

ЭКСИТОН-ФОНОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В КРИСТАЛЛАХ CdSe  
и CdS—CdSe

Ю. П. Гнатенко и М. В. Курик

Экспериментально доказана выполнимость правила Урбаха для экситонного поглощения в CdSe и смешанных кристаллах CdS—CdSe. Определены характеристики экситон-фононного взаимодействия для этих кристаллов.

Измерения спектров поглощения некоторых полупроводников группы  $A_2B_6$  показали [1-3], что длинноволновый край экситонного поглощения описывается экспоненциальной зависимостью коэффициента поглощения от энергии фотона  $\hbar\omega$  вида

$$K(\hbar\omega, T) = K_0 \exp[-\sigma(\hbar\omega_0 - \hbar\omega)/kT], \quad (1)$$

где  $K_0$ ,  $\hbar\omega_0$  — параметры, характеризующие кристалл,  $\sigma/kT$  характеризует наклон края поглощения при данной температуре.

В работе [3] для кристаллов CdSe и CdTe показано, что для  $K > 10 \text{ см}^{-1}$  край поглощения описывается зависимостью (1), однако детального анализа этой зависимости не проводилось. Между тем исследование длинноволнового края поглощения в зависимости от температуры позволяет получить определенную информацию об экситон-фононном взаимодействии в кристаллах [4]. Параметры, входящие в [1], весьма чувствительны к различного рода нарушениям кристаллической решетки, что важно, например, при исследовании смешанных кристаллов.

В настоящей работе проведены исследования зависимости [1] для кристаллов CdSe, а также смешанных кристаллов CdS—CdSe с целью получения данных об экситон-фононном взаимодействии в этих кристаллах. Изучено влияние разупорядочения решетки на экситон-фононное взаимодействие.

Спектры поглощения измерялись на монокристаллах толщиной от 6 до 150 мкм, выращенных методом Фрерихса. Методика измерения спектров поглощения обычная фотоэлектрическая. Расчет коэффициентов поглощения проводился с учетом многократного отражения света в кристалле. Спектральная ширина щели в измеряемой области спектра  $\sim 1.4 \cdot 10^{-3}$  эв.

CdSe. На рис. 1 представлены результаты измерений края поглощения CdSe в области температур от 300 до 77° К для случая поляризации  $E \perp C$ . Коэффициент поглощения в области  $10-5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$  хорошо описывается экспоненциальной зависимостью (1). Параметр  $\sigma$  при низких температурах зависит от температуры, аналогично как это наблюдалось и для других кристаллов [5]. В работе [6] было показано, что эта зависимость от температуры имеет вид

$$\sigma = \sigma_0 \frac{2kT}{\hbar\omega_\phi} \text{th} \frac{\hbar\omega_\phi}{2kT}, \quad (2)$$

где  $\hbar\omega_\phi$  — средняя энергия фононов, принимающих участие в поглощении на краю, в случае одноцилляторной модели кристалла. Из сравнения экспериментальных значений  $\sigma$  с рассчитанными по формуле (2) найдено для CdSe  $\hbar\omega_\phi = 21 \text{ мэв}$  ( $170 \text{ см}^{-1}$ ) и  $\sigma_0 = 2.65$ .

Исходя из того, что  $\sigma_0^{-1} \sim g$  [4], где  $g$  — величина экситон-фоонного взаимодействия, следует, что экситон-фоонное взаимодействие в CdSe мало. Взаимодействие экситонов происходит в основном с фононами энергии 21 мэв, которые близки по энергии с  $TO$ -фононами в CdSe [7].

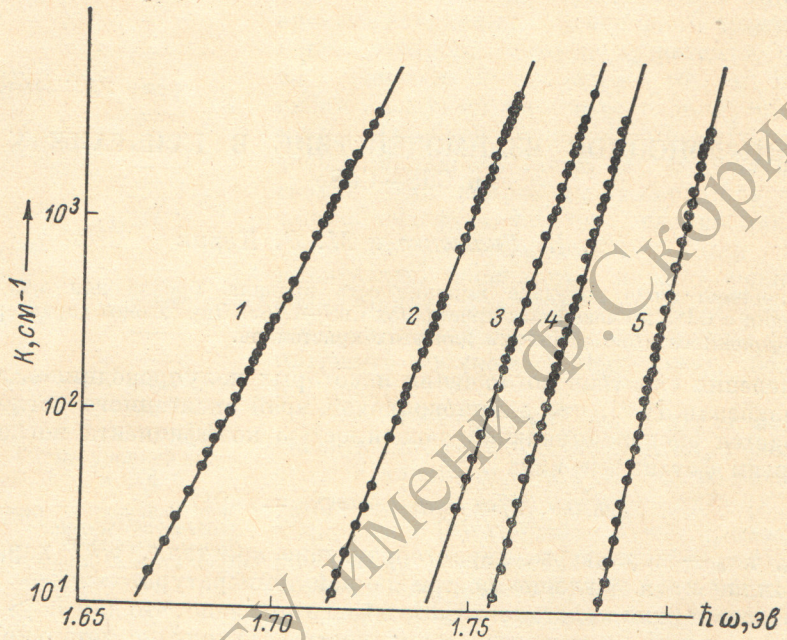


Рис. 1. Зависимость коэффициента поглощения длинноволнового крыла  $A$ -полосы поглощения CdSe от температуры. Кривые 1—5 для 300, 210, 157, 130 и 77° К соответственно.

Точка сходимости с координатами  $\hbar\omega_0 = 1.875$  эв и  $K_0 = 8 \cdot 10^9$  см<sup>-1</sup> находится с коротковолновой стороны по отношению к максимуму экситонной полосы поглощения при любой температуре. Такая ситуация характерна для случая свободных экситонов [4].

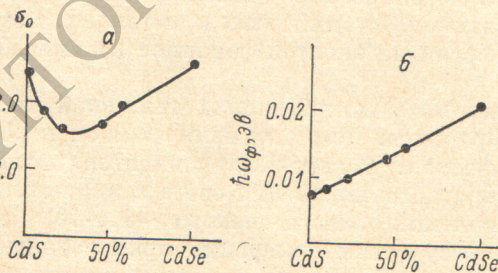


Рис. 2. Зависимость величины  $\sigma_0$  (а) и энергии фононов  $\hbar\omega_{\text{ф}}$  (б) для твердых растворов системы CdS—CdSe.

Аналогичные закономерности и выводы получены для поляризации  $E \parallel C$ . Отсюда можно заключить, что характер экситон-фоонного взаимодействия для  $A$ - и  $B$ -экситонов в CdSe одинаковый.

CdS—CdSe. Полупроводниковые соединения CdS и CdSe образуют между собой непрерывный ряд твердых растворов замещения. Было показано, что параметр решетки [8], ширина

запрещенной зоны [9] линейно изменяются с составом растворов. Край поглощения в этом случае также имеет вид (1) и монотонно смещается в длинноволновую сторону при увеличении концентрации CdSe.

Как было установлено по спектрам отражения [9], разупорядочение структуры решетки твердых растворов приводит к существенному размытию экситонных полос. С целью более полного изучения влияния этого разупорядочения на экситон-фоонное взаимодействие нами были проведены измерения зависимости длинноволнового края поглощения от тем-

пературы твердых растворов  $CdS-CdSe$  различных концентраций для случая  $E \perp C$ . Из этих данных получены зависимости  $\sigma$  от температуры и аналогично, как это было сделано для  $CdSe$ , найдены величины  $\sigma_0$  и  $\hbar\omega_{\phi}$  для различных кристаллов, а также получены зависимости этих величин от процентного состава растворов (рис. 2). Как видно из рисунка, частоты фононов линейно меняются от  $70 \text{ см}^{-1}$  для  $CdS$  до  $170 \text{ см}^{-1}$  для  $CdSe$ . Зависимость же  $\sigma_0$  существенно нелинейная, наблюдается уменьшение  $\sigma_0$  при образовании твердых растворов.

Параметр  $\sigma_0$  непосредственно связан с величиной экситон-фононного взаимодействия. Поэтому можно сделать заключение, что разупорядочение решетки при образовании твердого раствора вызывает дополнительную локализацию экситонов, что соответственно приводит к уменьшению  $\sigma_0$ .

Величины экситон-фононного взаимодействия для чистых  $CdS$  [10] и  $CdSe$  мало отличаются друг от друга.

Из полученных выше экспериментальных результатов следует, что исследование формы длинноволнового крыла полосы экситонного поглощения при различных температурах является простым методом изучения экситон-фононного взаимодействия в кристаллах, а также влияния различных локальных внутренних возмущений на это взаимодействие.

В заключение авторы выражают благодарность М. С. Бродину за интерес и внимание к работе.

#### Литература

- [1] D. Dutton. Phys. Rev., 112, 785, 1958.
- [2] М. В. Курик. Канд. дисс., Киев, 1965.
- [3] С. Кофак, J. Dillinger, V. Prosser. II—VI Semicond. Compounds, Ed. D. G. Thomas, New York, 1967.
- [4] Y. Toyozawa. Techn., Rep. ISSP, SA, 119, 1964.
- [5] Н. Магг. Phys. Rev., 125, 1510, 1962.
- [6] Y. Toyozawa. Progr. Theor. Phys., 22, 455, 1959.
- [7] D. C. Reynolds, C. W. Litton, T. C. Collins. Phys. stat. sol., 12, 3, 1965.
- [8] Н. И. Витриховский, И. Б. Мизецкая. ФТТ, 7, 1581, 1961.
- [9] М. С. Бродин, М. В. Курик, С. П. Юрценюк. ФТТ, 7, 3112, 1965.
- [10] Ю. П. Гнатенко, М. В. Курик. ФТТ, 12, 1143, 1970.

Поступило в Редакцию 12 января 1970 г.