

18. Liang J., Chiau C.C., Chen X., Parini C.G. Printed circular disc monopole antenna for ultrawideband applications, *Electronic Letters*, 2004, Vol. 40, Issue 20, pp. 1246-1247.
19. Pandeewari R., Raghavan Dr.S., Bagde P.A., Chittipothul A.K. An Compact Multi-Split Ring Resonator Loaded Antenna, *International Conference on Communication and Signal Processing, IEEE*, 2013, pp. 807-810.
20. Dwivedi S., Mishra V., Kosta Y. Metamaterial inspired patch antenna miniaturization technique for satellite, *International Conference on Emerging Technology Trends in Electronics, Communication and Networking, IEEE*, 2012.
21. Ha J., Kwon K., Lee Y., Choi J. Hybrid Mode Wideband Patch Antenna Loaded With a Planar Metamaterial Unit Cell, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2012, Vol. 60, No. 2, pp. 1143-1147.
22. Cao W., Xiang Y., Zhang B., Liu A., Yu T., Guo D. An Low-Cost Compact Patch Antenna With Beam Steering Based on CSRR-Loaded Ground, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2011, Vol. 10, pp. 1520-1523.
23. Bilotti F., Alù A., Vegni L. Design of Miniaturized Metamaterial Patch Antennas With muNegative Loading, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2008, Vol. 56, No. 6. – P. 1640- 1647.
24. Antoniadou M.A., Eleftheriades G.V. An Broadband Dual-Mode Monopole Antenna using NRI-TL Metamaterial Loading, *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE*, 2009, Vol. 8, pp. 258-261.
25. Palandoken M., Grede A., Henke H. Broadband Microstrip Antenna with Left-Handed Metamaterials, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2009, Vol. 57, No. 2, pp. 331-338.
26. Wang L., Wang L., Li J. L.-W. An Series-Fed Metamaterial Microstrip Antenna Array of Broadband and High-Gain, *IWEM Proceedings, IEEE*, 2012.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.М. Макаров.

Кисель Наталья Николаевна – Южный федеральный университет; e-mail: nnkisel@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, ул. Энгельса, 1; тел.: +78634371634; кафедра антенн и радиопередающих устройств; к.т.н.; доцент.

Мусаев Максуд Мурад Оглы – Федеральное государственное предприятие «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи»; e-mail: Vargallow@gmail.com; 344038, г. Ростов-на-Дону, ул. Нансена, 130; тел.: +78634371634.

Kisel Natalia Nikolayevna – Southern Federal University; e-mail: nnkisel@sfedu.ru; 1, Ehngel'sa street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371634; the department of antennas and radio transmitters; cand. of eng. sc.; associate professor.

Musayev Maksud Murad Ogly – Federal State Institution "Rostov-on-Don Research Institute of Radio Communication"; e-mail: Vargallow@gmail.com; 130, Nansena street, Rostov-on-Don, 347928, Russia; phone: +78634371634.

УДК 535.37:546.65

DOI 10.23683/2311-3103-2017-6-258-265

У.А. Марьяна, В.А. Воробьев, А.П. Марьян

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ СИСТЕМЫ $\text{CaSnO}_3:\text{Yb}^{3+}, \text{Er}^{3+}, \text{Tm}^{3+}$ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ИСТОЧНИКОМ ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ

Синтезированы серии опытных образцов люминофора на основе станната кальция, активированного тремя ионами редкоземельных элементов Yb^{3+} , Er^{3+} , Tm^{3+} . Описаны основные методы исследования экспериментальных образцов. Полученные соединения имеют орторомбическую кристаллическую решетку, родственную минералу «перовскит». Средний размер кристаллитов составил 32,9 мкм. При возбуждении порошков лазерным диодом с длиной волны 960 нм обнаружена люминесценция в видимой и ИК-областях спектра. Исследована концентрационная зависимость интенсивности люминесценции исследуемой системы в полосах 994,

1550, 1780 нм от концентрации ионов тулия. Установлено, что с ростом концентрации ионов тулия в составе люминофора интенсивность люминесценции в полосах, соответствующих ионам иттербия (996 нм) и эрбия (1550 нм) снижается, а интенсивность люминесценции в полосе, соответствующей излучательным переходам в ионах тулия (1780 нм), наоборот, возрастает до некоторого значения. Максимальная интенсивность люминесценции в полосе 1780 нм наблюдается при концентрации ионов Tm^{3+} 0,003 атомных долей. Описаны энергетические переходы в системе $CaSnO_3:Yb^{3+},Er^{3+},Tm^{3+}$ при возбуждении лазером с длиной волны 960 нм, а также механизм передачи энергии между ионами Yb^{3+} , Er^{3+} , Tm^{3+} . Установлено, что ионы Yb^{3+} в системе $CaSnO_3:Yb^{3+},Er^{3+},Tm^{3+}$ ведут себя как сенситизаторы, часть поглощенной энергии они передают ионам Er^{3+} и Tm^{3+} , вызывая усиление люминесценции в соответствующих им полосах. Ионы Er^{3+} также передают часть поглощенной энергии ионам Tm^{3+} , в результате чего наблюдается усиление интенсивности ИК-люминесценции в полосе 1780 нм. Предложено использовать люминесцентную систему $CaSnO_3:Yb^{3+},Er^{3+},Tm^{3+}$ в качестве источников излучения, способных преобразовывать ИК-излучение из области 960 нм в ИК-излучение с длиной волны 1780 нм.

Люминесценция; инфракрасные (ИК) люминофоры; твердофазный синтез; редкоземельные элементы; станнаты щелочноземельных металлов.

U.A. Mar'ina, V.A. Vorob'ev, A.P. Mar'in

LUMINESCENCE OF THE $CASNO_3:YB^{3+},ER^{3+},TM^{3+}$ SYSTEM UNDER EXCITATION BY IR-SOURCE

Series of prototypes of a phosphor on the basis of a stannat of the calcium activated by three ions of the rare-earth elements Yb^{3+} , Er^{3+} , Tm^{3+} are synthesized. The main methods of a research of the experimental samples are described. The received connections have an orthorhombic crystalline grid, related to perovskite mineral. The average size of crystallites has been 32,9 microns. In case of excitation of powders the laser diode with wavelength of 960 nm found a luminescence in visible and IR-areas of a range. Concentration dependence of intensity of a luminescence of the researched system in the area 994, 1550, 1780 of nm from concentration of ions of thulium is probed. It is set that with growth of concentration of ions of thulium as a part of a phosphor intensity of a luminescence in the bands corresponding to ytterbium ions (996 nm) and erbium (1550 nm) decreases, and intensity of a luminescence in the band corresponding to radiant transitions in thulium ions (1780 nm), on the contrary, increases up to some value. The maximum intensity of a luminescence in a band of 1780 nm is watched in case of concentration of ions of Tm^{3+} 0,003 atomic shares. The diagram of energetic transitions in the $CaSnO_3:Yb^{3+},Er^{3+},Tm^{3+}$ system is provided in case of excitation by the laser with wavelength of 960 nm, the mechanism of transmission of energy between ions of Yb^{3+} , Er^{3+} , Tm^{3+} explicitly is described. It is set that Yb^{3+} ions in the system $CaSnO_3:Yb^{3+},Er^{3+},Tm^{3+}$ behave as sensitizers, they give a part of the absorbed energy to Er^{3+} ions and Tm^{3+} , causing gain of a luminescence in the bands corresponding to them. Ions Er^{3+} also transfer by a part of the absorbed energy to Tm^{3+} ions, therefore an increase in intensity of an IR-luminescence in a band of 1780 nm is watched. It is offered to use luminescent structure of $CaSnO_3:Yb^{3+},Er^{3+},Tm^{3+}$ as the source of radiation capable to transform IR-radiation from area of 960 nanometers to IR-radiation with wavelength of 1780 nanometers.

Luminescence; infrared (IR) phosphors; $CaSnO_3$; solid-phase synthesis; rare-earth elements; stannates of alkaline earth metals.

Введение. Перовскитоподобные станнаты со структурой типа $MSnO_3$ на сегодняшний день находят все большее применение в различных отраслях электронной техники благодаря разнообразию своих электромагнитных свойств. Саннаты $CaSnO_3$, $BaSnO_3$, $SrSnO_3$ широко применяются при изготовлении катодов, термостабильных конденсаторов, фотокатализаторов, датчиков газа, влажности и т.д. [5–9]. Литературный поиск показал, что эти соединения упоминаются также в научных публикациях как материал для основы стоксовых и антистоксовых люминофоров [10–14]. Наибольшее число публикаций посвящено исследованию люми-

несценции станнатов кльция, активированных ионами редкоземельных металлов (РЗМ), при возбуждении их источником излучения с длиной волны около 254 нм. Люминесценция этих соединений в ближней и средней ИК-области изучена крайне мало, в связи с чем, возник интерес к проведению соответствующих исследований. В качестве активаторов были подобраны редкоземельные ионы (РЗИ), имеющие полосы излучения в ИК-области электромагнитного спектра: Yb^{3+} , Er^{3+} , Tm^{3+} .

Ранее авторами были проведены исследования одноактиваторных люминесцентных структур $\text{CaSnO}_3:\text{Yb}^{3+}$, $\text{CaSnO}_3:\text{Er}^{3+}$, $\text{CaSnO}_3:\text{Tm}^{3+}$ [1] и двухактиваторных люминесцентных структур $\text{CaSnO}_3:\text{Yb}^{3+},\text{Er}^{3+}$, $\text{CaSnO}_3:\text{Yb}^{3+},\text{Tm}^{3+}$ [2]. Анализ их спектров подтвердил наличие энергопереноса от Yb^{3+} к ионам Er^{3+} и Tm^{3+} , благодаря чему увеличивается их интенсивность люминесценции в ИК-области. В настоящей работе описаны исследования люминесцентной системы на основе станната кальция, активированной тремя РЗИ: Yb^{3+} , Er^{3+} , Tm^{3+} . Основная цель исследования – изучить механизм преобразования энергии в люминесцентной системе $\text{CaSnO}_3:\text{Yb}^{3+},\text{Er}^{3+},\text{Tm}^{3+}$ при возбуждении ее излучением с длиной волны 960 нм; установить вероятность усиления ИК-люминесценции в полосах, принадлежащих ионам Tm^{3+} , за счет передачи им дополнительной энергии от ионов Yb^{3+} и Er^{3+} . Для решения этих задач были синтезированы серии опытных образцов с общей формулой $(\text{Ca}_{1-x-y-z}\text{Yb}_x\text{Er}_y\text{Tm}_z)\text{SnO}_3$ и исследованы их кристаллографические и люминесцентные свойства.

Экспериментальная часть. Образцы станната кальция, активированные РЗИ с общей формулой $(\text{Ca}_{1-x-y-z}\text{Yb}_x\text{Er}_y\text{Tm}_z)\text{SnO}_3$, были синтезированы твердофазным методом. В качестве исходных компонентов использовали CaCO_3 , $\text{Sn}(\text{OH})_2$ и особо чистые оксиды редкоземельных элементов (РЗЭ) Yb_2O_3 , Er_2O_3 , Tm_2O_3 , которые добавлялись в шихту в виде растворов. Для снижения температуры плавления и увеличения скорости диффузии компонентов раствора в шихту вводился плавень SnCl_2 в количестве 3 % от массы. Для компенсации зарядового несоответствия при внедрении трехвалентных РЗИ в решетку CaSnO_3 дополнительно вводились плавни Li_2CO_3 и Na_2CO_3 в количестве 1,5 от концентрации ионов Yb^{3+} [3].

Концентрация ионов Yb^{3+} в образцах не изменялась и составляла 0,05 атомных долей, по проведенным ранее исследованиям [1] именно эта концентрация обеспечивает максимальную интенсивность люминесценции в полосе в полосе 996 нм в системе $(\text{Ca}_{0,95}\text{Yb}_{0,05})\text{SnO}_3$ при возбуждении излучением с длиной волны 960 нм. Концентрация ионов Er^{3+} также не изменялась и составила 0,02 атомных долей, такое значение обеспечивает по нашим наблюдениям [2] максимальную интенсивность люминесценции в полосе 1550 нм в системе $(\text{Ca}_{0,93}\text{Yb}_{0,05}\text{Er}_{0,02})\text{SnO}_3$ при оптическом возбуждении лазером с длиной волны 960 нм. Концентрация ионов Tm^{3+} изменялась в пределах от 0,00005 до 0,1 атомных долей.

Компоненты смешивали в жидком виде, после чего помещали образцы в сушильный шкаф на 2 часа, затем высохшую шихту размельчали и просеивали. После этого шихту помещали в высокотемпературную печь, и осуществляли прокалку образцов в окислительной атмосфере печи при температуре 1250 °С в течение 18 часов [4].

Анализ фазового состава синтезированных образцов производили на рентгеновском дифрактометре «ДИФРЕЙ 401» (Cu K α -излучение Ni-фильтр), параметры элементарных ячеек рассчитывали с использованием программы «Diffrac». Размер кристаллитов полученных порошков устанавливали с помощью лазерного анализатора размеров частиц Микросайзер-201А. Спектры люминесценции и возбуждения в диапазоне 400-2100 нм снимались с использованием монохроматора МДР-41, ФЭУ-62, ФЭУ-100, импульсного лазерного полупроводникового диода с длиной волны 960 нм.

Результаты и их обсуждение. На рентгенограммах полученных образцов зафиксированы четкие дифракционные максимумы, характерные для перовскито-подобной структуры стannата кальция CaSnO_3 , кристаллизующегося в орторомбической сингонии (пространственная группа Pbnm) [15–17]. Средний размер кристаллитов исследуемых порошков при концентрации ионов тулия 0,003 атомных долей составил 32,9 нм.

При возбуждении системы $(\text{Ca}_{0,93-x}\text{Yb}_{0,05}\text{Er}_{0,02}\text{Tm}_z)\text{SnO}_3$ лазером с длиной волны 960 нм на спектрах люминесценции в диапазоне 500–850 нм зарегистрированы люминесцентные пики в полосах 550, 660, 800 нм (рис. 1).

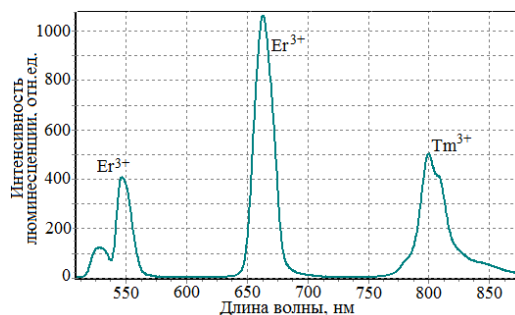


Рис. 1. Спектр люминесценции образца $(\text{Ca}_{0,927}\text{Yb}_{0,05}\text{Er}_{0,02}\text{Tm}_{0,003})\text{SnO}_3$ в диапазоне 500–850 нм при возбуждении лазером с длиной волны 960 нм

Люминесценция в полосах около 550 нм и 660 нм вызвана переходами в ионах Er^{3+} [18]:

- ◆ пик 529 нм соответствуют переходу между уровнями ${}^2\text{H}_{11/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{15/2}$;
- ◆ пик 545 нм соответствуют переходу между уровнями ${}^4\text{S}_{3/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{15/2}$;
- ◆ пик 662 нм соответствуют переходу между уровнями ${}^4\text{F}_{9/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{15/2}$.

Излучение в полосе 800 нм соответствует переходам между расщепленными электрическим полем уровнями ${}^3\text{H}_4 \rightarrow {}^3\text{H}_6$ в ионах тулия [19].

При возбуждении люминофора $(\text{Ca}_{0,93-x}\text{Yb}_{0,05}\text{Er}_{0,02}\text{Tm}_z)\text{SnO}_3$ лазерным диодом с длиной волны 960 нм, в ИК-области зарегистрированы люминесцентные пики с максимумами около 996, 1550 и 1780 нм (рис. 2). Излучение в этих полосах вызвана следующими переходами:

- ◆ полоса 996 нм соответствует переходу ${}^2\text{F}_{5/2} \rightarrow {}^2\text{F}_{7/2}$ в ионе Yb^{3+} ;
- ◆ полоса 1550 нм соответствует переходу ${}^4\text{I}_{13/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{15/2}$ в ионе Er^{3+} ;
- ◆ полоса 1780 нм соответствует переходу ${}^3\text{F}_4 \rightarrow {}^3\text{H}_6$ в ионе Tm^{3+} .

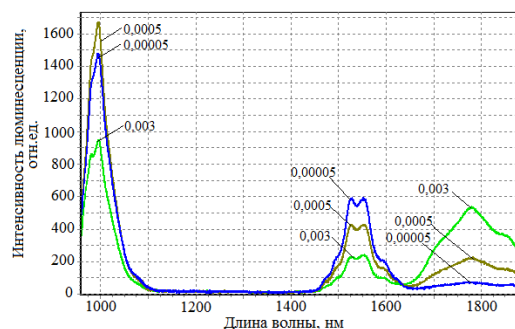


Рис. 2. Спектр люминесценции образцов $(\text{Ca}_{0,93-x}\text{Yb}_{0,05}\text{Er}_{0,02}\text{Tm}_z)\text{SnO}_3$ ($z=0,00005; 0,0005; 0,003$) в диапазоне 1000–1900 нм при возбуждении лазером с длиной волны 960 нм

Из рис. 2 видно, что увеличение концентрации ионов Tm^{3+} в шихте приводит к росту интенсивности люминесценции в полосе 1780 нм, которая соответствует излучающим переходам в ионах Tm^{3+} . При этом в полосах, принадлежащих ионам Yb^{3+} и Er^{3+} , интенсивность люминесценции наоборот снижается. Синтез дополнительной серии образцов $(Ca_{0,93-x}Yb_{0,05}Er_{0,02}Tm_z)SnO_3$ позволил построить более точную концентрационную зависимость (рис. 3).

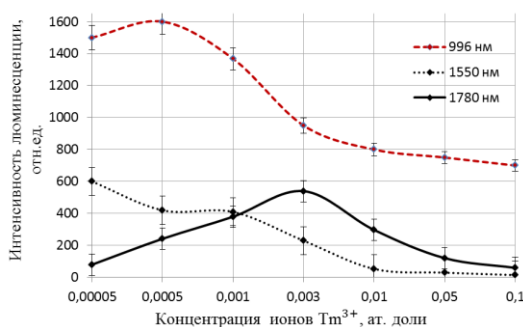


Рис. 3. Зависимость интенсивности люминесценции $(Ca_{0,93-x}Yb_{0,05}Er_{0,02}Tm_z)SnO_3$ от концентрации Tm^{3+} для полос 996, 1550, 1780 нм

На представленной выше диаграмме изображены три кривые, отражающие зависимость интенсивности люминесценции в каждой полосе при определенной концентрации ионов тулия. При минимальных концентрациях ионов тулия интенсивность люминесценции в полосах иттербия (996 нм) и эрбия (1550 нм), максимальна. С увеличением концентрации ионов тулия интенсивность люминесценции в этих полосах падает, на графике соответствующие кривые обозначены штриховой и пунктирной линиями. В полосе 1780 нм, соответствующей излучению ионов тулия, при повышении его концентрации (сплошная линия на графике) наблюдается рост интенсивности люминесценции. При концентрации ионов тулия 0,003 атомных долей зафиксирован максимум, после чего наблюдается плавный спад интенсивности. Такой характер кривой можно объяснить совместным существованием процессов, усиливающих и ослабляющих ИК-люминесценцию.

Для оценки интенсивности люминесценции трехактиваторной системы $(Ca_{0,93-x}Yb_{0,05}Er_{0,02}Tm_z)SnO_3$ в полосе около 1780 нм при измерении спектров люминесценции образцов этой серии в качестве опорного образца использовали наилучший двухактиваторный состав $(Ca_{0,947}Yb_{0,05}Tm_{0,003})SnO_3$ (рис. 4).

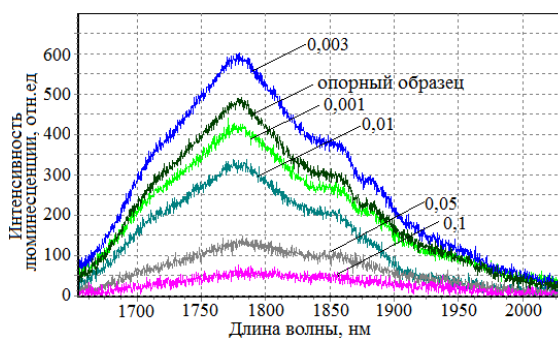


Рис. 4. Спектр люминесценции образцов $(Ca_{0,93-x}Yb_{0,05}Er_{0,02}Tm_z)SnO_3$ ($z=0,001; 0,003; 0,01; 0,05; 0,1$) в диапазоне 1700–2000 нм при возбуждении лазером с длиной волны 960 нм

При концентрации ионов Tm^{3+} 0,003 атомных долей состав $(Ca_{0,927}Yb_{0,05}Er_{0,02}Tm_{0,003})SnO_3$ с тремя активаторами имеет интенсивность люминесценции на 20 % выше, чем опорный образец $(Ca_{0,947}Yb_{0,05}Tm_{0,003})SnO_3$, синтезированный без ионов Er^{3+} . Таким образом, экспериментально доказано, что в трехактиваторной системе $(Ca_{1-x-y-z}Yb_xEr_yTm_z)SnO_3$ ионы Er^{3+} сообщают ионам Tm^{3+} дополнительную энергию, благодаря чему наблюдается усиление люминесценции ионов Tm^{3+} в полосе около 1780 нм.

Заключение. Подводя итоги проведенных исследований люминесцентных свойств стемы $(Ca_{1-x-y-z}Yb_xEr_yTm_z)SnO_3$ с тремя активаторами, можно сделать следующие выводы:

1) при возбуждении люминесцентной системы $(Ca_{0,93-x}Yb_{0,05}Er_{0,02}Tm_z)SnO_3$ лазером с длиной волны 960 нм на спектрах люминесценции зафиксированы полосы излучения в области: 550 нм, 660 нм, 800 нм, 996 нм, 1550 нм, 1780 нм;

2) с ростом концентрации ионов Tm^{3+} интенсивность в полосах, принадлежащих ионам Yb^{3+} и Er^{3+} , падает, а интенсивность в полосах, принадлежащих ионам Tm^{3+} , возрастает до некоторого максимального значения, что указывает на наличие процессов энергопереноса между ионами;

3) анализ концентрационных кривых наглядно подтверждает, что в системе $(Ca_{0,93-x}Yb_{0,05}Er_{0,02}Tm_z)SnO_3$ параллельно существуют три процесса переноса энергии в ионах $Yb \rightarrow Er$ (${}^2F_{5/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$), $Yb \rightarrow Tm$ (${}^2F_{5/2} \rightarrow {}^3H_4, {}^3H_5$) и $Er \rightarrow Tm$ (${}^4I_{11/2} \rightarrow {}^3H_4, {}^3H_5$);

4) максимальная интенсивность люминесценции в области 1780 нм наблюдается при концентрации ионов Tm^{3+} $z=0,003$ атомных долей;

5) сопоставление спектров люминесценции $(Ca_{0,947}Yb_{0,05}Tm_{0,003})SnO_3$ и $(Ca_{0,927}Yb_{0,05}Er_{0,02}Tm_{0,003})SnO_3$ показало, что введение в состав люминофора ионов Er^{3+} в количестве 0,02 атомных долей повышает интенсивность люминесценции в полосе 1780 нм на 20 %, что подтверждает наличие энергетического переноса от ионов Er^{3+} к ионам Tm^{3+} .

Предложено использовать разработанный ИК-люминофор $CaSnO_3:Yb^{3+},Er^{3+},Tm^{3+}$ для создания источников излучения, способных преобразовывать ИК-излучение с длиной волны около 960 нм в ИК-излучение с большей длиной волны [20].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Марьина У.А., Воробьев В.А.* Исследование люминесцентных свойств стannата кальция $CaSnO_3$, активированного ионами редкоземельных металлов // Вестник СКФУ: научный журнал. – 2016. – № 4 (55). – С. 36-41.
2. *Марьина У.А., Марьин А.П., Воробьев В.А.* Синтез и исследование люминесцентных свойств $CaSnO_3:Yb^{3+},RE^{3+}$ (RE=Er, Ho,Tm) // Вестник СКФУ: научный журнал. – 2017. – № 2 (59). – С. 21-26.
3. *Марьина У.А., Воробьев В.А., Марьин А.П.* Влияние концентрации примеси Yb и типа плавня на люминесцентные свойства $CaSnO_3:Yb$ // Научные исследования и разработки молодых ученых: материалы XIV международной молодежной научно-практической конференции, Новосибирск, 31 октября, 9 ноября 2016 г. / под общ. ред. С.С. Чернова. – Новосибирск: Изд-во ЦРНС, 2016.
4. *Марьина У.А., Воробьев В.А.* Особенности синтеза перовскитоподобных структур типа $MSnO_3$ (M=Ba, Sr, Ca) и исследование их люминесцентных свойств // Вестник СКФУ: научный журнал. – 2016. – № 1 (52). – С. 7-13.
5. *Zhang W.F., Tang J., Ye J.* Photoluminescence and photocatalytic properties of $SrSnO_3$ perovskite // Chemical Physics Letters. – 2006. – Vol. 418. – P. 174-178.
6. *Bohnenmann J., Libanorib R., Moreirab M.L., Longo E.* High-efficient microwave synthesis and characterisation of $SrSnO_3$ // Chemical Engineering Journal. – 2009. – No. 155. – P. 905-909.
7. *Sim H., Cheong S.W., Kim B.G.* Octahedral tilting induced ferroelectricity in $ASnO_3/BSnO_3$ superlattice // Materials Science. – 15 May 2013.
8. *Gavrilova L.Ya.* Methods of synthesis and research of perspective materials: education guidance. – Yekaterinburg: Ural State University of name A.M. Gorky, 2008. – 74 p.

9. Hong L., Eligio C.I., Sommer T.K., Wedel J.K. Strain sensitivity of band gaps of Sn-containing semiconductors // *Physical Review*. – 2015. – B. 91. – P. 045204 (1–6).
10. Lei B., Li B., Zhang H., Li W. Preparation and luminescence properties of $\text{CaSnO}_3:\text{Sm}^{3+}$ phosphor emitting in the reddish orange region // *Optical Materials*. – 2007. – Vol. 29. – P. 1491-1494.
11. Gordo V.O., Arslanli Y.T., Canimoglu A., Ayvacikli M., Gobato Y.G., Henini M., Can N. Visible to infrared low temperature luminescence of Er^{3+} , Nd^{3+} and Sm^{3+} in CaSnO_3 phosphors // *Applied Radiation and Isotopes*. – May 2015. – Vol. 99. – P. 69-76.
12. Liu Z., Liu Y. Synthesis and luminescent properties of a new green afterglow phosphor $\text{CaSnO}_3:\text{Tb}$ // *Materials Chemistry and Physics*. – 2005. – Vol. 93. – P. 129-132.
13. Liang Z., Zhang J., Sun J., Li X. etc. Enhancement of green long lasting phosphorescence in $\text{CaSnO}_3:\text{Tb}^{3+}$ by addition of alkali ions // *Physica B*. – 2013. – Vol. 412. – P. 36-40.
14. Zhang J., Chen B., Liang Z., Li X., Sun J., Cheng L., Zhong H. Optical transition and thermal quenching mechanism in $\text{CaSnO}_3:\text{Eu}^{3+}$ phosphors // *Journal of Alloys and Compounds*. – 5 November 2014. – Vol. 612. – P. 204-209.
15. Castelli I.E., Olsen T., Datta S., Landis D.D., Dahl S., Thygesen K.S., Jacobsen K.W. Computational Screening of Perovskite Metal Oxides for Optimal Solar Light Capture // *Energy and Environmental Science*. – 2012. – Issue. 2. – Vol. 5. – P. 5814-5819.
16. Henriques J.M., Caetano E.W.S., Freire V.N., J.A.P. da Costa, Albuquerque E.L. Structural, electronic, and optical absorption properties of orthorhombic CaSnO_3 through ab initio calculations // *Journal of physics: Condensed Matter*. – 2007. – Vol. 19. – P. 106214 (1–9).
17. Protasov N.M. Structural modeling of complex oxides with structure of a perovskite in partially covalent approach. – Moscow: Lomonosov Moscow State University, 2011. – 51 p.
18. Pang T., Lu W., Shen W. Chromaticity modulation of upconversion luminescence in $\text{CaSnO}_3:\text{Yb}^{3+}, \text{Er}^{3+}, \text{Li}^{+}$ phosphors through Yb^{3+} concentration, pumping power and temperature // *Physica B: Physics of Condensed Matter*. – 1 December 2016. – Vol. 502. – P. 11-15.
19. Pang X.L., Jia C.H., Li G.Q., Zhang W.F. Bright white upconversion luminescence from $\text{Er}^{3+}-\text{Tm}^{3+}-\text{Yb}^{3+}$ doped CaSnO_3 powders // *Optical Materials*. – 2011. – Vol. 34. – P. 234-238.
20. Твердотельные лазеры с полупроводниковой накачкой ближнего и среднего ИК-диапазонов спектра (2 мкм, 3-8 мкм) на основе кристаллов и керамик, активированных ионами Tm и Ho: отчет о НИР / ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва»; рук. Рябочкина П.А.; исполн.: Антипов О.Л., Чупрунов Е.В., Ломонова Е.Е. – Саранск, 2012. – 83 с. – № ГР 01201002318. – Инв. № 53/39-10.

REFERENCES

1. Mar'ina U.A., Vorob'ev V.A. Issledovanie lyuminescentnykh svoystv stannata kal'tsiya CaSnO_3 , aktivirovannogo ionami redkozemel'nykh metallov [The study of fluorescent properties of calcium stannate CaSnO_3 , activated with rare earth metals], *Vestnik SKFU: nauchnyy zhurnal* [Newsletter of North-Caucasus Federal University], 2016, No. 4 (55), pp. 36-41.
2. Mar'ina U.A., Mar'in A.P., Vorob'ev V.A. Sintez i issledovanie lyuminescentnykh svoystv $\text{CaSnO}_3:\text{Yb}^{3+}, \text{RE}^{3+}$ (RE=Er, Ho, Tm) [Synthesis and study of luminescent properties of system $\text{CaSnO}_3:\text{Yb}^{3+}, \text{RE}^{3+}$ (RE=Er, Ho, Tm)], *Vestnik SKFU: nauchnyy zhurnal* [Newsletter of North-Caucasus Federal University], 2017, No. 2 (59), pp. 21-26.
3. Mar'ina U.A., Vorob'ev V.A., Mar'in A.P. Vliyanie kontsentratsii primesi Yb i tipa plavnaya na lyuminescentnyye svoystva $\text{CaSnO}_3:\text{Yb}$ [Influence of concentration of Yb impurity and type of mineralizer on luminescent properties $\text{CaSnO}_3:\text{Yb}$], *Nauchnye issledovaniya i razrabotki molodykh uchenykh: materialy XIV mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Novosibirsk, 31 oktyabrya, 9 noyabrya 2016 g.* [Research and development of young scientists: materials XIV of the international youth scientific and practical conference, Novosibirsk, October 31, November 9, 2016], under the general edition S.S. Chernova. Novosibirsk: Izd-vo TsRNS, 2016.
4. Mar'ina U.A., Vorob'ev V.A. Osobennosti sinteza perovskitopodobnykh struktur tipa MSnO_3 (M=Ba, Sr, Ca) i issledovanie ikh lyuminescentnykh svoystv [Features of synthesis the perovskitopodobnykh of structures like MSnO_3 (M=Ba, Sr, Ca) and research of their luminescent properties], *Vestnik SKFU: nauchnyy zhurnal* [Newsletter of North-Caucasus Federal University], 2016, No. 1 (52), pp. 7-13.
5. Zhang W.F., Tang J., Ye J. Photoluminescence and photocatalytic properties of SrSnO_3 perovskite, *Chemical Physics Letters*, 2006, Vol. 418, pp. 174-178.
6. Bohnemann J., Libanorib R., Moreirab M.L., Longo E. High-efficient microwave synthesis and characterisation of SrSnO_3 , *Chemical Engineering Journal*, 2009, No. 155, pp. 905-909.

7. *Sim H., Cheong S.W., Kim B.G.* Octahedral tilting induced ferroelectricity in $\text{ASnO}_3/\text{BSnO}_3$ superlattice, *Materials Science*, 15 May 2013.
8. *Gavrilova L.Ya.* Methods of synthesis and research of perspective materials: education guidance. Yekaterinburg: Ural State University of name A.M. Gorky, 2008, 74 p.
9. *Hong L., Eligio C.I., Sommer T.K., Wedel J.K.* Strain sensitivity of band gaps of Sn-containing semiconductors, *Physical Review*, 2015, B. 91, pp. 045204 (1–6).
10. *Lei B., Li B., Zhang H., Li W.* Preparation and luminescence properties of $\text{CaSnO}_3:\text{Sm}^{3+}$ phosphor emitting in the reddish orange region, *Optical Materials*, 2007, Vol. 29, pp. 1491-1494.
11. *Gordo V.O., Arslanli Y.T., Canimoglu A., Ayvacikli M., Gobato Y.G., Henini M., Can N.* Visible to infrared low temperature luminescence of Er^{3+} , Nd^{3+} and Sm^{3+} in CaSnO_3 phosphors, *Applied Radiation and Isotopes*, May 2015, Vol. 99, pp. 69-76.
12. *Liu Z., Liu Y.* Synthesis and luminescent properties of a new green afterglow phosphor $\text{CaSnO}_3:\text{Tb}$, *Materials Chemistry and Physics*, 2005, Vol. 93, pp. 129-132.
13. *Liang Z., Zhang J., Sun J., Li X. etc.* Enhancement of green long lasting phosphorescence in $\text{CaSnO}_3:\text{Tb}^{3+}$ by addition of alkali ions, *Physica B*, 2013, Vol. 412, pp. 36-40.
14. *Zhang J., Chen B., Liang Z., Li X., Sun J., Cheng L., Zhong H.* Optical transition and thermal quenching mechanism in $\text{CaSnO}_3:\text{Eu}^{3+}$ phosphors, *Journal of Alloys and Compounds*, 5 November 2014, Vol. 612, pp. 204-209.
15. *Castelli I.E., Olsen T., Datta S., Landis D.D., Dahl S., Thygesen K.S., Jacobsen K.W.* Computational Screening of Perovskite Metal Oxides for Optimal Solar Light Capture, *Energy and Environmental Science*, 2012, Issue. 2, Vol. 5, pp. 5814-5819.
16. *Henriques J.M., Caetano E.W.S., Freire V.N., J.A.P. da Costa, Albuquerque E.L.* Structural, electronic, and optical absorption properties of orthorhombic CaSnO_3 through ab initio calculations, *Journal of physics: Condensed Matter.*, 2007, Vol. 19, pp. 106214 (1–9).
17. *Protasov N.M.* Structural modeling of complex oxides with structure of a perovskite in partially covalent approach. Moscow: Lomonosov Moscow State University, 2011, 51 p.
18. *Pang T., Lu W., Shen W.* Chromaticity modulation of upconversion luminescence in $\text{CaSnO}_3:\text{Yb}^{3+}, \text{Er}^{3+}, \text{Li}^+$ phosphors through Yb^{3+} concentration, pumping power and temperature, *Physica B: Physics of Condensed Matter.*, 1 December 2016, Vol. 502, pp. 11-15.
19. *Pang X.L., Jia C.H., Li G.Q., Zhang W.F.* Bright white upconversion luminescence from $\text{Er}^{3+}-\text{Tm}^{3+}-\text{Yb}^{3+}$ doped CaSnO_3 powders, *Optical Materials*, 2011, Vol. 34, pp. 234-238.
20. Tverdotel'nye lazery s poluprovodnikovoy nakachkoy blizhnego i srednego IR–diapazonov spektra (2 mkm, 3-8 mkm) na osnove kristallov i keramik, aktivirovannykh ionami Tm i Ho: otchet o NIR [Solid-state lasers with semiconductor pump of short- and average IR-ranges (2 micron, 3-8 micron) on the basis of crystals and ceramics, activated by ions Tm и Ho: report on Research work], FGBOU VPO «MGU im. N.P. Ogareva»; ruk. Ryabochkina P.A.; ispoln.: Antipov O.L., Chuprunov E.V., Lomonova E.E [Moscow State University of N.P. Ogaryov; head Ryabochkina P.A.; performers: Antipov O.L., Chuprunov E.V., Lomonova E.E]. Saransk, 2012, 83 s. No. GR 01201002318. Inv. № 53/39-10.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. В.Я. Мартенс.

Марьяна Ульяна Андреевна – Институт электроэнергетики, электроники и нанотехнологий СКФУ; e-mail: ulyana-ne@mail.ru; Ставрополь, проспект Кулакова, 2; тел.: 89197368305; кафедра технологии наноматериалов; аспирант.

Воробьев Виктор Андреевич – e-mail: lum@mail.ru; кафедра технологии наноматериалов; д.т.н.; с.н.с.; профессор.

Марьян Александр Петрович – e-mail: kosmostech@yandex.ru; кафедра технологии наноматериалов; аспирант.

Mar'ina Ul'ana Andreevna – Institute of power engineering, electronics and nanotechnology of NCFU; e-mail: ulyana-ne@mail.ru; 2, Kulakov avenue, Stavropol', Russia; phone: +79197368305; the department of nanomaterials technology; postgraduate student.

Vorob'ev Viktor Andreevich – e-mail: lum@mail.ru; the department of nanomaterials technology; dr. of eng. sc.; senior research fellow; professor.

Mar'in Alexandr Petrovich – e-mail: kosmostech@yandex.ru; the department of nanomaterials technology; postgraduate student.