

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ЭКСИТОНА В КРИСТАЛЛАХ

А.С. Батырев, Б.В. Новиков, А.Е. Чередниченко

Исследованы оптические спектры экситонов в кристаллах CdSe с естественной поверхностью, а также после электронной бомбардировки (ЭБ). В экситонных спектрах отражения (ЭСО) и фотолюминесценции (ФЛ) при $T = 4,2\text{K}$ обнаружена структура, обусловленная поверхностным механическим экситоном (ПМЭ) [1].

В работе Грибникова и Рашба [2] указано на возможность втягивания экситонов в приповерхностную область сильного поля, а в работах Киселева рассмотрено проявление эффекта притяжения в ЭСО при различных модельных потенциалах [3], а также в электрическом поле барьера Шоттки [4]. В кристаллах с пространственной дисперсией при наличии достаточно сильного притяжения экситонов к поверхности можно ожидать появление в потенциальной яме связанного состояния, соответствующего ПМЭ [1, 3]. Чувствительный к состоянию поверхности ПМЭ должен проявляться в ЭСО в виде структуры на фоне основного максимума отражения. На рис. 1, а приведены расчетные ЭСО для кристаллов CdS при различных глубинах потенциальных ям [3].

Для экспериментальной проверки теоретических представлений мы использовали ЭБ как метод воздействия на поверхность кристаллов. Как показано в работах [5] на примере CdS, а в работе [6] для CdSe, ЭБ приводит к изменению электрического поля на поверхности, вначале уменьшая его за счет десорбции газов с поверхности, а затем увеличивая его за счет образования приповерхностных дефектов. В ЭСО при этом наблюдаются характерные изменения в области спайка, а по мере увеличения дозы, — трансформация всего контура отражения.

На рис. 1, б изображены ЭСО монокристаллической пластинки CdSe при температуре $T = 4,2\text{K}$ до и после различных доз ЭБ электронами энергии 2 кэВ, а на рис. 2 — спектры ФЛ образца при тех же условиях.

Для ЭСО кристаллов исследованной группы характерен ряд особенностей, а именно; наличие интенсивного спайка и структуры с длинноволновой стороны от основного максимума, обозначенной нами $I_s^{(1)}$, отчетливое проявление контура отражения $A_{n=2}$. Как видно из рисунка, небольшие дозы ЭБ приводят к изменению формы ЭСО в области спайка (на кривой 3 — спайк слева от минимума), сдвигу I_s в коротковолновую область, а также возгоранию $A_{n=2}$. При дозах $\sim 5 \cdot 10^{16}$ эл/см² (кривая 3) наблюдается увеличение максимального и минимального значения величины отражения в области основного резонанса $A_{n=1}$; струк-

¹⁾ В большинстве исследованных кристаллов максимум этой структуры обычно проявляется при $\lambda \approx 6799 \text{ \AA}$; однако в ряде образцов спектральное положение I_s отличается от этого значения на $1 - 2 \text{ \AA}$.

тура I_s исчезает, амплитуда $A_{n=2}$ максимально усиливается. При больших дозах ЭБ (кривая 4) происходит характерное изменение формы контура отражения. При этом с длинноволновой стороны вновь наблюдается дополнительная структура отражения.

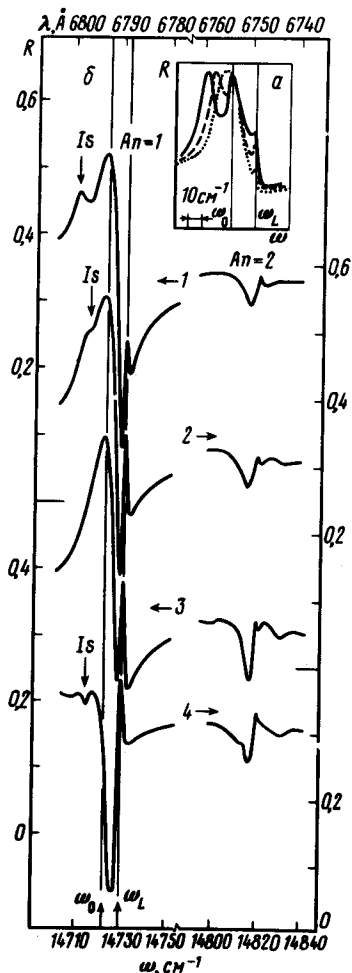


Рис. 1. *a* – расчетные ЭСО кристаллов CdS [3]. *б* – экспериментальные ЭСО образца CdSe; $T = 4,2\text{K}$, $E \perp C$, $k \perp C$, $\phi \approx 10^\circ$: 1 – исходный спектр, 2 – $\sim 1 \cdot 10^{16}$ эл/см², 3 – $\sim 5 \cdot 10^{16}$ эл/см², 4 – $\sim 3 \cdot 10^{17}$ эл/см²

В спектре ФЛ (рис. 2) в исходном состоянии проявляется структура $A_{n=1}$, а также ряд известных линий связанных экситонов, наиболее интенсивной из которых является I_2 ($\lambda = 6804,2 \text{ \AA}$), соответствующая излучению экситонов, связанных с нейтральных донорах (на рисунке не приведена). Кроме этих линий в спектре проявляется резонансная I_s линия при $\lambda \approx 6799 \text{ \AA}$. При облучении малыми дозами наблюдается резкое увеличение интенсивности линии I_2 , а также $A_{n=1}$. Линия I_s , так же как и в отражении, смещается в коротковолновую область, сначала увеличиваясь, а затем уменьшаясь по интенсивности. При больших дозах наблюдается возгорание линий $\lambda \approx 6796 \text{ \AA}$ (кривая 4).

Мы полагаем, что наблюдающаяся в ЭСО структура I_s и резонансная ей люминесценция есть спектральное проявление ПМЭ.

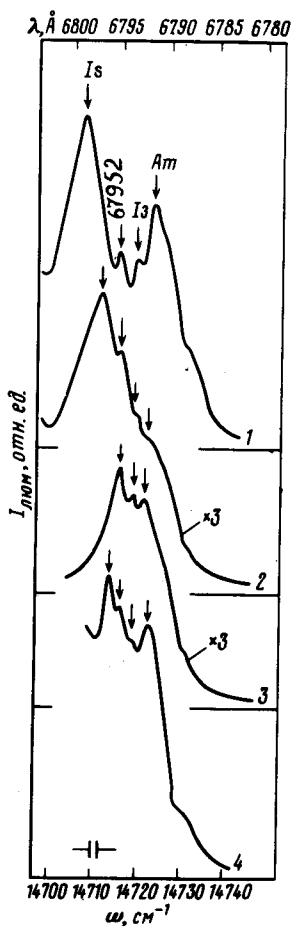


Рис. 2. Экспериментальные спектры ФЛ образца CdSe при $T = 4,2\text{ K}$, $E \perp C$: 1 – исходный спектр, 2 – $\sim 1 \cdot 10^{16}$ эл/см², 3 – $\sim 5 \cdot 10^{16}$ эл/см², 4 – $\sim 3 \cdot 10^{17}$ эл/см²

В исходном состоянии на естественной поверхности кристалла существует обусловленное поверхностными состояниями электрическое поле. Вблизи поверхности формируется потенциальная яма для экситонов и, как следствие, связанное состояние в ней – ПМЭ. При обработке поверхности электронами это поле уменьшается, что приводит к уменьшению потенциальной ямы и, вследствие этого, к уменьшению энергии связи уровня. В результате в спектрах наблюдается коротковолновое смещение уровня, соответствующего ПМЭ¹⁾.

Характерный общий вид спектра после малых доз облучения, а именно: максимально возможное значение величины отражения в области

¹⁾ Строго говоря, на данном этапе исследования нельзя полностью исключить влияние на формирование структуры в области I_s локализации экситонов на адсорбированных на поверхности молекулах, а также возгорания в поверхностном электрическом поле запрещенных экситонных переходов.

максимума и минимума основного резонанса, положение и вид спайка, хорошо коррелирует с видом экспериментальных спектров, возникающих после малых доз ЭБ в кристаллах CdS [5] и расчетными спектрами для малых поверхностных электрических потенциалов [4]. Специальные измерения поверхностной фото-ЭДС [6] подтверждают, что кривой 3 на рис. 1 соответствуют малые значения поверхностного потенциала. В пользу малости этой величины свидетельствует возгорание $A_{n=2}$. При полях, близких к нулю, потенциальная яма для экситонов не в состоянии обеспечить связанного состояния: в результате структура ПМЭ в спектрах не проявляется.

ЭБ приводит к возникновению донорных центров вблизи поверхности за счет допорогового механизма образования дефектов; это проявляется в виде значительного увеличения интенсивности линии I_2 , обусловленной излучением экситонов, связанных на нейтральных донорах. Профиль энергетических потерь при ЭБ описывается кривой с максимумом на определенном расстоянии от поверхности. В результате в приповерхностной области в процессе ЭБ возникает пространственно-неоднородное распределение донорных центров. В поле дефектов возможно образование потенциальной ямы для экситонов и, следовательно, появления связанного состояния в ней. Можно думать, что проявляющаяся в спектрах при больших дозах ЭБ структура при $\lambda \approx 6796 \text{ \AA}$ есть спектральное проявление ПМЭ в поле неоднородно-распределенных дефектов. Такие состояния, по-видимому, наблюдались в ЭСО и ФЛ кристаллов CdS, подвергнутых ЭБ и отжигу [5, 7]. В общем случае спектральное проявление ПМЭ определяется параметрами ямы, а также зависит от затухания.

Институт физики
Ленинградского
государственного университета
им. А.А.Жданова

Поступила в редакцию
30 марта 1981 г.

Литература

- [1] В.А.Киселев. ФТТ, **20**, 1191, 1978.
- [2] З.С.Грибников, Э.И.Рашба. ЖТФ, **28**, 1948, 1958.
- [3] В.А.Киселев. ФТТ, **20**, 2173, 1978.
- [4] В.А.Киселев. ФТТ, **21**, 1069, 1979.
- [5] Г.В.Бенеманская, Б.В.Новиков, А.Е.Чередниченко. Письма в ЖЭТФ, **21**, 650, 1975; ФТТ, **19**, 1389, 1977.
- [6] А.С.Батырев, Б.В.Новиков, А.Е.Чередниченко. ФТТ (в печати).
- [7] Б.В.Новиков, Г.В.Бенеманская, А.Вестхофф, А.Е.Чередниченко. ФТТ, **17**, 2186, 1975.