

**ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ /
PHYSICAL CHARACTERISTICS AND THEIR STUDY**

Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2024. Т. 27, № 4. С. 348—357.

DOI: 10.17073/1609-3577j.met202408.607

УДК 621.178.152.341.4

**Особенности ап–конверсионной люминесценции
концентрационных рядов монокристаллов
и наночастиц SrF₂—ErF₃ при возбуждении
на уровень ⁴I_{11/2} ионов Er³⁺**

© 2024 г. С. В. Гущин¹, П. А. Рябочкина¹✉, А. А. Ляпин¹, С. В. Кузнецов²,
В. А. Конюшкин², А. Н. Накладов², В. Ю. Пройдакова²

¹ *Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
ул. Большевикская, д. 68, Саранск, 430005, Российская Федерация*

² *Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук,
ул. Вавилова, д. 38, Москва, 119991, Российская Федерация*

✉ Автор для переписки: ryabochkina@freemail.mrsu.ru

Аннотация. Выполнен сравнительный анализ спектрально–люминесцентных характеристик ап–конверсионной люминесценции в видимой области спектра концентрационных рядов монокристаллов и наночастиц (1 – x) % (мол.) SrF₂ x % (мол.) ErF₃ (x = 1,6, 3,2, 5,3, 7,4, 11,5, 13,6 и 15,7 %) при возбуждении излучением с длиной волны 0,972 мкм на уровень ⁴I_{11/2} ионов Er³⁺. Предложены процессы, приводящие к возникновению ап–конверсионной люминесценции в видимом спектральном диапазоне в монокристаллах и наночастицах SrF₂—ErF₃ при возбуждении излучением с длиной волны 0,972 мкм уровня ⁴I_{11/2} ионов Er³⁺. Выявлены механизмы взаимодействия ионов Er³⁺ в монокристаллах и наночастицах SrF₂—ErF₃, вероятность которых возрастает с увеличением концентрации ионов Er³⁺.

Ключевые слова: ап–конверсионная люминесценция, монокристаллы и наночастицы SrF₂—ErF₃, ионы Er³⁺

Для цитирования: Гущин С.В., Рябочкина П.А., Ляпин А.А., Кузнецов С.В., Конюшкин В.А., Накладов А.Н., Пройдакова В.Ю. Особенности ап–конверсионной люминесценции концентрационных рядов монокристаллов и наночастиц SrF₂—ErF₃ при возбуждении на уровень ⁴I_{11/2} ионов Er³⁺. *Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники.* 2024; 27(4): 348—357. <https://doi.org/10.17073/1609-3577j.met202408.607>

© 2024 National University of Science and Technology “MISIS”.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Features of up–conversion luminescence in concentration series of SrF₂–ErF₃ single crystals and nanoparticles under excitation at the ⁴I_{11/2} level of Er³⁺ ions

S. V. Gushchin¹, P. A. Ryabochkina¹✉, A. A. Lyapin¹, S. V. Kuznetsov²,
V. A. Konyushkin², A. N. Nakladov², V. Yu. Proydakova²

¹ *National Research Ogarev Mordovia State University,
68 Bolshevistskaya Str., Saransk 430005, Russian Federation*

² *Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences,
38 Vavilova Str., Moscow 119991, Russian Federation*

✉ Corresponding author: ryabochkina@freemail.mrsu.ru

Abstract. The comparative analysis of the spectral–luminescent characteristics of upconversion luminescence in the visible spectral range for concentration series of single crystals and nanoparticles (1 – x)mol.%SrF₂–xmol.%ErF₃ (x = 1.6%, 3.2%, 5.3%, 7.4%, 11.5%, 13.6%, 15.7%) under excitation with radiation at a wavelength of 0.972 μm to the ⁴I_{11/2} level of Er³⁺ ions has been conducted. Interaction mechanisms in SrF₂–ErF₃ single crystals and nanoparticles were proposed based on the analysis of changes in the ratio of lines in the luminescence excitation spectra from the ⁴F_{9/2} level under excitation to the ⁴F_{7/2} level of Er³⁺ ions.

The model for the occurrence of upconversion luminescence in the visible spectral range in SrF₂–ErF₃ single crystals and nanoparticles under excitation with radiation at a wavelength of 0.972 μm to the ⁴I_{11/2} level of Er³⁺ ions has been proposed.

Keywords: upconversion luminescence, SrF₂–ErF₃ single crystals and nanoparticles, Er³⁺ ions

For citation: Gushchin S.V., Ryabochkina P.A., Lyapin A.A., Kuznetsov S.V., Konyushkin V.A., Nakladov A.N., Proydakova V.Yu.. Features of up–conversion luminescence in concentration series of SrF₂–ErF₃ single crystals and nanoparticles under excitation at the ⁴I_{11/2} level of Er³⁺ ions. *Izvestiya vuzov. Materialy elektronnoi tekhniki = Materials of Electronics Engineering*. 2024; 27(4): 348–357. <https://doi.org/10.17073/1609-3577j.met202408.607>

Введение

Ап–конверсионные материалы, характеризующиеся люминесценцией в видимом спектральном диапазоне при ее возбуждении инфракрасным (ИК) излучением, широко используются для визуализаторов, биоимиджинга, при разработке дисплеев, устройств фотовольтаики и т. д. [1–3]. Неорганические ап–конверсионные материалы представляют собой оксидные, фторидные и оксисульфидные соединения, содержащие редкоземельные ионы, например, Er³⁺, Ho³⁺, Tm³⁺.

Более низкие значения энергии фононов, характерные для фторидных материалов, приводят к меньшим значениям вероятности безызлучательных переходов между энергетическими уровнями примесных редкоземельных (РЗ) ионов, что повышает эффективность безызлучательного переноса энергии между данными ионами. Среди фторидных материалов, характеризующихся ап–конверсионной люминесценцией в видимой области

спектра при возбуждении ИК–излучением, следует особо выделить твердые растворы MF₂–ErF₃ (M²⁺ = Ca²⁺, Sr²⁺, Ba²⁺), легированные РЗ–ионами. В настоящее время изучению ап–конверсионной люминесценции ионов Er³⁺ во фторидных твердых растворах MF₂–ErF₃ (M²⁺ = Ca²⁺, Sr²⁺, Ba²⁺) при возбуждении уровней ⁴I_{11/2} и ⁴I_{13/2} ионов Er³⁺ посвящено значительное количество исследований [4–29]. Следует заметить, что исследования ап–конверсионной люминесценции в видимой области спектра ионов Er³⁺ при возбуждении уровней ⁴I_{11/2}, ⁴I_{13/2} проводились как для монокристаллов MF₂–ErF₃ (M²⁺ = Ca²⁺, Sr²⁺, Ba²⁺) [4–23], так и для наночастиц этих материалов [24–29].

В работе [29] авторами впервые были представлены результаты исследований ап–конверсионной люминесценции наночастиц SrF₂–ErF₃ в видимой области спектра при возбуждении ионов Er³⁺ на уровень ⁴I_{11/2} излучением с длиной волны 0,972 мкм. Однако на данный момент нам не удалось найти исследования, содержащие сравни-