

## ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ СВЕТОЭКСИТОНОВ .

### НАБЛЮДЕНИЕ ДОБАВОЧНЫХ ВОЛН

В. А. Киселев, Б. С. Разбираин, И. Н. Уральцев

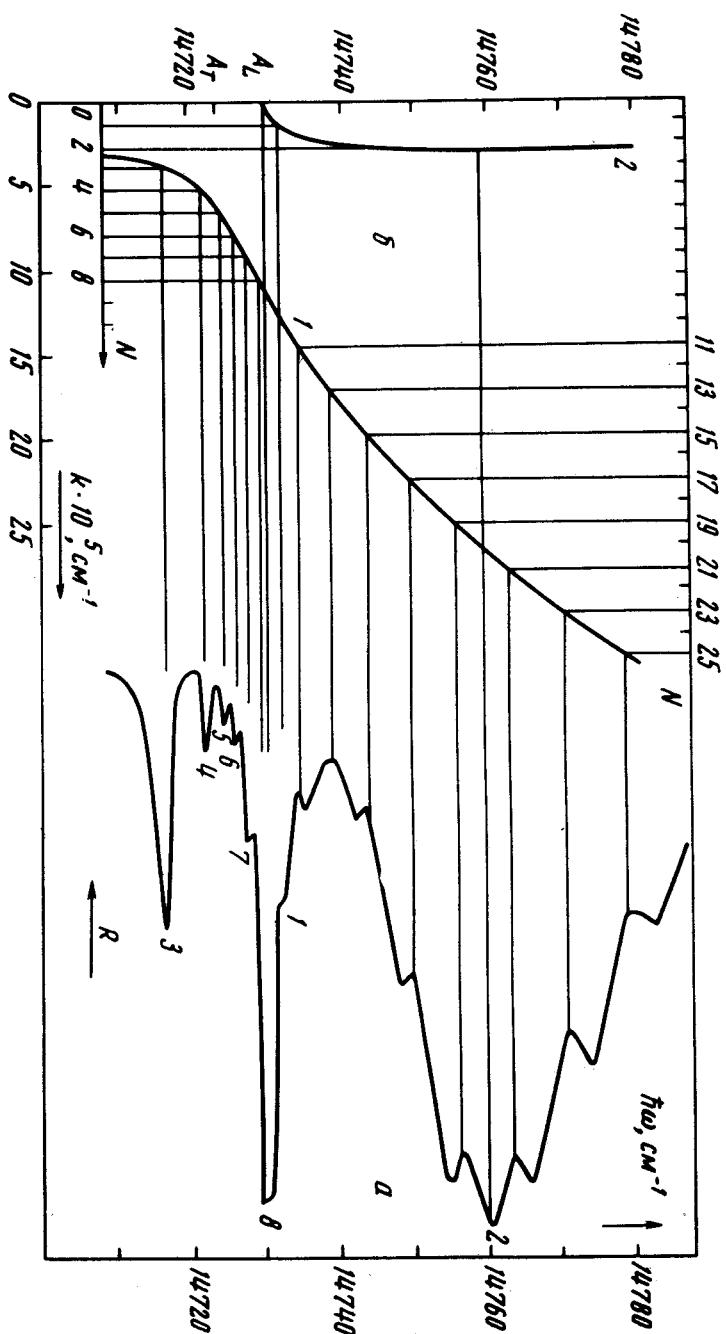
Рассмотрено явление размерного квантования светоэкситонов, возникающее в сверхтонких кристаллах. Оно проявляется в возникновении особой структуры оптического спектра экситона. Наблюдалась интерференция добавочных волн, предсказанная в работах Бродина и Пекара [1].

В тонких кристаллах толщиной  $\ell \lesssim 0,5 \lambda$  (где  $\lambda$  — длина волны света в области прозрачности) происходит размерное квантование светоэкситонных состояний в направлении перпендикулярном плоскости кристалла, и эти состояния должны образовывать дискретный набор двумерных подзон в плоскости образца. Квантование возникает за счет интерференции светоэкситонной волны при многократном отражении от передней и задней граней кристалла. Такие интерференционные состояния должны проявляться в оптическом спектре экситона в виде определенной интерференционной картины, состоящей из конечного числа линий, проходящих через всю резонансную область спектра. Благодаря этому, в отличие от обычной интерференции света, наблюдаемой в более толстых кристаллах, становится доступным изучение особенностей коэффициента преломления, связанных со светоэкситонным взаимодействием и пространственной дисперсией [2]. В толстых образцах провести такие исследования невозможно из-за сгущения интерференционной картины и сильного поглощения света в области резонанса.

Нами проведено экспериментальное исследование интерференционных состояний светоэкситонов по спектрам поглощения, люминесценции и отражения кристаллов CdS, CdSe толщиной от 0,1 до 0,3 мкм. Температура кристаллов составляла 4,2°К, спектры фотографировались на спектрографе с дисперсией 1,9 Å/мм.

На рисунке, а представлен спектр отражения тонкого кристалла CdSe ( $\ell = 0,24 \pm 0,03$  мкм) в области линии A  $n = 1$  при 4,2°К и поляризации света  $E \perp C$ . Как видно из рисунка, с длинноволновой стороны от частоты продольного экситона  $A_L = 14730,8 \text{ см}^{-1}$ , в интервале частот  $\approx 15 \text{ см}^{-1}$  отчетливо проявляется набор узких интерференционных минимумов. Им был однозначно сопоставлен порядок интерференции N от 3 до 8. Номера  $N = 1,2$  соответствуют интерференционным минимумам, расположенным с коротковолновой стороны от резонанса (см. рисунок).

Для определения порядка интерференции указанных минимумов использовалась формула для коэффициентов преломления двух волн светоэкситонов [3].



*a* – Микрофотометрическая кривая спектра отражения ( $R$ ) тонкого кристалла CdSe в области экситонной линии  $A$   $n = 1$ ,  $E \perp C$ ,  $T = 4,2^\circ\text{K}$   
Толщина кристалла  $\ell = 0,24 \text{ мкм}$ ; *б* – дисперсионные кривые свето-экситонов (1, 2), построенные по экспериментальным значениям частот и найденным значениям порядка интерференции  $N$

$$n_{1,2}^2 = \frac{1}{2} \left\{ \left( \epsilon + \frac{2mc^2(\omega - \omega_T)}{\hbar\omega_T^2} \right) \pm \left[ \left( \epsilon - \frac{2mc^2(\omega - \omega_T)^2}{\hbar\omega_T^2} \right)^2 + \frac{8mc^2\epsilon\omega_L T}{\hbar\omega_T^2} \right]^{1/2} \right\}, \quad (1)$$

где  $\epsilon = 9,7$  – фоновая диэлектрическая проницаемость селенида кадмия,  $m = 0,58 m_0$  – эффективная масса экситона [4],  $\hbar\omega_T = 14723,5 \pm 0,3 \text{ cm}^{-1}$  энергия поперечного экситона и  $\hbar\omega_{LT} = 7,3 \pm 0,5 \text{ cm}^{-1}$  – энергия продольно-поперечного расщепления. Последние два параметра определены в процессе расчета. В эту формулу подставлялись экспериментальные значения частот минимумов отражения и находились соответствующие значения коэффициентов преломления.

Вычисленные значения коэффициентов преломления подставлялись в простейшее условие интерференции для одной волны без учета затухания

$$k\ell = \frac{\omega_T}{c} n\ell = \pi N. \quad (2)$$

Ошибка в определении  $N$  по этой формуле составляла не более 10% от целых значений  $N$ . Такая погрешность возникает из-за того, что формула (2) не учитывает затухание и наличие не одного, а двух светоэкситонов. Возможна, конечно, и недостаточная точность литературных данных для  $m$  и  $\epsilon$ . Более точное условие интерференции будет применено в подробной статье.

С коротковолновой стороны от резонанса, в области частот 14735 – 14780  $\text{cm}^{-1}$  наблюдается также интерференция другого вида. Период этой интерференции заметно больше, чем первой, амплитуда значительно меньше. Энергетические положения этих максимумов также удовлетворяют уравнениям (1) и (2) для коэффициента преломления  $n_1$  (знак + в формуле (1)) и  $N$ , пробегающим нечетные значения от 11 до 25. Эти особенности существенно отличают вторую интерференцию от первой, возникающей в результате отражения одной волны от двух граней. Соответствующий расчет показывает, что наблюдаемый коротковолновый спектр отражения возникает в результате взаимной интерференции двух светоэкситонных волн 1 и 2 (рис. б) при прохождении через кристалл.

Зная номера интерференционных особенностей и их частоты, нетрудно построить дисперсионные ветви светоэкситонов. Такое построение для кристалла CdSe проведено на рис. а, б.

Подобная интерференционная структура наблюдается также и в спектрах пропускания и излучения кристаллов CdSe. В пропускании видны линии  $N = 3 - 6$ , а также максимумы, связанные с интерференцией добавочных волн. Последние чередуются с несколько большими интервалами, чем максимумы в отражении. Этот эффект объясняется поглощением в кристалле одной из двух волн, именно той, которая соответствует распространению экситона. В спектрах излучения наблюдаются линии с  $N = 3 - 8$ .

Аналогичные особенности в спектрах отражения, пропускания и излучения наблюдались нами также в тонких кристаллах CdS в области резонансов  $A_n = 1$ ,  $B_n = 1$ ,  $A_n = 2$ .

Таким образом исследования интерференционных явлений в сверхтонких кристаллах позволяют обнаружить размерное квантование светоэкситонных состояний и добавочные волны. Это дает возможность проследить дисперсию коэффициента преломления с учетом светоэкситонного взаимодействия и пространственной дисперсии.

Физико-технический институт  
им. А.Ф.Иоффе  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
4 сентября 1973 г.

### Литература

- [ 1 ] М.С.Бродин, С.И.Пекар. ЖЭТФ, 38, 74, 1910, 1960.
- [ 2 ] В.М.Агранович, В.Л.Гинзбург. Кристаллооптика с учетом пространственной дисперсии и теория экситонов. М., изд. Наука, 1965.
- [ 3 ] С.И.Пекар. ЖЭТФ, 34, 1176, 1958.
- [ 4 ] R. G. Wheeler, I .O. Dimmock. Phys. Rev., 125, 1805, 1962.