

ОТЗЫВ

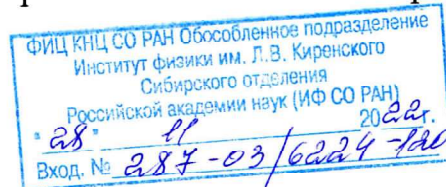
официального оппонента на диссертационную работу Николаева Никиты Сергеевича «Способ синтеза и устройство для получения частиц со структурой ядро-оболочка и исследование их свойств» представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики

Диссертационная работа Николаева Н.С. посвящена разработке способа синтеза новых материалов для водородной энергетики, представляющих собой порошки со структурой частиц ядро-оболочка. Как показывает литературный обзор распространённые химические методы синтеза не позволяют получать частицы ядро-оболочка с высокой производительностью и качеством достаточным для инновационных промышленных и бортовых применений. В связи с чем, соискателем проведено комплексное исследование, направленное на разработку уникального плазменного способа синтеза частиц со структурой ядро-оболочка, с перспективой применения для хранения водорода.

Соискателем обосновывается необходимость стабилизация в пространстве и времени переходного слоя плазма-газ для реализации синтеза частиц ядро-оболочка. Как показано, характер переходного слоя определяет конечные свойства синтезируемых веществ из-за закалки при прохождении границы плазменного объёма.

Таким образом, обосновывается **актуальность и значимость** разработки нового плазменного метода синтеза частиц ядро-оболочка и генератора плазмы, позволяющего получать стабильные диффузные плазменные потоки с протяжённой переходной зоной, плазма-газ.

Диссертация Николаева Н.С. чётко структурирована, состоит из введения, четырёх глав, выводов после каждой главы, заключения и списка использованных источников. Общий объём диссертации составляет 164 страницы машинописного текста, включает 48 рисунков. Список литературы состоит из 217 наименований. Во введении обосновывается актуальность и значимость исследования новых методов синтеза частиц ядро-оболочка для целей водородной энергетики. Сформулированы цели и задачи диссертационного исследования, а также приведены основные положения, выносимые на защиту. **В первой главе** проведен литературный обзор современного состояния методов синтеза частиц ядро-оболочка, а также генераторов плазмы кГц-диапазона. Обзор показывает интерес



исследователей к дисперсным системам со структурой частиц ядро-оболочка, решающим задачи крупномасштабного синтеза для новой энергетики. **Во второй главе** описан метод стабилизации дугового разряда кГц-диапазона для одноструйного генератора плазмы (ОГП-МВ), разработанного для решения поставленных задач диссертационного исследования. Для исследования влияния системы стабилизации на параметры плазмы изучены температурные зависимости в разрядном промежутке. Установлено, что радиальная протяжённость обнаруженных температурных слоёв меняется при изменении диаметра разряда. Это позволяет управлять радиальной протяжённостью переходного слоя плазма-газ, за счёт изменения объёмного расхода изолирующего газа. **В третьей главе** рассмотрено влияние радиальной протяжённости переходного слоя плазма-газ в плазмохимическом реакторе на основе ОГП-МВ, на конверсионные показатели получаемых продуктов синтеза, таких как характерная площадь покрытия, содержание частиц ядро-оболочка и характерное содержание материала электрода. Полученные экспериментальные данные легли в основу разработки оригинального высокоэффективного способа синтеза частиц ядро-оболочка. Способ основан на взаимодействии вещества, вводимого посредством транспортного газа в разрядный промежуток, с материалом эрозии электрода, т.е. был организован встречный поток материала оболочки. **В четвертой главе**, используя полученный ранее порошок магния, были синтезированы и исследованы следующие образцы: исходный порошок Mg (образец ОС-1); Mg@C (образец ОС-2) и (Mg@C)@Pd (образец ОС-3). Были проведены исследования состава и структуры полученных образцов, а также испытания образцов в процессе циклического гидрирования/дегидрирования. Показаны максимальные сорбционные емкости по водороду для каждого образца, а также сделаны выводы о причинах ее снижения в процессе циклического гидрирования/дегидрирования. В заключении приведены основные результаты диссертационного исследования. В конце в качестве отступления автор рассматривает возможное развитие практических приложений результатов исследования.

Изложенное выше отражает **научную новизну и практическую значимость** работы, подтвержденные научными публикациями и наличием патента.

Достоверность научных положений, результатов и выводов **подтверждается** большим объемом экспериментов, применением комплекса различных методов и подходов, сопоставлением полученных данных с результатами других исследователей, работающих в этой тематике, а также

апробацией результатов на научных семинарах и конференциях различного уровня. Таким образом, **работа вносит существенных вклад** к решению прикладных и фундаментальных задач экспериментальной физики, **соответствует** отрасли науки и паспорту специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики.

Работа характеризуется логической последовательностью изложения результатов, обоснованностью применяемых автором технологических подходов и экспериментальных методов. В тексте автореферата в полной мере отражено содержание работы. **Содержание автореферата соответствует основным идеям и выводам диссертации.** В целом работа производит хорошее впечатление, выглядит как законченное исследование.

Несмотря на достаточно подробное и комплексное описание полученных результатов, по диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:

- 1) В работе отсутствует описание экспериментального оборудования и условий проведения экспериментов методами РФА, РФЭС и ТГ/ДСК.
- 2) Автором утверждается, что в результате 10-ти циклов последовательного гидрирования/дегидрирования, происходят морфологические изменения частиц образца ОС-1, однако представленное изображение (рис. 4.10) не дает понять, какие именно изменения произошли с образцом. Для подтверждения изменения морфологии наночастиц необходимо было воспользоваться методом просвечивающей электронной микроскопии.
- 3) Соответствуют ли морфологические изменения наночастиц в составе сорбентов ОС-2 и ОС-3 после падения емкости морфологическим изменениям частиц размером более 500 мкм, представленным на рис. 4.17 и рис. 4.23.
- 4) По тексту диссертации присутствует ряд неточностей в виде ссылок на рисунки: на стр. 63, стр. 76, стр. 93 не корректно указаны ссылки на рис. 1.5, 2.10, 3.1, соответственно; ссылок на формулы – стр. 31, стр. 33 и ссылок на литературные источники.
- 5) Автору стоило более внимательно отнестись к оформлению диссертации в соответствии с ГОСТ 2.105 и ГОСТ Р 7.0.11-2011.

В целом, несмотря на вышеуказанные вопросы и замечания, **диссертационная работа Н.С. Николаева представляет собой законченную научную работу, выполненную на актуальную тему.**

Основные результаты работы представлены в 6 научных статьях — в периодических научных журналах, индексируемых «Web of Science» и «Scopus», а также получен 1 патент. Одна из работ была опубликована в

международном журнале «International Journal of Hydrogen Energy» с квартилем «Q1» в категории «Condensed Matter Physics».

Считаю, что **диссертационная работа** Н.С. Николаева «Способ синтеза и устройство для получения частиц со структурой ядро-оболочка и исследование их свойств» **отвечает всем требованиям** ВАК к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук и соответствует «Положению о порядке присуждения учёных степеней Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации», утверждённому постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842. Диссертация соответствует требованиям пункта 9 вышеупомянутого Положения, а её автор Николаев Никита Сергеевич, **заслуживает присуждения** учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент

доктор технических наук по специальности (05.16.08 - «Нанотехнологии и наноматериалы» (химия и химическая технология))

Заведующий лабораторией нанобиоинженерии,
ведущий научный сотрудник Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН)

Адрес: 634021. г. Томск, пр. Академический 2/4

Тел: 8 913 865 99 11

E-mail: asl@ispms.ru

Ложкомоев Александр Сергеевич

Подпись А. С. Ложкомоева

заверяю

ученый секретарь Матолыгина Н.Ю.

11. Ноября 2022

дата



подпись

подпись

СПИСОК

избранных публикация официального оппонента д.т.н. А.С. Ложкомоева за последние 5 лет по теме диссертации Н.С. Николаева «Способ синтеза и устройство для получения частиц со структурой ядро-оболочка и исследование их свойств»:

1. Lozhkomoev A. S., Rodkevich N. G., Vorozhtsov A. B., Lerner M. I. Oxidation and oxidation products of encapsulated aluminum nanopowders //Journal of Nanoparticle Research. – 2020. – Vol. 22. – No. 1. – P. 1-13.
2. Pervikov A. V., Dvilis E. S., Khrustalev A. P., Bakina O. V., Paygin V. D., Lozhkomoev A. S., Chumaevsky A. V., Khasanov O. L., Lerner M. I. Synthesis of Ta–6Cu Bimetallic Nanoparticles and the Bulk Composite with Antimicrobial Activity //Inorganic Materials: Applied Research. – 2021. – Vol.. 12. – No. 3. – P. 755-761.
3. Lozhkomoev, A. S., Pervikov, A. V., Kazantsev, S. O., Suliz, K. V., Veselovskiy, R. V., Miller, A. A., & Lerner, M. I. (2022). Controlled Oxidation of Cobalt Nanoparticles to Obtain Co/CoO/Co₃O₄ Composites with Different Co Content. *Nanomaterials*, 12(15), 2523.
4. Lozhkomoev, A. S., Pervikov, A. V., Kazantsev, S. O., Sharipova, A. F., Rodkevich, N. G., Toropkov, N. E., ... & Lerner, M. I. (2021). Synthesis of Fe/Fe₃O₄ core-shell nanoparticles by electrical explosion of the iron wire in an oxygen-containing atmosphere. *Journal of Nanoparticle Research*, 23(3), 1-12.
5. Pervikov A. V., Lozhkomoev A. S., Dvilis E. S., Kalashnikov M. P., Paygin V. D., Khasanov O. L., Lerner M. I. Synthesis of W-Cu composite nanoparticles by the electrical explosion of two wires and their consolidation by spark plasma sintering // *Materials Research Express*. – 2020. – Vol. 6. – No. 12. – P. 1265i9.
6. Pervikov, A. V., Kazantsev, S. O., Lozhkomoev, A. S., & Lerner, M. I. (2020). Bimetallic AlAg, AlCu and AlZn nanoparticles with controllable phase compositions prepared by the electrical explosion of two wires. *Powder Technology*, 372, 136-147.
7. Lozhkomoev, A. S., Kazantsev, S. O., Kondranova, A. M., Fomenko, A. N., Pervikov, A. V., Rodkevich, N. G., & Bakina, O. V. (2019). Design of antimicrobial composite nanoparticles Zn_xMe_(100-x)O by electrical explosion of two wires in the oxygen-containing atmosphere. *Materials & Design*, 183, 108099.
8. Lozhkomoev, A. S., Bakina, O. V., Pervikov, A. V., Kazantsev, S. O., & Glazkova, E. A. (2019). Synthesis of CuO–ZnO composite nanoparticles by electrical explosion of wires and their antibacterial activities. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30(14), 13209-13216.
9. Tsukanov, A. A., Lozhkomoev, A. S., Lerner, M. I., Gotman, I., Gutmanas, E. Y., & Psakhie, S. G. (2019). Molecular dynamics study of bimetallic Fe–Cu

Janus nanoparticles formation by electrical explosion of wires. Philosophical Magazine, 99(9), 1121-1138.

10. Pervikov, A., Lozhkomoev, A., Bakina, O., & Lerner, M. (2019). Synthesis of core-shell and Janus-like nanoparticles by non-synchronous electrical explosion of two intertwined wires from immiscible metals. Solid State Sciences, 87, 146-149.

Даю согласие на обработку персональных данных.

Заведующий лабораторией нанобиоинженерии,
ведущий научный сотрудник ИФПМ СО РАН,
д.т.н. Ложкомоев Александр Сергеевич



подпись

Подпись А. С. Ложкомоева
заверяю

Ученый секретарь
ИФПМ СО РАН

11 ноября 2022 г.

дата

 Н. Ю. МАТОЛЫГИНА



подпись