

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТЖИГА НА СВОЙСТВА
КАТОДНОГО МАТЕРИАЛА $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$ ДЛЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ
АККУМУЛЯТОРОВ, СИНТЕЗИРОВАННОГО В РЕАКЦИЯХ ГОРЕНИЯ**

Балдина В.В.^(1,2), Нефедова К.В.⁽²⁾, Бушкова О.В.⁽²⁾

⁽¹⁾ Уральский федеральный университет

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19

⁽²⁾ Институт химии твердого тела УрО РАН

620077, г. Екатеринбург, ул. Первомайская, д. 91

Сложный оксид состава $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$ (NMC-111) широко применяется в качестве материала положительного электрода для литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) за счет высоких значений электрохимических характеристик. Метод горения из растворов представляет собой эффективный способ синтеза NMC-111, благодаря возможности получения высоко гомогенизированных материалов при низком энергопотреблении и отсутствии сточных вод. Однако конечные функциональные свойства полученного продукта существенно зависят от режима последующей температурной обработки. Настоящая работа посвящена установлению влияния температуры отжига в интервале 700-890 °С на структурные, морфологические и электрохимические свойства материала NMC-111, синтезированного в реакциях горения. Синтез проводили из растворов нитратов кобальта и марганца, карбонатов никеля и лития с использованием смеси глицина и лимонной кислоты в качестве топлива. Установлено, что материал после синтеза содержит фазу карбоната лития. Отжиг при температуре 700 °С и выше способствует формированию монофазного образца NMC-111 с гексагональной структурой типа $\alpha\text{-NaFeO}_2$ (пр. гр. R-3m). Постепенное повышение температуры отжига сопровождается увеличением степени структурного упорядочения.

По данным седиментационного анализа образцы после отжига при температуре 850-890 °С являются однородными и имеют унимодальное распределение с содержанием частиц размером менее 30 мкм до 99 %, что соответствует требованиям технического условия (ТУ 2123-005-04683390-2010). Исследование морфологии материала показало, что образцы состоят из агломератов, сформированных частицами субмикронного размера. При этом с увеличением температуры отжига от 850 до 890 °С происходит сглаживание краев поверхности частиц. Электрохимические испытания продемонстрировали высокую разрядную емкость и циклическую стабильность материала NMC-111. Например, для образца, отожженного при температуре 850 °С, емкость разряда составила 152,0 мА·ч/г при нормированном токе 0,1С с сохранением 94,5 % емкости после работы на токе 0,5С и удержанием емкости на уровне 86-89 % после 100 циклов заряда-разряда при 0,2С. В настоящее время проводятся испытания образцов, подвергнутых отжигу при температурах 870 и 890 °С, для установления взаимосвязи между режимом термической обработки и электрохимическими характеристиками материала.

Работа выполнена в соответствии с Государственным заданием Института химии твердого тела УрО РАН (Рег. № НИОКТР 124020600047-4).