

- [6] Умаров Б. С., Яхьяев М. Р. Изв. АН ТаджССР. Сер. физ.-мат., хим. и геолог., 1987, т. 105, № 3, с. 81—85.
 [7] Леванюк А. П., Щедрина Н. В. ФТТ, 1972, т. 14, № 4, с. 1204—1210.
 [8] Гинзбург В. А., Леванюк А. П., Собынин А. А. УФН, 1980, т. 130, № 4, с. 615—673.
 [9] Бурлаков В. М., Нуоров Ш. Препринт ИСАН, № 27, Троицк, 1986. 27 с.

Институт спектроскопии АН СССР
 Троицк
 Московская область

Поступило в Редакцию
 8 декабря 1987 г.
 В окончательной редакции
 23 марта 1988 г.

УДК 535.343.2; 535.37; 537.311 : 31

Физика твердого тела, том 30, в. 9, 1988
 Solid State Physics, vol. 30, № 9, 1988

КРАЕВАЯ ФОТО- И КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ЭКСИТОНОВ В КРИСТАЛЛАХ LiH и LiD

А. А. О'Коннель-Бронин, И. Л. Куусманн, С. О. Чолах,
 П. Х. Либлик, А. Н. Полюенко, Э. Х. Фельдбах

Впервые краевая люминесценция уникальных по простоте электронного строения кристаллов гидрида и дейтерида лития наблюдалась при возбуждении электронами ($T=67$ К) [1], позднее была тщательно изучена фотолюминесценция (ФЛ) этих кристаллов [2, 3]. Уже в первых работах были отмечены различия в спектрах катодолюминесценции (КЛ) и ФЛ, которые до настоящего времени не были изучены.

В настоящей работе впервые на одной экспериментальной установке комплексно исследованы спектры отражения (СО), ФЛ и КЛ LiH и LiD, проведено их сопоставление, что позволило уточнить некоторые параметры свободных экситонов (СЭ) в этих кристаллах.

Для исследования использовались монокристаллы LiH и LiD, выращенные методами Стокбаргера и Чохральского в УПИ им. С. М. Кирова по методике, описанной в [3]. Образцы скалывались в атмосфере сухого, горячего воздуха и помещались в вакуумный гелиевый криостат. ФЛ возбуждалась ртутной лампой ДРК-120 через двойной монохроматор ДМР-4, а КЛ — электронами с энергией 0.5—10 кэВ. Ток электронной пушки не превышал нескольких мкА. Для измерения СО использовалась дейтериевая лампа ДДС-400. Регистрация спектров осуществлялась через второй ДМР-4 системой счета фотонов с охлажденным ФЭУ-106. При обработке спектров учитывалась поправка на дисперсию монохроматора; коррекция на его пропускание и чувствительность фотоумножителя не проводились.

На рис. 1 и 2 представлены спектры ФЛ (1), КЛ (2), а также СО (3) и (только на рис. 1) поглощения (4) [4] кристаллов LiH и LiD. Для сопоставления спектров КЛ и ФЛ интенсивности $2LO$ линий нормировались к одному значению. Спектры ФЛ и КЛ состоят из бесфононной линии (БФЛ) и ее $1LO$ и $2LO$ повторений. Особый интерес представляет собой БФЛ спектра КЛ, поскольку имеет сложную структуру. Основная ее часть состоит из относительно широкой линии с затянутым длинноволновым хвостом, на фоне которой проявляется узкая линия с полушириной 10—15 мэВ (4.926 и 5.013 эВ для LiH и LiD соответственно). При повышении температуры узкая линия резко тушится в области 40—50 К, в то время как остальная часть БФЛ испытывает плавное температурное тушение, аналогичное БФЛ ФЛ. Такая температурная зависимость дает основание полагать, что узкий компонент БФЛ обусловлен излучательной аннигиля-

цией связанных с дефектами экситонов,¹ а широкий компонент обусловлен СЭ.

Длинноволновый сдвиг максимума БФЛ КЛ относительно ФЛ в значительной степени определяется реабсорбцией выходящего излучения [6, 7]. Кроме того, необходимо учитывать и такой возможный фактор, как увеличение времени жизни СЭ в объеме кристалла по сравнению с богатым дефектами приповерхностным слоем, где в основном возбуждается ФЛ, на что указывалось в работах [8, 9]. Этот фактор особенно важен в таких сильнопоглощающих кристаллах, как LiH и LiD [3]. Указанное обстоятельство позволяет поляритонам релаксировать значительно ниже по энергии

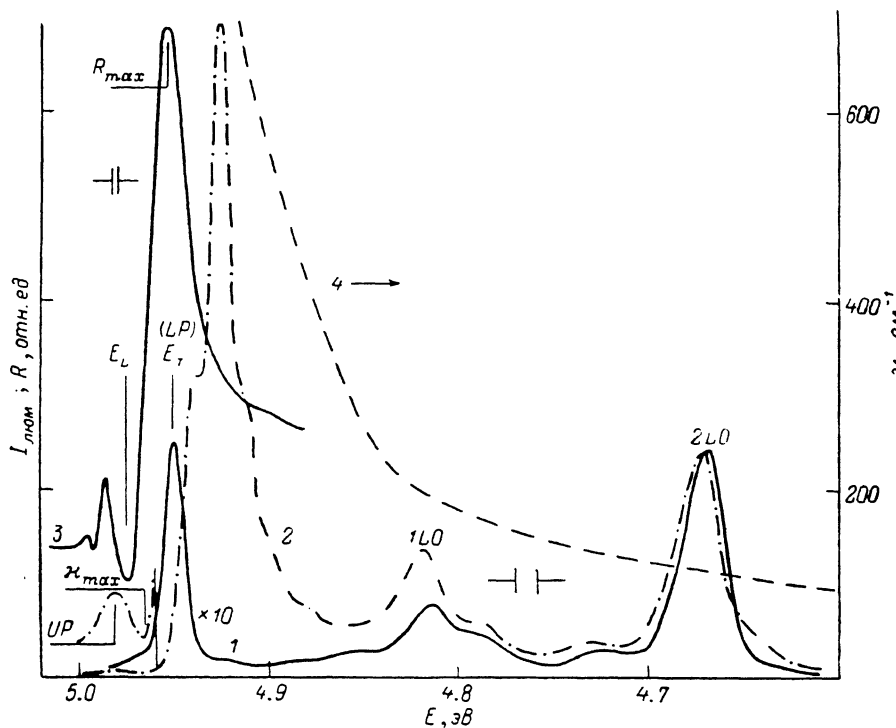


Рис. 1. Спектры ФЛ (1), КЛ (2), отражения (3) и поглощения (4) [10] кристаллов LiH при 10 К.

Максимум полосы возбуждения ФЛ составлял 5.25 эВ. КЛ возбуждалась пучком электронов 4 мкА, 10 кВ. Указаны характеристические точки спектров и спектральное разрешение.

в области «узкого горла», обуславливая длинноволновую часть БФЛ. Заметим, что эта область в данных кристаллах имеет относительно большую протяженность, поскольку величина продольно-поперечного расщепления для них, по-видимому, более чем на порядок больше, чем, например, в CdS [10]. Увеличение времени жизни СЭ обуславливает также относительно большая плотность возбуждения КЛ по сравнению с ФЛ [11]. С другой стороны, увеличение отношения интенсивностей БФЛ и 2LO повторения в спектре КЛ указывает на уменьшение времени жизни СЭ, формирующих КЛ, относительно ФЛ [12, 13]. Таким образом, рассматриваемый спектр КЛ имеет необычный характер.

Анализируя коротковолновую часть БФЛ КЛ, отметим наличие пика, обозначенного UP, который можно интерпретировать с помощью поляритонной модели. Для этого учтем, что на примере многих кристаллов показано соответствие главного минимума в СО энергии дна зоны продольных экситонов (E_L) [10, 14]. Из рис. 1, 2 (кривая 3) следует, что $E_L \approx 4.976$ и 5.071 эВ для LiH и LiD соответственно. Особенность UP находится энерге-

¹ Связанные с радиационными дефектами экситоны в LiH в спектрах КЛ впервые наблюдались в [6].

тически слегка выше E_L , поэтому ее можно интерпретировать как излучение с верхней поляритонной ветви [10]. Считая, что пиковые энергии БФЛ ФЛ соответствуют «дну» зоны поперечных СЭ (E_T), можно оценить продольно-поперечное расщепление: $E_{LT} \approx 0.026$ и 0.031 эВ для LiH и LiD соответственно.² Минимум в спектре БФЛ, обозначенный χ_{max} , можно связать с максимумом поглощения [11]. При увеличении энергии возбуждающих электронов в пределах $0.8-1.2 \div 3-10$ кэВ отношения пиковых интенсивностей основного максимума БФЛ и особенности ИР составляли $3-10-30-110$ для LiH.

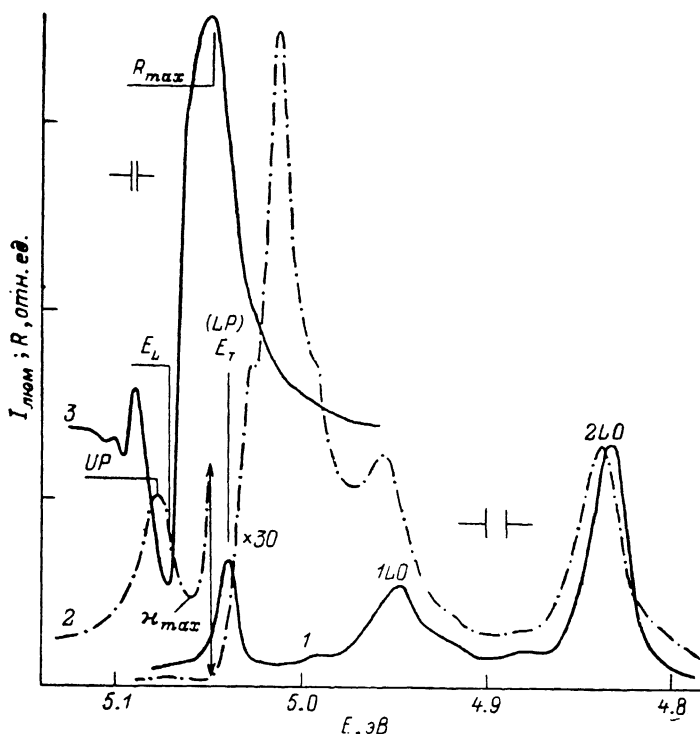


Рис. 2. Спектры ФЛ (1), КЛ (2), отражения (3) кристаллов LiD при 10 К.

Максимум полосы возбуждения ФЛ составлял 5.25 эВ. КЛ возбуждалась пучком электронов 2 мкА, 10 кВ. Указаны характеристические точки спектров и спектральное разрешение.

Авторы благодарны Ч. Б. Луцику и А. В. Шерману за обсуждение результатов работы, а также Н. В. Суворову и Н. А. Завьялову за помощь в выращивании кристаллов.

Л и т е р а т у р а

- [1] Куусманн И. Л., Лийдья Г. Г., Луцик Ч. Б. Тр. ИФАН ЭССР, 1976, т. 46, с. 5—80.
- [2] Плеханов В. Г., О'Коннель-Бронин А. А. ФТТ, 1978, т. 20, № 7, с. 2078—2083.
- [3] Луцик Ч. Б., Гаврилов Ф. Ф., Завт Г. С. и др. Электронные возбуждения и дефекты в кристаллах гидрида лития. М.: Наука, 1985. 214 с.
- [4] О'Коннель-Бронин А. А., Плеханов В. Г., Пустоваров В. А. и др. Опт. и спектр., 1981, т. 51, № 2, с. 371—374.
- [5] Завьялов Н. А., Куусманн И. Л., Либлик П. Х. и др. Письма в ЖТФ, 1985, т. 11, № 1, с. 31—34.
- [6] Sermage B., Voos M., Schwab C. Phys. Rev. B, 1979, vol. 20, N 8, p. 3245—3253.
- [7] Новиков Б. В., Павлов А. Б., Талалаев В. Г. ФТТ, 1981, т. 23, № 1, с. 207—210.
- [8] Травников В. В., Криволапчук В. В. ЖЭТФ, 1983, т. 85, № 6 (12), с. 2087—2106.
- [9] Травников В. В., Криволапчук В. В. ФТП, 1985, т. 19, № 6, с. 1092—1099.

² Ранее [15] была обнаружена дублетная структура БФЛ в спектрах ФЛ с расщеплением ~ 12 мэВ для LiH. Как показано в [8], энергетическое положение коротковолновой особенности БФЛ может меняться в зависимости от качества кристалла.

- [10] Пермогоров С. А. В кн.: Физика соединений A_2B_6 / Под ред. А. Н. Георгобиани, М. К. Шейнкмана. М.: Наука, 1986, с. 146—225.
- [11] Травников В. В., Криволапчук В. В. ФТТ, 1982, т. 24, № 4, с. 961—970.
- [12] Травников В. В., Криволапчук В. В. Письма в ЖЭТФ, 1983, т. 37, № 9, с. 419—422.
- [13] Nishimura H., Yamano T. J. Phys. Soc. Japan, 1982, vol. 51, N 9, p. 2947—2954.
- [14] Truong van Khiet, Nauailhat A. J. Phys. Soc. Japan, 1981, vol. 50, N 1, p. 121—126.
- [15] Plekhanov V. G., O'Connel-Bronin A. A. Phys. St. Sol. (b), 1978, vol. 86, N 1, p. K123—K125.

Институт физики АН ЭССР
Тарту

Поступило в Редакцию
4 апреля 1988 г.

УДК 538.955

Физика твердого тела, том 30, в. 9, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 9, 1988

ФЕРРОМАГНИТНОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ СПИНОВ ОБОРВАННЫХ СВЯЗЕЙ В АМОРФНОМ ГЕРМАНИИ

Ф. Н. Буханько

Парамагнетизм пленок a -Ge, Si вызван в основном наличием оборванных связей (ОС) и в настоящее время хорошо изучен [1]. Большинство измерений проводилось на отожженных или гидрогенизированных образцах с пониженной концентрацией ОС, в которых спины неспаренных электронов, локализованных на ОС, рассматривались как изолированные. Однако плотность N_s спинов для ОС в неотожженных пленках a -Ge, Si в некоторых случаях бывает довольно высока и может достигать значений 10^{20} — 10^{21} см $^{-3}$ [2]. В таких образцах возможно существование кластеров близко расположенных спинов, связанных обменным взаимодействием, а также возникновение магнитного упорядочения при достаточно низких температурах. Так, например, в пленках a -Ge, Si с $N_s \approx 10^{19}$ см $^{-3}$, полученных различными способами, установлено наличие антиферромагнитного упорядочения большинства спинов при температурах ниже 8 К [3]. В облученном ионами Si в поверхностном слое толщиной 100 Å с $N_s \approx 10^{21}$ см $^{-3}$ обнаружен переход в ферромагнитное состояние при температурах ниже 140 К [4].

В настоящей работе впервые методом магнитного резонанса обнаружено ферромагнитное упорядочение части спинов неспаренных электронов в аморфном германии при температурах ниже 170 К.

Пленки a -Ge толщиной 20—30 мкм были получены методом катодного распыления в атмосфере аргона с осаждением распыляемого материала на стеклянные подложки. Структура пленок контролировалась рентгеновским методом: анализировалась дифракционная картина, полученная на рентгенограммах в Fe-излучении в камере Дебая при комнатной температуре. Отжиг пленок проводился в вакууме 10^{-6} Тор. Для изучения температурной зависимости спектров магнитного резонанса стеклянные подложки стравливались плавиковой кислотой, после чего пленки измельчались.

Запись спектров производилась на супергетеродинном радиоспектрометре на частоте 9.2 ГГц. Образцы в виде измельченных пленок помещались в тефлоновую капсулу нагревателя [5] в пучность H_{102} моды прямоугольного резонатора, помещенного в гелиевый криостат между полюсами электромагнита. Контроль температуры нагревателя осуществлялся с помощью электронного стабилизатора температуры с точностью не хуже ± 0.1 град. Для теплообмена между нагревателем и образцом в криостат напускался гелий.