Конкуренция механизмов низкотемпературной люминесценции в квантовых ямах GaAs/AlGaAs

Скориков М.Л.¹, Лясота А.А.^{1,2}, Сибельдин Н.Н.¹, Капон Э.², Рудра А.²

¹ Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

² Лозаннский Федеральный политехнический институт, Лозанна, Швейцария

DOI 10.34077/Semicond2019-241

Обнаружено ранее не наблюдавшееся поведение низкотемпературных ($T = 2\text{--}50\text{ K}$) спектров фотолюминесценции высококачественных номинально нелегированных гетероструктур GaAs/AlGaAs с одиночными квантовыми ямами, измеренных в широком диапазоне интенсивностей возбуждения ($I_{\text{exc}} = 3 \cdot 10^{-7}\text{--}3\text{ W/cm}^2$) и энергий квантов возбуждения (соответствующих как подбарьерной, так и надбарьерной накачке). При достаточно низких температурах и не слишком низких уровнях возбуждения спектры, как и обычно, состоят из узких линий нейтральных экситонов (ширина экситонной линии при $T = 2\text{ K}$ составляет 0.4 мэВ , что свидетельствует о высоком качестве структур) и заряженных экситонов (трионов). Однако такой вид спектра наблюдается только выше определенного "порогового" уровня возбуждения, который увеличивается приблизительно экспоненциально с температурой. При низких же уровнях возбуждения в спектре присутствует единственная линия, сдвинутая на несколько десятых мэВ в сторону меньших энергий от трионного пика. При самых низких температурах ($T = 2\text{--}10\text{ K}$) эта линия имеет малую ширину (около 1 мэВ), но уже при очень умеренном повышении температуры ($T = 10\text{--}30\text{ K}$) быстро уширяется и начинает напоминать линию рекомбинации некоррелированных электронно-дырочных пар. При $T = 30\text{ K}$ эта широкая (до 4 мэВ) линия доминирует при всех использованных уровнях возбуждения. При промежуточных температурах и уровнях возбуждения наблюдаются все три линии, однако изменение спектра от одного вида к другому при изменении I_{exc} или T происходит сравнительно быстро (например, при фиксированном I_{exc} трансформация спектра происходит в интервале температур шириной не более 10 K), так что может быть построена своего рода "квази-фазовая диаграмма" на плоскости $T\text{--}I_{\text{exc}}$ (см. рис. 1).

Рис.1. Зависимость "температуры перехода" от уровня возбуждения структуры (надбарьерная накачка, $\hbar\omega_{\text{exc}} = 1.959\text{ эВ}$). Спектр люминесценции имеет экситонный вид в области параметров правее и ниже "границной" линии.

Предположительно, ключевым фактором ответственным за такое поведение является влияние случайного электростатического потенциала в плоскости квантовой ямы, возникающего из-за флуктуаций концентрации заряженных примесей в барьерных слоях структуры. Наиболее полное (хотя и не единственно возможное) объяснение наблюдаемым эффектам может быть дано в предположении, что "дополнительная" низкоэнергетичная линия обусловлена туннельной рекомбинацией электронов и дырок, латерально разделенных полем случайного потенциала и населяющих хвосты плотностей состояний в зоне проводимости и валентной зоне квантовой ямы.

Работа поддержана Российским научным фондом, проект № 18-72-10073.