

ОПТИЧЕСКОЕ ВЫСТРАИВАНИЕ ЭКСИТОНОВ

Б.С.Разбирин, В.П.Мушинский, М.И.Караман,
А.Н.Старухин, Е.М.Гамази

Обнаружено выстраивание экситонов в кристалле GaSe при возбуждении линейно поляризованным светом. Впервые наблюдалось действие магнитного поля на систему выстроенных экситонов. Измерены эффективные времена жизни экситона в основном и возбужденном состояниях.

Исследование поляризованной люминесценции, вызванной оптической ориентацией или выстраиванием атомов, представляет собой одно из плодотворнейших направлений современной атомной спектроскопии. Измерение степени поляризации люминесценции при действии на атомы различных внешних воздействий, в первую очередь магнитных полей (эффект Ханле), позволяет при этом получать важную информацию об атомных константах. Экситоны в кристаллах являются "квазиатомами". Поэтому для них характерны в значительной мере те же явления, что и для атомов в газах. Можно ожидать, что экситоны будут не только ориентироваться [1, 2], как и свободные носители [3], при возбуждении циркулярно поляризованным светом, но и выстраиваться при возбуждении линейно поляризованным светом. Этот эффект был предсказан теоретически в работе [4]. В настоящей работе обнаружено выстраивание экситонов в кристалле GaSe и впервые наблюдался эффект Ханле на выстроенных экситонах.

Возбуждение экситонной люминесценции осуществлялось в область возбужденных состояний экситона с $n \geq 2$ полосой света спектральной шириной около $0,03 \text{ эВ}$ с максимумом излучения $2,14 \text{ эВ}$ от ртутной лампы сверхвысокого давления ДРШ-100. Возбуждающий свет падал нормально к поверхности кристалла, параллельно его оптической оси C , излучение регистрировалось под малым углом к направлению распространения возбуждающего света. Если принять направление распространения возбуждающего света за ось Z , а направление колебаний электрического век-

тора в падающей световой волне за ось Y (которое оставалось неизменным на протяжении опыта), то степень поляризации излучения

$$P = (I_y - I_x) / (I_y + I_x), \quad (1)$$

где I_y и I_x — интенсивности излучения, поляризованного в направлениях параллельном и перпендикулярном поляризации возбуждающего света соответственно. Регистрировалось излучение, возникающее при аннигиляции экситона Γ_6 $h\nu = 2,1105$ эв в состоянии $n = 1$. Переходы в это состояние разрешены только при поляризации света $E \perp C$. Экситоны в состоянии Γ_6 характеризуются проекцией спина на ось C $M_z = \pm 1$ [5] и линейно поляризованный свет возбуждает когерентную суперпозицию этих состояний.

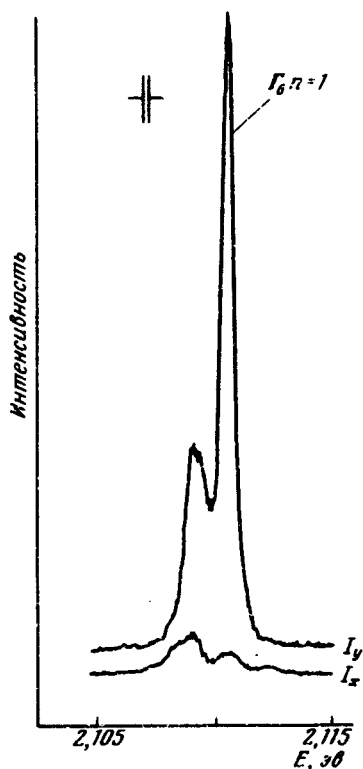


Рис. 1. Спектры экситонной люминесценции кристалла GaSe в двух различных поляризациях I_y и I_x , $T = 1,6$ К

На рис. 1 приведен спектр излучения экситонов для двух различных (по отношению к возбуждающему свету) состояний поляризации. Видно, что излучение свободного экситона Γ_6 ($2,1105$ эв) поляризовано в той же плоскости, что и возбуждающий свет, с высокой степенью поляризации $P = 0,88 \pm 0,05$. Сохранение линейной поляризации излучения экситонов при возбуждении их линейно поляризованным светом указывает на выстраивание в системе экситонов. Заметим, что для люминесценции связанных экситонов $h\nu_a = 2,097$ эв и $h\nu_b = 2,089$ эв [6] при тех же условиях линейная поляризация возбуждения не сохраняется. Согласно [4] такой эффект ожидается для экситонов, связанных на нейтральных центрах.

Действие продольного магнитного поля (эффект Ханле).

В продольном магнитном поле наблюдалась деполяризация излучения. Этот эффект возникает вследствие нарушения магнитным полем первоначальной когерентности состояний экситона с $M_z = \pm 1$. Вид сигнала $P(H)$ приведен на рис. 2 (кривая 1). Видно, что величина $P(H)$ быстро падает с увеличением H , достигает нулевого значения и меняет знак.

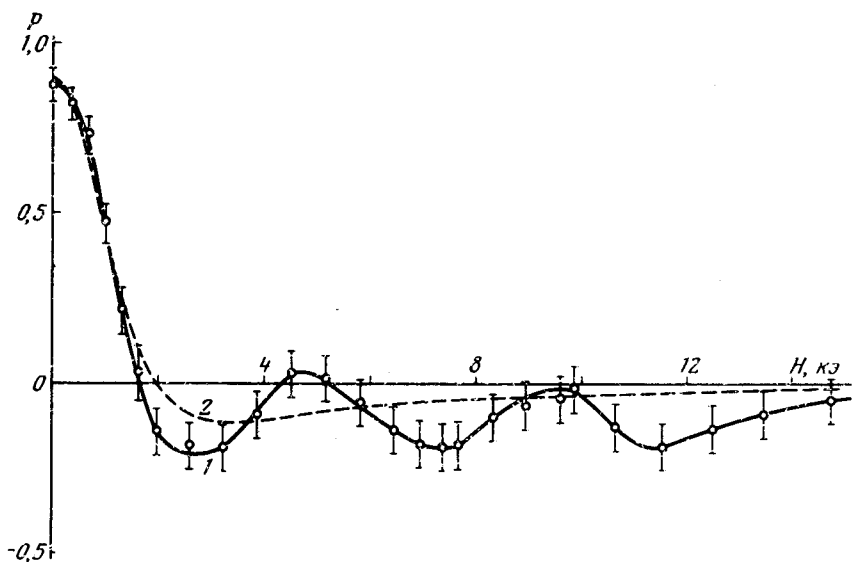


Рис. 2. Зависимость степени поляризации экситонной люминесценции $P(H)$, $T = 1,6$ К. Кривая 1.— эксперимент, кривая 2 соответствует расчетной зависимости

Подобное поведение сигнала в эффекте Ханле наблюдается в атомной спектроскопии при каскадном возбуждении люминесценции. При этом, в простейшем случае, когда имеются три уровня, основной (0) и два возбужденных (1 и 2), причем возбуждение ведется на верхний уровень, а люминесценция наблюдается при переходе $1 \rightarrow 0$, степень поляризации [7]

$$P \sim \frac{a(a - x^2)}{(1 + x^2)(a^2 + x^2)}, \quad (2)$$

где $a = (\Delta H)_1 / (\Delta H)_2$, $x = H / (\Delta H)_2$, $(\Delta H)_i$ — полуширина сигнала Ханле при резонансном возбуждении $(\Delta H)_i = 2mc / \tau_i e g_i$, где g_i — g -фактор, $e\hbar g_i H / 2mc = \hbar \omega_i$ — зеемановское расщепление i -го уровня.

В условиях нашего опыта несомненно имеет место каскадное возбуждение состояния экситонов $n = 1$, главным образом, через экситон-

ное состояние $n = 2$. Об этом говорит и высокая степень поляризации экситонной люминесценции $P(0) = 0,88$, поскольку возникновение линейно поляризованного излучения экситонов невозможно при образовании их из свободных носителей [8]. Это подтверждается тем, что линейная поляризация экситонной линии $n = 1$ отсутствовала при возбуждении экситонной люминесценции ртутной линией 546 нм с энергией кванта $h\nu = 2,27 \text{ эв}$, превышающей $E_g = 2,130 \text{ эв}$. В нашем случае логично сопоставить уровню 0 – основное состояние кристалла, уровню 1 – состояние экситона $n = 1$, уровню 2 – экситон в состоянии $n = 2$. На рис. 2 кривая 2 соответствует расчетной зависимости (2) при $g_{||1} = g_{||2} = 2,7$ [5]. Хорошее совпадение расчетной и экспериментальной кривых в области основного максимума $P(H)$ (вблизи $H = 0$) дает следующие значения времен жизни $\tau_1 = \tau_2 = 2 \cdot 10^{-11} \text{ сек}$. Таким образом, из формы сигнала в эффекте Ханле при каскадном возбуждении могут быть получены характеристики обоих возбужденных экситонных уровней. Некоторое отличие экспериментальных значений от зависимости (2) может быть обусловлено, во-первых, тем, что в (2) не учитывается влияние более высоколежащих возбужденных состояний экситона с $n \geq 3$, во-вторых, переход с $n = 2$ на $n = 1$ в кристаллах происходит, главным образом, не оптическим путем, а с участием фононов, что, однако, не должно существенно менять вид $P(H)$. Наличие двух дополнительных максимумов в $P(H)$ при $H = 4,7$ и $9,6 \text{ кэ}$ может быть обусловлено пересечением компонент тонкой структуры уровней экситона в магнитном поле.

Авторы благодарят Г.Л.Бира, М.И.Дьяконова, В.И.Переля и Г.Е.Пикуса за полезные обсуждения.

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

Поступила в редакцию
2 июля 1975г.

Литература

- [1] Е.Ф.Гросс, А.И.Екимов, Б.С.Разбирин, В.И.Сафаров. Письма в ЖЭТФ, 14, 108 1971.
- [2] Ю.П.Вешунов, Б.П.Захарченя, Е.М.Леонов. ФТТ, 14, 2678, 1972.
- [3] R.R.Parsons. Phys. Rev. Lett., 23, 1152, 1969.
- [4] Г.Л.Бир, Г.Е. Пикус. Письма в ЖЭТФ, 15, 730, 1972.
- [5] E.Mooser, M.Schlüter. Nuovo Chim., 18B, 164, 1973.
- [6] М.И.Караман, В.П.Мушинский, Б.С.Разбирин, А.Н.Старухин, С.С.Чекоей. ФТП, № 6, 412, 1972.
- [7] M.Ducloy et B.Decomps. Comp. Rend. Acad. Sci., 266B, 412, 1968.
- [8] Г.Л.Бир, Г.Е.Пикус. ЖЭТФ, 64, 2210, 1973 г.