

ОТЗЫВ

На автореферат диссертации **Максимова Максима Юрьевича** «Управление составом и свойствами никельсодержащих оксидных систем для твердотельных тонкоплёночных аккумуляторов с использованием метода молекулярного наслаивания», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 1.4.15. Химия твёрдого тела

Диссертация **Максимова М.Ю.** посвящена разработке научно-технических подходов к управлению составом и свойствами тонкоплёночных никельсодержащих оксидов металлов, полученных с помощью метода молекулярного наслаивания (МН), как материалов твердотельных тонкоплёночных литий-ионных аккумуляторов (ТТЛИА). **Актуальность** данной работы обусловлена бурным развитием рынка ТТЛИА вследствие возникновения новых применений источников питания данного типа в гибких электронных устройствах, микрочипах, миниатюрных датчиках, биосенсорах и т.д., а также широкими перспективами применения никель-обогащённых литированных оксидов переходных металлов в качестве высокоэнергетических катодных материалов ЛИА. Дополнительно **актуальность** работы Максимова М.Ю. подчёркивается успешной реализацией множества российских и международных проектов.

Диссертационная работа демонстрирует высокую **научную новизну**, поскольку автором впервые была установлена взаимосвязь «синтез-структура-свойства» для тонкоплёночных систем Ni-O, Ni-Co-O и Ni-Al-O, а также разработан подход к получению тонкоплёночных катодных материалов на основе никелата лития методом МН и подтверждена их работоспособность. **Теоретическая и практическая значимость** результатов работы заключается в том, что они не только расширяют понимание закономерностей получения многокомпонентных тонкоплёночных никельсодержащих оксидных систем методом МН, но и могут быть в перспективе использованы для создания планарных ТТЛИА. Большая **практическая значимость** диссертации также подтверждается 8 патентами, полученными по результатам выполнения работы. **Достоверность** полученных в ходе работы научных результатов обеспечивается широким разнообразием современных дифракционных, спектроскопических, микроскопических и электрохимических методов исследования, применяемых автором для характеристики структуры, состава и свойств изучаемых материалов.

Тем не менее, при прочтении автореферата возникло несколько вопросов и замечаний:

- 1) В автореферате присутствует 7 таблиц, которые демонстрируют параметры роста плёнок, а также результаты анализа их состава, структуры и электрохимических свойств. При этом для экспериментальных значений в этих таблицах не приведены погрешности измерений или стандартные отклонения.
- 2) Во втором абзаце страницы 23 автореферата сказано, что «анализ спектров СХПЭЭ позволяет подтвердить присутствие Li в сферических кристаллитах путём сдвига низкоэнергетического фронта на энергиях 57-62 эВ ...». В этой же области находятся М-края Ni и Co, которые также присутствуют в образце. Насколько достоверно смещение по энергии доказывает присутствие Li? Вышеупомянутый сдвиг по энергии может быть следствием дрейфа пика нулевых потерь в процессе накопления сигнала. Контролировалось ли положение пика нулевых потерь в процессе СХПЭЭ исследований?

- 3) Образование в исследуемых плёнках после термической обработки фазы Li_2NiO_3 с моноклинной структурой Li_2MnO_3 (пр.гр. $C2/m$) выглядит сомнительно. Исходя из стехиометрии, катионы никеля в структуре Li_2NiO_3 должны иметь степень окисления 4+, что является нетипичным значением для никеля в подобных соединениях. Частичное окисление Ni^{2+} до Ni^{3+} в т.н. Ni-обогащённых NMC уже требует отжига в течение нескольких часов при $T \approx 750^\circ\text{C}$ в токе чистого O_2 , в то время как в данной работе термообработка проводилась в течение 10 минут на воздухе. Следовательно, данных электронной дифракции недостаточно для доказательства образования Li_2NiO_3 , и степень окисления никеля должна быть подтверждена спектроскопическими методами, например, РФС и/или СХПЭЭ.
- 4) Во втором абзаце страницы 26 указано, что «фазовый состав LNCO ... соответствует кристаллической структуре $R3m$ ». Далее говорится, что «... тонкоплёночный катодный материал представляет собой слоистую структуру типа LiNiO_2 ...», однако LiNiO_2 кристаллизуется в тригональной структуре NaFeO_2 (пр.гр. $R\bar{3}m$). Является ли данное расхождение опечаткой автора или полученная плёнка LNCO имеет структуру отличную от LiNiO_2 ?
- 5) На рисунке 19 присутствует часть с обозначением *a)* (слева), но отсутствуют какие-либо другие части с иными буквенными обозначениями.
- 6) В автореферате присутствует некоторое количество опечаток, например, «удельная ёмкостей» в зависимости от состава электродов NAO» в подписи к рисунку 8 и «Образцы LNO-M после ТО ... » во втором абзаце страницы 20.

Приведенные замечания не снижают общую высокую оценку диссертационной работы Максимова М.Ю.

Подводя итог, исходя из содержания автореферата, а также количества и уровня опубликованных работ в российских и зарубежных рецензируемых журналах, считаю, что диссертационная работа Максимова Максима Юрьевича полностью удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, и её автор, Максимов Максим Юрьевич, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 1.4.15. Химия твёрдого тела.

Профессор,
директор Центра энергетических
технологий
Сколковского института
науки и технологий,
кандидат химических наук
по специальности
1.4.1 - Неорганическая химия

Абакумов Артём Михайлович

121205, г. Москва, территория инновационного
центра «Сколково», Большой бул., 30, стр 1.
Тел. +7 (985) 961-67-55
e-mail: a.abakumov@skoltech.ru

Согласен на обработку моих персональных данных.

25 июля 2024 г.

Руководитель отдела
кадрового администрирования
Гук О.С.

