

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО И ИЗОТОПИЧЕСКОГО ЗАМЕЩЕНИЯ В КРИСТАЛЛАХ $\text{LiH}_x$ НА ИЗЛУЧЕНИЕ ПОЛЯРИТОНОВ

*В.Г. Плеханов*

С высоким разрешением выполнены измерения тонкой структуры бесфоновой линии излучения свободных экситонов в смешанных кристаллах  $\text{LiH}_x\text{F}_{1-x}$  ( $0 \leq x \leq 0.025\%$ ) и  $\text{LiH}_xD_{1-x}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) с чистой поверхностью при низкой температуре. Результаты экспериментов показывают возрастание величины продольно-поперечного расщепления с ростом фтора либо дейтерия в смешанных кристаллах. В случае кристаллов  $\text{LiH}_x\text{F}_{1-x}$  наблюдается резкое возгорание интенсивности бесфоновой линии излучения свободных экситонов по сравнению с ее  $LO$  повторениями. Экспериментальные результаты свидетельствуют о проявлении поляритонных эффектов в смешанных кристаллах, полученных на основе гидроида лития.

Хорошо известно, что при учете светоэкситонного взаимодействия собственными электронными возбуждениями кристалла являются поляритоны (см., например, [1]). Энергетическая протяженность поляритонного резонанса определяется в первую очередь силой осциллятора. Она характеризуется двумя величинами: 1) энергия  $E_T$ , соответствующей дну зоны поперечных механических экситонов; 2) энергией дна зоны продольных экситонов  $E_L$ . Такой подход позволяет говорить о том, что выше энергии  $E_L$  в энергетическом спектре электронных возбуждений имеются две поляритонные ветви — нижняя и верхняя.

Характерной особенностью экспериментального проявления поляритонных эффектов в большинстве неметаллических кристаллов является дублетная форма линии резонансной люминесценции свободных экситонов при низкой температуре (см., например, [2-4]). Тщательные исследования формы бесфоновой линии излучения свободных экситонов смешанных кристаллов при низкой температуре привели авторов работы [5] к выводу о проявлении поляритонных эффектов в этих кристаллах.

Настоящее сообщение посвящено первому экспериментальному изучению поляритонных эффектов в экситонных спектрах люминесценции смешанных кристаллов, полученных на базе гидроида лития. Чистые кристаллы гидроида лития — это диэлектрики с  $E_g = 4.99$  eV и сильным экситон-фотонным взаимодействием. Это было показано ранее в целом ряде работ (см., например, [6-8]) по тонкой структуре в их спектрах люминесценции и отражения.

Исследуемые в настоящей работе кристаллы  $\text{LiH}_x\text{F}_{1-x}$  и  $\text{LiH}_xD_{1-x}$  выращены модифицированным методом Бриджмена-Стокбаргера [9]. Стабильный при комнатной температуре твердый раствор кристаллов  $\text{LiH}_x\text{F}_{1-x}$  с однородной структурой образуется только при ограниченной концентрации фтора в гидроиде лития [10,11]. Как показывают рентгенографические исследования [12] смешанной системы  $\text{LiH}_xD_{1-x}$ , она образует непрерывный ряд твердого раствора. Постоянная решетки этого твердого раствора линейно зависит от концентрации анионов

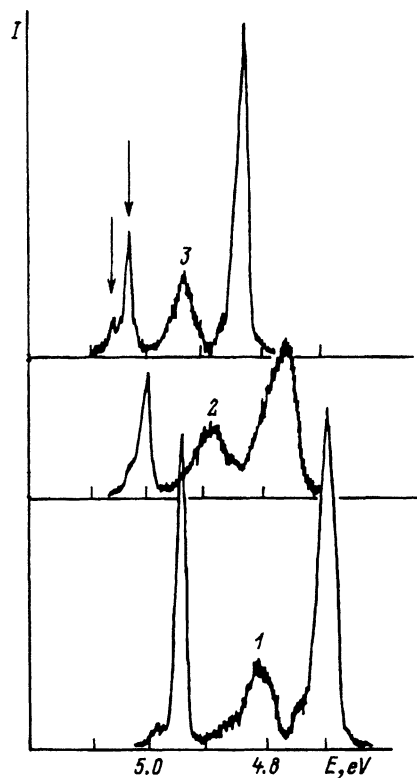


Рис. 1. Спектры излучения кристаллов  $\text{LiH}$  (1),  $\text{LiH}_{0.38}\text{D}_{0.62}$  (2) и  $\text{LiD}$  (3) при 4.2 К, сколотых в жидком гелии. Стрелками отмечено приблизительное положение нижней и верхней поляритонной ветви.

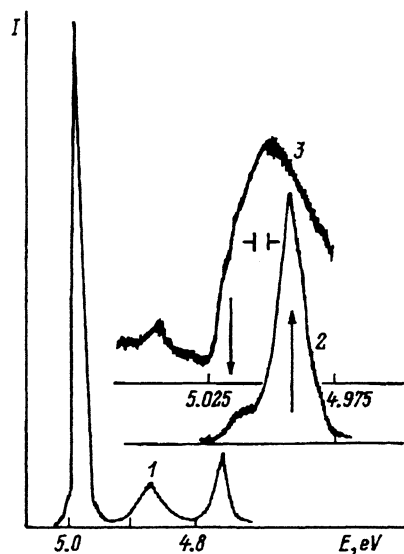


Рис. 2. Спектры фотолюминесценции кристалла  $\text{LiH}_x\text{F}_{1-x}$  ( $x = 0.02$ ) (1, 2) и отражения (3) при 4.2 К, сколотого в жидком гелии. Спектральное разрешение указано для кривой 2.

и тем самым подчиняется закону Вегарда. Скол кристаллов осуществлялся в жидком гелии ванны оптического криостата. Эта методика описывалась ранее (см., например, [13]). Используемая спектральная и регистрирующая аппаратура, равно и как источник возбуждения с некогерентным излучением, также описывалась неоднократно (см. [14] и ссылки там). Отметим, что в силу высокой скорости экситонов (мы наблюдали экситоны с кинетической энергией на полтора порядка выше их энергии связи [14]) квантовый выход люминесценции свободных экситонов невысок (по нашим оценкам, порядка нескольких процентов), поэтому для измерения таких сигналов требуется достаточно чувствительная система регистрации сигнала. Добавим, что помимо химического и масс-спектроскопического [10] определения концентрации анионов в твердом растворе состав смешанных кристаллов контролировался также по положению экситонных линий в спектрах отражения [15]).

Спектры фотолюминесценции кристаллов  $\text{LiH}_x\text{D}_{1-x}$  и  $\text{LiH}_x\text{F}_{1-x}$  с чистой поверхностью представлены на рис. 1, 2, соответственно. Все спектры обладают развитой структурой и состоят из относительно узкой бесфоновой линии и ее пяти LO повторений [13]. Для удобства на

рис. 1, 2 представлены только линии первого и второго  $LO$  повторений. Как легко видеть, в той или иной степени для бесфононной линии во всех спектрах наблюдается некоторая дополнительная структура на коротковолновом спаде ее. Ранее полученные результаты на кристаллах  $LiH$  по светоэкситонным эффектам [6-8], а также аналогия с результатами по низкотемпературной люминесценции работы [5] позволяет связать наблюдаемую структуру бесфононной линии излучения смешанных кристаллов с излучением поляритонов.

В рамках этой концепции следует указать на нелинейное увеличение  $\Delta_{LT}$  — величины продольно-поперечного расщепления при переходе от чистого  $LiH$  к  $LiH_xF_{1-x}$  и  $LiH_xD_{1-x}$  кристаллам. Более того, в последнем случае для  $x = 0$  (чистый  $LiD$ ) наблюдается отчетливо выраженная структура бесфононной линии излучения с величиной расщепления  $\simeq 20$  meV. Это приблизительно в полтора раза больше, чем для чистого гидрида лития. Кроме этого, ясно видно уменьшение интенсивности бесфононной линии излучения (точнее, линии излучения с нижней поляритонной ветвью) при переходе от  $LiH$  к  $LiD$  (нормировка осуществлялась по калиброванному значению интенсивности линии  $2LO$  повторения в кристалле  $LiH$ ). Связано ли это, как и увеличение величины  $\Delta_{LT}$  при изотопическом замещении, с усилением поляритон-фононного взаимодействия [15] (поскольку изменяется только энергия оптических фононов) или же эти изменения обусловлены другими механизмами, сейчас до конца не ясно. Ответы на эти вопросы требуют дополнительных экспериментальных и теоретических исследований.

Возвращаясь к рис. 2, нельзя не заметить более чем десятикратное превосходство интенсивности бесфононной линии излучения свободных экситонов над интенсивностью линий ее  $LO$  повторений. Обращает на себя внимание также малая полуширина этой линии (приблизительно в два раза уже, чем в чистом гидриде лития) при относительно большой протяженности (рис. 2, кривая 2) продольно-поперечного расщепления  $\Delta_{LT}(LiH_xF_{1-x}) : \Delta_{LT}(LiH) \simeq 2$ . Добавим сюда общее возрастание квантового выхода люминесценции свободных экситонов в этих кристаллах по сравнению с чистым  $LiH$  — эффект, подмеченный еще в работе [11], однако не получивший тогда должного развития. Учитывая, что приведенные спектры получены от чистой поверхности кристаллов, можно думать, что главной причиной возгорания  $I_{OLO}$  может быть заметное уменьшение поверхностных состояний, работающих как центры безызлучательной рекомбинации экситонов. Другими словами, при таком сколе, по-видимому, мы имеем дело с более совершенной и бездислокационной поверхностью, чем при сколе в масляном вакууме, струе горячего газа, воздуха и т.д. Это представляется тем более естественным, так как гидрид лития высокогигроскопический материал. С другой стороны, наблюдаемое возрастание интенсивности бесфононной линии излучения свободных экситонов (поляритонов), кажется, является достаточно общим явлением, поскольку наблюдается не только в полупроводниковых смешанных кристаллах [16], но и в квантовых структурах на их основе [17].

Искренне благодарю А.В.Емельяненко за помощь в измерениях, Ф.Ф.Гаврилова за возможность проведения исследования на кристаллах  $LiH_xF_{1-x}$  и  $LiH_xD_{1-x}$ .

## Список литературы

- [1] Пекар С.И. Кристаллоптика и добавочные световые волны. Киев: Наукова думка, 1982.
- [2] Koteles E.S. Excitons / Ed E.I.Rashba and M.D.Sturge. North Holland, Amsterdam, 1982. P. 83-140.
- [3] Травников В.В., Криволапчук В.В. // ЖЭТФ. 1983. Т. 85. № 6. С. 2087-2106.
- [4] Бродин М.С., Мясников Э.Н., Марисова С.В. Поляритоны в кристаллоптике. Киев: Наукова думка, 1984.
- [5] Mariette H., Marfaing Y., Camassel J. // Proc. 18 Int. Conf. Phys. Semicond. World Science, Singapore, 1987. P. 1405-1409.
- [6] Plekhanov V.G., O'Konnel-Bronin A.A. // Phys. Stat. Sol. (b). 1978. V. 86. N 2. P. K123-K125.
- [7] Plekhanov V.G., Altukhov V.I. // J. Raman Spectr. 1985. V. 16. N 6. P. 358-365.
- [8] Kink R.A., Kink M.F., Soovik T.A. // Nuclear Instruments and Methods in Phys. Res. 1987. V. A261. N 1. P. 138-139.
- [9] Tyutyunnik O.I., Tyutyunnik V.I., Shulgin B.V., Pilipenko G.I., Gavrilov F.F. // J. Cryst. Growth. 1984. V. 68. N 3. P. 741-746.
- [10] Messer Ch., Meller J. // J. Phys. Chem. 1960. V. 64. N 4. P. 503-505; Gilman J.J. // Phys. Rev. Lett. 1971. V. 26. N 10. P. 546-549.
- [11] Бетенекова Т.А. // Автореф. канд. дис. Свердловск, 1977.
- [12] Zimmerman W.B. // Phys. Rev. 1972. V. B5. N 12. P. 4704-4707.
- [13] Plekhanov V.G., Emelyanenko A.V., Grienfelds A.U. // Phys. Lett. 1984. V. A101. N 5. P. 291-294.
- [14] Plekhanov V.G. // Proc. 20 Int. Conf. Phys. Semicond. / Ed. E.M.Anastassakis and J. Joannopoulos, Singapore, 1990. P. 1955-1958.
- [15] Иванов А.Л., Келдыш Л.В. // ЖЭТФ. 1983. Т. 84. N 1. С. 404-421.
- [16] Федоров Д.Л., Пермогоров С.А., Насибов А.С., Шапкин П.В., Коростелин Ю.А. // ФТТ. 1993. Т. 35. Т 8. С. 2142-2153.
- [17] Bagaev V.S., Zaytsev V.V., Kalinin V.V. // Solid State Commun. 1993. V. 88. N 10. P. 777-780.

А/О Элорес  
Таллинн

Поступило в Редакцию  
25 апреля 1994 г.