

ЭФФЕКТ ИНВЕРСИИ ОПТИЧЕСКОЙ ОСИ КРИСТАЛЛА CdS

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

Впервые в опытах по отражению света доказана оптическая неэквивалентность двух взаимно противоположных направлений полярной оси кристаллов класса C_{6v} . Экспериментальные данные по отражению света в кристаллах CdS показывают, что неэквивалентность двух ориентаций обусловлена гиротропией этих кристаллов.

Обычно под гиротропией кристаллов подразумевается свойство вращать плоскость поляризации света, распространяющегося вдоль симметричного направления в гиротропном кристалле. Действительно, 15 классов гиротропных кристаллов из 18-ти обладают этим свойством; при этом направление вращения позволяет однозначно классифицировать кристаллы либо как право-, либо как лево-вращающие [1]. Вместе с тем кристаллы симметрии C_{3v} , C_{4v} и C_{6v} не обладают вращательной способностью ни для одного направления распространения света, т.е. занимают особое положение среди гиротропных кристаллов. Гиротропия таких кристаллов приводит к "продольной" эллиптической поляризации необыкновенных волн, при которой волновой вектор \mathbf{k} лежит в плоскости эллипса поляризации [2 — 4]. Возникает вопрос, что представляет собой для указанных кристаллических классов аналог правой и левой вращательной способности и с какими наблюдаемыми эффектами он связан?

Во вращающих гиротропных кристаллах направление вращения плоскости поляризации света определяется знаком тензора гирации. В случае кристаллов симметрии C_{3v} , C_{4v} и C_{6v} изменение знака тензора гирации соответствует изменению направления вращения вектора напряженности электрического поля \mathbf{E} необыкновенной волны в плоскости, содержащей оптическую ось \mathbf{s} и вектор \mathbf{k} . С другой стороны, легко видеть, что аналогичного эффекта можно добиться, если ось кристалла ориентировать в противоположном направлении. Иными словами, один и тот же кристалл представляет собой одновременно и "право-", и "лево"-вращающий в зависимости от того, как он ориентирован. В этом заключается существенное отличие кристаллов классов C_{3v} , C_{4v} и C_{6v} от других гиротропных кристаллов.

Для того, чтобы идентифицировать направление оптической оси (или знак параметра гирации), можно использовать следующий эксперимент по отражению света (рис. 1). Пусть плоскость падения XY перпендикулярна оси \mathbf{s} , а свет падает наклонно на отражающую грань XZ кристалла. Если E_{op} и E_{os} — p - и s -амплитуды падающей волны, а E_p и E_s аналогичные амплитуды отраженной волны, то общую линейную связь между ними можно записать в матричном виде

$$\begin{pmatrix} E_p \\ E_s \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} r_{pp} & r_{ps} \\ r_{sp} & r_{ss} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} E_{op} \\ E_{os} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

Где диагональные элементы матрицы $\hat{\Gamma}$ представляют собой амплитудные коэффициенты отражения в p - и s -компонентах ($p \rightarrow p$ и $s \rightarrow s$). Недиагональные элементы r_{ps} и r_{sp} описывают отражение в ортогональных конфигурациях $s \rightarrow p$ и $p \rightarrow s$, соответственно.

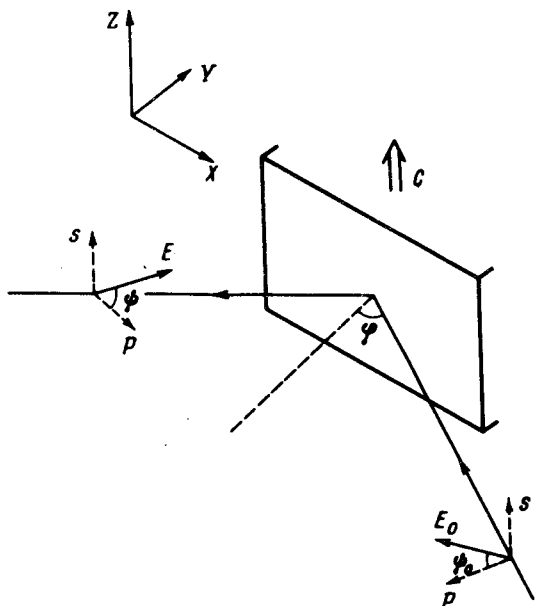


Рис. 1. Геометрия опыта

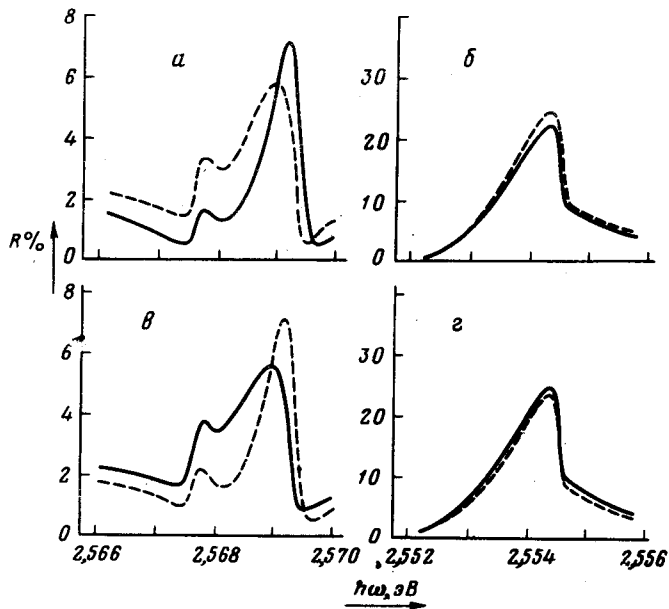


Рис. 2. Спектры отражения кристаллов CdS ($T = 2\text{K}$) в области экситонных резонансов $A_{n=1}$ (б, г) и $B_{n=1}$ (а, в) для конфигураций $(45, 45, 45^\circ)$ (а, б) и $(135, 45, 135^\circ)$ (в, г). Сплошные и пунктирные кривые соответствуют противоположным ориентациям оптической оси

Из инвариантности кристалла к инверсии времени следует, что

$$(\tilde{e}, \hat{r}(\tilde{k}_0, k_0) e) = (e^*, \hat{r}(-k_0, -\tilde{k}_0) \tilde{e}^*),$$

где k_0 и e (\tilde{k}_0 и \tilde{e}) — волновой вектор и вектор поляризации падающей (отраженной) волны. Поэтому в случае, когда а) одна из плоскостей симметрии кристалла перпендикулярна отражающей грани или б) анизотропия в плоскости падения не существенна, коэффициенты r_{ps} и r_{sp} должны совпадать. На опыте в пределах погрешности эксперимента действительно выполняется соотношение $|r_{ps}| = |r_{sp}|$ [3].

Рассмотрим случай, когда векторы e и \tilde{e} соответствуют линейной поляризации поляризатора и анализатора. Пусть ψ_0 и ψ — азимуты поляризатора и анализатора соответственно, ϕ — угол падения (рис. 1). Тогда из (1) с учетом симметрии к инверсии времени и равенства $r_{ps} = r_{sp}$ можно найти энергетические коэффициенты отражения $R_+(\psi_0, \phi, \psi)$ и $R_-(\psi_0, \phi, \psi)$, соответствующие взаимно противоположным ориентациям полярной оси:

$$R_{\pm}(\psi_0, \phi, \psi) = \left| (r_{pp} \cos \psi \cos \psi_0 + r_{ss} \sin \psi \sin \psi_0) \pm r_{ps} \sin(\psi_0 + \psi) \right|^2. \quad (2)$$

Отсюда следует, что с учетом гиротропии кристалла ($r_{ps}, r_{sp} \neq 0$) коэффициенты R_+ и R_- неодинаковы, если выражение в круглых скобках под знаком модуля или $\sin(\psi_0 + \psi)$ не равно нулю. Заметим, что $R_-(\psi_0, \phi, \psi) = R_+(180^\circ - \psi_0, \phi, 180^\circ - \psi)$. Поэтому на опыте для измерения величины R_- нет необходимости поворачивать кристалл на 180° , а достаточно при фиксированном положении кристалла заменить азимуты ψ_0 и ψ на $(180^\circ - \psi_0)$ и $(180^\circ - \psi)$ соответственно. В частном случае $\psi_0 = \psi = 45^\circ$ из (2) получаем

$$R_+(45^\circ, \phi, 45^\circ) - R_-(45^\circ, \phi, 45^\circ) = 2 \operatorname{Re} [r_{ps}^* (r_{pp} + r_{ss})]. \quad (3)$$

На рис. 2 представлены спектры отражения кристаллов CdS ($T = 2$ K) в области экситонных резонансов $A_{n=1}$ и $B_{n=1}$ в конфигурациях $(\psi_0, \phi, \psi) = (45, 45, 45^\circ)$ (а, б) и $(135, 45, 135^\circ)$ (в, г). Сплошные и пунктирные кривые соответствуют взаимно противоположным ориентациям оптической оси образца в пространстве. Из рис. 2 (а, в) виден четкий эффект инверсии полярной оси, свидетельствующий об оптической активности (гиротропии) кристаллов CdS в области резонанса $B_{n=1}$. В то же время в резонансной области А-экситона (рис. 2, б и г) эффект практически отсутствует ($R_+ \approx R_-$), как и должно быть для А-экситона [3].

В окрестности экситонного резонанса $B_{n=1}$, как отмечалось в [3], гиротропия кристаллов CdS обусловлена вкладом линейных по волновому вектору \mathbf{K} членов в энергетический спектр экситонов. Следовательно, из измеренных в настоящей работе спектров можно определить знак линейных по \mathbf{K} членов в экситонном гамильтониане.

Физико-технический институт

им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
17 октября 1978 г.

Литература

- [1] Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Электродинамика сплошных сред. М., Гос-техиздат, 1957.
- [2] Ф.И.Федоров. Оптика и спектроскопия, 6, 377, 1959.
- [3] Е.Л.Ивченко, С.А.Пермогоров, А.В.Селькин. Письма в ЖЭТФ, 27, 27, 1978.
- [4] Т.М.Машлятина, Д.С.Недзвецкий, А.В.Селькин. Письма в ЖЭТФ, 27, 573, 1978.
-