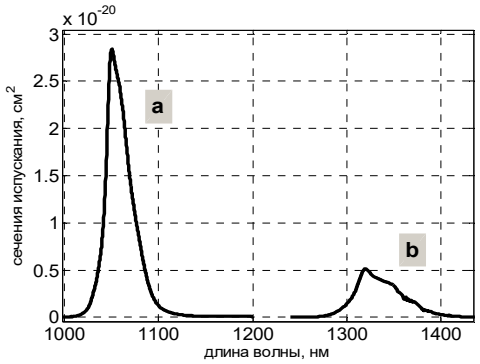

Рисунок 3 – Спектры сечений стимулированного испускания на переходах $^4F_{3/2}\rightarrow{}^4I_{11/2}$ (a) и $^4F_{3/2}\rightarrow{}^4I_{13/2}$ (b)

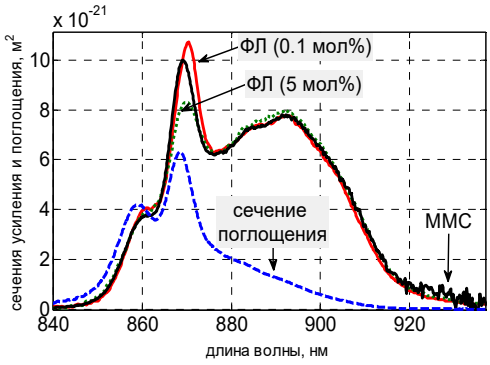

Рисунок 4 – Спектры сечения стимулированного испускания на переходе $^4F_{3/2}\rightarrow{}^4I_{9/2}$ рассчитанные по ФЛ и ММС

В этом случае можно воспользоваться модифицированным методом соответствия (ММС) [2], который свободен от влияния перепоглощения. На рис. 4 представлены спектры сечений стимулированного испускания рассчитанные по ФЛ и ММС. Видно, что для образцов с малым содержанием NdF_3 оба метода приводят к практически одинаковому результату.

При исследовании кинетик затухания люминесценции с уровня $^4F_{3/2}$ был установлен неэкспоненциальный характер затухания люминесценции. Была исследована концентрационная зависимость эффективного времени жизни уровня $^4F_{3/2}$ и было показано, что основным механизмом концентрационного тушения люминесценции является диполь-дипольное взаимодействие.

Таким образом, в данной работе были исследованы спектроскопические характеристики фторфосфатных стекол с различным содержанием NdF_3 группы. На основе спектров сечений поглощения был проведен расчет по Д-О и определены коэффициенты ветвления люминесценции с уровня $^4F_{3/2}$ и его радиационное время жизни. Это позволило рассчитать спектры сечений стимулированного испускания на переходах $^4F_{3/2}\rightarrow{}^4I_{13/2}$, $^4F_{3/2}\rightarrow{}^4I_{11/2}$ и $^4F_{3/2}\rightarrow{}^4I_{9/2}$. Также было показано, что основным механизмом концентрационного тушения люминесценции с уровня $^4F_{3/2}$ является диполь-дипольное взаимодействие.

Литература

1. A.A. Kaminskii, G. Boulon, M. Buoncristiani et al, Spectroscopy of a new laser garnet $Lu_3Sc_2Ga_3O_{12}:Nd^{3+}$, Phys. Stat. Sol. (a), V.141, pp. 471–494, (1994)

2. А.С. Ясюкевич, В.Г. Щербицкий, В.Э. Кисель и др. Интегральный метод соответствия в спектроскопии лазерных кристаллов с примесными центрами, Журнал прикладной спектроскопии, Т. 71, № 2. – С. 187–192, (2004).

УДК 535.37

СПЕКТРАЛЬНО-КИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОКСИФТОРИДНЫХ СТЕКЛОМАТЕРИАЛОВ, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ ТУЛИЯ

Ясюкевич А.С.[1], Демеш М.П.[1], Гусакова Н.В.[1], Дернович О.П.[1], Кулешов Н.В.[1], Рачковская Г.Е.[2]

[1]*НИЦ Оптических материалов и технологий, Белорусский национальный технический университет Минск, Республика Беларусь*

[2]*Белорусский государственный технологический институт, Минск, Республика Беларусь*

Стекла и кристаллы активированные ионами тулия, представляют интерес для создания на их основе лазерных источников излучающих в области спектра 2 мкм. Они находят применения в системах дистанционного зондирования атмосферы, оптической связи, экологического мониторинга окружающей среды. [1].

В данной работе изучены спектроскопические характеристики легкоплавких оксифторидных стекол, синтезированных на основе системы SiO_2–GeO_2–PbO–PbF_2–CdF_2 и активированных ионами туллия Tm^{3+}. Исследуемые оксифторидные стекла отличаются низкой температурой синтеза (950±50 ºС), что выгодно отличает их от оксидных силикатных и боросиликатных стекол, для получения которых требуются более высокие температуры (1300–1500ºС). Кроме того, преимуществом этих стекол является то, что они сочетают в себе хорошие спектроскопические, структурные и тепловые характеристики, а также химическую устойчивость, присущие фторидным и оксидным матрицам. Ионы туллия вводились в состав стекла оксидом Tm_2O_3, содержание которого составляло: 0.01, 0.1, 0.5, 1,0 и 2,0 мол. %.

Спектры поглощения записывались на спектрофотометре Cary 5000, регистрация спектров

люминесценции осуществлялась по методу синхронного детектирования на экспериментальной установке, состоящей из монохроматора МДР 23, синхронного усилителя SR830 и набора фотоприемников на ближнюю инфракрасную и видимую области спектра. В качестве источника возбуждения люминесценции использовался лазерный диод (ЛД), работающий на длине волны 800 нм. Кинетики затухания люминесценции регистрировались на установке, где люминесценция с уровня $^3H_4$ возбуждалась коротким импульсом (длительность ≈ 20 нс, длина волны возбуждающего импульса ≈ 760 нм), выделялась монохроматором МДР 12 и регистрировалась фотоприемником, сопряженным с цифровым запоминающим осциллографом.

На рис. 1 представлены спектры сечений поглощения исследуемых оксифторидных стекол с ионами Tm^{3+}. Полученные спектры сечений позволили провести расчет интенсивностей линий в спектре поглощения по методу Джадда-Офельта (Д-О).

Значения матричных элементов приведенного тензора U были взяты из работы [2]. Экспериментальные и расчетные значения сил осцилляторов представлены в таблице 1.

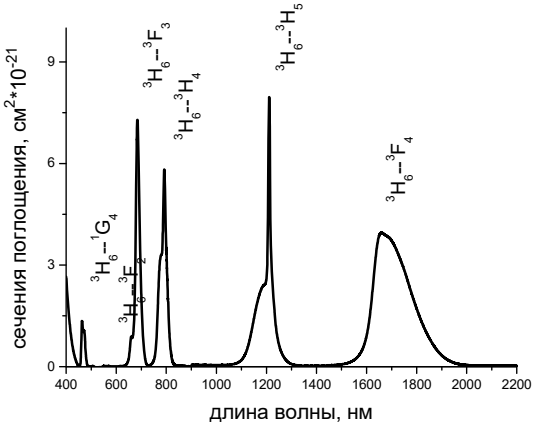

Рисунок 1 – Спектры сечений поглощения ионов Tm^{3+} в образцах оксифторидных стекол

В таблице 2 приведены значения омега параметров, которые получены при подгонке расчетных электродипольных сил осцилляторов к экспериментальным.

Таблица 1 – Экспериментальные $f_{\exp}^{ed}$ и расчетные f_{calc}^{ed} электродипольные силы осцилляторов

Возбужденные состояния	$f_{\exp}^{ed}$ 10^6	f_{calc}^{ed} 10^6
$^3F_4$	3.11	3.12
$^3H_5$	2.05	1.92
$^3H_4$	3.02	3.07
$^3F_3$, $^3F_2$	4.17	4.27
$^1G_4$	1.07	1.01
rms. dev. 10^6	0.12	

Таблица 2 – Омега параметры

Ω_2 10^{20}, см^2	Ω_4 10^{20}, см^2	Ω_6 10^{20}, см^2
4.04	2.95	1.51

Из расчетов по Д-О были получены радиационные времена жизни важных с практической точки зрения уровней энергии $^3F_4$ и $^3H_4$, 4.2 мс и 840 мкс, соответственно.

Для получения генерации в области ≈ 1.7 – ≈ 2 мкм используется переход $^3F_4 \rightarrow {}^3H_6$ (рис. 2).

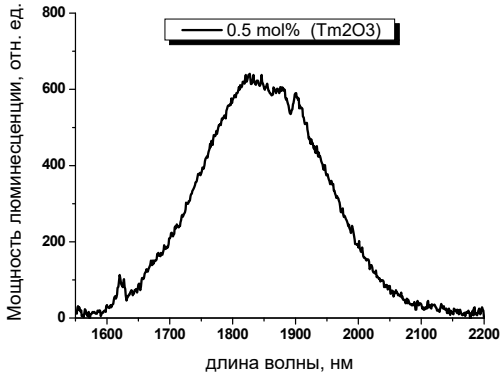

Рисунок 2 – Спектр люминесценции иона Tm^{3+} в оксифторидном стекле на переходе $^3F_4 \rightarrow {}^3H_6$

Весьма эффективным способом заселения верхнего лазерного уровня $^3F_4$ концентрированных тулиевых сред является накачка в области 800 нм (переход $^3H_6 \rightarrow {}^3H_4$) с последующей передачей энергии возбуждения на уровень $^3F_4$ по кросс-релаксационной схеме $^3H_6 + {}^3H_4 \rightarrow 2\ {}^3F_4$. Квантовая эффективность такой схемы накачки ≈ 2. В этой связи представляет интерес изучение процесса донор- акцепторной (Д-А) передачи энергии от возбужденных ионов тулия (доноров) к невозбужденным ионам (акцепторам). Это удобно делать, используя кинетики затухания люминесценции на переходе $^3H_4 \rightarrow {}^3F_4$, которые представлены на рис. 3.

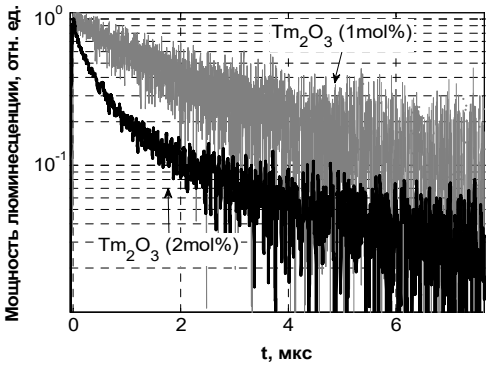

Рисунок 3 – Кинетики затухания люминесценции Tm^{3+} в оксифторидном стекле на переходе $^3H_4 \rightarrow {}^3F_4$

Как видно из рис. 3 затухание носит неэкспоненциальный характер. Для определения доминирующего механизма передачи энергии использован подход, предложенный в [3], в котором

исследуется концентрационная зависимость эффективного времени затухания люминесценции $\tau_{1/e}(N_{Tm})$, определенной по уровню 1/е от мощности люминесценции в начальный момент времени. Такая зависимость для наших материалов представлена на рис.4, там же дана аппроксимациионная зависимость

$$\tau_{1/e}(N_{Tm}) = \frac{\tau_0}{1+(N_{Tm}/N_0)^{S/3}}$$

Здесь τ_0 – внутрицентровое время затухания (при $N_{Tm} \to 0$), N_{Tm} – концентрация ионов Tm^{3+}, N_0 – характерная концентрация ионов (при $N_{Tm} = N_0$ вероятность опустошения уровня $^3H_4$ в результате Д-А взаимодействия равна $1/\tau_0$), S – величина, определяющая мультипольность Д-А взаимодействия ($S = 6$ – диполь-дипольное, $S = 8$ – диполь-квадрупольное и $S = 10$ – квадруполь-квадрупольное взаимодействие).

Для исследуемых оксифторидных стекол были получены следующие величины: $N_0 = 1.65\ 10^{20}$см$^{-3}$, $\tau_0 = 300$ мкс, $S = 10.5$. Это указывает на то, что квадруполь-квадрупольное взаимодействие является определяющим при передаче энергии с возбужденного уровня $^3H_4$ на верхний лазерный уровень $^3F_4$.

Таким образом, для оксифторидных стекол, активированных ионами туллия определены параметры Д-О и установлен механизм кросс-релаксационного заселения верхнего лазерного уровня $^3F_4$.

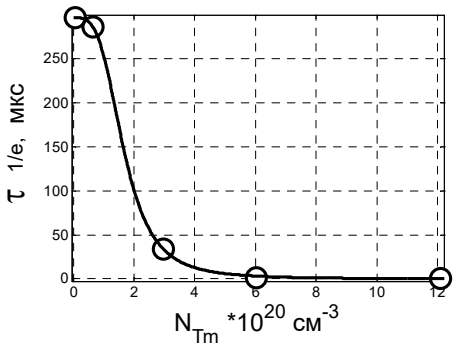

Рисунок 4 – Зависимость $\tau_{1/e}(N_{Tm})$ от концентрации ионов Tm^{3+}

Литература

1. K. Scholle, S. Lamrini, P. Koopmann, P. Fuhrberg, 2 μm laser sources and their possible applications, Frontiers in Guided Wave Optics and Optoelectronics, B. Pal, ed., Intech, 2010, pp. 471–500.

2. B. Walsh et al «Branching ratios cross sections, and radiative lifetimes of rare earth ions in solids: applications to Tm^{3+} and Ho^{3+} ions in LiF_4», J. Appl. Phys., V 83, pp. 2772–2787, (1998)

3. G. Armagan, A.M. Buoncristiani «Excited state dynamics of thulium ions in Yttrium Garnnets», Optical Material V. 1, pp. 11–20, 1992.

УДК 621.373.826

СИСТЕМА ЮСТИРОВКИ И ВАРИАНТ КОНСТРУКЦИИ РЕЗОНАТОРА МИНИАТЮРНОГО ЭРБИЕВОГО ЛАЗЕРА С ПОПЕРЕЧНОЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

Кузьмин В.И.[1,3], Кисель В.Э.[1,2], Фёдорцев Р.В.[1,3], Власенко Е.П.[3]

[1]*Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*
[2]*Научно-исследовательский центр оптических материалов и технологий, Минск, Республика Беларусь*
[3]*Частное предприятие «Ватман-Про», Минск, Республика Беларусь*

Лазеры на эрбиевом стекле находят широкое применение в радарных системах и дальномерах, работающих в импульсном режиме с высокой частотой следования импульсов. Кроме того, рабочая область спектра для данных лазеров является безопасной для зрения человека. Диодная накачка позволяет в лазерах на эрбиевом стекле увеличить частоту следования импульсов (с энергией в одиночном импульсе 1 мДж и выше) до 50 Гц [1].

Резонатор лазера состоит из лазерного диода 1, фокусирующей системы 2, входного плоского зеркала 3 и плоского выходного зеркала 5 (рисунок 1).

Источником накачки служит полупроводниковый диод с максимальной мощностью 25 Вт на длине волны 976 нм. В качестве активного элемента используется кристалл Er(1,5 ат.%),Yb(12 ат.%): YAB толщиной 2 мм, вырезанный перпендикулярно оси «с». В качестве пассивного затвора используется кристалл Co:MALO.

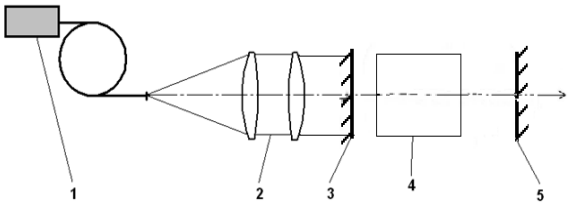

Рисунок 1 – Оптическая схема миниатюрного лазера на эрбиевом стекле