

УДК: 535.373 + 539.2 + 541.14

**РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В НАНОАНСАМБЛЯХ  
НА ОСНОВЕ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК AIS/ZnS/GSH И  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛ**

Зенькевич Э.И.<sup>1</sup>, Куликова О.М.<sup>2</sup>, Шейнин В.Б.<sup>2</sup>, Селищев О.П.<sup>3</sup>,  
Джаган В.М.<sup>4</sup>, Степанов М.А.<sup>1</sup>, Строюк А.Л.<sup>5</sup>, Раевская А.Е.<sup>3</sup>,  
Койфман О.И.<sup>2</sup>, Цан Д.Р.Т.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН,  
Иваново, Россия

<sup>3</sup>Институт физики, Технический университет,  
Хемнитц, Германия

<sup>4</sup>Институт физики полупроводников НАН У,  
Киев, Украина

<sup>5</sup>Институт Гельмгольца ИЕК-11,  
Эрланген-Нюрнберг, Германия

Наноансамбли на основе квантовых точек (КТ) и молекул красителей исследуются и рассматриваются как перспективные наноструктуры для применений в наносенсорике, фотовольтаике и биомедицине [1, 2]. В данной работе получены самособирающиеся наноансамбли нового типа на основе полупроводниковых квантовых точек AIS/ZnS/GSH, стабилизированных глутатионом GSH, и молекул порфиринов (H<sub>2</sub>P) (Рис.1).

Обосновано, что формирование наноансамблей происходит за счет электростатических взаимодействий, положительно заряженных порфириновых макроциклов с отрицательно заряженными молекулами глутатиона и проявляется в двух эффектах (Рис. 2): 1) сильном тушении флуоресценции квантовых точек (за счет эффективного переноса энергии) и 2) металлизации молекул порфирина (образование Zn-комплексов) при фиксации на поверхности квантовой точки. Впервые разработана и обоснована квантово-химическая 3D модель формирования рассматриваемых наноансамблей и интерфейсных явлений, протекающих в них.

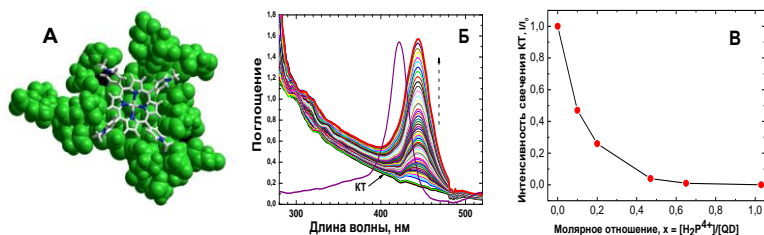


Рис. 1. Основные компоненты квантовых точек AIS/ZnS/GSH и схематическое представление формирования наноансамблей КТ-Порфирин. А – структура квантовой точки. Б – химическая структура молекулы порфирина. В – схема электростатического взаимодействия отрицательно заряженных карбоксильных групп глутатиона и положительно заряженных пиридинильных групп порфирина.

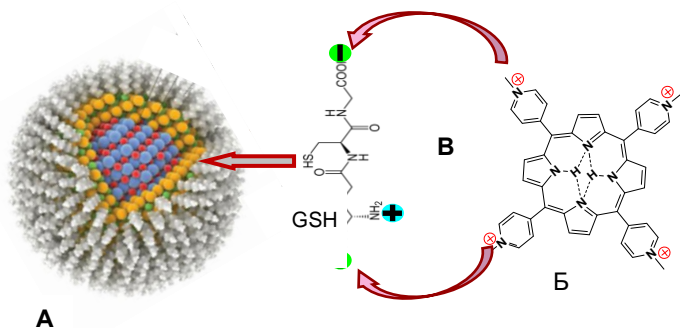


Рис. 2. Квантово-химическая 3D модель формирования наноансамблей КТ-Порфирин (А, расчеты методом ММ<sup>+</sup>), изменения спектров поглощения (Б), и тушение фотолуминесценции КТ AIS/ZnS/GSH (В,  $\lambda_{возб} = 380$  нм) при возрастании молярного отношения  $x = [H_2P^{4+}]/[КТ]$  в воде при pH 7.5 и T = 298 К.

Спектрально-кинетическим методами (стационарная и пикосекундная лазерная спектроскопия, АСМ) в сочетании с теоретическими расчетами установлена принципиальная роль конкурирующих интерфейсных физико-химических процессов на поверхности КТ, определяющих механизмы, пути и эффективности релаксации экситонного возбуждения в гетерогенных нанобъектах в условиях квантового ограничения.

В наноконструкциях AIS/ZnS/GSH КТ - Порфирин нерезонансные безызлучательные процессы экситонной релаксации квантовых точек обусловлены формированием поверхностных состояний различной природы. Совокупность полученных результатов показывает, что в рамках рассматриваемой модели формирования наноконструкций КТ-Порфирин (1:1) рассчитанная вероятность безызлучательного переноса энергии от AIS/ZnS/GSH→Порфирин КТ, близко расположенный параллельно свободной SH-плоскости квантовой точки, происходит с вероятностью  $k_{DA} = 36.2 \times 10^{10} \text{ с}^{-1}$ . Установлено, что эффективность нерезонансного тушения фотолюминесценции КТ в наноконструкциях носит квантово-размерный характер и существенно уменьшается при возрастании полярности окружения. Обнаруженные закономерности тушения ФЛ наноконструкций «КТ-краситель» хорошо коррелируют с зависимостями времен мерцания интенсивности ФЛ одиночных квантовых точек при изменении диэлектрической проницаемости среды.

Основные результаты исследований получены в рамках кооперации с немецкими, украинскими и российскими учеными и носят пионерский характер.

Финансовая поддержка работы: ГПНИ 6916471 «Фотоника и электроника для инноваций» на 2021-2025 г.г., НИР 3 (Беларусь); грант РФФИ № 18-53-00035 (Россия-Беларусь), DFG Grant ZA 146/45-1 (Германия), Грант Президента РБ в науке (2020 г.).

### *Литература*

1. Marcello La Rosa, Emily H. Payne, Alberto Credi. Semiconductor Quantum Dots as Components of Photoactive Supramolecular Architectures // Chemistry Open. – 2020. - 9(2). – P.200–213.
2. Zenkevich E., Von Borczyskowski C. Self-Assembled Organic-Inorganic Nanostructures: Optics and Dynamics. – 2016. - Pan Stanford Publishing Pte. Ltd. - 408 p.