

- [4] Goodenough J.B., Kafalas J.A. Phys. Rev. 157, 2, 389 (1967).
 [5] Варьяхтар В.Г., Боровик И.М., Витебский И.М. Изв. АН СССР. Сер. физ. 44, 7, 1401 (1980).
 [6] Асадов С.К., Завадский Э.А., Каменев В.И., Тодрис Б.М. ФНТ 16, 12, 1584 (1990).
 [7] Asadov S.K., Zavadskii E.A., Kamenev V.I., Kamenev K.V., Todris B.M. Physica B182, 2, 167 (1992).

Физика твердого тела, том 38, № 5, 1996
 Solid State Physics, vol. 38, N 5, 1996

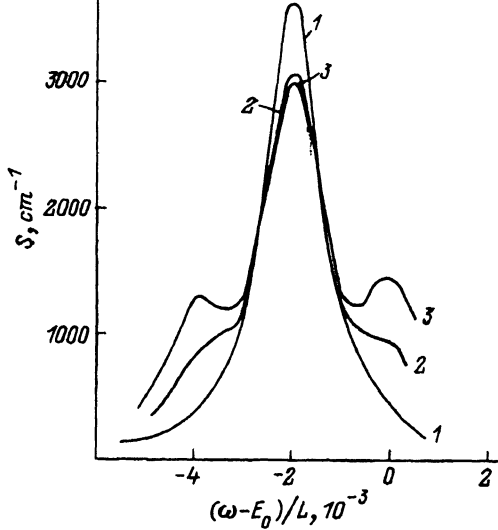
ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ АНОМАЛИИ ЭКСИТОННЫХ СПЕКТРОВ

© Б.М. Ницович, К.Ю. Зенкова

Черновицкий государственный университет,
 274012 Черновцы, Украина
 (Поступило в Редакцию 8 ноября 1994 г.
 В окончательной редакции 20 ноября 1995 г.)

Одной из отличительных особенностей экситона как квазичастицы является наличие дипольного момента экситонного перехода. Хорошо известно, что в молекулярных кристаллах следствием этого является давыдовское расщепление экситонного уровня на две экситонные полосы поглощения в ортогональных поляризациях внешней световой волны [1]. Вторым важным фактором, вытекающим из наличия дипольного момента у экситона, является возможность реализации непрямого вертикального фотоперехода (НВФ) [2]. Поскольку экситон-фотонное взаимодействие пропорционально проекции дипольного момента перехода на вектор поляризации света, то колебания атомов решетки кристалла естественно приводят к вращательным колебаниям (либрациям) диполя. Вследствие этого наряду с прямым превращением фотона в экситон возможен и НВФ, при котором рождение экситона сопровождается одновременным рождением (или уничтожением) либрационного фонона.

Отметим следующие черты НВФ. Матричный элемент взаимодействия электромагнитной волны с экситонным возбуждением D пропорционален $\cos \alpha$ (α — угол между поляризацией света и дипольным моментом экситона). Разлагая его в ряд по угловым смещениям экситонного диполя относительно равновесных положений, получим оператор энергии НВФ, который будет иметь составляющие, пропорциональные $\sin \alpha$ или $\cos \alpha$. Следовательно, гамильтониан непрямого экситонного фотоперехода состоит из двух компонент: монополяризационной ($\alpha = 0$) и деполяризационной ($\alpha \neq 0$). Как показано нами ранее, учет монополяризационного НВФ приводит к температурной зависимости площади под кривой экситонного поглощения [3] и к увеличению высоты пика поглощения в области низких температур [4]. Использование идеи монополяризационного НВФ позволило адекватно объяснить температурные аномалии интегральной интенсивности и максимума экситонной полосы поглощения, экспериментально зарегистрированные на целом ряде слоистых полупроводников (GaSe, GaTe, GaS, InSe) [5].



Поведение коэффициента экситонного поглощения света при различных значениях поляризационного угла α .

α (°): 1 — 0, 2 — 20, 3 — 30.

В данной работе исследуем функцию формы экситонного поглощения при учете деполяризационного НВФ. Модель расчета такова. При поглощении света частоты ω происходит возбуждение экситона с энергией E_0 и либрационного фонона W . Релаксация экситона на решеточных фононах Ω описывается классическим массовым оператором ^[1,2] $M(\omega) = \Delta(\omega) + i\Gamma(\omega)$. Расчет коэффициента поглощения в предложенной модели приводит к следующему выражению:

$$\begin{aligned}
 K(\omega) = & 2\pi D^2 \cos^2 \alpha \frac{\Gamma(x, 0)}{[x - \Delta(x, 0)]^2 + \Gamma^2(x, 0)} + \\
 & + 2\pi D^2 f^2 \sin^2 \alpha \int_0^1 \left\{ \frac{\nu \Gamma(x + W, y)}{[x - y^2 + W - \Delta(x + W, y)]^2 + \Gamma^2(x + W, y)} + \right. \\
 & \left. + \frac{(1 + \nu)\Gamma(x - W, y)}{[x - y^2 - W - \Delta(x - W, y)]^2 + \Gamma^2(x - W, y)} \right\} dy. \quad (1)
 \end{aligned}$$

В этом выражении все энергетические величины пронормированы на ширину экситонной зоны L (например, $x = (\omega - E_0)/L$), f — константа тройного фотон-экситон-фононного взаимодействия, ν — числа заполнения либрационных фононов при температуре T . При получении (1) мы использовали для фононного спектра эйнштейновскую модель оптических фононов. Кроме того, при определении коэффициента поглощения мы пренебрегаем пространственной дисперсией диэлектрической проницаемости. Несомненно, что в кристаллах с большой силой осциллятора перехода поляритонные эффекты могут приводить к искажению спектральных полос экситона.

Из анализа (1) следует, что деполаризационный НВФ обуславливает возникновение на фоне прямого фотоперехода двух дополнительных пиков в полосе поглощения, связанных с рождением и уничтожением либрационного фонона и отстоящих от главного максимума полосы (вверх и вниз по энергии соответственно) на частоту W . Это демонстрирует и рисунок, на котором приведена частотная зависимость коэффициента экситонного поглощения при фиксированной температуре $T = 130$ К для разных значений поляризационного угла. Расчет проводился для модельного кристалла со следующими значениями энергетических параметров: $L = 10^4$ см⁻¹, $W = 20$ см⁻¹, $\Omega = 120$ см⁻¹, $f^2 = 0.5$.

Как видно из рисунка, изменение поляризационного угла ($\alpha > 0$) приводит к появлению на крыльях кривой поглощения двух спутников. Возрастание угла поляризации обуславливает уменьшение главного максимума полосы поглощения и медленное нарастание спутникового поглощения. Вследствие НВФ происходит структурирование экситонной полосы поглощения: с изменением поляризации внешнего излучения на крыльях полосы экситонного поглощения возникают стоксова и антистоксова либрационные компоненты поглощения. При этом увеличение угла поляризации приводит к увеличению спутникового поглощения. К такому же эффекту приводит и увеличение температуры. Согласно (1), интенсивность спутникового поглощения пропорциональна числу либрационных фононов ν . Поэтому повышение температуры вызывает спектральные изменения, аналогичные деполаризационным: происходит перекачка поглощения из основного пика в спутниковые, что сопровождается уменьшением главного пика экситонной полосы и увеличением поглощения на частотах стоксовых компонент.

Проведенный выше анализ позволяет сделать вывод о том, что в анизотропных полупроводниках (в частности, слоистых или нитевидных) весьма актуальными становятся либрационные колебания экситонного диполя. Они приводят к изменению механизма поглощения света на экситонных частотах и актуализации НВФ. Вследствие НВФ происходит деполаризация экситонной полосы, сопровождающаяся перераспределением поглощательной способности кристалла на частотной шкале — угасанием чисто экситонного поглощения и возрастанием колебательных либрационных компонент.

Список литературы

- [1] Давыдов А.С. Теория молекулярных экситонов. М. (1968). 296 с.
- [2] Давыдов А.С. Теория твердого тела. М. (1976). 639 с.
- [3] Ницович Б.М., Пестряков Г.М., Фаленчук В.Д. ФТТ 27, 10, 2916 (1985).
- [4] Ницович Б.М., Ницович В.В., Пестряков Г.М., Фаленчук В.Д. ФТТ 27, 6, 1881 (1985).
- [5] Бродин М.С., Блонский И.В., Ницович Б.М. Динамические эффекты в многокомпонентном газе квазичастиц. Киев (1990). 173 с.