

Эффективная очистка оксидов графена как ключевой этап получения воспроизводимого материала

Мухеев И.В.¹, Кошлань В.В.¹, Попов С.П.¹, Проскурнин М.А.¹

mikheev.ivan@gmail.com

¹ МГУ имени М.В.Ломоносова, Химический факультет, Москва, Россия

Графеноподобные двумерные материалы, и прежде всего оксид графена (ОГ), в последние годы привлекают значительное внимание благодаря сочетанию развитой поверхности, диспергируемости в воде, наличия кислородсодержащих функциональных групп и возможности направленной химической модификации, что делает их перспективными для производства мембран, композитов с заданными свойствами, и биомедицинских применений. Вместе с тем практическое использование ОГ по-прежнему ограничено существенной вариабельностью его состава и морфологии, зависящей от условий синтеза, степени окисленности продукта C/O, латеральных размеров, числа слоев и наличия остаточных примесей как органической (окислительный мусор, oxidative debris), так и неорганической природы.

Показано, что даже коммерчески доступные образцы ОГ могут заметно различаться по содержанию неорганических загрязнителей, уровню дефектности, а также реальным структурным характеристикам, что затрудняет сопоставление результатов разных исследований и снижает воспроизводимость свойств материалов. В связи с этим одной из ключевых задач современной аналитической химии и материаловедения является разработка подходов к стандартизации, эффективной очистке и надежному контролю качества ОГ, позволяющих получать материалы с предсказуемыми характеристиками и целевыми функциональными свойствами. Масштабные исследования коммерческих образцов ОГ выявили колоссальный разброс по толщине и размерам, содержанию кислорода и металлов (до нескольких масс.% Mn, Na, K и др.), стабильности дисперсий и способности образовывать однородные плёнки, при этом лишь небольшая доля продуктов удовлетворяет жёстким критериям качества. Это стимулировало разработку подходов к классификации и стандартизации ОГ, основанных на квазистандартизированных протоколах пробоподготовки, высокопроизводительной постсинтетической характеристике и кластерном анализе, а также создание специализированных схем очистки (диффузионный диализ, кросс-поточная фильтрация, гибридные тангенциально-поточной фильтрации-диализ-системы), позволяющих существенно снизить уровень ионных загрязнений с сохранением морфологии листов. В совокупности эти работы демонстрируют необходимость не только контроля синтетических параметров, но и последующей глубокой очистки и метрологически обоснованной оценки свойств ОГ как обязательного условия получения материалов с воспроизводимыми и предсказуемыми характеристиками.

В работе будут представлены развернутые и систематизированные данные по подходам к глубокой очистке водных дисперсий оксидов графена от ионных и молекулярных примесей, включая побочные продукты окисления и остаточные неорганические катионы, критичные для воспроизводимости их физико-химических и биоаналитических свойств. Особое внимание будет уделено параметрам очищенных дисперсий с использованием (ИСП-АЭС) для определения следовых содержаний металлов и инфракрасной спектроскопии для анализа профиля кислородсодержащих функциональных групп. Показано, что сочетание указанных методов позволяет не только оценивать эффективность различных схем очистки, но и целенаправленно подбирать условия пробоподготовки ОГ для их применения в биохимически значимых хемилюминесцентных системах.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ 24-73-10012.