**Синтез и исследование смешанных фосфатов натрия и титана - ниобия**

***Разуваева В.А.1, Черкащенко И.Р.2,1***

*Студент, 2 курс специалитета*

*1Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,*

*химический факультет, Москва, Россия*

*2 Сколковский институт науки и технологий, Москва, Россия*

*E-mail:* *varvara.r2004a@gmail.com*

Разработка металл – ионных аккумуляторов – актуальная проблема современной энергетики. На протяжении последних десятилетий активно внедряются в производство безуглеродные электродные материалы для литий – ионных батерей, в том числе на основе смешанных оксидов титана – ниобия [1]. Поскольку литий – ионные аккумуляторы слишком дороги, в качестве альтернативных систем были предложены натрий – ионные аккумуляторы. В отличие от лития, интеркаляция натрия в оксидах титана – ниобия затруднена, и в качестве объекта исследования был выбран смешанный фосфат натрия и титана – ниобия со структурой NASICON, поскольку аналогичное соединение с ванадием демонстрирует перспективные электрохимические характеристики [2].

Синтез NaxNbTi(PO4)3 (*x* = 0.5 – 1) проводился с помощью золь – гель метода Печини с использованием моногидрата лимонной кислоты и поливинилового спирта, в качестве источников ниобия и титана были взяты NH4[NbO(C2O4)2]•8H2O и металлический титан, предварительно растворённый в смеси концентрированных растворов аммиака и пероксида водорода. После чего проводился двухстадийный отжиг в инертной атмосфере с варьированием условий на второй стадии (температура, длительность).

В зависимости от условий отжига (закрытая или открытая система), было получено две группы однофазных образцов, рентгенограммы которых были полностью проиндицированы в ромбоэдрической ячейке (пр.гр. *R-3c*) с параметрами *a* = 8.568(3) Å, *c* = 22.027(6) Å, *V* = 1400.3(5) Å3 и *a* = 8.509(2) Å, *c* = 22.414(5) Å, *V* = 1405.4(3) Å3 соответственно. Сопоставление соответствующих дифрактограмм показало, что, помимо различного положения пиков, соответствующих одним и тем же рефлексам, также существенно отличаются относительные интенсивности некоторых из них. Это может свидетельствовать о различном распределении катионов натрия в структурном каркасе NASICON, в частности, о разной заселённости позиции Na1.

Содержание остаточного углерода в образцах было определено методом термогравиметрии, а катионный состав - методом элементного анализа. Электрохимические свойства были исследованы в натриевых полуячейках (ЦВА, гальваностатические измерения); оба образца продемонстрировали обратимую электрохимическую активность в интервале потенциалов 0.8-2.7 В отн. Na+/Na, при этом в их поведении наблюдались некоторые отличия, выявление причин которого требует проведения дальнейших экспериментов.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда*

*РНФ - 23 – 13 – 000 – 71*

**Литература**

1. Ben N., Peng Z., Sen Z., Qilin L., Qiuping L., Lei W. High – rate lithium storage of TiNb2O7/reduced graphene oxide // Ceramics Intl. 2021. Vol. 47. P. 1177 - 1183

2. Khasanova N. R., Panin R. V., Chercashchenko I. R., Zakharkin M. V., Novichkov D. A., Antipov E. V. NaNbV(PO4)3: Multielectron NASICON-Type Anode Material for Na-Ion Batteries with Excellent Rate Capability // ACS Appl. Mater. Interfaces. 2023. Vol. 15. P. 30272 – 30280.