

ОПТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ И ЛАЗЕРНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ В СМЕШАННОМ КРИСТАЛЛЕ $\text{BaY}_{1,8}\text{Lu}_{0,2}\text{F}_8$, АКТИВИРОВАННОМ ИОНАМИ Er^{3+}

А. В. Астраханцева^{1*}, А. А. Шавельев¹, К. Н. Болдырев², А. Г. Николаев¹,
А. С. Низамутдинов¹, А. А. Корниенко³, Е. Б. Дунина³

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет
420008, Российской Федерации, Казань, ул. Кремлевская, д. 18

*E-mail: anya4324@gmail.com

²Институт Спектроскопии РАН
108840, Российской Федерации, Москва, ул. Физическая, д. 5
³Витебский государственный технологический университет
210038, Беларусь, Витебск, Московский проспект, д. 72

В данной работе представлено исследование спектрально-кинетических характеристик смешанных кристаллов $\text{BaY}_{1,8}\text{Lu}_{0,2}\text{F}_8:\text{Er}^{3+}$ с различной концентрацией ионов Er^{3+} . Также представлены рассчитанные в рамках теории Джадда-Офельта параметры интенсивности, вероятности спонтанных переходов, коэффициенты ветвления и времена жизни возбужденных состояний. Обсуждаются эксперименты по получению лазерной генерации на кристалле $\text{BaY}_{1,8}\text{Lu}_{0,2}\text{F}_8:\text{Er}^{3+}$ (30,0 ат. %) на длине волны 2,7 мкм.

Для детектирования и контроля концентрации парниковых газов в атмосфере необходимо создание лазерных газоанализаторов, использующих методику дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии. Такие газоанализаторы могут быть основаны на лазерах, излучающих на длине волны около 2,7 мкм [1]. Редкоземельный ион Er^{3+} является одним из наиболее популярных лазерных ионов, излучающих в ближней и средней области ИК спектра, поскольку он позволяет получить эффективную лазерную генерацию на длинах волн около 1,5 и 2,7 мкм, которые соответствуют группам линий наибольшего поглощения воды, углекислого газа и метана [2].

Генерация лазерного излучения на длине волны около 2,7 мкм в матрицах, легированных ионами Er^{3+} , реализуется между двумя возбужденными состояниями $^4\text{I}_{11/2}$ и $^4\text{I}_{13/2}$. Для большинства твердотельных лазерных сред время жизни верхнего лазерного состояния оказывается меньше времени жизни нижнего, такие переходы называются самоограниченными. При высоких концентрациях легирования активной примесью явления кросс-релаксации и ап-конверсии помогают снять условия самоограниченности [3, 4].

Цель данной работы – охарактеризовать кристалл $\text{BaY}_{1,8}\text{Lu}_{0,2}\text{F}_8:\text{Er}^{3+}$ как перспективную активную среду для лазера, излучающего на длине волны около 3 мкм.

В настоящей работе были исследованы спектрально-кинетические характеристики кристаллов $\text{BaY}_{1,8}\text{Lu}_{0,2}\text{F}_8:\text{Er}^{3+}$ с концентрациями ионов 20,0 и 30,0 % в ИК области спектра. Показано, что для кристаллов $\text{BaY}_{1,8}\text{Lu}_{0,2}\text{F}_8:\text{Er}^{3+}$ характерно уширение линии межмультиплетного перехода на длине волны 2,7 мкм по сравнению с кристаллом $\text{LiYF}_4:\text{Er}^{3+}$. Для переходов $^4\text{I}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$, $^4\text{I}_{13/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ и $^4\text{I}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$ были рассчитаны значения сечений вынужденного излучения (рис. 1). Для серии образцов кристаллов $\text{BaY}_{1,8}\text{Lu}_{0,2}\text{F}_8:\text{Er}^{3+}$ с различной концентрацией ионов Er^{3+} определено время жизни состояний $^4\text{I}_{11/2}$ и $^4\text{I}_{13/2}$. Показано, что при высоких концентрациях ионов Er^{3+} (20,0 и 30,0 ат. %) время жизни верхнего лазерного уровня $^4\text{I}_{11/2}$ становится больше времени жизни нижнего лазерного уровня $^4\text{I}_{13/2}$, что говорит о снятии самоограниченности на переходе $^4\text{I}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$. Зависимость времени жизни состояний $^4\text{I}_{11/2}$ и $^4\text{I}_{13/2}$ от концентрации ионов Er^{3+} в кристалле $\text{BaY}_{1,8}\text{Lu}_{0,2}\text{F}_8$ представлена на рис. 2.

На основе спектров поглощения в рамках теории Джадда-Офельта были определены параметры интенсивности, вероятности спонтанных переходов, времена жизни возбужденных состояний и коэффициенты ветвления. Рассчитанные в рамках теории Джадда-Офельта значения времен жизни возбужденных состояний и коэффициентов ветвления были сравнены с экспериментальными значениями.

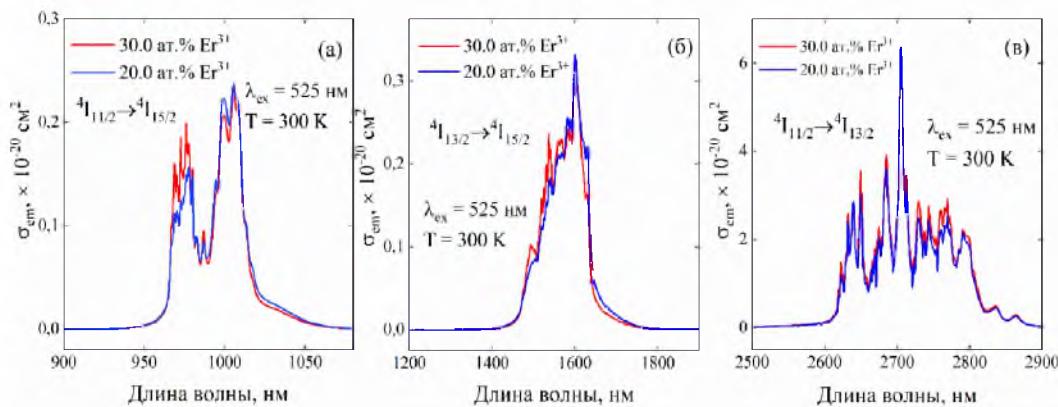


Рис. 1. Сечения вынужденного излучения кристаллов $\text{BaY}_{1.8}\text{Lu}_{0.2}\text{F}_8:\text{Er}^{3+}$

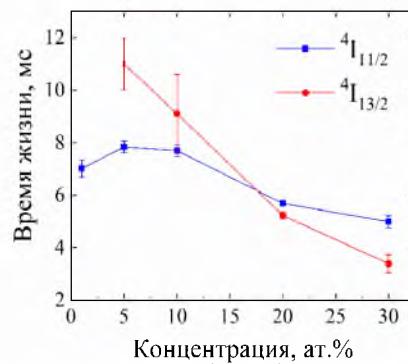


Рис. 2. Зависимость времени жизни состояний $4\text{I}_{11/2}$ и $4\text{I}_{13/2}$ от концентрации ионов Er^{3+} в кристалле $\text{BaY}_{1.8}\text{Lu}_{0.2}\text{F}_8:\text{Er}^{3+}$

Также в настоящей работе обсуждаются эксперименты по получению лазерной генерации на длине волны 2,7 мкм на кристалле $\text{BaY}_{1.8}\text{Lu}_{0.2}\text{F}_8:\text{Er}^{3+}$ с концентрацией ионов Er^{3+} 30,0 ат.%, в том числе с перестройкой длины волны. Обсуждаются выводы о влиянии снятия условия самоограниченности перехода $4\text{I}_{11/2}\rightarrow 4\text{I}_{13/2}$ на получение генерации лазерного излучения. Приведены поляризационные зависимости эффективности лазерной генерации.

Работа выполнена в рамках субсидии, выделенной Казанскому (Приволжскому) федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2024-0004.

Список литературы

1. P. Siozos, et al. Autonomous differential laser device for remote sensing of atmospheric greenhouse gases // Remote Sensing, vol. 14, iss. 3, p. 460, 2022.
2. K. N. Gorbachenya, et al. Synthesis and Laser-Related Spectroscopy of Er:Y₂O₃ Optical Ceramics as a Gain Medium for In-Band-Pumped 1.6 μm Lasers // Crystals, vol. 12 iss. 4, p. 519, 2022.
3. F. Auzel. Up-conversion in RE-doped Solids // Springer Series in Materials Science, pp. 266-319, 2005.
4. A. M. Tkachuk, et.al. Upconversion properties, luminescence kinetics and cw diode-pumped 2.8- μm laser action in Er-doped double-fluoride crystals // Laser Optics 2000: Solid State Lasers, vol. 4350, pp. 81-89, 2001.