

ВЛИЯНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ НА АНОМАЛИИ В СПЕКТРЕ ЭКСИТОННОГО ОТРАЖЕНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ CdS ПРИ $T = 4,2\text{K}$

Г.В.Бенеманская, Б.В.Новиков, А.Е.Чередниченко

Обнаружено, что облучением монокристаллов CdS низкоэнергетическими электронами можно обратимо изменять спектры экситонного отражения. В зависимости от дозы облучения у поверхности кристалла образуется свободный от экситонов ("мертвый") слой различной глубины, что дает возможность получать вполне определенные кривые спектров отражения с различными аномалиями.

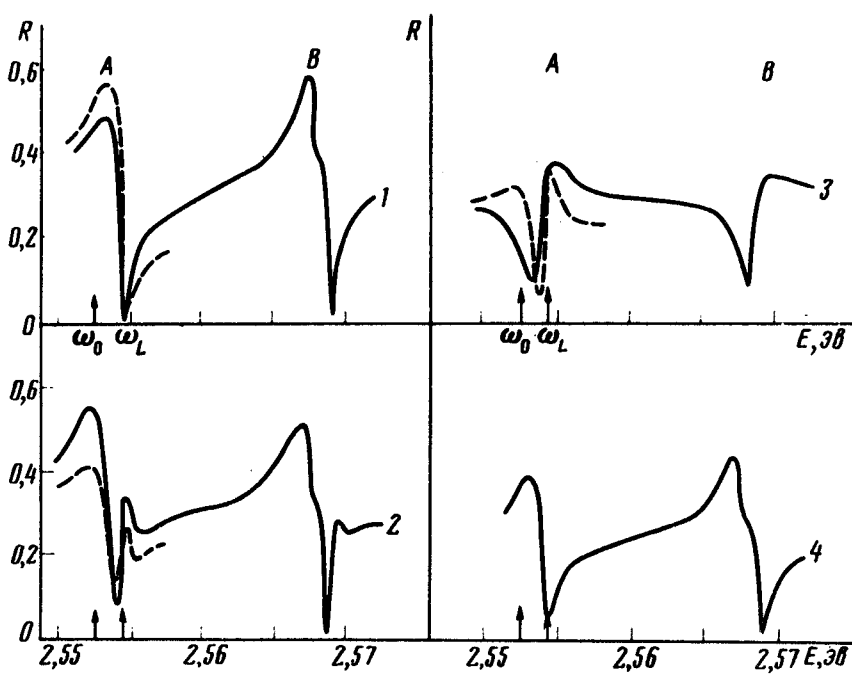
Экситонные спектры отражения при низких температурах часто проявляют аномалии, которые в значительной мере определяются эффектами пространственной дисперсии [1 – 3]. В частности, иногда в спектрах отражения CdS наблюдаются узкие пики ("спайк") на частоте продольного экситона ω_L . Природа таких аномалий впервые была рассмотрена Томасом и Хапфилдом [1]. Для проявления спайка необходимо существование "мертвого" слоя у поверхности кристалла. Вторым условием наличия спайка является малая величина диссипативного затухания ($\Gamma < 10^{-5}$ эв) [3].

С целью выяснения роли поверхности в проявлении указанных аномалий монокристаллы CdS подвергались бомбардировке электронами (ЭБ) [4] малых энергий 3;5 кэв. Спектры отражения регистрировались фотоэлектрически в геометрии $E \perp C$, $K \perp C$ для различных углов падения $\phi = 6, 30, 45, 60^\circ$. Характер изменения спектров после ЭБ был общим для всех углов падения¹⁾. Максимальная интенсивность спайка, если он присутствовал в спектре, наблюдалась при $\phi = 60^\circ$. Каждый исследуемый кристалл облучался несколько раз с возрастающим временем воздействия (дозой).

Для всех кристаллов общие закономерности были следующие. 1) После первого сеанса ЭБ интенсивность в максимуме отражения возрастала $\sim 1,2$ раза. Дальнейшее увеличение времени ЭБ приводило к спаду интенсивности и изменению формы кривой. 2) Нагрев кристалла до комнатной температуры возвращал спектр отражения к исходному виду.

¹⁾ При нормальном падении спайк находится на частоте продольного экситона ω_L . С увеличением угла падения происходит сдвиг спайка в сторону больших энергий, достигающий $0,4\text{Å}$ при $\phi = 60^\circ$. По положению спайка может быть рассчитана верхняя ветвь дисперсионной кривой поперечных поляритонов [2].

3) После длительного облучения (~ 15 мин) кривые отражения имели "перевернутый" вид. 4) В кристаллах с $\Gamma < 10^{-4}$ эв спайк появлялся после первого сеанса облучения (~ 1 мин). Кристаллы с $\Gamma > 10^{-4}$ эв не обнаруживали спайка на частоте ω_L .



Спектры отражения монокристалла CdS при $T = 4,2\text{K}$, $E \perp C$, $K \perp C$, $\phi = 6^\circ$. Штриховые кривые – теоретический расчет [1]: 1. – исходное состояние $l \approx 0 \text{ \AA}$, 2 – после ЭБ 3,5 кэв 1 мин; $l \approx 110 \text{ \AA}$, 3 – после ЭБ 3,5 кэв 12 мин; $l \approx 160 \text{ \AA}$, 4. – после нагрева кристалла до комнатной температуры

На рисунке приведена серия спектров нормального отражения одного кристалла, обнаруживающего спайк после ЭБ. В исходном состоянии кривая имеет обычную форму (кривая 1). Плечо на коротковолновом спаде максимума отражения $B_{\Pi=1}$ экситона указывает на малость затухания. После первого сеанса ЭБ (кривая 2) на частоте ω_L появляется спайк. Подобная аномалия наблюдается и в области $B_{\Pi=1}$ экситона. Постепенное возрастание времени ЭБ приводит к увеличению интенсивности спайка. Облучение кристалла в течение 12 мин "переворачивает" спектр (кривая 3). Нагрев кристалла до комнатной температуры из любого состояния (кривая 2 или 3) возвращает спектр отражения к исходному виду (кривая 4). Засветка кристалла светом из области собственного поглощения увеличивает интенсивность спайка. Сравнение экспериментальных кривых с теоретическим расчетом отражения [1] при учете пространственной дисперсии с переменным параметром мертвого слоя l дает хорошее качественное согласие.

По мере увеличения дозы облучения увеличивается, по-видимому, глубина l свободного от экситонов слоя. Общее изменение формы кривой отражения с переверотом (без учета спайка) является, как показывает расчет [5], следствием интерференции волн, отраженных от границы кристалла и от границы мертвого слоя различной глубины l . Картина перевернутого отражения соответствует $l \approx 200 \text{ \AA}$. Описанные выше результаты дают теперь возможность считать доказанным, что появление спайка при определенных l связано именно с учетом в интерференции дополнительной волны, вызванной эффектами пространственной дисперсии. При большом затухании эти эффекты исчезают, и спайк не проявляется в спектрах отражения.

Мы полагаем, что мертвый слой вызван, главным образом, ионизацией экситонов в приповерхностном поле¹⁾. В результате ЭБ растет величина электрического поля около поверхности, что вызывает увеличение эффективной глубины l . Увеличение поля связано с ростом числа заряженных центров в области пространственного заряда. Дополнительное увеличение поля достигается засветкой образца.

Существование тонкого слоя у поверхности, где экситоны ионизованы, должно играть важную роль в процессах фотоэлектрически активного распада экситонов. Мы полагаем, что именно с этим слоем связан ряд особенностей на спектральных кривых фототока кристаллов, подвергнутых ЭБ [6].

Наличие спайка у $V_{\text{II}} = 1$ экситона свидетельствует о существенной роли пространственной дисперсии для этого экситонного состояния. Одинаковый характер изменения спайков A и B экситонов и одновременный переверот спектров отражения указывает на то, что мертвый слой для этих экситонных состояний одного порядка. Меньшая интенсивность спайка B экситона связана, вероятно, с тем, что это состояние энергетически более высокое и для него затухание больше.

Ленинградский

государственный университет
им. А.А.Жданова

Поступила в редакцию
23 апреля 1975 г.

Литература

- [1] J.J.Hopfield, D.G.Thomas. Phys. Rev., 132, 563; 1963.
- [2] С.А.Пермогоров, В.В.Травников, А.В.Селькин. ФТТ, 14, 3642, 1972.
- [3] I.Brosier, R.Brosier. Proc. 12-th Int. Conf. on the Phys Semic., Stuttgart, 1974, p. 991.
- [4] А.Е.Чередниченко, В.В.Новиков, Г.В.Бенеманская. J.Luminescence, 6; 193; 1973; Б.В.Новиков, Г.В.Бенеманская, А.Вестхофф, А.Е.Чередниченко. ФТТ, в печати.

¹⁾ Считается, что ионизация экситона наступает в том случае, когда падение потенциала на длине радиуса экситона равно его энергии связи. Для CdS эта величина составляет $F_{\text{кр}} \approx 10^5 \text{ в/см.}$

[5] F.Evangelisti, A.Frova, F.Patella. Proc. 12-th Int. Conf. on the Phys. Semic., Stuttgart 1974, p. 962.

[6] B.V.Novikov, A.V.Ilinskii, K.F.Lider, N.S.Sokolov. Phys. Stat. Sol (b), 48, 473; 1971; R.V.Grigoriev, B.V.Novikov, A.E.Cherednichenko. Phys. Stat. Sol., 28, K85, 1968.
