

УДК 539.1.06

ОПТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

**Малютина-Бронская В.В.¹, Сорока С.А.¹, Сенкевич Д.В.¹, Семченко А.В.²,
Сидский А.В.², Тарасенко М.С.³**

¹ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»
Минск, Республика Беларусь

²Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины
Гомель, Республика Беларусь

³Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
Новосибирск, Российская Федерация

Аннотация. В данной работе представлены результаты исследований оптических свойств неорганических оптических материалов: боросиликатного стекла и оксоселенида легированных редкоземельными элементами, полученных золь-гель методом, для использования их в качестве сцинтилляторов детекторов ионизирующих излучений.

Ключевые слова: ионизирующее излучение, сцинтилляторы, люминесценция, золь-гель процесс

OPTICAL MATERIALS FOR REGISTRATION OF IONIZING RADIATIONS

Malyutina-Bronskaya V.¹, Soroka S.¹, Senkevich D.¹, Semchenko A.², Sidsky A.², Tarasenko M.³

¹SSPA of Optics, Optoelectronics and Laser Technology
Minsk, Belarus

²F.Skorina Gomel State University
Gomel, Belarus

³Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry SB RAS
Novosibirsk, Russia

Abstract. The results of studies of the optical properties of inorganic optical materials: borosilicate glass and oxoselenide doped with rare earth elements, obtained by the sol-gel method, for their use as scintillators of ionizing radiation detectors are presented in this work.

Key words: ionizing radiation, scintillators, luminescence, sol-gel process

Адрес для переписки: Малютина-Бронская В.В., пр. Независимости, 68-1, г. Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: malyutina@oelt.basnet.by

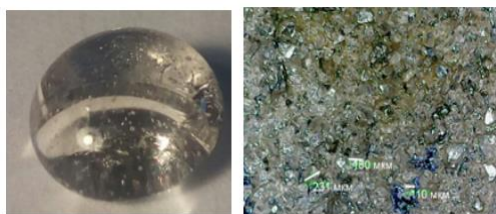
Введение. Основное назначение датчиков ионизирующих излучений заключается в обеспечении процесса взаимодействия потока ионизирующего излучения с длиной волны до 380 нм с

физической средой детектора излучения, и в преобразовании актов взаимодействия в электрические сигналы, которые могут быть зарегистрированы соответствующей измерительной

аппаратурой [1]. Одним из методов регистрации излучения является сцинтилляционный метод, основанный на регистрации коротких вспышек света – сцинтилляций, возникающих в некоторых веществах при прохождении через них заряженных частиц [2].

Актуальность решаемой проблемы заключается в необходимости разработки новых материалов для оптоэлектроники, светотехники, бытовой техники, медицинских применений. Целью работы было исследование оптических и фотоэлектрических свойств сцинтиллирующих сред, полученных золь-гель методом, и определение возможности их применения в качестве детекторов ионизирующих излучений.

Технология получения. В рамках данной статьи рассматриваются свойства неорганических оптических материалов, полученных золь-гель методом. В первом случае – боросиликатные стекла (рис. 1, а). Золь-гель методом получены образцы боросиликатного стекла, легированного Eu^{3+} , солегированного ионами Y ($\text{Eu}^{3+}:\text{Y}$). Химический состав золя подобран экспериментальным путем. Температура отжига на воздухе составляла $900\text{ }^\circ\text{C}$ в течении 60 мин. Полученные материалы представляют собой стекла, которые чувствительны к воздействию излучения, близкого к ультрафиолетовому ($\lambda \leq 400\text{ нм}$), и при облучении излучают ярко-розовое видимое свечение.



а

б

а – на основе: $\text{Eu}^{3+}:\text{Y}$ (17 масс. %),
б – на основе $\text{Y}_2\text{O}_3\text{Se}:\text{Tb}$ (3 масс. %)

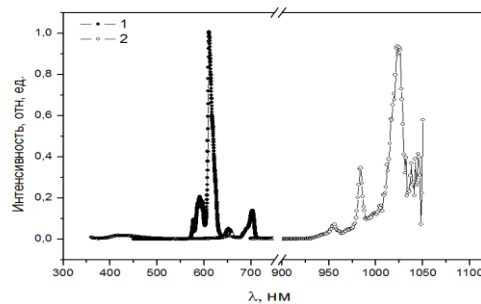
Рисунок 1 – Внешний неорганических оптических материалов для сцинтилляторов

Во втором случае, оксоселенид редкоземельных элементов легированный ионами Tb^{3+} . Порошок оксоселенида $\text{Y}_2\text{O}_3\text{Se}:\text{Tb}^{3+}$ с размерами частиц от 50 мкм до 200 мкм помещался в золь-гель матрицу и наносился на стеклянные подложки. Полученные образцы отжигались на воздухе сначала при температуре $150\text{ }^\circ\text{C}$, затем при $300\text{ }^\circ\text{C}$ в течении 30 мин. Получаемые образцы представляли собой непрозрачные пленки (рис 1, б).

Измерение фотолюминесценции (ФЛ) боросиликатного стекла проводилось с использованием HeCd лазера с длиной волны излучения 325 нм и мощностью $1,27\text{ Вт/см}^2$. Диаметр пучка лазера после прохождения диафрагмы и линзы составляет 1мм. Нормированные спектры фотолюминесценции оксоселенидов регистрировали

на спектрофлуориметре Fluorolog 3 (Horiba Jobin Yvon) с охлаждаемым блоком детектирования фотонов PC177CE-010, оснащенный фотоумножителем R20658. Длина волны возбуждающего излучения составила 380 нм.

Результаты исследований. На рис. 2 представлены спектры люминесценции оптических материалов для сцинтилляторов. У боросиликатного стекла наблюдается полосы излучения в видимой части диапазона (рис. 2, кривая 1). Можно выделить характерные полосы излучения в следующих интервалах длин волн: от 570 нм до 600 нм, от 600 нм до 625 нм, от 630 нм до 660 нм, от 660 нм до 725 нм. В интервале длин волн от 600 нм до 630 нм наблюдается максимум с узким распределением, связанный с переходами в электронных энергетических уровнях ионов Eu^{3+} . Уменьшение концентрации ионов европия приводит к уменьшению интенсивности фотолюминесценции всех максимумов ФЛ неорганических сцинтилляторов, содержащих ионы Eu^{3+} .



1 – боросиликатное стекло легированное $\text{Eu}^{3+}:\text{Y}$ (17 масс. %), 2 – оксоселенид $\text{Y}_2\text{O}_3\text{Se}:\text{Tb}$ (3 масс.%)

Рисунок 2 – Спектр фотолюминесценции оптических материалов для сцинтилляторов

Спектр фотолюминесценции оксоселенидов $\text{Y}_2\text{O}_3\text{Se}:\text{Tb}$ представлен на рис. 2 кривая 2. Характерные полосы излучения наблюдаются в следующих интервалах длин волн: от 950 нм до 960 нм, от 975 нм до 990 нм, от 1020 нм до 1040 нм. Эти пики могут быть связаны с излучением фонов от возбужденных пар Y-Se в матрице.

Рабочий спектральный диапазон фотоприемников для детекторов ионизирующего излучения лавинных фотодиодов (ЛФД) или кремнивого фотоумножителя (Si-ФЭУ) составляет от 400 нм до 1000 нм [3], что соответствует диапазону длин волн излучения исследуемых материалов. Определяющим фактором практического применения материалов для сцинтилляторов выступает максимум спектральной чувствительности и коэффициент лавинного умножения фотоприемника. Для ЛФД коэффициент лавинного умножения M составляет от 50 до 100, в то время как Si-ФЭУ M порядка 10^6 , что позволяет добиться большей эффективности детектирования более слабого сигнала порядка 10^{-10} Вт , а следо-

вательно, лучшего энергетического разрешения.

На рис. 2 приведены внешний вид в корпусе ЛФД или Si-ФЭУ со сцинтиляционным материалом (боросиликатное стекло легированное Eu^{3+}Y) залитым в колпачок – макет детектора ионизирующего излучения. Сцинтиллятор и детектор были прецизионно состыкованы друг с другом механическим способом, позволяющим быстро и надежно заменить как сцинтиляционный кристалл, так и сам детектор.



Рисунок 2 – Внешний вид корпусированных ЛФД или SiФЭУ с сцинтиляционным кристаллом (на основе боросиликатного стекла легированного Eu^{3+}Y) в колпачке корпуса при воздействии УФ-излучения

Заключение. Таким образом, были исследованы оптические свойства неорганических оптических материалов: боросиликатного стекла и оксиселенида легированных редкоземельными эле-

ментами, полученных золь-гель методом для использования их в качестве сцинтилляторов. Полученные результаты использованы для создания макетов детекторов ионизирующих излучений.

Благодарности. Работа частично выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Ф20Р-256).

Литература

1. Марков, В. Ф. Технология тонкопленочных твердотельных сенсоров: учеб, пособие / В. Ф. Марков // Мин-во науки и высш. образования РФ. – Екатеринбург: Изд-во Урал, ун-та, 2019. – С. 148.
2. Шендрик, Р. Ю. Методы экспериментальной физики конденсированного состояния. Часть 3. Введение в физику сцинтилляторов : учебное пособие / Р. Ю. Шендрик. – Иркутск: издательство Иркутского государственного университета, 2013. – 110 с.
3. Кремниевые фотоприемники с внутренним усилением широкого спектра применения / В. Б. Залеский [и др.] // Приборостроение-2020 : материалы 13 международной науч.-техн. конф., 18–20 ноября 2020 г., Минск, Белорус. нац. техн. ун-т / редкол. : О.К. Гусев [и др.]. – Минск : БНТУ, 2020. – С. 393–394.