

обмен между растворенными компонентами композита, сопровождающийся массовой кристаллизацией наночастиц бемита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукс, А.Л. Анализ основных расчетных и экспериментальных теплофизических характеристик аммиачных тепловых труб повышенной тепловой проводимости из алюминиевых сплавов / А.Л. Лукс, А.Г. Матвеев // Вестник СамГУ. – Естественная серия. – 2008. – № 3 (62). – С. 331–357.

2. Жданок, С.А. Использование тепло- и массообменных технологий в системах терморегулирования космических аппаратов / С.А. Жданок [и др.] // Информатика. Материалы и технологии для космических аппаратов. – 2007. – № 3. – С. 34–40.

3. Романенков, В.Е. Формирование капиллярной структуры тепловой трубы в виде тонкого слоя из порошка алюминия / В.Е. Романенков, Е.Е. Петюшик, Н.А. Афанасьева // Материалы докладов Международного симпозиума / 12-я международная выставка «Порошковая металлургия – 2009», 8-я международная специализированная выставка «Сварка и резка – 2009». – Минск, 2009. – Ч. 2. – С.134–138

4. Киевский научно-технологический центр «Алюминиевые тепловые трубы» – Режим доступа: [http://lab-
hp.kiev.ua/aluminievye_profilii.shtml](http://lab-hp.kiev.ua/aluminievye_profilii.shtml) – Дата доступа: 28.08.2012.

УДК 535.373 + 539.2 + 541.14

Зенькевич Э.И.¹, фон Борцисковски К.²

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОДИНОЧНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК CdSe/ZnS И ОРГАНИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛ

¹ БНТУ, г. Минск

² Центр наноструктурных материалов и аналитики, Технологический университет, г. Хемниц, Германия

The presented results are based on “bottom-up” approach of the nanotechnology, the emerging multi-disciplinary topic field of science

dealing with the structures of the size ≤ 100 nm or smaller. Here, using novel spatially- and picosecond time-resolved spectroscopic methods, we discuss temporal dynamics and energy relaxation processes for single nanocomposites based semiconductor quantum dots CdSe/ZnS with surfacely attached functional dye molecules (porphyrins and perylene diimides). The obtained results are of interest for applications in nanophotovoltaics and nanosensorics.

Подготовка специалистов, способных проводить научно-образовательную, инженерную и инновационную деятельность в сфере наноиндустрии, является на данный момент одной из основных задач ВУЗов республики. В настоящее время несомненный интерес представляют направленное формирование и исследование нанокompозитов на основе полупроводниковых квантовых точек (КТ) и органических лигандов различных классов, поскольку для таких комплексов оказывается возможным оптимизировать фотоиндуцированные релаксационные процессы в условиях квантового ограничения, определяющие потенциальные применения этих наноматериалов в биомедицине, наносенсорике и молекулярной электронике [1, 2].

Нами разработан метод направленного связывания полупроводниковых КТ CdSe/ZnS (стабилизированных триоктилфосфин оксидом, ТОРО, или аминами, АМ) с молекулами пиридилзамещенных порфиринов (H_2P) и перилен-бисимидов (PBI). Метод основан на эффекте самосборки «снизу-вверх» за счет нековалентных взаимодействий поверхности КТ с «якорными» группами органических лигандов в растворах и пленках [3, 4] (рисунок 1).

Подготовка образцов осуществлялась методом «spin coating» из растворов $C \sim 5 \cdot 10^{-11} M$ на поверхность пластинок Si/SiO₂ (толщина ~ 100 нм) или в пленках полистирола. Динамика и релаксационных энергетических процессов в нанокompозитах КТ-ограниченный лиганд были исследованы методами лазерной конфокальной спектроскопии одиночных центров.

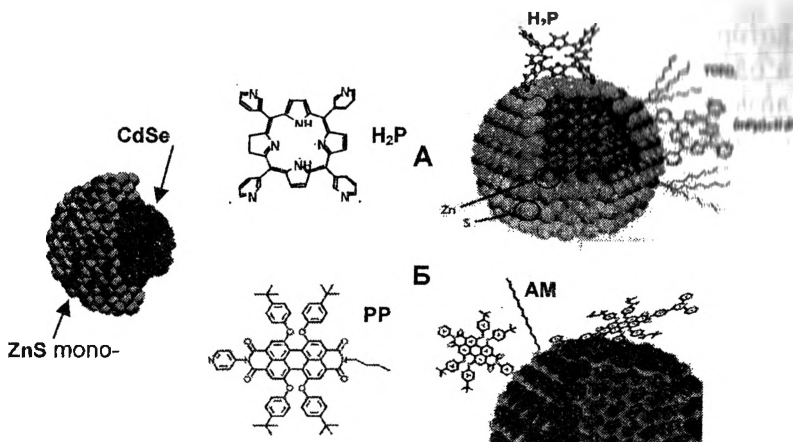


Рисунок 1 – Структура наноконпозитов «КТ-порфирин» (А) и «КТ-перилен-бисимид» (Б) и ориентация молекул красителей на поверхности КТ CdSe/ZnS. Молекулы стабилизаторов: ТОРО – три-*n*-октилфосфин оксид и АМ-амин.

Спектральная визуализация и регистрации свечения отдельных ТОРО-стабилизированных КТ CdSe/ZnS показывает, что мерцание интенсивности КТ реализуется в широком диапазоне времен (от пикосекунд до сотен секунд, рисунок 2) и определяется параметрами электронных состояний КТ, органического лиганда и полярностью окружения. В большинстве случаев вероятности распределения времен “on” “off” состояний $p(\tau)$ подчиняются степенному закону $p(\tau) \sim \tau^{-4}$, а показатели экспонент лежат в диапазоне 1.1÷2.2 с максимумом при ~1.5 с.

В режиме регистрации одиночных центров для наноконпозитов «КТ+порфирин» тушение фотолюминесценции КТ за счет процессов туннелирования электрона в условиях квантового ограничения обнаруживается при сравнительном исследовании статистики мерцаний свечения одиночных наноконпозитов (рис. 3): величины $\langle t_{\text{off}} \rangle = 1.2$ с в наноконпозитах оказываются существенно выше, чем для одиночных КТ, для

которых $\langle t_{\text{off}} \rangle > 0.75$ с. Обнаруженное увеличение времен $\langle t_{\text{off}} \rangle$ в одиночных нанокompозитах «КТ+порфирин» отражает реализацию дополнительных «темных» поверхностных состояний при связывании КТ с молекулами порфиринов.

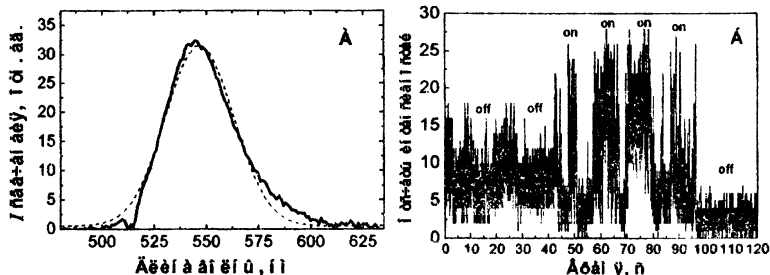


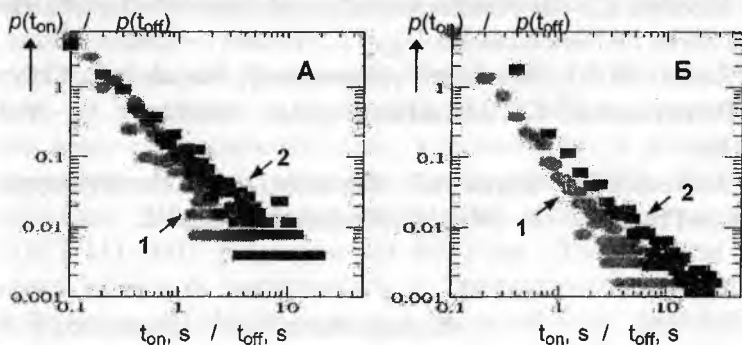
Рисунок 2 – Спектр (А) и статистика мерцаний (Б) интенсивности фотолюминесценции одиночной ТОРО-стабилизированной квантовой точки CdSe/ZnS в пленке полистирола.

Для одиночных нанокompозитов «КТ CdSe/ZnS-AM+перилен-бисимиды» обнаружено, что эффективность тушения свечения КТ (изменение интенсивности и кинетики затухания) варьирует при переходе от одного объекта регистрации к другому. Эти вариации эффективности тушения (которые невозможно обнаружить при регистрации свечения ансамблей) указывают на то, что молекулярная конформация молекул перилен-бисимидов при связывании с поверхностью КТ, а также их ориентация относительно интерфейсного слоя могут быть различными.

В условиях непрерывного лазерного возбуждения в течение 60 с изменение со временем спектра фотолюминесценции одиночной КТ CdSe/ZnS-AM характеризуется слабым гипсохромным сдвигом полосы (рисунок 8А), а свечение нанокompозита «КТ CdSe/ZnS-AM+PP» имеет две полосы: стабильную с $\lambda_{\text{макс}}=600$ нм (принадлежащей PP на поверхности КТ) и коротковолновую с $\lambda_{\text{макс}}=560$ нм, принадлежащую КТ). Спектрально-корреляционный анализ результатов этих измерений

показывает, что присоединение даже одной молекулы PP к поверхности КТ существенно понижает фотостабильность КТ в составе нанокompозита по сравнению с индивидуальной КТ.

Рисунок 3 – Статистика мерцаний свечения одиночных КТ CdSe/ZnS (А) и нанокompозитов «КТ-порфирин» (Б) при ла-



зерном возбуждении $\lambda_{\text{возб}} = 514.5 \text{ нм}$: 1 – времена свечения (on-times, t_{on}), 2 – времена отсутствия свечения (off-times, t_{off}).

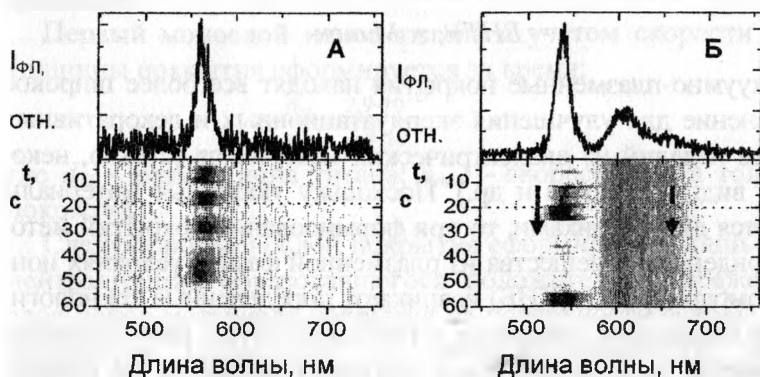


Рисунок 4 – Спектры свечения и их временная трансформация, регистрируемые для одиночных КТ CdSe/ZnS-AM (А) и нанокompозитов «КТ CdSe/ZnS-AM+PP» ($x=1$) при временах наблюдения t от 0 до 60 с ($\lambda_{\text{возб}}=465 \text{ нм}$, $P=0.6 \text{ кВт/см}^2$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Moyano D. F., Goldsmith M., Solfiell D. J., Landesman-Milo D., Miranda O. R., Peer D., Rotello V. M. // *J. Am. Chem. Soc.* – 2012. – V. 134. – P. 3965–3967.
2. Nicolini, C. In *Nanotechnology and Nanobiosciences. Pan Stanford Series on Nanobiotechnology / C. Nicolini*. – 2010. – V. 1.
3. Zenkevich E.I., Blaudeck T., Kowerko D., Stupak A.P., Cichos F., von Borczyskowski C. // *Macroheterocycles*. – 2012. – V. 5. – № 2. – P. 98-114.
4. Zenkevich E.I., Stupak A.P., Kowerko D., von Borczyskowski C. // *Chem. Phys.* – 2012. – DOI:10.1016/j.chemphys.2012.

УДК 621.793

Комаровская В.М., Иващенко С.А.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАГРУЗКИ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ

БНТУ, г. Минск

Вакуумно-плазменные покрытия находят все более широкое применение для улучшения эксплуатационных и декоративных свойств изделий из диэлектрических материалов (стекло, некоторые виды керамики и др.). Поскольку указанные материалы являются диэлектриками, то при формировании покрытий методом конденсации вещества из плазменной фазы в условиях ионной бомбардировки (КИБ) возникают определенные технологические сложности, связанные с необходимостью нейтрализации равномерно заряженного слоя, сформировавшегося на поверхности изделия под воздействием положительных ионов материала катода. Данный эффект влечет за собой снижение производительности процесса, а в ряде случаев и к получению покрытий не удовлетворяющих условиям эксплуатации. В работе [1] было выявлено, что нейтрализация положительных ионов материала катода на поверхности диэлектрической основы осуществляется за счет потенциальной ионно-электронной эмиссии.