

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОЛЯРИТОНОВ В КРИСТАЛЛАХ CdS

В.В.Травников

В спектре люминесценции кристаллов CdS обнаружено две новых линии, одна из которых на основании выполненных исследований отнесена к излучению, возникающему за счет рассеяния поверхностных поляритонов (ПП) на шероховатостях поверхности, а вторая – к излучению за счет рассеяния ПП на фонах и примесях.

На идеально плоской поверхности и в отсутствие процессов рассеяния поверхностные поляритоны не могут превратиться в наблюдаемое излучение¹. В работах^{2,3} теоретически показано, что рассеяние на шероховатостях и фонах может приводить к проявлению ПП в спектрах экситонной люминесценции в виде двух линий, расположенных между энергиями E_L и E_T , которые соответствуют дну зон продольных и поперечных экситонов. На вставке к рис. 1 представлены результаты из работы³. Рассеяние на акустических фонах должно приводить к появлению линии с длинноволновой стороны от энергии E_S , которая в случае контакта с вакуумом и при неучете пространственной дисперсии находится из условия $\epsilon(E_S) = -1$, где $\epsilon(E)$ – диэлектрическая проницаемость. Рассеяние на шероховатостях должно приводить к появлению линии с коротковолновой стороны от энергии E_T . Ранее о возможном проявлении ПП в спектрах фотолюминесценции (ФЛ) сообщалось в работах, выполненных на кристаллах ZnTe⁴ и Xe⁵. Основная аргументация в пользу того, что наблюдаемые особенности относятся к ПП, сводилась к определению их положения относительно энергий E_L , E_T (см. однако⁶). Активных экспериментов, направленных на подтверждение предлагаемой интерпретации, не проводилось. В данной работе в спектре ФЛ кристаллов CdS удалось не только обнаружить две линии в области продольно-поперечного расщепления (LT -область), но рядом экспериментов обосновать их принадлежность к поверхностным поляритонам.

Исследовались спектры ФЛ экситонного состояния $n = 1A$ кристаллов CdS при $T = 2\text{ K}$ и возбуждении линией 476,5 нм Ar^+ лазера. Существенным для обнаружения проявления ПП в спектрах ФЛ оказалось использование чистых поверхностей (ЧП), получаемых сколом в жидком гелии (сколы осуществлялись вдоль оси C); а также регистрация люминесценции в запрещенной геометрии $E \parallel C$ (при $k \perp c$) (E и k – вектор поляризации и волновой вектор исследуемого излучения, C – оптическая ось кристалла). Об особенностях проявления ПП в геометрии $E \perp C$ будет сообщено позднее. Ранее для запрещенной геометрии в LT -области состояния $n = 1A$ кристаллов CdS сообщалось о наблюдении лишь линии A_L , соответствующей излучению продольных экситонов, и линии A_F , соответствующей излучению ортоэкситонов. В данной работе между линиями A_L и A_F в спектрах ЧП, получаемых непосредственно после скалывания, мы обнаружили две линии B и C (рис. 2, спектр 1). Как видно из сопоставления рис. 1 и рис. 2, энергетическое положение этих линий хорошо согласуется с предсказаниями работ^{2,3} относительно проявления ПП в спектрах люминесценции. Естественно предположить, что линия B соответствует излучению, возникающему при рассеянии ПП на фонах, а линия C – при рассеянии ПП на шероховатостях (для обозначения линий мы воспользовались символами, предложенными в¹ гл. 5 для линий аналогичной природы).

На рис. 2 спектр 2 получен при интенсивности возбуждения ($I_{\text{в036}}$) примерно на порядок меньшей, чем $I_{\text{в036}}$, при которой получен спектр 1 (для удобства сравнения интенсивности линий A_L для спектров 1 и 2 приравнены). Видно, что относительная интенсивность линии B с ростом $I_{\text{в036}}$ увеличивается. В принципе, такое увеличение в рамках предлагаемой интерпретации может быть объяснено тем, что с ростом $I_{\text{в036}}$ возрастает число неравновесных

акустических фононов, возникающих в поверхностной области в результате энергетической релаксации генерируемых в кристалле электронных возбуждений. Однако вклад в формирование линии *B* могут давать и процессы упругого рассеяния ПП на примесях. С увеличением $I_{\text{возб}}$ вероятность таких процессов возрастает за счет того, что при увеличении $I_{\text{возб}}$ центры захвата поляритонов превращаются в центры упругого рассеяния ⁷. Мы полагаем, что рассеяние на примесях вносит основной вклад в формирование линии *B*, поскольку в использованном нами диапазоне $I_{\text{возб}}$ вряд ли может существенно измениться вероятность рассеяния на фононах.

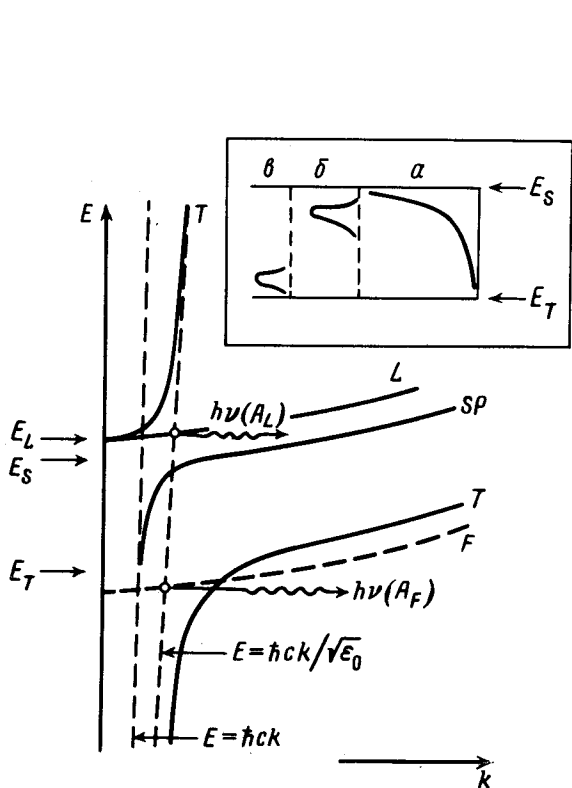


Рис. 1

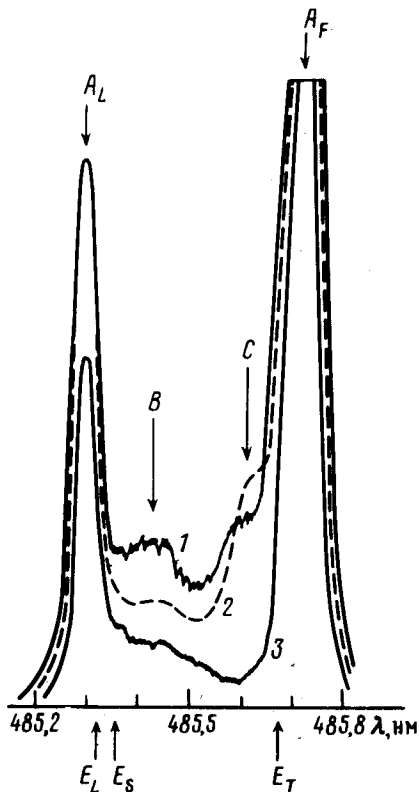


Рис. 2

Рис. 1. Обобщенная (без детализации, обусловленной анизотропией) схема дисперсионных кривых состояния $n = 1A$ кристаллов CdS. Кривые *T*, *L*, *F*, *SP* – соответствуют дисперсии поперечных поляритонов ($E \perp C$), продольных экситонов, запрещенных ортоэкситонов и поверхностных поляритонов. На вставке представлены результаты расчетов из ³, выполненные без учета пространственной дисперсии и анизотропии (*a* – плотность состояний ПП, *b* и *в* – вероятности рассеяния ПП на акустических фононах и шероховатостях)

На рис. 2 спектр 3 получен при тех же условиях возбуждения и регистрации и от той же поверхности, что и спектр 1, но после нагревания образца до комнатной температуры и пребывания на воздухе. Окисление заметно уменьшает интенсивность линии *B*, линия *C* фактически исчезает из спектра. Окисление сопровождается возникновением области пространственного заряда (ОПЗ). Электрическое поле ОПЗ достигает на границе больших значений (см., например, ⁸). Это приводит, очевидно, к уменьшению амплитуды ПП на границе и, как следствие, к уменьшению интенсивности линии *C*. Линия *B*, возникающая за счет рассеяния на фононах и примесях, формируется всей областью существования ПП (глубиной порядка длины волны поляритона). Естественно, что окисление не должно оказывать на нее такое сильное воздействие, как на линию *C*.

Уменьшение телесного угла регистрации наблюдаемого излучения позволяет четко выявить форму линии B (рис. 3). Этому способствует уменьшение относительной интенсивности линии A_L , которая, как известно, пропорциональна $\cos^2 \alpha$ (α — угол между волновым вектором "почти продольного экситона" и осью C)⁹. Из рис. 3 видно, что линия B имеет существенно большую по сравнению с запрещенными линиями полуширину, причем ее коротковолновый хвост простирается в область выше энергии E_S . Учитывая непрерывный характер дисперсии ПП, а также то, что ветвь ПП при учете пространственной дисперсии простирается в область выше E_S (см. ¹ гл. 2) (в работах ^{2,3} пространственная дисперсия не учитывалась), наблюдаемая форма линии B также укладывается в рамки предлагаемой интерпретации.

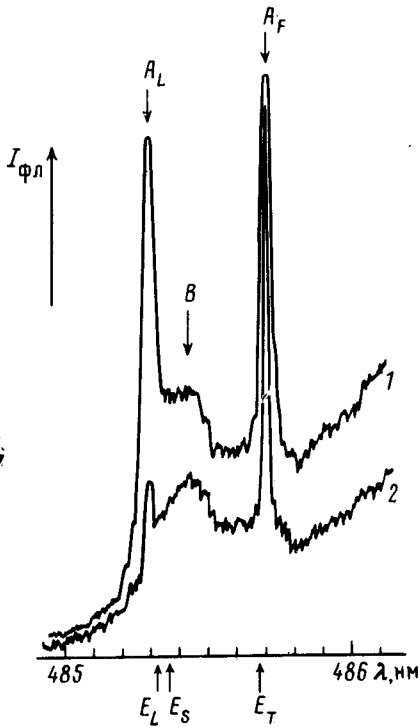


Рис. 3. Спектры ФЛ окисленной поверхности при одинаковых $I_{\text{возб}}$ и двух значениях телесного угла регистрации (относительное отверстие "регистрирующего" объектива для спектра 1 равно 1 : 2,8, а для спектра 2 — 1 : 22). Для удобства сравнения интенсивности линии A_F для спектров 1 и 2 приравнены ¹⁾

Итак, все выявленные свойства линий B и C — энергетическое положение и спектральная форма, влияние на абсолютную интенсивность окисления, зависимость их относительной интенсивности от величины $I_{\text{возб}}$ — согласуются с предположением, что линия B возникает в спектре ФЛ за счет рассеяния ПП на фонах и примесях, а линия C за счет рассеяния ПП на шероховатостях. В пользу предлагаемой интерпретации говорит и тот факт, что энергетическая структура состояния $n = 1A$ кристаллов CdS хорошо известна и в рассматриваемой области никаких других спектральных особенностей не имеется. Для уточнения механизма превращения ПП в наблюдаемое излучение в исследованном нами случае необходим анализ с учетом пространственной дисперсии и анизотропии.

Автор выражает благодарность В.М.Аграновичу, Т.А.Лесковой и С.А.Пермогорову за полезные обсуждения и критические замечания.

¹⁾ На рис. 3 обращает на себя внимание возрастающий в длинноволновую сторону фон. Этот фон в значительной степени увеличивается после окисления. Для спектров рис. 2 он вычитался для лучшего сравнения спектров чистой и окисленной поверхностей.

Литература

1. Поверхностные поляритоны, сер. "Современные проблемы науки о конденсированных средах", под редакцией В.М.Аграновича, Д.Л.Миллса. М., Наука, 1985.
2. Агранович В.М., Лескова Т.А. Письма в ЖЭТФ, 1979, 29, 151.
3. Агранович В.М., Дарманян С.А., Лескова Т.А., Рупасов В.И. Изв. АН СССР, сер. физ., 1979, 43, 1284.
4. Brodin M.S., Matsko M.G., Bandura V.M. Solid State Comm., 1980, 35, 375; Phys. St. Sol. (b), 1984, 125, 613.
5. Fugol I.Ya., Grigoraschenko O.N., Ratner A.M., Savchenko E.V. Solid State Comm., 1981, 38, 1031.
6. Schultheis L., Lagois J. Solid State Comm., 1982, 44, 1557.
7. Травников В.В., Криволапчук В.В. ФТТ, 1986, 28, 1210.
8. Киселев В.А. ФТТ, 1979, 21, 1069.
9. Hopfield J.J., Thomas D.G. Phys. Chem. Solids., 1960, 12, 276.

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

Поступила в редакцию
27 мая 1986 г.