

Новосибирский государственный технический университет
Казахский национальный университет имени аль-Фараби
Сибирское отделение Российской Академии наук

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

МАТЕРИАЛЫ
XI Международной Российско-Казахстанской
научно-практической конференции

г. Новосибирск, 15-17 мая 2025 г.

НОВОСИБИРСК
2025

УДК 620.22-419 : 66.08 + 66.02] (063)
X 463

Ответственный редактор
А.И. Апарнев

X 463 **Химические технологии функциональных материалов:**
материалы XI Международной Российско-Казахстанской научно-
практической конференции / отв. ред. А.И. Апарнев. – Новосибирск:
Изд-во НГТУ, 2025. – 168 с.

ISBN 978-5-7782-5416-9

В сборнике представлены материалы ежегодной научно-практической конференции «Химические технологии функциональных материалов».

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

УДК 620.22-419 : 66.08 + 66.02] (063)

ISBN 978-5-7782-5416-9

© Коллектив авторов, 2025
© Новосибирский государственный
технический университет, 2025

Novosibirsk State Technical University
Al Farabi Kazakh National University
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

CHEMICAL TECHNOLOGIES OF FUNCTIONAL MATERIALS

Proceedings of the XI International Russia-Kazakhstan
scientific-practical conference

Novosibirsk, May 15-17, 2025

NOVOSIBIRSK
2025

УДК 620.22-419 : 66.08 + 66.02] (063)

X 463

Executive editor

A.I. Aparnev

The book was prepared at the Department of chemistry
and chemical technology, Novosibirsk state technical University

X 463 **Chemical technologies of functional materials:** Proceedings of the
XI International Russia-Kazakhstan scientific-practical conference / Execu-
tive ed. A.I. Aparnev. – Novosibirsk: NSTU Publisher, 2025. – 168 pp.

ISBN 978-5-7782-5416-9

The Proceedings contains materials of scientific-practical conference
«Chemical technologies of functional materials».

УДК 620.22-419 : 66.08 + 66.02] (063)

ISBN 978-5-7782-5416-9

© Composite authors, 2025
© Novosibirsk State
Technical University, 2025

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭПОКСИПРОПАНА ДЛЯ СИНТЕЗА АЛЮМИНАТОВ МАГНИЯ И НИКЕЛЬ-СОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Ильина Е. В.¹, Тушаков С. Д.^{1,2}, Шивцов Д. М.¹, Турло Е. М.², Бедило А. Ф.¹

¹Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, пр. Ак. Лаврентьева, 5, г. Новосибирск

²Новосибирский государственный технический университет
evi@catalysis.ru

Отличительной особенностью методики синтеза высокодисперсных оксидных систем с использованием эпоксипропана в качестве инициатора гелеобразования по сравнению с классическим золь-гель синтезом, протекающим через гидролиз алкоксидов, является высокая однородность реакционной среды в ходе процессов гидролиза и поликонденсации.

Высокдисперсные образцы алюминатов магния получены с использованием в качестве исходных реагентов нитратов магния и алюминия, растворенных в изопропанол. Исследовано влияние соотношения магний/алюминий, методики синтеза, концентрации нитратов и количества добавляемого эпоксипропана на текстурные свойства и структуру получаемых материалов. Удельная поверхность образцов зависела от условий синтеза, достигая 400 м²/г после прокаливания при 500 °С. Проведена высокотемпературная сушка геля алюмината магния, синтезированного с использованием эпоксипропана, и сравнение материалов, синтезированных удалением растворителя в сверхкритических условиях (аэрогель) и при комнатной температуре (ксерогель). После выгрузки из автоклава получен образец чёрного цвета с высокой удельной поверхностью (350 м²/г) и большим объёмом пор (2.4 см³/г).

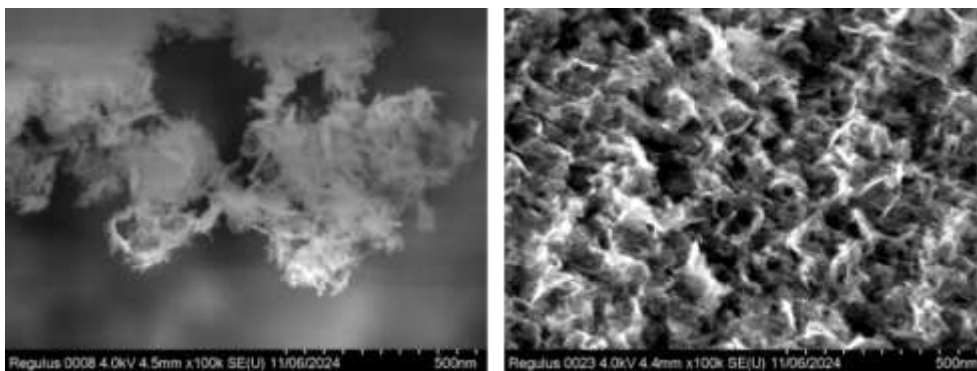


Рисунок 1 – Микроснимки СЭМ аэрогеля (слева) и ксерогеля (справа), полученных сушкой гелей алюминатов магния с использованием эпоксипропана

Ксерогельная методика была применена для синтеза никельсодержащих катализаторов на основе алюминатов магния для процесса дегидрирования метил-циклогексана, являющегося перспективным жидким органическим носителем водорода. Исследовано влияние содержания магния и никеля, а также условий восстановления катализаторов на их свойства, каталитическую активность и стабильность. Обнаружена высокая каталитическая активность и стабильность в реакции дегидриро-

вания метилциклогексана катализаторов, полученных путем восстановления в потоке аргона или водорода при температуре 700 °С.

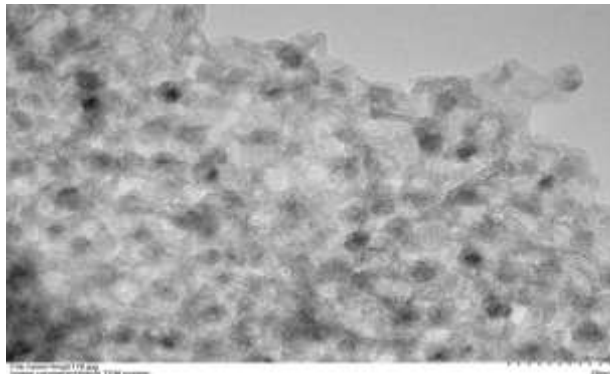


Рисунок 2 – Микроснимок ПЭМ катализатора $\text{Ni}_{0.5}\text{Mg}_{0.5}\text{Al}_2\text{O}_4$, полученного из ксерогеля алюмината магния с добавлением нитрата никеля

Установлено, что использованная методика синтеза и активации катализаторов позволяет стабилизировать на их поверхности активные наноразмерные частицы металлического никеля (рис. 2).

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект FWUR-2024-0034).

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ОСНОВАНИЙ МАННИХА, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ 4(МЕТИЛЦИКЛОАЛКИЛ)-2-ХЛОРФЕНОЛОВ

Мовсумова А. Х., Расулов Ч. К.

*Институт нефтехимических процессов имени Ю. Г. Мамедалиева Национальной академии наук Азербайджана, г. Баку
E-mail: movsumova85@gmail.com*

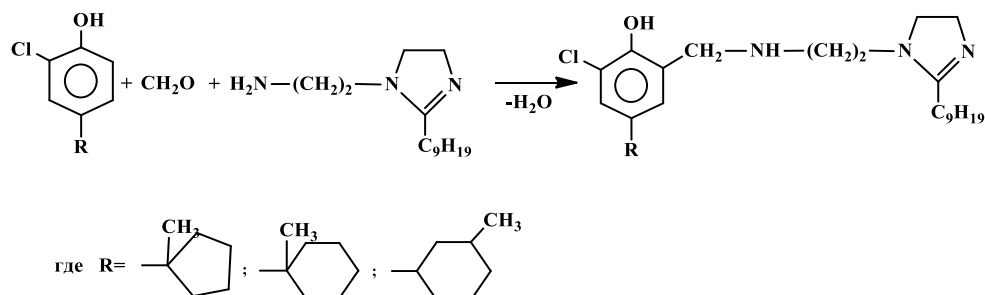
Алкилфенолы, имеющие в структуре аминные фрагменты в значительной степени усиливают действия антиоксидантов фенольного типа [1-3].

Представленная работа посвящена синтезу 4-циклоалкил-2-хлорфенолов, получению на их основе аминометилированных производных оснований Манниха и испытания их в качестве стабилизатора полиолефинов.

Синтез имидазолиновых производных осуществляли две стадии:

I стадия – циклоалкилирование *o*-хлорфенола (ОХФ) 1(3)-метилциклоалекнами в присутствии катионита КУ-23 на лабораторной установке периодического действия. С целью нахождения оптимальных условий процесса циклоалкилирования изучены влияния температуры, времени реакции, мольного соотношения исходных компонентов и количества катализатора на выход и селективность реакции. 4[1(3)-метилциклоалкил]-2-хлорфенолы были получены с выходом 73.8-77.4% от теории на взятый ОХФ; селективностью 90.2-93.0% по целевому продукту;

II стадия – аминометилирование 4-циклоалкил-2-хлорфенолов с формальдегидом и аминоэтилнонилимидазолином осуществляли по схеме:



Реакцию осуществляли при температуре 80°C в течение 2 ч в присутствии растворителя (бензол).

Целевые продукты: 2-гидрокси-3-хлор-5[1(3)-метилциклоалкил]-бензиламиноэтилнонилимидазолины получили с выходом 65.3–69.6% от теории.

Синтезированные имидазолины были испытаны в качестве термостабилизаторов полиэтилена в.д.

Литература

1. Чукичева И.Ю., Стерихин Л.В., Кучин А.В. Молекулярная тандемная перегруппировка при алкилировании фенола камфеном. Журнал органической химии. 2008. Т. 44. № 1. С. 69-73.
2. Расулов Ч.К., Агамалиев З.З., Гасанова Г.Д., Нагиева М.В. Синтез алкилфенолов и применение их в реакциях аминометилирования, Баку: "Муаллим", 2021, 197 с.
3. Расулов Ч.К., Мовсумова А.Х., Гейдарли Г.З., Гасанова Г.Д. Циклоалкилирование орто-хлорфенола с 1-метилциклоалкенами в присутствии фосфорсодержащего цеолита. Российский химический журнал. 2024 г. Т. 68. № 3. С. 62-67.

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ПАСТОВЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ В ИЗУЧЕНИИ РЕДОКС- И КАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Коковкин В. В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, пр-т Акад. Лаврентьева, 3, Новосибирск, 630090, Россия, basil@niic.nsc.ru

Вольтамперометрический анализ с модифицированными пастовыми электродами (МПЭ) широко используют как в научных исследованиях, так и общелабораторной практике. Пасту в МПЭ модифицируют добавками неорганических и органических веществ и их смесей преимущественно в твердом состоянии. Модификаторы проявляются в отклике электродов в растворах фоновых электролитов через поляризацию редокс-состояний отдельных атомов и фрагментов структуры. Такой анализ важен при определении индивидуальных веществ и их смесей, в том числе в

фармацевтических препаратах, биологически важных объектах, объектах окружающей среды и т.д. Он также важен при изучении каталитических свойств различных модификаторов пасты. Преимущества применения МПЭ заключаются в возможности, во-первых, приготовления электродов прямо на рабочем месте, во-вторых, использовании широкого набора методов электрохимического анализа: ИВА, ЦВА, потенциометрия и др.

В литературе описаны различные варианты конструкций МПЭ и ячеек к ним, которые, в частности, обобщены в [1]. Разработанная нами конструкция [2-5], отличается от традиционной расположением МПЭ в ячейке, при этом активная поверхность МПЭ находится внизу ячейки, а электроды сравнения и вспомогательный находятся в анализируемом растворе над ним. Герметичность ячейки достигается тем, что корпус ячейки с электролитом плотно подогнан под размер электрода.

Нами в составе пасты применены 1) угольный порошок, приготовленный измельчением электродов для спектрального анализа, 2) различные связующие, в том числе не смешивающиеся с водой силиконовые масла типа полиметилсилоксаны ПМС-5, ПМС-100 и др.; эфиры фталевой кислоты – диоктил- или дибутилфталат; водная дисперсия Нафион и т.д. В качестве 3) модификаторов пасты использовали комплексные соединения, синтезированные в ИНХ СО РАН.

В докладе будут представлены результаты изучения редокс-свойств комплексных соединений железа(II) с азотсодержащими гетероциклическими лигандами и рядом анионов, полученные методом ЦВА [2]. Данные комплексы обладают спин-кроссовером (СКО) $^1A_1 \leftrightarrow ^5T_2$. Установлено, что областях 0.5-0.6 В и 0.3-0.4 В содержатся один анодный и один катодный пики тока. Значение тока в пике коррелирует с расчетной долей высокоспиновой формы (BC) комплекса в твердой фазе и температурой прямого СКО (при нагревании ($T_c \uparrow$)). Изучены также электрокаталитические свойства серии ферритов бария в реакции выделения кислорода (OER) из воды [3]. Серии включали ферриты S-типа ($BaFe_2O_4$), R-типа ($BaFe_4Ti_2O_{11}$), M-типа ($BaFe_{12}O_{19}$) и четырехвалентного замещенного M-типа ($BaFe_{11}TiO_{19}$, $BaFe_{10}Ti_2O_{19}$) и др. Показано, что по термодинамическим характеристикам наиболее предпочтителен является $BaFe_{11.9}Ni_{0.1}O_{18.95}$, а по кинетическим – $BaFe_{10}Ti_2O_{19}$, поскольку имеет наилучший тафелевский наклон. Кроме того исследована также электрохимическая активность биядерного комплекса ванадия $[VO(dbpy)Cl(\mu-ca)Cl(dbpy)VO]$, комплексов $K_{22}(NH_4)_9H_3[Pt(OH)_3(H_2O)]_6P_8W_{48}O_{184}$ и $Na_{10}[(SeMo_6O_{21})_2(C_2O_4)_3] \cdot 0.5 NaNO_3 \cdot 8H_2O$, а также электрокаталитические свойства $(Bu_4N)_2[\beta-\{Ag(dpp-bian)\}_2Mo_8O_{26}]$ в реакции восстановления CO_2 , электрокаталитические свойства в реакции выделения водорода из воды для тиолатов серебра и других соединений [4, 5]. Полученные данные позволяют оценить области электрохимической активности комплексов, степень обратимость электродных процессов, их каталитическую активность, включая коэффициент переноса электрона, угол наклона в координатах Тафеля. Изучены другие электрохимические свойства [6] комплексов в растворе.

Литература

1. Svancara, Sys M., Metelka R., Mikysek T. // J. of Solid State Electrochem. 2024. V. 28. P. 1341–1360.
2. Kokovkin V.V., Kal'nyi D.B., Korotaev E.V. et al. // Z. Anorg. Allg. Chem. 2021. V. 647. N 16-17. P. 1620-1624.

3. Vinnik D.A., Kokovkin V.V., Volchek V.V. et al. // Mat. Chem. Phys. 2021. V. 270. AN 124818.
4. Komlyagina V.I., Romashev N.F., Kokovkin V.V., Gushchin A.L. et al. // Molecules. 2022. V. 27. N 20. AN 6961.
5. Chupina A.V., Yanshole V.V., Sulyaeva V.S., Kokovkin V.V. et al. // Dalton Transactions. 2022. V. 51. P. 705-714.
6. Коковкин В.В., Миронов И.В., Коротаев Е.В., Лавренова Л.Г. // Журн. неорг. химии. 2024. Т. 69. № 5. С. 779–785.

Работа поддержана министерством науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 125021302133-1.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ С ВОДНЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ НА ОСНОВЕ LiTFSI И NaNO₃

Темиркулова К. М., Муслатдинова А., Алдонгар У., Супиева Ж. А.

*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
e-mail: uldanai.aldongar@mail.ru*

Современные технологии накопления энергии требуют новых материалов и электролитов, обеспечивающих повышенную эффективность и долговечность устройств. Суперконденсаторы с водными электролитами обладают высокой мощностью и циклической стабильностью, однако их ёмкость ограничена. Необходимы новые подходы к оптимизации структуры электродов и составу электролитов. Предлагается использование нанопористых углеродных материалов и смешанных водных электролитов (LiTFSI + NaNO₃), что является новым направлением в разработке эффективных суперконденсаторов.

Целью исследования является разработка и тестирование суперконденсаторов с применением нанопористого углерода и смешанного электролита на основе 4 моль/л LiTFSI и NaNO₃, а также проведение электрохимических исследований для оценки их характеристик. Проведено конструирование симметричных ячеек на основе активированного углерода и их тестирование в режимах электрических двойных слоёв. Выполнены измерения стабильности, ёмкости и внутреннего сопротивления в различных напряжениях. Электролит 4 моль/л LiTFSI обеспечивает стабильную работу при напряжении до 1,1 В без редокс-активных добавок. Работа при 1,3 В возможна, но сопровождается деградацией характеристик. Оптимальным является диапазон 0,9-1,1 В, обеспечивающий безопасную и стабильную эксплуатацию. Использование смешанных водных электролитов и нанопористых углеродов позволяет улучшить характеристики суперконденсаторов и расширить сферу их применения.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ХИМИИ КОМПЛЕКСОВ ЖЕЛЕЗА(II), ПРОЯВЛЯЮЩИХ СПИН-КРОССОВЕР

Лавренова Л. Г.

Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия
e-mail: ludm@niic.nsc.ru

Спин-кроссовер (СКО) как одно из самых интересных явлений в химии координационных соединений вызывает неизменный интерес исследователей [1, 2]. Изменение спиновой мультиплетности происходит под влиянием внешних условий: температуры, давления, облучения светом определенной длины волны и других факторов. СКО может проявляться в комплексах 3d-металлов с электронной конфигурацией d^4 - d^7 . На сегодняшний день наиболее изученными являются комплексы железа(II) и железа(III) преимущественно с полиазотистыми лигандами. Характерное для данных соединений свойство бистабильности – способность к существованию в двух формах: низкоспиновой ($S=0$) и высокоспиновой ($S=2$) с достаточно продолжительным временем жизни – обуславливает их перспективность для широкого спектра потенциальных приложений, таких как создание устройств оптоэлектроники, молекулярной электроники и спинтроники.

В комплексах железа(II) с полиазотистыми гетероциклическими лигандами проявляется спин-кроссовер $^1A_1 \leftrightarrow ^5T_2$ (схема).

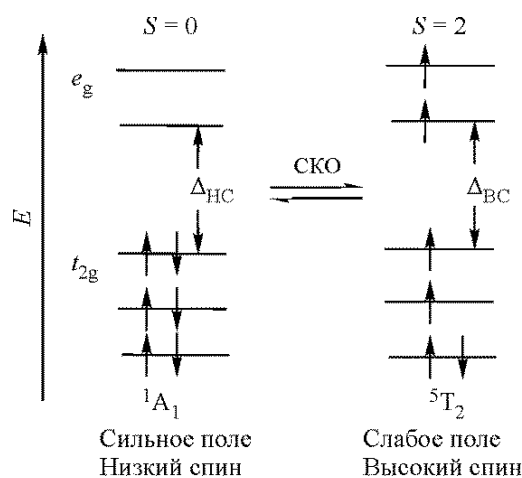


Схема – Спин-кроссовер в комплексах железа(II)

Для практического применения необходимо получение кинетически устойчивых наночастиц бистабильных комплексов, проявляющих СКО вблизи комнатной температуры [3].

В нашей группе выполнен цикл работ по синтезу и исследованию комплексов железа(II) с тремя классами полиазотистых гетероциклических лигандов: производных 1,2,4-триазола, *трис*(пиразол-1-ил)метана и 2,6-*бис*(1*H*-имидазол-2-ил)пиридина [4, 5]. Комплексы имеют искаженно-октаэдрическое строение координа-

ционного полиэдра, узел FeN_6 , что является предпосылкой проявления спин-кроссовера. В большинстве полученных соединений проявляется резкий СКО с гистерезисом на кривых зависимости $\mu_{\text{эфф}}(T)$. В ряде комплексов Fe(II) с полиазотистыми гетероциклами, обладающих СКО, спиновый переход сопровождается отчетливо выраженным термохромизмом: изменение цвета розовый (пурпурный), НС форма $\leftrightarrow$ белый (оранжевый), ВС форма, что существенно расширяет возможности их практического применения.

В настоящее время нами проводится работа по получению и исследованию нанокмполитов, в частности, композитов на основе графена (СКО-G) состава $\text{Fe}(\text{NH}_2\text{trz})_3\text{A}_2@\text{G}$ (NH_2trz = 4-амино-1,2,4-триазол; $\text{A} = \text{Cl}^-, \text{Br}^-, \text{NO}_3^-$). Изучение зависимости $\mu_{\text{эфф}}(T)$ показало, что в наноразмерных комплексах проявляется СКО $^1\text{A}_1 \leftrightarrow ^5\text{T}_2$, температура и характер которого зависит от размера частиц. В докладе будут представлены результаты этих исследований.

Литература

1. Gütlich, P.; Goodwin, H.A. (Eds.) Spin Crossover in Transition Metal Compounds: I–III. In Topics in Current Chemistry; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany. 2004. V. 233–235.
2. Halcrow M.A. (Ed.) Spin-crossover Materials Properties and Application. U.K.: J. Wiley&Sons: Hoboken, NJ, USA. 2013. 568 p.
3. Lalioti N., Charitos A., Parthenios J., Malina O., Polaskova M., Petr M., Tangoulis V. Molecules. 2023. V. 28. P. 5816 (1-12).
4. L. G. Lavrenova, O. G. Shakirova. Eur. J. Inorg. Chem. 2013. V. 5-6. P. 670.
5. Лавренова Л.Г. Ж. структур. химии. 2025. Т. 66 (4). С. 143722 (1-67).

Работа поддержана министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

ВКВС НА ОСНОВЕ БОКСИТА И КЕРАМОБЕТОНЫ В СИСТЕМЕ $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--SiC--C}$

Дякин П. В.

*Научно-внедренческая фирма «Керамбет-Огнеупор», г. Санкт-Петербург, Россия
dyakin@mail.ru*

Высококонцентрированные керамические вяжущие суспензии (ВКВС) нашли широкое применение в производстве бесцементных огнеупорных бетонов – керамобетонов в системах: $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$; $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--SiC--C}$ [1]. Особенности ВКВС-ой технологии является экологическая безопасность, возможность применения вторичного минерального сырья. Целью настоящей работы являлось изучение свойств матричной системы на основе ВКВС композиционного состава. Исходные материалы: спеченный боксит марки Rota HD (Al_2O_3 88,5%), плавленный корунд (Al_2O_3 не менее 95,5%, SiO_2 не более 0,5%, TiO_2 2-3%), высокодисперсное кварцевое стекло – ВДКС (SiO_2 98,9%, Al_2O_3 0,7%). Получены и изучены свойства образцов матричной системы керамобетонов на основе ВКВС композиционного состава, состоящего из 66,5 масс. % спеченного боксита марки Rota HD, 22% плавленного корунда и 11,5% высокодисперсного плавленного кварца – ВДКС. Изучено влияние температуры обжига в интервале 800-1640 °C на изменение фазового состава,

структуры и некоторых свойств образцов материала, полученного на основе ВКВС композиционного состава, а также с дополнительным содержанием 15% SiC ($d_m = 27,4$ мкм). Посредством dilatометрических исследований при скорости неизотермического нагрева $300\text{ }^{\circ}\text{C/ч}$ установлено четыре характерных интервала температур, соответствующих обычному тепловому расширению (до 800°C), спекания, сопровождаемого усадкой ($800\text{--}1150\text{ }^{\circ}\text{C}$), муллитизации, сопровождаемой ростом ($1150\text{--}1400\text{ }^{\circ}\text{C}$), спеканием замуллитизированного материала ($1400\text{--}1500\text{ }^{\circ}\text{C}$). С применением комплекса методов исследований (РФА, dilatометрического анализа, оптической и электронной микроскопии) охарактеризованы фазовый состав и структура материалов в отмеченных интервалах температур обжига. После обжига при температурах $1400\text{--}1640\text{ }^{\circ}\text{C}$ материал характеризуется содержанием муллита в пределах 38–42%, корунда – 50–55%, остальное – стеклофаза и соединения титана. Установлено, что для исходного состава в интервале $1150\text{--}1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ основным процессом является образование вторичного муллита. После обжига в туннельной печи содержание муллита увеличивается в 4,1 раза (от 8 до 33%), содержание корунда уменьшается в 1,3 раза (от 72 до 55%). В образцах, содержащих SiC после обжига в интервале $1150\text{--}1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ последовательно за процессом окисления SiC протекает процесс муллитизации за счет взаимодействия новообразованного SiO_2 в форме кристобалита с Al_2O_3 боксита. Как и в исходном составе, основным является процесс образования вторичного муллита, приводящего к образованию «замуллитизированной» матрицы. На рисунке 1 представлены электронные снимки структуры матричной системы после сушки при $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 1, а) и обжига в туннельной печи ($1400\text{ }^{\circ}\text{C}$, ~60 часов) (рис. 1, б).

Длительная выдержка в туннельной печи приводит к рекристаллизации муллита, размер кристаллов увеличивается более чем в 10 раз – от 0,5 до 6 мкм (по длине призматических кристаллов).

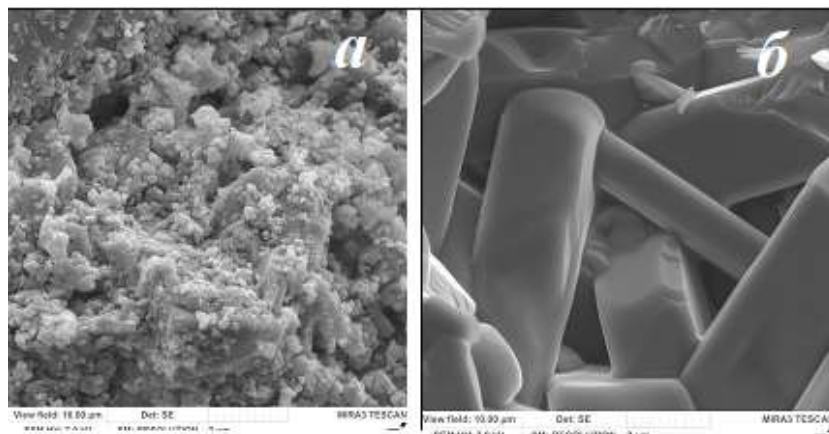


Рисунок 1 – Электронные снимки структуры матричной системы после сушки при $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а) и обжига в туннельной печи ($1400\text{ }^{\circ}\text{C}$, 60 часов) (б)

Изучены свойства образцов керамобетонов композиционного состава в системе $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--SiC--C}$, полученных способом пневмотрамбования. Охарактеризовано зональное строение керамобетонов в процессе их продолжительной эксплуатации в монолитных футеровках желобов доменных печей, проведено тестирование на

шлакоустойчивость. Относительная шлакоустойчивость минералов бетона снижается в ряду: графит, карбид кремния, корунд, муллит, стеклофаза сложного состава. Усовершенствованный состав желобной массы внедрен в производство на АО “Динур”.

Литература

1. Пивинский Ю. Е. Бесцементные огнеупорные бетоны : монография / Ю. Е. Пивинский, П. В. Дякин. – Санкт-Петербург : Химиздат, 2023. – 240 с.

МЕХАНОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ТИОСУЛЬФАТА СВИНЦА. ОЦЕНКА РЕЖИМОВ.

Мамылов С. Г., Ломовский И. О., Ломовский О. И.

*Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск
mamylov@solid.nsc.ru*

При механохимической активации твердых веществ значительная доля подводимой энергии выделяется в виде тепла. От величины теплового потока зависят не только скорость, но и сама возможность протекания и маршрут реакции.

Для исследования влияния интенсивности механохимического воздействия на протекание твердофазного превращения была выбрана реакция разложения тиосульфата свинца. Реакция не обладает параллельными маршрутами, необратима, ее продукты обладают чувствительностью к инфракрасному облучению. Для термического разложения этого вещества в области температур до 250 °С известны [1] продукты и режимы. Выше 400 °С возможна вторичная реакция взаимодействия твердых продуктов.

Механохимическая обработка проводилась на планетарной мельнице АГО-2, загрузка барабанов 1:40 исследуемым веществом и мелющими телами. Воздействие мелющих тел характеризовалось ускорением 20, 40 и 60g. Проводился непрерывный контроль температуры и расхода охлаждающей жидкости.

В работе на основании химического анализа содержания исходного вещества получены зависимости степени превращения тиосульфата свинца от условий мехактивирования. Показано, что при ускорениях мелющих тел 20g разложение тиосульфата свинца не наблюдается; воздействие 40g приводит к разложению с постоянной скоростью; воздействие мелющих тел 60g, по-видимому, вызывает реакции вторичного взаимодействия продуктов.

Определены значения теплового потока – 63, 543, 1463 Вт для условий 20, 40 и 60g механохимической обработки. В тепловой модели сделаны оценки температуры внутри барабанов – 35, 200 и выше 400 °С для приведенных условий.

Литература

1. Мамылов С. Г. Термическое разложение тиосульфата свинца и свойства образующегося продукта: дисс. ... канд. хим. наук: 02.00.04 / Новосибирск, 1990. - 171 с.

HYDROTHERMAL SYNTHESIS OF COPPER HYDROXOSTANNATE AND STUDY OF ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF COMPOSITES BASED ON IT

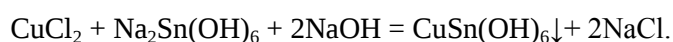
Batavskaya S. A., Loginov A. V., Novgorodtseva O. N., Aparnev A. I.

*Novosibirsk State Technical University, Department of Chemistry and Chemical Technology
Novosibirsk, Russia, sabatavskaya@mail.ru*

Recently, copper hexahydroxostannate $\text{CuSn}(\text{OH})_6$ has been widely used in various fields of science and technology. It is used in the creation of anode materials for lithium-ion batteries, in photo catalysis, optoelectronics, used as an electrode material in super condensers and as a sensing element in gas sensors [1-6].

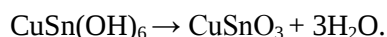
Various methods such as hydrothermal, sol-gel, co-precipitation, solid-phase synthesis and others are used to obtain copper hydroxostannate. The main disadvantages of these methods, in contrast to hydrothermal, are inhomogeneous composition of the obtained substance, longer duration of synthesis, as well as difficult control of particle size. Hydrothermal synthesis has a number of advantages, such as high purity of the obtained product, shorter synthesis time, and ecological safety for the environment. Due to the tightness of the autoclave cell, this method allows to obtain complex crystalline structures with controlled morphology and a certain particle size. High temperature and pressure in hydrothermal synthesis contribute to the elimination of internal stresses and defects in the structure of the material, which improves its physical properties.

In the present work, $\text{CuSn}(\text{OH})_6$ was synthesized by hydrothermal method as follows. Copper chloride dehydrate $\text{CuCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ (2 mmol) was dissolved in 10 mL of distilled water and sodium trihydrate-stannate $\text{Na}_2\text{SnO}_3 \times 3\text{H}_2\text{O}$ (2 mmol) was added to the obtained solution. Then 1M NaOH solution was added drop wise to the obtained suspension to pH = 10...11. Then the obtained mixture was placed in an autoclave and incubated for 24 h at 120 °C in a SNOL 6.7/1300 muffle furnace. The resulting gray precipitate was filtered from the mother liquor, washed with distilled water until a negative qualitative reaction for the presence of Cl^- ions in the solution was achieved and dried in desiccators at 110 °C for 4 h. The formation of $\text{CuSn}(\text{OH})_6$ as a result of the synthesis can be described as follows:



According to X-ray phase analysis (PDF4, cards 70-117), the precipitation product from aqueous solution corresponds to the double hydroxide of copper hexahydroxostannate $\text{CuSn}(\text{OH})_6$ with reflexes $2\theta = 17.74; 19.65; 20.94; 28.85; 29.78; 31.50; 33.25; 34.84; 35.92; 39.83; 39.95; 42.66; 45.40; 47.29; 47.95; 50.56; 52.23; 59.83$.

According to DTA and thermo gravimetric analysis of the initial sample, when heated in air at 273 °C, a pronounced endothermic effect is observed due to mass loss (~19%) as a result of dehydration of the sample according to the equation



To determine the electrochemical characteristics of the synthesized material and composite based on $\text{CuSn}(\text{OH})_6/\text{C}$, measurements of cyclic voltammetric curves in 2N sulfuric acid solution were carried out in the potentiodynamic mode when the potential (E)

linearly varying in the region $E = 0-1000$ mV was applied to the working electrode. The obtained curve served to calculate the specific capacitance of the material. It was found that the specific capacitance of “pure” copper hydroxostannate is 4.5 F/g, which can be explained by the small value of the specific surface area of the material. Creation of a composite based on this material and modified carbon significantly increases the specific capacitance up to 94 F/g. Introduction of carbon modified in nitric acid into the composite increases the specific surface on the one hand, and on the other hand increases the conductivity of the material. Thus, the creation of composite materials based on copper hydroxostannate and modified carbon can serve as a promising electrode material in chemical current sources.

References

1. Xu, R.; Deng, B.; Min, L.; Xu H.; Zhong S. CuSn(OH)₆ sub microspheres: Room-temperature synthesis and weak ant ferromagnetic behavior. *Materials Letters*. 2011. V. 65, Iss. 4. P. 733-735.
2. Zhong, S.-L.; Xu R.; Wang L.; Li, Y.; Zhang L.-F. CuSn(OH)₆submicrospheres: Room-temperature synthesis, growth mechanism, and weak ant ferromagnetic behavior. *Materials Research Bulletin*. 2011. V. 46, Iss. 12. P. 2385-2391.
3. Wang Q. Designed of bifunctional Z-scheme CuSnO₃@Cu₂O heterojunctions film for photo electrochemical catalytic reduction and ultrasensitive sensing nitrobenzene. / Wu X., Zhang L., Wang Q. // *Chem. Eng. J.* - 2019. – V. 361. – pp. 398–407.
4. Photo physical properties and photo electrochemical performances of sol-gel derived copper stannate (CuSnO₃) amorphous semiconductor for solar water splitting application / Kim B. N., Seo G. K., Hwang S. W., Yu H., Ahn B., Seo H., Cho I. S. Review // *Ceramics International*. – 2018. – V. 44, I. 2. – pp. 1843–1849.
5. CuSn(OH)₆Nanocubes as High-Performance Anode Materials for Lithium-Ion Batteries. Review / Zhou Z., Chen T., Deng J., Yao Q., Wang Zh., Zhou H. // *International Journal of Electrochemical Science*. – 2017. – V.13. – 9 p.
6. Crystal structure and photo catalytic properties of perovskite MSn(OH)₆ (M = Cu and Zn) composites with d10-d10 configuration / Dong S., Cui L., Zhao Y., Wu Y., Xia L., Su X., Sun J. Review // *Applied Surface Science*. – 2019. – V. 463. – pp. 659–667.

This work was partially supported by State task of Ministry of Higher Education and Science of Russian Federation (code no. FSUN-2023-0008).

МАГНИТНЫЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ИМПРИНТИРОВАННЫЕ СМОЛЫ ДЛЯ СОРБЦИОННОГО КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ КУМАРИНА

Петрова Ю. Ю., Булатова Е. В., Мухутдинов Д. Р.

*Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия
petrova_juju@surgu.ru*

Дисперсионная твердофазная экстракция (ДТФЭ) – относительно новое направление развития классического метода твердофазной экстракции [1]. Одной из основных тенденций данного направления является модификация классических сорбентов для получения гибридных материалов, например, сочетающих свойства магнитных наночастиц (МНЧ), углеродных наноматериалов и полимеров (в т.ч. молекулярно импринтированных) [2].

Методом поликонденсации флороглюцина и меламина (соотношение 3:1) с формальдегидом в присутствии силанизированных магнитных наночастиц были синтезированы флороглюцин-меламин-формальдегидные смолы (ФМФ) с отпечатками кумарина, далее магнитные молекулярно импринтированные смолы (ММИС). Эффективность молекулярного импринтинга оценивали в сравнении с неимпринтированной смолой (МНИС).

ИК-спектры пропускания смол регистрировали в режиме ОНПВО (Spectrum 100, Perkin Elmer, США). В области $1500\text{--}1510\text{ см}^{-1}$ и $1610\text{--}1620\text{ см}^{-1}$ присутствуют полосы, соответствующие валентным колебаниям $\text{C}=\text{C}$ связей ароматического кольца флороглюцина, а в области $1330\text{--}1350\text{ см}^{-1}$ и $1550\text{--}1565\text{ см}^{-1}$ – валентным колебаниям $\text{C}=\text{N}$ триазинового кольца меламина. Также в ИК-спектрах наблюдали полосы в области $811\text{--}814\text{ см}^{-1}$ (деформационные внеплоскостные колебания связей N-H) и 786 см^{-1} (внеплоскостные колебания C-H ароматического кольца). Широкая полоса $3100\text{--}3400\text{ см}^{-1}$ соответствует валентным колебаниям O-H и N-H групп. На ИК-спектрах смол присутствуют полосы поглощения МНЧ в области $1000\text{--}1100\text{ см}^{-1}$ (интенсивная, наложение полосы поглощения валентных колебаний C-O-C связей, образующихся в результате поликонденсации) и 695 см^{-1} , соответствующие валентным колебаниям Si-O-Si , а также в области $560\text{--}565\text{ см}^{-1}$ (слабая), соответствующие валентным колебаниям связей Fe-O .

Исследование морфологии поверхности частиц образцов смолы методом сканирующей электронной микроскопии (Phenom XL G2, Thermo Fisher Scientific, Нидерланды) показало, что ММИС и МНИС представлены очень крупными частицами неправильной формы с гладкой поверхностью, которые состоят из смолы с распределенными в ее объеме магнитными наночастицами. Размер частиц варьирует в пределах $20\text{--}200\text{ мкм}$ у МНИС и $10\text{--}90\text{ мкм}$ у ММИС.

Изучены сорбционные свойства полученных молекулярно-импринтированных смол после элюирования темплата из ММИС 40% этанолом методом последовательных отмывок. По отношению к кумарину максимальные значения степени извлечения и сорбционной емкости составляют 15% и 5.4 мкмоль/г . Кинетику сорбции кумарина смолами одинаково хорошо описывают модели псевдо-первого и псевдо-второго порядка, что свидетельствует о смешанном механизме сорбции. Для сорбции кумарина характерно внешнедиффузионное лимитирование ($R^2 = 0.96\text{--}0.98$). Сорбция кумарина ММИС подчиняется модели Фрумкина-Фаулера-Гуттенгейма, которая предполагает локализованную сорбцию и учитывает латеральные взаимодействия между молекулами адсорбата в пределах монослоя.

На примере растительных экстрактов показана возможность применения ДТФЭ с последующим ВЭЖХ-детектированием. Установлено, что при сорбционном концентрировании кумарина из водного экстракта семян донника желтого магнитными молекулярно импринтированными смолами через 30 мин извлекается 75.3 мкмоль/г кумарина и импринтинг фактор достигает 1.8.

Литература

1. Ścigalski P., Kosobucki P. Recent materials developed for dispersive solid phase extraction // *Molecules*. 2020. V. 25. №. 21. P. 4869.

2. Shell thickness controlled hydrophilic magnetic molecularly imprinted resins for high-efficient extraction of benzoic acids in aqueous samples / H. Li [et al.] // Talanta. 2019. V. 194. P. 969–976.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Ханты-Мансийского автономного округа-Югры (проект 2023-227-28) и Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня.

ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ВИСМУТА ВЫСОКОЙ ЧИСТОТЫ

© Юхин Ю. М., Кузнецов В. А., Коледова Е. С., Шеина О. Д.

*Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 630090, Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18
E-mail: yukhin@solid.nsc.ru*

Мировое потребление висмута составляет 21 тыс. тонн в год, из которых порядка 20,0 % висмута используется в виде металла [1]. Висмут используется в металлургии для получения металлических отливок, легкоплавких сплавов, термоэлектрических и магнитных материалов, а также в электронике и ядерной энергетике [2]. При этом для современной техники необходим висмут высокой чистоты.

Предложены сложные способы очистки висмута с использованием амальгамно-заградительного электролиза путем растворения висмута в ртути под слоем хлорной кислоты и выделения висмута электролизом; хлорированием висмута хлором, очисткой полученного трихлорида и восстановлением очищенного трихлорида висмута водородом; хлорированием висмута в токе продуктов пиролиза четыреххлористого водорода при 950-1200 °С в атмосфере аргона с последующей конденсацией висмута при 450-500 °С; зонной плавкой во вращающемся контейнере; зонной плавкой в аппарате особой конструкции под слоем покровного флюса, состоящего из сульфита натрия, натрия гидроксида и калий гидроксида [3].

Разработан также гидрометаллургический способ, основанный на растворении висмута в азотной кислоте, осаждении основной массы серебра соляной кислотой, удалении остатков серебра и других благородных металлов цементацией раствора металлическим висмутом, гидролизе очищенного раствора, прокаливании и восстановлении основной соли [4]. В результате применения такой схемы очистки получен металл следующего качества (в %): содержание серебра $3 \cdot 10^{-6}$, свинца $3 \cdot 10^{-3}$, сурьмы $1 \cdot 10^{-4}$, железа менее $1 \cdot 10^{-3}$, меди $1 \cdot 10^{-3}$, селен + теллур + мышьяк $1 \cdot 10^{-3}$, марганца $5 \cdot 10^{-3}$, кобальта $5 \cdot 10^{-3}$, цинка $1 \cdot 10^{-3}$. Однако данный способ является довольно сложным, при его использовании, на стадии растворения металлического висмута в азотной кислоте имеет место выделение в газовую фазу токсичных оксидов азота, а очистка висмута от примесных металлов недостаточно эффективна.

В настоящей работе представлены данные по гидрометаллургической очистке висмута с получением металлического висмута высокой чистоты [5].

Очистку висмута проводили путем его растворения в азотной кислоте с концентрацией 7,0-7,2 моль/л в присутствии нитрата аммония при температуре

70-80 °С и молярном отношении нитрата аммония к висмуту, равном 2,5, что позволяет устранить выделение оксидов азота в газовую фазу. Гидролитическую очистку висмута от примесей проводили добавлением полученного раствора азотнокислого висмута в нагретую до 50-80 °С воду при объемном отношении воды и висмутосодержащего раствора 9 : 1, пульпу перемешивали и давали отстояться. В результате получали маточный раствор, который отделяли от осадка декантацией. Полученный осадок промывали раствором азотной кислоты с концентрацией 0,1 моль/л при температуре 60 °С и двукратно дистиллированной водой. Осадок основного нитрата висмута сушили при температуре 100 °С, прокаливали при температуре 650 °С до оксида и восстанавливали полученный оксид в расплаве гидроксида натрия, содержащем серу, при температуре 400-500 °С и в весовом отношении оксид висмута : гидроксид натрия : сера, равном 1 : 1,31 : 0,20.

Полученный металлический висмут содержит (в %): свинец – $< 5 \cdot 10^{-6}$; цинк – $< 1 \cdot 10^{-5}$; железо – $< 1 \cdot 10^{-5}$; сурьма – $< 5 \cdot 10^{-6}$; медь – $< 5 \cdot 10^{-6}$; серебро – $< 3 \cdot 10^{-6}$; мышьяк – $< 1 \cdot 10^{-5}$; кадмий – $< 1 \cdot 10^{-6}$, что соответствует требованиям ГОСТ 10928-75 для марки Ви 000.

Литература

1. Bismuth Market. Global Market Study on Bismuth: Supply to Remain Dominated By China during Forecast Period 2016-2024. Persistence Market Research. July, 2016.
2. Юхин Ю.М., Михайлов Ю.И. Химия висмутовых соединений и материалов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 360 с.
3. Полювянный И.Р., Абланов А.Д., Батырбекова С.А. Висмут. – Алма-Ата: Наука, 1989. – 316 с.
4. Сажин Н.П., Дулькина Р.А. Получение металлического висмута высокой чистоты // Исследования в области геологии, химии и металлургии. М.: Изд-во академии наук СССР, 1955. С. 132–141.
5. Патент № 2834061 РФ Способ гидролитической очистки висмута / Юхин Ю.М., Кузнецов В.А. Патентообладатель ИХТТМ СО РАН. Заявл. 23.04.2024, опубл. 03.02.2025. Бюл. 4. 8 с.

SYNTHESIS OF 2-HYDROXY KETIMINES

Heydarli G. Z., Bagirzade R. Z., Hamzayeva G. N., Rasulov Ch. K.

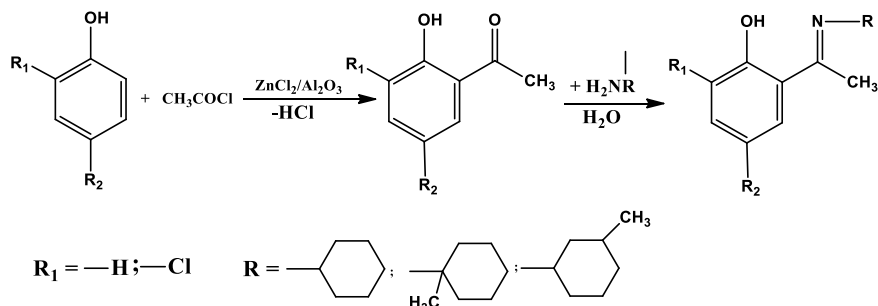
*Academician Y.H. Mammadaliyev Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan
heyderligunay6@gmail.com*

In recent years, there have been numerous studies on the synthesis and applications of polyfunctional compounds containing various fragments [1-5]. The most important advantage of this kind of compounds are that different properties of the object has a better quality when added.

The aim of this study is to synthesize cycloalkylacetophenones containing hydroxyl, carbonyl, and cycloalkyl groups, along with their derivatives.

2-Hydroxy ketimines are polyfunctional organic compounds which are used as ligands to prepare catalysts for oligomerization or polymerization of olefins in petroleum

chemistry. They were synthesized from 2-hydroxyacetophenones with different primary amines.



In our work, 2-hydroxy ketimines were synthesized in two steps. In the first step, 2-hydroxyacetophenone was obtained from the reaction of cycloalkylphenols with acetyl chloride in the presence of $ZnCl_2/Al_2O_3$.

In the second step, 2-hydroxyacetophenone was reacted with aniline or isopropylamine.

The chemical structure, as well as the physical and chemical properties of the synthesized 2-hydroxyketimines, were determined.

Acetophenones were evaluated as photostabilizers in polystyrene, while 2-hydroxy ketimines were introduced as ligands for catalysts employed in the oligomerization of polyolefins.

References

1. Gurbanly, U.R., Haydarli, G.Z., Hasanov, A.A., & Rasulov, Ch. Obtaining arylalkylacetophenones on the basis of arylalkylation products of phenol and 130-190 °C fraction of pyrolysis in the presence of KH-30m catalyst. *Processes of Petrochemistry and Oil Refining*. 2023. 24(3), 381-389.
2. Rasulov, Ch.K., Hasanov, A. A., Hasanova, G.J., Heydarli, G.Z., & Rustamov, S.T. Polyphenols: general concepts and biological activity. *Processes of Petrochemistry and Oil Refining*. 2024. 25(4), 1090-1107.
3. Rasulov, Ch. K., Rustamov, S. T., Naghiyeva, M. V., Gasanova, G. J., & Heydarli, G. Z. Alkylation of phenol and its homologues by cyclic olefins. *Processes of Petrochemistry and Oil Refining*. 2025. 26(1), 264-277.
4. Haydarli G.Z., Naghiyeva M.V., Agamaliyev Z.Z., Salmanova Ch.K. Synthesis of 2-hydroxy-3[3(4)-methylcyclohexen-3-yl-isopropyl]-5-methylacetophenones. *ChemChemTech*. 2022. 65(3), 100-106.
5. Hasanov A.A., Qurbanli U.R., Rasulov Ch.K., Haydarli G.Z., Naghiyeva M.V. Synthesis and Properties of 2-Hydroxy-3-[3(4)-methylcyclohexen-3-yl-isopropyl]-5-arylketacetophenone. *Russian Journal of General Chemistry*. (2022). 66(4), 42-48.

Acknowledgement

This work was supported by the Azerbaijan Science Foundation – Grant № AEF- MGC-2024-2(50)-16/11/4-M-11.

STUDY OF ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF $\text{Ce}_2\text{Sn}_2\text{O}_7/\text{«C»}$ COMPOSITES

Gladysheva D. I., Loginov A. V., Novgorodceva O. N., Aparnev A. I.

*Department of Chemistry and Chemical Technology, Novosibirsk State Technical University,
Novosibirsk, Russia, darya.gladysheva@list.ru*

Recently, cerium stannate and composites based on it have found wide application in various fields. Composites containing cerium stannate and carbon can be used to produce electrodes for batteries and supercapacitors, as well as catalysts for environmentally friendly chemical processing processes. In addition, they are used to create composite coatings that provide protection for metal structures from wear and corrosion. Cerium stannate is also used in the production of high-temperature ceramics used in aviation and space technology [1, 2]. In this paper, the electrochemical properties of composites based on $\text{Ce}_2\text{Sn}_2\text{O}_7/\text{«C»}$ are investigated.

The composites were obtained by mechanically mixing cerium stannate with modified nanofibrous carbon. The modification was carried out for 6 h with stirring and heating to 80°C using 6 M HNO_3 . The carbon was then filtered and dried for 12 h in a muffle furnace at 60°C.

Cerium stannate was obtained by the hydrothermal method as follows. The starting cerium nitrate $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$ and sodium metastannate $\text{Na}_2\text{SnO}_3 \times 3\text{H}_2\text{O}$ were dissolved in distilled water. The amount of each reagent was 4 mmol. To achieve pH in the range of 9...10, 1 M NaOH solution was added to the solution. The solution was stirred for 2 h to ensure uniform distribution of the components and their interaction. Then the solution was subjected to hydrothermal treatment in an autoclave at a temperature of 180 °C for 20 h. Upon completion of the hydrothermal synthesis, the resulting precipitate was filtered and dried in a SNOL 6.7/1300 muffle furnace at a temperature of 110 °C. X-ray phase analysis data confirm the formation of a well-crystallized mono-phase product of the composition $\text{Ce}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ with characteristic diffraction peaks at $2\theta = 29.20^\circ, 33.84^\circ, 48.67^\circ, 57.71^\circ$ and 60.51° , which is consistent with literature data [3-5].

Samples of "pure" cerium stannate, modified nanofibrous carbon (CNF) and a composite based on them were tested using the voltammetry method. Voltammetric curves were measured in a 2N sulfuric acid solution with a potential of 0 to 1000 mV at a sweep rate of 2 mV/s.

It can be seen from the data on the specific capacity of the samples (Table) that the $\text{Ce}_2\text{Sn}_2\text{O}_7/\text{«C»}$ composite has the highest value, which can be explained by a number of factors: the synergistic effect between modified carbon and $\text{Ce}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$, which leads to an increase in the conductivity of the material; the resulting pseudo-capacity due to rapid surface redox reactions, as well as an increase in the area of the active surfaces.

Table – Specific capacity of materials

Sample	Capacity, F/g
«pure» $\text{Ce}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$	1,7
CNF, modified in HNO_3	83,4
composite $\text{Ce}_2\text{Sn}_2\text{O}_7/\text{«C»}$	164

Thus, the resulting composite based on cerium stannate and modified CNF is a promising material that can find wide application in various fields such as electronics, power engineering and catalysis.

References

1. Wu Q. et al. Graphene encapsulated metallic state $\text{Ce}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ as a novel anode material for superior lithium-ion batteries and capacitors //Journal of Materials Chemistry A. – 2020. – Т. 8. – №. 11. – P. 5517-5524.
2. Sharma N., Rao G. V. S., Chowdari B. V. R. Anodic properties of tin oxides with pyrochlore structure for lithium ion batteries //Journal of power sources. – 2006. – V. 159. – №. 1. – P. 340-344.
3. Qiong W. et. al. Graphene encapsulated metallic state $\text{Ce}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ as a novel anode material for superior lithium-ion batteries and capacitors / Journal of materials chemistry A. – 2020. – V. 6, iss. 12. – P. 1-10.
4. Huo Y. et. al. Hydrothermal synthesis and energy storage performance of ultrafine $\text{Ce}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ nanocubes / Journal of Central South University. – 2019, iss. 26. – P. 1416-1425.
5. Zhiwei L. et. al. Dual-channel MIRECL portable devices with impedance effect coupled smartphone and machine learning system for tyramine identification and quantification / Food Chemistry. – 2023. – V. 429, iss. 136920. – P. 1-12.

This work was partially supported by State task of Ministry of Higher Education and Science of Russian Federation (code no. FSUN-2023-0008).

ПЕРЕРАБОТКА НЕФТЕШЛАМОВ И ДРУГИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ СО-ПИРОЛИЗОМ

Кенжеев Б. Ж., Болатбек Ф. Н., Аубакиров Е. А., Ташмухамбетова Ж. Х.

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Научные руководители: д.х.н., профессор Аубакиров Е.А.,

к.х.н., доцент Ташмухамбетова Ж.Х.

bolatbek.farabi012@gmail.com

Нефтешламы относятся к одним из наиболее опасных видов промышленных отходов, практически не подлежащих утилизации и захоронению. Задача их эффективной переработки является актуальной, как для разработки альтернативных технологий получения углеводородов нефти, так и для решения вопросов ресурсосбережения. Среди множества существующих способов переработки нефтешламов особое место отведено методам пиролиза.

В работе исследованы процессы пиролиза нефтешламов, полученных от НПЗ Petro Kazakhstan Oil Products (г. Шымкент), а также со-пиролиза углеродсодержащих отходов: госсиполовой смолы (ГС) из soapстока производства хлопкового масла, угольной пыли (УП) месторождения Кулан, отходов пластмасс (ОП) и нефтешлама (НШ).

В состав нефтешлама входят отработанные нефтяные масла, сточные воды, песок, минеральные вещества, а также другие токсичные и дурнопахнущие компоненты, поэтому была проведена предварительная экстракционная очистка - в присутствии неполярных растворителей – бензола и гексана (ЮКГУ им. М. Ауэзова). Выбор этих реагентов обусловлен тем, что они не растворяются в воде, но хорошо смешиваются с нефтешламом, что позволяет полностью отделить органическую

часть от нефтеносных пород, песков и других примесей. На эффективность экстракции влияют температура кипения растворителя и соотношение растворитель:нефтьшлам.

Процесс пиролиза исходного нефтьшлама и нефтьшламов, очищенных бензолом или гексаном, проводили при 700 °С в атмосфере азота, при скорости подачи газа в реактор 8 мл/мин. В качестве реактора использовали стальную трубку, снабженную термостойкой лодочкой для загрузки навески нефтьшлама, размещенную в автоматизированной печи пиролиза. Основными продуктами пиролиза были смолистая жидкость, газ и твердый остаток в виде полукокса.

Согласно данным пиролиза исходного неочищенного нефтьшлама при температуре 700 °С в атмосфере N₂ выход жидкого продукта составил 52.25 масс. %, выход газа – 25.78 масс. %, а выход твердого остатка – 21.96 масс. %.

Выход жидкого продукта пиролиза нефтьшлама, очищенного бензолом, в среднем составил 56.08 масс. %, выход газа – 37.80 масс. %, выход твердого остатка – 5.98 масс. %. Выход жидкого продукта пиролиза нефтьшлама, очищенного гексаном, в среднем составил 55.44 масс. %, выход газа – 40.96 масс. %, выход твердого остатка – 3.60 масс. %. Установлено снижение выхода твердого продукта после очистки нефтьшлама примерно на 15-18 масс. %, выход жидкого продукта увеличился ~ на 2-4 масс. %, выход газа увеличился ~ на 12-15 масс. %, соответственно. По-видимому, – это обусловлено неоднородностью состава неочищенного нефтьшлама, наличием воды, минеральных компонентов, способных катализировать реакции образования продуктов, и ряда других примесей.

На основании полученных результатов показано, что способ экстракционной очистки нефтьшлама не столь существенно влияет на выход образующихся продуктов, что, вероятно, обусловлено однородностью по составу эмульсии нефтьшлама и отсутствием примесей, способных повлиять на процесс его превращения.

С целью решения задачи ресурсосбережения в работе были исследованы процессы со-пиролиза госсиполовой смолы (ГС), угольной пыли (УП), отходов пластмасс (ОП) и очищенного (бензолом или гексаном) нефтьшлама (НШ), при соотношении 1:1:1:1 в интервале температур 500-700°С, в среде N₂, при скорости подачи газа в реактор 8 мл/мин.

Ранее нами было установлено, что наиболее подходящими для пиролитического расщепления смеси ГС-УП-ОП являются средние температуры (600-700 °С), что важно для совместной пиролитической переработки исследуемых отходов с очищенным нефтьшламом.

При пиролизе смеси ГС-УП-ОП-НШ (1:1:1:1) выход жидкого продукта с ростом температуры от 500°С до 700 °С снизился примерно в 1.4-1.5 раза, выход газа увеличился в 1.5-1.6 раза, выход твердого остатка изменился на 1-2 масс. %, соответственно. Твердый остаток был проанализирован методами СЭМ, РФА и ИКС. Жидкие продукты пиролиза исследованы методами экстракционного разделения с целью установления фракционного состава и методом хроматомасс-спектрометрии. Газообразные продукты проанализировали методом газожидкостной хроматографии.

Таким образом, предприняты шаги по изучению совместной переработки нефтьшлама и других органических отходов пиролизом для эффективного решения вопросов ресурсосбережения.

ТРАНСФОРМАЦИЯ МЕТИЛ 2-(6-АЛКИЛ-4-МЕТИЛ-3-ОКСО-1H-ПИРРОЛО[3,4-С]ПИРИДИН-2(3H)-ИЛ)АЦЕТАТОВ

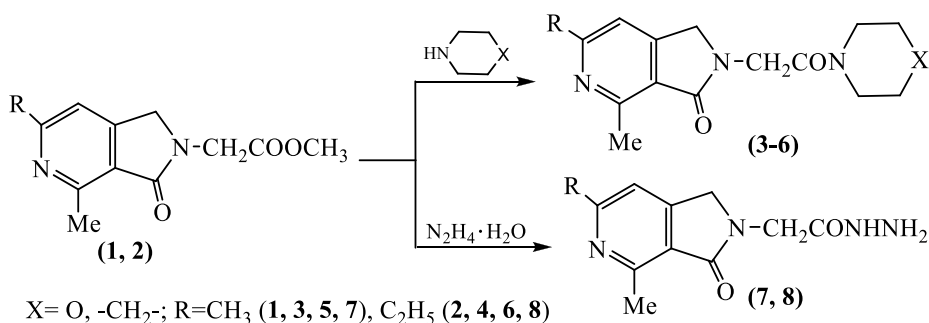
Шатинова М. И., Шейдаева Ш. К., Караева А. Р., Нагиева Ш. Ф.,
Мамедова Г. М., Гаджиева Л. Й.

Институт полимерных материалов Министерства Науки и Образования
Азербайджанской Республики, AZ 5004, Сумгаит, ул. С. Вургуна, 124
mshatirova@mail.ru

Производные 3-оксо-1H-пирроло[3,4]пиридина представляют собой малоизученную группу конденсированных гетероциклических соединений, несмотря на то, что этот структурный фрагмент входит в состав ряда биологически активных молекул, начиная от противо-раковой до анти-SARS-CoV-2 и анти-денге [1, 2].

Использование аминных групп является обязательным для доступа к целевому полигетероциклическому каркасу.

Одним из подходов к построению системы пирроло[3,4-с]пиридин-3-онов является аннелирование первичных аминов и гидразингидрата к этил 2-(хлоро-метил)-4-алкил-6-метилникотиноату. Для этой цели используют реакции внутримолекулярной гетероциклизации с участием вицинальных заместителей в положениях 3 и 4 пиридина, например, гетероциклизацию сложноэфирной и хлорметильной группы. Ранее [3, 4] нами был разработан метод синтеза ряд производных 3-оксо-1,2-дигидропирроло[3,4-с]пиридина на основе этилового эфира 6-алкил-4-(хлорметил)пиридин-3-карбоновых кислот. С целью получения новых практически полезных производных метил 2-(6-алкил-4-метил-3-оксо-1H-пирроло[3,4-с]пиридин-2(3H)-ил)ацетатов (1, 2) в данной работе нами изучена их реакция с вторичными аминами и гидразингидратом. Используя синтетический потенциал реакционноспособной метоксигруппы в молекуле 1,2-дигидропирроло[3,4-с]пиридина, исследовано взаимодействие соединений (1, 2) с морфолином и пиперидином. Установлено, что кипячение соединений (1, 2) с аминами в среде этанола в течение 8 часов приводит к получению 6-алкил-4-метил-2-[2-морфолино(пиридино)-2-оксоэтил]-1H-пирроло[3,4-с]пиридин-3(2H)-онов (3-6) с выходами 65–70%. Взаимодействие соединений (1, 2) с гидразингидратом проводили также в этаноле при кипячении в течение 6 ч и были получены 2-(6-алкил-4-метил-3-оксо-1H-пирроло[3,4-с]пиридин-2(3H)-ил)ацетогидразиды (7, 8) по следующей схеме:



Состав и строение синтезированных новых производных 3-оксо-1,2-дигидро-пирроло[3,4-с]пиридинов установлены на основании данных элементного анализа, ИК- и ЯМР -спектроскопии.

Литература

1. Westhuyzen R. van der, Winks S., Wilson C. R. et. al. Pyrrolo[3,4-c]pyridine-1,3(2H)-diones: A novel antimycobacterial class targeting mycobacterial respiration // J.Med.Chem. 2015. V. 58. No 23. P. 9371–9381.
2. Ershov O. V., Ershova A. I. Synthesis of pyrrolo[3,4-c]pyridine-1,3-diones (5-azaphthalimides) // Chemistry of Heterocyclic Compounds. 2020. V.56. No5. P. 518–520.
3. Гаджилы Р. А., Дикусар Е. А., Алиев А. Г., Мамедова Г. М., Поткин В. И., Алиева Ш. К. Реакция этиловых эфиров 6-алкил(фенил)-2-метил-4-(хлорметил)пиридин-3-карбоновых кислот с некоторыми О- и N-нуклеофилами // Журнал органической химии. 2015. Т.51. Вып.8. С.1185-1188
4. Шатинова М. И., Алиева Ш. К., Гаджиева Л. Й. Синтез биологически активных пирроло[3,4-с]-пиридинов / Сборник материалов VIII Всероссийской конференции, г. Чебоксары. 16-17 апреля 2020, с. 272.

CHANGES OF MULLITE PRECURSOR SYNTHESIZED BY COMBUSTION UNDER HEAT TREATMENT

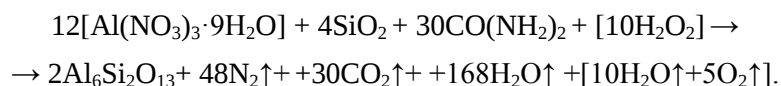
Filatova N. V., Badanov M. A., Kosenko N. F.

*Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Ivanovo, Russia
E-mail: zyanata@mail.ru*

The substance reactivity of precursors matters for the further obtaining the final product. The combustion synthesis is one of modern methods allowing to obtain a substance in an active form. As a rule, just obtained combustion product has a crystal lattice with a variety of defects. It can be a merit of the method along with a high purity, chemical homogeneity and controlled particle size of a powder [1].

The mullite $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ (A_3S_2) is one of materials of great practical importance. In this work its precursor was synthesized mullite by xerogel combustion using urea as a fuel and hydrogen peroxide H_2O_2 as a combustion aid [2]. Aluminum nitrate ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) and colloidal silica suspension (aerosil, SiO_2) served as sources of alumina and silica. Dissolved/suspended initial components were mixed with 20 mol. % in excess of silica over the stoichiometric ratio by heating with continuous stirring until a transparent gel was formed. The latter was dried in a drying chamber to the xerogel state. Ignition and combustion were carried out in a porcelain cup on a heating plate. Xerogel combustion product (XCP) was heat-treated at various temperatures (500-1200 °C), ground in a mortar, and then subjected to studies.

In the process of combustion, a redox reaction took place:



XCP was amorphous in consideration of X-ray diffraction (XRD) data until 1100 °C (Fig. 1).

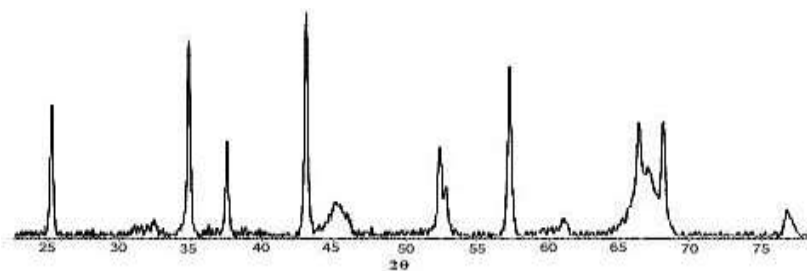


Fig. 1. XRD patterns of XCP burned at 1100 °C

To value the XCP state the magic angle spinning nuclear magnetic resonance (MAS-NMR) techniques for ^{27}Al was applied. Differently coordinated Al atoms have different chemical shifts: AlO_6 at 0–20 ppm, AlO_4 at 50–80 ppm, and AlO_5 at 20–50 ppm [3,4].

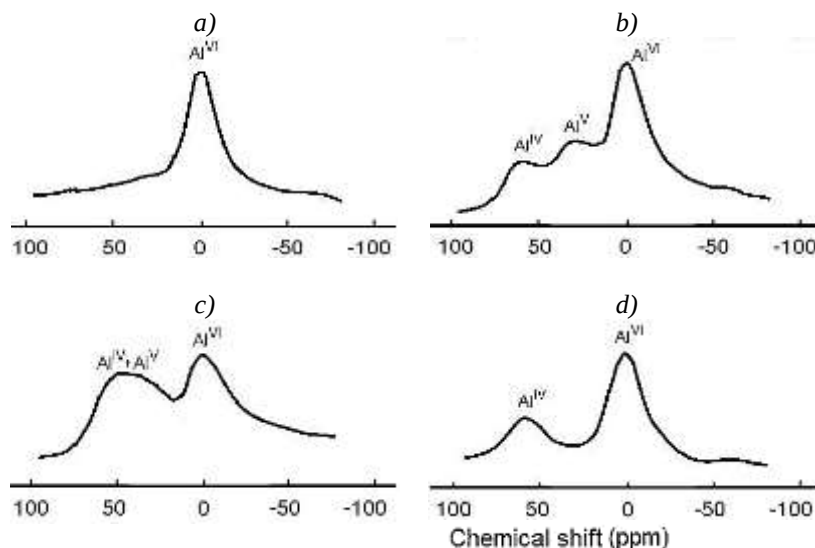


Fig. 2. ^{27}Al NMR-spectra of xerogel (a), xerogel combustion product (b), precursor burned at 1100 °C (c), industrial mullite (d)

It was established that initial xerogel had octahedral Al coordination, while Al^{III} , Al^{V} , Al^{VI} coordination were identified for XCP and even for burned product (Fig. 2). For comparison, ^{27}Al NMR-spectrum of an industrial mullite (Fig. 2, d) is given. Al^{IV} and Al^{VI} were found in the well-annealed sample of mullite. It may imply an increased reactivity of burned XCP.

References

1. A.S. Mukasyan, A.S. Rogachev, S.T. Aruna. Combustion synthesis in nanostructured reactive systems // *Adv. Powder Technol.* 26 (2015) 954–976.
2. O. Burgos-Montes, R. Moreno. Colloidal behaviour of mullite powders produced by combustion synthesis // *J. Eur. Cer. Soc.* 27 (2007) 4751–4757.
3. B. Walkley, J.L. Provis. Solid-state nuclear magnetic resonance spectroscopy of cements/ *Materials Today Advances* 1 (2019) 100007.

4. J.S. Moya, B. Cabal, S. Lopez-Esteban, J.F. Bartolomé, J. Sanz. Significance of the formation of pentahedral aluminum in the reactivity of calcined kaolin/metakaolin and its applications // *Ceram. Int.* 50 (2024) 1329–1340.

The work was carried out within the frame-work of the State assignment for the implementation of research work (Topic No. FZZW-2024-0004).

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ И ОПТИМИЗАЦИИ КАТАЛИЗАТОРОВ

Мотаев К. А.^{1,2}, Молокеев М. С.³, Сибая М.¹, Елышев А. В.¹, Загоруйко А. Н.^{1,2}

¹ Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

² Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск, Россия

³ Институт Физики им. Л.В. Киренского СО РАН, Красноярск, Россия
zagor@catalysis.ru

В данном исследовании на примере реакции для гидрогенолиза углеводов на никель-содержащих катализаторах [1] рассмотрена оптимизация катализаторов с использованием методов машинного обучения.

На основе литературных данных был составлен комплексный набор данных, состоящий из 419 экспериментов, с акцентом на такие ключевые параметры, как состав катализатора, тип носителя, площадь поверхности, восстановительные температуры и условия реакции. Мы использовали модель случайного леса для прогнозирования скорости реакции, достигнув средней абсолютной ошибки 0,37 и значения R^2 0,76.

Два катализатора $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ и Ni/TiO_2 были синтезированы в соответствии с рекомендациями модели по оптимальным параметрам синтеза катализаторов на основе никеля. Эксперименты показали отличное соответствие между прогнозируемыми и наблюдаемыми скоростями реакции, и, кроме того, эти катализаторы оказались более активными, чем все другие катализаторы на основе Ni, рассмотренные при обучении модели (рис.).

Это означает, что такая модель способна не только интерполировать существующую информацию, но и создавать усовершенствованные катализаторы, в некоторой степени превышающие современный уровень научных достижений, но при этом остающиеся строго в пределах существующего набора знаний.

Помимо предложенных катализаторов, в экспериментах исследовался принципиально новый катализатор, представляющий собой Ni на стекловолнистом носителе (Ni/CBK). Этот катализатор существенно отличается от вышеописанных, при этом он не был включен в обучающую выборку. Результаты испытаний показали, что фактическая активность этого катализатора оказалась существенно выше предсказанной.

Можно резюмировать, что методы машинного обучения являются перспективным инструментом для обработки и обобщения литературных данных и больших объемов экспериментальной информации, причем эффективность этих методов растет вместе с ростом объема данных.

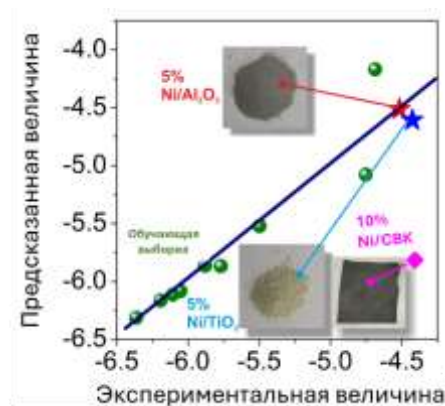


Рисунок – Сопоставление предсказанных и фактических значений логарифмов скоростей реакций гидрогенолиза парафинов на различных катализаторах

Предложенный подход может быть полезен исследователям, когда они начинают работать с незнакомой им реакцией или катализатором. Еще одним возможным научным применением предложенного подхода является классификация катализаторов, включающая указание на потенциально перспективные новые подходы.

При этом получаемые результаты всегда находятся в сфере существующего набора знаний и не пригодны для экстраполяции с выходом за пределы имеющихся экспериментальных массивов. Соответственно, качественно новые, «прорывные», результаты (пока что) могут быть получены только при участии человека.

Литература

1. Сибяа М., Харитонцев В.Б., Азарипин Н.О., Лу Б., Загоруйко А.Н., Елышев А.В. Применение никельсодержащих структурированных микроволокнистых катализаторов для процесса гидрогенолиза пропана. *Катализ в промышленности*. – 2024. – Т. 24, № 5. – С.14-24.

Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда № 22-73-10015.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЛЮМИНИЯ В ТРАВИЛЬНЫХ РАСТВОРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТИТРИМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА

Воронов Е. М., Турло Е. М.

*Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия
egorka.voronov.2016@mail.ru*

В данной научно-исследовательской работе изучается определение алюминия в травильных растворах с использованием титриметрического метода. Используется методика титрования, с помощью которого, количественно определяются ионы алюминия в данных растворах.

This research paper studies the determination of aluminum in etching solutions using the titrimetric method. The titration technique is used, with the help of which, aluminum ions in these solutions are quantitatively determined.

В данной работе изучается количественное определение ионов алюминия титриметрическим методом с помощью ЭДТА [1]. Данная методика является классической на основе ГОСТ 15027.2-77 «Бронзы безоловянные. Методы определения алюминия».

Комплексонометрическое титрование – один из методов титриметрического анализа, где лежит реакция комплексообразования катиона металла и комплексона, то есть аминополикарбоновыми кислотами и их солями [2]. Процесс характеризуется химическими реакциями протекающие в емкости, где содержится соль растворенного алюминия и в соответствии с методикой добавляются реагенты. Одними из ключевых реагентов являются трилон Б, ацетатно-буферный раствор, индикатор ПАН, а также титрант хлорид меди (II). Титрование с использованием таких веществ относится к заместительному ведь в реакции изначально происходит взаимодействие трилона Б и ионов алюминия, а затем титруется раствором соли меди где происходит замещение ионов алюминия на ионы меди(II). Титр алюминия по стандартному раствору меди составляет 0,0014 г/мл.

Определены концентрации ионов алюминия в растворах травления, данные сопоставимы, ошибка эксперимента составляет 1%, что входит в доверительный интервал.

Литература

1. Особенности определения содержания металлов в объектах различной природы / А. С. Данилова, Е. Ю. Флегонтова, Н. А. Редькин, А. Л. Лобачев // Вестник молодых ученых и специалистов Самарского университета. – 2018. – № 2(13). – С. 91-96.
2. Баймухаметова, Ю. Р. Комплексонометрическое титрование / Ю. Р. Баймухаметова, М. В. Белоусова, В. Ф. Горосян // Актуальные вопросы науки и практики: Сборник научных статей по материалам XIII Международной научно-практической конференции. – Уфа. – 2023. – С. 18-20.

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТОНАЦИОННЫХ НАНОАЛМАЗОВ

Алексеев Д. В.

*Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия
Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия
e-mail: d.alekseev1@list.ru*

Наноалмаз – уникальный материал, имеющий структуру алмаза. Они состоят из алмазного ядра размером, переходной аморфной графитовой оболочки и поверхностного слоя, состоящего из функциональных групп. Синтезированные в детонационной волне алмазные частицы имеют кубическую структуру с искаженной решеткой и средними размерами структурных фрагментов 4-6 нм. [1]

Ранее был проведен комплекс исследований, показывающий положительное влияние на физико-химические свойства введения наноалмазной дисперсной добавки в состав твердых композиционных электролитов типа «ионная соль - инертная добавка» [2-4]. В данной работе предпринята попытка улучшить характеристики композитов путем функционализации наноалмазов. Проводилась обработка в трех

средах: двух окислительных (в смеси $\text{HNO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4$ в мольном соотношении 1:4; на кислороде воздуха) и восстановительной (в H_2).

Кислотная окислительная функционализация проводилась в смеси $\text{HNO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4$ в мольном соотношении 1:4 в течение 10, 20, 30 минут, 1, 2, 3 часов при комнатной температуре. Газофазная окислительная функционализация поверхности проводилась на воздухе, где окислителем выступал кислород воздуха. Процесс окисления осуществлялся в муфельной печи. Газофазная восстановительная функционализация проводилась в трубчатой печи в токе водорода при температуре 650°C со скоростью нагрева $10^\circ\text{C}/\text{мин}$.

Исследование поверхности методом ИК спектроскопии и оценка количества карбокси- и гидроксильных групп показывает при окислительном воздействии - увеличение содержания $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$, тогда как восстановительная обработки - уменьшение количества данных групп. Предполагается, что окислительная обработка поможет создать на поверхности наноалмазов большое количество полярных групп, улучшая адгезию между компонентами композиционного твердого электролита, что приведет к увеличению проводимости. Восстановительная обработка необходима для превращения объемных карбоксильных и карбонильных групп в гидроксильные, что предоставит доступ электролита к поверхности нанодисперсной добавки, увеличивая площадь интерфейса, обладающего отличными от соли физико-химическими свойствами.

Исследование транспортных свойств композитов $0.05\text{CsNO}_2 - 0.95\text{C}_{\text{НА}}$ (1:1 по объему) с окисленными методом кислотной обработки в течение 10-30 минут наноалмазами показало увеличение проводимости композитов в 2 раза, тогда как при увеличении времени до 3 ч, проводимость композитов падала. Газофазное окисление и восстановление в кислороде воздуха и водороде, соответственно, показывает увеличение проводимости до 2 порядков. Таким образом, полученные результаты позволяют полагать, что определенные методы функционализации наноалмазов могут быть применимы для увеличения проводимости композитов на их основе.

Литература

1. Долматов В.Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза: свойства и применение. Успехи химии. – 2001. Т.70 (7). – С. 687-708.
2. Mateyshina Y.G., Alekseev D.V., Uvarov N.F. Ionic transport in CsNO_2 -based nanocomposites with inclusions of surface functionalized nanodiamonds. Nanomaterials. – 2021. – 11(2), pp. 1-10.
3. Alekseev D.V., Mateyshina Y.G., Uvarov N.F. Transport Properties of LiClO_4 -Nanodiamond Composites. Russian Journal of Electrochemistry – 2021. – 57(10), pp. 1037–1045.
4. Композиционный твердый электролит на основе ионогенных органических солей замещенного аммония бутиловыми и метиловыми радикалами и гетерогенной добавки наноалмазов: пат. 2796634 Рос. Федерация : H01G 11/56 C 22/10.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН №121032500065-5.

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ, СТРУКТУРНЫЕ И ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ПРОТОН-ПРОВОДЯЩИХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ АВРВИ

Пономарева В. Г.¹, Мордвинова Т. Д.¹, Багрянцева И. Н.¹, Кунгурцев Ю. Е.¹,
Шутова Е. С.¹, Пономарев И. И.³, Белоусов И. С.², Добровольский Ю. А.²

¹Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Центр водородной энергетики, г. Черногловка, Россия

³Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова РАН, Москва, Россия
e-mail: ponomareva@solid.nsc.ru

Создание эффективных твердотельных среднетемпературных топливных элементов (ТЭ) нового поколения является одним из важных направлений водородной энергетики. ТЭ в области средних температур более перспективны в сравнении с низкотемпературными с мембраной Nafion вследствие более высоких рабочих температур и скорости электродных процессов, высокой устойчивости к оксиду углерода. Протонными мембранами являются кислые соли щелочных металлов, в частности, CsH_2PO_4 , с суперпротонной проводимостью при 230-280 °С [1], композиционные электролиты на его основе с полимерными и высокодисперсными добавками [2]. Наиболее разработанными ТЭ являются полибензимидазольные (РВИ), с высокими разрядными характеристиками и стабильностью в течение 8000–20000 часов [3]. Протонные мембраны из РВИ, допированные фосфорной кислотой, обладают высокой термической, химической стабильностью [3], высокой проводимостью при низкой влажности. Мембраны из РВИ модифицируют фосфорной кислотой, которая, являясь переносчиком протонов, обеспечивает высокую протонную проводимость ($3\text{--}5 \times 10^{-2} \text{ См см}^{-1}$) при температурах до 180 °С. С ростом содержания кислоты проводимость мембран возрастает, но ухудшаются механические свойства. ТЭ на основе РВИ имеют ряд недостатков из-за деградации электролита за счет разбавления или потери H_3PO_4 , дегидратации в полифосфорную кислоту, механической деформации, деградации катализатора вследствие агломерации частиц и возможного окисления углеродных деталей компонентов МЭБ. Получение высокопроводящих мембран с меньшим содержанием фосфорной кислоты является важнейшей задачей для создания эффективных ТЭ данного типа.

Среди многих производных РВИ многообещающим материалом является поли(2,5-бензимидазол) (АВРВИ) [4].

Работа посвящена синтезу и изучению протонных мембран с замещением фосфорной кислоты протон проводящими гидрофосфатами цезия. Синтез проводили из композиций АВРВИ- CsOH (1:1) введением H_3PO_4 в различных мольных соотношениях, от 0.5 до 5.5.

Определены составы кислых солей, образуемых в полимерных композициях, структурные, морфологические и транспортные характеристики для широкого диапазона соотношений компонентов. Согласно РФА при введении H_3PO_4 в АВРВИ- CsOH происходит образование композиционных систем на основе АВРВИ, H_3PO_4 и кислых солей: CsH_2PO_4 и $\text{CsH}_5(\text{PO}_4)_2$ в различных соотношениях, с различной морфологией и степенью кристалличности.

Показано, что при малых содержаниях фосфорной кислоты происходит образование CsH_2PO_4 ; с ростом содержания наблюдается последовательное формирование фаз CsH_2PO_4 , $\text{Cs}_{1-x}\text{H}_x\text{H}_2\text{PO}_4$ [5], $\text{CsH}_5(\text{PO}_4)_2$ и фосфорной кислоты вплоть до содержания АВРВИ- $\text{CsH}_5(\text{PO}_4)_2$ - $4.2\text{H}_3\text{PO}_4$. Изменения фазового состава и энергии связей показано данными ИК спектроскопии полимерных систем с различным содержанием H_3PO_4 . Протонная проводимость мембран изменяется в широких пределах в зависимости от состава. При содержании в мембране АВРВИ-3 H_3PO_4 -соль проводимость достигает высоких значений $3 \times 10^{-2} \text{ См см}^{-1}$ и сравнима с используемыми в ТЭ РВИ- H_3PO_4 . Исследованы механические свойства мембран.

Литература

1. A. I. Baranov, B. V. Merinov, A. V. Tregubchenko, et.al. Fast proton transport in crystals with a dynamically disordered hydrogen bond network, *Solid State Ionics*. – 1989. – V.36(3–4). – P. 279–282.
2. Kungurtsev Y., Bagryantseva I., Ponomareva V. Copolymer of VDF/TFE as a Promising Polymer Additive for CsH_2PO_4 -Based Composite Electrolytes. *Membranes*. –2023. – V. 13. – P. 520.
3. Li Q., Aili D., Hjuler H.A., Jensen J.O. High Temperature Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells, Approaches, Status and Perspectives. Cham: Springer. – 2016. – P. 545.
4. Ponomarev, I. I., Rybkin, Y. Y., Volkova, Y. A., et. al. New possibilities for the synthesis of high-molecular weight poly (2, 5 (6)-benzimidazole) and studies of its solutions in DMSO-based complex organic solvent. *Russian Chemical Bulletin*. – 2020. – V.69. – P. 2320-2327.
5. Wang, L. S., Patel, S. V., Truong, E., Hu, Y. Y., & Haile, S. M. Phase Behavior and Superprotonic Conductivity in the System $(1-x)\text{CsH}_2\text{PO}_4$ - $x\text{H}_3\text{PO}_4$: Discovery of Off-Stoichiometric α - $[\text{Cs}_{1-x}\text{H}_x]\text{H}_2\text{PO}_4$. *Chemistry of Materials*. – 2022. – 34(4). – P. 1809-1820.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Минобрнауки России в рамках госзадания ИХТТМ СО РАН №121032500065-5 и ЦВЭ (договор №023-2024).

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛИТИЯ ИЗ АРТЕЗИАНСКИХ ВОД УЗБЕКИСТАНА СОРБЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Муллахужаева М. М., Островский Ю. В., Турло Е. М.

*Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск,
turlo@corp.nstu.ru*

В данной научно-исследовательской работе изучается возможность извлечения лития из артезианских вод Узбекистана сорбционным методом. В качестве сорбента используется модифицированный оксид алюминия.

This research paper examines the possibility of extracting lithium from artesian waters in Uzbekistan using the sorption method. Modified aluminum oxide is used as a sorbent.

В республике Узбекистан планируется добыча лития из гидроминеральных источников. На данный момент перспективным методом добычи лития является – сорбционное извлечение лития из гидроминерального сырья (ГМС) неорганическими сорбентами. На основании проведенных исследований по выявлению закономерностей распространения лития, а также анализа геологотектонических, гидро-

динамических и гидрогеохимических условий в пределах артезианских бассейнов Узбекистана и на примере Бухаро-Каршинского артезианского бассейна (БКАБ) выявлены области с относительно высокими концентрациями лития. Особенностью ГМС является значительное содержание хлорида кальция и магния мешающие протеканию сорбционного процесса. Наиболее перспективными месторождениями литийсодержащих артезианских вод Узбекистана относятся:

- по Ферганскому артезианскому бассейну 4 месторождения (Западный Палванташ, Ханкыз, Южный Аламышик, Чартак);
- по артезианским бассейнам плато Устюрт 7 месторождений (Чурук, Куаныш, Южный Тасаюк, Шахпахты, Восточный Ассакеаудан, Кунград, Николаевская);
- по Сурхандарьинскому артезианскому бассейну 4 месторождения (Хаудаг, Ляльмикар, Кокайты, Актау);
- по БКАБ 26 месторождений (Зеварды, Кандым, Западный Караиз, Кульбешкак, Аккум, Узбеккудук, Ходжи, Хатар, Хасанкуль, Парсанкуль, Западный Ташлы, Хорезмская, Даяхатын, Чукуркуль, Денгизкуль, Уртабулак, Шорбулак, Гумбулак, Аузбай, Учкыр, Ходжиказган, Куюмазар, Хауза, Памук, Каракуль, Сарыча).

Поскольку всё перечисленное ГМС обладает сравнительно невысоким содержанием лития (до 50 мг/л) отсюда и повышенные требования к синтезируемым сорбентам: достаточная сорбционная ёмкость при низком исходном содержании лития, механическая прочность, высокая пористость, высокая удельная поверхность сорбента и, кроме этого, выдвигаются достаточно высокие требования к используемому оборудованию. Предполагается из артезианских минерализованных вод извлекать только дорогостоящий литий не усложняя технологическую схему параллельным извлечением других продуктов.

В процессе работы над сорбентом удалось получить образцы неорганического сорбента (двойного гидроксида алюминия, лития), обладающего следующими текстурными характеристиками.

Характеристики образцов после первого цикла десорбции исследовали с помощью низкотемпературной адсорбции азота при 77 К на адсорбционной установке Quantachrome NOVA 1000e. Удельную по методу поверхность (АБЭТ) рассчитывали по БЭТ. До сорбции 186,9 м²/г. После десорбции удельная поверхность образца сорбента составила 144 м²/г, объём пор 0,3831 см³/г, а средний размер пор 10,64 нм (до сорбции 0,5207 см³/г и 2,78 нм соответственно).

Продолжение работы над текстурными характеристиками сорбента позволяет надеяться на получение ещё более улучшенных характеристик неорганического сорбента.

Литература

1. Юрчик И. И. Литий в рассолах Сибирского солеродного бассейна / И. И. Юрчик // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2024. – Т. 2, № 1. – С. 247-250.
2. Бандалетова, А. А. Извлечение лития из попутных вод на примере Оренбургского НГКМ / А. А. Бандалетова, А. Ю. Гаврилов, Е. В. Галин // PRОнефть. Профессионально о нефти. – 2021. – Т. 6, № 1. – С. 29-32.
3. Арифиллин А. Российский рассольный литий: проблемы и возможности / А. Арифиллин, Е. Заруба // Энергетическая политика. – 2023. – № 8 (187). – С. 38–47.

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНОХИМИЧЕСКОГО *IN SITU* ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ КОМПОЗИТОВ В СМЕСЯХ Cu-Ti-C И Ni-Ti-C

**Ридель Н. С.¹, Ковалева С. А.², Восмерилов С. В.¹, Девяткина Е. Т.¹,
Веремей И. С.³, Разумов Н. Г.⁴, Григорьева Т. Ф.¹**

¹Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Объединенный институт машиностроения национальной академии наук Беларуси, Минск

³Университет национальной академии наук Беларуси, Минск

⁴Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург
e-mail: ridelns@solid.nsc.ru

Актуальной задачей материаловедения ядерной энергетики, атомной промышленности и аэрокосмической техники является разработка материалов с повышенными прочностными свойствами, обладающих высокой стойкостью к высокотемпературной и радиационной ползучести. Основные тенденции в разработках связаны с введением гетерофазных компонентов и получением металлматричных композитов, а также диспергированием зеренной структуры материала до нанокристаллического уровня. Одним из перспективных методов получения нанокристаллических композиционных материалов является механохимический синтез (МХС).

В данной работе рассмотрено *in situ* формирование TiC_x в тройных системах Ni-Ti-C и Cu-Ti-C в условиях механохимического синтеза. Составы смесей элементарных порошков составлены так, чтобы при полном взаимодействии титана с углеродом ожидаемое содержание карбида в композитах достигало 50 мас.%. Механохимический синтез проводили в высокоэнергетической планетарной шаровой мельнице АГО-2 в атмосфере аргона. Дифракционный анализ проводили на дифрактометре D8 Advance в $CuK\alpha$ -излучении (Bruker, Германия). Рентгеноструктурные исследования эволюции структурно-фазового состава проведены в интервале длительности МХС 40 с–20 мин.

В исследуемых составах карбид титана имеет высокую энтальпию образования, и адиабатические температуры составляют $T_{Cu/TiC} \sim 2228$ К и $T_{Ni/TiC} \sim 2455$ К, что выше температур плавления компонентов. При механической активации (МА) в высокоэнергетической планетарной шаровой мельнице в смесях инициируются механически стимулированные реакции (МСР), отличительной особенностью которых является наличие индукционного периода с последующим резким скачком скорости образования продукта. Реакция протекает по цепному механизму в течение долей секунды.

Ранее установлено, что взаимодействие в двойной системе Ti-C протекает в режиме МСР с участием жидкой фазы, а индукционный период составляет 4 мин [1]. Данные рентгеноструктурного анализа показали, что реакции образования карбида титана в смесях 50Ni-Ti-C и 50Cu-Ti-C начинаются раньше и протекают значительно быстрее, в интервале 110–120 с, что может быть связано с более низкими $T_{пл}$ матричных металлов или появлением низкотемпературных жидких эвтектик. После 120 с МА формируются композиты, состоящие из твердого раствора титана в матричных металлах ($a_{Cu} = 3.625$ Å и $a_{Ni} = 3.549$ Å) и равномерно распределённых частиц карбида титана с размерами кристаллитов 29 и 47 нм

соответственно. Остаточное количество титана составляет 6–8%. Появляется намол железа. По данным сканирующей электронной микроскопии (EVO MA-15, Zeiss, Германия) и микрорентгеноспектрального анализа (X-Max 80 мм², Oxford Instruments, Великобритания), в обеих системах формируются агломераты, которые с увеличением времени МА измельчаются, но сохраняют свою агломерированную структуру.

В интервале 2–4 мин МА заканчивается реакция образования карбида, и его количество в составе композитов близко к расчетному. При дальнейшем увеличении длительности до 20 мин МА происходит измельчение кристаллитов карбида титана до 12–13 нм и матричных твердых растворов ($a_{\text{Cu}} = 3.609 \text{ \AA}$ и $a_{\text{Ni}} = 3.578 \text{ \AA}$) до аморфно-кристаллического состояния с размером кристаллитов 6–10 нм. Отношение C/Ti в карбиде снижается и составляет 0.78 и 0.59 в композитах с Ni и Cu: (Ni)/TiC_{0.78} и (Cu)/TiC_{0.59}. Образование карбида с более низким содержанием углерода приводит к повышению его содержания в композите (Cu)/TiC_{0.59} до 59 мас. %.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки технологических процессов производства наноструктурированных металлматричных композиционных материалов.

Литература

1. Lyakhov N., Grigoreva T., Šepelák V., Tolochko B., Ancharov A., Vosmerikov S., Devyatkina E., Udalova T., Petrova S. Rapid mechanochemical synthesis of titanium and hafnium carbides. J. Mater. Sci. 2018. V. 53. Is. 19. P. 13584–13591. doi:10.1007/s10853-018-2450-x

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки Российской Федерации (ИХТТМ СО РАН – проект № 121032500062-4).

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ Fe-Co И Fe-Co-Ni

Матрошилов Я. В., Турло Е. М.

*Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия
yaroslav.matr@gmail.com*

Целью данной работы является электрохимический синтезе изучения свойств дисперсных систем Fe-Co и Fe-Co-Ni. Предложен электрохимический метод синтеза дисперсных систем Fe-Co и Fe-Co-Ni. Установлено, что эта система имеет относительно невысокую величину магнитной проницаемости.

The aim of this work is the electrochemical synthesis and study of the properties of Fe-Co and Fe-Co-Ni dispersed systems. An electrochemical method for the synthesis of Fe-Co and Fe-Co-Ni dispersed systems is proposed. It has been established that these systems possess a relatively low magnetic permeability.

Нанодисперсные частицы – это частицы с размерами в нанометровом диапазоне (от 1 до 100 нм). Они являются измельченными или дробленными формами вещества и обладают большой поверхностной активностью.

Электрохимический процесс является одним из методов получения наночастиц. Данный метод основан на использовании электрического тока для манипулирования ионами или молекулами в растворе, что приводит к образованию частиц малого размера [1].

Одним из примеров такого процесса является электроосаждение, при котором электрод, покрытый каталитическими материалами, помещается в раствор с электролитом. При пропускании тока через раствор, при котором ионы металла в растворе окисляются на аноде и осаждаются в виде металлических наночастиц на катоде.

Электрохимический метод позволяет получать наночастицы с высокой степенью контроля над их размером, формой и составом, что делает его привлекательным для многих приложений, например, в электронике, катализе и медицине.

Исследование показало, что образцы, полученные путем компактирования дисперсных систем Fe-Co и Fe-Co-Ni, имеют невысокую величину магнитной проницаемости по сравнению с образцом из порошка железа. Она составляет примерно половину от значения для контрольного образца. Это означает, что данные образцы более слабо взаимодействуют с магнитным полем, чем образец из железа [2].

Для изучения магнитных свойств дисперсных образцов использовали магнитометр, который показывает магнитную проницаемость дисперсных систем.

Таким образом, изучение свойств дисперсных систем Fe-Co и Fe-Co-Ni позволяет определить действительную и минимальную части магнитной проницаемости в переменном электромагнитном поле.

Литература

1. Губин, С.П. Магнитные наночастицы: методы получения, строение и свойства / С.П. Губин, Ю.А. Кокшаров, Г.Б. Хомутов, Г.Ю. Юрков // Успехи химии. – 2005. – Т. 74, № 6. – С.539-574.
2. Дресвянников, А.Ф. Электрохимический метод синтеза магнитных наночастиц / А.Ф. Дресвянников, В.В. Парфенов, М.Е. Колпаков, В.Н. Доронин, Е.А. Терентьева // Вестник Казанского технол. ун-та. – 2010. – № 6. – С.255-263.

ГАЗОВЫЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ NO₂

Лозбень А. Д., Баннов А. Г.

*Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск,
arina_lozben@mail.ru*

Диоксида азота (NO₂) представляет собой бурый ядовитый газ, который в больших количествах образуется в качестве отходов промышленности и транспорта. Его безопасный предел содержания в воздухе составляет менее 1 ppm, для промышленных предприятий 10 ppm [1]. Превышение нормы оказывает пагубное влияние на окружающую среду, а также приводит к возникновению заболеваний дыхательных путей, таким как отек и рак легких, астма, бронхит.

Существующие методы обнаружения газа (спектрофотометрия и хемилюминесценция) являются дорогостоящими и требуют крупногабаритного оборудования, которое к тому же чувствительно к вибрации, факторам окружающей среды [2]. Поэтому в настоящее время большое количество исследований направлено на поиск альтернативных систем мониторинга.

Данная работа была нацелена на изготовление компактных газовых сенсоров, работающих на основе углеродных наноматериалов (УНМ) и их композитов, а также исследование их хеморезистивных характеристик в диапазоне концентраций

NO₂ от 1,5 до 25 ppm. В качестве основного материала использовались одно-стенные углеродные нанотрубки (ОУНТ). Сенсоры из композитных материалов получали путем добавления к ОУНТ многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ), углеродных нановолокон (НВУ), восстановленного оксида графена (ВОГен) и графита (ВОГит).

Перед изготовлением сенсоров, материал подвергался диспергированию в ванне УЗВ-3/200 (РЭЛТЭК, Россия) с мощностью облучения 85 Вт и частотой 22 кГц в этаноле (97%) в течение 80 мин. Нанесение материала на текстолитовую подложку с медными контактами осуществлялось методом «drop casting». Таким образом, было изготовлено 4 сенсора из суспензий, содержащих смесь (1:1, масс.) УНМ (ОУНТ/МУНТ, ОУНТ/НВУ, ОУНТ/ВОГит, ОУНТ/ВОГен) и 4 сенсора с послойным нанесением ОУНТ (1 слой) и другого УНМ (2 слой), а также сенсор на основе чистых ОУНТ (с концентрацией в суспензии 1,5 мг/мл) для сравнения.

Испытание проводилось в динамическом режиме, измерение осуществлялось двухточечным методом. Газ-носитель – воздух, детектируемый газ – NO₂.

В результате экспериментов были получены и составлены зависимости относительной чувствительности сенсоров $\Delta R/R_0$ от времени (рисунок).

Из полученных графиков был сделан вывод о росте относительной чувствительности сенсоров, изготовленных путем послойного нанесения в сравнении с сенсором из чистых ОУНТ (кроме образца ОУНТ/ВОГит). Также данные сенсоры показали прирост в степени восстановления и снижение времени отклика. Сенсоры, приготовленные из общей смеси, не показали улучшение характеристик.

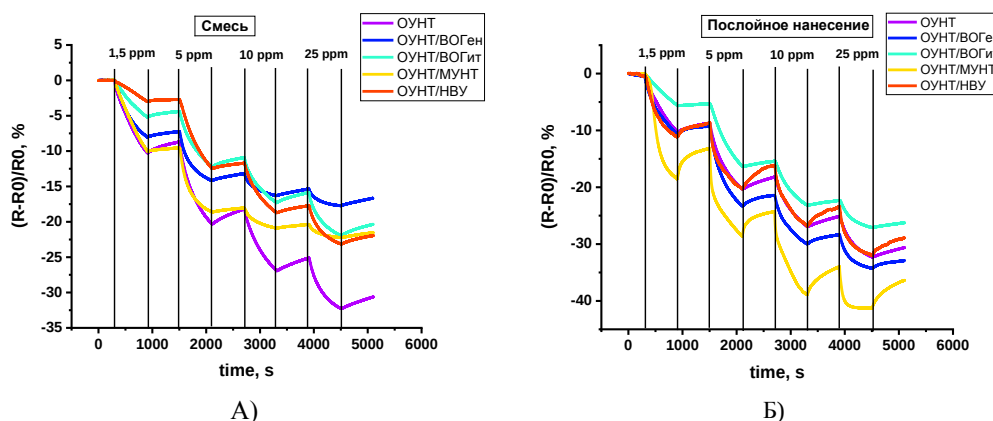


Рисунок – Графики зависимости относительной чувствительности от времени для сенсоров из разных композитных материалов (А – в смеси, Б – послойное нанесение) в диапазоне концентраций NO₂ от 1,5 до 25 ppm.

Литература

1. Kampa, M.; Castanas, E. Human health effects of air pollution. Environmental Pollution. 2008. Vol. 151, iss. 2. P. 362–367.
2. Khan, S.; Newport, D.; Le Calvé, S. Gas Detection Using Portable Deep-UV Absorption Spectrophotometry: A Review. Sensors. 2019. Vol. 19, iss.23.

Работа была выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки (FSUN-2023-0008).

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Непочатов Ю. К.¹, Плетнев П. М.^{2,3}, Енов П. Ю.⁴, Богаев А. А.⁵,
Крутский Ю. Л.⁶, Жуковская С. А.⁶

¹ХК ПАО «НЭВЗ-Союз», г. Новосибирск, Россия, nuk3d@mail.ru

²Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, Россия, pletnevm@stu.ru

³Новосибирский государственный аграрный университет, г. Новосибирск, Россия, pletnevm@stu.ru

⁴ХК ПАО «НЭВЗ-Союз», г. Новосибирск, Россия, petr@yenov.ru

⁵АО «НЭВЗ-Керамикс», г. Новосибирск, Россия, bogaev@inbox.ru

⁶Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия, krutskii@yandex.ru

Рассмотрены основные требования к высокочастотной керамике (ВЧ), используемой в приборостроении СВЧ-диапазона, в том числе приемопередающих антеннах.

В настоящее время имеется острая потребность в разработке многодиапазонных микрополосковых (МПЛ) антенн и антенных решеток, которые являются важными элементами в аппаратуре цифрового мобильного телевизионного вещания, радиосвязи радиомониторинга и широкополосного доступа [1].

Наиболее полно данным требованиям отвечает высокочастотная керамика. К общим техническим требованиям, предъявляемым к ВЧ керамике, следует отнести следующие: заданная величина диэлектрической проницаемости (ϵ); увеличение значения ϵ при заданном ТКЕ; малые значения диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$); наибольшее значение удельного объемного сопротивления (ρ_v); наибольшее значение электрической и механической прочности; устойчивость керамики к электрохимическому старению; приемлемая стоимость продукции, исходных материалов и малая энергоемкость.

Высокочастотная керамика с диэлектрической проницаемостью менее 10

Алюмооксидная керамика имеет большое значение в электронной технике как установочный материал, обладающий высокими электроизолирующими свойствами. Материалы на основе Al_2O_3 применяются для корпусов электровакуумных приборов СВЧ, подложек гибридных микросхем, корпусов ИС и других деталей.

К российским промышленным маркам алюмооксидной керамики, широко используемым в электронной технике с содержанием Al_2O_3 91–95 мас. %, следует отнести ВК-94 (22 ХС) и ВК 95-1 (ВТ-IV), а также составы с содержанием Al_2O_3 ВК-98 [2]. Наряду с алюмооксидной керамикой в диапазоне СВЧ высокими диэлектрическими свойствами обладает форстеритовая керамика на основе ортосиликата магния – $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$. В качестве представителя этого типа керамики с сохранившейся в производстве технологией изготовления изделий можно отнести – форстеритовую керамику марки ВФ 52.42-1 (ЛФ-II).

Высокочастотная керамика с диэлектрической проницаемостью более 10

Существует большое число систем соединений на основе титанатов различных элементов, согласно которым возможно образование твердых растворов при нагреве, придающих материалу необходимые свойства: ϵ , $\tan\delta$, T_{KE} и др. К таким наиболее востребованным системам можно отнести: TiO_2 - ZrO_2 , $CaTiO_3$ - $CaZrO_3$ - $CaSnO_3$, $LaTiO_3$ - $CaTiO_3$, BaO - TiO_2 , Bi_2O_3 - Nb_2O_5 - MeO ($Me=$ Mg, Ni, Zn), $SrTiO_3$ и др. [3]. Особый практический интерес для создания антенн БПЛА представляет система титаната и цирконата стронция ($SrZrO_3 - SrTiO_3$), на основе которой создана керамика ТСМ.

В настоящей работе изготовлены керамические МПЛ антенны из керамики ВК-98 и ТСМ-40 для частот спутниковых систем L_1 (1575, 42 МГц) и L_2 (1227,60 МГц). Изготовленные антенны подключались к приемнику ПРО-04 для геолокации антенн с помощью сигналов спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS/Galileo/BeiDou. С помощью программного обеспечения GeoSDemo проведена проверка работоспособности антенн. Испытания показали, что антенны совместно с приемником обеспечили поиск, подключение к спутникам GPS и ГЛОНАСС и определили местоположение антенн (широта, долгота) с точностью $\pm 2,5$ м, а также высоту над уровнем моря.

Литература

1. Ротенберг Б.А. Керамические конденсаторные диэлектрики / Б.А. Ротенберг. – СПб.: Изд-во ОАО НИИ «Гириконд», 2000. – 246 с.
2. Бердов Г.И. Вакуумно-плотная форстеритовая керамика со стронций-алюмосиликатной стеклофазой. / Г.И. Бердов, П.М. Плетнев, П.Г. Усов, В.И. Верецагин // Электронная техника. Серия Материалы. – 1974. – № 3. – С. 73.
3. Плетнев П.М. Регулирование свойств керамических материалов на основе оксидных соединений с перовскитовой и шпинелевой структурой введением малых добавок: дис... д-ра тех.наук: 05.17.11 / П.М. Плетнев. – Томск, 1997. – 355 с.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Киселёва Д. С., Турло Е. М.

*Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия
dasha.0525@mail.ru*

В данной научно-исследовательской работе предложен и проведен электрохимический синтез твердофазного оксида алюминия. Используется электрохимический синтез, с помощью которого, возникают специфические модификации на оксиде алюминия.

This research paper proposes and demonstrates the electrochemical synthesis of solid-phase aluminum oxide. This synthetic route leads to the formation of specific modifications on the aluminum oxide.

В данной работе исследуется электрохимический синтез оксида алюминия, в частности, методом анодирования [1]. Данная методика является широко распространенной и эффективной для получения оксидных слоев с контролируемыми свойствами, такими как толщина, пористость и морфология.

Электрохимический синтез оксида алюминия – это процесс, в основе которого лежит анодное окисление металлического алюминия в электролитической ячейке. Процесс характеризуется протеканием электрохимических реакций на границе раздела алюминий-электролит при приложении внешнего электрического потенциала или тока [2, 3]. Ключевыми компонентами системы являются алюминиевый образец (анод), катод из нержавеющей стали, электролит (растворы серной кислот), а также источник питания, обеспечивающий контролируемые электрохимические параметры.

Определены оптимальные условия для получения оксидной пленки с заданными параметрами.

Литература

1. Соколов А. В., Шatrov А. С. Исследование свойств анодных оксидных покрытий на алюминиевых сплавах, полученных в различных электролитах // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2015. – № 8. – С. 34–39.

2. Петухов Д. И., Валеев Р. Г., Решетников С. М. Пористые анодные оксиды алюминия и титана: структура, свойства, синтез: учебное пособие. – Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2018. – 122 с.

3. Ильин В.А., Панарин А.В. Алюминиевые покрытия и способы их получения // *Авиационные материалы и технологии*. – 2014. – № 4. – С. 37-42.

ФОРМИРОВАНИЕ АЛУНДОВОГО СЛОЯ НА ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМОНИТРИДНОЙ КЕРАМИКИ МЕТОДОМ НАНЕСЕНИЯ СУСПЕНЗИИ

Непечатов Ю. К.¹, Гудыма Т. С.², Егоров В. М.², Крутский Ю. Л.²

¹*Холдинговая компания ПАО «НЭВЗ-Союз», г. Новосибирск, Россия*

²*Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия
gudymatan@mail.ru*

С ростом мощности силовых полупроводниковых приборов (СПП), в частности, СВЧ-транзисторов серьезную проблему представляет эффективный отвод тепла от функциональных устройств, в частности от металлокерамических узлов. Использование материалов с высокой теплопроводностью, износ- и коррозионно-стойкостью позволяет увеличить надежность и срок службы электронных приборов. В качестве изоляционных и конструкционных материалов в производстве силовой электроники используют поликристаллический алмаз [1], оксид алюминия Al_2O_3 [2], оксид бериллия BeO [3], нитрид алюминия AlN [4] и нитрид бора BN [5]. В настоящее время активно исследуют возможность использования AlN в качестве теплопроводящего материала благодаря стабильной тепло- и электропроводности, низкому коэффициенту термического расширения. Для обеспечения адгезии металлизационных покрытий необходимо сформировать оксидный слой Al_2O_3 на поверхности керамики.

В настоящей работе исследована возможность формирования прочного адгезионного слоя Al_2O_3 на поверхности алюмонитридной керамики за счет предва-

рительного нанесения суспензии, содержащей в своем составе алунд. Показана эффективность данной технологии в повышении адгезии металлизации к керамике.

Прочность спекания суспензии алунда с подложкой проверяли путём воздействия веса гирь на покрытую алундом вольфрамовую проволоку до разрушения слоя алунда. Норма прочности составляет не менее 1,8 кг. Для образцов, на которых слой алунда был сформирован путем нанесения псты, фактический вес гирь при разрушении составлял $2,2 \pm 0,1$ кг.

В результате проведенных экспериментов установлено, что предварительное нанесение оксидного слоя с использованием алундовой суспензии позволяет более, чем в 2 раза повысить адгезию металлизационного покрытия к алюмонитридной подложке в сравнении с ранее применяемой технологией, включающей термобработку подложки в перегретых парах воды.

Литература

1. Rogalin, V.E. Several Applications of Diamonds in High-Power Optics and Electronics / V.E. Rogalin, M.I. Krymskii, K.M. Krymskii // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2018. Vol. – 63. – № 11. – P. 1326–1334.
2. Sharafiev, S. Pabst C. Processing of metallization technology aluminum oxide ceramics for electro-vacuum devices / S. Sharafiev, C. Pabst // Journal of Physics Conference Series. – 2017. – Vol. 872. – P. 012018.
3. Kiiko, V.S. Thermal conductivity and prospects for application of beo ceramic in electronics / V.S. Kiiko, V.Y. Vaispapir // Glass and Ceramics. – 2015. – Vol. 71. P. 387–391.
4. Raghothamachar B. et al. Low defect density bulk AlN substrates for high performance electronics and optoelectronics / B.Raghothamachar, R. Dalmau, B. Moody, H. S. Craft, R. Schlessner, J. Q. Xie, R. Collazo, M. Dudley, Z. Sitar // Materials Science Forum. – 2012. – Vol. 720. –P. 1287–1290.
5. Belyakov A. V. Metallization of aluminum nitride ceramic (review) / A.V Belyakov, I.G. Kuznetsova, R.Yu. Kuftyrev, L.V. Pilavova, V.S. Seregin. – 2012. – Vol. 69. – № 8. – P. 270–273.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки (проект FSUN-2023-0008).

СЕРЕБРО-ЗАМЕЩЕННЫЙ ГИДРОКСИАПАТИТ – МАТЕРИАЛ ДЛЯ МЕДИЦИНЫ

Макарова С. В., Бородулина И. А., Еремина Н. В., Булина Н. В.

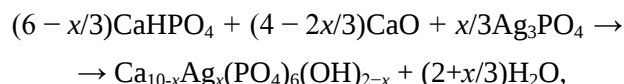
*Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск
makarova@solid.nsc.ru*

Гидроксиапатит (ГА, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) является основным неорганическим компонентом костной и зубной тканей человека, поэтому синтетический ГА применяется в различных областях медицины. Замещение ионов кальция на ионы серебра в структуре ГА придает материалу антибактериальные свойства [1], поэтому серебро-замещенный ГА (Ag-ГА) является перспективным материалом для челюстнолицевой хирургии, ортопедии и травматологии. При его имплантации в область костных дефектов с целью их восстановления можно значительно снизить дозу антибактериальных препаратов, назначаемых в постимплантационный период.

Поскольку в процессе изготовления керамических гранул-наполнителей костных дефектов, а также имплантатов используются высокие температуры, то необходимо знать какие температуры допустимы для термической обработки материала.

Цель настоящего исследования заключалась в определении температур термического разложения Ag-ГА, полученного механохимическим способом.

Синтез Ag-ГА проводился в планетарной шаровой мельнице АГО-2 путем обработки исходной смеси реагентов в течение 30 мин. Соотношение реагентов брали в соответствии с реакцией



где $x = 0, 0.2, 0.5, 1.0$ и 2 .

Установлено, что в результате синтеза для всех значений x были получены однофазные порошковые образцы с набором рефлексов, принадлежащих фазе ГА (Рис. 1а). С ростом концентрации введенных ионов серебра параметры решетки фазы ГА увеличиваются (Рис. 1б), что согласуется с предполагаемым вариантом частичного замещения ионов Ca^{2+} ($r = 1.00 \text{ \AA}$) на ионы Ag^+ с большим ионным радиусом ($r = 1.26 \text{ \AA}$). При значении $x = 1$ параметр a выходит на плато, что вероятно связано с пределом замещения на ионы Ag^+ .

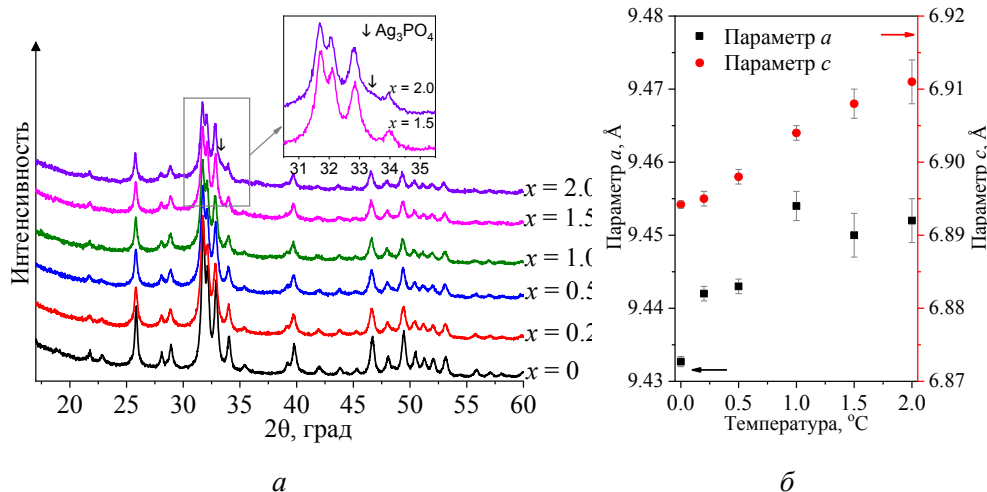


Рисунок 1 – Дифрактограммы синтезированных образцов (а) и изменение параметров решетки (б) в зависимости от концентрации введенного серебра

Анализ фазового состава синтезированных образцов после прокаливания при разных температурах (Табл.) указывает на уменьшение термической стабильности материала. Чем больше серебра было введено в процессе синтеза, тем при более низкой температуре проявляются продукты разложения Ag-ГА, следовательно, с ростом степени замещения термическая стабильность Ag-ГА уменьшается.

Чем больше Ag вводилось в реакционную смесь, тем больше концентрация выделившихся примесных фаз (Ag и β -трикальций фосфат, β -ТКФ). Уточнение параметров решетки фазы β -ТКФ указывает на наличие серебра и в данном

фосфате, соответственно при разложении Ag-ГА выделяются серебро-содержащие фазы – Ag и Ag-ТКФ.

Фазовый состав (масс%) образцов после отжига

x	Фаза	Температура, °C							
		400	500	600	700	800	900	1000	1100
0	ГА	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	ГА	100	100	100	82.8	78.4	78.1	78.3	76.9
	β-ТКФ	–	–	–	16.9	21.4	21.5	21.4	22.7
	Ag	–	–	–	0.3	0.2	0.4	0.3	0.4
0.5	ГА	100	100	74.6	62.7	58.3	56.9	57.2	55.8
	β-ТКФ	–	–	25.2	36.3	40.1	41.1	41.1	42.6
	Ag	–	–	0.2	1.0	1.7	2.0	1.7	1.6
1.0	ГА	100	54.3	31.1	24.8	20.2	16.8	9.7	3.7
	β-ТКФ	–	45.3	67.7	73.2	77.0	79.6	86.0	92.3
	Ag	–	0.4	1.2	2.0	2.8	3.6	4.3	4.0

Литература

1. Tite T. et al. Cationic substitutions in hydroxyapatite: Current status of the derived biofunctional effects and their in vitro interrogation methods //Materials. – 2018. – Т. 11. – №. 11. – С. 2081.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН (проект 121032500064-8).

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НА СВОЙСТВА ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ АЛЮМИНАТОВ КАЛЬЦИЯ

Назаренко Т. В.^{1,2}, Капишников А. В.¹, Шуваракова Е. И.¹, Бедило А. Ф.¹

¹ Институт катализа СО РАН им. Г.К. Борескова, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный технический университет. Новосибирск, Россия

Научный руководитель: Шуваракова Е.И., к.х.н., н.с.

e-mail: edinorogp3@gmail.com

Алюминат кальция с кристаллической структурой майенита состава $12\text{CaO} \times 7\text{Al}_2\text{O}_3$ вызывает большой интерес исследователей ввиду необычных физических и химических свойств. Обычно для синтеза материалов на основе майенита используется твердофазный метод синтеза, включающий в себя спекание при высоких температурах, что приводит к падению удельной поверхности. Целью настоящей работы было сравнение альтернативных методик синтеза и разработка подходов к получению нанокристаллического майенита с высокой удельной поверхности после прокали при умеренных температурах.

Ранее нами была предложены методики получения нанокристаллического майенита путем добавления СаО к водной суспензии AlOOH [1]. Однако при проведении синтеза таким образом в полученных материалах неизбежно присутствовали примеси других фаз. В данной работе было продолжено совершенствование этих методик с целью получения чистой фазы майенита, и были изучены возмож-

ности применения золь-гель метода с использованием эпоксипропана для синтеза нанокристаллического майенита.

Для изучения влияния мольного отношения воды и эпоксипропана в процессе гидролиза осуществляли контроль концентрации одного компонента и последующий сравнительный анализ фазового состава продуктов термической обработки. Независимо от концентрации эпоксипропана, наблюдалось отсутствие прямой корреляционной связи между количеством вводимого реагента и составом образующихся твердых фаз. Экспериментально установлено формирование фаз C5A3, C3A, CA и CaO, тогда как фаза майенита выявляется исключительно в виде незначительной примеси. Из полученных результатов видно, что кристаллическая структура C5A3 или $\text{Ca}_5\text{Al}_6\text{O}_{14}$, несмотря на её близкое элементное соотношение к структуре C12A7 или $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$, характеризуется метастабильным состоянием и подвержена разложению и реакциям взаимодействия с прочими компонентами системы при нагревании свыше 1200 °C.

При изучении влияния изменения содержания воды в растворе при постоянной концентрации эпоксипропана было выявлено, что увеличение объема добавляемой воды не способствует росту массовой доли фазы C12A7, однако сопровождается снижением относительного содержания фазы CaO.

Показано, что максимальное содержание фазы C12A7 (~80%) наблюдается при использовании изопропилата алюминия и нитрата кальция в качестве прекурсоров после прокалики при 900 °C.

Ключевым интермедиатом при синтезе майенита в водной суспензии является двойной гидроксид катоит состава $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$, его разложение приводит к образованию майенита и гидроксида кальция уже после прокалики при температуре 300 °C. Продемонстрировано, что отмывка образовавшейся примеси $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с использованием раствора NH_4NO_3 в смеси этиленгликоля и изопропанола позволяет получить нанокристаллический образец с чистой фазой майенита (рисунок) и удельной поверхностью выше 150 м²/г.

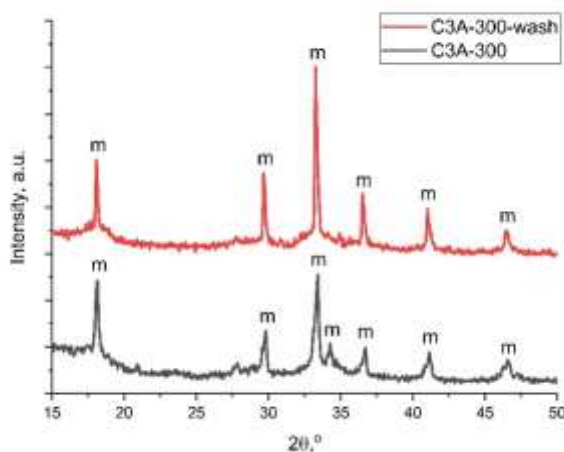


Рисунок – Диффрактограммы майенита до и после промывки

Литература

1. Шуваракова Е.И., Бедило А.Ф., Кенжин Р.М., Ильина Е.В., Герус Ю.Ю. Синтез и исследование высокодисперсных алюминатов кальция и катализаторов на их основе // Химическая физика. 2022. Т.41. №6. С.20-29.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 25-23-00455).

ГУМАТОФОСФАТЫ ДЛЯ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ПУСТЫНЬ

Алдабергенов М. К.¹, Бубиш Ш.², Абдулазиз А.¹

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²ТОО «Modern Chemistry»
aldabergenov_m@mail.ru

На сегодняшний день более 2 миллиардов гектаров земного шара занимают пустынные и полупустынные территории, где проживает 15% мирового населения. Опустынивание представляет собой ярко выраженную глобальную экологическую и социально-экономическую катастрофу, представляющую геологическую опасность для всего человечества. В XXI веке, на фоне растущей численности населения Земли, практически полного освоения площадей продуктивных сельскохозяйственных земель и беспрецедентного повышения техногенной нагрузки на природную среду, опустынивание может стать для более 100 стран основной угрозой успешного социально-экономического развития. Самые большие пустыни Сахара и Гоби расширяют свои границы на десятки километров ежегодно. Примерно 12 миллионов гектаров земли в мире ежегодно превращаются в пустыни. Проблемы опустынивания коснулись европейских стран, прежде всего Португалии и Италии. Пыльные бури доходят до северных европейских стран, ухудшая как плодородие почв, так и условия жизни людей.

Противостоять опустыниванию можно только озеленением!

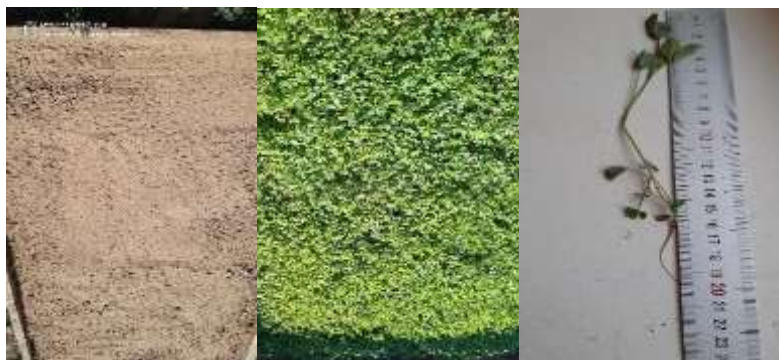
В условиях пустынь растения не обеспечиваются питательными веществами из почвы. Поступление питательных компонентов для растений для их нормального роста может быть обеспечено через регуляторы (стимуляторы) роста растений. Для этих целей нами предлагается регулятор роста растений – гуматофосфат калия-натрия, синтезированный на основе Шубаркольских бурых углей и аммофоса. Гуматофосфат содержит гуминовые и фульвокислоты, азот, фосфор, калий и микроэлементы. Он содержит не только полный набор полезных компонентов, но и генетических регуляторов, способствующих образованию гормонов роста растений. Гуматофосфат представляют собой густую суспензию полимерного соединения темного цвета с рН = 6,5-7,5.

В экспериментах использованы пески фракции 0,7-2,0 мм с влажностью не более 5% Капчагайского месторождения Казахстана. Содержание пылевидных и глинистых частиц не превышает 3%, насыпная плотность 1380 кг/м³.

На чистом песке с помощью гуматофосфата калия-натрия выращена люцерна казахстанская. Посев люцерны составил 30 кг/га, а урожай сена с гектара 4 тонны за каждый покос. За сезон проведено 3 покоса. Проведены: предпосевная обработка семян люцерны гуматофосфатом с протравителем, трехкратная корневая обработка

и трехкратная листовая обработка люцерны во время роста с раствором гуматофосфата и в чередовании с чистой водой. Расход гуматофосфата на гектар составил 30 л.

Благодаря предлагаемой технологии всхожесть люцерны составила 100%. Растение обладает мощной корневой системой и стабильным ростом. Первый покос убирали через 45 дней, 2-3 покосы - через 35 дней.



Проведенными агрохимическими испытаниями установлено, что гуматофосфат можно эффективно использовать для озеленения пустынь.

НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ МЕДНОЙ СЕТКИ МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ

Воронцова П. А.¹, Брестер А. Е.^{1,2}, Жуков В. И.^{1,2}

¹*Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20*

²*Институт теплофизики имени С.С. Кутателадзе СО РАН,
630090, Россия, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 1
polyn2013@gmail.com*

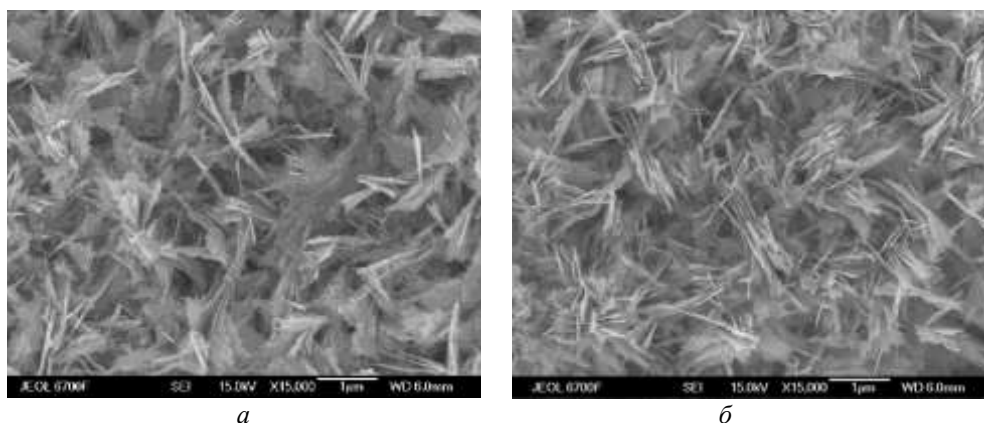
Параметры теплообменных аппаратов существенно влияют на технико-экономические показатели теплоэнергетических установок. Учитывая значительные размеры и вес этих аппаратов, крайне важно совершенствовать их конструкцию, уменьшая габариты, металлоемкость и энергозатраты на прокачку теплоносителей, при сохранении требуемой тепловой мощности [1]. Одним из ключевых направлений в данной сфере является разработка новых материалов и структур, способствующих улучшению теплообменных процессов.

Поэтому, применение сеточных покрытий является одним из потенциальных решений рассматриваемой проблемы. Преимуществами данного подхода являются экономическая эффективность, широкая доступность и возможность адаптации свойств и геометрических параметров [2].

Целью данной работы является интенсификация процесса теплообмена при кипении за счет создания нанорельефа на поверхности медной сетки посредством химической модификации.

Исследование проводилось с использованием двух образцов медной сетки размером 5x5 см. Для химической обработки применялись два раствора, обозначенные как "Свежий" и "Выдержанный". "Выдержанный" раствор был приготовлен и хранился в течение 4 месяцев перед использованием. Оба раствора были приготовлены в соответствии с методикой, описанной в источнике [3].

Исследование морфологии поверхности образцов проводилось с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL 6700F. На микроснимках хорошо видно, что на поверхности образца сформировались пластинчатые структуры, благодаря которым создается пористая поверхность.



Микроснимки, полученные на просвечивающем электронном микроскопе:
а – образец, обработанный в «Свежем» растворе, *б* – образец, обработанный в «Выдержанном» растворе

Элементный состав поверхности показал, что на поверхности медной сетки формируются наноразмерные структуры из оксида меди.

С помощью программы ImageJ был проведен анализ размера получившихся впадин. Показано, что наиболее распространенный размер впадин для обоих образцов находится в пределах 0,2-0,3 мкм. Однако, образец, полученный в «Свежем» растворе, имеет средний размер впадин 0,47 мкм, а в «Выдержанном» растворе – 0,31 мкм.

Ожидается, что модификация поверхности медного образца путем создания нанорельефа значительно повысит эффективность теплообмена, за счет образования впадин на поверхности, которые будут служить активными центрами парообразования в процессе кипения.

Литература

1. Попов И.А., Гортышов Ю.Ф., Олимпиев В.В. Промышленное применение интенсификации теплообмена – современное состояние проблемы (обзор) // Теплоэнергетика. – 2012. – №1. – С. 3-14.

2. Volodin O.A., Pavlenko A.N., Pecherkin N.I. Heat Transfer Enhancement on Multilayer Wire Mesh Coatings and Wire Mesh Coatings Combined with Other Surface Modifications—A Review // Journal of Engineering Thermophysics. – 2021. – V.30. – P. 563–596.

3. Shiwei Zhang, Gong Chen, Xingchi Jiang, Yuanjie Li, Syed Waqar Ali Shah, Yong Tang, Zuankai Wang, Chin Pan. Hierarchical gradient mesh surfaces for superior boiling heat transfer // Applied Thermal Engineering. – 2023. – V. 219. – N. 119513.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-19-00245).

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НИКЕЛЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ В ПРОЦЕССЕ ГИДРИРОВАНИЯ ДИЕНОВЫХ И АЦЕТИЛЕНОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Есеналиева М. З., Каирбеков Ж. К., Суймбаева С. М.*, Желдыбаева И. М.

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан

**email: saltanat_suimbayeva@mail.ru*

Производство синтетических каучуков – одна из ведущих отраслей нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Одним из важнейших мономеров для получения синтетических каучуков является изопрен.

Изопрен используется, главным образом, для получения изопренового каучука путем стереорегулярной полимеризации в присутствии металлоорганических катализаторов. Присутствие ацетиленовых углеводородов приводят к увеличению индукционного периода и существенному снижению скорости полимеризации. В этой связи удалению из изопрена примесей ацетиленовых углеводородов является важной задачей.

В данной работе исследованы структура и физико-химические свойства многокомпонентных скелетных никелевых катализаторов и процесс гидрирования смеси изопрен-гексин-1.

Результаты исследований процессов гидрирования бинарных смесей изопрен-гексин-1 на многокомпонентных скелетных никелевых катализаторах указывают на преобладание превращения гексина-1 по сравнению с замедленным превращением изопрена. На основании сравнительного рассмотрения данных по активности и селективности при гидрировании смесей изопрен-гексин-1 выбрана группа оптимальных многокомпонентных скелетных никелевых катализаторов для более углубленного изучения: Ni-Cu, Ni-Mo, Ni-Ti-Mo, Ni-Mo-Cr, Ni-Mo-Cu и Ni-Ti-Cu.

Многокомпонентные скелетные никелевые катализаторы обладают развитой поверхностью, на величину которой существенное влияние оказывает природа модифицирующих добавок. Введение Ti и Ti-Mo способствует развитию поверхности катализатора ($S_{уд} = 130-135 \text{ м}^2/\text{г Ni}$). Катализаторы, содержащие Zn и Mo-Cu уступают по величине $S_{уд}$ скелетному никелевому катализатору: $S_{уд} = 60-67 \text{ м}^2/\text{г Ni}$. Добавки Mo в Ni-Al сплав почти не изменяют ее: $S_{уд} = 107 \text{ м}^2/\text{г Ni}$.

Исследование адсорбционных характеристик скелетных никелевых катализаторов методом температурно-программированной десорбции при различных режимах сушки показало, что с ростом температуры для образцов из бинарных Ni-Al и

тройных Ni-Al-Me (Cu, Ag, Ti) сплавов как правило, общее количество адсорбированного катализатором водорода уменьшается. При этом наблюдается сдвиг максимума скорости выделения водорода на термодесорбционных кривых в область высоких температур.

Исследован фазовый состав тройных сплавов Ni - Mo – 50 % Al и Ni - Fe – 50 % Al, содержащих от 0,5 до 20,0 % Mo и Fe, и приготовленных из них скелетных катализаторов. Методом количественного рентгеноструктурного анализа определено содержание алюминидов $NiAl_3$ и Ni_2Al_3 в исследованных образцах. В исследованных тройных сплавах помимо алюминидов никеля $NiAl_3$ и Ni_2Al_3 , а также свободного алюминия обнаружены бинарные алюминиды легирующих металлов и тройные химические соединения.

Литература

1. Каримов О.Х.. Очистка изопрена от ацетиленовых примесей на никелевом катализаторе // промышленное производство и использование эластомеров. – 2019. – № 1. – С.3-5. <https://doi.org/10/24411/2071-8268-2019-10101>
2. Каирбеков Ж., Есеналиева М.З., Ахметов Т.З., Суймбаева С.М., Джелдыбаева И.М. Селективное гидрирование смесей цикlopentadiена с изопреном на скелетных никелевых катализаторах // Нефтехимия. – 2024. – Т. 64. – № 3. – С.245-254. <https://doi.org/10.31857/S0028242124030063>
3. Kairbekov Zh., Akhmetov T.Z., Esenalieva M.Z., Dzheldybaeva I.M., Suimbayeva S.M., Zhomart M.Zh. Selective hydrogenation of isoprene, piperylene and their mixtures on skeletal nickel catalysts // Reposts of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. – 2024. – Vol. 3. – No 351. – P. 108-121. ISSN 2224-5227. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.301>

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета Науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках проекта AP19677222 «Разработка новых активных и селективных катализаторов для процессов гидрирования диеновых и ацетиленовых углеводородов и их смесей».

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ Vi-ЗАМЕЩЕННОГО ГИДРОКСИАПАТИТА

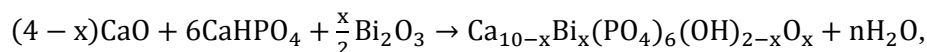
**Еремина Н. В., Бородулина И. А., Макарова С. В., Просанов И. Ю.,
Булина Н. В.**

*Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск
eremina@solid.nsc.ru*

Введение в структуру синтетического гидроксиапатита (ГА) различных катионов и анионов позволяет улучшить его механические и биологические свойства, придать материалу новые характеристики. Допирование висмутом приводит к появлению антибактериальных свойств и повышению рентгено-контрастности, поэтому появляется возможность использовать такой материал в костных и зубных реставрационных цементах для получения более качественной визуальной информации при рентгеновском анализе [1]. Благодаря таким свойствам, Vi-замещенный гидроксиапатит (Vi-ГА) является перспективным материалом для

использования в медицине. Целью представленной работы является исследование возможности синтеза Bi-ГА механохимическим методом.

Механохимический синтез Bi-ГА проводили в планетарной шаровой мельнице АГО-2 путем обработки исходной смеси реагентов в течение 40 минут. Реагенты брали в стехиометрическом соотношении из расчета реакции:



где $x = 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2$.

В соответствии с данными порошковой дифрактометрии все синтезированные образцы являются однофазными, наблюдаемые рефлексы принадлежат фазе ГА (рис. 1а). С ростом концентрации ионов висмута наблюдается уменьшение интенсивностей рефлексов и их уширение. На ИК-спектрах образцов (рис. 1б) присутствуют полосы поглощения, характерные для структуры ГА. С увеличением количества вводимого висмута, уменьшается интенсивность полос поглощения на 630 см^{-1} и 3572 см^{-1} , относящихся к гидроксильным группам, что согласуется с химической формулой предполагаемого продукта синтеза (1). С ростом x наблюдается также смещение полос фосфатной группы, что связано с изменением ее ближайшего окружения – появление катионов висмута вместо катионов кальция.

С ростом концентрации вводимого висмута наблюдается линейный рост параметров решетки a и c (рис. 2), что согласуется с предполагаемым вариантом замещения: замещение катионов кальция с $r(\text{Ca}^{2+}) = 1,00\text{ Å}$ катионами висмута с $r(\text{Bi}^{2+}) = 1,31\text{ Å}$ и приводит к уменьшению линейных размеров элементарной ячейки.

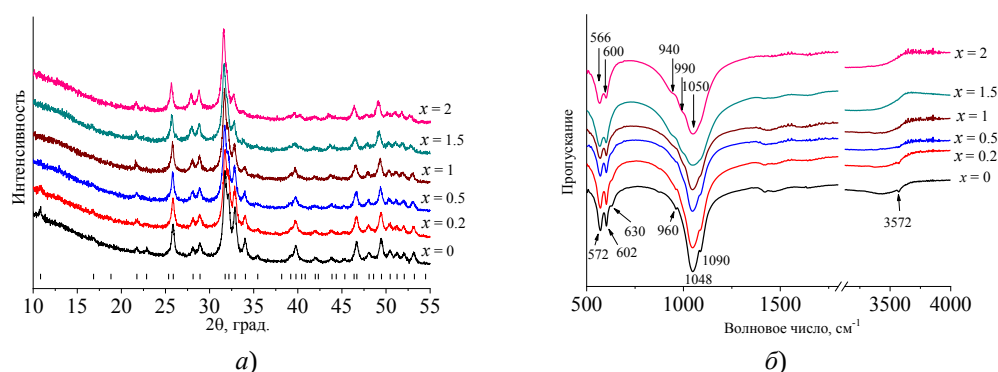


Рисунок 1 – Дифрактограммы (а) и ИК-спектры (б) образцов Bi-ГА.
Вертикальные полосы на рисунке (а) соответствуют положению рефлексов фазы ГА в PDF 000-74-0566 (ICDD)

Уточнение параметров решетки методом Ритвельда показало, что с ростом концентрации вводимого висмута наблюдается линейный рост параметров a и c (рис. 2), что соответствует предполагаемому варианту замещения, где катионы кальция с $r(\text{Ca}^{2+}) = 1,00\text{ Å}$ частично заменяются катионами висмута с $r(\text{Bi}^{3+}) = 1,31\text{ Å}$, что приводит к уменьшению линейных размеров элементарной ячейки.

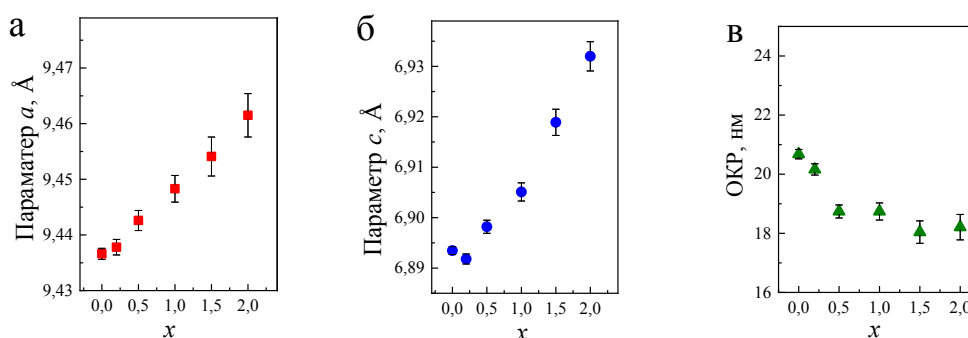


Рисунок 2 – Изменение параметров решетки a (а), c (б) и ОКР (в) в образцах Вi-ГА

В результате проведенной работы установлено, что Вi-замещенный гидроксипатит с содержанием висмута от $x = 0,2$ до $x = 2$ может быть получен методом механохимического синтеза в шаровой планетарной мельнице. Фазовый состав синтезированных образцов соответствует 100% кальциевому гидроксипатиту, содержащему катионы висмута.

Литература

1. Ciobanu, G., Bargan, A.M. & Luca, C. New Bismuth-Substituted Hydroxyapatite Nanoparticles for Bone Tissue Engineering. *JOM* 67, 2534–2542 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11837-015-1467-8>

Работа выполнена в рамках госзадания ИХТТМ СО РАН (проект № 121032500064-8).

СИНТЕЗ V-СОДЕРЖАЩИХ ГЕТЕРОПОЛИСОЕДИНЕНИЙ СО СТРУКТУРОЙ КЕГГИНА: ОТ ЭФИРНОГО МЕТОДА К ЭКОЛОГИЧНОЙ ПЕРОКСИДНОЙ АКТИВАЦИИ

Минжуй Ван, Родикова Ю. А.

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, г. Новосибирск, Россия
m.van1@g.nsu.ru

Научный руководитель: Родикова Юлия Анатольевна

Получение стабильных, экологически чистых и экономически эффективных гетерогенных катализаторов для производства важных химических веществ – привлекательная область исследований, возникающая в свете переориентации на современные тенденции «зеленой» химии.

Полиоксометаллаты структуры Кеггина с интеркалированными атомами ванадия(V) – ванадийсодержащие гетерополисоєдинения (V-ГПС, рисунок) – перспективные металл-кислородные кластерные соединения, обладающие *бифункциональными* (кисотно-окислительными) *свойствами*. В последние годы они интенсивно используются в таких областях, как (фото)катализ [1], наноманетизм [2] и электрохимия [3], применяются в биохимических и биомедицинских приложениях [4],

исследуются в направлении переработки биомассы в ценные химические вещества [5].

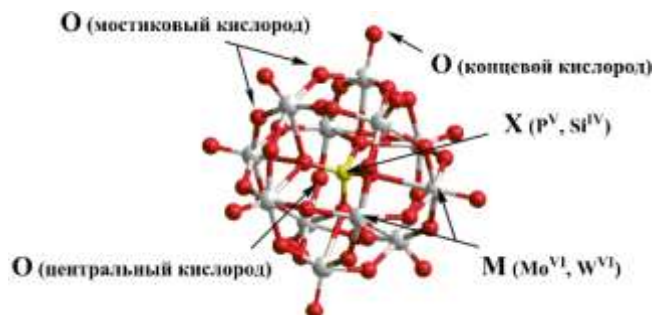
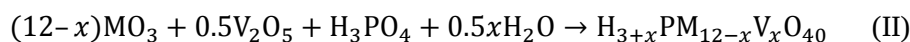
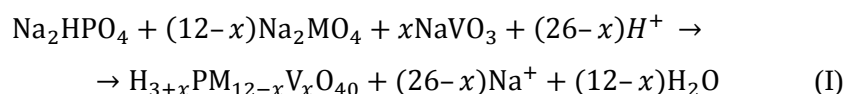


Рисунок – Модель связей α -изомера ГПС структуры Кеггина состава $\{XM_{12}O_{40}\}$

Начиная с момента определения структуры ГПС состава $H_3PW_{12}O_{40} \cdot 5H_2O$ с использованием метода рентгеноструктурного анализа, осуществленного *Джеймсом Кеггиным* в 1933 году, многочисленные работы были опубликованы по оптимизации процессов получения подобных соединений. На сегодняшний день методы получения V-ГПС можно разделить на синтез из солей структурообразующих элементов М (I) и на методы, основанные на гидротермальной обработке оксидов данных элементов (II):



Подобные подходы наиболее эффективны только при получении растворов ГПС с низким содержанием ванадия, при этом первый метод требует дополнительного введения посторонних минеральных кислот, а также обработки диэтиловым эфиром для получения V-ГПС в свободной протонной форме.

Расширение сферы применения V-ГПС и их растворов требует перехода на безотходные, безопасные и легкодоступные способы их синтеза. Результаты проведенной работы обеспечивают экологичную стратегию интеркаляции атомов ванадия в структуру полиоксоанионов Кеггина с получением востребованных смешанных V-ГПС Si-W-V, P-W-V и P-Mo-V составов, основанную на замене Na-содержащего предшественника ванадия(V) ($NaVO_3$) на свободный от посторонних ионов раствор $H_6V_{10}O_{28}$. Последующая модификация подобных соединений путем замены внешнесферного катиона ($H^+ \rightarrow Cs^+$, nBu_4N^+) приводит к эффективному маршруту их гетерогенизации, что упрощает отделение катализатора от реакционной смеси и расширяет области практического применения подобных соединений.

Литература

- [1] Polyoxometalate@Metal–Organic Framework Composites as Effective Photocatalysts / Y. Liu, C. Tang, M. Cheng, M. Chen, S. Chen., L. Lei., Y. Chen., H. Yi., Y. Fu., L. Li // ACS Catalysis. 2021. V. 11. № 21. P. 13374–13396.
- [2] Gumerova N., Rompel A. Synthesis, structures and applications of electron-rich polyoxometalates // Nature Reviews Chemistry 2. 2018. ID 0112.
- [3] Heteropolyacids for fuel cell applications / Kourasi M., Wills R. G. A., Shah A. A., Walsh F. C. // Electrochimica Acta. 2014. V. 127. P. 454–466.
- [4] Oxidative aromatization of Hantzsch 1,4-dihydropyridines in the presence of mixed-addenda vanadomolybdophosphate heteropolyacid, $H_6PMo_9V_3O_{40}$ / Heravi M. M., Derikvand F., Hassan-Pour S., Bakhtiari K., Bamoharram F. F., Oskooie H. A. // Bioorg. Med. Chem. Lett. 2007. V. 17. № 12. P. 3305–3309.
- [5] One-Pot Synthesis of Formic Acid via Hydrolysis–Oxidation of Potato Starch in the Presence of Cesium Salts of Heteropoly Acid Catalysts / Gromov N. V., Medvedeva T. B., Rodikova Y. A., Babushkin D. E., Panchenko V. N., Timofeeva M. N., Zhizhina E. G., Taran O. P., Parmon V. N. // RSC Advances. 2020. V. 10. № 48. P. 28856–28864.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект FWUR-2024-0035).

СОНОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОБАЛЬТ-ЖЕЛЕЗНОГО СЛОИСТОГО ДВОЙНОГО ГИДРОКСИДА

Аликеева А. Е.¹, Берикболкызы К.², Кудайбергенов Н. Ж.³

¹докторант 1-го курса факультета химии и химической технологии Казахского Национального университета имени аль-Фараби

²магистрант 1-курса факультета химии и химической технологии Казахского Национального университета имени аль-Фараби

³ассоциированный профессор кафедры физической химии, катализа и нефтехимии Казахского Национального университета имени аль-Фараби
alu.alikeyeva@mail.ru

В последние годы остатки устойчивых органических загрязнителей в водной среде вызывают повышенный интерес, поскольку их негативное воздействие сказывается как на состоянии экосистем, так и на здоровье людей [1]. Одним из таких веществ является левофлоксацин – антибиотик группы фторхинолонов, обладающий высокой растворимостью в воде и устойчивостью к биodeградации, что затрудняет его удаление традиционными методами водоочистки [2,3].

Целью данной работы является разработка эффективной каталитической системы на основе кобальт-железного слоистого двойного гидроксида (CoFe LDH) для активации пероксидисульфата под действием ультразвука с целью разложения левофлоксацина в водной среде.

CoFe LDH был синтезирован методом соосаждения и охарактеризован с использованием рентгеновской дифракции (XRD), просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии (TEM, SEM), спектроскопии диффузного отражения (DRS), рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (XPS) и метода БЭТ.

Анализ подтвердил наличие характерной слоистой структуры, удельную поверхность 86,49 м²/г и ширину запрещенной зоны 2,39 эВ. Наиболее высокая эффективность деградации левофлоксацина (97,3%) была достигнута спустя 120 минут при оптимизированных условиях – 0,4 ммоль/л ПДС, 0,5 г/л CoFe LDH и pH 6. Установлено, что важную роль в процессе играют активные частицы, такие как сульфатные и гидроксильные радикалы, синглетный кислород, а также образующиеся h⁺ дыры. На основе идентифицированных промежуточных продуктов деградации предложен возможный механизм разрушения левофлоксацина.

Разработанная система продемонстрировала высокую эффективность и в отношении других распространенных антибиотиков: окситетрациклина, цефиксима и тильмикозина, деградация которых составила 100%. Катализатор сохранил свою стабильность и активность после пяти последовательных циклов использования.

Таким образом, полученные результаты подтверждают эффективность использования системы на основе CoFe LDH для очистки водных сред от фармацевтических загрязнителей, что является важным вкладом в развитие устойчивых экологических технологий водоочистки.

Литература

- 1 Yu T., Chen H., Hu T., Feng J., Xing W., Tang L., Tang W. Recent advances in the applications of encapsulated transition-metal nanoparticles in advanced oxidation processes for degradation of organic pollutants: A critical review // *Applied Catalysis B: Environmental*. – 2024. – Vol. 342. – P. 123401.
- 2 Guo W., Shi Y., Wang H., Yang H., Zhang G. Intensification of sonochemical degradation of antibiotics levofloxacin using carbon tetrachloride // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2010. – Vol. 17, Is. 4. – P. 680–684.
- 3 Xiong J.-Q., Kurade M.B., Patil D. V., Jang M., Paeng K.-J., Jeon B.-H. Biodegradation and metabolic fate of levofloxacin via a freshwater green alga, *Scenedesmus obliquus* in synthetic saline wastewater // *Algal Research*. – 2017. – Vol. 25. – P. 54–61.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ C12A7 ФАЗ И ИХ КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ В РЕАКЦИИ РАЗЛОЖЕНИЯ АММИАКА

Капишников А. В., Шуваракова Е. И., Бедило А. Ф., Володин А. М.

*Институт катализа СО РАН им. Г.К. Борескова, г. Новосибирск, Россия
avl97@mail.ru*

Алюминат кальция Ca₁₂Al₁₄O₃₃ (12CaO×7Al₂O₃ или C12A7), также известный как майенит, является весьма перспективным материалом для использования в области катализа и микроэлектроники. Его кубическая кристаллографическая ячейка состоит из катионного каркаса [Ca₂₄Al₂₈O₆₄]⁴⁺ и анионной подрешетки, в состав которой могут входить различные анионы. Состав такой фазы может быть описан формулой: 1 ячейка = [Ca₂₄Al₂₈O₆₄]⁴⁺•4X[–], где в качестве 4X[–] могут выступать либо 4 однозарядных аниона (OH[–], Cl[–], F[–]), либо 2 двухзарядных аниона [O^{2–}, S^{2–}], либо какие-то их комбинации, способствующие стабилизации структуры. Благодаря таким особенностям своей кристаллической структуры, он может

удерживать в своей структуре, помимо анионов кислорода O^{2-} , различные виды других анионов (H^- , OH^- , Cl^- , S^{2-}), анион-радикалы (O_2^{2-} , O_2^- , O^-) и даже электроны e^- , за счёт чего, фактически, способен формировать разные фазовые состояния, отличающиеся по составу и свойствам [1]. Исследовательской группой Хосоно было показано, что C12A7 с электронами в структуре (фактически, неорганический электрид C12A7: e^-) может быть использован как материал для OLED с низкой работой выхода электронов ($\Delta WF \sim 2.1-2.4$ eV) или материал для транзисторов, обладающий возможностью резистивного переключения [1]. Именно открытие возможности формирования состояния электрида в этой Ca-Al системе стимулировало развитие исследований, связанных с этим материалом, поиском новых классов неорганических электридов и существенным расширением возможных областей использования таких материалов. Способность заключать в себя различные анионы позволяет использовать данное соединение для катализаторов различных реакций, например, реакции разложения NH_3 (Ru-C12A7: e^- катализаторы) [2]. Катионный каркас структуры данного оксида стабилизируется за счёт алюминатного каркаса и демонстрирует некоторую вариацию состава в подрешётке кальция, характерную для структур типа нестехиометрических гранатов, что позволяет также производить допирование катионами сторонних элементов и дополнительно варьировать свойства [3]. Это позволяет создавать люминесцентные материалы [3], а также потенциально сформировать каталитические системы с различными типами активных центров. C12A7 может обладать большой площадью поверхности и наличием различных донорно-акцепторных центров на ней [4], что делает его перспективным в качестве носителя нанесённых катализаторов, распределение активного компонента которых будет определяться данными поверхностными центрами. Стоит подчеркнуть, что эффективность использования этого материала в каталитических технологиях в существенной степени зависит от возможности создания систем с развитой удельной поверхностью и определённым фазовым составом. На данный момент, разработка методов синтеза высокодисперсных фаз на основе C12A7 определённого состава является актуальной задачей в области исследований данного материала.

В рамках данного доклада рассматриваются закономерности формирования дисперсных C12A7 фаз определённого состава путём оригинальной методики синтеза так называемых «core-shell» («ядро-оболочка») C12A7@C структур, где в качестве ядра выступают частицы оксида C12A7, а оболочкой служит углеродное покрытие, толщиной от 2 до 50 нм. Исследование влияния температуры получения C12A7@C «core-shell» структур показало, что особенности структуры и дисперсность, определяемые состоянием исходных покрываемых оболочкой частиц, сохраняются после нанесения углерода. Однако последующая температурная обработка сформированных композитов может приводить к твёрдофазным реакциям алюминатов кальция и существенным изменениям в фазовом составе, причём наблюдается сохранение повышенной величины удельной поверхности, в сравнении с оксидными материалами без нанесения углерода. Обнаружены различия в структурной организации углеродного покрытия при нанесении углерода на майенит различными способами, что было показано дифракционными, микроскопическими и спектроскопическими методами. В случае, когда углеродное покрытие формируется из расплава ПВС, для него характерны неоднородность и более разупорядоченная кристаллическая структура,

в сравнении с оболочкой, наносимой разложением С-прекурсоров в газовой фазе посредством CVD процесса, где наблюдаются относительно тонкие равномерные покрытия. Отмечены морфологические особенности композитов, получаемых посредством различных процессов: в случае осаждения из газовой фазы для ряда органических прекурсоров наблюдается активный рост висцероподобных C12A7@C структур (рисунок).

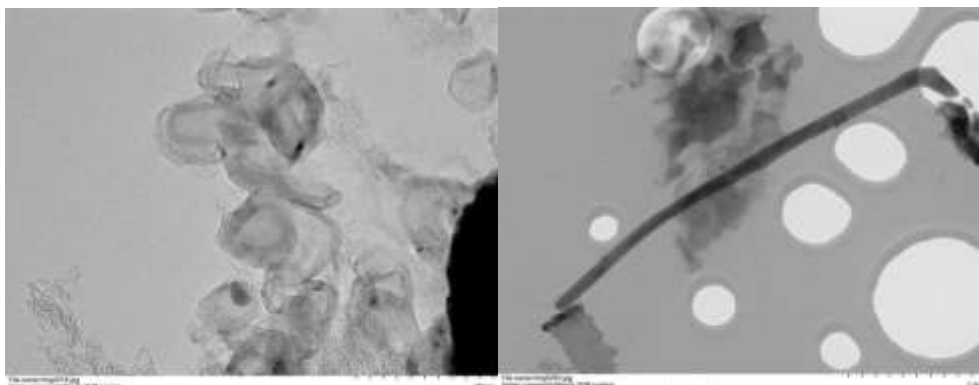


Рисунок – Изображения ПЭМ морфологии C12A7@C композитов, с образованием глобулярных, при нанесении углерода из расплава ПВС (слева), и висцероподобных, при нанесении из газовой фазы (справа), структур

Также, в работе показана возможность удаления углеродного покрытия посредством отжига в кислородсодержащей атмосфере в сравнительно мягких (600 °С) температурных условиях, с сохранением фазового состава и величины удельной поверхности исходного материала, изначально полученного в более жёстких условиях (1300-1400 °С) при прокаливании C12A7@C структур. При этом, существенное значение при отжиге имеет природа углеродной оболочки: подобный способ оптимизации удельной поверхности осуществим, если углеродное покрытие наносилось посредством CVD процесса, в то время как отжиг композитов, полученных в расплаве PVA, не приводит к повторному увеличению удельной поверхности и объёма пор, что может говорить о различном характере распределения углерода в поровом пространстве C12A7 материала. Получены данные о каталитической активности для ряда C12A7/Ru-C12A7 катализаторов, полученных на основе дисперсных C12A7/C12A7@C систем. Продемонстрирована высокая удельная каталитическая активность Ru-C12A7 катализаторов, полученных на основе дисперсных C12A7 систем, в сравнении с литературными данными для ряда никелевых нанесённых катализаторов. Обсуждается роль формирования в этих системах гидридов C12A7:H⁻ и электридов C12A7:e⁻ в реакции разложения аммиака.

Литература

1. Kim S. W., Hosono H. Synthesis and properties of 12CaO· 7Al₂O₃ electride: review of single crystal and thin film growth //Philosophical Magazine. – 2012. – Т. 92. – №. 19-21. – С. 2596-2628.

2. Hayashi F. et al. Ammonia decomposition by ruthenium nanoparticles loaded on inorganic electride C12A7: e⁻ //Chemical Science. – 2013. – Т. 4. – №. 8. – С. 3124-3130.
3. Salasin J. R., Rawn C. Structure property relationships and cationic doping in [Ca₂₄Al₂₈O₆₄] 4+ framework: a review //Crystals. – 2017. – Т. 7. – №. 5. – С. 143.
4. Kapishnikov A. V. et al. Mayenite synthesis from hydroxide precursors: Structure formation and active sites on its surface //Materials. – 2022. – Т. 15. – №. 3. – С. 778.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 25-23-00455).

СИНТЕЗ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ТЕТРАГИДРОПИРИМИДИН-2(1H)-ОНА НА ОСНОВЕ РЕАКЦИИ 1-(3,3-ДИЭТОКСИ-ПРОПИЛ)МОЧЕВИН С С-НУКЛЕОФИЛАМИ

**Алайдар А. М.¹, Смолобочкин А. В.², Аппазов Н. О.³,
Газизов А. С.², Бурилов А. Р.², Пудовик М. А.²**

¹*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Республика Казахстан,
050038 Алматы, пр. аль-Фараби, 71.*

²*Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ Казанский научный
центр РАН, Российская Федерация, 420088 Казань, ул. Академика Арбузова, 8.*

³*Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Республика Казахстан,
120014 Кызылорда, ул. Айтеке би, 29А.*

*Науч. рук.: профессор-исследователь, к.х.н. Аппазов Н.О., к.х.н. Смолобочкин А.В.
e-mail: ali.alaidar@mail.ru*

Злокачественные новообразования – одна из основных причин смертности населения в мире. По оценке ВОЗ, злокачественные опухоли в 2018 году стали причиной смерти у 9.6 млн. человек по всему миру. Онкологические заболевания занимают второе место среди причин смерти, уступая лишь сердечно-сосудистым заболеваниям. В связи с этим в последние годы наблюдается рост исследований направленных на поиск новых малотоксичных противоопухолевых препаратов. Это обуславливает с нашей стороны поиск и развитие методов синтеза структур, способных бороться с этой болезнью.

Перспективными, с точки зрения противоопухолевой активности, являются производные тетрагидропиримидин-2(1H)-она, известны своей фармакологической активностью [1]. Производные тетрагидропиримидин-2(1H)-она входят в состав лекарств, таких как Лопинавир, используемого для лечения ВИЧ-инфекции [2]. Имеются данные о способности соединений этого класса проявлять антиоксидантную [3], антимикробную [4] активности. Весьма примечательно, что тетрагидропиримидиноны проявляют высокую противораковую активность [5].

В докладе будет представлен метод синтеза производных тетрагидропиримидин-2(1H)-она на основе кислотно-катализируемой реакции 1-(3,3-диэтоксипропил)мочевин с ароматическими и гетероциклическими нуклеофилами (Схема). К преимуществам предложенного метода можно отнести высокий выход целевых соединений, мягкие условия реакции и отсутствие необходимости использования дорогостоящих реактивов и катализаторов.

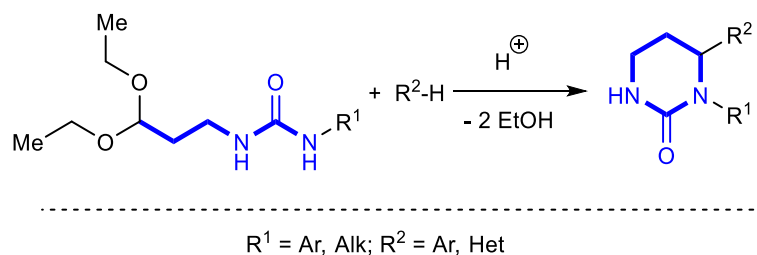


Схема – Синтез производных тетрагидропиримидин-2(1H)-она

Литература

- [1] Смолобочкин, А.В. Успехи в синтезе гетероциклов содержащих эндоциклический мочевиный фрагмент / А.В. Смолобочкин, А.С. Газизов, А.П. Бурилов, М.А. Пудовик, О.Г. Сияшин // Успехи химии. - 2021. - V.90, № 3. - P.395–417.
- [2] Shuter, J. Lopinavir/Ritonavir in the treatment of HIV-1 infection: A Review / J. Shuter // Therapeutics and clinical risk management. - 2008. - V. Volume 4. - P.1023–1033.
- [3] Jančić, A.M. Ferrocene-containing tetrahydropyrimidin-2(1H)-ones: antioxidant and antimicrobial activity / A.M. Jančić, J.S. Katanić Stanković, N. Srećković, V. Mihailović, D.I. Komatina, D. Stevanović // Journal of organometallic chemistry. - 2022. - V.967. - P.122335.
- [4] Ma, X.-Y. Concise and efficient syntheses of methyl 4-(1-methylpyrrolidin-2-yl)-3-oxobutanoate and hygrine / X.-Y. Ma, J.-P. Huang, J. Yang, X. Liu, X. Hu, S.-X. Huang // Canadian Journal of Chemistry. - 2020. - V.98, № 4. - P.191–193.
- [5] Subramanian, S. Identification of N-arylsulfonylpyrimidones as anticancer agents / S. Subramanian, P.R. Boggu, J. Yun, S.-H. Jung // Archives of Pharmacal Research. - 2018. - V.41, № 3. - P.251–258.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИУРЕТАНОВОГО ЭЛАСТОМЕРА, МОДИФИЦИРОВАННОГО LiBF₄ В КАЧЕСТВЕ ТВЕРДОГО ЭЛЕКТРОЛИТА ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

Федоров Н. А., Подгорнова О. А., Уваров Н. Ф.

*Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090, e-mail: f-nikita08@mail.ru*

За последние несколько десятилетий большое внимание уделяется разработке новых полимерных электролитов в качестве перспективных материалов для применения в электрохимических системах. Наиболее перспективными накопителями электроэнергии считаются аккумуляторы. Однако они не выдерживают сильных флуктуаций тока, поэтому в системах с неравномерным электропотреблением наряду с аккумуляторами целесообразно использовать суперконденсаторы.

Суперконденсаторы, представляют собой быстро перезаряжаемые накопители энергии. Они подразделяются на двойнослойные конденсаторы (ДСК), основанные на перезарядке двойного электрического слоя (ДЭС); псевдоконденсаторы (ПсК) и гибридные конденсаторы (ГК). Хотя возможности СК определяется электродным материалом, для работы устройства электролит играет не менее важную роль.

Кроме того, в последние годы особое внимание уделяется гибким электрохимическим системам, характеризующимся устойчивостью к деформациям устройств.

В большинстве работ в качестве электролита используются водные растворы кислот, щелочей и солей так же в литературе имеются сведения о применении в суперконденсаторах полимерных электролитов на основе полиэтиленоксида, полиакрилонитрила и т. д.

В настоящей работе представлены результаты исследований суперконденсатора с углеродными высокопористыми электродами и твердым полимерным электролитом на основе полиуретанового эластомера. Как было показано нами ранее [1], после набухания полиуретанового эластомера в органическом растворе соли лития полимерный электролит обладает ионной проводимостью 3×10^{-4} См/см, что достаточно для его использования в качестве электролита в СК.

Исследования проводили в двухэлектродной симметричной ячейке. В качестве электродного материала использовали смесь высокопористого углерода марки Norit 650 с удельной поверхностью $550 \text{ м}^2/\text{г}$ и максена Ti_3C_2 , полученного выщелачиванием алюминия из МАХ-фазы Ti_3AlC_2 в растворе смеси соляной кислоты и фторида аммония. Электрохимические измерения проводили методами циклической вольтамперометрии при скорости изменения потенциала в диапазоне $5 \dots 50 \text{ мВ/с}$ и гальваностатического заряда-разряда при значении тока $0.3\text{--}1 \text{ мА}$ с помощью потенциостата Elins-P30SM. Полученные результаты представлены на рисунке.

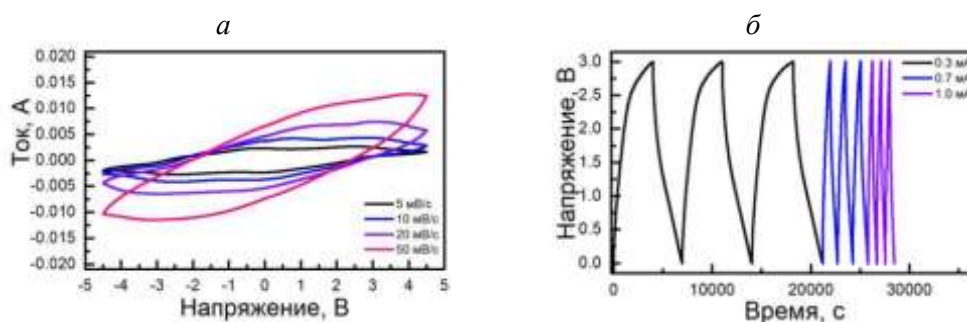


Рисунок – Циклические вольтаммограммы (а) и кривые гальваностатического заряда-разряда, полученные при различных значениях тока (б) для исследуемой симметричной ячейки

Методами циклической вольтамперометрии и гальваностатического заряда-разряда определены значения общей удельной емкости электродного материала в контакте с полимерным электролитом, которые составляют 45 Ф/г при скорости развертки напряжения 5 мВ/с (метод ЦВА) и 39 Ф/г при значении тока $0,3 \text{ мА}$ (метод гальваностатического заряда-разряда). Близкие значения получены при использовании аналогичных электродных материалов в ячейке с жидкими электролитами.

Таким образом, в работе показано, что твердый полимерный электролит на основе полиуретанового эластомера может быть использован в СК, обладающих гибкостью и устойчивых к деформации.

Литература

[1] Fedorov N., Ulihin A., Uvarov N. Synthesis and properties of polymer electrolytes based on polyurethane elastomer and lithium salts // Chemical Techno Acta. 2023. Vol. 10, No. 3. Art. 202310311.

УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДЕШЕВЫХ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ КАЗАХСТАНСКОГО КАОЛИНА ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПЕРЕВЯЗОЧНЫХ СРЕДСТВ

Бакыт Р., Оспанова А. К.

*Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан
burengmoters@gmail.com*

Научный руководитель: д.х.н., профессор Оспанова А.К.

Современные исследования, анализируя физико-химические и химико-биологические свойства глиняных минералов, выявили их перспективные прикладные возможности. На сегодняшний день в мире примерно 5% исследованных глин обладают антимикробной активностью [1] и могут быть использованы в качестве фармацевтически подходящих носителей для лекарственных композитов [2-3]. В данной работе предлагается бактерицидный композит на основе каолина, модифицированного биоактивными агентами – хитозаном и триклозаном. Композит обладает выраженными ингибирующими свойствами и может быть использован для профилактики и лечения инфекционных заболеваний.

Для получения композита каолин предварительно обрабатывался раствором 0,05 М соляной кислоты при температуре 37 °С, а затем подвергался ультразвуковой обработке. Очищенный и высушенный каолин пропитывался растворами хитозана и триклозана (0,01 М), после чего высушивался до полного удаления растворителя.

Структурные изменения композитов **КАО_н/СНІ/TCS** и **КАО_м/СНІ/TCS** были исследованы методами элементного анализа, сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и инфракрасной спектроскопии (ИР). Сравнительный анализ снимков СЭМ исходных соединений и продуктов их взаимодействия показал, что присутствие хитозана и триклозана существенно изменил морфологию каолина. Это характеризуются появлением шероховатостей и изменением листового строения природного каолинита и изменением удельной поверхности. Интеркаляция хитозана и триклозана в состав композитов **КАО_н/СНІ/TCS** и **КАО_м/СНІ/TCS** подтверждается появлением характерных полос: а) смещение полосы при **1630 см⁻¹**, что связано с появлением колебания связей –NH₂, характерные для хитозана; б) полоса при **1474 см⁻¹**, связанная с присутствием триклозана, указывающая на наличие его ароматического кольца; в) полоса при **2922 см⁻¹** соответствует колебанию С-Н, относящиеся к структуре хитозана и триклозана.

Таким образом, СЭМ-анализ выявил значительные изменения в морфологии композитов на основе каолина, хитозана и триклозана, что свидетельствует о

формировании агломератов и улучшении однородности структуры после модификации. ИК-спектроскопия показала явные изменения в спектре модифицированного каолина, что подтверждает химические изменения на его поверхности и интеркаляцию хитозана и триклозана.

Антибактериальная активность композита была проверена на следующих референтных штаммах: *Escherichia coli* ATCC 8739 (диаметр зоны ингибирования – 26 мм), *Klebsiella pneumoniae* ATCC 10031 (30 мм) и *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228 (45 мм). Полученные данные показали эффективность композита против указанных патогенных микроорганизмов.

Полученные антибактериальные композиты на основе модифицированного каолина продемонстрировали ингибирующую активность против наиболее часто встречающихся патогенных микроорганизмов. Этот материал вызывает интерес для применения в медицине, фармацевтике и других областях, где требуются эффективные антимикробные средства.

Работа выполнена в рамках проекта ГФ 2023-2025 гг. “Разработка условий получения гемостатических композитов медико-биологического назначения на основе казахстанского каолина” (AP19678726).

НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНОЙ СЕТКИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ

Доленко В. В.¹, Брестер А. Е.^{1,2}, Жуков В. И.^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

²Институт теплофизики имени С.С. Кутателадзе СО РАН,
630090, Россия, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 1
dolenkovaleria5@yandex.ru

Сегодня средняя тепловая плотность на чипах, используемых в коммерческих компьютерах и других электронных устройствах, составляет примерно 200... 300 Вт/см². В отдельных участках площадью от 100 мкм² до нескольких квадратных миллиметров плотность теплового потока может достигать 1 кВт/см² и более [1].

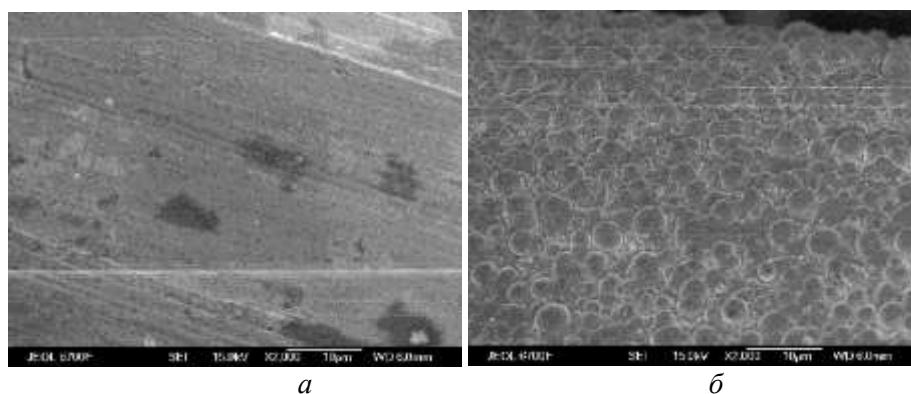
Помимо установки правильной системы охлаждения, большую роль в процессе теплообмена играет его интенсификация. Интенсификация может происходить за счёт изменения структуры поверхности теплообмена, её шероховатости, формы и смачиваемости, вследствие чего увеличивается число центров парообразования, уменьшается работа образования пузырька и увеличивается частота отрыва пузырьков [2].

Цель данной работы заключается в обработке стальной сетки методом электрохимического осаждения для получения наноструктурированной поверхности, впадины которой являются активными центрами парообразования

В качестве исходной поверхности использовалась квадратная стальная сетка mesh 40 размером (15x15) см. Для электрохимического модифицирования поверх-

ности сетки использовалась методика электрохимического латунирования, описанная в работе [3].

Для исходной и модифицированной сетки были получены снимки поверхности при помощи сканирующего электронного микроскопа JEOL 6700F. Микроснимки исходной сетки и после обработки представлены на рисунке. На микроснимках хорошо видно, как изменилась структура поверхности: на модифицированной поверхности наблюдается множество микровпадин. Энергодисперсионный анализ показал, что на поверхности сетки получено покрытие с содержанием меди 86,5%.



Снимки, полученные на сканирующем электронном микроскопе:
a – поверхность исходной сетки; *б* – поверхность сетки после модификации и травления

Анализ размера получившихся впадин был проведен в программе ImageJ, наибольшее число впадин имеет размер в интервале от 400 до 800 нм.

В дальнейшем ожидается использование данной сетки в качестве метода интенсификации теплообмена при кипении диэлектрической жидкости Novec 7100.

Литература

1. Кабов О. А. Испарительное охлаждение микроэлектроники с высоким тепловыделением // Пермские гидродинамические научные чтения : материалы VII всероссийской конференции с международным участием, посвященной памяти профессоров Г. З. Гершуни, Е. М. Жуховицкого и Д. В. Любимова, Пермь, 22–24 октября 2020 года. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020. – С. 14.
2. Дьяконов В. Г., Лончаков О. А. Основы теплопередачи и массообмена : учебное пособие // Казань : изд-во КНИТУ. – 2015. – С. 244.
3. Ямпольский А. М., Ильин В. А. Краткий справочник гальванотехника. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1981 г. – 269 с.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-19-00245).

ОБРАБОТКА ОДНОМЕРНЫХ СТРУКТУР ТРИОКСИДА МОЛИБДЕНА ГИДРОТЕРМАЛЬНЫМ МЕТОДОМ КАК НОВЫЙ СПОСОБ МОДИФИКАЦИИ ИХ ПОВЕРХНОСТИ

Гладышев И. И., Зима Т. М.

*Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН
Новосибирский государственный технический университет*

*Научный руководитель: к.х.н. Зима Т.М.
e-mail: ilya.gladyshev.2018@list.ru*

В последние годы одномерные структуры триоксида молибдена орторомбической модификации (α -MoO₃) активно изучают в качестве анодного материала для перезаряжаемых литий-ионных аккумуляторов, а также других электрохимических устройств по накоплению и хранению энергии [1, 2]. Известно, что наноструктурированный α -MoO₃ имеет множество неординарных свойств. Тем не менее, в процессе многократного литирования/делитирования он может проявлять механическую деградацию из-за объемного расширения, что приводит к сокращению емкости и циклического срока службы анода, особенно при высоких скоростях заряда/разряда. В качестве одного из подходов, направленных на смягчение электрохимической деградации анодного материала и контроля связанной с ней динамики деформации, рассматривают нанесение на поверхность частиц α -MoO₃ ультратонких слоев различных оксидов металлов методом химического осаждения атомных слоев [3, 4].

В настоящей работе сообщается о возможности формирования ультратонких слоев TiO₂ на поверхности одномерных структур α -MoO₃ с помощью гидротермальной обработки материала в водных растворах тетраизопророксида титана (ТИПОТ, Ti[OSn(CH₃)₂]₄) при 180 °С в течение 3 ч. Полученные образцы до и после прокаливания при 550 и 700 °С охарактеризованы с помощью методов рентгенофазового анализа (РФА), сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и элементного энергодисперсионного анализа (ЭДС).

Показано, что положение и интенсивность основных рефлексов высушенного при 80 °С порошка, обработанного в водных растворах тетраизопророксида титана различной концентрации, соответствуют орторомбической модификации MoO₃. После прокаливания при 550 и 700 °С, фазовый состав образцов, обработанных водными растворами ТИПОТ:H₂O = 1:7 и ТИПОТ:H₂O = 1:3, не отличается от исходного материала. В тоже время, на дифрактограмме прокаленного при 550 °С порошка, обработанного в водном растворе ТИПОТ:H₂O = 1:1, наблюдаются рефлексы, соответствующие двум соединениям – α -MoO₃ и TiO₂ (анатаз). Дальнейшее повышение температуры прокаливания таких образцов приводит к образованию однофазного продукта – α -MoO₃. При этом наблюдается существенное увеличение соотношения интенсивностей рефлексов (040) к (021).

По данным сканирующей электронной микроскопии (рис. 1), после гидротермальной обработки α -MoO₃ в водных растворах ТИПОТ:H₂O = 1:7 и ТИПОТ:H₂O = 1:3 с последующим прокаливанием образцов при 550 °С, морфология одномерных структур не меняется (рис. 1 а). При этом ЭДС анализ

показывает, что на поверхности структур содержится около 1.6–1.8 вес.% титана. Прокаливание при 550 °С структур, обработанных водным раствором тетраизопроксидов титана с более высокой концентрацией (ТИПОТ:H₂O = 1:1), приводит к формированию на их поверхности новых образований пластинчатой формы (рис. 1 б). Образующиеся пластины расположены достаточно хаотично по всей поверхности одномерных структур α -MoO₃ и, по данным ЭДС анализа, содержат оба элемента.

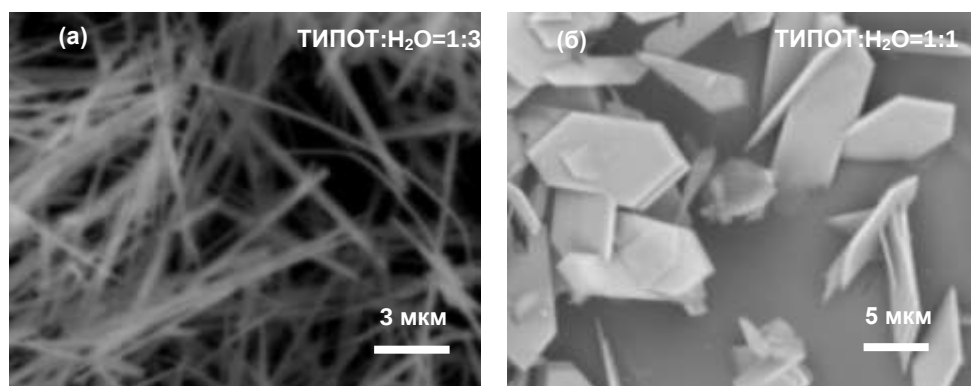


Рисунок 1 – СЭМ изображения структур α -MoO₃ после гидротермальной обработки в водных растворах тетраизопроксидов титана с последующим прокаливанием при 550 °С

Из полученных данных следует, что ультратонкие слои TiO₂ на поверхности одномерных структур α -MoO₃ успешно формируются в результате обработки наноструктурированного материала в водных растворах тетраизопроксидов титана при гидротермальных условиях. Однако для этих целей необходимо использовать растворы реагента с концентрацией, соответствующей отношению ТИПОТ:H₂O ≤ 1:3. В этом случае уплотнения структур не наблюдается, сохраняется их морфология, порошок содержит до 1.8 вес.% титана. Повышение концентрации реагента при гидротермальной обработке приводит к образованию и росту новых пластинчатых структур, направленно кристаллизующихся вдоль поверхности одномерных α -MoO₃ волокон.

Литература

1. Ramana C.V., Mauger A., Julien C.M. Growth, characterization and performance of bulk and nanoengineered molybdenum oxides for electrochemical energy storage and conversion // Prog. Cryst. Growth Charact. Mater. 2021. V. 67. Art. 100533.
2. Huang C., Zhang W., Zheng W. The debut and spreading the landscape for excellent vacancies-promoted electrochemical energy storage of nano-architected molybdenum oxides // Mater. Today Energy. 2022. V. 30. Art. 101154.
3. Schuppert N.D., Mukherjee S., Bates A.M., Son E.-J., Choi M.J., Park S. Ex-situ X-ray diffraction analysis of electrode strain at TiO₂ atomic layer deposition/ α -MoO₃ interface in a novel aqueous potassium ion battery // J. Power Sources. 2016. V. 316. P. 160-169.
4. Cheng X., Li Y., Sang L., Ma J., Shi H., Liu X., Lu J., Zhang Y. Boosting the electrochemical performance of MoO₃ anode for long-life lithium ion batteries: Dominated by an ultrathin TiO₂ passivation layer // Electrochim. Acta. 2018. V. 269. P. 241-249.

DEVELOPMENT OF PHARMACEUTICAL COMPOSITION WITH ANTIBACTERIAL PROPERTIES BASED ON THE SYNERGISTIC ACTIVITY OF CHITOSAN AND CALCIUM CHLORIDE IN THE PRESENCE OF KAOLIN

Makhpirova R. N., Ospanova A. A., Adamova S. R.

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan

Research supervisor: D.Sc., Professor A.K. Ospanova

makhpirova_ramina@live.kaznu.kz

An open wound may result in serious complications, including infection and life-threatening bleeding. The regeneration process itself can take a considerable amount of time, during which the wound remains in continuous contact with various bacteria. Therefore, such injuries require an additional functional component capable of covering the wound and preventing infection [1].

This study presents methods for obtaining and investigating the properties of an antibacterial composition based on kaolin, chitosan, and calcium chloride, which can be used for the prevention and treatment of infectious and burn wounds. The antibacterial activity of the composition is due to the presence of two synergistically active ingredients and one inactive carrier for structural formation. The natural mineral kaolin, combined with the bioactive polyelectrolyte chitosan and calcium chloride, provides effective adsorption and pronounced antibacterial activity against Gram-positive and Gram-negative bacteria through a synergistic effect.

Two grams of kaolin were simultaneously mixed with 50 mL of a 0.01 M chitosan solution and 50 mL of a 0.01 M calcium chloride solution. The mixture was stirred on a magnetic stirrer at 37 °C for 24 hours until a homogeneous dispersion was achieved, followed by ultrasonic treatment for 1 hour. After centrifugation, the solid phase was washed to a neutral pH and dried at room temperature until complete moisture removal.

To impart an analgesic effect to the composition, additional samples with richlocaine were prepared. Richlocaine was introduced by the impregnation method: the prepared dry compositions were treated with a richlocaine solution followed by drying.

The individuality and structure of the obtained composition were confirmed by energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX), scanning electron microscopy (SEM), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), and specific surface area Brunauer–Emmett–Teller analysis (BET).

The biological studies conducted demonstrated that the composition exhibits pronounced antibacterial activity against reference strains *Escherichia coli* ATCC 8739 (inhibition zone up to 12.0 mm), *Klebsiella pneumoniae* ATCC 10031 (up to 20 mm), and *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228 (up to 24.7 mm).

The results of the hemolysis test using the agar well diffusion method showed no visible hemolysis. In vitro testing revealed that the degree of hemolysis was 4.93% for a sample mass of 0.1 mg.

The protein thermal denaturation inhibition rates of 70.3% and 69.25% indicate good anti-inflammatory activity of the investigated samples, confirming their potential for further application in the therapy of inflammatory conditions.

References

1. MacLeod J. B. A. et al. Early coagulopathy predicts mortality in trauma //Journal of Trauma and Acute Care Surgery. – 2003. – Т. 55. – №. 1. – С. 39-44.

This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant № AP19678726).

РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СОПОЛИМЕРА ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ С АРАБИНОГАЛАКТАНОМ

Шахтшнейдер Т. П.¹, Михайленко М. А.^{1,2}, Мызь С. А.¹
Антонов И. М.¹, Кузнецова С. А.³

¹ Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск,
e-mail: shah@solid.nsc.ru

² Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск

³ Институт химии и химической технологии СО РАН, Красноярск

Биосовместимость и биорезорбируемость полимолочной кислоты (ПМК) сделали её подходящим материалом для таких применений как системы доставки лекарств, изготовление шовного материала и т.д. Арабиногалактан (АГ), биоразлагаемый, водорастворимый природный полисахарид, выделенный из древесины лиственницы, обладает комплексом уникальных свойств, включая иммуномодулирующую, пребиотическую, гепатопротекторную активность. Получение производных ПМК и АГ представляет интерес для производства новых материалов с полезными свойствами. Целью данной работы было получение сополимера ПМК с АГ с использованием механохимической активации и электронно-лучевой обработки.

Реакционные смеси получали путем совместной обработки смесей АГ - ПМК 1:10 (масс.) с использованием мельницы SPEX-8000 (8-10 g, $d_{\text{шар}} = 0,3$ см, загрузка 1:20). Электронно-лучевую обработку осуществляли с использованием импульсного ускорителя электронов ИЛУ-6 (ИЯФ СО РАН, Россия): энергия - 2,0 МэВ, импульсный ток - 328 мА, частота импульсов - 2 и 10 Гц, скорость перемещения образцов под выходным окном ускорителя 2 и 0,5 см/сек.

Исследование методом гель-проникающей хроматографии показало, что проводимая обработка приводит к появлению водорастворимых высокомолекулярных компонентов с молекулярными массами до 1000 кДа. Кроме того, облучение в жестких условиях приводит к кристаллизации изначально аморфной полимерной композиции, что имеет значение для изменения механических свойств материала.

Таким образом, показана возможность модификации полимолочной кислоты с использованием механохимической активации и электронно-лучевой обработки.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН (проекты 124060500047-1 и 122032900067-4).

ВЛИЯНИЕ НАНЕСЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО ПОКРЫТИЯ НА СВОЙСТВА ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО МАЙЕНИТА

Бондарчик И. И.^{1,2}, Шуваракова Е. И.², Ильина Е. В.², Бедило А. Ф.²

¹Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

²Институт катализа СО РАН им. Г.К. Борескова, г. Новосибирск, Россия
e-mail: bondarchik.2022@stud.nstu.ru

Алюминат кальция с кристаллической структурой майенита состава $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ вызывает большой интерес исследователей ввиду необычных физических и химических свойств. Обычно для синтеза материалов на основе майенита используются методики, включающие прокалку при высоких температурах, что приводит к спеканию и уменьшению удельной поверхности. Целью настоящей работы была модификация нанокристаллического майенита с помощью нанесения на его поверхность углеродного покрытия для повышения термической стабильности.

Ранее был предложен метод получения нанокристаллического майенита по реакции CaO с водной суспензией AlOOH [1]. При этом было установлено, что разложение образующегося при такой методике синтеза двойного гидроксида катоита состава $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$ приводит к образованию майенита и гидроксида кальция уже после прокалки при температуре 300°C . Однако, синтез майенита по такой методике неизбежно приводит к сохранению в получаемом материале примесей оксидов кальция и алюминия.

В этой работе синтез катоита проводили с использованием молярного соотношения $\text{Ca}:\text{Al} = 3:2$, что позволило добиться практически полного превращения реагентов в катоит. При этом после прокалки при 300°C образовавшуюся примесь $\text{Ca}(\text{OH})_2$ отмывали с использованием раствора NH_4NO_3 в смеси этиленгликоля и изопропанола. Это позволило получить нанокристаллический образец с минимальным содержанием примесей в фазе майенита и удельной поверхностью $160\text{ м}^2/\text{г}$ после прокалки при 300°C .

Существенным фактором является то, что в образцах майенита, синтезированных при низких температурах, в качестве анионов подрешетки присутствуют гидроксил-анионы OH^- . При этом их обычно не удается удалить или заместить на другие более активные анионы, которые отвечают за наиболее интересные свойства материалов с фазой майенита, без прокалки при температурах выше 1000°C , приводящей к фазовым превращениям и спеканию. Ранее было показано, что формирование углеродного покрытия на поверхности алюмината кальция способствует повышению устойчивости по отношению к термическим обработкам при высоких температурах [2].

Нами было изучено формирование углеродного покрытия путем нанесения на поверхность отмытого образца майенита резорцина из раствора в изопропаноле. Было приготовлено 3 образца с номинальным содержанием углерода 1, 4 и 20%. Образцы прокаливали при температуре 700 или 900°C в потоке аргона, а затем дополнительно выжигали на воздухе при температуре 600°C для удаления углерода.

Показано, что в образце с максимальным содержанием углерода он полностью заполняет поры (рис. 1а). При этом исчезают поры со средним размером около 20 нм , а удельная поверхность образца достигает $170\text{ м}^2/\text{г}$ (рис. 1б). Этот образец также

показал более высокую удельную поверхность после прокалки при температуре 900 °С. В целом, исследуемый подход перспективен для повышения стабильности образцов майенита при прокалке при высоких температурах, необходимых для формирования активных форм майенита.

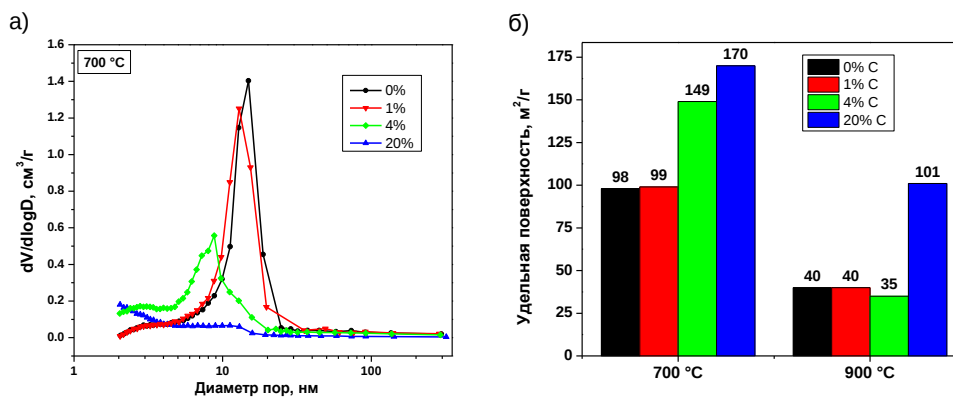


Рисунок 1 – Распределения пор по размерам (а) и удельная поверхность (б) образцов майенита, модифицированных углеродом после активации в потоке аргона

Литература

1. Шуваракова Е.И., Бедило А.Ф., Кенжин Р.М., Ильина Е.В., Герус Ю.Ю. Синтез и исследование высокодисперсных алюминатов кальция и катализаторов на их основе // Химическая физика. – 2022. – Т.41. – № 6. – С. 20-29.
2. Gerus Y.Y., Cherepanova S.V., Ilyina E.V., Shuvarakova E.I., Bedilo A.F., Vedyagin A.A. Interfacial stabilization of calcium aluminate aerogels by carbon shell // Surfaces and Interfaces. 2025. V. 56. 105754.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 25-23-00455).

СИНТЕЗ Mg, Al-СЛОИСТЫХ ДВОЙНЫХ ГИДРОКСИДОВ СООСЖДЕНИЕМ И ГИДРОТЕРМАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

**Коробкин А. В., Петрова Ю. Ю., Севастьянова Е. В.,
Рамазанова З. И., Зайниддинов Б. И.**

Бюджетное учреждение высшего образования ХМАО-Югры «Сургутский
государственный университет», г. Сургут, Россия
korobkin_av@surgu.ru

Разработка буровых растворов с улучшенными характеристиками актуальна при освоении трудноизвлекаемых запасов. Особый интерес представляют системы, минимизирующие техногенное воздействие и сохраняющие коллекторские свойства пластов. Слоистые двойные гидроксиды (СДГ) – перспективные добавки к буровым растворам благодаря высокой сорбционной способности, термостабильности и способности улучшать тиксотропные свойства [1, 2].

В работе проведён синтез Mg, Al-СДГ с соотношением Mg:Al = 2:1, 3:1 и 4:1 двумя методами: соосаждением и гидротермальным синтезом (ГТС). Метод соосаждения прост и масштабируем, но может приводить к аморфным фазам и неравномерному распределению ионов [3]. ГТС обеспечивает получение кристаллически упорядоченных структур, однако требует специального оборудования и времени [4, 5].

ИК-Фурье спектроскопия показала наличие характерных полос: 3700–3300 см⁻¹ (ОН-группы), 1630–1600 см⁻¹ (вода), 1400–1350 см⁻¹ (карбонат-анионы), 800–500 см⁻¹ (металл–кислород). Более выраженные полосы воды указывают на большую межслоевую гидратацию в образцах ГТС. По данным рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), содержание Mg и Al в образцах колеблется в пределах 12,7–23,4% и 29,3–48,9% соответственно. Образцы ГТС содержат повышенное количество Cl⁻, что связано с применением хлоридов в качестве исходных солей. Метод энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС) подтвердил содержание Mg (16,0–19,0%) и Al (25,4–28,4%) в образцах, полученных соосаждением. Методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) выявили рыхлую пористую структуру с пластинчатыми частицами размером 37–200 мкм.

Различия в структурных, морфологических и элементных характеристиках СДГ, полученных методами соосаждения и гидротермального синтеза, обусловлены различной кинетикой кристаллизации и механизмами формирования слоистой структуры в условиях этих процессов. В случае соосаждения, быстрое образование гидроксидных слоёв в щелочной среде при комнатной температуре приводит к формированию менее упорядоченной, преимущественно аморфной или слабо кристаллизованной структуры. Это способствует неравномерному распределению катионов Mg²⁺ и Al³⁺, а также большей степени сорбции посторонних ионов, в том числе фосфатов и карбонатов, из раствора. В случае гидротермального синтеза, условия повышенной температуры и давления, а также использование мочевины, гидролиз которой протекает постепенно, обеспечивают более контролируемый рост кристаллической фазы. Это способствует формированию упорядоченной структуры с узким распределением частиц по размерам и сохранением большей доли межслоевых анионов (в том числе Cl⁻), что отражается в повышенном содержании хлора и более выраженных полосах, соответствующих колебаниям межслоевой воды в ИК-спектрах. Кроме того, высокая температура способствует лучшему включению алюминия в кристаллическую решётку, что подтверждается увеличением его доли в элементном анализе.

Таким образом, различия между двумя типами образцов могут быть объяснены влиянием температуры, скорости осаждения, природы осаждающего агента и степени гидролиза на механизм формирования структуры СДГ.

Литература

1. Yang J. Comb polymer/layered double hydroxide (LDH) composite as an ultrahigh temperature filtration reducer for water-based drilling fluids / J. Yang, R. Wang, J. Sun, [et al] // Applied Surface Science. – 2024. – 645. – 158884.
2. Ghanbari N. Design and preparation the novel polymeric layered double hydroxide nanocomposite (LDH/Polymer) as an efficient and recyclable adsorbent for the removal of methylene blue dye from water / N. Ghanbari, H. Ghafuri // Environmental Technology & Innovation. – 2022. – 26. – 102377.

3. Wijitwongwan R. Preparation of Layered Double Hydroxides toward Precisely Designed Hierarchical Organization / R. Wijitwongwan, S. Intasa-ard, M. Ogawa // *ChemEngineering*. – 2019. – V. 3(3). – 68.
4. Di Michele A. Insight into the synthesis of LDH using the urea method: morphology and intercalated anion control / A. Di Michele, E. Boccalon, F. Costantino, [et al] // *Dalton Transactions*. – 2024. – 53. – 12543-12553.
5. Intasa-ard S. Homogeneous Precipitation of Mg/Al Layered Double Hydroxide from Concentrated Metal Salt Solution under Hydrothermal Conditions / S. Intasa-ard, M. Ogawa // *Journal of solid state chemistry*. – 2023. – 317. – 123664.

COMPOSITE SOLID ELECTROLYTES $\text{LiClO}_4 - \text{Zn}_{0.7}\text{Cu}_{0.3}\text{SnO}_3$

Laptinov A. A.¹, Aparnev A. I.¹, Loginov A. V.^{1,2}, Uvarov N. F.^{1,2}

¹*Department of Chemistry and Chemical Technology, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia*

²*Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Kutateladze Str. 18, Novosibirsk 630090, Russia, horsent2112@gmail.com*

To create medium-temperature solid-state lithium-ion batteries, it is necessary to use solid electrolytes with sufficiently high lithium ion conductivity. It was previously shown that composites based on lithium perchlorate with additives of nanocrystalline oxides of aluminum, magnesium, silicon, nanodiamonds and highly porous organometallic matrices can be used as such electrolytes [1-5].

Lithium perchlorate is characterized by high electrochemical stability, and the resulting nanocomposites have high ionic conductivity. To obtain a composite with high ionic conductivity, additives of highly dispersed stannates obtained by thermolysis of hydroxostannates can be used [6].

In this work, the effect of the addition of nanocrystalline zinc stannate doped with copper of the composition $\text{Zn}_{0.7}\text{Cu}_{0.3}\text{SnO}_3$ on the ionic conductivity of lithium perchlorate was studied. Anhydrous lithium perchlorate was prepared by heating the initial trihydrate in a drying cabinet for 1 hour at a temperature of 130 °C. Zinc stannate doped with copper, synthesized earlier according to the procedure described in [7], was mixed with lithium perchlorate in specified ratios, heated at 90 °C for 1 hour, and tablets were pressed from the obtained powders to measure conductivity. The conductivity of the samples was measured with silver paste electrodes in air in the temperature range of 25-200 °C, the temperature was changed in a stepwise isothermal mode with exposure for 15 minutes at each temperature. The measurements were carried out using an E7-25 immitance meter with alternating current in the frequency range of 30 Hz - 1 MHz, the conductivity values were calculated from the resistance values. Which was determined from the Nyquist graphs $Z'' = f(Z')$.

The temperature dependences of the conductivity of composites and pure nanocrystalline $\text{Zn}_{0.7}\text{Cu}_{0.3}\text{SnO}_3$ are shown in the figure. Stannate without impurities $\text{Zn}_{0.7}\text{Cu}_{0.3}\text{SnO}_3$ exhibits noticeable conductivity only at relatively high temperatures. In the temperature range below 200 °C, the conductivity of the stannate does not exceed 10^{-7} S/cm, purified lithium perchlorate is also a dielectric in this temperature range [1-3]. The introduction of a heterogeneous stannate additive into lithium perchlorate leads to a

sharp increase in salt conductivity to 8.5×10^{-4} S/cm at 175 °C for a composite containing 0.6 mass. % LiClO_4 .

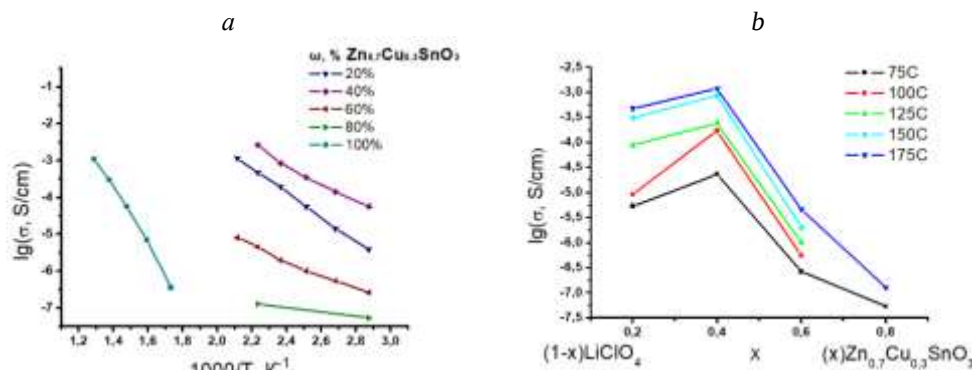


Figure – (a) Dependence of ionic conductivity on temperature of composites with different mass contents of zinc stannate doped with copper (20, 40, 60, 80, 100 %); (b) The dependence of the ionic conductivity of composites on the mass fraction of $\text{Zn}_{0.7}\text{Cu}_{0.3}\text{SnO}_3$ at various temperatures

Thus, highly dispersed zinc stannate doped with copper can be used as a heterogeneous additive for the production of composite solid electrolytes.

References

1. Ulihin A.S., Uvarov N.F., Mateyshina Yu.G., Brezhneva L.I., Matvienko A.A. Composite solid electrolytes $\text{LiClO}_4\text{-Al}_2\text{O}_3$ / *Solid State Ionics*. – 2006. – V. 177. – Iss. 26–32. – P. 2787–2790.
2. Ulihin A.S., Uvarov N.F. Electrochemical properties of composition solid electrolytes $\text{LiClO}_4\text{-MgO}$ / *Russian Journal of Electrochemistry*. – 2009. – V. 45. – № 6. – P. 707–710.
3. Alekseev D.V., Mateyshina Y.G., Uvarov N.F. Transport properties of LiClO_4 -nanodiamond composites / *Journal of Electrochemistry*. – 2021. – V. 57. – iss. 10. – P. 1037–1045.
4. Uvarov N.F., Bokhonov B.B., Ulihin A.S., Sharafutdinov M.R., Kirik S.D. Composite solid electrolytes with mesoporous oxide additives / *ECS Transactions*. – 2010. V. 25. – №. 24. – P. 35–40.
5. Uvarov N.F., Ulihin A.S., Ponomareva V.G., Kovalenko K., Fedin V. Effect of Pore Filling on Properties of Nanocomposites $\text{LiClO}_4\text{-MIL-101(Cr)}$ with High Ionic Conductivity / *Nanomaterials*. – 2022. – V. 12. – P. 3263.
6. Loginov A.V., Mateyshina Y.G., Aparnev A.I., Uvarov N.F. Synthesis of $\text{BaSnO}_3/\text{SnO}_2$ Nanocomposites as Heterogeneous Additive for Composite Solid Electrolytes / *Russian Journal of Applied Chemistry*. – 2018. – V. 91. Iss. 10. pp. 1660–1664.
7. Aparnev A. I., Loginov A. V., Bannov A. G. Synthesis of copper-doped nanocrystalline tin stannate by thermal decomposition of a precursor / *Chimica Techno Acta*. – 2024. – Vol. 11. iss. 4. – Art. 202411405 (6 p.).

This work was partially supported by State task of Ministry of Higher Education and Science of Russian Federation (code no. FSUN-2023-0008).

СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ БИТУМОВ (ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ)

Теллер Е. В., Петрова Ю. Ю.

Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

E-mail: teller_ev@surgu.ru

Научный руководитель: д.х.н., доцент, М.А. Гавриленко

В последние годы значительное внимание исследователей привлекают разработки в области создания сорбционных материалов на основе углеродных наноматериалов, синтезированных из нефтепроизводственных отходов. Совместно с Томским политехническим университетом были получены углеродные наночастицы (УНЧ) с применением электродуговой плазменной технологии для переработки нефтяных остатков [1].

ξ -потенциал и гидродинамический диаметр (D_r) углеродных наночастиц были измерены на анализаторе частиц (Litesizer 500, Anton Paar) после адсорбции индикаторов с целью исследования модификации их поверхностных свойств. Для этого использовались индикаторы с различными значениями кислотной силы (pK_a), представленные в таблице.

Используемые индикаторы

Индикатор	pK_a	Индикатор	pK_a
<i>o</i> -нитроанилин	-0,29	<i>n</i> -нитрофенол	7,15
Кристаллический фиолетовый	0,8	Бромтимоловый синий	7,3
Бриллиантовый зеленый	1,3	Феноловый красный	8
Фуксин основание	2,1	<i>m</i> -нитрофенол	8,4
Метилловый оранжевый	3,5	Тимоловый синий	8,8
Бромфеноловый синий	4,1	Пирокатехин	9,45
Бромкрезоловый зеленый	4,7	Нильский синий	10,5
Метилловый красный	5	Тропеолин 0	11,9
Хризоидин	5,5	Индигокармин	12,8
Бромкрезоловый пурпурный	6,4		

Трифенилметановые красители, являясь основными индикаторами, адсорбируясь на отрицательно заряженных УНЧ приводят к частичной или полной нейтрализации заряда, что снижает абсолютное значение ξ –потенциала (рис.). В диапазоне от 0,8 до 2,1 pK_a , произошла перезарядка поверхности НЧ, при этом максимальный положительный ξ -потенциал (45,2 мВ) отмечен для кристаллического фиолетового.

Сульфотфалеиновые индикаторы и азоиндикаторы, содержащие сульфогруппы (метилоранжевый, тропеолин 0), стабилизируют УНЧ, увеличивая их отрицательный заряд от -30 до -40 мВ.

Нитрофенолы оказывают слабое влияние из-за отсутствия сильных зарядов и проявление преимущественно электроноакцепторные, а не хелатирующие свойства из-за наличия нитрогруппы ($-\text{NO}_3^-$).

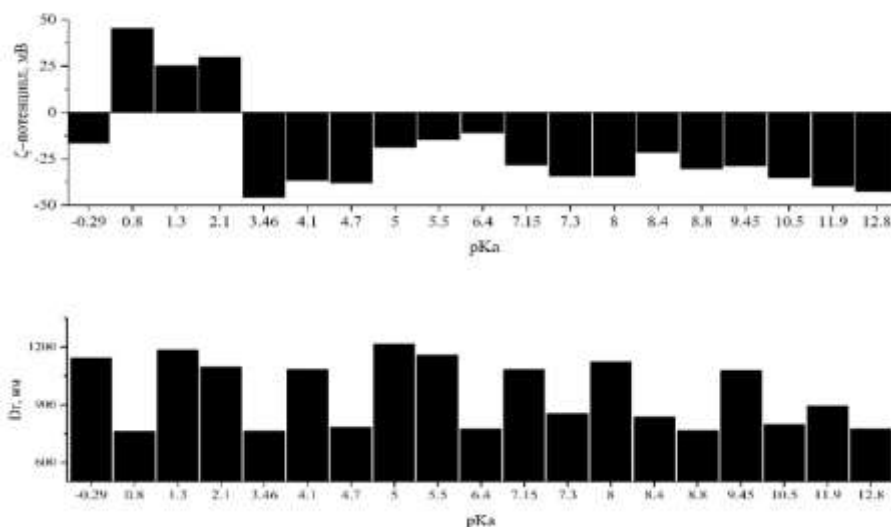


Рисунок – Влияние адсорбции индикаторов с различными значениями pKa на ζ -потенциал и D_T

Исследование подтвердило высокий потенциал углеродных наноматериалов, полученных из тяжелых нефтяных остатков, в качестве сорбентов. Наибольшая стабильность наблюдалась в ряду

Сульфотфалеины > Азоиндикаторы (сульфогруппы) > Трифенилметаны >
> Нитрофенольные индикаторы,

что подтверждается значениями ζ -потенциала.

Литература

1. Пак А. Я. Получение углеродных графитоподобных наноматериалов при переработке отходов на основе асфальтенов / Пак А.Я., Поваляев П.В., Францина Е.В., Гринько А.А. и др. // Известия ТПУ. – 2022. – № 12. – С. 26.

FUNCTIONAL PROPERTIES OF SPIN TRAPPING AGENTS FOR ENHANCED DETECTION OF SINGLET OXYGEN IN PHOTODYNAMIC THERAPY APPLICATIONS

Dementev S. A.^{1,2}, Podarov R. A.^{1,2}, Sannikova N. E.^{1,2}, Zaitsev K. V.^{1,2},
Polienko Y. F.³, Kirilyuk I. A.³, Krumkacheva O. A.^{1,2}

¹*International Tomography Center, Russia, dementev.epr@gmail.com*

²*Novosibirsk State University, Russia*

³*N.N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry, Russia*

Photodynamic therapy (PDT) is a clinically promising cancer treatment that relies on photosensitizers (PS) reacting with triplet oxygen and generating reactive oxygen species (ROS) upon light activation, leading to targeted cell death. [1] Among ROS, singlet oxygen ($^1\text{O}_2$) is recognized as the primary cytotoxic agent responsible for therapeutic efficacy in tumors with a regular oxygen supply. The advancement of PDT technology critically depends on identifying and characterizing new PSs with high ROS generation efficiency.

Accurate evaluation of $^1\text{O}_2$ production is essential for the development and optimization of PSs. The spin trapping (ST) technique combined with electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy is a powerful approach for detecting $^1\text{O}_2$. In this method, a diamagnetic ST reacts with $^1\text{O}_2$ to form a stable paramagnetic radical detectable by EPR, enabling quantitative and selective measurement of $^1\text{O}_2$. However, most contemporary $^1\text{O}_2$ STs often exhibit an undesired pH increase, which can induce side reactions [2], including radical degradation and aggregation of PS molecules like cationic saporphyryns. Additionally, the strong alkalinity of these compounds obstructs $^1\text{O}_2$ capturing at physiological conditions. These issues hinder the reliable assessment of PS performance in biologically relevant environments.

This study presents the evaluation of both established and novel STs. The novel STs feature a trimethylammonium substituent at the 4-position of the piperidine ring, designed for enhanced solubility and efficiency at physiological pH. Their pKa values were measured via NMR. Then, using the model PS meso-5,10,15,20-tetrakis(N-methylpyridyl-4')porphyrin in a 10 mM PBS buffer solution, the steady-state photolysis experiments at different pH levels were conducted to determine their efficiency. Control experiments with sodium azide confirmed the high selectivity of these STs for $^1\text{O}_2$. The improved functional properties of these STs enable more precise and reliable ROS measurement, facilitating the screening and development of effective PS for PDT.

Our findings contribute to the technological advancement of PDT by providing robust tools for singlet detection under physiological conditions, supporting the engineering of next-generation PSs with optimized therapeutic performance.

References

- [1] Jiang W. et al. The current status of photodynamic therapy in cancer treatment // *Cancers*. – 2023. – V. 15. – №. 3. – P. 585.
- [2] Victória H. F. V. [et al.] Detection of singlet oxygen by EPR: The instability of the nitroxyl radicals // *Free Radic. Biol. Med.* – 2022. – V. 180. P. – 143-152.

ENHANCED TRIPLET EXCITON GENERATION IN FULLERENE-BASED SYSTEMS VIA SINGLET FISSION FOR ADVANCED APPLICATIONS

**Podarov R. A.^{1,2}, Kolokolov M. I.^{1,2}, Dementev S. A.^{1,2}, Zaitsev K. V.^{1,2},
Tretyakov E. V.³, Fedin M. V.^{1,2}, Krumkacheva O. A.^{1,2}**

¹*International Tomography Center, Russia*

²*Novosibirsk State University, Russia*

³*N.D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry, Russia*
r.podarov@yandex.ru

In this work, we introduce for the first time a singlet fission process in the fullerene-based symmetrical spin system material (bisfullerene) and determinations of the dipole coupling in a covalent dimer whose triplet state is formed by singlet fission with a dipolar electron paramagnetic resonance (EPR) method for estimating distances/dipolar coupling in photoexcited spin pairs. A major focus of current research in photovoltaics is the application of symmetrically configured spin systems to improve the efficiency of converting solar energy into electricity. While the theoretical efficiency limit of conventional solar cells remains capped at 34%, while practical efficiency that is massively available is even lower, the integration of singlet fission mechanisms into paired spin systems offers a way to increase this efficiency to 44% [1]. Central to this progress is the generation of two triplet excitons from a single high-energy singlet state, a process that differs fundamentally from the classical single-exciton generation model. However, this approach faces challenges due to intersystem crossing (ISC), a phenomenon that induces non-radiative energy losses and reduces overall device performance. Innovative photovoltaic architectures integrating singlet fission materials with low-bandgap semiconductors—such as silicon, the cornerstone of modern solar technology—demonstrate potential to surpass the Shockley-Queisser efficiency barrier. This hybrid strategy leverages dual photon-conversion pathways: high-energy photons generate triplet excitons via singlet fission in specialized materials, while low-energy photons are harvested by silicon. By coupling these mechanisms, the combined photocurrent exceeds conventional limits, as the singlet fission layer acts as a spectral upconverter, effectively splitting high-energy photons into two charge carriers. Moreover, this photochemical process is finding increasingly diverse applications from quantum computing like the qubit model to a new approach in photodynamic cancer therapy, as well as improving current experimental techniques using special hyperpolarized states.

The purpose of this study is to establish an appropriate method for overcoming efficiency limit of solar cells by implementation singlet fission mechanism. The studies were carried out using molecules of bisfullerene, linked together by a rigid fluorinated bridge, as a singlet fission material.

Electron paramagnetic resonance (EPR) studies of bisfullerene derivatives, conducted via echo detection methods, unveiled pronounced deviations from the spectral characteristics of isolated PC₆₀BM monomers. Anomalies were rationalized through a spin-coupled theoretical model. To rule out its formation by triplet-triplet annihilation, we performed an echo-detected EPR delay after the flash experiments, which showed no change in its pattern. Data derived from nutation experiments and modeling suggest that

the formation of the two triplet states through the mechanism of singlet fission. During experiments with a delay after laser flash, a spectral line emerged, associated with another spin system species confirmed by nutation in its different microwave power amplitude. Delayed fluorescence was detected by the independent TCSPC (Time-correlated single-photon counting) technique. It appears in singlet fission as a result of triplet-triplet annihilation and comes from a correlated spin state $^1(TT)$. These experiments allowed us to establish the presence of high-spin $^5(TT)$ states, generalized triplet states $^3(TT)$, and to estimate the time for the formation of an isolated triplet state (EPR signal of a triplet exciton). A dedicated challenge was to identify triplet state energies and characterize them to create cooperative interfaces with popular solar cells and structural designs to further our understanding of the singlet fission process. These observed experimental data, helped to estimate the energy of the triplet state T_1 , excited singlet S_n and correlated state $^M(TT)$ using quantum chemistry calculations.

We have proposed a method to measure the dipole-dipole interaction in symmetric photoexcited spin pairs using a pulsed relaxation-induced dipole modulation enhancement (RIDME) EPR technique. The possibility of singlet fission on a fullerene pair is shown for the first time, this shows the possibility of using the excellent absorption properties of fullerenes, suitable energetic properties of triplet exciton and an effective singlet fission separation triplet state rate process. Additionally, this approach has allowed the use of dipole EPR experimental spacing data for quantum chemistry calculations to understand the correlation between the formation of an effective singlet-fission molecule and structural features.

References

- [1] *Smith M.B., Michl J.* Recent advances in singlet fission // *Annu. Rev. Phys. Chem.* 2013. V. 64. P. 361–386.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЕНТА НА ОСНОВЕ МАГНЕТИТА, СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ПОЛИВИНИЛОВЫМ СПИРТОМ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФЕНОЛОВ

Джаткамбаева У. Н., Шакиева Т. В., Сасыкова Л. Р.

*Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби,
Республика Казахстан, 050040, г. Алматы, пр-т аль-Фараби, 71
ulzhan.dzhatkambaeva@mail.ru*

В последние десятилетия уровень техногенной нагрузки на окружающую среду значительно увеличился. В водоемы поступают гальваностоки, содержащие токсичные ионы, такие как Pb^{2+} , Ni^{2+} , CrO_4^{2-} [1-2]. Сточные воды текстильных предприятий имеют высокую концентрацию красителей, превышающую предельно допустимые концентрации. Кроме того, высокотоксичные препараты, используемые для лечения различных заболеваний, требуют надлежащей утилизации остатков перед сбросом в сточные воды, так как их попадание негативно сказывается на водной экосистеме [3]. Современное производство невозможно без создания систем очистки промышленных стоков, что становится одной из ключе-

вых задач для государства. Увеличение численности населения, более интенсивное использование водных ресурсов, изменение климата и рост числа автомобилей подчеркивают необходимость разработки эффективных технологий и материалов для очистки воды и воздуха от вредных веществ. В промышленных регионах особенно актуально усовершенствование сорбционных технологий очистки воды. В системах водоподготовки чаще всего используются неорганические сорбенты, такие как активированный уголь, однако сейчас все больше внимания уделяется гранулированным полимерным сорбентам и композитам на их основе.

Одним из методов устранения загрязнения является использование сорбционных технологий. В последние годы магнитным наноматериалам уделяется особое внимание из-за их уникальных свойств, что позволяет эффективно применять их в магнитоактивных сорбентах для очистки природных сред.

Магнетит считается перспективным сорбентом благодаря высокой сорбционной способности, устойчивости к окислению и стабильности [4]. Кроме того, нанопорошки магнетита можно легко отделять с помощью магнитного поля после завершения сорбции, что важно для их повторного использования. Химический синтез магнетита позволяет избежать влияния примесей, присутствующих в природном минерале, что необходимо для детального изучения механизмов сорбции. Разработка новых, высоко-эффективных сорбентов для очистки сточных вод от фенолов и других токсичных компонентов заслуживает самого пристального внимания. Высокоэффективные магнитные композиты на основе железа иммобилизованных на полимерную матрицу являются экологически чистыми и имеют превосходные адсорбционные характеристики при анализе как полярных, так и неполярных органических веществ. Синтезирование и модификация магнетита полимерами разными способами позволит улучшить сорбционную активность магнетита.

Имея возможность изменить сорбционных свойств магнетита путем модифицирования их поверхности полимерами, а также относительная простота и низкая стоимость получения магнитных сорбентов, позволяющая осуществлять синтез в научных лабораториях, позволит увеличить эффективность сорбентов для очистки.

Целью данного исследования является получение и исследование магнито-управляемого магнитного сорбента на основе магнетита, стабилизированного поливиниловым спиртом (ПВС) для очистки сточных вод от фенолов.

Процесс очистки с использованием магнитных композитов включает несколько ключевых этапов:

1. *Адсорбция фенолов:* Магнитные композиты, состоящие из магнитных наночастиц и полимеров могут эффективно захватывать фенолы на своей поверхности. Эти композиты имеют высокую специфическую поверхность и пористость, что позволяет им адсорбировать большие количества органических загрязнителей из воды.

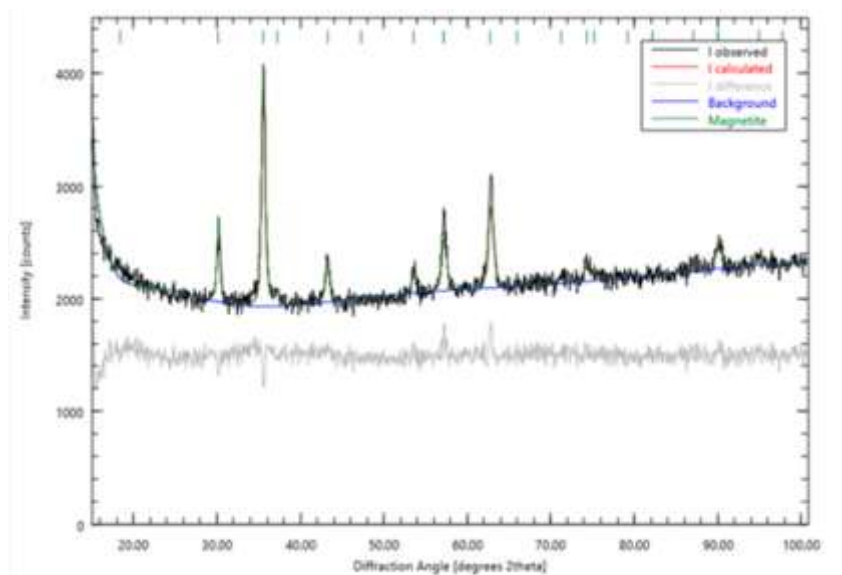
2. *Магнитная сепарация:* После того как фенолы адсорбированы на поверхности композитного материала, магнитные частицы можно легко извлечь из воды с помощью магнитного поля. Это позволяет не только быстро и эффективно очистить воду, но и уменьшить количество отходов, так как сам композит можно использовать повторно после очистки.

3. *Регенерация композитов:* После извлечения загрязнителя магнитные композиты можно подвергать регенерации, например, с помощью химических

методов или термической обработки. Это позволяет существенно сократить расходы на материалы и увеличивает устойчивость системы очистки.

Методом химического осаждения были получены наноразмерные магнитные композиты, стабилизированные ПВС (поливиниловый спирт, $M_w = 31\,000$) на основе магнетита. Для получения ферритов-шпинелей методом соосаждения использовали шестиводный хлорид железа (III) ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, «ч.д.а.»), шести-водный сульфат железа (II) ($\text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, «ч.»), гидроксид аммония (25% NH_4OH , «ч.д.а.»). Нанокристаллы магнетита, стабилизированные ПВП, были получены путем химического совместного осаждения соответствующих солей: ионов двухвалентного и трехвалентного железа в щелочном растворе [5]. Состав и структура синтезированных катализаторов были определены методами РФА и ИК-Фурье-спектроскопии. Продукты реакции анализировали методом УФ и ИК-спектроскопией.

Изучено фазовое состояние магнитного композита $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ПВС}$. Изучение электронных дифрактограмм показало, что основная фаза, формирующаяся в процессе химического соосаждения представлена магнетитом Fe_3O_4 . На рисунке показана рентгеновская дифрактограмма $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ПВС}$. Дифрактограммы измерялись в геометрии Брегга-Брентано в диапазоне углов $2\theta = 15-100^\circ$. Рефлексы и их относительные интенсивности подтверждают, что полученный композит представляет собой одну фазу со структурой шпинели, параметр элементарной ячейки $a = 0,83664$ нм, Размер зерна = 20,06 нм (Пространственная группа Fd-3m).



Рентгеновская дифрактограмма магнетита Fe_3O_4

Полученные магнитные сорбенты предварительно было протестировано на сорбционную активность для фенола.

Для этого наводились модельные растворы с содержанием фенолов от 100 до 1000 мг/л. В каждый раствор добавлялось по 2 г сорбента. Содержимое колб непрерывно перемешивалось в течение заданного времени, затем производился

анализ раствора на содержание фенолов. В УФ-спектре исходного раствора фенола наблюдаются полосы поглощения в области 193, и 210,8 и 270 нм характерный для фенола. Соотношения интенсивностей и спектральных характеристик полос поглощения фенола по измерениям поглощения в диапазоне длин волн 190-320 нм позволяет оценить концентрацию фенола в пробе, дать первичную качественную оценку об сорбции фенола. По уменьшению оптической плотности D при данной длине волны (270 нм, характерный для фенола) можно судить об уменьшении содержания фенола в растворе показывая свою эффективность, что и подтверждает данные ИК спектра продукта.

Таким образом, изученный магнитный композит $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ПВС}$ может быть использован для очистки воды от фенолов, который может значительно повысить качество воды, соответствуя современным требованиям охраны окружающей среды и санитарным нормам. Работа продолжается.

Литература

1. Sharma Y.C., Srivastava V. Comparative Studies of Removal of Cr(VI) and Ni (II) from Aqueous Solutions by Magnetic Nanoparticles // Journal of Chemical and Engineering Data. – 2011. – V. 56. – P. 819-825.
2. Мартемьянов Д.В., Галанов А.И., Юрмазова Т.А. Определение сорбционных характеристик различных минералов при извлечении ионов As^{5+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} из водных сред // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8. – С. 666-670.
3. Jiefeng Zhang, Victor W.C. Chang, Apostolos Giannis, JingYu an Wang. Removal of cytostatic drugs from aquatic environment: A review // Science of the Total Environment. – 2013. – V. 445–446. – P. 281-298.
4. Magnetic nanoparticles: design and characterization, toxicity and biocompatibility, pharmaceutical and biomedical applications / L.H. Reddy, J.L. Arias, J. Nicolas, P. Couvreur // Chemical Reviews. – 2012. – V. 112. – P.5818-5878.
5. Dossumova, B.T.; Sassykova, L.R.; Shakiyeva, T.V.; Ilmuratova, M.S.; Sassykova, A.R.; Battyrbayeva, A.A.; Zhaxibayeva, Z.M.; Dzhatkambayeva, U.N.; Baizhomartov, B.B. Catalysts Based on Nanoscale Iron and Cobalt Immobilized on Polymers for Catalytic Oxidation of Aromatic Hydrocarbons: Synthesis, Physico-Chemical Studies, and Tests of Catalytic Activity. Processes. 2024, 12, 29. <https://doi.org/10.3390/pr12010029>

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕЛЕВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА И КАОЛИНА

Сүлейменова Г. А., Усипбекова Е. Ж.

Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Республики Казахстан

Докторант 2-курса PhD, E-mail: gulnur-suleimen@mail.ru

Научной руководитель: PhD, и.о. доцента Усипбекова Е.Ж.

Литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) проявляют высокий потенциал практического применения в сравнении с альтернативными источниками тока. Растущая популярность портативной электроники – ноутбуков, мобильных телефонов, фотоаппаратов, а также активное развитие электротранспорта, стимулируют быстрый рост индустрии литий-ионных батарей. Кроме того, ЛИА широко применяются для аккумулирования энергии, полученной из возобновляемых источников, таких как

солнечная и ветровая энергия [1]. Одним из ключевых компонентов ЛИА является электролит-сепаратор, обеспечивающий транспорт ионов лития между анодом и катодом. Несмотря на то, что традиционные жидкие электролиты обладают высокой ионной проводимостью, они характеризуются рядом недостатков: летучестью, горючестью и ограниченной термической стабильностью. В связи с этим особый интерес представляют гелевые полимерные электролиты, отличающиеся высокой механической прочностью, термической стабильностью и способствующие повышению уровня безопасности аккумуляторов. Создание гелевых полимерных электролитов (ГПЭ) представляет собой актуальное направление в области разработки твердотельных элементов питания. Полимерная матрица в ГПЭ играет важнейшую роль: она должна обладать высокой химической инертностью, достаточной механической прочностью и способностью эффективно переносить ионы. Одним из перспективных полимеров для этих целей является поливинилиденфторид (ПВДФ), содержащий полярные фторсодержащие группы ($-C-F$) и имеющий удобный каркас для образования геля. Введение неорганических наполнителей, таких как каолин, позволяет дополнительно улучшить эксплуатационные характеристики ГПЭ. Каолин обладает высокой термической стабильностью (выдерживает температуры свыше $500\text{ }^{\circ}\text{C}$) и высокой механической прочностью, что снижает риск повреждения мембран и повышает их эксплуатационные характеристики.

В рамках данной работы были синтезированы новые ГПЭ на основе ПВДФ, каолин и соль лития в органическом растворе $LiPF_6$ (EC/DMC/EMC). Полученные мембраны были исследованы с использованием методов сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR), а также электрохимической импедансной спектроскопии (EIS). Изучено влияние температуры и содержания каолина на ионную проводимость. Установлено, что с повышением температуры происходит увеличение ионной проводимости мембран, что объясняется расширением свободного объема в полимерной матрице и повышением подвижности ионов. Анализ влияния концентрации каолина показал, что при его увеличении до определённого предела наблюдается рост ионной проводимости. Однако при превышении оптимальной концентрации происходит агрегация частиц каолина, что нарушает однородность структуры мембраны и приводит к снижению её проводящих свойств. Дополнительно изучалась способность мембран поглощать жидкий электролит и степень их набухания. Было установлено, что мембраны из чистого ПВДФ практически не набухают из-за его гидрофобной природы. Введение каолина способствует увеличению степени набухания за счёт наличия гидрофильных функциональных групп на его поверхности, что улучшает смачиваемость и электролитическую совместимость.

Результаты исследования демонстрируют высокую перспективность применения каолина в качестве наполнителя в композиционных полимерных электролитах. Установлено, что оптимальное содержание каолина повышает ионную проводимость, улучшает поглощения мембран и способствует увеличению степени набухания. Повышение температуры также благоприятно сказывается на проводящих свойствах мембран.

Таким образом, разработанные ГПЭ на основе ПВДФ/каолин/ $LiPF_6$ (EC/DMC/EMC) представляют собой эффективные и безопасные материалы для

применения в литий-ионных аккумуляторах, открывая путь к созданию высокоэффективных, устойчивых и экологически чистых систем хранения энергии.

Литература

[1] Chen, Y. T., Chuang, Y. C., Su, J. H., Yu, H. C., & Chen-Yang, Y. W. High discharge capacity solid composite polymer electrolyte lithium battery // Journal of Power Sources. – 2010. – Vol. 5, No. 196. – P. 2802-2809. doi: 10.1016/j.jpowsour.2010.11.058

ПОЛУЧЕНИЕ ЭТИЛОВОГО ЭФИРА ЦИКЛОГЕКСАНКАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ КАРБОНИЛИРОВАНИЕМ ЦИКЛОГЕКСАНА В ПРИСУТСТВИИ КОМПЛЕКСОВ ПАЛЛАДИЯ

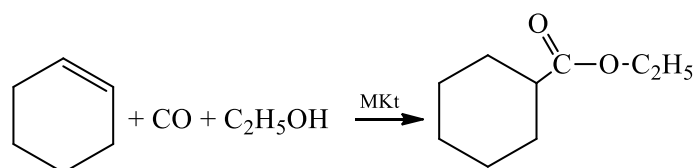
Бакытжан З. Б.¹, Кудайбергенов Н. Ж.²

¹докторант 1-курса факультета химии и химической технологии Казахского Национального университета имени аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан

²ассоциированный профессор кафедры физической химии, катализа и нефтехимии Казахского Национального университета имени аль-Фараби
Zarrina010285@gmail.ru

Тщательно проанализировав достижения каталитического химического синтеза последних лет, можно с большой уверенностью утверждать, что перспективы лабораторно-промышленных органических синтезов во многом будут определяться успехами гомогенного катализа – созданием гомогенных металлокомплексных катализаторов. При решении важнейших задач, связанных с повышением сырьевой и энергетической эффективности промышленных процессов органического синтеза, на металлокомплексные катализаторы возлагаются большие надежды [1, 2].

Развитие гомогенного металлокомплексного катализа сделало перспективным новый путь получения сложных эфиров – гидроалкоксихарбонилирование алкенов (или алкинов) оксидом углерода и спиртами в присутствии металлокомплексных катализаторов. По сравнению с другими методами синтеза сложных эфиров преимуществами гидроалкоксихарбонилирования олефинов являются одностадийность процесса, технологическая простота, доступность исходного сырья, а также возможность управлять ходом реакции путём изменения природы металлокомплексного катализатора и условий проведения процесса [3].



МКт = $\text{PdCl}_2(\text{PPh}_3)_2\text{-PPh}_3\text{-AlCl}_3$

В настоящей работе описано получение практически ценного этилового эфира циклогексилкарбонической кислоты. Исследовано влияние различных условий на выход продукта при реакции гидроэтоксихарбонилирования циклогексена в системе $\text{PdCl}_2\text{-PPh}_3\text{-TsOH}$. При оптимальных условиях $[\text{PdCl}_2] : [\text{PPh}_3] : [\text{TsOH}] = 1 : 7 : 12$;

T = 100 °C; P_CO = 20 атм; τ = 4 ч) реакция протекает с высокой региоселективностью и даёт выход 85,2 %.

Литература

1. Behr A, Neubert P. (2012) Applied Homogeneous Catalysis. – Wiley-VCH, Weinheim. ISBN: 978-3-527-32633-4
2. Busacca C.A., Fandrick D.R., Song J.J., Senanayake C.H. (2012) Applications of transition metal catalysis in drug discovery and development: An Industrial Perspective. – John Wiley & Sons, New York. ISBN: 978-0-470-63132-4
3. Philippe Kalck, Martine Urrutigoity 2015 Recent improvements in the alkoxycarbonylation reaction catalyzed by transition metal complexes DOI:10.1016/J.ICA.2015.02.007 Corpus ID: 95172589

КАРБОКСИЛИРОВАНИЕ ДИМЕТИЛФЕНОЛОВ С ЩЕЛОЧНЫМИ СОЛЯМИ АЛКИЛУГОЛЬНЫХ КИСЛОТ

Нуралимов С. Р.¹, Кудайбергенов Н. Ж.²

¹студент 4-курса факультета химии и химической технологии Казахского Национального университета имени аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан

²ассоциированный профессор кафедры физической химии, катализа и нефтехимии Казахского Национального университета имени аль-Фараби
Nuralimovsardar04@gmail.com

Поиск путей широкого вовлечения оксидов углерода, являющихся одними из наиболее многотоннажных выбросов многих промышленных производств, в химическом синтезе представляет собой исключительно актуальную проблему современной химии. Особенно большое внимание уделяется утилизации диоксида углерода, который рассматривается как важный источник углеродного сырья для промышленного органического синтеза в будущем [1, 2]. Утилизация диоксида углерода в химическом синтезе имеет также важное природоохранное значение, так как является одним из путей снижения антропогенных выбросов диоксида углерода – главного компонента парниковых газов в атмосферу. Молекула диоксида углерода является химически инертной и подавляющее большинство реакций с участием диоксида углерода протекает лишь в определенных условиях (применение жестких условий проведения процесса, использование катализаторов и др.), в то же время некоторые его легкодоступные простейшие производные являются достаточно активными соединениями. В частности представляют интерес синтезы на основе щелочных солей алкилугольных кислот (металлалкилкарбонатов).

Разработанный простой, промышленно применимый способ получения этилатов натрия и калия использован нами для синтеза натрийэтилкарбоната и калийэтилкарбоната. Последние использованы в качестве карбоксилирующих реагентов гидроксиаренов для синтеза гидроксиароматических кислот. Продукты карбоксилирования фенолов и нафтолов – гидроксибензойные и гидроксинафтойные кислоты находят широкое практическое применение. Многие из них обладают биологической активностью и применяются в производстве лекарственных препаратов,

находят использование в качестве антиоксидантов, консервантов и в производстве полимерных материалов [3, 4].

В данной работе показана возможность применения натрийэтилкарбоната в качестве карбоксилирующего реагента в реакции карбоксилирования 2,3-диметилфенола. Установлено, что карбоксилирование 2,3-диметилфенола протекает региоселективно с образованием 2-гидрокси-3,4-диметилбензойной кислоты. На данный момент нами исследуются определение оптимальных условий проведения реакции. Разработанный простой и удобный способ синтеза 2-гидрокси-3,4-диметилбензойной кислоты в дальнейшем может быть использован для его промышленного производства.

Литература

- 1 Riduan SN, Zhang YG. (2010) Recent developments in carbon dioxide utilization under mild conditions, Dalton T, 39:3347-3357. DOI: 10.1039/b920163g
- 2 Holscher M, Gurtler C, Keim W, Muller TE, Peters M, Leitner W. (2012) Carbon Dioxide as a Carbon Resource - Recent Trends and Perspectives, Z Naturforsch B, 67:961-975. DOI: 10.5560/ZNB.2012-0219
- 3 Brel AK, Lisina SV, Budaeva YuN. (2015) Derivatives of hydroxybenzoic acids and their salts: Synthesis and pharmacological activity, Russ J Gen Chem 85:387-391. DOI: 10.1134/S1070363215020073
- 4 Seidel C, Schnekenburger M, Mazumder A, Teiten MH, Kirsch G, Dicato M, Diederich M. (2016) 4-Hydroxybenzoic acid derivatives as HDAC6-specific inhibitors modulating microtubular structure and HSP90 alpha chaperone activity against prostate cancer, Biochem Pharmacol, 99:31-52. DOI: 10.1016/j.bcp.2015.11.005

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОР

Селезнева Д. А., Воробьева Е. Е., Пархомчук Е. В.

*Новосибирский государственный университет,
Институт катализа им. Г.К. Борескова, г. Новосибирск, Россия
d.podkorytova@g.nsu.ru*

В сфере материаловедения и катализа активно разрабатывают и используют материалы с иерархической структурой пор, где поры разного диаметра взаимосвязаны: крупные обеспечивают массоперенос, а мелкие – поверхность для гетерогенных химических реакций. Это улучшает использование катализатора и его устойчивость к дезактивации. Для создания таких материалов применяют темплатный метод: в состав предшественников вводят молекулярное или супрамолекулярное соединение – темплат, которое затем удаляют, например, путём отжига.

Среди носителей для катализаторов выделяются материалы на основе оксида алюминия, получаемые при прокаливании различных предшественников, таких как бемит, псевдобемит и байерит. Их морфология частиц и текстурные свойства могут влиять на возможность создания иерархической структуры пор с помощью темплатного синтеза.

В рамках работы установлено, что для приготовления материалов с иерархической структурой пор темплатным методом особенно важен размер частиц предшественника. Так, при использовании предшественников с размером частиц менее 11 нм иерархическая структура пор не образуется, в то время как размер частиц более 11 нм или смеси с различным размером частиц (3 и 50 нм) позволяют получать требуемое устройство пористого пространства.

ОДНОСТАДИЙНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СМЕСИ СЕРНОЙ И АЗОТНОЙ КИСЛОТ

Белов Н. А., Головахин В., Баннов А. Г.

*Новосибирский государственный технический университет
nikita_belov1995@mail.ru*

Многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ) обладают уникальными свойствами, такими как высокая электропроводность, механическая прочность и химическая стабильность. Однако их гидрофобная и относительно инертная поверхность ограничивает применение в таких областях, как электрохимия и сенсорика. Модификация поверхности МУНТ гетероатомными функциональными группами позволяет улучшить их диспергируемость и заряд-разрядные характеристики, что делает их перспективными для использования в суперконденсаторах и газовых сенсорах.

Существуют исследования, посвященные изучению влияния температуры при использовании концентрированных 6М кислот [1], в которых рассматривались только крайние точки при модификации поверхности растворами кислот в соотношении 10/90, 50/50 и 90/10, но отсутствуют данные по промежуточным точкам. Кроме того, существуют исследования, в которых изучали влияние концентрации на степень функционализации материала (прироста атомов кислорода на поверхности), в которых использовались растворы кислот в диапазонах концентраций 0,5...5М и 8...10М, но нет данных об исследовании влияния 6М растворов [1, 2].

В данной работе образцы обрабатывались в течение 6 ч смесью 6М растворов H_2SO_4 и HNO_3 при температуре 80 °С и интенсивном механическом перемешивании. Обработанные нанотрубки промывали дистиллированной водой до $\text{pH} = 7$, отфильтровывали и сушили при температуре 100 °С не менее 12 ч [2]. После высушивания образцы измельчались в ступке и просеивались через сито, для получения фракции размером до 80 мкм, чтобы использовать в дальнейших исследованиях.

Полученные образцы исследовали ИК-Фурье-спектроскопией для исследования качественного состава поверхности, HCONS-анализ использовался для количественного определения атомов в поверхностном слое МУНТ. Исследование изменения удельной ёмкости проводили с помощью циклической вольтамперометрии. Вольтамперные кривые регистрировали с использованием потенциостата IPC-compact (Черноголовка).

Результаты проведённых анализов представлены в таблице.

Результаты циклической вольтамперометрии

Образец, %/% (H ₂ SO ₄ /HNO ₃)	C/O, ат. %	Выход продукта, %	Удельная электрическая ёмкость, Ф г ⁻¹		
			2 мВ с ⁻¹	5 мВ с ⁻¹	10 мВ с ⁻¹
-	-	-	0,6	0,5	0,3
100	36,00	78%	67	49	36
90/10	28,06	76%	64	19	10
80/20	68,53	75%	35	17	12
70/30	225,03	80%	63	30	16
60/40	936,90	82%	56	43	38
50/50	39,86	70%	45	38	31
40/60	92,49	69%	20	19	16
30/70	71,85	70%	6	4	4
20/80	70,43	74%	6	4	4
10/90	40,26	72%	67	55	43
100	-	85%	55	48	43

По данным таблицы видно, что обработка в смеси 6М растворах H₂SO₄/ HNO₃ не приводит к значительному росту удельной емкости, по сравнению с обработкой в отдельных растворах H₂SO₄ и HNO₃, не смотря на прирост атомов кислорода, формируются гетероатомные функциональные группы –SO₃H и –NO₂, которые не оказывают значительного влияния на электрохимию поверхности [3].

Литература

1. Saleh T. A. The influence of treatment temperature on the acidity of MWCNT oxidized by HNO₃ or a mixture of HNO₃/H₂SO₄ // Applied Surface Science. 2011. 257(17). P. 7746-7751.
2. Дьячкова Т. П., Ткачев А. Г. Методы функционализации углеродных нанотрубок. Монография. – Москва: Спектр, 2013. – 152 с.
3. Михалин, А. А. Исследование емкостных и электрокинетических свойств электродов на основе высокодисперсного углерода применительно к их использованию в суперконденсаторах и для емкостной деионизации воды [Текст]: автореф. канд. хим. наук А. А. Михалин. – Москва: ИФХЭ РАН 2013. - 25 с.

Работа была выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки (FSUN-2023-008).

ПОЛУЧЕНИЕ АНОДНО-ОКСИДНЫХ МИКРОНАНОСТРУКТУР АНАТАЗА

Степанова К. В., Яковлева Н. М., Шульга А. М., Кокатев А. Н.

*Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия
e-mail: lady.cristin4ik@yandex.ru*

На компактном Ti электрохимическим анодированием могут быть получены, как самоорганизованные нанотрубчатые анодно-оксидные покрытия (АОП) [1], так и покрытия TiO₂ с иерархической микронаноструктурой, в которые включены микроконусы (МКК) анатаза (далее а-TiO₂) [2]. Сообщалось [3], что использование нанотрубчатого анодного TiO₂ в качестве анода литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) обеспечивает длительный срок службы и небольшое объемное расширение, что указывает на возможность производства ультратонких пленочных аккумуляторов. Однако, нанотрубки TiO₂ являются рентгеноаморфными и необходим отжиг для их преобразования в а-TiO₂. Экспериментально получено [4], что применение компактного Ti с микроконусным оксидным покрытием в качестве материала анода ЛИА позволяет увеличить емкость в три раза по сравнению с нанотрубчатым диоксидом титана, также было продемонстрировано надежное сохранение емкости в течение 500 циклов переключения.

При формировании АОП на поверхности пористых порошковых материалов из губчатого титана (ППМ ГТ), значительно возрастает удельная поверхность образца и химическая активность по сравнению с АОП на компактном титане. В связи с этим, исследование анодного структурирования ППМ ГТ весьма актуально, так как открывает перспективы расширения спектра функциональных применений порошковых материалов, в том числе в качестве анодов для ЛИА. Целью работы являлось изучение анодирования ППМ ГТ в водном фторсодержащем электролите.

Анодирование проводилось в гальваностатическом режиме в растворе 10% H₂SO₄ + 0,15% HF при плотности тока, приходящегося на единицу массы образца $j_m = 1300$ мА/г, при комнатной температуре. Подробно методика получения, подготовки образцов и их анодирования описана в работе [5]. Регистрация зависимостей напряжения от времени в процессе роста АОП выявила на стационарной стадии многочисленные скачки напряжения, обусловленные явлением локального пробоя оксидного слоя [5]. Методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и атомной силовой микроскопии (АСМ) было установлено, что после оксидирования при $j_m = 1300$ мА/г наблюдаются неравномерно располагающиеся на всей поверхности нанопористого/нанотрубчатого оксидного слоя МКК образования, значительная часть которых (от 40 до 60 %) имеет диаметр оснований $d_0 = 1,5-3,0$ мкм и высоту до 3,5 мкм. Наряду с хорошо сформированными МКК отмечается наличие заметного числа усеченных микроконусов и кратеров, в которых ранее находились МКК. При изучении элементного состава полученных при $j_m = 1300$ мА/г АОП, установлено, что состав МКК соответствует TiO₂ (≈60 мас.% Ti, ≈40 мас.% O). Методом спектроскопии комбинационного рассеяния показано, что МКК имеют структуру, соответствующую анатазу. Для количества дефектных образований и кратеров было выполнено анодирование с ограничением напряжения на стационарной стадии. Размерные

параметры сформированных при этом МКК: диаметр оснований в диапазоне от 1,0 до 3,7 мкм и высота до 3,9 мкм, близки к значениям, полученным без использования ограничения. По результатам СЭМ установлено, что подобный режим обеспечивает более однородное распределение МКК по поверхности образцов ППМ ГТ и уменьшает дефектность микронаноструктурированной АОП. Таким образом, установлены оптимальные условия формирования микронаноструктур анатаза в матрице аморфного нанотрубчатого TiO_2 , имеющие перспективы для применения в качестве основы для анодов литий-ионных батарей.

Литература

1. Fu Y., Mo A. A Review on the Electrochemically Self-organized Titania Nanotube Arrays: Synthesis, Modifications, and Biomedical Applications // *Nanoscale Research Letters*. 2018. V. 13. P. 187–208.
2. Park J., Choi J. Formation of well dispersed TiO_2 microcones; the 20% surface occupation // *Applied Surface Science*. 2018. V. 448. P. 212–218.
3. Paul S., Rahman M.A., Sharif S.B., Kim J.-H., Siddiqui S.-E.-T., Hossain M.A.M. TiO_2 as an Anode of High-Performance Lithium-Ion Batteries: A Comprehensive Review towards Practical Application // *Nanomaterials*. 2022. V. 12. P. 2034–2079.
4. Rhee O., Lee G. Choi J. Highly Ordered TiO_2 Microcones with High Rate Performance for Enhanced Lithium-Ion Storage // *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2016. V. 8. Iss. 23. P. 14558–14563.
5. Яковлева Н.М., Шульга А.М., Лукиянчук И.В., Степанова К.В., Кокатев А.Н., Чубиева Е.С. Анодно-оксидные покрытия с иерархической микронаноструктурой на спеченных порошках титана // *Конденсированные среды и межфазные границы*. 2022. Т. 24. № 4. С. 572–583.

METHOD FOR OBTAINING BIOCOMPATIBLE ANTIBACTERIAL COATINGS ON THE SURFACE OF SURGICAL SUTURES CONTAINING A PLANT-BASED ANTIBACTERIAL ANTISEPTIC SANGVIRITRINE

Orazova Z. B., Rakhmatullayeva D. T., Ospanova A. K.

*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
orazova.zarina@mail.ru*

In the context of increasing antibiotic resistance, the development of effective antibacterial coatings for surgical materials is of particular relevance. Modern studies traditionally employ antiseptics such as triclosan and silver. However, the use of triclosan is associated with carcinogenic risks and the development of bacterial resistance, while silver is characterized by high cost and uneven deposition [1]. Therefore, there is a growing need to develop alternative coatings based on natural plant-derived antiseptics. In this work, sanguiritrine – an alkaloid extracted from plants of the *Macleaya* genus – was used as an antibacterial agent, demonstrating strong activity against Gram-positive and Gram-negative bacteria, as well as fungi, along with excellent biocompatibility [2].

The coatings on the surface of surgical sutures were formed using the layer-by-layer (LBL) assembly method with two polyelectrolytes: sodium carboxymethyl cellulose

(CMC-Na) and chitosan (CS). After each immersion cycle, the sutures were rinsed in appropriate solutions to remove loosely bound molecules. The coating process was carried out using a rotary dip-coater to ensure uniform layer deposition. After the deposition of 10.5 bilayers, the sutures were impregnated with a 0.2% solution of sanguirithine.

The obtained samples were subjected to comprehensive analysis. Surface morphology was examined using scanning electron microscopy (SEM), where the modified coatings exhibited a more uniform and homogeneous structure compared to uncoated sutures, indicating successful formation of polymer layers. Mechanical strength tests showed that the modified sutures retained tensile properties comparable to those of unmodified sutures, and in some cases even demonstrated enhanced strength. Ultraviolet spectroscopy (UV) analysis was used to monitor the release kinetics of sanguirithine from the coated sutures. A gradual decrease in the intensity of the characteristic peak at $\lambda = 204$ nm was observed over a one-week period, indicating a sustained release of the agent into the solution. These results confirm the prolonged release of sanguirithine, ensuring long-term antimicrobial activity and coating stability in biological environments. Antibacterial tests demonstrated pronounced activity of the coatings against Gram-positive bacteria (*Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Streptococcus pneumoniae* ATCC BAA-660, *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228), Gram-negative bacteria (*Escherichia coli* ATCC 8739, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 10031), as well as fungi (*Candida albicans* ATCC 10231).

Thus, the proposed method of surgical suture modification using polyelectrolytes and sanguirithine enables the fabrication of sutures with prolonged antibacterial activity, which could contribute to reducing the risk of postoperative infections and improving surgical outcomes.

References

[1] D. Rakhmatullayeva *et al.* Development and characterization of antibacterial coatings on surgical sutures based on sodium carboxymethyl cellulose/chitosan/chlorhexidine. *Int. J. Biol. Macromol.* 2023. Vol. 236. Art. 124024. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.124024.

[2] Рублева О. Самые сильные в мире противомикробные алкалоиды в составе антисептика Сангвиритрин® (0,2% спиртовой раствор) // Врач. – 2018. 29 (9). Р. 79-84. <https://doi.org/10.29296/25877305-2018-09-19>.

THERMALLY- AND PHOTO- INDUCED SPIN STATE SWITCHING IN A SERIES OF MOLECULAR MAGNETS $\text{Cu}(\text{hfac})_2\text{L}^{\text{R}}$

**Zaitsev K. V.^{1,2}, Tolstikov S. E.¹, Bogomyakov A. S.¹, Podarov R. A.^{1,2},
Dementev S. A.^{1,2}, Veber S. L.^{1,2}, Melnikov A. R.^{1,2}, Fedin M. V.^{1,2}**

¹International Tomography Center, Russia

²Novosibirsk State University, Russia

zaitsev.k@tomo.nsc.ru

Switchable molecular magnets are very promising systems due to the potential of their practical application in areas such as creation of devices for information storage and processing, highly-accurate temperature sensors, etc. One of the representatives in this field are magnetic compounds based on Cu(II) ions and stable nitroxyl radicals $\text{Cu}(\text{hfac})_2\text{L}^{\text{R}}$, where hfac is hexafluoroacetylacetonate and L^{R} is nitroxyl ligand. This

complexes have been studied for the last two decades, and the most relevant direction for the study at the moment is photo-switching to a metastable state at near-liquid helium temperatures. The $\text{Cu}(\text{hfac})_2\text{L}^{\text{R}}$ complexes are divided into two groups according to the number of electron spins in the exchange-coupled cluster – spin triads and spin dyads. Previously it was demonstrated that stability of photoinduced state in dyad-containing compounds is much better than in triad-containing copper(II)-nitroxide complexes [1]. Another interesting direction of the $\text{Cu}(\text{hfac})_2\text{L}^{\text{R}}$ research is the achievement of stable excited spin state at temperatures higher than liquid helium temperatures.

This work presents recent results on the effects associated with the long-lived excited spin state for spin dyad containing compounds of the $\text{Cu}(\text{hfac})_2\text{L}^{\text{R}}$ family. The first part of the work is devoted to the topic of LIESST (Light Induced Excited Spin State Trapping). Important characteristics of the compound in case of LIESST are: the maximum achievable photoconversion depth (or fraction of photoinduced state) and the relaxation of the photoinduced state (time dependence). The second part of the work represents TIESST (Temperature Induced Excited Spin State Trapping) effect discovered in $\text{Cu}(\text{hfac})_2\text{L}^{\text{R}}$ complexes for the first time. Systems with a “thermally trapped” spin state, basically, are molecular magnetics, in which the high-temperature state is able to persist at temperatures below the transition temperature.

For photoexcitation experiments complexes from the group of molecular magnets $[\text{Cu}(\text{hfac})_2\text{L}^{\text{R}}]_2[\text{Cu}(\text{hfac})_2]$ with different substituents, where L^{R} is a pyridine-based nitroxyl ligand, were investigated. Photo-switching experiments were carried out for each complex using EPR spectroscopy. From the experimental data, the degree of photoswitching was calculated and the relaxation dependence of the photoinduced state with time was determined. The obtained behavior correlates with previous findings, and the relaxation to the ground state does not exceed 15% on a scale of few hours. As a result, magneto-structural correlations describing the observed effects were constructed [2].

The thermally trapped spin state for the compound $\text{Cu}(\text{hfac})_2\text{L}^{\text{Pr}}$, where L^{Pr} is an imidazole-based propyl-substituted nitroxyl radical, was also investigated. The dependence of the high temperature state relaxation upon rapid cooling of the complex to a value below the spin transition temperature was determined from EPR spectroscopy data. For this complex we also demonstrated that switching to the metastable state can be realized by a powerful THz pulse.

Obtained results allow us to continue our developments in the copper(II)-nitroxide molecular magnets area.

References

- [1] *Tumanov S. V. [et al.] Light-Induced Spin State Switching and Relaxation in Spin Pairs of Copper(II)–Nitroxide Based Molecular Magnets //Inorganic Chemistry. 2017. V. 56. №. 19. P. 11729-11737.*
- [2] *Zaitsev K. V. [et al.] Light-induced spin-state switching in heterospin complexes of $\text{Cu}(\text{hfac})_2$ with pyridine-based nitroxides //Dalton Transactions. 2025. V. 54. №. 2. P. 811-820.*

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ НА УДЕЛЬНУЮ ЕМКОСТЬ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Душкин Я. Е.¹, Головахин В.², Баннов А. Г.²

¹*Вторая новосибирская гимназия, г. Новосибирск, Россия*

²*Новосибирский государственный технический университет
golovaxin-valera@mail.ru*

Наноструктуры на основе графеновых материалов различного типа входят в широкий класс объектов, отличающихся своим множеством физико-химических характеристик. В связи с этим модифицированные формы углеродных наноматериалов (УНМ) пользуются большим спросом на рынке. Актуальной задачей становится выбор более доступных и осуществимых в промышленности способов химической обработки данного рода материалов, необходимых для достижения определённых параметров.

Цель исследования – оценка влияния температуры химической обработки поверхности УНМ на удельную емкость многостенных углеродных нанотрубок. В качестве образцов для анализа были выбраны многостенные углеродные нанотрубки двух марок: MWCNT-1020 и MWCNT-4060. Взятые образцы были обработаны раствором концентрированной (6М) дихромовой кислоты при разной температуре (80-120 °С) в течение 1 ч. По итогам анализов было обнаружено, что значения относительных выходов продуктов образцов после химической обработки также разнились в зависимости от температуры модификации.

Минимальный выход анализируемых материалов наблюдался при температуре химической обработки в 120 °С, а максимальный выход анализируемых образцов наблюдался при температуре химической обработки в 100 °С. Зависимость между выходом продукта и температурой модификации выстраивалась за счет степени окисления функциональных групп на поверхности материала. Максимальный выход продукта реакции обусловлен наибольшим количеством карбонильных и карбоксильных групп, а также наличием оксидов хрома [1]. Минимальный выход продукта реакции обусловлен переокислением поверхности (т.е. окислением карбоксильных и карбонильных групп до CO_x). Графическая зависимость выхода продукта от температуры представлена на рисунке 1а.

Основным исследуемым параметром являлась удельная емкость материала после модификации. В результате воздействия 6М дихромовой кислоты при различной температуре процесс, применяемой в ходе химической обработки образцов, удельная емкость материалов возросла относительно удельной емкости исходных образцов. Наблюдалось следующее: образцы MWCNT-1020 достигали пика своей удельной емкости (95 Ф/г) в результате обработки при 100 °С, при этом образцы MWCNT-4060 достигали пика своей удельной электроемкости (196 Ф/г) при минимальной температуре химической обработки 80 °С. Данная разница в значениях удельной емкости между материалами обусловлена разной степенью функционализации поверхности химически обработанных нанотрубок [1]. Графически полученные результаты представлены на рисунке 1б.

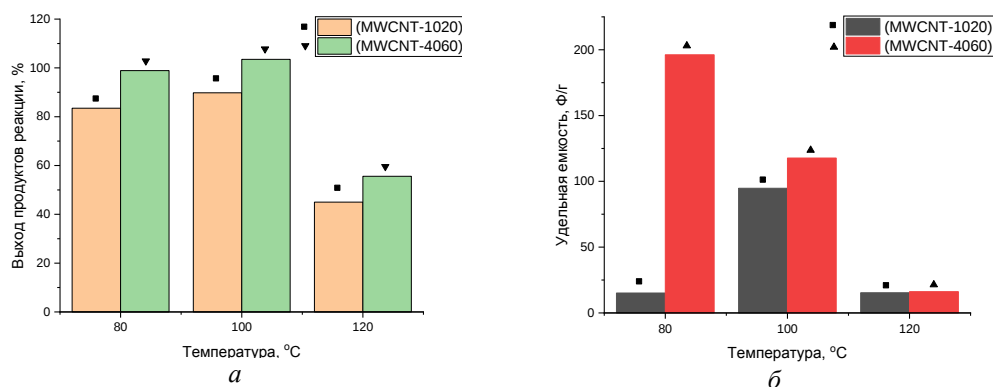


Рисунок 1 – Зависимость относительного выхода продукта от температуры (а), зависимость удельной емкости от температуры, при скорости развертки 5 мВ/сек (б)

Максимальные значения удельной емкости образцов MWCNT-1020 и MWCNT-4060, химически обработанные при различной температуре в течение 1ч в концентрированной (6М) дихромовой кислоте, можно достичь модификацией материалов при 100 и 80 °С соответственно.

Литература

1. Prospects of functionalized carbon nanotubes for supercapacitors applications / Hicham Meskher et. al. // Materials Today Communications. 2024. V. 38. Art. 108517.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ОСНОВЕ ПЕРХЛОРАТА N-МЕТИЛ-N- ПРОПИЛПИПЕРИДИНИЯ, ДОПИРОВАННОГО КАТИОНАМИ ЛИТИЯ И МАГНИЯ

Кызласова Д. А.^{1,2}, Улихин А. С.²

¹Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН
email: d.kyzlasova@g.nsu.ru

Актуальной проблемой, связанной с химическими источниками энергии, является увеличение рабочего потенциала литий-ионных аккумуляторов (ЛИА). Существуют катодные материалы, способные работать при высоком напряжении, однако до сих пор ведутся поиски стабильного электролита с широким электрохимическим окном и высокой ионной проводимостью [1].

Перспективными электролитами для металл-ионных источников тока считаются органические ионные пластические кристаллы (ОИПК). Этот класс соединений характеризуется повышенной пластичностью, широким окном электрохимической стабильности, негорючестью, нелетучестью и относительно высокой ионной проводимостью. Расплавы ОИПК представляют собой ионную жидкость с высокой термической стабильностью, низким давлением насыщенных

паров и высокой ионной проводимостью порядка 10^{-3} - 10^{-2} См/см. Органические ионные пластические кристаллы представлены солями пирролидиния, фосфония и четвертичных аммониевых солей [2]. Одним из представителей класса ОИПК является перхлорат N-метил-N-пропилпиперидиния ($[N_{13}pip]ClO_4$). Известно, что данная соль имеет высокий потенциал электрохимического разложения, а введение катиона лития увеличивает проводимость более, чем на порядок [3].

Кроме того, активно растёт интерес к альтернативным металл-ионным источникам тока. Широко распространённые литий-ионные аккумуляторы вызывают опасения, поскольку содержание лития в земной коре относительно мало и составляет всего 0,002%. Кроме того, литий химически активный и дорогой металл. Интерес к переходу от литий-ионных источников тока к альтернативным обусловлен удешевлением производства, повышением безопасности и увеличением плотности энергии.

Магний-ионные источники тока считаются перспективной заменой ЛИА. Содержание магния в земной коре составляет 2,3%, что делает его экономически доступным материалом. Радиусы катионов лития и магния близки, при этом Mg^{2+} в отличие от Li^+ является двухзарядным, что в два раза увеличивает количество переносимого заряда на один катион. Несомненным преимуществом магний-ионных аккумуляторов также является то, что магний при осаждении на аноде не образует игольчатых дендритов, что может позволить использовать металлический магний в качестве анода [4].

В данной работе был проведен синтез двух бинарных систем: $[N_{13}pip]ClO_4 - LiClO_4$ и $[N_{13}pip]ClO_4 - Mg(ClO_4)_2$. Представлен сравнительный анализ транспортных, структурных, электрохимических и термических свойств бинарных систем на основе органической ионной пластической соли перхлората N-метил-N-пропилпиперидиния, допированной перхлоратом лития и перхлоратом магния. Бинарные системы рассматриваются для использования в качестве электролитов в литий- и магний-ионных источниках тока. Транспортные свойства исследовались методом импедансной спектроскопии в диапазоне частот 25 Гц...1 МГц. Термические свойства изучались методом дифференциальной сканирующей калориметрии. Структурные свойства исследовались методом рентгенофазового анализа. Также была исследована электрохимическая стабильность методом линейной вольтамперометрии. Результаты исследования будут представлены в ходе доклада.

Литература

1. Wang Y. et al. Challenges and modification strategies of high-voltage cathode materials for Li-ion batteries // Chin. J. Struct. Chem. 2023. Vol. 42, № 10. P. 100167.
2. Organic ionic plastic crystals: flexible solid electrolytes for lithium secondary batteries // Energy Adv. 2023. Vol. 2, № 6. P. 748–764.
3. Kyzlasova D., Ulihin A., Uvarov N. Phase behavior and electrochemical properties of lithium-doped N-methyl-N-propyl-piperidinium perchlorate // Ionics. 2024. Vol. 30, № 12. P. 8105–8115.
4. Liu H. et al. Recent advances in understanding dendrite growth on alkali metal anodes // EnergyChem. 2019. Vol. 1, № 1. P. 100003.

Работа выполнена в рамках Госзадания (проект №121032500065-5).

ГИДРИРОВАНИЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ СИНТЕТИЧЕСКИХ ТОПЛИВ И ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Ильясова О. С.¹, Жумабек М.², Кауменова Г. Н.²,
Kostyniuk A.³, Tolembek A.⁴

¹Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского, Алматы, Казахстан

³National Institute of Chemistry, Ljubljana, Slovenia

⁴Назарбаев интеллектуальная школа ХБН, Алматы, Казахстан

Научный руководитель: к.х.н., ассоц. профессор Т.С. Байжуманова
ilyassova.97@mail.ru

За последние годы изменение климата во всем мире показало, что количество парниковых газов в атмосфере достигло самого высокого уровня за всю историю человечества. В 2019 году выбросы парниковых газов в Казахстане составили 354 миллиона тонн эквивалента диоксида углерода, и более 80 процентов из них были вызваны сжиганием ископаемого топлива - угля, нефти и природного газа. Казахстан является одной из стран Центральной Азии, которая производит относительно большое количество парниковых газов. Для решения этой проблемы в стране разработана долгосрочная Декларация достижений углеродной нейтральности [1]. Потребление энергии, произведенной из ископаемого топлива, производит значительные объемы диоксида углерода, что в свою очередь приводит к таким экологическим проблемам, как изменение климата [2,3]. Глобальное потепление – это увеличение радиационной силы климатической системы из-за увеличения антропогенных выбросов парниковых газов, в первую очередь CO₂. Диоксид углерода, наряду с диоксидом серы и оксидами азота, считается одной из основных причин кислотных дождей, поскольку CO₂ реагирует с водой в атмосфере, образуя кислотные дожди [4].

На основании результатов данного исследования для процесса гидрирования CO₂ могут быть использованы катализаторы, приготовленные традиционным методом пропитки и методом синтеза горения в растворе с контролем температуры, который является одним из самых эффективных на сегодняшний день инновационных методов приготовления катализаторов, которые не содержат благородных металлов, не склонны к коксованию и сплавлению, способны обеспечивать высокую селективность по продукту и обладают термической стабильностью. В ходе выполнения научно-исследовательской работы были разработаны Co-Al катализаторы с различным процентным соотношением с использованием метода синтеза горения в растворе и изучена каталитическая активность в проточной каталитической установке.

Для определения каталитической активности катализаторов опыты проводились в температурном режиме от 200°C до 450°C при атмосферном давлении. Конверсия диоксида углерода составила 30% на 45%Co-5%Al катализаторе при 450°C. Основным продуктом является – метан, выход которого составил 16%, а значение селективности составило 55%. В дальнейшем планируется модификация

Co-Al катализаторов промоторами, такими как Zr, Ce, La и Mg, и проведение сравнительного анализа с изменением носителя катализатора.

Литература

- [1] <https://www.undp.org/kazakhstan/news/kazakhstans-vision-achieve-carbon-neutrality-presented-high-level-conference-nur-sultan>. – 2020.
- [2] Allen M.R., Frame D.J., Huntingford C., Jones C.D., Lowe J.A., Meinshausen M., Meinshausen N. Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne // *Nature*. 2009, 458, 1163-1166.
- [3] Matthews H.D., Gillett N.P., Stott P.A., Zickfeld K. The proportionality of global warming to cumulative carbon emissions // *Nature*. 2009, 459, 829-832.
- [4] Chien Bong C.P., Lim L.Y., Ho W.S., Lim J.S., Klemeš J.J., Towprayoon S., Ho C.S., Lee C.T. A review on the global warming potential of cleaner composting and mitigation strategies // *Journal of Cleaner Production*. 2017, 146, 149-157.

Данное исследование было профинансировано КН МНВО РК (грант AP27508537).

БИНАРНАЯ СИСТЕМА $N_{22}rip-LiBF_4$ ДОПИРОВАННАЯ Al_2O_3 КАК КОМПОЗИТНЫЙ ЛИТИЕВЫЙ ЭЛЕКТРОЛИТ

Измоденова А. В.

Новосибирский национальный исследовательский государственный Университет (НГУ)

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

a.izmodenova@g.nsu.ru

Научный руководитель: к.х.н., с.н.с., А.С. Улихин

Пластические кристаллы – твердые вещества, обладающие регулярной кристаллической решеткой с большим радиусом и ориентационными или вращательными степенями свободы, по отношению к молекулярным или ионным частицам. Несмотря на то что исследование пластических кристаллов началось в 1960-х годах, они продолжают привлекать внимание; незначительная летучесть сравнительно молекулярных аналогов и высокая термодинамическая и электрохимическая стабильность приводит к высокому потенциалу в качестве твердотельных электролитов для различных электрохимических устройств, включая литиевые и кремниевые батареи, а также топливные элементы [1,2].

Пластические фазы органических солей представляют собой материалы, которые сочетают в себе кристаллическую структуру, умеренную пластичность и относительно высокую ионную проводимость. В расплавленном состоянии органические соли функционируют как ионные жидкости с высокой проводимостью, однако при низких температурах их электропроводность значительно снижается. Традиционные методы повышения электропроводности через легирование ограничены низкой растворимостью примесей.

Альтернативным методом увеличения электропроводности является гетерогенное легирование ионных солей химически инертными добавками, такими как, например, оксиды. В этом случае повышение электропроводности обусловлено взаимодействием на границе раздела между ионной солью и оксидом, что приводит к образованию областей с высокой концентрацией дефектов или значительным

разупорядочением в объеме соли, расположенных вблизи границ раздела соль/оксид. Эти дефектные области, активируемые границей раздела, обеспечивают увеличение электропроводности композита. Наибольший эффект повышения электропроводности наблюдается в нанокompозитных твердых электролитах с добавками в виде нанокристаллов или высокопористых материалов. В таких системах аморфная фаза ионной соли стабилизируется на границах раздела; при достаточно высокой концентрации добавки ионная соль может практически полностью переходить в аморфное состояние, стабилизированное на границе фаз [3].

В данной работе была исследована тройная система N-этил-N-этилпиперидиния тетрафтороборат ($[\text{N22pip}]\text{BF}_4$) – тетрафтороборат лития – γ -оксид алюминия. Были изучены структурные, термические, транспортные и электрохимические свойства полученного композита. Исследования показали, что добавление $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ способствует аморфизации органической ионной соли на поверхности оксида.

Литература

1. Mousavi M. P. S. [и др.]. Electrochemical Stability of Quaternary Ammonium Cations: An Experimental and Computational Study // Journal of The Electrochemical Society. 2016. № 2 (163). С. Н74–Н80.
2. Zhu H. [и др.]. Organic Ionic Plastic Crystals as Solid-State Electrolytes // Trends in Chemistry. 2019. № 1 (1). С. 126–140.
3. Ulihin A. S. [и др.]. Thermal, structural and transport properties of composite solid electrolytes $(1-x)(\text{C}_4\text{H}_9)_4\text{NBF}_4\text{-}x\text{Al}_2\text{O}_3$ // Solid State Ionics. 2022. № September 2021 (378). С. 115889.

СИНТЕЗ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ТАУРИНА НА ОСНОВЕ РЕАКЦИИ 2-АРИЛ-1-(ВИНИЛСУЛЬФОНИЛ)ПИРРОЛИДИНОВ С РАЗЛИЧНЫМИ АМИНАМИ

**Накыпова С. М.¹, Смолобочкин А. В.², Ризбаева Т. С.², Акылбеков Н. И.³,
Газизов А. С.², Бурилов А. Р.², Пудовик М. А.²**

¹ *Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Республика Казахстан, 050038 Алматы, пр. аль-Фараби, 71.*

² *Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ Казанский научный центр РАН, Российская Федерация, 420088 Казань, ул. Академика Арбузова, 8.*

³ *Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Республика Казахстан, 120014 Кызылорда, ул. Айтеке би, 29А.*

*Научный руководитель: PhD, ассоц.проф. Акылбеков Н.И. и к.х.н. Смолобочкин А.В.
e-mail: nakypova.saltanat@mail.ru*

Таурин и его производные, известные своей разнообразной биологической активностью [1]. Перспективным подходом к разработке лекарственных средств является синтез «гибридных соединений». Этот подход открывает перспективу создания более совершенных лекарств для лечения ряда заболеваний, включая онкологические. Исходя из этого, мы осуществили дизайн серии производных таурина, направленный на создание новых агентов, обладающих противораковой активностью. С этой целью мы провели варьирование амидного фрагмента таурина, введя

пирролидиновый цикл с фенольными заместителями во втором положении. Фрагмент 2-замещенного пирролидина входит в состав многих противораковых препаратов, применяющихся в медицинской практике [2]. В качестве примера приведём Дактиномицин, Пакритиниб, Типирацил, Алпелисиб. Вторым направлением модификации таурина является введение заместителей к аминному атому азота – алкильных, гетероциклических, а также аминокислот. Это должно увеличить их растворимость в воде, как наиболее важном растворителе с точки зрения их потенциальной биологической активности. Так же, введение аминокислотных фрагментов может способствовать повышению не только биодоступности, но и активности [3,4].

Так для получения производных таурина была использована методология разработанная нами ранее, заключающаяся в реакции 4-хлор-6-(1-(винилсульфонил)пирролидин-2-ил)бензол-1,3-диола с простыми аминами (диэтиламин, дибутиламин, пирролидин, морфолин и т.д.) [5]. В продолжение исследований, связанных с синтезом производных таурина, в качестве новых объектов в реакциях с 2-арил-1-(винилсульфонил)пирролидинами были использованы аминокислоты, оптически чистые амины (схема).

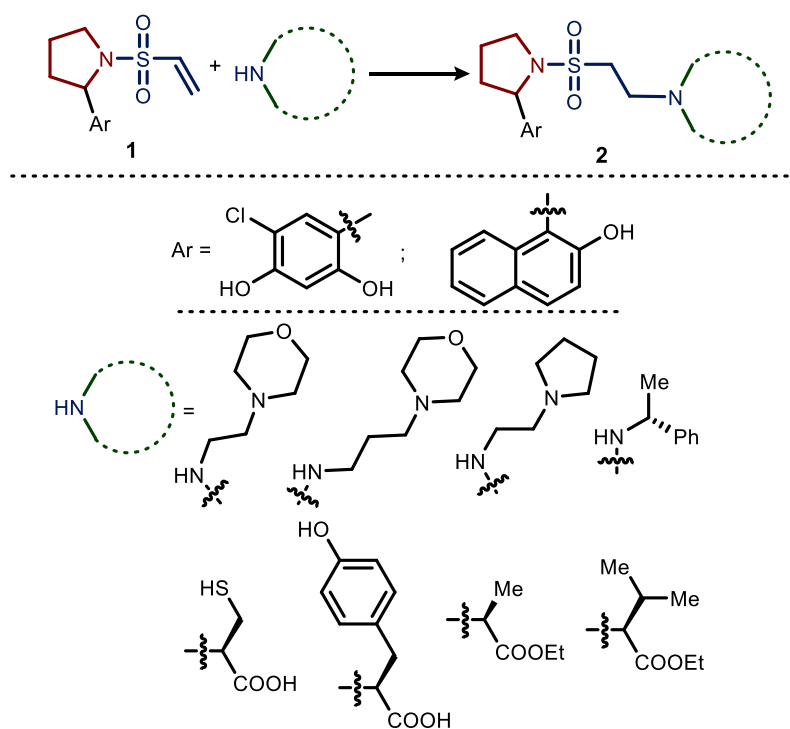


Схема – Синтез новых производных таурина

Таким образом, в докладе будет показана возможность использования предложенной стратегии для синтеза функционализированных производных таурина. Показана их цитотоксичность и будет выявлено соединение хит.

Литература

- [1] Sharma, S. Biological Effects and Mechanisms of Taurine in Various Therapeutics / S. Sharma, B.M. Sahoo, B.K. Banik // Current Drug Discovery Technologies. – 2023. – V. 20, № 6. – P. 60-78.
- [2] Smolobochkin, A. Progress in the Stereoselective Synthesis Methods of Pyrrolidine-Containing Drugs and Their Precursors / A. Smolobochkin, A. Gazizov, N. Appazov, O. Sinyashin, A. Burirov // International Journal of Molecular Sciences. – 2024. – V. 25, № 20. – e11158.
- [3] Albericio, F. Therapeutic Peptides / F. Albericio, H.G. Kruger // Future Medicinal Chemistry. – 2012. – V. 4, № 12. – P.1527-1531.
- [4] Kaspar, A.A. Future Directions for Peptide Therapeutics Development / A.A. Kaspar, J.M. Reichert // Drug Discovery Today. – 2013. – V. 18, № 17-18. – P. 807-817.
- [5] Smolobochkin, A.V. Synthesis and Evaluation of Water-Soluble 2-Aryl-1-Sulfonylpyrrolidine Derivatives as Bacterial Biofilm Formation Inhibitors / A.V. Smolobochkin, E.A. Muravyeva, L.I. Vagapova, I.R. Knyazeva, J.K. Voronina, A.R. Burirov, M.A. Pudovik, A.V. Gildebrant, I.S. Sazykin, M.A. Sazykina, A.S. Gazizov // Chemistry & Biodiversity. – 2019. – V. 16, № 1. – e1800490.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (AP23487716).

КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ КОМПОЗИТНОГО КАТАЛИЗАТОРА НА ОСНОВЕ ЦЕОЛИТА ZSM-48 В ПРОЦЕССЕ ГИДРОПЕРЕРАБОТКИ ПРОДУКТА ПИРОЛИЗА ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ

Прусов Г. С., Воробьева Е. Е., Пархомчук Е. В.

Новосибирский государственный университет

Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН, Новосибирск

Научные руководители: Воробьева Е.Е.; канд. хим. наук, доц. Пархомчук Е.В.

g.prusov@g.nsu.ru

Для улучшения характеристик пиролизного масла, полученного из смеси полиэтилена и полипропилена, требуется проведение каталитической гидроизомеризации – процесса превращения высших алканов нормального строения в изомерные углеводороды разветвленного строения [1].

Для гидроизомеризации n-парафинов применяются композитные бифункциональные катализаторы, состоящие из кислотного компонента и нанесенного на носитель металла. В качестве кислотного компонента используются цеолиты с одномерной канальной пористой структурой. Их строение и умеренная кислотность способствуют преобладанию процесса гидроизомеризации над гидрокрекингом [2]. В качестве металлического компонента катализатора используются высокоактивные в реакциях гидрирования/дегидрирования металлы – Pt и Pd. Альтернативой таким металлам могут стать некоторые переходные металлы, среди которых наиболее активным является Ni, сходный по электронному строению с перечисленными выше благородными металлами [3].

В рамках данной работы синтезированы никельсодержащие мезопористые и мезо-макропористые катализаторы на основе цеолита ZSM-48, проведены каталитические испытания в процессе гидропереработки продукта пиролиза пластиковых отходов, изучены свойства композитного катализатора в реакциях гидрокрекинга и гидроизомеризации. Мезопористый катализатор проявил большую активность в реакциях гидрокрекинга, тогда как мезомакропористый – в реакциях гидроизомеризации. Из продукта каталитического испытания было получено дизельное топливо с температурой помутнения $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ и итоговым выходом 65%.

Литература

1. Варламова Е. О., Анищенко О. В. Анализ процесса гидроизомеризации гача // Современные инновации в науке, образовании и технике. – 2018. – С. 23-25.
2. Deldari H. Suitable catalysts for hydroisomerization of long-chain normal paraffins // Applied Catalysis A: General. – 2005. – Т. 293. – С. 1-10.
3. Tan Y. и др. Species and impacts of metal sites over bifunctional catalyst on long chain n-alkane hydroisomerization: A review // Applied Catalysis A: General. – 2021. – Т. 611. – С. 117916.

ЭЛЕКТРОЛИТ С ПРОВОДИМОСТЬЮ ПО КАТИОНАМ Al^{3+} НА ОСНОВЕ МОЧЕВИНЫ

Рубилкин П. А.^{1,2}, Улихин А. С.^{1,2}, Уваров Н. Ф.^{1,2,3}

¹Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

³Новосибирский государственный технический университет

Научный руководитель: Улихин А.С.

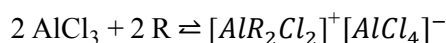
email: p.rubilkin@g.nsu.ru

Алюминиевые аккумуляторы рассматриваются в качестве перспективных устройств для стационарных систем накопления энергии. Они обладают повышенной ёмкостью в связи с тем, что в окислительно-восстановительной реакции $\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+}$ участвуют 3 электрона [1]. В настоящее время в мире ведутся поиски эффективных органических электролитов для алюминиевых аккумуляторов с алюминий-содержащими ионами. В литературе известны электролиты на основе глубокоэвтектических (ГЭР), органических растворителей, полимеров, растворов AlCl_3 в ионных жидкостях, например, хлоридах имидазолия [2-4].

Ионные жидкости являются одними из наиболее используемых систем для создания электролитов ввиду их термической стабильности, негорючести, относительно высокой ионной проводимости, простотой синтеза. Однако, полученные электролиты обладают высокой стоимостью и гигроскопичны, что ограничивает их применение [4].

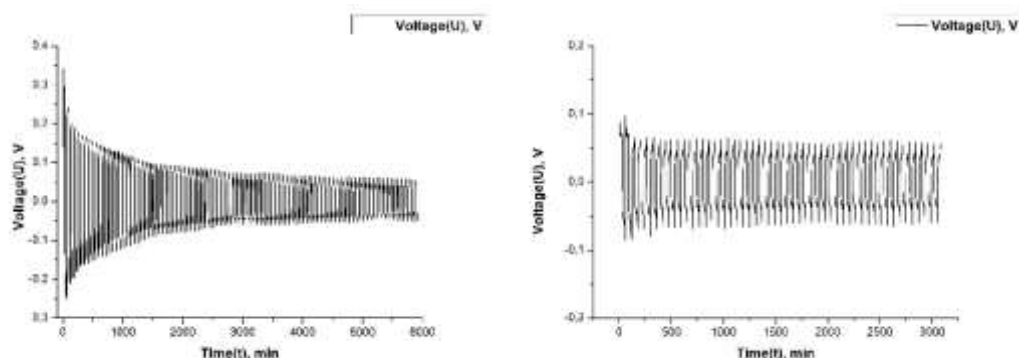
Альтернативными системами для использования в алюминиевых аккумуляторах являются электролиты на основе глубокоэвтектических растворителей (ГЭР, deep eutectic solvents). Они представляют собой смесь кислоты Льюиса, например, AlCl_3 , и основания Льюиса (донора водородной связи), например, мочевины или ацетамида.

В результате протекает следующая реакция [3,4]:



где R – амид. В отличие от ионных жидкостей, электролиты, полученные на основе ГЭР, обладают низкой стоимостью при сравнимых по величине значениях проводимости [4, 5].

В настоящей работе был получен электролит на основе ГЭР типа мочевины — хлорид алюминия. Электролит был получен путём смешения сухих компонентов в сухом боксе с последующим нагревом при 50 °С. Для электрохимических исследований была собрана ячейка монетного типа CR2032 с двумя электродами из алюминиевой фольги разделённых сепаратором из полипропилена, пропитанного электролитом состава 58% AlCl_3 – 42% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (вес. %). Для изучения обратимости алюминиевого электрода в контакте с электролитом были проанализированы кривые гальваностатического заряда-разряда. Полученные данные представлены на рисунке.



Гальваностатические испытания симметричной ячейки $\text{Al} | \text{AlCl}_3 + \text{Urea} | \text{Al}$

Результаты гальваностатических исследований показали, что алюминиевый электрод является обратимым в контакте с полученным электролитом, причём его характеристики улучшаются при циклировании. Таким образом, электролит является перспективным для использования в алюминиевых аккумуляторах.

Литература

1. Pantoja W., Perez-Taborda J. A., Avila A. Tug-of-war in the selection of materials for battery technologies //Batteries. – 2022. – Т. 8. – №. 9. – С. 105.
2. Smith E. L., Abbott A. P., Ryder K. S. Deep eutectic solvents (DESs) and their applications //Chemical reviews. – 2014. – Т. 114. – №. 21. – С. 11060-11082.
3. Abood H. M. A. et al. Do all ionic liquids need organic cations? Characterisation of $[\text{AlCl}_2 \cdot n \text{ Amide}]^+ \text{AlCl}_4^-$ and comparison with imidazolium based systems //Chemical Communications. – 2011. – Т. 47. – №. 12. – С. 3523-3525.
4. Leung O. M. et al. Progress in electrolytes for rechargeable aluminium batteries //Journal of The Electrochemical Society. – 2021. – Т. 168. – №. 5. – С. 056509.
5. Gu S. et al. Solvent effects on kinetics and electrochemical performances of rechargeable aluminum batteries //Energy Material Advances. – 2022. Art. 9790472.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ДОПИРОВАННЫХ АЛЮМИНИЕМ ФЕРРИТОВ ЛАНТАНА-СТРОНЦИЯ

Мамонова В. Е.^{1,2}, Арапова М. В.¹, Брагина О. А.¹, Немудрый А. П.¹

¹Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

630090, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18; e-mail: v.mamonova1@g.nsu.ru

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

Научный руководитель: к.х.н, с.н.с. М. В. Арапова

Высокая стабильность и наличие смешанной кислород-ионной проводимости перовскитоподобных оксидов на основе феррита лантана-стронция открывают широкие возможности для их применения в различных областях водородной энергетики. Модификация структуры допирующими добавками позволяет изменять свойства оксида таким образом, чтобы добиться повышения стабильности при сохранении транспортных и каталитических свойств, что делает такие оксиды перспективными для применения в мембранных реакторах парциального окисления углеводородов.

Целью работы является получение серии образцов с общей формулой $\text{La}_{0.4}\text{Sr}_{0.6}\text{Fe}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_{3-\delta}$ ($x = 0; 0.05; 0.075; 0.1; 0.15; 0.2$), и установление влияния введения алюминия в качестве допирующей добавки на структуру и свойства оксида. Основное внимание в работе уделено анализу изменений рабочего диапазона нестехиометрии и термодинамических параметров выделения кислорода из оксида при изменении концентрации допанта.

Серия оксидов была получена керамическим методом. Методом рентгенофазового анализа показано, что рефлексы на рентгенограмме образцов с $x = 0; 0.05; 0.075$ соответствуют пространственной группе симметрии $R\bar{3}c$, тогда как для образцов с $x = 0.1; 0.15; 0.2$ наблюдаются уширенные рефлексы, соответствующие кубической структуре P_{m3m} . Методом просвечивающей электронной микроскопии показана нанодоменная структура образца $\text{La}_{0.4}\text{Sr}_{0.6}\text{Fe}_{0.9}\text{Al}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ с разориентированными областями, преимущественно кристаллизующимися в пространственной группе симметрии P_{6mm} . Процессы выделения кислорода из оксидов исследованы методами термогравиметрии на воздухе и ТПД- O_2 в вакууме. Показано, что увеличение концентрации допанта в обоих случаях приводит к росту общего диапазона изменения нестехиометрии оксида в исследуемом диапазоне условий и снижению температуры начала выделения кислорода из образца. Методом квазиравновесного выделения кислорода [1] получены детальные равновесные диаграммы “Т – $p\text{O}_2$ – $3-\delta$ ”, в диапазоне температур 650-850 °С и парциальных давлений кислорода 0.14 - 1×10^{-4} атм. для образцов с $x = 0; 0.1; 0.2$.

Полученные зависимости представляют собой гладкие кривые, типичные для составов без фазовых переходов. Термодинамические параметры процесса выделения кислорода из оксида имеют значения, согласующиеся с представленными для ферритов в литературе данными [2], при этом зависимости энтальпии и энтропии от нестехиометрии (рисунок) свидетельствуют об увеличении силы связи кислорода с оксидом при увеличении концентрации допанта.

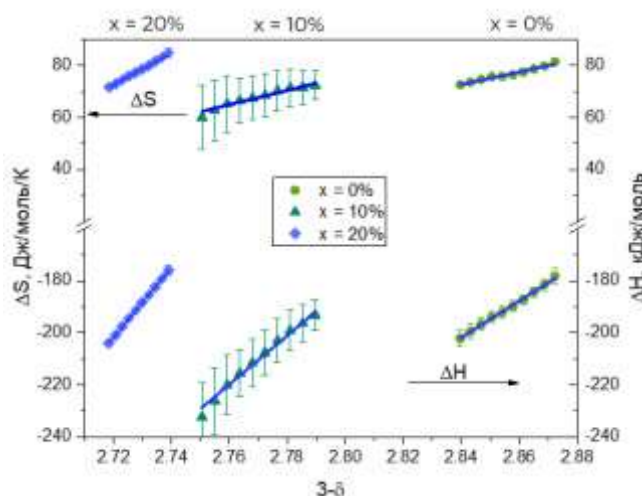


Рисунок – Изменение термодинамических параметров кислорода оксида $\text{La}_{0.4}\text{Sr}_{0.6}\text{FeO}_{3-x}$ при изменении концентрации алюминия

Литература

1. Starkov, I., Bychkov, S., Matvienko, A., et al. A new technique from the research group of As featured in: Oxygen release technique as a method for the determination of "d-pO 2 –T" diagrams for MIEC oxides. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2014.16. 5527-5527.
2. Patrakeev, M., Mitberg, E., Lakhtin, A., et al. Oxygen Nonstoichiometry, Conductivity, and Seebeck Coefficient of $\text{La}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{Fe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{O}_{2.65+\delta}$ Perovskites. *Journal of Solid State Chemistry*. 2002.167.1. 203-21

ТВЕРДЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНА ДЛЯ ПОЛНОСТЬЮ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

Подгорнова О. А., Федоров Н. А., Уваров Н. Ф.

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия
e-mail: podgornova.nsk@gmail.com

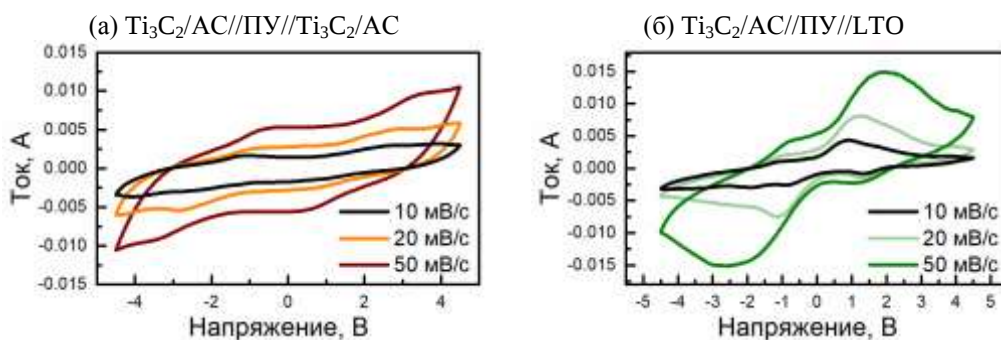
Суперконденсаторы (СК), также известные как электрохимические конденсаторы, – устройства для хранения энергии, которые являются перспективной заменой литий-ионных аккумуляторов благодаря их высокой удельной мощности, быстрой скорости заряда/разряда, безопасности и длительному сроку службы.

Одним из ключевых компонентов СК является электролит. Обычно в суперконденсаторах используются жидкие электролиты из-за их высокой ионной проводимости. Однако использование жидких электролитов ограничивает возможность широкого применения СК из-за возможной утечки электролита. Одним из перспективных вариантов решения данной проблемы является переход от жидких электролитов к твердым полимерным электролитам и, следовательно, создание твердо-

тельных СК. Твердотельные СК просты в изготовлении, имеют длительный срок хранения и высокую безопасность, а также в них отсутствует возможность протечки электролита.

Твердые полимерные электролиты состоят из полимерных матриц и литиевых солей, растворенных в них. В качестве матриц для твердых полимерных электролитов используются различные полимерные материалы. Среди них полиуретан является перспективной матрицей для создания гибких полимерных электролитов благодаря его механической прочности, высокой гибкости и электрохимической стабильности. Полиуретан имеет уникальную структуру, состоящую из мягких и твердых сегментов. Мягкие сегменты обычно состоят из полиэфира или полиэстера, которые обеспечивают растяжимость и гибкость полиуретана. Кроме того, мягкие сегменты могут растворять соли щелочных металлов, что обеспечивает ионный транспорт. Жесткие сегменты, состоящие из изоцианатов, отвечают за механические свойства и стабильность размеров твердого полимерного электролита на основе полиуретана посредством π - π взаимодействий и водородных связей. Свойства полиуретана можно легко регулировать, изменяя состав мягкого и жесткого сегментов.

В данной работе полиуретан (ПУ), синтезированный из преполимера на основе толуилеидиизоцианата (твердый сегмент) и 3,3'-дихлор-4,4'-диаминодифенилметана $C_{12}H_{12}N_2Cl_2$ (мягкий сегмент) и наполненный раствором органической соли $LiBF_4$ (7 масс.%) в N-метил-2-пирролидоне (NMP), был исследован в качестве твердого полимерного электролита для суперконденсаторных ячеек. Симметричные суперконденсаторные ячейки были собраны с использованием двух электродов на основе композита Ti_3C_2 и AC (Ti_3C_2/AC) и ПУ в качестве электролита и сепаратора. Для гибридных конденсаторных ячеек в качестве отрицательного электрода был выбран $Li_4Ti_5O_{12}$ (LTO).



Кривые циклической вольтамперометрии для симметричной и гибридной суперконденсаторных ячеек

Кривые, полученные методом циклической вольтамперометрии (ЦВА), имеют симметричную форму и несколько широких пиков, что указывает на псевдоемкостной механизм накопления заряда, связанный с интеркаляцией аниона BF_4^- из электролита в слои Ti_3C_2 . Псевдоемкостной механизм накопления заряда подтверждается также и методом гальваностатического заряда/разряда. Отсутствие заметного искажения ЦВА кривых при увеличении скорости сканирования от 10 до 50 мВ/с

свидетельствует о быстрой кинетике переноса заряда и быстром переносе ионов между отрицательным и положительным электродами и в симметричной, и в гибридной суперконденсаторной ячейке. Удельная емкость составляет 34,5 Ф/г для симметричной ячейки $\text{Ti}_3\text{C}_2/\text{AC}//\text{ПУ}//\text{Ti}_3\text{C}_2/\text{AC}$ и 27,8 Ф/г для гибридной ячейки $\text{Ti}_3\text{C}_2/\text{AC}//\text{ПУ}//\text{LTO}$ при скорости сканирования 10 мВ/с.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что твердые полимерные электролиты на основе полиуретана могут быть успешно использованы для создания твердотельных суперконденсаторов.

Работа выполнена в рамках Государственного задания (проект 121032500065-5).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СТРОЕНИЯ МОЛЕКУЛ МЕТАКРИЛАТОВ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА РЕАКЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ МОНОМЕРОВ

**Антонов И. М.¹, Михайленко М. А.¹, Шахтшнейдер Т. П.¹, Улихин А. С.¹,
Брызгин А. А.², Ельцов И. В.³, Смирнов Е. Б.⁴**

¹ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе, 18,
Новосибирск, 630128, e-mail: iliya.antonov92@yandex.ru

²ФГБУН Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск

³ФГБОУ ВПО Новосибирский национальный исследовательский государственный
университет, Новосибирск

⁴Российский федеральный ядерный центр ВНИИТФ, Снежинск

Разработка умных материалов – перспективное направление для применения метакрилатных полимеров. Умные материалы – это те, которые могут изменять свои характеристики в ответ на условия окружающей среды, такие как температура, свет, pH и другие внешние факторы. Недостатком традиционных методов полимеризации является наличие в конечных продуктах остаточных агентов, которые часто ухудшают их оптические и электронные свойства. Удаление инициатора и продуктов его распада из полимеров является сложной и дорогостоящей процедурой. Применение физического инициирования позволило получать высокомолекулярные полимеры при объемной полимеризации и при полимеризации в растворе.

Целью работы являлось исследование закономерностей между реакционной способностью эфиров метакриловой кислоты с объемными заместителями и их молекулярном распределении в жидкой фазе, а также пространственной структурой их молекул.

Установлено, что при 70 °С скорость реакции полимеризации смеси существенно выше по сравнению с полимеризацией индивидуальных мономеров. Выдвинуто предложение, что низкая реакционная способность индивидуальных мономеров по сравнению с их смесью может быть обусловлена наличием в них «замороженных состояний», в которых межмолекулярные взаимодействия затруднены. Результаты наших исследований вязкости, спектроскопии диэлектрических потерь и радиальной функции распределения мономеров, подтверждает данное предложение.

Зависимость вязкости изодецилметакрилата от температуры демонстрирует значительное снижение вязкости с повышением температуры. Аналогичное темпе-

ратурное поведение наблюдается на спектрах диэлектрических потерь. Наличие второго пика при нагревании свидетельствует о существовании как минимум двух молекулярных состояний в мономере. Процесс нагревания инициирует частичный переход из начального состояния, которое, вероятно, представляет собой ассоциаты мономеров, в более неупорядоченное состояние, характеризующееся увеличенной подвижностью мономеров и их фрагментов. Данные радиальной функции распределения также подтверждают это. В смеси молекулы распределены с более низкой концентрацией по сравнению с индивидуальными мономерами. Несмотря на то что молекулы бензилметакрилата упакованы плотнее, чем молекулы изодецилметакрилата, скорость полимеризации бензилметакрилата превышает скорость изодецилметакрилата. Данный феномен объясняется тем, что молекулы бензилметакрилата обладают большей компактностью по сравнению с молекулами изодецилметакрилата. Кроме того, согласно данным исследования вязкости мономеров, межмолекулярные взаимодействия в бензилметакрилате слабее, чем в изодецилметакрилате.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕМБРАН-СЕПАРАТОРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНОКСИДА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В БАТАРЕИ

Касен А. М., Усипбекова Е. Ж.

Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Республики Казахстан

Научный руководитель: PhD, и.о. доцента Усипбекова Е.Ж.

e-mail: kassenakerke@gmail.com

Литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) являются одними из наиболее передовых и широко применяемых систем хранения энергии, используемых в портативной электронике и электротранспорте. Благодаря высокой энергоемкости и длительному сроку службы, они рассматриваются как ключевой элемент в развитии устойчивых энергетических технологий. Одним из критически важных компонентов ЛИА является сепаратор. Для эффективной работы аккумулятора сепаратор должен обладать высокой химической и электрохимической стабильностью, механической прочностью, оптимальной пористостью и способностью поддерживать высокую ионную проводимость. В связи с этим значительное внимание уделяется разработке новых материалов и технологий, в частности мембран-сепараторов для повышения надежности и безопасности литий-ионных аккумуляторов [1].

В работе были получены восемь образцов композитных полимерных мембран при соотношении полимеров полиэтиленоксид (ПЭО) и поливинилиденфторид (ПВДФ) 1:1 и 3:1 с различным массовым содержанием нанонаполнителя TiO_2 ($x = 2.5; 5; 7.5$ и 10 мас.%).

Наиболее эффективным составом полученной мембраны-сепаратора является ПВДФ-ПЭО- TiO_2 при соотношении 3:1 и содержании 2,5 мас.% TiO_2 при 45°C . Было исследовано влияние концентрации наполнителя на ионную проводимость мембраны-сепаратора, при этом максимальное значение проводимости составило $\sigma = 9.59 \times 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$.

Исследование поверхностной морфологии полимерных мембран позволяет оценить влияние различной концентрации нанонаполнителя и соотношения полимеров на изменение микроструктуры образцов. При введении мелкокристаллической фазы наполнителя в объем полимера и прохождении заряда через поверхность частиц наблюдается значительное повышение литиевой ионной проводимости. При этом одним из ключевых факторов является равномерное распределение наполнителя в структуре мембраны. На основе полученных результатов были выявлены размеры частиц и особенности формирования неоднородной поверхности.

Кроме того, результаты ИК-спектров показали наличие взаимодействия между смесью ПЭО/ПВДФ и нанонаполнителем TiO_2 , что проявляется в характерных полосах колебаний образцов. Это подтверждается увеличением интенсивности и сдвигом характерных пиков, относящихся к TiO_2 .

Термогравиметрический анализ показал, что увеличение концентрации нанонаполнителя ($x = 2.5; 5; 7.5; 10$ мас.%) приводит к снижению термической стабильности мембраны-сепаратора. При этом полимерная мембрана-сепаратор на основе ПВДФ-ПЭО- TiO_2 сохраняет устойчивость и обеспечивает надежную работу при температурах до 300°C .

Будущие исследования будут направлены на изучение механических свойств, расширенный анализ физико-химических параметров композитных материалов, а также на оценку влияния различных нанонаполнителей на их структуру и функциональные характеристики.

Литература

[1] Xue Z., He D., Xie X. Poly(ethylene oxide)-based electrolytes for lithium-ion batteries // Journal of Materials Chemistry A. – 2015. – Vol. 3, No. 38. – P. 19218–19253. doi:10.1039/c5ta03471j

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОШКОВ LaAlO_3 , ПОЛУЧЕННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

Антропова К. А.

*Новосибирский государственный технический университет
Научный руководитель: к.т.н., доцент Черкасова Н.Ю.
antropova.2017@stud.nstu.ru*

Алюминат лантана (LaAlO_3) относится к классу перовскитов, обладает широким спектром свойств и применяется в различных областях промышленности, например радиоэлектронной, оптической, химической и т.д. Известны многочисленные методы синтеза этого соединения: совместное осаждение, гидро- или сольвотермический, механоактивация, твердофазный и золь-гель [1].

В данной работе LaAlO_3 был получен нитрат-цитратным золь-гель методом с последующим сжиганием. Растворы нитратов (0,5М) смешивали, затем вводили лимонную кислоту (0,5М). Для поддержания $\text{pH}=7$ использовали раствор NH_4OH . Подготовленные составы отличались соотношением масс смеси нитратов и лимонной кислоты: 1:0,25; 1:0,37; 1:0,48. Смешивание итоговых растворов проводили в

течение 2 ч при температуре не более 60 °С. После высушивания геля проводили сжигание при 400 °С и отжиг при 900 °С. Полученные порошки исследовали методами рентгенофазового анализа (ADVINT POWDIX 600, Cu K α) и BET (Sorbi-MS). Морфологию частиц оценивали на растровом электронном микроскопе (Merlin).

Независимо от количества лимонной кислоты, все подготовленные порошки, обработанные при 900 °С, являются LaAlO₃. Пористые агрегаты сформированы пористыми стенками из частиц сферической формы, соединенными перешейками. Средний размер частиц уменьшается от 60 до 50 нм с увеличением количества C₆H₈O₇. Площадь удельной поверхности всех материалов составляет более 15 м²/г.

Литература

1. Heveling, J. La-Doped Alumina, Lanthanum Aluminate, Lanthanum Hexaaluminate, and Related Compounds: A Review Covering Synthesis, Structure, and Practical Importance. – Ind. Eng. Chem. Res. – 2023. – V. 62. – pp. 2353–2386.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-79-00256, <https://rscf.ru/project/24-79-00256/>. Исследования проведены на оборудовании ЦКП «Структура, механические и физические свойства материалов», НГТУ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ РОДАНИД-ИОНОВ НА ЗОЛОТОМ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ЭЛЕКТРОДЕ

Корастелева В. В.¹, Александрова Т. П.^{1,2}, Овчинникова С. Н.²

¹Новосибирский государственный технический университет, проспект К. Маркса, 20, Новосибирск 630073, Россия

²Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН, ул. Мичурина, 15, Новосибирск 630091, Россия
E-mail: vvk.nsk@mail.ru

Роданид-ионы используются в качестве добавки в различных электрохимических процессах, в частности, для выщелачивания золота. Анализ литературы не даёт чётких представлений о механизме электроокисления SCN[–] и о влиянии его на процесс растворения золота. В данной работе исследовано поведение роданид-ионов в кислых растворах на золотом электроде.

Из рис. 1, где приведены циклические вольтамперограммы (ЦВА), полученные в сернокислом растворе видно, что добавление SCN[–]-ионов приводит к появлению анодных и катодных пиков тока на золоте. Пики тока при потенциале +0.8 В связаны с окислением роданид-ионов, при E = +0.3 В – с восстановлением роданидных комплексов Au (I) и Au (III).

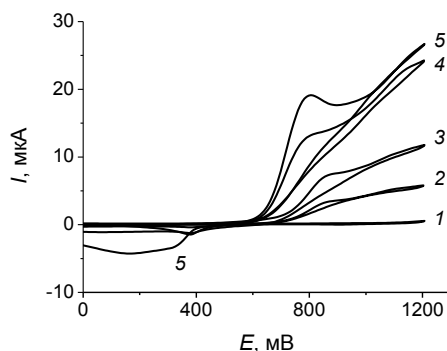


Рисунок 1 – ЦВА золотого электрода в растворах 0,17 М H_2SO_4 при добавлении SCN^- разной концентрации, мМ: 1 – 0; 2 – 6; 3 – 12; 4 – 20; 5 – 33. $V = 50 \text{ мВ/с}$

На рис. 2 приведены ЦВА и $\Delta f - E$ зависимости в чистой 0,17 М H_2SO_4 (а) и с добавлением цианид-ионов (б), полученные методом кварцевой микрогравиметрии. Данный метод позволяет разделить red-ox процессы и процессы, связанные с изменением массы электрода (осаждение – растворение золота). Из рисунка видно, что в растворе кислоты скорость растворения золота в исследованной области потенциала мала (рис. 2а). Подъем тока при $E > 1.2 \text{ В}$ связан с образованием оксидов золота, которые восстанавливаются при обратном сканировании при $E = +0.9 \text{ В}$.

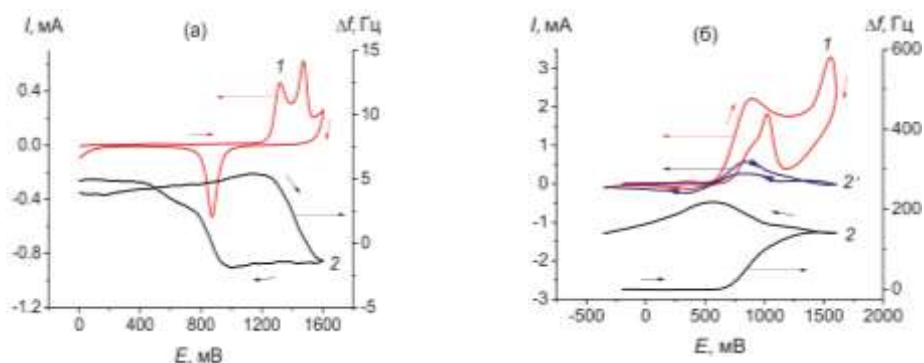


Рисунок 2 – ЦВА (1) и $\Delta f - E$ зависимости (2), полученные на Au электроде в растворах 0,17 М H_2SO_4 (а) и с добавлением 12 мМ SCN^- (б).

2' – ЦВА, рассчитанная по изменению частоты кварцевого резонатора для Au(III)

Введение SCN^- приводит к ускорению анодного растворения золота и появлению на ЦВА трех анодных пиков, не связанных с образованием оксидов золота (рис. 2б). Видно, что появление анодного пика тока при потенциале +300 мВ не сопровождается изменением массы электрода. Рост анодного тока в области потенциалов 600 – 800 мВ сопряжён с уменьшением массы электрода вследствие растворения золота с образованием растворимых роданидных комплексов Au (I) и Au (III). Кривая 1 на рис. 2(б) показывает изменение общего тока, протекающего на кварцевом резонаторе при изменении потенциала. Кривая 2' отвечает растворению

золота, ток рассчитан по изменению массы электрода в предположение образования комплексов Au (III) (для Au (I) токи будут в 3 раза ниже). Видно, что с введением SCN⁻ в раствор наблюдается как значительный рост общего тока, так и тока, идущего на растворение золота в области потенциалов 500 – 1300 мВ. Несовпадение величин тока означает, что на электроде одновременно протекает окисление SCN⁻. Уменьшение скорости растворения золота (на кривой 2') может быть связано с пассивацией поверхности электрода частицами продуктов окисления SCN⁻. Факт пассивации подтверждают эксперименты с обновлением поверхности электрода. При смещении потенциала в анодную сторону на ЦВА наблюдается подъем тока при $E = 1.25$ В до $E = 1.5$ В, после чего идет спад тока. Рост тока вызван протеканием процесса, не связанного с растворением золота, т.к. сопровождается незначительным ростом массы электрода. Такое изменение массы возможно связано с образованием оксидов на поверхности золота.

КАТАЛИТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ ФЕРОМОНОВ КЛОПОВ ЩИТНИКОВ

Шакирзянова Г. С.¹, Холбеков О. Х.¹, Бойко С. В.³, Тогаев У. Р.¹,
Немкевич М. Г.³, Низамов Д. Б.²

¹*Институт Биоорганической химии имени академика Садыкова О.С.
Академии Наук Республики Узбекистан*

²*Агроинспекция при Министерстве сельского хозяйства Узбекистана*

³*Институт защиты растений Национальная Академия Наук Республики Беларусь
Email: gulnara-sh@rambler.ru*

В последнее время, одним из современных и безопасных для биосферы направлений биологической защиты растений от вредных насекомых, является использование феромонов, поскольку они применяются в ничтожно малых количествах, не загрязняют окружающую среду, безвредны для человека и животных.

Установление химической структуры феромонов и аттрактивных веществ позволяет разрабатывать пути синтеза синтетических аналогов феромонов, которые зарекомендовали себя в качестве инструмента манипуляций за поведением насекомых.

Поиск альтернативных и объективных методов учета полужесткокрылых насекомых (*Hemiptera*) приобретает актуальное направление, в виду того, что методики энтомофитосанитарного мониторинга посевов зерновых культур в разные периоды их развития на предмет своевременного выявления клопов-щитников достаточно трудоемки. Нами проводятся исследования по выделению, идентификации и синтезу семиохимических веществ клопов-щитников, собранных на зерновых культурах в климатических условиях Узбекистана и Беларуси.

Клопы-щитники (*Pentomidae*) обладают богатым набором семиохимических соединений, которые функционируют как феромоны, алломоны, синомоны и кайромоны. В секретах метаторакальных желез обнаружены алломональные, защитные вещества, причем остальные внутри- и межвидовые взаимодействия (спа-

ривание, поиск пищи, определение мест зимовки) на химическом и молекулярном уровне все еще мало изучены.

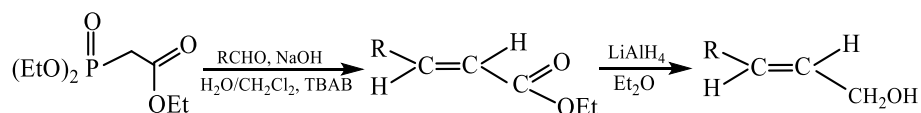
Биоматериал клопов-щитников *Eurygaster integriceps* и *Aelia rostrata*, *Aelia melanota* был собран на экспериментальных пшеничных полях Узбекистана и Беларуси.

Согласно экспериментальным данным по идентификации основных аттрактивных соединений клопов-щитников, к ним были отнесены: 2-алкенали и их ацетаты, в основном Е-изомеры, насыщенные алифатические углеводороды и 4-оксо-(Е)-2-алкенали.

Идентифицированные соединения имеют специальный запах и являются сильными раздражителями, обеспечивая легко обнаруживаемый предупреждающий сигнал и надежную защиту. Функции углеводов служат субстратами с контролируемым высвобождением более летучих соединений. На основании полученных результатов идентификации были разработаны и синтезированы основные химические соединения, обнаруженные в секретах метаторакальных желез.

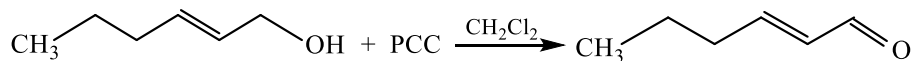
Синтез компонентов с ненасыщенным фрагментом Е-конфигурации проводили в условиях межфазного катализа Виттига-Хорнера (Схема 1):

Схема 1:



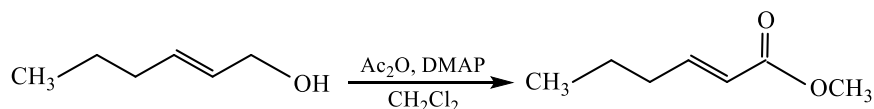
(Е)-2-гексен-1-ол окисляли до (Е)-2-гексеняля с использованием хлорхромат-пиридина (PCC), в качестве катализатора окисления с выходом 75% (Схема 2):

Схема 2:



Полученный спирт с ненасыщенным фрагментом Е-конфигурации был превращен в соответствующий ацетат с использованием уксусного ангидрида, с использованием катализатора диметиламинопиридина – DMAP [1], что позволило значительно сократить время реакции – 30 минут и повысить выход до 90%

Схема 3:



Проведение химического синтеза в каталитических условиях позволило значительно упростить методики проведения реакции, согласно основным принципам Зеленой химии, сократить время эксперимента, увеличить выход конечного продукта, а также избежать использование больших количеств легкокипящих и воспламеняющихся растворителей.

В результате проведенных исследований разработаны методы синтеза синтонов – предшественников феромонов и синтезированы основные компоненты семиохимических соединений, которые, в дальнейшем будут использованы для

феромонного мониторинга, с целью выявления ареала опасных полужесткокрылых вредителей в уязвимые фазы развития злаковых культур.

Литература

1. Sheikh, Md. Ch.; Takagi, Sh.; Yoshimura, T.; Morita H. Mechanistic studies of DCC/HOBt-mediated reaction of 3-phenylpropionic acid with benzyl alcohol and studies on the reactivities of 'active ester' and the related derivatives with nucleophiles. *Tetrahedron*. 2010, 66, 7272 – 7278. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2010.07.011>

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТИЦ КРАХМАЛА, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГИДРОЛИЗА И ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Помазанов А. А.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской академии наук,
a.pomazanov@g.nsu.ru*

Научный руководитель: Масленников Д.В.

Нано- и микрочастицы крахмала представляют интересный и актуальный для изучения объект. Им присущи экологичность, биосовместимость с тканями организма, многообразие форм и размеров, превосходство над нативным крахмалом по ряду параметров, и при этом они обладают большим спектром потенциальных применений: дисперсионное упрочнение полимеров, стабилизация эмульсий, инкапсулирование лекарственных препаратов и др. [1, 2]. Однако, в объёмах промышленного производства представлено лишь несколько патентов, что свидетельствует о недостаточной изученности данной области.

В работе мы использовали экологичный и достаточно эффективный метод ферментативного гидролиза нативного крахмала с последующей его перекристаллизацией для получения искомых частиц [3]. Не все закономерности этого процесса изучены, на чём и был сделан акцент в исследовании. На данный момент было обнаружено, что образцы меняют тип кристаллической структуры при ферментативной обработке и что процесс кристаллизации имеет ступенчатый характер и подвержен влиянию концентрации образца и типа растительного источника крахмала. Ступени кристаллизации предположительно соответствуют разным фракциям крахмала.

Литература

1. Hassan N.A. et al. Recent Trends in the Preparation of Nano-Starch Particles // *Molecules*. 2022. Vol. 27, № 17. P. 1–24.
2. Marta H. et al. Starch Nanoparticles: Preparation, Properties and Applications // *Polymers (Basel)*. 2023. Vol. 15, № 5. P. 19–25.
3. Sun Q. et al. Green preparation and characterisation of waxy maize starch nanoparticles through enzymolysis and recrystallisation // *Food Chem*. 2014. Vol. 162. P. 223–228.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ CVD-СИНТЕЗА НА СЕНСОРНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК ГРАФЕНА

Новиков М. А.^{1,2}, Попов К. М.¹, Сысоев В. И.¹, Окотруб А. В.^{1,2}

¹ *Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия*

² *Новосибирский государственный университет (НГУ), Новосибирск, Россия*

Научный руководитель: к.х.н., с.н.с., Сысоев В.И.

m.novikov4@g.nsu.ru

Датчики газа играют важную роль во многих областях применения, таких как мониторинг окружающей среды, промышленное производство и безопасность, медицинская диагностика, военная и аэрокосмическая промышленность. Нанотехнологии предоставляют возможности для разработки детекторов газа следующего поколения с улучшенными характеристиками сенсора, такими как высокая чувствительность и специфичность, быстрый отклик и восстановление, низкое энергопотребление, работа при комнатной температуре и хорошая обратимость. Среди всех наноматериалов, потенциально пригодных для использования в резистивных газовых сенсорах особенно выделяются углеродные наноматериалы. Графен – монослой атомов углерода – является перспективным материалом для создания чувствительных элементов газовых датчиков. Это обусловлено двумерной структурой графена и его уникальными физико-химическими свойствами, такими как большая удельная поверхность, высокая электропроводность, а также эффективная адсорбция молекул разнообразных газов.

Настоящая работа посвящена изучению влияния параметров синтеза на сенсорные свойства графеновых пленок по отношению к воздействию низких концентраций диоксида азота и аммиака. Синтез графена на медной подложке проводился методом химического осаждения из газовой фазы (CVD) из смеси метана и водорода при пониженном давлении. В результате синтеза получены образцы графена площадью до 3 см². Перенос графена на целевую подложку осуществлялся раствором трихлорида железа и последующую промывку графеновой пленки соляной кислотой и водой. Проведено исследование влияния различных параметров синтеза: соотношения газов в смеси и общего давления в системе на дефектность и структуру образцов графена, что оценивалось с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния света и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Целостность пленок графена, перенесенных на целевую подложку, оценивалась с помощью оптической и сканирующей электронной микроскопии.

Для исследования сенсорных свойств образцы графена перенесены на кремниевые и стеклянные подложки. Полученные материалы имеют сопротивление 10-70 кОм/кв при комнатной температуре в зависимости от условий синтеза. Материалы протестированы на циклическое воздействие акцепторных (диоксида азота) и донорных (аммиака) газов в интервале температур 25-160 °С. Полученные сенсоры показывают отклики до 10% на NO₂ и до 7% на NH₃, однако демонстрируют плохую обратимость при комнатной температуре. В связи с чем изучен интервал температур от 140 до 160 °С для поиска оптимальной температуры работы и регенерации сенсора. Для изучения кинетики сенсорного отклика на воздействие различных концентраций NO₂ в воздухе при температурах от 140 °С до

160 °C экспериментальные кривые аппроксимировали экспоненциальными функциями. На основе этих данных проводили изучение кинетики процессов адсорбции и десорбции NO₂ на пленке графена, а также определению различных кинетических параметров этих процессов, таких как константы скоростей реакций и энергии активации адсорбции и десорбции.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (№24-73-10039).

DEVELOPMENT OF A NOVEL ENVIRONMENTALLY BENIGN GREEN CATALYST FOR THE SYNTHESIS OF STERICALLY HINDERED CYCLOALKYLPHENOLS

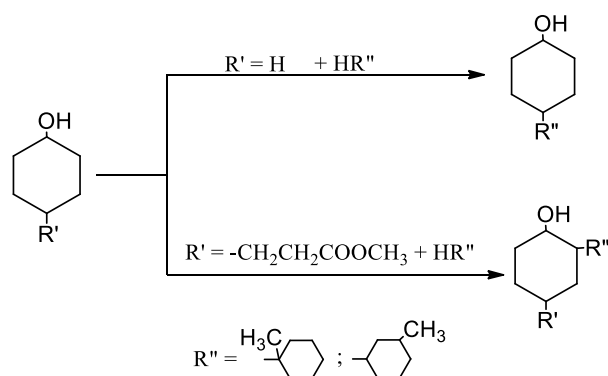
Rasulov Ch. K., Naghiyeva M. V., Gurbanova U. R., Hajiyeva G. F.

Academician Y.H. Mammadaliyev Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, AZ 1025, Baku, 30 Khojaly ave.

E-mail: mehri.nagieva@mail.ru

Currently, alkylphenols are primarily obtained through alkylation reactions of phenols with various alkylating agents in the presence of homogeneous or heterogeneous catalysts [1–3]. However, using homogeneous catalysts presents several challenges: the process is typically conducted in batch mode, equipment corrosion can occur, the catalyst is washed away from the main product, and subsequently released into the environment. These factors render the process inefficient from ecological, economic, and technological standpoints. For these reasons, zeolite-based catalysts have recently gained widespread use in alkylation reactions. Due to the presence of acidic sites and their microporous structure, zeolites significantly outperform conventional industrial catalysts. One of the most essential advantages of zeolites is their environmental safety: they are thermally stable, can be regenerated and reused, and do not pollute air or water, making them ecologically favorable.

The present study is devoted to the investigation of the cycloalkylation reactions of phenol and the methyl ester of 4-hydroxyphenylpropionic acid with methylcyclohexenes in the presence of the zeolite-based catalyst KN-30M.



The cycloalkylation reactions were carried out in a batch laboratory reactor. A comprehensive study was conducted to elucidate the optimal process conditions by systematically examining the influence of key kinetic parameters – including temperature, reaction time, initial component molar ratios, and catalyst concentration – on the yield and selectivity of the desired products.

The catalytic cycloalkylation reactions of phenol with 1(3)-methylcyclohexenes were studied at temperatures ranging from 80 °C to 140 °C, over reaction durations of 2 to 6 hours, with molar ratios of phenol to methylcyclohexenes varying from 0.5:1 to 2:1, and using 5–15% catalyst by weight. Under the optimized conditions, the yield of para-[1(3)-methylcyclohexyl]phenols reached 76.8–78.2% (based on the amount of phenol used), with selectivity for the target products ranging from 87.4% to 91.6%. Optimal conditions were also determined for the cycloalkylation reactions of the methyl ester of 4-hydroxyphenylpropionic acid with 1(3)-methylcyclohexenes in the presence of the KN-30M catalyst. Under these conditions, the yields of the target products—methyl esters of 3-[1(3)-methylcyclohexyl]-4-hydroxyphenylpropionic acid—ranged from 72.6% to 74.2%, with selectivity between 89.3% and 92.7%.

References

1. Naghieva M.V., Gurbanova U.R., Aliyeva K.Sh., Rasulov Ch.K. Use of C₄-C₅ Pyrolysis Fraction of Low-Octane Gasoline for the Production of Highly Effective Chemical Additives. IX International Scientific and Technical Conference, *Alternative Raw Materials and Fuels*, Belarus, Minsk, October 17–20, 2023, p. 165.
2. Gurbanova U.R., Rasulov Ch.K. Catalytic alkylation of *para*-cresol with isoprene cyclodimers. XVI International Scientific Conference, Tallinn, Estonia. 2024, pp.5-7.
3. Naghiyeva M.V. Synthesis of aminomethylated derivatives of ethyl esters of 4-(4-hydroxyphenyl)- and 4'-methyl-4-(4-hydroxyphenyl)cyclohexanecarboxylic acids and the study of their antioxidant properties. *Neftepererabotka i neftekhimiya*, 2020, No. 2, pp. 14-18 (in Russian).

ПОЛУЧЕНИЕ ПОКРЫТИЯ С АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫМИ И ДЛИТЕЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Кидирбоев Б. Т., Сайлау А. Г.*

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан

**Email: kidirbaevbaurzhan@mail.ru*

В настоящее время старение населения и повышение качества медицинских услуг усиливают спрос на ортопедические имплантаты. Однако их преждевременный выход из строя и осложнения после хирургических операций остаются актуальными проблемами. Эти осложнения чаще всего связаны с развитием инфекций в области имплантации. Такие проблемы не только негативно влияют на здоровье и качество жизни пациентов, но и ограничивают широкое применение имплантатов. Ежегодно миллионам людей устанавливают ортопедические имплантаты, однако значительная часть сталкивается с инфекционными осложнениями после операций. Это усложняет процесс лечения и в некоторых случаях приводит к необходимости удаления установленного устройства. Таким образом, данные трудности представляют угрозу не только для здоровья пациента, но и

являются серьёзной проблемой для всей медицины. Всё это подчёркивает важность разработки материалов с длительным антибактериальным действием.

В связи с этим целью данной работы является получение покрытия с пролонгированным и антибактериальным эффектом.

В исследовании изучалась модификация поверхности имплантата полиэлектролитными покрытиями методом послойной сборки (Layer-by-Layer, LbL). В качестве полиэлектролитов использовались полиакриловая кислота (PAA) и хитозан (CHI), а в качестве антибактериального агента – триклозан (TCS). Триклозан отличается высокой активностью против широкого спектра бактерий и эффективен в борьбе с бактериями, устойчивыми к антибиотикам.

Морфология покрытия и его шероховатость исследовались с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и атомно-силовой микроскопии (АСМ). Антибактериальная активность полученного покрытия оценивалась методом диффузии. Также было исследовано высвобождение триклозана из покрытия.

Результаты исследования высвобождения триклозана из покрытий в течение 14 суток показали, что покрытие сохраняет активность в течение послеоперационного периода. Кроме того, исследования антибактериальной активности покрытий после хранения на различные временные интервалы (1, 10, 20 суток) продемонстрировали, что образцы не теряют активности и сохраняют эффективность против бактериального штамма.

Проведённое исследование свидетельствует о потенциале увеличения срока службы имплантируемых изделий в организме.

Данная работа выполнена в рамках проекта AP19577150 «Исследование пролонгированных свойств и цитотоксичности антибактериального покрытия на основе натуральных полисахаридов, содержащего хлорексидин и серебряные наночастицы для имплантируемых изделий».

СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ IN SITU КОМПОЗИТА АЦ/ППир

Калбаев С. Е., Нематова С. Т.

*Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека
e-mail: saparbay9008@gmail.com*

Научные руководители: д.х.н., проф. Каттаев Н.Т, д.х.н., проф. Акбаров Х.И.

С ростом числа областей практического применения органические полупроводниковые материалы с цепочной структурой привлекают всё больше внимания. В этом контексте композиционные материалы на основе целлюлозы (АЦ), покрытые полипирролом (ППир), представляют особый интерес благодаря ряду уникальных электрофизических свойств. В таких системах процессы переноса носителей заряда могут происходить по различным механизмам.

Композит АЦ/ППир был получен методом in situ посредством окислительной полимеризации пиррола под действием FeCl_3 на поверхности подложки из полупроницаемой целлюлозы. Идентификация и исследование структурной морфологии полученного композита проводились с использованием современных физико-

химических методов анализа, включая ИК-Фурье-спектроскопию, сканирующую электронную микроскопию, энергодисперсионную спектроскопию и другие.

Электропроводность АЦ/ППир, в котором макромолекулы ППир формируют области полисопряжения, исследовали методом снятия вольтамперных характеристик. Установлено, что образец АЦ/ППир-1, синтезированный при комнатной температуре, демонстрирует неполупроводниковый характер температурной зависимости электропроводности: с повышением температуры проводимость снижается. В то же время образец АЦ/ППир-2, полученный при температуре 0 °С, проявляет значительно более высокую электропроводность, сопоставимую с композитом на основе арсенида вольфрама, содержащим 3 % ППир. В отличие от АЦ/ППир-1, температурная зависимость электропроводности АЦ/ППир-2 носит полупроводниковый характер. Повышение проводимости с температурой в случае АЦ/ППир-2 может быть обусловлено, с одной стороны, уплотнением структуры в результате замедленной полимеризации и упорядочивания при низкой температуре, а с другой – эффектом туннелирования носителей заряда между молекулами ППир, локализованными в порах целлюлозной матрицы.

ТРАНСПОРТНЫЕ И ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОРГАНИЧЕСКИХ ИОННЫХ ПЛАСТИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ МОРФОЛИНИЯ

Стебницкий И. А.^{1,2}, Матейшина Ю. Г.^{1,2}, Уваров Н. Ф.^{1,2,3}

¹*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,*

²*Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН*

³*Новосибирский государственный технический университет*

Научный руководитель: Матейшина Ю.Г.

email: i.stebnitskii@g.nsu.ru

Широкое коммерческое использование литий-ионных аккумуляторов обуславливает необходимость в инновационных электролитах, которые позволят повысить как производительность, так и их безопасность. Хотя жидкие электролиты все еще находят широкое применение в батареях, но остается ряд ограничений при использовании их в контакте с литиевым анодом, связанных с безопасностью вследствие роста дендритов, нестабильностью границ раздела (образование SEI) и нестабильностью при контакте с воздухом, что ограничивает их практическое использование т.к. приводит к повышению межфазного сопротивления и снижению кулоновской эффективности. С учетом вышесказанного, разработка новых электролитов, обеспечивающих повышенную безопасность, приобретает первостепенное значение для развития аккумуляторов следующего поколения. Среди наиболее широко используемых вариантов ионные жидкости и органические ионные пластиковые кристаллы (ОИРС) привлекают внимание из-за таких их характеристик как пониженная воспламеняемость и, вследствие этого большая безопасность (высокие температуры вспышки); низкие давления паров (часто вплоть до температуры разложения) и высокая термическая стабильность по

сравнению с традиционно используемыми в электролитах органическими растворителями, и электрохимическая стабильность. Органические пластические ионные кристаллы во многом похожи на ионные жидкости, при комнатной температуре это – твердые вещества с разупорядоченной кристаллической решеткой, характеризующиеся дальним порядком, но из-за вращательного и поступательного движения ионов демонстрируют короткодействующий беспорядок, что обеспечивает им пластичность. Многие представители ОИРС демонстрируют высокую термическую стабильность (до 400 °С) и негорючесть, высокую электрохимическую стабильность (более 4,5 В), пластичность, а также высокие значения ионной проводимости [1].

К типичным представителям органических ионных пластических кристаллов относятся соли замещенного аммония в различных вариациях: соли тетраалкиламмония, пирролидиния и пиперидиния. В последние несколько лет стали появляться публикации о новых ОИРС с улучшенными характеристиками – о солях аммония, модифицированные простоефирными группами. Так, ранее для тетра-фторобората N-метил-N-этилоксазолидиния наблюдалась высокая термическая (до 331 °С) и электрохимическая стабильность (окно электрохимической стабильности 4,8 В), а также крайне высокая ионная проводимость 8×10^{-6} См/см при 30 °С [2]. Однако подобные ОИРС, модифицированные простоефирными группами, практически не исследованы.

В данной работе впервые исследуются транспортные и термические свойства новых органических ионных пластических кристаллов – тетрафтороборатов замещенного морфолиния. Результаты исследований обсуждаются в докладе.

Литература

1. Zhu H. et al. Organic ionic plastic crystals as solid-state electrolytes //Trends in Chemistry. – 2019. – Т. 1. – №. 1. – С. 126-140.
2. Sourjah A. et al. Investigation of the benefits of the oxazolidinium cation for plastic crystal and ionic liquid electrolytes //Frontiers in Batteries and Electrochemistry. – 2024. – Т. 3. – С. 1330604.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 25-23-00263.

КИНЕТИКА АМИНОКИСЛОТНОГО РАСТВОРЕНИЯ ХАЛЬКОЗИНА В ПРИСУТСТВИИ ХЛОРИДА ЖЕЛЕЗА (III)

Литвиненко К. А.

*Казахский Государственный Университет имени Аль-Фараби, Алматы
lkirill160902@gmail.com*

Прогресс современной технологии переработки медьсодержащего сырья тесно связан с усовершенствованием гидрохимических методов извлечения ценных компонентов из этого сырья. При этом сульфидные минералы составляют основную часть руд цветных металлов, являющихся ценным сырьем цветной и химической промышленности. Для переработки медьсодержащих сульфидных руд одним из наиболее рациональных как в экономическом, так и в экологическом

плане является гидрохимический способ с применением смеси реагентов окислителей в сочетании с комплексообразующим лигандом [1,2,3].

В данной работе предлагается аминокислотное выщелачивающего халькозина в присутствии хлорида железа (III). Аминокислотное выщелачивание является относительно новым направлением в гидрометаллургии, основанным на использовании природных или синтетических аминокислот в качестве выщелачивающих агентов [4]. Аминокислоты представляют собой бифункциональные соединения, содержащие карбоксильную ($-\text{COOH}$) и аминогруппу ($-\text{NH}_2$), что обеспечивает их способность к комплексообразованию с ионами металлов [5].

В результате исследования была изучена зависимость кинетики аминокислотного выщелачивания меди из халькозина в раствор в зависимости от следующих параметров: концентрации хлорида железа, аспарагиновой кислоты; кислотности среды; размер частиц минерала; соотношения Т:Ж; температура процесса; использования других аминокислот.

Результаты экспериментов показали, что наиболее эффективным являются концентрации 1 г/л FeCl_3 и 0,25 г/л аспарагиновой кислоты, при котором достигается наибольшая степень извлечения меди. Данное соотношение является оптимальным, так как повышение концентрации окислителя приводит к увеличению скорости гидролиза Fe^{3+} и образованию нерастворимых гидроксидов железа, что снижает окислительную способность. С другой стороны, умеренное количество аспарагиновой кислоты позволяет ионам меди эффективно переходить в раствор, предотвращая осаждение $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Повышение температуры увеличивает скорость реакций окисления и комплексообразования, снижая вязкость раствора, что способствует ускоренному переходу меди в растворимую форму без значительного увеличения образования побочных продуктов.

Таким образом, использование хлорида железа (III) и аспарагиновой кислоты представляет собой эффективный, относительно быстрый и экологически безопасный способ выщелачивания меди из халькозина. Этот подход открывает перспективы для разработки новых технологий переработки сульфидного сырья с минимальным воздействием на окружающую среду.

Литература

1. Уткин Н.И. Производство цветных металлов. – 2-е изд. – М.: Интермет Инжиниринг, 2004. – 442 с.
2. The World Copper Factbook 2021. – Lisbon: International Copper Study Group, 2021. – 61 p.
3. Марченко Н.В., Вершинина Е.П., Гильдебрандт Э.М. Металлургия тяжелых цветных металлов: учеб. пособие. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 394 с.
4. Eksteen J.J., Oraby E.A. The leaching and adsorption of gold using low concentration amino acids and hydrogen peroxide: Effect of catalytic ions, sulphide minerals and amino acid type // Minerals Engineering. - 2015. - Vol. 70. - P. 36-42.
5. Kiss T., Sovago I., Martin R.B. Complexes of amino acids with transition metal ions // Metal Ions in Biological Systems. - 1983. - Vol. 15. - P. 1-42.

ПОЛУЧЕНИЕ МЕСТНОГО КРОВООСТАНАВЛИВАЮЩЕГО СРЕДСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСТЕМПЛАТНОГО ЦЕОЛИТА ZSM-5

Касьянов А. В.^{1,2}, Бабина К. А.^{1,2}, Аньков С. В.³, Пархомчук Е. В.^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет, e-mail: a.kasyanov1@g.nsu.ru

²Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук

³Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова Сибирского отделения
Российской академии наук

Научный руководитель: к.х.н. Бабина Ксения Александровна

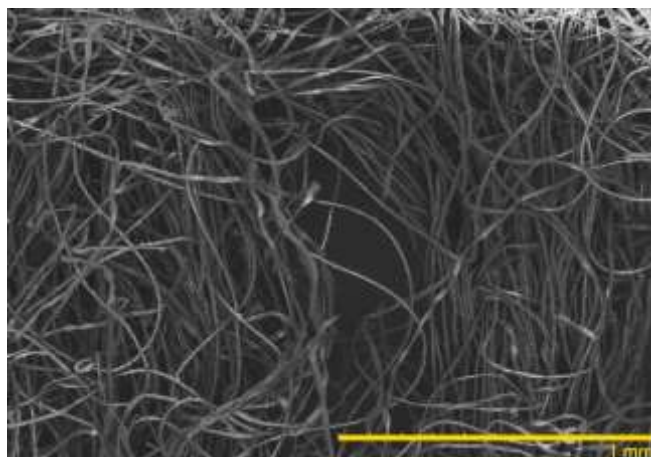
Повреждение крупных кровеносных сосудов влечёт за собой потерю большого количества крови, что может приводить к высоким рискам смерти в экстренных и полевых условиях. На данный момент разработан ряд материалов, способных в короткие сроки останавливать даже крупные кровотечения. В настоящее время как на российском, так и на международном рынке наиболее представлены гемостатические материалы, использующие в качестве активного вещества хитозан, каолин и цеолиты. Применение в качестве гемостатического материала цеолитов, получаемых синтетическим путем, имеет ряд конкурентных преимуществ по сравнению с применением природных материалов. Состав и свойства природных веществ сильно зависят от месторождения, тогда как в случае синтетических цеолитов возможно получение продукта с заданными свойствами. Как следствие, данная работа посвящена разработке и исследованию гемостатического бинта на основе бестемплатного цеолита ZSM-5 (Zeolite Socony Mobil-5).

В ходе работ по масштабированию синтеза цеолита в пятилитровом автоклаве был получен ряд крупных лабораторных партий (более 0,5 кг) бестемплатного ZSM-5 с выходами более 70% и высокой кристалличностью, а также имеющими высокую площадь поверхности в диапазоне 255 – 344 м²/г и концентрацию кислотных центров 382 – 682 мкмоль/г.

Также был проведён анализ степени гемолиза и времени свёртывания крови для ряда различных материалов. В случае различных ионных форм цеолита ZSM-5 (H-, Na-, NH₄-, Ca-, Zn-, Ag-формы) время свёртывания крови имела схожие значения и составляло 55 с, за исключением HZSM-5 для которого скорость была ниже и составила 75 с. В свою очередь степень гемолиза для ионных форм значительно различалась, наименьшее значение составило 3,9% для ZnZSM-5. Анализ для образцов с различными текстурными и кислотными характеристиками показал, что наибольшее время свёртывания 100 с и наименьшая степень гемолиза крови 0,7% наблюдалась для образца силикалита-1, тогда как образцы ZSM-5 имели схожее время свёртывания крови около 60 с. Образцы ZSM-5 показали среднюю скорость свёртывания крови в ряду с широким спектром природных материалов (четыре образца каолинов, три образца природных цеолитов, а также кизельгур, микротальк и волластонит), однако при этом природные материалы проявили сильный разброс в степени гемолиза от 0,7% до 100%.

Также в ходе работ исследовалось влияние условий нанесения синтетического цеолита на бинт (материал бинта: хлопок, полиэстер; связующий агент: лимонная кислота, глицерин, этиленгликоль, поливиниловый спирт; состав пропиточной

смеси) на содержание цеолита в конечном композите. В ходе опытов по нанесению цеолита на ткань было установлено, что наилучшее закрепление материала достигается при использовании лимонной кислоты в качестве связующего агента. Максимальная доля нанесённого на бинт вещества составила 10 мас.%. Снимок сканирующей электронной микроскопии для образца с наибольшим содержанием цеолита представлен на рисунке.



Сканирующая электронная микроскопия
для образца композита содержащего 10 мас.% цеолита

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект FWUR-2024-0036).

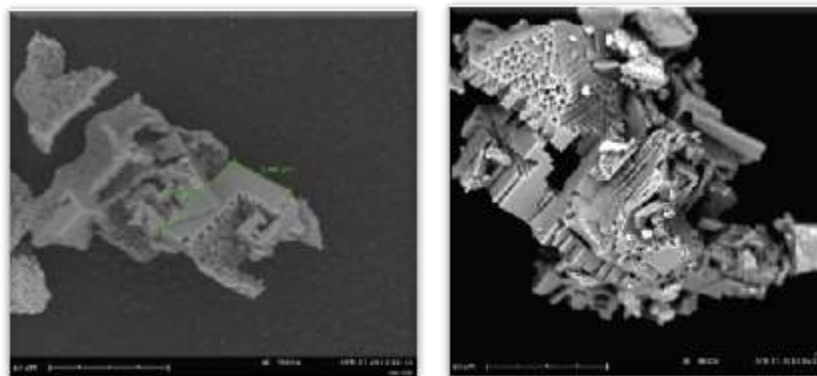
ПОЛИМЕРНЫЕ ВАНАДОМОЛИБДАТЫ

Есназарова Г. Л., Жакирова Н. К.

*Актюбинский региональный университет им.К.Жубанова, Казахский национальный университет им.Аль-Фараби
galiya_laiyk@mail.ru*

Изучены растворы ванадия (V) и молибдена (VI) в диапазоне pH 3–0, с соотношениями V:Mo = 2:1 и 1:3. Ваномолибдатные осадки, выделяющиеся из растворов, исследованы методами химического анализа, ИК-спектроскопии и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). По ИК спектрам темнокоричневый осадок раствора 2:1 аналогичен политриванадату $H_xV_3O_8 \cdot aq$, а светложелтый осадок раствора 1:3 аналогичен политримоллибдату $(M_2Mo_3O_{10} \cdot aq)_\infty$. На основании данных элементного анализа и ИК-спектроскопии установлено, что в кислых растворах в зависимости от исходного содержания ванадия и молибдена образуются два типа полимерного ваномолибдатного осадка. Из раствора 2:1 выпадает молибдензамещенный политриванадат состава $(V_{3-x}Mo_xO_8^{(1-x)})_\infty$, $x \approx 1$; а из раствора 1:3 – ванадийзамещенный политримоллибдат состава $(Mo_{3-x}V_xO_{10}^{(2+x)})_\infty$, $x \approx 1,5$. Выделенные осадки охарактеризованы методом сканирующей электронной

микроскопии. Методом СЭМ показано, что $(\text{Mo}_{3-x}\text{V}_x\text{O}_{10}^{(2+x)-})_{\infty}$ представляет собой гексаэдрические и пластинчатые частицы размером до 10 мкм (рисунок). Молибден-замещенный политриванадат $(\text{V}_{3-x}\text{Mo}_x\text{O}_8^{(1-x)-})_{\infty}$ представляет собой игольчатые частицы размером до 450 нм.



СЭМ изображения $(\text{Mo}_{3-x}\text{V}_x\text{O}_{10}^{(2+x)-})_{\infty}$

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ

Чемичев Д. Г.^{1,2}, Швецов Д. А.^{1,2}, Жуков В. И.^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

²Институт теплофизики имени С.С. Кутателадзе СО РАН,
630090, Россия, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 1
danchemichev@yandex.ru

По мере развития технологий в современном радио- и электрооборудовании растет эффективность и производительность. Это приводит к увеличению потребляемых мощностей и увеличению нагрева. Для правильной работоспособности необходимо не допускать превышения критической температуры, около 85 градусов. Для этого всё чаще используется иммерсионное охлаждение с использованием диэлектрической жидкости. Для диэлектрической жидкости HFE-7100 характерна при атмосфере температура кипения – 61 градус.

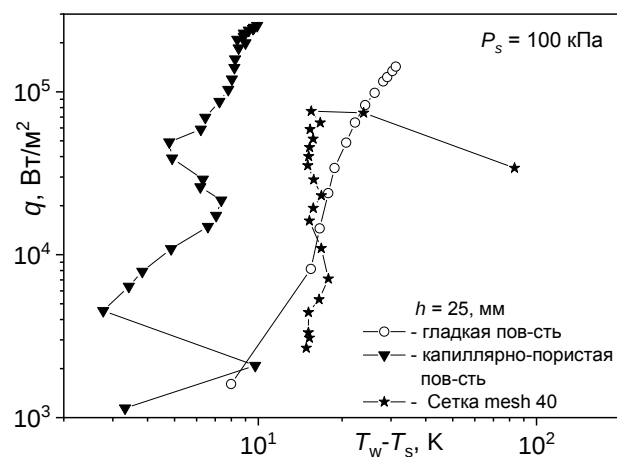
Для увеличения критического теплового потока (КТП) и коэффициента теплоотдачи (КТО) применяются различные способы модификации поверхности.

К основным методам интенсификации теплообмена при кипении [1] можно отнести: увеличение плотности центров парообразования, регулирование смачиваемости поверхности, увеличение притока жидкости в зону микрослойного испарения, упорядочиванию потоков жидкость-пар [2,3].

Цель данной работы – экспериментальное исследование процесса кипения диэлектрической жидкости HFE-7100 на сетчатом и капиллярно-пористом покрытиях.

В качестве модифицированных поверхностей были использованы сетка Mesh 40 из нержавеющей стали, подвергнутая химической обработке, и капиллярно-пористое покрытие из нержавеющей стали LPW-155, которое наносилось на дно из нержавеющей стали с использованием технологии 3-D печати SLM/SLS - методом.

Для поверхностей были построены кривые кипения для давления 100 кПа. На рисунке изображена кривая кипения для гладкой, сетчатой и капиллярно-пористой поверхностей. На графике видно, что при плотности теплового потока выше 4×10^3 Вт/м² капиллярно-пористое покрытие имеет значения температурного напора меньше на $\approx 63\%$ и $\approx 71\%$, чем у сетчатого и гладкого покрытий соответственно. При значении теплового потока выше 15×10^3 Вт/м² сетчатая поверхность демонстрирует меньший температурный напор $\approx 24\%$ по сравнению с гладкой поверхностью.



Кривые кипения на различных поверхностях
для давления 100 кПа

Значения КТП у капиллярно пористых покрытий в среднем на 230% и 101% выше, чем сетчатого и гладкого покрытий соответственно.

Сетка Mesh 40 обладает рядом преимуществ, включая серийность производства, широкий выбор материалов и размеров. Модификация поверхности с помощью травленной сетки позволяет уменьшить плотность температур на $\approx 24\%$, однако при этом её КТП оказывается ниже на $\approx 92\%$ по сравнению с гладкой поверхностью.

Литература

1. Dedov, A.V., A Review of Modern Methods for Enhancing Nucleate Boiling Heat Transfer, *Теплоэнергетика*. – 2019. – No. 12, pp. 18–54.
2. Singh S.K., Sharma D. Review of pool and flow boiling heat transfer enhancement through surface modification // *Int. J. Heat and Mass Transfer*. – 2021. – V. 181. – Art. 122020.

3. Volodin O., Pecherkin N., Pavlenko A., Zubkov N. Surface microstructures for boiling and evaporation enhancement in falling films of low-viscosity fluids // Int. J. Heat and Mass Transfer. – 2020. – Vol. 155. – Art. 119722.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-19-00245).

ЗАВИСИМОСТЬ МОРФОЛОГИИ КРИСТАЛЛА ОТ ПАРАМЕТРОВ РОСТА В НИЗКОГРАДИЕНТНОМ МЕТОДЕ ЧОХРАЛЬСКОГО

Бондарева А. Ф.

*Новосибирский государственный университет,
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
a.bondareva04@mail.ru*

Научный руководитель: Григорьева В.Д.

В Институте неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН был разработан и по сегодняшний день продолжает развиваться уникальный низкоградиентный метод Чохральского (LTG Cz). Данным методом были выращены кристаллы высочайшего оптического качества и рекордных размеров. Элементы, изготовленные из кристаллов, используются как в практических, так и в фундаментальных исследованиях.

Особенность LTG Cz заключается в понижении градиентов температур внутри тигля до $1^{\circ}\text{C}/\text{cm}$, что позволяет осуществлять послойный механизм роста. Именно данный тип механизма даёт возможность анализа морфологии растущего кристалла в процессе его формирования.

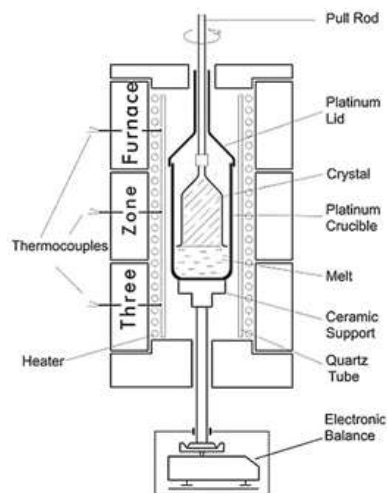


Схема установки LTG Cz

LTG Cz позволяет изменять параметры роста: скорости роста и вращения, форму кристалла и градиент температуры.

Варьируя параметры роста возможно построить общую зависимость:

1. Скорость роста влияет на размер и количество граней.
2. Скорости вращения влияет на развитие боковых граней, и, соответственно, на форму сечения кристалла.
3. Форма кристалла задаётся графиком, и может быть искажена ввиду морфологических особенностей кристалла.
4. Задание температурного градиента позволяет увеличить огранку кристалла или вовсе вытравить грани.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда и Правительства Новосибирской области (проект № 24-22-20017, <https://rscf.ru/project/24-22-20017>).

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ФАЗЫ МАКСЕНА Cr_2C С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА СЕЛЕКТИВНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

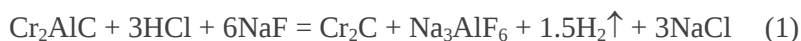
Ваняркина В. О., Уваров Н. Ф.

*Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия
vanyarkina1966@bk.ru*

С момента открытия графена интерес к двумерным материалам значительно вырос. В 2011 году Гогоци и Барсум открыли новое семейство двумерных материалов – максены (MXenes), двумерные слои карбидов и нитридов переходных металлов, получаемых селективным травлением МАХ-фаз ($\text{M}_{n+1}\text{AX}_n$), где М – атом переходного металла, а X = C, N, Si. Максены M_{n+1}X_n синтезируют путём выщелачивания алюминия из МАХ-фаз $\text{M}_{n+1}\text{AlX}_n$ с помощью HF или смеси HCl с фторидами. Благодаря уникальным электронным, механическим и химическим свойствам максены применяются в электрохимической энергетике (в суперконденсаторах, аккумуляторах и т.д.), катализе и оптике [1].

Ранее в работе [2] были приведены данные по синтезу максена Cr_2C и МАХ-фазы Cr_2AlC . В данной работе нами сделана попытка воспроизвести эти данные и модифицировать процесс синтеза максена Cr_2C . По данным рентгенофазового анализа исходное соединение представляет собой МАХ-фазу Cr_2AlC , значения параметров кристаллической решетки соответствуют литературным данным.

В первом эксперименте в качестве травителя использовали смесь 1М раствора HCl с 3М раствором NaF в условиях, указанных в работе [2]. Реакцию проводили при охлаждении в течение 6 ч при перемешивании. Ожидалось, что при химической обработке будет проходить реакция селективного извлечения алюминия



Действительно, наблюдалось бурное выделение водорода, что указывает на протекание химической реакции. После выдержки в реакционной смеси образец промывали, сушили и исследовали с помощью рентгенофазового анализа. Однако, согласно результатам РФА (рис.), на дифрактограмме продукта присутствуют рефлексы, относящиеся исключительно к исходной МАХ-фазе. При этом было замечено, что раствор травления в процессе реакции окрашивается в синий цвет, что можно объяснить наличием в растворе катионов Cr^{3+} .

Полученные данные можно объяснить тем, что при обработке МАХ-фазы Cr_2C смесью HCl и NaF наряду с реакцией селективного

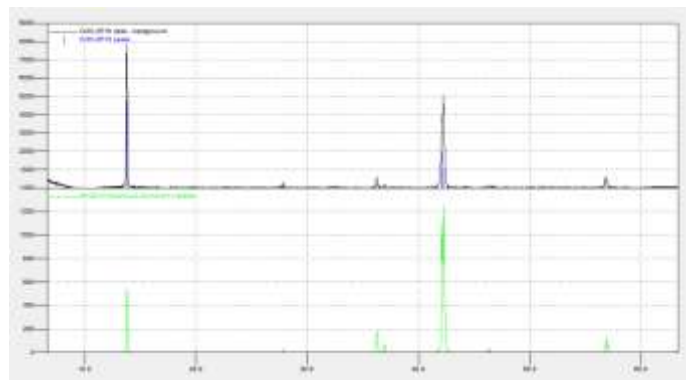
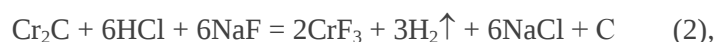


Рисунок – Дифрактограмма продукта реакции Cr_2AlC с раствором смеси HCl и NaCl (сверху).
Снизу данные файла PDF № 89-2275 для Cr_2AlC

выщелачивания (1) протекает процесс



приводящий к разложению максена, переходом атомов хрома в раствор и образованием аморфного углерода. Для проверки данного предположения в качестве травителя использовали раствор HF . Реакцию проводили в условиях, описанных ранее для синтеза максенов [1]. Анализ дифрактограммы продукта реакции показал полное отсутствие фазы максена и присутствие рефлексов, относящихся к гидратной фазе $\text{CrF}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (файл PDF № 1-300), что указывает на протекание реакции (2). Попытки проведения реакции в щадящих условиях (при пониженных концентрациях HF и снижении температуры) не приводят к полному исчезновению исходной МАХ-фазы и образованию фазы максена.

Таким образом, нами показано, что при обработке МАХ-фазы Cr_2AlC смесями HCl-NaF и чистой кислотой HF образование фазы максена Cr_2Al не происходит вследствие разложения максена с переходом атомов хрома в раствор вместе с алюминием. По-видимому, вывод об образовании максена, сделанный в работе [2] некорректен.

Литература

1. Ayodhya D. A review of recent progress in 2D MXenes: Synthesis, properties, and applications //Diamond and Related Materials. – 2023. – Т. 132. – С. 109634.
2. Akinola O. et al. Synthesis and characterization of Cr_2C MXenes //Journal of Materials Research. – 2021. – Т. 36. – №. 10. – С. 1980-1989.

КИНЕТИЧЕСКАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ АМИНОКИСЛОТНОГО РАСТВОРЕНИЯ БОРНИТА В РАСТВОРАХ ХЛОРИДА ЖЕЛЕЗА (III)

Алиев А. А.

Казахский Государственный Университет имени Аль-Фараби.
alievalmas27@gmail.com

Выделение ценных компонентов из сульфидного минерала борнита (Cu_5FeS_4) остаётся приоритетной задачей для современной гидрометаллургии. Существующие технологические схемы зачастую характеризуются образованием вредных побочных продуктов и недостаточной избирательностью действия [1]. Перспективным направлением представляется применение природных аминокислот как хелатирующих агентов, обеспечивающих экологическую безопасность и улучшенную избирательность при извлечении медных соединений. Особого внимания заслуживает взаимодополняющий эффект между структурами аминокислот и железосодержащими окислителями типа FeCl_3 , потенциально ускоряющий процессы минеральной деструкции борнита [2].

Ключевой задачей данного исследования выступает определение кинетических закономерностей растворения борнита при взаимодействии с аминокислотами в системах, содержащих хлорид железа (III). Исследование позволяет выявить наиболее оптимальные условия процессов растворения борнита в зависимости от соотношения компонентов, концентрации (аминокислот и хлорида железа), температуры, pH, продолжительности эксперимента. Предлагается схема взаимодействия борнита с хлоридом железа (III), в которой FeCl_3 выполняет роль основного окислителя, а аминокислоты (аспарагиновая и глутаминовая) выступают в качестве комплексообразующих агентов, способствующих усилению процессов окисления и стабилизации ионов меди в растворе. Поскольку выявление механизмов и скоростных характеристик процесса создаст базу для формирования результативных подходов к переработке борнитсодержащего сырья.

Исследование кинетики аминокислотного растворения борнита в присутствии хлорида железа (III) позволило установить оптимальные условия растворения. Наилучшие результаты достигаются при концентрации 1,0 г/л FeCl_3 и 0,5 г/л аминокислотных компонентов (аспарагиновой и глутаминовой кислот) при поддержании pH среды в диапазоне 2,3-2,8. При pH ниже 2,0 наблюдается снижение комплексообразующей способности аминокислот, а при значениях выше 3,0 происходит осаждение железа в виде гидроксидов, что негативно влияет на процесс выщелачивания [3].

Результаты экспериментов показали, что при комнатной температуре и начальном участке (10 минут) степень извлечения меди достигает 1,7% при использовании аспарагиновой кислоты. Хотя данные показатели извлечения относительно невысоки, они свидетельствуют о принципиальной возможности использования аминокислотного выщелачивания борнита.

Присутствие хлорида железа (III) в растворе ускоряет процесс выщелачивания: скорость растворения борнита увеличивается в 1,3-1,5 раза по сравнению с системами, содержащими только аминокислоты. Установлено, что при указанном соотношении компонентов наблюдается определенный синергетический эффект между окислительными свойствами Fe^{3+} и комплексообразующими характеристиками

аминокислот. Несмотря на относительно низкие показатели извлечения, полученные результаты представляют научный интерес для дальнейшей оптимизации процесса аминокислотного выщелачивания борнита и разработки более эффективных методик.

Литература

1. Орехова Н.Н., Чалкова Н.Л. Исследование кинетики выщелачивания сульфидных минералов меди // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т. 14, № 4. С. 5-10.
2. Liu Z.X., Yin Z.L., Hu H.P., Chen Q.Y. Leaching kinetics of low-grade copper ore with high-alkalinity gangues in ammonia-ammonium sulphate solution // Journal of Central South University of Technology. 2012. Vol. 19. P. 77-84.
3. Yang, Y., Liu, W., Chen, M., Jiang, H., & Ma, L. (2020). The effect of pH on bornite bioleaching by mixed acidophilic microorganisms: Dissolution kinetics and mechanism analysis. *Minerals Engineering*, 151, 106315.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ СВОЙСТВ НОВЫХ ПРОТОН-ПРОВОДЯЩИХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПЕНТАГИДРОДИФОСФАТА ЦЕЗИЯ И НАНОАЛМАЗА

Мордвинова Т. Д.^{1,2}, Пономарева В. Г.², Шутова Е. С.²

¹Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,
Новосибирск, Россия, e-mail: t.mordvinova@g.nsu.ru

²Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской
академии наук, Новосибирск, Россия
Научный руководитель: д.х.н., в.н.с., В.Г. Пономарева

Кислые соли щелочных металлов с общей формулой $M_nH_m(AsO_4)_p$ ($M = Cs, Rb, NH_4^+$, $A = P, As, S, Se$, m, n, p – целые числа) обладают высокой протонной проводимостью, а также низкими энергиями активации в интервале температур 80-230 °С, поэтому изучение транспортных свойств данного класса соединений представляет особый интерес [1]. $CsH_5(PO_4)_2$ является одним из представителей семейства твердых кислот, транспортные свойства данной соли широко исследуется в последние годы. Так, в ряде работ [2, 3] было показано, что при гетерогенном допировании высокодисперсными добавками протонная проводимость $CsH_5(PO_4)_2$ увеличивается за счет образования дефектов, диспергирования и аморфизации соли. В качестве перспективной добавки для $CsH_5(PO_4)_2$ могут выступать наномалмазы (НА), обладающие высокой площадью удельной поверхности, термической стабильностью и химической стойкостью [4].

Данная работа посвящена изучению закономерностей изменения свойств новых наноконпозиционных электролитов $(1-x)CsH_5(PO_4)_2-xНА$ в широком ряду составов (x – мольная доля, $0 < x < 0.99$). Полученные материалы были охарактеризованы с помощью ИК-Фурье спектроскопии, рентгенофазового анализа, сканирующей электронной микроскопии, дифференциальной сканирующей калориметрии, импедансной спектроскопии. Показано, что пентагидродифосфат цезия находится в композитах в диспергированном и частично аморфном состоянии, доля аморфизации увеличивается с ростом содержания НА, что приводит к изменениям

термодинамических характеристик соли. Был изучен механизм образования композитов, связанный с частичным связыванием протонов $\text{CsH}_5(\text{PO}_4)_2$ с гидроксильными группами наноалмаза. Гетерогенное допирование наноалмазом приводит к росту проводимости до 2 порядков в зависимости от количества введенной добавки. Полученные композиционные системы обладают химической стабильностью и относительно высокой протонной проводимостью в области средних температур, что делает данные материалы перспективными в качестве протонных мембран электрохимических устройств.

Литература

1. Ярославцев А. Б. Мембраны и мембранные технологии / М.: Научный мир, 2013. 612 с.
2. Chen X. et al. A proton conductor electrolyte based on molten $\text{CsH}_5(\text{PO}_4)_2$ for intermediate-temperature fuel cells // RSC Advances. – 2018. – V. 8. – №. 10. – P. 5225-5232.
3. Lavrova G. V., Ponomareva V. G. Intermediate-temperature composite proton electrolyte $\text{CsH}_5(\text{PO}_4)_2/\text{SiO}_2$: Transport properties versus oxide characteristic // Solid State Ionics. – 2008. – V. 179. – №. 21-26. – P. 1170-1173.
4. Долматов В. Ю. Детонационные наноалмазы: синтез, строение, свойства и применение // Успехи химии. – 2007. – Т. 76. – №. 4. – С. 375-397.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Минобрнауки России в рамках задания ИХТТМ СО РАН № 121032500065-5.

ТЕРМОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ПЕРВОГО РОДА В МЕТОКСИ-НОНАФТОРБУТАНЕ (HFE 7100)

Швабауэр А. И.¹, Жуков В. И.^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

²Институт теплофизики имени С.С. Кутателадзе СО РАН,
630090, Россия, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 1
shvabauer_artur@mail.ru

По сравнению с другими методами теплоотвода режим пузырькового кипения обеспечивает эффективную теплоотдачу при относительно невысоких степенях перегрева тепловыделяющей поверхности[1]. Инфракрасная съёмка позволяет визуализировать тепловые поля на поверхности нагрева с высоким разрешением.

Цель данной работы заключается в применении инфракрасной съёмки, для изучения роста пузыря и распределения температур по площади пузыря. В качестве рабочей жидкости использовалась диэлектрическая жидкость HFE–7100, применяемая в системах охлаждения микро- и силовой электроники.

Температура поверхности измерялась тепловизором FLIR x6530sc. Съёмка проводилась при частоте кадров 250 Гц. Анализ температуры и размеров пузыря был проведён в программе Altair.

На рис. 1 представлена зависимость изменения диаметра пузыря от времени. На стадии нуклеации начальный диаметр пузыря составляет 2 мм. В процессе роста

наблюдается увеличение размера до максимального значения 4,7 мм, после чего начинается фаза уменьшения диаметра, завершающаяся схлопыванием пузыря.

На рис. 2 показаны графики изменения температуры в различные моменты времени. Можно наблюдать, что область пониженной температуры со временем смещается.

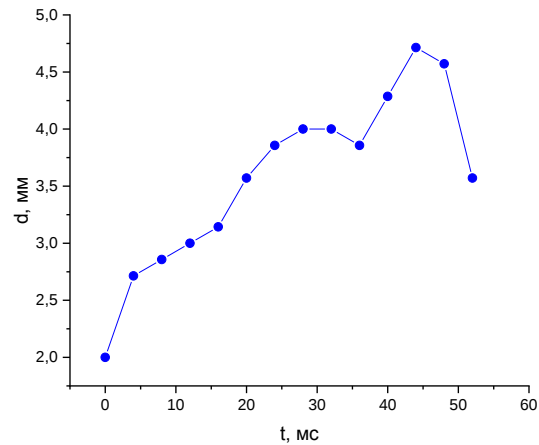


Рисунок 1 – Зависимость диаметра пузыря от времени

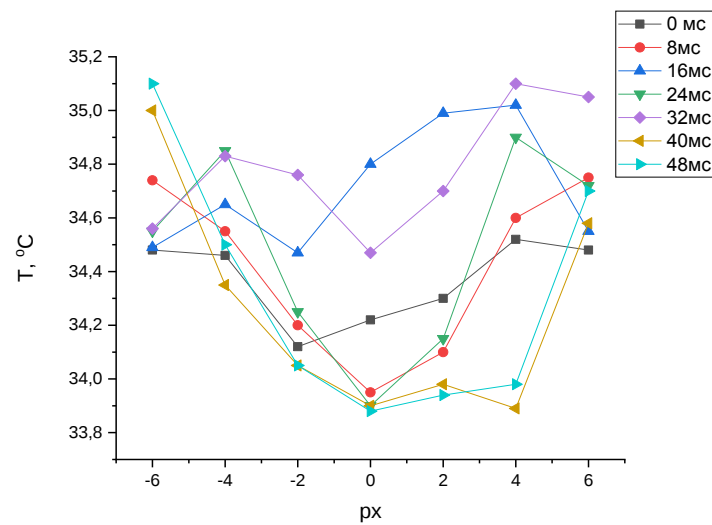


Рисунок 2 – Распределение температуры по диаметру пузыря

Литература

1. Murshed S.M.S., de Castro C.A.N. A critical review of traditional and emerging techniques and fluids for electronics cooling // Renewable and Sustainable Energy Reviews.2017.Vol.78.P. 821–833.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-19-00245).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННЫХ СВОЙСТВ ВСТРОЕННОГО ДЕФЛЕГМАТОРА

Баяндина М. М., Кустов А. В.

*Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск*

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Кустов А. В.
e-mail: bayandinamaria@yandex.ru*

Для малотоннажных ректификационных колонн, применяемых в лабораторных условиях, для достижения высокой эффективности работы целесообразно применять встроенные дефлегматоры. Основное назначение дефлегматора – частичная конденсация паров и получение температуры флегмы, близкой к температуре паровой смеси в зоне конденсации [1]. Наиболее эффективным является дефлегматор, выполненный из трубок в виде спиралей Архимеда [1].

В настоящей работе рассматривается задача определения коэффициентов теплоотдачи в дефлегматоре на основе экспериментальных данных, полученных в работе [1]. Проводилось сравнение коэффициентов теплоотдачи для дефлегматора, выполненного из медной трубки диаметром 8×1 мм, с результатами математического моделирования для случаев с измененными диаметром трубок и материала изготовления. В работе [2] представлена обработка экспериментальных данных работы встроенного дефлегматора ректификационной колонны. На рис. 1 представлены диаграммы изменения коэффициента.

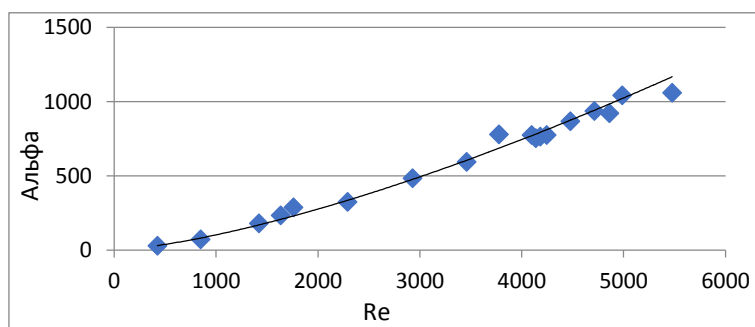


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента теплоотдачи горячего теплоносителя от значения критерия Рейнольдса

На основе обработки результатов получена расчетная зависимость для определения коэффициентов теплоотдачи

$$\alpha_1 = 0.007 \times \left(\frac{G}{d \times v}\right)^{1,43}.$$

В дальнейшем было проведено математическое моделирование по изучению влияния диаметра трубок дефлегматора и материала его изготовления на коэффициент теплоотдачи. Результаты приведены на рис. 2.

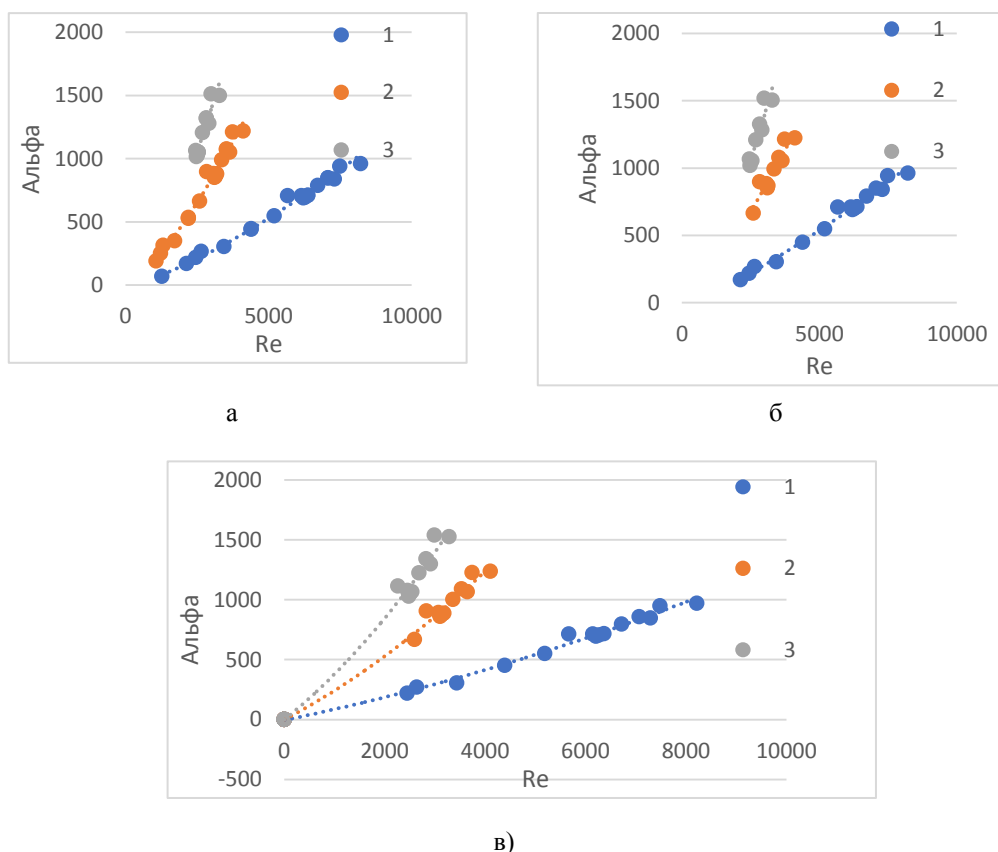


Рисунок 2 – Зависимость изменения коэффициента теплопередачи от величины критерия Рейнольдса: а – медь; б – алюминий; в – железо
1 – диаметр 4 мм; 2 – диаметр 6 мм; 3 – диаметр 10 мм

Таким образом, установлено, что при внутреннем диаметре трубки коэффициент теплоотдачи достигает больших значений при меньшей величине критерия Рейнольдса.

Литература

1. Кустов А. В. Гидродинамика и массообмен на вихревых ректификационных ступенях при переработки растительного сырья : дис. ... канд. техн. наук ; 05.21.03. Красноярск: СибГТУ, 2010.
2. Баяндина М. М. Определение коэффициентов теплоотдачи для встроенного дефлегматора ректификационной колонны /Баяндина М. М. // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2023. С. 271-273.

УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТАРТРАТОВ ВИСМУТА РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА

Александрова Т. А.^{1,2}, Тимакова Е. В.^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск,
alexandrova999@mail.ru

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск
Научный руководитель: Тимакова Е. В., к. х. н., доцент

В качестве фармацевтических антимикробных субстанций широко используются соединения висмута с карбоновыми кислотами [1, 2]. Среди солей висмута с дикарбоновыми кислотами применение в медицинской практике находят натрий- и калийсодержащие тартраты [3], коллоидный тартрат висмута [4].

Состав соединений висмута с различными анионами целесообразно исследовать при их осаждении из хлорнокислых растворов поскольку при их разбавлении водой, в отличие от других висмутосодержащих растворов, не образуются осадки основных солей. Азотнокислые растворы являются технологическими растворами в производстве соединений висмута.

Проведенные исследования по осаждению тартратов висмута из хлорнокислых и азотнокислых растворов при 25 и 60 °С добавлением к ним растворов L(+)-винной кислоты, а также ее натриевой и калиевой соли показали, что степень осаждения висмута и состав осадков зависит от молярного отношения тартрат-ионов к висмуту (n) и слабо зависит от температуры процесса.

Продуктами осаждения висмута из хлорнокислых растворов L(+)-C₄H₄O₆ при $n \leq 1$ является BiC₄H₃O₆·H₂O, при $n \geq 2$ – [Bi(C₄H₄O₆)(C₄H₅O₆)]·3H₂O. Из азотнокислых растворов при $n = 1$ осаждается преимущественно [Bi(NO₃)(H₂O)₃]C₄H₄O₆, при $n \geq 2$ также [Bi(C₄H₄O₆)(C₄H₅O₆)]·3H₂O. В результате многократных промывок водой [Bi(NO₃)(H₂O)₃]C₄H₄O₆ превращается в BiC₄H₃O₆·H₂O.

При добавлении тартрата натрия или тартрата калия в хлорнокислых растворах при $n \leq 1$ происходит совместное осаждение BiC₄H₃O₆·H₂O и перхлората натрия или калия соответственно. Затем при увеличении n в системе резко снижается степень осаждения висмута, что связано с образованием растворимых в воде комплексных ионов состава Bi(НС₄H₄O₆)₄[–]. Характер кривых осаждения из азотнокислых растворов аналогичен характеру кривых из хлорнокислых растворов.

Для синтеза тартратов висмута для медицины целесообразно использовать высокочистые продукты гидролитической переработки технологических растворов – основные нитраты висмута (ОНВ). Однако, в системе «твердый ОНВ – раствор L(+)-C₄H₄O₆» не происходит эффективного обмена нитрат-ионов на тартрат-ионы и образование монофазных тартратов висмута. Далее для синтеза тартратов висмута использовали оксид висмута α-Bi₂O₃, полученный при обработке ОНВ раствором NaOH или KOH. При обработке α-Bi₂O₃ раствором L(+)-C₄H₄O₆ при $n = 2,5$ в течение 1 ч при температуре процесса 80 °С синтезированы монофазные образцы [Bi(C₄H₄O₆)(C₄H₅O₆)]·3H₂O.

Проведены исследования растворимости [Bi(C₄H₄O₆)(C₄H₅O₆)]·3H₂O в растворах NaOH и KOH, а также в растворах их тартратов при варьировании n . Показано, что максимальная растворимость 98,5–99,9% достигается при $n = 3$ во всех сериях

экспериментов. Данные растворы были использованы для дальнейшего получения тартратов висмута, содержащих катионы натрия и калия.

При сушке растворов $[\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)(\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_6)] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ в KOH и NaOH образуются соли составов $\text{K}_2\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4)(\text{C}_4\text{H}_3\text{O}_4) \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Na}_2\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4)(\text{C}_4\text{H}_3\text{O}_4) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. При добавлении изопропилового спирта в эти растворы осаждаются $\text{KBi}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{NaBi}(\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_4) \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$ соответственно.

При сушке растворов $[\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)(\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_6)] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ в $\text{K}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ и $\text{Na}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ происходит образование смеси рентгеноаморфных калий- и натрийсодержащих тартратов с $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ и $\text{NaC}_4\text{H}_5\text{O}_6$. При добавлении изопропилового спирта в данные растворы осаждаются $\text{KBi}(\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_4) \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Na}_2\text{Bi}(\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Литература

1. Keogan D. Current and Potential Applications of Bismuth-Based Drugs / D. Griffith, D. Keogan // Molecules. – 2014. – Vol. 19. – P. 15258.
2. Bismuth drugs as antimicrobial agents / Runming Wang, Hongyan Li, Tiffany Ka-Yan Ip. et al // Adv. Inorg. Chem. – 2020. – Vol. 75. – P. 183.
3. Briand G., Burford N. Bismuth compounds and preparations with biological or medicinal relevance / G. Briand, N. Burford // Chem. Rev. – 1999. – Vol. 99. – P. 2601.
4. Efficacy of bismuth-based quadruple therapy for eradication of Helicobacter pylori infection based on previous antibiotic exposure: A large-scale prospective, single-center clinical trial in China / Zhou J.J., Shi X., Zheng S.P. et al. // Helicobacter. – 2020. – Vol. 25. – P. 12755.

Работа выполнена в соответствии с тематическим планом ИХТТМ СО РАН 121032500064-8.

КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО СЫРЬЯ В ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИЕ ТОПЛИВНЫЕ СМЕСИ

Оразбекова Р. С.

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби
Научный руководитель: к.х.н., ассоц. профессор Т.С.Байжуманова
raushanorazbekova14@gmail.com*

Нерациональное использование и безответственное отношение людей к окружающей среде привело к загрязнению воздуха и глобальному потеплению. Истощение запасов нефти и газа вызвало большой интерес к возобновляемым источникам энергии, таким как ветер, солнце и биомасса [1]. Сырьём для нашей работы служит биоэтанол, получаемый из возобновляемых источников – растительной биомассы. В частности, используется биоэтанол, производимый отечественным заводом "Bio Operations", который перерабатывает побочные продукты, возникающие при производстве основного продукта из пшеницы. Таким образом, обеспечивается не только эффективное использование сырья, но и снижение уровня отходов, что соответствует принципам экологически устойчивого производства.

Каталитическая конверсия возобновляемого сырья в водородосодержащие топливные смеси способствует устойчивому развитию, обеспечивая экологически чистую альтернативу ископаемому топливу и сокращая выбросы парниковых газов [2].

В данной работе для превращения биоэтанола в водородсодержащие смеси исследовали катализатор на основе Cu, Ce и Al, синтезированный методом пропитки нанесенный на γ - Al_2O_3 . Исследованы исходные и отработанные образцы катализаторов с использованием физико-химических методов исследования для анализа их структуры, морфологии, состава присутствующих фаз и состояния поверхности.

Для определения каталитической активности катализатора опыты проводились в температурном режиме от 300 до 900 °C. При высоких температурах наблюдается выход целевого продукта - водорода. Как показано на рисунке при варьировании соотношений реакционной смеси $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}:\text{H}_2\text{O}$ начиная с 500 °C наблюдается высокая конверсия этанола 97,7 - 98,9%. При температуре 700°C конверсия достигает 100% и далее сохраняется при повышении температуры до 900 °C.

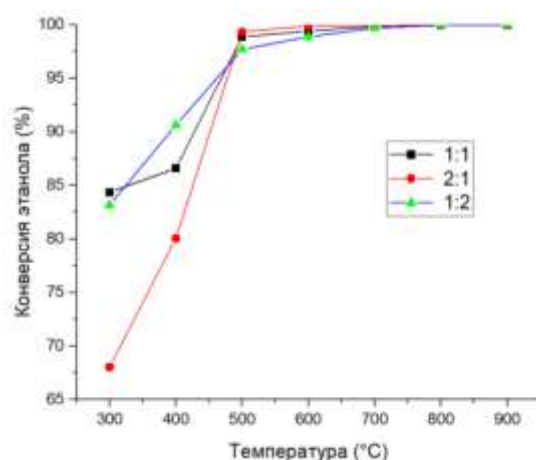


Рисунок – Исследование активности 2,7%Cu-8,2%Ce-1,1%Al/ γ - Al_2O_3 катализатора при варьировании температуры и соотношений $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}:\text{H}_2\text{O}$

Таким образом, установлены оптимальные условия для полной конверсии этанола в водород: $T = 500\text{ }^\circ\text{C}$ и соотношение $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}:\text{H}_2\text{O} = 2:1$.

Литература

1. L. Kumar, M. Manoo, J. Ahmed, M. Arici, M.M. Awad. Comparative techno-economic investigation of hybrid energy systems for sustainable energy solution// International Journal of Hydrogen Energy -2025. - Vol. 104. - P. 513–526.
2. C. Pavesi Contreras, E. Blanco, C. Pazo, A. B. Dongil, N. Escalona H_2 production through aqueous phase reforming of ethanol over molybdenum carbide catalysts supported on zirconium oxide // Applied Catalysis A. General. - 2024. - Vol. 670. - P. 119535.

Данное исследование было профинансировано КН МНВО РК (грант AP19677006).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ АЛЮМООКСИДНОГО КАТАЛИЗАТОРА

Барсуков А. Н.

*Новосибирский государственный университет,
Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН, Новосибирск,
Научный руководитель: к.х.н. Пархомчук Е. В.
a.barsukov1@g.nsu.ru.*

Основная трудность гидропереработки тяжёлого углеводородного сырья заключается в дезактивации поверхности катализатора отложениями кокса, что приводит к блокировке транспортных пор. Подбор текстуры носителей катализаторов для увеличения времени их жизни требует проведения длительных испытаний, поэтому возникает необходимость в моделировании пористой структуры носителя.

В рамках данной работы охарактеризован ряд алюмооксидных катализаторов с моно-, би- и тримодальным распределением пор, полученных из гидроксидных предшественников, доступных на территории РФ: псевдобемита, мелкокристаллического бемита, гидроксида алюминия переосаждённого. Геометрические параметры кристаллитов были определены при помощи снимков просвечивающей электронной микроскопии и данных рентгеновской дифракции, текстурные свойства – по данным гелиевой пикнометрии, азотной и ртутной порометрии.

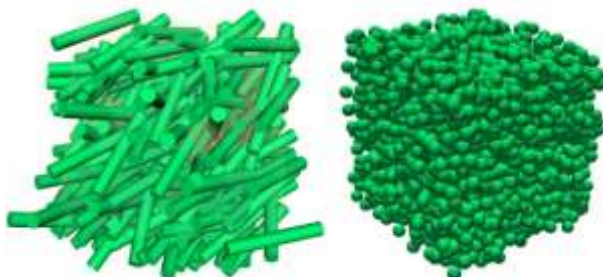


Рисунок – Модели текстуры алюмооксидных катализаторов
с цилиндрическими (слева)
и псевдосферическими (справа) кристаллитами

Моделирование текстуры катализаторов проводилось методом стохастической генерации (рисунок). В качестве входных параметров модели использовали пористость, средний диаметр пор, пикнометрическую плотность и размеры кристаллитов. Форма кристаллитов в зависимости от генезиса получения оксида алюминия описывалась цилиндрами с заданными высотой и диаметром или сферами с заданным радиусом. Моделирование мезопористых катализаторов осуществлялось путём генерации цилиндров или сфер с помощью процесса Пуассона до достижения заданной пористости. В случае мезо-макропористых катализаторов, в том числе темплатного происхождения, генерировались крупные сферические поры при помощи процесса Любачевского-Стилинжера, а конечная модель получалась вычитанием из бестемплатного образца структуры крупных пор. Для определения пористости и удельной поверхности моделей использовали статистический метод,

закрывающийся в генерировании большого количества пробных точек, для которых проверялось условие нахождения в объёме твёрдого тела. Воспроизводимость результатов моделирования составила 94%, относительная погрешность – <8%.

Для определения извилистости пористого пространства катализатора – важного параметра для характеристики внутренней диффузии реагентов наряду с пористостью – был разработан алгоритм, благодаря которому объёмная модель разбивалась на многогранники Вороного, и полученный 3D-граф использовался для определения кратчайшего расстояния перемещения молекул в порах катализатора.

Таким образом, разработанная модель позволяет учесть большое количество параметров текстуры материала и может быть использована для расчёта ключевых параметров массопереноса внутри порового пространства носителя, таких как извилистость и пористость.

НОВЫЕ МЕХАНОХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ SOFT MATTER-МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИСАХАРИДОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В НЕФТЕДОБЫЧЕ, ВЕТЕРИНАРИИ И СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Мызь С. А.¹, Политов А. А.¹, Аксёнов В. В.¹, Телин А. Г.²

¹*Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия,*

²*Уфимский Научно-Технический Центр, Уфа, Россия*
politov@solid.nsc.ru

В последние десятилетия развивается новый класс материалов – soft matter или мягкие материалы [1]. Такие материалы занимают промежуточное положение между твердым телом и жидкостью. Мягкие тела, например, при заданной температуре сохраняют свою форму относительно непродолжительное время и под действием механических напряжений приобретают способность к течению. В мягких телах происходит «большой отклик на малые изменения». Такие свойства soft matter как регулируемые механические свойства, биосовместимость, экологичность, обеспечивают этим материалам широкое применение. Многие soft matter-материалы легче синтезировать и обрабатывать, чем традиционные металлы/керамику, технологии их получения хорошо масштабируются, что позволяет производить их массово.

Soft matter на основе полисахаридов находят широкое применение в нефтедобыче для проведения бурения скважин, в качестве тампонирующих материалов, для проведения водо-изоляционных и ремонтных работ. Для получения этих материалов нами разрабатываются механохимические экологически безопасные технологии, которые сокращают время их получения и позволяют получать материалы с новыми свойствами [2]. Используются два типа обработки. Первая – предварительная механическая активация как исходных полисахаридов, так и в их смесях с другими веществами и материалами. Такая обработка производится в специальных мельницах или механохимических реакторах и в результате такой обработки ускоряется последующее получение нужных материалов. Во втором случае механической обработке подвергаются суспензии, и сама обработка происходит в так называемых гидро-импульсных реакторах [3]. По такой техноло-

гии получают концентрированные крахмальные гели, которые при хранении, за счет процессов старения, связанные с синерезисом и ретроградацией, меняют свои химические и механические свойства. На стадии получения в такие концентрированные крахмальные коллоидные растворы вносятся химические соединения, волокна и микроорганизмы различного назначения. Показано, что, меняя состав и строение крахмалсодержащих гелей можно получить soft matter-материалы с наперед заданными свойствами, необходимыми для использования в ветеринарии и сельском хозяйстве.

Литература

1. Hansen, Jean-Pierre and McDonald I.R. Theory of Simple Liquids. With Applications to Soft Matter. Academic Press. 2013.
2. Мешалкин В. П., Политов А. А., Ленченкова Л. Е., Якубов Р. Н., Фахреева А. В., Гусарова Е. И., Телин А. Г. Механохимическая технология переработки природных материалов для тампонирования нефтяных скважин при производстве ремонтно-изоляционных работ // Теоретические основы химической технологии. 2024. Т. 58, № 5. С. 547–556.
3. Аксенов В.В. Биотехнологические основы глубокой переработки зернового крахмалосодержащего сырья. 2-е изд. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrucken, Germany. 2013.

ТЕПЛООБМЕН ПРИ КРИЗИСНЫХ РЕЖИМАХ КИПЕНИЯ В СЛОЯХ НФЕ-7100 НА СЕТКАХ, ОБРАБОТАННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ

Гурин С. А.¹, Швецов Д. А.², Жуков В. И.^{1,2}

¹*Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20*

²*Институт теплофизики имени С.С. Кутателадзе СО РАН,
630090, Россия, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 1
semengurin2402@gmail.com*

Эффективность теплопередачи играет решающую роль в производительности различных энергетических систем. Интенсификация теплообмена при кипении и испарении с помощью структурированных поверхностей имеет важное значение для повышения эффективности традиционных (погружные и пленочные теплообменники, опреснительные установки, химические перерабатывающие установки, атомные электростанции и т.д.) энергетических систем [1].

Модификация поверхности нагрева металлическими сетчатыми экранами позволяет интенсифицировать процесс кипения. Сетки можно легко применять как к малым, так и к очень большим поверхностям теплопередачи [2].

Травление металлических сеток относится к «гибридному» методу модификации поверхности, за счет которого одновременно увеличивается и число центров парообразования, и их упорядочивание.

Цель данной работы заключается в получении значений критических тепловых потоков (КТП) при кипении на покрытии из стальной и травленной сетки с различными технологиями травления.

В работе использовались стальные сетки тканого плетения mesh 40 с предварительным травлением и без. Для травления поверхности сетки использовалась методика электрохимического латунирования [3]. Технологии травления отличаются между собой концентрацией активных компонентов и временем выдержки. В качестве рабочего вещества была выбрана коммерческая жидкость под названием торговой марки 3M™Novec™ 7100 (HFE-7100) [4].

В работе исследовался теплообмен и КТП при кипении в слоях жидкости высотой 6 мм и 25 мм при приведенных давлениях над слоем 0,045 (100 кПа). Значения КТП на травленных сетках находятся в пределах от 76000 – 102000 кВт/м² для обоих слоев жидкости, что свидетельствует о слабой зависимости между высотой слоя и величиной КТП, чего не наблюдается при кипении без модификации сеткой (рисунок).

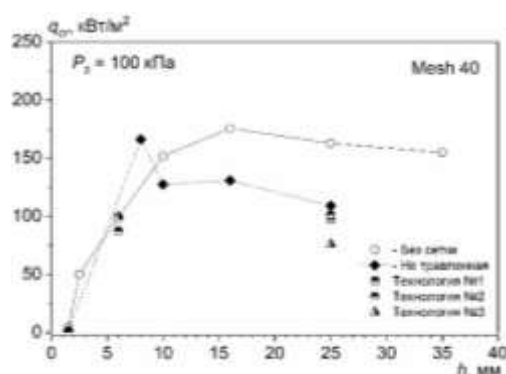


Рисунок – Значения КТП кипения HFE-7100 на покрытиях из стальной сетки с травлением и без

Сравнивая технологии травления, видно, что зависимость величины КТП от технологии имеется. КТП в слое 6 мм на 24% больше 25 мм. Максимальный КТП достигнут на сетке по технологии №2 в слое 25 мм (101500 кВт/м²).

Таким образом, травление сетки позволяет интенсифицировать процесс теплообмена при кипении. Небольшая разница значений КТП в тонком и толстом слое позволяет расходовать меньший объем рабочей жидкости. Однако, в сравнении с гладкой поверхностью, кризис кипения наступает значительно раньше.

Литература

1. Heat Transfer Handbook, vol. 1, Bejan A. and Kraus A.D., Eds., John Wiley & Sons, 2003.
2. Bergles A.E. Some perspectives on enhanced heat transfer-second-generation heat transfer technology// J. Heat Transfer. 1988 – V.110. – P. 1082–1096.
3. Ямпольский А. М., Ильин В. А. Краткий справочник гальванотехника // Л.: Машинное, Ленингр. отд-ние. – 1981.
4. 3M™ Novec™ Engineered Fluid HFE-7100 Physical Properties.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-19-00245).

ПОЛУЧЕНИЕ КАТАЛИЗАТОРА НА ОСНОВЕ МЕДНЫХ НАНОЧАСТИЦ ДЛЯ ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ ПРОПАНОЛА

Лесбек Б., Тасемен Е., Максотва К., Акбаева Д.

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
beksultanlesbek17@gmail.com*

Научный руководитель: PhD, доцент м.а. Бакирова Б.С.

В условиях развития экологически безопасных технологий важной задачей в области органического синтеза и «зелёной» химии является создание эффективных и селективных катализаторов. Катализаторы на основе меди отличаются доступностью, низкой токсичностью и высокой каталитической активностью, что делает их перспективными в реакциях окисления спиртов, в частности пропанола.

Настоящее исследование направлено на синтез медных наночастиц и изучение их физико-химических и каталитических свойств в процессе окисления пропанола кислородом. Высокая активность и селективность Cu-наночастиц объясняется их развитой удельной поверхностью и наличием большого количества активных центров. Наночастицы получали восстановлением комплекса PVA-Cu(II) с использованием NaBH₄. Оптимальный объём восстановителя (3 мл) обеспечил 96% выход наночастиц с размером 10–25 нм (по данным DLS). Структура и морфология частиц охарактеризованы методами TEM, SEM, XRD, BET и TGA.

Полученные наночастицы были иммобилизованы на носителе SiO₂, в результате чего был получен нанокатализатор SiO₂/PVA-CuNPs. Его каталитическая активность оценивалась в реакции окисления пропанола до пропионового альдегида в проточном реакторе при температуре 20 °С и атмосферном давлении. Выход целевого продукта составил от 61,4% до 87,8%.

Таким образом, медные наночастицы проявили высокую активность, стабильность и селективность в реакции мягкого окисления пропанола, что подтверждает перспективность их применения в экологически безопасных каталитических процессах.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИЗАТОРОВ Ni/Al₂O₃, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ «ГОРЕНИЯ РАСТВОРОВ»

Даниленко М. А., Курмашов П. Б., Баннов А. Г.

*Новосибирский государственный технический университет
marina.danilenko03@mail.ru*

Научный руководитель: д.х.н. Баннов А.Г.

На сегодняшний день переработка попутного нефтяного газа является одной из актуальных проблем экологии. Одним из методов переработки, является каталитическое разложение углеводородов в присутствии металлических катализаторов. Главным преимуществом данного вида переработки, является отсутствие выбросов оксидов углерода. Для получения катализаторов разложения углеводородов применяются различные технологии: соосаждение, механохимическая активация, золь-гель

синтез и др. Однако данные методы достаточно трудоемкие, имеют проблемы масштабирования и высокую стоимость. Наиболее перспективным методом получения катализаторов является синтез горением растворов (СГР, solution combustion synthesis). Синтез катализаторов методом СГР является универсальным, простым и быстрым процессом, позволяя синтезировать различные виды наноразмерных материалов и получать водород из углеводородов ряда C_1 - C_4 [1].

Катализаторы состава Ni/Al_2O_3 были синтезированы методом горения растворов. В качестве топлива (восстановителя) использовалась мочевины, а окислителями служили кристаллогидраты солей металлов $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ и $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$. Процесс синтеза осуществлялся в муфельной печи при заданной скорости нагрева. Во время синтеза из смеси выделяется вода, в которой растворяются нитраты и топливо. Восстановитель самопроизвольно воспламеняется и горит до полного или частичного сгорания. В результате реакции нитраты разлагаются, образуя оксиды металлов.

Тестирование катализаторов проводилось в кварцевом реакторе при атмосферном давлении и температуре $550^\circ C$, используя метан в качестве углеводородного газа. Оценка каталитической активности катализаторов осуществлялась в вертикальном металлическом реакторе.

Выполнены физико-химические исследования катализаторов, такие как: рентгенофазовый анализ, низкотемпературная адсорбция азота, сканирующая электронная микроскопия, фотоседиментационный анализ и инфракрасная спектроскопия.

Результаты тестирования катализаторов на каталитическую активность представлены на рисунке.

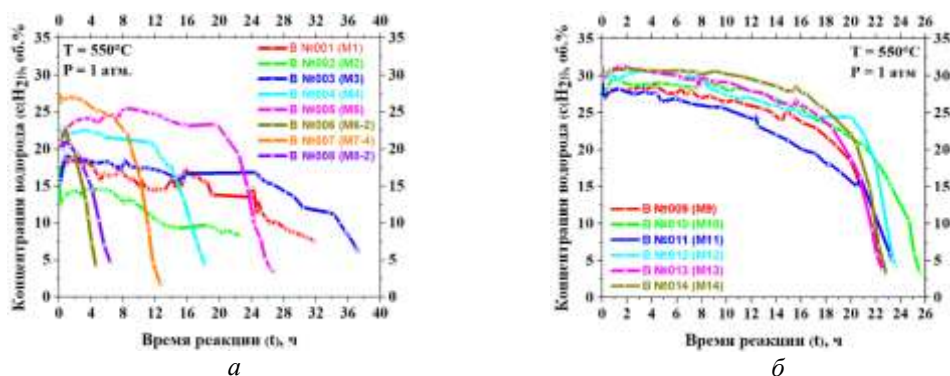


Рисунок – Зависимость концентраций водорода от времени реакции:
часть 1 – а, часть 2 – б

Совершенствование синтеза катализатора позволило достичь выхода УНМ ($158,6 \text{ г/г}_{\text{кат}}$) у образца M10, в котором масса сухого горючего (мочевины) составила 1,5 г, что соответствует коэффициенту избытка топлива $\phi = 0,273$, температуре нагрева шихты $T_{\text{max}} = 450^\circ C$, времени выдержки 40 мин и скорости нагрева $V_{\text{нар}} = 1^\circ C/\text{мин}$.

Наибольшую роль в получении высокого выхода продукта играет скорость нагрева и температура синтеза. Наиболее рациональными параметрами получения катализатора методом горения являются $T_{\text{max}} = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $V_{\text{нар}} = 1\text{ }^{\circ}\text{C/мин}$.

Литература

1. Курмашов П.Б., Попов М.В., Брестер А.Е., Ухина А.В., Баннов А.Г. // Доклады Российской академии наук. Химия, науки о материалах. 2023. Т. 511. №1. С. 68-76.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код 24-29-00661).

ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИИ АСПАРАГИНОВОЙ КИСЛОТЫ НА ПОВЕРХНОСТИ СУЛЬФИДНЫХ МИНЕРАЛОВ МЕТОДОМ КВАНТОВОЙ ХИМИИ

Молжигиткызы А., Ануар А., Ажигулова Р. Н.

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
e-mail: molzigitkyzajsa@gmail.com*

Введение

Изучение взаимодействия аминокислот с минеральными поверхностями представляет собой актуальное направление в области поверхностной химии и геохимии. Аспарагиновая кислота, как одна из аминокислот, может играть важную роль в процессах модификации поверхности минералов, в том числе сульфидных, за счёт способности к комплексообразованию и взаимодействию с активными центрами на поверхности.

Анализ механизмов адсорбции аминокислот на поверхности сульфидов позволяет глубже понять процессы, происходящие в природных и технологических системах, включая выщелачивание, флотацию и сорбцию. В частности, использование методов квантовой химии даёт возможность на молекулярном уровне описать характер взаимодействий, тип связывания и энергетические характеристики системы "поверхность минерала - аминокислота".

Целью настоящей работы является теоретическое исследование адсорбции аспарагиновой кислоты на поверхности сульфидных минералов с использованием методов квантовой химии. Проведённый анализ направлен на выявление наиболее стабильных конфигураций взаимодействия, а также оценку энергии адсорбции и природы химической связи в образовавшихся комплексах.

Методика эксперимента

В качестве модельных систем рассмотрены поверхности халькозина (CuS_2), халькопирита (CuFeS_2) и борнита (Cu_5FeS_4), наиболее распространённых сульфидных минералов, участвующих в природных и технологических процессах. Геометрии поверхностей были оптимизированы с применением псевдопотенциалов и периодических граничных условий, соответствующих кристаллической решётке минералов.

Молекула аспарагиновой кислоты исследовалась в различных протонированных и дипольных формах, с целью оценки влияния протонного состояния на прочность и характер адсорбции. Анализ проводился для различных ориентаций

молекулы по отношению к поверхности, включая координацию через карбоксильную, аминогруппу и их комбинации.

Энергия адсорбции рассчитывалась по формуле:

$$E_{\text{ads}} = E_{\text{минерал}} + \text{асп} - (E_{\text{минерал}} + E_{\text{асп}})$$

где $E_{\text{минерал}} + \text{асп}$ – полная энергия системы "минерал + молекула", $E_{\text{минерал}}$ – энергия изолированной поверхности, а $E_{\text{асп}}$ – энергия изолированной молекулы аспарагиновой кислоты. Отрицательное значение энергии указывает на термодинамически выгодную адсорбцию.

Дополнительно был проведён анализ распределения плотности заряда, карты молекулярных орбиталей (HOMO-LUMO), для выяснения природы связей и путей передачи заряда между молекулой и поверхностью.

Результаты и обсуждение

Результаты квантово-химического моделирования показали, что аспарагиновая кислота обладает высокой аффинностью к поверхностям сульфидных минералов, в частности к моделям халькозина, борнита и халькопирита. Наиболее стабильная конфигурация адсорбции достигалась при взаимодействии карбоксильной группы с атомами металла на поверхности, что согласуется с литературными данными по другим органическим кислотам.

Короткие длины связей $\text{O}_{10}\text{--H}_9$ (0.96 Å), $\text{H}_{12}\text{--N}_{11}$ (1.01 Å), $\text{H}_{14}\text{--C}_{13}$ (1.09 Å): это типичные длины связей для ковалентных связей H--O , H--N и H--C , что говорит о сохранении молекулярной структуры аспарагиновой кислоты. $\text{O}_{16}\text{--C}_{15}$ (1.22 Å) и $\text{C}_{15}\text{--O}_{10}$ (1.36 Å): соответствуют двойной и одинарной связи в карбоксильной группе, что говорит о ее сохранении.

Связи с медью $\text{H}_8\text{--Cu}_6$ (2.05 Å): указывает на возможное координационное взаимодействие между атомом водорода (возможно, из воды или --NH-- группы) и Cu. Это необычно короткое расстояние для связи H...Cu , возможно, это артефакт модели или свидетельство водородной связи.

$\text{S}_2\text{--Cu}_1$ (2.19 Å): типичное расстояние для координации меди с серой, указывает на связь между медью халькозина и атомом серы. Сильная связь Cu--S (2.19 Å) и слабая связь $\text{S}_5\text{--S}_4$ (3.68 Å), слишком большое расстояние для химической связи. Это указывает на слабое взаимодействие, возможно, это остаточное взаимодействие между атомами серы в решетке халькозина или межмолекулярное расстояние.

Торсионные углы: $\text{C}_{13}\text{--N}_{11}\text{--O}_{10}\text{--H}_9$ (0°) и $\text{H}_{14}\text{--C}_{13}\text{--N}_{11}\text{--H}_{12}$ (180°), указывают на плоское расположение фрагмента аминогруппы и соседних атомов, что типично для стабилизированной структуры. Углы от 51° до 300° , свидетельствуют о наличии гибкости молекулы и ориентации радикалов и функциональных групп в пространстве. Угол $\text{O}_{10}\text{--H}_9\text{--H}_8\text{--Cu}_6$ (124°) может указывать на участие в координации или водородной связи с медью.

Валентные углы: маленький угол $\text{O}_{10}\text{--H}_9\text{--H}_8$ (21°), указывает на возможную деформацию из-за координации или водородной связи. $\text{Cu}_6\text{--S}_5\text{--S}_4$ (33°) и $\text{C}_{13}\text{--N}_{11}\text{--O}_{10}$ (66°). Эти углы меньше типичных тетраэдрических или плоских углов, что говорит о напряжении в структуре или сильном искажении при образовании комплекса. $\text{S}_3\text{--Cu}_1\text{--S}_2$ (109°) и $\text{S}_4\text{--Cu}_1\text{--S}_2$ (114°), указывают на типичную геометрию координационной среды меди, близкую к тетраэдрической.

Формирование стабильного координационного комплекса между халькозином и аспарагиновой кислотой через взаимодействие атомов серы и меди, а также возможное участие атомов кислорода или водорода. Сохранение основных структурных фрагментов аспарагиновой кислоты, с локальными деформациями, связанными с координацией к халькозину. Наличие водородных связей и искаженной координации, что может быть важно для понимания механизма адсорбции или выщелачивания.

Энергетические параметры из квантовохимических расчетов позволяют сделать выводы о стабильности комплекса халькозина с аспарагиновой кислотой. Полная энергия системы ($E_{\text{tot}} = -503\,974.03$ кДж/моль). Это общая энергия системы, включающая электронную, ядерную и потенциальную энергии. Значение сильно отрицательное, что подтверждает устойчивость оптимизированной структуры комплекса. Это значение относительное и в отрыве от сравнения с энергиями отдельных компонентов (аспарагиновой кислоты и халькозина) не дает информации об энергии связывания.

Электронная энергия ($E_{\text{elect}} = -2\,228\,169.28$ кДж/моль). Это электронный вклад в общую энергию системы. Он наиболее значителен и определяет структуру молекулы на квантовом уровне. Чем более отрицательна электронная энергия, тем более стабильно распределены электроны в системе. Это свидетельствует о сильных взаимодействиях между компонентами комплекса, особенно между атомами меди, серы и функциональными группами аспарагиновой кислоты.

Энтальпия образования ($\Delta_f H = -1\,235.29$ кДж/моль). Это тепловой эффект образования комплекса из стандартных веществ при стандартных условиях. Отрицательное значение говорит о экзотермическом характере процесса, образование комплекса сопровождается выделением энергии. Чем более отрицательное значение $\Delta_f H$, тем более термодинамически выгодно образование комплекса. Значение -1235 кДж/моль указывает на высокую стабильность комплекса по сравнению с исходными веществами.

Для халькозина наблюдалась более сильная связь, что может быть связано с различиями в электронной структуре и доступности активных центров на поверхности.

Анализ распределения электронной плотности и орбиталей НОМО–LUMO показал наличие значительной перераспределённой плотности заряда в области взаимодействия, особенно при участии обоих карбоксильных фрагментов. Это указывает на возможное образование координационных связей с участием атомов Fe или Cu.

Также было выявлено, что протонированное состояние аспарагиновой кислоты в кислой среде влияет на геометрию адсорбционного комплекса и приводит к различной степени вовлечения функциональных групп. В диполярной форме (цвиттерионной) наблюдались менее прочные связи и большая мобильность молекулы на поверхности.

Заключение

Квантово-химическое моделирование подтвердило возможность устойчивой адсорбции аспарагиновой кислоты на поверхности сульфидных минералов (Cu_2S , CuFeS_2 , Cu_5FeS_4). Основной механизм включает координацию карбоксильной и аминогрупп с активными центрами поверхности, что сопровождается перераспре-

делением электронной плотности и образованием прочных комплексов. Эффективность адсорбции зависит от формы молекулы (протонированная или цвиттер-ионная) и электронной структуры минерала. Такие взаимодействия играют важную роль в природных и технологических процессах, включая модификацию поверхности минералов, биовыщелачивание и флотацию. Управление условиями среды, например pH и присутствием органических лигандов, позволяет целенаправленно регулировать эффективность этих процессов.

Литература

1. Жукова, И. А., Матвеев, Д. В. Исследование взаимодействия аминокислот с минеральными поверхностями методами DFT // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 4: Физика, химия. – 2021. – № 1. – С. 104–112.
2. Sposito, G. The Surface Chemistry of Natural Particles. – New York: Oxford University Press, 2004. – 280 p.
3. Кузнецов, А. В., Козлов, А. В. Квантово-химическое моделирование в неорганической химии: Учебное пособие. – М.: МГУ, 2015. – 248 с.
4. Васильев, А. А., Сидоров, И. Н. Молекулярная модель адсорбции органических соединений на поверхности сульфидных минералов // Журнал физической химии. – 2019. – Т. 93, № 4. – С. 675–682.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ Nb-Mo ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ НАПЛАВКИ

Наставшев А. Е., Буров В. Г., Назаров Я., Турло Е. М., Бушуева Е. Г.

*Новосибирский государственный технический университет
artem.nastavshev@yandex.ru*

В современной промышленности в связи с ростом уровня рабочих температур требуются дорогостоящие материалы, способные работать в агрессивных условиях и не разрушаться. Технологии нанесения защитных покрытий позволяют заменить использование дефицитных материалов путем формирования многофункциональных слоев на поверхности недорогой и доступной стали. Конструкционная сталь 40Х обладает высокими механическими свойствами, из нее изготавливают зубчатые передачи, шпиндели, валы, оси, втулки и другие детали. Недостатком данной стали является отсутствие сопротивления высокотемпературному окислению.

Метод вневакуумной электронно-лучевой наплавки позволяет сформировать слои толщиной 2 – 3 мм с минимальным количеством дефектов [1]. Для модификации слоев использовались порошковые смеси Nb, Mo и В. Данные элементы могут образовывать карбиды и бориды, которые повысят жаростойкость [2-4].

При наплавке использовали порошковые смеси 20 масс. % Nb, 10 масс. % Mo, 10 масс. % В и 10 масс. % Nb, 20 масс. % Mo, 10 масс. % В с добавлением флюса MgF_2 (наименования смесей 20Nb-10Mo-10В и 10Nb-20Mo-10В соответственно). Режимы наплавки: ток пучка 23 мА, энергия пучка 1.4 МэВ, скорость перемещения образца 10 мм/с.

Микроструктура слоев, образованных после поверхностной обработки, состоит дендритов из мелкодисперсных частиц NbC, включенных в эвтектическую матрицу

пластинчатого типа (рис. 1). У образцов после наплавки смеси 20Nb-10Mo-10В в структуре присутствует больше карбидов по сравнению с наплавкой 10Nb-20Mo-10В.

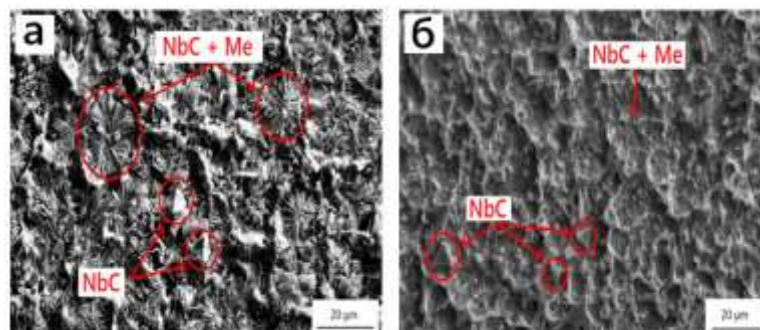


Рисунок 1 – Микроструктура слоев:
а – покрытие 20Nb-10Mo-10В; б – покрытие 10Nb-20Mo-10В

Рентгенофазовый анализ показал наличие фаз NbC, (Mo, Nb)C, твердые растворы на основе α -Fe и Mo.

Испытание на жаростойкость проводили согласно ГОСТ 6130 – 71 [5]. Режимы испытания: температура 850 °С, время выдержки 48 часов, воздушная среда, образцы отбирались каждые 4 часа. По результатам испытаний были построены графики зависимости прироста массы образцов от времени выдержки (рис. 2).

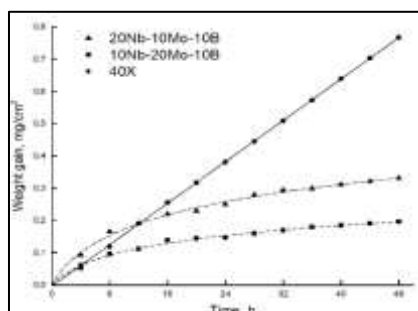


Рисунок 2 – График изменения массы во время испытания на жаростойкость

У образцов системы 10Nb-20Mo-10В наблюдается значительное повышение жаростойкости – в 3,9 раза по сравнению со сталью 40X. Это объясняется образованием плотной пленки оксидов ниобия и молибдена, замедляющей процесс коррозии. Образцы системы 20Nb-10Mo-10В повышают жаростойкость хуже - в 2,3 раза, так как в этом случае в оксидной пленке присутствуют дефекты.

Литература

1. Thomas Hassel, Nils Murray, Georgii Klimov, Alexander Beniyash, Cutting and Welding of High-Strength Steels Using Non-Vacuum Electron Beam as a Universal Tool for Material Processing // World Journal of Engineering and Technology, 2016, No. 4, 598-607 p.

2. Полетика И.М., Макаров С.А., Тетюцкая М.В., Крылова Т.А. Электронно-лучевая наплавка износостойких и коррозионностойких покрытий на низкоуглеродистую сталь // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – №2. – С. 86 – 89.

3. Adrian Graboś, Paweł Rutkowski, Jan Huebner, Dawid Kozień, Shenghua Zhang, Yen-Ling Kuo, Dariusz Kata, Shigenari Hayashi, Oxidation performance of spark plasma sintered Inconel 625-NbC metal matrix composites // Corrosion Science, Volume 205, 2022, 110453.

4. Krzysztof Wieczerek, Mirosław Stygar, Tomasz Brylewski, Robert Chulist, Piotr Bała, Johann Michler, Kinetics and mechanisms of high-temperature oxidation in BCC and FCC high-alloy Fe-based alloys with high volume fraction of carbides // Materials & Design, Volume 244, 2024, 113163.

5. ГОСТ 6130 – 71. Металлы. Методы определения жаростойкости (с Изменением N 1). Общие положения : Государственный стандарт союза ССР : издание официальное : утв. и введ. в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 12.02.71 N 225: введ. взамен ГОСТ 6130 – 52: дата введ. 1972 – 01 – 01 / разработан Министерством тяжелого энергетического и транспортного машиностроения СССР. – Москва : Издательство стандартов, 1990. – 9 с. – Текст : непосредственный.

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием Минобрнауки России (проект FSUN-2023-0009).

СИНТЕЗ ЦЕОЛИТА ZSM-22В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ: ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПРОДУКТА

Конурин Р. Д.

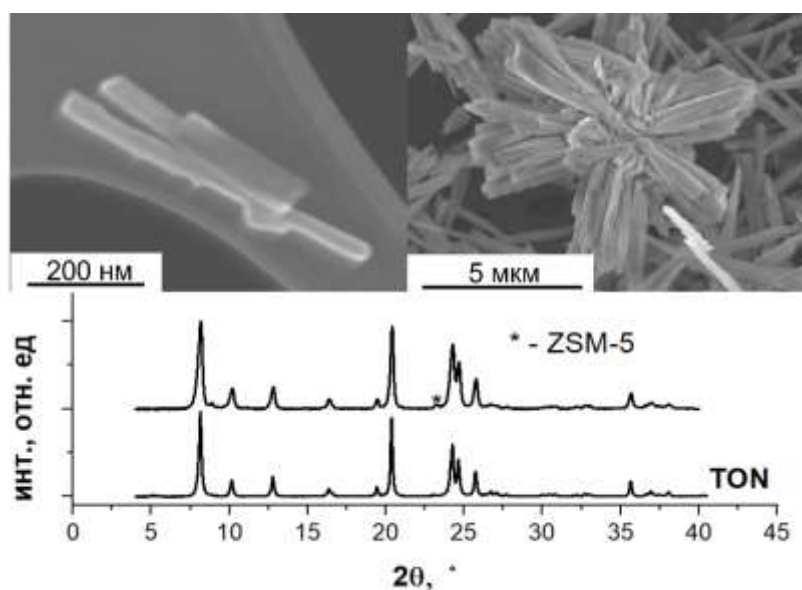
*Новосибирский Государственный Университет
Институт катализа имени Г. К. Борескова СО РАН, г. Новосибирск
Научный руководитель: Брагина А.А.
r.konurin@g.nsu.ru*

Цеолиты – класс кристаллических алюмосиликатов с упорядоченной системой пор и каналов, которые находят широкое применение в нефтепереработке, например в процессах изодепарафинизации и гидрокрекинга. Процесс изодепарафинизации позволяет получать низкозастывающие дизельные топлива и смазочные масла, что особо актуально для России ввиду ее климатических особенностей. Для данного процесса применяются одномерные цеолиты. Это связано с тем, что при использовании многомерных цеолитов размеров полостей, образованных пересечением каналов, достаточно для образования сильноразветвленных изомеров, которые не могут выйти из пор ввиду диффузионных ограничений. Следствием этого является интенсивное протекание реакций гидрокрекинга и коксования. Одним из представителей одномерных цеолитов является ZSM-22, относящийся к группе среднепористых цеолитов и имеющий поры эллиптической формы (0,55х0,45 нм). Интерес к данному цеолиту растет с каждым годом, что связано с его структурой пор и каналов, улучшающей селективность протекания реакция гидроизомеризации.

Традиционно ZSM-22 синтезируют с использованием гексаметилендиамина в качестве темплата, однако для получения фазово чистого материала требуется интенсивное перемешивание (400 rpm). В статических условиях ZSM-22 может

быть получен в присутствии имидазолиевых солей. Для повышения экологичности и снижения стоимости продукта может быть использован затравочный метод синтеза, влияние параметров которого исследовано в данной работе для синтеза промышленно важного цеолита ZSM-22.

В данной работе синтезированы образцы затравочных кристаллов с различным модулем ($\text{Si/Al} = 25 - \infty$) при использовании имидазолиевых солей в качестве темплата, а также образцы цеолитов ZSM-22, полученных в статических условиях в присутствии гексаметилендиамина и затравочных кристаллов.



Снимки сканирующей электронной микроскопии
и рентгенограмма образца с модулем используемой затравки $\text{Si/Al} = 25$

При варьировании условий синтеза и характеристик затравки были сделаны следующие выводы:

1. Необходимое время кристаллизации при $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет 40 часов.
2. Проведение синтеза с использованием Аэросила в качестве источника SiO_2 приводит к более высокому относительному содержанию ZSM-22.
3. При уменьшении модуля Si/Al затравочных кристаллов относительное содержания цеолита ZSM-22 увеличивается из-за уменьшения растворимости затравочных кристаллов.
4. Необходимое время старения геля составляет 15 минут при комнатной температуре.
5. При уменьшении соотношения KOH/SiO_2 в исходном геле относительное содержание цеолита ZSM-22 увеличивается.

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ РАСТВОРЕНИЯ ЗАГУЩАЮЩИХ ПРИСАДОК

Бакирова Б. С., Дарежат Ж., Сергазы М. Г.

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Республика
Казахстан, zdarezhat@mail.ru

Одним из ключевых направлений в развитии смазочных материалов является повышение их устойчивости к температурным изменениям и механическим нагрузкам. Растворение загущающих присадок в базовых маслах играет важную роль в обеспечении стабильности вязкости и функциональных свойств моторных масел. В данной работе рассматриваются методы оптимизации растворения присадок.

Целью настоящей работы являлось определение оптимальных условий растворения загущающих присадок в базовых маслах для получения моторных масел с улучшенными вязкостно-температурными характеристиками. Суть исследования заключалась в подборе температурно-временных параметров, обеспечивающих полное и равномерное растворение модификатора без потери его функциональных свойств. Растворение загущающей присадки в базовых маслах HVI-4 и HVI-6 проводилось при температуре 120 °С в течение 4 часов с постоянным перемешиванием [2]. Каждый час отбирался образец концентрата, на основе которого готовилось моторное масло. Таким образом, было получено четыре образца с различным временем растворения – 1, 2, 3 и 4 ч. Все образцы были исследованы по параметрам кинематической вязкости при 100 °С, индекса вязкости, температуры застывания и прокачиваемости по CCS, согласно стандартам ASTM и ГОСТ [3-5].

Эксперименты показали, что время растворения существенно влияет на вязкостно-температурные характеристики готового продукта. Образцы, полученные на ранних стадиях растворения (1–3 ч), продемонстрировали нестабильность и ухудшение свойств, таких как вязкость и низкотемпературные показатели. Наилучшие результаты были получены при 4-часовом растворении, когда обеспечивалась полная гомогенизация и стабильность всех основных параметров.



Зависимость кинематической вязкости
от времени растворения

Из полученных данных следует, что на качество моторных масел влияет не только состав присадки, но и её растворимость в базовом масле. Оптимизация условий растворения позволяет значительно улучшить вязкостно-температурные свойства и прокачиваемость масла, что подтверждает значимость данного процесса для разработки высококачественных смазочных материалов.

Литература

- 1) ГОСТ 33–2000. Метод расчёта индекса вязкости.
- 2) Захаров А.В., Кузнецов Н.А. Влияние температуры и механического перемешивания на растворение полимерных загустителей // Вестник химической технологии. – 2022. – Т. 47, № 3. – С. 55–68.
- 3) ГОСТ 25371–82. Определение кинематической вязкости.
- 4) ГОСТ 20287–91. Температура застывания. Метод В.
- 5) ASTM D5293-20. Метод определения CCS.

DRY REFORMING OF METHANE ON Ni-Mg AND Co COMPOSITE MATERIALS PREPARED BY SYNTHESIS COMBUSTION SOLUTION METHOD

**Shoganbek D. Y.^{b,c}, Biyekeyev B.^a, Bissenov B.^a, Baizhumanova T. S.^{b,c},
Tungatarova S. A.^{b,c}**

^aKazakh-British Technical University, Tole bi Street 59, Almaty 050000, Kazakhstan

^bAl-Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Ave. Almaty 050040, Kazakhstan

^cD.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Konaev st., 142, Almaty 50010, Kazakhstan

Keywords: catalyst; dry reforming of methane; SCS method; lanthanum; Cobalt; Cerium; Magnesium; Nickel

Greenhouse gases (GHG) emissions caused by energy generation and consumption is both a global as well as localised issue. The GHG emission sources structure of Kazakhstan is visibly different to that of the whole world, coal accounted for more than 58% of whole GHG emissions in Kazakhstan [1]. According to the U.S. Environmental Protection Agency, Kazakhstan's coal mining operations emitted approximately 18 million tonnes of CO₂ equivalent in 2020, with projections estimating 16 million tonnes in 2050. According to the World Bank, over 150 billion cubic meters of natural gas are flared or vented annually, a practice that contributes significantly to greenhouse gas emissions.

Among the various reforming methods, dry reforming of methane (DRM) stands out as a promising approach for utilizing CH₄ and CO₂ to produce valuable synthesis gas, which can be used in a wide range of applications [2]. Solution combustion synthesis (SCS) is one of the fastest methods for catalyst preparation, requiring only 10–20 minutes to complete. In the present study, a 20Ni-10Mg-20Al catalyst, along with two additional catalysts, 20Co-10La-20Al and 20Co-10Ce-20Al, were synthesized using the SCS method. These catalysts were then evaluated in the DRM. The reactions were carried out in a temperature range of 600–900 °C, with gas flow rates of 100 ml/min and 150 ml/min,

respectively. The feed gas composition consisted of 33% CH₄, 33% CO₂, and 34% Ar. The highest conversion was shown by 20Ni-10Mg-20Al at 900 °C where conversion of methane was 99,65% and CO₂ 98,04%. For the second group of catalysts, 20Co-10La-20Al demonstrated the highest conversion at 900 °C, with methane and CO₂ conversions reaching 97% and 93%, respectively. However, 20Co-10Ce-20Al also showed good performance, achieving 89% CH₄ conversion and 85% CO₂ conversion. XRD results indicates present of coke and graphite in the spent 20Co-10Ce-20Al, but not in the 20Co-10La-20Al, because La precludes formation of coke and graphite.

These findings confirm that catalyst composition and support selection play a pivotal role in DRM efficiency and long-term stability.

References

1. Wang X.-C., Klemes J.J., Dong X., Sadenova M.A., Varbanov P.S., Zhakupova G., 2019, Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Various Energy Sources, Chemical Engineering Transactions, 76. – P. 1060-1062.
2. Arora S., Prasad R. An overview on dry reforming of methane: Strategies to reduce carbonaceous deactivation of catalysts // RSC Adv. – 2016. – Vol. 6. – P. 108668–108688.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan for supporting this research through Grant No.BR24992995.

КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ХАЛЬКОПИРИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХЛОРИДА ЖЕЛЕЗА (III) В ПРИСУТСТВИИ АМИНОКИСЛОТ

Кулубеков Ш. Р.

*Казахский Государственный Университет имени Аль-Фараби, Алматы
shayahan@bk.ru*

Ключевым направлением развития гидрометаллургических технологии является разработка экологически безопасных и высокоэффективных методов переработки руд.

Халькопирит (CuFeS₂) - один из наиболее трудновыщелачиваемых медных минералов из-за образования пассивирующих слоев на его поверхности. Использование аминокислот в качестве комплексообразователей в сочетании с окислителем FeCl₃ представляет собой биомиметический подход к выщелачиванию, имитирующий природные биовыщелачивающие процессы [1].

Данная работа направлена на исследование кинетических закономерностей процесса выщелачивания халькопирита (CuFeS₂) под действием окислителя хлорида железа(III) в присутствии аминокислот в зависимости от следующих факторов: концентрация аминокислот: 0,8-3 г/л, концентрации FeCl₃: 0,25-1г/л, температура: 25-85°C, pH: 1,5-2, продолжительности до 1 часа.

Добавление аминокислот увеличивает извлечение меди из халькопирита по сравнению с традиционным выщелачиванием с хлоридом железа (III). Выявлен синергетический эффект между аминокислотами и хлорид ионами усиливающий

процесс растворения халькопирита. Предварительные результаты также показывают, что присутствие аминокислот значительно влияет на скорость выщелачивания, благодаря комплексообразованию аминокислот с ионами металлов [2, 3].

Исследования специализирующиеся на биогидрометаллургии и экологически чистых методах извлечения металлов.

Литература

1. Watling H.R. Chalcopyrite hydrometallurgy at atmospheric pressure: A review of acidic sulfate, sulfate-chloride and sulfate-nitrate process options // Hydrometallurgy. – 2023. – V. 140. – P. 163-180.
2. Liu S., Tong X., Liu H. Effect of Fe(III) on leaching of chalcopyrite in amino acids systems // Minerals Engineering. – 2022. – V. 68. – P. 131-141.
3. Wang S. Copper leaching from chalcopyrite concentrates in the presence of amino acids // Minerals Engineering. – 2024. – V. 24. – P. 27-39.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕЗОПОРИСТЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ

Жексенбаева Д. М., Абдрасилова А. К., Абдильдина К. М.

*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы
Научный руководитель: Василина Г.К.
zheksenbayevad04@bk.ru*

Мезопористые алюмосиликаты – это перспективный класс функциональных материалов, обладающих развитой пористой структурой (диаметр пор 2-50 нм), высокой удельной поверхностью и возможностью тонкой настройки кислотно-основных свойств. Их уникальные физико-химические характеристики обеспечивают широкий спектр практических применений в области катализа, адсорбции, экологии и устойчивой энергетики [1].

В рамках проведенного нами исследования была синтезирована серия мезопористых алюмосиликатов с различным соотношением Si/Al методом кислотного соосаждения с использованием экологически безопасных темплатов. Особое внимание было уделено текстурным характеристикам и распределению кислотных центров в объеме пор, определяющим каталитическую активность при конверсии модельных ароматических углеводов.

Полученные материалы демонстрируют высокую эффективность в реакциях гидроочистки и частичной деароматизации с получением фракций с улучшенными экологическими характеристиками. При этом установлено, что наличие сильных Бренстедовских кислотных центров и оптимальный радиус мезопор способствуют повышенной селективности по целевым продуктам. Каталитические испытания проводились в условиях, имитирующих реальные технологические параметры переработки остаточного сырья.

В работе [2] исследовалось влияние промотирующих добавок и температуры на изоселективность в процессе гидродеизомеризации, где также использовались мезоструктурированные алюмосиликаты как основа. Было установлено, что комбинированное использование структурированной пористой матрицы и фун-

кциональных добавок позволяет управлять направленностью реакции и оптимизировать выход низкозастывающих фракций дизельного топлива.

Важным аспектом исследования стало сравнение термической стабильности материалов при различных режимах регенерации и их способности к повторному использованию. Проведенные циклы регенерации показали, что структура алюмосиликатной матрицы сохраняется даже после нескольких циклов, что делает их привлекательными для промышленной реализации в непрерывных процессах.

Кроме того, алюмосиликаты рассматриваются как эффективные сорбенты для очистки технологических потоков от остаточных примесей и улавливания CO_2 , благодаря своей высокой удельной поверхности, возможности модификации поверхности и устойчивости к агрессивным средам. Это открывает перспективы использования данных материалов в экологически значимых технологиях и системах замкнутого цикла переработки.

С учетом гибкости структуры, масштабируемости синтеза и стабильности в агрессивных средах, мезопористые алюмосиликаты представляют собой перспективные материалы для включения в состав катализаторов и фильтрующих систем в рамках устойчивых и ресурсоэффективных технологий.

Таким образом, представленная работа подчеркивает потенциал мезопористых алюмосиликатов как функциональных материалов двойного назначения – каталитического и сорбционного – с возможностью адаптации их структуры под конкретные задачи нефтехимии и охраны окружающей среды.

Литература

[1] Abdrasilova A., Vassilina G., Abdildina K., Briones L., Peral A., Escola J.M. The notable features of mesoporous aluminosilicates as catalytic supports for hydrodearomatization and hydrodesulfurization of fuels // Microporous and Mesoporous Materials. – 2025. – Vol. 384. – P. 113457. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2024.113457>

[2] Abdildina K., Vassilina G., Abdrasilova A., Klassen I.A., Orynbassar R., Kanapiyeva F. The Role of Catalyst Promotive Additives and Temperature in the Hydroisodewaxing Process // Molecules. – 2023. – Vol. 28(22). – P. 7598. <https://doi.org/10.3390/molecules28227598>

СИНТЕЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОСНОВНЫХ НИТРАТОВ ВИСМУТА

Тимакова Т. Е., Тимакова Е. В.

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск,

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск

Научный руководитель: Тимакова Е. В., к. х. н., доцент

timakova.2021@stud.nstu.ru

Висмутсодержащие оксидные материалы привлекают внимание исследователей благодаря разнообразию их физико-химических свойств. В частности, CuBi_2O_4 , обладающий шпинельной структурой, применяется в фотокатализе, тогда как BiFeO_3 представляет собой перспективный перовскитоподобный мультиферроик с сегнето- и антиферромагнитным упорядочением при комнатной температуре [1].

В традиционных способах синтеза этих соединений: твердофазных синтезах из соответствующих оксидов или нитратов, золь-гель методах, методе Печини, растворном горении, гидротермальных и сонохимических синтезах – обычно применяется дорогостоящий реагент – $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ [2]. В качестве более дешёвых прекурсоров перспективны основные нитраты составов $[\text{Bi}_6\text{O}_4(\text{OH})_4](\text{NO}_3)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, являющиеся высокочистыми продуктами гидролитической переработки технологических растворов по содержанию примесных висмуту металлов.

Для синтеза CuBi_2O_4 смешивали основной нитрат висмута и $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{CuO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, измельчали в ступке для повышения гомогенности и отжигали при 600°C в течение 2–4 ч. В результате синтеза при заданной температуре получен монофазный CuBi_2O_4 .

В альтернативном оксалатном подходе, позволяющем избежать в процессе термолитиза выделения в газовую фазу токсичных окислов азота, основной нитрат висмута обрабатывали раствором щавелевой кислоты ($n(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) : n(\text{Bi}^{3+}) = 1,1$) при 70°C в течение 1 ч, затем в систему вводили дополнительное количество $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ($n(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) : n(\text{Cu}^{2+}) = 1,1$) и осаждали оксалат меди из медь-содержащего раствора ($n(\text{Bi}^{3+}) : n(\text{Cu}^{2+}) = 2:1$). Полученную смесь основного оксалата висмута $\text{BiOHnC}_2\text{O}_4$ и оксалата меди CuC_2O_4 фильтровали и сушили на воздухе, далее отжигали в атмосфере воздуха при температуре 500°C в течение 2–4 ч. По данным рентгеновского фазового анализа получен монофазный CuBi_2O_4 (рисунок).

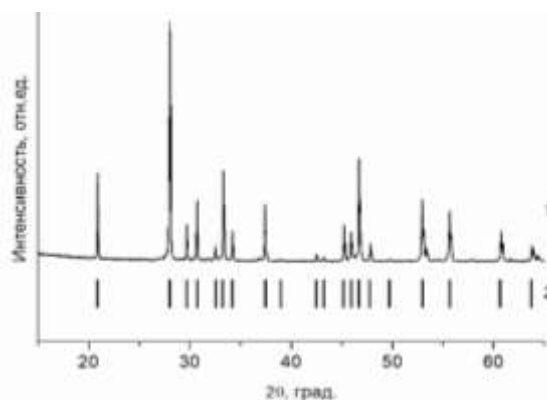


Рисунок – Дифрактограмма продуктов отжигасмеси $\text{BiOHnC}_2\text{O}_4$ и CuC_2O_4 при 500°C в течение 4 ч (1) и штрих-спектр CuBi_2O_4 (2)

Для получения BiFeO_3 был синтезирован общий Bi–Fe-прекурсор. Осаждение прекурсора проводили при добавлении стехиометрического раствора Bi–Fe в водный раствор аммиака, pH смеси 8. Для приготовления раствора Bi–Fe требуемое количество $[\text{Bi}_6\text{O}_5(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ добавляли в азотнокислый раствор нонагидрата нитрата железа с концентрацией 0,1 М. Bi–Fe прекурсор, по данным РФА, представляет собой рентгеноаморфный порошок. Согласно данным термического анализа Bi–Fe-прекурсора в атмосфере Ar/O_2 на кривой ДСК наблюдаются эндотермические эффекты при 125°C (выделение H_2O , CO_2 из CO_3^{2-}); 200 , 280 , 420 и 440°C (выделение NO_2 из NO_3^-). При 490°C , на кривой ДСК наблюдается значительный экзотермический эффект, который связан с образованием феррита

висмута. При отжиге Bi-Fe прекурсора в атмосфере воздуха при 500 °С в течение 4 ч получен монофазный BiFeO₃.

Литература

1. A review: preparation of bismuth ferrite nanoparticles and its applications in visible-light induced photocatalyses / Tong Gao, Zhi Chen, Qiaoli Huang, Feng Niu, Xiani Huang, Laishun Qin and Yuxiang Huang // Reviews on Advanced Materials Science. – 2015. – Т. 40. – №. 2. – С. 97-109.
2. Henry N. et al. Local Perturbation in Bi₂CuO₄: Hydrothermal Synthesis, Crystal Structure, and Characterization of the New Bi₂(Cu_{1-2x}M_x)O₄ (M = Bi, Pb) // Chemistry of materials. – 2001. – Т. 13. – №. 2. – С. 543-551.

Работа выполнена в соответствии с тематическим планом ИХТТМ СО РАН 121032500064-8.

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ОКСИДА МАРГАНЦА, ПОЛУЧЕННОГО ХИМИЧЕСКИМ ОСАЖДЕНИЕМ, НА ФОРМИРОВАНИЕ Mn-Zn ФЕРРИТОВ

Хабиров Р. Р., Миллер А. А., Агафонов М. Ю., Масс А. В., Кузьмин Р. И.

Новосибирский государственный технический университет

Научный руководитель: Кузьмин Р. И.

xabirov.2016@stud.nstu.ru

Mn-Zn ферриты широко применяются в высокочастотной электронике, трансформаторах благодаря их высокой магнитной проницаемости и низким потерям на вихревые токи. Твердофазный синтез ферритов, наиболее распространенный в промышленности, включает стадии смешивания оксидов, ферритизации, помола, грануляции, прессования и спекания. Одним из наиболее важных факторов, определяющих свойства спеченных материалов являются параметры исходных порошковых компонентов, в частности марганецсодержащего сырья [1].

Химический синтез оксида марганца из водных растворов солей является эффективным методом получения порошков с контролируемым размером частиц, степенью агрегации, фазовым составом [2]. В свою очередь эти характеристики определяют протекание фазовых превращений при синтезе феррита и свойства частиц порошков феррита, что оказывает влияние на формирование зёрненной структуры при спекании. Несмотря на значительное количество исследований, посвященных синтезу Mn-Zn ферритов различными методами [3], влияние условий осаждения оксида марганца на микроструктуру и магнитные свойства ферритов, полученных твердофазным синтезом, остается недостаточно изученным. В частности, множество исследований посвящено химическому осаждению оксида марганца гидроксидами калия и натрия. Однако из-за высокой чувствительности микроструктуры и свойств ферритов к примесям, необходимо исключить загрязнение сырья ионами металлов, в связи с чем в данной работе осаждение проводили раствором аммиака.

Целью настоящей работы является исследование влияния условий химического осаждения оксида марганца из растворов с различной концентрацией соли на

его свойства и последующее влияние этих свойств на зеренную структуру и магнитные свойства спеченных Mn-Zn ферритов.

Материалы и методы исследования

Химическое осаждение проводили из водного раствора $\text{MnSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ 25% раствором аммиака. Полученный осадок подвергали старению при комнатной температуре в течение 16 ч, промывали дистиллированной водой и изопропиловым спиртом. Отделение осадка проводили методом вакуумного фильтрования. С целью оценки влияния режимов осаждения на свойства сформированных порошков проводили серию экспериментов с концентрацией соли марганца от 0,008 до 0,6 М, температурами прокалики осадка 200, 600, 800, 1000 °С. Фазовый состав порошков исследовали с применением рентгеновского дифрактометра Adwin Powdix 600, удельную поверхность оценивали методом адсорбции-десорбции азота на установке Сорби-MS. Ферритовые сердечники были получены смешиванием порошков $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, ZnO и оксида марганца, полученного химическим осаждением. Порошки после смешивания подвергали отжигу на воздухе при 1000 °С, мокрому помолу, грануляции, прессованию кольцевых сердечников, спеканию в вакуумной печи. Микроструктуры спеченных материалов оценивали с применением оптической и растровой электронной микроскопии. Начальную магнитную проницаемость рассчитывали по результатам измерения индуктивности образцов с применением анализатора импеданса TECHMIZE TH2840B Precision LCR-meter.

Результаты и обсуждение

По результатам рентгенофазового анализа установлено, что после осаждения и сушки осадка при 200 °С на воздухе при всех концентрациях соли формируется оксид марганца $\alpha\text{-Mn}_3\text{O}_4$ (I_{41}/amd). Зависимость удельной поверхности $S_{\text{уд}}$ полученного порошка от концентрации соли марганца в растворе при осаждении представлена на рис. 1. Прокалка при 600 °С в воздушной атмосфере приводит к окислению $\alpha\text{-Mn}_3\text{O}_4$ до $\alpha\text{-Mn}_2\text{O}_3$ (I_{a-3}), который сохраняется при нагреве до 800 °С и 1000 °С.

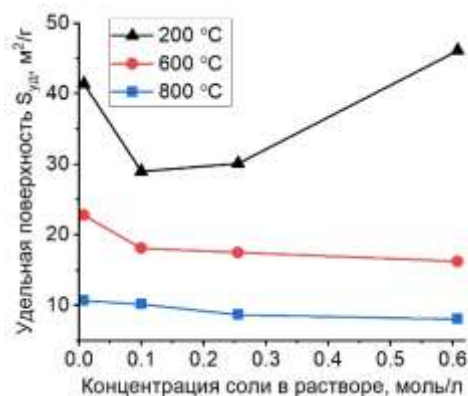


Рисунок 1 – Зависимость удельной поверхности от концентрации соли марганца в растворе при осаждении

Наибольшие значения удельной поверхности $\alpha\text{-Mn}_3\text{O}_4$, полученного осаждением аммиаком из растворов сульфата марганца и последующей сушкой при

200 °С, наблюдаются в двух граничных случаях – при низкой (0,008 М) и высокой (0,6 М) концентрации соли в растворе. При низкой концентрации ионов Mn^{2+} образование и рост частиц осадка протекает медленно, формируются мелкодисперсные слабо агрегированные частицы с высокой удельной поверхностью [4]. При высокой концентрации быстро образуется большое количество частиц осадка, а дальнейший их рост ограничен, что также приводит к увеличению удельной поверхности продукта реакции. С увеличением температуры прокали порошка до 600 и 800 °С удельная поверхность снижается в результате спекания и роста частиц. Однако, как можно видеть на рис. 2, скорость снижения удельной поверхности различна, при разных концентрациях соли. Наибольшая скорость характерна для порошков с высокой удельной поверхностью до термической обработки. Такая зависимость характерна для нагрева в диапазоне 200-600 °С. В диапазоне 600-800 °С форма зависимости скорости падения $S_{уд}$ при нагреве от концентрации соли повторяет форму зависимости самой $S_{уд}$. Так как порошок с наибольшей исходной $S_{уд}$ (при концентрации соли 0,6 моль/л) при нагреве до 600 °С претерпел наибольшее снижение $S_{уд}$, дальнейшем нагреве его спекание протекает медленнее.

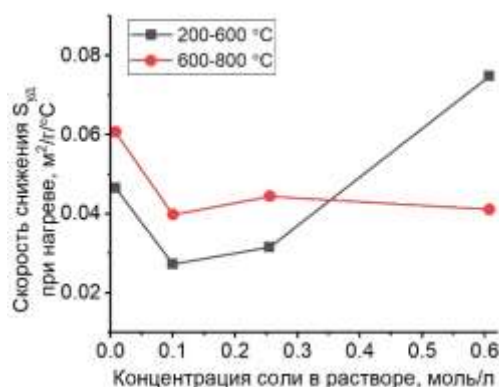


Рисунок 2 – Зависимость скорости снижения удельной поверхности осажденного порошка при нагреве от концентрации соли в растворе при осаждении

Для спекания ферритов были использованы порошки оксида марганца с удельной поверхностью 1,1 m^2/g (получен осаждением из 0,6 М раствора с прокалкой при 1000 °С) и с удельной поверхностью 14,3 m^2/g (получен осаждением из 0,1 М раствора с прокалкой при 600 °С). Феррит, полученный из порошка с $S_{уд}$ 14,3 m^2/g , характеризуется неоднородной зеренной структурой: 33 об. % зерен имеют аномально крупный размер (средний размер 320 ± 150 мкм), тогда как остальные зерна имеют средний размер $7,9 \pm 3,8$ мкм. Полученные данные свидетельствуют о процессе вторичной рекристаллизации, когда отдельные зёрна с благоприятной кристаллографической ориентацией начинают быстро расти, поглощая соседние. Начальная магнитная проницаемость составляет 2700, а добротность сердечника – 20. Высокая $S_{уд}$ исходного оксида марганца приводит к увеличению $S_{уд}$ порошка феррита после помола (4,9 m^2/g). В результате увеличения площади

поверхности частиц ускоряется зернограницная диффузия, что приводит к увеличению подвижности границ зерен и вероятности формирования отдельных кристаллитов аномально крупных размеров. Это, в свою очередь, влияет на магнитные свойства феррита, ограниченно повышая магнитную проницаемость за счёт увеличения среднего размера зерен, но снижая добротность сердечника из-за сниженного электрического сопротивления в объеме зерен. Феррит, полученный из порошка с низкой удельной поверхностью ($1,1 \text{ м}^2/\text{г}$), демонстрирует однородную зеренную структуру со средним размером зерен $7,8 \pm 3,9 \text{ мкм}$, начальной магнитной проницаемостью 2200 и добротностью сердечника 51,5. Низкая удельная поверхность исходного оксида марганца приводит к снижению $S_{\text{уд}}$ порошка феррита после помола ($2,9 \text{ м}^2/\text{г}$), что способствует равномерному росту зерен при спекании.

Литература

1. Thakur, P. A review on MnZn ferrites: Synthesis, characterization and applications / P. Thakur, D. Chahar, S. Taneja, N. Bhalla, A. Thakur // *Ceramics International*. – 2020. – Vol. 46, iss. 10. – P. 15470-15763.
2. Zhao, Q. Effects of processing parameters on the surface area of Mn_2O_3 at elevated temperatures / Q. Zhao, W. H. Shih // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2002. – Vol. 53, iss. 1-3. – P. 81-86.
3. Kostishin, V. G. Radio-Absorbing Magnetic Polymer Composites Based on Spinel Ferrites: A Review / V. G. Kostishin, I. M. Isaev, D. V. Salogub // *Polymers*. – 2024. – Vol. 16, iss. 7.
4. Pourmortazavi, S. M. Statistical optimization of experimental parameters for synthesis of manganese carbonate and manganese oxide nanoparticles / S. M. Pourmortazavi, M. Rahimi-Nasrabadi, A. A. Davoudi-Dehaghani, A. Javidah, M. M. Zahedi, S. S. Hajmirsadeghi // *Materials Research Bulletin*. – 2012. – Vol. 47, iss. 7. – P. 1045-1050.

Исследования выполнены на оборудовании ЦКП "Структура, механические и физические свойства материалов".

PHASE FORMATION IN A Cr-Si MIXTURE DURING MECHANICAL ACTIVATION AND ANNEALING

Pripisnov O. N., Shelechov E. V., Rupasov S. I.

*University of Science and Technology MISiS, Leninsky pr., 4, Moscow, 119049, Russia
e-mail: opripisnov@yandex.ru*

A chromium-silicon mixture of atomic composition CrSi_2 was subjected to mechanical activation in a high-energy planetary mill for 9-60 minutes at a balls : material ratio of 20:1.

Silicide formation during mechanical activation begins as early as 9 minutes. milling, and up to 60 minutes. only the higher silicide CrSi_2 is observed. During the grinding process, a roll-shaped structure is formed from alternating layers of Cr and Si, which become thinner with increasing activation time, reaching in separate places the lengths of the diffusion path of the components into each other. With subsequent rapid ($\sim 6^\circ\text{C/s}$) heating of the activated mixtures to a temperature of 1000°C , starting from a

milling time of 45 minutes, a state close to phase equilibrium is established, in which the content of CrSi_2 is maximum, but CrSi , Cr_5Si_3 and Si (up to 10% in total).

The diffusion nature of silicide formation was confirmed both during mechanosynthesis and during subsequent rapid heating. In this case, the observability of only the higher silicide CrSi_2 during milling is probably due to the anomalously large coefficient of interdiffusion of components in this silicide at low temperatures compared to other silicides, the layers of which in the «diffusion cake» are much thinner and are not detected by X-ray phase analysis.

ВЛИЯНИЕ ДЕТОНАЦИОННЫХ НАНОАЛМАЗОВ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТОВ ТИПА «ИОННАЯ СОЛЬ-ИНЕРТНАЯ ДОБАВКА»

Алексеев Д. В., Матейшина Ю. Г.

*Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия
Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия
e-mail: d.alekseev1@list.ru*

В настоящее время применяется большое разнообразие электролитов различных как по химической природе, так и агрегатному состоянию. Существуют как кислотные, щелочные - неорганические, проблема которых в наличие воды, ограничивающей электрохимическое окно стабильности, так и органические электролиты, массовая утилизация которых может принести экологический ущерб. Электролиты на основе ионных жидкостей хорошо себя зарекомендовали благодаря хорошей проводимости, электрохимической стабильности за счет чего имеют очень высокую стоимость, не всегда оправдывающую область применения. Решить описанные выше проблемы может использование твердых электролитов. Поскольку твердые вещества обладают низкой проводимостью для практических применений, в начале XX века были открыты композиционные твердые электролиты типа «ионная соль – инертная добавка». В описании такой модели предполагается, что инертная добавка является каркасом, по которому растекается соль, образуя слой – «интерфейс» толщиной несколько нанометров. [1] Новая неавтономная фаза имеет новые физико-химические свойства, такие как температуры плавления, разложения, транспортные свойства и др. В такой системе важно, чтобы соль была хорошим ионным проводником, термически стабильным в области используемых температур. В свою очередь, инертная добавка должны быть высокодисперсна и химически инертна по отношению к применяемому электролиту. Традиционно в качестве добавок используют высокодисперсные оксиды (Al_2O_3 , MgO , Fe_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , SnO_2 и др.) [1].

В нашей работе предлагается использовать неоксидную добавку – наноалмаз. Данный материал имеет высокую удельную площадь поверхности, химически инертен и термически стабилен до температур графитизации ($T \approx 500^\circ\text{C}$). Исследования показывают, что применение детонационных наноалмазов марки УДА-С (ФНПЦ «Алтай», $S_{\text{уд}} = 300\text{-}320 \text{ м}^2/\text{г}$), имеющих минимальное незначительное количество металлических примесей, оставшихся в результате синтеза, в 2-4 раза

увеличивает проводимость композиционных твердых электролитов на основе различных солей (CsNO_2 , LiClO_4 , AgI) [2,3], так и улучшает механические характеристики устройств [4]. Таким образом, можно считать, что наноалмазная дисперсная добавка является хорошим неоксидным допантом в твердых электролитах для улучшения физико-химических свойств.

Литература

1. Н. Ф. Уваров. Композиционные твердые электролиты: монография: Новосибирск, Изд. СО РАН, 2008. - 258 с.
2. Mateyshina, Y.G., Alekseev, D.V., Uvarov, N.F. Ionic transport in CsNO_2 -based nanocomposites with inclusions of surface functionalized nanodiamonds. *Nanomaterials*. – 2021. – 11(2), pp. 1-10.
3. Alekseev, D.V., Mateyshina, Y.G., Uvarov, N.F. Transport Properties of LiClO_4 -Nanodiamond Composites. *Russian Journal of Electrochemistry*. – 2021. – 57(10), pp. 1037–1045.
4. Композиционный твердый электролит на основе ионогенных органических солей замещенного аммония бутиловыми и метиловыми радикалами и гетерогенной добавки наноалмазов: пат. 2796634 Рос. Федерация : H01G 11/56 C 22/10.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН №121032500065-5.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ ДЛЯ ЁМКОСТНОЙ ДЕИОНИЗАЦИИ ВОДЫ

Щеглов В. Д.¹, Чернуха Н. С.¹, Подгорнова О. А.², Уваров Н. Ф.^{1,2}

¹*Новосибирский государственный технический университет*

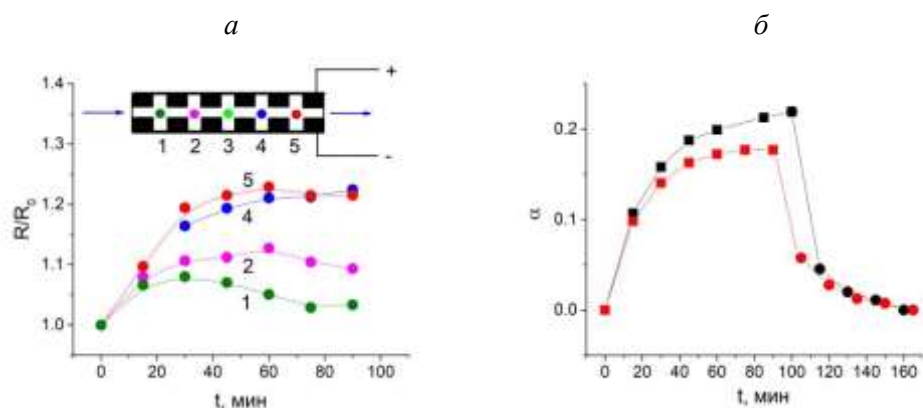
²*Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск
volodyapabriashvili@gmail.com*

Ёмкостная деионизация воды (ЕДВ) – это новая технология, которая успешно используется во многих приложениях по очистке воды. Во многих случаях технология ЕДВ показала повышенную эффективность по сравнению с другими современными технологиями. В технологии ЕДВ используются различные типы углеродных электродов, такие как обычные и усовершенствованные модификации электродов на основе пористого углерода и графена. Модификация позволила ускорить процессы массопереноса и адсорбции ионов солей и повысить эффективность операций ЕДВ с точки зрения энергоэффективности и экологичности удаления ионов [1, 2].

Ранее нами была разработана электрохимическая проточная ячейка для ёмкостной деионизации воды, состоящая из отдельных секций, в середине ячейки был проложен сепаратор для предотвращения короткого замыкания, а между секциями были введены контакты для измерения локального значения проводимости в каждой точке. Ячейка позволяет проводить измерения градиента электропроводности воды по всей длине ячейки непосредственно в процессе деионизации [3].

Результаты проведенных исследований представлены на рисунке. Было показано, что эффективность процесса деионизации зависит не только от величины приложенного внешнего напряжения, но и от скорости пропускания раствора через

реактор. Для детального исследования распределения соли внутри реактора было проанализировано относительное изменение сопротивления раствора со временем в отдельных точках реактора. Оказалось, что сопротивление раствора в данной точке зависит от положения в реакторе, скорости потока и проходит через максимум от времени. Наличие максимума объясняется ограниченной величиной емкости электродного материала, в результате чего процесс извлечения достигает предельного уровня и в дальнейшем сопротивление определяется потоком вновь поступающего неочищенного раствора в данную точку. Для эффективной очистки раствора следует уменьшать скорость протока, при этом достигнуто значение степени извлечения соли $\alpha = 0,25$.



Левый график: Изменение относительного сопротивления раствора (R/R_0) в точках 1-5 реактора (обозначенного на схеме) в зависимости от времени деионизации при скорости потока 0.13 мл/с и напряжении 0.9 В.

Правый график: Изменение степени извлечения соли от времени при скоростях потока 0.3 и 0.13 мл/с, красная и черная кривые, соответственно справа).

Таким образом, в результате проведенных исследований было показано, что оптимальным режимом деионизации является медленная скорость потока, способствующая наиболее глубокому извлечению ионов из раствора, однако, при этом сложно удалять очищенный электролит из ячейки. Поэтому необходимо подбирать оптимальное значение скорости потока, позволяющее одновременно очищать раствор, а затем удалять загрязненный раствор из ячейки.

Литература

1. Вольфович Ю. М. Емкостная деионизация воды (обзор) // Электрохимия. – 2020. – Т. 56, № 1. – С. 20-55.
2. Бахия Тамуна, Хамизов Р.Х., Бавижев З.Р. Композитные графен-содержащие пористые материалы для электросорбции и емкостной деионизации воды // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2020. – Т. 20, №3. – С. 320-334.
3. Патент 2795192, С1 Российская Федерация. Слоистая основа электрода для емкостной деионизации и способ ее изготовления / М. Ким, К. Кан, К. Ли, Б.Х. Рю. № 2020/017969; заявл. 09.12.2020; опубл. 02.05.2023, Бюл. № 13. 4 с.: ил.

СИНТЕЗ ФАЗЫ МАКСЕНА Ti_2C ИЗ МАХ-ФАЗЫ Ti_2AlC МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

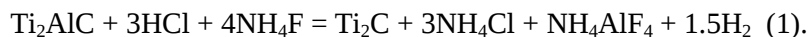
Игнатюк Ю. Д.¹, Коряковцева А. А.¹, Гаврилов А. И.², Уваров Н. Ф.^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск
ignatyuk.yd@gmail.com

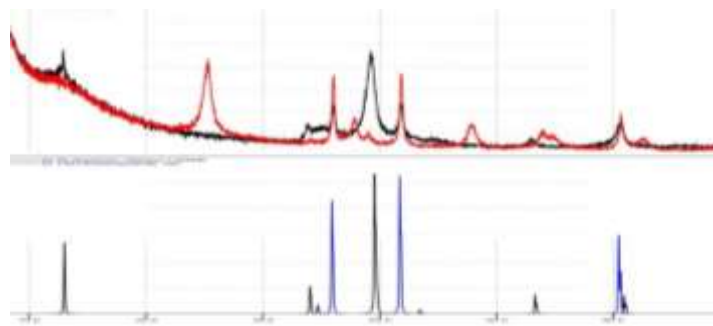
Интерес к исследованию двумерных углеродных материалов резко возрос после открытия графена. В 2011 г. были впервые синтезированы максены (MXenes), – это семейство двумерных карбидов, карбонитридов и нитридов с общей формулой $M_{n+1}X_nT_x$, где М – переходный металл (Ti, Mo, Cr, Nb, V, Sc, Zr, Hf или Ta), Х – углерод или азот, n – обычно целое число между 1 и 5, а T_x – поверхностные группы, (такие как гидроксил, кислород или фтор). Максены состоят из многослойных сэндвичевых структур, в которых слои углерода или азота расположены между слоями металла [1]. Максены находят применение в энергетических системах в суперконденсаторах и батареях, так как они обладают высокой удельной ёмкостью и отличной проводимостью [2]. Среди максенов, наиболее хорошо изученным соединением является Ti_3C_2T , которое синтезируют выщелачиванием алюминия из МАХ-фазы Ti_3AlC_2 . Наряду с этой фазой существует и МАХ-фаза другого состава Ti_2AlC . Пример синтеза максена Ti_2C из МАХ-фазы Ti_2AlC был приведен в работе [3], однако детали синтеза и описание свойств полученного максена не были представлены.

В данной работе был проведен синтез максена Ti_2C . В качестве исходного соединения был взят порошок МАХ-фазы Ti_2AlC , предварительно измельченный в ступке. В эксперименте для выщелачивания алюминия вместо HF использовали смесь 1М растворов HCl и NH_4F , реакция проводилась при комнатной температуре при постоянном перемешивании с использованием магнитной мешалки. Эта методика является более безопасной и позволяет получать материалы с лучшими электрохимическими характеристиками. Процесс выщелачивания можно описать химическим уравнением:



Протекание реакции сопровождалось выделением водорода и уменьшением частиц порошка исходной твердой фазы. После выщелачивания осадок отделяли от раствора центрифугированием. Затем полученный осадок промывали несколько раз дистиллированной водой с последующим центрифугированием для полного удаления следов HCl, контролируемого по значениям pH раствора. Дифрактограмма полученного продукта представлена на рисунке. Как видно из рисунка, после трехкратной отмывки на дифрактограмме полученного материала полностью отсутствуют рефлексы, относящиеся к исходной фазе Ti_2AlC (PDF2 file № 29-95) и присутствуют пики, соответствующие фазе TiC (PDF2 file № 32-1383). Эта фаза является продуктом неполного синтеза МАХ-фазы Ti_2AlC из элементов и устойчива к воздействию кислот. Кроме того, на дифрактограмме присутствует ряд уширенных рефлексов, по-видимому относящихся к фазе максена Ti_2AlC .

Таким образом, нами показано, что при обработке МАХ-фазы Ti_2AlC раствором смеси HCl и NH_4F происходит образование фазы максена Ti_2C с минимальным присутствием примесей и отсутствием изначальной фазы.



Верхний график: Дифрактограмма исходного Ti_2AlC (черная кривая) и продукта реакции (1) после трехкратной отмывки от примесей (красная кривая).
Снизу представлены теоретические дифрактограммы исходной МАХ-фазы Ti_2AlC и примесной фазы TiC

Литература

1. Gogotsi, Y., & Anasori, B. The rise of MXenes // ACS Nano. – 2019. –13(8) – С. 8491–8494.
2. Mahmud S. T. et al. Multilayer MXene heterostructures and nanohybrids for multifunctional applications: a review //ACS Materials Letters. – 2022. – Т. 4. – №. 6. – С. 1174-1206.
3. Ayodhya D. A review of recent progress in 2D MXenes: Synthesis, properties, and applications //Diamond and Related Materials. – 2023. – Т. 132. – С. 109634.

(CoFeMnCuNiCr)₃O₄ NANOPARTICLES ANCHORED ON REDUCED GRAPHENE OXIDE AS MULTIFUNCTIONAL CATALYST

Ostovari Moghaddam A.^{1*}, Mehrabi-Kalajahi S.²

¹HSE University, 101000 Moscow, Russia

²Faculty of Chemistry, Department of Inorganic Chemistry, University of Tabriz, Tabriz, Iran

*corresponding authors E-mail address: mostovari@hse.ru

High entropy nanoparticles are defined by their composition, which typically involves at least five principal metallic elements mixed in near-equimolar ratios, leading to a high entropy of mixing [1]. This distinct compositional diversity and configurational complexity allows greater tunability of electronic structures and improved catalytic activity, as these nanomaterials can stabilize multiple oxidation states. Furthermore, the presence of versatile atomic arrangements leads to effects such as sluggish diffusion, high mixing entropy, and cocktail effects, which can uniquely influence catalytic efficiency, selectivity, and stability. In this work, we report on the synthesis of (CoFeMnCuNiCr)₃O₄ high entropy oxide (HEO) grafted on reduced graphene oxide (rGO) and its multifunctional properties for three different heterogeneous catalytic reactions.

(CoFeMnCuNiCr)₃O₄ HEO nanoparticles were synthesized by co-precipitation method. A mixture of 0.01 mol of manganese, chromium, cobalt, iron, nickel and copper chloride salts was stirred for 2 hours, and then the temperature was increased to 60 °C. The black solution was washed and calcinated at 800 °C for 5 hours to obtained the black powders. The HEO-rGO was prepared by mixing 0.1 g of HEO and 0.3 g of rGO in distilled water followed by ultrasonication and heating at 140 °C for 18 h inside a stainless autoclave.

The XRD patterns of the (CoFeMnCuNiCr)₃O₄ HEO and HEO-rGO are presented in Fig. 1a. HEO exhibits an inverse spinel structure (and CuO impurity). SEM image shows a homogeneously distribution of HEO on rGO surface (Fig. 1b). HRTEM image indicates a partially faceted particle morphology for HEO (Figure 2c).

The conversion rate of the aerobic oxidation of benzyl alcohol on HEO-rGO catalyst is shown in Fig. 1d. After 5 cycles, the conversion rate was slightly reduced from 10.36% to 10.12%, and the selectivity toward benzaldehyde decreased from 78.5% to 73.8%. This decline in conversion and selectivity rates can be attributed to the aggregation of HEO catalysts. Fig. 1e shows the LSV of HEO-rGO supported on nickel foam (NF) electrodes in a 0.1 M KOH alkaline solution in oxygen evolution reaction (OER). The overpotential of HEO-rGO electrodes at a current density of 10 mA/cm² is 290 mV, which is lower than previous studies [2], indicating superior electrocatalytic performance.

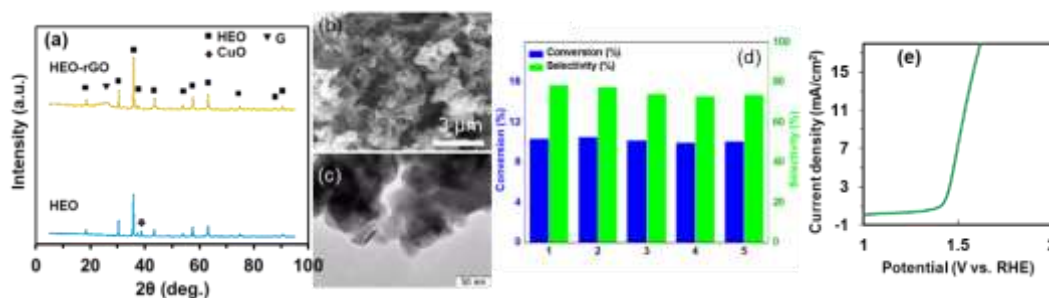


Fig. 1. XRD patterns (a), SEM of HEO-rGO (b), HRTEM of HEO (c), performance of HEO-rGO in solvent-free oxidation of benzyl alcohol, and LSV polarization curves of HEO-rGO in OER (e).

References

- [1] M. Li et al. High-entropy alloy electrocatalysts go to (sub-) nanoscale, Science advances 10(23) (2024) eadn2877.
- [2] J. Chen et al. High-efficiency overall alkaline seawater splitting: using a nickel-iron sulfide nanosheet array as a bifunctional electrocatalyst, J. Mater. Chem. A 11(3) (2023) 1116-1122.

The work was supported by the Russian Science Foundation, project No. 23-73-10139. (<https://rscf.ru/en/project/23-73-10139/>).

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ильина Е.В., Тушаков С.Д., Шивцов Д.М., Турло Е.М., Бедило А.Ф.</i> Использование эпоксипропана для синтеза алюминатов магния и никель-содержащих катализаторов на их основе.....	5
<i>Мовсумова А.Х., Расулов Ч.К.</i> Синтез и свойства оснований манниха, полученных на основе 4(метилциклоалкил)-2-хлорфенолов	6
<i>Коковкин В.В.</i> Модифицированные пастовые электроды в изучении редокс- и каталитических свойств комплексных соединений.....	7
<i>Темиркулова К.М., Муслатдинова А., Алдонгар У., Супиева Ж.А.</i> Разработка и исследование электрохимических характеристик суперконденсаторов с водным электролитом на основе LiTFSI и NaNO ₃	9
<i>Лавренова Л.Г.</i> Тенденции развития химии комплексов железа(II), проявляющих спин-кроссовер.....	10
<i>Дякин П.В.</i> ВКВС на основе боксита и керамобетона в системе Al ₂ O ₃ -SiO ₂ -SiC-C.....	11
<i>Мамылов С.Г., Ломовский И.О., Ломовский О.И.</i> Механохимическая обработка тиосульфата свинца. Оценка режимов.....	13
<i>Batavskaya S.A., Loginov A.V., Novgorodtseva O.N., Aparnev A.I.</i> Hydrothermal synthesis of copper hydroxostannate and study of electrochemical properties of composites based on it.....	14
<i>Петрова Ю.Ю., Булатова Е.В., Мухутдинов Д.Р.</i> Магнитные молекулярно-импринтированные смолы для сорбционного концентрирования кумарина.....	15
<i>Юхин Ю.М., Кузнецов В.А., Коледова Е.С., Шеина О.Д.</i> Гидрометаллургическое получение металлического висмута высокой чистоты	17
<i>Heydarli G.Z., Bagirzade R.Z., Hamzayeva G.N., Rasulov Ch.K.</i> Synthesis of 2-hydroxy ketimines.....	18
<i>Gladysheva D.I., Loginov A.V., Novgorodtseva O.N., Aparnev A.I.</i> Study of electrochemical properties of Ce ₂ Sn ₂ O ₇ /«C» composites.....	20
<i>Кенжеев Б.Ж., Болатбек Ф.Н., Аубакиров Е.А., Ташимухамбетова Ж.Х.</i> Переработка нефтешламов и других органических отходов со-пиролизом	21
<i>Шатинова М.И., Шейдаева Ш.К., Караева А.Р., Нагиева Ш.Ф., Мамедова Г.М., Гаджиева Л.Й.</i> Трансформация метил 2-(6-алкил-4-метил-3-оксо-1H-пирроло[3,4-C] пиридин-2(3H)-ил)ацетатов	23
<i>Filatova N.V., Badanov M.A., Kosenko N.F.</i> Changes of mullite precursor synthesized by combustion under heat treatment	24
<i>Мотаев К.А., Молокеев М.С., Сибая М., Ельшеев А.В., Загоруйко А.Н.</i> Применение методов машинного обучения при создании и оптимизации катализаторов	26
<i>Воронов Е.М., Турло Е.М.</i> Определение алюминия в травильных растворах с использованием титриметрического метода	27
<i>Алексеев Д.В.</i> Окислительная и восстановительная обработка поверхности детонационных наноалмазов	28
<i>Пономарева В.Г., Мордвинова Т.Д., Багрянцева И.Н., Кунгурцев Ю.Е., Шутова Е.С., Пономарев И.И., Белоусов И.С., Добровольский Ю.А.</i> Фазовый состав, структурные и транспортные свойства протон-проводящих мембран на основе АВРВІ.....	30
<i>Муллахужаева М.М., Островский Ю.В., Турло Е.М.</i> Изучение возможности извлечения лития из артезианских вод Узбекистана сорбционным методом.....	31
<i>Ридель Н.С., Ковалева С.А., Восмериков С.В., Девяткина Е.Т., Веремей И.С., Разумов Н.Г., Григорьева Т.Ф.</i> Особенности механохимического <i>in situ</i> формирования структуры композитов в смесях Cu-Ti-C и Ni-Ti-C.....	33

<i>Матрошилов Я.В., Турло Е.М.</i> Электрохимический синтез и изучение свойств дисперсных систем Fe-Co и Fe-Co-Ni	34
<i>Лозбень А.Д., Баннов А.Г.</i> Газовые сенсоры на основе композитных углеродных наноматериалов для детектирования NO ₂	35
<i>Непочатов Ю.К., Плетнев П.М., Енов П.Ю., Богаев А.А., Крутский Ю.Л., Жуковская С.А.</i> Перспективные керамические материалы для получения микрополосковых антенн беспилотных летательных аппаратов.....	37
<i>Киселёва Д.С., Турло Е.М.</i> Электрохимический способ получения оксида алюминия	38
<i>Непочатов Ю.К., Гудыма Т.С., Егоров В. М., Крутский Ю.Л.</i> Формирование алундового слоя на поверхности алюмонитридной керамики методом нанесения суспензии.....	39
<i>Макарова С.В., Бородулина И.А., Еремина Н.В., Булина Н.В.</i> Серебро-замещенный гидроксиапатит – материал для медицины	40
<i>Назаренко Т.В., Капишиников А.В., Шуваракова Е.И., Бедило А.Ф.</i> Влияние условий синтеза на свойства высокодисперсных алюминатов кальция.....	42
<i>Алдабергенов М.К. , Бубиш Ш., Абдулазиз А.</i> Гуматофосфаты для озеленения пустынь	44
<i>Воронцова П.А., Брестер А.Е., Жуков В.И.</i> Наноструктурирование поверхности медной сетки методом химической обработки для интенсификации теплообмена при кипении.....	45
<i>Есеналиева М.З., Каирбеков Ж.К., Суймбаева С.М., Джелдыбаева И.М.</i> Исследование физико-химических свойств и каталитической активности никелевых катализаторов в процессе гидрирования диеновых и ацетиленовых соединений	47
<i>Еремина Н.В., Бородулина И.А., Макарова С.В., Просанов И.Ю., Булина Н.В.</i> Механохимический синтез Vi-замещенного гидроксиапатита.....	48
<i>Минжуй Ван, Родикова Ю.А.</i> Синтез V-содержащих гетерополисоединений со структурой кеггина: от эфирного метода к экологичной пероксидной активации	50
<i>Аликеева А.Е., Берикболкызы К., Кудайбергенов Н.Ж.</i> Сонокаталитическая очистка сточных вод от фармацевтических загрязнителей с использованием кобальт-железного слоистого двойного гидроксида	52
<i>Капишиников А.В., Шуваракова Е.И., Бедило А.Ф., Володин А.М.</i> Закономерности формирования дисперсных C12A7 фаз и их каталитическая активность в реакции разложения аммиака.....	53
<i>Алайдар А.М., Смолочкин А.В., Аппазов Н.О., Газизов А.С., Бурилов А.Р., Пудовик М.А.</i> Синтез новых производных тетрагидропиримидин-2(1H)-она на основе реакции 1-(3,3-диэтоксипропил)мочевин с C-нуклеофилами.....	56
<i>Федоров Н.А., Подгорнова О.А., Уваров Н.Ф.</i> Применение полиуретанового эластомера, модифицированного LiBF ₄ в качестве твердого электролита для суперконденсаторов.....	57
<i>Бакыт Р., Оспанова А.К.</i> Условия получения дешевых антибактериальных композиций на основе казахстанского каолина для отечественных перевязочных средств.....	59
<i>Доленко В.В., Брестер А.Е., Жуков В.И.</i> Наноструктурирование поверхности стальной сетки методом электрохимического осаждения для интенсификации теплообмена при кипении.....	60
<i>Гладышев И.И., Зима Т.М.</i> Обработка одномерных структур триоксида молибдена гидротермальным методом как новый способ модификации их поверхности	62

<i>Makhpirova R.N., Ospanova A.A., Adamova S.R.</i> Development of pharmaceutical composition with antibacterial properties based on the synergistic activity of chitosan and calcium chloride in the presence of kaolin.....	64
<i>Шахтинеидер Т.П., Михайленко М.А., Мызь С.А., Антонов И.М., Кузнецова С.А.</i> Радиационно-химический способ получения сополимера полимолочной кислоты с арабиногалактаном	65
<i>Бондарчик И.И., Шуваракова Е.И., Ильина Е.В., Бедило А.Ф.</i> Влияние нанесения углеродного покрытия на свойства высокодисперсного майенита.....	66
<i>Коробкин А.В., Петрова Ю.Ю., Севастьянова Е.В., Рамазанова З.И., Зайниддинов Б.И.</i> Синтез Mg, Al-слоистых двойных гидроксидов соосаждением и гидротермальным методом	67
<i>Laptnov A.A., Aparnev A.I., Loginov A.V., Uvarov N.F.</i> Composite solid electrolytes $\text{LiClO}_4 - \text{Zn}_{0.7}\text{Cu}_{0.3}\text{SnO}_3$	69
<i>Теллер Е.В., Петрова Ю.Ю.</i> Сорбционные свойства углеродных материалов, полученных плазменной обработкой битумов (тяжелых нефтяных остатков).....	71
<i>Dementev S.A., Podarov R.A., Sannikova N.E., Zaitsev K.V., Polienko Y.F., Kirilyuk I.A., Krumkacheva O.A.</i> Functional properties of spin trapping agents for enhanced detection of singlet oxygen in photodynamic therapy applications	73
<i>Podarov R.A., Kolokolov M.I., Dementev S.A., Zaitsev K.V., Tretyakov E.V., Fedin M.V., Krumkacheva O.A.</i> Enhanced triplet exciton generation in fullerene-based systems via singlet fission for advanced applications.....	74
<i>Джаткамбаева У.Н., Шакиева Т.В., Сасыкова Л.Р.</i> Синтез и исследование сорбента на основе магнетита, стабилизированного поливиниловым спиртом для очистки сточных вод от фенолов	75
<i>Сулейменова Г.А., Усипбекова Е.Ж.</i> Исследование гелевых полимерных электролитов на основе поливинилиденфторида и каолина.....	78
<i>Бакытжан З.Б., Кудайбергенов Н.Ж.</i> Получение этилового эфира циклогексанкарбоновой кислоты карбонилированием циклогексана в присутствии комплексов палладия.....	80
<i>Нуралимов С.Р., Кудайбергенов Н.Ж.</i> Карбоксилирование диметилфенолов с щелочными солями алкилкугольных кислот	81
<i>Селезнева Д.А., Воробьева Е.Е., Пархомчук Е.В.</i> Исследование влияния свойств предшественников оксида алюминия на формирование иерархической структуры пор	82
<i>Белов Н.А., Головахин В., Баннов А.Г.</i> Одностадийная модификация поверхности многостенных углеродных нанотрубок с использованием смеси серной и азотной кислот.....	83
<i>Степанова К.В., Яковлева Н.М., Шульга А.М., Кокатев А.Н.</i> Получение анодно-оксидных микронаноструктур анатаза	85
<i>Orazova Z.B., Rakhmatullayeva D.T., Ospanova A.K.</i> Method for obtaining biocompatible antibacterial coatings on the surface of surgical sutures containing a plant-based antibacterial antiseptic sangviritrine	86
<i>Zaitsev K.V., Tolstikov S.E., Bogomyakov A.S., Podarov R.A., Dementev S.A., Veber S.L., Melnikov A.R., Fedin M.V.</i> Thermally- and photo- induced spin state switching in a series of molecular magnets $\text{Cu}(\text{hfac})_2\text{L}^{\text{R}}$	87
<i>Душкин Я.Е., Головахин В., Баннов А.Г.</i> Влияние температуры модификации поверхности на удельную емкость углеродных наноматериалов	89
<i>Кызласова Д.А., Улихин А.С.</i> Сравнительный анализ физико-химических свойств электролитов на основе перхлората N-метил-N-пропилпиперидиния, допированного катионами лития и магния	90

<i>Ильясова О.С., Жумабек М., Кауменова Г.Н., Kostyniuk A., Tolembek A.</i> Гидрирование диоксида углерода на композитных материалах для получения компонентов синтетических топлив и химических веществ	92
<i>Измоденова А.В.</i> Бинарная система N22rip-LiBF ₄ допированная Al ₂ O ₃ как композитный литиевый электролит	93
<i>Накыпова С.М., Смолобочкин А.В., Ризбаева Т.С., Акылбеков Н.И., Газизов А.С., Бурилов А.Р., Пудовик М.А.</i> Синтез новых производных таурина на основе реакции 2-арил-1-(винилсульфонил)пирролидинов с различными аминами	94
<i>Прусов Г.С., Воробьева Е.Е., Пархомчук Е.В.</i> Каталитическая активность композитного катализатора на основе цеолита ZSM-48 в процессе гидропереработки продукта пиролиза пластиковых отходов	96
<i>Рубилкин П.А., Улихин А.С., Уваров Н. Ф.</i> Электролит с проводимостью по катионам Al ³⁺ на основе мочевины	97
<i>Мамонова В.Е., Арапова М.В., Брагина О.А., Немудрый А.П.</i> Исследование структуры и свойств допированных алюминием ферритов лантана-стронция	99
<i>Подгорнова О.А., Федоров Н.А., Уваров Н.Ф.</i> Твердые полимерные электролиты на основе полиуретана для полностью твердотельных суперконденсаторов	100
<i>Антонов И.М., Михайленко М.А., Шахтинейдер Т.П., Улихин А.С., Брызгин А.А., Ельцов И.В., Смирнов Е.Б.</i> Исследование влияния пространственного строения молекул метакрилатов и их взаимодействия на реакционную способность мономеров	102
<i>Касен А.М., Усипбекова Е.Ж.</i> Исследование свойств мембран-сепараторов на основе полиэтиленоксида для применения в батарее	103
<i>Антропова К.А.</i> Оценка характеристик порошков LaAlO ₃ , полученных золь-гель методом	104
<i>Корастелева В.В., Александрова Т.П., Овчинникова С.Н.</i> Исследование поведения роданид-ионов на золотом поликристаллическом электроде	105
<i>Шакирзянова Г.С., Холбеков О.Х., Бойко С.В., Тогаев У.Р., Немкевич М.Г., Низамов Д.Б.</i> Каталитический синтез предшественников феромонов клопов щитников	107
<i>Помазанов А.А.</i> Исследование процесса образования частиц крахмала, полученных с помощью ферментативного гидролиза и перекристаллизации	109
<i>Новиков М.А., Попов К.М., Сысоев В.И., Окотруб А.В.</i> Влияние параметров CVD-синтеза на сенсорные свойства пленок графена	110
<i>Rasulov Ch.K., Naghiyeva M.V., Gurbanova U.R., Hajiyeva G.F.</i> Development of a novel environmentally benign green catalyst for the synthesis of sterically hindered cycloalkylphenols	111
<i>Кидирбоев Б. Т., Сайлау А. Г.</i> Получение покрытия с антибактериальными и длительными свойствами	112
<i>Калбаев С.Е., Нематова С.Т.</i> Синтез и изучение электропроводности <i>in situ</i> композита АЦ/ППир	113
<i>Стебницкий И.А., Матейшина Ю.Г., Уваров Н.Ф.</i> Транспортные и термические свойства органических ионных пластических кристаллов на основе морфолина	114
<i>Литвиненко К.А.</i> Кинетика аминокислотного растворения халькозина в присутствии хлорида железа (III)	115
<i>Касьянов А.В., Бабина К.А., Аньков С.В., Пархомчук Е.В.</i> Получение местного кровоостанавливающего средства с применением бестемплатного цеолита ZSM-5	117
<i>Есназарова Г.Л., Жакирова Н.К.</i> Полимерные ванадомolibдаты	118
<i>Чемичев Д.Г., Швецов Д.А., Жуков В.И.</i> Сравнение методов модификации поверхности для интенсификации теплообмена при кипении диэлектрической жидкости	119

<i>Бондарева А.Ф.</i> Зависимость морфологии кристалла от параметров роста в низкоградиентом методе Чохральского.....	121
<i>Ваняркина В.О., Уваров Н.Ф.</i> О возможности получения фазы максена Cr_2C с помощью метода селективного выщелачивания	122
<i>Алиев А.А.</i> Кинетическая закономерность аминокислотного растворения борнита в растворах хлорида железа (III)	124
<i>Мордвинова Т.Д., Пономарева В.Г., Шутова Е.С.</i> Исследование структурных и транспортных свойств новых протон-проводящих мембран на основе пентагидродифосфата цезия и наноалмаза.....	125
<i>Швабауэр А.И., Жуков В.И.</i> Термографическое исследование фазового перехода первого рода в метокси-нонафторбутане (HFE 7100)	126
<i>Баяндина М.М., Кустов А.В.</i> Математическое моделирование теплообменных свойств встроенного дефлегматора.....	128
<i>Александрова Т.А., Тимакова Е.В.</i> Условия получения тартратов висмута различного состава.....	130
<i>Оразбекова Р.С.</i> Каталитическая переработка возобновляемого сырья в водородо-содержащие топливные смеси.....	131
<i>Барсуков А.Н.</i> Моделирование пористой структуры алюмооксидного катализатора.....	133
<i>Мызь С.А., Политов А.А., Аксёнов В.В., Телин А.Г.</i> Новые механохимические технологии получения Soft matter-материалов на основе полисахаридов для использования в нефтедобыче, ветеринарии и сельском хозяйстве	134
<i>Гурин С.А., Швецов Д.А., Жуков В.И.</i> Теплообмен при кризисных режимах кипения в слоях HFE-7100 на сетках, обработанных методом электрохимического осаждения.....	135
<i>Лесбек Б., Тасемен Е., Максотва К., Акбаева Д.</i> Получение катализатора на основе медных наночастиц для процесса окисления пропанола	137
<i>Даниленко М.А., Курмашов П.Б., Баннов А.Г.</i> Исследование катализаторов $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$, полученных методом «горения растворов»	137
<i>Молжигиткызы А., Ануар А., Ажигулова Р.Н.</i> Исследование адсорбции аспарагиновой кислоты на поверхности сульфидных минералов методом квантовой химии.....	139
<i>Наставишев А.Е., Буров В.Г., Назаров Я., Турло Е.М., Буцуева Е.Г.</i> Структура и свойства покрытий на основе Nb-Mo полученных методом наплавки.....	142
<i>Конурин Р.Д.</i> Синтез цеолита ZSM-22B статических условиях: влияние параметров кристаллизации на фазовый состав продукта	144
<i>Бакирова Б.С., Дарежат Ж., Сергазы М.Г.</i> Разработка оптимальных условий для растворения загущающих присадок.....	146
<i>Shoganbek D.Y., Biyekeyev B., Bissenov B., Baizhumanova T.S., Tungatarova S.A.</i> Dry reforming of methane on Ni-Mg and Co composite materials prepared by synthesis combustion solution method.....	147
<i>Кулубеков Ш.Р.</i> Кинетические закономерности выщелачивания халькопирита с использованием хлорида железа (III) в присутствии аминокислот	148
<i>Жексенбаева Д.М., Абдрасилова А.К., Абдильдина К.М.</i> Перспективы использования мезопористых алюмосиликатов	149
<i>Тимакова Т.Е., Тимакова Е.В.</i> Синтез функциональных оксидных материалов с использованием основных нитратов висмута	150
<i>Хабиров Р.Р., Миллер А.А., Агафонов М.Ю., Масс А.В., Кузьмин Р.И.</i> Влияние свойств оксида марганца, полученного химическим осаждением, на формирование Mn-Zn ферритов.....	152
<i>Pripisnov O.N., Shelechov E.V., Rupasov S.I.</i> Phase formation in a Cr-Si mixture during mechanical activation and annealing	155

<i>Алексеев Д.В., Матейшина Ю.Г.</i> Влияние детонационных наноалмазов на физико-химические характеристики композитов типа «ионная соль - инертная добавка»	156
<i>Щеглов В.Д., Чернуха Н.С., Подгорнова О.А., Уваров Н.Ф.</i> Выбор оптимальных режимов работы электрохимической ячейки для ёмкостной деионизации воды	157
<i>Игнатюк Ю.Д., Коряковцева А.А., Гаврилов А.И., Уваров Н.Ф.</i> Синтез фазы максенита Ti_2C из МАХ-фазы Ti_2AlC методом селективного выщелачивания	159
<i>Ostovari Moghaddam A., Mehrabi-Kalajahi S.</i> $(CoFeMnCuNiCr)_3O_4$ nanoparticles anchored on reduced graphene oxide as multifunctional catalyst	160

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Материалы XI Международной Российско-Казахстанской
научно-практической конференции**

г. Новосибирск, 15-17 мая 2025 г.

Ответственный редактор *А.И. Апарнев*

Выпускающий редактор *И.П. Брованова*
Дизайн обложки *А.В. Ладыжская*

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
Издание соответствует коду 95 3000 ОК 005-93 (ОКП)

Подписано в печать 15.05.2025. Формат 70 × 100 1/16. Бумага офсетная. Тираж 20 экз.
Уч.-изд. л. 13,54. Печ. л. 10,5. Изд. № 80. Заказ № 136. Цена договорная

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20