

ИНВЕРСИЯ НАСЕЛЕННОСТИ ПОДУРОВНЕЙ ЭКСИТОНОВ $n = 1$ ЖЕЛТОЙ СЕРИИ Cu_2O В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Ф.И.Крейнгольд, К.Ф.Лидер

Исследуется влияние условий возбуждения на спектр люминесценции экситонов кристалла закиси меди в магнитном поле. При резонансном возбуждении верхнего компонента уровня Γ_3^+ ($M = +1$) наблюдается инверсия населенности подуровней экситонов.

Закись меди относится к классу полупроводников с прямым запрещенным переходом. Основное $1S$ -экситонное состояние желтой серии, образованной электронами зоны Γ_6^+ и дырками зоны Γ_7^+ расщепляется в результате обменного взаимодействия на трехкратно вырожденное Γ_5^+ (ортоэкситон) и невырожденное Γ_2^+ (параэкситон) ¹. Переход на уровень ортоэкситона разрешен в квадрупольном приближении, а переход на уровень параэкситона запрещен в дипольном и квадрупольном приближениях. Бесфононная линия параэкситона наблюдается в кристаллах, подвергнутых одноосной деформации ² или в магнитном поле ³. Уровень Γ_2^+ находится на 96 см^{-1} ниже уровня Γ_5^+ и, очевидно, что люминесценция ортоэкситона при гелиевых температурах может наблюдаться только в результате нарушения термодинамического равновесия между уровнями орто- и параэкситонов ⁴.

В настоящей работе приводятся результаты исследования люминесценции экситонов кристалла Cu_2O в магнитном поле при резонансном возбуждении. Показано, что в стационарных условиях, при резонансном возбуждении не устанавливается термодинамическое равновесие между подуровнями экситонов Γ_5^+ .

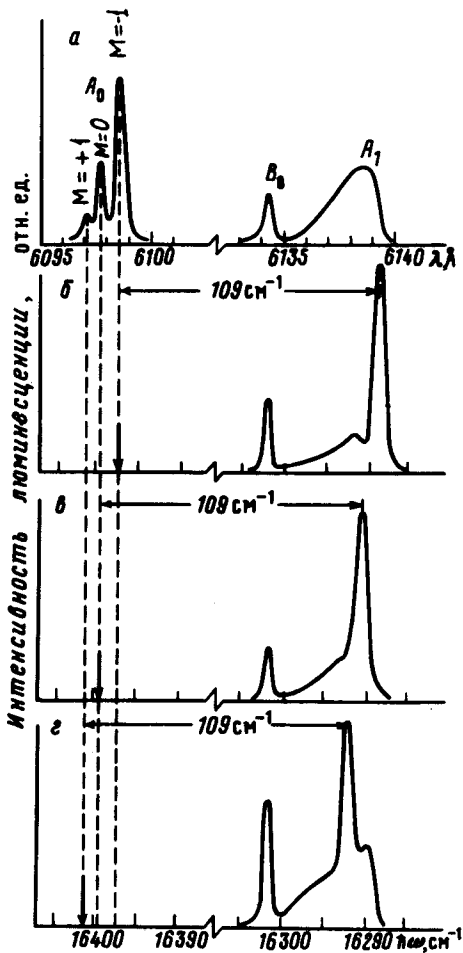
Кристаллы Cu_2O выращивались методом гидротермального синтеза. Для возбуждения люминесценции использовался непрерывный перестраиваемый лазер на красителе, полуширина линии генерации $\approx 0,5 \text{ см}^{-1}$.

В магнитном поле уровень Γ_5^+ расщепляется на три подуровня с $M = \pm 1, 0$ ¹. На рис. *a* приведена запись части спектра люминесценции, включающая бесфононные переходы ортокси-

тона A_0 , параэкситона B_0 и повторения ортоэкситона с фоном $\Gamma_3^- (\hbar\omega = 109 \text{ см}^{-1}) - A_1$, полученная при нерезонансном возбуждении ($\lambda_B = 6040 \text{ \AA}$). Как видно из рис. а, в поле $H = 50 \text{ кЭ}$ и $T = 2 \text{ К}$, при нерезонансном возбуждении, интенсивность переходов с нижнего подуровня $\Gamma_5^+ (M = -1)$, а соответственно и населенность его, примерно на порядок больше чем верхнего $\Gamma_5^+ (M = +1)$. При резонансном возбуждении картина резко меняется. Наряду с сужением фоновых повторений ⁵ происходит перераспределение их интенсивностей (рис. б, в, г). Относительная интенсивность переходов определяется, в этом случае, не энергией уровня, а условиями возбуждения. Так например, при возбуждении верхнего подуровня интенсивность соответствующего фоновонного спутника вдвое больше нижнего (рис. г).

Аналогичная картина наблюдается если условие резонанса выполняется для центрального компонента триплетта $\Gamma_5^+ (M = 0)$ (рис. в). Подобное перераспределение интенсивностей происходит в спектре повторений с фоном $\Gamma_4^- (\hbar\omega = 150 \text{ см}^{-1})$.

Кристаллы Cu_2O , выращенные методом гидротермального синтеза, имеют яркую экситонную люминесценцию, которая намного интенсивнее комбинационного рассеяния. Чтобы убедиться в том, что резонансным комбинационным рассеянием можно пренебречь, мы одновременно с интенсивностью ортоэкситона I_0 контролировали интенсивность полосы непрямого излучения параэкситона I_p , для которого условие резонансного возбуждения не возникало. Было установлено, что относительная интенсивность I_0/I_p , практически, не зависит от условий возбуждения (резонансное или нет). Следовательно, при резонансном возбуждении изменение интенсивностей полос происходит не за счет увеличения интенсивности комбинационного рассеяния, а в результате перераспределения интенсивности люминесценции в спектре фоновых повторений ортоэкситона. Таким образом, при резонансном возбуждении верхних подуровней наблюдается инверсия населенности (рис. в, г).



Влияние длины волны возбуждающего света на спектр люминесценции экситонов в кристалле Cu_2O . Нерезонансное возбуждение: а - $\lambda_B = 6040 \text{ \AA}$, резонансное возбуждение зеемановских компонент: б - $M = -1$, в - $M = 0$, г - $M = +1$. A_0 и B_0 - бесфононные переходы орто- и параэкситонов, соответственно, A_1 - повторение ортоэкситона с фоном $\hbar\omega = 109 \text{ см}^{-1}$. Частоты возбуждающего света указаны стрелками. $T = 2 \text{ К}$, $H = 50 \text{ кЭ}$

В стационарном режиме при возбуждении верхнего уровня (в случае $\Delta E_{12} > kT$): $N_2 \gamma_{12} = N_1 \gamma$, где N_2 и N_1 — населенности верхнего и нижнего подуровней, соответственно, γ_{12} — вероятность перехода между ними и γ — полная вероятность рекомбинации экситонов. Отсюда: $\gamma_{12} = \gamma N_1 / N_2$ или, так как $N_1 / N_2 = I_1 / I_2$: $\gamma_{12} = \gamma I_1 / I_2$, где I_1 и I_2 — интенсивность люминесценции соответствующих фоновых спутников. В поле $H = 50$ кЭ и $T = 2$ К, как было сказано раньше, $I_1 \approx 0,5 I_2$, тогда $\gamma_{12} \approx 0,5 \gamma$. Подставляя результаты прямого измерения времени жизни ортоэкситонов в гидротермальных кристаллах Cu_2O при гелиевых температурах⁶, получим: $\gamma_{12} \approx 1,5 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$.

Авторы благодарны С.В. Погареву за большую помощь в работе.

Литература

1. Elliott R.J. Phys. Rev., 1961, 124, 340.
2. Крейнгольд Ф.И., Макаров В.Л. ФТП, 1974, 8, 1475.
3. Крейнгольд Ф.И., Куликин Б.С., Цуриков В.И. ФТТ, 1979, 21, 3396.
4. Крейнгольд Ф.И., Макаров В.Л., ФТТ, 1973, 15, 3107.
5. Weiner I.S., Yu P.Y. Solid State Comm., 1984, 50, 493.
6. Mysyrowicz A., Hulin D., Antonetti A. Phys. Rev. Lett., 1979, 43, 1123.