

- [4] Орлюкас А. С., Микученис В. Ф., Кеженис А. П. и др. // Лит. физ. сб. 1988.
 [5] Тимофеева В. А. Рост кристаллов из раствора в расплаве. М., 1978. 267 с.
 [6] Голубев А. М., Максимов Б. А., Мельников О. К. и др. // Кристаллография. 1989. Т. 34. N 6.
 [7] Wagner C. // Z. Elektrochem. 1956. Bd 60. S. 4—7.
 [8] Davies P. K., Garzon F., Feist T. e. a. // Sol. St. Ionics. 1986. V. 18 & 19. N 1—2. P. 1120—1125.
 [9] d'Yvoire F., Pintard-Screpel M., Bretey E. e. a. // Sol. St. Ionics. 1983. V. 9 & 10. N 1—2. P. 851—858.

Институт кристаллографии АН СССР
 Москва

Поступило в Редакцию
 13 июля 1989 г.

УДК 621.315

© Физика твердого тела, том 32, № 2, 1990
 Solid State Physics, vol. 32, N 2, 1990

РЕЛАКСАЦИЯ ЭКСИТОНОВ В $Pb_{1-x}Cd_xI_2$ С ВАРЬИРУЕМОЙ КОНСТАНТОЙ ЭКСИТОН-ФОНОННОЙ СВЯЗИ

М. С. Бродил, И. В. Блонский, А. С. Крочук, Т. Л. Стецицин

1. Интерес к твердому раствору (ТР) замещения $Pb_{1-x}Cd_xI_2$ связан с двумя присущими ему отличительными свойствами: возможностью непрерывно изменять в широких пределах величину константы экситон-

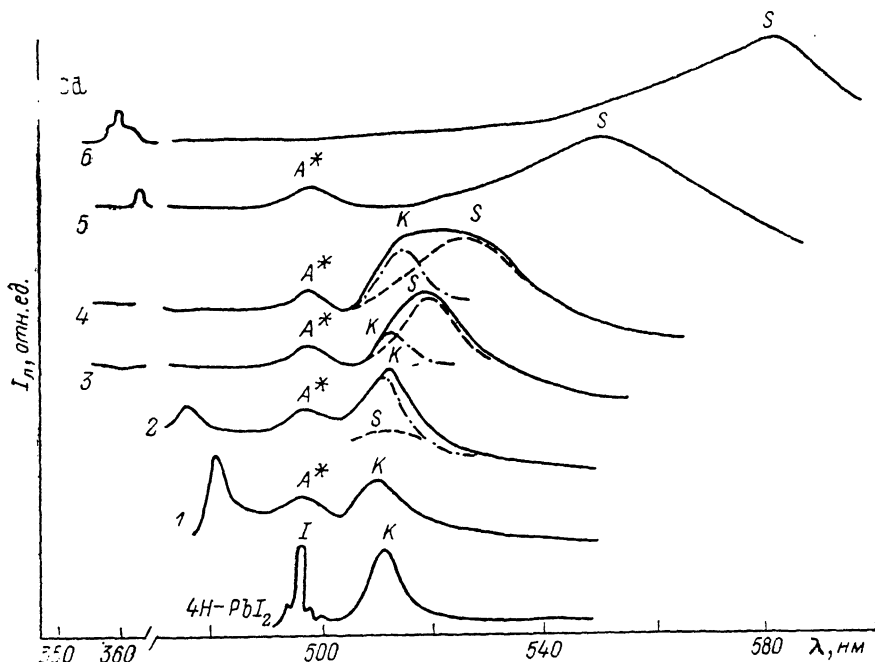


Рис. 1. Низкотемпературные (4.5 К) спектры ФЛ $Pb_{1-x}Cd_xI_2$ различного состава x (сплошная линия).

Штрихпунктирная линия в области самой длинноволновой полосы отвечает фрагменту спектра ФЛ (фазы $4H-PbI_2$ в матрице $Pb_{1-x}Cd_xI_2$, штриховая — спектру ФЛ матрицы $Pb_{1-x}Cd_xI_2$. Cd, %: 1 — 10, 2 — 30, 3 — 50, 4 — 70, 5 — 90, 6 — 100.

фоновой связи Λ путем изменения компонентного состава (x) [1] и присутствием в матрице $Pb_{1-x}Cd_xI_2$ микрообластей $4H$ политипа PbI_2 , однозначно идентифицированных ранее по спектрам комбинационного рассеяния света [2]. Такая возможность управления величиной Λ открыва-

ется благодаря тому, что в непрерывном ТР $\text{Pb}_{1-x}\text{Cd}_x\text{I}_2$: PbI_2 — полупроводник, для которого $\Lambda \ll 1$, CdI_2 — широкозонной диэлектрик, в котором $\Lambda > 1$, и ранее проведенными исследованиями установлено существование стабильных автолокализованных (S) экситонов [3].

В настоящей работе на основании изучения низкотемпературных спектров фотолюминесценции (ФЛ) и спектров возбуждения (СВ) экситонных полос излучения изучаются особенности релаксации экситонов в таких средах.

2. Измерения спектров ФЛ и СВ проводились на автоматизированном спектрометре СДЛ-2. Спектральная ширина щели при измерении спектров ФЛ не хуже 0.2 нм, при измерении СВ — 0.3 нм. Точность стабилизации температуры 0.1 К. Образцы были выращены методом Бриджмена.

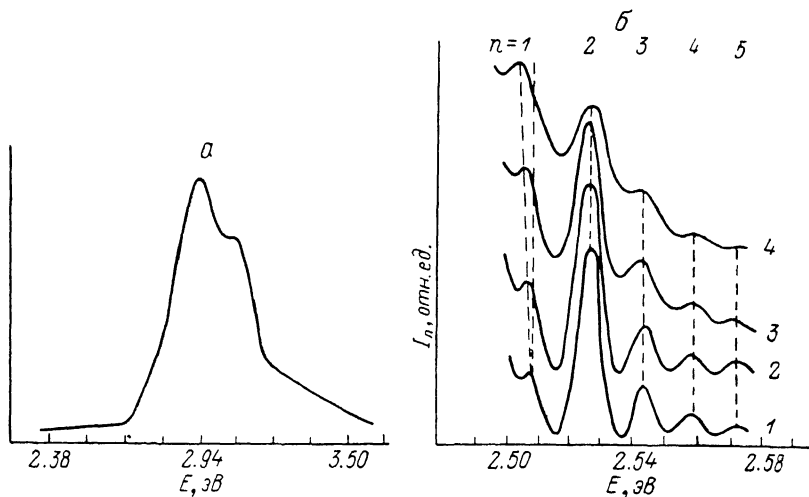


Рис. 2. СВ полосы S в $\text{Pb}_{0.10}\text{Cd}_{0.90}\text{I}_2$ (а) и СВ полосы A^* , отвечающей $4H\text{-PbI}_2$ в матрице $\text{Pb}_{1-x}\text{Cd}_x\text{I}_2$ при $T=4.5$ (1), 15 (2), 25 (3), 35 К (4) (б).

3. На рис. 1 приведены низкотемпературные ($T=4.5$ К) спектры ФЛ исследуемых образцов $\text{Pb}_{1-x}\text{Cd}_x\text{I}_2$. Прежде всего обратим внимание на наличие в спектрах образцов различных составов ТР полос A^* и K , спектральное положение которых не зависит от x и тождественно полосам экситонной (A , I) и «краевой» (K) люминесценции $4H\text{-PbI}_2$. Это подтверждает предположение авторов [2] о наличии в ТР $\text{Pb}_{1-x}\text{Cd}_x\text{I}_2$ фаз $4H$ поли типа PbI_2 . Вместе с тем тот факт, что в экситонной части спектра вместо двух полос A (свободных) и I (локализованных) экситонов, присутствующих совершенным монокристаллам $4H\text{-PbI}_2$, проявляется единая полоса A^* фазы $4H\text{-PbI}_2$ в матрице $\text{Pb}_{1-x}\text{Cd}_x\text{I}_2$, позволяет сделать вывод, что такие микрокристаллиты $4H\text{-PbI}_2$ структурно несовершенны (вероятнее всего, деформированы). Что же касается характерных размеров ΔR областей $4H\text{-PbI}_2$ в матрице $\text{Pb}_{1-x}\text{Cd}_x\text{I}_2$, то из рис. 2 следует, что они значительно больше тех, при которых проявляется размерное квантование экситонных возбуждений. На это указывает отсутствие смещения A^* полосы по сравнению с соответствующей областью спектра, характерной для монокристаллов $4H\text{-PbI}_2$. Подтверждает это и вид СВ коротковолнового участка экситонной полосы излучения A^* , представляющей эквидистантную структуру максимумов с периодом, равным энергии кванта дипольноактивного фонона A_{2u} симметрии $\hbar\omega_{A_{2u}} \approx 12.5$ мэВ [4]. Такой вид СВ позволяет заключить, с учетом выводов [5], что наиболее эффективным механизмом энергетической релаксации экситонов является их стоксовое каскадное рассеяние на A_{2u} фононах, а ΔR значительно превосходит длину свободного пробега экситонов. Наиболее важным результатом, следуемым из измерений СВ полосы A^* при увеличении температуры (рис. 2), является сдвиг первого по порядковому номеру максимума

СВ в сторону меньших энергий, так что $E_{n=1} - E_{A^*} < \hbar\omega_{A_{2n}}$ ($E_{n=1}$ — спектральное положение максимума $n=1$ СВ полосы A^* ; E_{A^*} — спектральный квант дипольноактивного LO фонона A_{2n} симметрии). Этот результат, вероятнее всего, может быть истолкован как признак дополнительного включения механизма антистоксового рассеяния экситонов с энергией, близкой $E_s \simeq E_T + \hbar\omega_{1,0}$ на равновесных акустических фононах. Он свидетельствует об особенностях заключительной стадии релаксации экситонных возбуждений в PbI_2 и нуждается в более строгой теоретической проработке.

Для того чтобы определить вид спектра ФЛ матрицы $Pb_{1-x}Cd_xI_2$, необходимо от регистрируемого спектра отделить составляющую фазы $4H$ политапа PbI_2 . Разделенные таким образом спектры изображены на рис. 1; штриховая линия — СВИ $4H$ - PbI_2 . Главное внимание обратим на поведение с изменением x полосы S , природа которой связывается с излучением автолокализованных экситонов [3]. С увеличением в $Pb_{1-x}Cd_xI_2$ кадмиевой компоненты интенсивность S полосы непрерывно увеличивается, а ее ширина и величина стоксова сдвига возрастают, причем в соответствии с полуэмпирическим выражением $H^2 = 11kTE_{F-c}$, где H — ширина S полосы, E_{F-c} — франк-кондоновская энергия [6]. Все это является признаком усиления экситон-фононной связи с увеличением x в $Pb_{1-x}Cd_xI_2$ и предполагает, что переход экситонов из свободных (PbI_2) в автолокализованные (CdI_2) состояния осуществляется непрерывно.

На рис. 2 на примере $Pb_{0.10}Cd_{0.90}I_2$ приведен впервые зарегистрированный нами СВ полосы S . В отличие от СВ полосы свободных экситонов его структура выражена не столь ярко и коррелирует со спектральным распределением коэффициента поглощения в области краевого экситона [7]. Такой вид СВ полосы S позволяет заключить, что соответствующее излучение появляется на заключительной стадии релаксации экситонных возбуждений, что является типичным для систем со стабильными автолокализованными и метастабильными свободными экситонами [8].

В спектрах ФЛ $Pb_{1-x}Cd_xI_2$ при $0.03 < x < 0.2$ обнаружены также особенности, связанные с невыполнимостью для исследуемых ТР приближения виртуального кристалла. О них будет сообщено отдельно.

Список литературы

- [1] Бродин М. С., Блонский И. В., Добровольский А. А., Крочук А. С., Стецкин Т. Л. // Тез. докл. Всес. совещ. «Экситоны в полупроводниках-88». Вильнюс, 1988. С. 136—137.
- [2] Артамонов В. В., Валах М. Я., Корнейчук В. А., Литвинчук А. П., Бондарь В. Д., Лыскович А. Б. // УФЖ. 1982. Т. 27. № 7. С. 1046—1050.
- [3] Hayashi T., Ohata T., Koshino S. // J. Phys. Soc. Jap. 1981. V. 50. N 8. P. 2647—2655.
- [4] Бродин М. С., Блонский И. В. Экситонные процессы в слоистых кристаллах. Киев, 1986.
- [5] Pergogorov S. A. // Phys. St. Sol. B. 1975. V. 68. N 1. P. 9—42.
- [6] Экситоны / Под ред. Э. И. Рашба, М. Д. Стердж. М.: Наука, 1985.
- [7] Довгий Я. О., Китык И. В. // УФЖ. 1984. Т. 29. № 6. С. 884—887.
- [8] Хижняков В. В. // Изв. АН СССР, сер. физ. 1979. Т. 43. № 6. С. 1271—1277.

Львовский государственный университет
им. И. Франко
Львов

Поступило в Редакцию
13 апреля 1989 г.
В окончательной редакции
17 июля 1989 г.