

## ЭФФЕКТ РАЗГОРАНИЯ ЭКСИТОННОГО ОТРАЖЕНИЯ В КРИСТАЛЛАХ CdS; СВЯЗАННЫЙ С ОПУСТОШЕНИЕМ МЕЛКИХ ЛОВУШЕК

*Б.В.Новиков, Е.А.Убушиев, А.Е.Чередниченко*

Исследованы температурные зависимости экситонных спектров отражения (ЭСО) в сопоставлении с кривыми термостимулированного тока (ТСТ) в "чистых" монокристаллах CdS. В ЭСО впервые обнаружено аномальное разгорание отражения, коррелирующее с процессом опустошения мелких ловушек.

Известно, что как в легированных, так и в "чистых" монокристаллах CdS существуют мелкие ловушки, т.е. уровни захвата заряда, проявляющиеся в низкотемпературных кривых

ТСТ<sup>1-3</sup>. В настоящей работе обнаружено влияние этих уровней на ЭСО кристаллов CdS.

На рис. 1 приведены контуры отражения для экситона А в одном из исследованных пластинчатых образцов, не содержащих специально введенных примесей, в зависимости от температуры. Как видно из рисунка, при нагревании образца от температуры жидкого гелия до ~ 30 К наблюдается уменьшение отражения в максимуме ЭСО (кривые 2, 3). При дальнейшем увеличении температуры, в области 30 – 50 К, отражение в максимуме увеличивается, а в минимуме, соответственно, уменьшается. При этом ЭСО по размаху (кривые 5, 6) сопоставим с отражением при  $T = 4,2$  К (кривая 1).

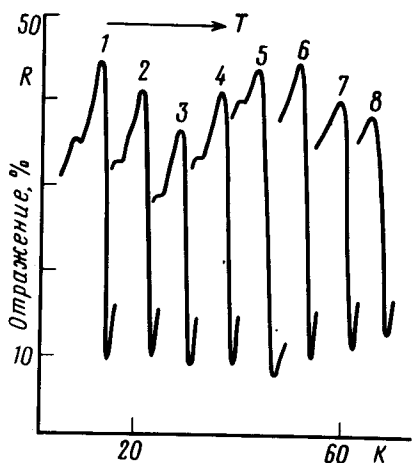


Рис. 1

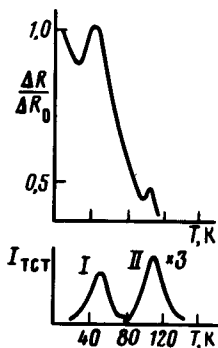


Рис. 2

Рис. 1. Изменение контура ЭСО кристалла при нагреве от температуры жидкого гелия.  $A_{II} = 1$ ,  $E \perp C$

Рис. 2. Температурная зависимость размаха отражения  $\Delta R/\Delta R_0$  и кривая ТСТ для исследованного образца CdS.  $\Delta R = R_{max} - R_{min}$ . Максимумы I и II соответствуют опустошению мелких ловушек (см. текст)

На рис. 2 внизу приведена кривая ТСТ, а сверху – соответствующая температурная зависимость размаха отражения для исследованного образца. Из рисунка видно, что в области 30 – 50 К, т.е. в области аномального увеличения отражения, в кривой ТСТ проявляется максимум тока, соответствующий термическому опустошению ловушки, энергетическое положение которой от дна зоны проводимости можно оценить в 0,04 – 0,05 эВ<sup>1,2</sup>. Аналогичная немонотонная зависимость ЭСО от температуры обнаруживается также в области 100 – 120 К. В этой температурной области в кривой ТСТ проявляется второй максимум тока, соответствующий опустошению более глубокой ловушки 0,08 – 0,09 эВ<sup>3</sup>.

Наши экспериментальные наблюдения свидетельствуют о том, что аномалии в температурной зависимости ЭСО связаны с мелкими центрами захвата заряда и разгорание ЭСО обусловлено их опустошением. Мы полагаем, что наблюдаемый эффект обусловлен сильной полевой (зарядовой) неоднородностью кристалла в приповерхностной области (ОПЗ). При повышении температуры до ~ 30 К происходит термостимулированное освобождение электронов из ловушек в объеме в результате чего они, так же как и в ОПЗ, становятся ионизованными. По мере движения уровня Ферми с температурой концентрация ионизованных ловушек возрастает; происходит размытие ОПЗ и приповерхностная зарядовая неоднородность (относительно объема) уменьшается.

Каким образом исчезновение зарядовой неоднородности влияет на ЭСО? На наш взгляд, следует рассмотреть две возможные причины. Во-первых, разгорание экситонного отражения можно интерпретировать как результат уменьшения диссипативного затухания экситонов вследствие уменьшения заряда (поля) вблизи поверхности<sup>1)</sup> или изменения рассеяния

<sup>1)</sup> О влиянии приповерхностного поля на затухание экситонов впервые сообщалось в работе<sup>4</sup>. Следует отметить, что анализ затухания в данном случае представляет значительные трудности, так как величина диссипативного затухания  $\Gamma$  должна зависеть не только от температуры, но и от расстояния от поверхности.

экситонов при изменении зарядового состояния ловушек в объеме. Дополнительная возможность интерпретации обнаруженного эффекта заключается в следующем. Как видно из рис. 1, с длинноволновой стороны от основного максимума отражения наблюдается дополнительная структура (кривые 1 – 3). Эта особенность наблюдалась ранее и была приписана поверхностному механическому экситону<sup>5,6</sup>, который можно рассматривать как экситон, локализованный в приповерхностной потенциальной (квантовой) яме, обусловленной зарядовой (половой) неоднородностью. По мере нагревания образца (кривые 4, 5) эта структура смещается в коротковолновую сторону, т.е. к основному максимуму и при дальнейшем повышении температуры (кривая 6) в явном виде не проявляется. Из рисунка также видно, что по мере спектрального сдвига структуры в спектре отражения можно наблюдать увеличение отражения. Как указывалось выше, повышение температуры приводит к ионизации мелких ловушек и уменьшению приповерхностной зарядовой однородности. Размытие ОПЗ приводит к уменьшению глубины потенциальной ямы. Уровни локализованных в ней экситонов при этом должны смещаться к резонансу, т.е. в коротковолновую сторону, что и наблюдается на опыте. Увеличение отражения можно при этом интерпретировать как увеличение силы осциллятора локализованного экситона при расширении области его локализации – аналогичный эффект известен для связанных экситонов в полупроводниках как эффект Рашба<sup>7</sup>. Как показывают наши исследования, потенциальные ямы для экситонов могут существовать и при более высоких температурах. Так, дополнительное увеличение отражения при температурах 100 – 120 К связано с опустошением более глубокими ловушками (см. рис. 2).

Таким образом, мелкие ловушки играют важную роль в формировании экситонных спектров. В дальнейших, более подробных публикациях будут приведены дополнительные доказательства этого.

Авторы считают своим приятным долгом выразить признательность Э.И.Рашба за обсуждение результатов работы.

#### Литература

1. Марченко А.И., Сальков Е.А., Федорус Г.А., Фурсенко В.Д. ФТТ, 1961, 3, 2285.
2. Трофименко А.П., Шейнкман М.К. ФТТ, 1962, 4, 1963.
3. It H.V., Mattews H.E., Vibe R.H. J. Appl. Phys., 1970, 41, 2581.
4. Бенеманская Г.В., Новиков Б.В., Чередниченко А.Е. ФТТ, 1977, 19, 1389.
5. Киселев В.А. ФТТ, 1978, 20, 1191.
6. Батырев А.С., Новиков Б.В., Чередниченко А.Е. ФТТ, 1981, 23, 2989.
7. Рашба Э.И. ФТП, 1974, 8, 1241.