Российский научный фонд

СО РАН ИХТТМ
Институт химии твердого тела и механохимии

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

Новосибирск | Академгородок

23-25 | 09 | 2026

VI Всероссийская с международным участием школа молодых ученых

«Электрохимические устройства: процессы, материалы, технологии»

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ХИМИИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И МЕХАНОХИМИИ СО РАН

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА: ПРОЦЕССЫ, МАТЕРИАЛЫ, ТЕХНОЛОГИИ

VI Всероссийская с международным участием школа молодых ученых

Новосибирск, 23–25 сентября 2026

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Новосибирск 2026

УДК 444.6
ББК 24.57

Ответственный редактор
канд. хим. наук *Е.В. Шубникова*

Электрохимические устройства: процессы, материалы, технологии: VI Всероссийская с международным участием школа молодых ученых: тез. докл. / Ин-т химии твердого тела и механохимии СО РАН; отв. ред. Е.В. Шубникова. – Новосибирск, 2026. – 80 с. URL: https://2026.schoolsolid.ru/
ISBN 978-5-6049325-6-8

В сборнике представлены тезисы докладов VI Всероссийской с международным участием школы молодых ученых «Электрохимические устройства: процессы, материалы, технологии».

Для широкого круга специалистов, работающих в области физики, химии, химического материаловедения и химической технологии.

При поддержке:
Российского научного фонда (проект № 21-79-30051-П),
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации



ISBN 978-5-6049325-6-8
© ИХТТМ СО РАН, 2026

Школа молодых ученых «Электрохимические устройства: процессы, материалы, технологии» проводится по инициативе Института химии твердого тела и механохимии СО РАН с 2021 года.

Школа традиционно является площадкой для обсуждения современного состояния и перспектив исследований в актуальных областях электрохимии, энергетики и материаловедения.

Основная проблематика школы:

- Закономерности физико-химических процессов в химических источниках тока;
- Новые материалы для энергетики, включая наноразмерные и композиционные;
- Теоретические и практические аспекты химии твердого тела в химических источниках тока;
- Технологии изготовления химических источников тока.

Спонсоры конференции:

Российский научный фонд

ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОММУТАЦИИ ТОТЭ

Ажинова А.М., Храменкова А.В.

ФГБОУ ВО Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова,

ул. Просвещения, 132, Новочеркасск, 346328, e-mail: azhinovaaleksandra@yandex.ru

В настоящее время технологии топливных элементов являются наиболее эффективными, экологичными и экономически целесообразными технологиями преобразования энергии органического топлива в электрическую. КПД ТЭ достигает 60-80 %. При этом отдельно следует выделить твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ), преимуществами которых являются возможность использования различных видов топлива (водород, метан, синтез-газ), а также отсутствие необходимости применения дорогостоящих платиновых катализаторов. По конструкционным особенностям ТОТЭ условно можно разделить на планарные и трубчатые.

При этом микротрубчатые ТОТЭ (МТ ТОТЭ) обладают рядом преимуществ, таких как более низкая толщина слоя электролита, что позволяет уменьшить омическое сопротивление элемента и повысить эффективность устройства; высокая удельная мощность за счет повышенной электропроводности; механическая прочность.

Одной из важнейших задач при производстве микротрубчатых ТОТЭ является обеспечение эффективной электрической коммутации ТОТЭ с минимизацией омического сопротивления в батарее. Одним из способов обеспечения эффективной электрической коммутации МТ ТОТЭ в батарее следует считать нанесение на поверхность токовых коллекторов защитных покрытий. Среди методов получения таких покрытий отдельно стоят электрохимические способы синтеза.

В данном докладе будут представлены результаты по синтезу покрытий на основе Co-Mn шпинели на поверхности никелевого сплава НП 2 с использованием метода нестационарного электролиза и исследованию их физико-химических свойств.

Исследования поддержаны грантом Фонда содействия инновациям по программе Старт-Пром -1-2025 (Договор 18ГС1ПромС21/111755).

КАТАЛИТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ ДЛЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Алексеенко А.А., Павлец А.С., Могучих Е.А., Криводубский Д.П.,
Баян Ю.А., Панкова Ю.А.

Южный федеральный университет,

ул. Зорге, 7, Ростов-на-Дону, Россия, 344090, e-mail: an-an-alekseenko@yandex.ru

Одним из важнейших компонентов топливного элемента с протонообменной мембраной (ТЭПОМ) являются пористые каталитические слои, в которых реализуются электрохимические реакции, производящие электроэнергию и воду из водорода и кислорода. Чем выше качество (функциональные характеристики) содержащегося в этих слоях электрокатализатора, тем большей мощностью и продолжительностью работы могут характеризоваться ТЭПОМ. Электрокатализатор для ТЭПОМ (анодный или катодный) представляет собой наночастицы платины и ее сплавов с другими металлами, распределенные по поверхности углеродного носителя.

Добиться сочетания высоких значений каталитической активности и стабильности является сложной задачей, поскольку эти параметры антибатно зависят от структурно-морфологических характеристик платиносодержащих каталитических систем. Среди различных путей решения проблемы долговечности таких материалов нами были предприняты следующие подходы: получение катализаторов на основе равноразмерных и равномерно распределенных по поверхности углеродного носителя Pt и PtM наночастиц, где M = Co, Ni, Cu; модифицирование углеродных и создание композитных носителей, менее подверженных процессам окисления.

Благодаря применению указанных подходов нам удалось получить ряды электрокатализаторов, характеризующихся повышенной стабильностью, а также сделать прогноз их поведения в различных условиях работы ТЭПОМ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-79-10162 реализуемого в Южном федеральном университете, https://rscf.ru/project/24-79-10162/.

ДОПИРОВАНИЕ НИОБИЕМ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ СОЗДАНИЯ УСТОЙЧИВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ BSCF ДЛЯ КАТАЛИТИЧЕСКИХ МЕМБРАННЫХ РЕАКТОРОВ КОНВЕРСИИ УГЛЕВОДОРОДОВ

Арапова М.В., Шубникова Е.В., Черендина О.В., Хохлова М.О., Брагина О.А., Немудрый А.П.

ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: arapova@solid.nsc.ru

Кобальтиты бария и стронция широко применяются в твердооксидных топливных элементах и кислород-проницаемых мембранах благодаря высокой эффективности кислородного транспорта и селективности в реакциях парциального окисления и окислительного дегидрирования. Однако их использование ограничено фазовой нестабильностью в рабочих условиях, которая ведет к значительной деградации транспортных и механических свойств. Допирование высокозарядными катионами позволяет повысить структурную устойчивость оксидов в агрессивных средах без потери их высоких кислород-транс портных характеристик.

Целью настоящего исследования было изучение влияния частичного замещения кобальта ниобием на структурные параметры и особенности процессов выделения кислорода в системе $Ba_{0.5}Sr_{0.5}Fe_{0.2}Co_{0.8-x}Nb_xO_{3-\delta}$ (x = 0-0,1). Проведенные исследования показали, что частичное замещение кобальта на ниобий способствует стабилизации кислород-вакансионного разупорядочения в условиях низкого парциального давления кислорода, что эффективно подавляет фазовые переходы и деградацию структуры. Кроме того, исследование образцов после высокотемпературной выдержки в атмосфере CO_2/H_2O показало, что увеличение содержания ниобия в оксиде приводит к снижению количества карбонатных фаз, что свидетельствует об уменьшении химической деградации материала в условиях, приближенных к реальным эксплуатационным. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования допированных ниобием составов в качестве мембранных материалов для реакторов селективной конверсии углеводородов, где требуется высокая стабильность кислородного транспорта в присутствии CO_2 и восстановительных компонентов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ в рамках проекта № 26-73-10222.

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ИЗОВАЛЕНТНОГО ДОПИРОВАНИЯ НА ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ФЕРРИТА ЛАНТАНА СТРОНЦИЯ

Арапова М.В.[1], Мамонова В.Е.[1], Брагина О.А.[1], Соболев В.И.[2], Чижик С.А.[1], Немудрый А.П.[1]

[1]*ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: arapova@solid.nsc.ru*

[2]*ФГБУН ФИЦ Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, ул. Лаврентьева, 5, Новосибирск, 630090*

Допированные алюминием ферриты лантана стронция со структурой перовскита находят широкое применение в твердооксидных мембранах, топливных элементах, электролизерах и катализаторах селективного окисления. В отличие от высокозарядных катионов, Al^{3+} не создает дополнительных центров локализации электронов, но при этом стабилизирует перовскитную структуру и подавляет нежелательные фазовые переходы в широком диапазоне нестехиометрии. Однако данные о влиянии алюминия на конечные свойства оксидов остаются противоречивыми, а наименее изученным аспектом является его воздействие на кинетику гетерогенного кислородного обмена, определяющего эффективность мембран и каталитических систем.

В данном исследовании было проведено всестороннее изучение свойств оксидов системы $La_{0.4}Sr_{0.6}Fe_{1-x}Al_xO_{3-\delta}$ (x = 0 – 0,2) с акцентом на взаимосвязь между электронной структурой, концентрацией и энергетикой кислородных вакансий, а также кинетическими параметрами поверхностного обмена кислорода. Установлено, что алюминий существенно увеличивает количество активных центров на поверхности за счет изменения дефектной структуры, в результате увеличивая скорость обмена с увеличением концентрации алюминия. С использованием спектроскопических методов показано, что замещение железа алюминием приводит к росту концентрации кислородных вакансий и увеличению количества координационно-ненасыщенных атомов железа, что сопровождается изменениями в распределении плотности заряда в узлах кристаллической решетки оксида. Установленные корреляции между структурными, электронными характеристиками и кинетикой поверхностного обмена кислорода имеют как фундаментальное значение для понимания механизмов транспорта, так и практическую ценность для разработки стабильных и высокопроводящих материалов для кислородпроводящих систем.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН (проект № 126011215469-6).

ИЗУЧЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ Cr–C МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Аршинова И.С., Кузнецов В.В., Титова Е.А.

ФГБОУ ВО Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Миусская площадь, 9, Москва, 125047, e-mail: arshinova.i.s@muctr.ru

В настоящее время разработка процесса электроосаждения композиционных покрытий из электролитов на основе Cr(III) является перспективной альтернативой традиционному хромированию из токсичных растворов Cr(VI) [1].

Методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) проведено сравнение фазового и элементного состава композиционных покрытий, полученных из двух типов электролитов: раствора на основе $CrCl_3$ и раствора на основе $Cr2(SO_4)_3$. РФЭС-спектры регистрировали на спектрометре PHI 5000 Versa Probe II (AlKα) до и после ионного травления (Ar^+, 28,8 нм) для удаления поверхностных загрязнений.

На поверхности обоих образцов до травления зафиксировано высокое содержание углерода (52–60 ат. %) и кислорода (30–31 ат. %), обусловленное адсорбцией углеводородов, карбонатов и наличием оксидно-гидроксидного слоя. После удаления поверхностного слоя содержание хрома резко возрастает до 66–69 ат. %, углерода снижается до 17–20 ат. %, кислорода – до ~12 ат. %. Хром преимущественно входит в состав карбида $Cr_{23}C_6$ (пик C 1s при 282,5 эВ, отношение Cr:C близко к стехиометрическому). Кислород сохраняется и соответствует оксиду CrO (Cr(II)) (O 1s 530,0 эВ), что указывает на ступенчатое восстановление Cr(III)→Cr(II)→Cr(0) с включением продуктов неполного восстановления.

Таким образом, получаемые осадки представляют собой композиционный материал Cr–$Cr_{23}C_6$–CrO, состоящий из карбидной (упрочняющей) и оксидной (пассивирующей) фаз, что обеспечивает высокую твердость и коррозионную стойкость.

[1] Sharifi Z., Behjati S., Wijenberg J.H.O.J., de Vooys A.C.A., Koper M.T.M. Mechanism of Cr(III)-based oxide-hydroxide film electrodeposition in an acidic solution // Electrochimica Acta. – 2025. – Vol. 512. – Art. no. 145451.

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА, ТЕРМИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕШАННЫХ ИОННО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРОВОДНИКОВ $La_{0,9}Sr_{0,1}Sc_{1-x}Mn_xO_{3\pm\delta}$

Бервицкая О.С., Корякина В.А., Бобро М.С., Строева А.Ю., Кузьмин А.В.

ФГБОУ ВО Вятский государственный университет,

ул. Московская, 36, Киров, 610000, e-mail: bervickaja@rambler.ru

Протон-керамические топливные элементы (ПКТЭ) – перспективные электрохимические устройства для эффективного преобразования энергии. Протон-проводящий материал $La_{0,9}Sr_{0,1}ScO_{3\pm\delta}$ (LSS) актуален для применения в качестве электролита ПКТЭ благодаря высокой химической стабильности, протонной проводимости и подвижности протонов. Ключевой задачей является разработка катодных материалов, совместимых с LSS, в качестве чего впервые систематически исследованы твердые растворы $La_{0,9}Sr_{0,1}Sc_{1-x}Mn_xO_{3\pm\delta}$ (LSSM) в широком диапазоне составов.

Методом рентгеновской дифракции с анализом Ритвельда установлено, что материалы LSSM имеют однофазную перовскитоподобную структуру. Методом дилатометрии показано, что коэффициенты термического расширения близки к ТКЛР LSS, что обеспечивает термомеханическую совместимость. Исследовано химическое взаимодействие LSSM с электролитом, появление дополнительных фаз после совместных термических выдержек не обнаружено. Импедансная спектроскопия с анализом распределения времен релаксации выявила немонотонную зависимость поляризационного сопротивления от содержания марганца, коррелирующую с расстоянием между соседними ионами кислорода в октаэдрах кристаллической решетки LSSM. Увлажнение воздуха в разной степени влияет на электрохимические характеристики в зависимости от температуры и состава электрода [1].

Полученные результаты позволяют рассматривать исследованные материалы, особенно составы с оптимальным соотношением Sc/Mn, как перспективные катоды для ПКТЭ.

[1] Bervitskaya O.S., Chausov F.F., Ichetovkina V.A. et al. Structure characterization, thermal expansion and electrochemical properties of mixed ionic and electronic conductors $La_{0.9}Sr_{0.1}Sc_{1-x}Mn_xO_{3\pm\delta}$ // Journal of Solid State Electrochemistry. – 2026. – DOI: 10.1007/s10008-026-06680-3.

СИНТЕЗ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПОЗИТОВ СЛОИСТОГО ОКСИДА МАРГАНЦА С ВОССТАНОВЛЕННЫМ ОКСИДОМ ГРАФЕНА

Болдырев Д.В., Ананченко Б.А.

ФГБОУ ВО Вятский государственный университет,

ул. Московская, 36, Киров, 610000, e-mail: boldyrev.daniil.2018@mail.ru

Слоистый оксид марганца (δ-MnO_2) является перспективным катодным материалом для цинк-гибридных аккумуляторов, эффективных в качестве стационарных накопителей энергии.

Целью проводимых исследований являлось получение композитов на основе δ-MnO_2 с оксидом графена и анализ характеристик полученных материалов.

В ходе выполнения поставленных задач проведен синтез серии композитов δ-MnO_2 с фиксированным массовым содержанием оксида графена. Синтез проводили в две стадии. На первом этапе получали наноразмерный прекурсор методом соосаждения. На второй стадии смешивали прекурсор с суспензией оксида графена, а затем смесь подвергли гидротермальной обработке в 1 М растворе NaOH в течение двух часов при различной температуре.

Методом РФА показано, что полученные композитные материалы являются двухфазными (δ-MnO_2 и MnOOH). Количество примесной фазы (MnOOH) уменьшается с уменьшением температуры перекристаллизации.

Методами рамановской и ИК-Фурье спектроскопии установлено, что в процессе гидротермальной обработки происходит восстановление оксида графена.

Электрохимические исследования показали, что полученные композитные материалы проявляют выраженную электрохимическую активность в 1М $ZnSO_4$, при этом происходит преобладание поверхностно-контролируемых процессов над диффузионно-лимитированной интеркаляцией.

Результаты гальваностатического заряда-разряда продемонстрировали повышенную емкость и циклическую стабильность образцов, содержащих восстановленный оксид графена, по сравнению с чистым δ-MnO_2, синтезированным в аналогичных условиях.

Проведенные исследования подтвердили перспективность выбранного направления получения катодных материалов для цинк-гибридных аккумуляторов.

THERMAL AND MICROWAVE-ASSISTED TREATMENT AS AN APPROACH TO ENHANCE STABILITY OF PHOSPHORIC ACID ACTIVATED CARBON FOR NON-AQUEOUS SUPERCAPACITORS

Borodina O.A.[1,2], Yeletsky P.M.[1], Lebedeva M.V.[1,2], Yakovlev V.A.[1]

[1]*Boreskov Institute of Catalysis SB RAS,*

Lavrentieva ave. 5, Novosibirsk, 630090, e-mail: o.borodina@g.nsu.ru

[2]*Novosibirsk State University, Pirogova str. 1, Novosibirsk, 630090*

Studies of porous and nanostructured carbon materials are of global relevance. Activated carbons are attractive for electrochemical applications because of their well-developed porous structure and economic accessibility, the latter being ensured by the use of natural feedstocks.

Phosphoric acid activation involves controlled formation of micro- and mesoporous structure, cost-effectiveness and environmental friendliness. Its main drawback is a relatively large specific surface area, S_{BET}, of 500–1500 m^2/g, which is comparable to activated carbon obtained by steam activation [1]. Therefore, optimization of the activated carbon synthesis process is required to increase the specific surface area.

In this work, it was shown that phosphoric acid activation of pine nut shells makes it possible to synthesize activated carbons with micro-, micro-mesoporous, and mesoporous structures, a S_{BET} of up to 2700 m^2/g, and a yield of 30–40 %. The key step is thermal pre-treatment of the mixture at 200 °C for 24 h, which improves the textural characteristics compared with drying at 100 °C. The optimal synthesis conditions are activation at 500°C for 1 h. Upon scale-up in 10 and 100 times, S_{BET} exceeds 2000 m^2/g, with mesoporosity predominating, which satisfies the requirements for supercapacitor electrodes in non-aqueous electrolytes. To enhance the electrochemical stability of the activated-carbon samples, post-treatment by thermal annealing at 900–1100 °C and by microwave irradiation at 150 and 300 W was carried out to remove oxygen-containing functional groups and adsorbed water from the carbon surface, since their presence promotes electrode oxidation. Electrochemical testing of the thermally and microwave post-treated activated carbons in 1 M $BMIMBF_4$/ACN electrolyte showed a specific capacitance of 80–131 F/g at a current density of 0.2 A/g and a capacity retention of 91 % after 5000 charge–discharge cycles.

The work was carried out with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of a state assignment for the Federal Research Center of the Boreskov Institute of Catalysis SB RAS (project No. FWUR-2024-0038).

[1] Yeletsky P.M., Lebedeva M.V., Yakovlev V.A. Today's progress in the synthesis of porous carbons from biomass and their application for organic electrolyte and ionic liquid based supercapacitors // Journal of Energy Storage. – 2022. – Vol. 50. – Art. no. 104225. – DOI: 10.1016/j.est.2022.104225.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФЕРРИТА ЛАНТАНА ДЛЯ ОБРАТИМЫХ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Брагина О.А., Шубникова Е.В., Хохлова М.О., Арапова М.В., Черендина О.В., Немудрый А.П.

ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: bragina@solid.nsc.ru

Оксиды со структурой перовскита на основе феррита лантана являются перспективными электродными материалами для твердооксидных топливных элементов и электролизеров благодаря высокой электрохимической активности и структурной устойчивости. Ключевым параметром, определяющим транспортные свойства и границы термодинамической стабильности оксидных фаз при варьировании температуры и парциального давления кислорода, выступает кислородная нестехиометрия.

В работе исследована зависимость кислородной нестехиометрии (δ) оксида $La_{0.65}Ca_{0.35}Fe_{0.7}Co_{0.2}Ni_{0.1}O_{3-\delta}$ от температуры и парциального давления кислорода, а также определены термодинамические характеристики процесса кислородного обмена. Непрерывные зависимости кислородной стехиометрии от парциального давления кислорода и температуры, полученные методом квазиравновесного выделения кислорода, свидетельствуют об отсутствии фазовых переходов в интервале температур 700–900 ºС и $pO_2 = 10^{-4}$ – 0.2 атм. На основе экспериментальных данных рассчитана зависимость химического потенциала кислорода от величины нестехиометрии, которая демонстрирует возрастание энергетического барьера при снижении содержания кислорода в оксиде. Анализ термодинамических параметров показал, что энтальпийная составляющая вносит преобладающий вклад в процесс кислородного обмена между оксидом и газовой фазой.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 26-13-00527).

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ДОПАНТА НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОТОННОГО ПРОВОДНИКА $Ba_7Sc_6Al_2O_{19}$ СО СТРУКТУРОЙ КОГЕРЕНТНОГО СРАСТАНИЯ

Анимица И.Е., Бушуева А.В., Усачев К.А., Сливницын И.А.

ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,

ул. Мира, 19, Екатеринбург, 620062, e-mail: bushuevaaaaa@mail.ru

В настоящей работе синтезированы образцы $Ba_7Sc_6Al_2O_{19}$, $Ba_7Sc_{5.90}Y_{0.10}Al_2O_{19}$, $Ba_7Sc_{5.90}Zr_{0.10}Al_2O_{19.05}$, $Ba_7Sc_6Al_{1.90}Zn_{0.10}O_{18.95}$ и исследовано влияние природы допанта на термические и электрические свойства.

Образцы были получены по растворной технологии нитратов соответствующих металлов, лимонной кислоты и глицерина. Фазы описываются гексагональной симметрией (с пр. гр. *$P6_3/mmc$*). При изовалентном ($Y^{3+}\rightarrow Sc^{3+}$) допировании произошел рост параметров элементарных ячеек, при донорном ($Zr^{4+}\rightarrow Sc^{3+}$) и акцепторном ($Zn^{2+}\rightarrow Al^{3+}$) – уменьшение параметров элементарной ячейки относительно матричного соединения. Относительная плотность образцов составила 80–95 %, при этом цинксодержащий образец характеризовался самой высокой плотностью.

По данным термического анализа все полученные фазы обратимо взаимодействуют с парами воды. Наибольшей степенью гидратации обладает Y^{3+}-допированная фаза, а также введение иттрия приводило к значительному (~200 °C) увеличению температуры гидратации-дегидратации.

Электрические свойства керамических образцов исследовались методом электрохимического импеданса при варьировании *T*, pH_2O и pO_2. Изовалентное допирование приводит к росту протонной проводимости образцов примерно на порядок величины; донорное – к понижению протонной проводимости; акцепторное – к понижению протонной проводимости.

Дальнейшая стратегия оптимизации физико-химических свойств соединения $Ba_7Sc_6Al_2O_{19}$ заключается в его со-допировании – одновременном введении изовалентного допанта для увеличения концентрации протонных дефектов и цинка как спекающей добавки для получения высокоплотной керамики.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ и Правительства Свердловской области, проект № 24-13-20026.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА Y^{3+}-ДОПИРОВАННОГО ПРОТОННОГО ПРОВОДНИКА $Ba_7Sc_6Al_2O_{19}$ СО СТРУКТУРОЙ КОГЕРЕНТНОГО СРАСТАНИЯ

Бушуева А.В., Анимица И.Е.

ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,

ул. Мира, 19, Екатеринбург, 620062, e-mail: bushuevaaaaa@mail.ru

Структура $Ba_7Sc_6Al_2O_{19}$ - результат когерентного срастания перовскитоподобных блоков: двух кислород-дефицитных блоков структуры β-Ba_2ScAlO_5 и одного кислород-катион-дефицитного блока $Ba_3Sc_4O_9$.

В настоящей работе синтезирован твердый раствор $Ba_7Sc_{6-x}Y_xAl_2O_{19}$ ($0 \le x \le 0.20$) при изовалентном замещении части позиций скандия на иттрий. Образцы были получены по растворной технологии из нитратов соответствующих металлов с органическими реагентами – лимонной кислотой и глицерином. Полученные фазы описывались гексагональной симметрией (пр. гр. $P6_3/mmc$), введение иттрия закономерно приводило к увеличению параметров решетки и объема элементарной ячейки.

По данным термического анализа все полученные фазы способны к обратимому диссоциативному поглощению паров воды из газовой фазы. Степень гидратации в ряду изученных составов увеличивалась с увеличением концентрации допанта (от 1 до 1,12 моль H_2O), что можно объяснить увеличением размеров кислород-дефицитного гексагонального блока, в котором находятся координационно-ненасыщенные полиэдры бария. Соответственно, при гидратации происходит увеличение его координационного окружения за счет встраивания гидроксильных групп в этот блок. Введение иттрия приводило к значительному (~200 ºС) увеличению температуры гидратации-дегидратации.

Электрические свойства керамики изучали при варьировании T, pH_2O и pO_2. Показано, что ведение Y^{3+} приводит к росту протонной проводимости образцов примерно на порядок величины, что обусловлено увеличением концентрации протонов. При допировании подвижность протонных дефектов значимо не менялась.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ и Правительства Свердловской области, проект № 24-13-20026.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОПИРОВАНИЯ ТАНТАЛОМ НА СТРУКТУРУ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ КОБАЛЬТИТА ЛАНТАНА-СТРОНЦИЯ

Власов С.А., Гонгола М.И., Попов М.П., Немудрый А.П.

ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: vlasov@solid.nsc.ru

Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) заслуженно относят к числу наиболее эффективных и экологичных энергогенерирующих решений. Однако их широкое внедрение требует разработки новых материалов и технологий, способных увеличить ресурс работы и снизить себестоимость энергоустановок на основе ТОТЭ [1]. Одним из направлений развития технологий ТОТЭ является поиск новых катодных материалов, способных работать в условиях снижения рабочих температур ТОТЭ до 600-750 °C. Наиболее часто выделяют оксиды со структурой перовскита на основе кобальтита лантана-стронция (LSC) за счет рекордных значений электропроводности. Однако в рабочих условиях LSC обладает КТР, несовместимым с КТР большинства электролитов, в результате чего усложняется процесс нанесения функциональных слоев, что приводит к скорой деградации топливного элемента. В работе [2] было показано, что допирование оксидов на основе кобальтита лантана-стронция высокозарядным катионом Mo^{6+} приводит к снижению КТР. В данной работе в качестве высокозарядного катиона был выбран катион Ta^{5+}. Таким образом, объектом исследования работы является $La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{1-x}Ta_xO_{3-\delta}$ (LSCTx), где x = 0-10. Влияние допирования на структуру было изучено методом РФА; электропроводность изучали методом ван дер Пау.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-30051-П, https://rscf.ru/project/21-79-30051/.

[1] Zhang W., Hu Y. H. Recent progress in design and fabrication of SOFC cathodes for efficient catalytic oxygen reduction // Catalysis Today. – 2023. – Vol. 409. – P. 71–86.

[2] Гонгола М. И., Власов С. А., Попов М. П., Немудрый А. П. In situ высокотемпературная рентгеновская дифракция оксидов $La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{1-x}Mo_xO_{3-\delta}$ (x = 0.0–0.10), применяемых в качестве катодов твердооксидных топливных элементов // Электрохимическая энергетика. – 2025. – Т. 25, № 4. – С. 220–224.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛОИСТЫХ ОКСИДОВ $NaNi_{1/3}Fe_{1/3}Mn_{1/3}O_2$

Го Вэй[1,2], Голинг Г.Ю.[1], Цыдыпылов Д.З.[1], Шиндров А.А.[1,2]

[1]ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: 3107754184@qq.com

[2]Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090

Повышенный спрос на системы накопления энергии для электротранспорта и объектов возобновляемой энергетики обусловливает актуальность разработки новых электродных материалов для натрий-ионных аккумуляторов (НИА). Катод является ключевым фактором, определяющим электрохимические характеристики НИА. Поэтому разработка подходящих катодных материалов является актуальной задачей. Перспективным катодным материалом для НИА является слоистый оксид O3-$NaNi_{1/3}Fe_{1/3}Mn_{1/3}O_2$ (O3-NFM), кристаллическая структура которого обеспечивает двумерную миграцию ионов Na^+. В ходе высокотемпературного твердофазного синтеза O3-NFM может происходить частичная потеря натрия, поэтому исходная стехиометрия по натрию является важным фактором, определяющим формирование целевой O3-фазы и сопутствующих примесных фаз. В связи с этим представляет интерес исследование влияния исходного мольного отношения Na/(Ni+Fe+Mn) на фазовый состав синтезированного O3-NFM, прежде всего на содержание примесных фаз.

Серия образцов O3-NFM была получена методом твердофазного синтеза путем контроля времени нагрева и содержания избытка натрия. Рентгенодифракционный анализ показал, что длительный нагрев не снижает содержание примесной фазы NiO в образцах. Содержание примесной фазы NiO уменьшается с 8,9 мас. % до 1,35 мас. % по мере увеличения избытка Na с 10 мас. % до 35 мас. %. Таким образом, в рамках данного исследования увеличение содержания избытка натрия способствует улучшению фазовой чистоты материала O3-NFM. Полученный O3-NFM демонстрирует значение разрядной емкости 131 мАч $г^{-1}$. Сохранение емкости после 40 циклов составляет более 90 %.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН (проект № 126021217268-2).

СОЗДАНИЕ ПЛОТНОГО КОНТАКТА МЕЖДУ ИНТЕРФЕЙСАМИ ПОЛНОСТЬЮ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО АККУМУЛЯТОРА

Дихтяр Ю.Ю.[1,2,3], Атанов Б.И.[4], Яковлев И.И.[1,2], Капитанова О.И.[1,2]

[1]АНО Идея,
ш. Долгопрудненское, 3, Москва, 127204
[2]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Ленинские горы, 1, Москва, 119991
[3]Сколковский институт науки и технологий,
Большой бульвар, 30, стр. 1, Москва, 121205
[4]ФГБУН Институт физики твердого тела им. Ю.А. Осипьяна РАН,
ул. Академика Осипьяна, 2, Черноголовка, 142432, e-mail: yurydikhtyar@gmail.com

Потребность в портативных устройствах, пилотируемых дронах, автомобилях с электротягой и т. п. влечет за собой повышение требований к накопителям электрохимической энергии. Традиционные металл-ионные аккумуляторы (МИА) в качестве ион-проводящей среды используют органические растворители, обладающие повышенной пожароопасностью и налагающие ограничения на использование материалов с высоким (больше 4,2 В относительно Me^{n+}/Me) средним рабочим потенциалом. Этих недостатков лишены полностью твердотельные аккумуляторы (all-solid-state batteries – ASSB), ключевым компонентом которых выступает твердотельный электролит, работающий одновременно как ион-проводящая среда и как сепаратор (благодаря отсутствию электронной проводимости). Несмотря на достигнутые высокие значения ионной проводимости остается нерешенной проблема плотного контакта и химической стабильности на границах твердый электролит – катод и твердый электролит – анод.

Данная работа направлена на снижение интерфейсного сопротивления твердотельного электрохимического элемента и повышение долговечности аккумулятора в условиях циклирования за счет разработки метода синтеза интерфейса (границы) между катодным материалом и керамическим твердым электролитом. Предложен интерфейс между катодным материалом и твердым электролитом на основе графитоподобного материала. Такой материал обладает демпфирующими свойствами и позволяет предотвратить нежелательные побочные реакции, а также аккумулировать на себе механические напряжения, возникающие из-за объемных изменений катода во время циклов заряда-разряда. В качестве такого демпфера выбрали композит, полученный после термической обработки полиакрилонитрила (ПАН) и литиевой соли. Далее систему из катодного композита ($LiFePO_4$, ПАН, соль лития), демпфера и керамического образца твердого электролита со структурой NASICON'а ($Li_{1.3}Al_{0.3}Ti_{1.7}(PO_4)_3$) подвергли обработке в условиях «вакуумной сварки». Результаты электронной микроскопии показали, что предложенный подход позволил обеспечить эффективный физический контакт твердого электролита с катодным покрытием. Результаты спектроскопии ионного импеданса такой системы (против металлического Li) продемонстрировали снижение ионного сопротивления на границе электролит-катод. Это указывает на успешность применяемого метода для достижения высоких эксплуатационных показателей твердоэлектролитных ячеек.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (№ 24-79-10126).

ТОНКИЕ НИКЕЛЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ НА УГЛЕРОДНЫХ НОСИТЕЛЯХ ДЛЯ ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА

Дмитриев Д.С.

ФГБУН Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,

ул. Политехническая, 26, Санкт-Петербург, 194021, e-mail: elchemorg@gmail.com

В рамках развития водородной энергетики, как ключевого направления перехода к экологически чистым возобновляемым источникам энергии, использование электролиза воды признано наиболее чистым и эффективным методом получения водорода. Однако коммерциализация технологии сдерживается высокой стоимостью катализаторов на основе благородных металлов (Pt, Ru, Ir). В связи с этим критически важен поиск эффективных и доступных альтернатив, среди которых никель занимает лидирующие позиции благодаря высокой активности в реакции выделения водорода (РВВ). Традиционно в качестве трехмерных металлических подложек для РВВ применяется никелевая пена. Однако она обладает рядом существенных недостатков, среди которых основным является избыточная масса активного металла, что утяжеляет электрод и повышает затраты производства водорода.

Использование пористых углеродных матриц – углеродного фетра и углеродной бумаги – в комбинации с методом электроосаждения никеля позволяет кардинально превзойти характеристики никелевой пены. На поверхности углеродного носителя формируются исключительно тонкие, каталитически активные покрытия, в то время как весь внутренний объем электрода состоит из легкого углерода.

В ходе исследования было показано улучшение электрокаталитической активности тонких никелевых покрытий на углеродных носителях [1]. Наблюдается снижение номинального перенапряжения РВВ с −215 мВ для никелевой пены до −120 мВ для никелевого покрытия на углеродном фетре и до −110 мВ для электрода на базе углеродной бумаги.

[1] Dmitriev D. S., Tenevich M. I., Popkov V. I. Electrocatalytic nickel-based coatings from an ammonia-sulfosalicylic bath for water splitting reactions // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, No. 59. – P. 22415–22427.

КОМПОЗИТНЫЕ ЭЛЕКТРОДНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ СРЕДНЕТЕМПЕРАТУРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ДИГИДРОФОСФАТА ЦЕЗИЯ

Дормидонова Д.О., Багрянцева И.Н.

ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: dormidonova@solid.nsc.ru

Для повышения эффективности среднетемпературных топливных элементов (ТЭ) на основе дигидрофосфата цезия (CsH_2PO_4) необходима оптимизация катодных композиций, поскольку реакция восстановления кислорода является наиболее медленной и вносит основной вклад в поляризационные потери.

В работе проведены вольт-амперные испытания топливного элемента с мембраной $0{,}93CsH_2PO_4$–0,07СКФ-260 В (толщина 100 мкм, Т = 238 °С), в котором коммерческий Pt/C (РМ40) катализатор в катодной композиции был частично заменен на синтезированный катализатор Pt/ОУНТ (загрузка Pt — 2,8 мг/см²). Замена позволила повысить пиковую удельную мощность с 50 до 59 мВт/см², а максимальную плотность тока — с 279 до 345 мА/см² при сохранении толщины мембраны и загрузки платины (Рис. 1). ЭДС элемента составила 779 мВ. Улучшение характеристик обусловлено формированием более развитой трехфазной границы и повышением эффективности электронного транспорта благодаря высокой проводимости и разветвленной структуре одностенных углеродных нанотрубок, которые также способствуют формированию пористой структуры, облегчающей транспорт газов к активным центрам.

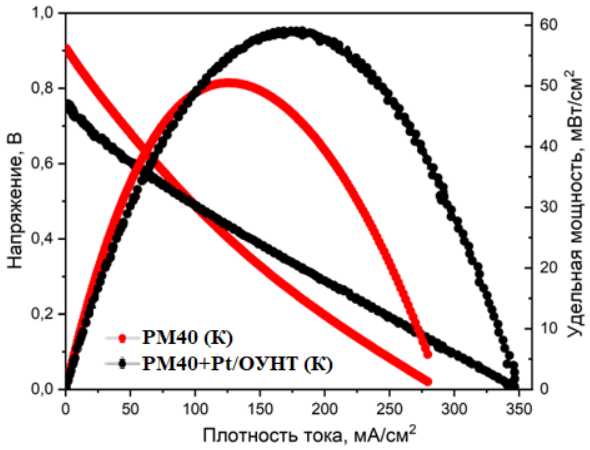

Рисунок 1 — Вольт-амперная и мощностная характеристики водород-кислородного ТЭ с мембраной $0{,}93CsH_2PO_4$–0,07СКФ-260 В (100 мкм).

Работа была выполнена при финансовой поддержке проекта Минобрнауки России в рамках госзадания ИХТТМ СО РАН №126021217269-9.

СТЕКЛОГЕРМЕТИКИ КАК ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ТОТЭ

Дубовцев Д.Ю., Вепрева А.И., Кузнецова Ю.Е., Саетова Н.С.

ФГБОУ ВО Вятский государственный университет,

ул. Московская, 36, Киров, 610000, e-mail: usr22638@vyatsu.ru

Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) представляют собой перспективные электрохимические устройства, способные преобразовывать химическую энергию взаимодействия топлива и окислителя в электрическую. В зависимости от конструкции и применяемых электролитов ТОТЭ работают в широком интервале температур: низкотемпературные (<600 °С), среднетемпературные (650-850°С) и высокотемпературные (850> °С). Важным условием их стабильной работы является надежная герметизация, предотвращающая утечки и смешивание газовых потоков. Для каждого температурного диапазона традиционно используют свои типы стеклогерметиков, различающихся по составу и термическим свойствам.

В настоящей работе предлагается систематизированный подход к выбору и применению стеклогерметиков, а также представлены собственные разработанные составы, адаптированные под конкретные условия работы ТОТЭ. В таблице 1 приведены разработанные стеклогерметики с их основными физико-химическими характеристиками. Представленные составы охватывают широкий спектр значений температур герметизации (T_S). В частности, составы с T_S (950–1070 °С) ориентированы на высокотемпературные ТОТЭ, составы с T_S (800–900 °С) оптимальны для среднетемпературных, а состав с T_S (750 °С) подходит для низкотемпературных ТОТЭ.

Таблица 1 — Характеристики стеклогерметиков.

Система	ρ, г/см^3	T_g, °С	ТКЛР, 10^{-6} °С$^{-1}$	T_S, °С
SiO_2-BaO-Al_2O_3-CaO-B_2O_3	3,7	564	9,4	750
SiO_2-BaO-Al_2O_3-MgO-B_2O_3	3,8	620	11,2	800
SiO_2-Al_2O_3-CaO-MgO-B_2O_3-Y_2O_3	3,5	680	10,1	900
SiO_2-ZrO_2-Al_2O_3-CaO-Na_2O-Y_2O_3	2,5	650	9,5	950
SiO_2-Al_2O_3-CaO-MgO-Na_2O-K_2O-B_2O_3-Y_2O_3	2,5	608	12,4	1070

Исследования проводятся при финансовой поддержке программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ НИКЕЛЯ-ЛАНТАНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КОРРОЗИИ

Дувакин А.М., Саетова Н.С., Бушуев А.Н., Морарь Е.Н., Вылегжанина Д.А.

ФГБОУ ВО Вятский государственный университет,

ул. Московская, 36, Киров, 610000, e-mail: usr23907@vyatsu.ru

Газовая коррозия сталей протекает в широком интервале температур, но особенно опасна она становится при температурах начала интенсивного окалинообразования сталей и выше. Существуют различные способы защиты сталей от высокотемпературной коррозии: создание инертных атмосфер, снижение рабочих температур, нанесение защитных покрытий [1]. Реализация первых двух способов далеко не всегда является возможной в условиях эксплуатации высокотемпературных устройств. В таких случаях нанесение защитных покрытий остается наиболее оптимальным вариантом снижения коррозионной активности сталей. В настоящее время активно развивается технология покрытий на основе реакционно-активных элементов, позволяющих повышать эксплуатационные температуры стальных изделий на 100 - 150 °С и выше.

В качестве перспективного материала покрытия был выбран оксид никеля-лантана ($LaNiO_3$). Материал синтезировали цитрат-нитратным сжиганием, полученный порошок подвергали высокотемпературной обработке, размолу и просеиванию через сито 40 мкм. Для нанесения покрытия готовили суспензии на основе изопропилового спирта с массовым содержанием $LaNiO_3$ от 1 до 3 %. Покрытия наносили на образцы из стали 08Х17Т электрофоретическим способом, обеспечивающим требуемую равномерность, с контролем напряжения на ванне от 30 до 100 В. После нанесения образцы со свеженанесенным покрытием сушили при комнатной температуре, далее подвергали высокотемпературной обработке при 1100 °С с целью получения плотноспеченного слоя $LaNiO_3$.

Образцы стали 08Х17Т с покрытием подвергали изотермической выдержке при 850 °С в воздушной атмосфере с периодическим контролем привеса. Полученное защитное покрытие снижает удельный коррозионный привес стальных изделий до 25 раз в сравнении с незащищенной сталью 08Х17Т.

Исследования проводятся при финансовой поддержке государственной программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

[1] Лихачев В.А., Глушков Е.Д. Коррозия и защита строительных конструкций: учеб. пособие. Киров: ВятГУ, 2006. – 65 с.

АНОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ Li- И Na-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ MoS_2 И ВОГ

Загузина А.А., Ворфоломеева А.А., Федоренко А.Д., Окотруб А.В., Булушева Л.Г.

ФГБУН Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,

пр. Академика Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090, e-mail: kotsun@niic.nsc.ru

Использование Li- и Na-ионных аккумуляторов (ЛИА и НИА) при температурах ниже 0 °C сопровождается деградацией электрохимических характеристик вследствие замедления кинетики электрохимических реакций, снижения ионной проводимости электролита и роста сопротивления твердого электролитного межфазного слоя. Одним из эффективных подходов для устранения ограничений является разработка анодного материала, стабильно работающего в широком диапазоне температур. Перспективным является дисульфид молибдена с межслоевым расстоянием 0,62 нм и теоретической емкостью 669 мА·ч/г. Однако его применение ограничено низкой электронной проводимостью и значительной механической деградацией. Создание гибридных материалов с восстановленным оксидом графена (ВОГ) приводит к образованию проводящего углеродного каркаса, обеспечивающего эффективный транспорт электронов. Это также способствует компенсации расширений объема при взаимодействии с металл-ионами и стабилизации структуры за счет образования ковалентных связей.

В настоящей работе гибридные материалы MoS_2/ВОГ синтезированы методом быстрого термолиза аэрогелей $(NH_4)_2MoS_4$ и оксида графита при температурах 600 °C и 700 °C. Структура и состав материалов были охарактеризованы методами РЭМ, ПЭМ, КРС, РФА и РФЭС. Увеличение температуры синтеза приводит к изменению взаимной ориентации слоев MoS_2 относительно поверхности ВОГ. Электрохимические испытания в ЛИА продемонстрировали сохранение емкости 62 и 22 % при снижении до –20 °C и повышении до 2 $А·г^{-1}$ для образца, полученного при 600 °C. В НИА лучший гибридный материал, полученный при 700 °C, показал сохранение емкости 66 и 48 % при 0 °C и 0,1 и 2 $А·г^{-1}$. Исследование электродов после длительного циклирования выявило сохранение слоистой структуры 2H-MoS_2 и образование 1T-MoS_2 и Li_2S (Na_2S).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 23-73-00048).

ЭЛЕКТРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ ИЗ ИСКОПАЕМОГО УГЛЯ И ПРОДУКТОВ УГЛЕХИМИИ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ЩЕЛОЧНОЙ АКТИВАЦИИ

Захаров Н.С., Нечаева Т.С., Сименюк Г.Ю., Сергина Т.С., Пригородова А.Н.

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, пр. Советский, 18, Кемерово, 650000

Интеграция возобновляемых источников энергии требует буферных накопителей для сглаживания пиковых нагрузок. Эту задачу эффективно решают суперконденсаторы на основе двойного электрического слоя, однако их применение в РФ сдерживается стоимостью импортных электродных материалов – графена, углеродных нанотрубок и активированного угля из кокосовой скорлупы. Перспективным решением является использование отечественного ископаемого угля и продуктов углехимии. В работе представлены результаты исследования высокопористых углеродных материалов, синтезированных в ФИЦ УУХ СО РАН методом высокотемпературной щелочной активации. Показана возможность целенаправленного регулирования их электрохимических характеристик; в таблице 1 обобщены параметры суперконденсаторных ячеек на основе полученных образцов в щелочном электролите.

Таблица 1 – Характеристики суперконденсаторных ячеек на основе углеродных материалов различного генезиса (масса одного электрода 10 мг).

Применяемое сырье	Удельная емкость электродного материала в 6 М KOH при скоростях сканирования 10 / 80 мВ/с в окне напряжений от -0.8 до + 0.8 В, Ф/г	Удельная мощность при напряжении 1 В и токе 10 мА, Вт/кг
Бурый уголь	155 / 72	374
Сапропелитовый уголь	155 / 130	260
Каменноугольный пек	157 / 92	279

Исследование выполнено в рамках реализации проекта № 126031018539–3 ФИЦ УУХ СО РАН на оборудовании ЦКП ФИЦ УУХ СО РАН.

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОПРОВОДЯЩИХ ОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КАТОДНОГО ТОКОСЪЕМНОГО СЛОЯ В МИКРОТРУБЧАТЫХ ТОТЭ

Ичетовкина Д.В.[1], Строева А.Ю.[2], Фуад М.Г.[3], Тропин Е.С.[3], Корякина В.А.[2], Левченко Е.А.[1], Кузьмин А.В.[1,2], Немудрый А.П.[3], Сивак А.В.[1]

[1]Научно-исследовательский центр «Топаз», ул. Золоторожский вал, 4а/1, Москва, 111033, e-mail: d.ichetovkina@topaz-center.ru

[2]ФГБОУ ВО Вятский государственный университет, ул. Московская, 36, 610000, Киров

[3]ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090

Материалы структуры $La_2Ni_{1-x}Co_xO_{4\pm\delta}$ обладают высокой смешанной ионно-электронной проводимостью и каталитической активностью в реакциях восстановления кислорода, а также приемлемым коэффициентом термического расширения (КТР), что позволяет использовать их в качестве катодного функционального слоя (КФС) в твердооксидных топливных элементах (ТОТЭ) [1]. В свою очередь, катодный токосъемный слой (КТС) должен обеспечивать эффективный сбор тока и перенос вдоль микротрубчатого ТОТЭ. Согласно литературным данным [2], в качестве КТС наиболее эффективны благородные металлы. Однако их применение ограничено высокой стоимостью.

В докладе рассмотрен подход замены токосъемных слоев из благородных металлов на высокопроводящие керамические материалы (например, LNCF). Удельная плотность тока ячейки МТ-ТОТЭ с LNCF составила 358 мА/см^2, что сопоставимо со значениями ячейки с Ag в качестве КТС (352 мА/см^2) при напряжении 0,7 В и рабочей температуре 750 °C.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект РНФ № 25-19-90002, https://rscf.ru/project/25-19-90002/). Квалифицированным заказчиком проекта является компания ООО «Н2 Инвест».

[1] Yaremchenko A.A., Kharton V.V., Patrakeev M.V., Frade J.R. p-Type electronic conductivity, oxygen permeability and stability of $La_2Ni_{0.9}Co_{0.1}O_{4+\delta}$ // Journal of Materials Chemistry. – 2003. – Vol. 13, No. 5. – P. 1136–1144.

[2] Zhu J.H., Ghezel-Ayagh H. Cathode-side electrical contact and contact materials for solid oxide fuel cell stacking: A review // International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – Vol. 42, No. 38. – P. 24278–24300.

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ ПЛАТФОРМЫ НА ОСНОВЕ ХИНОЛИНА КАК ЭФФЕКТИВНЫЕ ГОМОГЕННЫЕ ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Климаева Л.А., Кемаева Е.А.

ФГБОУ ВО Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,

ул. Большевистская, 68б, Саранск, 430005, e-mail: ekemaeva1@gmail.com

В рамках исследования электрохимических свойств и каталитической активности были изучены хинолин – I и 2,2’–бихинолин – II в реакции восстановления до молекулярного водорода.

Для соединения I характерна одноэлектронная необратимая волна при потенциале E = -2,0 В. Соединение II демонстрирует более сложную картину: образование двух волн при потенциалах E_1 = -0,92 В и E_2 = -1,71/1,59) В, одна из которых является обратимой.

В присутствии трифторуксусной кислоты (CF_3COOH) оба соединения проявляют высокую электрокаталитическую активность, однако механизмы образования H_2 различаются. Для хинолина при E = -0.88 В наблюдается появление новой волны, ток которой линейно растет с увеличением концентрации кислоты без смещения потенциала за счет последовательного присоединения электронов и протонов к атому азота пиридинового кольца. В случае 2,2’-бихинолина добавление CF_3COOH вызывает анодный сдвиг исходной волны до -0,41 В, а при более трех эквивалентов формируется высокообратимая волна при E = -0,5 В. Это обусловлено образованием ключевого интермедиата – хиноидной структуры, обеспечивающей синергетическое взаимодействие двух атомов азота димера.

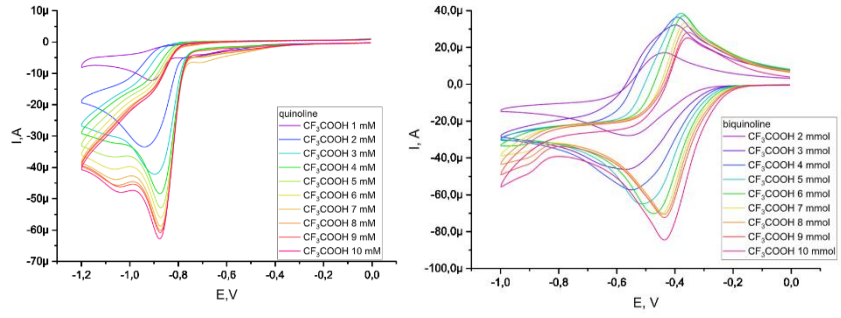

Рисунок 1 — Вольтамперограммы соединений I и II в присутствии CF_3COOH (C = 1 мМ, СУ, 100 мВ/с, CH_3CN, 0.1M Bu_4NBF_4, Ag/AgCl/KCl aq).

Димерные азотсодержащие платформы на основе хинолина перспективны как эффективные низковольтовые гомогенные катализаторы для производства чистого H_2.

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ГЕКСАГОНАЛЬНОГО $NaCoPO_4 \times nH_2O$: ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА, СТРУКТУРЫ И ПОДВИЖНОСТИ ИОНОВ Na^+

Киселева Е.Д.[1,2], Морхова Е.А.[3], Шиндров А.А.[1,2]

[1]*ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: e.kiseleva6@g.nsu.ru*

[2]*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090*

[3]*Школа материаловедения и инженерии, Северо-Западный политехнический университет, Сиань, Шэньси, Китай, 710072*

Ортофосфаты $AMPO_4$ представляют интерес как материалы для систем хранения энергии благодаря разнообразию кристаллических структур и наличию каналов для миграции катионов. Особый интерес представляет $NaCoPO_4$, для которого известны несколько структурных модификаций. При этом гидратированная кобальтовая фаза $NaCoPO_4 \times 1{,}5H_2O$ ранее не была описана, несмотря на известную возможность низкотемпературного получения $NaZn_{0,8}Co_{0,2}PO_4 \times 1{,}5H_2O$. Целью работы являлся механохимический синтез гексагонального $NaCoPO_4 \times nH_2O$ и исследование его фазового состава, структуры и подвижности ионов Na^+ в гидратированной и дегидратированной фазах.

$NaCoPO_4 \times nH_2O$ (NCPH) получали механохимическим синтезом при 850 об/мин в течение 2,5–15,0 мин. По данным термогравиметрии состав полученной фазы соответствует $NaCoPO_4 \times 1{,}3H_2O$. NCPH кристаллизуется в гексагональной сингонии, пространственная группа $P6_1$. В ходе дегидратации при 400 °C структура сохраняется и образуется β-$NaCoPO_4$ (NCP) с пространственной группой $P6_5$.

Электрохимические исследования показали деинтеркаляцию 0,6 Na^+ (NCPH) и 0,15 Na^+ (NCP) при первом заряде. При последующем циклировании обратимая интеркаляция была ограничена 0,02–0,08 Na^+ на формульную единицу. *Ex situ* РФА исследования показали смещение рефлексов при заряде в область больших углов без разрушения структуры, что свидетельствует о сохранении кристаллических каркасов в процессе обратимой интеркаляции. Геометрико-топологический анализ выявил трехмерные пути миграции Na^+ в обеих фазах. Экспериментальные данные указывают на более высокую подвижность Na^+ в гидратированной фазе.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН (проект № 126021217268-2).

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ КИСЛОРОДНОГО ОБМЕНА НА ПОВЕРХНОСТИ МИКРОТРУБЧАТЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПЕРОВСКИТОПОДОБНЫХ ОКСИДОВ

Ковалев И.В., Попов М.П., Гонгола М.И., Гуськов Р.Д., Чижик С.А., Немудрый А.П.

ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090 e-mail: kovalev@solid.nsc.ru

Перовскитоподобные оксиды со смешанной ионно-электронной проводимостью представляют значительный интерес благодаря высокой электронной и кислород-ионной проводимости, а также каталитической активности. Данные материалы перспективны для применения в качестве мембранных материалов, в том числе в каталитических мембранных реакторах, а также электродов твердооксидных топливных элементов и электролизеров.

Эффективность кислород-проницаемых мембран определяется, в частности, коэффициентом объемной диффузии кислорода D и константой скорости поверхностного обмена k. Традиционно данные параметры определяют методами релаксационной кинетики или по зависимости кислородного потока через планарные мембраны [1]. Использование микротрубчатых мембран для исследования кислородной проницаемости может представлять собой перспективный подход к определению кинетических параметров, однако требует разработки адекватной математической модели кислородного транспорта.

В настоящей работе показана применимость оригинальной математической модели кислородного транспорта через микротрубчатые кислород-проницаемые мембраны на основе оксидов со смешанной ионно-электронной проводимостью. Проведено сопоставление кинетических параметров, определенных на основе экспериментальных данных по кислородной проницаемости и релаксации парциального давления кислорода.

Работа выполнена при финансовой поддержке госзадания ИХТТМ СО РАН, проект 121032500059-4.

[1] Zhang K., Wang S., Liu S., Sunarso J., Shao Z., Zhou W., Sun C. Research progress and materials selection guidelines on mixed conducting perovskite-type ceramic membranes for oxygen production // RSC Advances. – 2011. – Vol. 1, No. 9. – P. 1661–1676.

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Козлов Д.В.[1], Кузнецов А.Н.[1], Кузнецов В.Л.[2], Лебедева М.В.[1], Мальцева Н.В.[1], Мосеенков С.И.[2], Потемкин Д.И.[2], Чупин С.В.[1], Юдаев Д.В.[1]

[1]*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, ул. Пирогова, 2, Новосибирск, 630090*

[2]*ФГБУН ФИЦ Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, пр. Ак. Лаврентьева, 5, Новосибирск, 630090*

e-mail: d.kozlov@g.nsu.ru

Многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ) - наноразмерные структуры, состоящие из нескольких, вложенных друг в друга графеновых слоев, свернутых в цилиндры диаметром 10–50 нм. МУНТ обладают уникальным сочетанием физико-химических свойств: сверхвысокой прочностью на разрыв, высокими электро- и теплопроводностью, химической и термической стабильностью, что делает их одним из востребованных наноматериалов в электрохимических процессах. Даже небольшие количества МУНТ (0,05–1,0 мас. %) могут существенно изменять электрохимические и электрофизические характеристики электродов: увеличивать электропроводность и, соответственно, кинетику заряда-разряда, улучшать химическую стабильность тем самым продлевая срок службы. Помимо использования в качестве модифицирующих добавок МУНТ могут быть использованы как носители и катализаторы в процессах электрокаталитического окисления и восстановления.

В ходе совместной работы коллектив ИК СО РАН синтезировал МУНТ различного строения, а коллектив НГУ исследовал влияние введения синтезированных МУНТ в электродную массу Li-ion аккумуляторов и суперконденсаторов на характеристики устройств, а также применение МУНТ в качестве катализаторов электрохимического синтеза пероксида водорода.

Показано, что введение МУНТ в состав катодных масс Li-ion аккумуляторов на основе смешанных оксидов лития-никеля-марганца-кобальта с высоким содержанием никеля (NMC, $LiNi_{1-x-y}Mn_xCo_yO_2$) и в состав электродной массы суперконденсаторов на основе активированных углеродных материалов позволяет достигать более высоких токов разрядки и улучшить стабильность при многократном циклировании.

МУНТ, модифицированные кислород содержащими функциональными группами и/или убихиноном (коэнзимом Q10) являются перспективными катализаторами электрохимической генерации H_2O_2 из воды и кислорода.

ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И КОЛЛЕКТОРНЫХ КАТОДНЫХ СЛОЕВ ПКТЭ

Корякина В.А., Бервицкая О.С., Строева А.Ю., Кузьмин А.В.

ФГБОУ ВО Вятский государственный университет,

ул. Московская, 36, Киров, 610000, e-mail: usr23503@vyatsu.ru

Протон-керамические топливные элементы (ПКТЭ) привлекают значительное внимание как электрохимические установки нового поколения благодаря высокой эффективности и экологичности преобразования энергии. Возможность снижения рабочей температуры до 700 ℃ при применении электролита с протонной проводимостью, с одной стороны, экономически привлекательно, с другой стороны, приводит к увеличению поляризационных сопротивлений на границе раздела электролит/электрод и может негативно влиять на мощностные характеристики. Для повышения производительности ПКТЭ необходим подбор согласующихся по своей природе с электролитными материалами эффективных катодных составов, поскольку именно в этих слоях происходит наибольшая часть потерь энергии в результате реакции восстановления кислорода.

Нами всесторонне исследованы протонные электролиты $La_{0.9}Sr_{0.1}ScO_{3-\delta}$, сочетающие достаточно высокую протонную проводимость и хорошую химическую устойчивость к водяному пару и парам CO_2. В качестве функционального катодного материала предложен оксид состава $La_{0.9}Sr_{0.1}Sc_{0.6}Mn_{0.4}O_{3\pm\delta}$, демонстрирующий низкие поляризационные сопротивления, химическую и термическую совместимость с данным электролитом. Основная задача исследования – подбор состава и методики формирования коллекторного катодного слоя, обеспечивающие получение оптимальной микроструктуры электрода и достижение наибольшей плотности мощности. В рамках работы сопоставлены электрохимические характеристики ячеек ПКТЭ при варьировании состава коллекторного катодного слоя, а также изучено влияние предварительной активации этих материалов пропиткой спиртовым раствором нитрата празеодима.

Исследования проводятся при финансовой поддержке программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

АНАЛИЗ ПРОВОДИМОСТИ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ, ПОЛУЧЕННОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОРЕАКТОРА

Кудряшова Ю.С.[1], Абиев Р.Ш.[1,2]

[1]Филиал НИЦ Курчатовский институт - ПИЯФ - ИХС,

наб. Макарова, 2, Санкт-Петербург, 199034, e-mail: kadulinajul@mail.ru

[2]Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Московский пр, 24-26, Санкт-Петербург, 190013

e-mail: abiev.r@spbti.ru

Стабилизация кубической модификации диоксида циркония оксидами иттрия позволяет получать керамику для газовых сенсоров. При высоких температурах c-ZrO_2 демонстрирует кислород-ионную проводимость, появляющуюся в результате накопления кислородных вакансий, компенсирующих при образовании твердого раствора недостаток положительного заряда катионов.

Для получения наноструктурной керамики необходимо обеспечить получение порошков-прекурсоров с узким распределением частиц по размерам. Принципиально новые возможности для неорганического синтеза может открыть использование микрореакторов различной архитектуры для синтеза порошков прекурсоров. Особенностью таких микрореакторов является векторное сложение поступательной и вращательной компонент скорости сталкивающихся потоков, что приводит к удвоению скорости диссипации кинетической энергии в аппарате и способствует увеличению качества микросмешения.

Образцы, полученные в результате синтеза в микрореакторе, обладают высоким значением электропроводности порядка $\sigma_{545} = 3{,}8 \cdot 10^{-4}$ См/см. При выделении оксидов азота в процессе нагрева наблюдается резкое изменение электропроводности исследуемого образца, что свидетельствует о перспективности его применения в газочувствительных сенсорах.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №26-63-0005 «Разработка научных и технологических основ непрерывного синтеза квантовых точек, перовскитов и других материалов электроники и фотоники в однофазных и двухфазных микрореакторах (2026-2029)».

УПРАВЛЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРОЙ МИКРОТРУБЧАТЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ $La_{0.6}Sr_{0.2}Ba_{0.2}Fe_{0.7}Co_{0.2}Ni_{0.1}O_{3-\delta}$

Лаптев Е.[1,2], Черендина О.В.[1], Шубникова Е.В.[1], Тропин Е.С.[1], Брагина О.А.[1], Немудрый А.П.[1]

[1]ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090

[2]ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, 117198, e-mail: kmree@mail.ru

$La_{0.6}Sr_{0.2}Ba_{0.2}Fe_{0.7}Co_{0.2}Ni_{0.1}O_{3-\delta}$ (LSBFCN) оксид является перспективным материалом для создания каталитического мембранного реактора для получения водорода путем парциального окисления метана. Одним из ключевых факторов, определяющих производительность каталитического мембранного реактора, является микроструктура микротрубчатой мембраны. Цель работы – установить взаимосвязь между технологией получения мембран $La_{0.6}Sr_{0.2}Ba_{0.2}Fe_{0.7}Co_{0.2}Ni_{0.1}O_{3-\delta}$ (LSBFCN) и их микроструктурой. Микротрубчатые LSBFCN мембраны были изготовлены с использованием методов фазовой инверсии и погружения в суспензию с последующим спеканием на воздухе при 1370 °C. При формировании мембран методом фазовой инверсии применение дистиллированной воды в качестве как внешнего, так и внутреннего коагулянта приводит к образованию двух пористых слоев с тонким газоплотным слоем, расположенным между ними. При изготовлении мембран методом погружения в суспензию после проведения коагуляции в водной среде и последующего спекания наблюдается формирование внутреннего газоплотного (толщиной 60 мкм) и внешнего пористого слоев. При этом повышение скорости вытягивания от 30 до 150 мм/мин увеличивает толщину газоплотного слоя в диапазоне от 70 до 190 мкм. Таким образом, варьирование условий изготовления мембран позволяет тонко управлять микроструктурой мембран, что открывает возможность оптимизации их прочности и производительности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН молодежной лаборатории «Разработка мембранных материалов и технологий для водородной энергетики» (проект 126011215469-6).

МАТЕРИАЛЫ СО СМЕШАННОЙ ЭЛЕКТРОННО-ИОННОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Левкевич Е.А.[1,2], Закалюкин Р.М.[1,2]

[1]*МИРЭА – Российский технологический университет,*

пр. Вернадского, 78, Москва, 119454

[2]*Курчатовский комплекс кристаллографии и фотоники НИЦ Курчатовский институт,*

Ленинский проспект, 59, Москва, 119333, e-mail: levkevich.k@crys.ras.ru

Нанокомпозиты на основе однослойных углеродных нанотрубок (ОСУНТ) – перспективные одномерные функциональные наноматериалы. Впервые получены и охарактеризованы нанокомпозиты внедрения фторида олова SnF_2, тетрафторстанната свинца $PbSnF_4$ и их эвтектического состава $E(PbSnF_4;SnF_2)$ в каналы ОСУНТ. Внедренные в каналы углеродных нанотрубок соединения обладают фтор-ионной проводимостью, а углеродные нанотрубки – электронной.

Полученные нанокомпозиты имеют смешанную электронно-ионную проводимость. Показана возможность использования синтезированных нанокомпозитов как универсальной присадки, улучшающей электронную проводимость суперионных материалов на примере фторида олова как катодного слоя фтор-ионного гальванического элемента. Изготовлены твердотельные фтор-ионные гальванические элементы в виде многослойных таблеток. Выполнены исследования образцов таблеток по методу циклической вольтамперометрии (ЦВА) в атмосфере N_2 в диапазоне температур от 25 °C до 180 °C. После циклической вольтамперометрии проведена импедансная спектроскопия таблеток при комнатной температуре в диапазоне частот от 14×10^6 до 10^{-2} Гц.

Электрофизические характеристики фторида олова с присадкой нанокомпозита SnF_2@ОСУНТ в 4 раза превосходят характеристики исходного SnF_2, в частности плотность тока при 180 °C достигает ~ 1,3 А/м^2. Сравнительные исследования с классическими углеродными присадками показали, что полученная величина превышает значения плотности тока для фторида олова с присадкой графена (в 3,2 раза) и графита (в 1,7 раза).

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

ПОСЛОЙНАЯ ХИМИЧЕСКАЯ СБОРКА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕКТРОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Лобинский А.А., Канева М.В., Кодинцев И.А., Левшакова А.С.

ФГБУН Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,

ул. Политехническая, 26, Санкт-Петербург, 194021, e-mail: lobinski.a@mail.ru

Тонкопленочные электроактивные материалы (ТЭМ) находят широкое применение в электронике, сенсорике, системах хранения энергии, электро- и фотокатализе благодаря высокому отношению площади к объему, регулируемому поверхностному заряду и анизотропной природе.

Методы послойной химической сборки (ПХС), в частности методика ионного наслаивания из водных растворов, обладают ключевыми технологическими преимуществами для получения ТЭМ. Они позволяют получать сверхтонкие наноструктурированные 1D-, 2D- и 3D-материалы с быстрой кинетикой переноса заряда на подложках со сложной трехмерной архитектурой и высокоразвитой поверхностью. Кроме того, простота используемого оборудования, высокая воспроизводимость и мягкие условия синтеза обеспечивают хорошую экономическую эффективность технологии.

В работе представлены примеры синтеза ТЭМ на основе неорганических соединений переходных металлов (оксидов, слоистых двойных гидроксидов, сульфидов и гексацианоферратов), полученных методом ионного наслаивания, а также исследованы их электрохимические свойства. Синтезированные образцы продемонстрировали высокую эффективность в составе электродов суперконденсаторов, микроаккумуляторов, электро- и фотоэлектрокатализаторов расщепления воды. Полученные результаты открывают перспективы применения разработанных материалов в миниатюрных устройствах накопления энергии, компактных генераторах водорода с полимерной мембраной, системах проточной очистки воды от токсичных органических загрязнений и других типах электрохимических устройств.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 24-19-20060).

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Лысков Н.В.

ФГБУН Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, пр-т Академика Семенова, 1, Черноголовка, Московская область, 142432, e-mail: lyskov@icp.ac.ru

Среди различных доступных электрохимических методов изучения электротранспортных свойств функциональных материалов, а также процессов на границе электрод/электролит метод электрохимической импедансной спектроскопии (ЭИС) является одним из мощных и универсальных инструментов, позволяющих решать широкий спектр исследовательских задач. В основе данного метода лежит использование малоамплитудного переменнотокового воздействия на исследуемую электрохимическую систему в широком частотном диапазоне (от МГц до мГц), что позволяет выделять различные постоянные времени в общем электрохимическом процессе, характерные для его различных элементарных стадий, таких как зарядка двойного слоя, перенос заряда, массоперенос, адсорбция и др.

В рамках представленного доклада будут рассмотрены следующие основные аспекты, связанные с использованием метода ЭИС применительно к исследованию высокотемпературных твердотельных электрохимических систем, включающие:

- первичный анализ импедансного отклика, выбор и построение эквивалентной электрической схемы (ЭЭС);

- определение численных параметров ЭЭС и симуляция импедансного спектра;

-рассмотрение типичных примеров импедансного отклика поликристаллического твердого электролита, границы электрод/электролит и твердооксидного топливного элемента, а также расчет их основных электрохимических характеристик.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 25-29-00323, https://rscf.ru/project/25-29-00323/) и темы государственного задания ФИЦ ПХФ и МХ РАН (124013000692-4).

КОМПОЗИТНЫЕ КАТОДЫ $LiFePO_4$ С ПОКРЫТИЕМ Li_3InCl_6 ДЛЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛИТИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Лэй Ц.[1], Захарченко Т.К.[2], Яшина Л.В.[1]

[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, 119991, Россия, e-mail: jiayun97@mail.ru

[2]Университет Бар-Илан, Рамат-Ган, Израиль

Твердотельные аккумуляторы являются перспективными системами хранения энергии благодаря высокой удельной энергоемкости и повышенной безопасности. Однако недостаточный межфазный контакт между катодным активным материалом и твердым электролитом в композитном катоде остается одной из ключевых проблем, ограничивающих их практическое применение. В данной работе на примере $LiFePO_4$ и Li_3InCl_6 исследовано влияние способа изготовления композитного катода и морфологии частиц $LiFePO_4$ на качество межфазного контакта и электрохимические характеристики твердотельных аккумуляторов.

Для этого был оптимизирован метод получения Li_3InCl_6 из раствора, а также синтезирован $LiFePO_4$ твердофазным и сольвотермальным методом с размером первичных частиц порядка 100 нм. Также в работе был использован коммерческий $LiFePO_4$ с размером вторичных агломератов порядка 1 мкм. Композитные катоды получали нанесением Li_3InCl_6 из раствора на $LiFePO_4$ различного типа, а также механическим смешением $LiFePO_4$ и Li_3InCl_6.

Установлено, что нанесение твердого электролита на поверхность катодного активного материала значительно улучшает межфазный контакт в композитном катоде, повышает долю активного материала, задействованного в электрохимических процессах. При содержании твердого электролита 30 % удельная емкость такого композита достигает 140 $мА \cdot ч \cdot г^{-1}$. Выявлено, что частицы $LiFePO_4$ со средним размером около 100 нм обеспечивают более высокую циклическую стабильность по сравнению с коммерческим $LiFePO_4$. После 600 циклов при токовой нагрузке 0,3 С сохранение емкости для композита с первичными частицами $LiFePO_4$ составило 73 %.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что оптимизация способа изготовления композитного катода и размера частиц активного катодного материала является необходимым условием для достижения высоких электрохимических характеристик композитных катодов Li_3InCl_6-$LiFePO_4$.

ПОЛУЧЕНИЕ ТВЕРДОГО ЭЛЕКТРОЛИТА $Li_{7-3x}Al_xLa_3Zr_2O_{12}$ (0.15<x<0.30) МЕТОДОМ СВС

Макаров В.М.[1], Стебницкий И.А.[2], Матейшина Ю.Г.[2]

[1]*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090, e-mail: v.makarov3@g.nsu.ru*

[2]*ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090*

К перспективным твердотельным электролитам относятся соединения со структурой граната, имеющие общую формулу $Li_xLa_3M_2O_{12}$ (M = In, Zr, …; 6<x<10). Такие соединения характеризуются высокими значениями проводимости суперионной фазы. Среди них выделяется $Li_7La_3Zr_2O_{12}$: его проводимость в кубической фазе может достигать ~10^{-4} См/см при 25 °C. Однако при его синтезе может образовываться низкопроводящая тетрагональная фаза ($1{,}6\cdot10^{-6}$ См/см при 27 °C). Введение Al^{3+} в позиции Li^+ приводит к стабилизации кубической фазы смешанного оксида [1]. Для синтеза $Li_{7-3x}Al_xLa_3Zr_2O_{12}$ используются следующие методы: твердофазный синтез, механическая активация, золь-гель синтез [2]. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) за счет высоких локальных температур, достигаемых в волне горения, позволяет значительно сократить последующее время отжига прекурсоров, что повышает дисперсность продукта. Это позволяет решить одну из существенных проблем, препятствующих использованию суперионных керамик в качестве твердого электролита, – высокое межзеренное сопротивление частиц.

Целью настоящей работы было получение высокодисперсных суперионных керамик состава $Li_{7-3x}Al_xLa_3Zr_2O_{12}$ (0,15<x<0,30) методом СВС и исследование фазовых составов, ионной проводимости и других физико-химических свойств полученных материалов.

[1] Rangasamy E., Wolfenstine J., Sakamoto J. The role of Al and Li concentration on the formation of cubic garnet solid electrolyte of nominal composition $Li_7La_3Zr_2O_{12}$// Solid State Ionics. – 2012. – Vol. 206. – P. 28–32.

[2] Raju M.M., Altayran F., Johnson M., Wang D., Zhang Q. Crystal structure and preparation of $Li_7La_3Zr_2O_{12}$ (LLZO) solid-state electrolyte and doping impacts on the conductivity: an overview // Electrochem. – 2021. – Vol. 2, No. 3. – P. 390–414.

ПЛЕНКИ ПОЛИПИРРОЛА И ПОЛИАНИЛИНА ДЛЯ ЭЛЕКТРОФОРЕТИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ТВЕРДОГО ЭЛЕКТРОЛИТА ТОТЭ

Максимова Д.С.[1], Калинина Е.Г.[1,2]

[1]ФГБУН Институт электрофизики УрО РАН,

ул. Амундсена, 106, Екатеринбург, 620105, e-mail: r.dasha.ds@yandex.ru

[2]ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,

ул. Мира, 19, Екатеринбург, 620062

Метод электрофоретического осаждения (ЭФО) широко применяется для формирования тонкопленочных твердых электролитов твердооксидных топливных элементов, в частности допированного самарием или гадолинием диоксида церия (SDC или GDC). Проведение ЭФО слоя на непроводящие подложки требует модификации их поверхности посредством создания электропроводящего подслоя. Использование выгораемых проводящих полимерных пленок полипиррола (PPy) и полианилина (ПАНИ) является перспективным подходом для проведения ЭФО на непроводящих подложках. Настоящая работа посвящена исследованию морфологии и электропроводящих свойств пленок PPy и ПАНИ, синтезированных на подложках GDC методом химической полимеризации в водном растворе, а также оценке эффективности их применения в качестве проводящих подслоев для проведения ЭФО слоя твердого электролита SDC.

Пленки PPy на подложках GDC синтезировали в водной среде с использованием пиррола, персульфата аммония и п-толуолсульфоната натрия (концентрации реагентов 0,01 М и 0,02 М). Пленки ПАНИ получали окислительной полимеризацией анилина в присутствии HCl (концентрация мономера/окислителя – 0,02–0,1 М, допанта HCl – 0,02–1,0 М). Установлено, что увеличение концентрации реагентов при синтезе PPy и ПАНИ приводит к повышению их поверхностной проводимости. Для ПАНИ максимальная поверхностная проводимость (365 мкСм) достигается при молярном соотношении мономер/окислитель: допант = 0,1/0,1 : 1 М. Получена различная морфология полимерных пленок: пленка PPy состоит из цепочек агломерированных сферических наночастиц, для пленок ПАНИ обнаружено наличие частиц в виде волокон длиной до 10 мкм. Показана возможность проведения ЭФО сплошного слоя SDC толщиной 16-26 мкм на подложки GDC с подслоями PPy (проводимость ≥10 мкСм) и ПАНИ (проводимость ≥365 мкСм).

МЕССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ $La_{0.4}Sr_{0.6}Fe_{1-x}Al_xO_{3-\delta}$

Мамонова В.Е., Арапова М.В., Брагина О.А., Немудрый А.П.

ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: mamonova@solid.nsc.ru

Для практического применения сложных оксидов со структурой перовскита важно понимание их свойств, которые напрямую определяются зарядовым состоянием и симметрией локального окружения ионов железа. Одним из наиболее информативных методов для исследования материалов, содержащих атомы железа, является Мессбауэровская спектроскопия. Целью данной работы являлось исследование серии оксидов $La_{0.4}Sr_{0.6}Fe_{1-x}Al_xO_{3-\delta}$ (x = 0–0,20) методом Мессбауэровской спектроскопии и установление влияния допирования алюминием на зарядовое состояние железа, локальную структуру и магнитные свойства образцов.

Мессбауэровские исследования выполнены на автоматизированном спектрометре поглотительного типа, работающем в режиме постоянных ускорений. В качестве источника резонансных гамма-квантов использовался изотоп ^{57}Co. Измерения проводились при температурах 90 К и 300 К. Все исследуемые образцы при комнатной температуре находятся в парамагнитном состоянии. Отсутствие в спектре магнитоупорядоченных компонент и промежуточные между Fe^{3+} и Fe^{4+} значения химического сдвига позволяют предполагать высокую скорость электронного обмена в образцах. Показано, что увеличение концентрации алюминия в оксиде приводит к монотонному росту квадрупольного расщепления, что свидетельствует о росте локальных структурных искажений кислородного окружения железа. Измерения при 90 К показали изменение формы спектров с появлением магнитоупорядоченных областей. В низкотемпературных спектрах можно выделить компоненты, соответствующие атомам железа в степени окисления 3+ и 5+, что позволяет предполагать диспропорционирование заряда в образцах по схеме: $2Fe^{4+} \rightarrow Fe^{3+} + Fe^{5+}$.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН молодежной лаборатории «Разработка мембранных материалов и технологий для водородной энергетики» (проект 126011215469-6).

СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КИСЛОРОДНОГО ОБМЕНА В ОКСИДАХ $La_{0.65}Ca_{0.35}Co_{0.2}Fe_{0.8-x}Al_xO_{3-\delta}$

Мамонова В.Е., Арапова М.В., Брагина О.А., Немудрый А.П.

ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: mamonova@solid.nsc.ru

Разработка новых функциональных материалов для электрохимических устройств, таких как твердооксидные топливные элементы и твердооксидные электролизеры, требует понимания взаимосвязи между кристаллической структурой и термодинамикой дефектообразования в оксидах со структурой перовскита. Целью данной работы являлось исследование влияния допирования алюминием на структурные параметры и характеристики процессов выделения кислорода в оксидах $La_{0.65}Ca_{0.35}Co_{0.2}Fe_{0.8-x}Al_xO_{3-\delta}$ (x = 0; 0,05; 0,10).

Серия образцов была синтезирована твердофазным методом. Методом РФА показан структурный переход от орторомбической симметрии (Pnma) к ромбоэдрической ($R\bar{3}c$) при концентрации допанта x = 0,10. Абсолютная нестехиометрия образцов установлена методом иодометрического титрования. Процессы выделения кислорода из оксидов исследованы методами термогравиметрического анализа, ТПД-O_2 и методом квазиравновесного выделения кислорода [1]. Построены детальные равновесные зависимости нестехиометрии от температуры и давления в условиях рабочих температур ТОТЭ и ТОЭ (650 – 850 ºС) при варьировании pO_2 от атмосферного до 10^{-4} атм. На основании полученных зависимостей рассчитаны термодинамические параметры процессов выделения кислорода. Установлены закономерности влияния концентрации алюминия на энергетику образования кислородных вакансий в оксидах.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 26-13-00527, https://rscf.ru/project/26-13-00527/.

[1] Starkov I., Bychkov S., Matvienko A., Nemudry A. Oxygen release technique as a method for the determination of “δ–pO_2 –T” diagrams for MIEC oxides // Physical Chemistry Chemical Physics. – 2014. – Vol. 16, No. 12. – P. 5527–5535. – DOI: 10.1039/C3CP52143E.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КИСЛОРОДПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ ЦЕРАТОВ И ТИТАНАТОВ ВИСМУТА ДЛЯ СОЗДАНИЯ КАТАЛИТИЧЕСКОГО МЕМБРАННОГО РЕАКТОРА

Миронов С.Е., Еремеев Н.Ф., Садовская Е.М., Ищенко А.В., Булавченко О.А., Садыков В.А., Беспалко Ю.Н.

ФГБУН ФИЦ Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, пр. Академика Лаврентьева, 5, Новосибирск, 630090, email: s.mironov1@g.nsu.ru

Современная энергетика активно ищет альтернативные источники энергии, и одним из перспективных направлений является использование синтез-газа, полученного каталитической конверсией биотоплива (метан, биоэтанол) с последующим выделением водорода. Для каталитической конверсии эффективны металлы платиновой группы, но их высокая стоимость ограничивает промышленное применение. Дешевые переходные металлы быстро теряют активность из-за образования углеродных отложений, блокирующих активные центры катализатора. Решением является использование каталитических мембранных реакторов — устройств, где мембрана селективно пропускает кислород воздуха для окисления углеродных отложений на поверхности катализатора. В качестве материалов для таких мембран предложен новый класс материалов — высокоэнтропийные висмутсодержащие оксиды со структурами флюорита и пирохлора, поскольку они обладают высокой концентрацией кислородных вакансий, что обеспечивает оптимальные транспортные характеристики за счет вакансионного механизма диффузии. Синтезирован ряд сложных оксидов: титанаты $Bi_{0,8}Y_{0,4}La_{0,3}Eu_{0,3}Gd_{0,2}Ti_2O_7$ и $Bi_{0,8}Y_{0,4}La_{0,3}Er_{0,3}Gd_{0,2}Ti_2O_7$ со структурой пирохлора, полученные цитратным методом; $Bi_{0,8}Y_{0,4}La_{0,3}Eu_{0,3}Gd_{0,2}Ce_2O_7$ и $Bi_{0,8}Y_{0,4}La_{0,3}Er_{0,3}Gd_{0,2}Ce_2O_7$ со структурой флюорита, полученные методом Пекини. Все образцы сложных оксидов были прокалены в муфеле при температурах 500-1300 °C на воздухе. Материалы были исследованы комплексом физико-химических методов: РФА, ПЭМ, H_2-ТПВ. Диффузия кислорода была исследована методом термопрограммируемого изотопного обмена с $C^{18}O_2$. Полученные данные показали, что все образцы обладают большей кислородной подвижностью по сравнению с их низкоэнтропийными аналогами, что позволяет использовать их в качестве материалов для кислородпроводящих мембран.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (FWUR-2024-0033).

ДЕТОНАЦИОННЫЙ СИНТЕЗ АНОДНОГО МАТЕРИАЛА SnO_2 И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Новожилов Д.В.[1], Хлебановский Н.А.[2], Кашкаров А.О.[2], Шиндров А.А.[1], Улихин А.С.[1], Толочко Б.П.[1]

[1]ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: novozhilov@solid.nsc.ru

[2]ФГБУН Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, пр. Академика Лаврентьева, 15, Новосибирск, 630090, e-mail: a.kashkarov@g.nsu.ru

Анодные материалы сплавления – класс отрицательных электродных материалов, в которых токообразующей реакцией является образование интерметаллидов лития с материалом анода. Материалы на основе олова образуют сплавы с высоким содержанием лития (теоретическая емкость 994 мАч/г соответствует $Li_{4.4}Sn$). Их рассматривают как перспективную замену коммерческому графитовому аноду (теоретическая емкость 372 мАч/г), однако в ходе циклирования электрод претерпевает объемное расширение ~300 %, что приводит к механической деградации, и, как следствие, энергоемкость уменьшается. Известно, что наноразмерные частицы лучше переносят деформации, демонстрируют повышенную устойчивость к механическому разрушению и обеспечивают высокие скорости заряда и разряда. Детонационный синтез является эффективным способом получения наночастиц оксидов металлов [1].

В данной работе наночастицы оксида олова размером 1-5 нм были получены при детонации SnC_2O_4 в смеси с гексогеном и изучены их скоростные характеристики, стабильность в ходе гальваностатического циклирования, а также электрохимическое поведение материала по данным циклической вольтамперометрии.

[1] Yan H., Wu L., Li X., Wang X. Gaseous detonation synthesis and characterization of nano-oxide // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 87, No. 1. – Art. 012007.

ЗА ПРЕДЕЛАМИ ОСНОВНОГО СОСТОЯНИЯ: СЕТЬ РВК НА NiOOH С УЧЕТОМ СПИНОВЫХ СОСТОЯНИЙ

Одуд И.М., Левченко С.В.

Центр науки и технологий энергетики, Сколковский институт науки и технологий, Большой бульвар, 30, стр. 1, Москва, 121205, e-mail: Ilia.Odud@skoltech.ru

Реакция выделения кислорода (РВК) является кинетически наиболее затрудненной стадией расщепления воды. Стандартные расчеты на одной поверхности потенциальной энергии (ППЭ) не учитывают многообразие доступных спиновых состояний интермедиатов. В данной работе методом кинетического Монте-Карло (kMC) исследовано влияние полной спин-разрешенной реакционной сети на кинетику и перенапряжение OER на поверхности β-NiOOH (001).

Энергии спиновых состояний рассчитаны методом DFT/HSE06 с использованием кластерных моделей β-NiOOH (001) с потенциалом внедрения. Для сайта структурного кислорода рассмотрены два механизма OER как сети переходов между мультиплетностями интермедиатов; на основе этих данных смоделированы реакционные траектории со спин-сохраняющими и спин-запрещенными переходами и построены поляризационные кривые.

Моделирование показало, что при рассмотрении реакции на одной ППЭ OER протекает с перенапряжением порядка η_{10} = 0,61 В. В полной спин-разрешенной сети при конечной температуре заселяются низколежащие возбужденные состояния интермедиатов, включая возбужденное состояние свободного активного центра. Это состояние открывает альтернативную спин-разрешенную стадию адсорбции OH^- с меньшим приростом свободной энергии, поэтому реакция частично протекает не через основные состояния интермедиатов, а через возбужденный активный центр. Такой маршрут снижает перенапряжение до η_{10} = 0,58 В.

Учет множества спиновых состояний, spin-forbidden переходов и ISC меняет кинетическую картину OER и позволяет выявить канал реакции, недоступный в стандартных моделях основных состояний.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-1300317.

ГИБРИДНЫЕ АНОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, ЗАПОЛНЕННЫХ СОЕДИНЕНИЯМИ ПНИКТОГЕНОВ И ХАЛЬКОГЕНОВ ДЛЯ Li- ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Окотруб А.В., Ворфоломеева А.А., Булушева Л.Г.

ФГБУН Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,

пр. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090, e-mail: spectrum@niic.nsc.ru

Одностенные углеродные нанотрубки (ОУНТ), обладающие замкнутым внутренним пространством, электропроводящими и химически стойкими оболочками, могут быть заполнены разными типами неорганических соединений, что приводит к изменениям электронного состояния поверхности и позволяет контролируемо регулировать положение уровня Ферми. Структуры, формирующиеся внутри нанотрубок, ограничены стенками ОУНТ и могут находиться в нестандартных химических состояниях. В нашей работе мы использовали ОУНТ производства компании ОКСИАЛ, внутренние полости которых были заполненные серой, фосфором, селеном, мышьяком и их соединениями. Методами рамановской, ренгеноэлектронной и рентгеновской эмиссионной спектроскопии были проведены исследования строения соединений в полостях нанотрубок и их электронных взаимодействий со стенками ОУНТ. Экспериментально продемонстрированы донорно-акцепторные взаимодействия между инкапсулированными серой, фосфором и ОУНТ. Полученные образцы были протестированы в качестве анодов Li- ионных аккумуляторов. Значительное увеличение емкости гибридных материалов на основе нанотрубок получено за счет проникновения ионов лития в полость и взаимодействия с внутренней компонентой. При этом сохраняется высокая стабильность электрохимического циклирования, характерная для нанотрубок.

Работа финансово поддержана проектом РНФ 26-69-00041.

КИНЕТИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ КИСЛОРОДА И ОКИСЛЕНИЯ ВОДОРОДА В ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ С СИММЕТРИЧНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Осинкин Д.А.[1,2]

[1]ФГБУН Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, ул. Академическая, 20, Екатеринбург, 620066

[2]ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, ул. Мира, 19, Екатеринбург, 620062, e-mail: osinkinda@mail.ru

В настоящее время к числу приоритетных направлений научно-технологического развития относятся экологически безопасные и ресурсосберегающие подходы к производству, преобразованию, аккумулированию и доставке электрической энергии, а также к конверсии газовых сред. Среди наиболее зрелых технологических решений в этом сегменте выделяются электрохимические системы на базе твердых электролитов с кислород-ионной проводимостью. Они находят применение в трех ключевых областях: генерации электроэнергии (твердооксидные топливные элементы), электрохимическом преобразовании газов (твердооксидные электролизеры) и анализе газовых смесей (датчики кислорода).

В течение последнего десятилетия заметно возрос интерес к симметричным твердооксидным топливным элементам и электролизерам, в которых анод и катод имеют одинаковый химический состав. Такая архитектура дает ряд важных преимуществ перед классическими конфигурациями: упрощение технологического процесса, лучшую термомеханическую совместимость между слоями, а также возможность обратимой работы, что делает эти устройства привлекательными для генерации электроэнергии, получения водорода и переработки CO_2. На сегодняшний день достигнуты определенные успехи в этом направлении. Так, в ряде работ зафиксированы плотности мощности топливных элементов с симметричными электродами и несущим электролитом, приближающиеся к 1 Вт/см^2 при 800 °C. В докладе будут представлены особенности кинетики реакций окисления водорода и восстановления кислорода на симметричных электродах, а также рассмотрен новый подход к химическому дизайну ячеек, предусматривающий близкий или идентичный ионный состав анода, катода и электролита.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00040, https://rscf.ru/project/24-19-00040.

ЦЕЛЛЮЛОЗА МИСКАНТУСА КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СЕПАРАТОРОВ В СУПЕРКОНДЕНСАТОРАХ

Перебейнос А.А., Мозылева М.А., Медведева Т.Б., Лебедева М.В., Громов Н.В., Пармон В.Н.

ФГБОУ ВО Новосибирский государственный технический университет, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирск, 630073, e-mail: perebejnos.2018@stud.nstu.ru

Растущий спрос на устройства запасания энергии, такие как суперконденсаторы (СК), обостряет проблему утилизации их элементов, в частности сепараторов. Поэтому изготовление сепараторов на основе возобновляемого сырья – целлюлозы, представляется актуальной задачей [1]. Среди источников сырья для выделения целлюлозы можно выделить растение рода мискантус, характеризующееся высоким содержанием целлюлозы (~50 %).

Целлюлозу из мискантуса выделяли путем его окислительной делигнификации, восстановительной или азотнокислой обработкой. Выделенные образцы целлюлозы из мискантуса отличались друг от друга количеством примесей (лигнин, гемицеллюлозы и пр.) и степенью полимеризации. Из полученных целлюлоз были изготовлены сепараторы для СК путем инверсии фаз из смеси целлюлоза (1,5–5,5 мас. %)/ДМА/LiCl (1,5–10 мас. %). Сепараторы были испытаны в прототипе СК в корпусе батарейки-таблетки CR2032 с использованием 1M Na_2SO_4 в качестве электролита (электрод – коммерческий кокосовый уголь). Были получены циклические вольтамперные кривые (со скоростью развертки потенциала 10 мВ/с). Согласно проведенным испытаниям, наиболее перспективный сепаратор, отличающийся высокой пористостью и поглощением электролита, был изготовлен из целлюлозы, полученной путем окислительной делигнификации мискантуса и из формовочной смеси, содержащей 2,5 мас. % целлюлозы и 3 мас. % LiCl. Данный образец имеет наименьшее сопротивление из изготовленных сепараторов, а также типичную форму кривой в виде полуокружности и наклонной кривой Варбурга, сопоставимую с коммерческим сепаратором.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 24-13-00406).

[1] Lebedeva M. V., Mozyleva M. A., Parmon V. N. Technical Approaches for Preparation of Cellulose-Based Separators for Application in Supercapacitors // Energy Technology. – 2025. – Vol. 13, No. 10. – Art. no. 2402365. – DOI: 10.1002/ente.202402365.

СТРУЙНАЯ 3D-ПЕЧАТЬ ЭЛЕКТРОЛИТА ПАСТАМИ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЦЕРИЯ, ДОПИРОВАННОГО ГАДОЛИНИЕМ, И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО СВОЙСТВ

Перова Е.А.[1,2], Титков А.И.[1]

[1]*ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе,18, Новосибирск, 630090, e-mail: frolenkova@solid.nsc.ru*

[2]*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090*

3D-печать может рассматриваться как перспективный метод формирования компонентов твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ): она обеспечивает контроль толщины, микроструктуры и пористости слоев при высоком коэффициенте использования материала [1]. Снижение рабочей температуры ТОТЭ до 500–700 °C замедляет деградацию материалов, но наиболее часто используемый электролит YSZ имеет низкую проводимость в этом диапазоне температур. Ограничение может быть преодолено за счет формирования вместо YSZ тонкого слоя электролита $Ce_{0,8}Gd_{0,2}O_{1,9}$ (GDC), причем наноразмерность порошка позволяет получить газоплотный слой при температурах, допускающих совместный обжиг с электродами [2].

Цель работы — установить влияние режимов струйной 3D-печати и обжига на свойства наноструктурированных электролитов на основе GDC. Порошок GDC получен из нитратов церия и гадолиния в этиленгликоле (160 °C, 3 ч); по данным ПЭМ средний размер частиц ~3 нм при узком распределении. ИК-спектроскопия выявила на поверхности частиц хемосорбированные гликолятные и карбоксилатные группы; по данным ТГ/ДСК их удаление протекает в две стадии и завершается к 500 °C при суммарной потере массы ~32 мас. %. Пасты готовили жидким помолом порошка в планетарной мельнице, слои наносили на анодную подложку NiO/GDC пневматическим струйным 3D-принтером. Наноразмерный GDC позволяет достичь газоплотной структуры при 1200 °C — на 200–300 °C ниже, чем микрокристаллические порошки, что подтверждает перспективность сочетания наноразмерных порошков и струйной 3D-печати для тонкопленочных электролитов ТОТЭ.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии твердого тела и механохимии СО РАН (проект № FWUS-2026-0014).

[1] Xu Y. et al. Continuous hydrothermal flow synthesis of Gd-doped CeO_2 (GDC) nanoparticles for inkjet printing of SOFC electrolytes // Int. J. Appl. Ceram. Technol. 2018. Vol. 15, No. 2. P. 315–327.

[2] Rehman S.U. et al. Effect of transition metal doping on the sintering and electrochemical properties of GDC buffer layer in SOFCs // Int. J. Appl. Ceram. Technol. 2021. Vol. 18, No. 2. P. 511–524.

ЗАВИСИМОСТЬ СВОЙСТВ ТОНКИХ ПЛЕНОК PEDOT ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

Пестерева Ю.Н., Потапенков В.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии, Университетский проспект, д. 26, Санкт-Петербург, 198504,

e-mail: st116692@student.spbu.ru

Поли-3,4-этилендиокситиофен (PEDOT) занимает лидирующие позиции среди коммерчески востребованных проводящих полимеров и находит систематическое применение в органической электронике, фотохромных и фотовольтаических устройствах. Производные данного полимера и композиционные материалы на его основе демонстрируют совокупность ценных характеристик, остающихся предметом активного научного интереса.

Электрохимические параметры проводящих полимеров определяются параметрами синтеза. Влияние на свойства PEDOT таких факторов, как тип растворителя, состав фонового электролита и присутствие модифицирующих добавок, достаточно детально изучено в литературе [1], в то же время температурный режим электросинтеза остается наименее изученным параметром [2]. Ранее проведенные эксперименты на полипирроле (PPy) подтвердили, что температура полимеризации непосредственно коррелирует с кинетическими характеристиками процесса, а также с механическими и электрохимическими показателями формируемых тонких пленок [3].

Настоящая работа направлена на оценку электрохимического поведения и морфологических особенностей серии тонких пленок PEDOT, осажденных методом электрополимеризации в широком температурном диапазоне.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках гранта на проведение крупномасштабных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития, номер гранта 075-15-2024-553.

[1] Gueye M. N. et al. Progress in understanding structure and transport properties of PEDOT-based materials: A critical review // Progress in Materials Science. – 2020. – Vol. 108. – Art. no. 100616.

[2] Luo S. C. et al. Polydioxythiophene nanodots, nonowires, nano-networks, and tubular structures: the effect of functional groups and temperature in template-free electropolymerization // ACS Nano. – 2012. – Vol. 6, No. 4. – P. 3018–3026

[3] Sadki S. et al. The mechanisms of pyrrole electropolymerization // Chemical Society Reviews. – 2000. – Vol. 29, No. 5. – P. 283–293.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПРОТОННЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПОЛИ(2,5- БЕНЗИМИДАЗОЛА) И КИСЛЫХ ФОСФАТОВ ЦЕЗИЯ

Пономарева В.Г., Демакова Т.Д.

ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: ponomareva@solid.nsc.ru

Создание среднетемпературных топливных элементов (ТЭ) является одним из важнейших направлений водородной энергетики. Наиболее разработанными являются ТЭ на основе полибензимидазола (PBI) и фосфорной кислоты, показывающие высокие и стабильные разрядные характеристики при T<180 °C при низкой влажности. Однако ряд недостатков ТЭ данного типа, связанных с деградацией мембраны, катализатора и коррозией компонентов, сдерживают их использование. Синтез высокопроводящих мембран с меньшим содержанием фосфорной кислоты является важнейшей задачей для создания эффективных ТЭ.

В работе впервые синтезированы полимерные тонкопленочные (60-120 мкм) мембраны на основе поли(2,5-бензимидазола) (ABPBI) с фосфорной кислотой и протонпроводящими гидрофосфатами цезия, изучены их функциональные свойства. Синтез проводили из полимерных композиций ABPBI- $CsHCO_3$ (1:1), предоставленных ИНЭОС, введением фосфорной кислоты в различном соотношении, m (0,5 – 6,5 молей).

Определены составы образуемых солей, а также электротранспортные, структурные, морфологические характеристики мембран в широком диапазоне составов. Показано, что при введении в ABPBI – $CsHCO_3$ фосфорной кислоты в соотношении “Cs”:H_3PO_4 до 1:2,5 мембрана содержит CsH_2PO_4, а при m>2,5 образуется $CsH_5(PO_4)_2$ (CPD) и H_3PO_4 в различных соотношениях, различной морфологии и степени кристалличности. Формирование мембраны происходит через связывание протонов с N-содержащими центрами ABPBI, что определяет ослабление водородных и усиление P-O связей соли. Мембраны имеют равномерное распределение соли; определен размер частиц. Показано, что проводимость существенно зависит от состава образуемой соли, содержания фосфорной кислоты и относительной влажности. Проводимость возрастает в пределах четырех порядков, достигая значений 10^{-1} См/см для составов m=4,7H_3PO_4 при низкой влажности и $5\cdot10^{-2}$ См/см при 150 °C для ABPBI-CPD–3H_3PO_4, что близко к бессолевым мембранам. Обсуждается механизм переноса протонов. Механические свойства мембран (m≤ 3,5 молей) приемлемы для ТЭ. Низкие удельные сопротивления единичной ячейки ТЭ (<0,5-1 Ом·см^2) определяют высокие разрядные характеристики и перспективы создания ТЭ нового типа.

Работа выполнена при финансовой поддержке договора №023-2024 с ЦВЭ.

РЕДОКС-ПРОВОДЯЩИЙ ПОЛИМЕР [NI(SALEN)]-TEMPO: КИНЕТИКА ЗАРЯДА-РАЗРЯДА ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Родионова У.М., Алексеева Е.В., Левин О.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии, Университетский проспект, д. 26, Санкт-Петербург, 198504

e-mail: ulyana.rodionova@spbu.ru

Аккумуляторы и суперконденсаторы повсеместно используются в различных портативных электронных устройствах и электротранспорте. Однако в области отрицательных температур и удельная энергия, и мощность известных коммерческих источников тока резко снижаются вследствие замедления кинетики, главным образом связанной с замедлением процессов сольватации и десольватации ионов Li^+. Одним из подходов к решению этой проблемы является применение органических электродных материалов, среди которых перспективными могут считаться полимеры типа poly-[NiR(SalEn)]. Известно, что для представителей класса сален poly-[NiR(SalEn)] характерны стабильная емкость, особенно в области низких температур, и широкое окно обратимой электроактивности. При этом, низкие значения емкости, являющиеся существенным ограничением для электродных материалов, удается повысить с помощью модификации саленового полимера с помощью проводящих стабильных редокс-обратимых групп 2,2,6,6-тетраметилпиперидин-1-оксил-4-ила (ТЕМПО). До сих пор не было изучено влияние температуры на кинетику переноса заряда в модифицированных ТЕМПО-фрагментами полимерных комплексах никеля (II) (poly-DiTS). В рамках работы была проведена электрохимическая полимеризация мономеров DiTS с последующим получением пленок на поверхности электродов. С помощью циклической вольтамперометрии в температурном диапазоне от +20 °C до –40 °C исследована скорость переноса заряда и ее зависимость от температуры. По методу Лавирона и уравнению Аррениуса рассчитаны коэффициенты переноса, константы скорости и значение энергии активации, определяющие механизм редокс-процессов и участие ионов электролита; проведено сравнение с результатами для некоторых представителей класса сален.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках гранта на проведение крупномасштабных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития, номер гранта 075-15-2024-553.

ЭЛЕКТРОЛИТ НА ОСНОВЕ СОЛИ ХЛОРИД N-МЕТИЛ-N-Н-ПРОПИЛПИПЕРИДИНИЯ ДЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Рубилкин П.А.[1,2], Улихин А.С.[1]

[1]*ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: p.rubilkin@g.nsu.ru*

[2]*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, ул. Пирогова, 2, Новосибирск, 630090*

В качестве альтернативы литий-ионным аккумуляторам рассматриваются системы, в которых в качестве анода используются другие щелочные металлы или многовалентные ионы (Mg^{2+}, Al^{3+}, Zn^{2+}). Среди перечисленных материалов особый интерес представляет алюминий. Аккумуляторы с алюминиевым анодом потенциально могут обладать повышенной емкостью благодаря участию трех электронов в реакции $Al \rightarrow Al^{3+}$.

В настоящей работе были синтезированы бинарные системы состава $(1-x)[N_{13}pip]Cl-xAlCl_3$ и исследованы их термические, транспортные и электрохимические свойства. Показано, что ионная проводимость достигает значения ~ 10^{-3} См/см при T=50 °C. Гальваностатические испытания полученных систем в симметричной ячейке с алюминиевыми электродами показали, что ячейки остаются стабильными вплоть до плотности тока 0,5мА/см^2. Число переноса по аниону $Al_2Cl_7^-$ для системы $0,42[N_{13}pip]Cl-0,58AlCl_3$, определенное по методу Брюса-Эванса-Винсента, составляет $tAl_2Cl_7^- = 0,30$.

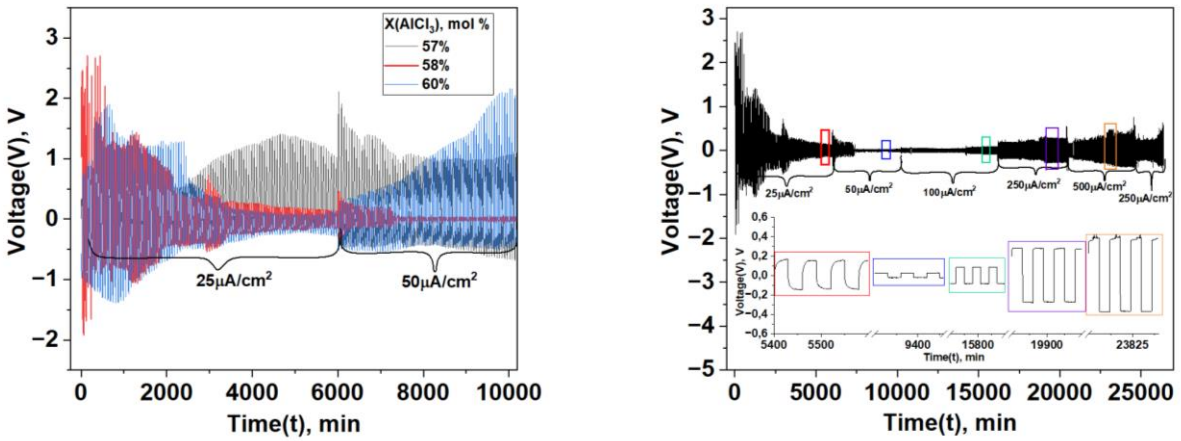

Рисунок 1 — Гальваностатическое испытания систем с x = 0,56; 0,58; 0,60 (слева); при различных плотностях тока для x = 0,58 (справа).

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ПОЛИАНИЛИНА

Семененко Д.А., Харисова К.А., Алексеева Е.В., Левин О.В.
Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии, Университетская наб., д. 7–9, Санкт-Петербург, 199034,
e-mail: st117560@student.spbu.ru

Углеродные материалы, допированные гетероатомами, рассматриваются как перспективная альтернатива платиновым катализаторам в реакции электрохимического восстановления кислорода (РВК) в топливных элементах. Основной способ их получения — высокотемпературный пиролиз проводящих азотсодержащих полимеров.

Способ синтеза полимерного прекурсора определяет конечные электрокаталитические свойства получаемого функционального материала. Синтез полианилина (ПАНИ) химическим методом и последующий пиролиз приводят к формированию углеродных материалов с высокоразвитой удельной поверхностью (592,1 м²/г), выраженной микропористостью со средним диаметром пор около 0,98 нм и высоким содержанием азота. Структуры на основе электрохимически синтезированного ПАНИ обладают агрегатами микрометрового размера, характеризуются существенно меньшей площадью поверхности (57,4 м²/г) и наличием мезопор до 2,77 нм.

Исследования активности в РВК показали преимущество образцов, полученных из химически синтезированного ПАНИ: они демонстрируют более высокие значения генерируемой плотности тока и наименьшее перенапряжение начала реакции. Наблюдаемый эффект объясняется оптимальной микропористой структурой материала, высокой площадью поверхности и повышенной долей углерод-азотных центров.



Рисунок 1 — Принципиальная схема получения катализаторов с заданными свойствами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках гранта на проведение крупномасштабных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития, номер гранта 075-15-2024-553.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ЭЛЕКТРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ

Сергина Т.О., Захаров Н.С., Сименюк Г.Ю., Нечаева Т.С., Зыков И.Ю.

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН,

пр. Советский, 18, Кемерово, 650000, e-mail: trosyatanya@bk.ru

Проведена сравнительная оценка электрохимически доступной поверхности ($S_{уд. эл.-хим.}$) по формуле (1) для активированных (активатор KOH) ископаемых углей различного генезиса. Данные импедансной спектроскопии и низкотемпературной сорбции азота позволили выявить наиболее перспективные электродные материалы для высокоемкостных суперконденсаторов.

$$S_{уд.эл.-хим.} = -\frac{4}{2\pi \cdot f \cdot Z'' \cdot C_{теор.} \cdot m_{общ.}} \cdot 10^{-4} \quad (1)$$

где f - частота переменного тока, Гц; Z'' - мнимая часть комплексного импеданса на заданной частоте, Ом; $C_{теор.}$ - теоретическая удельная емкость двойного электрического слоя гладкого углерода ($20 \cdot 10^{-6}$ Ф/см^2 [1]), $m_{общ.}$ - суммарная масса активного вещества обоих электродов, г.

Таблица 1 — Сравнение результатов анализа удельной поверхности ископаемых углей по данным низкотемпературной адсорбции азота (метод БЭТ) и электрохимического импеданса (при частоте 0,01 Гц и амплитуде 5 мВ).

Образец	$С_{уд.}$,Ф/г	БЭТ, м^2/г	ЭИС, м^2/г	Доля электрохимически доступной поверхности (ЭИС/БЭТ)
С-Д	128	1380	642	0,46
С-А	90	1840	452	0,25
С-Б	178	1300	889	0,68

Следовательно, определяющее влияние на электроемкостные показатели оказывает не сколько общая удельная поверхность материала, а доступность поверхности для выбранного электролита.

[1] Shi H. Activated carbons and double layer capacitance // Electrochimica Acta. – 1996. – Vol. 41, No. 10. – P. 1633–1639. – DOI: 10.1016/0013-4686(95)00416-5.

ОБРАТИМАЯ ИНТЕРКАЛЯЦИЯ ИОНОВ Na^+ В СТРУКТУРУ ФОСФАТНОЙ БРОНЗЫ $LiTa_2PO_8$: ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ОБРАЗОВАНИЯ ФАЗЫ $NaTa_2PO_8$

Скачилова М.Г.[1,2], Подгорнова О.А.[1], Новожилов Д.В.[1] Завьялов А.П.[3], Шиндров А.А.[1,2]

[1]*ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: m.skachilova@g.nsu.ru.*

[2]*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090*

[3]*ЦКП «СКИФ», ФГБУН ФИЦ Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, пр. Никольский, 1, Кольцово, 630559*

Повышенный спрос на системы накопления энергии для электротранспорта и объектов возобновляемой энергетики обусловливает актуальность разработки новых электродных материалов для металл-ионных аккумуляторов. Особый интерес представляют гибридные системы, в которых электродные материалы способны обратимо интеркалировать как ионы Li^+, так и Na^+. Перспективным классом материалов для таких систем может стать фосфатная бронза $LiTa_2PO_8$ благодаря наличию в ее кристаллической структуре каналов для диффузии ионов щелочных металлов. В связи с этим возникает интерес к исследованию электрохимических свойств и структурных превращений электродного материала $LiTa_2PO_8$ в ходе обратимой интеркаляции других щелочных металлов.

Соединение $LiTa_2PO_8$ было получено с помощью прямого твердофазного синтеза; фазы $NaTa_2PO_8$ получены электрохимическим обменом при циклировании $LiTa_2PO_8$ в натриевой полуячейке. С помощью циклирования в гальваностатическом режиме подобран рабочий диапазон напряжений, который составил 2,7-0,3 В; определены значения разрядной и зарядной удельных емкостей, которые равны 74 мАч/г и 66 мАч/г, соответственно. Методом *ex situ* РФА установлено образование двух фаз LT-$NaTa_2PO_8$ (*Cmcm*) и HT-$NaTa_2PO_8$ ($P2_1/m$) в ходе циклирования с преимущественным формированием фазы LT-$NaTa_2PO_8$.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН (проект № 126021217268-2).

В работе использовалось оборудование ЦКП «СЦСТИ» на базе УНУ "Комплекс ВЭПП-4 – ВЭПП-2000" в ИЯФ СО РАН.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ИОННЫХ ПЛАСТИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ МОРФОЛИНИЯ И ОКСАЗОЛИДИНИЯ ДЛЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Стебницкий И.А.[1,2], Матейшина Ю.Г.[1,2]

[1]*ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090*

[2]*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090, e-mail: i.stebnitskii@g.nsu.ru*

Органические ионные пластические кристаллы (ОИПК) – семейство твердотельных материалов, отличающихся пластичностью, повышенной мобильностью ионов, высокой электрохимической стабильностью, низкой летучестью и, как следствие, низкой воспламеняемостью [1]. Среди ОИПК в последние несколько лет развивается семейство солей, содержащих простоэфирную группу в кольце катиона, благодаря возможности обеспечения дополнительной диссоциации литиевых солей, вследствие чего ожидаются более высокие числа переноса Li^+ и улучшенная циклическая стабильность аккумулятора. Предварительные результаты демонстрируют потенциал вследствие высокой ионной проводимости ~10^{-4} – 10^{-5} См/см при комнатной температуре [2, 3]. Тем не менее, систематических подробных исследований для таких систем не проводилось.

В данной работе мы сообщаем о комплексном исследовании физико-химических свойств тетрафтороборатов N-метил-N-алкилморфолиния и тетрафтороборатов N-метил-N-алкилоксазолидиния, допированных $LiBF_4$.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 25-23-00263.

[1] Zhu H. et al. Investigation of the benefits of the oxazolidinium cation for plastic crystal and ionic liquid electrolytes // Trends in Chemistry. – 2019. – Vol. 1, No. 1. – P. 126–140.

[2] Sourjah A. et al. Organic ionic plastic crystals: flexible solid electrolytes for lithium secondary batteries // Frontiers in Batteries and Electrochemistry. – 2024. – Vol. 3. – Art. no. 1330604.

[3] Stebnitskii I. et al. Morpholinium-Based Organic Ionic Plastic Crystals: Effects of Alkyl Chain Length on Phase Behavior and Ionic Conductivity // The Journal of Physical Chemistry C. – 2026. – Vol. 130, No. 22. – P. 7844–7856.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ НАПЫЛЕНИИ

Трифонов Г.И.[1], Али Раззак М.М.[2]

[1]ВУНЦ ВВС Военно-воздушная академия, ул. Старых Большевиков, 54А, Воронеж, 394064,

e-mail: i@gtrifonov.ru

[2]Тамбовский государственный технический университет,

ул. Советская, 106/5, Тамбов, 392000

Плазменное напыление деталей требует предварительного расчета толщины формируемого слоя, поскольку равномерность покрытия определяется не только расходом порошка и режимами работы плазмотрона, но и пространственной кинематикой его перемещения относительно поверхности [1]. Особенно значимо это для деталей, на которых локальный угол падения струи и скорость относительного движения непрерывно изменяются.

В работе систематизированы аналитические зависимости, позволяющие переходить от базового кинематического уравнения для плоской поверхности к расчету локальной толщины [2] на поверхностях сложной формы. В качестве исходного положения используется баланс массы напыляемого материала с учетом коэффициента использования порошка, числа проходов, плотности покрытия, скорости сканирования и шага смещения плазмотрона. Для криволинейных участков учитывается увеличение площади пятна при наклонном падении струи и снижение эффективности осаждения.

Отдельно рассмотрено представление единичного следа напыления в виде гауссова распределения, что позволяет описывать перекрытие соседних проходов и оценивать профиль покрытия по ширине пятна. Для произвольной трехмерной поверхности предложено использовать интегральную модель, связывающую положение сопла, направление плазменной струи, дистанцию напыления, нормаль к поверхности и возможное затенение отдельных участков детали.

[1] Жачкин С. Ю., Краснова М. Н., Пеньков Н. А., Трифонов Г. И. Моделирование кинематики плазменного напыления на сложнопрофильные поверхности // Труды ГОСНИТИ. – 2017. – Т. 128. – С. 133–139.

[2] Жачкин С. Ю., Трифонов Г. И. Толщина покрытия детали при плазменном напылении // Современные материалы, техника и технологии. – 2018. – № 1 (16). – С. 77–82.

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ПРИ УПРОЧНЕНИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Трифонов Г.И.[1], Али Раззак М.М.[2]

[1]ВУНЦ ВВС Военно-воздушная академия, ул. Старых Большевиков, 54А, Воронеж, 394064,

e-mail: i@gtrifonov.ru

[2]Тамбовский государственный технический университет,

ул. Советская, 106/5, Тамбов, 392000

Упрочнение поверхностей деталей оборудования является актуальной задачей машиностроения и агропромышленного комплекса. Детали, работающие в условиях абразивного изнашивания, ударных нагрузок и агрессивных сред, требуют формирования покрытий с заданной толщиной и стабильными эксплуатационными свойствами [1]. Одним из перспективных способов решения этой задачи является плазменное напыление композиционных и износостойких покрытий.

Цель работы заключалась в разработке аналитических уравнений, связывающих кинематические режимы движения плазмотрона с толщиной формируемого слоя на различных типах поверхностей. Рассмотрены расчетные зависимости для плоских, выпуклых, вогнутых и сложнопрофильных поверхностей. Показано, что постоянные режимы плазмотрона не обеспечивают одинаковой толщины покрытия при изменении кривизны и рабочего радиуса детали.

Для выпуклых участков поверхности скорость перемещения должна корректироваться с учетом увеличения радиуса обработки, а для вогнутых участков, напротив, требуется снижение скорости, поскольку поток материала концентрируется на меньшей площади. Для поддержания постоянной линейной скорости и толщины слоя необходимо изменять угловую скорость вращения в зависимости от текущего радиуса витка. Полученные зависимости объединены с уравнением толщины покрытия и могут использоваться как основа управляющего алгоритма для программных систем.

[1] Жачкин С. Ю., Трифонов Г. И., Пухов Е. В., Комаров Я. В., Загоруйко К. В. Анализ износостойкости функционального покрытия в условиях абразивного изнашивания сложнопрофильной детали трения // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 3 (62). – С. 32–40.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОХОДЫ К ДИЗАЙНУ ГРАНИЦ РАЗДЕЛА ФАЗ ЭЛЕКТРОЛИТ/ЭЛЕКТРОД В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Уваров Н.Ф.

ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: uvarov@solid.nsc.ru

При длительной работе аккумулятора, особенно в режиме высоких токов, на электродах могут происходить различные побочные процессы, приводящие к деградации устройства. К таким процессам относятся рост дендритов, диэлектрических пленок, механическое разрушение поверхностного слоя и т.д. Для предотвращения или ослабления указанных эффектов на электрод можно нанести функциональные защитные покрытия. В настоящем докладе представлен обзор современных методов создания защитных слоев, которые в научной литературе квалифицируются как твердоэлектролитные интерфазы (solid electrolyte interphase, SEI). Слой на границе раздела фаз может образоваться самопроизвольно при контакте электродного материала и электролита или в результате протекания электрохимических реакций. Образование приэлектродного слоя позволяет избежать прямого контакта между активным электродным материалом и электролитом (например, в литий-ионных аккумуляторах), что позволяет увеличить ресурс работы аккумулятора. С другой стороны, рост толщины слоя в процессе заряда/разряда приводит к появлению диффузионных затруднений и постепенной деградации электрода. Для контроля характеристик приэлектродного слоя можно использовать несколько стратегий [1]: (а) добавление в электролит соединений, образующих прочный слой, снижающий скорость роста слоя. Такой подход обычно используют для формирования SEI в литий-ионных аккумуляторах; (б) покрытие частиц активного электродного материала слоем соединений, препятствующих процессам электрохимической коррозии электрода. Такой подход обычно используют для снижения скорости деградации оксидных катодных материалов; (в) использование активных нанокомпозитных покрытий с особыми механическими, транспортными и другими функциональными свойствами.

[1] Hasan M., Murshed I., Islam K., Masud A. K. M. Toward unified interphase engineering: the solid-electrolyte interphase in batteries and supercapacitors // Journal of Materials Chemistry A. – 2026. – Vol. 14, No. 31. – P. 20009–20057. – DOI: 10.1039/D5TA10361D.

НОВЫЕ НЕКАРБОНАТНЫЕ ФАЗЫ В СИСТЕМЕ Ca–C–O ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ

Фазылбекова Д.Э.[1,2], Сагатова Д.Н.[1], Сагатов Н.Е.[1], Гаврюшкин П.Н.[1]

[1]*ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, пр. Академика Коптюга, 3/1, Новосибирск, 630090, e-mail: darinafazylbekova@gmail.com,*

[2]*ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090*

Методами теории функционала плотности (DFT) впервые предсказаны четыре термодинамически стабильных соединения в системе Ca–C–O в диапазоне давлений от 0 до 50 ГПа, а именно $Ca_4C_3O_2$, $Ca_6C_5O_4$, $Ca_2C_3O_4$ и CaC_2O_3 (рис. 1). Показано, что при атмосферном давлении все фазы, за исключением CaC_2O_3-$P2_1$, энергетически выгодны и динамически устойчивы. Данный результат может послужить мотивацией для последующих экспериментальных синтезов. Рассчитанные электронные свойства показывают, что ширина запрещенной зоны варьируется от 0,948 эВ для $Ca_4C_3O_2$-$C2/m$ и 1,195 эВ для CaC_2O_3-$P\bar{1}$ до 2,608 эВ для $Ca_2C_3O_4$-$P1$, что соответствует полупроводниковому типу проводимости, в то время как $Ca_6C_5O_4$-$P\bar{1}$ проявляет металлический характер проводимости. Установлен структурный тренд — полимеризация углерода от изолированных тримеров до одномерных цепей и полигетероциклических фрагментов, что расширяет представления о химии углерода в экстремальных условиях.

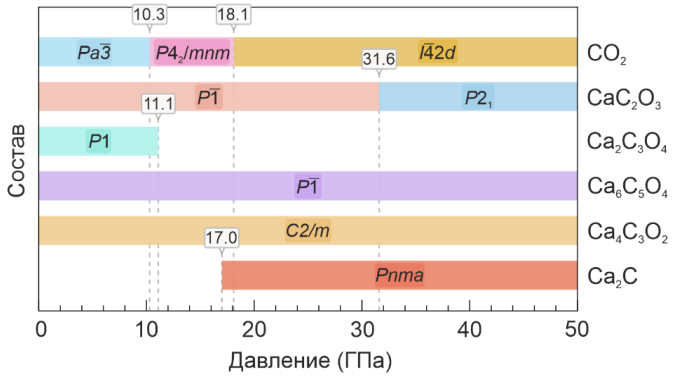

Рисунок 1 — Фазовые диаграммы давления и состава системы Ca_2C–CO_2.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 23-73-10114).

МОДИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УГЛЕРОДНОГО АНОДНОГО МАТЕРИАЛА ЛИТИЙ-ИОННОГО АККУМУЛЯТОРА ПРИ ЕГО ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ В АТМОСФЕРЕ СЕРОВОДОРОДА

Федосеева Ю.В., Ворфоломеева А.А., Лисица Е.В., Сысоев В.И., Булушева Л.Г., Окотруб А.В.

ФГБУН Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, пр. Академика Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090, e-mail: fedoseeva@niic.nsc.ru

Легирование серой является перспективным подходом к повышению электрохимической эффективности углеродных анодных материалов для натрий-ионных аккумуляторов. Внедрение серы в углеродную матрицу способствует улучшению емкостных характеристик за счет увеличения межплоскостного расстояния, генерации структурных дефектов и формирования дополнительных активных центров обратимого связывания натрия. В настоящей работе предложена новая стратегия модификации углеродного материала, синтезированного методом химического осаждения из газовой фазы толуола на темплатных наночастицах. Предлагаемая методика включает стадию предварительного фторирования материала с последующей термической обработкой в атмосфере сероводорода при температуре 400 °C. Для исследования изменений состава и структуры углеродного материала после модификации использован комплекс методов: растровая электронная микроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния света, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Установлено, что в ходе термической обработки происходит удаление фтора с поверхности углеродного материала, что способствует последующему внедрению серы и генерации структурных дефектов. Вакуумное напыление натрия с последующим РФЭС-анализом подтвердило его химическое взаимодействие как с серой, так и с углеродным каркасом. Электрохимические испытания модифицированного серой материала в качестве анода натрий-ионного аккумулятора показали, что его удельная емкость составляет 350–200 мА·ч/г при варьировании плотности тока от 0,1 до 1 А/г.

Работа была выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 25-23-00921).

СТРУЙНАЯ 3D-ПЕЧАТЬ КОМПОНЕНТОВ ТОТЭ: УПРАВЛЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ ЧЕРЕЗ СОСТАВ ЧЕРНИЛ И ТЕМПЕРАТУРУ СПЕКАНИЯ

Фроленкова А.Д., Титков А.И.

ФГБУН институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

ул. Кутателадзе,18, Новосибирск, 630090, e-mail: frolenkova@solid.nsc.ru

Для разработки эффективных среднетемпературных твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ, 500–700 °C) требуется оптимизация микроструктуры каждого функционального элемента — от газоплотного электролита до пористых электродов и конструкционных узлов батареи. Транспортные свойства и механическая целостность компонентов закладываются на ранних стадиях формирования и определяются плотностью упаковки частиц и качеством межзеренных контактов. Реализация потенциала струйной 3D-печати с пневматическим дозатором, обеспечивающим капли увеличенного объема и толщину слоя в несколько десятков микрометров, требует согласованного управления реологией чернил и режимами термообработки, задающими эволюцию микроструктуры. Цель работы — установить влияние массовой доли твердой фазы в чернилах (40–60 мас. %) и температуры спекания (1000–1400 °C) на микроструктуру, микротвердость и ионную проводимость электролита $Ce_{0,8}Gd_{0,2}O_{2-\delta}$ (GDC), а также отработать режимы получения газоплотных трубных досок из $(ZrO_2)_{0,9}(Sc_2O_3)_{0,1}$ (ScSZ) — несущих пластин с отверстиями для герметичной вклейки единичных микротрубчатых ТОТЭ. Порошки GDC и ScSZ синтезированы методом обратного соосаждения; на их основе приготовлены чернила с варьируемой долей твердой фазы. Напечатаны массивные образцы GDC толщиной до 1 мм и трубные доски ScSZ толщиной ~5 мм. Для GDC, спеченного при 1400 °C, повышение доли твердой фазы с 40 до 60 мас. % увеличивает микротвердость, что коррелирует со снижением остаточной пористости. При 1000 °C ионная проводимость возрастает более чем на порядок при переходе от 40 к 60 мас. %; при 1400 °C влияние состава чернил не проявляется. Для ScSZ газоплотность достигнута при 1400 °C. Отработанный подход позволяет формировать единым методом как плотные слои и пластины GDC, так и полноразмерные несущие трубные доски ScSZ.

Работа с материалами для интерконнекторов в рамках гранта РНФ (No. 21-79-30051-П), работа с материалами для электролитов выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН (проект № FWUS-2026-0014).

ОПТИМИЗАЦИЯ ВОЗДУШНОГО ЭЛЕКТРОДА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ МИКРОТРУБЧАТЫХ ТОТЭ

Хохлова М.О.[1], Буруева Ж.Б.[1], Лысков Н.В.[2], Шубникова Е.В.[1], Антонова Е.П.[3], Кривенцов В.В.[1,4], Брагина О.А.[1], Немудрый А.П.[1]

[1]ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: khokhlova@solid.nsc.ru

[2]ФГБУН Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, пр-т Академика Семенова, 1, Черноголовка, 142432

[3]ФГБУН Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, ул. Академическая, 20, Екатеринбург, 620066

[4]ЦКП «СКИФ», ФГБУН ФИЦ Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, пр. Никольский, 1, Кольцово, 630559

Разработка и оптимизация электродных материалов твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) является одной их приоритетных задач в области экологически чистой и ресурсосберегающей энергетики.

В данной работе оксиды состава $La_{0.65}Ca_{0.35}Co_{0.2}Fe_{0.8-x}Cu_xO_{3-\delta}$ (x=0-0,20) были исследованы в качестве материала воздушного электрода микротрубчатых (МТ) ТОТЭ. С помощью методов рентгеновской дифракции, абсорбиционнной спектроскопии и измерения электропроводности были изучены структурные и транспортные свойства полученных оксидов. Анализ микроструктуры функциональных слоев МТ ТОТЭ был выполнен с использованием сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Электрохимические показатели единичных микротрубчатых элементов с катодным функциональным слоем на основе $La_{0.65}Ca_{0.35}Co_{0.2}Fe_{0.8-x}Cu_xO_{3-\delta}$ были исследованы путем измерения вольтамперных характеристик и спектров импеданса. С использованием методов импедансной спектроскопии и распределения времен релаксации (DRT) дополнительно было установлено влияние толщины катодного токосъемного слоя (КТС) на поляризационное сопротивление и производительность МТ ТОТЭ.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН (проект № 126011215469-6).

НЕСТАЦИОНАРНЫЙ ЭЛЕКТРОЛИЗ КАК МЕТОД СИНТЕЗА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Храменкова А.В., Ажинова А.М., Гончарова В.А.

ФГБОУ ВО Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова, ул. Просвещения, 132, Новочеркасск, 346421, e-mail: anna.vl7@yandex.ru

Исследование и разработка новых материалов для электрохимической энергетики, в том числе оксидных, тесно связаны с поиском новых эффективных методов их синтеза. С точки зрения возможности управления процессом, автоматизации и последующего масштабирования большие перспективы открывает использование электрохимических методов, в том числе основанных на протекании электролиза в нестационарных условиях. Известно, что свойства материалов, полученных в равновесных и неравновесных условиях, могут резко отличаться. При наложении переменного тока наряду с ростом кристаллов металлов создаются условия, благоприятствующие их периодическому растворению в моменты, когда направление тока соответствует анодному процессу, что приводит к формированию новых структур, образование которых невозможно на постоянном токе.

В настоящем докладе будут представлены результаты исследований по применению метода нестационарного электролиза для синтеза следующих материалов и покрытий, используемых в электрохимических устройствах хранения и преобразования энергии:

- гибкие электродные материалы на основе модифицированной оксидами переходных металлов углеродной ткани и бумаги для суперконденсаторов с щелочным электролитом;

- анодные материалы на основе смешанных оксидов молибдена для литий-ионных аккумуляторов;

- защитные покрытия на основе кобальт-марганцевой шпинели на поверхности нержавеющей стали и никелевого сплава для элементов электрической коммутации твердооксидных топливных элементов планарной и микротрубчатой конструкции.

Часть работы поддержана грантом Фонда содействия инновациям по программе Старт-Пром -1-2025 (Договор 18ГС1ПромС21/111755).

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АНОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ $Li_4Ti_5O_{12}$, $TiNb_2O_7$ и Nb_9PO_{25} ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Цыдыпылов Д.З.

ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: tsydypylov@solid.nsc.ru

В коммерческих высокомощных литий-ионных аккумуляторах, способных к быстрому заряду/разряду, используются аноды на основе $Li_4Ti_5O_{12}$, которые обладают низкой удельной емкостью 175 мАч $г^{-1}$. Перспективными кандидатами на замену $Li_4Ti_5O_{12}$ являются соединения ниобия (такие как $TiNb_2O_7$ и Nb_9PO_{25}), достигающие удельных емкостей 230-281 мАч $г^{-1}$. Несмотря на однозначное превосходство ниобийсодержащих анодов над $Li_4Ti_5O_{12}$, их характеристики при низких температурах в сравнении с $Li_4Ti_5O_{12}$ еще не исследовались, чему посвящена данная работа.

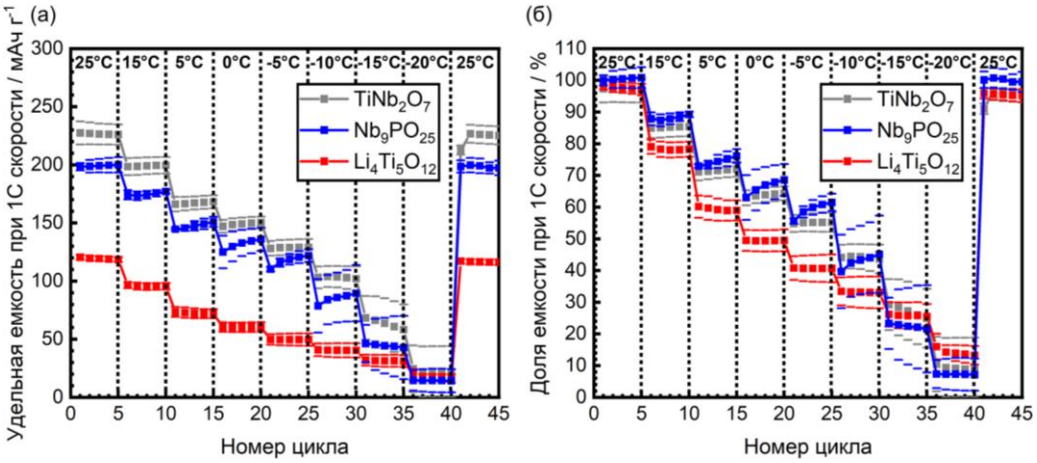

Рисунок 1 – Сравнение абсолютных (а) и относительных (б) значений удельных емкостей исследуемых анодов при разных температурах.

Результаты демонстрируют, что абсолютные значения удельной емкости растут в ряду $Li_4Ti_5O_{12}$ < Nb_9PO_{25} < $TiNb_2O_7$ (Рис. 1а). Пересчет на относительные значения (Рис. 1б) показывает, что снижение емкости при низких температурах у $TiNb_2O_7$ и Nb_9PO_{25} примерно одинаковое, а $Li_4Ti_5O_{12}$ — несколько ниже.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН (проект №126021217268-2).

ВЛИЯНИЕ ДОПИРОВАНИЯ ВЫСОКОЗАРЯДНЫМИ КАТИОНАМИ Mo И Nb НА СВОЙСТВА ОКСИДА $Ba_{0.5}Sr_{0.5}Co_{0.8-y}Fe_{0.2}M_yO_{3-\delta}$ (M=Mo, Nb)

Черендина О.В., Шубникова Е.В., Хохлова М.О., Арапова М.В., Брагина О.А., Немудрый А.П.

ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: cherendina@solid.nsc.ru

Известно, что среди различных нестехиометрических оксидов со структурой перовскита материалы на основе BSCF обладают наибольшими значениями кислородных потоков. Однако несмотря на хорошие транспортные свойства, кобальтсодержащие оксиды характеризуются ограниченной химической и фазовой стабильностью при длительной эксплуатации в различных газовых атмосферах. В качестве одного из перспективных подходов к решению этой проблемы рассматривается введение сегнетоактивных высокозарядных катионов B^{5+} (Nb, Ta) или B^{6+} (Mo, W) в B-позицию структуры BSCF.

В данной работе оксиды состава $Ba_{0.5}Sr_{0.5}Co_{0.77}Fe_{0.2}Mo_{0.03}O_{3-\delta}$ (BSCFM3) и $Ba_{0.5}Sr_{0.5}Co_{0.75}Fe_{0.2}Nb_{0.05}O_{3-\delta}$ (BSCFNb5) были синтезированы твердофазным методом и аттестованы методами рентгенофазового анализа (РФА), термогравиметрии (ТГ) и электронной микроскопии. Измерения электропроводности по методу Ван дер Пау проводились на воздухе в температурном диапазоне 100-850 ºС. Было показано, что синтез твердофазным методом оксидов BSCFM3 и BSCFNb5 приводит к формированию кубической структуры с пространственной группой симметрии Pm-3m. Согласно полученным данным, введение молибдена в структуру оксида BSCF сопровождается увеличением электропроводности, тогда как влияние ниобия на проводимость оказалось незначительным (Табл. 1).

Таблица 1 — Сравнение полученных в данной работе значений σ и E_a с литературными данными.

Состав оксида	Значение σ при T=500 ºС	E_a
BSCFM3	50 См/см	0,41 эВ
BSCFNb5	28 См/см	0,38 эВ
BSCF [литер. данные]	26 См/см	0,3 эВ
BSCFM8 [литер. данные]	35 См/см	0,38 эВ

Работа выполнена в рамках проекта РНФ (№ 26-73-10222).

ИССЛЕДОВАНИЕ $Na_3Nb_7P_4O_{29}$ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ НАТРИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Шиндров А.А.[1,2], Скачилова М.Г.[1,2]

[1]*ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: a.shindrov@yandex.ru*

[2]*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090*

Последние три десятилетия литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) остаются основной технологией накопления энергии. Ввиду ограниченности и удорожания литиевых ресурсов возрастает актуальность разработки натрий-ионных аккумуляторов (НИА), обладающих схожим механизмом работы, но использующих более доступное сырье. Одним из важнейших факторов, определяющим функциональные параметры НИА, является структура анодного материала. В последнее время наблюдается рост исследований фосфатных бронз $A_x(MO_3)_{2m}(PO_2)_n$ (где A = Li, Na; M = Nb, Ta; $1 \leq m \leq 4$, $1 \leq n \leq 4$) в качестве негативного электрода для ЛИА и НИА. Среди таких фосфатных бронз можно отметить $LiTa_2PO_8$, $Na_2Nb_6P_4O_{26}$ и $Na_4Nb_8P_4O_{32}$. Продолжая изучение серии таких бронз, можно остановится на малоизученом составе $Na_3Nb_7P_4O_{29}$, который является промежуточным между составами $Na_2Nb_6P_4O_{26}$ и $Na_4Nb_8P_4O_{32}$. Впервые $Na_3Nb_7P_4O_{29}$ был получен около 35 лет назад, однако подробное исследование его свойств так и не было проведено.

В данной работе проведено комплексное исследование $Na_3Nb_7P_4O_{29}$ в качестве электродного материала для НИА. Проведен подбор условий синтеза и определен фазовый состав, морфология, кристаллическая и локальная структура, оценены электрохимические свойства.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 25-73-00012).

ДИЗАЙН ЖИДКИХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ДЛЯ МЕТАЛЛ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Шматова О.И.

Центр энергетических технологий, Сколковский институт науки и технологий, ул. Большой бульвар, 30 стр. 1, Москва, 121205, e-mail: o.shmatova@skoltech.ru

Электролиты на основе органических растворителей остаются ключевым компонентом литий- и натрий-ионных аккумуляторов. Благодаря оптимизации существующих составов и разработке новых можно повысить рабочее напряжение, энергоемкость и циклический ресурс, улучшить скоростные характеристики и расширить диапазон рабочих температур, а также повысить безопасность за счет снижения риска теплового разгона и коррозионных процессов — все это важно для создания следующего поколения аккумуляторов.

При выборе и оптимизации электролита в первую очередь следует учитывать физико-химические параметры: ионную проводимость, вязкость, интервалы электрохимической и термической стабильности, воспламеняемость и склонность к разложению. Не менее важны совместимость с материалами электродов и сепараторами, смачивание и формирование стабильных межфазных слоев на поверхностях электродов (SEI/CEI). При этом ряд критически важных характеристик можно полноценно оценить только при длительном циклировании в аккумуляторе.

Мы совмещаем анализ составов коммерческих аккумуляторов и собственную разработку электролитных систем, в том числе на основе неклассических для литий-ионных аккумуляторов растворителей: простых и сложных эфиров, фторированных растворителей, фосфатов, нитрилов и др. Такие решения позволяют улучшать эксплуатационные характеристики электролитов в реальных ячейках. Мы оптимизируем смеси из известных компонентов и синтезируем новые молекулы-растворители и присадки. Кроме того, имеем опыт работы с нетрадиционными анодными системами (металлический литий, висмут и др.), что расширяет спектр применимых электролитных концепций.

ВЛИЯНИЕ СОВМЕСТНОГО ДОПИРОВАНИЯ НИКЕЛЕМ И НИОБИЕМ НА КРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ И ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ФЕРРИТОВ ЛАНТАНА-СТРОНЦИЯ

Шубникова Е.В., Черендина О.В., Хохлова М.О., Брагина О.А., Немудрый А.П.

ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: shubnikova@solid.nsc.ru

Ферриты лантана-стронция со структурой перовскита обладают смешанной ион-электронной проводимостью и являются перспективными материалами для различных приложений, включая катоды твердооксидных топливных элементов, кислород-проницаемые мембраны и др. Одним из перспективных подходов по увеличению транспортных свойств данных оксидов является совместное допирование высокозарядными катионами (Nb^{5+}, Mo^{6+}) и никелем**,** обеспечивающее оптимальный баланс между электронной проводимостью, кислородной нестехиометрией и структурной стабильностью. Целью данной работы являлось исследование влияния допирования никелем на кристаллическую структуру, электропроводность и кислородную проницаемость оксида $La_{0.4}Sr_{0.6}Fe_{0.95}Nb_{0.05}O_{3-\delta}$ (LSFNb).

В работе с помощью рентгеновской дифракции и времяпролетной нейтронной дифракции была исследована кристаллическая структура оксидов LSFNbNix. По данным РФА все исследованные оксиды имеют однофазную ромбоэдрическую структуру (пр.гр. *R3c*). Уточнение структуры по данным нейтронной дифракции показало, что введение никеля в LSFNb оксид приводит к увеличению кислородной нестехиометрии**.** Исследования электропроводности рассматриваемых систем показали, что допирование 5 мас. % никелем приводит к повышению электропроводности LSFNb оксида в интервале 100–500 °C, достигнув максимума 327 См·см$^{-1}$ при 400 °C**.**

Полученные результаты демонстрируют высокий потенциал применения стратегии совместного допирования никелем и высокозарядными катионами для создания катодных материалов для твердооксидных топливных элементов и каталитических мембранных реакторов конверсии углеводородов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН молодежной лаборатории «Разработка мембранных материалов и технологий для водородной энергетики» (проект 126011215469-6).

АСИММЕТРИЧНЫЕ КАТАЛИТИЧЕСКИЕ МЕМБРАННЫЕ РЕАКТОРЫ НА ОСНОВЕ BSCFM

Шубникова Е.В., Черендина О.В., Хохлова М.О., Арапова М.В., Брагина О.А., Немудрый А.П.

ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: shubnikova@solid.nsc.ru

Промышленные процессы конверсии углеводородов (паровой риформинг, пиролиз этана) отличаются высокой энергоемкостью, многостадийностью и крупными выбросами CO_2, что препятствует созданию эффективных распределенных систем. Альтернативой являются каталитические мембранные реакторы, совмещающие разделение кислорода и окисление углеводородов на поверхности кислородопроницаемой мембраны. Разработка мембранной технологии переработки углеводородов требует создания стабильных материалов с высокой кислородной проницаемостью и каталитической активностью. Среди известных оксидов со смешанной ион-электронной (СКЭП) проводимостью наибольшей проницаемостью обладают оксиды на основе допированного BSCF [1].

Целью данной работы являлось синтез оксидов BSCFMx ($0 \leq x \leq 0{,}07$), исследование структурной стабильности полученных соединений, а также изготовление микротрубчатых мембран для исследования кислородной проницаемости и каталитической активности в реакции окислительного дегидрирования этана (ОДЭ).

Показано, что увеличение содержания молибдена в структуре BSCF оксида приводит к повышению фазовой стабильности материалов в атмосферах, моделирующих условия работы КМР. Определены высокие значения кислородной проницаемости и каталитической активности в реакции ОДЭ для полученных мембран BSCFMx, в том числе и при нагреве электрическим током. Анализ поверхности микротрубчатых мембран после экспериментов методами СЭМ и ЭДС выявил образование фаз оксидов бария и молибдена, что указывает на необходимость использования защитных слоев при проведении каталитических экспериментов.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ (№ 26-73-10222).

[1] Shubnikova E. V., Bragina O. A., Nemudry A. P. Mixed conducting molybdenum doped BSCF materials // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. – 2018. – Vol. 59. – P. 242–250. – DOI: 10.1016/j.jiec.2017.10.029.

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ Bi-ЗАМЕЩЕННЫХ ОКСИДОВ BSCF

Шубникова Е.В., Черендина О.В., Хохлова М.О., Арапова М.В., Брагина О.А., Немудрый А.П.

ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: shubnikova@solid.nsc.ru

Твердоокидные топливные элементы являются электрохимическими устройствами прямого преобразования химической энергии топлива в электрическую с высоким КПД и низким уровнем выбросов. Одним из ключевых направлений их развития является снижение рабочей температуры до промежуточного диапазона (500–800 °C), что требует создания новых катодных материалов с высокой электрохимической активностью, смешанной ион-электронной проводимостью и термической стабильностью. Наибольший интерес среди таких материалов вызывают оксиды со структурой перовскита, в частности $Ba_{0.5}Sr_{0.5}Co_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}$ (BSCF), демонстрирующие рекордные значения кислородной проницаемости. Однако их применение ограничено фазовой нестабильностью при длительной эксплуатации и высоким температурным коэффициентом линейного расширения. В связи с этим актуальным является поиск стратегий модификации BSCF-оксидов, направленных на повышение стабильности при сохранении высоких транспортных свойств. Одним из таких подходов является частичное замещение бария на висмут в А-позиции перовскитной структуры. Целью данной работы являлось синтез оксидов BBiSCFMx ($0 \leq x \leq 0,05$), исследование структурных особенностей полученных соединений методами рентгеновской дифракции, времяпролетной нейтронной дифракции, а также квазиравновесного выделения кислорода (КВРК).

Показано, что допирование ниобием и висмутом BSCF оксида приводит к образованию самоорганизованного композита на основе двойного перовскита и кубического перовскита. Более того, введение висмута в систему BSCFNb приводит к снижению температуры спекания катодного материала. С помощью КВРК метода получены фазовые диаграммы оксидов BBiSCFMx ($0 \leq x \leq 0,05$), демонстрирующие отсутствие нежелательных фазовых переходов и стабильность катодного материала в рабочей области.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ (№ 26-13-00527).

СОДЕРЖАНИЕ

ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОММУТАЦИИ ТОТЭ

АЖИНОВА А.М., ХРАМЕНКОВА А.В. 4

КАТАЛИТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ ДЛЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

АЛЕКСЕЕНКО А.А., ПАВЛЕЦ А.С., МОГУЧИХ Е.А., КРИВОДУБСКИЙ Д.П., БАЯН Ю.А., ПАНКОВА Ю.А. 5

ДОПИРОВАНИЕ НИОБИЕМ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ СОЗДАНИЯ УСТОЙЧИВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ BSCF ДЛЯ КАТАЛИТИЧЕСКИХ МЕМБРАННЫХ РЕАКТОРОВ КОНВЕРСИИ УГЛЕВОДОРОДОВ

АРАПОВА М.В., ШУБНИКОВА Е.В., ЧЕРЕНДИНА О.В., ХОХЛОВА М.О., БРАГИНА О.А., НЕМУДРЫЙ А.П. 6

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ИЗОВАЛЕНТНОГО ДОПИРОВАНИЯ НА ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ФЕРРИТА ЛАНТАНА СТРОНЦИЯ

АРАПОВА М.В., МАМОНОВА В.Е., БРАГИНА О.А., СОБОЛЕВ В.И., ЧИЖИК С.А., НЕМУДРЫЙ А.П. 7

ИЗУЧЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ CR–C МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

АРШИНОВА И.С., КУЗНЕЦОВ В.В., ТИТОВА Е.А. 8

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА, ТЕРМИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕШАННЫХ ИОННО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРОВОДНИКОВ $LA_{0.9}SR_{0.1}SC_{1-X}MN_XO_{3\pm\Delta}$

БЕРВИЦКАЯ О.С., КОРЯКИНА В.А., БОБРО М.С., СТРОЕВА А.Ю., КУЗЬМИН А.В. 9

СИНТЕЗ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПОЗИТОВ СЛОИСТОГО ОКСИДА МАРГАНЦА С ВОССТАНОВЛЕННЫМ ОКСИДОМ ГРАФЕНА

БОЛДЫРЕВ Д.В., АНАНЧЕНКО Б.А. 10

THERMAL AND MICROWAVE-ASSISTED TREATMENT AS AN APPROACH TO ENHANCE STABILITY OF PHOSPHORIC ACID ACTIVATED CARBON FOR NON-AQUEOUS SUPERCAPACITORS

BORODINA O.A., YELETSKY P.M., LEBEDEVA M.V., YAKOVLEV V.A. 11

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФЕРРИТА ЛАНТАНА ДЛЯ ОБРАТИМЫХ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

БРАГИНА О.А., ШУБНИКОВА Е.В., ХОХЛОВА М.О., АРАПОВА М.В., ЧЕРЕНДИНА О.В., НЕМУДРЫЙ А.П. 12

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ДОПАНТА НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОТОННОГО ПРОВОДНИКА $BA_7SC_6AL_2O_{19}$ СО СТРУКТУРОЙ КОГЕРЕНТНОГО СРАСТАНИЯ

АНИМИЦА И.Е., БУШУЕВА А.В., УСАЧЕВ К.А., СЛИВНИЦЫН И.А. 13

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА Y^{3+}-ДОПИРОВАННОГО ПРОТОННОГО ПРОВОДНИКА $BA_7SC_6AL_2O_{19}$ СО СТРУКТУРОЙ КОГЕРЕНТНОГО СРАСТАНИЯ

БУШУЕВА А.В., АНИМИЦА И.Е. 14

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОПИРОВАНИЯ ТАНТАЛОМ НА СТРУКТУРУ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ КОБАЛЬТИТА ЛАНТАНА-СТРОНЦИЯ

ВЛАСОВ С.А., ГОНГОЛА М.И., ПОПОВ М.П., НЕМУДРЫЙ А.П. 15

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛОИСТЫХ ОКСИДОВ $NANI_{1/3}FE_{1/3}MN_{1/3}O_2$

ГО ВЭЙ, ЦЫДЫПЫЛОВ Д.З., ШИНДРОВ А.А. 16

СОЗДАНИЕ ПЛОТНОГО КОНТАКТА МЕЖДУ ИНТЕРФЕЙСАМИ ПОЛНОСТЬЮ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО АККУМУЛЯТОРА

ДИХТЯР Ю.Ю., АТАНОВ Б.И., ЯКОВЛЕВ И.И., КАПИТАНОВА О.И..... 17

ТОНКИЕ НИКЕЛЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ НА УГЛЕРОДНЫХ НОСИТЕЛЯХ ДЛЯ ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА

ДМИТРИЕВ Д.С. 18

КОМПОЗИТНЫЕ ЭЛЕКТРОДНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ СРЕДНЕТЕМПЕРАТРУРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ДИГИДРОФОСФАТА ЦЕЗИЯ

ДОРМИДОНОВА Д.О., БАГРЯНЦЕВА И.Н. 19

СТЕКЛОГЕРМЕТИКИ КАК ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ТОТЭ

ДУБОВЦЕВ Д.Ю., ВЕПРЕВА А.И., КУЗНЕЦОВА Ю.Е., САЕТОВА Н.С. 20

ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ НИКЕЛЯ-ЛАНТАНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КОРРОЗИИ

ДУВАКИН А.М., САЕТОВА Н.С., БУШУЕВ А.Н., МОРАРЬ Е.Н., ВЫЛЕГЖАНИНА Д.А. 21

АНОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ LI- И NA-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ MOS_2 И ВОГ

ЗАГУЗИНА А.А., ВОРФОЛОМЕЕВА А.А., ФЕДОРЕНКО А.Д., ОКОТРУБ А.В., БУЛУШЕВА Л.Г. 22

ЭЛЕКТРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ ИЗ ИСКОПАЕМОГО УГЛЯ И ПРОДУКТОВ УГЛЕХИМИИ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ЩЕЛОЧНОЙ АКТИВАЦИИ

ЗАХАРОВ Н.С., НЕЧАЕВА Т.С., СИМЕНЮК Г.Ю., СЕРГИНА Т.С., ПРИГОРОДОВА А.Н. 23

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОПРОВОДЯЩИХ ОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КАТОДНОГО ТОКОСЪЕМНОГО СЛОЯ В МИКРОТРУБЧАТЫХ ТОТЭ

ИЧЕТОВКИНА Д.В., СТРОЕВА А.Ю., ФУАД М.Г., ТРОПИН Е.С., КОРЯКИНА В.А., ЛЕВЧЕНКО Е.А., КУЗЬМИН А.В., НЕМУДРЫЙ А.П., СИВАК А.В. 24

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ ПЛАТФОРМЫ НА ОСНОВЕ ХИНОЛИНА КАК ЭФФЕКТИВНЫЕ ГОМОГЕННЫЕ ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

КЛИМАЕВА Л.А., КЕМАЕВА Е.А. 25

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ГЕКСАГОНАЛЬНОГО $NACOPO_4{\times}NH_2O$: ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА, СТРУКТУРЫ И ПОДВИЖНОСТИ ИОНОВ NA^+

КИСЕЛЕВА Е.Д., МОРХОВА Е.А., ШИНДРОВ А.А. 26

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ КИСЛОРОДНОГО ОБМЕНА НА ПОВЕРХНОСТИ МИКРОТРУБЧАТЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПЕРОВСКИТОПОДОБНЫХ ОКСИДОВ

КОВАЛЕВ И.В., ПОПОВ М.П., ГОНГОЛА М.И., ГУСЬКОВ Р.Д., ЧИЖИК С.А., НЕМУДРЫЙ А.П. 27

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

КОЗЛОВ Д.В., КУЗНЕЦОВ А.Н., КУЗНЕЦОВ В.Л., ЛЕБЕДЕВА М.В., МАЛЬЦЕВА Н.В., МОСЕЕНКОВ С.И., ПОТЕМКИН Д.И., ЧУПИН С.В., ЮДАЕВ Д.В. 28

ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И КОЛЛЕКТОРНЫХ КАТОДНЫХ СЛОЕВ ПКТЭ

КОРЯКИНА В.А., БЕРВИЦКАЯ О.С., СТРОЕВА А.Ю., КУЗЬМИН А.В. 29

АНАЛИЗ ПРОВОДИМОСТИ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ, ПОЛУЧЕННОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОРЕАКТОРА

КУДРЯШОВА Ю.С., АБИЕВ Р.Ш. 30

УПРАВЛЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРОЙ МИКРОТРУБЧАТЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ $LA_{0.6}SR_{0.2}BA_{0.2}FE_{0.7}CO_{0.2}NI_{0.1}O_{3-\Delta}$

ЛАПТЕВ Е., ЧЕРЕНДИНА О.В., ШУБНИКОВА Е.В., ТРОПИН Е.С., БРАГИНА О.А., НЕМУДРЫЙ А.П. 31

МАТЕРИАЛЫ СО СМЕШАННОЙ ЭЛЕКТРОННО-ИОННОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

ЛЕВКЕВИЧ Е.А., ЗАКАЛЮКИН Р.М. 32

ПОСЛОЙНАЯ ХИМИЧЕСКАЯ СБОРКА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕКТРОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

ЛОБИНСКИЙ А.А., КАНЕВА М.В., КОДИНЦЕВ И.А., ЛЕВШАКОВА А.С. 33

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ЛЫСКОВ Н.В. 34

КОМПОЗИТНЫЕ КАТОДЫ $LIFEPO_4$ С ПОКРЫТИЕМ LI_3INCL_6 ДЛЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛИТИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

ЛЭЙ Ц., ЗАХАРЧЕНКО Т.К., ЯШИНА Л.В. 35

ПОЛУЧЕНИЕ ТВЕРДОГО ЭЛЕКТРОЛИТА $LI_{7-3X}AL_XLA_3ZR_2O_{12}$ ($0.15<X<0.30$) МЕТОДОМ СВС

МАКАРОВ В.М., СТЕБНИЦКИЙ И.А., МАТЕЙШИНА Ю.Г. 36

ПЛЕНКИ ПОЛИПИРРОЛА И ПОЛИАНИЛИНА ДЛЯ ЭЛЕКТРОФОРЕТИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ТВЕРДОГО ЭЛЕКТРОЛИТА ТОТЭ

МАКСИМОВА Д.С., КАЛИНИНА Е.Г. 37

МЕССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ $LA_{0.4}SR_{0.6}FE_{1-X}AL_XO_{3-\Delta}$

МАМОНОВА В.Е., АРАПОВА М.В., БРАГИНА О.А., НЕМУДРЫЙ А.П. 38

СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КИСЛОРОДНОГО ОБМЕНА В ОКСИДАХ $LA_{0.65}CA_{0.35}CO_{0.2}FE_{0.8-X}AL_XO_{3-\Delta}$

МАМОНОВА В.Е., АРАПОВА М.В., БРАГИНА О.А., НЕМУДРЫЙ А.П. 39

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КИСЛОРОДПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ ЦЕРАТОВ И ТИТАНАТОВ ВИСМУТА ДЛЯ СОЗДАНИЯ КАТАЛИТИЧЕСКОГО МЕМБРАННОГО РЕАКТОРА

МИРОНОВ С.Е., ЕРЕМЕЕВ Н.Ф., САДОВСКАЯ Е.М., ИЩЕНКО А.В., БУЛАВЧЕНКО О.А., САДЫКОВ В.А., БЕСПАЛКО Ю.Н. 40

ДЕТОНАЦИОННЫЙ СИНТЕЗ АНОДНОГО МАТЕРИАЛА SNO_2 И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

НОВОЖИЛОВ Д.В., ХЛЕБАНОВСКИЙ Н.А., КАШКАРОВ А.О., ШИНДРОВ А.А., УЛИХИН А.С., ТОЛОЧКО Б.П. 41

ЗА ПРЕДЕЛАМИ ОСНОВНОГО СОСТОЯНИЯ: СЕТЬ РВК НА NIOOH С УЧЕТОМ СПИНОВЫХ СОСТОЯНИЙ

ОДУД И.М., ЛЕВЧЕНКО С.В. 42

ГИБРИДНЫЕ АНОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, ЗАПОЛНЕННЫХ СОЕДИНЕНИЯМИ ПНИКТОГЕНОВ И ХАЛЬКОГЕНОВ ДЛЯ LI- ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

ОКОТРУБ А.В., ВОРФОЛОМЕЕВА А.А., БУЛУШЕВА Л.Г. 43

КИНЕТИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ КИСЛОРОДА И ОКИСЛЕНИЯ ВОДОРОДА В ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ С СИММЕТРИЧНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

ОСИНКИН Д.А. 44

ЦЕЛЛЮЛОЗА МИСКАНТУСА КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СЕПАРАТОРОВ В СУПЕРКОНДЕНСАТОРАХ

ПЕРЕБЕЙНОС А.А., МОЗЫЛЕВА М.А., МЕДВЕДЕВА Т.Б., ЛЕБЕДЕВА М.В., ГРОМОВ Н.В., ПАРМОН В.Н. 45

СТРУЙНАЯ 3D-ПЕЧАТЬ ЭЛЕКТРОЛИТА ПАСТАМИ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЦЕРИЯ, ДОПИРОВАННОГО ГАДОЛИНИЕМ, И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО СВОЙСТВ

ПЕРОВА Е.А., ТИТКОВ А.И. 46

ЗАВИСИМОСТЬ СВОЙСТВ ТОНКИХ ПЛЕНОК PEDOT ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

ПЕСТЕРЕВА Ю.Н., ПОТАПЕНКОВ В.В. 47

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПРОТОННЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПОЛИ (2,5-БЕНЗИМИДАЗОЛА) И КИСЛЫХ ФОСФАТОВ ЦЕЗИЯ.

ПОНОМАРЕВА В.Г., ДЕМАКОВА Т.Д. 48

РЕДОКС-ПРОВОДЯЩИЙ ПОЛИМЕР [NI(SALEN)]-TEMPO: КИНЕТИКА ЗАРЯДА-РАЗРЯДА ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

РОДИОНОВА У.М., АЛЕКСЕЕВА Е.В., ЛЕВИН О.В. 49

ЭЛЕКТРОЛИТ НА ОСНОВЕ СОЛИ ХЛОРИД N-МЕТИЛ-N-Н-ПРОПИЛПИПЕРИДИНИЯ ДЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

РУБИЛКИН П.А., УЛИХИН А.С. 50

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕКСОЙ АКТИВНОСТИ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ПОЛИАНИЛИНА

СЕМЕНЕНКО Д.А., ХАРИСОВА К.А., АЛЕКСЕЕВА Е.В., ЛЕВИН О.В. 51

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ЭЛЕКТРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ

СЕРГИНА Т.О., ЗАХАРОВ Н.С., СИМЕНЮК Г.Ю., НЕЧАЕВА Т.С., ЗЫКОВ И.Ю. 52

ОБРАТИМАЯ ИНТЕРКАЛЯЦИЯ ИОНОВ NA^+ В СТРУКТУРУ ФОСФАТНОЙ БРОНЗЫ $LITA_2PO_8$: ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ОБРАЗОВАНИЯ ФАЗЫ $NATA_2PO_8$

СКАЧИЛОВА М.Г., ПОДГОРНОВА О.А., НОВОЖИЛОВ Д.В., ЗАВЬЯЛОВ А.П., ШИНДРОВ А.А. 53

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ИОННЫХ ПЛАСТИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ МОРФОЛИНИЯ И ОКСАЗОЛИДИНИЯ ДЛЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

СТЕБНИЦКИЙ И.А., МАТЕЙШИНА Ю.Г. 54

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ НАПЫЛЕНИИ

ТРИФОНОВ Г.И., АЛИ РАЗЗАК М.М. 55

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ПРИ УПРОЧНЕНИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

ТРИФОНОВ Г.И., АЛИ РАЗЗАК М.М. 56

СОВРЕМЕННЫЕ ПОХОДЫ К ДИЗАЙНУ ГРАНИЦ РАЗДЕЛА ФАЗ ЭЛЕКТРОЛИТ/ЭЛЕКТРОД В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

УВАРОВ Н.Ф. 57

НОВЫЕ НЕКАРБОНАТНЫЕ ФАЗЫ В СИСТЕМЕ CA–C–O ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ

ФАЗЫЛБЕКОВА Д.Э., САГАТОВА Д.Н., САГАТОВ Н.Е., ГАВРЮШКИН П.Н. 58

МОДИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УГЛЕРОДНОГО АНОДНОГО МАТЕРИАЛА ЛИТИЙ-ИОННОГО АККУМУЛЯТОРА ПРИ ЕГО ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ В АТМОСФЕРЕ СЕРОВОДОРОДА

ФЕДОСЕЕВА Ю.В., ВОРФОЛОМЕЕВА А.А., ЛИСИЦА Е.В., СЫСОЕВ В.И., БУЛУШЕВА Л.Г., ОКОТРУБ А.В. 59

СТРУЙНАЯ 3D-ПЕЧАТЬ КОМПОНЕНТОВ ТОТЭ: УПРАВЛЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ ЧЕРЕЗ СОСТАВ ЧЕРНИЛ И ТЕМПЕРАТУРУ СПЕКАНИЯ

ФРОЛЕНКОВА А.Д., ТИТКОВ А.И. 60

ОПТИМИЗАЦИЯ ВОЗДУШНОГО ЭЛЕКТРОДА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ МИКРОТРУБЧАТЫХ ТОТЭ

ХОХЛОВА М.О., БУРУЕВА Ж.Б., ЛЫСКОВ Н.В., ШУБНИКОВА Е.В., АНТОНОВА Е.П., КРИВЕНЦОВ В.В., БРАГИНА О.А., НЕМУДРЫЙ А.П. 61

НЕСТАЦИОНАРНЫЙ ЭЛЕКТРОЛИЗ КАК МЕТОД СИНТЕЗА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

ХРАМЕНКОВА А.В., АЖИНОВА А.М., ГОНЧАРОВА В.А. 62

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АНОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ $LI_4TI_5O_{12}$, $TINB_2O_7$ И NB_9PO_{25} ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

ЦЫДЫПЫЛОВ Д.З. 63

ВЛИЯНИЕ ДОПИРОВАНИЯ ВЫСОКОЗАРЯДНЫМИ КАТИОНАМИ MO И NB НА СВОЙСТВА ОКСИДА $BA_{0.5}SR_{0.5}CO_{0.8-Y}FE_{0.2}M_YO_{3-\Delta}$ (M=MO, NB)

ЧЕРЕНДИНА О.В., ШУБНИКОВА Е.В., ХОХЛОВА М.О., АРАПОВА М.В., БРАГИНА О.А., НЕМУДРЫЙ А.П. 64

ИССЛЕДОВАНИЕ $NA_3NB_7P_4O_{29}$ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ НАТРИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

ШИНДРОВ А.А., СКАЧИЛОВА М.Г. 65

ДИЗАЙН ЖИДКИХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ДЛЯ МЕТАЛ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

ШМАТОВА О.И. 66

ВЛИЯНИЕ СОВМЕСТНОГО ДОПИРОВАНИЯ НИКЕЛЕМ И НИОБИЕМ НА КРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ И ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ФЕРРИТОВ ЛАНТАНА-СТРОНЦИЯ

ШУБНИКОВА Е.В., ЧЕРЕНДИНА О.В., ХОХЛОВА М.О., БРАГИНА О.А., НЕМУДРЫЙ А.П. 67

АСИММЕТРИЧНЫЕ КАТАЛИТИЧЕСКИЕ МЕМБРАННЫЕ РЕАКТОРЫ НА ОСНОВЕ BSCFM

ШУБНИКОВА Е.В., ЧЕРЕНДИНА О.В., ХОХЛОВА М.О., АРАПОВА М.В., БРАГИНА О.А., НЕМУДРЫЙ А.П. 68

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ BI-ЗАМЕЩЕННЫХ ОКСИДОВ BSCF

ШУБНИКОВА Е.В., ЧЕРЕНДИНА О.В., ХОХЛОВА М.О., АРАПОВА М.В., БРАГИНА О.А., НЕМУДРЫЙ А.П. 69

B

Borodina O.A. 11

L

Lebedeva M.V. 11

Y

Yakovlev V.A. 11

Yeletsky P.M. 11

А

Абиев Р.Ш. 30

Ажинова А.М. 4, 62

Алексеева Е.В. 49, 51

Алексеенко А.А. 5

Али Раззак М.М. 55, 56

Ананченко Б.А. 10

Анимица И.Е. 13, 14

Антонова Е.П. 61

Арапова М.В. ...6, 7, 12, 38, 39, 64, 68, 69

Аршинова И.С. 8

Атанов Б.И. 17

Б

Багрянцева И.Н. 19

Баян Ю.А. 5

Бервицкая О.С. 9, 29

Беспалко Ю.Н. 40

Бобро М.С. 9

Болдырев Д.В. 10

Брагина О.А.6, 7, 12, 31, 38, 39, 61, 64, 67, 68, 69

Булавченко О.А. 40

Булушева Л.Г. 22, 43, 59

Буруева Ж.Б. 61

Бушуев А.Н. 21

Бушуева А.В. 13, 14

В

Вепрева А.И. 20

Власов С.А. 15

Ворфоломеева А.А. 22, 43, 59

Вылегжанина Д.А. 21

Г

Гаврюшкин П.Н. 58

Го Вэй 16

Гонгола М.И. 15, 27

Гончарова В.А. 62

Громов Н.В. 45

Гуськов Р.Д. 27

Д

Демакова Т.Д. 48

Дихтяр Ю.Ю. 17

Дмитриев Д.С. 18

Дормидонова Д.О. 19

Дубовцев Д.Ю. 20

Дувакин А.М. 21

Е

Еремеев Н.Ф. 40

З

Завьялов А.П. 53

Загузина А.А. 22

Закалюкин Р.М. 32

Захаров Н.С. 23, 52

Захарченко Т.К. 35

Зыков И.Ю. 52

И

Ичетовкина Д.В. 24

Ищенко А.В. 40

К

Калинина Е.Г. 37

Канева М.В. 33
Капитанова О.И. 17
Кашкаров А.О. 41
Кемаева Е.А. 25
Киселева Е.Д. 26
Климаева Л.А. 25
Ковалев И.В. 27
Кодинцев И.А. 33
Корякина В.А. 9, 24, 29
Кривенцов В.В. 61
Криводубский Д.П. 5
Кудряшова Ю.С. 30
Кузнецов В.В. 8
Кузнецова Ю.Е. 20
Кузьмин А.В. 9, 24, 29

Л

Лаптев Е. 31
Лебедева М.В. 45
Левин О.В. 49, 51
Левкевич Е.А. 32
Левченко Е.А. 24
Левченко С.В. 42
Левшакова А.С. 33
Лисица Е.В. 59
Лобинский А.А. 33
Лысков Н.В. 34, 61
Лэй Ц. 35

М

Макаров В.М. 36
Максимова Д.С. 37
Мамонова В.В. 7
Мамонова В.Е. 38, 39
Матейшина Ю.Г. 36, 54
Медведева Т.Б. 45
Миронов С.Е. 40
Могучих Е.А. 5
Мозылева М.А. 45
Морарь Е.Н. 21
Морхова Е.А. 26

Н

Немудрый А.П. 6, 7, 12, 15, 24, 27, 31, 38, 39, 61, 64, 67, 68, 69
Нечаева Т.С. 23, 52
Новожилов Д.В. 41, 53

О

Одуд И.М. 42
Окотруб А.В. 22, 43, 59
Осинкин Д.А. 44

П

Павлец А.С. 5
Панкова Ю.А. 5
Пармон В.Н. 45
Перебейнос А.А. 45
Перова Е.А. 46
Пестерева Ю.Н. 47
Подгорнова О.А. 53
Пономарева В.Г. 48
Попов М.П. 15, 27
Потапенков В.В. 47
Пригородова А.Н. 23

Р

Родионова У.М. 49
Рубилкин П.А. 50

С

Сагатов Н.Е. 58
Сагатова Д.Н. 58
Садовская Е.М. 40
Садыков В.А. 40

Саетова Н.С. 20, 21
Семененко Д.А. 51
Сергина Т.О. 52
Сергина Т.С. 23
Сивак А.В. 24
Сименюк Г.Ю. 23, 52
Скачилова М.Г. 53, 65
Сливницын И.А. 13
Соболев В.И. 7
Стебницкий И.А. 36, 54
Строева А.Ю. 9, 24, 29
Сысоев В.И. 59

Т

Титков А.И. 46, 60
Титова Е.А. 8
Толочко Б.П. 41
Трифонов Г.И. 55, 56
Тропин Е.С. 24, 31

У

Уваров Н.Ф. 57
Улихин А.С. 41, 50
Усачев К.А. 13

Ф

Фазылбекова Д.Э. 58
Федоренко А.Д. 22
Федосеева Ю.В. 59
Фроленкова А.Д. 60
Фуад М.Г. 24

Х

Харисова К.А. 51
Хлебановский Н.А. 41
Хохлова М.О. 6, 12, 61, 64, 67, 68, 69
Храменкова А.В. 4, 62

Ц

Цыдыпылов Д.З. 16, 63

Ч

Черендина О.В. ... 6, 12, 31, 64, 67, 68, 69
Чижик С.А. 7, 27

Ш

Шиндров А.А. 16, 26, 41, 53, 65
Шматова О.И. 66
Шубникова Е.В. 6, 12, 31, 61, 64, 67, 68, 69

Я

Яковлев И.И. 17
Яшина Л.В. 35