

УДК 537.228:535.376

©1995

РЕНТГЕНОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ИОННЫХ КРИСТАЛЛОВ В СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

В.Д.Куликов, В.М.Лисицын

Томский политехнический университет,
634004, Томск, Россия
(Поступила в Редакцию 6 февраля 1995 г.)

Исследовалось влияние внешнего электрического поля напряженностью $\sim 2.4 \cdot 10^4$ В/см на свечение ионных кристаллов CaF_2 , KBr , NaCl . Обнаружено увеличение интенсивности экситонной люминесценции в $1.3 \div 1.4$ раза. Делается вывод о том, что рост синглетной и триплетной люминесценции под действием сильного электрического поля обусловлен эффектом Онзагера.

Действие сильного электрического поля на твердое тело сопровождается возникновением ряда явлений. Это может быть изменение каталитических и адсорбционных свойств вещества, электролюминесценция и при очень сильных полях электрический пробой.

В настоящей работе представлены результаты наблюдения усиления рентгенолюминесценции (РЛ) в импульсном электрическом поле в ряде ионных кристаллов. Исследовались чистые кристаллы CaF_2 , KBr , NaCl , выращенные из расплава соли марки ОСЧ. Образцы размером $40 \times 40 \times 5$ мм выкальвывались из монокристаллов по плоскостям спайности. Схема измерений представлена на рис. 1, а. Электронный пучок ускорителя 1 (максимальная энергия электронов — 0.3 MeV, длительность импульса (на полувысоте) ~ 15 ns, плотность тока $j = 50$ А/см²) служил одновременно для создания сильного электрического поля и рентгеновского излучения. Рентгеновское излучение получалось при воздействии пучка электронов на мишень, представляющую собой Al-шайбу 2 толщиной ~ 1 мм и диаметром ~ 15 мм. На мишень устанавливались последовательно исследуемый образец 3 и заземленный электрод 4. В этом случае при облучении формируется конденсатор с отрицательным зарядом в Al-мишени и наведенным положительным зарядом в верхнем электроде. Для максимального накопления заряда мишень крепилась на диэлектрической подставке 5, облучение проводилось в вакууме (0.13 Па).

Для измерения напряженности электрического поля E в диэлектрике использовалась методика [1] с применением линейного электрооптического эффекта. Электрооптическим кристаллом служил образец высокоомного, кубического ZnSe с размером $10 \times 10 \times 0.7$ мм. Образец ZnSe 6 помещался между исследуемым кристаллом и заземленным электродом (рис. 1, а). В образованном конденсаторе напряженности

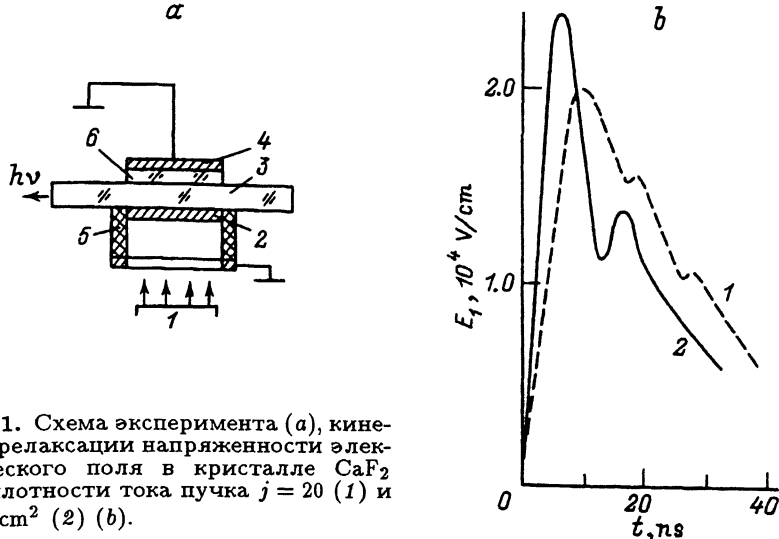


Рис. 1. Схема эксперимента (а), кинетика релаксации напряженности электрического поля в кристалле CaF_2 при плотности тока пучка $j = 20$ (1) и 50 A/cm^2 (2) (б).

электрического поля в исследуемом кристалле E_1 и в ZnSe E_2 связаны зависимостью

$$\varepsilon_1 \varepsilon_0 E_1 = \varepsilon_2 \varepsilon_0 E_2, \quad (1)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ — диэлектрическая проницаемость образца и ZnSe соответственно, $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$.

В установке линейно поляризованный свет He-Ne-лазера проходил последовательно через образец ZnSe , поляризатор и регистрировался фотоприемником ФЭУ-30. Значение E_2 определялось из условия [2]

$$I_1 = I_0 \sin^2 [(\pi/\lambda) l n_0^3 r_{41} E_2], \quad (2)$$

где I_0, I_1 — интенсивности света при полном пропускания света поляризатором и при установке поляризатора на гашение лазерного света в момент импульса электронного ускорителя, λ — длина волны лазера, l — длина образца ZnSe с полем в направлении распространения света, r_{41} — электрооптический коэффициент, n_0 — показатель преломления ZnSe . Временное разрешение составляло $\sim 3 \text{ ns}$, пороговая чувствительность — $\sim 2 \cdot 10^3 \text{ V/cm}$.

На рис. 1, б приведены кинетики $E_1(t)$ в образце CaF_2 при двух значениях плотности тока пучка. С увеличением плотности тока максимальная амплитуда поля меняется слабо от $2 \cdot 10^4 \text{ V/cm}$ при плотности тока 20 A/cm^2 (кривая 1) до $2.4 \cdot 10^4 \text{ V/cm}$ при $j = 50 \text{ A/cm}^2$ (кривая 2). Это связано с поверхностным пробоем диэлектрика подставки и интенсивной релаксацией заряда из мишени на землю.

При заземлении мишени величина наведенной напряженности была ниже пороговой чувствительности метода ($\sim 2 \cdot 10^3 \text{ V/cm}$).

Спектрально-временные характеристики РЛ изучались при комнатной температуре на импульсном оптическом спектрометре, включающем в себя монохроматор МДР-3, фотоумножитель ФЭУ-97 и осциллограф И2-7 с разрешением во времени не хуже $\sim 10^{-3} \text{ s}$.

Действие электрического поля на свечение РЛ образцов оценивалось по результатам измерений ее интенсивности I в двух режимах: в

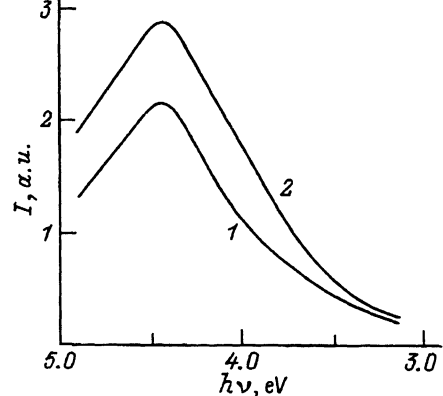


Рис. 2. Спектр РЛ CaF_2 без (1) и при действии (2) электрического поля.

«отсутствие» поля (при заземленной Al-мишени) и при его наложении. В обоих случаях интенсивность рентгеновского излучения определялась плотностью тока пучка ускорителя и не отличалась более чем на $5 \div 7\%$.

На рис. 2 приведены спектры РЛ кристалла CaF_2 в двух указанных режимах возбуждения, постоянные по амплитудным значениям вспышек при различных длинах волн. Можно видеть (кривая 2 на рис. 2), что наложение поля напряженностью $\sim 2.4 \cdot 10^4 \text{ V/cm}$ приводит к возрастанию интенсивности свечения образца по всему спектру на 30–40%. Влияния поля на кинетику затухания люминесценции CaF_2 после окончания возбуждающих импульсов не обнаружено: в обоих случаях в области 4.43 eV она описывается экспонентой с постоянной времени $\tau \approx 1.2 \mu\text{s}$.

По спектральным характеристикам, а также по времени затухания при 295 К наблюдаемая нами люминесценция соответствует свечению двухгалоидных автолокализованных экситонов (ДАЛЭ), возникающему при их излучательной аннигиляции из триплетного $^3\Sigma_u^+$ -состояния [3].

В аналогичных условиях эксперимента нами был зарегистрирован эффект усиления синглетной люминесценции для щелочно-галоидных кристаллов NaCl ($\lambda_m = 231 \text{ nm}$) и KBr ($\lambda_m = 280 \text{ nm}$) в $1.3 \div 1.4$ раза. В кристалле KBr, кроме того, было обнаружено увеличение (также в $1.3 \div 1.4$ раза) интенсивности наведенного короткоживущего поглощения (в полосе $\lambda_m = 630 \text{ nm}$), обусловленного F -центрами окраски, при наложении поля.

Таким образом, приложение электрического поля с напряженностью $2.4 \cdot 10^4 \text{ V/cm}$ сопровождается существенным (на 30–40%) увеличением концентрации генерированных в объеме ДАЛЭ, эффективности создания F -центров.

Хорошо известно, что основным механизмом создания ДАЛЭ в щелочно-галоидных кристаллах и флюоритах является захват электронов проводимости на свободное состояние автолокализованных дырок V_k -центров окраски [3]. Релаксация созданного таким образом электронного возбуждения может быть и безызлучательной с распадом на F - H -пару. Следовательно, наблюдаемый эффект увеличения эффективности создания ДАЛЭ и F - H -пар, скорее всего, объясняет

ся увеличением в электрическом поле числа создаваемых импульсом радиации V_k -центров.

Увеличение числа V_k -центров под действием поля может происходить вследствие размножения зонных носителей по ударному механизму. Однако, согласно теоретическим оценкам и экспериментальным данным [4], для реализации этого механизма необходимы значения напряженности поля не ниже 10^6 В/см, что почти на два порядка превышает используемые нами. Развитие лавинного размножения носителей на возможных неоднородностях в структуре кристалла, где напряженность может быть выше, чем средняя по объему, видимо, маловероятно, так как после многократных приложений поля визуально не наблюдались участки с тепловым пробоем материала.

Более приемлемым объяснение наблюдаемого явления повышения числа создаваемых V_k -центров с приложением поля представляется с позиций эффекта Онзагера, суть которого заключается в увеличении выхода свободных носителей за счет снижения в электрическом поле вероятности рекомбинации генетически связанных пар [5-7]. Число таких пар в ионных кристаллах, у которых начальная кинетическая энергия относительно движения электрона и дырки не превышает $1 \div 2$ eV, согласно [5], составляет 20-30% от общего числа генерированных радиацией носителей, что удовлетворительно согласуется с полученными нами значениями коэффициента усиления.

Вывод о том, что эффективность создания ДАЛЭ связана с дальностью разлета компонентов пар, следует из данных по измерению спектров возбуждения свечения ДАЛЭ. Так, в [8] показано, что выход синглетной люминесценции ДАЛЭ при зона-зонном возбуждении щелочно-галоидных кристаллов в несколько десятков раз выше, чем при оптическом создании свободных экситонов.

В заключение авторы выражают признательность В.Ф.Штанько, В.Ю.Яковлеву за помощь в проведении эксперимента и полезное обсуждение результатов.

Список литературы

- [1] Куликов В.Д., Лисицын В.М. Деп. в ВИНТИ 11.10.85, рег. № 7202-В.
- [2] Мустель Е.Р., Парыгин В.Н. Методы модуляции и сканирования света. М. (1970). 295 с.
- [3] Williams R.T., Kabler M.N., Hayes W., Stott S.P. Phys. Rev. **B14**, 2, 725 (1976).
- [4] Воробьев А.А., Воробьев Г.А. Электрический пробой и разрушение твердых диэлектриков. М. (1966). 224 с.
- [5] Эланго М.А. Элементарные неупругие радиационные процессы. М. (1988). 145 с.
- [6] Портнягин А.С., Мильман И.П., Кортов В.С. ФТТ **33**, 8, 2258 (1991).
- [7] Портнягин А.С., Мильман И.П., Кортов В.С. ФТТ **34**, 5, 1444 (1992).
- [8] Ikezawa M., Kojima T. J. Phys. Soc. Jap. **27**, 6, 1551 (1969).