

РАСПАД ЭКСИТОНОВ НА ДЕФЕКТЫ И ПОЛЯРИЗОВАННАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ПРИ РЕКОМБИНАЦИИ ДЕФЕКТОВ В Cs Br

*Ч.Б. Лущик, Е.А. Васильченко, А.Ч. Лущик,
Н.Е. Лущик, Х.А. Соовик, М.М. Тайиров*

Для кристаллов Cs Br при 4,2К обнаружен распад создаваемых фотонами экситонов на френкелевские дефекты (*F*- и *H*-центры). Обратный процесс — стимулированная подсветкой или нагревом рекомбинация *H*-центров с *F*-центрами — приводит к созданию автолокализованных экситонов, дающих характерную поляризованную люминесценцию 3,5 эВ.

Недавно для гранецентрированных кубических кристаллов KBr обнаружен распад автолокализующихся экситонов (АЛЭ) с рождением нейтральных френкелевских дефектов (*F*- и *H*-центров) [1, 2]. Методом ЭПР доказано, что АЛЭ представляет собой электрон (*e*) в поле автолокализованной дырки (молекулы Br_2^- , занимающей два анионных узла), *H*-центр — это молекула Br_2^- , занимающая один анионный узел решетки, а *F*-центр — электрон в поле анионной вакансии (см., например, [1, 2]).

Нами при 4,2К обнаружен распад АЛЭ с рождением F^- и H -центров в объемноцентрированных кубических кристаллах CsBr. Впервые обнаружена также сопровождающая разрушение H -центров поляризованная фото- и термостимулированная люминесценция АЛЭ, интерпретированная как результат излучательной рекомбинации френкелевских дефектов.

Кристаллы CsBr с содержанием примесей менее $10^{15} + 10^{16} \text{ см}^{-3}$ выращены после 40-кратной зонной плавки. Вырезанный по плоскостям $\{100\}$ кристалл возбуждали вдоль направления $[001]$ в иммерсионном гелиевом криостате ВУФ радиацией водородного разряда через монохроматор ВМР-2 (интенсивность $10^8 + 10^9 \text{ фотон} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$, время $10^1 + 10^4 \text{ сек}$). Люминесценция регистрировалась по направлению $[010]$ через монохроматор МДР-2 охлаждаемым ФЭУ-106 работающим в режиме фотонсз. Фотостимуляция осуществлялась в направлении $[001]$ через монохроматор ДМР-4. Поляризатором и анализатором служили поляроидные пленки.

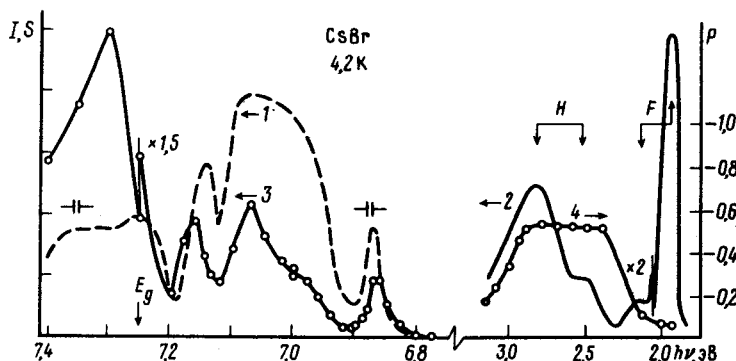


Рис. 1.

На рис. 1 (1) приведен измеренный при 4,2 К спектр возбуждения (равным числом фотонов) люминесценции 3,5 эВ, которая соответствует по [8] излучательной аннигиляции триплетных АЛЭ (электронные переходы $^3\Sigma_u^- \rightarrow ^1\Sigma_g^+$ в молекуле $\text{Br}_2^- e$). Свечение АЛЭ эффективно возбуждается в области собственного поглощения, где создаются свободные экситоны с $n = 1$; 2 (6,8 – 7,2 эВ) и разделенные электроны и дырки ($h\nu > E_g = 7,25 \text{ эВ}$).

В [4] показано, что после облучения CsBr частицами или квантами большой энергии при 10 К возникают стабильные F -центры (полосы поглощения 1,95 и 2,15 эВ) и H -центры (полосы 2,53 и 2,84 эВ). Мы обнаружили возникновение F^- и H -центров после облучения CsBr фотонами 6,8 – 7,2 эВ, селективно создающими экситоны. Как следует из рис. 1 (2), люминесценция 3,5 эВ в облученных кристаллах возбуждается не только в области $h\nu > 6,8 \text{ эВ}$, но и фотонами 1,5 + 3,0 эВ. Фотостимулированная люминесценция (ФСЛ) автолокализованных экситонов возникает при поглощении света F -центрами (1,95 и 2,15 эВ) и H -центрами (2,50 и 2,82 эВ).

На рис. 2 (1) приведены данные о термостимулированной люминесценции (ТСЛ) в области 3,5 эВ, сопровождающей отжиг H - и F -центров. После облучения фотонами 7 эВ кристалл нагревался со скоростью 1 К/мин. Как показало специальное исследование и, в частности, изучение отжига H -центров (см. рис. 2 (2)), пики ТСЛ 11, 13 и 18 К соот-

ветствуют прыжковой диффузии H -центров и их рекомбинации с F -центрами, локализованными на разных расстояниях от H -центров. Наиболее интенсивный пик при 11 К соответствует рекомбинации близких H - и F -центров, которые особенно эффективно возникают при распаде экситонов.

На рис. 1 (3) приведен спектр создания H -центров равным числом фотонов разных частот (10^{10} фотон \cdot см $^{-2}$). Относительное число H -центров определялось по потоку ФСЛ 3,5 эВ при подсветке фотонами 2,8 эВ, которые стимулируют прыжковую диффузию H -центров. Спектр создания H -центров в области 6,8 + 7,2 эВ свидетельствует, что в CsBr при 4,2 К экситоны с $n = 1$ и $n = 2$ распадаются с рождением H -центров. H - и F -центры возникают также при рекомбинации электронов с автолокализованными дырками ($h\nu > 7,25$ эВ).

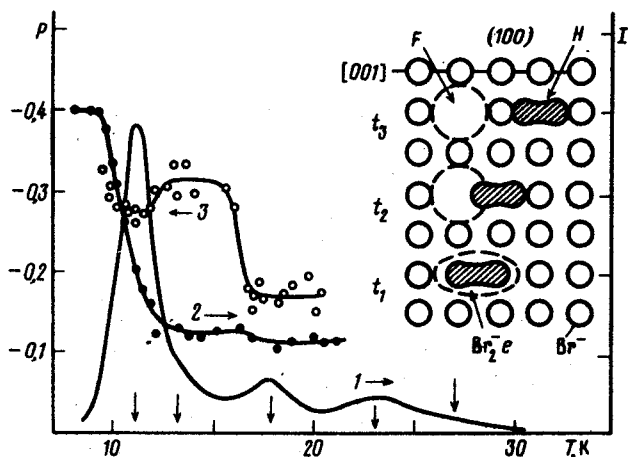


Рис. 2.

Распад АЛЭ ($\text{Br}_2^+ e$) на дефекты схематически изображен на вставке рис. 2. Молекула Br_2^+ , занимающая первоначально (t_1) два анионных узла, смещается затем (t_2, t_3) в один узел (образуется H -центр), а электрон остается локализованным около второго узла (образуется F -центр).

Особый интерес представляет совпадение спектров излучения ФСЛ и ТСЛ для облученных CsBr со спектром излучения триплетных АЛЭ (3,5 эВ) при прямом создании экситонов фотонами 6,8 + 7,2 эВ. Это привело к гипотезе, что фото- и термостимулированные рекомбинации H -центров с F -центрами могут привести к созданию АЛЭ, т. е. к процессу обратному распаду АЛЭ на дефекты. Как видно из вставки на рис. 2. в кристалле CsBr при рекомбинации близких H - и F -центров (процессы $t_3 \rightarrow t_2 \rightarrow t_1$) ориентация Br_2^+ сохраняется, и при фото- или термостимулированном отжиге дефектов следует ожидать возникновения поляризованной люминесценции АЛЭ.

В согласии с этой моделью при подсветке облученного кристалла линейно-поляризованным по $[100]$ светом (2,8 эВ) возникает *поляризованная* люминесценция 3,5 эВ, характерная для ориентированных по осям четвертого порядка излучателей. На рис. 1 (4) приведена спект-

ральная зависимость степени поляризации ФСЛ $P = (I_{100} - I_{001}) / (I_{100} + I_{001})$. В области полос поглощения H -центров $P = -0,5$. Появление свечения с $P < 0$ обусловлено тем, что поглощение стимулирующего света разрешено в направлении оси молекулы $\text{Vg} \frac{1}{2}$ [4], а излучательный переход (3,5 эВ) для АЛЭ разрешен в плоскости, перпендикулярной оси молекулы [3].

Если после облучения фотонами 7 эВ ориентированно разрушить 2/3 H -центров фотонами 2,8 эВ (кроме центров, ориентированных вдоль распространения высвечивающего света [001]), то при измерении затем ТСЛ в направлении [010] свечение 3,5 эВ оказывается поляризованным. Температурная зависимость P приведена на рис. 2(3). Происходит ориентированная рекомбинация оставшихся после подсветки H -центров с F -центрами. При рекомбинации близких H - и F -центров (пик ТСЛ 11 К) $P = -0,3$. Для более разделенных H - и F -центров (пик ТСЛ 18 К) степень поляризации меньше, так как при многократных прыжках H -центров происходит их частичная переориентация.

Сложные альтернативные объяснения появления люминесценции АЛЭ при прыжковой диффузии H -центров связаны с взаимодействием последних не с F -центрами, а с какими-то другими радиационными или дорадиационными дефектами. Наши эксперименты при очень малых дозах облучения (10^9 фотон \cdot см $^{-2}$) показали, однако, что даже в условиях полной изоляции F -, H -пар друг от друга и от других радиационных дефектов удастся зарегистрировать пик ТСЛ 11 К с характерным излучением 3,5 эВ (свечение АЛЭ при электронных переходах $^3\Sigma_u \rightarrow ^1\Sigma_g$).

Неудачные попытки обнаружить люминесценцию при рекомбинации H -центров с F -центрами предпринимались ранее для KCl и KBr [5]. В CsBr энергия релаксированного АЛЭ и энергия F -, H -пары близки по величине, что и дает возможность реакции $\text{АЛЭ} \rightleftharpoons F + H$ протекать в обоих направлениях. Для ионных кристаллов давно известна и хорошо исследована люминесценция при рекомбинации электронов с дырками. Для CsBr мы встретились с фактами, которые могут быть объяснены как люминесценция при рекомбинации френкелевских дефектов (H - и F -центров).

Институт физики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
19 июня 1980 г.
После переработки
23 сентября 1980 г.

Литература

- [1] Ч.Б. Лушик, И.К. Витол, М.А. Эланго. УФН, 122, 223, 1977.
- [2] R.W. Williams. J. Semiconductors and Insulators, 3, 251, 1978.
- [3] E.A. Vassilchenko et al. J. Luminescence, 5, 117, 1972.
- [4] F. Van de Wiele, G. Jacobs. Phys. Stat. Sol., 17, 177, 1966.
- [5] D.E. Aboltin et al. Phys. Stat. Sol. (a), 47, 667, 1978.