

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭКСИТОНОВ С ФОНОНАМИ В ШИРОКОЩЕЛЕВОМ ДИЭЛЕКТРИКЕ NaI

В.Г.Плеханов, А.А.О'Коннелль-Бронин

Обнаружены LO -повторения люминесценции свободных экситонов и дублетная структура бесфононной линии излучения, которая, по-видимому, обусловлена светоэкситонным взаимодействием.

Эксперименты последних лет, выполненные на щелочногалоидных кристаллах показали, что наряду с хорошо изученными автолокализованными экситонами (АЭ) в этих системах могут одновременно существовать и свободные экситоны (СЭ) [1 – 4]. Переход из подвижного состояния экситонов в автолокализованное идет с преодолением небольшого потенциального барьера [1 – 4], происхождение которого, связывается с актуальным в этих системах короткодействующим взаимодействием экситонов с фононами [5 – 8]. Оценки высоты барьера согласно этим теориям оказываются завышенными, о чем уже отмечалось в работе [5].

В работе [5] указывалось также на важность поляризационного взаимодействия экситонов с фононами, поскольку учет его в теории приводит к уменьшению высоты барьера. Однако, в теории это взаимодействие не учитывалось, так как не было экспериментальных данных о его проявлении. Как известно, поляризационное взаимодействие характерно для экситонов большого радиуса, движущихся когерентно в кристаллической решетке, для которых существенно светоэкситонное взаимодействие.

Хотя в работах [2,3] отмечалось, что эти эффекты могут реализоваться и в широкощелевых диэлектриках с автолокализующимися экситонами, однако, насколько нам известно, для этих систем ни поляризационное взаимодействие, ни светоэкситонные эффекты до настоящего времени в прямых экспериментах обнаружены не были.

В настоящей работе с высоким разрешением и большой чувствительностью исследована собственная люминесценция кристаллов NaI. Впервые обнаружена структура бесфононной линии излучения свободных экситонов, а также 1 LO -и 2 LO -повторения ее, что по нашему мнению, свидетельствует о важности поляризационного взаимодействия экситонов с фононами. Экспериментальная установка, включающая иммерсионный гелиевый криостат, скрещенные монохроматоры МДР-2 и ДМР-4 и чувствительную систему счета фотонов с охлаждением ФЭУ-106 описана в [9].

Типичные спектры люминесценции кристаллов NaI с зеркальной поверхностью при возбуждении фотонами в области коротковолнового спада экситонной ($n = 1$) полосы и 4,2К приведены на рис. 1. Кроме полосы излучения АЭ с $E_M = 4,22$ эв, с коротковолновой стороны от нее

наблюдаются три эквидистантные линии, отстоящие друг от друга на величину очень близкую энергии предельного оптического фонона: $E_M = 22 \text{ мэв}$ [10], при этом бесфононная линия имеет дублетную структуру с величиной расщепления $\sim 20 \text{ мэв}$. Полуширина длинноволновой компоненты дублета составляет $\sim 7 \text{ мэв}$. Это в 40 с лишним раз меньше, чем полуширина полосы люминесценции АЭ. Повышение температуры и продолжительное облучение кристалла приводит к тушению коротковолнового излучения.

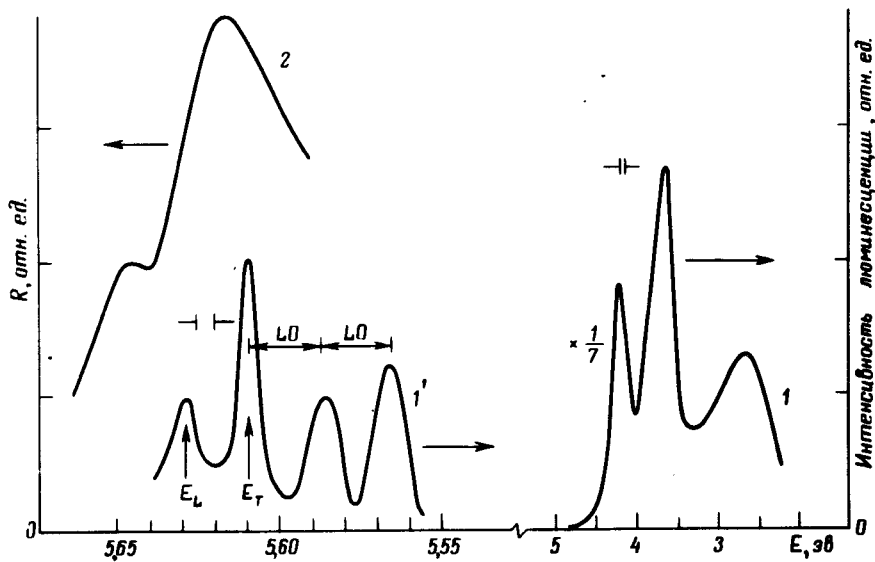


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции (1; 1') и отражения (2) кристаллов NaI при 4,2 К. Энергия возбуждающих фотонов равна 5,75 эв, Стрелками указано приблизительное положение верхней (E_L) и нижней (E_T) поляритонных ветвей. Указано разрешение спектрального прибора

Резонанс со спектром отражения (см. рис. 1) бесфононной линии, как и наличие ее двух LO-повторений показывают, что наблюдаемое излучение обусловлено СЭ большого радиуса. Квантовый выход излучения СЭ ($\eta_{СЭ}$) при $T \lesssim 20 \text{ К}$ составляет $1 - 2 \cdot 10^{-3}$ [3,9], тогда как для АЭ $\eta_{АЭ} \approx 1$ [11]. Температурные поведения выходов свечения СЭ и АЭ (рис. 2) антибатны и дают одинаковую величину барьера $q = 16,5 \pm \pm 0,5 \text{ мэв}$ (см., также [2,3,4,11]), однако сумма выходов не сохраняется и зависит от температуры. Последнее следует из уменьшения $\eta_{АЭ}$ в 25 - 30 раз при понижении температуры от 70 до 4К, тогда как за счет возгорания излучения СЭ его уменьшение должно быть $1 \div 2 \cdot 10^{-3}$. Это расхождение обусловлено переносом энергии свободными экситонами на примесь, что проявляется в разгорании примесного свечения с $E_M = 3,67 \text{ эв}$ в этом интервале температур. Отсюда следует, что при понижении температуры резко возрастает длина свободного пробега (l) экситонов (см., также [3]). Найденное экспериментально в работах [2, 3, 12] значение величины l для NaI составляет тысячи постоянных решеток. Принимая, как и в работе [2], ширину экситонной зоны $\Delta E \approx \approx 4 \text{ эв}$, а время жизни СЭ $\sim 10^{-11} \text{ сек}$ [2,3], была сделана оценка вели-

чины l для когерентного движения экситона, которая составила $l \approx 10^3$ нм. К выводу о когерентности движения СЭ в щелочных иодидах привел авторов работы [3] анализ температурной зависимости коэффициента диффузии. Таким образом, в области близкой к резонансу, экситоны в NaI обладают хорошим квазиимпульсом. С ростом кинетической энергии СЭ их подвижность уменьшается, а вероятность автолокализации растет (рис. 2, а). Этот факт указывает на то, что чем большей неравновесностью обладают экситоны в зоне, тем вероятнее их автолокализация и тем быстрее они теряют когерентность.

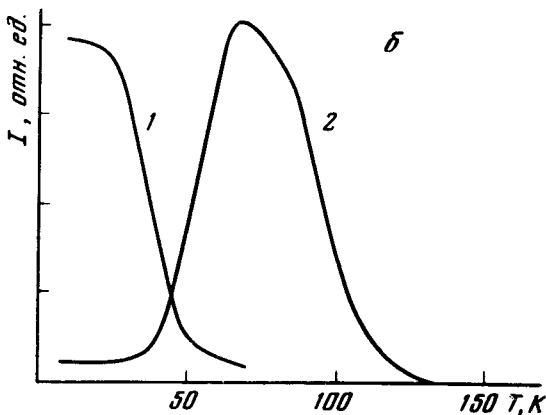
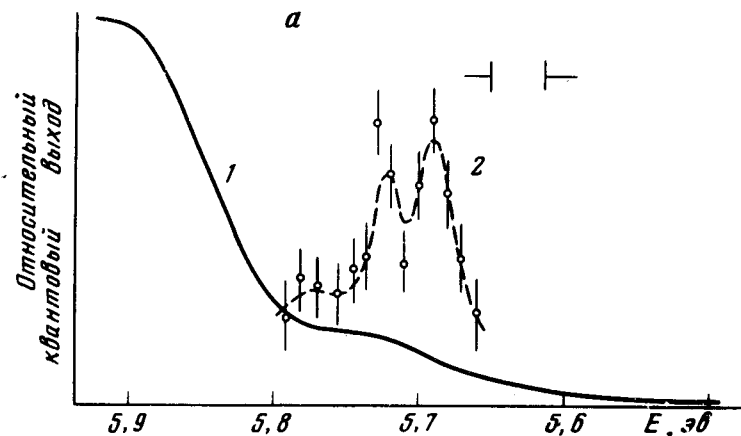


Рис. 2. а – Спектры возбуждения стационарной люминесценции автолокализованных (1) экситонов ($E_M = 4,22$ эв) и $2LO$ -повторения (2) свободных экситонов ($E_M = 5,565$ эв) при 4,2 К; б – зависимость интенсивности люминесценции $2LO$ -повторения при рентгеновском возбуждении (1) и автолокализованных экситонов при фотовозбуждении (2) от температуры. Указанное разрешение спектрального прибора относится к кривой 2(а)

Для экситонов, у которых квазиимпульс является хорошим квантовым числом, необходимо учитывать светоэкситонное взаимодействие, так как истинными собственными состояниями системы в этом случае являются поляритоны. По-видимому именно этим взаимодействием обусловлена структура бесфононной линии излучения СЭ. Одной из причин отклонения контура LO -повторений от максвелловского может быть горячее излучение экситонов в области барьера [8], которое спектрально расположено в области LO -повторений.

Экспериментальные результаты этой работы позволяют сделать два основных вывода: 1) для широкощелевых диэлектриков типа NaI проявляется поляризационное взаимодействие экситонов с фононами; 2) при низкой температуре вероятность автолокализации растет с увеличением кинетической энергии СЭ.

Авторы глубоко признательны В.И.Алтухову, и Г.С.Завту за полезные дискуссии и Ч.Б.Лущику, по инициативе которого была написана эта работа.

Институт физики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
21 ноября 1977 г.

Литература

- [1] И.Л.Куусманн, П.Х.Либлик; Ч.Б.Лущик. Письма В ЖЭТФ, **21**, 161, 1975.
 - [2] И.Л.Куусманн, Г.Г.Лийдя, Ч.Б.Лущик. Труды ИФ АН ЭССР, №46, 1976.
 - [3] Н.Nishimura, С.Оhigashi, Y.Тanaka, М.Тomura. J.Phys. Soc. Japan, **42**, 175, 1977; **43**, 157, 1977.
 - [4] Т.Nayashi, Т.Оhata, S.Koshino.J.Phys. Soc.Japan, **42**, 1647, 1977; **43**, №1, 1977
 - [5] Э.И.Рашба. Известия АН СССР, сер.физ., **40**, 1793, 1976.
 - [6] Э.И.Рашба. ФНТ, **3**, 524, 1977.
 - [7] Y.Тоyozawa. Proc. Int. Conf. Vacuum Ultraviolet Radiation Physics, Hamburg, (Pergamon/Vieweg), 1974, p.317.
 - [8] В.В.Хижняков, А.В.Шерман. Труды ИФ АН ЭССР, №46, 120, 1976.
 - [9] А.А.О'Коннель-Бронин, Р.И.Гиндина, В.Г.Плеханов. ФТТ, **19**, №12, 1977.
 - [10] A.D.Wood, В.N.Вrockhouse, R.A.Cowley, W.Cochran. Phys.Rev., **131**, 1025, 1963.
 - [11] Н.Blume, М.Fontana, W. van Sciver. Phys. Stat. Sol., (b), **29**, 159, 1968.
 - [12] Ч.Б.Лущик, Г.Г.Лийдя, Н.Е.Лущик, Е.А.Васильченко, К.А.Калдер, Р.А.Кинк, Т.А.Соовик. Изв. АН СССР, сер.физ., **37**, 334, 1973.
-