

АНОМАЛЬНО ДЛИТЕЛЬНАЯ ФОСФОРЕСЦЕНЦИЯ BeO : Li КЕРАМИКИ

И.И.Мильман, В.С.Кортюв

Уральский государственный технический университет,
620002, Екатеринбург, Россия
(Поступило в Редакцию 27 декабря 1994 г.)

При изучении различных типов керамик на основе BeO, проводимом с целью их возможного использования в качестве чувствительных сред для регистрации ионизирующих излучений [1,2], у некоторых из них наблюдались интенсивная рентгенолюминесценция (РЛ) и аномально длительная фосфоресценция в ультрафиолетовом диапазоне длин волн. Особенно ярко эти свойства были выражены у прозрачной BeO : Li керамики. В данной работе приводятся основные результаты экспериментального и теоретического исследования закономерностей фосфоресценции, указываются возможности ее практического применения.

Исследовались образцы в виде пластин толщиной 1 мм и площадью 10 мм² с прозрачностью для видимого света около 40%. Этот тип керамики синтезирован В.К. Кенигом (г. Усть-Каменогорск).

На рис. 1 представлены спектры РЛ (кривая 1) и фосфоресценции (кривая 2), измеренные при комнатной температуре. Особенности этих спектров являются их достаточно хорошее совпадение, явно не элементарное строение, имеющее два максимума около 280 и 330 нм, концентрация большей части энергии свечения в ультрафиолетовой области 250–350 нм.

На рис. 2 приведены зависимости интенсивности фосфоресценции от времени для трех значений доз: 0.07, 0.42 и 1.47 Мрад рентгеновского облучения (кривые 1–3 соответственно). Кратковременный отжиг образцов при 300°C полностью устранял фосфоресценцию, которая могла быть возбуждена вновь на требуемом уровне повторным облучением.

Анализ кривых рис. 2 показал, что затухание фосфоресценции может быть описано уравнениями соответственно

$$I(t) = 1.40 \cdot 10^7 / t^{1.21}, \quad (1)$$

$$I(t) = 2.14 \cdot 10^9 / t^{1.42}, \quad (2)$$

$$I(t) = 1.15 \cdot 10^9 / t^{1.29}, \quad (3)$$

где $I(t)$ — интенсивность фосфоресценции (имп/с), t — время после окончания облучения (с).

Из рис. 2 и уравнений (1)–(3) видно, что с ростом дозы длительность фосфоресценции растет. Медленно затухающий участок фосфоресценции при $t > 10^5$ с лучше всего описывается уравнением

$$I(t) = 30904.2 / t^{0.38}. \quad (4)$$

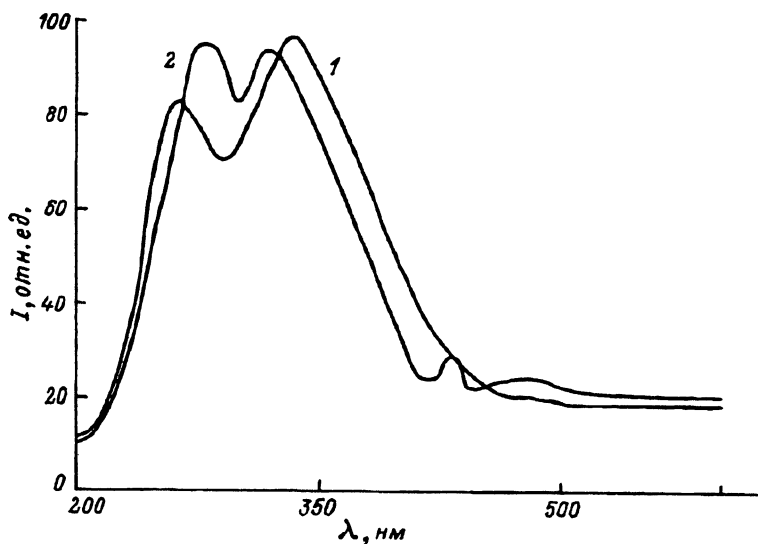


Рис. 1. Спектры рентгенолюминесценции (1) и фосфоресценции (2) $\text{BeO}:\text{Li}$ прозрачной керамики.

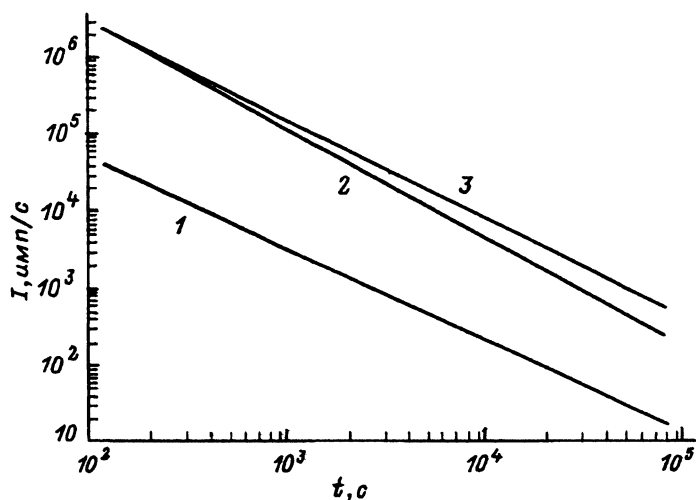


Рис. 2. Зависимость интенсивности фосфоресценции от времени и дозы предварительного облучения рентгеновским излучением.
 1 — 0.07, 2 — 0.42, 3 — 1.47 Мрад.

Анализ уравнения (4) показывает, что детектируемая интенсивность фосфоресценции, на порядок превышающая собственный шум фотоприемника, например 10–20 имп/с, может быть обнаружена спустя 2 года после облучения. На практике при использовании ФЭУ-142 этот период был равен приблизительно 1 году. При этом кинетика затухания фосфоресценции оказалась не подверженной действию внешних источников света видимого и ультрафиолетового диапазонов, изменениям температуры окружающей среды в пределах 30°C .

Таблица 1

Tm, K	$E, \text{эВ}$	Tm, K	$E, \text{эВ}$
356	1.1	434	1.35
385	1.2	441	1.37
404	1.26	450	1.4
414	1.29	467	1.46
419	1.3	488	1.52
430	1.34	504	1.58

Выявленный с помощью уравнений (1)–(4) закон затухания фосфоресценции $I(t) \approx 1/t^n$, где $n \neq 1$, совпадает с обычно наблюдаемым законом реального поведения фосфоресценции для многих соединений [3,4]. Теоретически зависимость интенсивности фосфоресценции от времени описывается выражением, предусматривающим туннельный механизм освобождения захваченных ловушками носителей заряда [4],

$$I(t) = \int_{E_1}^{E_2} N_E s e^{E/kT} \exp(-ste^{E/kT}) dE, \quad (5)$$

где N_E — энергетическое распределение ловушек носителей зарядов в запрещенной зоне диэлектрика, E — энергия активации, s — частотный фактор, T — абсолютная температура, k — постоянная Больцмана.

Как видно из этого уравнения, закон затухания фосфоресценции зависит от конкретного вида распределения N_E , величин E и s . Указанные величины были найдены из результатов измерений термостимулированной люминесценции этих же образцов керамики при линейном нагреве со скоростью $2^\circ\text{C}/\text{с}$. Компьютерная обработка кривой термовысвечивания с пиком при 425 К выявила, что она может быть представлена в виде суммы 12 элементарных пиков первого порядка, параметры которых, температуры пиков (Tm) и величины E при найденном $s = 8 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$, приведены в табл. 1.

Анализ показал, что величины $E = 1.30\text{--}1.58 \text{ эВ}$ подчиняются экспоненциальному распределению, а именно $N_E = Ae^{-\alpha E}$, где $\alpha = 7.21$, $A = 10^5$. Подстановка N_E в уравнение (5) и подгонка параметров A , α позволили получить удовлетворительное соответствие экспериментальных и теоретических законов затухания фосфоресценции. Так, для экспериментальной зависимости, выраженной уравнением (4), $\alpha = 4.11$ и $A = 6.02 \cdot 10^{11}$. Сравнение экспериментальных значений интенсивностей фосфоресценции $I(t)$ и рассчитанных теоретически $I^*(t)$ по уравнению (5) при найденных A и α приведено в табл. 2.

Таблица 2

$t, \text{с}$	$I(t), \text{имп/с}$	$I^*, \text{имп/с}$	$t, \text{с}$	$I(t), \text{имп/с}$	$I^*, \text{имп/с}$
$4.8 \cdot 10^4$	499	499	$2 \cdot 10^5$	289	336
$8.2 \cdot 10^4$	407	455	$3 \cdot 10^5$	267	247
$1.0 \cdot 10^5$	377	433	$4 \cdot 10^5$	222	217

Из таблицы видно, что максимальное различие между экспериментальными и теоретическими значениями не превышает 15%. Количественное сравнение экспериментальных зависимостей $I(t)$, выраженных уравнениями (1)–(3) и рассчитанных теоретически по уравнению (5), показывает, что с ростом дозы облучения меняются параметры A и α распределения N_E : $\alpha = 4.116$, $A = 6.02 \cdot 10^{11}$ при $D = 1.42$ Мрад и $\alpha = 5.19$, $A = 3.72 \cdot 10^{10}$ при $D = 0.07$ Мрад.

Проведенный расчет показывает принципиальную возможность описания временной зависимости затухания интенсивности фосфоресценции с помощью уравнения (5), что может свидетельствовать в пользу туннельного механизма освобождения захваченных ловушками электронов с последующей их рекомбинацией на центрах свечения, связанных с $[\text{Li}]^0$ центрами в решетке BeO [2]. Таким образом, мы считаем, что в основе аномально длительной фосфоресценции в ультрафиолетовой области оптического спектра $\text{BeO}:\text{Li}$ прозрачной керамики лежат туннельный механизм освобождения зарядов и $[\text{Li}]^0$ внутрицентровые процессы.

Свойства $\text{BeO}:\text{Li}$ керамики, приведенные в этой работе, расширяют функциональные возможности этого материала и могут быть полезны для создания компактных, нерадиоактивных, легко регенируемых источников ультрафиолетового излучения, пригодных для контроля работоспособности фотоприемных систем, в частности солнечно-слепых фотоэлектронных умножителей, а также при разработке эталонных радиолуминесцентных излучателей ультрафиолетового диапазона длин волн.

Список литературы

- [1] Kortov V.S., Milman I.I., Slesarev A.I. et al. // Radiat. Prot. Dosim. 1993. Vol. 47. N 1/4. С. 599–602.
- [2] Kortov V.S., Milman I.I., Slesarev A.I., Kijko V.S. // Radiat. Prot. Dosim. 1993. Vol. 47. N 1/4. С. 267–270.
- [3] Visocekas R., Geoffroy A. // Phys. Stat. Sol. (a). 1977. С. 499–503.
- [4] Hornyak W.F., Chen R. // J. of Luminescence. 1989. С. 73–81.