**Электрохимическое исследование смешанного фосфата натрия и ниобия-хрома со структурой NASICON в качестве анодного материала для натрий-ионных аккумуляторов**

***Зайцева В.В.***

*Студент, 6 курс специалитета*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,*

*химический факультет, Москва, Россия*

*E-mail: vall.eq428@gmail.com*

Рост объемов производства устройств запасания и хранения энергии в настоящее время уже не может быть обеспечен только за счет использования литий-ионных аккумуляторов ввиду ограниченности доступных источников лития. В связи с этим натрий-ионные аккумуляторы являются перспективной альтернативой литий-ионным благодаря низкой стоимости натрия и его распространённости на Земле [1]. В работе предложен новый анодный материал на основе смешанного фосфата натрия и ниобия-хрома со структурой NASICON, который при циклировании в натриевой ячейке демонстрирует способность к обратимой интеркаляции трех ионов натрия на формульную единицу благодаря активации редокс-пар Nb+5/Nb4+/Nb+3 и Cr+3/Cr+2 в интервале потенциалов 0.9-2.5 В отн. Na+/Na. Цель данной работы – структурное и электрохимическое исследование предложенного анодного материала, направленное на улучшение его функциональных свойств.

Синтез образцов проводили с использованием золь-гель метода Печини. По данным рентгенофазового анализа с последующим уточнением структуры методом Ритвельда, полученное соединение со структурным каркасом NASICON (параметры элементарной ячейки: *a* = 8.557(2) Å, *c* = 22.033(3) Å, *V* = 1397.3(5) Å3, пр. гр. *R-3c*) характеризуется отсутствием катионного упорядочения хрома и ниобия. Для проведения электрохимических измерений на поверхности частиц материала создавали углеродное покрытие путем пиролиза полиакрилонитрила [2]. По данным термического анализа, массовая доля углерода в образцах с покрытием варьировалась в пределах 6-13%. Обратимая емкость анодного материала при циклировании в Na-ячейке на скорости 1C составила 146 мАч/г (82% от Cтеор). Данные порошковой рентгеновской дифракции в режиме *ex situ* подтвердили сохранение структурного каркаса NASICON и обратимость электрохимических процессов (де)интеркаляции натрия. Протекание обратимых редокс-переходов Nb+5/Nb4+/Nb+3 и Cr+3/Cr+2 было доказано при помощи спектроскопии XANES (K-линии Cr и Nb) в режиме *ex situ*.

Для повышения циклической устойчивости полученного материала были исследованы различные способы улучшения его проводящих свойств (с использованием полианилина, поли(3,4-этилендиокситиофена), одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ). Так, добавление ОУНТ (2% по массе) позволило снизить вдвое (с 27 до 13%) падение емкости материала после 200 циклов заряда-разряда на скорости 1C.

*Работа выполнена в рамках гранта РНФ №23-13-00071.*

**Литература**

1. Grosjean C., Miranda P., Perrin M., Poggi P. Assessment of world lithium resources and consequences of their geographic distribution on the expected development of the electric vehicle industry // Renewable Sustainable Energy Rev. 2012. 16. 1735–1744.

2. Nazarov E., Tyablikov O., Nikitina V., Antipov E., Fedotov S. Polyacrylonitrile-Derived Carbon Nanocoating for Long-Life High-Power Phosphate Electrodes // Appl. Nano. 2023. 4. 25-37.