

БИЭКСИТОН В КРИСТАЛЛЕ HgJ_2

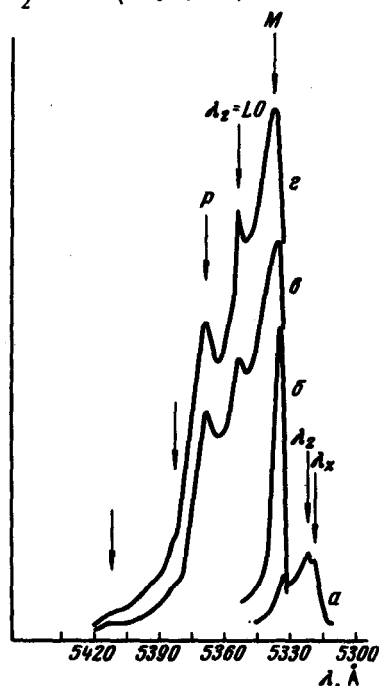
И.Х.Акопян Б.В.Новиков М.М.Пимоненко
Б.С.Разбирин

Цель работы — изучение свойств экситонов высокой плотности в кристалле HgJ_2 . При интенсивном возбуждении кристалла обнаружены новые полосы излучения. Предполагается, что наиболее интенсивная из них обусловлена аннигиляцией биэкситона.

Для исследования экситонов высокой плотности HgJ_2 представляется исключительно интересным объектом, поскольку в этом кристалле при $4,2^\circ\text{K}$ положение экситонного уровня $n = 1$ ($\lambda = 5297 \text{ \AA}$) почти совпадает с длиной волны второй гармоники неодимового лазера ($\lambda = 5288 \text{ \AA}$), и таким образом оказывается возможным сильно возбуждать кристалл на частоте экситонного перехода. В этой работе нами изучалась люминесценция кристаллов HgJ_2 при возбуждении таким лазером. Мощность в импульсе варьировалась от $0,01$ до $1,2 \text{ Мвт/см}^2$; длительность его составляла около 50 нсек . По приближенным оценкам максимальная концентрация экситонов достигала 10^{18} см^{-3} . Спектры люминесценции фотографировались на приборе с дисперсией 31 \AA/мм . Образцы, представляющие собой монокристаллические пластинки с оптической осью в плоскости исследуемой поверхности, охлаждались непосредственным погружением в жидкий гелий. Было изучено около двадцати образцов.

При плотности возбуждения менее $0,07 \text{ Мвт/см}^2$ спектр люминесценции кристалла HgJ_2 в основных чертах сходен со спектром, полученным при возбуждении ртутной лампой [1]. Как правило, мы наблюдали две наиболее сильные линии излучения связанных экситонов $\lambda_1 = 5317 \text{ \AA}$ и $\lambda_2 = 5322 \text{ \AA}$. При плотности возбуждения $W = 0,07 \text{ Мвт/см}^2$ (см. рис. а) в спектре появляется новая полоса излучения M ($\lambda = 5333 \text{ \AA}$) шириной 1 м\AA . С дальнейшим повышением интенсивности возбуждения полоса M резко усиливается и становится доминирующей в спектре (рис. б). Происходит расширение полосы и смещение ее максимума в длинноволновую сторону спектра. При плотности $W = 0,3 \text{ Мвт/см}^2$ максимум по-

лосы расположен у $\lambda=5337 \text{ \AA}$, а ширина составляет 3 – 4 мэв. При этом же возбуждении в дополнение к полосе M в спектре появляются новые полосы: $P(\lambda=5368 \text{ \AA})$ шириной 2 мэв и две более слабые полосы $\lambda=5383 \text{ \AA}$ и $\lambda=5412 \text{ \AA}$ примерно такой же ширины (рис. 6). Последующее увеличение возбуждения до $W = 1,2 \text{ Мвт/см}^2$ вызывает дальнейший рост интенсивности всех новых полос. Начиная с плотности $W = 0,1 \text{ Мвт/см}^2$ в спектрах всегда присутствовала узкая линия связанного экситона $\lambda_2 - \text{LO} (\lambda=5354 \text{ \AA})$.



Спектры люминесценции кристалла HgJ_2 при $T = 4,2^\circ\text{K}$ при возбуждении лазером $\lambda_{\text{возб}} = 5288 \text{ \AA}$ разной мощности (W): а – $W = 0,07 \text{ Мвт/см}^2$; б – $W = 0,2 \text{ Мвт/см}^2$; в – $W = 0,3 \text{ Мвт/см}^2$; г – $W = 1,2 \text{ Мвт/см}^2$

Рассмотрим подробнее свойства полосы M . Высокая интенсивность полосы M позволила исследовать зависимость ее интенсивности от интенсивности возбуждающего света. Мы установили, что до $W = 0,3 \text{ Мвт/см}^2$ полоса M усиливается сверхлинейно с увеличением возбуждения, а затем в интервале $W = 0,3 - 1,2 \text{ Мвт/см}^2$ растет более медленно. Сверхлинейная зависимость интенсивности люминесценции от возбуждения наблюдается для процессов взаимодействия между экситонами [2, 3]. Полоса M сдвинута в длинноволновую сторону от экситонной линии $n = 1 (\lambda=5297 \text{ \AA})$ на 15 мэв [1]. Поэтому можно думать, что полоса M обусловлена не оже-рекомбинацией свободных экситонов, а скорее вызвана излучательным распадом экситонной молекулы, в результате которого один экситон аннигилирует, а второй остается в недиссоциированном состоянии. Подобный процесс наблюдался, например, в кристалле CuCl [3]. В этой модели коротковолновый край полосы M отстоит от линии свободного экситона на величину энергии связи экситонов в молекулу E_1^M . Определенная таким образом величина E_1^M , равная 15 мэв, составляет около половины энергии связи экситона. Такая большая величина E_1^M для сильно анизотропного кристалла HgJ_2 согласуется с теоретическими представлениями Е.Д.Гутлянского и В.Е.Харцьева об увеличении энергии связи биекситона в кристаллах с анизот-

ропией эффективных масс носителей. Высокая энергия диссоциации экситонной молекулы в HgJ_2 подтверждается также слабым температурным тушением полосы M , которая наблюдается в спектре до 50°K .

Полоса M имеет асимметричный, максвеллоподобный контур с крутым спадом в коротковолновую сторону спектра. Именно такую форму следует ожидать для рассмотренного выше процесса излучательного распада биэкситона, когда импульс биэкситона уносится недиссоциированным экситоном. Смещение максимума полосы M в длинноволновую сторону может указывать на возрастание эффективной температуры биэкситонов. Эта температура, оцененная по расстоянию от коротковолнового края полосы M до ее максимума, для сильных возбуждений составляет $\approx 30^\circ\text{K}$. В то же время температура решетки не превосходит $\approx 10^\circ\text{K}$, о чем можно судить по отсутствию смещения линии $\lambda_2 - \text{LO}$ [4].

Полоса 5412 \AA сдвинута на E_c в длинноволновую сторону от полосы M и может соответствовать оже-рекомбинации биэкситона, когда один экситон аннигилирует излучательно, а второй диссоциирует на свободные электрон и дырку. Интересно отметить, что слабая полоса $\lambda=5383 \text{ \AA}$ расположена в той части спектра, где мог бы проявиться следующий процесс излучения биэкситона: аннигиляция одного экситона с одновременным возбуждением другого в состояние $n=2$.

Полоса P смещена от полосы M на величину LO -фонона и может быть фононным повторением полосы M . Возможна и другая интерпретация. Полоса P возникает в результате взаимодействия экситонов (оже-рекомбинация) или неупругого столкновения молекул [5].

Авторы считают приятным долгом поблагодарить С.А.Москаленко за обсуждение некоторых результатов.

Ленинградский
государственный университет
им. А.А.Жданова

Поступила в редакцию
9 марта 1973 г.

Литература

- [1] Б.В.Новиков, М.М.Пимоненко. ФТП, 4, 2077, 1970.
- [2] J.R.Hayns. Phys. Rev. Lett., 17, 860, 1966; C.Benoit a la Guillaume, J.M.Debever, F.Salvan. Phys. Rev., 177, 567, 1969.
- [3] A.Mysyrowicz, J.B.Grun, R.Levy, A.Bivas, S.Nikitine. Phys. Rev. Lett., 26A, 615, 1968; H.Soama, T.Goto, T.Ohta, M.Ueta, J. Phys. Soc. Japan, 29, 697, 1970.
- [4] Б.В.Новиков, М.М.Пимоненко. ФТП, 6, 771, 1972.
- [5] H.Saito, S.Shionoya. Techn. Rep. ISSP, A534, 1972.