

**Направление конкурса:** Химические науки

**Тип работы:** работа молодого учёного

**Название работы:** Исследование кинетики восстановления кислорода на графеновых электродах в апротонных средах

**Автор:** Иноземцева Алина Игоревна

**Вклад в работу:** Автором проведен комплексный анализ влияния различных факторов (природа подложки, наличие кислородных групп) на кинетику восстановления кислорода в апротонной среде на графеновых электродах. Творческий вклад автора заключается в разработке подхода к исследованию электрохимических свойств графена, заключающийся в переносе графена на электрохимически инертную подложку, что позволило исключить влияние металлической подложки на наблюдаемые результаты. Также, автором проведены уникальные эксперименты с использованием синхротронного излучения для *in situ* анализа поверхности графена в ходе электрохимических процессов, что позволило получить новые данные о механизме восстановления кислорода на углеродных электродах.

#### **Аннотация**

Данный цикл работ посвящен исследованию кинетики восстановления кислорода на углеродных электродах в апротонных средах, что особенно актуально для разработки металл-кислородных (в частности, литий-кислородных) источников тока с высокой удельной энергией. Оригинальность проведенных исследований заключается в использовании в качестве модельных углеродных электродов однослойного графена, выращенного методом химического газофазного осаждения. Высокое структурное совершенство графеновых электродов и возможность их контролируемой функционализации позволили установить влияние природы металлической подложки и кислородных групп на поверхности графена на кинетику восстановления кислорода в апротонной среде, в том числе в присутствии ионов лития.

Для исследования электрохимических свойств графена без влияния металлической подложки был предложен нестандартный подход, заключающийся в переносе слоя графена на электрохимически инертную алюминиевую фольгу. Исследование кинетики одноэлектронного восстановления кислорода на графене на различных подложках продемонстрировало слабую зависимость от природы подложки, что указывает на адиабатический режим протекания процесса. Это поведение нехарактерно для других электрохимических процессов на графеновых электродах, что подчеркивает важность учета режима переноса электронов при разработке графеновых электродов для различных электрохимических приложений, таких как топливные элементы, сенсоры и химические источники тока.

Кроме того, в ходе работы было показано, что функционализация графена кислородными группами практически не влияет на скорость первой стадии восстановления кислорода в отсутствие катионов металлов. Однако в присутствии ионов лития кислородные группы значительно ускоряют вторую стадию переноса электронов с образованием пероксида лития, но также способствуют деградации

углеродного электрода в результате его окисления промежуточным продуктом — надпероксидом лития — с образованием карбонатных соединений. Атомная толщина графенового слоя позволила установить продукты окисления графена с помощью уникальной методики спектроскопических исследований с использованием поверхностного метода анализа — рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии — на синхротронном излучении. Модельные твердотельные литий-кислородные электрохимические ячейки с графеновым электродом разряжали в камере фотоэлектронного спектрометра и наблюдали изменения химического состава поверхности графена непосредственно в ходе восстановления кислорода.

Это исследование подчеркивает двойственную роль кислородных групп в восстановлении кислорода в присутствии ионов лития: с одной стороны, они улучшают каталитическую активность, а с другой — способствуют окислению углеродного электрода. Таким образом, количество кислородных групп на поверхности углеродных электродов должно тщательно учитываться и оптимизироваться для достижения баланса между каталитической активностью и стабильностью электрода.