Исследование образования дендритов натрия на «твёрдом» углероде как анодном материале для натрий-ионных аккумуляторов

Муравьев Д.В.1, Бобылёва З.В.2, Дрожжин О.А.2

*1 Факультет наук о материалах МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*2 Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*denis2mur@gmail.com*

В настоящее время активно развиваются технологии натрий-ионных аккумуляторов (НИА). Такие аккумуляторы могут стать перспективной заменой повсеместно использующимся литий-ионным аккумуляторам (ЛИА) благодаря низкой себестоимости, что обусловлено широкой распространённостью натрия в природе. В качестве анода в ЛИА используется графит, однако в НИА его использование неэффективно, так как встраивание натрия в структуру графита термодинамически не выгодно, что приводит к низким значениям удельной ёмкости. Заменить привычный графит можно «твёрдым» или неграфитизируемым углеродом (англ. *hard carbon*). Твёрдый углерод – разновидность аморфного углерода, в структуре которого присутствуют разупорядоченные графеноподобные слои, на стыке которых находятся закрытые микропоры. Такой материал отличается высокой ёмкостью (выше 250 мАч/г), высокой кулоновской эффективностью, простотой синтеза и возможностью использования большого количества прекурсоров [1].

Однако существенной проблемой при использовании неграфитизируемого углерода остаётся неравномерное осаждение натрия и образование натриевых дендритов на аноде, что приводит к замыканию и гибели ячейки, представляет серьёзную угрозу безопасности эксплуатации НИА и ограничивает их коммерческое применение. В различных исследованиях было показано, что состав электролита, морфология твёрдого углерода, а также тип используемых сепараторов влияют на стабильность межфазного слоя, образование дендритов и осаждение натрия на твёрдом углероде [2]. Варьирование данных параметров может позволить предотвратить рост дендритов или сделать осаждение равномерным и обратимым, повысив тем самым разрядную ёмкость и кулоновскую эффективность [3].

В настоящей работе изучается рост дендритов на твёрдом углероде различной морфологии и размеров с использованием разных электролитов и сепараторов, варьируя режимы работы. Электрохимические свойства были исследованы с помощью гальваностатического зарядно-разрядного циклирования в полуячейке с металлическим натрием в качестве противоэлектрода. Морфологию образовавшихся дендритов изучали методом сканирующей электронной микроскопии. Было продемонстрировано частичное обратимое осаждение натрия на твёрдом углероде. Так, наилучшие электрохимические свойства достигались на образцах с частицами углерода порядка сотен нанометров. При этом с увеличением плотности тока растёт обратимая ёмкость, тогда как с уменьшением – увеличивается кулоновская эффективность.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 17-73-30006.

Литература:

[1] X. Dou *et al.*, “Hard carbons for sodium-ion batteries: Structure, analysis, sustainability, and electrochemistry,” *Materials Today*, vol. 23. Elsevier B.V., pp. 87–104, Mar. 01, 2019. doi: 10.1016/j.mattod.2018.12.040.

[2] Z. Xu *et al.*, “Homogenous metallic deposition regulated by defect-rich skeletons for sodium metal batteries,” *Energy Environ Sci*, vol. 14, no. 12, pp. 6381–6393, Dec. 2021, doi: 10.1039/d1ee01346g.

[3] D. H. Kim, B. Kang, and H. Lee, “Comparative study of fluoroethylene carbonate and succinic anhydride as electrolyte additive for hard carbon anodes of Na-ion batteries,” *J Power Sources*, vol. 423, pp. 137–143, May 2019, doi: 10.1016/j.jpowsour.2019.03.047.