

УДК 538.911

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ РЕКОМБИНАЦИИ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК AgInS₂/ZnS С ПОМОЩЬЮ ФЁРСТЕРСКОГО ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ

Ткач А.П. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Баранов А.В.
(Университет ИТМО)

В настоящей работе представлен экспериментальный подход к изучению механизмов люминесценции квантовых точек (КТ) AgInS₂ (AIS) с оболочкой ZnS, используя метод коррелированного по времени счета одиночных фотонов. Цианиновые красители, поглощающие в разных областях спектра люминесценции КТ, были использованы для осуществления селективного переноса энергии по механизму Фёрстера (FRET) с разных энергетических уровней КТ, что позволило получить уникальную информацию о релаксационных каналах, участвующих в излучении КТ.

Введение. За последнее время активно исследовалась фотолюминесценция КТ тройного состава, но основные механизмы, входящие в основе данного явления, до сих пор изучены не полностью. КТ тройного состава (AgInS₂ и CuInS₂) могут иметь от двух до четырех экспоненциальных компонент затухания фотолюминесценции. Исследователи изучали возможность интерпретации данных компонент затухания с точки зрения конкретных путей рекомбинации, но также рассматривалась интерпретация данных компонент как непрерывного распределения времён жизни в ансамбле КТ. Таким образом, отсутствие полного знания о механизмах, входящих в процесс люминесценции тройных КТ, приводит к затруднению дальнейшего развития для практического применения, включая системы на основе FRET в области наук о жизни.

Основная часть. В данной работе были исследованы коллоидные квантовые точки AgInS₂ стабилизированные слоем ZnAgInS и оболочкой ZnS. Для исследования FRET, формировались комплексы КТ-краситель в водных растворах за счёт электростатического взаимодействия между отрицательно заряженными молекулами лиганда на поверхности КТ и положительно заряженными цианиновыми красителями. Для исследования временной зависимости фотолюминесценции использовался метод коррелированного по времени счета одиночных фотонов. Трёхэкспоненциальная модель аппроксимации кривых затухания была использована для интерпретации полученных результатов, поскольку она обеспечивала приемлемые результаты аппроксимации ($\chi^2 < 1.1$) с минимально возможным количеством компонент. Помимо времён жизни, был учтён относительный вклад каждого пути рекомбинации в общую эмиссию КТ. Самой короткоживущей компонентой времени жизни, которую обычно связывают с излучением, относящимся к поверхностным дефектам, имеет наименьший вклад 5–10%. Поскольку исследуемые КТ были покрыты двойной оболочкой, естественно, что компонента, связанная с дефектами, не вносила существенного вклада в общую эмиссию. Средняя компонента времени жизни, которая предположительно связана со слоем ZnAgInS, имеет наибольший вклад (до $\approx 65\%$). Наконец, наибольшая компонента времени жизни может быть отнесена к рекомбинации донорно-акцепторной паре внутри ядра нанокристалла. Перенос энергии от КТ к красителю с большей вероятностью происходит из канала, более близкого к каналу красителя по энергии. Таким образом, можно проводить селективное тушение для детального исследования тонкой энергетической структуры КТ AIS. Степень уменьшения времени жизни релаксационного канала пропорциональна расстоянию между красителем и соответствующими дефектами, на которых расположены носители заряда. В нашем случае наибольшее уменьшение времени жизни наблюдается для наименьшего показателя, что подтверждает его соответствие поверхностным дефектам, наиболее близким к красителю. Самый длинный показатель

уменьшается меньше всего, что означает, что он, скорее всего, связан с рекомбинацией донорно-акцепторной паре в ядре КТ. Наконец, умеренно уменьшенное значение, соответствует дефектам в слое ZnAgInS.

Выводы. Полученные результаты раскрывают более полное понимание процессов рекомбинации в тройных КТ. Также данное исследование позволяет потенциальное применение тройных квантовых точек в мультиплексном анализе, фотодинамической терапии и FRET- зондировании с временным разрешением.

Ткач А.П.

Подпись

Баранов А.В.

Подпись