

УДК 535.373 + 539.2 + 541.14

DOI: 10.17223/00213411/63/8/49

Э.И. ЗЕНЬКЕВИЧ¹, К. ФОН БОРЦИСКОВСКИ², Д.Р.Т. ЦАН²

РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЭКСИТОН-ФОНОННЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В НАНОКОМПОЗИТАХ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК CdSe/ZnS И МОЛЕКУЛ ПОРФИРИНОВ *

На основании анализа спектрально-кинетических данных, полученных для наноансамблей на основе полупроводниковых квантовых точек CdSe/ZnS и молекул тетрапиридил-порфирина в смеси метилциклогексан/толуол 6:1, обосновано, что понижение температуры в индивидуальных квантовых точках сопровождается конформационной перестройкой поверхностного слоя стабилизатора (триоктилфосфин оксид или амин), которая усиливается в наноансамблях. Показано, что для квантовых точек CdSe/ZnS состояния, определяющие полосу первого экситонного поглощения, с одной стороны, и полосу фотолюминесценции, с другой, имеют различную природу. В рамках существующих моделей экситон-фононных взаимодействий в полупроводниковых наноструктурах проведен анализ температурной зависимости (77–293 К) характеристик спектров поглощения и фотолюминесценции квантовых точек с учетом конформационных эффектов. Установлено, что формирование полосы поглощения первого экситонного перехода происходит с участием преимущественно оптических фононов ядра CdSe, тогда как свойства фотолюминесценции отражают также дополнительное взаимодействие с оптическими фононами оболочки ZnS.

Ключевые слова: полупроводниковые квантовые точки, порфирины, наноансамбли, температурные зависимости поглощения и фотолюминесценции, экситон-фононные взаимодействия, фазовая перестройка стабилизирующего слоя лиганда.

Введение

В настоящее время гетерогенные наноансамбли на основе коллоидных полупроводниковых квантовых точек (КТ) различной природы и морфологии в комбинации с функциональными молекулами органических красителей широко исследуются и рассматриваются как перспективные наноструктуры для возможных применений в наносенсорике, фотовольтаике и биомедицине [1–3]. Вместе с тем, несмотря на значительные успехи в этой области, основная проблема в разработке эффективных наноматериалов на основе полупроводниковых КТ и органических красителей связана с отсутствием детальной информации о свойствах поверхности КТ, специфике ее взаимодействий с функциональными лигандами в растворах, а также влиянии этих взаимодействий на структуру энергетических уровней и процессы экситонной релаксации [2, 4, 5].

Кроме того, для КТ в условиях трехмерного квантового ограничения дискретными являются не только электронные энергетические уровни, но и колебательные моды решетки (фононы) [6–9]. Соответственно исследование экситон-фононных взаимодействий в условиях квантового ограничения представляется важным как в фундаментальном плане (структура электронных состояний, динамика экситонной релаксации и др.), так и при решении прикладных задач. В экспериментальном плане решение этих вопросов для КТ проводится, как правило, двумя методами: 1) спектроскопия комбинационного рассеяния, т.е. измерение соотношений интенсивностей бесфононных линий и фононных крыльев [10, 11], 2) исследование температурной зависимости параметров спектров поглощения и фотолюминесценции (интенсивность и полуширина полос, положение в шкале энергий), а также величины стоксовского сдвига [9].

В большинстве случаев исследования температурной зависимости экситон-фононных взаимодействий были выполнены для КТ, растворенных в твердых матрицах (полимеры, твердые носители, пленки Ленгмюра – Блоджет), исключающих температурную динамику поверхностного пассивирующего слоя лигандов [6, 8, 12–14]. Вместе с тем в жидких растворителях при понижении температуры растворов КТ (когда еще не достигается температура стеклования) в ряде случаев обнаруживается так называемая фазовая перестройка пассивирующего слоя органических ли-

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта БРФФИ № 18Р-314 (Беларусь – Россия), ГПНИ «Конвергенция-2020 3.03» (Беларусь), гранта Президента Республики Беларусь в науке на 2020 г., а также Visiting Scholar Program of Chemnitz University of Technology (Германия, 2020 г.)

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>