

ЕСТЕСТВЕННАЯ ОПТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ КРИСТАЛЛОВ CdS В ЭКСИТОННОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Е.Л.Ивченко, С.А.Пермогоров, А.В.Селькин

Впервые выполнено экспериментальное исследование естественной оптической активности (ЕОА) кристаллов CdS. По спектрам отражения обнаружен особый тип ЕОА, характерный для кристаллических классов C_{3v} , C_{4v} и C_{6v} .

Естественной оптической активностью (ЕОА) могут обладать кристаллы, симметрия которых допускает линейные члены в разложении тензора диэлектрической проницаемости в ряд по степеням волнового вектора \mathbf{K} [1]. Часто ЕОА отождествляется с вращением плоскости поляризации линейно поляризованного света при распространении его через кристалл. Вместе с тем, существуют классы кристаллов (C_{3v} , C_{4v} , C_{6v}), допускающих ЕОА, но не обладающих свойством вращения плоскости поляризации ни для одного направления распространения света [1, 2]. В настоящей статье впервые сообщается об экспериментальном обнаружении ЕОА в кристаллах симметрии C_{6v} (CdS).

В кристаллах указанных выше трех классов, как и в одноосных неактивных кристаллах, могут возбуждаться "обыкновенные" (поперечные) и "необыкновенные" (смешанные) волны. Однако, вследствие ЕОА необыкновенная волна в этих кристаллах эллиптически поляризована. При этом эллипс поляризации лежит в плоскости, содержащей оптическую ось \mathbf{C} и вектор \mathbf{K} .

Такого рода ЕОА может быть обнаружена экспериментально при исследовании спектров отражения. Действительно, пусть ось кристалла перпендикулярна плоскости падения и свет под некоторым углом ϕ падает на грань кристалла, содержащую эту ось (рис. 1). Тогда, в случае s -поляризации падающего света (в рассматриваемом случае $\mathbf{E} \parallel \mathbf{C}$) при $\phi \neq 0$ в отраженном свете, помимо, s -компоненты, будет наблюдаться p -компонента ($\mathbf{E} \perp \mathbf{C}$). Изменение поляризации света при отражении ($s \rightarrow p$) связано с тем, что продольная компонента $\mathbf{E}_l \parallel \mathbf{K}$ эллипса поляризации преломления волны имеет отличную от нуля проекцию на отражающую грань. Если же $\phi = 0$, то эта проекция равна нулю и поляризация света при отражении не меняется. Аналогичное изменение поляризации может наблюдаться и в случае $p \rightarrow s$, когда падающий свет имеет p -поляризацию.

Вдали от полос резонансного поглощения интенсивность скрещенной компоненты отраженного света пропорциональна $(a/\lambda)^2$, где a — величина порядка постоянной решетки, а λ — длина световой волны в кристалле. В нерезонансных условиях эта величина мала и ЕОА трудно зарегистрировать. Однако в резонансной свето-экситонной области, где длина волны света в кристалле существенно уменьшается, эффекты, вызванные ЕОА должны значительно увеличиться (как и другие эффекты, обусловленные пространственной дисперсией [1]).

Измерения спектров отражения в кристаллах CdS проводились при $T = 2\text{K}$ в указанной выше геометрии в окрестности экситонного резонанса $A_{n=1}$. На рис. 2, а пунктирной линией представлен спектр отражения в p -компоненте $E \perp C$ при нормальном падении $\phi \approx 0$ ($p \rightarrow p$). Сплошной линией показан спектр отражения в скрещенных поляризациях $p \rightarrow s$ при $\phi = 45^\circ$. На рис. 2, б пунктиром изображен спектр в s -компоненте $s \rightarrow s$ при $\phi \approx 0$ ($E \parallel C$), сплошная линия соответствует скрещенным поляризациям $s \rightarrow p$ при $\phi = 45^\circ$. При $\phi \rightarrow 0$ скрещенная компонента отраженного света практически отсутствует как для случая $s \rightarrow p$, так и для случая $p \rightarrow s$. В области экситона $A_{n=1}$ эффект изменения поляризации обнаруживается только на пределе чувствительности установки.

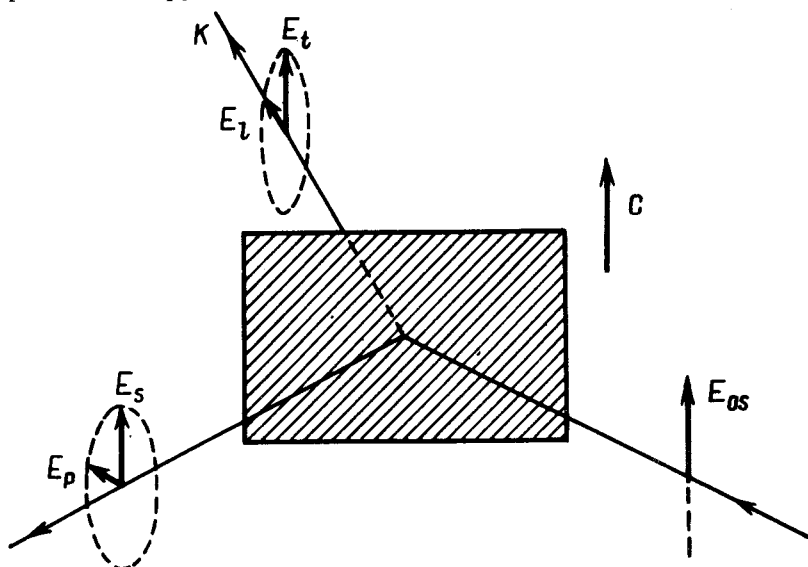


Рис. 1. Геометрия отражения

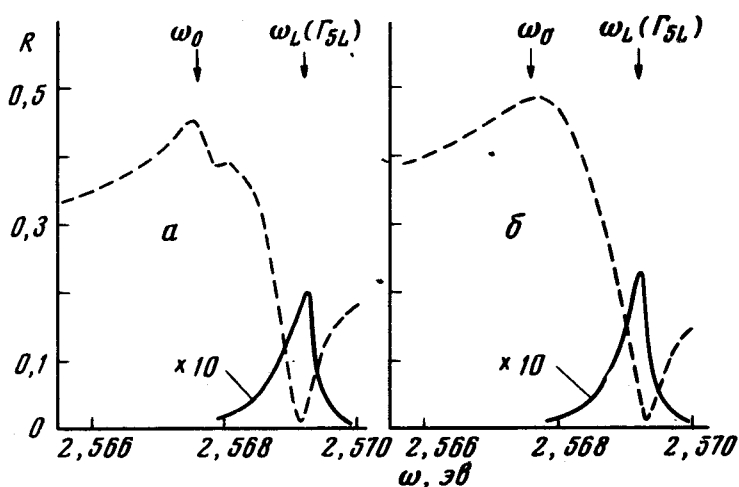


Рис. 2. Спектры отражения: (а) $p \rightarrow p$ ($E \perp C \rightarrow E \perp C$) — штриховая кривая, $p \rightarrow s$ ($E \perp C \rightarrow E \parallel C$) — сплошная кривая; (б) $s \rightarrow s$ ($E \parallel C \rightarrow E \parallel C$) — штриховая кривая, $s \rightarrow p$ ($E \parallel C \rightarrow E \perp C$) — сплошная кривая

Появление сигнала в скрещенных поляризациях (рис. 2) с точки зрения обычной френелевской кристаллооптики в рассматриваемой высокосимметричной геометрии опыта представляется неожиданным и непонятным. Однако полученные экспериментальные данные можно объяснить в основных чертах в рамках теории светозкситонов, учитывающей линейные по \mathbf{K} члены в энергетическом спектре экситонов.

Симметрия кристаллов со структурой вюртцита допускает существование линейных по \mathbf{K} поправок в экситонном гамильтониане, определяемых двумя константами β_1 и β_2 [3]. При $\mathbf{K} \perp \mathbf{C}$ учет константы β_1 приводит к смешиванию поляритонов Γ_1 с продольными экситонами Γ_{5L} , а учет константы β_2 — к смешиванию поперечных поляритонов Γ_{5T} с дипольно-запрещенными экситонами Γ_2 . Поправки, связанные с β_2 учитывались Маханом и Хапфилдом [4] при анализе спектров отражения CdS в области $B_{n=1}$ при нормальном падении света. Они показали, в частности, что в окрестности резонансной частоты экситона $B_{n=1}$ за счет константы β_2 появляется дополнительная структура (см, рис.2, а, $p \rightarrow p$). Эта структура не связана с ЕОА, поскольку в результате смешивания состояний Γ_2 и Γ_{5T} происходит лишь "возгорание" дипольно-запрещенного состояния Γ_2 , но нормальные волны остаются чисто поперечными. ЕОА, а следовательно, и появление сигнала в скрещенных поляризациях связано с константой β_1 . Именно при $\beta_1 \neq 0$ смешивание поперечного экситона Γ_1 с продольным экситоном Γ_{5L} приводит к существованию эллиптически поляризованных волн описанного выше типа. Действительно, спектры отражения в скрещенных поляризациях $s \rightarrow p$ и $p \rightarrow s$ имеют резкий максимум на частоте продольного экситона Γ_{5L} , соответствующей основному минимуму отражения в спектре $p \rightarrow p$ (рис. 2, а). Существование константы β_1 могло бы привести также к появлению дополнительной особенности в спектре отражения $s \rightarrow s$ на частоте продольного экситона Γ_{5L} . Однако в кристаллах CdS на эту область в поляризации $s \rightarrow s$ приходится основной минимум спектра отражения, что по-видимому, затрудняет наблюдение этой структуры.

Отметим, что вклад линейных по \mathbf{K} членов в энергетический спектр экситонов $A_{n=1}$ не должен приводить к ЕОА. Этим объясняется, почему на опыте в области экситона $A_{n=1}$ сигнал скрещенной поляризации мал.

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

Поступила в редакцию
21 ноября 1977 г.

Литература

- [1] В.М.Агранович, В.Л.Гинзбург. Кристаллооптика с учетом пространственной дисперсии и теория экситонов. М., изд. Наука, 1965.
- [2] Ф.И.Федоров. Оптика и спектроскопия, 6, 377, 1959; Ф.И.Федоров, Б.В.Бокуть, А.Ф.Константинова. Кристаллография, 7, 910, 1962.
- [3] Г.Е.Пикус. Г.Л.Бир. ФТП, 7, 119, 1973.
- [4] G.D.Mahan, J.J.Hopfield. Phys. Rev., 135, A428, 1964.