

УДК 57.086.8:57.043

ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФЛЮОРЕСЦЕНЦИИ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК НА ОСНОВЕ InP/ZnS ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С КЛЕТКАМИ

© 2020 г. И. К. Литвинов^{1, *}, Т. Н. Беляева¹, Е. А. Леонтьева¹, А. О. Орлова², Е. С. Корнилова^{1, 3}

¹Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, 194064 Россия

²Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, 197101 Россия

³Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, 195251 Россия

*E-mail: lik314@mail.ru

Поступила в редакцию 20.02.2020 г.

После доработки 05.03.2020 г.

Принята к публикации 10.03.2020 г.

Полупроводниковые квантовые точки (КТ), благодаря своим уникальным спектрально-люминесцентным свойствам, привлекательны для визуализации биологических объектов в биологических и медицинских исследованиях. Основными способами регистрации люминесцентных КТ в клетках являются различные виды сканирующей микроскопии. Важно заметить, что в процессе использования КТ попадают в различное внеклеточное и внутриклеточное окружение, которое может повлиять на целостность поверхности КТ и, как следствие, на его фотофизические характеристики. В связи с этим нами были исследованы изменения характеристик сигналов люминесценции нетаргетных КТ на основе InP/ZnS, покрытых ПЭГ, имеющим СООН-группы, при применении которых возможно снижение рисков токсических эффектов в процессе биологических и медицинских исследований. В ходе работы было показано, что исследуемые КТ накапливаются в культивируемых клетках линии A549. Анализ фотофизических свойств КТ показал их различия внутри и вне клеток. Так, средняя интенсивность КТ в эндосомах была ниже, чем интенсивность кластеров вне клеток, что может объясняться более низкой концентрацией КТ во внутриклеточных кластерах. Однако и время жизни люминесценции КТ в кластерах, не зависящее от концентрации, также было ниже на 5–10 нс. Анализ раствора КТ показал, что снижение квантового выхода и времени жизни люминесценции КТ наблюдается в растворе со значением pH 4.0, но не наблюдается в диапазоне pH 7.4–8.0. В таких растворах не выявлено также и процесса существенного формирования агрегатов КТ. В связи с этим, изменения фотофизических свойств КТ при взаимодействиях с клетками можно связать с попаданием в эндосомы с пониженным значением pH. Таким образом, анализ времени жизни люминесценции КТ позволяет получить более полную информацию о состоянии КТ, нежели интенсивность люминесценции, как в случае использования флуоресцентной микроскопии. Наши результаты важны для адекватной интерпретации данных, касающихся как вопросов эффективности поглощения КТ, так и анализа свойств внутриклеточных компартментов, в которых накапливаются КТ.

Ключевые слова: квантовые точки InP/ZnS, интенсивность люминесценции, FLIM, время жизни люминесценции, эндосомы, pH, клетки A549

DOI: 10.31857/S004137712006005X

Использование полупроводниковых квантовых точек (КТ) для визуализации биологических объектов является относительно новой областью исследований. Уникальность КТ определяется такими их свойствами как широкий спектр поглощения, узкие спектры люминесценции, зависимость от размера полупроводникового ядра КТ, большой Стоксов сдвиг. Привлекательна также высокая фотостабильность

КТ, дающая возможность проводить относительно длительные прижизненные наблюдения.

КТ могут быть получены из соединений элементов II–VI, III–V или IV–VI групп периодической системы химических элементов. Для биологических исследований чаще всего используются КТ типа ядро–оболочка. Ядра КТ обычно состоят из CdSe, CdTe, InP и т.п. Обычно в качестве оболочки используется ZnS. Размеры таких наночастиц, определяющие длину волны флуоресценции, находятся в пределах 2–9 нм. Поскольку синтез КТ в основном проводится в гидрофобной среде, для обеспечения биосовместимости КТ покрывают слоем амфифильного соеди-

Принятые сокращения: КТ-InP – квантовые точки на основе InP/ZnS, покрытые полиэтиленгликолем, имеющим СООН-группы; ПЭГ – полиэтиленгликоль.