

УДК 541.1 + 621.785.36 + 621.78.011

**Е. К. Юхно, Л. А. Башкиров**

Белорусский государственный технологический университет

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ  
НА ОСНОВЕ ИНДАТА ЛАНТАНА  $\text{LaInO}_3$ , ЛЕГИРОВАННОГО  
ИОНАМИ  $\text{Nd}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$** 

Твердофазным методом получены образцы твердых растворов  $\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x\text{InO}_3$  ( $x = 0,007; 0,02; 0,05$ );  $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{In}_{1-y}\text{M}_y\text{O}_3$  ( $M - \text{Cr}^{3+}, \text{Mn}^{3+}; y = 0,005$ ),  $\text{LaIn}_{1-y}\text{M}_y\text{O}_3$  ( $M - \text{Cr}^{3+}, \text{Mn}^{3+}; y = 0,01$ ), исследованы их кристаллическая структура, ИК-спектры поглощения, тепловое расширение; проведен комплексный термический анализ. Установлено, что все полученные образцы были однофазными и имели кристаллическую структуру орторомбически искаженного перовскита. Обнаружено, что параметры кристаллической решетки исследованных твердых растворов изменяются незначительно из-за малого содержания легирующих ионов. На ИК-спектрах твердых растворов присутствуют полосы поглощения, обусловленные валентными колебаниями связей  $\text{La}(\text{Nd})\text{-O}$  и  $\text{In}(\text{Cr}, \text{Mn})\text{-O}$ , частоты полос поглощения которых и их интенсивности для полученных твердых растворов практически не изменяются. На температурных зависимостях относительного удлинения отсутствуют аномалии, обусловленные фазовыми переходами. На кривых дифференциальной сканирующей калориметрии не обнаружено никаких тепловых эффектов. Общая потеря массы в интервале температур 300–1265 К не превышает 0,14 мас. %. Полученные результаты показывают, что твердые растворы на основе индата лантана  $\text{LaInO}_3$ , легированного ионами  $\text{Nd}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$ , являются термостабильными и имеют коэффициент среднего линейного теплового расширения, не превышающий величину  $(8,3\text{--}8,4) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

**Ключевые слова:** твердофазный метод получения, твердый раствор, индат лантана, рентгенофазовый анализ, ИК-спектроскопия, тепловое расширение, комплексный термический анализ.

**Ye. K. Yukhno, L. A. Bashkirov**

Belarusian State Technological University

**PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SOLID SOLUTIONS  
BASED ON LANTHANUM INDATE DOPED BY  $\text{Nd}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$  IONS**

$\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x\text{InO}_3$  ( $x = 0,007; 0,02; 0,05$ );  $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{In}_{1-y}\text{M}_y\text{O}_3$  ( $M - \text{Cr}^{3+}, \text{Mn}^{3+}; y = 0,005$ ),  $\text{LaIn}_{1-y}\text{M}_y\text{O}_3$  ( $M - \text{Cr}^{3+}, \text{Mn}^{3+}; y = 0,01$ ) solid solutions were obtained by solid-phase route. Their crystal structure, FT-IR spectra, thermal expansion were investigated. Additionally for named solid solutions complex thermal analysis was carried out. It was found that all samples were single-phased and had the structure of orthorhombically distorted perovskite and the lattice parameters vary slightly due to the small content of doping ions. There were absorption bands of  $\text{La}(\text{Nd})\text{-O}$  and  $\text{In}(\text{Cr}, \text{Mn})\text{-O}$  stretching vibrations on the FT-IR spectra. The frequencies and intensities of the absorption bands were similar for obtained solid solutions. There were no anomalies caused by phase transitions at temperature dependences of elongation. The curves obtained by differential scanning calorimetry had no thermal effects. Total weight loss in the temperature range of 300–1265 K did not exceed 0,14 mas. %. These results indicate that the solid solutions based on  $\text{LaInO}_3$  are thermally stable and have a linear coefficient of thermal expansion no greater than  $(8,3\text{--}8,4) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

**Key words:** solid-phase method, lanthanum indate, X-ray diffraction, FT-IR spectroscopy, thermal expansion, complex thermal analysis.

**Введение.** Люминофоры на основе  $\text{LaInO}_3$ , легированного ионами редкоземельных элементов, являются перспективными для использования в FED-дисплеях (дисплеях с автоэлектронной эмиссией), а также для создания светодиодов белого света [1–2]. В работе [3] были изучены физико-химические свойства твердых растворов  $\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x\text{InO}_3$  с содержанием иона  $\text{Nd}^{3+}$  более 10 мол. %. При приготовлении фотолюминофоров на основе индата

или галлата лантана в их кристаллическую решетку вводят ионы редкоземельных элементов ( $\text{Pr}^{3+}$ ,  $\text{Nd}^{3+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$ ) в количестве, не превышающем 5 мол. %. Однако магнитные свойства, а также их ИК-спектры, тепловое расширение и термическая стабильность исследованы недостаточно.

Цель настоящей работы – исследовать влияние легирования индата лантана  $\text{LaInO}_3$  ионами  $\text{Nd}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$  в количестве, не превы-

шающем 5 мол. %, на кристаллическую структуру, ИК-спектры поглощения, тепловое расширение и термическую стабильность.

**Основная часть.** Твердые растворы  $\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x\text{InO}_3$  ( $x = 0,007; 0,02; 0,05$ );  $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{In}_{0,995}\text{Cr}_{0,005}\text{O}_3$ ;  $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{In}_{0,995}\text{Mn}_{0,005}\text{O}_3$ ;  $\text{LaIn}_{0,99}\text{Cr}_{0,01}\text{O}_3$ ;  $\text{LaIn}_{0,99}\text{Mn}_{0,01}\text{O}_3$  получали твердофазным методом из оксидов лантана ( $\text{La}_2\text{O}_3$ ), индия ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ), неодима ( $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ), марганца ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ) и хрома ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). Все реактивы имели квалификацию «х. ч.». Оксиды лантана и неодима были предварительно прокалены в течение 1 ч на воздухе при температуре 1273 К.

Порошки оксидов, взятых в заданных молярных соотношениях, смешивали и мололи в планетарной мельнице «Pulverizette 6» с добавлением этанола (материал стакана и мелющих шаров –  $\text{ZrO}_2$ ). Полученную шихту (с добавлением этанола) прессовали под давлением 50–75 МПа в таблетки диаметром 25 мм и высотой 5–7 мм, которые сушили на воздухе при комнатной температуре, а затем обжигали при 1523 К на воздухе в течение 6 ч. Для того чтобы избежать возможного (при синтезе и спекании) взаимодействия таблеток с материалом подложки ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), образцы отделяли от подложки тонким буферным слоем шихты того же состава, что и сами таблетки. Охлаждение образцов от температур спекания до комнатной температуры протекало медленно, вместе с остывающей печью (скорость охлаждения составляла 2–5 К · мин<sup>-1</sup>). После предварительного обжига таблетки дробили, перемалывали, прессовали с добавлением небольшого количества этанола в бруски длиной 30 мм и сечением 5×5 мм<sup>2</sup>, которые обжигали при температуре 1523 К на воздухе в течение 6 ч на подложках из оксида алюминия.

Рентгеновские дифрактограммы получали на дифрактометре D8 ADVANCED фирмы Bruker с использованием  $\text{CuK}_\alpha$ -излучения при комнатной температуре в диапазоне углов  $2\theta = 20\text{--}80^\circ$  (шаг по углу  $2\theta = 0,03^\circ$ , выдержка в каждой точке – 3 с). Для идентификации полученных твердых растворов использовали сведения картотеки международного центра дифракционных данных (ICDD JCPDC). Параметры кристаллической структуры ( $a$ ,  $b$ ,  $c$  и объем элементарной ячейки  $V$ ) полученных твердых растворов на основе индата лантана  $\text{LaInO}_3$  были определены при помощи рентгеноструктурного табличного процессора (RTP) с использованием значений межплоскостных расстояний и индексов Миллера для 12–15 рефлексов. Погрешность в определении параметров элементарных ячеек не превышала  $\pm 0,001 \text{ \AA}$ .

Инфракрасные спектры синтезированных твердых растворов в интервале волновых чисел

250–900 см<sup>-1</sup> записывали в таблетированных с KBr смесях на ИК-Фурье спектрометре NEXUS фирмы THERMO NICOLET. Масса навески исследуемого твердого раствора на основе индата лантана составляла  $\approx 1$  мг – около 0,1% от массы KBr. Погрешность определения частот колебаний не превышала  $\pm 2$  см<sup>-1</sup>.

Термическое расширение керамических образцов твердых растворов на основе индата лантана исследовали в интервале температур 350–850 К при помощи кварцевого dilatометра с вертикальным расположением кварцевого толкателя с индикатором микронным ИГМ (рычажно-зубчатая многооборотная головка с ценой деления 0,001 мм в динамическом режиме со скоростью нагревания/охлаждения 3–5 К · мин<sup>-1</sup>). Нагрев и охлаждение осуществляли на воздухе в печи электросопротивления. Образцы представляли собой прямоугольные параллелепипеды размером 5×5×30 мм. Погрешность определения относительного удлинения образцов не превышала 0,1%. Значения среднего линейного коэффициента термического расширения ( $\alpha$ ) образцов рассчитывали при помощи метода наименьших квадратов. Погрешность в определении  $\alpha$  составляла 1–5% для различных образцов и температурных интервалов.

Кривые дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), термогравиметрического и дифференциального термогравиметрического анализа (ТГ, ДТГ) снимали на дериватографе TGA/DSC1/1600 фирмы METTLER TOLEDO Instruments (Швейцария). Изменения проводились в статической воздушной атмосфере в интервале температур 300–1265 К с использованием в качестве эталона  $\text{Al}_2\text{O}_3$  при линейном режиме нагрева образцов со скоростью 10°/мин, масса порошкообразной навески составляла 65 мг.

Анализ рентгеновских дифрактограмм (рис. 1) показал, что полученные образцы индатов являются однофазными и имеют кристаллическую структуру орторомбически искаженного перовскита. В связи с тем что литературные данные по индексам Миллера плоскостей ( $hkl$ ) элементарной ячейки  $\text{LaInO}_3$  противоречивы, для определения ( $hkl$ ) рентгеновских рефлексов были использованы данные для индата неодима  $\text{NdInO}_3$  [4], так как в работе [3] установлено, что в системе  $\text{LaInO}_3 - \text{NdInO}_3$  образуется непрерывный ряд твердых растворов  $\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x\text{InO}_3$  ( $0,1 \leq x \leq 0,9$ ) с кристаллической структурой орторомбически искаженного перовскита типа  $\text{GdFeO}_3$  ( $a < c / \sqrt{2} < b$ ) [5].

Ввиду того что ионы  $\text{Nd}^{3+}$  на 0,05 Å меньше ионного радиуса  $\text{La}^{3+}$ , то, как установлено в работе [3], увеличение содержания ионов  $\text{Nd}^{3+}$

в твердом растворе  $\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x\text{InO}_3$  от  $x = 0,1$  до  $0,9$  приводит к уменьшению параметра  $a$  элементарной ячейки на  $0,078 \text{ \AA}$ , параметра  $b$  – на  $0,028 \text{ \AA}$ , параметра  $c$  – на  $0,073 \text{ \AA}$ . Отсюда следует, что увеличение степени замещения  $x$  ионов  $\text{La}^{3+}$  в  $\text{LaInO}_3$  ионами  $\text{Nd}^{3+}$  на величину  $0,1$  приводит к уменьшению, например, параметра  $a$  элементарной ячейки орторомбической структуры перовскита приблизительно на  $0,0097 \text{ \AA}$ , а увеличение степени замещения  $x$  на  $0,01$  приводит к уменьшению параметра  $a$  приблизительно на  $0,001 \text{ \AA}$ .

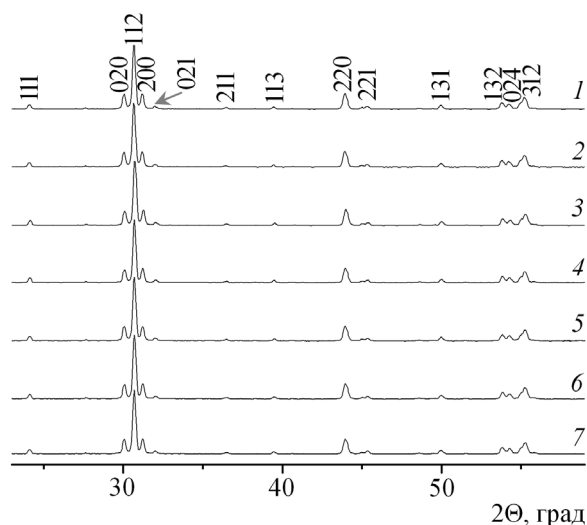


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы твердых растворов:

- 1 –  $\text{La}_{0,993}\text{Nd}_{0,007}\text{InO}_3$ ; 2 –  $\text{La}_{0,98}\text{Nd}_{0,02}\text{InO}_3$ ;  
 3 –  $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{InO}_3$ ; 4 –  $\text{LaIn}_{0,99}\text{Cr}_{0,01}\text{O}_3$ ;  
 5 –  $\text{LaIn}_{0,99}\text{Mn}_{0,01}\text{O}_3$ ; 6 –  $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{In}_{0,995}\text{Cr}_{0,005}\text{O}_3$ ;  
 7 –  $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{In}_{0,995}\text{Mn}_{0,005}\text{O}_3$

В настоящей работе установлено (таблица), что увеличение степени замещения  $x$  ионов  $\text{La}^{3+}$  ионами  $\text{Nd}^{3+}$  в  $\text{LaInO}_3$  от  $x = 0,007$  до  $0,050$  приводит к уменьшению параметров  $a$ ,  $b$ ,  $c$  элементарной ячейки орторомбически искаженного перовскита на  $0,008$ ,  $0,006$  и  $0,006 \text{ \AA}$  соответственно. Это хорошо согласуется с данными, полученными в работе [3]. При этом объем элементарной ячейки полученных индатов уменьшается от  $280,2 \text{ \AA}^3$  для  $\text{La}_{0,993}\text{Nd}_{0,007}\text{InO}_3$  до  $279,3 \text{ \AA}^3$  для  $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{InO}_3$ .

Ионы  $\text{Cr}^{3+}$  и  $\text{Mn}^{3+}$  в твердом растворе замещают ионы  $\text{In}^{3+}$  в соответствующей подрешетке  $\text{LaInO}_3$ , а так как их концентрация незначительная, то, несмотря на сравнительно большую разницу ионных радиусов (разница ионных радиусов индия и хрома составляет  $0,28 \text{ \AA}$ , а индия и марганца –  $0,22 \text{ \AA}$ ), параметры кристаллической решетки при введении в нее ионов  $\text{Cr}^{3+}$  или  $\text{Mn}^{3+}$  также изменяются незначительно (таблица).

Абсолютные значения степени орторомбического искажения  $\varepsilon$  ( $\varepsilon = (b - a) / a$ ) для полученных твердых растворов индатов изменяются незначительно. Знак степени орторомбического искажения остается постоянным, что согласуется с данными для системы твердых растворов  $\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x\text{InO}_3$  ( $0 \leq x \leq 1$ ), изученной в работе [3].

Сравнение ИК-спектров всех полученных твердых растворов (рис. 2) показывает, что в исследуемом интервале волновых чисел  $250$ – $650 \text{ см}^{-1}$  они отличаются незначительно. На ИК-спектрах присутствуют полосы поглощения, обусловленные валентными колебаниями связей  $\text{In}(\text{Cr}, \text{Mn})\text{--O}$  ( $543$ – $550$ ,  $490$ – $494 \text{ см}^{-1}$ ) и  $\text{La}(\text{Nd})\text{--O}$  ( $389$ – $400$ ,  $348$ – $353 \text{ см}^{-1}$ ) [6].

Частоты полос поглощения всех полученных твердых растворов на основе индата лантана хорошо согласуются с данными, полученными для  $\text{LaInO}_3$  в работе [3]. Например, установлено, что при увеличении содержания в твердых растворах  $\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x\text{InO}_3$  ионов  $\text{Nd}^{3+}$  от  $x = 0,007$  до  $0,050$  частоты и интенсивности полос поглощения связи  $\text{In--O}$  уменьшаются от  $548$  до  $543 \text{ см}^{-1}$ .

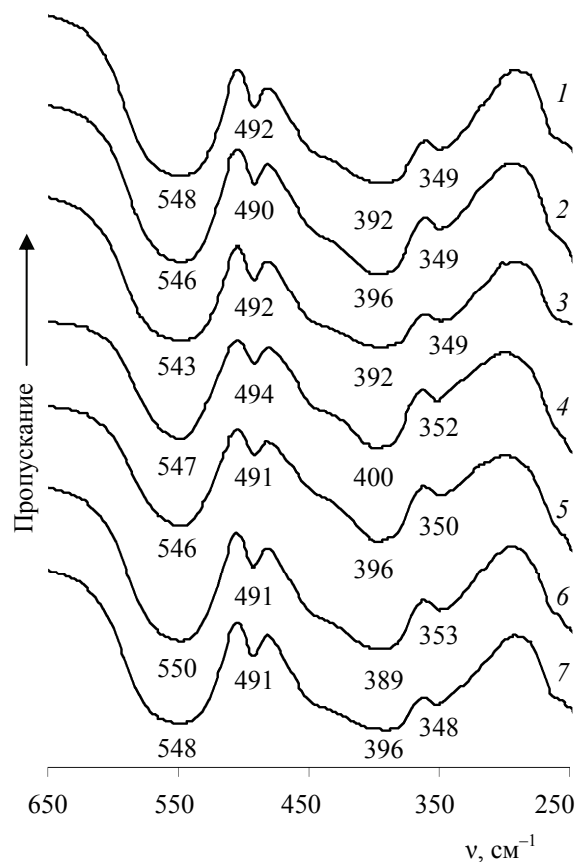


Рис. 2. ИК-спектры поглощения твердых растворов:

- 1 –  $\text{La}_{0,993}\text{Nd}_{0,007}\text{InO}_3$ ; 2 –  $\text{La}_{0,98}\text{Nd}_{0,02}\text{InO}_3$ ;  
 3 –  $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{InO}_3$ ; 4 –  $\text{LaIn}_{0,99}\text{Cr}_{0,01}\text{O}_3$ ;  
 5 –  $\text{LaIn}_{0,99}\text{Mn}_{0,01}\text{O}_3$ ; 6 –  $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{In}_{0,995}\text{Cr}_{0,005}\text{O}_3$ ;  
 7 –  $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{In}_{0,995}\text{Mn}_{0,005}\text{O}_3$

**Параметры  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и объем  $V$  элементарной ячейки, степень орторомбического искажения  $\varepsilon$  и рентгеноструктурная плотность  $\rho_{\text{рент}}$  для твердых растворов на основе  $\text{LaInO}_3$**

Состав	Параметры кристаллической решетки					$\rho_{\text{рент}}$ , г/см <sup>3</sup>	$c/\sqrt{2}$ , Å
	$a$ , Å	$b$ , Å	$c$ , Å	$V$ , Å <sup>3</sup>	$\varepsilon = (b - a) / a$		
$\text{La}_{0,993}\text{Nd}_{0,007}\text{InO}_3$	5,732	5,943	8,226	280,2	0,0368	7,16	5,817
$\text{La}_{0,98}\text{Nd}_{0,02}\text{InO}_3$	5,736	5,944	8,229	280,6	0,0363	7,15	5,819
$\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{InO}_3$	5,724	5,937	8,220	279,3	0,0372	7,18	5,812
$\text{LaIn}_{0,99}\text{Cr}_{0,01}\text{O}_3$	5,725	5,937	8,225	279,5	0,0370	7,16	5,816
$\text{LaIn}_{0,99}\text{Mn}_{0,01}\text{O}_3$	5,724	5,938	8,225	279,6	0,0374	7,16	5,816
$\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{In}_{0,995}\text{Cr}_{0,005}\text{O}_3$	5,726	5,941	8,225	279,8	0,0375	7,16	5,816
$\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{In}_{0,995}\text{Mn}_{0,005}\text{O}_3$	5,727	5,943	8,221	279,8	0,0376	7,16	5,813
$\text{LaInO}_3$ [3]	5,712	5,933	8,220	278,5	0,0387	7,20	5,812
$\text{NdInO}_3$ [3]	5,631	5,897	8,133	270,1	0,0472	7,55	5,751

Изменение частот полос поглощения связей  $\text{La}(\text{Nd})\text{—O}$  находится в пределах погрешности метода измерения ( $\pm 2 \text{ см}^{-1}$ ).

При введении в твердый раствор  $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{InO}_3$  дополнительно 0,5 мол. % ионов  $\text{Cr}^{3+}$  или  $\text{Mn}^{3+}$  частоты полос поглощения валентных колебаний связи  $\text{In}(\text{Cr}, \text{Mn})\text{—O}$  увеличиваются от 543 до 550 и 548  $\text{см}^{-1}$  соответственно. Изменение частот полос поглощения связей  $\text{La}(\text{Nd})\text{—O}$  не очень сильно отличается от точности их измерения.

При введении в  $\text{LaInO}_3$  1 мол. % ионов  $\text{Cr}^{3+}$  или  $\text{Mn}^{3+}$  ИК-спектры поглощения образующихся твердых растворов практически не отличаются от спектров  $\text{LaInO}_3$  [3].

Полученные dilatометрическим методом температурные зависимости относительного удлинения  $\Delta l / l_0$  керамических образцов на основе индата лантана, легированного ионами  $\text{Nd}^{3+}$  (рис. 3), показывают, что в интервале температур 350–850 К относительное удлинение  $\Delta l / l_0$  при повышении температуры увеличивается практически линейно. Это указывает на отсутствие в исследованных твердых растворах на основе индата лантана каких-либо фазовых переходов в указанном интервале температур.

По полученным температурным зависимостям относительного удлинения керамических образцов исследованных твердых растворов с использованием метода наименьших квадратов рассчитаны средние значения коэффициентов линейного теплового расширения  $\alpha$  этих образцов. Установлено, что из-за незначительного содержания ионов  $\text{Nd}^{3+}$  в исследованных твердых растворах на основе индата лантана  $\text{LaInO}_3$  их коэффициенты линейного теплового расширения практически одинаковы и имеют значения  $(8,3\text{--}8,4) \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ , что хорошо согласуется с полученной в работе [3] величиной  $8,65 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$  для твердого раствора  $\text{La}_{0,7}\text{Nd}_{0,3}\text{InO}_3$ .

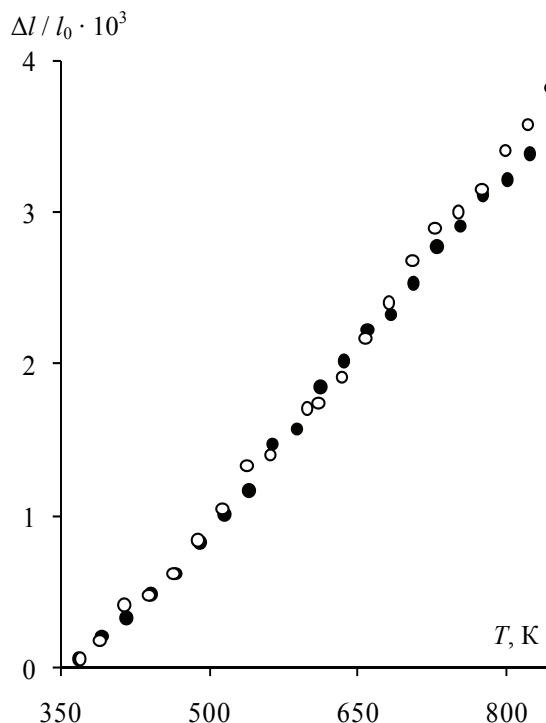


Рис. 3. Температурные зависимости относительного удлинения  $\Delta l / l_0$  твердых растворов: 1 —  $\text{La}_{0,993}\text{Nd}_{0,007}\text{InO}_3$ ; 2 —  $\text{La}_{0,98}\text{Nd}_{0,02}\text{InO}_3$

На кривых ДСК (рис. 4) для исследованных твердых растворов на основе индата лантана ( $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{InO}_3$ ,  $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{In}_{0,995}\text{Cr}_{0,005}\text{O}_3$ ) отсутствуют тепловые эффекты, что подтверждает отсутствие протекания в рассмотренных образцах в исследованном интервале температур каких-либо фазовых переходов. На кривых ТГ наблюдается незначительная потеря массы с отклонением от линейной зависимости, указывающим на увеличение скорости потери массы, максимум величины которой (минимум на кривой ДТГ) достигается при определенной температуре  $T_1$ .

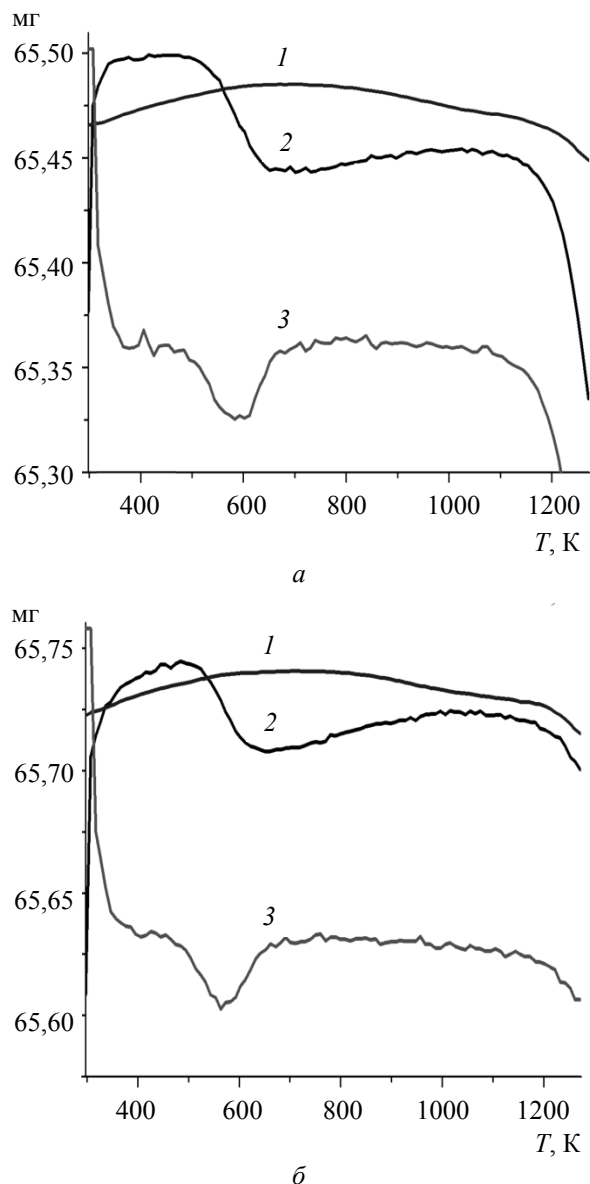


Рис. 4. Кривые ДСК (1), ТГ (2), ДТГ (3) для твердых растворов  $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{InO}_3$  (а),  $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{In}_{0,995}\text{Cr}_{0,005}\text{O}_3$  (б)

Общая потеря массы в интервале температур 300–1265 К для всех исследованных образцов составляет не более 0,14 мас. %. При этом

для всех твердых растворов в интервалах температур 300–490 и 60–1060 К наблюдается небольшое увеличение массы (не более 0,1%). Вероятно, природа этих незначительных колебаний массы для твердых растворов  $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{InO}_3$  и  $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{In}_{0,995}\text{Cr}_{0,005}\text{O}_3$  одинакова, но в настоящей работе не установлена.

**Заключение.** В работе твердофазным методом из соответствующих оксидов получены твердые растворы на основе индата лантана  $\text{LaInO}_3$ , легированного ионами  $\text{Nd}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$ , с содержанием легирующих ионов менее 5 мол. %. Для полученных образцов твердых растворов изучены кристаллическая структура, ИК-спектры, термическое расширение; установлено влияние природы и количества легирующих компонентов на параметры кристаллической решетки, частоты полос поглощения, средний линейный коэффициент термического расширения; проведен комплексный дифференциальный термический анализ.

Установлено, что образцы индатов являются однофазными и имеют кристаллическую структуру орторомбически искаженного перовскита типа  $\text{GdFeO}_3$  ( $a < c / \sqrt{2} < b$ ). Параметры элементарной ячейки кристаллической решетки твердых растворов  $\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x\text{InO}_3$  при увеличении содержания ионов  $\text{Nd}^{3+}$  от  $x = 0,007$  до 0,050 изменяются незначительно. Добавление в твердый раствор  $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{InO}_3$  дополнительно 0,5 мол. % ионов  $\text{Cr}^{3+}$  или  $\text{Mn}^{3+}$  не оказывает значительного влияния на параметры  $a$ ,  $b$  и  $c$ . На ИК-спектрах валентные колебания связей  $\text{In}(\text{Cr}, \text{Mn})\text{—O}$  и  $\text{La}(\text{Nd})\text{—O}$  для разных составов изменяются незначительно. Установленная термическая стабильность твердых растворов на основе индата лантана  $\text{LaInO}_3$  и отсутствие в них в интервале температур 350–850 К фазовых переходов первого рода свидетельствует о перспективности их практического применения в широком интервале рабочих температур.

### Литература

1. Liu X., Lin J. Synthesis and luminescent properties of  $\text{LaInO}_3$ :  $\text{RE}^{3+}$  (RE = Sm, Pr and Tb) nanocrystalline phosphors for field emission displays // *Solid State Sci.* 2009. Vol. 11. Pp. 2030–2036.
2. Bünzli J.-C. G. [et. al]. New opportunities for lanthanide luminescence // *J. Rare Earth.* 2007. Vol. 25, iss. 5. Pp. 257–274.
3. Петров Г. С., Башкиров Л. А., Лубинский Н. Н. [и др.]. Физико-химические свойства индатов неодима, лантана // *Труды БГТУ, Сер. III, Химия и технология неорган. в-в.* Вып. XVIII. 2010. С. 103–107.
4. Powder Diffraction File. Swarthmore: Joint Committee on Powder Diffraction Standart: Card no. 00-025-1104.
5. Гуденаф Д. Б. Магнетизм и химическая связь. М.: Металлургия, 1966. 328 с.
6. Поротников Н. В. [и др.]. Колебательные спектры двойных окислов индия и РЗЭ // *Журнал неорганической химии*, 1980. Т. 25, № 12. С. 3224–3228.

### References

1. Liu X., Lin J. Synthesis and luminescent properties of  $\text{LaInO}_3: \text{RE}^{3+}$  (RE = Sm, Pr and Tb) nanocrystalline phosphors for field emission displays. *Solid State Sci*, 2009, vol. 11, pp. 2030–2036.
2. Bünzil J.-C. G. [et. al]. New opportunities for lanthanide luminescence. *J. Rare Earth*, 2007, vol. 25, iss. 5, pp. 257–274.
3. Petrov G. S., Bashkirov L. A., Lubinskiy N. N. [et al.]. Physical and chemical properties of neodymium, lanthanum indates. *Trudy BGTU. Ser. III. Khimiya i tekhnologiya neorgan. v-v* [Proceedings of BSTU, Series III, Chemistry and Technology of Inorganic Substances], 2010, no. 18, pp. 103–107 (in Russian).
4. Powder Diffraction File. Swarthmore: Joint Committee on Powder Diffraction Standart: Card no 00-025-1104.
5. Gudenaf D. B. *Magnetizm i khimicheskaya svyaz'* [Magnetism and the chemical bond]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1966. 328 p.
6. Porotnikov N. V. [et al.]. Vibrational spectra of binary indium and rare earth oxides. *Zhournal neorganicheskoy himii* [Inorganic chemistry journal], 1980, no. 25, pp. 3224–3228 (in Russian).

### Информация об авторах

**Юшно Елена Казимировна** – аспирант кафедры физической и коллоидной химии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Palma-2010@yandex.by

**Башкиров Леонид Андреевич** – доктор химических наук, профессор, профессор кафедры физической и коллоидной химии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Bashkirov@belstu.by

### Information about the authors

**Yukhno Yelena Kazimirovna** – graduate student, Department of Physical and Colloid Chemistry. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Palma-2010@yandex.by

**Bashkirov Leonid Andreevich** – D. Sc. Chemistry, professor, professor, Department of Physical and Colloidal Chemistry. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Bashkirov@belstu.by

Поступила 23.02.2015