

## МЕТОД ДЕТАЛЬНОЙ СТАТИСТИКИ ДЛЯ АНСАМБЛЯ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК

Полупроводниковые квантовые точки (КТ) к настоящему моменту являются основой различных устройств оптоэлектроники, таких как лазеры, усилители, источники одиночных фотонов. Этим обусловлен значительный интерес к построению теоретических моделей, описывающих различные свойства ансамбля КТ и их влияние на функционирование приборов [1-2]. Особенности выбранной модели могут существенно влиять на результат теории и интерпретацию экспериментальных данных. Можно приблизительно классифицировать используемые модели по следующим признакам: экситонная статистика/динамика или отдельное рассмотрение электронов и дырок; учет двукратного вырождения электронных и дырочных уровней; использование статистических или динамических подходов к описанию заполнения энергетических уровней в КТ; динамический подход на основе скоростных уравнений (rate equations) или точных уравнений движения (master equations).

Важно отметить, что использование простых моделей КТ, часто оказывается плодотворным в получении наглядных аналитических результатов [1]. Целью нашей работы является сравнение результатов, основанных на точном подходе метода детальной статистики [3] и более простого статистического метода. Равновесный (статистический) подход основан на предположении, что распределение электронов и дырок статистическое и может быть выражено через квазиуровни Ферми. Метод детальной статистики основан на составлении системы линейных алгебраических уравнений описывающих динамику системы.

Мы рассмотрели заполнение основных энергетических уровней электронов и дырок в КТ с учетом двукратного спинового вырождения. Выявлены три различных режима поведения КТ в зависимости от скоростей выброса и скорости инжекции носителей.

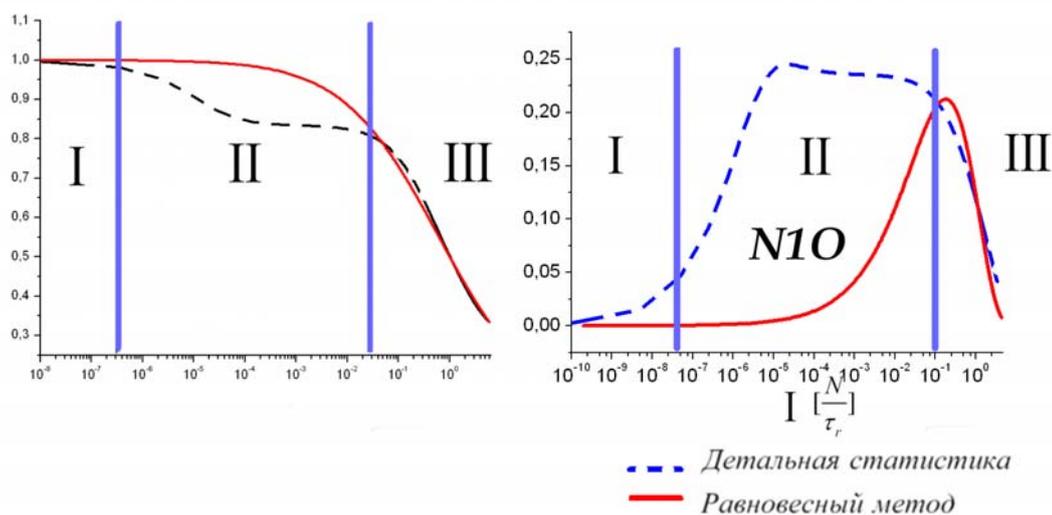


Рис. 1. Эффективность люминесценции от тока инжекции и вероятность найти заряженную КТ с одним электроном

На рис. 1 представлены графики эффективности люминесценции и вероятности обнаружить КТ с одним электроном при низкой скорости термических выбросов. Совпадение результатов в I и III области двух моделей позволяет нам расширить область применения статистического подхода, во-первых, на случай слабых термических выбросов

при на порядок меньшей скорости захвата носителей в КТ и, во-вторых, на случай сильной накачки уже не зависимо от температуры.

Область II соответствует состояниям антикорреляцией электронов и дырок. Большое количество КТ ансамбля находится в заряженных состояниях, причем существуют не только однократно заряженные состояния, но и состояния с 2 электронами или двумя дырками. Такие состояния наблюдались и в экспериментах.

В области высоких температур, то есть при высокой скорости термических выбросов носителей из КТ, оба подхода дают одинаковые результаты.

Если нет выброса носителей из точки эффективность излучения при низкой накачке не равна 1, как это следовало бы из статистики, а однозначно определяется отношением скорости Оже рекомбинации к скорости излучательной рекомбинации:

$$\eta = \frac{2}{3} + \frac{1}{3(g_{ag} / g_r + 1)}$$

Полученные результаты послужат основой для адекватного описания свойств ансамблей КТ в оптоэлектронных приборах, таких как ширина линии излучения, дифференциальная эффективность лазера и статистика фотонов излучателя на одной КТ.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. L.V.Asryan, R.A.Suris, *Semicond. Sci. Technol.*, 11, 554 (1996).
2. M.Grundmann. *Phys. Rev. B*, 55, p. 9740 1997.
3. A.V.Savelyev et al., *AIP Conf. Proc.*, 893, 987 (2007).