

МАГНИТОИНДУЦИРОВАННАЯ ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИСПЕРСИЯ КРИСТАЛЛОВ В ЭКСИТОННОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Е.Л.Ивченко, В.П.Кочерешко, Г.В.Михайлов
И.Н.Уральцев

Предсказано резонансное увеличение магнитоиндуцированной пространственной дисперсии осей в окрестности экситонных состояний в кристаллах без центра инверсии. Обнаружено яркое проявление этого эффекта в областях пересечения дисперсионных ветвей магнитополяритонов в кристаллах CdS и CdSe.

Магнитоиндуцированная пространственная дисперсия (МИПД) кристаллов, линейная по волновому вектору \mathbf{k} и внешнему магнитному полю \mathbf{H} , проанализирована Аграновичем и Гинзбургом в ². Она описывается псевдотензором четвертого ранга A :

$$\delta \epsilon_{\alpha\beta}(\omega, \mathbf{k}, \mathbf{H}) = A_{\alpha\beta\gamma\delta}(\omega) H_\gamma k_\delta. \quad (1)$$

Так как тензор диэлектрической проницаемости в средах без магнитного упорядочения удовлетворяет принципу симметрии кинетических коэффициентов

$$\epsilon_{\alpha\beta}(\omega, \mathbf{k}, \mathbf{H}) = \epsilon_{\beta\alpha}(\omega, -\mathbf{k}, -\mathbf{H}), \quad (2)$$

то тензор $A_{\alpha\beta\gamma\delta}$ симметричен по отношению к перестановке индексов α и β . По этой причине, в отличие от естественной оптической активности, электрогирации и тензогирации, вклад (1) приводит не к вращению плоскости поляризации линейно поляризованного света, а к двулучепреломлению ¹⁾.

Экспериментально МИПД наблюдалась в кристаллах CdS в известных работах по эффекту инверсии магнитного поля (см., например, ³, ссылки на другие работы приведены в ¹) и в кристаллах LiIO₃ ⁴. В этих работах изучались эффекты, обусловленные изменением в магнитном поле одной из диагональных компонент $\epsilon_{\alpha\alpha}$ тензора диэлектрической проницаемости (ее мнимой части в случае CdS и вещественной части в случае LiIO₃).

В настоящей работе обнаружено проявление недиагональных компонент тензора $\epsilon_{\alpha\beta}$, индуцируемых магнитным полем и нечетных как по \mathbf{H} , так и по \mathbf{k} (x_α, x_β – главные оси симметрии кристалла). Таким образом, впервые обнаружена магнитоиндуцированная пространственная дисперсия осей – определяемая вкладом (1) зависимость направления главных осей тензора $\epsilon_{\alpha\beta}(t-t', \mathbf{r}-\mathbf{r}', \mathbf{H})$ от разности координат $(\mathbf{r}-\mathbf{r}')$. Исследовались низкотемпературные ($T = 1,6$ К) спектры пропускания тонких (толщиной $0,5 \div 50$ мкм) кристаллов CdS, CdSe в окрестности экситонов $A_{n=1}$ и $B_{n=1}$. Магнитное поле \mathbf{H} было направлено параллельно оси C_6 (ось z), свет распространялся вдоль оси $y \perp C_6$, падающий на кристалл свет был поляризован вдоль оси $x \perp C_6$, на выходе анализировался свет, поляризованный по оси z . В указанной геометрии сигнал на выходе пропорционален величине

$$F = \left| \epsilon_{xz}^{(1)} / (\epsilon_{xx}^{(1)} - \epsilon_{zz}^{(1)}) \right|^2$$

(при условии, что $F \ll 1$). Здесь $\epsilon_{\alpha\beta}^{(1)}$ – поперечный тензор диэлектрической проницаемости. В окрестности экситонного резонанса $A_{n=1}$ при $\mathbf{H} \parallel z, \mathbf{k} \parallel y$

$$\epsilon_{xz}^{(1)} = \epsilon_{xz} - \frac{\epsilon_{xy} \epsilon_{yz}}{\epsilon_{yy}} = \epsilon_{xz}^{(0)} \frac{a k_y}{d_0} \frac{\omega_{LT} \Omega_{\parallel} / 2}{(\omega - \omega_1)(\omega - \omega_2)}, \quad (3)$$

¹⁾ В работе ² проигнорирован принцип Онсагера (2) и в результате сделан ошибочный вывод о возможности дополнительного оптического вращения, пропорционального $H_z k_z$ (z – главная оптическая ось кристаллов симметрии C_3 и C_6).

где $\epsilon_{\perp}^{(0)} = \epsilon_{xx}^{(0)} = \epsilon_{yy}^{(0)}$ – фоновая диэлектрическая проницаемость, $\hbar \Omega_{\parallel} = g_{\parallel} \mu_B H_z$, g_{\parallel} – g – фактор, μ_B – магнетон Бора, ω_{LT} – продольно-поперечное расщепление, $\omega_{1,2} = \omega_0(\mathbf{k}) \pm \pm (\Omega_{\parallel}/2) - i\gamma$, $\omega_0(\mathbf{k})$ – энергия механического экситона с учетом диамагнитного сдвига, d_0 – матричный элемент оптического возбуждения экситона Γ_5 в дипольном приближении, ak_y – линейная по \mathbf{k} поправка к этому матричному элементу, γ – затухание экситона. Выражения для $\epsilon_{aa}^{(1)}$ для краткости не приводим.

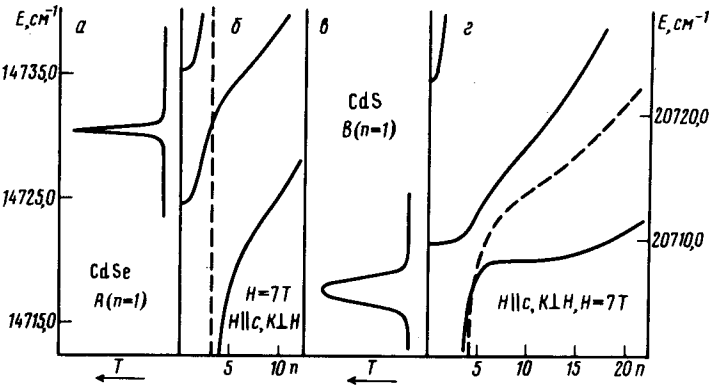


Рис. 1. Дисперсия магнитополяритонов (б, г) и спектры пропускания (а, в) в скрещенных поляроидах ($A \parallel c, P \perp c$) в магнитном поле $H = 7$ Т в геометрии $\parallel H \parallel c, K \perp H$ в области экситонных состояний: $A_{n=1}$ в CdSe (а, б), $B_{n=1}$ в CdS (в, г)

На рис.1, б показаны дисперсионные кривые для нормальных световых волн (поляритонов) в CdSe, рассчитанные в магнитном поле с учетом линейных по \mathbf{k} членов ⁵, но в пренебрежении пространственной дисперсией, индуцированной магнитным полем, т.е. при $\epsilon_{xz}^{(1)} = 0$. Видно, что в области продольно-поперечного расщепления имеется „изотропная точка“ $\omega_{из} \approx \omega_0(0) + \omega_{LT}$, в которой происходит пересечение ветвей двух нормальных волн (ветвь 2 и пунктирная прямая). При приближении к изотропной точке модуль разности $(\epsilon_{xx}^{(1)} - \epsilon_{zz}^{(1)})$ сильно уменьшается, что должно приводить к резкому возрастанию величины F , а значит и к резонансному поведению вблизи $\omega_{из}$ сигнала при скрещенных поляризаторе и анализаторе (с полушириной порядка экситонного затухания).

В соответствии с предсказанием теории при включении внешнего магнитного поля в CdSe в области продольно-поперечного расщепления состояния $A_{n=1}$ обнаружен сигнал пропускания в скрещенных поляроидах (рис.1, а). Сигнал надежно регистрировался, начиная с полей $H = 0,5$ Т (при $H = 0$ сигнал полностью отсутствовал); по мере возрастания поля до 7 Т его интенсивность возрастала более чем на порядок, а полуширина оставалась малой ($\sim 0,7$ см⁻¹). Исследование магнитополяритонной дисперсии ⁶ и зависимость спектрального положения сигнала от величины магнитного поля (рис.2) позволяют однозначно сопоставить это пропускание с изотропной точкой. Эффект связан, во-первых, со смешиванием в магнитном поле $H \parallel z$ поляритона Γ_{5x} с продольным экситоном Γ_{5y} и, во-вторых, с индуцированием полем E_z поляризации среды вдоль оси y за счет линейного по k_y вклада в матричный элемент оптического возбуждения экситона Γ_5 .

Явление МИПД удалось обнаружить также в кристалле CdS в окрестности основного состояния экситона B . Возникающий в магнитном поле сигнал пропускания смещен на 8 см⁻¹ в низкоэнергетическую сторону от резонанса $B_{n=1}$ (см. рис. 1 в, г). В этом случае эффект возникает в результате смешивания в магнитном поле состояний Γ_{5x} и Γ_{5y} и смешивания за счет линейных по \mathbf{k} членов продольного экситона Γ_{5y} с поляритоном Γ_1 (в обозначениях ⁷ эти члены пропорциональны константе β_1). К эффекту приводит также смешивание в магнитном поле состояний Γ_1 и Γ_2 и линейное по \mathbf{k} смешивание (пропорциональное константе β_2) экситонных состояний Γ_2 и Γ_{5x} .

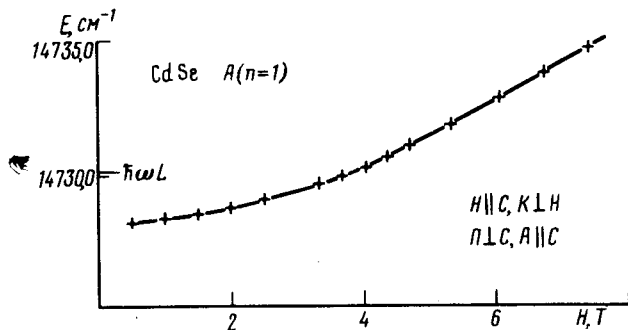


Рис. 2. Зависимость энергетического положения сигнала пропускания от величины магнитного поля в области экситонного состояния

$A_{n=1}$ в CdSe

Подробный расчет сигнала МИПД и сравнение с экспериментальными данными будут проведены в отдельной работе.

Основная черта обнаруженного явления — резонансное поведение в области пересечения дисперсионных кривых — служит надежным и точным способом определения изотропных точек магнитополяритонов в кристаллах без центра инверсии. Исследование этого явления может быть чувствительным методом для обнаружения перестройки энергетического спектра в поле интенсивной световой волны.

Литература

1. Агранович В.М., Гинзбург В.Л. Кристаллооптика с учетом пространственной дисперсии и теория экситонов. М.: Наука. 1965.
2. Влох О.Г. УФЖ. 1981, 26, 1623.
3. Гросс Е.Ф., Захарченя Б.П., Константинов О.В. ФТТ, 1961, 3, 305.
4. Маркелов В.А., Новиков М.А., Туркин А.А. Письма в ЖЭТФ, 1977, 25, 404.
5. Кочерешко В.П., Михайлов Г.В., Уральцев И.Н. ФТТ, 1983, 25, 752.
6. Кочерешко В.П., Михайлов Г.В., Уральцев И.Н. ФТТ, 1982, 24, 2697.
7. Ивченко Е.Л., Селькин А.В. ЖЭТФ, 1979, 76, 1837.

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

Поступила в редакцию
17 декабря 1982 г.