

УДК 539.21:535.377

© 1992

РАДИАЦИОННЫЕ ДЕФЕКТЫ И ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ФТОРИДА БАРИЯ

*Г. Н. Захаров, А. Х. Кхудо, Е. Н. Мельчаков,
П. А. Родный, В. В. Яновский*

Определены характеристики термостимулированной люминесценции кристаллов BaF_2 и $\text{BaF}_2-\text{LaF}_3$, облученных различными видами радиации. Рассмотрены процессы взаимодействия радиационных дефектов, участвующих в излучении кристаллов.

Процессы образования и взаимодействия радиационных дефектов играют важную роль в сцинтилляторах типа BaF_2 , CsI и $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, работающих в условиях длительного воздействия ионизирующих излучений. Для исследования влияния различных видов радиации на физические свойства кристаллов используются абсорбционные измерения и метод термостимулированной люминесценции (ТСЛ) [1, 2].

В настоящей работе исследовалась ТСЛ неактивированных кристаллов BaF_2 (использовались образцы сцинтилляторов, для которых изучены оптические характеристики [2]) и образцов с высоким содержанием примеси лантана (до 40%), т. е. кристаллов $\text{BaF}_2-\text{LaF}_3$, которые также являются перспективными сцинтилляторами. Образцы размером $10 \times 10 \times 2$ мм были облучены рентгеновскими (УРС-1.0, $U = 35$ кВ, $I = 15$ мА, $\Delta t > 30$ мин) и гамма-квантами (^{60}Co , 10^6-10^7 рад), а также протонами ($E_p = 1$ ГэВ, 10^6-10^7 рад). Кривые и спектры ТСЛ измерялись с помощью монохроматора МДР-2 и фотоприемников ФЭУ-71 и ФЭУ-106. Скорость нагрева образцов во время измерений составляла 0.5 К/с.

На рис. 1 представлены характерные кривые ТСЛ исследуемых кристаллов. Для образцов BaF_2 после рентгеновского облучения при 100 К преобладали интенсивные пики 145 и 215 К (кривая 1), что согласуется с ранее полученными данными [3, 4]. В кристаллах $\text{BaF}_2-\text{LaF}_3$, облученных в идентичных условиях, регистрировался один высокотемпературный пик ($T_m = 445$ К) с большой полушириной (кривая 2). Кривые ТСЛ кристаллов BaF_2 , измеренные после облучения при комнатной температуре рентгеновскими, гамма-квантами (кривая 3) и протонами (кривая 4), имеют интенсивный термопик 420 К и подъем в области 510 К. Интенсивность пика 510 К значительно выше для p -облученных образцов. Следовательно, глубокие (дырочные) ловушки образуются в BaF_2 более эффективно при протонном облучении.

Спектры ТСЛ образцов фторида бария, измеренные в термопике 420 К (рис. 2, кривая 1), практически не зависят от вида облучения. Параметры ТСЛ BaF_2 , облученного при низкой температуре: спектр ТСЛ в термопике 145 К имеет максимум в области 330 нм с полушириной

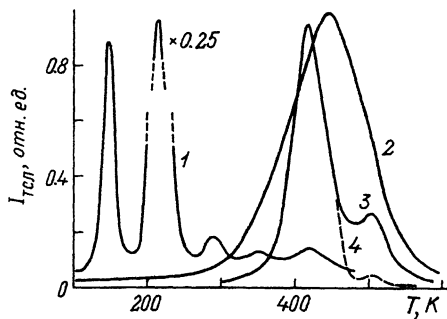


Рис. 1. Кривые ТСЛ кристаллов.

1 — BaF_2 , X -облученный при $T = 100$ К; 2 — $\text{BaF}_2\text{—LaF}_3$ (31%), X -облученный при $T = 80$ К; 3 — BaF_2 , p -облученный при $T = 295$ К; 4 — BaF_2 , X -, γ -облученный при $T = 295$ К.

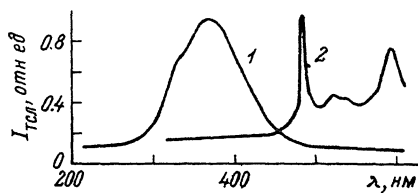


Рис. 2. Спектры ТСЛ кристаллов.

1 — BaF_2 в термопике 420 К, 2 — $\text{BaF}_2\text{—LaF}_3$ (31%) в термопике 445 К.

120 нм; в термопике 215 К — $\lambda_m = 370$ нм, полуширина 140 нм. Спектр ТСЛ $\text{BaF}_2\text{—LaF}_3$ при 445 К показан на рис. 2 (кривая 2). Основная узкая полоса спектра 490 нм связана, по-видимому, с неконтролируемой редкоземельной примесью.

Низкотемпературные пики ТСЛ BaF_2 при 145 и 215 К связаны, как показано в [3], с делокализацией дырочных H - и $V_{\text{КА}}$ -центров соответственно. Высокая интенсивность термопика 215 К свидетельствует о наличии неконтролируемых примесей в кристалле, поскольку $V_{\text{КА}}$ -центр — это стабилизированный примесью $V_{\text{К}}$ -центр.

В кристаллах $\text{BaF}_2\text{—LaF}_3$ стабильные дырочные центры, по-видимому, не образуются, поскольку отсутствуют соответствующие низкотемпературные пики ТСЛ. Кроме того, как показано в [5], с увеличением примеси лантана уменьшается интенсивность собственной люминесценции кристалла, связанной с распадом $V_{\text{К}}e^-$ -экситонов. В $\text{BaF}_2\text{—LaF}_3$ спектр ТСЛ имеет явно неэкситонный характер. Эти факты свидетельствуют об ухудшении условий примеси La во фторид бария.

Ранее показано [3], что при низкотемпературном облучении BaF_2 спектр ТСЛ в пике 105 К (область делокализации $V_{\text{К}}$ -центров) близок к спектру собственной (экситонной) люминесценции кристалла. Можно заметить, что более высокотемпературным пикам соответствуют большие длины волн излучения в спектрах ТСЛ и большая спектральная полуширина полос люминесценции. Аналогичная связь между T_m и λ_m характерна для собственной термолюминесценции фторида лития [6, 7]. Считается, что в BaF_2 [3] (и в LiF [7]) кванты собственной ТСЛ образуются при непосредственном взаимодействии делокализующихся дырочных центров ($V_{\text{К}}$ -, H - и $V_{\text{КА}}$ -центров при 105, 145 и 215 К соответственно) с F -центрами. При этом центрами люминесценции являются квазиэкситонные состояния, ответственные за широкие полосы свечения.

Сложнее обстоит дело с интерпретацией высокотемпературных пиков собственной ТСЛ BaF_2 . Образующиеся при $T > 300$ К под действием радиации дырочные центры непарамагнитны [8, 9], поэтому их трудно идентифицировать. Спектр ТСЛ в термопике 420 К может быть представлен как суперпозиция полосы $\lambda_m = 330$ нм с более интенсивной полосой $\lambda_m = 370$ нм. Сравнение с параметрами ТСЛ фторида бария, облученного при низкой температуре, позволяет предположить, что структура высокотемпературных дырочных центров аналогична структуре H - и $V_{\text{КА}}$ -центров.

Учитывая данные по изменению оптического пропускания облученных образцов фторида бария [2], можно утверждать, что радиационная стойкость BaF_2 определяется наличием остаточных примесей в кристалле.

Авторы выражают благодарность В. Н. Рейтерову за содействие в выполнении данной работы.

Список литературы

- [1] Woody C. L., Levy P. W., Kierstead J. A. // IEEE Trans. Nucl. Sci. 1989. V. NS-36. N 2. P. 536—543.
- [2] Yanovsky V. V., Reiterov V. M., Rodnyi P. A. // Nucl. Phys. B. 1991. V. 23A. N 1. P. 347—351.
- [3] Ершов Н. Н., Захаров Н. Г., Рейтеров В. М., Родный П. А. // Опт. и спектр. 1982. Т. 52. № 2. С. 372—375.
- [4] Shi C., Kloiber T., Zimmerer G. // J. Lum. 1991 (in press).
- [5] Головин А. В., Мельчаков Е. Н., Михайлин В. В., Родный П. А., Терёхин М. А. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 4. С. 253—256.
- [6] Podgorsak E. B., Moran P. R., Comeron J. R. // J. Appl. Phys. 1971. V. 42. N 7. P. 2761—2767.
- [7] Головин А. В., Захаров Н. Г., Родный П. А. // Опт. и спектр. 1989. Т. 67. N 2. С. 337—341.
- [8] Call P. J., Hayes W., Stott J. P., Huges A. E. // J. Phys. C. 1974. V. 7. N 14. P. 2417—2428.
- [9] Catlow C. R. A. // J. Phys. C. 1979. V. 12. N 6. P. 969—988.

Государственный технический университет
Санкт-Петербург
Институт ядерной физики
Гатчина

Поступило в Редакцию
10 декабря 1991 г.
