

УДК 535.35

**ВЛИЯНИЕ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ НА КИНЕТИКУ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ
АНСАМБЛЯ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК CdSe/ZnS**

Осколкова Т.О. (Университет ИТМО), Орлова А.О. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к. ф.-м. н. Колесова Е.П.

(Университет ИТМО)

В работе исследована кинетика люминесценции ансамбля полупроводниковых квантовых точек (КТ) CdSe/ZnS. Показано, что для КТ в составе агрегатов и сухих слоев наблюдается ярко-выраженная линейная зависимость характерного времени затухания люминесценции от длины волны регистрации. Продемонстрировано, что причиной подобной зависимости может выступать процесс переноса энергии между КТ различных размеров, эффективность которого по выполненным оценкам превышает 40%.

Введение. В настоящее время активно ведутся работы по исследованию полупроводниковых квантовых точек (КТ) – принципиально нового класса люминофоров, обладающего большим потенциалом практического применения. Благодаря эффекту размерного квантования, КТ проявляют ряд уникальных физических свойств, которые можно настраивать, контролируя рост нанокристаллов в процессе их коллоидного синтеза. Стоит отметить, что несмотря на активное развитие технологий синтеза наночастиц, достаточно сложно получить ансамбль абсолютно монодисперсных КТ. Наличие в ансамбле КТ фракций разного размера повышает вероятность резонансных взаимодействий нанокристаллов, за счет чего в ансамбле КТ может быть реализован эффективный перенос энергии, закономерности которого, как правило, хорошо описываются в рамках классической теории Ферстера. В соответствии с данной теорией, энергия безызлучательно передается от малой КТ (донора) к большей по размеру КТ (акцептору), при этом сокращение дистанции между нанокристаллами в ансамбле приводит к увеличению эффективности процесса. Ранее авторами работы было показано, что уменьшение расстояния между коллоидными КТ в процессе формирования агрегатов ведет к существенному изменению их люминесцентных свойств, а именно, эффективному тушению люминесценции, длинноволновому сдвигу ее полосы и значительному падению квантового выхода. Кроме того, в образцах с агрегатами появлялась линейная зависимость характерного времени затухания люминесценции от длины волны регистрации, которая не наблюдалась для КТ в монодисперсной форме. Было выдвинуто предположение, что полученные результаты могут быть связаны с процессом переноса энергии между КТ в составе агрегатов. Для подтверждения этой гипотезы, было решено провести анализ кинетики люминесценции для образца КТ в многослойных сухих структурах, где нанокристаллы так же находятся в непосредственной близости. Таким образом, целью данной работы стало исследование кинетики люминесценции КТ в составе сухих слоев.

Основная часть. В качестве объекта исследования использовались полупроводниковые КТ I типа ядро/оболочка CdSe/ZnS, полученные с помощью методики высокотемпературного органометаллического синтеза. Формирование сухих структур КТ осуществлялось с помощью технологии Ленгмюра-Блоджетт, процедура нанесения слоев повторялась три раза.

Для исследования кинетики люминесценции образцов использовался сканирующий люминесцентный микроскоп MicroTime 100 (PicoQuant). Регистрация люминесценции проводилась с помощью линейки интерференционных фильтров с шириной полосы пропускания 10 нм. Анализ кинетики люминесценции показал, что для КТ в сухих слоях, наравне с агрегатами, наблюдается ярко-выраженная линейная зависимость характерного времени затухания люминесценции от длины волны регистрации. Так, с увеличением длины волны, время затухания люминесценции выросло практически в 3,5 раза – с $(4,6 \pm 0,5)$ нс до $(16,0 \pm 2,0)$ нс. Стоит отметить, данная зависимость имеет более быстрый рост для сухих

слоев КТ по сравнению с агрегатами, для которых время затухания люминесценции изменилось примерно в 2 раза. Кроме того, было обнаружено, что сокращение дистанции между КТ в процессе формирования многослойных структур становится причиной перераспределения вкладов компонент мультиэкспоненциального затухания люминесценции. Так, относительно монодисперсных коллоидных КТ в сухих слоях происходит увеличение вклада короткоживущей компоненты. Та же тенденция наблюдается и для образца с агрегатами КТ в растворе.

Полученные результаты позволяют предполагать, что между КТ, как в составе многослойных структур, так и в составе агрегатов, за счет малого расстояния между соседними нанокристаллами, реализуется эффективный перенос энергии электронного возбуждения. Наблюдаемая линейная зависимость времени затухания люминесценции от длины волны регистрации демонстрирует, в таком случае, сокращение времени жизни возбужденного состояния донора энергии в присутствии акцептора, что является характерным для данного процесса. С помощью теории Ферстера была произведена оценка эффективности переноса энергии между КТ в составе плотноупакованных структур, сухих слоев и агрегатов в растворе, – ее теоретическое значение составило примерно 40%.

Выводы. В результате данной работы были выявлены закономерности изменения кинетики люминесценции КТ в составе сухих слоев относительно монодисперсных КТ. Продемонстрировано, что в многослойных сухих структурах КТ наблюдаются такие же зависимости, как и в агрегатах КТ в коллоидном растворе. Выявлено, что причиной данных зависимостей может выступать процесс переноса энергии между КТ различных размерных фракций. Полученные результаты позволяют сформировать более полное представление о физических процессах, протекающих в системах близкорасположенных полупроводниковых КТ CdSe/ZnS, и влиянии на их люминесцентные характеристики.

Осколкова Т.О. (автор)

Подпись

Колесова Е.П. (научный руководитель)

Подпись