**Восстановительная обработка MnO2 боргидридом натрия**

***Николенко С.К., Архипова Е.А.***

*Студент, 1 курс специалитета*

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

*химический факультет, Москва, Россия*

*E-mail: stanislavnikolenko6@gmail.com*

Грядущая четвёртая промышленная революция вместе с повышением качества жизни несёт в себе и новые вызовы для человечества. Искусственный интеллект, роботы, электрический транспорт, энергетическая и информационная безопасность – сферы будущего, требующие надёжных, безопасных, экологичных и недорогих источников тока. На их роль претендуют суперконденсаторы – высокомощные, долговечные и быстрозаряжаемые элементы питания, запасающие энергию благодаря образованию двойного электрического слоя и протеканию окислительно-восстановительных реакций. Многообещающими материалами для электродов суперконденсаторов служат оксиды переходных металлов. Среди таких соединений выделяется MnO2. В отличие от RuO2, он намного дешевле и экологичнее. Одним из недостатков MnO2 является его низкая электропроводность и высокая насыпная плотность, которые могут приводить к снижению энергетических и ёмкостных характеристик суперконденсаторов на основе MnO2. Введение токопроводящих добавок, а также кислородных вакансий позволяет преодолеть существующие ограничения [1, 2].

Данная работа посвящена гидротермальному синтезу оксида марганца (IV) и изучению влияния длительности восстановительной обработки боргидридом натрия на фазовый состав, морфологические характеристики и пористость материала. Синтез MnO2 проводили в автоклаве с использованием KMnO4 в присутствии 0.2 M раствора азотной кислоты при температуре 160°С в течение 2 ч. После охлаждения полученный материал последовательно промывали дистиллированной водой и этиловым спиртом, а затем сушили в вакуумном шкафу до постоянной массы в течение 24 ч. Согласно данным рентгено-фазового анализа (РФА), полученный гидротермальным методом оксид марганца представляет собой δ-MnO2 со структурой K-бирнессита (JCPDS # 80–1098). С целью модификации фазового состава проводили восстановительную обработку MnO2 3 M водным раствором NaBH4, варьируя продолжительность реакции (1, 2, 6 и 12 ч). Исследование образцов с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и РФА показало, что с увеличением длительности обработки поверхность нанолистов MnO2 покрывается сферическими частицами, состоящими из восстановленных форм оксида марганца – Mn3O4. Согласно данным рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, модификация δ-MnO2 боргидридом натрия приводит к частичному восстановлению Mn4+ до Mn3+ и Mn2+ при больших временах обработки, о чем свидетельствует плечо в Mn2p спектре при энергии связи около 640 эВ. Пористые характеристики изучены методом низкотемпературной порометрии. Показано, что восстановительная обработка приводит к увеличению удельной площади поверхности материала.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Проект № 21-43-00023).*

**Литература**

1. Arkhipova E. A., Ivanov A. S., Isaikina O. Ya., Novotortsev R. Yu., Stolbov D. N., Xia H., Savilov S. V. Application of MnO2/MWCNT composite in supercapacitors // Mater. Today Proc. 2022. V. 60. P. 1008–1011.

2. Zhai T., Xie S., Yu M., Fang P., Liang C., Lu X., Tong Y. Oxygen vacancies enhancing capacitive properties of MnO2 nanorods for wearable asymmetric supercapacitors // Nano Energy. 2014. V. 8. P. 255–263.