

ТЕМПОСТИМУЛИРОВАННОЕ ПРОСВЕТЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ КРИСТАЛЛА В ОБЛАСТИ ЭКСИТОННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

А.Б.Певцов, С.А.Пермогоров, А.В.Селькин

При увеличении температуры кристалла CdS от 2 до 30 К обнаружено уменьшение минимального значения коэффициента экситонного отражения. Эффект обусловлен температурной зависимостью диссипативного затухания экситона Γ вблизи внутренней поверхности безэкситонного переходного слоя. При $T \lesssim 50$ К зависимость $\Gamma(T)$ не может быть объяснена механизмом экситон-фононного взаимодействия.

В 1958 г. С.И.Пекаром было обращено внимание на возможность проявления эффекта Брюстера (точное обращение коэффициента отражения в ноль) в экситонной области спектра¹. При этом отмечалось, что условия проявления эффекта могут служить критерием правильности теории отражения света, учитывающей добавочные волны. Детальный анализ экситонного эффекта Брюстера был выполнен недавно в работе², из которой следует, что в рамках теории¹ коэффициент отражения света от поглощающего кристалла не может быть равен нулю. Однако, если допустить существование на поверхности кристалла слоя, в котором экситоны не возбуждаются³ (так называемого „мертвого“ слоя (МС)), то можно показать², что при определенных соотношениях между параметрами МС и экситонного резонанса эффект Брюстера возможен и при наличии поглощения (которое реально всегда присутствует). В частности, эффект может быть достигнут в результате изменения параметра затухания экситона Γ , значение которого, как правило, сильно зависит от температуры кристалла.

В настоящей работе исследованы спектры отражения и пропускания монокристаллов CdS в спектральной области экситонного состояния $A_{n=1}$ в зависимости от температуры образца ($2 \text{ К} \leq T \leq 60 \text{ К}$). Для исследования выбирались кристаллические пластинки толщиной около 0,3 мм с оптической осью C , лежащей в плоскости отражающей грани. Спектры отражения измерялись в поляризации света $E \perp C$ в направлении распространения $K \perp C$ при почти нормальном падении. Пропускание исследовалось в поляризации, близкой к $E \parallel C$ (угол между E и C не превышал 2°), в области линии поглощения „продольного“ экситона A_L ⁴. Характерные спектры отражения и пропускания представлены на рис.1 ($T = 44 \text{ К}$, a – отражение, b – пропускание).

При повышении температуры кристалла наиболее заметные изменения спектра отражения наблюдаются в области минимального значения коэффициента отражения R_{min} . При этом R_{min} сначала уменьшается, достигая наименьшей величины вблизи $T = 30 \text{ К}$ (рис. 2, плос-

кость $R_{min} - T$), а затем монотонно увеличивается. В силу ограниченности спектрального и углового разрешения установки, а также диффузного рассеяния, в реальном эксперименте величина R_{min} не достигает нулевого значения. Однако, учитывая резкий скачок фазы отраженной волны на величину $\pm \pi$ при изменении температуры кристалла вблизи точки 30 K^2 можно утверждать, что в действительности имеет место эффект Брюстера, т.е. R_{min} при этой температуре обращается в ноль.

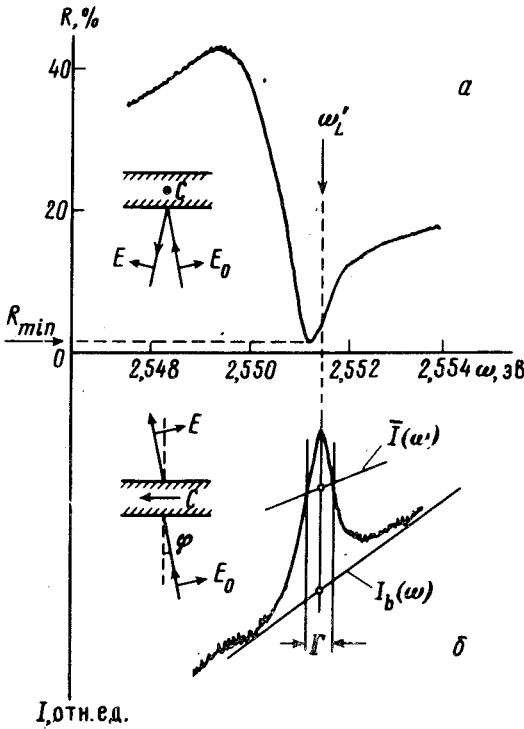


Рис. 1

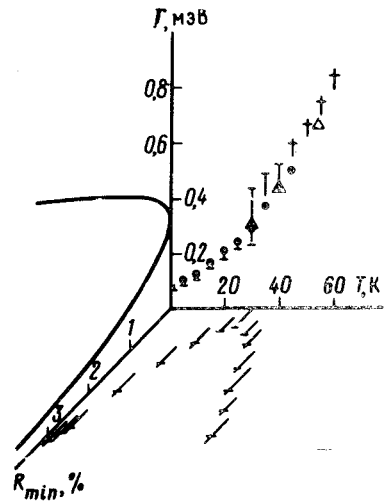


Рис. 2.

В плоскости „ $\Gamma - R_{min}$ ” на рис.2 построена теоретическая зависимость R_{min} от Γ (Γ^{-1} — полное время жизни экситона в когерентном состоянии). При этом использовалась модель Хапфилда — Томаса³ с параметрами экситонного резонанса $A_{n=1}$, полученными нами ранее в². Из расчета следует, что $R_{min} = 0$ при $\Gamma = 0,32$ мэВ. С помощью экспериментальных данных $R_{min}(T)$ и теоретической кривой $R_{min}(\Gamma)$ на рис. 2 построена зависимость параметра затухания Γ от температуры T (плоскость „ $\Gamma - T$ ”, кресты). На этом же рисунке в виде треугольников нанесены точки, полученные путем сопоставления измеренной температурной зависимости угла Брюстера $\phi_{BR}(T)$ с теоретической кривой $\phi_{BR}(\Gamma)$.

Поскольку построенная нами зависимость $\Gamma(T)$ существенно опирается на модель³, представляет интерес исследовать эту зависимость другим способом, не связанным с излучением спектров отражения. Для этой цели мы проанализировали форму линии поглощения A_L (рис. 1, б), которая наблюдается в поляризации света, соответствующей возбуждению смешанной моды.

Можно показать, что в такой геометрии спектральная зависимость коэффициента поглощения в области линии A_L имеет лоренцевскую (классическую) форму, если $\Gamma \gg 2 \sin \phi \cdot k_0 \cdot (\hbar \omega_{LT} / 2M)^{1/2}$, где ϕ — угол падения, k_0 — волновой вектор света в вакууме, ω_{LT} — величина продольно-поперечного расщепления, M — трансляционная масса экситона. Для параметров экситонного резонанса $A_{n=1}$ в CdS приведенное соотношение заведомо выполняется во всем исследованном интервале температур при $\phi \leq 2^\circ$. В таком случае значение Γ непосредственно определяется из спектра пропускания (рис.1, б) как энергетическое расстояние между точками пересечения экспериментальной кривой $I(\omega)$ с прямой $\bar{I}(\omega) =$

$= (I(\omega'_L)/I_b(\omega'_L))^{1/2} I_b(\omega)$, где $I_b(\omega)$ — линейная функция частоты, аппроксимирующая фоновое пропускание, а ω'_L — частота, соответствующая минимальной интенсивности $I_{min} = I(\omega'_L)$ прошедшего через кристаллическую пластинку света.

На рис.2 в виде зачерненных кружков представлена температурная зависимость Γ , построенная из анализа формы линии пропускания A_L . Как видно из рис.2, имеется хорошее совпадение между результатами измерения $\Gamma(T)$, выполненного тремя разными способами. К этому следует добавить, что измеренные нами значения $\Gamma(T)$ близки также к значениям полученным в работе ⁵ на основе анализа интенсивности интегрального поглощения тонких пластинок CdS в поляризации света $E \perp C$.

Таким образом, определение $\Gamma(T)$ из анализа спектров отражения в модели МС находится в хорошем согласии с результатами независимых экспериментов по пропусканию. Это обстоятельство позволяет рассматривать наблюдаемое уменьшение коэффициента отражения (просветление границы) с ростом температуры как наиболее прямое доказательство существования МС у поверхности кристалла.

Измеренная нами зависимость $\Gamma(T)$ представляет собой самостоятельный интерес с точки зрения выяснения механизма диссипации энергии в экситонной области спектра. Мы попытались провести количественный анализ этой зависимости в рамках механизма экситон-фононного взаимодействия, используя результаты работы ⁶ (при этом учитывалось как пьезоэлектрическое взаимодействие экситонов с фононами, так и их взаимодействие через деформационный потенциал). Весьма неожиданным оказалось то, что экспериментальные значения $\Gamma(T)$ почти на два порядка превысили значения, полученные из теоретического расчета. На невозможность привлечения экситон-фононного механизма рассеяния указывает также факт заметного отсутствия экспериментальной зависимости $\Gamma(T)$ от линейной.

Можно предположить, что наблюдаемые значения Γ определяются механизмами рассеяния (включая и захват) экситонов на дефектах или примесях. При этом возможной причиной температурной зависимости Γ может быть термоактивированное туннелирование экситонов сквозь потенциальный барьер, окружающий дефект или примесный атом ⁷.

Литература

1. Пекар С.И. ЖЭТФ, 1958, 34, 1176.
2. Певцов А.Б., Селькин А.В. ЖЭТФ, 1982, 83, 516.
3. Hopfield J.J., Thomas D.G. Phys. Rev., 1963, 132, 563.
4. Гросс Е. Ф., Разбирин Б.С. ФТТ, 1962, 4, 207.
5. Ахмедиев Н.Н., Голубев Г.П., Днепровский В.С., Жуков Е.А. ФТТ, 1983, 25, 2225.
6. Зиновьев Н.Н., Иванов Л.П., Ланг И.Г., Павлов С.Т., Проказников А.В., Ярощевский И.Д. ЖЭТФ, 1983, 84, 2153.
7. Rashba E.I. Defects in Insulating Crystals. Proc. of the IX Int. Conf. Riga, 1981, p. 255.