**Синтез и функциональные свойства композитов на основе неграфитизируемого углерода для натрий-ионных аккумуляторов**

Лакиенко Г.П.\*, Бобылёва З.В.\*, Дрожжин О.А.\*\*,\*\*\*

*\* Факультет наук о материалах МГУ имени М.В. Ломоносова,*

119991, Москва, Россия, e-mail bojk25@gmail.com

*\*\* Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,*

*119991, Москва, Россия*

*\*\*\* Центр энергетических наук и технологий, Сколковский институт науки и технологий, 143026, Москва, Московская обл., Россия*

Натрий-ионные аккумуляторы (НИА) являются перспективой заменой литий-ионных аккумуляторов (ЛИА). Это связано с более широкой распространенностью натрия в земной коре по сравнению с литием, а также с низкой стоимостью натрий-содержащих прекурсоров для синтеза катодных материалов [1]. Ключевая проблема при коммерциализации технологии для получения натрий-ионных аккумуляторов состоит в поиске электродных материалов с удовлетворительными электрохимическими характеристиками.

Графит, промышленно применяющийся как анодный материал в литий-ионных аккумуляторах, не подходит для НИА, так как ионы натрия практически не интеркалируется в межслоевое пространство графита. Для анодов НИА используют материалы на основе “твердого” углерода (hard carbon), в структуре которого присутствуют разупорядоченные графеноподобные слои. Такой материал, как правило, имеет большую удельную площадь поверхности, на которой при первом цикле зарядки аккумулятора происходит образование пассивирующего слоя (Solid Electrolyte Interphase – SEI), что приводит к уменьшению кулоновской эффективности на первом цикле [2]. Для снижения необратимых потерь емкости в ходе циклирования аккумулятора, необходимо снизить удельную поверхность, доступную для разложения электролита. Одним из путей решения этой проблемы является получение композита на основе «твёрдого» углерода и так называемого «мягкого» графитизируемого углерода [3].

Для получения частиц “твердого” углерода малого размера проводилась карбонизация D-глюкозы в гидротермальном реакторе с последующим отжигом в печи в инертной атмосфере. Первая часть работы посвящена оптимизации условий синтеза «жесткого» углерода гидротермальным способом при варьировании нескольких параметров синтеза, таких как температура, начальная концентрация, время синтеза. Полученные материалы были исследованы методом растровой электронной микроскопии и электрохимическими методами анализа. Материалы показали разрядную емкость до 270 мАч/г при скорости циклирования C/10 и кулоновскую эффективность на первом цикле до 65% (рис 1, 2, 3).

Рис. 3. Микрофотографии с растрового электронного микроскопа образца с временем синтеза в автоклаве 12 ч

Рис. 2. Зарядная и разрядная емкость и кулоновская эффективность при каждом цикле образца с временем синтеза в автоклаве 12 ч

Рис. 1. Разрядные кривые на первом и десятом цикле образца с временем синтеза в автоклаве 12 ч

 Также была проверена возможность создания композита с полиакрилонитрилом и поливинилпиридином. Материал после гидротермального синтеза смешали с растворами полимеров и провели отжиг в атмосфере аргона. Полученные углерод-углеродные композиты пока что продемонстрировали характеристики, сопоставимые с углеродным материалом без покрытия.

[1] Hwang J. Y., Myung S. T., Sun Y. K. Sodium-ion batteries: present and future //Chemical Society Reviews. – 2017. – Т. 46. – №. 12. – С. 3529-3614.

[2] Saurel D. et al. From Charge Storage Mechanism to Performance: A Roadmap toward High Specific Energy Sodium‐Ion Batteries through Carbon Anode Optimization //Advanced Energy Materials. – 2018. – Т. 8. – №. 17. – С. 1703268.

[3] Xie F. et al. Hard–soft carbon composite anodes with synergistic sodium storage performance //Advanced Functional Materials. – 2019. – Т. 29. – №. 24. – С. 1901072.