

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделирование индукционной пайки в зазоре магнитопровода показало, что магнитопровод концентрирует магнитный поток в зоне пайки, что позволяет добиться равномерности нагрева шариков припоя. Геометрические размеры и форма магнитопровода оказывают влияние на распределение плотности магнитного потока, который в свою очередь влияет на равномерность нагрева шариков припоя.

В результате моделирования тепловых полей шариков припоя в зазоре магнитопровода получены оптимальные значения тока в индукторе 0.9–1.2 А, при значениях тока выше 1.2А происходит перегрев шариков припоя. В диапазоне частот от 440 кГц до 732 кГц мощность индуктора 20–40 Вт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Liu, C., Lee, C. and Chiang, K. Enhancing the reliability of wafer level packaging by using solder joints layout design// IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 2006, Vol. 29 No. 4, pp. 877–885.
2. Ланин, В. Формирование шариковых микровыводов припоя с использованием лазерного излучения для Flip-Chip монтажа / В. Ланин, И. Петухов, Ф. В. Тунг // Технологии в электронной промышленности. – 2020. – № 6. – С. 32–38.
3. Ланин, В. Л. Высокочастотный электромагнитный нагрев для пайки электронных устройств / В. Л. Ланин // Технологии в электронной промышленности. – 2007. – №5. – С. 46–49.
4. COMSOL Multiphysics® [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.comsol.ru/comsol-multiphysics>.

МАГНИТНЫЕ И ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ИНДАТА ЛАНТАНА

Е. К. Юхно, Г. С. Петров, Л. А. Башкиров

*Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а,
220006 Минск, Беларусь, e-mail: palma-2010@yandex.ru*

Получены и исследованы твердые растворы на основе LaInO_3 , легированного ионами редкоземельных элементов Pr^{3+} , Eu^{3+} , Sm^{3+} . Исследованы магнитная восприимчивость, намагниченность твердых растворов на основе LaInO_3 с содержанием этих ионов не более 10 ат. %. Установлено, что из-за малого содержания парамагнитных ионов Pr^{3+} , Eu^{3+} , Sm^{3+} парамагнитный вклад этих ионов в намагниченность и магнитную восприимчивость отличается незначительно от диамагнитного вклада LaInO_3 . При комнатной температуре и температуре кипения жидкого азота получены спектры фотолюминесценции образцов. Показано, что снижение температуры приводит к изменению соотношения интенсивностей полос фотолюминесценции на спектрах. Для увеличения интенсивности излучения ионов редкоземельных элементов были введены в качестве сенсibilизаторов ионы Sb^{3+} . Установлено, что такое легирование индатов ионами Sb^{3+} приводит к значительному увеличению интенсивности полос фотолюминесценции ионов Pr^{3+} , Sm^{3+} , Eu^{3+} .

Ключевые слова: индаты; твердые растворы; намагниченность; магнитная восприимчивость; фотолюминесценция.

MAGNETIC AND PHOTOLUMINESCENT PROPERTIES OF THE LANTHANUM INDATE BASED SOLID SOLUTIONS

E. K. Yukhno, G. S. Petrov, L. A. Bashkirov

*Belarusian State Technological University, Sverdlova str. 13a, 220006 Minsk, Belarus,
Corresponding author: E. K. Yukhno (palma-2010@yandex.ru)*

LaInO₃-based phosphors doped by Pr³⁺, Eu³⁺, Sm³⁺ rare earth ions were synthesized and investigated. The magnetic susceptibility and the magnetization of solid solutions based on LaInO₃ containing not more than 10 at. % of these ions were investigated. It was found that, owing to the small content of the Pr³⁺, Eu³⁺, Sm³⁺ paramagnetic ions, their paramagnetic contribution to magnetization and magnetic susceptibility differs insignificantly from the diamagnetic contribution of LaInO₃ matrix. The photoluminescence spectra of the samples were obtained at room temperature and at the boiling point of liquid nitrogen. It is shown that temperature decrease leads to a change in the ratio of the intensities of the photoluminescence bands in the spectra. Sb³⁺ ions were introduced as sensitizers to increase the emission intensity of rare earth ions. It was established that such indates doping by Sb³⁺ ions leads to a significant increase in the intensity of photoluminescence bands of Pr³⁺, Sm³⁺, Eu³⁺ ions.

Key words: indates; solid solutions; magnetization; magnetic susceptibility; photoluminescence.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование физико-химических свойств твердых растворов на основе индата лантана LaInO₃, легированного ионами редкоземельных и ряда других, в том числе переходных, элементов, представляет собой актуальную научную и практическую задачу [1–3]. Разбавленные твердые растворы состава La_{1-x}Ln_xInO₃, где Ln – ион редкоземельного элемента, $x < 0,05$, являются перспективными магнитными и фотолюминесцентными материалами для разработки устройств микроэлектроники, спинтроники и оптоэлектроники. Поэтому в последнее десятилетие значительно повысился интерес к исследованиям спектров возбуждения люминесценции, спектров фотолюминесценции твердых растворов на основе LaInO₃ с кристаллической структурой орторомбически искаженного перовскита, легированного ионами редкоземельных элементов (Pr³⁺, Sm³⁺, Eu³⁺ и др.) и ионами Bi³⁺, Sb³⁺, излучающих свет в видимой области. При рассмотрении магнитных свойств материалов обычно учитывают только вклады ферро- или парамагнитных ионов. Вкладом же диамагнитных ионов обычно пренебрегают. Но для магниторазбавленных материалов, содержащих небольшие количества, например, парамагнитных частиц, можно ожидать, что вклад диамагнетизма может оказаться сопоставимым со вкладом парамагнитных частиц и даже превышать его (особенно при низких температурах). Известны только единичные случаи экспериментальной проверки данного предположения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящей работе проведен синтез и исследованы магнитные и фотолюминесцентные свойства керамических образцов твердых растворов на основе индата лан-

тана типа $\text{La}_{1-x}\text{Ln}_x\text{InO}_3$ (где $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Sm}, \text{Eu}$) с невысокой степенью замещения диамагнитных ионов лантана парамагнитными ионами соответствующих ионов редкоземельных элементов ($x = 0,001-0,1$).

Синтез образцов проводили керамическим твердофазным методом из соответствующих оксидов высокой чистоты. Оксиды лантана и редкоземельных элементов предварительно прокаливали на воздухе при температуре 1273 К. Рентгенофазовый анализ полученных образцов индатов проводили на рентгеновском дифрактометре D8 ADVANCE (Bruker AXS GmbH, Германия), используемое излучение: $\text{Cu}_{K\alpha}$, интервал 2Θ : 20–80 градусов. Магнитные свойства (удельную магнитную восприимчивость $\sigma_{\text{уд}}$) изучали при температурах от 5 до 50 К в магнитных полях до 14 Тл вибрационным методом на универсальной высокополевой измерительной системе (Cryo-genic Ltd, Великобритания, 4IS) в ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению». На основании полученных данных сделана попытка сопоставления величин вкладов диа- и парамагнитных ионов в магнитные свойства исследованных образцов. Измерения фотолюминесцентных свойств проводили в ГНУ «Институт физики им. Б.И.Степанова НАН Беларуси» на модернизированном спектроизмерительном комплексе СДЛ-2 (ЛОМО, СССР).

Рентгенофазовый анализ полученных образцов показал, что все они являются однофазными и имеют кристаллическую структуру орторомбически искаженного перовскита. Так как концентрация легирующих ионов в исследованных твердых растворах незначительная, параметры кристаллической решетки всех исследованных твердых растворов отличаются незначительно от соответствующих параметров кристаллической решетки LaInO_3 .

Установлено, что молярные магнитные восприимчивости твердых растворов $\text{La}_{1-x}\text{Pr}_x\text{InO}_3$ с $x = 0,001; 0,003; 0,004$ (рис. 1, а), при температурах 25, 60, 73 К соответственно меняют знак и при более высоких температурах становятся отрицательными. Аналогичные температурные зависимости молярной магнитной восприимчивости наблюдаются также для твердых растворов $\text{La}_{1-x}\text{Ln}_x\text{InO}_3$ (где $\text{Ln} = \text{Sm}, \text{Eu}$, с $x = 0,01-0,05$). Это указывает на то, что для исследованных образцов вклады в магнитную восприимчивость парамагнитных ионов Pr^{3+} , Eu^{3+} , Sm^{3+} и диамагнитной матрицы LaInO_3 отличаются между собой незначительно, причем парамагнитный вклад ионов Pr^{3+} , Eu^{3+} , Sm^{3+} при повышении температуры уменьшается, а диамагнитный вклад от температуры не зависит.

Намагниченность большинства исследованных твердых растворов при увеличении напряженности магнитного поля до 14 Тл увеличивается нелинейно с постепенным подходом к магнитному насыщению, которое, однако, не достигается в поле напряженностью 14 Тл. Показано, что при 5 К для твердых растворов $\text{La}_{0,999}\text{Pr}_{0,001}\text{InO}_3$ и $\text{La}_{0,995}\text{Eu}_{0,005}\text{InO}_3$ (рис. 1, б, вставка) увеличение напряженности магнитного поля до 5 Тл приводит к постепенному возрастанию парамагнитной удельной намагниченности.

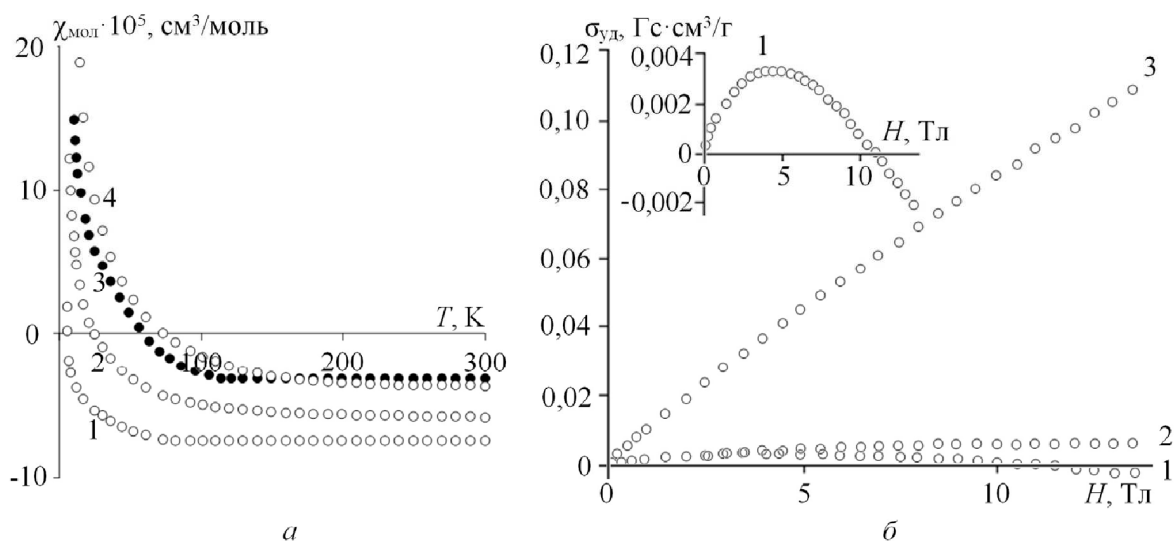


Рисунок 1. Температурные зависимости молярной магнитной восприимчивости ($\chi_{\text{мол}}$) индатов $\text{La}_{1-x}\text{Pr}_x\text{InO}_3$ с $x = 0$ (1), 0,001 (2), 0,003 (3), 0,004 (4) (а); полевые зависимости удельной намагниченности ($\sigma_{\text{уд}}$) при 5 К твердых растворов $\text{La}_{1-x}\text{Eu}_x\text{InO}_3$ ($x = 0,005$ (1); 0,01 (2); 0,1 (3)) (б)

В дальнейшем при увеличении напряженности магнитного поля происходит снижение величины намагниченности. Это обусловлено тем, что диамагнитный вклад в намагниченность этих твердых растворов становится больше парамагнитного вклада, и в магнитных полях более 11 Тл она переходит в диамагнитную область. Это приводит к формированию на полевых и температурных зависимостях магнитных свойств этих образцов точек компенсации намагниченности и магнитной восприимчивости, характерных для ферромагнетиков с антипараллельно ориентированными магнитными моментами.

Показано, что интенсивность полос фотолюминесценции ($I_{\text{фл}}$) образцов $\text{La}_{0,99}\text{Eu}_{0,01}\text{In}_{0,98}\text{Sb}_{0,02}\text{O}_3$ (рис. 2, а), $\text{La}_{0,98}\text{Sm}_{0,02}\text{In}_{0,98}\text{Sb}_{0,02}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,997}\text{Pr}_{0,003}\text{In}_{0,98}\text{Sb}_{0,02}\text{O}_3$, значительно выше интенсивности соответствующих полос твердых растворов на основе индата лантана, не содержащих ионы Sb^{3+} . Возможно, что такое значительное увеличение интенсивности полос фотолюминесценции этих образцов обусловлено сенсбилизационным воздействием ионов Sb^{3+} на фотолюминесценцию ионов Eu^{3+} , Sm^{3+} , Pr^{3+} .

Анализ полученных при комнатной температуре и температуре кипения жидкого азота спектров фотолюминесценции ($\lambda_{\text{возб}} = 320$ нм) индата $\text{La}_{0,98}\text{Sm}_{0,02}\text{In}_{0,98}\text{Sb}_{0,02}\text{O}_3$ (рис. 2) показывает, что снижение температуры приводит к изменению соотношения интенсивностей полос фотолюминесценции на спектрах. При комнатной температуре интенсивности полос фотолюминесценции с $\lambda_{\text{макс}} = 600$ и 430 нм почти одинаковы. При температуре кипения жидкого азота интенсивность полосы фотолюминесценции при 600 нм почти в два раза больше, чем интенсивность полосы при 430 нм.

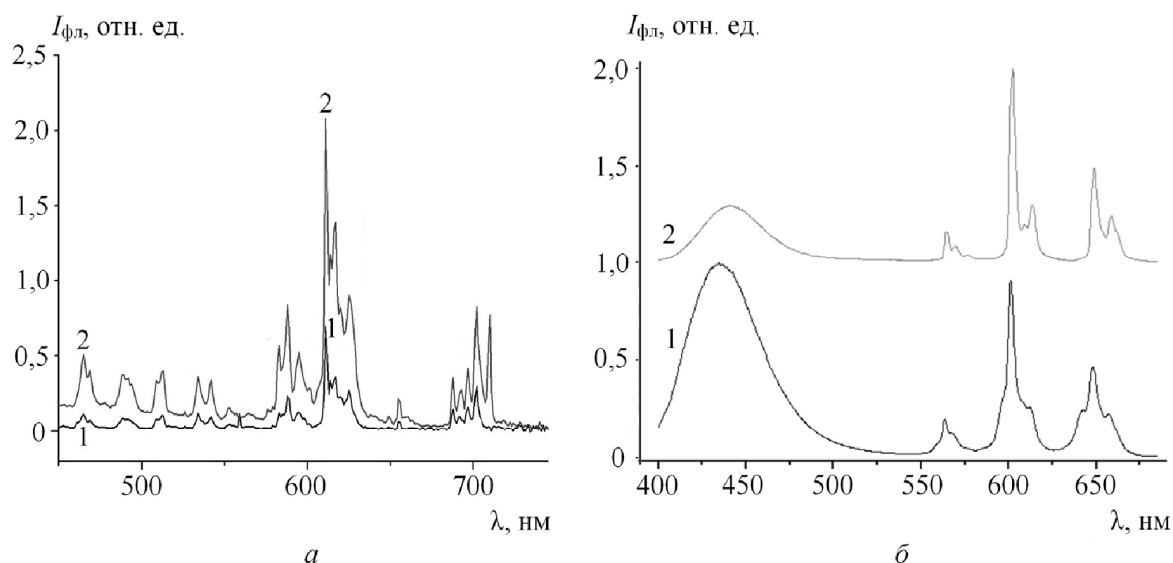


Рисунок 2. Спектры фотолюминесценции твердых растворов $\text{La}_{0,99}\text{Eu}_{0,01}\text{InO}_3$ (1), $\text{La}_{0,99}\text{Eu}_{0,01}\text{In}_{0,98}\text{Sb}_{0,02}\text{O}_3$ (2) при $\lambda_{\text{возб}} = 395$ нм (а); $\text{La}_{0,98}\text{Sm}_{0,02}\text{In}_{0,98}\text{Sb}_{0,02}\text{O}_3$ (2) (а); $\text{La}_{0,98}\text{Sm}_{0,02}\text{In}_{0,98}\text{Sb}_{0,02}\text{O}_3$ при 300 К (1) и 77 К (2) и при $\lambda_{\text{возб}} = 320$ нм (б)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты могут быть использованы при проведении научных работ фундаментального и прикладного характера, посвященных решению проблем физики и химии магнитных материалов, фотолюминофоров на основе LaInO_3 со структурой перовскита, легированного ионами редкоземельных элементов, и их использованию при изготовлении светодиодов белого света и других устройств электронной техники.

Авторы благодарны за помощь в проведении эксперимента Л. С. Лобановскому, С. В. Труханову, М. В. Бушинскому, П. П. Першукевичу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Hu, X. White light emission and energy transfer processes in LaInO_3 doped with Bi^{3+} , Tb^{3+} and Eu^{3+} / X. Hu [et al.] // *J Alloys and Compounds*. – 2021. – V. 899. – P. 163344.
2. Tang, A. Luminescent properties of novel reddish-orange phosphor $\text{LaInO}_3: \text{Sm}^{3+}$ for white light emitting diodes / A. Tang [et al.] // *Optelec. Adv. Mater. Rapid Comm.* – 2015. – Vol. 9, № 1–2. – P. 20–23.
3. Liu, X. Synthesis and luminescent properties of $\text{LaInO}_3: \text{RE}^{3+}$ (RE = Sm, Pr and Tb) nanocrystalline phosphors for field emission displays / X. Liu [et al.] // *Solid State Sci.* – 2009. – Vol. 11. – P. 2030–2036.