

## О Т З Ы В

на автореферат диссертации Нефедовой Ксении Валерьевны  
«Синтез оксида литий-никель-марганец-кобальта для литий-ионных аккумуляторов  
(ЛИА) в реакциях горения», представленной на соискание ученой степени кандидата  
химических наук по специальности 1.4.15 – Химия твердого тела

Диссертационная работа К.В. Нефедовой посвящена исследованию условий синтеза материала положительного электрода ЛИА  $\text{Li}[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]\text{O}_2$  (NMC-111) в реакциях горения из нитратных растворов с глицином и поливиниловым спиртом в качестве «топлива». Метод горения из растворов (solution combustion synthesis, SCS) весьма перспективен для лабораторного синтеза катализаторов и функциональной керамики и получил широкое распространение за рубежом, технологии защищены многочисленными патентами и доведены до промышленного использования. Однако возможности процесса SCS применительно к сложному оксиду NMC-111 раскрыты еще недостаточно, поэтому представленное исследование решает важную и актуальную для науки и практики задачу.

Судя по автореферату, для решения задач работы диссертанткой использован адекватный набор методов анализа и современное аналитическое оборудование, что обеспечивает достоверность полученных результатов. Разработан способ подавления потерь высокодисперсного материала по ходу реакции, для чего применено введение балластного компонента – карбоната марганца, и снижена интенсивность горения за счет частичной замены глицина лимонной кислотой. В итоге автор разработала несколько вариантов методик получения NMC-111, включая перспективный синтез этого материала в одну стадию при 570–630°C, исключаящий потери лития, появление открытого пламени и оксидов азота. Оригинальным приемом является использование автором  $\text{Li}_3\text{BO}_3$  в качестве защитного слоя, что позволило значительно улучшить стабильность и электрохимические характеристики NMC-111. По результатам электрохимических испытаний полученные образцы NMC-111 достигают удельной емкости 140-180 мАч/г, а ресурсные испытания показали, что потеря емкости не превышает 30 % после >3000 циклов с глубиной разряда 70 %. Научная и практическая значимость работы несомненны и подтверждены разработкой режимов синтеза оптимального по своим свойствам катодного материала NMC-111 и его электрохимическими испытаниями, а также патентованием методик синтеза и их адаптацией для дальнейшего промышленного применения.

Несмотря на отмеченные достоинства, работа не лишена и определенных недостатков. Хотя автором была проделана большая экспериментальная работа, в тексте отсутствуют важные детали или недостаточно объяснены многие моменты и влияние отдельных факторов. Например, не указаны использованные реактивы, причины их выбора и условия синтеза оксидов, проводился ли он совместно или отдельно для каждого оксида, не разъясняется, что такое параметр  $\varphi$ , не объясняется, в результате каких окислительно-восстановительных реакций образуется металлический никель в прекурсор  $\text{NiMnCoO}_x$  и как происходил помол NMC-111 (с. 12), по какой реакции получился свободный углерод (с. 17) и др. На с. 12 написано: «Опытные образцы имеют хорошо сформированную кристаллическую решетку с высоким фактором  $R_2$ , что указывает на незначительное смешение никеля и лития». Каким образом значения  $R_2$ -фактора связаны со смешением никеля и лития и почему только этих катионов? Откуда сделан вывод, что «наиболее приемлемыми режимами синтеза смешанного оксида  $\text{NiMnCoO}_x$ , признаны стехиометрический и восстановительный» (с. 13)? В ряде

случаев не указано, к чему относятся профили или линии (рис. 10, 13а), отсутствуют шкала по оси у (рис. 18а) и подписи к образцам 1, 2, 3 (рис. 19), есть и другие недочеты оформления. Неудачными следует назвать фразу «кристаллографический ионный радиус» (с. 11) и применение термина «конверсия» по отношению к термолизу нитратных групп (с. 15, 17). Заметим также, что результаты экспериментов опубликованы или в непрофильных журналах, или в журналах с низким импакт-фактором.

Однако следует признать, что указанные замечания не затрагивают основные результаты работы и главным образом относятся к подаче и интерпретации ее материала. Диссертация соответствует паспорту специальности 1.4.15 – Химия твердого тела и требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте химии твердого тела Уральского отделения Российской академии наук, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Нефедова Ксения Валерьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.15 – Химия твердого тела.

20 октября 2023 г.

Ведущий научный сотрудник  
лаборатории кристаллохимии ИНХ СО РАН,  
доктор химических наук, профессор

С.Ф. Солодовников

Старший научный сотрудник  
лаборатории ионики твердого тела ИХТТМ СО РАН,  
кандидат химических наук

Ю.Г. Матейшина

Солодовников Сергей Фёдорович, тел.: +7 (383) 330-94-66, E-mail: [solod@niic.nsc.ru](mailto:solod@niic.nsc.ru).  
ФГБУН Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,  
630090 Россия, г. Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева, 3.

Матейшина Юлия Григорьевна, тел.: +7 (383) 332-56-45, E-mail: [YuliaM@solid.nsc.ru](mailto:YuliaM@solid.nsc.ru).  
ФГБУН Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН,  
630128 Россия, г. Новосибирск, ул. Акад. Кутателадзе, 18.

Мы, Солодовников Сергей Фёдорович и Матейшина Юлия Григорьевна, согласны на включение наших персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Подпись д.х.н., проф. Солодовникова С.Ф. удостоверяю.

Ученый секретарь ИНХ СО РАН, д.х.н.

О.А. Герасько

Подпись к.х.н. Матейшиной Ю.Г. удостоверяю.

Ученый секретарь ИХТТМ СО РАН, д.х.н.

Т.П. Шахтшнейдер

