Исследование электроосаждения натрия на углеродных материалах в натрий-ионных электрохимических ячейках

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

*Студент, 4 курс бакалавриата*

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

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

*E-mail: denis2mur@gmail.com*

Сегодня активно развиваются технологии натрий-ионных аккумуляторов (НИА). НИА могут стать перспективной альтернативой повсеместно использующимся литий-ионным аккумуляторам (ЛИА) благодаря более низкой себестоимости. В качестве анодного материала в ЛИА используется графит, однако в НИА материал отличается низкими значениям удельной ёмкости. Заменить привычный графит можно неграфитизируемым углеродом (англ. *hard carbon*). Неграфитизируемый углерод – это разновидность аморфного углерода, в структуре которого присутствуют разупорядоченные графеноподобные слои, на стыке которых находятся закрытые микропоры. Такой материал характеризуется высокой удельной 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 преждевременное и неравномерное осаждение натрия в виде натриевых дендритов, что приводит к замыканию ячейки и представляет серьёзную угрозу безопасности эксплуатации НИА. Варьируя состав электролита, тип используемого сепаратора и условия электрохимического эксперимента, можно предотвратить рост дендритов и сделать осаждение более равномерным, что станет важным шагом для перехода к так называемой *anode-less* системе [2]. Такая система отличается более высокой удельной ёмкостью у анодного материала за счёт обратимого осаждения щелочного металла на поверхности и меньшей массой, что даёт больший энергетический выигрыш [3].

В настоящей работе изучается процесс электроосаждения натрия на неграфитизируемом углероде различной морфологии, с использованием разных электролитов и сепараторов, варьируя режимы циклирования, для разработки *anode-less* НИА. Электрохимические свойства были исследованы с помощью гальваностатического зарядно-разрядного циклирования и *in situ* спектроскопии импеданса. Морфологию электроосаждённого на электроде натрия изучали методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) с применением рентгеноспектрального микроанализа (РСМА).

Лучшие результаты были достигнуты для образцов неграфитизируемого углерода с микросферической морфологией при добавлении 10% фторэтиленкарбоната в электролит (1 M NaPF6 EC:DEC 1:1). Наибольшая обратимая разрядная ёмкость при электроосаждении натрия составила 830 мАч/г против 300 мАч/г в системе без осаждения, с кулоновской эффективностью первого цикла 85%. Была собрана стабильно работающая полная ячейка с катодным материалом NVP (Na3V2(PO4)3) с более высокими значениями энергоёмкости и рабочего потенциала.

**Литература**

1. Dou X. et al. Hard carbons for sodium-ion batteries: Structure, analysis, sustainability, and electrochemistry // Materials Today. Elsevier B.V., 2019. Vol. 23. P. 87–104.

2. Kim D.H., Kang B., Lee H. Comparative study of fluoroethylene carbonate and succinic anhydride as electrolyte additive for hard carbon anodes of Na-ion batteries // J Power Sources. Elsevier B.V., 2019. Vol. 423. P. 137–143.

3. Xu Z. et al. Homogenous metallic deposition regulated by defect-rich skeletons for sodium metal batteries // Energy Environ Sci. Royal Society of Chemistry, 2021. Vol. 14, № 12. P. 6381–6393.