

УДК 541.1+621.785.36+621.78.011

Е. К. Юхно¹, Л. А. Башкиров¹, И. Н. Кандидатова¹, М. В. Бушинский²¹Белорусский государственный технологический университет²Научно-практический центр по материаловедению

Национальной академии наук Беларусь

**МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ФОТОЛЮМИНОФОРОВ
НА ОСНОВЕ LaInO₃, ЛЕГИРОВАННОГО ИОНAMI Dy³⁺, Ho³⁺, Sb³⁺**

Твердофазным методом проведен синтез керамических образцов фотолюминофоров La_{0.95}Ho_{0.05}InO₃, La_{0.90}Dy_{0.05}Ho_{0.05}InO₃, La_{0.95}Ho_{0.05}In_{0.98}Sb_{0.02}O₃, La_{0.90}Dy_{0.05}Ho_{0.05}In_{0.98}Sb_{0.02}O₃, исследованы их кристаллическая структура, полевые зависимости намагниченности при 6 и 300 К и температурные зависимости молярной магнитной восприимчивости. Установлено, что полученные образцы индатов имеют кристаллическую структуру орторомбически искаженного перовскита. Образцы индатов, легированные ионами Ho³⁺, парой ионов Dy³⁺ – Ho³⁺, были однодофазными, а образцы, легированные ионами Ho³⁺ – Sb³⁺, Dy³⁺ – Ho³⁺ – Sb³⁺, содержали примесную фазу твердых растворов на основе LaSbO₃. Обнаружено, что во всем исследованном интервале температур 5–300 К все полученные образцы индатов являются парамагнетиками. Значения эффективных магнитных моментов парамагнитных ионов Dy³⁺, Ho³⁺ незначительно меньше теоретических значений спин-орбитальных магнитных моментов этих ионов. Показано, что при 300 К рост напряженности магнитного поля до 10 Тл приводит к линейному увеличению парамагнитной удельной намагниченности всех исследованных индатов. При 6 К намагниченность всех исследованных образцов при повышении напряженности магнитного поля до 10 Тл увеличивается нелинейно с постепенным подходом к магнитному насыщению, которое, однако, в поле 10 Тл не достигается.

Ключевые слова: твердый раствор, индат лантана, рентгенофазовый анализ, магнитная восприимчивость, намагниченность.

E. K. Yukhno¹, L. A. Bashkirov¹, I. N. Kandidatova¹, M. V. Bushinskiy²¹Belarusian State Technological University²Scientific and Practical Materials Research Centre
of the National Academy of Sciences of Belarus

**MAGNETIC PROPERTIES OF LaInO₃
WITH PEROVSKITE STRUCTURE DOPED BY Dy³⁺, Ho³⁺, Sb³⁺ IONS**

Solid phase synthesis of La_{0.95}Ho_{0.05}InO₃, La_{0.90}Dy_{0.05}Ho_{0.05}InO₃, La_{0.95}Ho_{0.05}In_{0.98}Sb_{0.02}O₃, La_{0.90}Dy_{0.05}Ho_{0.05}Sb_{0.02}O₃ ceramic phosphors was carried out. Their crystal structure, magnetization fields dependences at 6 and 300 K and molar magnetic susceptibility temperature dependences were examined. It was established that the samples obtained had a crystalline structure of orthorhombically distorted perovskite. The samples doped with Ho³⁺ ions and Dy³⁺ – Ho³⁺ pair of ions were single-phase, but the samples doped with Ho³⁺ – Sb³⁺, Dy³⁺ – Ho³⁺ – Sb³⁺ ions contained LaSbO₃-based impurity phase. It was established that in the whole temperature interval of 5–300 K all the investigated samples of indates were paramagnetic. The values of the effective magnetic moments of the Dy³⁺, Ho³⁺ paramagnetic ions were slightly less than the theoretical values of the spin-orbital magnetic moments of these ions. It was shown that at 300 K increasing of the magnetic field up to 10 T leads to a linear increase in paramagnetic specific magnetization of all indates investigated. At temperature of 6 K magnetization of all the samples studied with increasing magnetic field up to 10 T increases non-linearly with a gradual approach to magnetic saturation, but at 10 T it is not achieved.

Key words: solid solution, lanthanum indate, X-ray diffraction, magnetic susceptibility, magnetization.

Введение. В последнее десятилетие значительно возрос интерес к исследованию физико-химических свойств индата лантана LaInO₃ и твердых растворов на его основе. В работе [1] установлено, что индат лантана, легированный ионами галлия Ga³⁺ (La_{1-x}Ga_xInO₃) и азота N²⁻ (LaInO_{1-y}N_y), который проявляет значительную

активность в фоторазложении воды на H₂/O₂ при облучении ультрафиолетовым и видимым светом, можно использовать в качестве фотокатализатора. В работах [2–4] показано, что твердые растворы на основе индата лантана, легированного ионами редкоземельных элементов Sm³⁺, Pr³⁺, Tb³⁺, Eu³⁺, Ho³⁺, а также ионами Bi³⁺,

перспективны для использования в качестве фотолюминофоров в светодиодах белого света и различных дисплеях. Нами установлено, что при введении в матрицу на основе индата лантана LaInO_3 оптически активных ионов редкоземельных элементов Dy^{3+} и Ho^{3+} , излучающих желтый и зеленый свет соответственно, а также ионов-сенсибилизаторов Sb^{3+} , можно получить высокоэффективный фотолюминофор. Фотолюминофоры на основе LaInO_3 , содержащие незначительные количества парамагнитных ионов, являются в магнитном отношении сильноразбавленными твердыми растворами, однако их магнитные свойства практически не исследованы. Такие сильноразбавленные в магнитном отношении парамагнитные твердые растворы с температурой Нееля ниже 1 К являются перспективными материалами для получения сверхнизких температур путем их адабатического размагничивания [5].

Цель настоящей работы – синтез образцов индатов $\text{La}_{0.95}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3$, $\text{La}_{0.90}\text{Dy}_{0.05}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3$, $\text{La}_{0.95}\text{Ho}_{0.05}\text{In}_{0.98}\text{Sb}_{0.02}\text{O}_3$, $\text{La}_{0.90}\text{Dy}_{0.05}\text{Ho}_{0.05}\text{In}_{0.98}\text{Sb}_{0.02}\text{O}_3$, исследование их кристаллической структуры, полевых зависимостей намагниченности при 6 и 300 К в магнитных полях до 10 Тл, температурных зависимостей молярной магнитной восприимчивости.

Основная часть. Синтез керамических образцов индатов $\text{La}_{0.95}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3$, $\text{La}_{0.90}\text{Dy}_{0.05}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3$, $\text{La}_{0.95}\text{Ho}_{0.05}\text{In}_{0.98}\text{Sb}_{0.02}\text{O}_3$, $\text{La}_{0.90}\text{Dy}_{0.05}\text{Ho}_{0.05}\text{In}_{0.98}\text{Sb}_{0.02}\text{O}_3$, являющихся перспективными фотолюминофорами, излучающими в синей, зеленой и желтой областях видимого света, получали твердофазным методом из оксидов лантана (La_2O_3), индия (In_2O_3), диспрозия (Dy_2O_3), гольмия (Ho_2O_3), сурьмы (Sb_2O_3). Все реактивы имели квалификацию «х. ч.». Оксиды лантана, диспрозия и гольмия были предварительно обожжены в течение 1 ч на воздухе при температуре 1273 К.

Исходные оксиды, взятые в заданном молярном соотношении, смешивали и мололи в планетарной мельнице Pulverizette фирмы Fritch с добавлением этанола в стаканчиках с шарами из диоксида циркония. Полученную шихту прессовали под давлением 50–75 МПа в таблетки диаметром 25 мм и высотой 5–7 мм и затем обжигали в атмосфере воздуха при температуре 1523 К на протяжении 6 ч. После предварительного обжига таблетки дробили, перемалывали, прессовали в бруски длиной 30 мм и сечением 5×5 mm^2 , которые обжигали при температуре 1523 К в атмосфере воздуха в течение 6 ч.

Рентгеновские дифрактограммы получали на дифрактометре D8 Advance фирмы Bruker с использованием $\text{CuK}\alpha$ -излучения при комнатной температуре в диапазоне углов $2\Theta = 20\text{--}80^\circ$.

Параметры элементарной ячейки кристаллической решетки рассчитаны с помощью рентгеноструктурного табличного процессора RTP. Удельная намагниченность при температурах 6 и 300 К в магнитных полях до 10 Тл и магнитная восприимчивость в интервале температур 5–300 К в магнитном поле 0,8 Тл полученных образцов индатов измерены вибрационным методом на универсальной высокополевой измерительной системе (Cryogenic Ltd, London, 4IS) в Научно-практическом центре по материаловедению НАН Беларусь.

Установлено, что полученные образцы индатов имеют кристаллическую структуру орторомбически искаженного перовскита типа GdFeO_3 ($a < c/\sqrt{2} < b$ [6]). Образцы индатов, легированные ионами Ho^{3+} , парой ионов Dy^{3+} – Ho^{3+} , были однофазными (рис. 1, кривые 1, 2), а образцы, легированные ионами Ho^{3+} – Sb^{3+} , Dy^{3+} – Ho^{3+} – Sb^{3+} (рис. 1, кривые 3, 4), содержали примесную фазу твердых растворов на основе LaSbO_3 . Параметры элементарной ячейки исследованных индатов приведены в табл. 1. Из-за небольших количеств легирующих ионов Dy^{3+} , Ho^{3+} , Sb^{3+} параметры кристаллической решетки всех исследованных индатов отличаются незначительно от соответствующих параметров кристаллической решетки LaInO_3 [7].

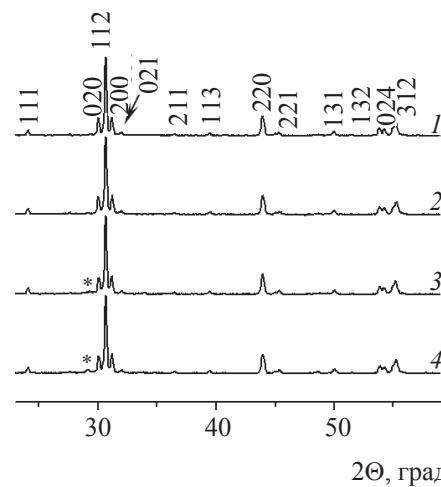


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы индатов:
1 – $\text{La}_{0.95}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3$; 2 – $\text{La}_{0.90}\text{Dy}_{0.05}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3$;
3 – $\text{La}_{0.95}\text{Ho}_{0.05}\text{In}_{0.98}\text{Sb}_{0.02}\text{O}_3$;
4 – $\text{La}_{0.90}\text{Dy}_{0.05}\text{Ho}_{0.05}\text{In}_{0.98}\text{Sb}_{0.02}\text{O}_3$

На рис. 2 приведены температурные зависимости молярной магнитной восприимчивости в интервале температур 5–300 К ($\chi_{\text{мол}}$) твердых растворов на основе индата лантана $\text{La}_{0.95}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3$, $\text{La}_{0.90}\text{Dy}_{0.05}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3$, а также образцов валового состава $\text{La}_{0.95}\text{Ho}_{0.05}\text{In}_{0.98}\text{Sb}_{0.02}\text{O}_3$, $\text{La}_{0.90}\text{Dy}_{0.05}\text{Ho}_{0.05}\text{In}_{0.98}\text{Sb}_{0.02}\text{O}_3$.

Таблица 1

Параметры a , b , c и объем V элементарной ячейки, степень орторомбического искажения ϵ для образцов фотолюминофоров на основе LaInO_3 , легированного ионами Dy^{3+} , Ho^{3+} , Sb^{3+}

Состав	Параметры кристаллической решетки					$c / \sqrt{2}, \text{ \AA}$
	$a, \text{ \AA}$	$b, \text{ \AA}$	$c, \text{ \AA}$	$V, \text{ \AA}^3$	$\epsilon = (b - a) / a$	
$\text{La}_{0,95}\text{Ho}_{0,05}\text{InO}_3$	5,727	5,940	8,239	280,3	3,72	5,826
$\text{La}_{0,90}\text{Dy}_{0,05}\text{Ho}_{0,05}\text{InO}_3$	5,727	5,940	8,230	279,9	3,72	5,819
$\text{La}_{0,95}\text{Ho}_{0,05}\text{In}_{0,98}\text{Sb}_{0,02}\text{O}_3$	5,731	5,935	8,237	280,1	3,56	5,824
$\text{La}_{0,90}\text{Dy}_{0,05}\text{Ho}_{0,05}\text{In}_{0,98}\text{Sb}_{0,02}\text{O}_3$	5,726	5,934	8,234	279,8	3,63	5,822
LaInO_3 [7]	5,738	5,953	8,227	281,0	3,75	5,817

Таблица 2

Молярная постоянная Кюри (C_M), постоянная Вейсса (Θ), эффективный магнитный момент ионов Dy^{3+} , Ho^{3+} ($\mu_{\text{эф}}$) в интервале температур выполнения закона Кюри – Вейсса для твердых растворов $\text{La}_{0,95}\text{Ho}_{0,05}\text{InO}_3$, $\text{La}_{0,90}\text{Dy}_{0,05}\text{Ho}_{0,05}\text{InO}_3$

Состав	$C_M, \text{ см}^3 \cdot \text{К/моль}$	$\mu_{\text{эф}}, \mu_B$	$\Theta, \text{ К}$	Интервал температур, К
$\text{La}_{0,95}\text{Ho}_{0,05}\text{InO}_3$	0,5877	9,69 (Ho^{3+})	-4,7	5–300
$\text{La}_{0,90}\text{Dy}_{0,05}\text{Ho}_{0,05}\text{InO}_3$	0,5839	9,66 (Dy^{3+})	-2,9	5–230

Установлено, что во всем исследованном интервале температур 5–300 К изучаемые индаты являются парамагнетиками. Показано, что температурные зависимости молярной магнитной восприимчивости образца валового состава $\text{La}_{0,95}\text{Ho}_{0,05}\text{In}_{0,98}\text{Sb}_{0,02}\text{O}_3$ и твердого раствора $\text{La}_{0,95}\text{Ho}_{0,05}\text{InO}_3$, а также образца валового состава $\text{La}_{0,90}\text{Dy}_{0,05}\text{Ho}_{0,05}\text{In}_{0,98}\text{Sb}_{0,02}\text{O}_3$ и твердого раствора $\text{La}_{0,90}\text{Dy}_{0,05}\text{Ho}_{0,05}\text{InO}_3$ не отличаются.

$$\chi_{\text{мол}} \cdot 10^2, \text{ см}^3/\text{моль}$$

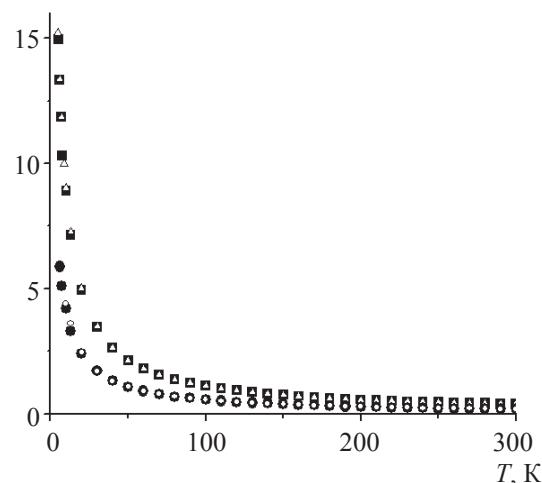


Рис. 2. Температурные зависимости молярной магнитной восприимчивости индатов:
● – $\text{La}_{0,95}\text{Ho}_{0,05}\text{InO}_3$; ■ – $\text{La}_{0,90}\text{Dy}_{0,05}\text{Ho}_{0,05}\text{InO}_3$;
○ – $\text{La}_{0,95}\text{Ho}_{0,05}\text{In}_{0,98}\text{Sb}_{0,02}\text{O}_3$;
Δ – $\text{La}_{0,90}\text{Dy}_{0,05}\text{Ho}_{0,05}\text{In}_{0,98}\text{Sb}_{0,02}\text{O}_3$

Анализ температурной зависимости обратной величины молярной магнитной восприимчивости твердого раствора $\text{La}_{0,95}\text{Ho}_{0,05}\text{InO}_3$ (рис. 3) показывает, что закон Кюри – Вейсса (линейная зависимость $1 / \chi_{\text{мол}}$ от T) выполняется для всего исследо-

ванного интервала температур 5–300 К. Для данного температурного интервала выполнения закона Кюри – Вейсса методом наименьших квадратов определены уравнения линейной зависимости $1 / \chi_{\text{мол}}$ от T ($1 / \chi_{\text{мол}} = a + bT$). По коэффициентам a и b этих уравнений рассчитаны молярная постоянная Кюри ($C_M = 1 / b$) и постоянная Вейсса ($\Theta = -a / b$) (табл. 2). Эффективный магнитный момент ионов Ho^{3+} ($\mu_{\text{эф}, \text{ Ho}^{3+}}$) для твердого раствора $\text{La}_{0,95}\text{Ho}_{0,05}\text{InO}_3$ вычисляли по формуле

$$\mu_{\text{эф}, \text{ Ho}^{3+}} = 2,828 \sqrt{\frac{C_M}{0,05}}. \quad (1)$$

Проведенные расчеты показали, что эффективный магнитный момент ионов Ho^{3+} в твердом растворе $\text{La}_{0,95}\text{Ho}_{0,05}\text{InO}_3$ составляет $9,69 \mu_B$.

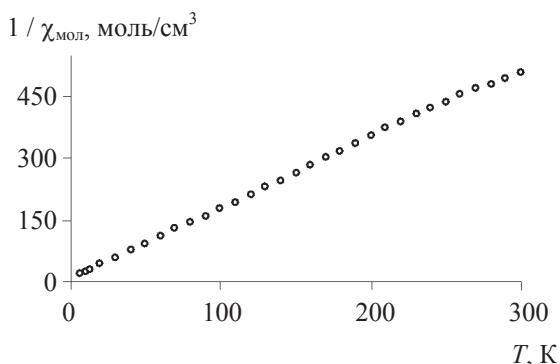


Рис. 3. Температурная зависимость обратной величины молярной магнитной восприимчивости в интервале температур 5–300 К для твердого раствора $\text{La}_{0,95}\text{Ho}_{0,05}\text{InO}_3$

Исключение при определенной температуре вклада ионов Ho^{3+} в магнитную восприимчивость твердого раствора $\text{La}_{0,90}\text{Dy}_{0,05}\text{Ho}_{0,05}\text{InO}_3$,

содержащего одновременно парамагнитные ионы Dy^{3+} , Ho^{3+} , проведено путем отнимания от величин молярной магнитной восприимчивости при определенной температуре этого твердого раствора величины молярной магнитной восприимчивости при этой же температуре твердого раствора $\text{La}_{0.95}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3$:

$$\chi_{\text{Dy}^{3+}} = \chi_{\text{La}_{0.90}\text{Dy}_{0.05}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3} - \chi_{\text{La}_{0.95}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3}. \quad (2)$$

Температурная зависимость величин обратных значений $\chi_{\text{Dy}^{3+}}$ для исследованного твердого раствора $\text{La}_{0.90}\text{Dy}_{0.05}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3$ приведена на рис. 4, *a*. Для интервала температур выполнения закона Кюри – Вейssa 5–230 К (рис. 4, *б*) рассчитаны молярная постоянная Кюри (C_M), постоянная Вейssa (Θ), эффективный магнитный момент ионов Dy^{3+} (табл. 2). Установлено, что эффективный спин-орбитальный магнитный момент ионов Dy^{3+} в твердом растворе $\text{La}_{0.90}\text{Dy}_{0.05}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3$ равен $9,66 \mu_B$. Полученные величины эффективных магнитных моментов ионов гольмия $\mu_{\text{eff}, \text{Ho}^{3+}}$ ($9,69 \mu_B$) и ионов диспрозия $\mu_{\text{eff}, \text{Dy}^{3+}}$ ($9,66 \mu_B$) несколько ниже теоретических величин $\mu_{\text{teor}, \text{Ho}^{3+}} = 10,60 \mu_B$, $\mu_{\text{teor}, \text{Dy}^{3+}} = 10,63 \mu_B$ [8] для этих ионов.

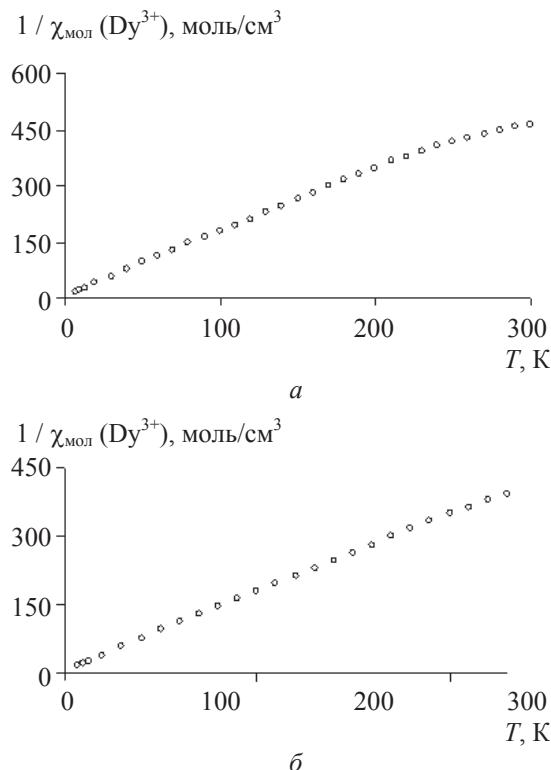


Рис. 4. Температурная зависимость обратной величины молярной магнитной восприимчивости $1/\chi_{\text{мол}}$ ионов Dy^{3+} в исследованном интервале температур 5–300 К (*а*) и в интервале температур выполнения закона Кюри – Вейса 5–230 К (*б*) для твердого раствора $\text{La}_{0.90}\text{Dy}_{0.05}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3$

При 6 К намагниченность твердых растворов $\text{La}_{0.95}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3$, $\text{La}_{0.90}\text{Dy}_{0.05}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3$ и образцов валового состава $\text{La}_{0.95}\text{Ho}_{0.05}\text{In}_{0.98}\text{Sb}_{0.02}\text{O}_3$, $\text{La}_{0.90}\text{Dy}_{0.05}\text{Ho}_{0.05}\text{In}_{0.98}\text{Sb}_{0.02}\text{O}_3$ (рис. 5) при росте напряженности магнитного поля до 10 Тл увеличивается нелинейно с постепенным подходом к магнитному насыщению, которое в поле напряженностью 10 Тл не достигается.

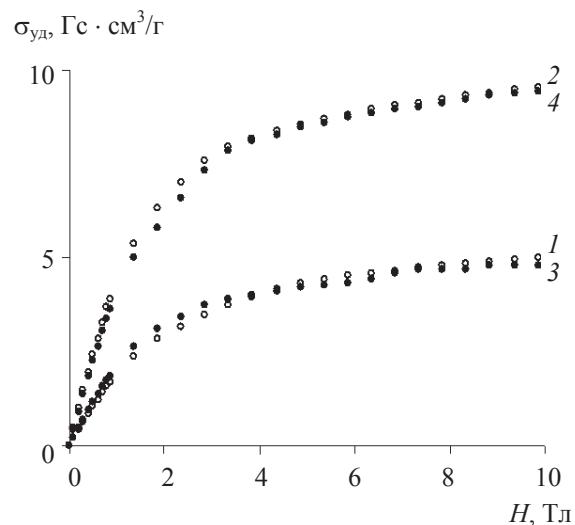


Рис. 5. Полевые зависимости удельной намагниченности при 6 К индатов:

- 1 – $\text{La}_{0.95}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3$;
- 2 – $\text{La}_{0.90}\text{Dy}_{0.05}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3$;
- 3 – $\text{La}_{0.95}\text{Ho}_{0.05}\text{In}_{0.98}\text{Sb}_{0.02}\text{O}_3$;
- 4 – $\text{La}_{0.90}\text{Dy}_{0.05}\text{Ho}_{0.05}\text{In}_{0.98}\text{Sb}_{0.02}\text{O}_3$

Магнитный момент ионов Ho^{3+} ($\mu_{\text{Ho}^{3+}}$) в твердом растворе $\text{La}_{0.95}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3$ рассчитываются по следующей формуле:

$$\mu_{\text{Ho}^{3+}} = \frac{\sigma_{\text{уд} \text{La}_{0.95}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3} M}{5585 \cdot 0,05}, \quad (3)$$

где $\sigma_{\text{уд} \text{La}_{0.95}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3}$ – величина удельной намагниченности твердого раствора $\text{La}_{0.95}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3$ при температуре 6 К в магнитном поле 10 Тл; M – молярная масса твердого раствора $\text{La}_{0.95}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3$; 5585 – число, равное произведению величины магнетона Бора на число Авогадро.

Магнитный момент ионов Dy^{3+} ($\mu_{\text{Dy}^{3+}}$) в твердом растворе $\text{La}_{0.90}\text{Dy}_{0.05}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3$ при температуре 6 К в магнитном поле напряженностью 10 Тл вычисляли по формуле

$$\mu_{\text{Dy}^{3+}} = \frac{(\sigma_{\text{уд} \text{La}_{0.90}\text{Dy}_{0.05}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3} - \sigma_{\text{уд} \text{La}_{0.95}\text{Ho}_{0.05}\text{InO}_3}) M}{5585 \cdot 0,05}. \quad (4)$$

Проведенные по формулам (3), (4) расчеты (табл. 3) показали, что полученные значения магнитных моментов ионов Dy^{3+} , Ho^{3+} , равные $4,97 \mu_B$ и $5,45 \mu_B$ соответственно, значительно меньше теоретических значений спин-орбитальных магнитных моментов ионов

Dy^{3+} ($\mu_{\text{теор, } Dy^{3+}} = 10,63 \mu_B$ [8]) и ионов Ho^{3+} ($\mu_{\text{теор, } Ho^{3+}} = 10,60 \mu_B$ [8]). Это свидетельствует о том, что магнитное поле 10 Тл не приводит к полному магнитному упорядочению парамагнитных, магнитных моментов ионов Dy^{3+} и Ho^{3+} .

Таблица 3

Удельная намагниченность ($\sigma_{уд}$) и магнитный момент ионов Dy^{3+} , Ho^{3+} (μ) для твердых растворов $La_{0,95}Ho_{0,05}InO_3$, $La_{0,90}Dy_{0,05}Ho_{0,05}InO_3$ при температуре 6 К

Состав	$\sigma_{уд}$, Гс · см ³ /г	μ , μ_B
$La_{0,95}Ho_{0,05}InO_3$	5,0044	5,45 (Ho^{3+})
$La_{0,90}Dy_{0,05}Ho_{0,05}InO_3$	9,9999	4,97 (Dy^{3+})

Как видно из рис. 6, при температуре 300 К парамагнитная удельная намагниченность ($\sigma_{уд}$) всех исследованных индатов при увеличении величины магнитного поля возрастает практически линейно.

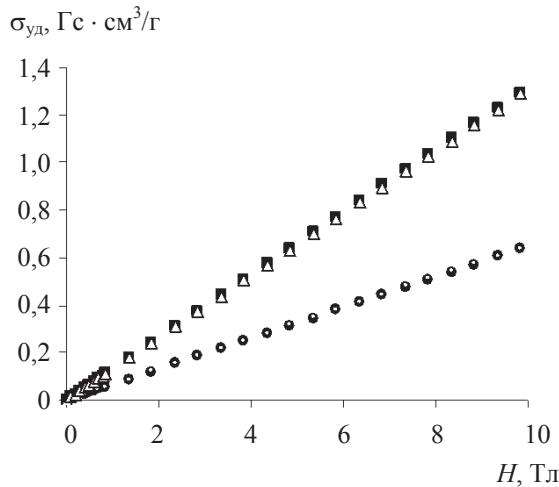


Рис. 6. Полевые зависимости удельной намагниченности при 300 К индатов:
• — $La_{0,95}Ho_{0,05}InO_3$; ■ — $La_{0,90}Dy_{0,05}Ho_{0,05}InO_3$;
○ — $La_{0,95}Ho_{0,05}In_{0,98}Sb_{0,02}O_3$;
Δ — $La_{0,90}Dy_{0,05}Ho_{0,05}In_{0,98}Sb_{0,02}O_3$

Литература

1. Dhanasekaran P., Gupta N. M. Effects of grain morphology, microstructure and dispersed metal cocatalyst on the photoreduction of water over impurity-doped $LaInO_3$ // Mat. Res. Bull. 2012. Vol. 47. P. 1217–1228.
2. Liu X., Lin J. Synthesis and luminescent properties of $LaInO_3$: RE³⁺ (RE = Sm, Pr and Tb) nanocrystalline phosphors for field emission displays // Solid State Sci. 2009. Vol. 11. P. 2030–2036.
3. Luminescent properties of a new red-emitting phosphor based on $LaInO_3$ for LED / A. Tang [et al.] // Optoelec. Adv. Mater. 2011. Vol. 5, no. 10. P. 1031–1034.
4. Unravelling the energy transfer mechanism in bismuth co-activation of $LaInO_3$: Sm³⁺/Ho³⁺ nanophosphor for color-tunable luminescence / C. S. Kamal [et al.] // RSC Adv. 2017. Vol. 7, no. 16. P. 9724–9731.
5. Карлин Р. Магнетохимия. М.: Мир, 1989. 400 с.
6. Powder Diffraction File. Swarthmore: Joint Committee on Powder Diffraction Standart: Card no. 00-047-0067.
7. Excitation and emission spectra of $LaInO_3$ -based solid solutions doped with Sm³⁺, Sb³⁺ / E. K. Yukhno [et al.] // J. Lumin. 2017. Vol. 182. P. 123–129.
8. Кринчик Г. С. Физика магнитных явлений. М.: Изд-во МГУ, 1976. 367 с.

Установлено, что полевые зависимости удельной намагниченности (рис. 5, 6) образца валового состава $La_{0,95}Ho_{0,05}In_{0,98}Sb_{0,02}O_3$ и твердого раствора $La_{0,95}Ho_{0,05}InO_3$, а также образца валового состава $La_{0,90}Dy_{0,05}Ho_{0,05}In_{0,98}Sb_{0,02}O_3$ и твердого раствора $La_{0,90}Dy_{0,05}Ho_{0,05}InO_3$ не отличаются.

Заключение. В работе твердофазным методом из соответствующих оксидов получены образцы индатов $La_{0,95}Ho_{0,05}InO_3$, $La_{0,90}Dy_{0,05}Ho_{0,05}InO_3$, $La_{0,95}Ho_{0,05}In_{0,98}Sb_{0,02}O_3$, $La_{0,90}Dy_{0,05}Ho_{0,05}In_{0,98}Sb_{0,02}O_3$. Выявлено, что все полученные образцы имеют кристаллическую структуру орторомбически искаженного перовскита типа $GdFeO_3$. Показано, что в образцах индатов, содержащих ионы Sb^{3+} , присутствует незначительное количество примесной фазы твердых растворов на основе $LaSbO_3$.

Установлено, что во всем исследованном интервале температур 5–300 К полученные образцы индатов являются парамагнетиками. Значения эффективных магнитных моментов парамагнитных ионов Dy^{3+} , Ho^{3+} незначительно меньше теоретических значений спин-орбитальных магнитных моментов этих ионов. Показано, что при 300 К повышение напряженности магнитного поля до 10 Тл приводит к линейному увеличению парамагнитной удельной намагниченности всех исследованных индатов. При 6 К намагниченность всех анализируемых образцов при росте напряженности магнитного поля до 10 Тл увеличивается нелинейно с постепенным подходом к магнитному насыщению, которое, однако, в поле 10 Тл не достигается. Доказано, что введение диамагнитных ионов сурьмы Sb^{3+} в твердые растворы $La_{0,95}Ho_{0,05}InO_3$, $La_{0,90}Dy_{0,05}Ho_{0,05}InO_3$ не приводит к изменению намагниченности и магнитной восприимчивости образующихся образцов валового состава $La_{0,95}Ho_{0,05}In_{0,98}Sb_{0,02}O_3$, $La_{0,90}Dy_{0,05}Ho_{0,05}In_{0,98}Sb_{0,02}O_3$.

References

1. Dhanasekaran P., Gupta N. M. Effects of grain morphology, microstructure and dispersed metal cocatalyst on the photoreduction of water over impurity-doped LaInO₃. *Mat. Res. Bull.*, 2012, vol. 47, pp. 1217–1228.
2. Liu X., Lin J. Synthesis and luminescent properties of LaInO₃: RE³⁺ (RE = Sm, Pr and Tb) nanocrystalline phosphors for field emission displays. *Solid State Sci.*, 2009, vol. 11, pp. 2030–2036.
3. Tang A., Zhang D., Yang L., Wang X. Luminescent properties of a new red-emitting phosphor based on LaInO₃ for LED. *Optoelec. Adv. Mater.*, 2011, vol. 5, no. 10, pp. 1031–1034.
4. Kamal C. S., Rao T. V., Reddy P. V. S. S. N., Sujatha K., Ajayi B. P., Jasinski J. B., Rao K. R. Unravelling the energy transfer mechanism in bismuth co-activation of LaInO₃: Sm³⁺/Ho³⁺ nanophosphor for color-tunable luminescence. *RSC Adv.*, 2017, vol. 7, no. 16, pp. 9724–9731.
5. Karlin R. *Magnetokhimiya* [Magnetochemistry]. Moscow, Mir Publ., 1989. 400 p.
6. Powder Diffraction File. Swarthmore: Joint Committee on Powder Diffraction Standart: Card no. 00-047-0067.
7. Yukhno E. K., Bashkirov L. A., Pershukovich P. P., Kandidatova I. N., Mironova-Ulmane N., Sarakovskis A. Excitation and emission spectra of LaInO₃-based solid solutions doped with Sm³⁺, Sb³⁺. *J. Lumin.*, 2017, vol. 182, pp. 123–129.
8. Krinchik G. S. *Fizika magnitnykh yavleniy* [Physics of magnetic phenomena]. Moscow, Izdatel'stvo MGU Publ., 1976. 367 p.

Информация об авторах

Юхно Елена Казимировна – аспирант. 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

Кандидатова Ирина Николаевна – кандидат химических наук, ассистент кафедры физической и коллоидной химии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kin1988@mail.ru

Бушинский Максим Владиславович – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник. Научно-практический центр по материаловедению Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. П. Бровки, 19, Республика Беларусь). E-mail: bushinsky@physics.by

Information about the authors

Yukhno Elena Kazimirovna – PhD student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: palma-2010@yandex.by

Bashkirov Leonid Andreevich – DSc (Chemistry), Professor, Professor, the Department of Physical and Colloid Chemistry. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bashkirov@belstu.by

Kandidatova Irina Nikolaevna – PhD (Chemistry), assistant lecturer, the Department of Physical and Colloid Chemistry. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kin1988@mail.ru

Bushinsky Maksim Vladislavovich – PhD (Physics and Mathematics), researcher. Scientific and Practical Materials Research Centre of the National Academy of Sciences of Belarus (19, P. Brovki str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bushinsky@physics.by

Поступила 03.05.2017