

## **Малослойный графен: получение методом СВС, морфометрия, свойства и применения**

*Возняковский А.П.*<sup>1</sup>

*voznar@mail.ru*

<sup>1</sup> НИИ синтетического каучука

В настоящее время убедительно показано, что новая аллотропная форма углерода — графен может быть эффективно использована во многих областях науки и практики. Однако сложность методик синтеза, и, особенно, их невысокая производительность обуславливает чрезмерно высокую стоимость графена и, соответственно, ограничивает возможности его применения. В настоящее время показано, что, во многих случаях практического материаловедения графен может быть заменен на малослойный графен, МГ (few layered graphene, FLG), под которым понимают стек 2-5 частиц графена.

Однако классификация частиц МГ, основанная только на числе графеновых слоев в стеке, не учитывает особенности морфометрических параметров, образующих их графенов. Так, исходя из определения, частица МГ может быть сформирована как, собственно, графеном, так и, равновероятно, оксидом графена, восстановленным оксидом графена. При этом графены, в свою очередь могут различаться природой и концентрацией терминальных групп, дефектностью и природой дефектности (вакансионные дефекты, дефекты Стоуна-Уэлса) и/или их сочетанием. Соответственно, как и любая частица, отдельно выделенный лист графена обладает уникальными параметрами. Однако каждый конечный ансамбль частиц, нивелируя свойства отдельной частицы, имеет собственный комплекс свойств, присущих именно этому ансамблю. Соответственно, можно утверждать, что параметры каждого конкретного образца МГ и, соответственно, конкретная область его применения зависят от предыстории его получения (прекурсора, методики синтеза).

В настоящее время — как показывает анализ литературы, — несмотря на разнообразие как прекурсоров, так и методик получения МГ основным методом получения МГ являются разнообразные варианты метода Хаммерса, основанные на получении МГ окислением природного графита. Спецификой получения МГ этим методом является необходимость использования большого количества агрессивных реагентов, что не отвечает современным жестким экологическим требованиям. При этом стоит отметить, что синтезированный МГ, сформирован листами оксида графена, что часто не уточняют.

Нами разработана методика получения МГ, основанная на карбонизации в условиях процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) биополимеров циклического строения, используемых в методике в качестве прекурсоров. Разработанная нами методика относится к процессам «снизу-вверх», то есть, основана на последовательных процессах термолитического прекурсора до неких примитивов и самоорганизации сформированных примитивов до 2D графеновых структур — МГ. Нами показано, что получаемые по разработанной методике МГ (число графеновых слоев в стеке частицы — 2-5) малодефектны — практически отсутствуют кристаллографические дефекты Стоуна-Уэлса. Это позволяет надеяться, что полученные нами МГ во многих случаях успешно могут заменять графен. Так нами продемонстрировано, что синтезируемый нами МГ успешно применяется в качестве компонента лазерных детонаторов, компонента пиротехнических зарядов, подложки нанокатализаторов, сорбента органических токсинов, сорбента радионуклидов, компонента высокоэффективных биопрепаратов для очистки почвы от разлива нефтепродуктов, компонента полимерных нанокомпозитов. Поиск областей применения продолжается.

*Работа поддержана грантом РФФИ №23-79-10254.*