамагнитными ионами  $\text{La}^{3+}$  путем их изовалентного замещения в галлате  $\text{NdGaO}_3$  и исследование магнитных и люминесцентных свойств синтезированных твердых растворов.

**Методика эксперимента.** Поликристаллические образцы твердых растворов  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  ( $x = 0,7–1,0$ ), являющиеся предметом исследования, получали твердофазным методом из оксидов неодима  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  (99,99% REO), лантана  $\text{La}_2\text{O}_3$  (LaO-D), галлия  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ . Гигроскопичные оксиды  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  перед взятием навесок были предварительно прокалены при 1273 К в течение 1 ч. Оксид  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  получали путем термического разложения пятиводного нитрата  $\text{Ga}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (х.ч.) по методике, приведенной в [9]. По результатам рентгенофазового анализа (рис. 1) полученный оксид галлия был однофазным и имел моноклинную кристаллическую структуру  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  [10]. Порошки исходных соединений, взятые в заданных молярных соотношениях, смешивали и мололи в планетарной мельнице Pulverizette 6 с добавлением этанола. Полученную шихту прессовали под давлением 50–75 МПа в таблетки диаметром 25 мм и высотой 5–7 мм, которые обжигали на

воздухе в электропечи при температуре 1473 К в течение 4 ч. После первого обжига таблетки дробили, перемалывали, прессовали в бруски длиной 30 мм и сечением 5×5 мм<sup>2</sup>, которые обжигали на воздухе в электропечи при температуре 1523 К в течение 2 ч.

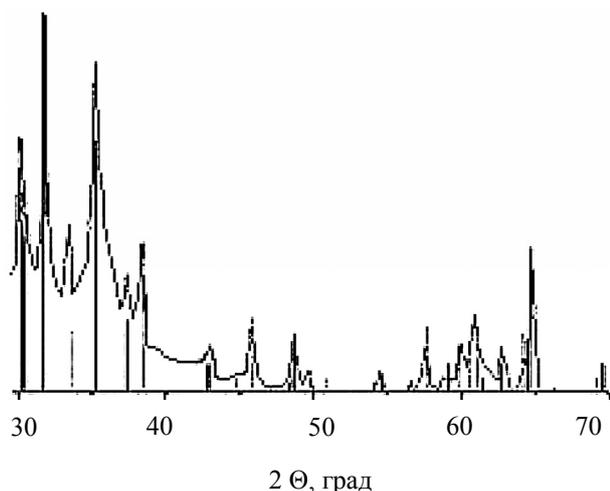


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма полученного оксида галлия (линиями показаны рефлексы  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [10])

Рентгеновские дифрактограммы получали на дифрактометре D8 ADVANCE с использованием CuK<sub>α</sub>-излучения в диапазоне углов 2 $\Theta$  20–80°. Параметры кристаллической структуры определяли с использованием рентгеноструктурного табличного процессора RTP и данных картотеки международного центра дифракционных данных (ICDD JCPDS) [11, 12].

Удельная намагниченность ( $\sigma_{уд}$ ) в полях до 14 Тл и удельная магнитная восприимчивость ( $\chi_{уд}$ ) в интервале температур 6–300 К в поле 0,8 Тл однофазных образцов Nd<sub>1-x</sub>La<sub>x</sub>GaO<sub>3</sub> измерялась вибрационным методом на универсальной высокополевой измерительной системе (Cryogenic Ltd, London, 4IS) ГО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению».

Таблица 1  
Параметры  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и объем  $V$  элементарной ячейки и степень орторомбического искажения  $\epsilon$  и рентгеноструктурная плотность  $\rho_{рент}$  для галлатов Nd<sub>1-x</sub>La<sub>x</sub>GaO<sub>3</sub> в зависимости от степени замещения  $x$

Состав	Параметры элементарной ячейки					$\rho_{рент}$ , г/см <sup>3</sup>
	$a$ , нм	$b$ , нм	$c$ , нм	$V \cdot 10^3$ , нм <sup>3</sup>	$\epsilon \cdot 10^2$	
NdGaO <sub>3</sub> [11]	0,54276	0,54979	0,7708	230,00	1,30*	7,57*
Nd <sub>0,3</sub> La <sub>0,7</sub> GaO <sub>3</sub>	0,5501	0,5488	0,7757	234,16	-0,23	7,32
Nd <sub>0,2</sub> La <sub>0,8</sub> GaO <sub>3</sub>	0,5512	0,5484	0,7767	234,76	-0,52	7,29
Nd <sub>0,1</sub> La <sub>0,9</sub> GaO <sub>3</sub>	0,5518	0,5491	0,7760	235,10	-0,48	7,27
LaGaO <sub>3</sub>	0,5519	0,5493	0,7782	235,57	-0,47	7,24
LaGaO <sub>3</sub> [12]	0,55243	0,54925	0,77745	235,9*	-0,58*	7,23*

Примечание. Значения, отмеченные \*, рассчитаны в настоящей работе по литературным данным.

Измерения спектров люминесценции и возбуждения люминесценции проводились в Институте физики им Б. И. Степанова НАН Беларуси на автоматизированном спектрофлуориметре СДЛ-2, состоящем из светосильного монохроматора возбуждения МДР-12 и монохроматора регистрации МДР-23.

**Основная часть.** Анализ рентгеновских дифрактограмм образцов Nd<sub>1-x</sub>La<sub>x</sub>GaO<sub>3</sub> ( $0,7 \leq x \leq 1,0$ ) показал, что образцы были однофазными и имели кристаллическую структуру орторомбически искаженного перовскита.

При увеличении степени замещения  $x$  ионами Nd<sup>3+</sup> ионами La<sup>3+</sup>, ионный радиус которых на 0,005 нм больше ионного радиуса Nd<sup>3+</sup> [13], наблюдается незначительный рост параметров  $a$  и  $c$  элементарной ячейки твердых растворов Nd<sub>1-x</sub>La<sub>x</sub>GaO<sub>3</sub> (табл. 1). Параметр  $b$  остается практически неизменным (табл. 1). Объем элементарной ячейки ( $V$ ) при увеличении степени замещения  $x$  также увеличивается (табл. 1). Параметры элементарной ячейки для полученного галлата лантана LaGaO<sub>3</sub> (табл. 1) согласуются с литературными данными [12].

Рентгеноструктурная плотность керамических образцов твердых растворов Nd<sub>1-x</sub>La<sub>x</sub>GaO<sub>3</sub> рассчитана по формуле (1):

$$\rho_{рент} = 4M / (N_A \cdot V), \quad (1)$$

где 4 – число формульных единиц в элементарной ячейке;  $M$  – молярная масса формульной единицы, г/моль;  $N_A$  – число Авогадро ( $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>);  $V$  – объем элементарной ячейки, см<sup>3</sup>.

Рентгеноструктурная плотность при увеличении степени замещения  $x$  ионами Nd<sup>3+</sup> ионами La<sup>3+</sup>, имеющими больший ионный радиус и меньшую атомную массу, постепенно уменьшается (табл. 1). В настоящей работе и авторами [13] установлено, что для галлата лантана  $a > b$ , в то время как для галлата неодима  $b > a$ , что объясняет отрицательный знак степени орторомбического искажения ( $\epsilon = (b - a)/a$ ) твердых растворов Nd<sub>1-x</sub>La<sub>x</sub>GaO<sub>3</sub> со степенью замещения  $x = 0,7-1,0$  (табл. 1).

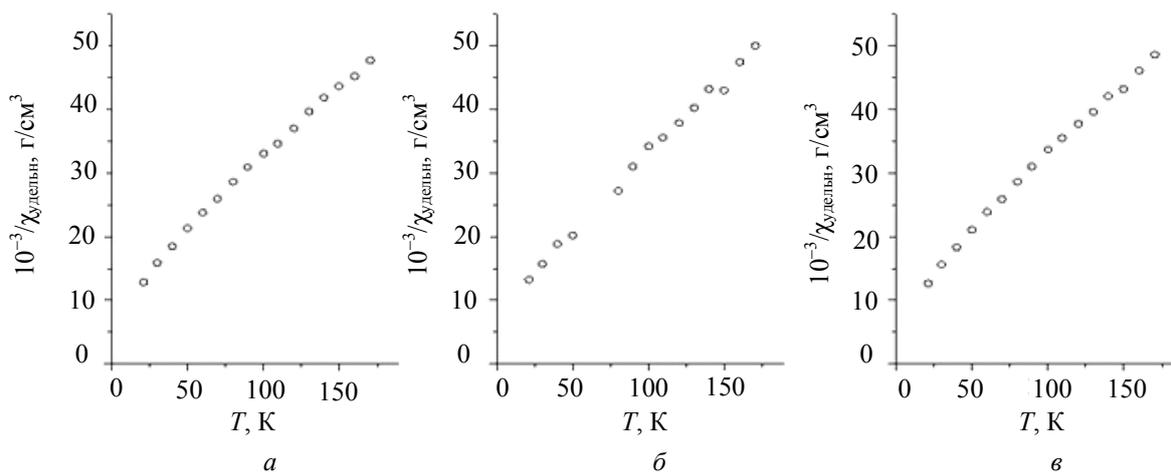


Рис. 2. Температурные зависимости обратных величин удельной магнитной восприимчивости галлата, содержащего 1 моль ионов  $\text{Nd}^{3+}$ , рассчитанные для образцов  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  при различных значениях  $x$ :  $a$  – при  $x = 0,7$ ;  $b$  – при  $x = 0,8$ ;  $v$  – при  $x = 0,9$

По температурным зависимостям молярной магнитной восприимчивости однофазных образцов  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  ( $x = 0,7; 0,8; 0,9$ ) с учетом полученной нами ранее температурной зависимости молярной магнитной восприимчивости диамагнетика  $\text{LaGaO}_3$  нами были получены расчетные температурные зависимости обратной величины удельной магнитной восприимчивости образца галлата, содержащего 1 моль ионов  $\text{Nd}^{3+}$  (рис. 2), которые совпадают между собой, подчиняются в интервале температур 20–170 К закону Кюри – Вейсса и показывают, что эффективный магнитный момент иона  $\text{Nd}^{3+}$  в исследованных твердых растворах  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  ( $x = 0,7; 0,8; 0,9$ ) практически не зависит от  $x$ .

Для интервалов температур, в которых удельная магнитная восприимчивость образцов изменяется по закону Кюри – Вейсса, методом наименьших квадратов определены уравнения линейной зависимости  $1/\chi_{\text{уд}}$  от  $T$  ( $1/\chi_{\text{уд}} = a + bT$ ). По коэффициентам  $a$  и  $b$  этих уравнений рассчитаны удельные постоянные Кюри ( $C_{\text{уд}} = 1/b$ ), постоянные Вейсса ( $\Theta = -a/b$ ). Величины молярной постоянной Кюри ( $C_{\text{м}}$ ) определяли умножением  $C_{\text{уд}}$  на молярную массу соответствующего галлата.

Эффективный магнитный момент ионов  $\text{Nd}^{3+}$  ( $\mu_{\text{эфф Nd}^{3+}}$ ) вычисляли по формуле (2):

$$\mu_{\text{эфф Nd}^{3+}} = \sqrt{\frac{7,997 C_{\text{м}}}{1-x}}, \quad (2)$$

где  $7,997 = 3k / N_{\text{A}}\mu_{\text{B}}^2$ ,  $k$  – постоянная Больцмана;  $N_{\text{A}}$  – постоянная Авогадро;  $\mu_{\text{B}}$  – магнетон Бора.

Полученные значения постоянных Вейсса ( $\Theta$ ), а также рассчитанные по формуле (2) значения эффективного магнитного момента ионов  $\text{Nd}^{3+}$  ( $\mu_{\text{эфф Nd}^{3+}}$ ) в  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  приведены в табл. 2. Погрешность определения  $\mu_{\text{эфф Nd}^{3+}}$  и  $\Theta$  составляла 1–3%.

Таблица 2

**Постоянные Вейсса ( $\Theta$ ) и эффективный магнитный момент ионов  $\text{Nd}^{3+}$  ( $\mu_{\text{эфф Nd}^{3+}}$ ) в интервале температур выполнения закона Кюри – Вейсса для  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$**

$\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3, x$	$\mu_{\text{эфф Nd}^{3+}}, \mu_{\text{B}}$	$\Theta, \text{K}$
0,7	3,03	–41,4
0,8	2,94	–35,0
0,9	2,99	–39,0

Эффективный магнитный момент ионов  $\text{Nd}^{3+}$  ( $\mu_{\text{эфф Nd}^{3+}}$ ) в образцах  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  при  $0,7 \leq x \leq 0,9$  изменяется незначительно в интервале значений (2,94–3,03)  $\mu_{\text{B}}$ , что меньше теоретического значения эффективного спин-орбитального магнитного момента ионов неодима  $\text{Nd}^{3+}$ , равного 3,62  $\mu_{\text{B}}$ . Таким образом, можно предположить наличие в твердых растворах  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  с высокой степенью магнитного разбавления парамагнитных ионов  $\text{Nd}^{3+}$  диамагнитными ионами  $\text{La}^{3+}$  «частичного замораживания» орбитального магнитного момента ионов  $\text{Nd}^{3+}$  кристаллическим полем орторомбически искаженной структуры перовскита.

Анализ данных, приведенных в табл. 2, показывает, что постоянные Вейсса твердых растворов  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  имеют отрицательный знак. Это позволяет предположить, что в них при температурах ниже 1 К, как в  $\text{NdInO}_3$  [14], происходит переход в антиферромагнитное состояние.

Зависимости намагниченности  $n$ , выраженной в магнетонах Бора для одной формульной единицы  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  при температурах 5 и 300 К в магнитных полях до 14 Тл, приведены на рис. 3  $a, b$  соответственно. На них видно, что при температуре 300 К увеличение магнитного поля до 14 Тл приводит к линейному увеличению намагниченности, а при температуре 5 К наблюдается тенденция к насыщению.

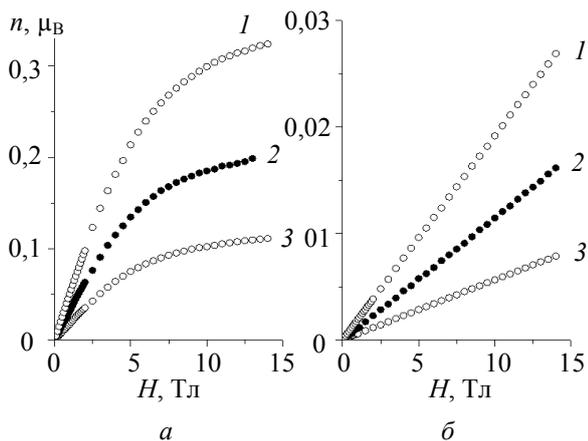


Рис. 3. Зависимость намагниченности  $n$  при температуре 5 К (а) и 300 К (б) от напряженности магнитного поля  $H$  для  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  при различных значениях  $x$   $x = 0,7$  (1); 0,8 (2); 0,9 (3)

Значения магнитного момента ионов  $\text{Nd}^{3+}$  ( $\mu_{\text{Nd}^{3+}}$ ), выраженные в магнетонах Бора в галлатах  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  при 5 К в магнитном поле до 14 Тл, рассчитаны на 1 моль ионов  $\text{Nd}^{3+}$  по формуле (3) и приведены в табл. 3:

$$\mu_{\text{Nd}^{3+}} = n / (1 - x), \quad (3)$$

где  $n$  – намагниченность, выраженная в магнетонах Бора для одной формульной единицы  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$ .

В работе [14] нейтронографическим методом установлено, что при температурах ниже 1 К в  $\text{NdInO}_3$  наблюдается антиферромагнитное межслоевое упорядочение магнитных моментов ионов  $\text{Nd}^{3+}$  по конфигурации типа  $g_x a_x$  и при температуре 0,280 К магнитный момент ионов  $\text{Nd}^{3+}$  в этом соединении равен  $(2,9 \pm 0,2 \mu_B)$ . Анализ данных, приведенных в табл. 3, показывает, что магнитный момент ионов  $\text{Nd}^{3+}$  ( $\mu_{\text{Nd}^{3+}}$ ) в твердых

растворах  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  при температуре 5 К в магнитном поле 14 Тл имеет величину значительно меньшую величины, приведенной в работе [14], а также теоретической величины эффективного спин-орбитального магнитного момента  $\mu_{\text{эфф Nd}^{3+}} = 3,62 \mu_B$ .

Таблица 3  
Намагниченность ( $n$ ) и магнитный момент ионов  $\text{Nd}^{3+}$  ( $\mu_{\text{Nd}^{3+}}$ ) в  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  при температуре 5 К в магнитном поле 14 Тл

$\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3, x$	$n, \mu_B$	$\mu_{\text{Nd}^{3+}}, \mu_B$
0,7	0,11	1,11
0,8	0,20	1,00
0,9	0,32	1,08

На рис. 4 а приведены спектры возбуждения люминесценции галлатов  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  с  $x = 0,9; 0,8$ . Наибольшей интенсивностью возбуждения во всем исследованном диапазоне длин волн обладает твердый раствор с  $x = 0,9$  (содержание иона-активатора  $\text{Nd}^{3+}$  10 мол. %). Для снятия спектров фотолюминесценции была выбрана длина волны возбуждающего излучения 585 нм (рис. 4, б).

На спектре фотолюминесценции твердого раствора  $\text{Nd}_{0,1}\text{La}_{0,9}\text{GaO}_3$  при  $\lambda_{\text{возб}} = 585$  нм наблюдаются широкие полосы фотолюминесценции в области длин волн 870–930, 1040–1110, 1320–1380 нм, относящиеся к ИК-области спектра. Максимумы полос фотолюминесценции в области длин волн 870–930 нм для твердого раствора  $\text{Nd}_{0,1}\text{La}_{0,9}\text{GaO}_3$  и исследованного нами ранее твердого раствора  $\text{Nd}_{0,1}\text{La}_{0,9}\text{InO}_3$  [15] практически совпадают. Это можно объяснить тем, что влияние кристаллического поля симметрии  $C_S$  в  $\text{LaInO}_3$  и  $\text{LaGaO}_3$  на ион  $\text{Nd}^{3+}$  практически одинаково.

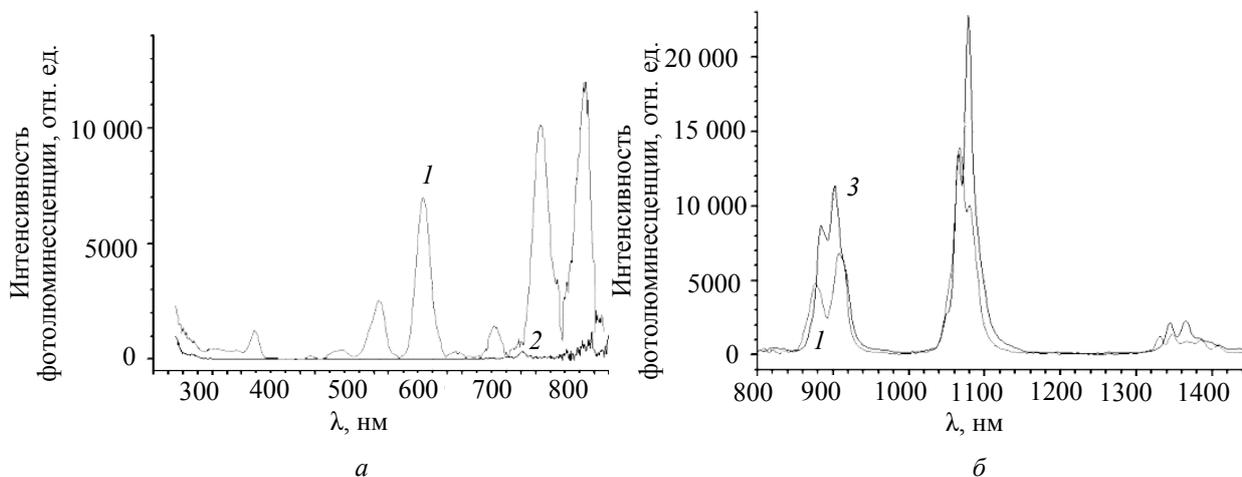


Рис. 4. Спектры возбуждения люминесценции твердых растворов  $\text{Nd}_{0,1}\text{La}_{0,9}\text{GaO}_3$  и  $\text{Nd}_{0,2}\text{La}_{0,8}\text{GaO}_3$  при  $\lambda_{\text{рег}} = 910$  нм (а) и спектры фотолюминесценции твердых растворов  $\text{Nd}_{0,1}\text{La}_{0,9}\text{InO}_3$  и  $\text{Nd}_{0,1}\text{La}_{0,9}\text{GaO}_3$  при  $\lambda_{\text{возб}} = 585$  нм (б)

Ввиду того, что излучение иона  $\text{Nd}^{3+}$  в матрицах со структурой перовскита  $\text{LaInO}_3$  и  $\text{LaGaO}_3$ , расположено в ближней ИК-области, подобные фотодиоды могут быть использованы в производстве ИК-светодиодов. К областям применения ИК-светодиодов относятся оптические контрольно-измерительные приборы, устройства дистанционного управления, оптронные коммутационные устройства, беспроводные линии связи [16, 17].

**Заключение.** Керамическим методом получены твердые растворы  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  ( $0,7 \leq x \leq 1,0$ ), изучена их кристаллическая структура, магнитные и люминесцентные свойства. Сделано предположение о наличии в твердых растворах  $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{GaO}_3$  со степенью замещения  $0,7 \leq x \leq 0,9$  «частичного замораживания» орбитального магнитного момента ионов неодима  $\text{Nd}^{3+}$  кристаллическим полем орторомбически искаженной структуры перовскита. Показано, что галлат  $\text{Nd}_{0,1}\text{La}_{0,9}\text{GaO}_3$  является эффективным фотодиодом, излучающим в ИК-области, и перспективен для использования в ИК-светодиодах.

### Литература

1. Соединения редкоземельных элементов. Системы с оксидами I–III групп / П. А. Арсеньев [и др.]. М.: Наука, 1983. 280 с.
2. Федоров П. И. Химия галлия, индия, таллия. Новосибирск: Наука, 1977. 222 с.
3. Портной К. И., Тимофеева Н. И. Кислородные соединения редкоземельных элементов. М.: Металлургия, 1986. 480 с.
4. Арсеньев П. А., Фенин В. В., Потемкин А. В. Кристаллохимия твердых растворов окисных соединений со структурой перовскита // Межвузовский сборник / Уральск. политехн. ин-т, 1979. Вып. 3: Химия твердого тела. С. 55–59.
5. Писаренко В. Ф. Скандобораты редких земель – новые лазерные материалы // Сороковский образовательный журнал. 1996. № 11. С. 111–116.
6. Boulon, G. Fifty years of advance in solid-state laser materials // Optical Materials. 2012. Vol. 34. P. 499–512.
7. New opportunities for lanthanide luminescence / J.-C.G. Bünzli [et al.] // Journal of rare earths. 2007. Vol. 25, Iss. 5. P. 257–274.
8. Luminescent properties of a new red-emitting phosphor based on  $\text{LaInO}_3$  for LED / An Tang [et al.] // Optoelectronics and advanced materials – rapid communications. 2011. Vol. 5, No. 10. P. 1031–1034.
9. Руководство по препаративной неорганической химии / Г. Брауэр [и др.]; под ред. Г. Брауэра. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1956. 896 с.
10. Powder Diffraction File. Swarthmore: Joint Committee on Powder Diffraction Standard: Card № 00-041-1103.
11. Powder Diffraction File. Swarthmore: Joint Committee on Powder Diffraction Standard: Card № 01-081-2307.
12. Powder Diffraction File. Swarthmore: Joint Committee on Powder Diffraction Standard: Card № 01-089-7946.
13. Шаскольская, М. П. Кристаллография. М.: Высшая школа, 1976. 391 с.
14. Vasylechko L., Senyshyn A., Bismayer U. Perovskite-type aluminates and gallates // Handbook on the physics and chemistry of rare earth Elsevier, 2009. Vol. 39, Ch. 242. P. 114–295.
15. Neutron diffraction study of the magnetic ordered  $\text{Nd}^{3+}$  in  $\text{NdCoO}_3$  and  $\text{NdInO}_3$  below 1 K / I. Plaza [et al.] // Physica B. 1997. P. 234–236.
16. Кандидатова И. Н. Спектры люминесценции твердых растворов  $\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x\text{InO}_3$ , ( $0,0 \leq x \leq 0,3$ ) со структурой перовскита // Современные проблемы химии: сб. тезисов докладов 14-й междунар. конф. студентов и аспирантов, Киев, 15–17 мая 2013 г. / Киевский университет. Киев, 2013. С. 149.
17. Вилисов А. А. Светоизлучающие диоды // Вестник Том. гос. ун-та. 2005. № 285. С. 148–154.
18. Вилисов А. А. Светодиоды как альтернатива лазерам в медицине и связи // Laser-Market. 1994. № 5. С. 20–22.

Поступила 10.03.2014