

## ХАРАКТЕРИСТИКИ БЫСТРОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ БЕРИЛЛИЕВО-ФОСФАТНЫХ СТЕКОЛ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ СИНХРОТРОННЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

© В.А.Пустоваров, Б.В.Шульгин, Э.И.Зинин,  
С.А.Смирнов, В.С.Старцев

Бариевые, литиевые бериллиево-фосфатные стекла (БФС), активированные церием, известны как достаточно эффективные быстрые сцинтилляторы, имеющие спектр излучения в области 320–440 нм и длительность сцинтилляции импульса 4.5–12 нс [1,2]. Однако приведенные в [1,2] данные по кинетическим параметрам получены при использовании электронного пучка с длительностью  $t_{0.5} = 10–15$  нс, что не могло обеспечить выявление коротких компонент кинетики затухания люминесценции (КЗЛ) и ее измерение в широком динамическом диапазоне. В настоящей работе впервые приводятся результаты исследования спектров и быстрой КЗЛ литиевых и бариевых БФС при импульсном возбуждении синхротронным излучением (СИ), изучено влияние плотности возбуждения СИ на спектрально-кинетические параметры люминесценции БФС.

Исследовались образцы БФС следующего состава:

1. 20%Li<sub>2</sub>O · 20%BeO · 60%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (обозначение Li226) с добавкой (0.5–2.5) мас.% Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;
2. 20%BaO · 20%BeO · 60%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (обозначение Ba226) с добавками: Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.5–10%); Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.1–1%); Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.1–1%); Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1%); Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.1–10%).

Литиевые БФС имели плотность 2.4 г/см<sup>3</sup>,  $z_{эф} = 11.4$ , а бариевые — 3.16 г/см<sup>3</sup>,  $z_{эф} = 33$ . Способ приготовления образцов описан в работе [1]. Для возбуждения люминесценции использовалось СИ накопителя ВЭПП-3 Института ядерной физики СО РАН. Длительность импульсов СИ  $\sigma = 430$  пс, частота следования 4 МГц. Использовалось СИ рентгеновского диапазона с энергией 3–60 кэВ. КЗЛ регистрировалась с временным разрешением не хуже 100 пс, ее параметры определялись методом расчета свертки. Аппаратура и методика измерения на канале СИ описана в [3,4].

Наибольшим световыходом обладают образцы Li226–(0.5–2.5)% Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (световыход достигает 35–40% относительно эталонной пластмассы с добавкой 0.1% терфе-

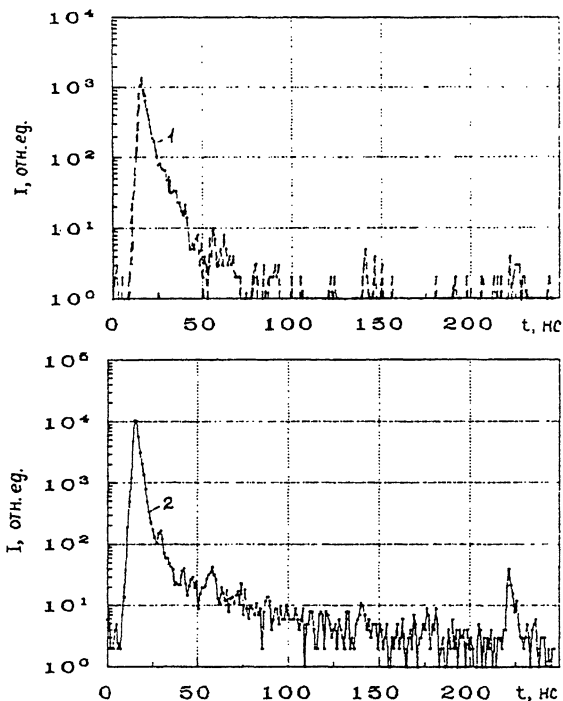


Рис. 1. Кинетика люминесценции Li226-(2.5% Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) при возбуждении СИ ( $T = 300$  К,  $\lambda = 340$  нм). Интенсивность возбуждения:  $J = 0.05J_{\max}$  (1);  $J = J_{\max}$  (2).

нила + PPOP) и Ba226-( $< 7.5\%$  Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Амплитуда импульса люминесценции для активированных составов Li226 и Ba226 составляет соответственно 20–22% и 5–8% относительно указанной пластмассы при практически соизмеримой длительности КЗЛ (см. подробнее [1]). Образцы Ba226-Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ba226-Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> имеют низкую радиационную стойкость, и параметры люминесценции резко диградируют даже при возбуждении СИ низкой интенсивности.

Спектр люминесценции (СЛ) Li226-Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ba226-Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> охватывает диапазон 320–460 нм (полуширина 0.58 и 0.67 эВ, максимум при 345 и 368 нм соответственно) и формируется электронными переходами  ${}^2D_{3/2} \rightarrow {}^2F_{5/2}$ ,  ${}^2D_{3/2} \rightarrow {}^2F_{7/2}$  с нижнего подуровня  $d$ -оболочки на  $f$ -подуровни основного терма в ионе Ge<sup>3+</sup>. Это дает в спектре две перекрывающиеся, не разрешаемые даже при  $T = 80$  К полосы. Для Ba226-Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в СЛ, кроме того, проявляется полоса 220 нм, которая может быть связана, по аналогии с BaF<sub>2</sub>, с переходом электронов из верхней валентной зоны на остоновый 5р-уровень иона Ba<sup>2+</sup>, т.е. с остовно-валентными переходами [5]. Свето-

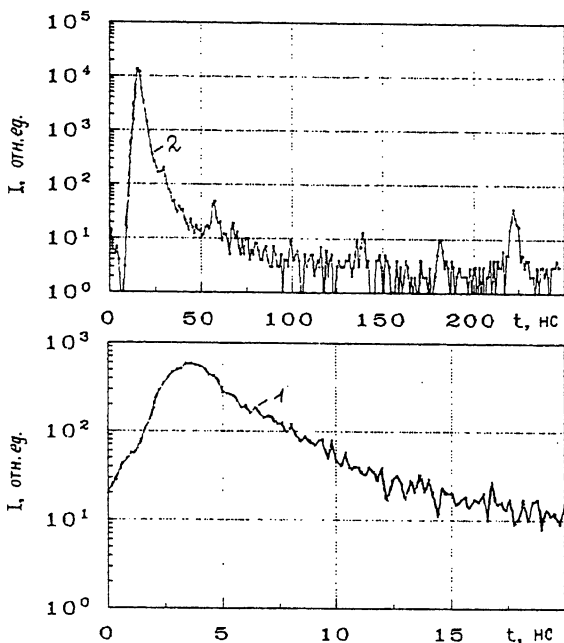


Рис. 2. Кинетика люминесценции Ba226-(5% Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) при возбуждении СИ ( $T = 300$  К,  $\lambda = 340$  нм). Интенсивность возбуждения:  $J = 0.05 J_{\max}$  (1);  $J = J_{\max}$  (2).

выход БФС слабо зависит от температуры и при охлаждении образцов до  $T = 80$  К, например, для Li226-0.5% Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> возрастает в 2 раза за счет увеличения времени затухания, отметим, что при этом в КЗЛ не появляются инерционные компоненты.

Параметры КЗЛ БФС приведены в таблице, а на рис. 1, 2 показан ее вид в широком динамическом диапазоне. Отметим следующие особенности: 1) КЗЛ практически не содержит инерционных компонент: уже к 100 нс послесвечение составляет менее 0.1%; 2) КЗЛ коротковолновой полосы СЛ (переход  ${}^2D_{3/2} \rightarrow {}^2F_{5/2}$ ) более быстрая, чем КЗЛ длинноволновой части СЛ, что в принципе характерно для Ce<sup>3+</sup>-иона в некоторых матрицах [6]; 3) введение дополнительного редкоземельного элемента, в частности Nd или Eu, ускоряет КЗЛ с одновременным уменьшением световых выходов, что связано с процессами безызлучательной передачи энергии Ce<sup>3+</sup> → Nd<sup>3+</sup> (Eu<sup>3+</sup>).

Увеличение интенсивности возбуждения СИ, как и для большинства широкозонных диэлектриков [3, 6], приводит к сокращению квантового выхода, относительному увеличе-

Спектрально-кинетические характеристики бериллиево-фосфатных стекол при возбуждении синхротронным излучением,  $T = 300$  К

БФС	Параметр	$J = 0.05 J_{\max}$		$J = J_{\max}$	
Li226- 0.5%Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\lambda, \text{нм}$	340	380	340	380
	$\tau, \text{нс}$	3.5	5.3	1.5	2.2
Li226- 2.5%Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\lambda, \text{нм}$	340	380	340	380
	$\tau, \text{нс}$	3.5	8.5	2.2	3.4
Ba226- 5%Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\lambda, \text{нм}$	340	380	340	380
	$\tau, \text{нс}$	2.7	5.7	2.2	3.6
Ba226- Ce+Nd	$\lambda, \text{нм}$	380	430	380	430
	$\tau, \text{нс}$	5.2	7.0	3.1	4.5

Примечание:  $J_{\max} = 3 \cdot 10^{16}$  фотонов/с · см<sup>2</sup>.

нию вероятности коротковолновых переходов в Ce<sup>3+</sup>-ионе, ускорению КЗЛ (рис. 1, 2, см. таблицу).

Таким образом, применение СИ позволило выявить короткие компоненты кинетики затухания люминесценции БФС, установить ее спектрально-кинетические параметры и исследовать влияние интенсивности возбуждения СИ рентгеновского диапазона на спектрально-кинетические характеристики БФС различного состава, легированных церием.

Работа выполнена при поддержке Госкомвуза РФ (грант 1996 г. по исследованиям в области ядерной техники и физики пучков ионизирующих излучений) и РФФИ (грант 96-02-16135-а).

#### Список литературы

- [1] Старцев В.С., Викторов Л.В., Обухов В.Т. и др. // Физика и химия стекла. 1991. Т. 17. № 4. С. 577-582.
- [2] Палаванов В.П., Викторов Л.В., Слепугин В.К. и др. // Физика и химия стекла. 1980. Т. 6. № 3. С. 351-352.
- [3] Pustovarova V.A., Zinin E.I., Krymov A.L., Shulgin B.V. // Review of Scientific Instrum 1992. V. 63. N 6. P. 3521-3523.
- [4] Zinin E.I. // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. 1983. V. A208. P. 4395-4397.
- [5] Родный П.А., Гуссар В.А. // Опт. и спектр. 1987. Т. 62. В. 4. С. 943-945.
- [6] Pustovarova V.A., Krymov A.L., Zinin E.I. // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. 1995. V. A359. P. 336-338.

Поступило в Редакцию  
31 июля 1996 г.