

## ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ И РЕЗОНАНСНОЕ КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ В КРИСТАЛЛАХ $Zn_x Cd_{1-x} Te$

*Е. Ф. Гросс, А. Г. Плюхин, Л. Г. Суслина, Е. Б. Шадрин*

Исследованию резонансного комбинационного рассеяния (РКР) в полупроводниках посвящен ряд работ [1 – 5]. В [5, 8, 11] изучался вопрос о роли связанных экситонов в РКР и разделении спектра излучения на спектр горячей люминесценции и комбинационного рассеяния (КР). Теоретические расчеты [6, 7] показывают, что совпадение частоты возбуждающего света  $\omega_l$  или частоты рассеянного света  $\omega_p$  с частотой экситонного перехода  $\omega_{экс}$  сопровождается резким увеличением интенсивности РКР. Экспериментальные результаты [2, 3] действительно свидетельствуют о том, что наблюдается усиление РКР, когда частоты  $\omega_l$  или  $\omega_p$  близки к  $\omega_{экс}$ . Однако до сих пор не удавалось подробно исследовать поведение интенсивности рассеянного света при непрерывном изменении частоты в области экситонного поглощения<sup>1)</sup>. Этому вопросу посвящена данная работа.

В работе в качестве объекта исследования РКР использовались смешанные кристаллы  $Zn_x Cd_{1-x} Te$ , ширина запрещенной зоны которых (и, следовательно, частота экситонного перехода) плавно меняется в широких пределах (7800 – 5200 Å) [9] при изменении их состава. Исследование РКР набора образцов различного состава позволило необходимым образом менять частоту экситонной линии относительно фиксированной частоты возбуждающего света.

Эксперименты были выполнены с помощью He – Ne -лазера ( $E_l = 1,9586 эв$ ) при  $T = 4,2^\circ K$  и  $T = 77^\circ K$ . Концентрация  $x$  в исследуемых образцах варьировалась в пределах  $0,4 \div 0,5$ , что соответствует (при  $T = 4,2^\circ K$ ) изменению ширины запрещенной зоны от 1,905 до 1,965 эв.

Полученный нами спектр излучения смешанных кристаллов  $Zn_x Cd_{1-x} Te$  при  $T = 4,2^\circ K$  состоит из ряда линий люминесценции (группа линий 1, 2, 3, 4 на рис. 1). Линия 1 соответствует линии излучения  $n = 1A$  свободного экситона, что установлено сравнением спектров люминесценции со спектрами экситонного отражения. Линия 2 обусловлена излучением связанных экситонов, энергия связи которых  $\sim 3 мэв$ , что, по-видимому, соответствует комплексу "экситон + нейтральный донор". Полосы 3 и 4 следует отнести к излучению донорно-акцепторной пары. Кроме указанных линий в этом спектре присутствуют линии комбинационного рассеяния (линии I и II на рис. 1). При исследовании спектров образцов различного состава с  $x$  в указанных пределах в общей сложности мы наблюдали четыре линии РКР с длинами волн 6408, 6489, 6572, 6652 Å. Положение этих линий не зависит от состава кристалла, тогда как положение линий люминесценции меняется с концентрацией  $x$ .

<sup>1)</sup> В работе [8] РКР изучалось с помощью лазера с перестраиваемой частотой. Однако в настоящее время широкое использование таких лазеров затруднено ввиду их несовершенства.

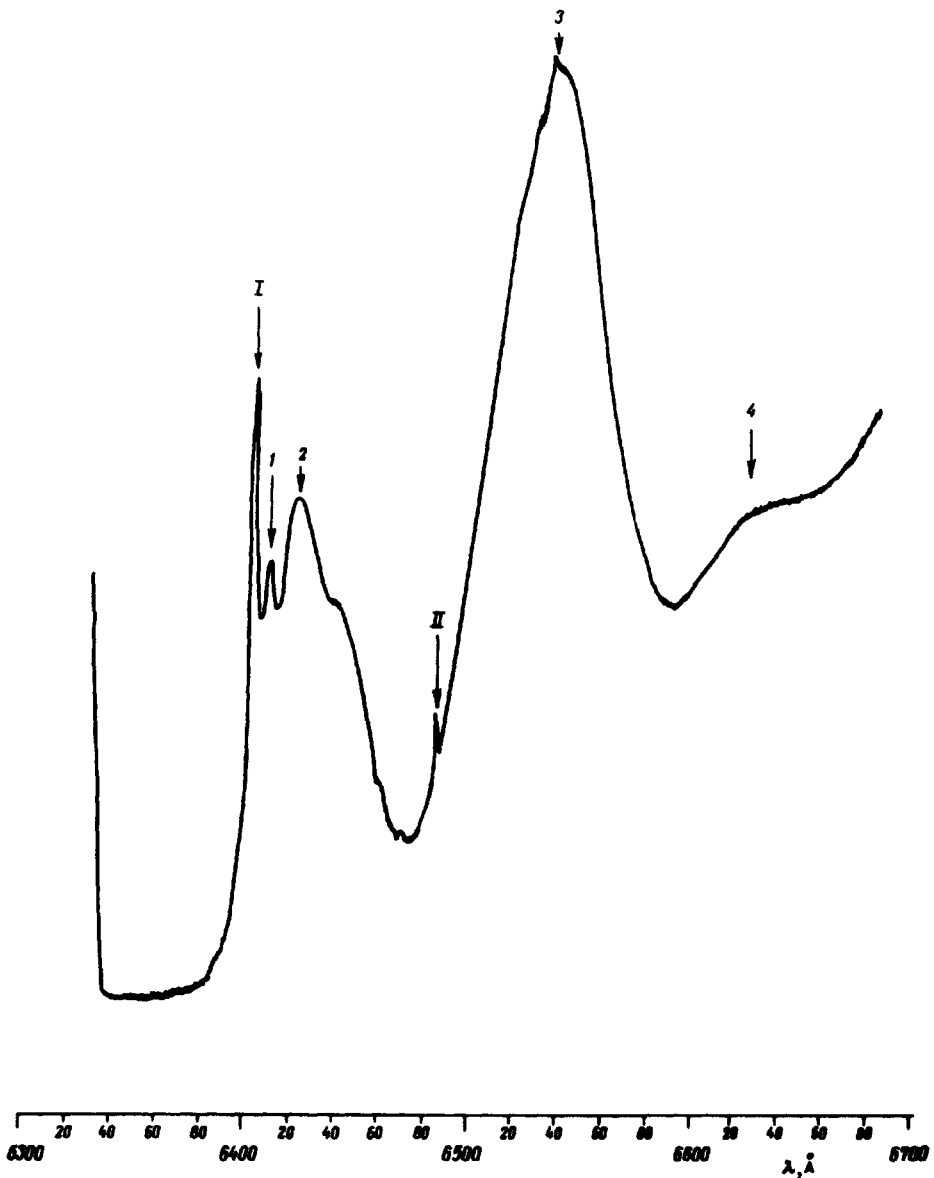


Рис. 1. Спектр люминесценции и резонансного комбинационного рассеяния (РКР) кристалла  $Zn_{0,47}Cd_{0,53}Te$  при возбуждении He-Ne-лазером при  $T = 4,2^{\circ}K$ , 1, 2, 3, 4. — линии люминесценции, I, II — линии РКР

В совокупности с линией  $E_L$  лазера линии КР образуют эквидистантную последовательность с энергетическим интервалом  $24,0 \pm 0,3$  мэв. Сравнение этой величины с частотами фонового спектра чистых  $ZnTe$  и  $CdTe$  (энергия соответствующих продольных оптических фононов

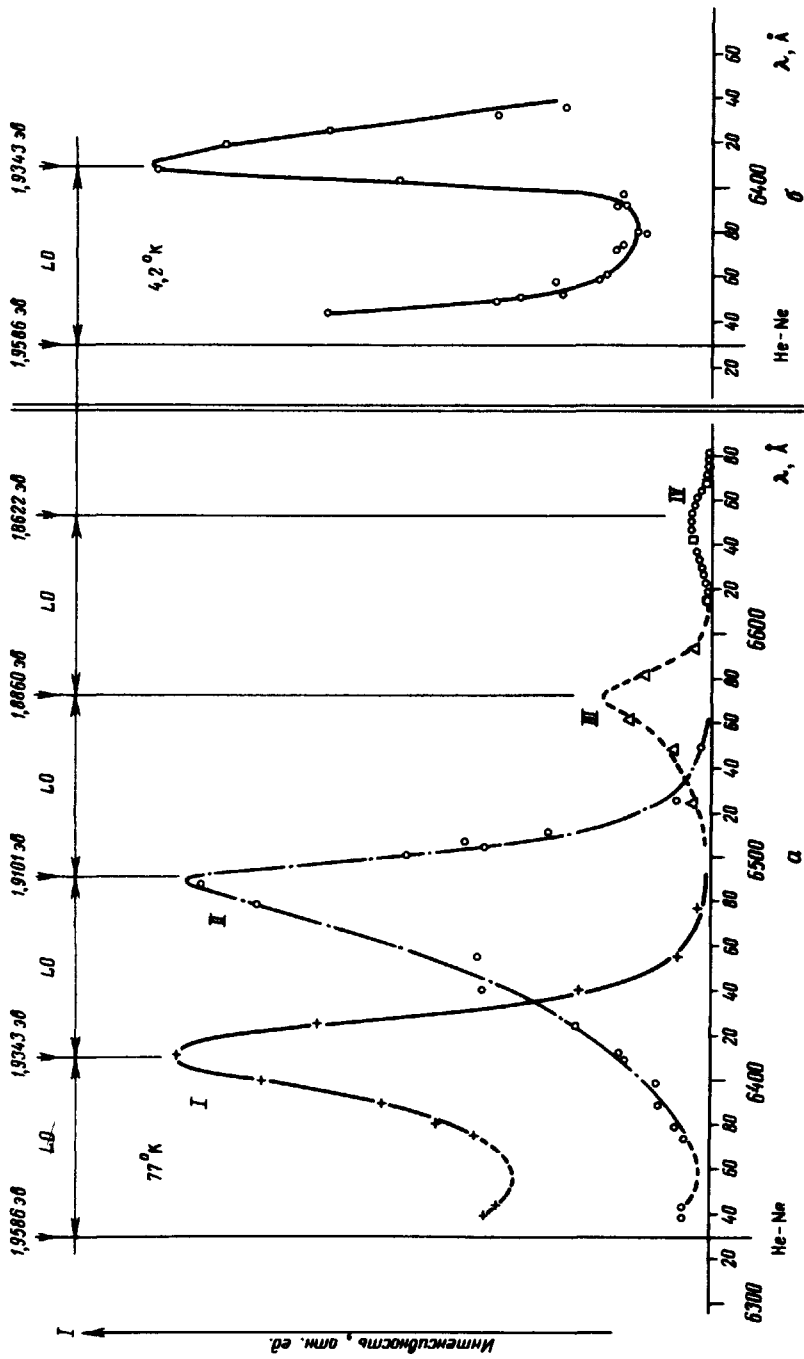


Рис. 2. Зависимость интенсивности линий РКР от положения линии  $n = 14$  свободного экситона: а -  $T = 77^\circ\text{K}$ . Кривые I, II, III и IV - интенсивность линий РКР (первого, второго, третьего, четвертого порядков соответственно); б -  $T = 4,2^\circ\text{K}$ . Интенсивность линии РКР первого порядка

25,9 и 21,3 мэв [ 10] ) показывает, что наблюдаемое КР обусловлено взаимодействием с продольными оптическими фононами кристалла <sup>1)</sup>.

Для выяснения роли экситонов в процессе РКР мы подробно исследовали зависимость интенсивности каждой линии РКР от частоты экситонного перехода. С этой целью использовался большой набор смешанных кристаллов  $Zn_x Cd_{1-x} Te$ . Исследования проводились для  $T = 77^\circ K$  и  $T = 4,2^\circ K$  <sup>2)</sup>.

При  $T = 77^\circ K$  было обнаружено, что интенсивность каждой линии РКР имеет максимум при точном совпадении ее частоты с частотой экситонного перехода (рис. 2, а). Следует отметить, что интенсивность РКР второго порядка (кривая II) при  $\omega_p = \omega_{экс}$  приблизительно равна интенсивности линии РКР первого порядка (кривая I), в то время как линии рассеяния третьего и четвертого порядков (кривая III и IV на рис. 2, а) имеют гораздо меньшую интенсивность (рис. 2, а). Близость резонансных значений интенсивностей линии РКР первого и второго порядков, вероятно, обусловлена тем, что многофононные процессы протекают с участием фононов из всей зоны Бриллюэна, что компенсирует уменьшение вероятности двухфононного процесса по сравнению с однофононным [ 12].

Можно было думать, что такой ход интенсивности характерен только для  $T = 77^\circ K$ , когда состояние связанного экситона термически разрушено и соответствующая линия в спектре излучения отсутствует (линия 2 на рис. 1). Поэтому мы предприняли тщательное изучение зависимости интенсивности линии РКР первого порядка от положения линий свободного и связанного экситонов при  $T = 4,2^\circ K$ . Полученные нами результаты (рис. 2, б) позволяют сделать вывод о том, что в этом случае увеличение интенсивности линии РКР первого порядка происходит при совпадении частоты рассеянного света с частотой, соответствующей свободному экситону.

Таким образом, проведенные при  $T = 77^\circ K$  и  $T = 4,2^\circ K$  исследования частотной зависимости интенсивности линий РКР однозначно свидетельствуют о том, что резонансный характер КР связан с возбуждением свободных экситонов в смешанных кристаллах  $Zn_x Cd_{1-x} Te$ .

В заключение авторы благодарят Я.В.Морозенко за помощь в проведении эксперимента.

Физико-технический институт  
им. А.Ф.Иоффе  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
3 февраля 1972 г.

<sup>1)</sup> Изменение состава кристалла несомненно приводит к изменению энергии оптических фононов, однако эти изменения незначительны (при  $x = 0,4 - 0,5$  величина LO фонона меняется приблизительно на  $2 \text{ см}^{-1}$ , что не выходит за пределы погрешности эксперимента).

<sup>2)</sup> Заметим, что при этих исследованиях не учитывалась поправка на поглощение.

## Литература

- [ 1 ] R C.C.Leite, S.P.S Porto. Phys. Rev. Lett., 17, 10, 1966.
  - [ 2 ] R.C.C.Leite, J F Scott, T.C.Damen. Phys. Rev. Lett., 22, 780, 1969.
  - [ 3 ] M.V Klein, S.P S Porto. Phys. Rev. Lett., 22, 782, 1969.
  - [ 4 ] Е.Ф.Гросс, С.А.Пермогоров, В.В.Травников, А.В.Селькин. ФТТ, 13, 699, 1971.
  - [ 5 ] С.А.Пермогоров, В.В.Травников. ФТТ, 13, 709, 1971.
  - [ 6 ] В.Bendow, J.Birman. Phys, Rev., B1, 1678, 1970.
  - [ 7 ] В.Bendow, J.Birman . Phys. Rev., B1, 569, 1971. '
  - [ 8 ] Т.С.Damen, J. Shah. Phys. Rev. Lett., 27, 1506, 1971.
  - [ 9 ] Е.Ф.Гросс, Г.М.Григорович, И.В.Поздняков, Л.Г.Суслина, В.Г.Средин. ФТТ, 12, 1913, 1970.
  - [ 10 ] R.E.Halsted, M.R.Lorenz, B.J. Segall. J. Phys. Chem. Solids, 22, 109, 1961.
  - [ 11 ] M.V.Klein, P.J.Colwell. Proceedings. Int. Conf. on Light Scatt. in Solids, 1971.
  - [ 12 ] Е.Ф.Гросс, Б.С.Разбирин, С.А.Пермогоров. ФТТ, 8, 1483, 1966.
-