

УДК 535.34, 535.37

ПОСТСИНТЕТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОЛИМЕРАМИ УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК ИЗ ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ И ЭТИЛЕНДИАМИНА

Мирущенко М.Д. (Университет ИТМО), Косолапова К.Д. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Ушакова Е.В.

(Университет ИТМО)

Введение. Углеродные точки (УТ) представляют собой новый класс наноструктур с уникальными свойствами, такими как высокая фотостабильность, химическая инертность, оптическое поглощение и высокая биосовместимость [1].

Целью настоящего исследования было изучение изменений морфологии, оптических свойств и энергетической структуры УТ при химической модификации их поверхности с помощью постсинтетической обработки различными полимерами, а также при вариации методов синтеза растворов функционализированных УТ.

Основная часть. В качестве объектов исследования выступали образцы УТ, синтезированные гидротермальным способом с использованием лимонной кислоты и этилендиамина в соотношении 1:0,33. Для модификации химического состава поверхности УТ использовали такие полимеры, как полиэтиленгликоль (PEG) и поливинилпирролидон (PVP). Были рассмотрены три метода синтеза с использованием полимеров: метод seed-growth [2], метод one-pot [3] и перемешивание на магнитной мешалке при нагреве до 60 °С.

Оптические свойства были исследованы спектроскопическими методами – абсорбционной и люминесцентной спектроскопией. Морфология УТ была исследована методами атомно-силовой микроскопии, инфракрасной Фурье-спектроскопии, ультрафиолетовой и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии.

Оптические измерения показали, что образцы, полученные методом seed-growth, имеют самый низкий квантовый выход (КВ) фотолюминесценции (ФЛ) и низкую интенсивность ФЛ из-за высокой степени полимеризации, также центры поглощения таких растворов смещаются в коротковолновую область. Образец УТ с добавлением полимера PEG, полученный методом one-pot, показал лучшие оптические характеристики – КВ ФЛ увеличился с 69% до 83%, при этом этот образец имеет те же оптические центры, что и стоковый раствор этих УТ. Анализ морфологии показал, что на поверхности УТ образуются amino-, amido- и карбонильные функциональные группы. Исследование энергетической структуры УТ показало, что полимер PEG в синтезе one-pot не влияет на энергетическую структуру УТ и их морфологию. То есть, введение полимера PEG в процесс one-pot синтеза приводит к образованию сложных эфиров с карбонильными группами, снижению поверхностного натяжения и увеличению вязкости реакционной массы. Это, в свою очередь, и приводит к увеличению КВ ФЛ углеродных точек без изменения их морфологии, энергетической структуры и, следовательно, основных максимумов поглощения и ФЛ. Обработка УТ полимером PVP методом one-pot приводит к образованию только одного оптического центра, который соответствует *n-π* переходу. Добавка в виде PVP при перемешивании на магнитной мешалке сдвигает уровень наивысшей занятой молекулярной орбитали (НОМО) в область меньших энергий из-за высокой степени карбонизации и низкого содержания кислорода в данном образце.

Выводы. В результате работы было установлено, что постсинтетическая обработка полимерами может быть эффективным способом улучшения оптических свойств углеродных точек. Кроме того, они могут привести к изменению некоторых физических свойств, таких как поверхностное натяжение и вязкость, что может быть полезным при создании новых функциональных материалов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Федеральной программы академического лидерства «Приоритет 2030» и в рамках гранта НИРМА ФТ МФ Университета ИТМО. Исследования РФС и УФС проводились при финансовой поддержке Санкт-Петербургского государственного университета (проект № 93021679).

Список использованных источников:

1. Li D., Ushakova E.V., Rogach A.L., Qu S. Optical Properties of Carbon Dots in the Deep-Red to Near-Infrared Region Are Attractive for Biomedical Applications // *Small*. - 2021. - Vol. 17, № 43. - P. 2102325.
2. Zhu J., Bai X., Chen X., Shao H., Zhai Y., Pan G., Zhang H., Ushakova E.V., Zhang Y., Song H., Rogach A.L. Spectrally Tunable Solid State Fluorescence and Room-Temperature Phosphorescence of Carbon Dots Synthesized via Seeded Growth Method // *Advanced Optical Materials*. - 2019. - Vol. 7, № 9. - P. 1801599.
3. Yang L., Jiang W., Qiu L., Jiang X., Zuo D., Wang D., Yang L. One pot synthesis of highly luminescent polyethylene glycol anchored carbon dots functionalized with a nuclear localization signal peptide for cell nucleus imaging // *Nanoscale*. - 2015. - Vol. 7, № 14. - P. 6104-6113.