

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛА $\text{Sm}^{3+}:\text{KY}(\text{WO}_4)_2$

Дернович О.П.¹, Демеш М.П.¹, Гусакова Н.В.¹, Ясюкевич А.С.¹, Кулешов Н.В.¹
Павлюк А.А.², Корниенко А.А.³, Дунина Е.Б.³

¹НИИ «Оптических материалов и технологий» БНТУ, Минск, Республика Беларусь

²Институт неорганической химии имени А.В. Николаева Сибирского
отделения РАН, Новосибирск, Российская Федерация

³Витебский государственный технологический университет, Витебск, Республика Беларусь

Кристаллы, легированные ионами Sm^{3+} , являются перспективными материалами для создания твердотельных лазеров видимого спектрального диапазона без необходимости использования нелинейного преобразования частоты [1].

На данный момент проведены исследования некоторых спектроскопических свойств ряда легированных ионами самария монокристаллов: $\text{Sm}^{3+}:\text{Y}_3\text{A}_5\text{O}_{12}$ [2], $\text{Sm}^{3+}:\text{Gd}_2\text{SiO}_5$ [3], $\text{Sm}^{3+}:\text{K}_2\text{YF}_5$ [4], $\text{Sm}^{3+}:\text{BaY}_2\text{F}_8$ [5], $\text{Sm}^{3+}:\text{LiLuF}_4$, $\text{Sm}^{3+}:\text{SrAl}_2\text{O}_9$ [6], фосфатных, фторфосфатных и боратных стекол [7,8].

В этой работе представлены спектроскопические свойства ионов Sm^{3+} в кристалле калий-иттриевого вольфрамата $\text{KY}(\text{WO}_4)_2$ (KYW). Кристалл $\text{Sm}:\text{KYW}$ был выращен по модифицированному методу Чохральского в условиях низкотемпературного градиента из раствора-расплава в платиновом тигле с использованием соединения $\text{K}_2\text{W}_2\text{O}_7$ в качестве растворителя. Были получены монокристаллы $\text{Sm}:\text{KYW}$ с содержанием ионов Sm^{3+} 2,1 ат.%. Для спектроскопических исследований были вырезаны относительно осей N_m , N_p и N_g и отполированы несколько экспериментальных образцов.

Измерение спектров поглощения кристалла производилось на двулучевом спектрофотометре Cary 5000 Varian при комнатной температуре в спектральном диапазоне 330–1700 нм. Вследствие анизотропии оптических свойств кристалла KYW, спектры поглощения регистрировались в поляризованном свете с направлением поляризации вдоль осей оптических индикатрис N_m , N_p , N_g .

Расчет поперечных сечений поглощения ионов самария в кристалле производился по формуле:

$$\sigma_{abs}(\lambda) = \frac{k(\lambda)}{N_{Sm}}$$

где $k(\lambda)$ – коэффициент поглощения, $N_{Sm}=1,37 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$ – концентрация ионов Sm^{3+} .

Полученные спектры поперечного сечения поглощения кристалла $\text{Sm}:\text{KYW}$ в спектральной области 340–600 нм для трех поляризаций приведены на рисунке 1.

Максимальное значение поперечного сечения поглощения составило $7,7 \times 10^{-20} \text{ см}^2$ на длине

волны 404,6 нм, соответствующей переходам ${}^6\text{H}_{5/2} \rightarrow {}^6\text{P}_{3/2, 5/2}$, для $E||N_m$ поляризации.

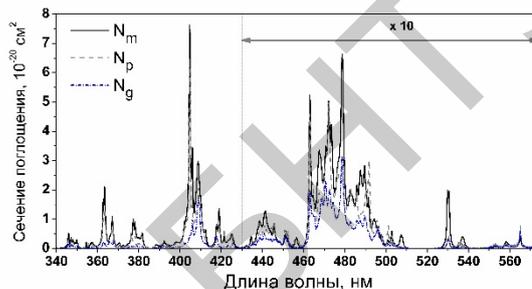


Рисунок 1 – Спектры поперечных сечений поглощения кристалла $\text{Sm}^{3+}:\text{KYW}$ в поляризованном свете

Знание спектров поглощения позволяет в рамках модифицированного метода Джадда-Офелта [9] рассчитать радиационное время жизни τ_{rad} уровня ${}^4\text{G}_{5/2}$ и коэффициенты ветвления люминесценции β_{calc} , определяющие вероятность спонтанного перехода возбужденных частиц на определенный уровень с испусканием излучения. Вычисленные значения представлены в табл. 1.

Спектры люминесценции при возбуждении лазерным диодом на длине волны 405 нм регистрировались в поляризованном свете в видимом спектральном диапазоне 550–730 нм, что соответствует переходам с энергетического уровня ${}^4\text{G}_{5/2}$ на уровни ${}^6\text{H}_{5/2}$, ${}^6\text{H}_{7/2}$, ${}^6\text{H}_{9/2}$, ${}^6\text{H}_{11/2}$. С помощью спектров, которые предварительно были скорректированы с учетом спектральной чувствительности экспериментальной установки, были рассчитаны экспериментальные коэффициенты ветвления люминесценции β_{meas} с возбужденного состояния ${}^4\text{G}_{5/2}$ по формуле

$$\beta_{J,J'} = \frac{\int \lambda_{J,J'}(\lambda) d\lambda}{\sum_J \int \lambda_{J,J'}(\lambda) d\lambda},$$

где $I_{J,J'}(\lambda)$ – мощность люминесценции в относительных единицах.

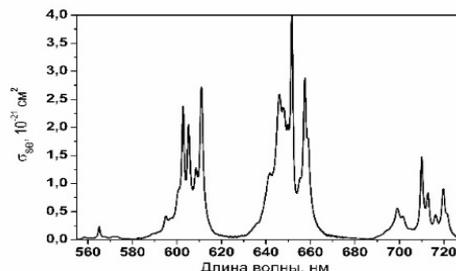


Рисунок 2 – Спектр вынужденного излучения кристалла $\text{Sm}^{3+}:\text{KYW}$ (поляризация $E||N_m$)

Методом Фюхтбауэра-Ладенбурга на основании спектров люминесценции, кроме того, были рассчитаны сечения стимулированного испускания σ_{se} . Наибольшей интенсивностью характеризовался спектр для излучения, поляризованного вдоль оси N_m , приведенный на рисунке 2. Пиковые значения поперечных сечений для четырех переходов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры переходов с уровня ${}^4G_{5/2}$ кристалла $Sm^{3+}:KYW$: 1 – переход, 2 – спектральный диапазон, нм; 3 – рассчитанный коэффициент ветвления люминесценции β_{calc} ; 4 – экспериментально полученный коэффициент ветвления люминесценции β_{meas} ; 5 – сечение стимулированного испускания σ_{se} , 10^{-21} см²; 6 – радиационное время жизни τ_{rad} , мкс

1	2	3	4	5	6
${}^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{5/2}$	550-582	0.033	0.0873	0.25	950
${}^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{7/2}$	585-625	0.295	0.3534	2.7	
${}^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{9/2}$	625-680	0.4568	0.4934	4	
${}^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{11/2}$	685-730	0.08	0.0659	1.47	

С целью изучения динамики возбужденного состояния ${}^4G_{5/2}$ проводились кинетические люминесцентные измерения. Возбуждение люминесценции осуществлялось в области 480 нм на высоколежащие энергетические уровни ${}^4F_{5/2}+{}^4I_{13/2}$ с последующей быстрой безызлучательной релаксацией на исследуемый уровень ${}^4G_{5/2}$. Сигнал люминесценции был зарегистрирован на длинах волн 607, 647 и 712 нм. Во всех случаях сигнал люминесценции не имел участка разгорания, а затухание происходило по моноэкспоненциальному закону (рис.3). Измеренное время жизни уровня ${}^4G_{5/2}$ иона Sm^{3+} составило 600 мкс.

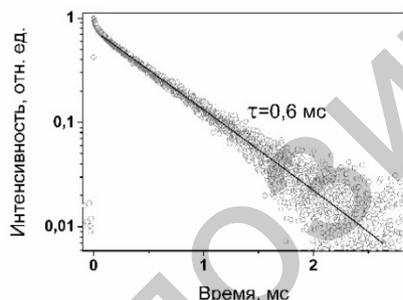


Рисунок 3 – Кинетика затухания люминесценции с уровня ${}^4G_{5/2}$ в кристалле $Sm^{3+}:KYW$

Квантовый выход люминесценции, определяемый как отношение измеренного времени жизни возбужденного уровня в кристалле к радиационному времени жизни этого уровня, рассчитанному по теории Джадда-Офельта, составил 63%.

Таким образом, определены спектры поперечного сечения поглощения и стимулированного испускания кристалла $Sm^{3+}:KYW$ в поляризованном свете. Модифицированным методом Джадда-Офельта рассчитаны спектроскопические параметры материала. Радиационное время жизни уровня ${}^4G_{5/2}$ составляет 950 мкс. Наиболее интенсивная полоса поглощения наблюдается на переходе ${}^6H_{5/2} \rightarrow {}^6P_{3/2, 5/2}$ с пиковым значением сечения поглощения $7,7 \times 10^{-20}$ см² для излучения, поляризованного вдоль оси оптической индикатрисы N_m . Максимальное сечение стимулированного испускания приходится на длину волны 652 нм и составляет 4×10^{-21} см² для той же поляризации излучения.

1. Spectroscopy and laser operation of Sm^{3+} -doped lithium lutetium tetrafluoride ($LiLuF_4$) and strontium hexaaluminate ($SrAl_2O_9$) / D.-T. Marzahl [et. al.] // Optics Express. – 2015. – Vol. 23, No.16. – P. 21118-21127.
2. Absorption spectra and energy levels of $Sm^{3+}:Y_3Al_5O_{12}$ / J.B. Gruber [et. al.] // Chemical Physics. – 1987. – Vol. 113. – P. 175-186.
3. Optical spectra and excited state relaxation dynamics of Sm^{3+} in Gd_2SiO_5 single crystal / A. Strzep [et.al.] // Appl Phys B. – 2012. – Vol. 106, No. 1. – P. 85-93.
4. Judd–Ofelt analysis of spectroscopic properties of Sm^{3+} ions in K_2YF_5 crystal / P. Van Do [et.al.] // Journal of Alloys and Compounds. – 2012. – Vol. 520. – P. 262-265.
5. Pugh-Thomas, D. Spectroscopic properties and Judd–Ofelt analysis of $BaY_2F_8:Sm^{3+}$ / D. Pugh-Thomas // Journal of the Optical Society of America B. – 2014. – Vol. 31, No. 8. – P. 1777-1785.
6. Spectroscopy and laser operation of Sm^{3+} -doped lithium lutetium tetrafluoride ($LiLuF_4$) and strontium hexaaluminate ($SrAl_2O_9$) / D.-T. Marzahl [et. al.] // Optics Express. – 2015. – Vol. 23, No. 16. – P. 21118-21127.
7. Spectroscopic properties of Sm^{3+} ions in phosphate and fluorophosphate glasses / R. Vijaya [et.al.] // J. Non-Cryst. Sol. – 2013. – Vol. 365, No.1. – P. 85-92.
8. Judd–Ofelt parameters and radiative properties of Sm^{3+} ions doped zinc bismuth borate glasses / A. Agarwal [et.al.] // Optical Materials. – 2009. – Vol. 32, No. 2. – P. 339-344.
9. Dependence of the line strength of $f-f$ transitions on the manifold energy. II. Analysis of Pr^{3+} in KPr_2O_{12} / A.A. Kornienko [et. al.] // Phys. Status Solidi A. – 1990. – Vol. 157. – P. 267-273.

УДК 681

Er,Yb:Ca₃Re₂(VO₃)₄ (Re=Y, Gd) – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ АКТИВНЫЕ СРЕДЫ ДЛЯ ЛАЗЕРОВ, ИЗЛУЧАЮЩИХ В СПЕКТРАЛЬНОМ ДИАПАЗОНЕ 1,5–1,6 мкм

Дейнека Р.В.¹, Горбаченя К.Н.¹, Кисель В.Э.¹, Ясюкевич А.С.¹, Кулешов Н.В.¹, Шеховцов А.Н.², Космына М.Б.²

¹НИЦ «Оптических материалов и технологий» БНТУ, Минск, Республика Беларусь

²Институт монокристаллов НАН Украины, Харьков, Украина

Лазерное излучение спектральной области 1,5–1,6 мкм благодаря ряду преимуществ получило широкое практическое применение в лазерной дальнометрии, системах оптической локации,

медицине. Основным преимуществом данного излучения является сравнительная безопасность для глаз, эта особенность обусловлена высоким коэффициентом поглощения роговицы и хрусталика в