Этапы синтеза сверхъярких углеродных точек из лимонной кислоты и этилендиамина: ИК-спектроскопия

Вервальд А.М. [1] , *Лаптинский К.А.* [1,2] , *Хмелева М.Ю.* [1] , *Доленко Т.А.* [1]

alexey.vervald@physics.msu.ru
[1] Физический факультет, МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия
[2] НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Углеродные точки (УТ), синтезируемые гидротермальным методом из лимонной кислоты (ЛК) и этилендиамина (ЭДА), способны обладать сверхъяркой фотолюминесценцией с квантовым выходом ~100% [1-2]. Последние исследования позволяют предположить, что такой высокий квантовый выход обеспечен однотипными высокоэффективными молекулярными люминофорами, инкорпорированными в полимерный углеродный каркас УТ [1]. Однако квантовый выход УТ существенно зависит от температуры и времени синтеза, от использованного соотношения прекурсоров. Для объяснения таких зависимостей требуется понимание химических изменений в растворе прекурсоров в процессе синтеза УТ, выяснение его этапов и граничных условий.

В рамках данной работы было синтезировано несколько серий различных углеродных точек из лимонной кислоты и этилендиамина при плавно меняющихся параметрах синтеза – температуре и времени синтеза в диапазонах 80–200 °C и 0.5–6 ч, и соотношении прекурсоров ЭДА:ЛК 0–20:1. Для выяснения характеристик люминофоров в процессе синтеза УТ для каждой частицы были получены спектры оптического поглощения и спектры люминесценции, для выяснения химических изменений в синтезируемых частицах – спектры ИК поглощения. Был рассчитан квантовый выход люминесценции, который изменялся от единиц до более 95%. Вместе с изменением интенсивности фотолюминесценции УТ наблюдалось монотонное изменение интенсивности полос в спектрах ИК поглощения этих наночастиц.

Обнаружено, что сразу при смешивании в воде ЛК и ЭДА еще до начала гидротермального синтеза происходит первый этап: полимеризация прекурсоров. В процессе же синтеза, эффективность которого одинаково растёт с увеличением температуры или времени синтеза, удалось выделить три этапа: начало синтеза люминофоров, этап активной карбонизации УТ с сопутствующим ростом количества синтезированных люминофоров, продолжение карбонизации, ведущее к постепенному разрушению люминофоров. Изменение соотношения прекурсоров ЭДА:ЛК сдвигает оптимальные температуру/время синтеза и ограничивает максимально возможное количество синтезируемых люминофоров, однако не влияет принципиально на обнаруженные этапы синтеза. Таким образом, спектроскопия ИК поглощения обеспечивает успешное решение задачи определения оптимальных условий синтеза наночастиц с высоким квантовым выходом люминесценции.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-72-01042, https://rscf.ru/project/23-72-01042/

Ссылки

1. M. Zhang, X. Long, Y. Ma, S. Wu, Opt. Mater. (2023) **135**, 113311.
2. D. Qu, M. Zheng, L. Zhang, H. Zhao, Z. Xie, X. Jing, R.E. Haddad, H. Fan, Z. Sun, Sci. Rep. (2014) **4**, 1.