

УДК 666.1.001.5, 666.223.1

М. З. Зиятдинова\*<sup>1</sup>, Н. В. Голубев<sup>1</sup>, Г. Е. Малашкевич<sup>2</sup>, В. Н. Сигаев<sup>1</sup>, А. В. Масалов<sup>3</sup>, А. Г. Турьянский<sup>3</sup>, С. С. Гижа<sup>3</sup>, И. В. Пиршин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия, 125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, 20

<sup>2</sup>Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь, 220072, Минск, пр. Независимости, 68

<sup>3</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Москва, Россия, 119991 ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, д. 53

\* e-mail: m.z.ziyatdinova@gmail.com

## РЕНТГЕНОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ИТТРИЙ-АЛЮМОБОРАТНЫХ СТЕКОЛ, СОАКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ РЕДКИХ ЗЕМЕЛЬ

### Аннотация

Синтезированы стекла близкие по составу к кристаллу  $YAl_3(BO_3)_4$  с частичной заменой оксида иттрия на оксиды тербия и церия, а также стекла, дополнительно содержащие оксиды бария и гадолиния. Обнаружено, что эти стекла люминесцируют при возбуждении рентгеновским излучением. При этом максимальная энергетическая эффективность конверсии рентгеновского излучения в световое составила приблизительно 10% по отношению к стандартному экрану  $ZnS \cdot CdS(Ag)$ .

**Ключевые слова:** рентгенолюминесценция, редкоземельные активаторы, алюмоборатные стекла, сцинтилляторы.

Создание материалов, люминесцирующих под воздействием ионизирующего излучения, и исследование их свойств началось с открытия рентгеновского излучения. В сравнении с другими сцинтилляционный метод выявления ионизирующего излучения более эффективен, чувствителен и универсален для регистрации проникающего излучения, поскольку меняя детекторы, можно выявлять все виды ионизирующего излучения [1]. Для практического использования сцинтилляторы должны обладать высокими световым выходом, временным и пространственным разрешением, а спектр светимости иметь максимум в зелено-синей области, так как существующие на сегодняшний день приемники, выполненные, например, на базе ПЗС-матриц, обладают наибольшей чувствительностью именно в этом диапазоне [2, 3]. В зависимости от области применения, указанные характеристики могут играть как более важную, так и менее существенную роль. Например, для исследований в области физики высоких энергий, ядерной физики и астрофизики может быть достаточным световой выход в размере 0,08% [4]. Преимуществами стекол в качестве сцинтилляторов являются относительная дешевизна изготовления, прозрачность в видимом диапазоне, возможность получения разных размеров и форм, в том числе в виде волокна, а также высокие показатели химической стойкости и механической устойчивости [2, 4, 5]. Вместе с тем стекла обладают и такими существенными недостатками как низкие эффективность рентгенолюминесценции и радиационно-оптическая устойчивость [2, 6]. Первый недостаток может быть частично преодолён путём повышения плотности стекла за счёт увеличения атомного номера элементов и снижения свободного объёма, что приводит к увеличению коэффициента поглощения рентгеновского излучения, а второй – введением в состав стекла оксида церия.

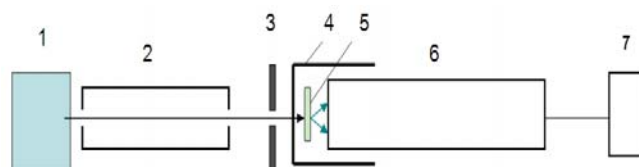


Рис. 1. Блок-схема измерительного устройства. 1 – источник рентгеновского излучения, 2 – коллиматор, 3 – рентгеновская диафрагма, 4 – светозащитный колпак из Al-фольги, 5 – образец, 6 – ФЭУ, 7 – цифровой измеритель тока

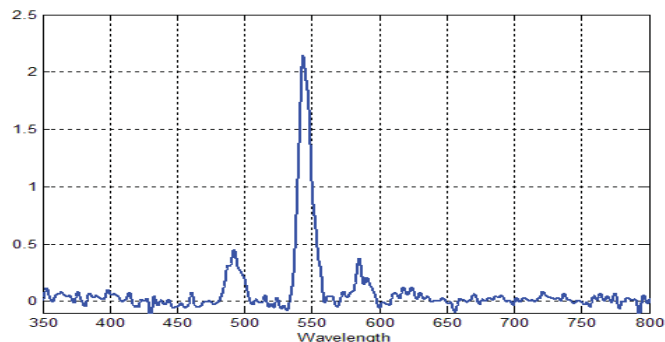
Объектом исследования настоящей работы являлись иттрий-алюмоборатные стекла системы  $(Tb_xCe_yGd_zY_{1-x-y-z})_2O_3-Al_2O_3-B_2O_3$  ( $x=0-0,2$ ,  $y=0,1-0,9$ ,  $z=0-0,6$ ). Интерес к этим стеклам обусловлен возможностью введения высокого содержания редкоземельных элементов без их заметной сегрегации [7]. В качестве исходных компонентов для варки стекол использовали  $Tb_4O_7$  (осч),  $CeO_2$  (осч),  $Gd_2O_3$  (осч),  $Y_2O_3$  (осч),  $Al(OH)_3$  (чда),  $H_3BO_3$  (хч),  $Sb_2O_3$  (осч). Компоненты шихты взвешивали на аналитических весах с точностью 0,001 г и перемешивали в корундовой ступке. Каждую порцию шихты рассчитывали на 20 г стекла. Стекла варили в платиновых тиглях объёмом  $\sim 45$  см<sup>3</sup> в окислительных условиях (на воздухе) при температуре 1480°C в течение 60 минут. После этого расплав выливали из тигля на металлическую плиту и прессовали другой плитой до толщины 1,5-2 мм, а затем отжигали при температуре вблизи  $T_g$ . Для изучения рентгенолюминесценции стекол была собрана установка, включающая источник рентгеновского излучения, держатель образцов и детектор на базе ФЭУ (рис. 1). Все измерения проводили при двух режимах рентгеновского аппарата – 30 кВ/7,5 мА и 40 кВ/7,5 мА. Расстояние источник – детектор составляло 60 см.

При облучении рентгеновским излучением иттрий-алюмоборатные стекла, соактивированные  $Ce^{3+}$  и  $Tb^{3+}$ , люминесцировали в зеленой области

спектра с максимальной интенсивностью люминесценции при ~545 нм. На рис. 2 приведен типичный спектр люминесценции изученных стекол. Для увеличения их плотности и, соответственно, поглощающей способности в состав этих стекол были введены тяжелые элементы в виде оксида бария и гадолиния. Стоит отметить, что ионы последнего, аналогично  $\text{Ce}^{3+}$ , выступают в роли сенсibilизатора люминесценции  $\text{Tb}^{3+}$ . Как и ожидалось, интегральная интенсивность люминесценции увеличивалась с ростом содержания оксида тербия и при введении оксида гадолиния. При этом максимальный энергетический выход, оцененный по отношению сигнала к поликристаллическому экрану  $\text{ZnS}\cdot\text{CdS}(\text{Ag})$  составил 10%. Изученные стекла, следует отметить, оказались довольно стойки к рентгеновскому излучению, что обусловлено, очевидно, присутствием в их составе оксида церия. Об этом свидетельствуют отсутствие изменений как в окраске образцов, так и в спектрах поглощения стекол до и после облучения рентгеновским излучением (30 кВ/30 мА) в течение 15 мин.

Для практических применений необходимо достигнуть энергетической эффективности конверсии рентгеновского излучения в световое  $\geq 50\%$  по отношению к кристаллу  $\text{CdWO}_4$ , который

широко применяется в медицинской технике и интроскопии. Однако уже полученные результаты позволяют с уверенностью полагать, что такое значение вполне достижимо при дальнейшей оптимизации состава стекла, перспективного для создания двухкоординатных устройств визуализации радиационных изображений в дефектоскопии и медицинской диагностике.



**Рис. 2. Типичный спектр рентгенолюминесценции изученных стекол**

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (гранты МК-1398.2014.3 и 14.Z50.31.0009).

**Зиятдинова Мариям Зиннуровна** аспирант кафедры химической технологии стекла и ситаллов РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия, Москва

**Голубев Никита Владиславович** к.х.н., доцент кафедры химической технологии стекла и ситаллов РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия, Москва

**Малашкевич Георгий Ефимович** д.ф.-м.н., заведующий лабораторией фотофизики активированных материалов ГНУ «Институт физики имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси», Белоруссия, Минск

**Сигаев Владимир Николаевич** д.х.н., профессор, заведующий кафедрой химической технологии РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия, Москва

**Масалов Анатолий Викторович** д.ф.-м.н., руководитель Отделения оптики Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Россия, Москва

**Турьянский Александр Георгиевич** д.ф.-м.н., заведующий лабораторией рентгеновских методов диагностики наноструктур Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Россия, Москва

**Гижса Сергей Сергеевич** научный сотрудник лаборатории рентгеновских методов диагностики наноструктур Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Россия, Москва

**Пиришин Игорь Владимирович**, научный сотрудник лаборатории рентгеновских методов диагностики наноструктур Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Россия, Москва

### Литература

1. Цирлин Ю. А., Дайч А. Р., Радыванюк А. М. Сцинтилляционные блоки детектирования – М.: Атомиздат, 1978 – 124 с.
2. Weber M. J. Inorganic scintillators: today and tomorrow // Journal of Luminescence – 2002. Vol. 100. – P. 35-45.
3. Горбачёв А. А., Коротаев В. В., Ярышев С. Н. Твердотельные матричные фотопреобразователи и камеры на их основе. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 98 с.
4. Blasse G. Scintillator materials // Chemistry of Materials-1994. Vol. 6. – P. 1465-1475.
5. Wang J. Local Structure of Rare-Earth Ions in Glasses: The Crystal-Chemistry Approach / Wang J., Brocklesby W. S., Lincoln J. R., Townsend J. E., Payne D. N. // Journal of Non-Crystalline Solids – 1993. Vol. 163. – P. 261-267.
6. Арбузов В. И. Основы радиационного оптического материаловедения. Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 284 с.

7. Малашкевич Г. Е. Оксидное стекло с минимальным расстоянием 0,67 нм между редкоземельными активаторами / Малашкевич Г. Е., Голубев Н. В., Мамаджанова Е. Х., Зиятдинова М. З., Сигаев В. Н., Суходола А. А., Хотченкова Т. Г., Прусова И. В., Сергеев И. И. // Стекло и керамика – 2013. №. 4. – с. 33-34.

*Ziyatdinova Mariyam Zinnurovna<sup>1</sup>, Golubev Nikita Vladislavovich<sup>1</sup>, Malashkevich Georgy Yefimovich<sup>2</sup>, Sigaev Vladimir Nikolayevich<sup>1</sup>, Masalov Anatoly Viktorovich<sup>3</sup>, Turyanskiy Aleksander Georgiyevich<sup>3</sup>, Gizha Sergej Sergejevich<sup>3</sup>, Pirshin Igor Vladimirovich<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia.

<sup>2</sup>B.I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.

<sup>3</sup>P.N. Lebedev Physical Institute, LPI, Moscow, Russia.

\* e-mail: m.z.ziyatdinova@gmail.com

## **X-RAY LUMINESCENCE OF YTTRIA-ALUMINOBORATE GLASSES CODOPED WITH RARE EARTH IONS**

### **Abstract**

A huntite-like yttria-aluminoborate glasses doped with Ce<sup>3+</sup> and Tb<sup>3+</sup> as well as the glasses containing barium and gadolinium oxides have been investigated. It is found that these glasses exhibit luminescence under X-ray excitation. Maximum energy efficiency of X-ray radiation conversion into the light is about 10% of that for the standard ZnS·CdS(Ag) screen.

**Key words:** X-ray luminescence, rare earths, aluminoborate glasses, scintillators.