

Закономерности процессов образования гибридных супрамолекулярных комплексов наноуглерод-носитель в CVD процессе

Прудченко А.П.¹, Полякова О.Ю.¹, Протасевич Ю.С.¹

prudchenko.a@yandex.ru

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт физико-органической химии и углехимии им.Л.М.Литвиненко», Донецк, Россия

Исследование закономерностей процесса осаждения углерода из газовой фазы (CVD) на различных носителях важно не только для понимания механизма образования наноуглерода (НУ) и графита (НГ), как продуктов некаталитического пути синтеза углерода в CVD процессе, но и для прогнозирования результатов каталитического (CCVD) процесса синтеза углеродных нанотрубок (УНТ) с использованием металлоорганических катализаторов, нанесенных на те же носители. Проблема заключается в том, что в CCVD процессе практически никогда не удается исключить вклад некаталитического потока и образования нецелевого продукта. Это связано с тем, что всегда существует возможность прямого взаимодействия носитель-прекурсор углерода (углеводород). В этой связи, безусловно, изучение механизмов образования углеродных наноматериалов (УНМ) – НУ, УНТ и гибридных супрамолекулярных комплексов с их участием в CVD процессе является актуальной задачей. Исследование процесса синтеза УНМ с использованием различных носителей привело к установлению того факта, что первичное накопление углерода происходит в результате образования гибридного углерод-минерального комплекса в виде твердого раствора внедрения углерод-носитель (CaCO_3 , CaO , MgO , NaCl) в условиях определенных пространственных ограничений, задаваемых структурой кристаллической решетки носителя. При этом появляется множество дефектов структуры, активных сайтов с повышенной поверхностной энергией, создаются условия для процессов дегидрогенизации и поликонденсации. Углерод (до 50% по весу), при этом, находится в рентгеноаморфном состоянии. Разрушение таких комплексов, являющихся, по сути, диссипативными структурами, приводит к образованию отличающихся по морфологии УНМ с различной степенью упорядоченности. Структурирование УНМ протекает как в процессе спонтанной самосборки в объеме кристаллической решетки и после выхода из нее, так и путем сборки по типу «подобное на подобном», когда носитель является своеобразной матрицей или клише, задающей конечную структуру углеродного продукта. В частности, образование супрамолекулярных структур НУ-НУ и УНТ-НУ характерно для процессов с использованием углеродных носителей. Выявленные закономерности CVD синтеза УНМ с использованием различных носителей и параметров процесса позволяют, с известной долей вероятности, прогнозировать качественный состав продуктов, как некаталитического, так и каталитического пути процесса. Из полученных данных следует, что, при прочих равных условиях, в каталитическом CVD процессе синтеза УНТ увеличить селективность процесса, избежать накопления нежелательных примесей НУ в виде нетубулярных структур возможно только при снижении его температуры и длительности.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, бюджетная тема FRES-2026-0015: «Получение и анализ супрамолекулярных и легированных углеродных структур с промышленно полезными свойствами».