

РЕЛАКСАЦИЯ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫХ ПАР И СЦИНТИЛЛЯЦИИ В CsI-Tl И CsI-Na

© С.А. Чернов

Институт физики твердого тела Латвийского университета,
LV-1063 Рига, Латвия
(Поступила в Редакцию 6 марта 1996 г.)

Исследуется релаксация электронно-дырочных пар в CsI-Tl и CsI-Na.

Сцинтилляционные детекторы CsI-Tl и CsI-Na широко используются для регистрации ионизирующих излучений. Одним из преимуществ этих детекторов является высокий квантовый выход сцинтилляций. Так, например, для CsI-Tl квантовый выход сцинтилляций оказывается равным $(5.5-6.5) \cdot 10^4 \text{ phot./MeV}$ [1,2]. Если учесть, что на образование одной электронно-дырочной пары затрачивается энергия $(1.5-2.3)E_g$ [2] (где E_g — ширина запрещенной зоны, равная 6.1 eV для CsI), то оказывается, что квантовый выход сцинтилляций для этого кристалла превышает 50%. Почти такой же выход сцинтилляций наблюдается и в CsI-Na.

Механизм формирования сцинтилляций в этих кристаллах установлен и связан с процессами миграции автолокализованных дырок (V_k -центров) с последующей излучательной рекомбинацией их с Tl^0 - или Na^0 -центрами в CsI-Tl или CsI-Na соответственно [3-5]. Показано также, что в процессе термоактивированной миграции V_k -центров в CsI-Na вероятность их рекомбинации с Na^0 -центрами на порядок превосходит вероятность их захвата на Na^+ с образованием V_{kA} -центров [5]. Это соотношение вероятностей рекомбинации и захвата V_k -центров реализуется и в CsI-Tl и кардинальным образом отличается от ситуации в кристаллах со структурой NaCl, в которых вероятность захвата V_k -центра на Tl^+ , например, заметно превосходит вероятность их рекомбинации с Tl^0 -центрами [6,7].

Эти соображения можно проиллюстрировать полученными нами ранее данными по исследованию кинетики релаксации поглощения V_k - и Na^0 - или Tl^0 -центров, наведенных импульсом ускорителя электронов в кристаллах CsI-Na и NaI-Tl (рис. 1, 2) [5,7]. Из рис. 1 видно, что кинетики релаксации поглощения V_k - и Na^0 -центров в CsI-Na при 160 K полностью совпадают и в процессе рекомбинации V_k - и Na^0 -центров исчезает около 90% этих центров. Энергия активации этого процесса совпадает с энергией активации миграции V_k -центров [5]. В то же

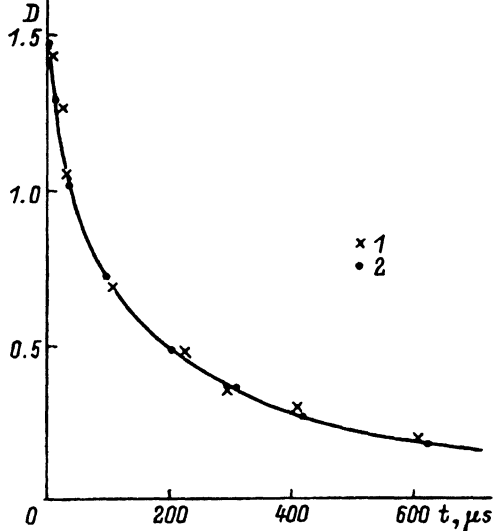


Рис. 1. Релаксация оптического поглощения в максимуме V_k - (1) и Na^0 -полос поглощения (2) кристалла CsI-Na после окончания импульса электронов при $T = 160$ К. Кривые нормированы при $t = 0$.

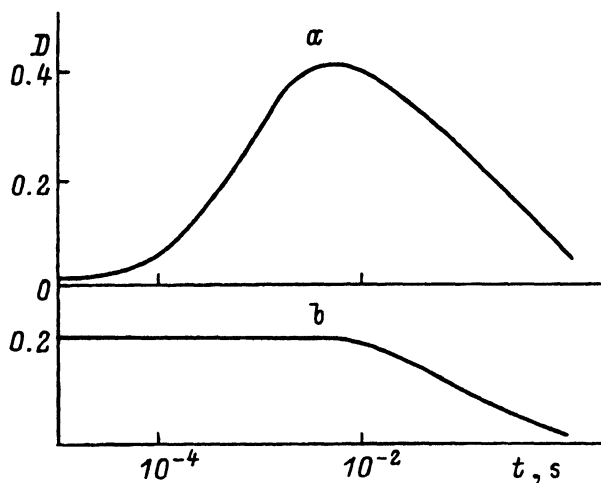


Рис. 2. Релаксация оптического поглощения после окончания импульса электронов в кристалле NaI-Tl при $T = 115$ К. а — в максимуме Tl^{2+} -полосы, б — в максимуме Tl^0 -полосы.

время в NaI-Tl (рис. 2, а, б) в интервале времен, в котором происходит нарастание Tl^{2+} -центров за счет миграции и захвата V_k -центров на Tl^+ , не наблюдается сколько-нибудь заметного уменьшения концентрации Tl^0 -центров, т.е. V_k -центры преимущественно захватываются на Tl^+ , а вероятность рекомбинации V_k -центра в процессе термоактивированной миграции с Tl^0 -центром в NaI-Tl очень мала. Такое соотношение вероятностей рекомбинации и захвата V_k -центров позволяет объяснить высокий выход спинтилляций в кристаллах CsI-Tl и CsI-Na, так как в

самом маломалонерционном процессе высвечивается основная часть запасаенной светосуммы, однако до настоящего времени не была установлена причина, ведущая к реализации такого соотношения вероятностей рекомбинации и захвата V_k -центров в этих кристаллах.

В самое последнее время, однако, было обнаружено, что в щелочно-галлоидных кристаллах значительная часть создаваемых ионизирующим излучением электронно-дырочных пар оказывается в связанном состоянии [8-10]. Более того, было показано, что в кристаллах RbI и KI практически все автолокализованные экситоны образуются в результате коррелированной релаксации такой электронно-дырочной пары т. е. процесс образования автолокализованных экситонов проходит через стадию образования одногаллоидной автолокализованной дырки, связанной с электроном, или одногаллоидного экситона [9,10]. Такие метастабильные одногаллоидные автолокализованные экситоны обнаружены в ряде щелочно-галлоидных кристаллов и по люминесценции [11].

На основании этих данных можно понять физические процессы, реализующиеся в активированных кристаллах CsI. По всей вероятности, в этих кристаллах основанная часть образуемых ионизирующим излучением электронно-дырочных пар оказывается в связанном состоянии. Такая связанная электронно-дырочная пара в процессе коррелированной релаксации достигает примеси и распадается в ее окрестности с образованием TI^0-V_k -пары дефектов в CsI-Tl, например, обеспечивая тем самым высокую степень пространственной корреляции этих пар дефектов. Пространственная корреляция TI^0-V_k или Na^0-V_k -пар в кристаллах CsI-Tl и CsI-Na соответственно определяет высокую вероятность их излучательной аннигиляции в термостимулированном процессе и как следствие высокий выход сцинтилляций в этих кристаллах.

Список литературы

- [1] C.W.E. van Eijk. J. Lumin. **60/61**, 936 (1994).
- [2] A. Lempicki. Wojtowcz. J. Lumin. **60/61**, 942 (1994).
- [3] А.С. Абдувалиев, Н.Г. Волков, В.К. Ляпидевский, В.А. Прорвич, Л.В. Шамовский. ПТЭ **1**, 61 (1975).
- [4] Л.М. Шамовский, А.А. Рогожин. Изв. АН СССР. Сер. физ. **43**, 6, 1155 (1979).
- [5] Э.Д. Алукер, В.В. Гаврилов, С.А. Чернов. Быстропротекающие радиационно-стимулированные процессы в щелочно-галлоидных кристаллах. Зинатне. Рига (1987). 183 с.
- [6] H.B. Dietrich, A.E. Pardy, R.B. Murray, R.T. Williams. Phys. Rev. **B8**, 12, 5894 (1973).
- [7] Э.Д. Алукер, В.В. Гаврилов, Р.Г. Дейч, Ф.В. Пирогов, С.А. Чернов. ФТТ **28**, 1, 168 (1986).
- [8] T. Shibata, S. Iwai, T. Tokizaki, K. Tanimura, A. Nakamura, N. Itoh. Phys. Rev. **B49**, 18, 13255 (1994).
- [9] S. Iwai, T. Tokizaki, A. Nakamura, T. Shibata, K. Tanimura, A. Shluger, N. Itoh. J. Lumin **60/61**, 720 (1994).
- [10] S. Iwai, A. Nakamura, K. Tanimura, N. Itoh. Solid State Commun. **96**, 10, 803 (1995).
- [11] Ч.Б. Лущик, А.Ч. Лущик, Е.А. Васильченко, Ф.А. Савихин. ФТТ **37**, 2, 525 (1995).