

АНОМАЛИИ ДИСПЕРСИИ МОНОКРИСТАЛЛА CdS
В ОБЛАСТИ ЭКСИТОННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

М.С.Бродин, Н.А.Давыдова, М.И.Страшников

При $T = 4,2^\circ\text{K}$ проведены прямые измерения кривой дисперсии внутри A -экситонной полосы кристалла CdS. Обнаружено существенное отклонение ее формы от классической, которое приписывается проявлению эффектов пространственной дисперсии.

Теоретически показано [1, 2], что учет пространственной дисперсии приводит к специфической, отличной от классической, форме дисперсионных кривых показателя преломления внутри экситонных полос. В настоящей работе приводятся впервые полученные результаты прямого измерения дисперсии внутри экситонной полосы кристалла CdS при $4,2^\circ\text{K}$, форма и величина которой резко отклоняются от привычного классического хода и на наш взгляд выражает прямое проявление особенностей пространственной дисперсии кристалла.

Измерения были проведены на тонких бесконтактно закрепленных монокристаллических лепестках с помощью интерферометра Жамена, скрещенного со спектрографом. На рис. 1, а приведена спектральная развертка интерференционной картины в области полосы A (поляризация $E \perp C$), полученная для кристалла толщиной $0,33 \text{ мкм}$. Видно, что интерференционные полосы отчетливо просматриваются на протяжении всей полосы поглощения (отмеченной стрелками), и везде в этом участке показатель преломления возрастает. Аномального хода дисперсии, предсказываемого классической оптикой, в данном случае не наблюдается.

Поскольку A -полоса разрешена лишь при поляризации $E \perp C$, то для $E \parallel C$ n в ее области практически не меняется. Это позволило проверить и подтвердить полученный выше результат с помощью измерения двупреломления того же монокристалла (№1). Для этого образец помещался между двумя поляризаторами, причем направление колебаний электрического вектора световой волны, пропускаемой каждым из них, составляло угол 45° с оптической осью кристалла. На рис. 1, б и 1, в представлены полученные картины двупреломления соответственно для параллельного и скрещенного взаимного расположения поляризаторов. Как и следовало ожидать, они оказались дополнительными: максимумы одной приходятся на минимумы другой. Это однозначно доказывает, что наблюдаемые экстремумы действительно являются результатом интерференции волн двупреломления и не могут иметь никакого иного происхождения.

На основании приведенных данных двумя методами были рассчитаны значения показателей преломления $n(\lambda)$, представленные на рис. 2. Кривая 1 относится к $E \perp C$, кривая 2 — к $E \parallel C$. Точками обозначены значения, полученные из интерферограммы рис. 1, а, крестиками — рассчитанные по двупреломлению: $(n_{\perp} - n_{\parallel})d = m\lambda$. Кроме того на этой же

кривой приведены значения, полученные из дупреломления другого монокристалла (№2) толщиной 0,18 мкм, обозначенные кружочками. Как видно, все серии измерений хорошо согласуются друг с другом и свидетельствуют о монотонном, очень крутом возрастании n вплоть до 10,75.

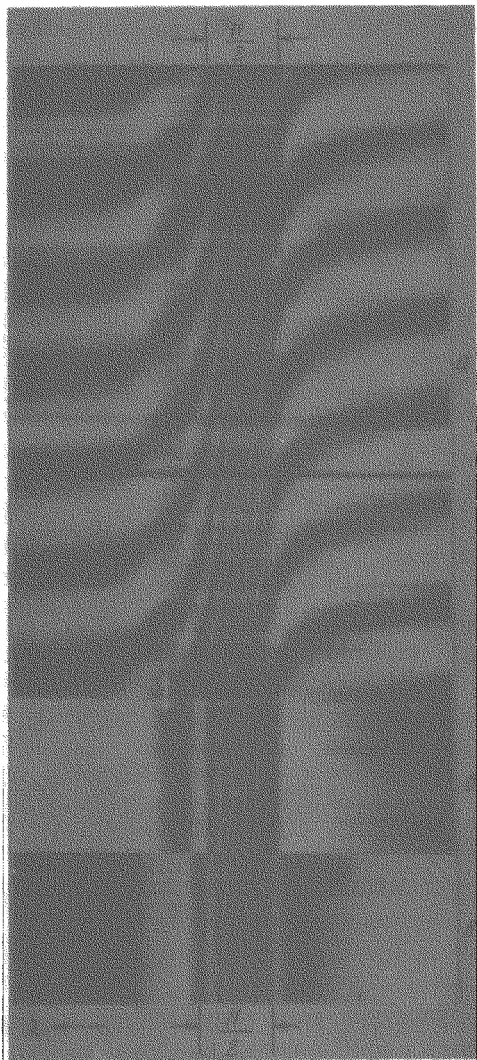


Рис. 1. Интерферограмма (а) и дупреломление монокристалла CdS №1 в параллельных (б) и скрещенных (в) поляризаторах при 4,2°К

На рис. 2 представлена также кривая поглощения А-полосы, измеренная нами ранее [3] при 4,2°К на монокристалле №2. Как видно, при $E \perp C$ (кривая 3) полоса поглощения имеет дублетный характер: с коротковолновой стороны от основного максимума (4855 Å) имеется небольшой узкий пичок (4853,8 Å). Его положение не совпадает с линией продольного экситона A_L (4853 Å), наблюдаемой в поляризации $E \parallel C$ (кривая 4).

При сравнении кривых 1 и 3 видно, что левая ветвь дисперсионной кривой возрастает на всем протяжении полосы поглощения и, пройдя

основной ее максимум, доходит до дополнительного. Правую ветвь удалось измерить, начиная со значений n , близких к единице, причем, спектральное положение этого начала совпадает с положением A_L в спектре поглощения. Полученный размах дисперсионной кривой оказывается в восемь раз больше, чем следовало бы ожидать на основании максимального значения κ при выполнении соотношений Крамерса – Кронига. Кстати, на факт расхождения этих соотношений в случае CdS при 20°K нами указывалось еще в работе [4], где однако ход кривой $n(\lambda)$ внутри полосы поглощения промерить не удалось.

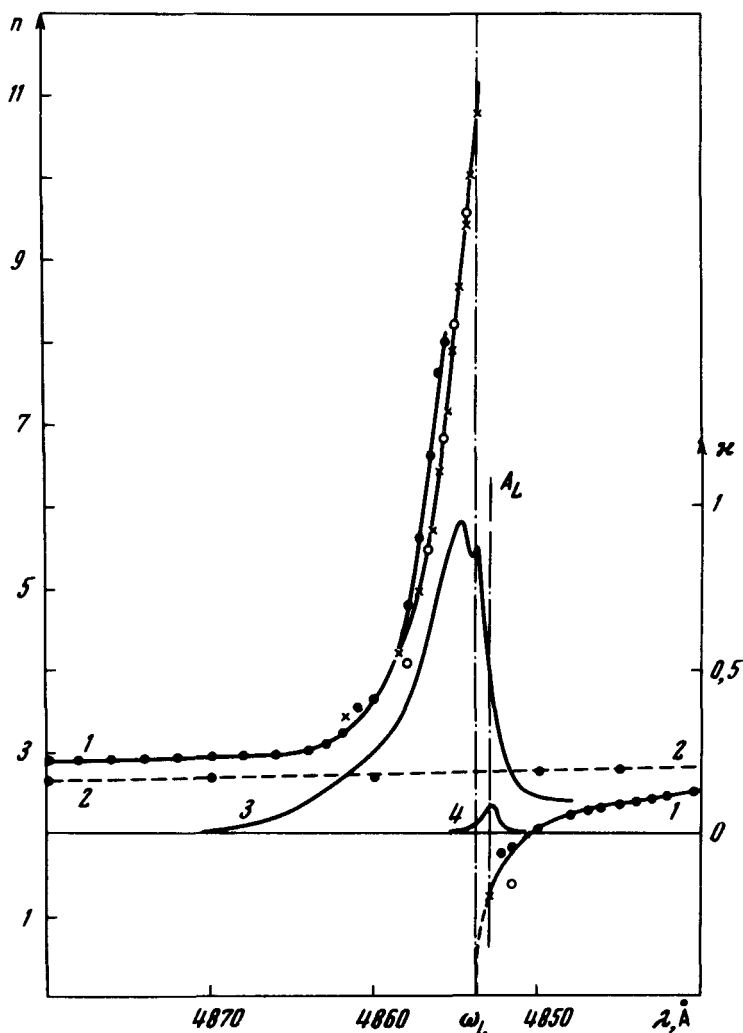


Рис. 2. Кривые дисперсии $n(\lambda)$ ($E \perp C$ - 1 и $E \parallel C$ - 2) и поглощения $\kappa(\lambda) = \frac{\lambda}{4\pi d} \ln \frac{J_0}{J}$ ($E \perp C$ - 3 и $E \parallel C$ - 4) в области A полосы CdS при 4,2°K. Штрих-пунктирными линиями обозначены ω_L и A_L

Полученный ход кривой дисперсии, а также контур полосы поглощения в основных чертах могут быть объяснены, исходя из наличия пространственной дисперсии в кристалле. В самом деле, ход левой ветви кривой $n(\lambda)$ с ее заходом за максимум поглощения напоминает рассчитанный ход одной из ветвей нормальных волн (n_+ в [1] и n_2 в [2]). В целом кривая $n(\lambda)$, если продлить ее левую ветвь вверх, а правую вниз до пересечения с осью абсцисс (этот участок на рис. 2 обозначен пунктиром), качественно соответствует ходу дисперсионных ветвей поляритонов без учета поглощения (см., например, [5])¹⁾.

Что же касается полосы поглощения, то ее форма для CdS при учете поляритон-фононного взаимодействия была теоретически рассчитана в [8]. Показано, что максимум поглощения должен приходиться не на значение частоты поперечных экситонов ω_T , а приближаться к продольной частоте ω_L , совпадающей с точкой пересечений верхней поляритонной ветви с осью энергий при $K = 0$. Измеренная кривая с большой отрицательной асимметрией хорошо согласуется с рассчитанной, если за ω_L принять точку пересечения правой ветви $n(\lambda)$ с осью абсцисс, совпадающую по частоте с дополнительным максимумом поглощения. В таком случае можно считать, что сложная форма кривой поглощения является результатом взаимодействия с фононами обеих поляритонных ветвей, а дополнительный максимум на ней отражает вклад в поглощение процессов рассеяния из верхней ветви.

Совпадение спектрального положения A_L с положением точки $n = 1$ на дисперсионной кривой связано, вероятно, с выполнением закона сохранения импульса $K_{\text{света}} = Q_{\text{поляритона}}$. Минимальный импульс, при котором возможно бесфононное возбуждение дисперсионной ветви, соответствует волновому вектору световой волны в вакууме.

Следует обратить внимание еще на одну особенность, вытекающую из полученных результатов. Согласно значениям κ , измеренным на кристалле №2 (0,18 мм), свет в области A -полосы для образца №1 (0,33 мм) должен был бы полностью поглотиться. Между тем мы видим внутри полосы четкий ход интерференционных полос и четкую картину двупреломления, т. е. волна переносит фазовую информацию в обеих сериях измерений. Это наводит на мысль, что эффективное κ для кристалла №1 меньше, чем для №2, т. е. имеет место толщинная зависимость κ . Как вытекает из расчетов [9], проведенных с учетом пространственной дисперсии, действительно с ростом толщины может иметь место некоторое "насыщение" эффективного коэффициента поглощения. Отметим, что при тех же условиях опыта ход дисперсии в B -полосе, которая имеет такую же интенсивность в максимуме (согласно измерениям на кристалле №2), промерить не удалось.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность А.С. Давыдову за полезное обсуждение результатов.

Институт физики
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
18 марта 1974 г.

¹⁾ Отметим, что в работах [6, 7] приведены нижняя поляритонная ветвь CdS и обе ветви кристалла CdSe, полученные косвенным путем по спектрам люминесценции CdS [6] и отражения CdSe [7].

Литература

- [1] С.И.Пекар. ЖЭТФ, 33, 1022, 1957; УФН, 77, 309, 1962.
 - [2] А.С.Давыдов, Э.Н.Мясников. Препринт ИТФ-74-4Р, Киев, 1974.
 - [3] М.И.Страшникова, А.Т.Рудчик. ФТТ, 14, 984, 1972.
 - [4] М.С.Бродин, М.И.Страшникова. ФТТ, 4, 2454, 1962.
 - [5] Р.Нокс. Теория экситонов. М., изд. Мир, 1966.
 - [6] С.А.Пермогоров, В.В.Травников. ФТТ, 13, 709, 1971.
 - [7] В.А.Киселев, Б.С.Разбирин, И.Н.Уральцев. Письма в ЖЭТФ, 18, 504, 1973.
 - [8] W.C.Tait, R.L.Weiger. Phys. Rev., 166, 769, 1968.
 - [9] А.С.Давыдов, А.А.Еремко. УФЖ, 18, 1863, 1973.
-