

**СЕНСИБИЛИЗАЦИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ТЬ<sup>3+</sup> ИОНАМИ СЬ<sup>3+</sup> В СТЕКЛЕ  
СИСТЕМЫ (Y<sub>1-x-y</sub>Tb<sub>x</sub>Sb<sub>y</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

<sup>1</sup> *Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
пр. Независимости, 68-2, 220072 Минск, Беларусь  
[g.malashkevich@ifanbel.bas-net.by](mailto:g.malashkevich@ifanbel.bas-net.by)*

<sup>2</sup> *Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
Миусская пл., 9, 125047 Москва, Россия*

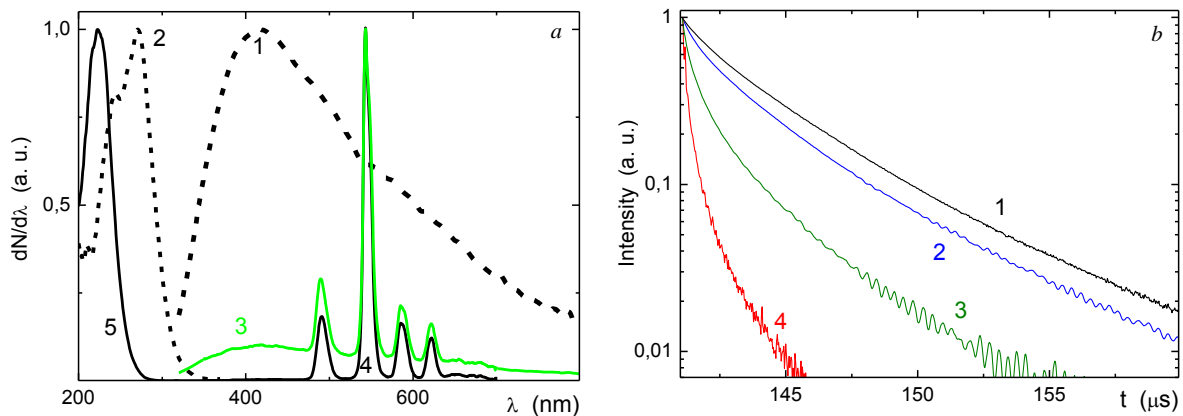
<sup>3</sup> *Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
ул. П. Бровки, 6, 220013 Минск, Беларусь*

Ионы ТЬ<sup>3+</sup> обладают не подверженной кроссрелаксационному тушению внутриконтинуальной люминесценцией из состояния <sup>5</sup>D<sub>4</sub> ( $\lambda_{\max} \approx 545$  нм) и интенсивным поглощением в межконтинуальной полосе  $4f^8 \rightarrow 4f^75d^1$ , лежащей при  $\lambda \sim 220$  нм, что, в принципе, позволяет использовать активированные ими прозрачные среды для визуализации УФ-излучения солнечно-слепого диапазона. Вместе с тем, для ряда задач, связанных с медицинскими и биологическими исследованиями, криминалистикой и обороной требуется визуализация УФ-излучения более широкого спектрального состава. В настоящей работе нами предпринята попытка добиться этой цели путём сенсibilизации люминесценции данного активатора ионами СЬ<sup>3+</sup>, которые характеризуются разрешёнными правилами отбора абсорбционной полосой <sup>1</sup>S<sub>0</sub> → <sup>1</sup>P<sub>1</sub>, расположенной в более длинноволновой УФ-области, и широкой полосой люминесценции <sup>3</sup>P<sub>1</sub> → <sup>1</sup>S<sub>0</sub> в видимой области спектра [1].

Для исследования были выбраны иттрий-алюмооборатные стёкла, близкие по составу к хантитоподобному кристаллу YAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>, в которых иттрий замещался тербием, а сурьма вводилась сверх 100%. Ранее нами сообщалось [2], что ионы СЬ<sup>3+</sup> в таких стёклах формируют по крайней мере два типа оптических центров и проявляют слабую зависимость длительности затухания их люминесценции от концентрации при значительном падении интегральной интенсивности люминесценции.

На рис. 1а изображены спектры люминесценции и её возбуждения СЬ-содержащего стекла (кривые 1 и 2), спектры люминесценции соактивированных стекол с различной концентрацией ТЬ<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (кривые 3 и 4) и спектр возбуждения люминесценции ТЬ-содержащего стекла (кривая 5). Видно, что спектры возбуждения люминесценции ТЬ- и СЬ-содержащих стекол характеризуются широкими слабоструктурными полосами с максимумами при  $\lambda \approx 220$  и 270 нм. Спектр люминесценции СЬ-содержащего стекла представлен полосой с максимумом при  $\lambda \approx 420$  нм, перекрывающей всю видимую область. В спектре люминесценции соактивированного стекла с концентрацией 1 мол. % ТЬ<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, возбуждаемого в полосе поглощения ионов СЬ<sup>3+</sup>, данная полоса заметно ослабляется и появляются структурные полосы, соответствующие переходам <sup>5</sup>D<sub>4</sub> → <sup>7</sup>F<sub>j</sub> ионов ТЬ<sup>3+</sup> (кривая 3). При повышении концентрации ТЬ<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 10 мол. % и идентичном возбуждении наблюдается практически лишь люминесценция ионов ТЬ<sup>3+</sup> (кривая 4).

На рис. 1*b* изображена кинетика затухания люминесценции Sb-содержащего и соактивированных стекол при возбуждении 4-ой гармоникой моноимпульсного неодимового лазера и регистрации в области люминесценции ионов  $Sb^{3+}$  за пределами полос люминесценции  $Tb^{3+}$ . Видно, что во всех случаях закон затухания люминесценции описывается неэкспоненциальной функцией. Средняя длительность этого процесса для Sb-содержащего стекла (кривая 1) составляет 3,4 мкс и уменьшается при переходе к соактивированным стеклам с 1, 6 и 10 мол. %  $Tb_2O_3$  (кривые 2–4) соответственно в 1,3, 4,4 и 10,5 раз.



$\lambda_{exc}$ , нм: 285 (a) и 266 (b).  $\lambda_{rec}$ , нм: 420 (2a), 440 (1b–4b) и 543 (5a).  $\Delta\lambda_{exc}=2\Delta\lambda_{rec}=2$  нм.

Рис. 1. Спектры люминесценции и её возбуждения (a), а также кинетика затухания люминесценции (b) стекол состава (мол. %):  $10Y_2O_3-30Al_2O_3-60B_2O_3+1Sb_2O_3$  (1a, 2a, 1b);  $9Y_2O_3-1Tb_2O_3-30Al_2O_3-60B_2O_3+1Sb_2O_3$  (3a, 2b);  $4Y_2O_3-6Tb_2O_3-30Al_2O_3-60B_2O_3+1Sb_2O_3$  (3b);  $10Tb_2O_3-30Al_2O_3-60B_2O_3+1Sb_2O_3$  (4a, 4b);  $9Y_2O_3-1Tb_2O_3-30Al_2O_3-60B_2O_3$  (5a).

Благодаря высокому сечению поглощения ионов  $Sb^{3+}$  ( $\approx 20 \cdot 10^{-20}$  см<sup>2</sup> в области максимума кривой 2a) использование такого соактиватора позволяет добиться подавляющего поглощения УФ-излучения с  $\lambda \leq 275$  нм в слое толщиной  $\approx 100$  мкм.

Таким образом, ионы  $Sb^{3+}$  являются достаточно эффективным сенсбилизатором люминесценции ионов  $Tb^{3+}$  в оксидных матрицах, обладают высоким сечением поглощения в переходе  $^1S_0 \rightarrow ^1P_1$  и могут использоваться для расширения спектрального диапазона визуализируемого УФ-излучения и получения изображения его источника.

Работа поддержана грантами БРФФИ (грант №Ф16Р-025) и РФФИ (грант №16-53-00157).

- [1] Chen L. The site-selective excitation and the dynamical electron-lattice interaction on the luminescence of  $YBO_3:Sb^{3+}$  / L. Chen, An-Qi Luo, Y. Zhang [et al.] // J. Solid State Chem. – 2013. – V. 201. – P. 229.
- [2] Малашкевич Г. Е. Спектрально-люминесцентные свойства Sb-содержащих хантитоподобных стекол / Г. Е. Малашкевич, В. В. Ковгар, Т. Г. Хотченкова [и др.] // V конгресс физиков Беларуси, Минск, 27–30 октября 2015 г.: сб. научных трудов / Минск: Ковчег, 2015. – С. 37–38.