**Направленная модификация анодного материала на основе смешанного фосфата натрия и хрома-ниобия путём изовалентного замещения хрома на алюминий**

***Безобразова Е.П.***

*Студент, 2 курс специалитета*

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

*химический факультет, Москва, Россия*

*E-mail:* *bezobrli@gmail.com*

В настоящее время развитие востребованных в современной энергетике литий-ионных аккумуляторов лимитировано исчерпанием доступных запасов лития, в связи с этим особое внимание заслуживают натрий-ионные аккумуляторы. Среди анодных материалов для натрий-ионных аккумуляторов многообещающими являются ниобиевые фосфаты со структурой NASICON [1-2], например NaCrNb(PO4)3. Данное соединение интересно благодаря следующим достоинствам: распространенность и невысокая стоимость составляющих его элементов; относительно низкий потенциал используемых в работе материала редокс-переходов Cr3+/Cr2+ и Nb5+/Nb3+, второй из которых к тому же является мультиэлектронным; а также термодинамическая и кинетическая стабильность на воздухе входящих в его состав форм хрома и ниобия, что упрощает синтез.

Недостатком NaCrNb(PO4)3 является падение емкости на высоких скоростях циклирования вследствие ян-теллеровского искажения октаэдров Cr2+O6. Предполагается, что частичное изовалентное замещение хрома на алюминий будет способствать подавлению деформаций хром-кислородных октаэдров и приводить к улучшению стабильности циклирования материала при высоких плотностях тока. В данной работе фосфаты NaCrNb(PO4)3 и NaAl0.25Cr0.75Nb(PO4)3 были синтезированы с использованием золь-гель методики Печини, причем второй из них ранее не был описан в литературе. Для полученных соединений были уточнены параметры элементарной ячейки: *а* = 8.5636(9) Å; *с* = 22.0206(3) Å; *V* = 1398.56(2) Å3 для NaCrNb(PO4)3 и *a* = 8.53459(8) Å; *c* = 21.9858(3) Å; *V* = 1386.88(2) Å3 для NaAl0.25Cr0.75Nb(PO4)3.

С целью повышения электропроводности материала его частицы покрывали углеродом путем пиролиза полиакрилонитрила (по данным термогравиметрии, массовая доля углерода составила 6 %), а для улучшения межзеренных проводящих контактов к полученному композиту добавляли однослойные углеродные нанотрубки (2% по массе). Таким образом, массовая доля активного компонента в анодном материале составляла не менее 85 %. Электрохимические свойства обоих образцов были изучены в полуячейках с металлическим натрием. Согласно результатам циклической вольтамперометрии и гальваностатических измерений, оба фосфата характеризуются обратимой электрохимической активностью в интервале потенциалов 0.8-3 В отн. Na+/Na. В докладе будет представлено сопоставление данных электрохимических измерений для NaCrNb(PO4)3 и NaAl0.25Cr0.75Nb(PO4)3.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда РНФ* ***–*** *23-13-00071*

**Литература**

1.     Panin R. V., Cherkashchenko I. R., Zaitseva V. V., Samigullin R. R., Zakharkin M. V., Novichkov D. A., Babkin A.V., Khasanova N.R., Antipov E. V. Realizing Three-Electron Redox Reactions in NASICON-Type NaCrNb(PO4)3 for Sodium Ion Battery Applications // Chem. Mat. 2024, Vol. 36, P. 6902-6911.

2.     Cherkashchenko I. R., Panin R.V., Babkin A.V., Novichkov D. A., Antipov E. V., Khasanova N.R. NaAlNb(PO4)3 NASICON-type phosphate with the Nb5+/Nb4+/Nb3+multielectron redox activity on sodium intercalation // Mend. Comm. 2025, Vol. 35, P. 1-3.