Синтез в плазменных струях: от углеродных волокон до квантовых точек

1Шавелкина М.Б., 1Амиров Р.Х., 2Колобылина Н.Н., 3Шаталова Т.Б.

1Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва, Россия,
 mshavelkina@gmail.com
2Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", г. Москва,
 Россия, kolobylina@gmail.com
3Химический факультет Московского государственного университета имени
 М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, shatalovatb@gmail.com

В настоящее время для синтеза углеродных наноматериалов применяются разнообразные плазменные установки, в которых реализуются термические и плазмохимические процессы. Хорошо зарекомендовавшие себя в лабораторных исследованиях способы получения, например, фуллеренов, нанотрубок, основанные на использовании электрической дуги и лазерного испарения, имеют целый ряд недостатков, которые приводят к невысокой производительностью процесса. По сравнению с этими методами преимуществом применения плазменной струи является отсутствие температурных ограничений, протекание реакции вдали от равновесия, высокая скорость нуклеации новой фазы при малой скорости ее роста, выбор места и скорости закалки продуктов реакции, варьирование скорости охлаждения потока плазмы, что позволяет управлять производительностью синтеза и получать порошки с заданными составом, формой и размером наночастиц.

В данной работе приведены основные результаты по исследованию оптимальных условий синтеза углеродных наноматериалов в плазмоструйном реакторе, подробное описание которого приведено в работах [1 – 3]. Для генерирования плазменных струй используется плазмотрон постоянного тока с расширяющимся каналом выходного электрода - анода и вихревой стабилизацией плазменной струи. В качестве плазмообразующих газов используются азот, гелий и аргон. В качестве прекурсора углерода применены твердые (сажа с катализаторами), жидкие (этанол) и газообразные (пропан-бутан) компоненты. Серией экспериментов определены параметры плазмотрона (ток 200 – 400 А, расход плазмообразующего газа – 0,75 – 3,0 г/с), при которых вольт-амперные характеристики плазмотрона имеют возрастающий характер. Температура в области коллектора продуктов синтеза (400 – 1000 ºС) варьируется его геометрией (от цилиндра до конуса), а контролируется с помощью термопар.

Продукты синтеза характеризовались методами электронной спектроскопии, термического анализа, спектроскопией комбинационного рассеяния света, ИК- спектроскопией, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией.

Установлено, что при пиролизе сажи в присутствии дисперсных металлических порошков Ni, Co, Y2O3 в струях аргона и гелия синтезируются углеродные нанотрубки диаметром 16 -74 нм, а карбонильного железа – углеродные нановолокна диаметром до 130 нм с массовым содержанием в углеродном депозите до 34%. При конверсии этанола в азотной плазме образуется графен с латеральным размером до 1500 нм. Применение пропан-бутана в струях гелия, аргона и азота позволяет в зависимости от давления в реакторе (350 – 710 Торр) и его расхода (0,1 – 0,3 г/с) синтезировать углеродные волокна, графен, гидрированный графен и N-графен с массовым содержанием до 90%, а также квантовые точки размером до 5 нм.

Работа выполнена при поддержке грантами РФФИ №18-08-00306 и №18-08-00040.

Литература

1. Шавелкина М.Б., Амиров Р.Х., Шаталова Т.Б., Катаржис В.А. Письма в ЖТФ, 2018, 22, 42.
2. Шавелкина М.Б., Амиров Р.Х., Шаталова Т.Б. Химия высоких энергий, 2018, 52, 4, 326.
3. Shavelkina M.B., Amirov R. Kh., Shatalova Т.B. J Phys Conf Ser, 2017, 857, 012040.