

ВОЗГОРАНИЕ ЭКСИТОННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ GaAs В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Ю.В.Жилев, В.В.Россин, Т.В.Россина, В.В.Травников

Впервые обнаружено anomalно большое (почти в 20 раз) увеличение интенсивности экситонной люминесценции в магнитном поле до 7 Тл. Предполагается, что эффект связан с воздействием магнитного поля на кинетику экситонов.

Магнитооптические исследования GaAs, выполненные к настоящему времени, в основном касались магнитопоглощения¹ и магнитоотражения². Целью этих работ являлось изучение влияния магнитного поля на энергетическую структуру экситонов. В данной работе исследуется влияние магнитного поля на кинетику экситонов.

Исследовалась низкотемпературная ($T = 1,7$ К) фотолюминесценция очень чистых эпитаксиальных слоев n^0 -GaAs, в которых ранее наблюдалась интенсивная, четко выраженная поляритонная люминесценция (ПЛ)³. Образец помещался в сверхпроводящий соляноид. Магнитное поле прикладывалось в геометрии Фарадея (перпендикулярно поверхности) и достигало значения $B \sim 7$ Тл.

Обнаружено очень сильное возгорание интенсивности ПЛ (рис. 1). В полях $B = 6,7$ Тл интенсивность линии излучения нижней поляритонной ветви (НПВ) увеличивается при определенных условиях почти в 20 раз. Наряду с изменением интенсивности меняется и форма спектра ПЛ: уменьшается, а затем и исчезает провал между линиями нижней и верхней поляритонной ветви (ВПВ), относительная интенсивность линии ВПВ уменьшается. Степень увеличения интенсивности люминесценции в магнитном поле зависит от чистоты n^0 -GaAs и уменьшается с увеличением концентрации мелких доноров. Этим, по-видимому, можно объяснить тот факт, что указанный эффект не наблюдался ранее⁴. Сильное влияние на возгорание интенсивности экситонной люминесценции в магнитном поле оказывает интенсивность фотовозбуждения. Степень увеличения интенсивности люминесценции не монотонно зависит от интенсивности возбуждения и максимальна при некоторых средних интенсивностях возбуждения.

Спектр ПЛ существенным образом зависит от функции пространственного распределения поляритонов⁵. Для исключения возможного влияния изменения пространственного распределения поляритонов на изучаемый эффект исследовано влияние магнитного поля на излучение экситонов с испусканием LO-фонона (рис. 2). Отчетливо видно сужение и возрастание интенсивности фоннного повторения с увеличением магнитного поля.

Полученные результаты прямо указывают на два основных эффекта воздействия магнитного поля на экситонную люминесценцию: 1) увеличение интегральной интенсивности ПЛ с ростом B ; 2) уменьшение эффективной температуры поляритонов. Интересно отметить, что при определенных условиях эффективная температура уменьшается почти до температуры решетки ($\sim 2,8$ К). Увеличение степени термализации поляритонов приводит к возрастанию заселенности самых низкоэнергетических участков в области экситонного резонанса. Это, очевидно, и является причиной anomalного возгорания люминесценции НПВ и уменьшения вклада излучения ВПВ, определяемого заселенностью состояний в области выше энергии продольного экситона.

Ранее влияние магнитного поля на интенсивность люминесценции свободных экситонов исследовалась в Ge⁶. Этот эффект объяснялся увеличением силы осциллятора свободного экситона в сильном магнитном поле вследствие поперечного сжатия волновой функции относительного движения электрона и дырки⁷. Однако исследованный диапазон магнитных полей для GaAs является промежуточным, то есть $r_B/r_0 \sim 1$, где r_B – боровский радиус экситона, а r_0 – магнитная длина, $r_0 = \sqrt{\hbar/eB}$. Здесь e – заряд электрона. Для GaAs

$r_B \approx 140 \text{ \AA}$, а минимальное значение (для $B = 7 \text{ Тл}$) $r_0 = 100 \text{ \AA}$. При этих значениях параметров величина силы осциллятора экситона согласно вариационным расчетам ⁹ увеличивается лишь в 2 раза, что существенно меньше наблюдаемых изменений. Кроме того, в рамках поляритонного представления увеличение силы осциллятора, то есть энергии продольно-поперечного расщепления, должно приводить лишь к уширению спектра вблизи экситонного резонанса.

Обнаруженная зависимость степени воздействия магнитного поля на ПЛ от чистоты материала и интенсивности возбуждения указывает на то, что эффект непосредственно связан с влиянием магнитного поля на кинетику экситонов. Далее рассмотрим две возможных причины такого влияния.

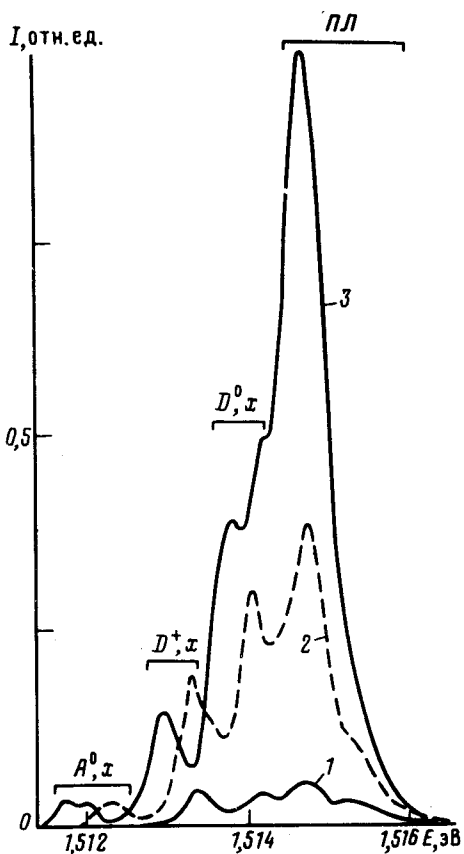


Рис. 1

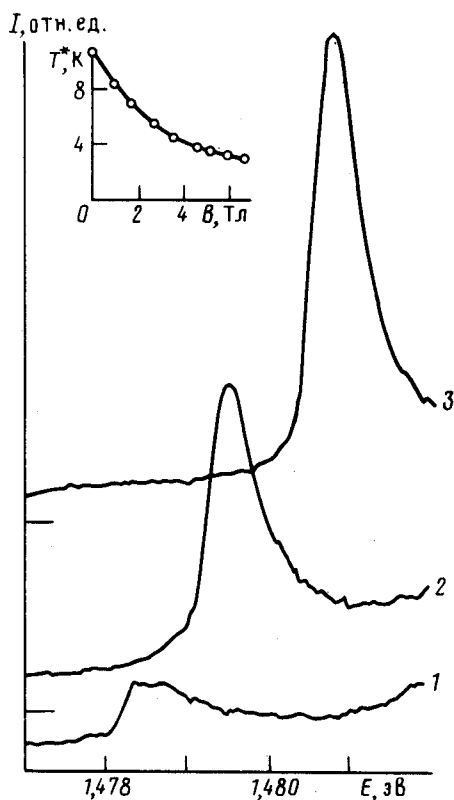


Рис. 2

Рис. 1. Спектры фотолуминесценции GaAs вблизи экситонного резонанса в различных магнитных полях: 1 - $B = 0$; 2 - $B = 2,7 \text{ Тл}$; 3 - $B = 6,7 \text{ Тл}$; $I_{\text{возб}} = 0,3 \text{ Вт/см}^2$. Спектры приведены с компенсацией диамагнитного сдвига

Рис. 2. Спектры излучения экситонов с испусканием LO-фонона: 1 - $B = 0$; 2 - $B = 3,5 \text{ Тл}$; 3 - $B = 6,7 \text{ Тл}$; $I_{\text{возб}} = 0,9 \text{ Вт/см}^2$. На вставке показана зависимость эффективной температуры поляритонов T^* от магнитного поля

Первая связана с уменьшением вероятности безызлучательной гибели поляритонов в магнитном поле. В этом случае увеличивается концентрация поляритонов, а значит и интегральная интенсивность ПЛ. Кроме того, должна возрастать и степень термализации поляритонов за их время жизни.

Другая причина может быть связана с увеличением вероятности испускания акустических фононов электронами и уменьшением электронной температуры в магнитном поле¹⁰. Это приведет как к возрастанию вероятности образования экситонов, так и к уменьшению их эффективной температуры, если предположить, что ее значение определяется процессами экситон-электронного рассеяния.

Для окончательного установления природы наблюдаемого явления необходимы дальнейшие исследования.

Авторы благодарят В.А.Харченко за плодотворные дискуссии.

Литература

1. Сейсян Р.И. Спектроскопия диамагнитных экситонов. М.: Наука, 1984, с. 272.
2. Willman F., Suga S., Dreybrodt W., Cho K. Sol. St. Comm., 1974, 14, 783.
3. Жилев Ю.В., Маркарян Г.Р., Россин В.В. и др. ФТТ, 1986, 28, 2688.
4. Зиновьев Н.Н., Иванов Л.П., Ковалев Д.И., Ярошецкий И.Д. ФТП, 1984, 18, 1233.
5. Weisbuch C., Ulbrich R.G. Phys. Rev. Lett., 1977, 39, 654.
6. Bisti V.E., Edel'stein V.M., Kukushkin I.V. Sol. St. Comm., 1982, 44, 197.
7. Харченко В.А. ЖЭТФ, 1982, 83, 1971.
8. Sell D.D., Stokowski S.E., Dingle R., DiLorenzo I.V. Phys. Rev. B, 1973, 7, 4568.
9. Gabib D., Fabri E., Florio G. Sol. St. Comm., 1971, 9, 1517.
10. Chaubey M.P., Singh M. Phys. Rev. B, 1986, 34, 2385.

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

Поступила в редакцию
10 марта 1989 г.