

Авторы признательны В. В. Вавиловой, М. Е. Кост и Л. Н. Падурец за приготовление образцов и А. В. Иродовой за обсуждение результатов работы.

Л и т е р а т у р а

- [1] Фельдман И., Алефельд Г. В кн.: Водород в металлах. М.: Мир, 1981, т. 1, с. 379—408.
- [2] Bowtan R. C., Maeland A. J., Rhim W. K. Phys. Rev. B, 1982, vol. 26, N 12, p. 6362—6378.
- [3] Bowtan R. C., Attalla A., Maeland A. J., Johnson W. L. Sol. St. Commun., 1983, vol. 47, N 10, p. 779—782.
- [4] Падурец Л. Н., Кост М. Е., Вавилова В. В. ЖНХ, 1987, т. 32, № 2, с. 517—520.
- [5] Беляев М. Ю., Скрипов А. В., Кожанов В. Н., Степанов А. П. ФТТ, 1984, т. 26, № 7, с. 2120—2126.
- [6] Беляев М. Ю., Скрипов А. В., Степанов А. П. и др. ФТТ, 1986, т. 28, № 9, с. 2747—2756.
- [7] Bloembergen N., Purcell E. M., Pound R. M. Phys. Rev., 1948, vol. 73, N 7, p. 692—712.
- [8] Dolde K., Messer R., Stolz U., Kronmüller H. J. Phys. C, 1985, vol. 18, N 36, p. 6681—6689.
- [9] Richards P. M., Shinar J. J. Phys. F, 1987, vol. 17, N 8, p. 1659—1669.
- [10] Shinar J., Davidov D., Shaltiel D. Phys. Rev. B, 1984, vol. 30, N 11, p. 6331—6341.
- [11] Jones T. C., Halstead T. K., Buschow K. H. J. J. Less-Common Met., 1980, vol. 73, N 2, p. 209—218.
- [12] Скрипов А. В., Беляев М. Ю., Рычкова С. В., Степанов А. П. ФТТ, 1987, т. 29, № 10, с. 3160—3162.

Институт физики металлов
УрО АН СССР
Свердловск

Поступило в Редакцию
9 ноября 1987 г.
В окончательной редакции
11 февраля 1988 г.

УДК 535.343.2; 535.37; 537.311 : 31

Физика твердого тела, том 30, в. 7, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 7, 1988

ЭКСИТОННАЯ КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КРИСТАЛЛОВ LiI и NaI

А. А. О'Коннелль-Бронин, И. Л. Куусманн, Э. Х. Фельдбах,
П. Х. Либлик

Экспериментальное исследование краевой люминесценции широкощелевых диэлектриков началось с обнаружения краевого свечения кристаллов NaI ($T=68$ К) при облучении их электронным пучком [1]. Значительный успех в этой области был достигнут благодаря изучению фотолюминесценции (ФЛ) щелочных иодидов [2]. В то же время систематического исследования катодолюминесценции (КЛ) этих кристаллов, за исключением серии работ [3—5], посвященных КЛ RbI и KI, практически не проводилось. Между тем специфика возбуждения электронным пучком может обуславливать определенные особенности спектров КЛ относительно ФЛ.

В настоящей работе впервые измерены спектры краевой КЛ кристаллов LiI, а также более детально исследованы спектры КЛ при 10 К кристаллов NaI; в частности, проведено их сравнение со спектрами ФЛ.

Объектами исследования служили кристаллы LiI и NaI, характеристики которых описаны в [6, 7]. Методика эксперимента описана в [8]. Плотность облучения образцов не превышала $5 \cdot 10^{21}$ эВ/см³·с.

На рис. 1 представлен спектр КЛ кристаллов LiI при 10 К. Доминирующей здесь является полоса с максимумом 3.3—3.4 эВ, как и в спектрах рентгенолюминесценции (РЛ), представленных в работе [6], где она интерпретировалась как свечение автолокализованных экситонов (π -по-

доса). В области 4.15—4.30 эВ в спектрах РЛ и ФЛ LiI наблюдалось слабое свечение с дублетной структурой. В данном случае в этой области наблюдается тоже слабая, но более широкая (примерно в 5 раз) полоса с максимумом 4.15 эВ. Слабое свечение в области 4.8 эВ ранее не наблюдалось.

Особый интерес представляет краевое свечение LiI, (рис. 1). В отличие от остальных щелочных иодидов, для которых краевое свечение на-

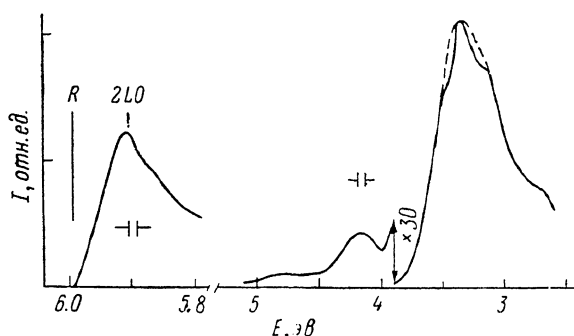


Рис. 1. Спектр катодолуминесценции LiI при 10 К.

Энергия возбуждающих электронов 6 кэВ. Интенсивности красной люминесценции в области 2.5—5 эВ имеют различные масштабы. Указано энергетическое положение экситонного максимума в спектре отражения (R).

блюдалось в спектрах КЛ, РЛ и ФЛ, в LiI такое свечение проявляется впервые. Это связано, очевидно, с чрезвычайно низкой интенсивностью люминесценции свободных экситонов в этих кристаллах. Одна из причин такого положения — относительно высокая дефектность кристаллов LiI, обусловленная гигроскопичностью этого соединения. Более принципиальной причиной слабости краевого свечения может быть низкая относительно других щелочных иодидов высота автолокализационного барьера в этих кристаллах. Действительно, согласно теории [9], эта величина пропорциональна энергии связи экс-

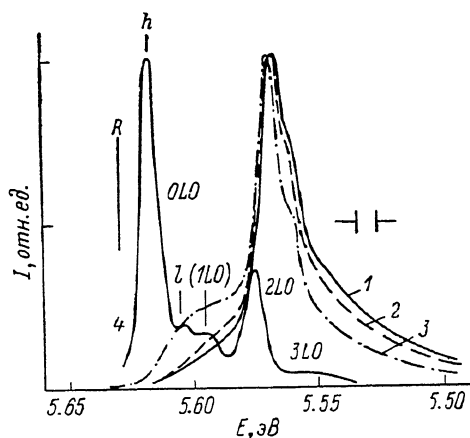


Рис. 2. Спектры краевой катодолуминесценции при возбуждении электронами с энергией 3 (1), 6 (2), 10 (3) кэВ ($T=10$ К) и фотолуминесценции (4) ($T=4.2$ К) кристаллов NaI.

Максимумы спектров нормированы к одному значению. Указано энергетическое положение экситонного максимума в спектре отражения.

тона, которая в случае LiI является минимальной среди щелочных иодидов [6]. Правда, вероятность туннелирования свободных экситонов через потенциальный барьер зависит и от других факторов [10—12].

Обсуждаемое краевое свечение начинается примерно с энергии 5.990 эВ, т. е. почти совпадает с энергией максимума линии экситонного отражения (5.995 эВ [6]). Оно имеет форму полосы с максимумом около 5.905 эВ. Таким образом, максимум краевой КЛ смещен от экситонного резонанса приблизительно на энергию двух LO-фононов (45 мэВ [6, 13]). С длинноволновой стороны спектра краевое свечение переходит в слабое бесструктурное свечение, которое, возможно, связано с «горячей» люминесценцией автолокализованных экситонов [2].

На рис. 2 представлены спектры КЛ при 10 К (1—3) и ФЛ (4) при 4.2 К кристаллов NaI. Структура ФЛ подробно описана в [7]. Напомним,

что она состоит из бесфононной линии (h - и l -компоненты) и ее LO -повторений. В спектре КЛ доминирует широкая и неэлементарная полоса с максимумом около 5.570 эВ, расположенным несколько длинноволнее $2LO$ -повторения в спектре ФЛ. Этот небольшой длинноволновой сдвиг, возможно, связан с увеличением времени жизни экситонов в объеме кристалла по сравнению с приповерхностным слоем, где в основном формируется ФЛ. Особенность 5.56 эВ на длинноволновом крыле обсуждаемой полосы отделена от основного максимума примерно на 10 мэВ, что почти совпадает с h -, l -расщеплением OLO -линии в спектре ФЛ. Поэтому можно предположить, что эта особенность формируется легкими экситонами, генетически связанными с $J=2$ экситонным состоянием [7, 14, 15]. Напомним, что в ФЛ легкие экситоны не проявлялись в виде $2LO$ -повторения [7], однако в силу специфики электронного возбуждения оно может проявиться в спектрах КЛ. Кстати, именно с участием LO -фононов $J=2$ состояния проявлялись в спектрах КЛ RbI и KI согласно результатам работ [4, 5].

При уменьшении энергии возбуждающих электронов с 10 до 3 кэВ, а следовательно, уменьшении глубины возбуждаемого электронами слоя происходит усиление коротковолновой и ослабление длинноволновой областей спектра КЛ (кривые 1—3), что обусловлено в первую очередь уменьшением реабсорбции выходящего излучения. Отметим, что при этом не начинает проявляться структура в околорезонансной области, что, возможно, также связано со спецификой катодовозбуждения. Интересно, что в спектрах КЛ RbI и KI, представленных в [4, 5], доминирует бесфононная (OLO) линия, которая по форме и энергетическому положению практически совпадает с резонансной линией ФЛ. Таким образом, в этих спектрах практически не проявляется влияние реабсорбции, хотя энергия пучка электронов достигала 55 кэВ. Спектры КЛ, представленные в настоящей работе, как указано выше, имеют другой характер.

В заключение подчеркнем, что спектры краевой КЛ LiI и NaI состоят из относительно широких линий, которые формируются преимущественно с участием LO -фононов.

Авторы благодарны Ч. Б. Луцику за полезные обсуждения.

Л и т е р а т у р а

- [1] Куусманн И. Л., Либлик П. Х., Луцик Ч. Б. Письма в ЖЭТФ, 1975, т. 21, № 2, с. 161—163.
- [2] Луцик Ч. Б. В кн.: Экситоны / Под ред. Э. Рашба, М. Д. Стерджа. М.: Наука, 1985, с. 362—384.
- [3] Nouailhat A., Guillot G., Mercier E., Truong van Khiem. J. Lumin., 1979, vol. 18/19, N 1, p. 305—308.
- [4] Truong van Khiem, Nouailhat A. J. Phys. Soc. Jap., 1981, vol. 50, N 1, p. 121—126.
- [5] Truong van Khiem, Nouailhat A. Sol. St. Commun., 1981, vol. 37, N 7, p. 587—590.
- [6] О'Коннель-Бронин А. А. ФТТ, 1984, т. 26, № 9, с. 2603—2609.
- [7] О'Коннель-Бронин А. А. Phys. St. Sol. (b), 1985, vol. 129, N 2, p. 675—681.
- [8] О'Коннель-Бронин А. А., Куусманн И. Л., Чолах С. О. и др. ФТТ (в печати).
- [9] Рашба Э. М. Изв. АН СССР. Сер. физ., 1976, т. 40, № 9, с. 1793—1800.
- [10] Toyozawa Y., Shinozuka Y. J. Phys. Soc. Jap., 1980, vol. 48, N 2, p. 472—478.
- [11] Nishimura H., Miyazaki H., Tanaka Y. et al. J. Phys. Soc. Jap., 1979, vol. 47, N 6, p. 1829—1835.
- [12] Nasu K., Toyozawa Y. J. Phys. Soc. Jap., 1981, vol. 50, N 1, p. 235—245.
- [13] Baldini G., Bosacchi B. Phys. St. Sol., 1970, vol. 38, N 1, p. 325—334.
- [14] Beerwerth F., Fröhlich D. Phys. Rev. B, 1987, vol. 36, N 11, p. 6239—6241.
- [15] Itoh M. Phys. Rev. B, 1987, vol. 35, N 14, p. 7652—7657.

Институт физики АН ЭССР
Тарту

Поступило в Редакцию
11 февраля 1988 г.