

УДК 535.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ AIS/ZNS КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ОТ ИХ АРХИТЕКТУРЫ

Муркина А.Д. (НИУ ИТМО), Дубовик А.Ю. (НИУ ИТМО), Орлова А.О. (НИУ ИТМО)

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, ассистент Колесова Е. П.  
(НИУ ИТМО)

В работе был проведен коллоидный синтез  $\text{AgInS}_2$  (AIS) квантовых точек с  $\text{ZnS}$  оболочкой, с использованием двух разных подходов для наращивания оболочки. В ходе работы были исследованы люминесцентные свойства квантовых точек с разной толщиной оболочки  $\text{ZnS}$ . Продемонстрировано, что на люминесцентные свойства квантовых точек влияет не только толщина оболочки, но и архитектура квантовых точек, которая в свою очередь определяется условиями коллоидного синтеза.

**Введение.** Квантовые точки становятся важным инструментом для различных биомедицинских применений благодаря своим исключительным фотофизическим свойствам. Однако, содержание тяжелых ионов металла в ядре приводит к генотоксичности и разрушению клеточных мембран здоровых клеток, что ограничивает сферу их применений. Например, утечка ионов  $\text{Cd}$  из КТ ( $\text{CdSe}$ ,  $\text{CdS}$ ,  $\text{CdTe}$ ), является основной причиной токсичности квантовых точек этого типа. Решением данной проблемы может стать использование тройных AIS квантовых точек. Они являются менее токсичными по сравнению с бинарными квантовыми точками из-за отсутствия ионов кадмия в ядре. Имеют спектр люминесценции в широкой спектральной области с высоким квантовым выходом люминесценции и длительное время жизни флуоресценции, что определяет их перспективу в биомедицинском применении и дает возможность заменить квантовые точки на основе  $\text{Cd}$  и  $\text{Pb}$ . Для успешного использования AIS квантовых точек необходимо синтезировать квантовые точки с высоким квантовым выходом люминесценции, который будет определять их эффективность как люминофоров для клеточной визуализации, а также в составе гибридных структур где они могут выступать в качестве донора энергии или заряда. Одной из существующих возможностей достижения этой цели является наращивание оболочки с большей шириной запрещенной зоны, в качестве которой может выступать оболочка  $\text{ZnS}$ . Согласно литературе, при пассивации квантовых точек оболочкой  $\text{ZnS}$ , квантовый выход люминесценции увеличивается примерно в 10 раз по сравнению с чистыми ядрами AIS. Именно поэтому, целью данной работы является выявление зависимости люминесцентных свойств квантовых точек от их архитектуры, а именно толщины оболочки  $\text{ZnS}$ .

**Основная часть.** Было проведено два синтеза  $\text{AgInS}_2/\text{ZnS}$  квантовых точек. На первом этапе в обоих случаях происходил синтез AIS квантовых точек, затем происходило наращивание оболочки  $\text{ZnS}$ . При первом синтезе перед наращиванием оболочки было проведено удаление свободных прекурсоров, после чего добавлялись прекурсоры для наращивания  $\text{ZnS}$ . При втором синтезе удаление прекурсоров перед наращиванием оболочки  $\text{ZnS}$  не проводилось. В обоих случаях отбирались образцы на разных стадиях синтеза, что позволяло исследовать зависимость оптических свойств от толщины оболочки. Так, были получены растворы квантовых точек с различной архитектурой. Стационарные оптические свойства исследовались с помощью спектрофотометра UVProbe 3600 (Shimadzu) и спектрофлуориметра Cary Eclipse (Cary), кинетика затухания фотолюминесценции исследовалась с помощью микроскопа MicroTime 100 (PicoQuant). Архитектура квантовых точек исследовалась при помощи сканирующего электронного микроскопа Merlin (Zeiss) и анализатора Zetasizer nano ZS (Malvern). Анализ полученных данных показал, что при увеличении времени синтеза происходит увеличение размера квантовых точек, однако

скорость этого процесса носит нелинейный характер и динамика наращивания оболочки отличается при использовании двух разных подходов для синтеза. Анализ люминесцентных свойств КТ показал, что при наращивании оболочки ZnS замечено увеличение квантового выхода люминесценции в два раза, которое сопровождается сдвигом спектров люминесценции в коротковолновую область. Следует отметить, что подобные изменения наблюдаются только для второго подхода к синтезу квантовых точек, при первом синтезе не наблюдается существенных изменений в спектрах люминесценции квантовых точек при наращивании оболочки. Такое отличие дает предположить, что во втором случае происходит наращивание аллоидной оболочки градиентного химического состава, так как на начальном этапе наращивания оболочки в колбе присутствуют прекурсоры как ядер AIS, так и оболочки ZnS. В этом случае наращивание оболочки ZnS сопровождается увеличением средневзвешенного времени затухания люминесценции квантовых точек примерно в 2 раза (с 231 нс, до 422 нс).

**Выводы.** Было проведено сравнение изменения люминесцентных свойств AIS/ZnS квантовых точек при наращивании оболочки двумя различными методиками. Продемонстрировано, что не только толщина оболочки, но и методика ее наращивания оказывает существенное влияние на оптические свойства квантовых точек. Так, по нашему мнению, только в случае наращивания аллоидной оболочки происходит двукратное увеличение квантового выхода люминесценции, которое сопровождается сдвигом спектров в коротковолновую область. В дальнейшем будут проанализированы времяразрешенные спектры люминесценции квантовых точек, что позволит установить природу широкой полосы люминесценции тройных квантовых точек.

Муркина А.Д. (автор)

Подпись

Колесова Е. П. (научный руководитель)

Подпись