**Синтез и исследование анодных материалов для натрий-ионных аккумуляторов на основе смешанного фосфата натрия и ниобия-хрома**

***Зайцева В.В.***

*Студент, 5 курс специалитета*

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

*химический факультет, Москва, Россия*

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

Натрий-ионные аккумуляторы (НИА) исследуются как потенциальная альтернатива литий-ионным аккумуляторам, которые сейчас широко используются в портативной электронике и электромобилях. Одной из ключевых задач при разработке НИА является поиск материалов, способных к многоэлектронным процессам при стабильной работе в течение многих циклов заряда-разряда. В связи с этим в последние годы все большее внимание привлекают материалы со структурой NASICON (AxB2(PO4)3) благодаря их способности к обратимой (де)интеркаляции до трех А-катионов на формульную единицу, а также высоким коэффициентам диффузии ионов натрия, термической стабильности и устойчивости структурного каркаса. Согласно литературным данным [1], ниобий в качестве В-катиона в структуре NASICON при циклировании в натриевой ячейке способен к обратимому двухэлектронному переходу (Nb+5/Nb+3), который протекает при низких потенциалах. Для реализации трехэлектронного процесса в качестве второго В-катиона в настоящей работе выбрали хром, т.к. соответствующий переход Cr+3/Cr+2, согласно литературным данным [2], также находится в области низких потенциалов. Кроме того, важным преимуществом хрома является устойчивость его степени окисления +3, что позволяет проводить отжиг образцов на воздухе. Это заметно упрощает и удешевляет синтез, что важно с точки зрения перспектив масштабирования процесса получения материала.

Цель данной работы – синтез анодных материалов для натрий-ионных аккумуляторов на основе смешанного фосфата натрия и ниобия-хрома и их структурное и электрохимическое исследование.

В результате оптимизации условий синтеза с использованием золь-гель метода Печини были получены однофазные образцы, которые были охарактеризованы методами порошковой рентгеновской дифракции с последующим уточнением структуры методом Ритвельда. Параметры элементарной ячейки синтезированного соединения: *a* = 8.557(2) Å, *c* = 22.033(3) Å, *V* = 1397.3(5) Å3 (пр. гр. *R-3c*) хорошо согласуются со значениями, приведенными в литературе [3].

Катионный состав соединения подтвердили при помощи атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. По данным сканирующей электронной микроскопии, в образцах присутствуют частицы размером 200–500 нм. Для создания углеродного покрытия с целью увеличения электропроводности материала полученный фосфат смешивали с полиакрилонитрилом и кратковременно отжигали в токе аргона. По данным циклической вольтамперометрии, материал демонстрирует электрохимическую активность в диапазоне потенциалов 1.1–2.4 В, что соответствует протеканию нескольких редокс-процессов. Структурные трансформации при (де)интеркаляции натрия были дополнительно изучены при помощи рентгеновской дифракции в режимах *ex situ* и *operando*.

**Литература**

1. Znaidi L., Launay S., Quarton M. Crystal chemistry and electrical properties of Na1+xScNb(PO4)3 phases // Solid State Ionics. 1997. V. 93. №. 3-4. P. 273-277.

2. [Kumar](https://pubs.rsc.org/en/results?searchtext=Author:Saurabh%20Kumar) S., [Prakash](https://pubs.rsc.org/en/results?searchtext=Author:Rajiv%20Prakash) R., [Singh](https://pubs.rsc.org/en/results?searchtext=Author:Preetam%20Singh) P. Eldfellite structured NaCr(SO4)2: A potential anode for Rechargeable Na-ion and Li-ion batteries // Dalton Trans. 2022 Vol. 51. P. 11823-11833.

3. Rangan K., Gopalakrishnan J. AMVMIII(PO4)3: New Mixed-Metal Phosphates Having NASICON and Related Structures // Inorg. Chem. 1995. V.34. P.1969-1972.