

перспективно использование комплексного подхода, учитывающего существование функционально-корреляционных связей между параметрами, характеризующими технологию лазерной обработки и состояние поверхности материала. Проведенные исследования позволяют повысить эффективность применения лазерной техники при создании новых

технологий поверхностной обработки. Предлагаемый способ позволяет максимально сохранить уникальные индивидуальные свойства материала, успешно компенсировать имеющиеся естественные неоднородности материала и обеспечить стабильно высокие результаты при масштабном применении лазерных технологий.

УДК 535.37

### СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ФТОР-ФОСФАТНЫХ СТЕКОЛ, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ ЭРБИЯ И ИТТЕРБИЯ

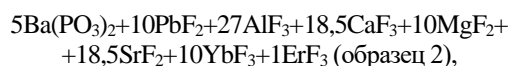
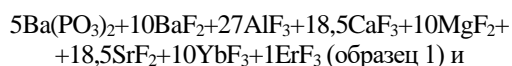
Ясюкевич А.С.<sup>1</sup>, Дернович О. П.<sup>1</sup>, Кулешов Н.В.<sup>1</sup>, Колобкова Е.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИИЦ «Оптических материалов и технологий» БНТУ, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет) Санкт-Петербург, Российская Федерация

Генерация излучения в области спектра 1,5 мкм представляет значительный интерес для применений в системах оптоволоконной связи, для дальнометрии, так как излучение в этой области спектра является условно безопасным для зрения. Особый интерес здесь представляют стекла, активированные ионами эрбия, как активные среды для создания волоконных лазеров и усилителей. Состав стеклянной матрицы во многом определяет спектроскопические и физические свойства активной среды в целом.

В данной работе изучались спектроскопические характеристики эрбий-иттербиевых фторфосфатных стекол вида, которые отличаются наличием групп ВаF<sub>2</sub> и PbF<sub>2</sub>



с целью установить влияние состава стеклянной матрицы на спектроскопические характеристики ионов эрбия.

Синтез стекол осуществлялся при температуре 1050 С° в стеклоуглеродном тигле. Плотность образца 1 – 3,1 г/см<sup>3</sup>, образца 2 – 3,38 г/см<sup>3</sup>. Концентрации ионов Er<sup>3+</sup> и Yb<sup>3+</sup> в образце 1 – 1,5 · 10<sup>20</sup> см<sup>-3</sup> и 1,5 · 10<sup>21</sup> см<sup>-3</sup>, соответственно. Для образца 2 аналогичные величины составляли – 1,55 · 10<sup>20</sup> см<sup>-3</sup> и 1,55 · 10<sup>21</sup> см<sup>-3</sup>, соответственно.

Регистрация спектров поглощения производилась на спектрофотометре Cary 5000, а спектров люминесценции на экспериментальной установке, в состав которой входят набор фотоприемников на инфракрасную и видимую области спектра, монохроматор МДР 23, работающий под управлением компьютера, синхронный усилитель SR830.

На рис. 1 и 2 представлены спектры сечений поглощения образцов 1 и 2, обусловленные переходами с основного уровня <sup>4</sup>I<sub>15/2</sub> на более

высоколежащие для ионов эрбия и для перехода <sup>2</sup>F<sub>5/2</sub> → <sup>2</sup>F<sub>7/2</sub> иона иттербия. Как видно из этих рисунков, никаких существенных различий в спектрах для обоих образцов не наблюдается. Так же не наблюдается существенных различий для спектральных линий люминесценции в ИК (рис. 3) и видимой областях спектра (рис. 4).

Из этого можно сделать вывод, что ионы Ва и Pb не входят в ближайшее окружение ионов эрбия и иттербия и не влияют на их поглощательные и люминесцентные свойства.

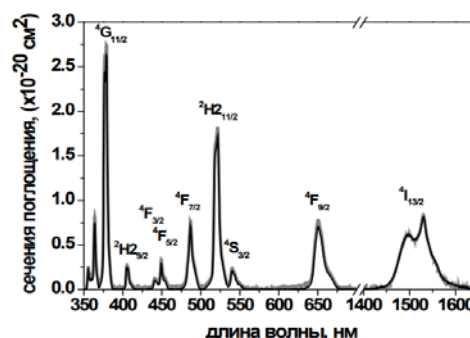


Рисунок 1 – Спектры сечений поглощения ионов Er<sup>3+</sup> в образцах 1 (серый цвет) и 2 (черный цвет). Основной уровень <sup>4</sup>I<sub>15/2</sub>

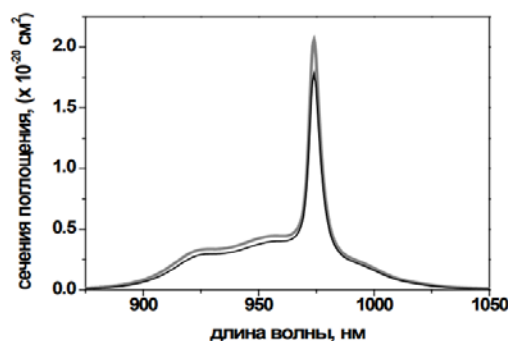


Рисунок 2 – Спектры сечений поглощения Yb<sup>3+</sup> в образцах 1 (серый цвет) и 2 (черный цвет) на переходе <sup>2</sup>F<sub>5/2</sub> → <sup>2</sup>F<sub>7/2</sub>

На основе спектров сечений поглощения (см. рис. 1, образец 1) был проведен расчет интенсивностей линий в спектре поглощения по

методу Джадда-Офельта. Значения матричных элементов приведенного тензора U были взяты из работы [1]. Экспериментальные и расчетные значения сил осцилляторов представлены в таблице 1. В таблице 2 приведены значения омега параметров, которые получаются при подгонке расчетных электродипольных сил осцилляторов к экспериментальным.

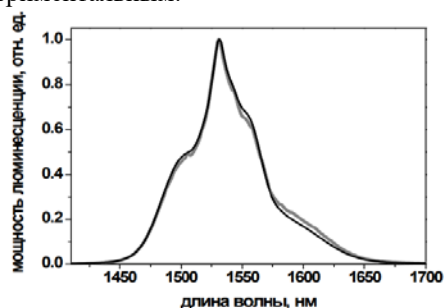


Рисунок 3 – Спектры люминесценции Er<sup>3+</sup> в образцах 1 (серый цвет) и 2 (черный цвет). Переход <sup>4</sup>I<sub>13/2</sub> → <sup>4</sup>I<sub>15/2</sub>

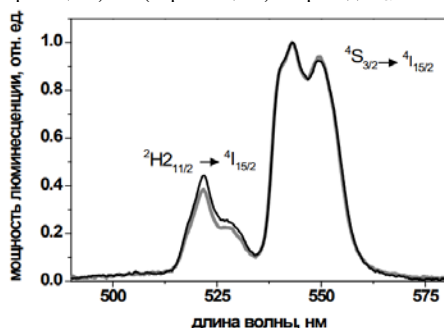


Рисунок 4 – Спектры люминесценции Er<sup>3+</sup> в образцах 1 (серый цвет) и 2 (черный цвет) в видимой области спектра

Таблица 1. Экспериментальные и расчетные электродипольные силы осцилляторов.

Возбужденные состояния	$f_{\text{exp}}^{ed} \cdot 10^6$	$f_{\text{calc}}^{ed} \cdot 10^6$
<sup>4</sup> I <sub>13/2</sub>	2,25	2,10
<sup>4</sup> I <sub>9/2</sub>	0,34	0,39
<sup>4</sup> F <sub>9/2</sub>	2,84	2,83
<sup>4</sup> S <sub>3/2</sub> + <sup>2</sup> H <sub>211/2</sub>	6,66	7,06
<sup>4</sup> F <sub>7/2</sub>	2,45	3,14
<sup>4</sup> F <sub>5/2</sub> + <sup>4</sup> F <sub>3/2</sub>	1,15	1,61
<sup>2</sup> H <sub>29/2</sub>	0,89	1,21
<sup>4</sup> G <sub>11/2</sub>	11,64	11,21
<sup>2</sup> G <sub>17/2</sub> + <sup>4</sup> G <sub>9/2</sub>	2,93	2,56
rms. dev. · 10 <sup>6</sup>	0,46	

Таблица 2. Омега параметры

$\Omega_2 \cdot 10^{20}$ , см <sup>2</sup>	$\Omega_4 \cdot 10^{20}$ , см <sup>2</sup>	$\Omega_6 \cdot 10^{20}$ , см <sup>2</sup>
3,74	1,86	2,25

Согласно расчетам по Джадду-Офельту радиационное время жизни иона эрбия на верхнем лазерном уровне (<sup>4</sup>I<sub>13/2</sub>) составляет 6.4 мс.

Полученное радиационное время дало возможность рассчитать спектры стимулированного испускания для ионов эрбия на лазерном переходе <sup>4</sup>I<sub>13/2</sub> → <sup>4</sup>I<sub>15/2</sub>. Расчеты проводились по двум методам: по формуле Фюхтбауэра-Ладенбурга (ФЛ) и модифицированному методу соответствия (ММС) [2]:

Результаты расчетов представлены на рис. 5.

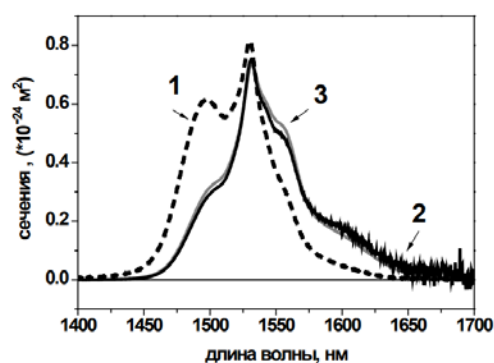


Рисунок 5 – Спектры сечений поглощения (1), стимулированного испускания 2 (ММС) и 3(ФЛ)

Как видно, результаты расчетов по двум методам находятся в прекрасном соответствии друг с другом.

Таким образом, проведен анализ влияния состава стекланной матрицы на стационарные спектры поглощения и люминесценции ионов Er<sup>3+</sup> и Yb<sup>3+</sup> во фторфосфатных стеклах. Рассчитаны омега параметры и радиационное время жизни для ионов эрбия (<sup>4</sup>I<sub>13/2</sub>). Определены спектры сечений поглощения и стимулированного испускания на лазерном переходе <sup>4</sup>I<sub>13/2</sub> → <sup>4</sup>I<sub>15/2</sub>.

1. Kaminskii A.A., Mironov V.S., Kornienko A.A. [et. al] Intensity Luminescence Characteristics, Stimulated Emission, and Full Set of Squared Reduced-Matrix Elements  $\langle \alpha[SL]J || U^{(0)} | \alpha'[S'L']J \rangle$  for Er<sup>3+</sup> Ions // Phys. Stat. sol. (a), 1995, vol. 151, pp.231-255.
2. Yasyukevich A.S., Shcherbitskii V.G., AV Mandrik et al Integral Method o Reciprocity in the Spectroscopy of Laser Crystals with Impurity Centers // Journal of Applied Spectroscopy, 2004, vol. 71 (2), pp. 202-208