Российский научный фонд

СО РАН ИХТТМ Институт химии твердого тела и механохимии

ВятГУ

приоритет2030^ лидерами становятся

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

г. Киров

22-25 | 09 | 2024

IV 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

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

«ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА: ПРОЦЕССЫ, МАТЕРИАЛЫ, ТЕХНОЛОГИИ»

IV Всероссийская с международным участием школа молодых ученых

22-25 сентября 2024

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Новосибирск 2024

УДК 444.6
ББК 24.57
Э45

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

Ответственный редактор
д. хим. наук *Т.П. Шахтшнейдер*

Электрохимические устройства: процессы, материалы, технологии: [Электронный ресурс]: IV Всероссийская с международным участием школа молодых ученых: тезисы докладов (Киров, 22-25 сентября 2024 г.) / Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской академии наук; отв. ред. Т.П. Шахтшнейдер. - Новосибирск, 2024. – 67 с.

ISBN 978-5-6049325-4-4

В сборнике представлены тезисы докладов Школы молодых ученых «Электрохимические устройства: процессы, материалы, технологии».

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

ISBN 978-5-6049325-4-4
© ИХТТМ СО РАН, 2024

IV Всероссийская с международным участием школа молодых ученых «Электрохимические устройства: процессы, материалы, технологии» организована Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской академии наук (ИХТТМ СО РАН) и Федеральным государственным бюджетным учреждением высшего образования Вятским государственным университетом (ВятГУ).

По сложившейся традиции школа молодых ученых «Электрохимические устройства: процессы, материалы, технологии» является современной площадкой для проведения дискуссий о текущем состоянии и перспективных исследованиях в областях энергетики, химии твердого тела 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

Программа «Приоритет-2030»

ТВЕРДООКСИДНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА ИХ ОСНОВЕ. СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Д.А. Агарков, С.И. Бредихин
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук, ул. Академика Осипьяна, 2, Черноголовка, Московская обл., 142432, e-mail: agarkov@issp.ac.ru

В настоящем докладе описывается научный и научно-технический задел исследовательской команды в Институте физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна в области разработки и создания твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ), твердооксидных электролизных элементов (ТОЭлЭ), батарей на их основе, а также энергетических и электролизных установок на их основе.

Исследования в области ТОТЭ и батарей на их основе проводятся по направлениям создания ТОТЭ с поддерживающим электролитом (первого поколения), поддерживающей анодной подложкой (второго поколения), а также с пористой металлической подложкой (третьего поколения). В части разработки и создания ТОТЭ первого поколения разработаны и испытаны батареи мощность 500-700 Вт. На их основе разрабатываются и изготавливаются макетные образцы энергетических установок киловаттного класса. В части разработки и создания ТОТЭ второго поколения разработаны и испытаны батареи киловаттного класса с улучшенными по сравнению с ТОТЭ первого поколения масса-габаритными характеристиками (в разы улучшения гравиметрическая и волюметрическая плотность мощности). В части разработки и создания ТОТЭ третьего поколения созданы единичные ТОТЭ, проведены испытания маломасштабных сборок, в том числе на стабильность к термоциклированию между комнатной и рабочей температурами.

Проводятся систематические работы по созданию батарей ТОЭлЭ и макетов электролизных установок на их основе. Данные работы, в основном, проводятся на образцах ТОЭлЭ первого поколения с поддерживающим твердым электролитом. На макетном образце батареи ТОЭлЭ производительностью 0,3-0,5 $Нм^3$/час получено потребление энергии на производство водорода на уровне до 3 кВт·ч/$Нм^3$.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 24-79-10211.

СОЗДАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ПЛАТИНОСОДЕРЖАЩИХ НАНОСТРУКТУРНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.А. Алексеенко[1,2], С.В. Беленов[1,2], Д.В. Алексеенко[1,2], Ю.А. Панкова[1], Я.В. Астравух[1]
[1]Южный федеральный университет,
ул. Зорге, 7, Ростов-на-Дону, 344090, e-mail: aalekseenko@sfedu.ru
[2]ООО «ПРОМЕТЕЙ РД»
ул. Жмайлова, 4г, Ростов-на-Дону, 344090, prometheus.rd.ltd@gmail.com

Водородно-воздушные топливные элементы с твердополимерной протонообменной мембраной (ТПТЭ) являются перспективными источниками энергии благодаря высокой эффективности ее преобразования и отсутствию вредных выбросов в окружающую среду. Одну из ключевых ролей в обеспечении высоких удельных характеристик ТПТЭ играют электрокатализаторы – важный компонент мембранно-электродных блоков топливных элементов. Электрокатализаторы это наноструктурные материалы, представляющие собой платиновые (или PtM) наночастицы, нанесенные на микро/наночастицы углеродных носителей. Повышение активности в токообразующих реакциях (реакция восстановления кислорода (РВК), реакция окисления водорода/метанола) и снижение степени деградации таких катализаторов являются ключевыми задачами, решение которых необходимо для повышения удельных характеристик конечных устройств, увеличения срока их службы, снижения стоимости вырабатываемой электроэнергии и экономии дорогостоящей платины.

Разработка новых и оптимизация существующих методов получения высокоэффективных катализаторов Pt/C и PtM/C с возможностью управления их структурными и морфологическими характеристиками является актуальной задачей в области альтернативной энергетики и нанотехнологий. Задачи по созданию новых электрокатализаторов для ТПТЭ успешно решаются в лаборатории «Наноструктурные материалы для электрохимической энергетики» Южного федерального университета совместно с производственным партнером ООО «ПРОМЕТЕЙ РД». Созданные продукты для катода и анода ТПТЭ характеризуются не только высокими значениями площади активной поверхности и активностью в реакции восстановления кислорода, но и отличаются повышенной стабильностью в ресурсных испытаниях по сравнению с импортными аналогами, производимыми компаниями Johnson Matthey и E-TEK.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА В ЛИТИЙ- И НАТРИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРАХ

Л.Г. Булушева, А.А. Загузина, А.В. Окотруб
ФГБУН Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090, e-mail: bul@niic.nsc.ru

Дисульфид молибдена (MoS_2) является слоистым соединением, в котором слой имеет структуру сэндвича S–Mo–S. Внутри слоя молибден образует прочные связи с шестью атомами серы, в то время как атомы серы из соседних слоев взаимодействуют посредством слабых сил Ван-дер-Ваальса. Благодаря большому межслоевому расстоянию 0.62 нм и высокой теоретической ёмкости 669 мАч/г, MoS_2 привлекателен как электродный материал для металл-ионных аккумуляторов. Основными недостатками MoS_2 являются его низкая электропроводность, а также склонность слоев к агрегации, что снижает диффузию ионов и стабильность структуры. Данные проблемы решаются уменьшением размера частиц MoS_2, заменой атомов решетки на гетероатомы и созданием композиций с проводящим компонентом, например, с углеродом. Существует множество простых методов синтеза MoS_2, позволяющих варьировать архитектуру и количество слоев в наноматериале, тем самым регулируя его электропроводность и плотность активных центров для адсорбции ионов, что немаловажно для обеспечения высокой ёмкости электрода.

В данном докладе основной акцент сделан на свойства наноструктурированных MoS_2 анодов в литий- и натрий-ионных аккумуляторах. Рассмотрены электрохимические процессы, происходящие в аккумуляторе при различных плотностях тока. Показаны развитые нами синтетические подходы для ковалентного связывания MoS_2 с графеном и встраивания гетероатомов в решетку MoS_2. Представлены результаты тестирования наноматериалов в электрохимических ячейках и результаты in situ исследований происходящих процессов методами рентгеновской спектроскопии.

Работа поддержана Российским научным фондом, проект № 23-73-00048.

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ИЗМЕРЕНИЮ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ: ОТ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОВОДИМОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДО ТЕСТИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Н.В. Лысков

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

Внедрение новых электрохимических систем генерации энергии тесно связано с поиском перспективных функциональных материалов, обладающих высокими электротранспортными характеристиками. Их корректное измерение для последующего сравнительного анализа представляет собой важную исследовательскую задачу. Особую нишу в данной области исследований занимает изучение высокотемпературных электрохимических свойств керамических материалов, обладающих быстрым ионным и/или электронным транспортом, что включает исследование ионной и электронной проводимости, ионных чисел переноса, вольтамперных характеристик, а также величин поляризационного сопротивления границы электрод/электролит.

В рамках представленного доклада будут рассмотрены следующие аспекты, связанные с изучением высокотемпературных электротранспортных характеристик твердотельных электрохимических систем:

- подготовка керамических образцов и схемы подключения электродов к ним;
- конструкция измерительных ячеек и подключение измерительного оборудования;
- примеры измерения проводимости твердых электролитов и вольтамперных характеристик твердооксидных топливных элементов;
- особенности современного электрохимического оборудования для проведения электрохимических исследований зарубежного и отечественного производства.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФИЦ ПХФ и МХ РАН (номер государственной регистрации 124013000692-4).

ОПИСАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ В МАТЕРИАЛАХ ДЛЯ АККУМУЛЯТОРОВ МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ С ПОТЕНЦИАЛАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

А.П. Мальцев, И.В. Чепкасов, А.В. Йосимовска, А.Р. Оганов
Сколковский институт науки и технологий, Большой бул., 30, стр. 1, Москва, 121205, e-mail: alexey.maltsev@skoltech.ru

Литий-ионные аккумуляторы (LIB) используются во многих сферах человеческой жизни, однако потребность в повышении плотности энергии литий-ионных аккумуляторов приводит к необходимости разработки анодных материалов или твердых электролитов для использования с металлическим литием.

Расчеты методами теории функционала плотности (DFT) и молекулярно-динамическое моделирование (MD) могут быть полезны при проектировании материалов, включая прогнозирование новых материалов и объяснение их свойств. В докладе обсуждается возможность использования DFT расчетов для анализа термодинамической стабильности и электро-химический свойств новых материалов, применимость эволюционного алгоритма USPEX для поиска новых термодинамически стабильных структур, а также MD-расчеты ионной проводимости в твердых электролитах с применением потенциалов машинного обучения. Приводятся примеры недавних публикаций [1-4], в которых были рассмотрены: бинарные системы Li-P, Li-Ge, являющиеся компонентами анода в литий-ионных аккумуляторах во время процессов заряда-разряда [1-2], новый перспективный класс анодных материалов для Ca-ионных аккумуляторов, Ca-PAH (PAH = полиароматические углеводороды) [3], твердые электролиты $Li_2B_{12}H_{12}$ и $LiCB_{11}H_{12}$ для литий-металлических аккумуляторов [4].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (РНФ) No 19-72-30043.

[1]. Maltsev A. P. et al. Ionic conductivity of lithium phosphides // Crystals. – 2023. – Т. 13. – №. 5. – С. 756.
[2]. Iosimovska A. V. et al. Thermodynamic stability and ionic conductivity in lithium–germanium binary system // Applied Physics Letters. – 2024. – Т. 124. – №. 16.
[3]. Maltsev A. P., Chepkasov I. V., Oganov A. R. New promising class of anode materials for Ca-ion battery: polyaromatic hydrocarbons // Materials Today Energy. – 2024. – Т. 39. – С. 101467.
[4]. Maltsev A. P., Chepkasov I. V., Oganov A. R. Order–disorder phase transition and ionic conductivity in a $Li_2B_{12}H_{12}$ solid electrolyte //ACS Applied Materials & Interfaces. – 2023. – Т. 15. – №. 36. – С. 42511-42519.

СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ФТОРИРОВАННОГО ГРАФЕНА

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

В зависимости от условий фторирования может быть получен фторированный графит с разным содержанием фтора. Строение полностью фторированного графита состава CF хорошо известно. Частично фторированный графит может быть получен при фторировании графита в парах BrF_3 при комнатной температуре. Нами разработана методика синтеза нестехиометрического фторида графита C_2F_x ($0 < x < 1$) с заданным содержанием фтора. В соединениях C_2F атомы фтора образуют ковалентные связи с половиной атомов углерода графенового слоя, а не фторированный углерод представлен сопряженными углеродными цепочками [1]. При понижении содержания фтора образуются области сопряженных гексагонов, размер которых зависит от степени фторирования. Измерения электронной структуры C_2F_x проводилось методами РФЭС, NEXAFS, рамановской и оптической спектроскопии. Оптические спектры поглощения и люминесценции зависят от размера сопряженных областей, разделенных фторуглеродными цепочками [2]. Нами проведено измерение электропроводимости полученных материалов и определено содержание фтора в области перколяционного перехода [3]. Фторированный графит легко эксфолиируется в органических растворителях, что позволяет получать пленки фторированного графена. Проведено восстановление поверхностного слоя пленки путем химического воздействия, облучения электронами и УФ излучения. Рассмотрена возможность использования пленок восстановленного фторированного для регистрации в атмосфере молекул NH_3 и NO_2. Пленки фторированного графена толщиной 1-5 мкм являются перспективной платформой для создания элементов гибкой углеродной электроники. Электропроводящие слои могут использоваться в качестве электродов плоскостных микросуперконденсаторов с емкостью, достигающей 1,5 мФ/см^2. Создание гибкой периодической структуры позволило получить метаповерхность с контролируемыми отражательными параметрами в области ТГц излучения.

[1]. Okotrub A.V., Yudanov N.F., Asanov I.P., et al «Anisotropy of chemical bonding in semifluorinated graphite C_2F revealed with angle-resolved X-ray absorption spectroscopy» // ACS Nano, 2013. 7, 65-74.
[2]. Okotrub A.V., Chekhova G.N., Pinakov D.V., Yushina I.V., Bulusheva L.G. «Optical absorption and photoluminescence of partially fluorinated graphite crystallites» // Carbon. 2022. V. 193. P. 98–106.
[3]. Kolesnik-Gray M., Sysoev V.I., Gollwitzer S., Pinakov D.V., Chekhova G.N., Bulusheva L.G., Okotrub A.V., Krstic V. «Electrical transport in devices based on edge-fluorinated graphene» // Adv. Electron. Mater. 2018. V. 4, № 7. P. 1800073.

КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОДНЫХ РЕАКЦИЙ В СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Д.А. Осинкин[1,2]
[1]*Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия*
[2]*Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия,*
e-mail: osinkinda@mail.ru

Глобальное изменение климата и истощение невозобновляемых источников энергии ставят перед человечеством новые задачи: поиск эффективных методов преобразования энергии и снижение негативного воздействия существующих технологий на окружающую среду. В связи с этим многие страны по-новому взглянули на энергетические проблемы, запустив программы развития водородной энергетики и снижения углеродной нагрузки.

Электрохимические технологии – одни из наиболее привлекательных подходов для решения данных задач. Среди них технологии, основанные на использовании средне- и высокотемпературных твердооксидных электрохимических устройств, представляют значительный интерес из-за высокой эффективности преобразования энергии, гибкости эксплуатации и перспектив масштабирования.

Сценарии использования современных электрохимических устройств на твердых электролитах не ограничиваются традиционными устройствами для генерации электроэнергии и разложения газов, а включают в себя уже более сложные процессы, такие как, синтез углеводородов, разделение изотопов водорода, получение аммиака без использования катализаторов и др. Во всех подобных устройствах важным аспектом эффективности работы является высокая электрохимическая активность электродов по отношению к электродным реакциям, которые на них протекают. Подробные исследования кинетики и механизмов электродных реакций позволяют не только определять природу явлений и процессов, которые ограничивают скорость электрохимической реакции, но и влиять на неё. В докладе будут представлены основные понятия о кинетике высокотемпературных электрохимических реакций, показаны примеры скорость-определяющих стадий реакций окисления водорода и восстановления кислорода, а также будет продемонстрировано как анализ электрохимического поведения электродов позволяет повышать их активность.

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

ОКСИДЫ С ПЕРЕМЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ КИСЛОРОДА: ОСОБЕННОСТИ ПОДХОДОВ К ИССЛЕДОВАНИЮ

М.В. Патракеев
ФГБУН Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна РАН,
ул. Академика Осипьяна, 2, Черноголовка, Московская обл., 142432,
e-mail: patrakeev@issp.ac.ru

Оксиды со смешанной кислород-ионной и электронной проводимостью востребованы в качестве материалов кислородных мембран, электродов твердооксидных топливных и электролизных элементов, аккумуляторов кислорода, катализаторов окисления и др. Наличие одновременно кислородной и электронной проводимости сопряжено, как правило, со способностью оксидов изменять содержание кислорода в кристаллической решетке под влиянием температуры и парциального давления кислорода в окружающей среде. Кислородный обмен с газовой фазой может оказывать значительное влияние на эксплуатационные характеристики материалов. Тем не менее, не всем эффектам, связанным с кислородным обменом, уделяется необходимое внимание при анализе свойств смешанных проводников, что затрудняет понимание природы наблюдаемых явлений.

В докладе рассмотрены примеры влияния кислородного обмена на структуру, термомеханические, термодинамические и транспортные характеристики оксидов. Дан сравнительный анализ актуальных методов измерения кислородной нестехиометрии. Изложены подходы к описанию экспериментальных данных по содержания кислорода и использованию результатов для анализа электропроводности. Особое внимание уделено неочевидным взаимосвязям и эффектам, понимание которых требует дальнейших исследований.

СРЕДНЕТЕМПЕРАТУРНЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ ПРОТОННЫЕ МЕМБРАНЫ ДЛЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В.Г. Пономарева

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

Развитие водородной энергетики требует создания новых эффективных электрохимических источников энергии. Диапазон средних температур (150–300°C) оптимален для создания топливных элементов (ТЭ) с точки зрения энергозатрат, скорости электродных процессов, значительно меньших требований к чистоте топлива, использования недорогих конструкционных материалов. Актуальными являются устройства с мембранами из производных полибензимидазола с фосфорной кислотой, а также на основе кислых солей щелочных металлов с общей формулой $M_xH_y(AO_4)_p$ (M=Cs, Rb, K, Na, Li, NH_4; A=S, Se, P). Для соединений этого семейства высокая протонная проводимость (до $6\cdot10^{-2}$ См/см для CsH_2PO_4), обусловлена структурными факторами и наличием суперпротонных фаз. Технология ТЭ этого типа (SAFCs) рассматривается как идеальное сочетание существующих технологий. Но уровень ее развития нуждается в дальнейшем совершенствовании, поиске новых функциональных материалов мембраны и электрохимически активных устойчивых электродных композиций. Интенсивно разрабатываются тонкопленочные высокопроводящие протонные мембраны с большей механической прочностью, гидрофобностью.

Работа посвящена анализу состояния дел по среднетемпературным топливным элементам. Рассмотрены разработки функционального материала протонной мембраны на основе CsH_2PO_4, совершенствование свойств протонной мембраны при введении термически устойчивых фторсодержащих полимерных, а также высокодисперсных добавок, методы получения и способы оптимизации состава, поиск электрокаталитически эффективных электродных композиций для восстановления кислорода в ТЭ. Более детально рассмотрены электротранспортные, структурные и морфологические свойства протонных мембран CsH_2PO_4-M (M = фтор и хлор-содержащий полимер типа СКФ-32, и наноалмаз) и первые данные по среднетемпературным топливным элементам.

Впервые проведены детальные исследования структурных, электротранспортных, термодинамических, морфологических и механических свойств нанокомпозиционных систем на основе CsH_2PO_4 и наноалмазов (1-*x*)CsH_2PO_4–*x*НА (290 $м^2/г$) в широком диапазоне составов (*x* – мольная доля составляет 0–0,99), а также в системе (1-*x*)CsH_2PO_4–*x*СКФ-32. Показано, что химического взаимодействия между компонентами в обеих системах не наблюдается. В композитах сохраняется структура CsH_2PO_4 ($P2_1/m$) при значительном диспергировании соли и ее равномерном распределении в композите. С ростом доли наноалмаза степень аморфизации соли существенно возрастает. В системе (1-*x*)CsH_2PO_4–*x*НА размер частиц CsH_2PO_4 значительно уменьшается даже при введении малых количеств добавки наноалмаза, и при *x* = 0,1 и *x* = 0,2 (объемная доля НА, fv=0.6 и 1,4%) достигает ~250±20 нм. В этой системе при росте низкотемпературной проводимости на 3,5 порядка суперпротонная проводимость остается близкой к исходной соли вплоть до *x* = 0,7. Показан механизм образования композитных мембран, улучшение механических характеристик, при высоких значениях протонной проводимости и термической устойчивости, что создает перспективу дальнейшего использования в среднетемпературных ТЭ.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ 23-23-00619.

ЕМКОСТНЫЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

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

Известно, что процессы накопления заряда, протекающие при наложении внешнего электрического поля в любых электрохимических устройствах, сопровождаются образованием двойного электрического слоя на электродах. Процесс образования такого слоя происходит гораздо быстрее, чем протекание электрохимических реакций, которые обычно лимитируются стадией диффузии ионов в активный материал катода или анода. Процесс образования двойного слоя используется для накопления заряда на электродах в суперконденсаторах. В суперконденсаторах используются электродные материалы с высокой удельной поверхностью, 1000–3000 $м^2$/г, что приводит к увеличению емкости материала за счет двойного слоя до значений E = 100–300 Ф/г (при зарядном напряжении 1 В). Эти величины соответствуют значениям удельной энергоемкости 14–42 Вт·ч/кг, что существенно ниже, чем у типичных электродных материалов для аккумуляторов (например, E = 576 Вт·ч/кг для катодного материала $LiFePO_4$). Для дальнейшего повышения удельной емкости суперконденсаторов простого увеличения поверхности недостаточно и необходимо либо увеличивать плотность поверхностных центров, на которых происходит накопление заряда (например, за счет допирования углеродных материалов азотом или серой), либо конвертировать часть накопленного заряда в химическую форму, т.е. в виде продуктов электрохимической реакции. Это процесс является фарадеевским (т.е. выход продукта изменяется пропорционально величине прошедшего заряда) и описывается известными уравнениями кинетики электродных процессов. Электроды для суперконденсаторов можно использовать и для емкостной деионизации, обратимого процесса очистки растворителя от ионов за счет электросорбции на электродах. После адсорбции можно провести самопроизвольный процесс десорбции с рекуперацией электроэнергии. Можно использовать различные варианты деионизации (прямой способ, с использованием ионообменных мембран или проточных электродов). Для емкостной деионизации можно использовать как зарядку с образованием двойного слоя, так и эффекты псевдоемкости. В последнем случае наряду с очисткой раствора от ионов можно проводить извлечение тяжелых металлов, что важно для решения экологических задач.

КОМБИНИРОВАННЫЙ КАТАЛИТИЧЕСКИЙ МЕМБРАННЫЙ РЕАКТОР ПАРЦИАЛЬНОГО ОКИСЛЕНИЯ МЕТАНА И РАЗЛОЖЕНИЯ CO_2 НА ОСНОВЕ ДОПИРОВАННОГО ФЕРРИТА ЛАНТАНА-СТРОНЦИЯ

М.В. Арапова, Е.В. Шубникова, О.А. Брагина, С.Ф. Бычков, С.А. Чижик, А.П. Немудрый

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

Проведение реакции парциального окисления метана в каталитической мембранном реакторе (КМР) на основе сложных оксидов со смешанной проводимостью позволяет получать синтез-газ с высоким выходом и оптимизированным соотношением H_2/CO в нем [1]. Высокая технологичность процесса требует тонкой балансировки параметров материала мембраны: используемый оксид должен обладать стабильностью при высоких температурах в градиенте парциального давления кислорода и в атмосфере участников реакции, при этом обеспечивать кислородный транспорт со стороны окислителя в зону реакции, активность и селективность проницаемой поверхности в реакции получения синтез-газа и питающей поверхности в реакции расщепления O_2/CO_2. В данной работе был получен однофазный A- и B-замещенный феррит стронция $La_{0.4}Sr_{0.6}Fe_{0.95}W_{0.05}O_{3-\delta}$ (LSFW5), который показал высокую фазовую стабильность в *in situ* РФА экспериментах в вакууме ($pO_2 \sim 10^{-4}$ atm) и на воздухе в температурном диапазоне 30-900 °C. Изучение транспортных и каталитических характеристик в микротрубчатом реакторе на основе LSFW5 с варьированием источника кислорода (O_2/CO_2) с питающей стороны и модифицированием серебром проницаемой стороны мембраны позволили установить ключевые факторы оптимизации активного материала и условий проведения процесса. Использование в качестве окислителя CO_2 позволило сместить стационарное состояние мембраны в область со значительно более высокой концентрацией кислородных вакансий, существенно повышая селективность по водороду. Изучение мембраны после стабильной работы в течение 50 часов с использованием сканирующего электронного микроскопа показало отсутствие деградации или сегрегации дополнительных фаз на поверхности.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН молодежной лаборатории «Материалы и технологии водородной энергетики».

[1]. M.A. Nemitallah et.al. Results in Engineering, V. 21, 2024, 101890, https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101890.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ НА ОСНОВЕ CsH_2PO_4 И ФТОРПОЛИМЕРОВ

И.Н. Багрянцева, Ю.Е. Кунгурцев, В.Г. Пономарева
ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: ponomareva@solid.nsc.ru

CsH_2PO_4 обладает наиболее высокой проводимостью среди соединений семейства кислых солей щелочных металлов ($6 \cdot 10^{-2}$ См/см, T≥230°C) и может быть использован в качестве протон-проводящей мембраны в среднетемпературных топливных элементах (ТЭ). Разработка композиционных полимерных систем на основе CsH_2PO_4 и фторполимеров позволит улучшить механические и гидрофобные свойства электролитов и получить тонкие мембраны, что приведет к снижению омических потерь.

Данная работа посвящена исследованию протонной проводимости, структурных свойств, прочностных характеристик и морфологии композиционных электролитов *(1-x)*CsH_2PO_4–*x* полимер (*x* – массовая доля полимера). Выбранные в качестве добавки сополимеры винилиденфторида с гексафторпропиленом (СКФ-26) и тетрафторэтиленом (Ф-42, Ф-2М), ультрадисперсный ПТФЭ обладают высокими прочностными характеристиками, химической и термической стабильностью. Растворимость полимеров в полярных органических растворителях делает возможным изготовление тонкопленочных мембран (50–100 мкм) на основе CsH_2PO_4, обладающих высокими значениями прочности на разрыв (5–7 МПа), сравнимыми с используемыми полимерными мембранами. Были подобраны условия для приготовления мембран с равномерным распределением компонентов. Было изучено изменение транспортных свойств электролитов в зависимости от состава, метода синтеза, температуры и парциального давления водяного пара. Рассматриваемые материалы (1-*x*)CsH_2PO_4–*x* полимер являются представителями систем типа «проводник-изолятор», наблюдается снижение протонной проводимости за счет перколяционного эффекта, при этом при малой доле добавки значения остаются достаточно высокими для исследования мембран в ТЭ. Были оценены электрохимические характеристики водород-воздушных ТЭ с исследованными мембранами. Оптимальное сочетание проводимости, механических и гидрофобных свойств полимерных электролитов делает полимерные композиционные мембраны перспективными для использования в топливных элементах.

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ДОПИРОВАНИЯ ИОНАМИ МАРГАНЦА В-ПОДРЕШЕТКИ СКАНДАТА ЛАНТАНА-СТРОНЦИЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

О.С. Бервицкая, В.А. Ичетовкина, А.Н. Шестаков, М.С. Бобро, А.Ю. Строева, А.В. Кузьмин.

ФГБОУ ВО Вятский государственный университет,
ул. Московская, 36, Киров, 610000, e-mail: bervickaja@rambler.ru

Перовскитоподобные оксиды со смешанной проводимостью (электронной, кислород-ионной и протонной) широко используются в электрохимических устройствах для производства водорода и аммиака, а также в топливных элементах. Одним из методов создания смешанного типа проводимости является гетеровалентное замещение катионов оксида. Изучение влияния уровня допирования на электрохимические характеристики этих материалов является важной задачей для разработки новых соединений.

В настоящей работе показано наличие непрерывного ряда твердых растворов, где ионы Sc замещаются ионами Mn, а также влияние допанта на плотность спекания и микроструктуру керамики. Была изучена электропроводность образцов в широком ряду допирования четырехзондовым методом на постоянном токе с учетом температуры и влажности. Установлено, что общая электропроводность увеличивается нелинейно с ростом концентрации Mn.

Мы рассматриваем твердые растворы $La_{0.9}Sr_{0.1}Sc_{1-x}Mn_xO_{3-\delta}$ ($x \geq 0.4$) как многообещающие материалы для электродов в протонно-керамических электрохимических устройствах.

СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛОИСТЫХ ОКСИДОВ ЦИНКА – МАРГАНЦА

Д.В. Болдырев, Б.А. Ананченко
ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»
ул. Московская, 36, Киров, 610000, e-mail: boldyrev.daniil.2018@mail.ru

Цинк-марганцевые оксиды являются перспективными катодными материалами для систем крупномасштабного хранения энергии. Среди достоинств выделяют низкую стоимость, высокую теоретическую емкость, распространенность сырья.

Синтезирован слоистый оксид марганца $Na_xZn_{0,24}MnO_2$. Методом циклической вольтамперометрии (ЦВА) в трехэлектродной ячейке с Zn анодом изучены электрохимические характеристики катодного материала. Емкость материала составила 60 мА·ч/г (1С) и 115 мА·ч/ г (С/3). За 5 циклов емкость материалов заметно не изменилась.

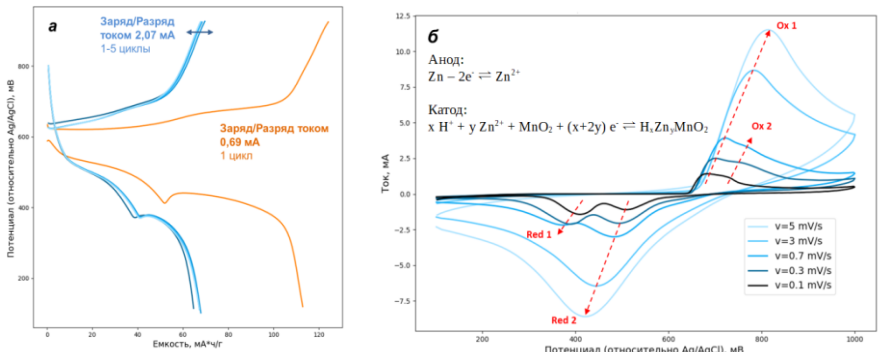


Рис а. Кривые заряда/разряда. Рис б. Цикловольтамперограммы.

На зависимостях ЦВА выявлены два электрохимических процесса (Ox_1/Red_1 и Ox_2/Red_2), вероятно, связанных с разными механизмами компенсации заряда Mn^{+4} при интеркаляции Zn^{2+} и H^+. Увеличение скорости разряда (интеркаляции) приводит к уменьшению вклада низковольтного процесса Ox_1/Red_1, что согласуется с авторами [1], рассматривающими процесс как кинетически лимитируемую малообратимую реакцию, преобразования слоистой структуры с образованием термодинамически более устойчивых фаз $ZnMn_3O_7$, Mn_3O_4, MnO.

По мнению авторов, контроль pH электролита при длительном циклировании позволит более детально изучить роль H^+ в процессах деградации электродов.

[1]. Li Y., Wang S., Salvador J. R., Wu J., Liu B., Yang W., Yang J., Zhang W., Liu J., Yang J. // Chemistry of Materials. - 2019. - V. 31(6). - P. 2036-2047.

РАЗРАБОТКА МИКРОТРУБЧАТЫХ МЕМБРАН ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ПУТЕМ ПАРЦИАЛЬНОГО ОКИСЛЕНИЯ МЕТАНА В КАТАЛИТИЧЕСКОМ МЕМБРАННОМ РЕАКТОРЕ

О.А. Брагина, Е.В. Шубникова, М.В. Арапова, А.П. Немудрый
ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: bragina@solid.nsc.ru

В настоящее время водород считается одним из важнейших безуглеродных энергоносителей на пути к углеродной нейтральности, что является критической проблемой, стоящей перед современным обществом. Поэтому эффективное производство водорода с помощью энергосберегающего и экологически безопасного пути стало горячей точкой исследований во всем мире. В последние годы многие исследования были сосредоточены на реакторах с кислородопроницаемой мембраной для производства водорода путем парциального окисления метана.

Целью работы являлось выявление влияния модификации поверхности микротрубчатых мембран на основе феррита стронция допированного лантаном и молибденом на транспортные свойства и каталитическую активность в реакциях парциального окисления метана.

Полученные методом фазовой инверсии мембраны имеют развитую микроструктуру, состоящую из газоплотного слоя толщиной 100–200 мкм, расположенного между пористыми слоями. Показано, что модификация поверхности полученных мембран путем нанесения пористых слоев, серебра, кислотного травления приводит к увеличению кислородных потоков в 1,3–2,5 раза. Проведенные исследования получения водорода путем парциального окисления метана в каталитическом реакторе с мембранами на основе оксида LSFM5 показали, что при нанесении никеля на поверхность мембраны конверсия метана достигает значений около 95%, а селективности по CO и H_2 имеют значения 77% и 62%, соответственно.

Работа выполнена в рамках молодежной лаборатории «Материалы и технологии водородной энергетики».

ПРИМЕНЕНИЕ СТЕКОЛ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ КЕРАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

А.И. Вепрева, Д.Ю. Дубовцев, К.А. Кузьмина, Н.С. Саетова, А.В. Кузьмин
ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,
ул. Московская, 36, Киров, 610000, e-mail: a.vepreva98@mail.ru

Металлические интерконнекторы, которые широко используются в электрохимических устройствах, склонны к коррозии при высоких температурах и окислительно-восстановительной среде, а хром, входящий в состав стали, улетучивается с повышением температуры, что приводит к отравлению катодного материала. Кроме того, продукты взаимодействия хрома с сочленяемыми материалами нарушают герметичность блока. Замена металлических интерконнекторов на керамические устраняет эти недостатки. Однако, возможность получения керамических газоплотных изделий в значительной степени зависит от состава порошка и способа формования. Проблемой как металлических, так и керамических интерконнекторов является обеспечение газоплотного соединения, которое достигается за счет использования стеклогерметиков. В данной работе в качестве материала интерконнектора рассматривается алюмомагнезиальная шпинель ($MgAl_2O_4$), а в качестве герметиков – алюмосиликатные (герметизация при 1070°C) и бариево-силикатные (герметизация при 740°C) стекла для соединений $MgAl_2O_4$|стекло|$MgAl_2O_4$, $MgAl_2O_4$|стекло|NiO-YSZ, $MgAl_2O_4$|стекло|сталь. При склейке с применением алюмосиликатного стекла наблюдается хорошая адгезия стекла ко всем сочленяемым материалам. Бариево-силикатное стекло имеет хорошую адгезию только к керамическим материалам ($MgAl_2O_4$|стекло|$MgAl_2O_4$ и $MgAl_2O_4$|стекло|NiO-YSZ), а при склейке со сталью не получилось добиться целостного соединения. В дальнейшем планируется изучение взаимодействия между материалами таких соединений при длительных выдержках.

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

РЕАКЦИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА НА МАГНИЕВЫХ МАТЕРИАЛАХ

А.Л. Габов, Н.А. Медведева
Пермский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Букирева, 15, Пермь, 614068, e-mail: andrus-prm@mail.ru

Процессы анодного поведения магния и его сплавов давно и очень хорошо изучены, так как этот металл зачастую выступает как анодный протектор при защите от коррозии морских судов, а также трубопроводов и резервуаров, имеющих контакт с агрессивными электролитами.

В тоже время катодному поведению магния очень мало уделялось внимания среди исследователей. Известны [1, 2] немногочисленные статьи по этой тематике. Процесс катодного выделения водорода при высоких поляризациях сопровождается восстановлением поверхностного окисного слоя магния в щелочных средах. Магний относится к металлам со средним перенапряжением выделения водорода.

Если говорить про водородную энергетику, то гидрид магния MgH_2 известен как материал с очень высоким содержанием накопленного водорода – до 7,6 мас.%. В связи с этим было интересно изучить электрохимические процессы магния с водородом.

В докладе показано влияние состава материалов, модификации поверхности, воздействие интенсивной пластической деформации, температуры раствора на электрохимическое выделение водорода в щелочных растворах. Изучены кинетические параметры этого процесса и механизм выделения водорода.

[1]. Тюйр А., Лоодмаа В., Паст В. Изучение поведения катоднополяризованного магниевого электрода в щелочной среде // Ученые записки Тартуского государственного университета, выпуск 441, 1978. С. 13-19.
[2]. Пальмисте П., Тюйр А., Весман Г., Лоодмаа В. Исследование зависимости состояния поверхности магниевого электрода от потенциала и состава раствора // там же, выпуск 682, 1984. С. 35-40.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ КИСЛОРОДНОГО ОБМЕНА $La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{0.98}Nb_{0.02}O_{3-d}$ МЕТОДАМИ РЕЛАКСАЦИИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И РЕЛАКСАЦИИ ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ КИСЛОРОДА

М.И. Гонгола[1], С.А. Власов[1, 2], М.П. Попов[1], А.П. Немудрый[1]
[1]ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: m.gongola@g.nsu.ru
[2]Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,
ул. Пирогова, 2, Новосибирск, 630090

Характеризация скорости поверхностной реакции оксидов со смешанной кислород-электронной проводимостью с кислородом из газовой фазы является важной задачей ввиду применения подобных соединений в качестве катодных материалов твердооксидных топливных элементов. Скорость реакции поверхностного обмена при этом зависит от состава приповерхностного слоя, который в свою очередь определяется диффузией кислорода в объеме твердого вещества. Таким образом, для корректного описания релаксации системы необходимо применение математической модели, которая будет учитывать вышеперечисленные процессы, а также явно учитывать геометрию реактора и образцов.

В рамках данной работы проведено исследование кинетики кислородного обмена нестехиометрического кобальтита лантана стронция, допированного ниобием в проточном реакторе двумя методами – методом релаксации электропроводности и методом релаксации парциального давления кислорода (РПДК), которые исполнялись параллельно на одном монолитном цилиндрическом плотном образце.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-73-10200).

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛУЧЕНИЕ КАРБИДОВ ХРОМА НА ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН В РАСПЛАВЕ NaCl–KCl–$CrCl_3$–Cr И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

А.Н. Грязнов[1], В.С. Долматов[2]
[1]*Мурманский арктический университет, ул. Капитана Егорова, д. 16, Мурманск, 183038, e-mail: astagarnole@gmail.com*
[2]*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья имени И. В. Тананаева КНЦ РАН, ул. Академгородок 26а, Апатиты, 184209, e-mail: v.dolmatov@ksc.ru*

Композитные материалы на основе карбидов тугоплавких металлов представляют исключительный интерес в различных сферах применения. Эти материалы обладают уникальными свойствами, такими как высокая твердость, каталитическая активность [1, 2] и т.д. Покрытия карбидов тугоплавких металлов, полученные электрохимическими методами в расплавленных солях, имеют ряд таких преимуществ, как возможность получать равномерные покрытия на изделиях сложной формы, низкая пористость покрытий, высокая адгезия к подложке и пр.

Целью данной работы был электрохимический синтез карбида хрома в среде расплавленных солей на подложке из углеродных волокон марки Карбопон-В-22 и исследование их электрокаталитических свойств.

Синтезированы покрытия карбидов хрома на углеродных волокнах методом бестокового переноса в расплавленных солях. Были изучены состав и структура покрытий. Изучены электрокаталитические свойства покрытий.

Экспериментально установлено, что электрохимический синтез в расплавленных солях позволяет получать покрытия карбидов хрома различного фазового состава. Электрокаталитическая активность композитов Cr_3C_2/C и Cr_7C_3/C исследована в реакции разложения пероксида водорода.

[1]. Stulov Y.V., Dolmatov V.S., Dubrovskiy A.R., Kuznetsov S.A. Electrochemical synthesis of functional coatings and nanomaterials in molten salts and their application // Coatings. 2023. V. 13. P. 352–378.
[2]. Илющенко Н.Г., Анфиногенов А.И., Шуров Н.И. Взаимодействие металлов в ионных расплавах. М. Наука. 1991. С. 176.

ГОМОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ КИСЛОРОДНОГО ОБМЕНА МОДИФИЦИРОВАННОГО КОБАЛЬТИТА СТРОНЦИЯ: ВЗАИМОСВЯЗЬ КИНЕТИЧЕСКИХ И РАВНОВЕСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Р.Д. Гуськов, М.П. Попов, И.В. Ковалев, М.И. Гонгола, А.П. Немудрый
ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: rostislav.guskov@yandex.ru

В последние десятилетия изучение реакций кислородного обмена в оксидах со смешанной ион-электронной проводимостью с общей формулой $ABO_{3-\delta}$ привлекло большое внимание ученых со всего мира [1]. Первые попытки заместить катионы в подрешетках A и B привели лишь к стабилизации фазового состава за счет "блокировки" структурных переходов, а транспортные характеристики значительно снизились. Однако было показано, что допирование высоковалентными катионами часто улучшает транспортные свойства оксидов. Чтобы установить закономерность влияния допирования на функциональные характеристики оксидов при кислородном обмене, необходимо иметь глубокое представление о его механизме, учитывая, что изучаемые вещества способны к значительным отклонениям стехиометрии, что влияет на определенные характеристики, характеризующие взаимосвязь между их равновесием и кинетическими параметрами.

Таким образом, целью данного исследования является изучение зависимостей кинетических и равновесных параметров от нестехиометрии δ и температуры *T*, а также проверка наличия LFER в соответствии с принципом Бренстеда-Эванса-Поляни при помощи оригинальных методов релаксации парциального давления кислорода [2] и квазиравновесного выделения кислорода [3]. Для этих целей были выбраны кобальтиты стронция, модифицированные танталом.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №22-73-10200.

[1]. Den Otter, M. W., et. al. Theory of Oxygen Isotope Exchange. Solid State Ion. 2001, 139 (1–2), P. 89–94.
[2]. Bychkov, S. F. et. al. Novel Oxygen Partial Pressure Relaxation Technique for Study of Oxygen Exchange in Nonstoichiometric Oxides. The Model of Relaxation Kinetics. Solid State Ion. 2018, 320, P. 297–304.
[3]. Starkov, I. et. al. Oxygen Release Technique as a Method for the Determination of “δ-PO2-T” Diagrams for MIEC Oxides. Phys. Chem. Chem. Phys. 2014, 16 (12), P. 5527–5535.

СПИНОВАЯ РЕЛАКСАЦИЯ МОНО-ИОННОГО МАГНИТА НА ОСНОВЕ Co(II) В ФЕРРОМАГНИТНОЙ МАТРИЦЕ ИЗ МИКРОЧАСТИЦ PrDyFeCoB

Е.В. Дворецкая, Р.Б. Моргунов
ФИЦ Проблем химической физики и медицинской химии РАН,
пр-т акад. Семенова, 1, Черноголовка, 142432, e-mail: Dvoretskaya95@yandex.ru

Интерес к одно-молекулярным (SMM) и одно-ионным (SIM) магнетикам обусловлен их потенциальным применением в качестве мельчайших ячеек памяти и спиновых кубитов. Большинство комплексов SIM являются индуцируемыми полем (проявляют медленную магнитную релаксацию только во внешнем магнитном поле). Однако, внешнее магнитное поле высокой напряженности (~ 1–10 кЭ) можно заменить внутренним полем, создаваемым ферромагнитной матрицей на основе нано- или микрочастиц.

В работе создана матрица на основе ферромагнитных микрочастиц PrDyFeCoB, в которую помещен индуцируемый полем моно-ионный комплекс Co(II). В комплексе Co(II), помещенного в ферромагнитную матрицу, наблюдается задержка спиновой релаксации в отсутствие внешнего магнитного поля. Магнитная релаксация в комплексе Co(II) определяется зеемановским взаимодействием спина Co(II) с ферромагнитными микрочастицами, обладающими остаточной намагниченностью при нулевом внешнем поле. Дополнительным каналом влияния микрочастиц на магнитную релаксацию является химическое взаимодействие комплексов с металлической поверхностью микрочастиц и соответствующая орбитальная гибридизация, ускоряющая магнитную релаксацию.

Работа выполнена при поддержке программы Федерального исследовательского центра проблем химической физики и медицинской химии РАН 124013100858-3.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С МЕМБРАНОЙ НА ОСНОВЕ CsH_2PO_4 И РАЗЛИЧНЫМИ ЭЛЕКТРОДНЫМИ КОМПОЗИЦИЯМИ

Д.О. Дормидонова[1], И.Н. Багрянцева[1], В.Г. Пономарева[1], А.А. Алексеенко[2]
[1]ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: ponomareva@solid.nsc.ru
[2]ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, 344006, Россия

В среднетемпературном диапазоне (150-250°С) высокой протонной проводимостью обладает кислая соль CsH_2PO_4, претерпевающая обратимый фазовый переход, сопровождающийся увеличением проводимости на несколько порядков величины ($6 \cdot 10^{-2}$ См/см, Т=235°С). ТЭ с мембранами на основе CsH_2PO_4 обладают рядом преимуществ, таких как устойчивость к отравлению Pt-катализатора сопутствующими газами (CO, H_2S, NH_3), высокие скорости электродных реакций. В то же время поиск оптимальных составов электродов и способов создания эффективного интерфейса с электролитом остаются важными вопросами для данного типа ТЭ.

Целью данной работы являлось исследование электрохимических характеристик ТЭ с мембраной из CsH_2PO_4 с электродными композициями, состоящими из мелкодисперсной соли CsH_2PO_4 (~200 нм), полученной с помощью бисерной мельницы, и Pt (30–60 масс. %), осажденной на углеродном носителе Vulcan XC72 (ООО «Прометей РД») или на одностенные углеродные нанотрубки (ОУНТ OCSiAl). Были исследованы фазовый состав и морфологические характеристики электродных композиций из Pt/ОУНТ, оценен размер ОКР частиц. Методом ЦВА была определена площадь электрохимически активной поверхности. Показана стабильность размера частиц Pt при рабочей температуре ТЭ (Т~245°С). Были проведены испытания МЭБ с твердым электролитом CsH_2PO_4, а также CsH_2PO_4 – наноалмаз. Для измерений была создана электрохимическая ячейка, предусматривающая контроль температуры, скорости, влажности и состава подаваемых газов. Первые экспериментальные данные по удельным электрохимическим характеристикам ТЭ (130 мА/см^2) показывают перспективу дальнейших исследований и совершенствования состава электродных композиций, метода сборки, а также уменьшения толщины мембраны.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ №23–23–00619.

ВЛИЯНИЕ ЗАМЕЩЕНИЯ Al_2O_3 НА Y_2O_3 НА ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ СТЕКЛОГЕРМЕТИКОВ И ИХ СОВМЕСТИМОСТЬ С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Д.Ю. Дубовцев[1], А.И. Вепрева[1], Н.С. Саетова[1,2], А.В. Кузьмин[1,2]
[1]*Вятский государственный университет,*
ул. Московская, 36, Киров, 610000, e-mail: usr22638@vyatsu.ru
[2]*ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,*
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: a.v.kuzmin@yandex.ru

В настоящей работе исследовано влияние замещения Al_2O_3 на Y_2O_3 в стеклах состава $59{,}6SiO_2$-$15{,}4Na_2O$-$10{,}6ZrO_2$-$3{,}4CaO$-$(11{,}0-x)Al_2O_3$-xY_2O_3 (x = 0-11 мас. %). Результаты дилатометрических измерений показывают рост значения ТКЛР с 9,4 до $10{,}3\cdot10^{-6}$ K^{-1}, по мере замещения Al_2O_3 на Y_2O_3. Увеличение содержания Y_2O_3 стимулирует кристаллизацию, вызывая рост доли кристаллической фазы (Рис.1). Согласно данным РСМА, фаза была идентифицирована как $Na_{0.8}Ca_{0.3}Y_{0.4}Zr_{0.22}Si_{2.13}O_6$. Вероятно, она представляет собой продукт частичного замещения в соединении $NaYSi_2O_6$: некоторое количество Na^+ было замещено на Ca^{2+}, а часть Y^{3+} на Zr^{4+}. Образование вышеуказанной фазы не оказывает выраженного влияния на величину ТКЛР, даже если ее доля составляет более 50% после 1000 ч выдержки при 850°C.

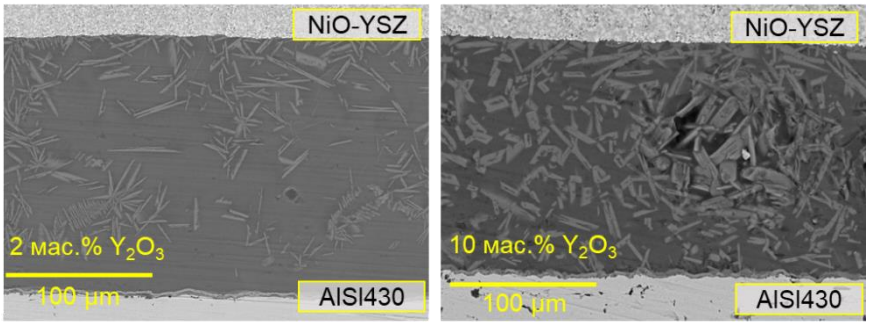


Рис. 1. Микрофотография соединений NiO-YSZ|стекло|AISI430 после 1000 ч выдержки при 850 °C.

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

Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда, проект № 21-79-30051.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СООСАЖДЕНИЯ ДЛЯ СИНТЕЗА ДОПИРОВАННЫХ ЦИРКОНАТОВ ЛАНТАНА С ТРЕБУЕМОЙ МИКРОСТРУКТУРОЙ

А. М. Дувакин[1], В. А. Воротников[1,2], С.А. Чикишев[1], З.Н. Ичетовкин[1,2], А. В. Кузьмин[1,2]
[1]ФГБОУ ВО Вятский государственный университет,
ул. Московская, 36, Киров, 610000, e-mail: tolik.duvakin@mail.ru
[2]ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: vorotnikov130@mail.ru

Цирконаты лантана $La_2Zr_2O_{7-\delta}$ со структурой типа пирохлор являются перспективными электролитами для протон-керамических топливных элементов благодаря химической стабильности и наличию протонной проводимости в определенных условиях. Для модификации транспортных свойств используют разупорядочение кристаллической структуры за счет акцепторного допирования, что приводит к существенному повышению протонного и кислород-ионного транспорта. Поиск оптимальных методов и режимов синтеза этих материалов важен с точки зрения наилучшей воспроизводимости заданной микроструктуры и возможности регулирования плотности и размера кристаллитов керамики, влияющих на ионный транспорт.

В данной работе были синтезированы образцы состава $La_{1,95}Ca_{0,05}Zr_2O_{7-\delta}$ с применением разработанной нами технологии ультразвукового соосаждения. Использовались различные режимы спекания керамики, например, ступенчатое спекание, а также применение спекающей добавки Co_3O_4 0,5 масс. %. Аттестация фазового, элементного составов, а также физико-химических свойств выполнена современными методами, включая просвечивающую электронную микроскопию. В случае использования спекающей добавки удалось достичь требуемой микроструктуры (плотность выше 96%) с применением температур спекания, на 250°C ниже относительно классического варианта. Установлено, что с ростом относительной плотности керамики на 5% общая проводимость возрастает на 2 порядка. Значения проводимости по границам зёрен конкурируют или превосходят объемную составляющую. Это подтверждает высказанную ранее гипотезу о доминировании гранично-зеренного разупорядочения в цирконатах лантана.

МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ MoS_2 И rGO ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ НАТРИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

А.А. Загузина, А.А. Ворфоломеева, А.В. Окотруб, Л.Г. Булушева
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,
пр. Академика Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090, e-mail: kotsun@niic.nsc.ru

Натрий-ионные аккумуляторы (НИА) являются эффективными накопителями энергии для портативных электронных устройств и перспективной заменой литий-ионных аккумуляторов (ЛИА). Преимущество НИА заключается в более низкой стоимости. Основной проблемой является размер иона Na, что влияет на фазовую стабильность и ограничивает транспортные свойства аккумулятора. При снижении температуры НИА страдают от серьезной потери емкости из-за значительного снижения ионной проводимости, медленной кинетики переноса заряда на границе раздела фаз и медленного транспорта металл-иона. В связи с этим актуальной задачей является разработка новых высокоэффективных анодных материалов.

Благодаря своей слоистой структуре, большому межслоевому расстоянию и высокой теоретической емкости дисульфид молибдена (MoS_2) является перспективным анодным материалом. Однако электроды из объемного MoS_2 страдают от плохой стабильности при циклировании. Комбинированная стратегия уменьшения размера частиц и создание интерфейса с восстановленным оксидом графена (rGO) способствует улучшению проводимости и кинетики межфазных реакций.

В данной работе был предложен простой подход синтеза из аэрогеля тиомолибдата аммония и оксида графита с разным соотношением компонентов. Данный подход позволяет в условиях высокого локального давления выделяющихся газов создать обогащенные дефектами графеновые слои, связанные с нанолистами MoS_2. Структура и состав материалов были охарактеризованы методами ПЭМ, КРС, РФА и РФЭС. Из образцов были собраны электрохимические полуячейки, с металлическим натрием в качестве противоэлектрода. Электрохимические испытания проведены при температурах от +25 до –20 °C. Продемонстрированно хорошее сохранение емкости при понижении температуры, а также высокая стабильность работы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ и Министерства науки и инновационной политики Новосибирской области в рамках научного проекта № 24-23-20115.

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ КОБАЛЬТОМ И НИКЕЛЕМ НА СВОЙСТВА MoS_2 В НАТРИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРАХ

А.А. Загузина, А.В. Окотруб, Л.Г. Булушева
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,
пр. Академика Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090, e-mail: kotsun@niic.nsc.ru

Потребность в недорогих и долговечных системах хранения энергии растет. Разработки в области электрохимических источников энергии являются перспективными. Натрий-ионные аккумуляторы (НИА) характеризуются высокой плотностью энергии и низкой скоростью разряда. Принцип их работы аналогичен работе литий-ионных аккумуляторов (ЛИА), а преимущество НИА заключается в более низкой стоимости изготовления. Основной проблемой является ионный радиус Na (1.02 Å), который приводит к медленной кинетике электрохимических процессов и к сильному изменению объема анодного материала. Поэтому актуальной задачей является поиск высокоэффективного и стабильно работающего анодного материала.

Перспективным анодным материалам является MoS_2, который имеет слоистую структуру, связанную слабыми Ван-дер-вальсовыми взаимодействиями, с большим межплоскостным расстоянием (0.62 нм). Использование MoS_2 ограничивает деградация материала при циклировании. Однако стратегия гетероатомного легирования позволяет увеличить электронную проводимость, улучшить скорость диффузии ионов натрия в анодный материал, избежать объёмного расширения материала при циклировании и способствует появлению дополнительных центров адсорбции.

В данной работе была синтезирована серия материалов легированных Co и Ni. Структура и состав материалов были охарактеризованы методами ПЭМ, КРС, РФА, РФЭС и РСП. Из образцов были изготовлены электроды и собраны электрохимические полуячейки с металлическим натрием в качестве противоэлектрода. Определена удельная емкость образцов, проанализированы циклические вольтамперные кривые и спектры электрохимического импеданса. Лучшие значения удельной емкости демонстрируют образцы с содержанием 5%Co – 486 мАч/г и 1%Ni – 483 мАч/г при плотности тока 0.1 А/г на 55 цикле. Co-легированный образец стабильно работает при высокой плотности тока 5 и 10 А/г, показывая удельную емкость 274 и 236 мАч/г, соответственно.

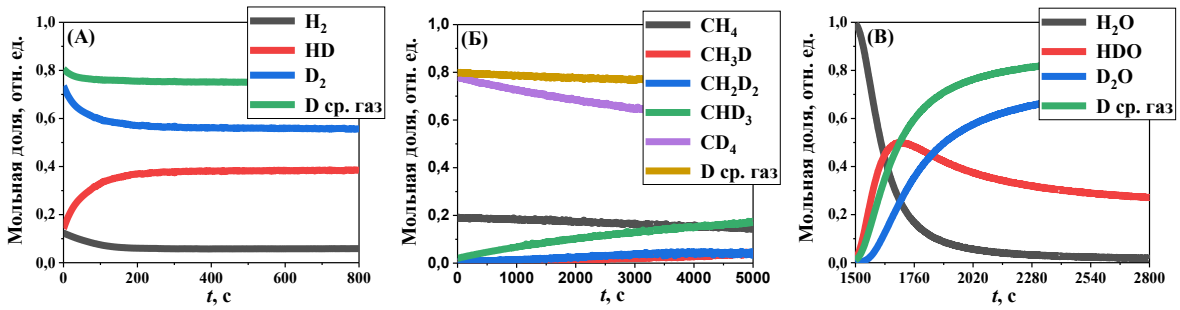
Работа была выполнена при поддержке РНФ (грант № 23-73-00048).

МАССОПЕРЕНОС ВОДОРОДА В СИСТЕМЕ «ГАЗ−YSZ»

Д.М. Захаров, А.В. Ходимчук, Н.М. Поротникова
Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН
620137, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 22/ул. Академическая, 20,
e-mail: stall92@mail.ru

Допированный иттрием диоксид циркония является одним из наиболее широко используемых компонентов метал-оксидных катализаторов конверсии метана и анодных материалов твердооксидных электрохимических устройств. Однако механизм массопереноса водорода между газовой фазой и данным материалом в литературе исследован слабо. Поэтому, целью настоящей работы является исследование механизма массопереноса водорода между такими водородсодержащими газами, как H_2, H_2O, CH_4, и диоксидом циркония стабилизированным иттрием.

Изучение механизма массопереноса водорода в системах «водород−YSZ», «вода−YSZ» и «метан–YSZ» выполняли методом изотопного обмена водорода с уравновешиванием изотопного состава газовой фазы на порошкообразном образце $Y_{0.16}Zr_{0.84}O_{1.92}$ с удельной поверхностью 41.5 м^2/г. Измерения в системах «водород−YSZ» и «метан−YSZ» выполняли в интервалах температур 300−600°C и 500−650°C в статических условиях при низких давлениях газа 100 Па. Измерения в системе «вода−YSZ» выполняли в интервале температур 300−700°C в проточном реакторе в токе Не со скоростями потока 4, 3 и 2 л/ч при общем давлении паров воды 2600 Па. Примеры результатов экспериментов при 600°C представлены на Рис. (А), (Б) и (В).



По результатам измерений были рассчитаны значения общей скорости обмена водорода и скорости межфазного обмена водорода в указанных системах. Механизм массопереноса водорода обсуждается в докладе.

ИССЛЕДОВАНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СКАНДАТА ЛАНТАНА

З.Н. Ичетовкин[1,2], А.Ю. Строева[1], А.В. Кузьмин[1,2]
[1]ФГБОУ ВО Вятский государственный университет,
ул. Московская, 36, Киров, 610000, e-mail: zakhar1030@mail.ru
[2]ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: a.v.kuzmin@yandex.ru

В протонно-керамических топливных элементах (ПКТЭ) носители заряда – протоны – диффундируют через электролит и вступают в реакцию с кислородом в катодном пространстве с получением воды. Во многих случаях, в частности, при использовании тонкопленочного электролита и работе при пониженной температуре, поляризация электрода становится основной причиной потери энергии для данных топливных элементов [1]. Оксиды со структурой перовскита ($A^{3+}B^{3+}O_3$) привлекательны в качестве высокоэффективных электродных материалов благодаря высокой химической устойчивости при различных температурах, высокой проводимости, широкой области трехфазной границы, а также механической и химической совместимостью с материалом электролита [2].

В работе рассматриваются композиционные материалы допированного протонного проводника скандата лантана $La_{0,9}Sr_{0,1}Sc_{0,9}Co_{0,1}O_{3-\delta}$ и кобальтита лантана $La_{0,9}Sr_{0,1}CoO_{3-\delta}$ с высокой электронной проводимостью в разных массовых пропорциях. Данные материалы охарактеризованы методами рентгеновской дифракции, сканирующей электронной микроскопии и просвечивающей электронной микроскопии. Полученные результаты указывают на необходимость дальнейших исследований, направленных на оптимизацию состава и структуры композитов, уточнение механизма электрохимических реакций и долговременной стабильности композитных материалов в условиях работы топливного элемента.

Работа выполнена при поддержке программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

[1]. Richter, J., et al. // Monatsh. Chem. – 2009. – V.140. – P. 985–999.
[2]. Plekhanov M. S. et al. // J. Power Sources. – 2020. – V. 449. – C. 227476.

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА СИНТЕЗА КАТОДНОГО МАТЕРИАЛА $La_{0.9}Sr_{0.1}Sc_{0.4}Mn_{0.6}O_{3-\delta}$ НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАТОДА СИММЕТРИЧНОЙ ЯЧЕЙКИ

В.А. Ичетовкина, О.С. Бервицкая, А.Н. Шестаков, А.Ю. Строева, А.В. Кузьмин
ФГБОУ ВО Вятский государственный университет,
ул. Московская, 36, Киров, 610000, e-mail: victoria.ichetovkina@gmail.com

Твердооксидные топливные элементы – развивающаяся отрасль высокоэффективного, безуглеродного преобразования энергии. Катоды с высокой электрокаталитической активностью имеют решающее значение для коммерциализации твердооксидных топливных элементов. Манганит лантана-стронция $La_{1-x}Sr_xMnO_{3-\delta}$ (LSM) один из наиболее перспективных материалов для кислородного электрода, так как обладает высокой электропроводностью, но при этом малой ионной проводимостью, вследствие чего снижается эффективность и производительность ячейки. Для повышения ионной проводимости B-подрешетку материала допируют ионами Sc^{3+}, что способствует образованию кислородных вакансий. Катод так же должен обладать развитой микроструктурой, что необходимо для увеличения трехфазной границы.

В данной работе катодный материал, состава $La_{0.9}Sr_{0.1}Sc_{0.4}Mn_{0.6}O_{3-\delta}$ (LSSM60) был синтезирован тремя методами: цитрат-нитратным, твердофазным и методом прямого соосаждения с целью изучения влияния метода синтеза на электрохимические свойства катода.

Для изучения активности восстановления кислорода LSSM60 на электролите LSS были приготовлены симметричные ячейки с опорой на электролит LSS+0,5%Co и LSSM60 в качестве обоих электродов. Электроды были нанесены методом трафаретной печати с активной площадью электрода 0,2 $см^2$. Был подобраны температура и время выдержки для припекания электродов. Микроструктуру припеченного слоя анализировали методом энергодисперсионной микроскопии. Для изучения поляризационного сопротивления материала LSSM60 были проведены измерения импеданса в зависимости от температуры в атмосфере кислорода воздуха.

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

ГИБКИЙ МЕДНЫЙ ЭЛЕКТРОД, МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ГЕКСАЦИАНОФЕРРАТОМ ЦИНКА, КАК КАТОДНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ЦИНК-ИОННОГО СУПЕРКОНДЕСАТОРА

М.В. Канева[1], А.С. Левшакова[2], Е.М. Хайруллина[2], А.А. Лобинский[1]
[1]Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе РАН, ул. Политехническая, д. 26, Санкт-Петербург, 194021, e-mail: skt94@bk.ru
[2]Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб. д. 7–9, Санкт-Петербург, 199034, e-mail: skt94@bk.ru

Стремительное развитие технологий в области носимой электроники подчеркивает острую потребность в разработке передовых гибких устройств для хранения энергии. В этом исследовании представлена возможность комбинации методов лазерно-индуцированного осаждения переходных металлов и метода ионного наслаивания гексацианоферратов из водных растворов солей металлов с целью изготовления высококоэффекивных гибких электродных материалов для устройств хранения энергии. Гибкие медные электроды, обладающие высокой удельной поверхностью и развитой морфологией, были изготовлены в процессе лазерно-индуцированного осаждения на поверхность полиимида из среды глубоких эвтектических растворителей (ГЭР). Использование ГЭР вместо водных растворов в качестве среды для лазерного осаждения позволяет значительно увеличить скорость и простоту процесса фабрикации. Модификацию поверхности электродов нанокристаллами гексацианоферрата цинка (ZnHCF) проводили с использованием водных растворов солей ацетата цинка (II) и гексацианоферрата калия (II) с помощью простого и экологически безопасного метода ионного наслаивания. Синтезированный электрод ZnHCF/Cu был протестирован в качестве катода для цинк-ионного суперконденсатора. Значения удельной емкости в водном электролите 1M $ZnSO_4$ достигали 180,2 мФ/см^2 (при плотности тока 1 мФ/см^2). Более того, электрод продемонстрировал устойчивость к изгибу и сохранил стабильность при циклировании после 100 циклов заряда-разряда. Универсальность этих методов открывает потенциал для изготовления других электродных материалов с индивидуальными составами применимых в различных научных и технологических областях.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 24-29-00758 (https://rscf.ru/project/24-29-00758/).

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РЕАКЦИИ КИСЛОРОДНОГО ОБМЕНА В НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ ПЕРОВСКИТАХ

И.В. Ковалев, М.П. Попов, Р.Д. Гуськов, М.И. Гонгола, С.А. Чижик, А.П. Немудрый
ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090
e-mail: kovalev.ivan.vyacheslavovich@gmail.com

На сегодняшний день перовскитоподобные оксиды со смешанной электрон-ионной проводимостью могут быть использованы во многих высокотемпературных производственных технологиях, таких как: каталитическое окисление и конверсия углеводородов, утилизация углекислого газа, получение высокочистого кислорода и т.д. [1, 2] Однако на данный момент наблюдается неполное понимание механизма реакций кислородного обмена и их корреляция с составом и структурой оксида, что влечет за собой почти полное отсутствие возможности управлять характеристиками таких материалов. Для исследования кинетики кислородного обмена в оксидах использовали метод релаксации парциального давления кислорода [3].

По результатам работы были рассчитаны равновесная скорость поверхностного обмена, коэффициент объемной диффузии, энергии активации процессов равновесного поверхностного обмена и диффузии кислорода в объеме. Установлено наличие линейной зависимости эффективной энергии активации Гиббса и стандартной энергии Гиббса реакции поглощения кислорода оксидом.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-73-10200).

[1]. Marques F. M. B. et al. Oxygen ion conductors for fuel cells and membranes: selected developments // Solid State Ionics. – 2006. – V. 177. – №. 19-25. – P. 1697-1703.
[2]. Mahato N. et al. Progress in material selection for solid oxide fuel cell technology: A review // Progress in Materials Science. – 2015. – V. 72. – P. 141-337.
[3]. Chizhik S. A. et al. Study of the isobaric and isostoichiometric kinetic parameters of oxygen exchange reaction of $SrFe_{0.98}Mo_{0.02}O_{3-\delta}$ MIEC perovskite // Chemical Engineering Journal. – 2022. – V. 445. – P. 136724.

ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ОРГАНИЧЕСКИХ ИОННЫХ ПЛАСТИЧЕСКИХ СОЛЕЙ НА ОСНОВЕ N-МЕТИЛ-N-ПРОПИЛПИПЕРИДИНИЯ

Д.А. Кызласова[1,2], А.С. Улихин[1], Н.Ф. Уваров[1]
[1]*ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: ulihin@solid.nsc.ru*
[2]*Новосибирский государственный университет, НГУ, ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090, e-mail: d.kyzlasova@g.nsu.ru*

Органические ионные пластические соли – это широкий класс соединений, имеющих высокотемпературную разупорядоченную фазу. Они характеризуются хорошей электрохимической и термической стабильностью, высокой ионной проводимостью и низким давлением насыщенных паров. Эти свойства позволяют использовать органические пластические соли в качестве основного компонента электролита в химических источниках тока. Особый интерес представляет высокотемпературная разупорядоченная фаза таких соединений. Она образуется за счет размораживания реориентационного и вращательного движения частей молекулы. Обычно проводимость высокотемпературной фазы на порядки больше, чем проводимость низкотемпературной.

Для поиска оптимальных кандидатов на роль основного компонента электролита необходимо изучить корреляцию между составом соли и её транспортными и термическими характеристиками. В данной работе мы остановили свой выбор на двух органических солях с одинаковым катионом: перхлорат N-метил-N-пропилпиперидиния ($[N_{13}pip]ClO_4$) и тетрафтороборат N-метил-N-пропилпиперидиния ($[N_{13}pip]BF_4$). Данные вещества были выбраны с целью изучения влияния аниона на физико-химические свойства ОИПК, а в частности их высокотемпературных фаз. Эти соли стабильны в широком диапазоне температур, имеют большое окно электрохимической стабильности, а их расплав представляет собой типичную ионную жидкость. Исследованы их термические и транспортные свойства. Обнаружено, что обе соли имеют высокотемпературную фазу, проводимость которой снижается при увеличении размеров аниона, что может свидетельствовать о преимущественно анионной проводимости.

Работа выполнена при поддержке РНФ, проект 20-13-00302.

ТРОЙНАЯ СИСТЕМА $[N_{13}pip]ClO_4$-$LiClO_4$-Al_2O_3 КАК ЭЛЕКТРОЛИТ ДЛЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Д.А. Кызласова[1,2], А.С. Улихин[1], Н.Ф. Уваров[1]
[1]ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: ulihin@solid.nsc.ru
[2]Новосибирский государственный университет, НГУ,
ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090, e-mail: d.kyzlasova@g.nsu.ru

Сейчас широко распространены литий-ионные источники тока с жидкими электролитами. Несмотря на высокую ионную проводимость, у них есть ряд недостатков. Во-первых, жидкие электролиты на основе карбонатов (EC, DMC, PC) могут растворять твёрдый пассивирующий слой между электролитом и электродом, способствуя дендритообразованию. Во-вторых, данные растворители имеют низкое давление насыщенных паров и являются летучими. Это создает риск воспламенения и взрыва устройства. В-третьих, жидкие электролиты не обладают хорошими механическими свойствами, что может привести к утечке. К тому же, для предотвращения короткого замыкания при использовании жидких электролитов необходим сепаратор. Все вышеперечисленные проблемы можно решить переходом от жидких электролитов к твёрдым.

Из-за своих уникальных свойств в качестве основного компонента электролита рассматриваются органические ионные пластические соли. Они термически стабильны, имеют относительно высокую ионную проводимость и имеют широкое окно электрохимической стабильности. Ранее исследованные системы OIPC-высокодисперсная добавка показали, что допирование такими добавками приводит к резкому увеличению проводимости на несколько порядков.

В данной работе исследовалась тройная система N-метил-N-пропилпиперидиния перхлорат ($[N_{13}pip]ClO_4$) – перхлорат лития – γ-оксид алюминия. Удельная поверхность γ-Al_2O_3 составляла 200 $м^2/г$. Изучены транспортные, электрохимические, термические и структурные свойства композита. Обнаружено, что добавка оксида алюминия способствует аморфизации органической ионной соли.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект №23-23-00556.

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ СЕНСОРНО-АКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ГИБКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ИЗ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

А.С. Левшакова[1], Е.М. Хайруллина[1], Р.Г. Нинаян[1], М.В. Канева[1,2], А.А. Маньшина[1]
[1]Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9, e-mail: a.levshakova@spbu.ru
[2]Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе РАН, 194021, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26

Развитие современных технологий порождает постоянно растущую потребность в гибкой электронике, которая находит применение в различных высоконаучных сферах. Для создания таких материалов используются различные методы аддитивного производства, среди которых особое место занимает лазерно-индуцированное осаждение из жидкой фазы (ЛОМР). Этот метод является высокоэффективным и экономичным способом лазерного синтеза [1]. В процессе ЛОМР лазерный луч фокусируется на границе фаз растворенного металла и подложки, где происходит восстановление ионов металла и формирование металлических структур непосредственно на поверхности подложки.

В предыдущих исследованиях нашей группы было продемонстрировано, что глубокие эвтектические растворители (ГЭР) могут использоваться в качестве среды осаждения для синтеза медных структур на стеклянных поверхностях с помощью лазерного облучения. ГЭР представляют собой перспективную альтернативу молекулярным органическим растворителям и ионным жидкостям, а их применение в лазерно-индуцированном синтезе позволило добиться более чем 200-кратного увеличения скорости обработки по сравнению с водными системами [2].

Цель настоящего исследования заключается в лазерном синтезе металлических структур из ГЭР на различных гибких полимерных поверхностях, таких как ПЭН, ПЭТ и ПИ. Кроме того, в работе предлагается оптимизировать условия ЛОМР с использованием дизайна эксперимента методом Нелдера-Мида. Этот подход может быть применен для эффективного и быстрого получения гибких металлических электродов, предназначенных для создания бесферментных сенсоров.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 23-49-10044).

[1]. Khairullina E. M. et al, New J. Chem, 45, 46, 21896, 2021.
[2]. Levshakova A. S. et al, Mater. Lett., 308, 131085, 2022.

УСЛОВИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ВОЛНОВОГО МЕХАНИЗМА ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ УДАРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Ю.А. Недобитков

Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, ул. Серикбаева, 19, Усть-Каменогорск, 070014, e-mail: y.nedob@gmail.com

Огановым А.Р. [1] приводятся данные об обнаружении множества необычных химических явлений при высоких давлениях и констатируется, что изменение атомных свойств позволяет предоставить единую структуру, объясняющую измененное поведение многих элементов под давлением.

В свою очередь, в работе [2] показано, что при скорости движения шара более 100 м/с в преграде начинают играть роль волновые процессы, и свойства преграды меняются. В описываемом эксперименте (рис. 1) сила удара стального шара о медную фольгу на дюралюминиевой подложке равна P=31800 кг, а расчетная величина предела текучести согласно полученной модели (рис. 1б) составит σ_T=29574,4 МПа, что в разы превышает справочно-нормативный условный предел текучести меди σ_{02}=60 МПа и приводит к образованию соединений цинка в меди. Также, автором [3] показано, что, во-первых, любое разрушение следует рассматривать как разрыв атомных связей в кристаллической решетке вещества, а во-вторых, при высокоскоростном ударе разрушение материала происходит локально, без деформации всего объема преграды. Таким образом, экспериментально подтверждено условие изменения свойств преграды при высокоскоростном воздействии.

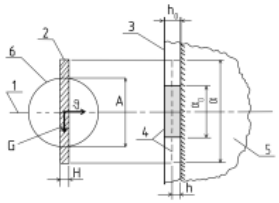
а)  б) 

Рисунок 1. Удар стального шарика по медной фольге на дюралюминиевой подложке, а - общий вид, б - расчетная модель.

[1]. Dong, Xiao & Oganov, Artem & Cui, Haixu & Zhou, Xiang-Feng & Wang, Hui-Tian. (2022). Electronegativity and chemical hardness of elements under pressure. PNAS. 119. e2117416119.

[2]. Батуев Г.С., Голубков Ю.В., Ефремов А.К., Федосов А.А. Инженерные методы исследования ударных процессов. М.: Машиностроение, 1977. 240 с.

[3]. Пашкеев И.Ю. Роль межмолекулярных сил материалов в их разрушении при высокоскоростном ударе // Вестник ЮУрГУ №6. 2005. С. 106–113.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИСЛОРОДНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МИКРОТРУБЧАТЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ $SrFe_{1-x}W_xO_{3-\delta}$-$Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{2-\delta}$, ПРИМЕНЯЕМЫХ В КАТАЛИТИЧЕСКИХ МЕМБРАННЫХ РЕАКТОРАХ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ДЕГИДРИРОВАНИЯ ЭТАНА

А.Д. Новиков[1,2], О.А. Брагина[1], Е.В. Шубникова[1], М.В. Арапова[1], О.В. Черендина[1,2], А.П. Немудрый[1]

[1]ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: a.novikov9@g.nsu.ru

[2]ФГАОУ ВО Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090, e-mail: a.novikov9@g.nsu.ru

Использование двухфазных композиционных материалов на основе нестехиометрических оксидов со структурой перовскита и флюорита в производстве каталитических мембранных реакторов (КМР) обусловлено их кислородной проницаемостью. Это может применяться для окисления углеводородов (в частности, этана) в ценные продукты. Целью данной работы является исследование кислородной проницаемости мембран на основе $SrFe_{1-x}W_xO_{3-\delta}$ - $Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{2-\delta}$ в зависимости от температуры, фазового состава и парциального давления кислорода, микроструктуры данных мембран, а также каталитической активности в реакции окислительного дегидрирования этана и долговременной стабильности в условиях протекания данной реакции.

На основе нестехиометрических оксидов со структурой перовскита $SrFe_{1-x}W_xO_{3-\delta}$ и флюорита $Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{2-\delta}$ были синтезированы композиционные материалы различного фазового состава, после чего они были охарактеризованы с помощью рентгенофазового анализа и сканирующей электронной микроскопии. Из этих оксидов методом фазовой инверсии были получены микротрубчатые мембраны с развитой микроструктурой. Также была исследована каталитическая активность мембран в реакции окислительного дегидрирования этана в градиентах воздух/этан и углекислый газ/этан. Полученные данные свидетельствуют о высокой степени селективности реакции по целевому продукту – этилену при температурах порядка 800°C.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 23-43-00130.

ПОЛУЧЕНИЕ АНОДНЫХ СЛОЁВ ИЗ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА NiO/YSZ ДЛЯ ТВЁРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Д.В. Опарина, А.Ю. Строева, К.В. Пермякова
ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,
ул. Московская, 36, Киров, 610000, e-mail: oparinad98@gmail.com

Твёрдооксидные топливные элементы (ТОТЭ) являются перспективными электрохимическими источниками энергии, которые преобразуют химическую энергию в электрическую энергию посредством электрохимической реакции [1]. Существует несколько типов конструкций ТОТЭ: трубчатая, планарная и сложной формы. Каждый из видов состоит из анодной основы, нанесённого на неё электролита и катодного материала. Широкое распространение получили топливные элементы планарной конструкции с несущей анодной основой, имеющие относительно простые и масштабируемые технологии изготовления.

Типичным анодным материалом в ТОТЭ является пористая керамическая подложка из оксида никеля (NiO) и оксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия (YSZ). Для изготовления таких керамических подложек отлично подходит метод плёночного литья. Получаемые зелёные заготовки должны обладать достаточной механической прочностью, пористостью и сохранять геометрические формы после высокотемпературного спекания. Поэтому для получения высококачественных анодных основ необходимо изучить и отработать важный этап технологии – приготовление суспензии для плёночного литья.

По результатам исследования предложены наиболее перспективные составы суспензий для получения анодных слоёв ТОТЭ планарной конструкции. Так же процессы спекания и сушки приводят к большой объёмной усадке, важно было оценить влияние данных параметров на пористость и механическую прочность, получаемых анодных основ.

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

[1]. T. Capurso, M. Stefanizzi, M. Torresi, S.M. Camporeale. Perspective of the role of hydrogen in the 21st century energy transition // Energy Conversion and Management. 2022. V. 251.

ОДНОСТЕННЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ, ЗАПОЛНЕННЫЕ ХАЛЬКОГЕНИДАМИ МЫШЬЯКА, В КАЧЕСТВЕ АНОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ Li-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

А.А. Пелевина[1,2], А.А. Ворфоломеева[2], Л.Г. Булушева[2], А.В.Окотруб[2]
[1]ФГАОУ ВО Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова, 2, Новосибирск, 630090, e-mail: a.pelevina@g.nsu.ru
[2] ФГБУН Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, пр. Академика Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090

Литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) в настоящее время являются одними из самых широко используемых перезаряжаемых источников энергии, и требования к их емкостным характеристикам ежегодно возрастают. В настоящее время распространенным в коммерческих ЛИА материалом является графит, однако его теоретическая емкость составляет всего 372 мАч/г. По этой причине актуален поиск новых анодных материалов, которые позволят достичь более высокой емкости ЛИА.

Халькогениды мышьяка являются перспективной альтернативой графиту благодаря их высокой теоретической емкости (>700 мАч/г) и электропроводности. Тем не менее их существенным недостатком является снижение электрохимической емкости из-за изменений объема материала при длительном циклировании. В качестве решения рассматривается возможность создания композитного наноматериала из одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ), заполненных халькогенидами мышьяка. Предполагается, что емкость композитного материала значительно возрастет по сравнению с чистыми ОУНТ, а халькогениды будут защищены и стабилизированы углеродной матрицей, что позволит нивелировать объемное расширение материала.

В данной работе были синтезированы образцы ОУНТ, заполненные халькогенидами мышьяка с различным стехиометрическим составом из навесок As и S (2:3, 4:4, 2:5) или As и Se (2:3, 4:4) путем вакуумного испарения-конденсации при температуре 750 °C. Методами КРС, РФЭС, РЭМ и ПЭМ исследованы физико-химические характеристики образцов. Из всех образцов были подготовлены электродные материалы и собраны электрохимические полуячейки с металлическим литием в качестве противоэлектрода. Наибольшие значения удельной емкости в каждой серии продемонстрировали образцы As4:S4@ОУНТ (1637 мАч/г при плотности тока 0.1 А/г) и As4:Se4@ОУНТ (707 мАч/г при плотности тока 0.1 А/г).

КОМПОЗИЦИОННЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК ЭЛЕКТРОДЫ В УСТАНОВКАХ ДЛЯ ЕМКОСТНОЙ ДЕИОНИЗАЦИИ ВОДЫ

О.А. Подгорнова, Н.Ф. Уваров
ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: podgornova.nsk@gmail.com

Одной из главных проблем современного общества является недостаток чистой питьевой воды. Емкостная деионизация (ЕД), как метод опреснения воды, представляет собой процесс удаления ионов из водного раствора путем приложения постоянного напряжения или тока, при этом катионы и анионы электростатически удерживаются на противоположных электродах. Насыщенные ионами электроды регенерируются при нулевом напряжении или при приложении обратного напряжения. Стоит отметить, что установки на основе ЕД характеризуются экологичностью, высокой эффективностью, низким энергопотреблением и возможностью работы от автономных источников возобновляемой энергии (например, ветровой или солнечной). Основная проблема, ограничивающая создание ЕД установок, состоит в получении электродных материалов, обладающих большой пористостью, гидрофильностью и хорошими механическими свойствами, что позволило бы использовать их в течение многих циклов работы.

Одним из широко используемых материалов, применяемых в качестве электродов в ЕД установках, является активированный углерод (АС), обладающий низкой стоимостью, высокой удельной поверхностью и химической стабильностью. Однако наличие преобладающего количества микропор в структуре АС препятствует доступу раствора к всей поверхности электродов, что снижает эффективность очистки воды. Модифицирование АС или создание композитов на его основе с мезо- и макропористыми материалами, что позволит сохранить высокую удельную поверхность и облегчит доступ раствора ко всему электроду, является эффективным способом решения данной проблемы.

В данной работе показана возможность использования композиционных углеродных материалов на основе модифицированного АС и углеродного войлока, являющегося макропористым материалом, в качестве электродов для ЕД установок.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ КАТОДНЫХ СЛОЕВ ТОТЭ НА ОСНОВЕ НИКЕЛИТА ЛАНТАНА

А.Ю. Смиренин, А.Ю. Строева, А.В. Кузьмин
Вятский государственный университет, Московская, 36, Киров, 610000, Россия,
e-mail: stud144656@vyatsu.ru

Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) — это электрохимические системы, предназначенные для прямого преобразования химической энергии топлива в электрическую. Структура ТОТЭ включает три основных типа слоев: катодные, электролитные и анодные. Катодные слои служат катализаторами для превращения молекулярного кислорода из окислительной смеси в ионы кислорода. Электролитные слои отвечают за перенос ионов кислорода из окислительной камеры в топливную камеру. Анодные слои обеспечивают окисление топлива с использованием анионов кислорода, перемещаемых через твердый электролит. В данной работе исследованы свойства материалов на основе никелита лантана при замещении части ионов никеля ионами кобальта, что является способом повышения каталитической активности, электропроводности и химической стабильности катодов.

В работе синтезированы катодные материалы $La_2Ni_{1-x}Co_xO_4$ двумя методами:

1) Твердофазным синтезом получили однофазные порошкообразные материалы с размером зерна 50–100 мкм. Такая микроструктура порошков формирует пористые катодные материалы, обеспечивающие развитую трехфазную границу.

2) Методом цитрат-нитратного сжигания синтезированы наноструктурированные однофазные материалы с повышенной поверхностной активностью, что определяет формирование образцов высокой плотности.

Проведены измерения методом дилатометрии, определены температурные коэффициенты линейного расширения, которые для $La_2Ni_{1-x}Co_xO_4$ лежат в диапазоне 14,8-15,5$\cdot 10^{-6}$ K^{-1}. Электропроводность данных материалов исследована четырехзондовым методом на постоянном токе; показано, что температурные зависимости проводимости при высоких температурах имеют металлоподобный вид, при понижении температуры происходит переход к полупроводниковому типу проводимости.

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

ТВЁРДЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ НА ОСНОВЕ $(C_4H_9)_4NBF_4$ ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

И.А. Стебницкий[1,2], Ю.Г. Матейшина[1,2]
[1]ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090,
[2]ФГАОУ ВО Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090, e-mail: i.stebnitskii@g.nsu.ru

Органические ионные пластические кристаллы (ОИПК) – многообещающий класс твёрдых электролитов благодаря высокой электрохимической стабильности, нелетучести и негорючести, а также пластичности. Однако проводимость многих представителей ОИПК не превышает значения 10^{-5} См/см, что препятствует их практическому использованию.

Классическим способом улучшения транспортных свойств ионных соединений является гетерогенное допирование наноразмерными инертными добавками. Ранее такой подход использовался для неорганических систем, на примере которых было показано существенное увеличение проводимости до 3–4 порядков величины. Для органических ионных пластических кристаллов гетерогенное допирование ранее практически не использовалось, поэтому неизвестно, какие именно факторы будут определять проводимость композитов на их основе.

В данной работе исследовались композиционные электролиты на основе $(C_4H_9)_4NBF_4$ с добавками MgO, Al_2O_3, SiO_2 и наноалмазов с одинаковой площадью удельной поверхности ($S_{уд}$ ≈ 300 м^2/г) для выявления влияния химической природы допанта на структурные, термические и транспортные свойства композитов. Показано, что введение гетерогенных добавок способствует образованию высокопроводящей аморфной фазы соли, вследствие чего наблюдается увеличение проводимости на 1,5–4 порядка. Результаты исследований подробно обсуждаются в докладе.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 20-13-00302.

ТВЁРДЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ НА ОСНОВЕ ТЕТРАФТОРОБОРАТОВ ЗАМЕЩЕННОГО АММОНИЯ И НАНОАЛМАЗОВ

И.А. Стебницкий[1,2], Ю.Г. Матейшина[1,2]
[1]ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090,
[2]ФГАОУ ВО Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090, e-mail: i.stebnitskii@g.nsu.ru

В связи с активным ростом потребности общества в высокомощных и безопасных электрохимических накопителях энергии многие исследователи сфокусировались на поиске перспективных твёрдых электролитов. Одним из примеров таких электролитов являются органические ионные пластические кристаллы (ОИПК), к преимуществам которых относят высокую термическую и электрохимическую стабильность и пластичность. Ионная проводимость ОИПК относительно высока, однако зачастую не превышает значения 10^{-5} См/см, что не позволяет их использовать на практике.

Ранее была показана возможность улучшения транспортных свойств органических солей путём гетерогенного допирования. С помощью такого подхода удалось увеличить проводимость $(C_4H_9)_4NBF_4$ на 3 порядка до значения $1{,}2\times10^{-3}$ См/см при 150°С при допировании наноалмазами [1]. Несмотря на возможность значительного улучшения транспортных свойств, метод гетерогенного допирования подробно не исследовался для ОИПК.

В данной работе исследовались композиты на основе тетрафтороборатов замещенного аммония, различающиеся симметрией катиона, для выявления роли свойств соли на физико-химические свойства композиционных электролитов. В качестве гетерогенной добавки использовались наноалмазы с площадью удельной поверхности 300 $м^2$/г. Результаты исследований обсуждаются в докладе.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 20-13-00302.

[1] Mateyshina Y., Stebnitskii I., Uvarov N. Composite solid electrolytes (n-$C_4H_9)_4NBF_4$–nanodiamonds // Solid State Ionics. – 2024. – V. 404. – P. 116419.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОВОДИМОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ С ЛИГАНДАМИ САЛЕНОВОГО ТИПА ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Д.В. Тронина[1], Е.А. Смирнова[2]
[1]ФГБОУ ВО РГПУ им. А.И. Герцена,
наб. реки Мойки, 48, Санкт-Петербург, 191186, e-mail: darya.tronina@ya.ru
[2]ФГБУН Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
Политехническая ул., 26, Санкт-Петербург, 194021, e-mail: esmirnova@mail.ioffe.ru

Полимерные комплексы переходных металлов с лигандами саленового типа обладают электрохимической активностью в широком диапазоне потенциалов, каталитической активностью по отношению к ряду редокс-процессов, фотохимической активностью, что делает их значимыми функциональными материалами с потенциалом применения в различных электрохимических приложениях. В данной работе на примере комплекса поли-[$NiCH_3OSalphen$] изучалось изменение электропроводности полимерных комплексов переходных металлов с саленовыми лигандами при электрохимическом допировании анионами фонового электролита в процессе окисления-восстановления полимера в растворе 0.05 моль/л Et_4NBF_4 в ацетонитриле. Результаты показали, что максимальное значение электропроводности исследуемого полимера равного 16,5 мСм (Рис. 1), что существенно превышает ранее опубликованные значения для аналогичных систем [1].

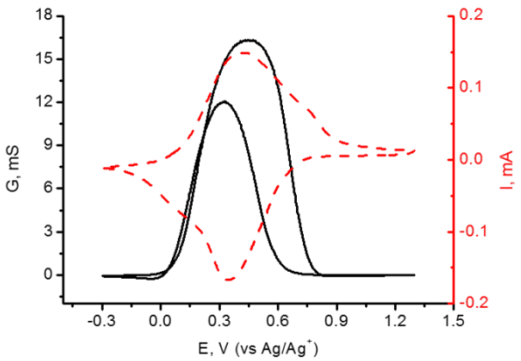


Рис. 1. Зависимость проводимости полимера поли-[$NiCH_3OSalphen$] от потенциала (сплошная линия) и ЦВА этого полимера (штриховые линии).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект 23-73-01261.

[1]. Смирнова Е.А., Чепурная И.А. Письма ЖТФ. 2022. Т. 48. № 1. С. 12.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКОВ ВОДОРОДА ИЗ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ ЧЕРЕЗ НИКЕЛЕВЫЕ КАПИЛЛЯРЫ С УЧЕТОМ НЕОДНОРОДНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Е.С. Тропин, М.И. Гонгола, А.П. Немудрый
ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: evg2306@mail.ru

Промышленно изготавливаемые в России капиллярные трубки из металлического никеля могут быть использованы в качестве единичных мембран в составе мембранного модуля для получения водорода высокой степени чистоты. Для проектирования эффективного и компактного мембранного модуля необходим расчет потока водорода через капилляр в зависимости от различных параметров работы модуля, что является нетривиальной задачей, так как парциальное давление водорода в газовой смеси непрерывно меняется вдоль капилляра за счет работы мембраны. Распределение температуры вдоль длинной трубки также может быть неоднородным.

В данной работе разработана и экспериментально подтверждена математическая модель потока водорода через стенку протяженных металлических мембран, учитывающая как неоднородность парциального давления водорода, так и неоднородность температуры по длине капилляра. Модель позволяет подобрать оптимальную скорость потока газовой смеси для эффективного использования всей длины единичных мембран и повышения степени извлечения водорода из газовой смеси.

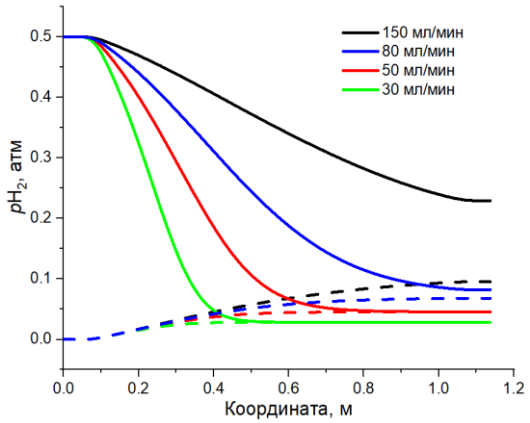


Рис. 1. Распределение парциального давления водорода внутри и снаружи капилляра по длине капилляра в зависимости от скорости потока газовой смеси

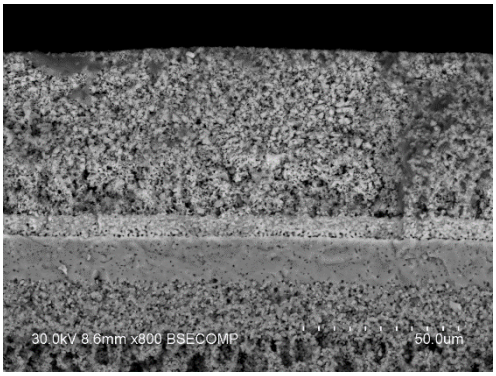
Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00220.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОТЭ С КАТОДНЫМИ СЛОЯМИ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ $Ba_{0,5}Sr_{0,5}Co_{0,8}Fe_{0,75}Mo_{0,05}O_{3-\delta}$ И $La_{0,8}Sr_{0,2}CoO_{3-\delta}$

Е.С. Тропин, В.П. Сивцев, А.П. Немудрый
ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: evg2306@mail.ru

Возможность эффективного прямого преобразования химической энергии топлива в электрическую энергию с помощью твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) привлекает внимание исследователей к этим электрохимическим устройствам. Одним из основных препятствий на пути к снижению рабочей температуры ТОТЭ является относительно низкая электрохимическая активность большинства исследованных катодных материалов. Оксиды на основе $Ba_{0,5}Sr_{0,5}Co_{0,8}Fe_{0,2}O_{3-\delta}$ (BSCF) обладают одними из самых высоких значений коэффициента диффузии кислорода, а также коэффициента обмена кислорода с поверхностью. В то же время оксиды на основе кобальтита лантана $La_{1-x}Sr_xCoO_{3-\delta}$ (LSC) имеют очень высокие значения электропроводности. Таким образом, представляется перспективным использование оксидов на основе BSCF в качестве материалов катодного функционального слоя (КФС), а оксидов на основе LSC в качестве материалов токосъемного слоя (КТС).

В данной работе изготовлены образцы единичных трубчатых ТОТЭ с катодными функциональным и токосъемным слоями на основе оксидов BSCF и LSC, а также исследованы их электрохимические характеристики. Выработаны рекомендации для дальнейшего повышения эффективности подобных электрохимических устройств.



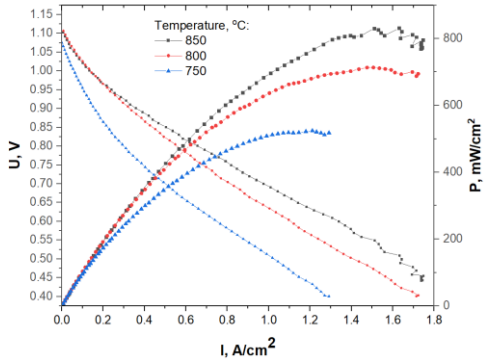


Рис. 1. а) микроструктура функциональных слоев ТОТЭ, б) мощностные характеристики изготовленных ТОТЭ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-30051.

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ОБЕССУЛЬФАЧЕННОЙ ЭФК ИЗ ФОСФОРИТОВ ЦЕНТРАЛЬНЫХ КЫЗЫЛКУМОВ

И.Э. Хошимов[1], Ш.И. Турдиалиева[2]

[1]*Институт общей и неорганической химии АН РУз, ул. Мирзо Улугбека 77[a], Ташкент, 100170, e-mail: Emmim1991@mail.ru*

[2]*Институт общей и неорганической химии АН РУз, ул. Мирзо Улугбека 77[a], Ташкент, 100170, e-mail: turdialiyeva81@mail.ru*

Очистка ЭФК является главным процессом для получения сложных и комплексных удобрений [1]. Проведен процесс обессульфачивания ЭФК карбонатом стронция. Поскольку, в отличие от соединений бария, соли стронция являются малотоксичными веществами [2], они снижают остаточное содержание SO_4^{2-} в растворе ЭФК почти в 30–40 раз по сравнению с фосфатами и карбонатом кальция.

Рентгеноструктурный анализ высушенных осадков проводили на дифрактометре XRD-6100 (Shimadzu, Япония).

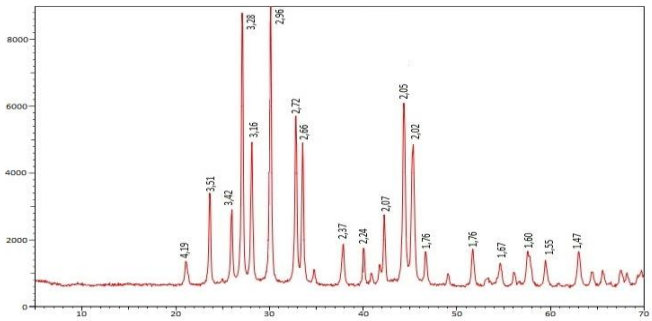


Рис.1. Рентгенограмма осадка исходного обессульфаченного ЭФК.

Как видно, осадки, полученные из исходного обессульфаченного ЭФК, имеют дифракционные пики сульфата стронция с максимальными 3,28, 2,96Å и минимальными 2,07, 2,02 и 2,05Å. Тогда как дифракционные линии с 3,51, 3,42, 3,16, 2,72Å принадлежат гипсу (Рис. 1).

[1]. Методы очистки экстракционной фосфорной кислоты. B. Karshiyev, A. Seytnazarov, S. Namazov, S. Namazov, Sh. Turdialiyeva. Vol. 1. №. 1 (2023): International scientific journal of Chemistry and technology**.** https://research-edu.com/index.php/chemistry.

[2]. P. Zlobina, Purification of extraction phosphoric acid from sulfate ions with strontium compounds, Ph.D. thesis. tech. sciences, Moscow, RCTI, 2004.

КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КОММУТАЦИИ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТРУБЧАТЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

И.Д. Устюжанинов, Д.Ю. Дубовцев, А.И. Вепрева, Н.С. Саетова, А.В. Кузьмин
Вятский государственный университет,
ул. Московская, 36, Киров, 610000, e-mail: stud144620@vyatsu.ru

Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) – это высокоэффективные устройства для преобразования химической энергии топлива в электрическую и тепловую энергию. Среди всех видов ТОТЭ особый интерес представляют ТОТЭ трубчатой конструкции, благодаря их долгосрочной стабильности и устойчивости при термоциклировании в рабочих условиях. Однако такая конструкция имеет ряд недостатков. Ключевым недостатком при изготовлении трубчатых ТОТЭ является обеспечение надежного электрического контакта между материалом электродов и интерконнектором.

Одним из путей решения этой проблемы может служить создание композитного материала с проводящими компонентами. Так, использование проводящих частиц позволит получить электрический контакт между материалом электрода и интерконнектором, а стеклогерметик, выступающий в роли связующего, обеспечит хорошую адгезию к функциональным материалам ТОТЭ. В качестве стеклогерметика выбрано перспективное стекло состава $54{,}4SiO_2$-$13{,}7Na_2O$-$1{,}7K_2O$-$5{,}0CaO$-$12{,}4MgO$-$0{,}6Y_2O_3$-$11{,}3Al_2O_3$-$0{,}9B_2O_3$ (мас. %). В качестве проводящей основы использовали следующие материалы: сплав PdAg, железо металлическое и карбоксильное, катодный материал LNF($LaNi_{0,6}Fe_{0,4}O_3$), углерод и марганцево-кобальтовую шпинель ($MnCo_2O_4$). В качестве параметров отбора были использованы важные свойства полученных композитов, в том числе электропроводность, коэффициент термического расширения, адгезия к материалу катода и нержавеющей стали 08Х17Т с марганцево-кобальтовым покрытием. В ходе испытаний наилучшие результаты продемонстрировали композиты состава: стекло+PdAg, стекло+LNF и стекло+$MnCo_2O_4$.

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

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТЕКЛОБОЯ

А.М. Фадеева, Е.Е. Трусова
Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», ул. Свердлова, 13а, Минск, Республика Беларусь, 220006,
e-mail: nfadeefa57@gmail.com

Традиционным направлением применения отходов стекла является добавление его в шихту стекловаренных печей. При введении боя большое значение имеют степень измельчения и способ его введения и перемешивания с шихтой. Частичная замена шихты стеклобоем позволяет ощутимо сократить расход сырьевых материалов и снизить энергетические затраты, поскольку процессы силикато- и стеклообразования в расплаве протекают при более низких температурах. В последнее время использованию и подготовке стеклобоя в производстве стекла уделяется большое внимание. Организуется централизованный сбор стеклобоя, его тщательная очистка и измельчение. Все большее количество стеклотарных заводов использует повышенное содержание стеклобоя, вплоть до 100 %.

Целью настоящей работы является изучение и разработка технологии производства стекла с повышенным содержанием смешанного стеклобоя, а также исследование свойств полученных образцов.

Синтез стекол осуществили в системе $Na_2O–CaO–MgO–Al_2O_3–SiO_2$ с введением стеклобоя 50–90 мас. % от состава шихты. Использовался коричневый, зеленый, оливковый и бесцветный бой. Стекла варились в газовой печи при температуре 1450°С с выдержкой при максимальной температуре 1 ч и отжигались при температуре 600°С. Показано, что повышение содержания стеклобоя до 90% приводит к снижению осветления. Изучены физико-химические свойства стекол (плотность, ТКЛР, оптическое светопропускание, механическая и химическая стойкость). Показано, что с увеличением содержания стеклобоя снижается механическая прочность стекол, что обусловлено наличием газовой фазы. Использование смешанного стеклобоя может привести к неравномерному окрашиванию стекол, однако обеспечивает проявление оливкового цвета. Показано, что одной из проблем при производстве стекол с высоким содержанием стеклобоя является плохое осветление стекломассы. Однако в этом случае на производстве следует применять технологические приемы, способствующие процессу осветления стекломассы: бурление, перемешивание, заглубление бассейна в зоне осветления.

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНОВОГО ЭЛАСТОМЕРА С РАЗЛИЧНЫМИ РАСТВОРИТЕЛЯМИ

Н.А. Федоров, Н.Ф. Уваров
ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: f-nikita08@mail.ru

В настоящее время литиевые батареи широко используются в портативных электронных устройствах, электромобилях, различных накопителях энергии и других областях благодаря высокой плотности энергии и длительному сроку службы. Однако вследствие образования и роста литиевых дендритов, приводящих к риску короткого замыкания при использовании жидких электролитов, существенно усложняют дальнейшую разработку и ограничивают их применение. Альтернативным решением может быть замена жидкого электролита твёрдым полимерным электролитом. В настоящей работе проведены синтез и исследование полимерных электролитов на основе полиуретанового эластомера и солей лития.

Были определены наиболее перспективные растворители для получения твёрдого полимерного электролита с высокой проникающей способностью в полимер. В качестве полимерной основы был использован эластомер на полиуретановой основе.

Полимерные твёрдые электролиты получали набуханием полиуретанового эластомера растворами соли лития $LiBF_4$ в Н-метилпирролидоне (НМП) при различной концентрации соли лития. Установлено, что эффект набухания уменьшается с увеличением концентрации соли (Рис. 1).

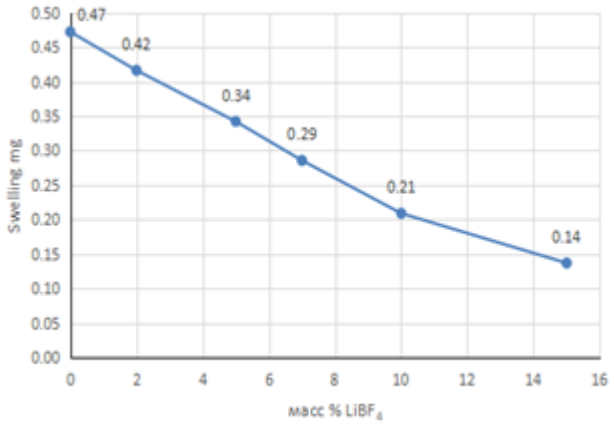


Рис. 1. Степень набухания в зависимости от концентрации соли LiBF4 в растворе НМП.

Было определёно, что ионная проводимость полимерных электролитов достигает максимума 6-8·10^{-4} См/см при 5 мас.% соли лития. Полученные полиуретановые эластомерные материалы обладают высокой электропроводностью и могут быть перспективны для использования в гибких литий-полимерных аккумуляторах.

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ АНОДОВ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.М. Фоминых[1], А.В. Иванов[1,2], А.Ю. Строева[1], В.А. Воротников[1,2], С.А. Чикишев[1], З.Н. Ичетовкин[1], М.С. Бобро[1], А.В. Кузьмин[1,2]

[1]ФГБОУ ВО Вятский государственный университет,
ул. Московская, 36, Киров, 610033, e-mail: alex_mf@inbox.ru
[2]ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail:alehaww@gmail.com

На сегодняшний день наиболее распространена трубчатая конструкция ТОТЭ с несущим анодом и плёночным электролитом. Использование анода в качестве коллекторного слоя существенно повышает требования к нему. Среди этих требований — механическая прочность, газопроницаемость и электропроводность. Кроме того, от свойств анода зависит качество нанесения всех последующих тонких плёночных слоев, а, следовательно, и мощностные характеристики. Для обеспечения удовлетворительной производительности при изготовлении подложек и соответствующего их качества важен правильный выбор методики и параметров формирования. Перспективной и высокопроизводительной группой методов является экструзия. Из этой группы методов для формирования подложек топливных элементов хорошо подходит горячее шликерное литье. Данный метод имеет ряд важных для нашей работы преимуществ. А именно: разнообразие форм и геометрических размеров получаемых изделий без последующих проблем с деформацией отливок, сравнительная простота, дешевизна, а также возможность механизации и автоматизации производства готовых изделий.

В ходе работы были определены оптимальные параметры процесса изготовления подложек и составы шликерных смесей, изготовлены образцы анодных подложек, а также проведена аттестация их свойств, включая электропроводность и газопроницаемость. На изготовленных анодах были изготовлены топливные элементы и измерены их характеристики.

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

ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ ГИБКИХ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ГИДРОХИНОНА И ПИРОКАТЕХИНА

М.В. Канева[1,2], А.С. Левшакова[1,2], М.И. Фаткуллин[3], А.А. Маньшина[1], Рауль Родригез[3], Е.М. Хайруллина[1]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9, e-mail: a.levshakova@spbu.ru

[2]Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе РАН, 194021, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26

[3]Томский политехнический университет, 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, д. 30

Катехол (КТ) и пирокатехин (ПК), несмотря на их высокую токсичность, широко используются в промышленности, включая производство кожаных изделий, фармацевтические препараты, красители и косметику, что делает количественное определение данных фенольных соединений важной аналитической задачей. При этом электрохимическое обнаружение имеет ряд преимуществ, таких как экспрессность, низкая стоимость и высокая чувствительность. В данной работе мы предлагаем подход, основанный на лазерно-индуцированной карбонизации полиэтилентерефталата, для создания гибких рабочих электродов для электрохимического детектирования КТ и ПК. Разработанный композитный электрод показал низкие пределы обнаружения равные 47 нМ для КТ и 56 нМ для ПК с линейным диапазоном 0,1–300 мкМ для обоих соединений. Долгосрочная стабильность аналитического сигнала сенсора и применимость при детектировании реальных образцов демонстрируют его высокий практический потенциал.

Авторы благодарят Российский научный фонд (проект № 23-29-00493) за финансирование проекта.
Авторы также выражают благодарность Научному Парку СПбГУ, в том числе Междисциплинарному центру нанотехнологий СПбГУ, Центру физических методов исследования поверхности, Центру оптических и лазерных исследований материалов, Центру рентгенодифракционных исследований.

ВЛИЯНИЕ ПАРОВ ВОДЫ В ГАЗОВОЙ ФАЗЕ НА КИНЕТИКУ ОБМЕНА КИСЛОРОДА ОКСИДАМИ $La_{n+1}Ni_nO_{3n+1}$ (n = 1, 2 и 3)

А.В. Ходимчук[1,2], Д.М. Захаров[1], А.Р. Гилев[2], Н.М. Поротникова[1]
[1]*Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, ул. Академическая, 20, Екатеринбург, 620066, e-mail: A.Khodimchuk@ihte.ru*
[2]*Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, ул. Мира, 19, Екатеринбург, 620002, e-mail: a.v.khodimchuk@urfu.ru*

Понимание природы процессов взаимодействия компонентов газовой фазы (O_2, H_2O, H_2 и т.д.) с поверхностью сложнооксидных материалов имеет большое значение для разработки электрохимических устройств. Смешанно-проводящие фазы Ради-Поппера $La_{n+1}Ni_nO_{3n+1}$ (n = 1, 2 и 3) рассматриваются как перспективные электроды твердооксидных топливных элементов благодаря их слоистой структуре, обеспечивающей наличие нестехиометрических структурных дефектов. Данная работа посвящена изучению влияния паров воды в газовой фазе на кинетику поверхностного обмена кислорода между газовой фазой и оксидами $La_{n+1}Ni_nO_{3n+1}$ (n = 1, 2 и 3).

Кинетику межфазного обмена кислорода изучали методом изотопного обмена кислорода с импульсной подачей изотопно-обогащенной смеси на порошках $La_2NiO_{4\pm\delta}$, $La_3Ni_2O_{7-\delta}$ и $La_4Ni_3O_{10-\delta}$ в интервале температур 300–700 °C при парциальном давлении кислорода 21.2 кПа в сухой (O_2) и влажной (смесь O_2 + H_2O, pH_2O = 2.6 кПа) атмосферах. По экспериментальным данным, полученным в условиях сухого и влажного кислорода, рассчитаны значения скоростей межфазного обмена кислорода (r_H), которые показывают среднее количество атомов кислорода, обменивающееся между кислородом из газовой фазы и оксидом на единицу поверхности за единицу времени.

Сравнение значений скоростей межфазного обмена кислорода (r_H), полученных в сухих (O_2) и влажных условиях (смесь O_2 + H_2O), показало, что при наличии паров воды в газовой фазе для оксидов $La_3Ni_2O_{7-\delta}$ и $La_4Ni_3O_{10-\delta}$ значения r_H лежат ниже в сравнении с данными, полученными в атмосферах, содержащих сухой кислород. Причем отрицательное влияние влажности на значения r_H увеличивается с ростом n. В случае оксида $La_2NiO_{4\pm\delta}$ обнаружено, что значения r_H для сухих и влажных условий равны с учетом ошибки определения. Для объяснения полученных различий и описания механизмов обмена кислорода в рамках данной работы были рассчитаны скорости элементарных стадий процессов, протекающих в системе «газ – оксид».

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТРУБЧАТЫХ ТВЕРДООКСИДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, РАБОТАЮЩИХ В РЕЖИМЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА

М.О. Хохлова, Е.В. Шубникова, Е.С. Тропин, О.А. Брагина, А.П. Немудрый
ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: khokhlova@solid.nsc.ru

Разработка высокотемпературных электролизеров – актуальная и важная задача в области электрохимической энергетики. Ранее было показано, что электролиз водяного пара является высокоэффективным способом получения водорода высокой чистоты [1]. Твердооксидные элементы, работающие в режиме электролиза, также используются для электрохимического восстановления CO_2. Преобразование углекислого газа в более ценные продукты, такие как CO, является многообещающей стратегией сокращения чрезмерных выбросов CO_2 [2].

В данной работе был исследован микротрубчатый элемент с воздушным электродом на основе LNO-SDC, изготовленный с помощью метода фазовой инверсии, описанного ранее [3]. Измерения проводились при работе в режимах топливного элемента, электролиза водяного пара и электролиза CO_2. Электрохимические характеристики были измерены с помощью потенциостата PS-50 (SmartStat, Россия). В исследованиях электролиза CO_2 количественное определение концентрации CO было проведено методом газовой хроматографии (Хромос ГЦ-1000, Россия). Микроструктура единичных элементов была охарактеризована с использованием сканирующей электронной микроскопии (СЭМ, Hitachi S-3400N, Япония). Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности микротрубчатого элемента при работе в режиме электролизера.

Работа выполнена в рамках молодежной лаборатории «Материалы и технологии водородной энергетики» (№ 075-03-2022-424/3).

[1]. Ni M., Leung M.K., Leung, D.Y. Int. J. Hydrogen Energy, 2008, 33, 2337.
[2]. Song Y., Zhang X., Xie K., Wang G., Bao X. Adv. Mater., 2019, 31, 1902033.
[3]. Shubnikova E., Popov M., Bychkov S., Chizhik S., Nemudry A. Chem. Eng. J., 2019, 372, 251.

ДВУХФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ ТИПА «ПЕРОВСКИТ-ФЛЮОРИТ» КАК КАТАЛИТИЧЕСКИЕ МЕМБРАННЫЕ РЕАКТОРЫ

О.В. Черендина, Е.В. Шубникова, О.А. Брагина, М.В. Арапова, М.О. Хохлова, А.П. Немудрый
ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090,
e-mail: cherendina@solid.nsc.ru

В настоящее время в литературе представлены многочисленные исследования оксидов на основе ферритов стронция $SrFeO_{3-\delta}$ с перовскитоподобной структурой, которые обладают высокими показателями смешанной кислород-электронной проводимости и 100% селективностью, что делает их перспективными материалами для применения в каталитических мембранных реакторах. Однако, низкие значения кислородных потоков, а также отсутствие механической прочности и химической стабильности дают возможность поиска новых материалов на основе $SrFeO_{3-\delta}$. Ключевым подходом, согласно данным работы [1], является создание композиционных двухфазных материалов типа «перовскит-флюорит». Главным отличием композитов двухфазного типа перовскит- флюорит, где одна фаза является смешанным проводником, а вторая-ионным, заключается в высокой фазовой и термической стабильности, а также механической прочности мембран на их основе.

В данной работе получены зависимости потоков кислорода от температуры и парциального давления кислорода в микротрубчатых (МТ) мембранах состава SFM5-GDC (10% масс., 20% масс., 35% масс.). Определена энергия активации процесса переноса кислорода. Исследована каталитическая активность МТ мембран на основе SFM5-GDC в реакции окислительного дегидрирования этана в зависимости от температуры. Продемонстрирована возможность получения этилена путем окислительного дегидрирования этана в МТ кислород-проницаемой мембране состава SFM5-20GDC путем альтернативного нагрева переменным током. Показано, что при использовании альтернативного токового нагрева может быть достигнута высокая селективность по этилену.

Работа выполнена при поддержке РНФ, проект №23-43-00130.

[1]. Liang F. et al., Separation and Purification Technology. – 2019. – Т. 211. – С. 966-971.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ФОРМУ КРИСТАЛЛОВ ГЕКСАЦИАНОФЕРРАТА МЕДИ

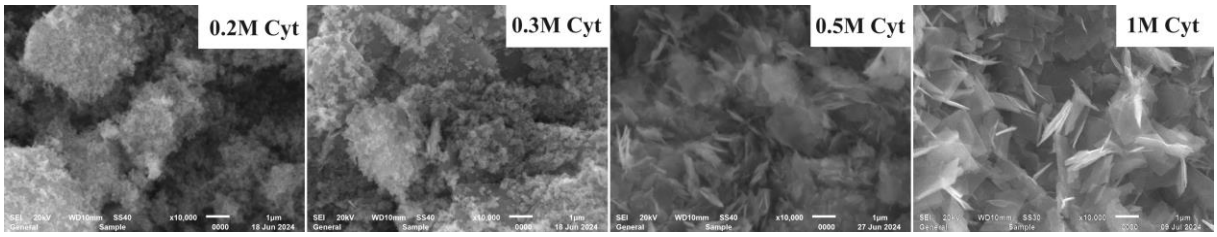
Ю.А. Четвертных, Б.А. Ананченко
[1]*ФГБОУ ВО Вятский государственный университет,*
ул. Московская, 36, Киров, 610021, e-mail: yulia.chetvertnykh@yandex.ru

Гексацианометаллаты переходных металлов (ГЦМПМ) перспективные электродные материалы в технологии натриевых и калиевых аккумуляторов. Особое внимание привлекает гексацианоферрат меди (CuHCF); $M_{2x}Cu_{2-x}[Fe^{II}(CN)_6]_{1-\delta}$, где M – Na, K. На эксплуатационные характеристики CuHCF оказывают влияние размеры и форма синтезируемых частиц.

Цель данного исследования – изучение влияния концентрации хелатирующего агента на морфологические характеристики кристаллов гексацианоферрата меди.

Образцы Na_CuHCF синтезированы методом медленного соосаждения 0,01 М $CuCl_2$ и 0,017 М $Na_4Fe(CN)_6$ в присутствии (0,2; 0,3; 0,5 и 1 М) цитрата натрия .

Методом электронно-зондового микроанализа выявлено увеличение содержания железа при увеличении концентрации цитрат-иона (Cyt), что косвенно может указывать на снижение концентрации вакансий ферроцианид-иона (HCF).



Повышение концентрации Cyt приводит к росту частиц, при содержание Cyt > 0,5 М наблюдается образование кристаллов пластинчатой формы, кристаллизующихся в $P\bar{1}$. Вероятно, наноразмерные эффекты, а также повышенная концентрация вакансий HCF в CuHCF, полученном при содержание Cyt < 0,5 М, частично компенсируют искажения кристаллической структуры, вызванные присутствием ян-теллеровских Cu^{2+}, что приводит к повышению симметрии кристаллов. Выявлено существенное влияние на процесс осаждения ионов H^+. Увеличение $[H^+]$ приводит к значительному повышению скорости зародышеобразования и роста кристаллов. Контроль pH в процессе проведения синтеза наряду с использованием водорастворимых полимеров и ПАВ может являться одним из факторов оптимизации морфологии кристаллов CuHCF.

УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ТОТЭ

С.А. Чикишев, А.В. Иванов, Д.Ю. Дубовцев, М.С. Бобро, А.М. Фоминых, А.В. Кузьмин
ФГБОУ ВО Вятский государственный университет,
ул. Московская, 36, Киров, 610020, e-mail: chikishev.stepa@yandex.ru

Одной из главных задач в контексте исследования массопереноса в топливных элементах является разработка простых и наглядных методик определения коэффициента диффузии для газовых электродов [1]. Существующие методики и установки, описанные в работе [1], трудоёмки и сложны с точки зрения пробоподготовки и использованного оборудования. Поэтому было решено разработать собственную установку, отвечающую требованиям простоты, точности и высокой скорости измерений.

В основе её работы лежит закон Дарси, описывающий линейную скорость фильтрации жидкости или газа через пористую среду при заданном градиенте давления. В качестве фильтрующей среды выступает исследуемый образец, а разница давлений достигается за счёт предварительного вакуумирования ёмкости известного объёма, присоединённой к ячейке с образцом. Фиксируя изменение давления, можно рассчитать коэффициент газопроницаемости, или вычислить объём всего газа, прошедшего через систему за отрезок времени.

Установку также можно использовать для оценки герметичности соединения топливных элементов с интерконнектором и оценки газоплотности топливных элементов путём расчёта скорости натекания газа в систему. В качестве преимуществ можно выделить модульность конструкции, позволяющую проводить измерения в разных атмосферах и при различных температурных режимах.

В ходе доклада будет представлена схема конструкции установки и результаты измерений газопроницаемости для различных объектов, а также подробно описана методика расчётов.

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

[1]. He, W. Gas Transport in Solid Oxide Fuel Cells / W. He, W. Lv, J. Dickerson. – Cham: Springer, 2014. – 75 c. DOI: 10.1007/978-3-319-09737-4.

ВЫЯВЛЕНИЕ ЛИМИТИРУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ В ТРУБЧАТЫХ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЁН РЕЛАКСАЦИИ

С.А. Чикишев, А.В. Иванов, М.С. Бобро, А.М. Фоминых, А.В. Кузьмин
ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»,
ул. Московская, 36, Киров, 610020, e-mail: chikishev.stepa@yandex.ru

Одной из главных задач при разработке трубчатых топливных элементов является выявление лимитирующих электрохимических процессов. Сложность этой задачи обусловлена трудоёмкостью изготовления трубчатых элементов с трёхэлектродной схемой подключения для разделения индивидуальных поляризационных характеристик отдельных электродов. Частично решить эту проблему помогает комбинирование традиционных подходов к обработке спектров электрохимического импеданса с набирающим популярность методом распределения времён релаксации (DRT).

Его основным преимуществом относительно устоявшихся методов является высокая разрешающая способность, благодаря которой удаётся разделить поляризационные процессы, идущие при близких частотах синусоидального возмущающего сигнала [1]. Определить природу лимитирующего процесса можно путём исследования реакции пиков на DRT-спектрах при последовательной активации электродов, варьированием состава газовой смеси, параметров электродов и при помощи расчёта энергии активации отдельных процессов [1].

В ходе работы в диапазоне температур от 700 до 850°C была определена природа лимитирующего электродного процесса в трубчатых твердооксидных топливных элементах путём последовательной активации катода и анода. Спектры импеданса были обработаны с использованием методов распределения времён релаксации и эквивалентных схем. Оба метода показали сходимость при расчёте общего поляризационного сопротивления ячейки, однако сделать вывод о преобладании катодной поляризации удалось только используя метод DRT.

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

[1]. Osinkin D. A. An approach to the analysis of the impedance spectra of solid oxide fuel cell using the DRT technique // Electrochimica Acta. – 2021. – V. 372. – P. 137858.

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА СИНТЕЗА МАТЕРИАЛА $La_{0,9}Sr_{0,1}Sc_{0,4}Mn_{0,6}O_{3\pm\delta}$ НА МИКРОСТРУКТУРУ

А.Н. Шестаков, В.А. Ичетовкина, О.С. Бервицкая, А.Ю. Строева, А.В. Кузьмин
ФГБОУ ВО Вятский государственный университет,
ул. Московская, 36, Киров, 610000, e-mail: andruchka1980@gmail.com

В современном мире наблюдается тенденция к переходу на новые альтернативные источники энергии. В качестве перспективных альтернативных источников энергии рассматривают топливные элементы (ТЭ), работающие на водородном топливе. Повсеместное применение топливных элементов ограничивается разработкой новых функциональных материалов и оптимизацией их микроструктуры. В литературе имеется достаточно исследований состава манганита лантана-стронция $La_{0,8}Sr_{0,2}Sc_{0,2}Mn_{0,8}O_{3\pm\delta}$, но синтезированный нами материал, в литературе не изучен.

Целью данной работы является изучение влияния методов синтеза на микроструктуру материала $La_{0,9}Sr_{0,1}Sc_{1-x}Mn_xO_{3\pm\delta}$.

В работе были выбраны несколько методов синтеза: твёрдофазный синтез и метод сжигания. Аттестация материалов проводилась рентгеновской порошковой дифракцией. Изучение морфологии порошков и микроструктуры спеченных образцов проводили энергодисперсионной микроскопией. Параметры кристаллической решётки были уточнены методом Ритвельда в программе GSASII.

Полученный порошок изоструктурен манганиту лантана #01-089-2771 и соответствует структуре перовскита с пространственной группой *Pnma*. Пики примесных фаз не наблюдаются. Объем кристаллической решетки синтезируемого состава больше объема кристаллической решетки манганита лантана за счет большего ионного радиуса Sc. Показано влияние метода синтеза на размер зерна и относительную пористость спеченных образцов.

Полученные результаты позволят снизить возможные поляризационные потери на катоде топливной ячейки за счет оптимизации микроструктуры материала.

МИКРОТРУБЧАТЫЕ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ ФЕРРИТОВ ЛАНТАНА-СТРОНЦИЯ С ДЕКОРИРОВАННОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ НАНОЧАСТИЦАМИ ПОВЕРХНОСТЬЮ

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

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

Перовскитоподобные оксиды на основе ферритов лантана-стронция обладают смешанной кислород-электронной проводимостью (СКЭП), структурной и фазовой стабильностью, и являются перспективными материалами для создания кислород-проницаемых мембран, катализаторов парциального окисления углеводородов, и др. Хорошо известно, что предварительная обработка СКЭП оксидов в восстановительной атмосфере позволяет выделять наночастицы переходных металлов на поверхности, что, в свою очередь, может приводит к увеличению транспортных свойств и каталитической активности материалов [1]. В данной работе микротрубчатые мембраны (МТ) состава $La_{0,4}Sr_{0,6}Fe_{1-x}M_xO_{3-\delta}$ ($0 \leq x \leq 0,1$, M=Nb^{5+}, Ni^{2+}) были изготовлены с помощью метода фазовой инверсии. Декорирование поверхности МТ мембран наночастицами металлов осуществлялось путем выдержки в восстановительной атмосфере (5% H_2/Ar) в течение 2 часов при 900°C.

В данной работе получены зависимости потоков кислорода от температуры и парциального давления кислорода в МТ мембранах $La_{0,4}Sr_{0,6}Fe_{1-x}M_xO_{3-\delta}$ ($0 \leq x \leq 0.1$, M= Nb^{5+}, Ni^{2+}). Продемонстрировано, что предварительная обработка поверхности МТ мембраны состава $La_{0,4}Sr_{0,6}Fe_{0,95}Nb_{0,05}O_{3-\delta}$ (LSFNb5) в восстановительных условиях приводит к значительному увеличению кислородного потока и снижению энергии активации процесса кислородного транспорта. В работе определены кинетические параметры процесса переноса кислорода через МТ мембрану на основе LSFNb5, рассчитанные с использованием двух различных моделей.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН молодежной лаборатории «Материалы и технологии водородной энергетики».

[1]. *Y. Tan,* J. Tang, C. Yang, Y. Tian, Z. Wang, J. Pu, B. Chi, *Ceramics International* 49 (2023) 40797-40803. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.10.064.

СОДЕРЖАНИЕ

Д.А. АГАРКОВ, С.И. БРЕДИХИН ТВЕРДООКСИДНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА ИХ ОСНОВЕ. СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ 4

А.А. АЛЕКСЕЕНКО, С.В. БЕЛЕНОВ, Д.В. АЛЕКСЕЕНКО, Ю.А. ПАНКОВА, Я.В. АСТРАВУХ СОЗДАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ПЛАТИНОСОДЕРЖАЩИХ НАНОСТРУКТУРНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ 5

Л.Г. БУЛУШЕВА, А.А. ЗАГУЗИНА, А.В. ОКОТРУБ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА В ЛИТИЙ- И НАТРИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРАХ 6

Н.В. ЛЫСКОВ ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ИЗМЕРЕНИЮ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ: ОТ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОВОДИМОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДО ТЕСТИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ 7

А.П. МАЛЬЦЕВ, И.В. ЧЕПКАСОВ, А.В. ЙОСИМОВСКА, А.Р. ОГАНОВ ОПИСАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ В МАТЕРИАЛАХ ДЛЯ АККУМУЛЯТОРОВ МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ С ПОТЕНЦИАЛАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 8

А.В. ОКОТРУБ, Л.Г. БУЛУШЕВА СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ФТОРИРОВАННОГО ГРАФЕНА 9

ОСИНКИН Д.А КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОДНЫХ РЕАКЦИЙ В СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ 10

М.В. ПАТРАКЕЕВ ОКСИДЫ С ПЕРЕМЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ КИСЛОРОДА: ОСОБЕННОСТИ ПОДХОДОВ К ИССЛЕДОВАНИЮ 11

В.Г. ПОНОМАРЕВА СРЕДНЕТЕМПЕРАТУРНЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ ПРОТОННЫЕ МЕМБРАНЫ ДЛЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ 12

Н.Ф. УВАРОВ ЕМКОСТНЫЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА 13

М.В. АРАПОВА, Е.В. ШУБНИКОВА, О.А. БРАГИНА, С.Ф. БЫЧКОВ, С.А. ЧИЖИК, А.П. НЕМУДРЫЙ КОМБИНИРОВАННЫЙ КАТАЛИТИЧЕСКИЙ МЕМБРАННЫЙ РЕАКТОР ПАРЦИАЛЬНОГО ОКИСЛЕНИЯ МЕТАНА И РАЗЛОЖЕНИЯ CO_2 НА ОСНОВЕ ДОПИРОВАННОГО ФЕРРИТА ЛАНТАНА-СТРОНЦИЯ 14

И.Н. БАГРЯНЦЕВА, Ю.Е. КУНГУРЦЕВ, В.Г. ПОНОМАРЕВА КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ НА ОСНОВЕ CsH_2PO_4 И ФТОРПОЛИМЕРОВ 15

О.С. БЕРВИЦКАЯ, В.А. ИЧЕТОВКИНА, А.Н. ШЕСТАКОВ, М.С. БОБРО, А.Ю. СТРОЕВА, А.В. КУЗЬМИН ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ДОПИРОВАНИЯ ИОНАМИ МАРГАНЦА B-ПОДРЕШЕТКИ СКАНДАТА ЛАНТАНА-СТРОНЦИЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ **Ошибка! Закладка не определена.**

Д.В. БОЛДЫРЕВ, Б.А. АНАНЧЕНКО СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛОИСТЫХ ОКСИДОВ ЦИНКА – МАРГАНЦА 17

О.А. БРАГИНА, Е.В. ШУБНИКОВА, М.В. АРАПОВА, А.П. НЕМУДРЫЙ РАЗРАБОТКА МИКРОТРУБЧАТЫХ МЕМБРАН ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ПУТЕМ ПАРЦИАЛЬНОГО ОКИСЛЕНИЯ МЕТАНА В КАТАЛИТИЧЕСКОМ МЕМБРАННОМ РЕАКТОРЕ 18

А.И. ВЕПРЕВА, Д.Ю. ДУБОВЦЕВ, К.А. КУЗЬМИНА, Н.С. САЕТОВА, А.В. КУЗЬМИН ПРИМЕНЕНИЕ СТЕКОЛ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ КЕРАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ 19

А.Л. ГАБОВ, Н.А. МЕДВЕДЕВА РЕАКЦИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА НА МАГНИЕВЫХ МАТЕРИАЛАХ 20

М.И. ГОНГОЛА, С.А. ВЛАСОВ, М.П. ПОПОВ, А.П. НЕМУДРЫЙ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ КИСЛОРОДНОГО ОБМЕНА $La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{0.98}Nb_{0.02}O_{3-d}$ МЕТОДАМИ РЕЛАКСАЦИИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И РЕЛАКСАЦИИ ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ КИСЛОРОДА 21

А.Н. ГРЯЗНОВ, В.С. ДОЛМАТОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛУЧЕНИЕ КАРБИДОВ ХРОМА НА ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН В РАСПЛАВЕ NaCl–KCl–$CrCl_3$–Cr И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ 22

Р.Д. ГУСЬКОВ, М.П. ПОПОВ, И.В. КОВАЛЕВ, М.И. ГОНГОЛА, А.П. НЕМУДРЫЙ ГОМОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ КИСЛОРОДНОГО ОБМЕНА МОДИФИЦИРОВАННОГО КОБАЛЬТИТА СТРОНЦИЯ: ВЗАИМОСВЯЗЬ КИНЕТИЧЕСКИХ И РАВНОВЕСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК 23

Е.В. ДВОРЕЦКАЯ, Р.Б. МОРГУНОВ СПИНОВАЯ РЕЛАКСАЦИЯ МОНО-ИОННОГО МАГНИТА НА ОСНОВЕ Co(II) В ФЕРРОМАГНИТНОЙ МАТРИЦЕ ИЗ МИКРОЧАСТИЦ PrDyFeCoB 24

Д.О. ДОРМИДОНОВА, И.Н. БАГРЯНЦЕВА, В.Г. ПОНОМАРЕВА, А.А. АЛЕКСЕЕНКО ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С МЕМБРАНОЙ НА ОСНОВЕ CsH_2PO_4 И РАЗЛИЧНЫМИ ЭЛЕКТРОДНЫМИ КОМПОЗИЦИЯМИ 25

Д.Ю. ДУБОВЦЕВ, А.И. ВЕПРЕВА, Н.С. САЕТОВА, А.В. КУЗЬМИН ВЛИЯНИЕ ЗАМЕЩЕНИЯ Al_2O_3 НА Y_2O_3 НА ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ СТЕКЛОГЕРМЕТИКОВ И ИХ СОВМЕСТИМОСТЬ С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ 26

А.М. ДУВАКИН, В.А. ВОРОТНИКОВ, С.А. ЧИКИШЕВ, З.Н. ИЧЕТОВКИН, А. В. КУЗЬМИН РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СООСАЖДЕНИЯ ДЛЯ СИНТЕЗА ДОПИРОВАННЫХ ЦИРКОНАТОВ ЛАНТАНА С ТРЕБУЕМОЙ МИКРОСТРУКТУРОЙ 27

А.А. ЗАГУЗИНА, А.А. ВОРФОЛОМЕЕВА, А.В. ОКОТРУБ, Л.Г. БУЛУШЕВА МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ MoS_2 И rGO ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ НАТРИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ 28

А.А. ЗАГУЗИНА, А.В. ОКОТРУБ, Л.Г. БУЛУШЕВА ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ КОБАЛЬТОМ И НИКЕЛЕМ НА СВОЙСТВА MoS_2 В НАТРИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРАХ 29

Д.М. ЗАХАРОВ, А.В. ХОДИМЧУК, Н.М. ПОРОТНИКОВА МАССОПЕРЕНОС ВОДОРОДА В СИСТЕМЕ «ГАЗ−YSZ» 30

З.Н. ИЧЕТОВКИН, А.Ю. СТРОЕВА, А.В. КУЗЬМИН ИССЛЕДОВАНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СКАНДАТА ЛАНТАНА 31

В.А. ИЧЕТОВКИНА, О.С. БЕРВИЦКАЯ, А.Н. ШЕСТАКОВ, А.Ю. СТРОЕВА, А.В. КУЗЬМИН ВЛИЯНИЕ МЕТОДА СИНТЕЗА КАТОДНОГО МАТЕРИАЛА $La_{0.9}Sr_{0.1}Sc_{0.4}Mn_{0.6}O_{3-\delta}$ НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАТОДА СИММЕТРИЧНОЙ ЯЧЕЙКИ 32

М.В. КАНЕВА, А.С. ЛЕВШАКОВА, Е.М. ХАЙРУЛЛИНА, А.А. ЛОБИНСКИЙ ГИБКИЙ МЕДНЫЙ ЭЛЕКТРОД, МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ГЕКСАЦИАНОФЕРРАТОМ ЦИНКА, КАК КАТОДНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ЦИНК-ИОННОГО СУПЕРКОНДЕСАТОРА 33

И.В. КОВАЛЕВ, М.П. ПОПОВ, Р.Д. ГУСЬКОВ, М.И. ГОНГОЛА, С.А. ЧИЖИК, А.П. НЕМУДРЫЙ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РЕАКЦИИ КИСЛОРОДНОГО ОБМЕНА В НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ ПЕРОВСКИТАХ 34

Д.А. КЫЗЛАСОВА, А.С. УЛИХИН, Н.Ф. УВАРОВ ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ОРГАНИЧЕСКИХ ИОННЫХ ПЛАСТИЧЕСКИХ СОЛЕЙ НА ОСНОВЕ N-МЕТИЛ-N-ПРОПИЛПИПЕРИДИНИЯ 35

Д.А. КЫЗЛАСОВА, А.С. УЛИХИН, Н.Ф. УВАРОВ ТРОЙНАЯ СИСТЕМА $[N_{13}pip]ClO_4$-$LiClO_4$-Al_2O_3 КАК ЭЛЕКТРОЛИТ ДЛЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА 36

А.С. ЛЕВШАКОВА, Е.М. ХАЙРУЛЛИНА, Р.Г. НИНАЯН, М.В. КАНЕВА, А.А. МАНЬШИНА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ СЕНСОРНО-АКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ГИБКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ИЗ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ 37

Ю.А. НЕДОБИТКОВ УСЛОВИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ВОЛНОВОГО МЕХАНИЗМА ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ УДАРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ 38

А.Д. НОВИКОВ, О.А. БРАГИНА, Е.В. ШУБНИКОВА, М.В. АРАПОВА, О.В. ЧЕРЕНДИНА, А.П. НЕМУДРЫЙ ИССЛЕДОВАНИЕ КИСЛОРОДНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МИКРОТРУБЧАТЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ $SrFe_{1-X}W_XO_{3-\delta}$-$Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{2-\delta}$, ПРИМЕНЯЕМЫХ В КАТАЛИТИЧЕСКИХ МЕМБРАННЫХ РЕАКТОРАХ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ДЕГИДРИРОВАНИЯ ЭТАНА 39

Д.В. ОПАРИНА, А.Ю. СТРОЕВА, К.В. ПЕРМЯКОВА ПОЛУЧЕНИЕ АНОДНЫХ СЛОЁВ ИЗ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА NiO/YSZ ДЛЯ ТВЁРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ 40

А.А. ПЕЛЕВИНА, А.А. ВОРФОЛОМЕЕВА, Л.Г. БУЛУШЕВА, А.В. ОКОТРУБ ОДНОСТЕННЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ, ЗАПОЛНЕННЫЕ ХАЛЬКОГЕНИДАМИ МЫШЬЯКА, В КАЧЕСТВЕ АНОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ Li-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ 41

О.А. ПОДГОРНОВА, Н.Ф. УВАРОВ КОМПОЗИЦИОННЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК ЭЛЕКТРОДЫ В УСТАНОВКАХ ДЛЯ ЕМКОСТНОЙ ДЕИОНИЗАЦИИ ВОДЫ 42

А.Ю. СМИРЕНИН, А.Ю. СТРОЕВА, А.В. КУЗЬМИН СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ КАТОДНЫХ СЛОЕВ ТОТЭ НА ОСНОВЕ НИКЕЛИТА ЛАНТАНА 43

И.А. СТЕБНИЦКИЙ, Ю.Г. МАТЕЙШИНА ТВЁРДЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ НА ОСНОВЕ $(C_4H_9)_4NBF_4$ ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ 44

И.А. СТЕБНИЦКИЙ, Ю.Г. МАТЕЙШИНА ТВЁРДЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ НА ОСНОВЕ ТЕТРАФТОРОБОРАТОВ ЗАМЕЩЕННОГО АММОНИЯ И НАНОАЛМАЗОВ 45

Д.В. ТРОНИНА, Е.А. СМИРНОВА ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОВОДИМОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ С ЛИГАНДАМИ САЛЕНОВОГО ТИПА ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ 46

Д.В. ТРОНИНА, Е.А. СМИРНОВА МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКОВ ВОДОРОДА ИЗ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ ЧЕРЕЗ НИКЕЛЕВЫЕ КАПИЛЛЯРЫ С УЧЕТОМ НЕОДНОРОДНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ 47

Е.С. ТРОПИН, В.П. СИВЦЕВ, А.П. НЕМУДРЫЙ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОТЭ С КАТОДНЫМИ СЛОЯМИ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ $Ba_{0,5}Sr_{0,5}Co_{0,8}Fe_{0,75}Mo_{0,05}O_{3-\delta}$ И $La_{0,8}Sr_{0,2}CoO_{3-\delta}$ 48

Ш.И. ТУРДИАЛИЕВА, И.Э. ХОШИМОВ ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ОБЕССУЛЬФАЧЕННОЙ ЭФК ИЗ ФОСФОРИТОВ ЦЕНТРАЛЬНЫХ КЫЗЫЛКУМО 49

И.Д. УСТЮЖАНИНОВ, Д.Ю. ДУБОВЦЕВ, А.И. ВЕПРЕВА, Н.С. САЕТОВА, А.В. КУЗЬМИН КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КОММУТАЦИИ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТРУБЧАТЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ 50

А.М. ФАДЕЕВА, Е.Е. ТРУСОВА СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТЕКЛОБОЯ 51

Н.А. ФЕДОРОВ, Н.Ф. УВАРОВ ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНОВОГО ЭЛАСТОМЕРА С РАЗЛИЧНЫМИ РАСТВОРИТЕЛЯМИ 52

А.М. ФОМИНЫХ, А.В. ИВАНОВ, А.Ю. СТРОЕВА, В.А. ВОРОТНИКОВ, С.А. ЧИКИШЕВ, З.Н. ИЧЕТОВКИН, М.С. БОБРО, А.В. КУЗЬМИН ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ АНОДОВ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ 53

Е.М. ХАЙРУЛЛИНА, М.В. КАНЕВА, А.С. ЛЕВШАКОВА, М.И. ФАТКУЛЛИН, А.А. МАНЬШИНА, РАУЛЬ РОДРИГЕЗ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ ГИБКИХ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ГИДРОХИНОНА И ПИРОКАТЕХИНА 54

А.В. ХОДИМЧУК, Д.М. ЗАХАРОВ, А.Р. ГИЛЕВ, Н.М. ПОРОТНИКОВА ВЛИЯНИЕ ПАРОВ ВОДЫ В ГАЗОВОЙ ФАЗЕ НА КИНЕТИКУ ОБМЕНА КИСЛОРОДА ОКСИДАМИ $La_{n+1}Ni_nO_{3n+1}$ (n = 1, 2 и 3) 55

М.О. ХОХЛОВА, Е.В. ШУБНИКОВА, Е.С. ТРОПИН, О.А. БРАГИНА, А.П. НЕМУДРЫЙ ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТРУБЧАТЫХ ТВЕРДООКСИДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, РАБОТАЮЩИХ В РЕЖИМЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА 56

О.В. ЧЕРЕНДИНА, Е.В. ШУБНИКОВА, О.А. БРАГИНА, М.В. АРАПОВА, М.О. ХОХЛОВА, А.П. НЕМУДРЫЙ ДВУХФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ ТИПА «ПЕРОВСКИТ-ФЛЮОРИТ» КАК КАТАЛИТИЧЕСКИЕ МЕМБРАННЫЕ РЕАКТОРЫ 57

Ю.А. ЧЕТВЕРТНЫХ, Б.А. АНАНЧЕНКО ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ФОРМУ КРИСТАЛЛОВ ГЕКСАЦИАНОФЕРРАТА МЕДИ 58

С.А. ЧИКИШЕВ, А.В. ИВАНОВ, Д.Ю. ДУБОВЦЕВ, М.С. БОБРО, А.М. ФОМИНЫХ, А.В. КУЗЬМИН УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ТОТЭ 59

С.А. ЧИКИШЕВ, А.В. ИВАНОВ, М.С. БОБРО, А.М. ФОМИНЫХ, А.В. КУЗЬМИН ВЫЯВЛЕНИЕ ЛИМИТИРУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ В ТРУБЧАТЫХ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЁН РЕЛАКСАЦИИ 60

А.Н. ШЕСТАКОВ, В.А. ИЧЕТОВКИНА, О.С. БЕРВИЦКАЯ, А.Ю. СТРОЕВА, А.В. КУЗЬМИН ВЛИЯНИЕ МЕТОДА СИНТЕЗА МАТЕРИАЛА $La_{0,9}Sr_{0,1}Sc_{0,4}Mn_{0,6}O_{3\pm\delta}$ НА МИКРОСТРУКТУРУ 61

Е.В. ШУБНИКОВА, О.В. ЧЕРЕНДИНА, М.О. ХОХЛОВА, М.В. АРАПОВА, О.А. БРАГИНА, А.П. НЕМУДРЫЙ МИКРОТРУБЧАТЫЕ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ ФЕРРИТОВ ЛАНТАНА-СТРОНЦИЯ С ДЕКОРИРОВАННОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ НАНОЧАСТИЦАМИ ПОВЕРХНОСТЬЮ 62

Авторский указатель

А
Агарков Д.А. 4
Алексеенко А.А. 5, 25
Алексеенко Д.В. 5,
Ананченко Б.А. 17, 58
Арапова М.В. 14, 18, 39, 57, 62
Астравух Я.В. 5

Б
Багрянцева И.Н. 15, 25
Беленов С.В. 5
Бервицкая О.С. 16, 32, 61
Бобро М.С. 16, 53, 59, 60
Болдырев Д.В. 17
Брагина О.А. 14, 18, 39, 56, 57, 62
Бредихин С.И. 4
Булушева Л.Г. 6, 9, 28, 29, 41
Бычков С.Ф. 14

В
Вепрева А.И. 19, 26, 50
Власов С.А. 21
Воротников В.А. 27, 53
Ворфоломеева А.А. 28, 41

Г
Габов А.Л. 20
Гилев А.Р. 55
Гонгола М.И. 21, 23, 34, 47
Грязнов А.Н. 22
Гуськов Р.Д. 23, 34

Д
Дворецкая Е.В. 24
Долматов В.С. 22
Дормидонова Д.О. 25
Дубовцев Д.Ю. 19, 26, 50, 59
Дувакин А.М. 27

З
Загузина А.А. 6, 28, 29
Захаров Д.М. 30, 55

И
Иванов А.В. 53, 59, 60
Ичетовкин З.Н. 27, 31, 53
Ичетовкина В.А. 16, 32, 61

Й
Йосимовска А.В. 8

К
Канева М В. 33, 37, 54

Н
Недобитков Ю.А. 38
Немудрый А.П. 14, 18, 21, 23, 34, 39, 47, 48, 56, 57, 62
Нинаян Р. Г. 37
Новиков А.Д. 39

О
Оганов А.Р. 8
Окотруб А.В. 6, 9, 28, 29, 41
Опарина Д.В. 40
Осинкин Д.А. 10

П
Панкова Ю.А. 5
Патракеев М.В. 11
Пелевина А.А. 41
Пермякова К.В. 40
Подгорнова О.А. 42
Пономарева В.Г. 12, 15, 25
Попов М.П. 21, 23, 34
Поротникова Н.М. 30, 55

Р
Родригез Рауль 54

С
Саетова Н.С. 19, 26, 50
Смиренин А. Ю. 43
Смирнова Е.А. 46, 47
Стебницкий И.А. 44, 45
Строева А.Ю. 16, 31, 32, 40, 43, 53, 61

Т
Тронина Д.В. 46
Тропин Е.С. 47, 48, 56
Трусова Е.Е. 51
Турдиалиева Ш.И. 49

У
Уваров Н.Ф. 13, 35, 36, 42, 52
Улихин А.С. 35, 36
Устюжанинов И.Д. 50

Ф
Фадеева А.М. 51
Фаткуллин М.И. 54
Федоров Н.А. 52
Фоминых А.М. 53, 59, 60

Ковалев И.В. 23, 34
Кузьмин А.В. 16, 19, 26, 27, 31, 32, 43, 50, 53, 59, 60, 61
Кузьмина К.А. 19
Кунгурцев Ю.Е. 15
Кызласова Д.А. 35, 36

Л
Левшакова А.С. 33, 37, 54
Лобинский А.А. 33
Лысков Н.В. 7

М
Мальцев А.П. 8
Маньшина А.А. 37, 54
Матейшина Ю.Г. 44, 45
Медведева Н.А. 20
Моргунов Р.Б. 24

Х
Хайруллина Е.М. 33, 37, 54
Ходимчук А.В. 30, 55
Хохлова М.О. 56, 57, 62
Хошимов И.Э. 49

Ч
Чепкасов И.В. 8
Черендина О.В. 39, 57, 62
Четвертных Ю.А. 58
Чижик С.А. 14, 34
Чикишев С.А. 27, 53, 59, 60

Ш
Шестаков А.Н. 16, 32, 61
Шубникова Е.В. 14, 18, 39, 56, 57, 62