

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

**ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ
НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ,
ГИБРИДНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
И ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ «ЗОЛЬ-ГЕЛЬ 2025»**

VIII Международная Евро-Азиатская конференция
(Гомель, 22–26 сентября 2025 года)

Сборник тезисов докладов

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2025

Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем «Золь-гель 2025» : сборник тезисов докладов VIII Международной Евро-Азиатской конференции (Гомель, 22–26 сентября 2025 года) / редкол. : С. А. Хахомов (гл. ред.) [и др.] ; М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2025. – 160 с.

ISBN 978-985-32-0103-1

Настоящий сборник тезисов докладов составлен на основе материалов, поступивших в оргкомитет VIII Международной Евро-Азиатской конференции «Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем «Золь-гель 2025», в рамках которой были организованы Школа молодых ученых и Конкурс докладов молодых ученых. Сборник содержит сведения о разработке золь-гель методов получения и о результатах исследований неорганических и гибридных органо-неорганических материалов в виде пленок, покрытий, мембран, ксерогелей, стекол, керамических изделий, в том числе нано- и микроструктурированных материалов. Отдельные секции посвящены нанотехнологиям и методам исследования структуры и свойств материалов, полученных с использованием золь-гель синтеза.

Сборник может быть полезен для ученых, инженеров, технологов, преподавателей и молодых ученых, деятельность которых связана с различными разновидностями золь-гель технологии.

Текст публикуется в авторской редакции, организаторы не несут ответственности за неточности и упущения в названиях и адресах, представленных в данном сборнике.

Редакционная коллегия:

С. А. Хахомов (главный редактор);
Д. Л. Коваленко (заместитель главного редактора);
Е. В. Гайшун, А. В. Семченко, В. В. Сидский

ISBN 978-985-32-0103-1

© Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины», 2025



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Образование во имя будущего страны



ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
ФРАНЦИСКА СКОРИНЫ



СПОНСОРСКАЯ ПОДДЕРЖКА



Русский дом
в Гомеле



<https://belarus-gomel.rs.gov.ru>



<https://inorgchemras.ru>



<https://colljour.phyche.ac.ru>



<https://glassphyschemras.ru>

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

д-р физ.-мат. наук **С. А. Хахомов**
ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель

ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА

академик РАН **Л. Б. Бойнович**,
ИФХЭ РАН, Москва

академик РАН **В. М. Бузник**,
НИЦ КИ - ВИАМ, Москва

академик РАН **Н. Т. Кузнецов**,
ИОНХ РАН, Москва

чл.-кор. НАН РБ **А. И. Иванец**,
ИОНХ НАН Беларуси, Минск

чл.-кор. РАН **В. К. Иванов**,
ИОНХ РАН, Москва

чл.-кор. РАН **Ю. А. Щипунов**,
ИХ ДВО РАН, Владивосток

д-р хим. наук **А. В. Агафонов**,
ИХР РАН, Иваново

д-р хим. наук **О. В. Альмяшева**,
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург

д-р техн. наук **А. А. Бойко**
ГГТУ им. П. О. Сухого, Гомель

д-р хим. наук **З. Р. Кадырова**,
ИОНХ АН РУз, Ташкент

профессор **В. Стренк**,
ИНТ и СИ ПАН, Вроцлав

д-р хим. наук **В. П. Толстой**,
СПбГУ, Санкт-Петербург

д-р хим. наук **Т. Г. Хонина**,
ИОС УрО РАН, Екатеринбург

д-р хим. наук **О. А. Шилова**,
НИЦ КИ-ПИЯФ-ИХС,
Санкт-Петербург

канд. физ.-мат. наук **В. Е. Гайшун**,
ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель

д-р техн. наук **Е. Ф. Кудина**,
БелГУТ, Гомель

д-р физ.-мат. наук **И. А. Лебедев**,
ФТИ (SatbayevUniversity), Алматы

д-р хим. наук **В. М. Михальчук**,
ДонНУ, Донецк

д-р техн. наук **А. Н. Мурашкевич**,
БГТУ, Минск

д-р хим. наук **Е. Н. Подденежный**,
ГГТУ им. П. О. Сухого, Гомель

д-р хим. наук **О. Н. Понаморева**,
ТулГУ, Тула

д-р хим. наук **О. Н. Рузимурадов**,
ТТПУ, Ташкент

д-р хим. наук **Т. А. Савицкая**,
БГУ, Минск

д-р хим. наук **Е. П. Симоненко**,
ИОНХ РАН, Москва

канд. физ.-мат. наук **Е. А. Дмитриева**,
ФТИ (SatbayevUniversity), Алматы

д-р техн. наук **Л. В. Судник**,
ИПМ им. О. В. Романа, Минск

канд. хим. наук **А. В. Здравков**,
НИЦ КИ-ПИЯФ-ИХС, Санкт-Петербург

канд. физ.-мат. наук **Д. Л. Коваленко**,
ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель

канд. хим. наук **С. А. Кузнецова**,
ТГУ, Томск

канд. физ.-мат. наук **А. В. Семченко**,
ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель

ЛОКАЛЬНЫЙ КОМИТЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

канд. техн. наук **В. В. Сидский**

ЧЛЕНЫ КОМИТЕТА

канд. техн. наук **Я. А. Косенок**

В. В. Васькевич

К. Д. Данильченко

А. А. Маевский

<https://sol-gel.gsu.by>

СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

- **Плёнки, покрытия и мембраны, полученные с применением золь-гель технологии**

председатель д-р хим. наук О. А. Шилова (Филиал НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ - ИХС, Санкт-Петербург)

- **Гибридные органо-неорганические золь-гель материалы**

сопредседатели: д-р техн. наук А. А. Бойко (ГГТУ им. П. О. Сухого),
д-р техн. наук Л. В. Судник (ИПМ им. О. В. Романа, Минск)

- **Нано- и микроструктурированные материалы, нанотехнологии**

сопредседатели: чл.-кор. РАН Ю. А. Щипунов (ИХ СО РАН, Владивосток),
д-р хим. наук, проф. Х. Х. Тураев (Термезский государственный университет)

- **Теоретические аспекты золь-гель процесса**

председатель д-р хим. наук А. В. Агафонов (ИХР РАН, Иваново)

- **Ксерогели, стекла и объёмные керамические материалы, синтезированные золь-гель методом**

председатель д-р хим. наук Е. П. Симоненко (ИОНХРАН, Москва)

- **Методы исследования структуры и свойств материалов, полученных с использованием золь-гель синтеза**

сопредседатели: д-р хим. наук П. В. Кривошапкин (ИТМО, Санкт-Петербург),
д-р хим. наук, проф. М. Г. Мухамедов (Национальный университет Узбекистана)

В РАМКАХ КОНФЕРЕНЦИИ ПРОВОДЯТСЯ:

Школа молодых ученых, лекции и мастер-классы проведут ведущие специалисты в области золь-гель технологии.

Конкурс стендовых докладов молодых ученых среди студентов, аспирантов и молодых специалистов до 35 лет в области золь-гель синтеза неорганических и гибридных материалов и дисперсных систем.

**ЛЕКЦИИ
И ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ**

ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СИНТЕЗ В ПОРИСТЫХ МАТРИЦАХ – ОТ УСИЛЕНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ДО ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ ДЛЯ ЭФФЕКТОВ ШОУ

Н. В. Гапоненко^{1,2}

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Республика Беларусь, gaпоненko@bsuir.by;

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Российская Федерация

В 1995 г., используя нанесение золь центрифугированием на подложку кремния, содержащего слой пористого кремния, нами была продемонстрирована возможность формирования золь-гель методом легированных эрбием пленочных структур на кремнии с интенсивной люминесценцией эрбия при комнатной температуре на длине волны 1.54 мкм [1]. Было показано, что эрбий проникает на всю глубину слоя пористого кремния, равную 5 мкм. Далее были исследованы закономерности золь-гель синтеза легированных лантаноидами композитов в оптически анизотропных пористых матрицах – пленках пористого анодного оксида алюминия и в синтетических опаловых матрицах, и результаты обобщены в работах [2, 3]. Получена интенсивная видимая фото-, катодо- и радиолюминесценция лантаноидов в пленочных структурах на основе ксерогелей, синтезированных в пористом анодном оксиде алюминия толщиной от 1 до 30 мкм. Продemonстрировано формирование фотонной запрещенной зоны в синтетических опалах, содержащих в порах легированный лантаноидами ксерогель, с возможностью совмещения полосы непрозрачности (фотонной запрещенной зоны) с областью спонтанного испускания трехвалентных лантаноидов. Приведены результаты ап-конверсионной люминесценции эрбия в золь-гель пленках, наблюдаемой невооруженным глазом для длины волны возбуждения 980 нм [4]. В заключении нами предложено использовать золь-гель синтез в опаловых матрицах для формирования уникальных цветных изображений с эффектами иризации и люминесценции одновременно, впечатляющих своей оригинальностью и зрелищностью, что, по нашему убеждению, свидетельствует о больших перспективах золь-гель технологии в сочетании с фотонными кристаллами для шоу-бизнеса (рисунок 1) [5].

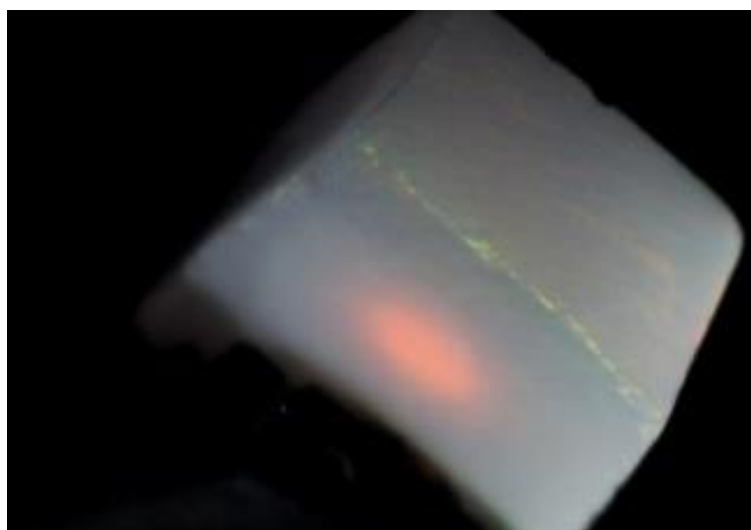


Рисунок 1 – Изображение опаловой матрицы с эффектами иризации и люминесценции

Работа выполнена при поддержке заданий 1.9 ГПНИ «Фотоника и электроника для инноваций» и 1.4 ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия».

Список литературы

1. Dorofeev A. M., Gaponenko N. V., Bondarenko V. P., Bachilo E. E., Kazuchits N. M., Leshok A. A., Troyanova G. N., Vorozov N. N., Borisenko V. E., Gnaser H., Bock W., Becker P., Oechsner H. Erbium luminescence in porous silicon doped from spin-on films // J. Appl. Phys. 1995. Vol. 77, N 6. P. 2679-2683. DOI 10.1063/1.358735.
2. Gaponenko N. V. Sol-gel derived films in mesoporous matrices: porous silicon, anodic alumina and artificial opals // Synthetic Metals. 2001. Vol. 124, N 1. P. 125-130. DOI 10.1016/S0379-6779(01)00447-7.
3. Гапоненко, Н.В. Пленки, сформированные золь-гель методом на полупроводниках и в мезопористых матрицах // Минск: Беларуская навука, 2003. – 136 с.
4. Gaponenko N. V., Staskov N. I., Sudnik L. V., Vityaz P. A., Luchanok A. R., Karnilava Yu. D., Lashkovskaya E. I., Stepikhova M. V., Yablonskiy A. N., Zhivulko V. D., Mudryi A. V., Martynov I. L., Chistyakov A. A., Kargin N. I., Labunov V. A., Radyush Yu. V., Chubenko E. B., Timoshenko V. Yu. Upconversion luminescence from sol-gel-derived Erbium- and Ytterbium-doped BaTiO₃ film structures and the target form // Photonics. 2023. Vol. 10, № 4. P. 359 (12 pages). DOI 10.3390/photonics10040359.
5. Гапоненко Н. В., Лабунов В. А., Лашковская Е. И., Зайцев В. А., Клещева С. М., Каргин Н. И. Устройство для формирования цветного изображения на плоскости. Патент РФ № 2 837 366 от 08.05.2024.

МОДИФИКАЦИЯ НАНОСТРУКТУРНЫХ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ С ГЕТЕРОПЕРЕХОДОМ ДЛЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ CO₂ В ОРГАНИЧЕСКИХ ПРОДУКТАХ

О. Н. Рузимурадов¹, Ш. И. Маматкулов¹, J. Low²

¹Туринский политехнический университет в г. Ташкенте,
Республика Узбекистан, o.ruzimuradov@polito.uz;

²Tiangong University, The People's Republic of China, jxlow@tiangong.edu.cn

Исследование по созданию высокоэффективных гетеропереходных фотокатализаторов для конверсии углекислого газа в органические продукты реакции представляет собой стратегически важный шаг в рамках борьбы с глобальным изменением климата и решения энергетических проблем. В свете нарастающей проблемы изменения климата и угрозы, которую представляет увеличение концентрации CO₂ в атмосфере, эта исследовательская работа приобретает особенную актуальность и значимость.

В последние десятилетия значительное внимание уделяется исследованиям фотокатализаторов, особенно таких, как TiO₂, CdS, γ-C₃N₄ и Cu₂O, в контексте их применения для фотокаталитической конверсии CO₂. Эти полупроводниковые материалы представляют собой перспективные инструменты для борьбы с проблемой накопления парниковых газов в атмосфере, а также могут служить ключевым компонентом в создании эффективных систем возобновляемой энергии. Особое внимание уделяется модификации контактного интерфейса между гетероструктурами, включая 0D-2D и 2D-2D переходы, с целью оптимизации взаимодействия между полупроводниками. Этот подход направлен на фотогенерированное разделение носителей заряда в гетеропереходных фотокатализаторах, что в свою очередь способствует максимизации эффективности процесса фотокаталитической конверсии CO₂.

В докладе будут обобщены стратегии оптимизации и принципы создания эффективных гетеропереходных фотокатализаторов. Дополнительно, использование искусственных дефектов, подготовка функциональных молекул, загрузка сокатализаторов и другие стратегии модуляции

активных центров рассмотрены в контексте возможности создания фотокатализаторов с гетеропереходом, обладающих высокой стабильностью и эффективностью в процессе фотокаталитической конверсии CO_2 .

Нами разработан наноккомпозит Bi/BMOV с настраиваемым межфазным переносом заряда, объединяя ультратонкий 2D материал висмута и ВМО, модифицированный кислородными вакансиями (OV), через электростатическое притяжение. В результате оптимизации эффективности фотокаталитического восстановления CO_2 в Bi/BMOV (выходы CO и CH_4 составляют 169.93 и 4.65 $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ соответственно) примерно в 10 раз превышают эффективность чистого ВМО (выходы CO и CH_4 составляют 16.06 и 0.51 $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ соответственно) [1]. Предложен простой и эффективный метод модуляции и усиления внутреннего электрического поля внутри гетероперехода S-схемы с помощью допирования. Для этой цели применен двухстадийный процесс синтеза гетероперехода S-схемы CNS/ In_2S_3 , включающий рост наноллистов CNS на полых нанотрубках In_2S_3 .

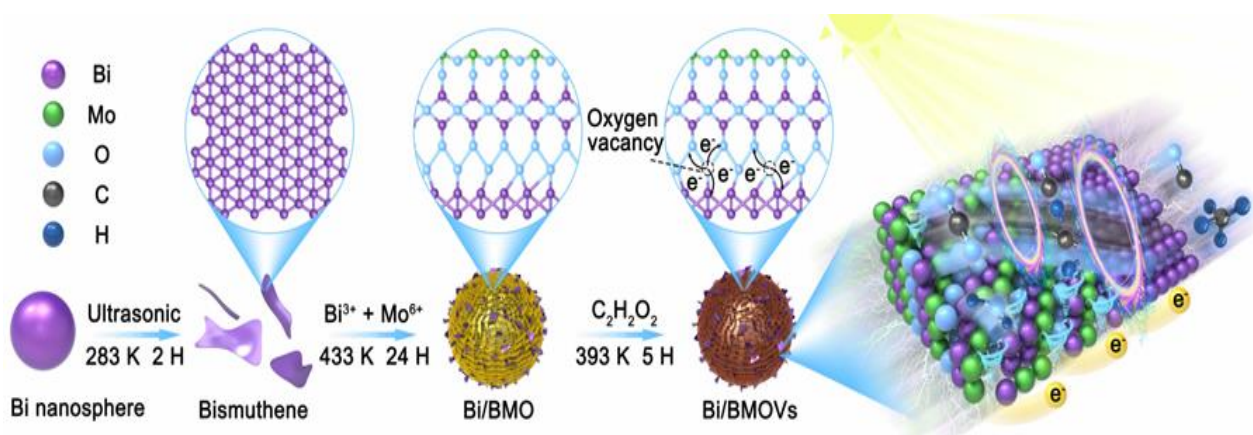


Рисунок 1 – Схематическое изображение процесса синтеза Bi/BMOV

При облучении видимым светом гетеропереходная S-схема CNS/ In_2S_3 демонстрирует превосходные возможности фотокаталитической конверсии CO_2 (со скоростью производства CO на 68 $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$) по сравнению с исходными аналогами CNS, In_2S_3 и CN/ In_2S_3 [2].

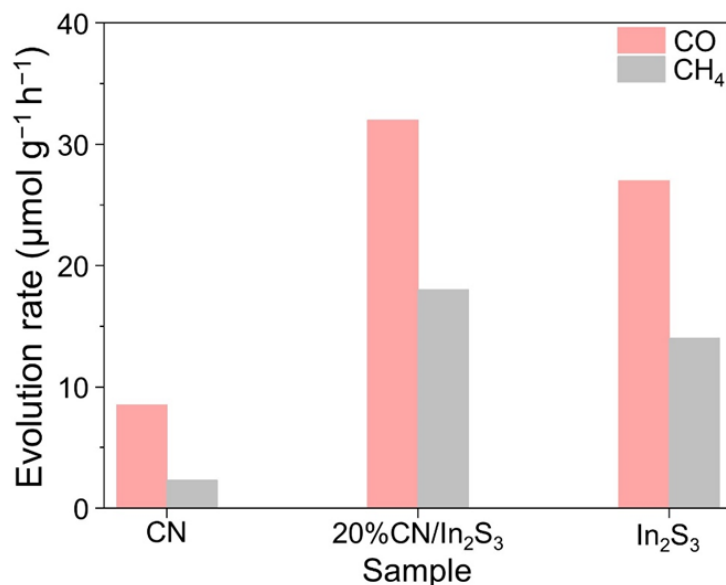


Рисунок 2 – Фотокаталитическая конверсия CO_2 на образцах CN, 20%CN/ In_2S_3 и In_2S_3

Эти результаты открывают перспективы для дальнейших исследований и разработок в области фотокатализа с гетеропереходом и его применения в решении актуальных экологических проблем.

Работа выполнена в рамках международного проекта Узбекистан-Китай (№ AL-5921333212).

Список литературы

1. Olim Ruzimuradov, Kai Dai, Jingxiang Low, etc. Tunable Interfacial Charge Transfer in a 2D–2D Composite for Efficient Visible-Light-Driven CO₂ Conversion. *Adv.Mater.* 2023, 35 (26), 2300643. <https://doi.org/10.1002/adma.202300643>.

2. Olim Ruzimuradov, Shavkat Mamatkulov, Kai Dai, Jingxiang Low, etc. Modulation of internal electric field in S-scheme heterojunction towards efficient photocatalytic CO₂ conversion. *Materials Today Physics*, 2024, 40, 101315. <https://doi.org/10.1016/j.mtphys.2023.101315>.

ОРГАНОСИЛИКАТНЫЕ ПОКРЫТИЯ: ИСТОРИЯ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

О. А. Шилова, Л. Н. Красильникова

*Филиал «Петербургского института ядерной физики им. Б. П. Константинова»
Национального исследовательского центра;
«Курчатовский институт» – Институт химии силикатов им. И. В. Гребенщикова,
Российская Федерация, olgashilova@bk.ru*

Органосиликатные композиции (ОСК) были разработаны в Институте химии силикатов им. И. В. Гребенщикова АН СССР в середине прошлого века. Пленкообразователями в них являются кремнийорганические лаки, наполнителями – гидросиликаты, а пигментами – тугоплавкие оксиды. Благодаря этому получаемые из них органосиликатные покрытия (ОСП) отличаются высокой термостойкостью, радиационной стойкостью, сохраняют защитно-декоративные свойства в различных климатических условиях – от Крайнего Севера до тропиков. ОСП успешно используются для защиты оборудования и сооружений в атомной промышленности, судостроении и в строительстве. В связи с тем, что расширяется география применения покрытий, ужесточаются требования, предъявляемые к их свойствам. Необходимо улучшать такие характеристики как светостойкость (цвет, блеск) в условиях тропиков, водостойкость в условиях Крайнего Севера, а также такие показатели, как физико-механические свойства, термостойкость, дезактивируемость – без усложнения технологического процесса.

Авторским коллективом Института химии силикатов им. И. В. Гребенщикова (в настоящее время: Филиал НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ) предпринимаются усилия по разработке новых ОСК, улучшающих технологичность процессов получения и нанесения ОСП, их дезактивируемость [1], цветостойкость и водостойкость [2]. Для этого совершенствуются процессы механохимической обработки исходных компонентов ОСК, идут поисковые работы по модификации ОСК органическими и неорганическими добавками, в т. ч. полимерными, нанодисперсными углеродными материалами (детонационный наноалмаз и алмазная шихта, графен), вводятся светостабилизаторы, расширяется ряд используемых отвердителей. Помимо традиционных связующих – кремнийорганических лаков на основе полисилоксанов разветвленной и линейной структуры, нами впервые использован полисилсесквиоксан лестничной структуры, применение которого позволило уплотнить структуру ОСП и повысить их стойкость к экстремальным воздействиям – контакту с водой, воздействию высокой температуры и давления [3].

В докладе, помимо обзора истории разработки ОСП будет проанализировано текущее состояние проблемы и перспективы развития этого направления в будущем.

Список литературы

1. Красильникова Л. Н., Смешко А. В., Кочина Т. В., Епимахов В. Н., Шилова О. А. Инновационные органосиликатные покрытия для атомной энергетики // Физика и химия стекла. 2024. Т. 50. № 6. С. 584-588. DOI: 10.31857/S0132665124060094.
2. Красильникова Л. Н., Хамидулин Я. А., Вощиков В. И., Васильева Е. Д., Кычкин А. К., Нгуен Ван Чи, Николаев А. М., Горшкова Ю. Е., Шилова О. А. Атмосферостойкие органосиликатные покрытия с улучшенными показателями водостойкости // Коллоидный журнал. 2024. Т. 86. № 5. С. 595-607. DOI: 10.31857/S0023291224050071
3. Патент RU № 2815887. Органосиликатная композиция на основе лестничного полимера / Шилова О. А., Хорошавина Ю. В., Соколов Г. С., Вощиков В. И., Глебова И. Б., Иванова А. Г., Полетаев К. А., Красильникова Л. Н./ заявка № 2023117743 от 03.07.2023. Опубликовано: 25.03.2024. – Бюл. № 9.

УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ПОРИСТАЯ СТРУКТУРА И АДсорбЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ «ПАВ + МОНТМОРИЛЛОНИТ» В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЛОТНОСТИ УПАКОВКИ ПАВ И ЗАРЯДОВОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ МОНТМОРИЛЛОНИТА

А. Б. Абдикамалова, Н. Н. Маматалиев, Ш. А. Куддашева

*Институт общей и неорганической химии, Республика Узбекистан,
aziza.abdik@gmail.com; mamataliyev@gmail.com; ecology.shaxnoz@mail.ru*

Актуальность изучения пористой структуры и адсорбционных свойств систем ПАВ+монтмориillonит обусловлена их широким применением в качестве эффективных флокулянтов, адсорбентов и структурообразователей в водной среде. Целью исследования является системное исследование взаимосвязи между степенью насыщения ПАВ, величиной поверхностного заряда глинистого минерала и формированием пористой структуры органо-монтмориillonитовых комплексов.

Модификация монтмориillonита четвертичными солями аммония при невысокой степени насыщения ($n \approx 0,25$) расширяет межслойное пространство с 1,26 до 1,9–2,3 нм, что приводит к росту удельной поверхности по БЭТ с ≈ 55 –60 до 65–70 м²/г и объема микропор на 15–25 % за счёт образования новых мелкопористых ($d < 2$ нм) и мезопористых (2–50 нм) участков.

При дальнейшем увеличении дозы ПАВ ($n > 1,0$), особенно при $n \approx 3,0$ –3,8, макромолекулы органических катионов заполняют и частично блокируют ранее образованные поры, из-за чего удельная поверхность падает до 20–25 м²/г, а объем микропор снижается до 0,02–0,03 см³/г, что ограничивает доступ адсорбата и уменьшает общую сорбционную способность органоглины.

Плотность упаковки ПАВ (степень насыщения n , отношение введенных ПАВ к катионообменной емкости – КОЕ) контролирует слоистую структуру: с ростом n межслойное расстояние увеличивается, одновременно снижаясь удельная поверхность глины. Двухцепочечный катион ДГДМАБ (дигексадецилдиметиламмоний бромид) обеспечивает более быстрый рост насыщения и образует сложные многослойные структуры по сравнению с одноцепочечным ГДТМАБ (гексадецилтриметиламмоний бромид). Структурные особенности ПАВ влияют и на заряд поверхности: конгломерация длинных C16-цепей ГДТМАБ приводит к появлению положительных зарядов на поверхности модифицированного геля, чего не наблюдается при модификации малыми катионами.

Сорбционная активность органо-КБ по удалению метиленового синего максимальна при насыщении ПАВ в пределах 0,8–1,0 КОЕ (примерно 80–100 % ОДТМАБ + 2 % КПАА): в этом случае удельная поверхность возрастает до 120–150 м²/г, объем пор до 0,25–0,30 см³/г, а максимальная адсорбция достигает 0,16–0,18 ммоль/г. При насыщении ниже 0,5 КОЕ поры раскрыты лишь частично ($S_{\text{вст}} < 80$ м²/г, $Q < 0,10$ ммоль/г), тогда как при превышении 1,2 КОЕ избыточные полимерные цепи блокируют межслои и поровые каналы, снижая Q до $\approx 0,12$ ммоль/г. Такой диапазон обеспечивает оптимальное сочетание высокого положительного заряда и сохранённой пористой структуры.

НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ГИБРИДЫ AgI-SiO₂-MeI_x КАК НОВЫЕ ОСАДКООБРАЗУЮЩИЕ РЕАГЕНТЫ В ГЕОИНЖЕНЕРИИ

А. С. Аверкина, И. В. Вальцифер, В. А. Вальцифер

*«Институт технической химии УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН,
Российская Федерация, anastasiya.av11@yandex.ru; igor12381@mail.ru; valtsiferv@mail.ru*

Формирование искусственных атмосферных осадков, являясь одним из направлений геоинженерии, дает возможность предотвращать ряд стихийных явлений, связанных с

климатом (градобитие, засуха, сильные ливни) и может способствовать борьбе с природными пожарами. Одной из проблемных областей этого направления является раздел, связанный с модернизацией и оптимизацией свойств применяемых реагентов. К числу таких реагентов относится иодид серебра, главным недостатком которого является низкая термоустойчивость, т. е. разрушение до металлического серебра или его оксида при ведении в атмосферу с помощью пиротехнической смеси или твердого смесового ракетного топлива. На сегодняшний день наиболее распространенный подход для предотвращения термодеструкции иодида серебра заключается в добавлении в состав заряда иодидов металлов, но в количестве не менее 30 масс. %. Такая добавка серьезно снижает энергетические характеристики заряда, что затрудняет применение такого подхода. Ранее авторы исследования добились повышения термоустойчивости иодида серебра благодаря его локализации на кремнеоксидной матрице (создание гибридного порошка AgI-SiO_2). Благодаря тому, что введение дополнительного иодида металла способствует предотвращению термодеструкции, создание гибридных порошковых материалов расширенного состава является перспективным направлением, поскольку это позволит значительно уменьшить содержание добавки с 30 масс. % до 5 масс. % и меньше, и сохранить кристаллы иодида серебра под воздействием высоких температур. Для дальнейшего исследования в качестве кремнеоксидной матрицы рассматриваются мезопористый мезофазный оксид кремния типа MCM48, MCM41, SBA15, SBA16. Соотношение $[\text{Ag}]/[\text{Me}]$ (где Me – катионы меди или цинка) в составе гибрида составляет 0,5, 1,0 или 1,5.

В ходе исследования обнаружено уменьшение величины удельной площади поверхности по мере увеличения соотношения $[\text{Ag}]/[\text{Me}]$, с сохранением величин размера и объема пор. Установлено, что формирование иодида металла в составе гибрида зависит от соотношения $[\text{Ag}]/[\text{Me}]$ и условий гидротермального синтеза. Показано, что в условия синтеза оказывают влияние на предельно допустимое значение $[\text{Ag}]/[\text{Me}]$, при котором наблюдается формирование гибрида расширенного состава $\text{AgI-SiO}_2\text{-MeI}_x$. Установлено, что синтезированные реагенты проявляют оптимальные показатели текучести и обладают влагопоглощением около 35–40 масс. % с сохранением сыпучего состояния. Показано, что взвесь порошка в воздухе после распыления сохраняется в течение 5–10 мин, а затем осаждается.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что:

1. Существует выраженная взаимосвязь между критическими свойствами неорганического композита и параметрами его синтеза (рисунок 1).
2. Морфология гибрида определяется внешним видом кремнеоксидной матрицы вне зависимости от типа SiO_2 и соотношения $[\text{Ag}]/[\text{Si}]$, $[\text{Ag}]/[\text{Me}]$ в его составе.
3. Отмечено, что введение дополнительного иодида металла больше сказывается на структурно-текстурных характеристиках композитных материалов на основе кремнеоксидной матрицы типов SBA15 и SBA16.
4. Введение дополнительных кристаллов иодидов металлов приводит к закономерному уменьшению показателей структурно-текстурных характеристик, поскольку при синтезе гибрида реализуется модель формирования композита по типу «гость-хозяин».
5. Отмечено, что иодид меди и иодид цинка сопоставимо уменьшают показатели удельной площади поверхности, при этом гибриды расширенного состава, полученные на основе иодида цинка – $\text{AgI-SiO}_2\text{-ZnI}_2$ – проявляют большую термоустойчивость при нагревании свыше 1000 °C в течение 10 мин, чем композиты на основе иодида меди.
6. Влияние условий гидротермального синтеза, в частности влияние показателя pH-среды, реализуется в моменте формирования и выдерживания золя, поскольку критические условия позволяют формировать гидратированные мультикомплексы между структурно-формирующим агентом и катионами металлов.



Рисунок 1 – Схематическое изображение взаимосвязи свойств гибрида и параметров синтеза

Таким образом, разработанные условия синтеза гибридных порошковых материалов определяют фазовое состояние иодидов металлов в составе композита, а соотношения компонентов отражается на эксплуатационных показателях. Следует отметить, что синтезированные гибриды имеют высокий потенциал применения в технологии искусственных осадков, поскольку обладают оптимальными показателями как льдообразователей и формирователей нисходящих потоков.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 124022200039-7 Теоретические и экспериментальные основы получения полифункциональных материалов на основе неорганических, углеродных и полимерных матриц для использования их в различных системах).

Список литературы

1. Доронин А. П. Воздействия на атмосферные процессы и явления. Учебное пособие / А. П. Доронин. СПб.: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2014, 293 с.
2. Marcolli C. Ice nucleation efficiency of AgI: review and new insights // Atmos. Chem. Phys. 2016. Vol. 16, I. 14. P. 8915-8937. <https://doi.org/10.5194/acp-16-8915-2016>.
3. Fitzner M. The many faces of heterogeneous ice nucleation: Interplay between surface morphology and hydrophobicity // J. Am. Chem. Soc. 2015. Vol. 137, I. 42. P. 13658-13669. <https://doi.org/10.1021/jacs.5b08748>.

КОМБИНАЦИЯ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДА И ПЛАЗМЕННО-РАСТВОРНОГО СИНТЕЗА ДЛЯ СОЗДАНИЯ НОВЫХ НАНОГЕТЕРОСТРУКТУРНЫХ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ТИТАНА И НИТРИДА УГЛЕРОДА

А. В. Агафонов, А. В. Хлюстова, В. Д. Шibaева, О. В. Алексеева, Н. А. Сироткин

*Институт химии растворов им. Г. А. Крестова РАН,
Российская Федерация, ava@isc-ras.ru*

Композиты на основе TiO_2 и $\text{g-C}_3\text{N}_4$ являются многообещающими фотокатализаторами, поскольку обладают хорошей стабильностью, низкой токсичностью и высокой активностью. Вместе с тем, другие полиморфные формы C_3N_4 оказались неизученными в качестве компонентов фотокатализаторов. До настоящего времени отсутствовали сведения о возможности использования

β - C_3N_4 в качестве компонента фотокатализаторов вследствие сложности его синтеза, требующего специальных условий. В докладе представлен новый подход для получения гибридных композитов на основе полиморфов g - C_3N_4 и β - C_3N_4 нитрида углерода и наноструктур диоксида титана, основанный на комбинации приемов золь-гель технологии и плазмохимического синтеза. Нами впервые продемонстрирована возможность получения β - C_3N_4 с помощью плазмохимического метода с высоким выходом и низкими затратами. g - C_3N_4 был получен традиционным путём термической полимеризации продуктов разложения мочевины.

Все материалы были охарактеризованы с помощью просвечивающей электронной микроскопии (рисунок 1), рентгеновской порошковой дифракции, спектроскопии диффузного отражения в УФ-видимом диапазоне, фотолюминесценции, рамановской спектроскопии, и физической адсорбции азота.

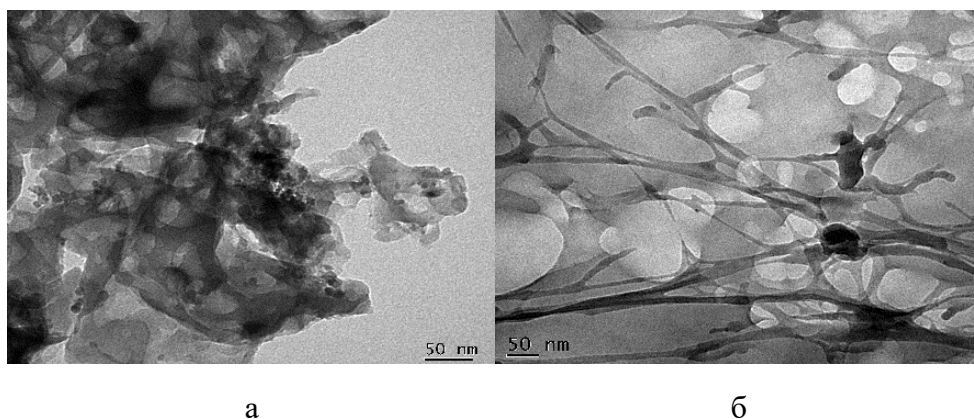


Рисунок 1 – Снимки просвечивающей электронной микроскопии композитов TiO_2/g - C_3N_4 (а), TiO_2/β - C_3N_4 (б), полученных плазмохимическим методом

Полученные материалы были протестированы на эффективность фотокаталитического разложения модельных органических поллютантов: красителей метиленового голубого (МГ катионный), активного красного (АК анионный) и родамина Б (РБ цвиттерионный). Фотокаталитический эксперимент проводили, облучая растворы трех красителей одновременно в суспензии фотокатализатора ультрафиолетом со спектрофотометрической индикацией степени разложения красителей. Представлены данные о фотокаталитической активности диоксида титана, сформированного в форме наносфер и наностержней. Основным материалом, из которого сформированы стержни и сферы, является анатаз, с незначительной примесью рутила и брукита в сопоставимых количествах.

Фотокаталитическая активность индивидуальных материалов

Фотокаталитическая активность в предлагаемых условиях выше для сферических частиц TiO_2 , чем для стержнеобразных. Мы связываем это с тем, что измеренная площадь поверхности сферических частиц в десять раз выше, чем площадь поверхности стержнеобразных частиц.

Фотокаталитическая активность композитов

Фотокаталитическая активность гибридных наноструктур с полиморфами нитрида углерода выше, чем для наночастиц диоксида титана и полиморфных форм нитрила углерода. Среди композитов со стержневыми и сферическими наночастицами TiO_2 , наиболее активным фотокатализатором оказались наностержни диоксида титана с нанесенным g - C_3N_4 , полностью разлагающими в ультрафиолете МГ и РБ в течение 30 минут, а АК за 40 минут. Гибридный композит сферического диоксида титана с β - C_3N_4 продемонстрировал наивысшую активность для композитов с данным полиморфом, разложив все три красителя под действием ультрафиолета за 40 минут.

Фотокаталитическая активность нанокомпозитов диоксида титана с полиморфами нитрида углерода, полученными плазмохимическим способом, показала, что, константы скорости

существенно зависят от типа облучаемого красителя, что связано с особенностями их адсорбции на поверхности фотокатализатора и взаимодействия с генерируемыми активными частицами кислорода O_2 и OH (рисунок 2).

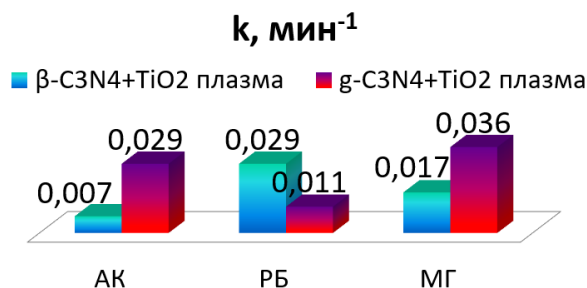


Рисунок 2 – Константы скорости реакции фотодеструкции органических красителей на фотокатализаторах, полученных плазмохимическим способом

Полученные данные показали, что плазмохимический метод получения фотокатализаторов в сочетании с золь-гель технологией являются перспективным подходом для создания гетерогенных фотокатализаторов с высокой фотокаталитической активностью. Проведенный анализ результатов изучения фотокаталитической активности показал, что, хотя сферические наночастицы фотокатализатора имеют преимущество по удельной поверхности, стержнеобразные наночастицы, благодаря своей анизотропии, контролю активных граней и улучшенному переносу заряда, демонстрируют превосходящую фотокаталитическую активность в композитах с полиморфами- C_3N_4 . Ключевым фактором в композитах является формирование протяженного и эффективного интерфейса между компонентами, чему морфология стержней способствует в большей степени.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (Грант № 25-13-00259).

БИОГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ЛАККАЗЫ *STREPTOMYCES CARPINENSIS*, ИММОБИЛИЗОВАННОЙ В ОРГАНОСИЛИКАТНЫЕ МАТРИЦЫ

С. В. Алферов , Ю. Д. Горлова, Д. Г. Лаврова

*Тульский государственный университет, Российская Федерация,
s.v.alferov@gmail.com; uliagorlova71@gmail.com; daria.g.lavrova@gmail.com*

Иммобилизация ферментов и целых клеток с использованием кремнеземных материалов и золь-гель технологии показала свою эффективность для разработки гетерогенных катализаторов. Носитель для иммобилизации должен быть биологически совместимым, нетоксичным, недорогим, иметь высокую грузочную способность и не препятствовать реакциям взаимодействия с субстратами. Лакказы имеют широкий биотехнологический потенциал благодаря возможности их применения в различных отраслях. Большое внимание уделяется использованию лакказы в качестве биокатализатора в ферментных топливных элементах из-за их способности восстанавливать кислород до воды без образования перекиси водорода. Таким образом, разработка биогибридных материалов на основе фермента лакказы, иммобилизованной с использованием золь-гель синтеза является актуальной задачей.

Для иммобилизации использовалась двухдоменная бактериальная лакказа *Streptomyces carpinensis* Ac-1300. Концентрация лакказы в исходном растворе составляла $6,31 \pm 0,01$ мг/мл, активность, определенная по субстрату АБТС, составила $1,09 \pm 0,08$ ммоль/мин $\times$ мл.

Для получения золь-гель матриц в качестве катализаторов использовались растворы HCl и NaF, в качестве прекурсоров использовались тетраэтоксисилан (ТЭОС), метилтриэтоксисилан (МТЭС) и полиэтиленгликолят кремния (Si-ПЭГ). После иммобилизации была проведена оценка степени иммобилизации, которая составила: в матрице № 1 (ТЭОС, катализ NaF) – 96 %, в матрице № 2 (ТЭОС:МТЭС (1:1), катализ NaF) – 98 %, в матрице № 3 (МТЭС, катализ NaF) – 93 %, в матрице № 4 (Si-ПЭГ, катализ NaF) – 100 %, в матрице № 5 (ТЭОС, катализ HCl) – 83 %, что подтверждает иммобилизацию большей части фермента в золь-гель матрицы. Сохранение активности лакказы, иммобилизованной в золь-гель матрицы, подтвердили по реакции с субстратом АБТС. После добавления субстрата ко всем матрицам с ферментом раствор приобретал тёмно-зелёную окраску. Наименьшее время реакции 24 секунды было зафиксировано для матрицы № 4 (Si-ПЭГ, катализ NaF). Для матриц 1–3 при катализе NaF время реакции составило от 38 до 52 секунд, для матрицы №5 (ТЭОС, катализ HCl) время было наибольшим, и составило 50 минут. Для оценки структуры различных золь-гель матриц и биогибридных материалов были получены их изображения с помощью сканирующего электронного микроскопа (рисунок 1).

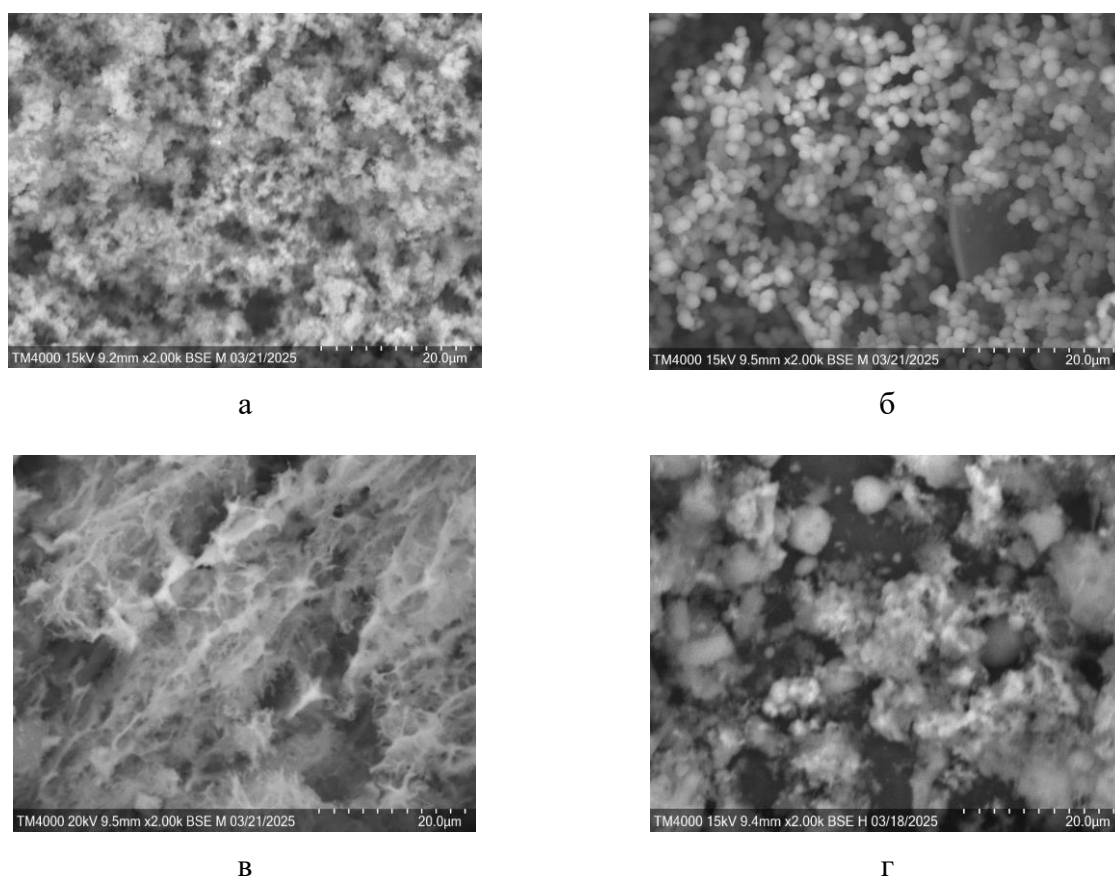


Рисунок 1 – СЭМ изображение золь-гель матриц: (а) № 1 – исходная матрица; (б) № 1 – матрица с иммобилизованным ферментом; (в) № 5 – исходная матрица; (г) № 5 – матрица с иммобилизованным ферментом

Все золь-гель матрицы без иммобилизованного фермента были более однородны и упорядочены, в то время как матрицы с ферментом приобретают более разрозненную, фрактальную структуру с образованием частиц диаметром от 1 до 6 мкм, на поверхности которых закрепляется фермент.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания № FEWG-2024-0003.

АП-КОНВЕРСИОННАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ЭРБИЯ В МИКРОРЕЗОНАТОРАХ И МИШЕНЯХ, СФОРМИРОВАННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

Е. И. Лашковская¹, Н. В. Гапоненко¹, Ю. Д. Корнилова¹, Н. И. Стаськов²,
Л. В. Судник³, П. А. Витязь³, А. Р. Лученок³, М. В. Степихова⁴, А. Н. Яблонский⁴,
Т. Ф. Райченок⁵, В. Д. Живулько⁶, А. В. Мудрый⁶, Ю. В. Радюш⁶, И. Л. Мартынов⁷,
А. А. Чистяков⁷, Н. И. Каргин⁷, В. А. Лабунов^{1,7}, В. Ю. Тимошенко⁸

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Республика Беларусь; e.lashkovskaia@bsuir.by;

²Могилевский государственный университет им. А. А. Кулешова, Республика Беларусь;

³Государственное научное учреждение «Институт порошковой металлургии
имени академика О. В. Романа» НАН Беларуси, Республика Беларусь;

⁴Институт физики микроструктур РАН, Российская Федерация;

⁵Институт физики имени Б. И. Степанова Национальной академии наук Беларуси,
Республика Беларусь;

⁶Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Республика Беларусь;

⁷Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Российская Федерация;

⁸Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Российская Федерация

Разработаны пленкообразующие золи для формирования ксерогеля титаната бария, легированного эрбием и иттербием, и получены золь-гель методом экспериментальные образцы пленочных структур, порошков и мишеней, демонстрирующих ап-конверсионную люминесценцию трехвалентных ионов эрбия для длины волны возбуждения 980 и 1540 нм [1–4]. Мишени получены методом взрывного прессования порошка ксерогеля BaTiO_3 , легированного эрбием, а также эрбием и иттербием [1]. Пленочные структуры, содержащие легированный лантаноидами ксерогель титаната бария, выполнены в виде многослойных покрытий – брэгговских отражателей, микрорезонаторов, макропористых и мезопористых слоев [2–4]. Мишени и пленочные структуры являются визуализаторами лазерного ИК-излучения с длиной волны 980 и 1540 нм, демонстрируя видимую антистоксовую люминесценцию трехвалентных ионов эрбия в диапазоне температур от комнатной до +160 °С. Для пленочных структур получено усиление ап-конверсионной люминесценции: 1) при использовании пористого слоя титаната бария 2) при увеличении температуры термообработки в диапазоне 450 – 800 °С 3) в микрорезонаторе. Микрорезонатор на основе полуволнового слоя $\text{BaTiO}_3:(\text{Er}, \text{Yb})/\text{SiO}_2$ и брэгговских отражателей $\text{SiO}_2/\text{BaTiO}_3$ продемонстрировал увеличение ап-конверсионной люминесценции в 40 раз по сравнению с двойным слоем $\text{BaTiO}_3:(\text{Er}, \text{Yb})$, который был изготовлен непосредственно на кремнии.

Работа выполнена при финансовой поддержке задания 2.02 ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии», задания 1.4 ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорганхимия».

Список литературы

1. Гапоненко, Н. В.; Судник, Л. В.; Витязь, П. А.; Лученок, А. Р.; Степихова, М. В.; Яблонский, А. Н.; Лашковская, Е. И.; Шустикова, К. В.; Радюш, Ю. В.; Живулько, В. Д.; Мудрый, А. В.; Казючиц, Н. М.; Русецкий, М. С. Ап-конверсионная люминесценция ионов Er^{3+} в порошке ксерогеля титаната бария и мишени, сформированной методом взрывного прессования // ЖПС. 2022. Т. 89, № 2. С. 184-190. DOI 10.47612/0514-7506-2022-89-2-184-190.
2. Lashkovskaya, E. I.; Gaponenko, N. V.; Stepikhova, M. V.; Yablonskiy, A. N.; Andreev, B. A.; Zhivulko, V. D.; Mudryi, A. V.; Martynov, I. L.; Chistyakov, A. A.; Kargin, N. I.; et al. Optical properties and upconversion luminescence of BaTiO_3 xerogel structures doped with erbium and ytterbium // Gels 2022, 8, 347. DOI 10.3390/gels8060347.

3. Gaponenko N. V., Staskov N. I., Sudnik L. V., Vityaz P. A., Luchanok A. R., Karnilava Yu. D., Lashkovskaya E. I., Stepikhova M. V., A. N. Yablonskiy, Zhivulko V. D., Mudryi A. V., Martynov I. L., Chistyakov A. A., Kargin N. I., Labunov V. A., Radyush Yu. V., Chubenko E. B., Timoshenko V. Yu. Upconversion Luminescence from Sol-Gel-Derived Erbium- and Ytterbium-Doped BaTiO₃ Film Structures and the Target Form // *Photonics* 2023, 10, 359. DOI 10.3390/photonics10040359.

4. Rudenko, M. V.; Gaponenko, N. V.; Chubenko, E. B.; Lashkovskaya, E. I.; Shustsikava, K. V.; Radyush, Y. V.; Zhivulko, V. D.; Mudryi, A. V.; Wang, M.; Monaico, E. V.; et al. Erbium upconversion luminescence from sol-gel derived multilayer porous inorganic perovskite film // *J. Adv. Dielectr.* 2021, 11, 2150031–2150036. DOI 10.1142/S2010135X21500314.

ВЛИЯНИЕ ДОПИРОВАНИЯ ИОНАМИ Mg²⁺ ОКСИДОВ Li₄Ti₅O₁₂ И Li₂TiO₃ НА АДсорбЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

Е. С. Бичёва, А. И. Иванец, Т. Ф. Кузнецова

*Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси,
Республика Беларусь, Andreiivanets@yandex.ru*

Литий получают из двух основных источников: методами гидрометаллургии из литиевых руд (сподумен, лепидолит и др.) и селективным извлечением из литийсодержащих природных вод, таких как геотермальные воды и соленые озера. Это обуславливает актуальность разработки новых материалов для адсорбционного извлечения ионов Li⁺ из водных сред.

В настоящей работе изучен твердофазный синтез Mg²⁺-допированных оксидов Li₂Mg_xTi_{1-x}O₃ (x = 0,01; 0,02; 0,05; 0,1) и Li_{1,33}Mg_xTi_{1,67-x}O₄ (x = 0,05; 0,1; 0,25; 0,5). Установлено, что в результате замещения ионов Ti⁴⁺ на ионы Mg²⁺, образование кубической шпинели Li_{1,33}Mg_xTi_{1,67-x}O₄ происходит при степени замещения при x ≤ 0,05. Далее при введении ионов Mg²⁺ при более степенях замещения наблюдается наличие примесных фаз MgTiO₃, а также фаз исходных прекурсоров TiO₂ и MgO. При этом параметр a находится в диапазоне 8,342–8,345 Å (рисунок 1 (а)). Для образцов Li₂Mg_xTi_{1-x}O₃ моноклинная структура сохраняется в диапазоне допирования 0,01 ≤ x ≤ 0,1 и параметр a варьируется от 5,031 до 5,033 Å (рисунок 1 (б)).

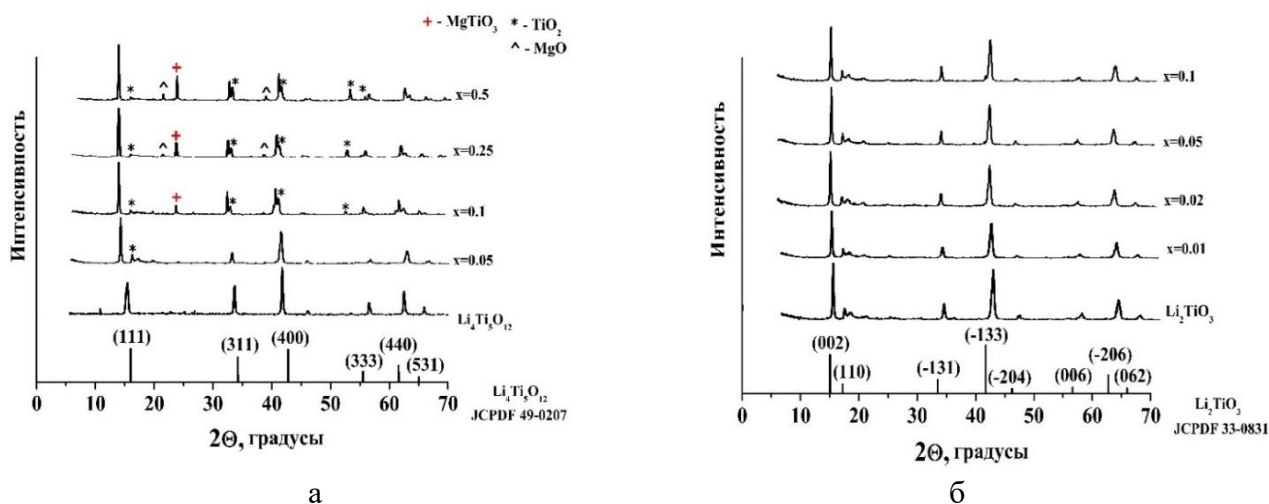


Рисунок 1 – Рентгенограммы допированных ионами Mg²⁺ оксидов Li₂Mg_xTi_{1-x}O₃ и Li_{1,33}Mg_xTi_{1,67-x}O₄

Установлено, что при $V/m = 250 \text{ см}^3/\text{г}$ с использованием модельного раствора лития ($C(\text{Li}^+) = 1,0 \text{ г/л}$, $\text{pH} = 12,0$) и времени контакта 24 ч, наиболее высокую адсорбционную емкость 31,3,8 и 65,2 мг/г показали образцы $\text{Li}_{1,33}\text{Mg}_x\text{Ti}_{1,67-x}\text{O}_4$ ($x = 0,5$) и $\text{Li}_2\text{Mg}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ ($x = 0,02$) соответственно. Показано, что допирование ионами Mg^{2+} увеличивает стабильность адсорбентов в 3 циклах кислотной регенерации. Для образцов $\text{Li}_{1,33}\text{Mg}_x\text{Ti}_{1,67-x}\text{O}_4$ ($x = 0,5$) адсорбционная емкость в 3 циклах составила – 31,3–28,9 мг/г, у $\text{Li}_2\text{Mg}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ ($x=0,02$) – 65,2–62,5 мг/г. Потери емкости ионов Li^+ не превышают $\sim 3,5 \text{ мг/г}$.

ВЗАИМОСВЯЗЬ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ НАНОЛЮМИНОФОРОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДА

А. Б. Власенко, П. Д. Зыкова, Г. Ф. Янг, В. В. Бахметьев

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
Российская Федерация, vlasenkoab@bk.ru*

Для применения в рентгенофотодинамической терапии онкологических заболеваний необходимы люминофоры с размером частиц не более 100 нм (предпочтительно 60...70 нм). Синтез таких нанолюминофоров возможно осуществить с использованием различных вариантов золь-гель технологии.

Спектральная совместимость с различными фотосенсибилизаторами требует использования нанолюминофоров с разными длинами волн излучения, что обеспечивается применением различных активаторов. Неограниченной растворимости активатора в матрице люминофора возможно достичь в том случае, если матрица и активатор имеют одинаковые кристаллические решетки. Поэтому, для получения эффективных люминофоров, под различные активаторы необходимо подбирать разные матрицы.

В данной работе были синтезированы нанолюминофоры трех разных составов: $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ с максимумом излучения 612 нм вблизи максимума поглощения фотосенсибилизатора «Радахлорин», $\text{GdF}_3:\text{Tb}$ с максимумом излучения 543 нм вблизи максимума поглощения фотосенсибилизатора «Бенгальский розовый» и $\text{LaF}_3:\text{Ce}$ с максимумом излучения 290 нм, в ультрафиолетовой области, не требующий использования фотосенсибилизатора.

Для синтеза образцов нанолюминофора $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ были использованы такие варианты золь-гель технологии, как метод Печини и гидротермальный метод. Нанолюминофоры $\text{LaF}_3:\text{Ce}$ и $\text{GdF}_3:\text{Tb}$ также синтезировали гидротермальным способом. Кроме того, нанолюминофор $\text{GdF}_3:\text{Tb}$ был синтезирован путем золь-гель осаждения в водной среде

С использованием моделирования кристаллической структуры в программе «VESTA» было показано, что в люминофорах с фторидными матрицами ($\text{GdF}_3:\text{Tb}$ и $\text{LaF}_3:\text{Ce}$) максимальная интенсивность люминесценции достигается при концентрации активатора не более 1 иона на элементарную ячейку матрицы. В люминофоре с оксидной матрицей ($\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$) это правило не соблюдается, поскольку катионы могут находиться в двух типах кристаллического окружения с C_2 и S_6 -симметрией в соотношении 3:1. Максимальная интенсивность свечения люминофора $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ достигается при концентрации 4 иона европия на одну элементарную ячейку Y_2O_3 . Поскольку при изоморфном замещении иттрия ионами Eu^{3+} их нахождение в узлах обоих типов равновероятно [1], можно сделать вывод, что если матрица люминофора содержит катионы с разными типами кристаллического окружения, максимальная интенсивность люминесценции достигается при концентрации активатора не более 1 иона в том окружении, которого в элементарной ячейке меньше (в данном случае – не более 1 иона Eu^{3+} в кристаллическом окружении с S_6 -симметрией).

Список литературы

1. Forest H., Ban G. Random Substitution of Eu^{3+} for Y^{3+} in $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ // J. Electrochem. Soc. 1971. V. 118, N.12. P. 1999-2001. DOI 10.1149/1.2407894.

ВЛИЯНИЕ APTES НА ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СИСТЕМУ $\text{SiO}_2 - \text{B}_2\text{O}_3$

А. О. Возяков¹, М. С. Михайлова^{1,2}, Н. А. Медведева²

¹ Публичное акционерное общество

«Пермская научно-производственная приборостроительная компания»,
Российская Федерация, *al.vozyakov@gmail.com*;

² Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Российская Федерация, *maria.mkhlv@yandex.ru*, *nata-kladova@yandex.ru*

Стекло, полученное золь-гель методом, позволяет использовать его в оптике (например, оболочка или нагружающий стержень). При образовании боросиликатного стекла бор встраивается в кремнекислородную матрицу, образуя связь $\text{B}-\text{O}-\text{Si}$. В процессе получения такой системы золь-гель методом формируются связи $\text{B}-\text{O}-\text{B}$ и $\text{B}-\text{OH}$, которые претерпевают изменения при термообработке и перестраиваются в $\text{B}-\text{O}-\text{Si}$ связь [1].

Реакция поликонденсации H_3BO_3 и H_4SiO_4 является обратимой, поэтому в присутствии избытка H_2O или спирта, равновесие смещается в сторону исходных веществ [2], образуя летучую борную кислоту, для удержания которой используются различные добавки – одна из них аминопропилтриэтоксисилан (APTES). Образование летучей борной кислоты является основной проблемой при введении прекурсоров бора в систему золя.

Проведена серия синтезов с борной кислотой и триметоксибороксином (ТМВХ). С каждым прекурсором были отработаны две методики: с APTES и в отсутствии. Для установления образующихся связей использовали ИК-спектроскопию. Спектры идентифицировали в диапазоне $450 \div 1800 \text{ см}^{-1}$. Результаты представлены в таблице 1. Установлено, что введение APTES в систему инициирует образование $\text{B}-\text{O}-\text{Si}$ связей в ксерогеле. Таким образом, требуемая неустойчивая $\text{B}-\text{O}-\text{Si}$ связь в золь-гель системе $\text{SiO}_2 - \text{B}_2\text{O}_3$ в присутствии APTES в меньшей степени подвержена влиянию воды и спирта.

Таблица 1 – Результаты ИК-спектроскопии (волновое число, см^{-1}) исследуемых образцов

Связь	Состав			
	H_3BO_3	ТМВХ	H_3BO_3 , APTES	ТМВХ, APTES
1	2	3	4	5
N-H	–	–	1 617, 1 516	1 618, 1 514
C-N	–	–	1 336, 1 400	1 335, 1 385
Si-O-Si в линейной структуре	1 050	1 057	1 036	1 054
Si-OH на поверхности	952	924	936	937
B-O-Si	–	–	822	823
Si-O-Si (SiO_2)	796	795	789	787

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
B–O–B	–	–	718	717
B–O–Si	–	–	692	690
B–OH (H_3BO_3)	554	568	549	540
O–Si–O (SiO_2)	435	433	441	449

Список литературы

1. Irwin A. D. et al. Spectroscopic investigations of borosiloxane bond formation in the sol-gel progress // Journal of Non-Crystalline Solids. 1987. Vol. 89. P. 191-205. DOI: 10.1016/S0022-3093(87)80332-0.
2. Irwin A.D. et al. Solid state ^{29}Si and ^{11}B NMR studies of sol-gel derived borosilicates // Journal of Non-Crystalline Solids. 1988. Vol. 101, no 2-3. P. 249-254. DOI: 10.1016/0022-3093(88)90160-3.

РАЗРАБОТКА ГИБРИДНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ СЕНСОРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

С. Ю. Воронина

*Сибирский государственный университет науки и технологий им. М. Ф. Решетнева,
Российская Федерация, simkina_svetlana@mail.ru*

Разработка высокотехнологичных изделий на основе инновационных материалов является одним из приоритетных направлений в мире. Данная продукция особенно востребована в аэрокосмической, транспортной, электротехнической и медицинской сферах, где широко применяются конструкции и функциональные элементы с изменяемой геометрией.

Для точного определения геометрических параметров и эффективного мониторинга состояния трансформируемых конструкций используются сенсорные системы, основанные на чувствительных материалах. Использование органо-неорганических гибридных материалов в качестве тензочувствительных элементов обеспечивает ряд существенных преимуществ по сравнению с традиционными аналогами. Органо-неорганические гибридные материалы, сочетающие свойства полимеров и углеродных наноструктур, представлены несколькими типами, различающимися по характеру взаимодействия и структуре компонентов. Самыми простыми в технологическом исполнении являются функциональные наноккомпозиты, где полимерная матрица и углеродные наноструктуры связаны в основном за счёт водородных связей, Ван-дер-Ваальсовых сил и других межмолекулярных взаимодействий. В разработке таких функциональных полимерных композиционных материалов, углеродные нанотрубки и графены признаются перспективными углеродными структурами.

В работе разработан сенсорный чувствительный элемент датчика на основе органо-неорганического гибридного наноккомпозиционного материала для применения в системе мониторинга состояния конструкций. Показана возможность отклика на прикладываемые напряжения, отслеживания в реальном времени, обработки информации и потенциал использования в системах интернета вещей для конструкций на предприятиях промышленности реального сектора экономики.

Список литературы

1. Voronina S. et al. The influence of the carbon nanofiller in the PDMS-based composites on the strain resistive effect // Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures. 2025. P. 1-12. DOI: 10.1080/1536383X.2025.2454397.
2. Shalygina T. A., Voronina S. Y., Voronchikhin V. D. [et al.] The Synergistic Effect of a Hybrid Filler Based on Graphene Nanoplates and Multiwalled Nanotubes for Increasing the Thermal Conductivity of an Epoxy Composite // Technical Physics Letters. – 2021. – DOI 10.1134/S1063785021040143. – EDN AOUPBR.

КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ КАТАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ С ЛИОФИЛИЗИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Н. Н. Гаврилова, М. А. Мячина, В. В. Назаров

¹*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,
Российская Федерация, gavrilova.n.n@muctr.ru*

В последние годы в области каталитической химии большое внимание уделяется синтезу и изучению катализаторов, нанесенных на различные носители (ячеистые, блочные или мембраны), которые позволяют существенно интенсифицировать химические реакции.

Для получения тонкого каталитического слоя с регулируемой морфологией и пористой структурой на поверхности таких носителей наиболее подходящим является золь-гель метод, который хорошо известен и широко применяется для создания различных нанесенных функциональных материалов благодаря своим преимуществам. Для реализации золь-гель метода получения того или иного вида катализаторов необходима разработка коллоидно-химических основ этого метода, включающей разработку способов синтеза гидрозолей, определение их основных коллоидно-химических свойств, отработку основных стадий получения каталитических систем. Для успешной реализации золь-гель метода необходимо, чтобы разработанные способы синтеза позволяли получать агрегативно устойчивые золи с высокой концентрацией дисперсной фазы.

В данной работе приведены результаты разработки способов синтеза золей бинарных соединений оксидов $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$, $\text{MoO}_x\text{-WO}_x$, $\text{MoO}_x\text{-V}_y\text{O}_x$, один из компонентов представлен оксидом с сильно лиофилизированной поверхностью. Рассмотрено влияние состава частиц на основные коллоидно-химические свойства гидрозолей (размер и форму частиц, знак и величину дзета-потенциала, значение pH агрегативной области агрегативной устойчивости, реологические свойства).

Установлены закономерности образования каталитически активных фаз при термическом разложении ксерогелей в различных средах. Установлено влияние состава частиц на фазовый состав образующихся продуктов. Показано, что разработанный способ синтеза позволяет синтезировать твердые растворы $\text{Ce}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_2$ различных модификаций с мезопористой структурой порами с достаточно узким распределением пор по размерам.

Термическое разложение ксерогелей $\text{MoO}_x\text{-WO}_x$, $\text{MoO}_x\text{-V}_y\text{O}_x$ позволяет синтезировать бинарные оксиды $\text{MoO}_3\text{-WO}_3$, $\text{MoO}_3\text{-V}_2\text{O}_5$ или соответствующие карбиды в зависимости от условий термообработки. Фазовый состав карбидов зависит от условий синтеза соответствующих золей и определяется типом и содержанием восстановителя. Образцы имеют достаточно высокую удельную поверхность и обладают бидисперсной пористой структурой с развитой микро- и мезопористостью.

На основе синтезированных объектов были получены образцы нанесенных и мембранных катализаторов, которые проявили высокую активность в реакции углекислотной конверсии метана.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FSSM-2023-0004).

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОМ SAXS СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ, ТЕРМИЧЕСКИЕ И ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНО-ТИТАНАТНЫХ И ЭПОКСИДНО-СИЛИКАТНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ

И. Б. Глебова, В. Л. Уголков, О. А. Шилова

*НИИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ-ИХС, Российская Федерация,
iraglebova@mail.ru; ugolkov.52@mail.ru; Olga Shilova<olgashilova@bk.ru*

Формирование гибридных органо-неорганические нанокompозиты золь-гель методом [1] позволяет создавать материалы и покрытия с разнообразными управляемыми свойствами. Этот метод, являясь и экономичным, и технологичным, охватывает огромный класс материалов, в том числе, широко используется для синтеза эпоксисиликатных (ЭСК) и эпоксититанатных (ЭТК) нанокompозитов, и затем покрытий (ЭСП) и (ЭТП) на их основе, которые нашли широкое применение благодаря их высокой термической устойчивости, хорошим механическим и адгезионным характеристикам, способностью защищать различные поверхности от воздействия разнообразных микробных семейств [2] и обрастателей в море. При формировании таких материалов и покрытий при использовании золь-гель метода большой интерес представляют исследования структурных превращений *in situ* в процессе гелеобразования. Осуществить такое исследование позволяет метод малоуглового рентгеновского рассеяния (SAXS).

При образовании геля при формировании ЭСК в отсутствие эпоксидной смолы и отвердителя наблюдается интерференционный максимум, свидетельствующий о наличии упорядоченности с расстояниями между центрами рассеяния $\sim 22 \text{ \AA}$.

При образовании геля в присутствии эпоксидной смолы и отвердителя происходит формирование структуры взаимопроникающих сеток эпоксидного полимера и сетки агрегирующего кремнезоль по типу массового фрактала. После 240 минут гелеобразования одноуровневая фрактальная структура с небольшими областями самоподобия преобразуется в двухуровневую фрактальная структура с увеличивающейся протяженностью областей самоподобия и увеличивающейся фрактальной размерностью, максимально приближаясь к бесконечному фракталу к 2950 минутам гелеобразования, а затем наблюдается уменьшение протяженности областей самоподобия.

При исследовании золя ЭТК было зафиксировано после 174 часов гелеобразования формирование фрактальной структуры с наибольшей фрактальной размерностью в интервале 343–439 часов от 1.6 (343 часа) до 1.5 (439 часов), что соответствует формированию массово-фрактальных агрегатов TiO_2 с размерами, превышающими границу зоны информации используемой рентгеновской камеры, т.е. более 70 нм. Затем к 680 часам наблюдается отсутствие фрактальной структуры и совпадение со структурой при 174 часах.

В золе в отсутствие эпоксидной смолы на первоначальном этапе также наблюдается сохранение гомогенной среды, а через 23 часа был обнаружен размытый интерференционный пик, характеризующий пространственную упорядоченность частиц в области $100' - 400'$ с максимумом $280'$. Через 73 часа максимум пика сместился к $320'$, т.е. в сторону уменьшения периода.

Введение в ЭТК золи небольшого количества денатационного наноалмаза (ДНА) от 0.025 до 0.2 масс. % приводит к увеличению фрактальной размерности, т. е. к уплотнению и упрочнению формируемой структуры нанокompозитов за счет образования массово-фрактальных кластеров, которые с увеличением концентрации ДНА становятся еще более плотными. Таким образом, ДНА является структурирующим реагентом.

Образование геля при повышенных температурах (от 60 до 140 °C), приводит к образованию массовых фракталов, плотность которых повышается с увеличением температуры. По данным термогравиметрического анализа ЭТК, осуществленного от комнатной температуры до 300 °C, потеря массы составила 14 %. На кривой ДТА в области 220-250 °C имеется экзопик,

связанный, по-видимому, с процессом перестройки структуры нанокompозита. Термический анализ также показал, что неорганическая – титанатная составляющая в ЭТК значительно подавляет деструкцию на первой стадии термообработки (до 240 °С) и приводит к термостабилизации композита. Модифицирующая добавка DND в количестве 0.05 масс. % уменьшает потерю массы нанокompозита на 10 %, то есть также приводит к термостабилизации композита в этом температурном диапазоне.

ЭТП с ДНА и без него были нанесены для защиты на поверхность мраморных памятников Александрo-Невской Лавре (г. Санкт-Петербург). Исследования заселения поверхности микроорганизмами в течение 3-х лет показали, что на поверхности мрамора с покрытием образовалось в 3.5 раза меньше микроорганизмов, чем на контрольной поверхности без покрытия.

Таким образом, метод SAXS позволяет проследить кинетику золь-гель процесса, при котором наблюдается формирование фрактальной структуры и ЭТК и ЭСК, но разными путями. Ярко выраженный максимум наблюдается на кривой рассеяния SAXS для ЭСК, полученной без эпоксидной составляющей. Этот факт свидетельствует о появлении ближнего порядка в структуре нанокompозита. ДНА является структурирующим реагентом. Образование геля при повышенных температурах приводит к образованию массовых фракталов, плотность которых повышается с увеличением температуры. Термический анализ показал, что неорганическая – титанатная составляющая в ЭТК и модифицирующая добавка ДНА приводит к термостабилизации композита в этом температурном диапазоне. ЭТК покрытия, особенно модифицированные ДНА, оказывают ингибирующее действие на развитие микроорганизмов – биодеструкторов, активно заселяющих каменные поверхности в условиях окружающей среды большого мегаполиса.

Список литературы

1. Olga A. Shilova, Dmitrii Yu. Vlasov, Marina S. Zelenskaya, Yuliya V. Ryabusheva, Tamara V. Khamova, Irina B. Glebova, Alexandr A. Sinelnikov, Alexandr M. Marugin, Olga V. Frank-Kamenetskaaya, 33. Sol-Gel Derived TiO_2 and Epoxy-Titanate Protective Coatings: Structure, Property, Fungicidal Activity and Biomineralization Effects, In: Processes and Phenomena on the Boundary Between Biogenic and Abiogenic Nature. Lecture Notes in Earth (Eds. D.Y. Vlasov, O.V. Frank-Kamenetskaya, Springer, Cham, 2019, p. 619-638. OnlineISBN978-3-030-21614-6. PrintISBN978-3-030-21613-9.https://doi.org/10.1007/978-3-030-21614-6_33.

2. Пат. РФ № 2518124. Композиция для получения матрицы с фотокаталитической активностью /Шилова О. А., Хамова Т. В., Власов Д. Ю., и др. / заявл. 22.08.2011; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16.

ПОЛУЧЕНИЕ И АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА ЗОЛЕЙ НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ДИОКСИДА ЦЕРИЯ С ЛАНТАНОМ (III) И ИТТЕРБИЕМ (III)

А. А. Гордеев, С. А. Кузнецова

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Российская Федерация, gaa1998sukh-mo@mail.ru*

Антиоксиданты играют важную роль в организме человека, поскольку они защищают клетки от воздействия активных форм кислорода (АФК), замедляя процессы старения, в том числе и кожи. Известные органические антиоксиданты, такие как витамины А, С, Е, и глутатион обладают высокой антиоксидантной активностью (АОА) [1], но характеризуются рядом недостатков: витамины С и Е провоцируют аллергические реакции; глутатион нестабилен

и малоактивен в окисленном состоянии; накопление витамина А приводит к нарушению зрения и целостности кожных покровов. Среди неорганических веществ АОА обладают соединения железа(III), меди(II) и цинка [2], проявляя меньшую АОА, по сравнению с органическими антиоксидантами. Кроме того, соединения данных металлов могут катализировать образование свободных радикалов, что вызывает окислительный стресс. Поэтому необходимость в разработке новых составов эффективных антиоксидантов является актуальной.

Ранее, нами было показано, что золи CeO_2 с поливиниловым спиртом (ПВС) обладают фотопротекторными свойствами с низкой цитотоксичностью. Однако их антиоксидантные свойства уступают витамину С и глутатиону [3]. Согласно литературным данным, допирование диоксида церия редкоземельными элементами (РЗЭ) позволяет увеличить нестехиометричность частиц CeO_2 , что влияет на АОА [4]. В связи с этим, настоящее исследование направлено на получение золь CeO_2 , допированного лантаном ($\text{CeO}_2\text{:La}$ -ПВС) и иттербием ($\text{CeO}_2\text{:Yb}$ -ПВС), с высокой антиоксидантной активностью и биологической релевантностью.

Методика получения золь CeO_2 с РЗЭ включала несколько этапов. На первом этапе к раствору $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ добавляли нитрат РЗЭ в мольном соотношении $\text{Ce}:\text{РЗЭ} = 9:1$. В приготовленную смесь вводили раствор ПВС (5 масс. %) в объемном соотношении 5:1 соответственно. Затем раствор нагревали при постоянном перемешивании (3000 обор./мин) до $t = 90^\circ\text{C}$, добавляли в мольном соотношении к иону церия 30 масс.% H_2O_2 (1:3) и оставляли на 45 минут. На втором этапе к полученному раствору вводили 25 масс. % раствор $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ до $\text{pH} = 9$ и оставляли ещё на 180 минут при 90°C . Полученные золи ($\text{pH} = 8,5$) охлаждали при комнатной температуре. Образование диоксида церия с добавкой РЗЭ описывается следующим уравнением реакции:



Кинетику окисления ионов Ce^{3+} в процессе получения диоксида оценивали методом УФ-спектрометрии на приборе ПЭ5400 УФ (диапазон длин волн 200–400 нм, длина кюветы 10 мм, шаг съемки 1 нм). Агрегативную устойчивость золь определяли методом динамического светорассеяния с помощью прибора NanoBrook Omni, ($\lambda = 440$ нм, $l = 10$ мм). Взаимодействие молекул ПВС с CeO_2 , допированным РЗЭ оценивали методами ИК-спектроскопии (прибор Agilent Cary 630 FTIR, 400 – 4000 cm^{-1}) и вискозиметрии (вискозиметр ВПЖ-2, $K = 1,31 \text{ мм}^2/\text{с}^2$). Фазовый состав выделенных из золь частиц дисперсной фазы устанавливали методом рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактометре Rigaku Miniflex 600 ($\text{CuK}\alpha$ -излучения в интервале 2° – 90° (2θ), скорость 2 град/мин). Параметры элементарных ячеек определяли методом Ритвельда, в программе ReX. Стехиометрический состав образцов Ce -ПВС, Ce-La -ПВС и Ce-Yb -ПВС определяли с помощью уравнению Кима [5]. АОА определяли по модельной реакции обесцвечивания 0,05 Н раствора KMnO_4 [1]. Гемосовместимость образцов оценена стандартной методикой ISO 10993-4:2017.

По результатам РФА, полученные образцы соответствуют твердому раствору CeO_2 структуры флюорита. Количественный состав твердых растворов представляет собой: $\text{Ce}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{O}_{1,96}$ и $\text{Ce}_{0,9}\text{Yb}_{0,1}\text{O}_{1,97}$. Допирование CeO_2 ионами La^{3+} и Yb^{3+} приводит к росту количества кислородных вакансий по сравнению с недопированным CeO_2 на 1 % и 0,5 % и закономерному изменению параметров элементарной ячейки (CeO_2 – 5,423 Å; $\text{CeO}_2\text{:La}$ – 5,430 Å; $\text{CeO}_2\text{:Yb}$ – 5,414 Å).

Установлено, что окисление Ce^{3+} с H_2O_2 при температуре 90°C характеризуется мгновенной константой скорости $k = (1,5 \pm 0,6) \cdot 10^{-5}$. В присутствии La^{3+} и Yb^{3+} константа скорости окисления Ce^{3+} меняется незначительно: $k = (2,8 \pm 1,3) \cdot 10^{-5}$ и $k = (2,0 \pm 0,8) \cdot 10^{-5}$ соответственно. Реакция окисления ионов Ce^{3+} при температуре 90°C является обратимой (константа равновесия равна 5) и описывается уравнением реакции:



Методом ИК-спектроскопии показано, что в присутствии ионов РЗЭ происходит окисления –ОН групп молекул ПВС. Данный процесс сопровождается незначительным уменьшением M_r полимера, что подтверждается результатами вискозиметрии (η – кинематическая вязкость): η (CeO_2 -ПВС) = $2,30 \pm 0,02$ мм²/с; η (CeO_2 :La-ПВС) = $2,29 \pm 0,02$ мм²/с; η (CeO_2 :Yb-ПВС) = $2,31 \pm 0,02$ мм²/с; η (ПВС) = $2,35 \pm 0,01$ мм²/с). Установлено, что коллоидные частицы CeO_2 имеют отрицательный заряд ($\zeta = -8,5 \pm 0,3$ мВ). Допирование CeO_2 ионами La^{3+} и Yb^{3+} уменьшает абсолютное значение ζ -потенциала: $-4,1 \pm 0,6$ и $-3,0 \pm 1,2$ мВ соответственно. Это объясняется сокращением доли Ce(IV) на поверхности частиц, что уменьшает сорбцию потенциалопределяющих анионов, т.к. координационное число церия(III) равно 6, а для церия(IV) – 8. Предложена формула мицеллы стабилизированных ПВС зольей CeO_2 , допированного РЗЭ: $\{[\text{Ce}_{0,9}\text{Ln}_{0,1}\text{O}_2] \cdot n\text{OH}^- \cdot (n-x)\text{NH}_4^+ \cdot \text{ПВС}\} x^- \cdot x\text{NH}_4^+$.

Добавка ионов РЗЭ увеличивает АОА зольей: золь CeO_2 характеризуется величиной АОА 3183 мл/г, допирование ионами La^{3+} увеличивает АОА до 5216 мл/г, а Yb^{3+} до 4473 мл/г. Полученные материалы превосходят антиокислительные способности глутатиона (2857 мл/г) и витамина С (3571 мл/г) при этом проявляя низкую гемолитическую активность: процент погибших эритроцитов при контакте с CeO_2 -ПВС = 1,37%; 1,38 % для CeO_2 :La-ПВС и 0,54 % для CeO_2 :Yb-ПВС.

Золи состава CeO_2 :La-ПВС и CeO_2 :Yb-ПВС могут быть рекомендованы в качестве биологически релевантных высокоэффективных антиоксидантов.

Список литературы

1. Фадеева Д. А., Халикова М. А., Полухина Т. С. Определение антиоксидантной активности некоторых веществ аминокислотной, пептидной и полифенольной природы *in vitro* // Научные ведомости. Серия Медицина. Фармация. – 2011. – Т. 99. – № 20. – 178 – 180.
2. Guerreiro J. F. Iron and copper complexes with antioxidant activity as inhibitors of the metastatic potential of glioma cells / J.F. Guerreiro. RSC Advances. – 2020. – V. 10. P. 12699–12710.
3. Gordeev A. A. Investigation of processes of obtaining cerium dioxide sol with polyvinyl alcohol having bioactive properties. Ceramics International. – 2022. – V.49. - №4. – P. 7580-7588. – DOI: 10.1016/j.ceramint.2022.10.249.
4. Офицерова Н. Ю. Влияние допирования наночастиц диоксида церия ионами редкоземельных металлов на биокаталитическую активность/ Н. Ю. Офицерова, И. Н. Бажукова. Актуальные проблемы развития естественных наук. – 2022. – 17 – 22 с.
5. Щербаков А. Б. Синтез и биомедицинские применения нанодисперсного диоксида церия / А. Б. Щербаков, О. С. Иванова, Н. Я. Спивак, В. В. Козик, В. К. Иванов. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та, 2016 – 81 с.

ЗОЛЬ-ГЕЛЬ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ОКСИДНЫЕ ПЛЕНКИ: СОСТАВ, СТРУКТУРА И ПРИМЕНЕНИЕ

Н. Н. Губанова^{1,2}, В. А. Матвеев¹, О. А. Шилова²

Филиал НИЦ «Курчатовский Институт» – ПИЯФ - ИХС,
Российская Федерация, gubanova_nn@npri.nrcki.ru;

²НИЦ «Курчатовский Институт» - ПИЯФ, Российская Федерация, matveev_va@npri.nrcki.ru;

³Филиал НИЦ «Курчатовский Институт» – ПИЯФ - ИХС,
Российская Федерация, olgashilova@bk.ru

Золь-гель метод позволяет управляемо синтезировать композиционные материалы различного состава с заданными свойствами. Этот метод не требует сложного дорогостоящего

оборудования и позволяет варьировать как состав, так и концентрацию допантов в получаемых материалах. Формировать пленки (покрытия или слои) из золь можно различными способами: разливом, распылением, вытягиванием подложки из раствора или с помощью центрифугирования (метод «spin coating»). В данной работе авторами был проведен синтез устойчивых и пленкообразующих золь различного состава (кремнезоль или золь на основе полипероксвольфрамовой кислоты), из которых были получены: кремнеземные пленки, допированные наночастицами платины и палладия и композитные пленки на основе оксида вольфрама, допированные наночастицами серебра.

С помощью комплекса методов была получена информация о структуре (толщина пленок, распределение наночастиц-допантов, фазовый состав и др.) кремнеземных пленок, содержащих наночастицы Pt, Pd и PtPd, полученных методом «spin-coating» [1]. Результаты исследований показали, что получаемые пленки имеют толщину 20–50 нм, размер наночастиц-допантов составляет 4–8 нм. На основе технологии получения тонких пленок (процесса «spin-on-glass») получены полупроводниковые структуры n-InP/SiO₂@Pd, проведено исследование их электрических и фотоэлектрических характеристик [2–3] в атмосфере водорода.

Также были получены композитные покрытия на основе WO₃, допированные серебром, исследованы их электрохимические характеристики, определен состав и структура.

Результаты исследования позволяют говорить о возможности использования оксидных пленок, допированных наночастицами различных металлов, в качестве функциональных элементов сенсоров, каталитических покрытий и ячеек топливных элементов.

Список литературы

1. Gubanov N., Matveev V., Grebenshchikova E., Kirilenko D., Sazonova Y., Shilova O. // Pt and Pd Nanoparticle Crystallization in the Sol-Gel-Derived Thin SiO₂ Films // *Physchem*. 2023. V. 3, P. 259–269. doi.org/10.3390/physchem3020018.
2. Гребенщикова Е. А., Шутаев В. А., Матвеев В. А., Губанова Н. Н., Шилова О. А., Яковлев Ю. П. // Влияние водорода на электрические и фотоэлектрические свойства тонкопленочных структур InP/Pd, полученных золь-гель методом // *Письма в журнал технической физики*. 2022. Т. 48, № 10. С. 12–15. DOI 10.21883/PJTF.2022.10.52549.19144.
3. Гребенщикова Е. А., Шутаев В. А., Добрычев Ф. А., Губанова Н. Н., Яковлев Ю. П. // Электрофизические свойства структур (Pd-SiO₂)/InP в атмосфере водорода // *Успехи прикладной физики*. 2025. (принята в печать)

ЭФФЕКТ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МАТРИЦЫ НА ПЛАЗМОННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СТЕКОЛ С НАНОЧАСТИЦАМИ СЕЛЕНИДА МЕДИ

В. С. Гурин

¹*НИИ физико-химических проблем Белорусского государственного университета,
Республика Беларусь, gurin@bsu.by*

В настоящей работе рассматриваются плазмонные оптические материалы в виде SiO₂-стекол с наночастицами селенида меди и производится моделирование их спектров поглощения света за счет плазмонного резонанса, возникающего вследствие повышенной концентрации носителей заряда в наночастицах [1]. Оптика таких стекол интересна тем, что в них возможно совместное проявление размерных эффектов полупроводниковых частиц и плазмонного резонанса. В то же время, стекла, в отличие от коллоидных наночастиц, более применимы в качестве оптических сред для нелинейной оптики и лазерной техники вследствие высокой механической и оптической прочности.

Моделирование спектров поглощения плазмонных наночастиц в стеклах при их малой концентрации, позволяющей рассматривать частицы как изолированные, производилось по теории Ми. Для частиц размером меньше длины волны, $R \ll \lambda$, используется следующее выражение для коэффициента поглощения [2]

$$\alpha = \left(\frac{18\pi C \varepsilon_m^{3/2}}{\lambda} \right) \frac{\varepsilon_2}{(\varepsilon_1 + 2\varepsilon_m)^2 + \varepsilon_2^2},$$

где ε_1 и ε_2 – действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости наночастиц;

ε_m – диэлектрическая проницаемость среды.

$\varepsilon_{1,2}$ рассчитывались по теории Друде для плазмонной частоты ω_p с учетом фактора затухания γ . ω_p определяется в данной модели через концентрацию носителей заряда N как $\omega_p = (Ne^2/\varepsilon_0 m_{ef})^{1/2}$, где e – элементарный заряд, m_{ef} – эффективная масса электронов (дырок). На рисунке 1 представлена серия спектров поглощения для разных величин ε_m . Таким образом, результаты моделирования показывают появление интенсивной полосы плазмонного резонанса для исследуемых материалов и существенный эффект окружающей наночастицы матрицы: рост интенсивности поглощения с одновременным красным смещением.

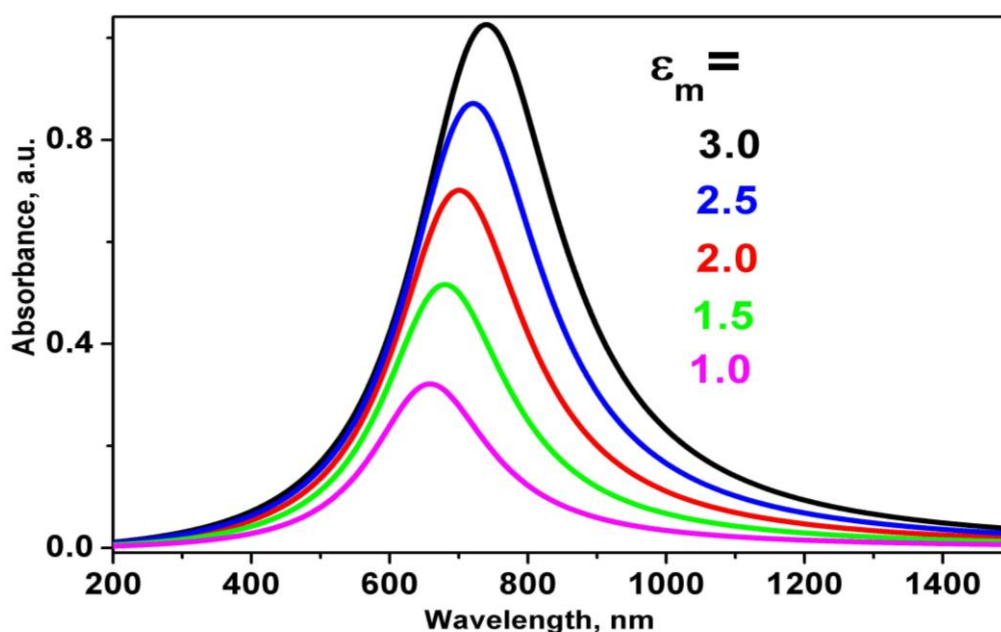


Рисунок 1 – Спектры поглощения, рассчитанные для наночастиц селенида меди в SiO_2 матрице с разной диэлектрической проницаемостью:
 $\varepsilon_m = 1.0 \div 3.0$. $\omega_p = 10^{16} \text{ c}^{-1}$, $\gamma = 10^{15} \text{ c}^{-1}$.

Работа выполнена при поддержке ГПНИ РБ «Наноструктура», задание 8.2.2.04).

Список литературы

1. Gurin V. S. et al. Copper and copper selenide nanoparticles in the sol-gel matrices: Structural and optical // Mater. Sci. Eng. C. 2006. V. 26. P. 952-955. DOI: 10.1016/j.msec.2005.09.021.
2. Петров Ю. И. Кластеры и малые частицы. Москва: Наука, 1986. 368с.

СИНТЕЗ МИКРОЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ ПЕЧИНИ

С. В. Денисюк¹, Н. И. Мухуров¹, О. Н. Куданович¹, И. В. Гасенкова¹, А. А. Ходин¹,
В. Г. Лугин², Т. В. Камлюк²

¹Государственное научно-производственное объединение
«Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»,

Республика Беларусь, denisuc@oelt.basnet.by;

²Белорусский государственный технологический университет, Республика Беларусь

Порошки были синтезированы с помощью модифицированного метода Печини [1]. Навески оксидов (таблица 1) растворяли в избытке азотной кислоты. Отдельно готовили водный раствор нитрата алюминия (таблица 1) и насыщенный водный раствор лимонной кислоты. После приготовления растворы смешивали и к ним добавляли этиленгликоль в соотношении к объему раствора лимонной кислоты как 1 к 4, а также 1 – 2 мл серной кислоты в качестве катализатора. Реакционную смесь нагревали до температуры 90–110 °С при постоянном перемешивании в течение 8 – 10 часов. Избыток воды удаляли в сушильном шкафу при температурах 120–250 °С, после чего образцы отжигались в электропечи при температуре 850 °С в течение 2 часов. Полученный порошок измельчали и смешивали с равной по массе навеской хлорида калия. Смесь отжигали при температуре 1000 °С в течение 1 часа, после чего растворяли в избытке дистиллированной воды и отделяли осадок фильтрованием. Анализ распределения синтезированных частиц по размерам проводился с помощью лазерного анализатора Analizette 22 MicroТес.

Таблица 1 – Соотношение компонентов синтезированных порошков

№ образца	Соотношение компонентов в образце					Навески исходных реагентов		
	Al, %	Ln*, %		Ln, %		Al(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O, г	Ln* ₂ O ₃ , г	Ln ₂ O ₃ , г
		Ln*	%	Ln	%			
1	85,0	Er	1,7	Yb	13,3	19,0023	0,1907	1,5844
2	83,7	Er	6,5	Yb	9,8	20,8752	0,8322	1,2854
3	83,9	Tm	11,3	Eu	4,8	20,8726	1,4659	0,5626
4	51,9	Yb	3,0	Ho	45,1	20,8742	0,4945	4,7467

Образец № 1 состоит из частиц с размерами от 200 нм до 20 мкм, и средним размером 8 мкм. Для образца № 2 диапазон размеров частиц составляет 0,2 до 30 мкм со средним размером 12,4 мкм. Образец № 3 составляют частицы размерами от 1 до 20 мкм, 50 % частиц имеют размер более 12,8 мкм. Размер частиц в образце № 4 варьируется от 1 до 30 мкм со средним размером 8,6 мкм.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, проект T24КИ-013.

Список литературы

1. Вайшла Е. И. Структура и люминесцентные свойства нанопорошков $Gd_2(WO_4)_3$ и $Gd_2(WO_4)_3:Tm^{3+}, Yb^{3+}$, синтезированных методами твердофазного спекания и Печини // Неорганические материалы. 2021. Т. 57, № 8. С. 846-851. DOI: 10.31857/S0002337X21080327.

ПОЛУЧЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АДСОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ ЛИТИЯ-ТИТАНА ДЛЯ СОРБЦИИ ИОНОВ ЛИТИЯ

А. И. Иванец¹, Е. С. Бичёва¹, Т. Ф. Кузнецова¹, О. Н. Рузимурадов²

¹ *Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси,
Республика Беларусь, andreiiivanets@yandex.ru;*

² *Туринский политехнический университет в г. Ташкенте,
Республика Узбекистан, o.ruzimuradov@polito.uz*

Актуальность данной работы можно объяснить необходимостью разработки новых функциональных материалов, способных извлекать ионы лития из растворов переработанных литий-ионных аккумуляторов. Так как значение лития в современной экономике с каждым годом только растет, за последние несколько лет цена удвоилась. Высокая стоимость производства такого материала в основном зависит от сложности процессов, связанных с его добычей. Литий не встречается в природе в чистом виде из-за его высокой реакционной способности, а энергоемкие процессы и использование сильнодействующих химических реагентов также являются факторами, которые необходимо учитывать, говоря о стоимости конечного продукта. Адсорбция при помощи модифицированных металлооксидных сорбентов относится к наиболее перспективным методам для последующего масштабирования и коммерциализации при выделении лития из природных рассолов и техногенных жидких сред, образующихся при переработке литий-ионных аккумуляторов. За последнее десятилетие был достигнут значительный прогресс в выяснении основных механизмов химической деградации и возможных подходов к улучшению жизненного цикла сорбентов, однако комплексных исследований в области модифицирования литий-титановых сорбентов ионами металлов, направленные на увеличение кинетики адсорбции-десорбции ионов лития до сих пор не проводилось. Единичными исследованиями установлено, что введение в кристаллическую решетку адсорбентов ионов многовалентных металлов, позволяет улучшить подвижность внутримолекулярных связей, а также расширить элементарную ячейку, что благоприятно скажется на адсорбции ионов лития.

В связи с этим, научной проблемой работы являются получения высокоселективных адсорбентов ионов лития на основе модифицированных оксидов состава Li_2TiO_3 и $Li_4Ti_5O_{12}$ (LTO) (рисунок 1), которые имеют улучшенные адсорбционные свойства и повышенную кинетику сорбции при многократных циклах адсорбции/десорбции. До сегодняшнего дня детально не изучены методы направленного регулирования кристаллической структуры, параметры пористости и морфологии материалов, которые могли бы позволить получить новые гранульные адсорбенты ионов лития, и они смогли бы использоваться в процессах утилизации отработанных литий-ионных батарей (аккумуляторов), а также выделения ионов лития из природных и технологических водных сред. Наши исследования направлены на увеличения кинетики адсорбентов, с возможностью сорбции из растворов с низким содержанием ионов лития, увеличение адсорбционной емкости оксидов лития-титана модифицированными ионами металлов, а также продление срока службы адсорбентов [1, 2].

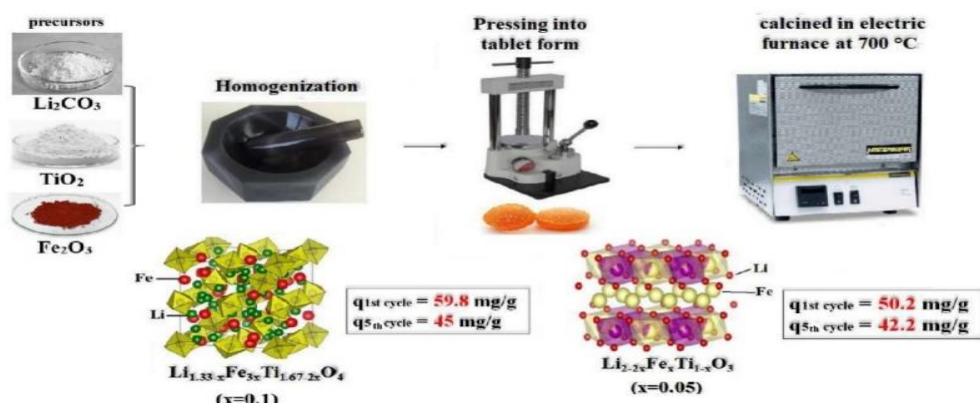


Рисунок 1 – Схематическое изображение процесса синтеза Fe-допированных LTO

В результате выполнения совместных исследований получены следующие результаты:

- определены оптимальные условия золь-гель и твердофазного синтеза (соотношение Fe(Zr)/Ti, pH, оптимальные условия перевода в H-форму, температуру обработки) модифицированных оксидов состава Li-Fe-Ti и Li-Zr-Ti;
- методами РФА, ИК-спектроскопии, ДТА-ТГ, адсорбции-десорбции азота, СЭМ изучены кристаллическая структура, фазовый и химический состав, морфология и текстурные характеристики полученных адсорбентов;
- определены взаимосвязь между структурно-фазовой организацией модифицированных оксидов Li-Fe-Ti и Li-Zr-Ti их адсорбционными и эксплуатационными характеристиками.

Работа выполнена в рамках совместного Узбекско-Белорусского проекта «Разработка адсорбентов на основе оксидов лития-титана допированных ионами многовалентных металлов» (№X23UZBG-058 и FL-7923051739).

Список литературы

1. Andrei Ivanets, Ekaterina Bicheva, Vladimir Prozorovich, Tatyana Kouznetsova, Ahmad Hosseini-Bandegharai, Meruyert Keikimanova, Xintai Su, Olim Ruzimuradov. Effect of Fe³⁺ ions doping on adsorption efficiency of Li₄Ti₅O₁₂ and Li₂TiO₃ oxides towards Li⁺ ion. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2025, 705, 135605. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.135605>.
2. Andrei Ivanets, Ekaterina Bicheva, Tatiana Kouznetsova, Felipe de J. Silerio-Vázquez, Bigamila Torsykbayeva, Ahmad Hosseini-Bandegharai, Enhanced adsorption of Li⁺ ion on Zr-doped Li₄Ti₅O₁₂ and Li₂TiO₃ oxides, Separation and Purification Technology, 2025, 374, 133645, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2025.133645>.

ГИБРИДНЫЕ БИОКАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ КЛЕТОК МИКРООРГАНИЗМОВ И КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ЭКОЛОГИИ И КАТАЛИЗЕ

О. А. Каманина, П. В. Рыбочкин

Тульский государственный университет,
Российская Федерация, o.a.kamanina@gmail.com

Использование живых клеток микроорганизмов в сочетании с золь-гель технологией позволяет получить гибридные биоматериалы. Клетки, покрытые защитной оболочкой или

встроенные в неорганический матрикс, являются отличными стабильными «живыми материалами», которые могут быть использованы для нужд экологии, биомедицины и катализа. Микроорганизмы способны потреблять и окислять широкий спектр органических веществ, что может позволить распознавать загрязнения низшими спиртами, сахарами и аминокислотами в водоемах, а также очищать воду. В работе гетерогенный биокатализатор получен путем иммобилизации клеток бактерий *Paracoccus yeei* ВКМ В-3302 в кремнийорганический материал золь-гель методом. Гетерогенный биокатализатор был использован, как биорецепторный элемент биосенсора. Полученный биокатализатор продемонстрировал высокую чувствительность при определении индекса биохимического потребления кислорода (БПК) в реальных образцах поверхностных вод с коэффициентом чувствительности $(50 \pm 3) \times 10^{-3} \text{ мин}^{-1}$, диапазоном определения БПК 0,3–31 мгО₂/л и долговременной стабильностью в течение 25 дней. Эти результаты демонстрируют потенциал разработанного гибридного биокатализатора для эффективного мониторинга загрязнения.

Кроме того, показано, что бактерии *Paracoccus yeei* ВКМ В-3302 способны формировать и стабилизировать наноразмерные формы палладия [1], что можно использовать для получения биогибридного катализатора Pd/P. *yeei* для реакций кросс-сочетания. Однако при повторном использовании катализатора в течении пяти циклов происходит вымывание 23 % палладия. Для нивелирования этого процесса клетки с наночастицами палладия инкапсулировали в кремнийорганический материал на основе метилтриэтоксисилана и тетраэтоксисилана. Внедрение Pd/P. *yeei* в кремнийорганический материал увеличило срок службы катализатора, сохранение активности наблюдали в течение 10 последовательных циклов, при этом потеря металла составляет 13 %.

Таким образом, разработанный гибридный биокатализатор на основе бактерий *Paracoccus yeei*, иммобилизованных в кремнийорганический материал может быть использован в экологическом мониторинге и катализе.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-73-10013, <https://rscf.ru/project/24-73-10013/>.

Список литературы

1. Kamanina, O. A. et al. Sustainable catalysts in a short time: harnessing bacteria for swift palladium nanoparticle production // *Nanoscale*. 2025. 17(9):5289-5300. DOI 10.1039/D4NR03661A.

ВЛИЯНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОБОЛОЧКИ SiO₂ НА ПОВЕРХНОСТИ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ТИТАНА РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА НА ИХ БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ В ОТНОШЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

А. С. Коваленко¹, Г. Г. Панова², О. Р. Удалова², А. М. Николаев¹, С. В. Мякин³,
А. А. Синельников, О. А. Шилова^{1,3}

¹Филиал НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИХС,
Российская Федерация, anastasiya.bychk@yandex.ru, floijan@gmail.com, olgashilova@bk.ru;

²Агрофизический научно-исследовательский институт,
Российская Федерация, gaiane@inbox.ru;

³Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
Российская Федерация, sergey_mjakin@mail.ru

Водные суспензии фотокаталитически активных наночастиц TiO₂ успешно используются для обработки семян важных сельскохозяйственных культур. Ранее нами было

установлено положительное влияние водных суспензий TiO_2 на всхожесть семян и ростовые характеристики проростков белокочанной капусты [1]. При этом важно выбрать оптимальные составы и концентрации суспензий, чтобы не угнетать, а только стимулировать рост и развитие растений [1]. Для этого в ряде случаев полезно пассивировать поверхность TiO_2 функциональной оболочкой. В данной работе для предпосевной обработки семян кресс-салата сорта Ажур, белокочанной капусты сорта Ренса де Ровоа, ярового ячменя сорта Ленинградский были использованы водные суспензии наночастиц TiO_2 , поверхность которых модифицирована обработкой в кремнезоле посредством золь-гель метода. Формирование частиц со структурой «ядро-оболочка» $\text{TiO}_2@\text{SiO}_2$ было подтверждено методами просвечивающей электронной микроскопии и ИК-спектроскопии [2]. Результаты экспериментов по проращиванию семян, обработанных водными суспензиями исследуемых частиц $\text{TiO}_2@\text{SiO}_2$ в различных концентрациях (0,0001-1 мг/л), в сравнении с использованием аналогичных суспензий частиц TiO_2 без оболочек кремнезема, показали, что в случае кресс-салата и белокочанной капусты формирование структуры $\text{TiO}_2@\text{SiO}_2$ приводит к повышению всхожести, длины ростков и длины корней по сравнению с контрольными семенами и семенами, обработанными суспензиями наночастиц TiO_2 без оболочки. Напротив, в случае ячменя формирование оболочки SiO_2 привело к снижению всех показателей по сравнению с использованием TiO_2 без функциональной оболочки. Полученный результат свидетельствует о необходимости индивидуального подхода к каждому виду и даже сорту растений.

Список литературы

1. Khamova T. V., Kopitsa G. P., Nikolaev A. M., Kovalenko A. S. et al. The structure and properties of TiO_2 nanopowders for use in agricultural technologies // *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2021. V. 11. № 4. P. 12285–12300. <https://doi.org/10.33263/BRIAC114.1228512300>.
2. Shilova O. A., Kovalenko A. S., Nikolaev A. M. et al. Surface and photocatalytic properties of sol-gel derived $\text{TiO}_2@\text{SiO}_2$ core-shell nanoparticles // *J Sol-Gel Sci Technol*. 2023. V. 108. P. 263–273. <https://doi.org/10.1007/s10971-022-05943-510>.

АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПОКРЫТИЯ

Д. Л. Коваленко¹, В. В. Васькевич¹, В. Е. Гайшун¹, Я. А. Косенок¹, Д. Ж. Бекчанов²

¹Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь, dkov@gsu.by;

²Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека,
Республика Узбекистан, bekchanovdj@gmail.com

Современные антибактериальные покрытия представляют собой материалы, содержащие вещества, которые предотвращают или замедляют рост и размножение бактерий. Они широко применяются в различных областях, включая медицину, строительство, производство товаров для дома и пищевую промышленность, для обеспечения гигиеничности и предотвращения распространения инфекций.

Золь-гель технология позволяет создавать покрытия с хорошей адгезией к различным материалам, высокой однородностью, и возможностью контролировать их свойства. Кроме того, золь-гель покрытия могут быть нанесены на сложные поверхности и иметь различную толщину. Разрабатываемые антибактериальные композиционные золь-гель покрытия содержат в своей структуре антимикробные компоненты, такие как наночастицы серебра, оксиды металлов с антимикробной активностью и органические соединения с антибактериальными свойствами.

Для получения композиционных покрытий с хорошей пластичностью и адгезией к различным поверхностям необходимо использовать гибридные составы, в которых совместно с традиционными кремниевыми составляющими используются органические соединения других металлов, например титана или циркония. Также важную роль имеет правильный выбор растворителя и катализатора. Как показывают предыдущие исследования использования правильного растворителя позволят получать покрытия, обладающие необходимой вязкостью и адгезией к используемым подложкам [1–3].

Пленкообразующий раствор готовят использованием методики совместного гидролиза, когда все основные органические соединения веществ смешиваются в одной емкости с растворителем и водой. Или методики раздельного гидролиза, когда каждое соединения отдельно гидролизуются, а уже после созревания смешивается. После созревания в готовые растворы были добавлены наноразмерный оксид титана в концентрации до 30 масс.%, наночастицы металлов в концентрациях от 3 до 10 масс.% и соединения с антибактериальными свойствами до 2 масс.%.

Готовые растворы наносили методом распыления по всей поверхности равномерным слоем на прямоугольные подложки (размером 10×5 см) и кружки (диаметром 3 см) из алюминиевого сплава 1105АМ.

На завершающем этапе термическая обработка приводит к разложению промежуточных продуктов гидролиза и полному удалению остатков растворителя и органических веществ. Сушка проводится поэтапно: в начальный период (при интенсивном испарении растворителя) при температуре (60–100) °С в течение 20–30 минут (скорость нагрева ≈ 5 °С в минуту), затем при температуре (200–250) °С в течение 30–60 минут (скорость нагрева ≈ 10 °С в минуту). Толщина полученных композиционных покрытий варьируется от 12 мкм до 26 мкм и зависит концентрации оксида титана и наночастиц металлов.

Исследования адгезионных свойств проводили согласно ГОСТ 31149-2014 методом решетчатого надреза. Результаты испытания показывают, что все покрытия имеют самый высокий класс адгезии согласно ISO 2409:2013 – Класс 0 (края надрезов полностью гладкие; сегменты решетки не отслоились). Стоит отметить, что увеличение концентрации наполнителей не влияет на адгезионные свойства композиционных золь-гель покрытий.

Прочность полученных покрытий определяли с помощью карандаша ГОСТ Р 54586-2011 (ISO 15184:1998). Твердость покрытия варьировалась от 6В до 9Н.

Увеличение содержания наноразмерного оксида титана до 30 масс.% приводит к незначительному снижению твердость получаемых покрытий с 6Н (при концентрации 10 и 20 масс.%) до 5Н (при концентрации 30 масс.%). Увеличение концентрации наночастиц металлов и антибактериальных добавок не влияет на твердость получаемых материалов.

Методом рентгеноструктурного анализа показано, что на поверхности образуется покрытие со структурой титана обладающим фотокаталитическим эффектом. Ранее в работах [4–5] была показана эффективности данного материала при исследовании фотокаталитического эффекта разложения молекул красителя «Метиленовый синий».

Полученные покрытия могут использоваться для защиты различных поверхностей от бактериального загрязнения, например, в медицинских устройствах, упаковке пищевых продуктов, строительных материалах и других областях.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Т25УЗБ-112), министерства инновационного развития Республики Узбекистан и государственной программы научных исследований Республики Беларусь «Материаловедение, новые материалы и технологии» задания 4.1.1 и 4.1.6.

Список литературы

1. Защитные золь-гель покрытия с гидрофобными свойствами / В. В. Васькевич, В. Е. Гайшун, Д. Л. Коваленко, В. В. Сидский // Проблемы физики, математики и техники. – 2011. – №3 (8). – С. 15–19.

2. Формирование и исследование свойств золь-гель покрытий, предназначенных для модификации поверхности полимерных материалов / В. В. Васькевич, В. В. Сидский, А. В. Семченко, В. Е. Гайшун, Д. Л. Коваленко, А. А. Бойко, А. А. Алексеенко // Полимерные материалы и технологии. – 2019. – №4(4). – С. 64-70.

3. Effect of graphene on mechanical and anti-corrosion properties of TiO₂-SiO₂ sol-gel coating / D. L. Kovalenko, V. Uong Van, V. P. Mac, T. V. Nguyen, L. Pham Thi, T. A. Nguyen, V. E. Gaishun, V. V. Vaskevich, and D. L. Tran // Anti-Corrosion Methods and Materials, 2024, – Vol. 71. – №. 6. – pp. 820-830. (<https://doi.org/10.1108/ACMM-05-2024-3023>).

4. Наноструктурированные фотокаталитические золь-гель покрытия на основе титана / В. В. Васькевич, Д. Л. Коваленко, А. В. Семченко, В. В. Сидский, М. А. Ковалевич // Проблемы физики, математики и техники. – 2011. – №4 (25). – С. 7–10.

5. TiO₂ Sol–Gel Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications / D. Kovalenko, V. Gaishun, V. Vaskevich, A. Semchenko, O. Ruzimuradov // Titanium Dioxide-Based Multifunctional Hybrid Nanomaterials: Application on Health, Energy and Environment. –Springer, 2025. – P. 55–72.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ИОНОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИОННОЙ ЖИДКОСТИ ОМІМ ВF₄ И МЕЗОПОРИСТОГО SiO₂ МЕТОДОМ МУРР

**Г. П. Копица¹, С. Ю. Котцов², А. Е. Баранчиков², А. А. Павлова¹,
А. О. Бадулина^{2,3}, Ю. Е. Горшкова⁴, Н. А. Селиванов², Т. В. Хамова⁵,
Н. П. Симоненко², М. Е. Никифорова², В. К. Иванов²**

¹*Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова –
НИЦ «Курчатовский институт», Российская Федерация;*

²*Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН,
Российская Федерация, n_simonenko@mail.ru;*

³*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Российская Федерация;*

⁴*Лаборатория Нейтронной Физики им. И. М. Франка,*

Объединенный Институт Ядерных Исследований, Российская Федерация;

⁵*Филиал НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИХС, Российская Федерация*

Ионогели – новый класс гибридных материалов, содержащих в себе ионную жидкость (ИЖ), иммобилизованную в твердой матрице. ИЖ – расплавы органических солей, состоящие из пространственно-изолированных органических катионов и неорганических или органических анионов. ИЖ обладают уникальными свойствами: низкая температура плавления, отсутствие давления насыщенных паров, высокая полярность и электропроводность, химическая и термическая устойчивость, широкое окно электрохимической стабильности, негорючесть. Большое внимание привлекают ионогели с использованием матриц на основе SiO₂, из-за простоты их производства и широкого спектра применения: от создания суперконденсаторов и биосенсоров до доставки лекарств. Влияние самоорганизации ИЖ в ограниченном пространстве матрицы на морфологию и структуру получаемых ионогелей вызывает наибольший интерес.

В настоящей работе для получения ионогелей в качестве ИЖ использовали тетрафторборид 3-октил-1-метилимидазолия (ОМІМ ВF₄). Было синтезировано два типа ионогелей: физические (ИЖ, доведенная до гелеобразного состояния не связанными друг с другом частицами загустителя) [1] и химические (ИЖ, иммобилизованная в открытой трехмерной пористой матрице).

Для физических ионогелей в качестве матрицы использовали Аэросил А380 (порошок SiO₂ с размером первичных частиц ~7 нм и удельной поверхностью 380 м²/г), который добавляли

к определенной массе ИЖ и 2.5 мл изопропанола, после чего перемешивали, оставляли на двое суток при комнатной температуре, а затем сушили при 70°C на открытом воздухе в течение суток.

Для ионогелей с химической связью частиц матрицы в качестве источника SiO₂ использовали тетраэтоксисилана, который добавляли к ИЖ и изопропанолу, а затем гелировали добавлением 1.5 % водного раствора аммиака. После получения образцы выдерживали одни сутки для гелирования, а затем сушили аналогично ионогелям физической серии. Масса матрицы по SiO₂ фиксировалась равной 60 мг для всех образцов. Таким образом, были получены две серии образцов содержание ИЖ в которых варьировалось от 16,3 до 79,9 мол.%. Об удержании ИЖ в кремнеземе свидетельствовало смещение и уширение сигнала ЯМР BF₄⁻ ¹⁹F, а также заметное (~50 °C) снижение температуры разложения ИЖ. Для ионогелей и чистой ИЖ частоты ИК-колебаний различались, что подтверждает эффект удержания ИЖ в матрице SiO₂.

В ходе исследований были обнаружены резкие изменения в структуре OMIM BF₄ как при ее смешивании, так и при иммобилизации в матрицу SiO₂. Анализ текстурных характеристик показал, что ИЖ последовательно адсорбируется в микропорах, мезопорах и в межчастичном пространстве SiO₂. Взаимодействие ИЖ с поверхностью кремнезема, скорее всего, обусловлено адсорбцией аниона BF₄⁻. Данные МУРП позволили проследить структурные различия в физических и химических ионогелях с различным содержанием ИЖ. Важно отметить, что полученные данные показали, что в физических ионогелях структура твердой фазы практически не меняется при заполнении ИЖ, а структура ИЖ наоборот, что проявилось в ≈ 20 % изменении длины корреляций ξ анион–алкил–анион (рисунок 1). В случае химических ионогелей наблюдается как изменение структуры твердой фазы, так и увеличение длины корреляций ξ на ≈ 30 % (рисунок 1).

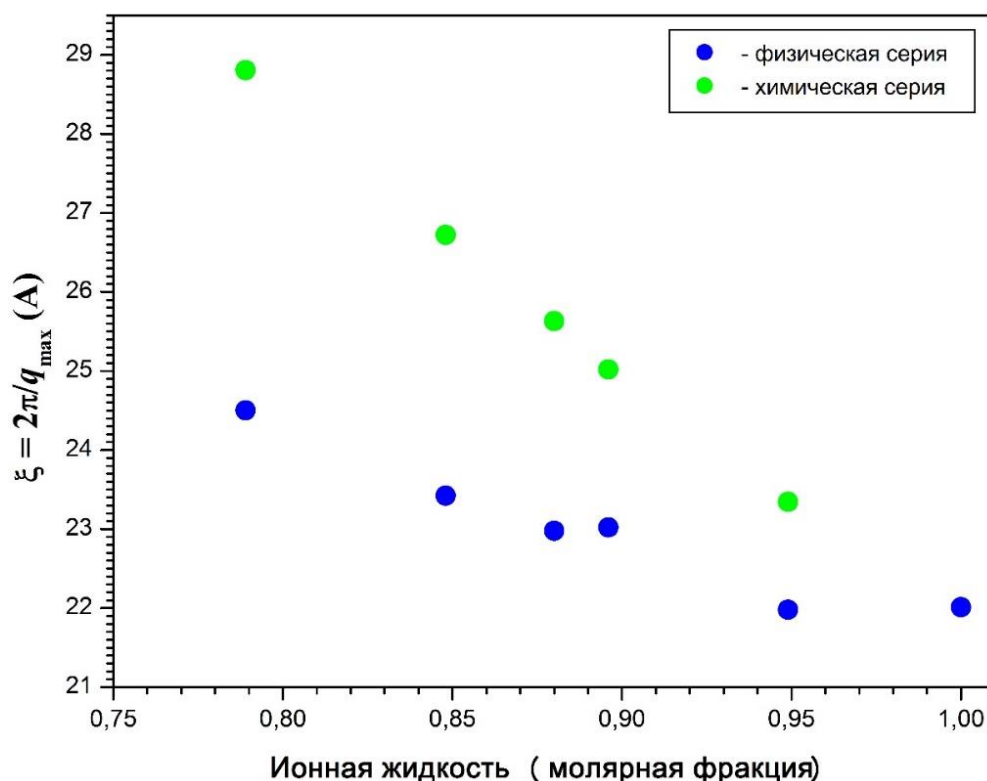


Рисунок 1 – Длина корреляций анион–алкил–анион $\xi = 2\pi/q_{\max}$ для OMIM-BF₄@SiO₂ ионогелей с разным содержанием ионной жидкости

Работа выполнена при поддержке Российским научным фондом (проект 23-73-00028).

Список литературы

1. Kottsov S. Yu., Kopitsa G.P., Baranchikov A.E. et al. Structural Insight into Ionogels: A Case Study of 1-Methyl-3-octyl-imidazolium Tetrafluoroborate Confined in Aerosil. *Langmuir*, 2024, vol. 40, N. 44. DOI: 10.1021/acs.langmuir.4c03162.

СИНТЕЗ СИЛИКАГЕЛЕЙ С ТОПОЛОГИЕЙ МЕЗОПОР, УПРАВЛЯЕМОЙ ДВУМЯ ПРЕКУРСОРАМИ ОКСИДА КРЕМНИЯ(IV) РАЗНОЙ ПРИРОДЫ

Е. А. Копыш¹, Т. Ф. Кузнецова¹, И. Д. Эшметов², А. Б. Абдикамалова², А. И. Иванец¹

¹*Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси,
Республики Беларусь, liza_kopusch@mail.ru;*

²*Институт общей и неорганической химии АН Республики Узбекистан*

Пористые материалы с высокой удельной поверхностью и наноструктурной морфологией востребованы в гетерогенном катализе, адсорбции, сепарации, хранении газа и сенсорных технологиях. Однако из-за ограниченного количества активных центров на чистой кремнеземной поверхности их применение в химических реакциях ограничено. Отсюда возникает необходимость включения активных центров в кремнеземный каркас для расширения их применения в катализе и других областях. Симбиоз активных центров и наночастиц с мезопористым носителем может потенциально создать высокоэффективный и надежный гетерогенный катализатор Фентона. Полученный композитный материал способен использовать адсорбционные возможности носителя и каталитические свойства активных наночастиц, предлагая многообещающие решения для разложения стойких органических красителей в сточных водах.

Пористый оксид кремния(IV) обычно получают из тетраэтилортосиликата (TEOS) или метасиликата натрия (Na_2SiO_3) в качестве предшественников оксида кремния. Однако TEOS является дорогим и чувствительным к влаге реагентом, в то время как Na_2SiO_3 , часто производимый путем сплавления кварцевого песка и карбоната щелочного металла, требует большого количества энергии для его изготовления, что увеличивает стоимость кремнезема. В связи с этим возможно также использование альтернативного сырья для изготовления адсорбентов на основе оксида кремния(IV), компенсирующее экономические и экологические недостатки их промышленных аналогов. Так, аморфный оксид кремния(IV) может быть легко экстрагирован из золы рисовой шелухи и получен золь-гель методом при pH от 3 до 10 [1]. При этом такие характеристики пор, как размер, объем и топология, могут быть адаптированы во время осаждения с помощью сурфактантов, используемых в качестве темплатов, направляющих структуру пор в условиях совместной самосборки с прекурсорами оксида кремния(IV). С помощью этой методики получено большое разнообразие кремнеземов с различными топологиями мезопор, такими как 2D-гексагональная (SBA-15, MCM-41), 3D-биконтинуальная кубическая (MCM-48, KIT-6, SBA-16), 3D-ячеистая (SBA-11, KIT-5) и пластинчатая (MCM-50) [2].

В данной работе в качестве мезопористых носителей и гетерогенных катализаторов Фентона использовали комбинированные силикатные мезофазы SBA-15 и $\text{Fe}@SBA-15$. И те, и другие получали методом осаждения в периодическом режиме, комбинируя золь-гель метод, метод Штёбера и метод алкоксидного осаждения, при этом в случае железосодержащих мезофаз дополнительно проводили осаждение через коагель, основанное на взаимодействии щелочного силиката с легко гидролизующейся солью металла. Применяли метасиликат натрия (MS) в качестве безопасного и биоразлагаемого источника кремния и тетраэтоксисилан (TEOS) для улучшения олигомеризации и полимеризации SiO_2 .

Гидролиз и конденсация алкоксида кремния выражаются следующими тремя уравнениями:

Гидролиз: $\equiv \text{Si-OR} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \equiv \text{Si-OH} + \text{ROH}$ (a)

Конденсация спирта: $\equiv \text{Si-OR} + \text{HO-Si} \equiv \rightarrow \equiv \text{Si-O-Si} \equiv + \text{ROH}$ (b)

Конденсация воды: $\equiv \text{Si-OH} + \text{HO-Si} \equiv \rightarrow \equiv \text{Si-O-Si} \equiv + \text{H}_2\text{O}$ (c)

Для контроля скорости конденсации, значения pH раствора и содержания натрия использовали гидрат аммиака, а для промывания осадка – сульфат аммония. Синтез основывался на реакциях гидролиза и конденсации, которые проводили при энергичном перемешивании с последующим выдерживанием растворов в течение 3 ч при температуре 80°C, что способствовало улучшению стабильности суспензии и предотвращению осаждения. Полученные сферические наночастицы кремнезема прокачивали при 650°C в течение 2 ч. Образцы были исчерпывающе охарактеризованы методами низкотемпературной адсорбции азота, Фурье-ИК-спектроскопии и рентгеновской дифракции в малых углах (таблица 1).

Таблица 1 – Энергетическая константа C_{BET} , удельная поверхность, удельный объем и средний диаметр пор комбинированных силикатных мезофаз SBA-15, рассчитанные из изотерм низкотемпературной адсорбции-десорбции азота, по BET (a, b, e, i), BJH (c,f,g), Гурвичу (d), NLDFT (h) и сравнительному t-графику (b)

<i>MS/TEOS</i> , мол. %	A_{BET} , м ² /г	A_{ext} , м ² /г	A_{BJH} <i>Des</i> , м ² /г	V_{sp} <i>Des</i> , см ³ /г	V_{BJH} <i>Des</i> , см ³ /г	$D_{\text{sp Des}}$ 4V/A, по BET, нм	$D_{\text{BJH Des}}$ 4V/A, нм	A_{NLDFT} , м ² /г	C_{BET}
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>
0/100	927	1 303	552	0,87	1,00	4,4	4,4	1 090	42
25/75	710	850	798	0,65	0,75	3,6	3,8	1 193	51
50/50	868	1 181	388	0,56	0,34	2,6	3,5	1 011	39
75/25	680	864	612	0,54	0,51	3,2	3,3	947	46
100/0	796	934	906	0,73	0,59	3,2	4,2	1 208	58

Работа выполнена в рамках договора с БРФФИ № X25Y3Б-096.

Список литературы

1. Abide E. R., Tres M. V., Zobot G. L., Mazutti M. A. Reasons for processing of rice coproducts: reality and expectations // Biomass Bioenergy. 2019. V. 120. P.240-256. DOI 10.1016/j.biombioe.2018.11.032.
2. Sanz-Perez E. S., Arencibia A., Calleja G., Sanz R. Tuning the textural properties of HMS mesoporous silica. Functionalization towards CO₂ adsorption // Microporous Mesoporous Mater. 2018. V. 260. P. 235-244. DOI 10.1016/j.micromeso.2017.10.038.

НОВЫЕ ЭКСТРАГЕНТЫ ИОНОВ D- И F-ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ИОНОГЕЛЕЙ

С. Ю. Котцов, А. Е. Баранчиков, В. К. Иванов

*Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН,
Российская Федерация, sergey12-17@yandex.ru*

Ионные жидкости (ИЖ) – это органические соли с температурой плавления ниже 100 °С. ИЖ отличаются электропроводностью, нелетучестью, высокими химической, электрохимической и термической стабильностью, обладают отличными сольватными характеристиками. Благодаря своим свойствам ИЖ находят широкое применение в электрохимии, в качестве растворителей и катализаторов, в качестве адгезивов и лубрикантов. В промышленности ИЖ наиболее часто используются для экстракции различных веществ, в т. ч. ионов металлов из водных растворов. Однако, экстрагенты на основе ионных жидкостей обладают рядом существенных недостатков, таких как высокая вязкость, склонность к эмульсификации, частичная растворимость этих дорогостоящих и часто токсичных веществ в экстракционных растворах.

Одним из наиболее эффективных способов борьбы с недостатками ИЖ для экстракции является их заключение внутри твердой пористой матрицы т.е. получение ионогелей. Работа посвящена созданию физико-химических основ конструирования эффективных экстрагентов d- и f- элементов из водных растворов материалами на основе ионогелей.

На первом этапе работы была разработана методика оценки интенсивности эффектов пространственного ограничения ИЖ в порах твердой матрицы, способных оказывать существенное влияние на все функциональные свойства ионогелей, при помощи доступных лабораторных методов: колебательной и ЯМР спектроскопии, ТГА и рентгеновской дифракции.

Далее был проведен анализ стабильности ионогелей в водной среде. Для этого была разработана методика, основанная на кондуктометрии водной фазы, в которую погружен ионогель. Разработанная методика была верифицирована данными ВЭЖХ ($R^2_{\text{ВЭЖХ, кондуктометрия}} = 0.99$), определены ее основные погрешности. Измерения показали, что ионогели нестабильны в водной среде и теряют вплоть до 99 % ИЖ за одни сутки. Однако варьирование состава ионогелей (использование гидрофобных ИЖ и матрицы, максимизация доли матрицы) и метода их получения позволило получить стабильные в водной среде ионогели, сохраняющие до 86 % ИЖ спустя одни сутки.

Полученные результаты, а также критический анализ методов получения ионогелей, позволили получить ионогель коммерчески-важной ИЖ Aliquat336 (хлорид три(октил/децил)метиламмония) путем гелирования смеси ИЖ с алкоксидами кремния (тетраметоксисилан и метилтриметоксисилан). Полученные ионогели оказались эффективными экстрагентами ионов Fe^{3+} из водных растворов. Обнаружено, что эффективность экстракции (57–70 %) и реэкстракции (15–45 %) железа ионогелями возрастала с увеличением доли ИЖ и гидрофильности матрицы. Измерения кинетики экстракции ($t_{50} \% \sim 6\text{ч}$) и реэкстракции ($t_{50} \% \sim 12\text{ч}$) показали возможность практического применения полученных экстрагентов. Впервые было показано влияние матрицы на механизм экстракции: было обнаружено прямое связывание матрицы с железом (формирование Fe-O-Si связей), а также формирование в процессе экстракции не только известного из литературы комплекса $\text{A336}[\text{FeCl}_4]$, но и $\text{A336}[\text{Fe}_2\text{Cl}_7]$ и $\text{A336}[\text{Fe}^{\text{II}}\text{Cl}_3]$. Возможность восстановления ионов железа препятствовала повторному использованию экстрагентов т.к. приводила к закупорке пор ионогеля осадком $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Формирование этого осадка могло быть подавлено путем выдерживания ионогелей в хлоридной среде после стадии реэкстракции.

Замена SiO_2 матрицы на инертную матрицу высокопористого полипропилена позволила предотвратить восстановление ионов железа. При экстракции ионогелями полипропилена

всегда проходила с образованием комплекса $A336[FeCl_4]$, позволяя получить пригодные для повторного использования ионогели. Установлено, что интенсивность эффектов пространственного ограничения в ионогелях обратно коррелирует с эффективностью этих экстрагентов.

Наконец, показана возможность экстракции РЗЭ ионогелями SiO_2 с бифункциональной ИЖ $TOA:H^+D_2ЭГФК$ (трикотиламмония (ди-2-этилгексил)фосфат). Установлен катионионообменный механизм реакции. Показана возможность экстракции Y вплоть до соотношения $Y:ИЖ = 1:1$, достигнута рекордная для ионогелей скорость экстракции: Y^{III} количественно извлекался из 1 мМ раствора за 20 минут ($k_2 = 8 \pm 1 \cdot 10^2$ моль $^{-1} \cdot c^{-1}$).

Таким образом, в ходе работы были разработаны подходы к конструированию эффективных экстрагентов на основе SiO_2 и полимерных ионогелей для экстракции d-элементов и РЗЭ из водных растворов.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект РНФ 23-73-00028) и Министерства Науки и Высшего Образования России (соглашение 075-15-2024-534).

Список литературы

1. Kottsov S.Y. и др. Structural insight into ionogels: a case study of 1-methyl-3-octylimidazolium tetrafluoroborate confined in aerosil // *Langmuir*. 2024. Т. 40, № 45. С. 23962–23972. DOI: 10.1021/acs.langmuir.4c03162.
2. Kottsov S.Y. и др. Ionogels in aqueous media: from conductometric probing of the ionic liquid washout to the design of more stable materials // *ChemEngineering*. 2024. Т. 8, № 6. С. 111. DOI: 10.3390/chemengineering8060111.
3. Kottsov S.Y. и др. Aliquat 336@ sio_2 ionogels: synthesis of, and insight into, iron(iii) extraction mechanisms // *J. Mol. Liq.* 2024. Т. 399. С. 124354. DOI: 10.1016/j.molliq.2024.124354.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКИХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ФТОРЛЕГИРОВАННЫХ ПЛЕНОК SnO_2 ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ОПТО- И МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

А. И. Кушакова^{1,2}, А. С. Коваленко¹, А. М. Николаев¹, Е. А. Бондарь³, О. А. Шилова^{1,2}

¹Филиал НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИХС,
Российская Федерация, anastasia.kushakova@mail.ru, anastasiya.bychk@yandex.ru,
floijan@gmail.com, olgashilova@bk.ru;

²Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет), Российская Федерация;

³Физико-технический институт, Satbayev University,
Республика Казахстан, bondar@sci.kz

Диоксид олова (SnO_2) – один из наиболее перспективных материалов для прозрачных электропроводящих плёнок, востребованных в электронике и фотонике, благодаря высокой прозрачности, электропроводности и химической стабильности. Он широко применяется в солнечных элементах, дисплеях и сенсорах [1]. Фторирование SnO_2 -плёнок, особенно полученных золь-гель методом, позволяет дополнительно снизить сопротивление и повысить концентрацию носителей заряда, улучшая их электронные свойства. Это делает SnO_2 -плёнки актуальными для современных оптоэлектронных устройств [2]. Однако при этом возникает проблема сохранения высокой прозрачности пленок.

Целью данного исследования является изучение влияния условий синтеза фторированных тонких пленок SnO_2 , полученных золь-гель методом, на их прозрачность, морфологию и электропроводность.

Тонкие пленки получали золь-гель методом, используя $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и NH_4F в качестве прекурсоров. Три фактора, характеризующие условия синтеза, варьировали на 3-х уровнях – А, В, С (таблица 1). Золь наносили на стеклянную подложку методом спин-коатинга, затем высушивали при комнатной температуре. Термообработка проводилась при 450°C , что способствовало формированию кристаллической структуры и улучшению проводимости пленок [3].

Таблица 1 – Планирование эксперимента по методу латинского квадрата

Фактор В: количество фтора, ат.%	Фактор А: тип органического растворителя		
	А1 – этанол	А2 – бутанол-1	А3 – изопропанол
В1 – 5	С1 – 10 слоев (№1)	С3 – 20 слоев (№2)	С2 – 15 слоев (№3)
В2 – 10	С2 – 15 слоев (№4)	С1 – 10 слоев (№5)	С3 – 20 слоев (№6)
В3 – 15	С3 – 20 слоев (№7)	С2 – 15 слоев (№8)	С1 – 10 слоев (№9)

Прозрачность пленок оценивали с помощью УФ-спектрометрии (таблица 2). Пленки обладали прозрачностью в видимой области от 70 до 86 %. Пленки, изготовленные с использованием этилового спирта и минимальным количеством фтора, продемонстрировали наилучшую прозрачность в видимой области (86 %). Это связано с изменением микроструктуры материала.

Таблица 2 – Прозрачность тонких пленок $\text{SnO}_2\text{-F}$

Количество фтора, ат.%	Тип органического растворителя		
	этанол	бутанол-1	изопропанол
5	86% (№1)	80% (№2)	76% (№3)
10	86% (№4)	83% (№5)	77% (№6)
15	75% (№7)	77% (№8)	68% (№9)

Исследование морфологии пленок визуально (невооруженным глазом) и с помощью оптического микроскопа (рисунок 1) выявило, что пленки имеют гладкую и однородную поверхность с минимальным количеством дефектов. Увеличение содержания в пленках фтора приводит к увеличению количества кристаллов в них.

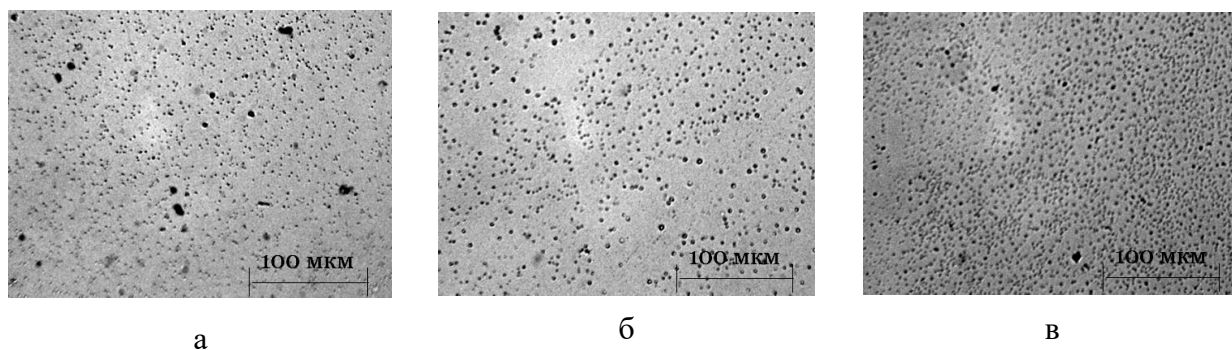


Рисунок 1 – Морфология тонких пленок $\text{SnO}_2\text{-F}$, полученных из пленкообразующих растворов на основе этилового спирта. Позиция в квадрате: а – 1, б – 4, в – 7.

Удельное поверхностное электрическое сопротивление полученных пленок исследовали четырехзондовым методом с использованием циклической вольтамперометрии. Удельное

поверхностное электрическое сопротивление исследуемых пленок варьировалось от $3 \cdot 10^9$ до $14 \cdot 10^{10}$ Ом/квadrat (таблица 3). Наименьшее удельное сопротивление ($3 \cdot 10^9$ Ом/квadrat) было зафиксировано у пленки, полученной из золя на основе изопропилового спирта, с максимальным содержанием F и при наибольшем количестве слоев (№ 6 в таблице 1). Пленки на основе бутилового спирта обладали сопротивлениями, близкими к показателям стеклянной подложки без покрытия.

Таблица 3 – Удельное поверхностное электрическое сопротивление тонких пленок SnO₂-F

Количество фтора, ат. %	Тип органического растворителя		
	этанол	бутанол-1	изопропанол
5	$14,0 \cdot 10^{10}$ (№1)	∞ (№2)	$2,0 \cdot 10^{10}$ (№3)
10	$13,3 \cdot 10^{10}$ (№4)	∞ (№5)	$0,3 \cdot 10^{10}$ (№6)
15	$4,7 \cdot 10^{10}$ (№7)	∞ (№8)	$5,6 \cdot 10^{10}$ (№9)

Проведённое исследование показало, что условия синтеза существенно влияют на свойства фторированных плёнок SnO₂, полученных методом золь-гель. Наилучшие оптические и электрические характеристики продемонстрировали плёнки, изготовленные с использованием изопропилового спирта и повышенного содержания фтора. Такие плёнки обладают высокой прозрачностью, однородной структурой и низким удельным сопротивлением, что делает их перспективными для применения в оптоэлектронных устройствах нового поколения.

Список литературы

1. Jiang L., Li Q., Li B., Guo S., Li S., Zhang X., Tang X. Efficient and stable perovskite solar cells via oxalic acid doped SnO₂ nanocrystals with surface-defect passivation // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2024. Vol. 702, P. 2, 135052. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.135052>.
2. Белоусов С. А., Носов А. А., Меньшикова Т. Г., Рембеза С. И. Электрофизические свойства металлооксидных пленок SnO₂, изготовленных по золь-гель технологии // Вестник ВГТУ. 2016. №2.
3. Adamczyk A, Brylewski T, Szymczak P. The Influence of Ag Addition and Different SiO₂ Precursors on the Structure of Silica Thin Films Synthesized by the Sol–Gel Method // Molecules. 2024. Vol. 29. No. 19. 4592. <https://doi.org/10.3390/molecules29194592>.

БИОГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ КЛЕТОК ДРОЖЖЕЙ И БАКТЕРИЙ В ГИДРОГЕЛЯХ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯТОВ КРЕМНИЯ И ТИТАНА

Д. Г. Лаврова¹, Е. С. Филиппова¹, А. Н. Звонарев²

¹Тульский государственный университет,
Российская Федерация, daria.g.lavrova@gmail.com, katya.filippova010197@gmail.com

²ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН»,
Российская Федерация, zvonairevibpm@gmail.com

Иммобилизация микроорганизмов с использованием методов золь-гель химии открывает широкие возможности для создания уникальных функциональных материалов с биокаталитической активностью, так называемых «живых» гибридных материалов. Однако традиционный подход к золь-гель синтезу, основанный на алкоксидах кремния или титана имеет некоторые ограничения. На поверхности микроорганизмов формируются плотные

и жесткие структуры, что может повредить клеточные мембраны из-за спиртовых растворителей и побочных продуктов синтеза, вызывая лизис клеток. Для преодоления этих проблем перспективным является использование исходных соединений, не содержащие цитотоксичных веществ – полиолов кремния и титана. Такой подход позволит значительно расширить спектр микроорганизмов для инкапсулирования и значительно расширить области применения подобных систем в различных сферах жизнедеятельности.

Для синтеза биогибридных материалов использовали полиэтиленгликоляты кремния (Si-ПЭГ) и титана (Ti-ПЭГ), синтезированные и любезно предоставленные для работы Институтом органического синтеза им. И. Я. Постовского Уральского отделения Российской академии наук, научной группой под руководством д.х.н. Хониной Т. Г. В результате гидролиза и поликонденсации таких соединений не выделяются токсичные низкомолекулярные спирты, ингибирующие активность некоторых биомакромолекул и живых клеток. Помимо этого, в среду в процессе гидролиза прекурсора выделяется полиэтиленгликоль (ПЭГ), который способен к пространственной самоорганизации в водных средах и выступает в качестве структуроуправляющего агента. Объектами иммобилизации служили метилотрофные дрожжи *Ogataea polymorpha* ВКМ Y-2559 и бактерии различного типа: *Rhodococcus erythropolis* ВКМ Ac-2532D и *Escherichia coli* MG1655.

Для полученных гидрогелей с использованием ИК-спектроскопии доказано формирование кремний- и титан-кислородных мостиков (Si-O-Si, Ti-O-Ti). КР-спектроскопия и термогравиметрический анализ показали, что основная часть гидрогелей представлена органическим полимером ПЭГ. Впервые показано, что при определенных условиях золь-гель синтеза вокруг клеток микроорганизмов образуется органо-неорганическая оболочка из полиолатных соединений кремния и титана. Однако при использовании Si-ПЭГ оболочка состоит из сферических частиц, а при Ti-ПЭГ – пленкообразного типа. Определение жизнеспособности инкапсулированных микроорганизмов показало, что для биогибридных материалов на основе Si-ПЭГ степень выживаемости составила около 70 %, Ti-ПЭГ – 50 %. Это может быть связано с токсичными эффектами диоксида титана, который образуется в результате золь-гель процесса. Разработанные биогибридные материалы могут быть использованы при разработке биочувствительных поверхностей и биокатализаторов для экологии, биотехнологии и медицины.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-24-20032, <https://rscf.ru/project/24-24-20032/> и правительства Тульской области.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АКТИВНОСТИ ПИЛЛАРОВАННЫХ БЕНТОНИТА И ЛАПОНИТА В РЕАКЦИЯХ ФОТО-ФЕНТОНА ОКИСЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ

Н. Н. Маматалиев, А. Б. Абдикамалова, М. Н. Машарипова

*Институт общей и неорганической химии,
Республика Узбекистан, tamataliyev@gmail.com; aziza.abdik@gmail.com;
mavjudamasharipova708@gmail.com*

Интеркалированные монтмориллонит (ММ) и лапонит (Л), модифицированные полиоксокатионами Cr^{3+} и $\text{Cr}^{3+} + \text{Al}^{3+}$, рассмотрены в качестве новых гетерогенных фотокатализаторов для удаления органических красителей из водных сред. Цель исследования – оценить влияние интеркалированных нанофаз на сорбционно-каталитические свойства материалов в модельных реакциях с красителями различной природы. Материалы получали путём гидролиза $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (и его смесей с AlCl_3) с последующей интеркалляцией (ИК) в суспензии ММ и Л.

Для тестирования фотокаталитической активности использовали красители: активный красный 6С, ализариновый жёлтый GG, ализариновый красный S и бриллиантовый зелёный – представители анионных и катионных хромофоров. Оптимальная контактная доза сорбента составляла 1 г/л, время выдержки – 120 мин. Облучение сочетало солнечный (видимый) и УФ-диапазоны, с добавлением 10 мМ H_2O_2 .

Результаты адсорбции показали, что ИК снижает отрицательный ζ -потенциал материала и формирует дополнительные положительные центры, обеспечивая эффективное захватывание как анионных, так и катионных красителей. Максимальная степень адсорбции красителей достигалась на образцах Cr-L2 (только Cr^{3+}) и Cr+Al-L2 ($\text{Cr}^{3+} + \text{Al}^{3+}$), указывая на синергизм ионного обмена и увеличенной удельной поверхности. Фотодеструкция красителей протекала в порядке: для активного красного 6С наибольшее падение пика при 510 нм наблюдалось в системе УФ+видимый свет+ H_2O_2 +Cr-L2; ализариновый жёлтый наиболее эффективно удалялся в условиях УФ+видимый свет+ H_2O_2 +Cr+Al-L2, благодаря усиленной адсорбции ионным смешиванием; ализариновый красный уступал по активности Cr-L2; бриллиантовый зелёный демонстрировал сравнимую эффективность, но преимущество сохранялось за Cr-L2. При отсуствии H_2O_2 или УФ-излучения деградация снижалась до 5-10 %.

Механизм включает три ключевых этапа: 1) предварительную сорбцию молекул красителя на положительно заряженной поверхности; 2) генерацию реакционноспособных радикалов ($\bullet\text{OH}$, $\bullet\text{O}_2^-$) на Cr-центрах под действием УФ и H_2O_2 ; 3) быстрый окислительный распад ближайших молекул загрязнителя. Добавление Al^{3+} улучшает адсорбцию анионных красителей, тогда как Cr^{3+} -полиоксокомплексы обеспечивают основную фотокаталитическую активность.

Таким образом, ИК Cr-модифицированные материалы демонстрируют высокую эффективность в удалении широкого спектра органических красителей за счёт сочетания увеличенной поверхности, изменённого поверхностного заряда и активного фотокатализа.

КСЕРОГЕЛЬ, ПОЛУЧЕННЫЙ СО-ПОЛИКОНДЕНСАЦИЕЙ TEOS И APTES

М. С. Михайлова^{1,2}, А. О. Возяков², Н. А. Медведева¹

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет;

²Публичное акционерное общество

«Пермская научно-производственная приборостроительная компания»,

Российская Федерация, maria.mkhlv@yandex.ru; al.vozyakov@gmail.com; nata-kladova@yandex.ru

В настоящее время актуальным и распространённым способом получения синтетического SiO_2 , который, например, используется для изготовления элементов преформы для вытяжки оптоволокна или оптических линз, является кислотный гидролиз тетраэтоксисилана (TEOS) по золь-гель методу, в ходе которого образуется трёхмерная сшитая сетка ксерогеля. С помощью данного метода есть возможность получать легированный диоксид кремния, вводя прекурсоры. Основной проблемой при введении прекурсоров бора в систему золь является образование летучей борной кислоты. В связи с этим для удержания бора используют γ -аминопропилтриэтоксисилан (APTES).

При со-поликонденсации TEOS и APTES (1.1, рисунок 1), последний участвует в реакции гидролизующейся частью, а аминопропиловым фрагментом удерживает бор. В следствие наличия одной части, не участвующей в поликонденсации, образуется более слабая структура, чем из TEOS [1]. При термообработке (атмосфера – кислород) полученных порошкообразных образцов наблюдалась сильная экзотермическая реакция. Данный процесс подтверждается ДСК и ТГА исследованиями: при температуре 227,4 °С наблюдается потеря массы образца на 37,77 %,

что обусловлено реакцией окисления органических веществ. Это в свою очередь приводит к разрыву связей кремний-кислородной в структуре и к уменьшению размеров частиц. Данная проблема решается заменой кислородной среды на азот, в которой проводится термообработка.

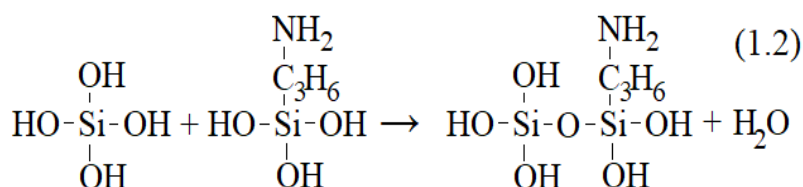
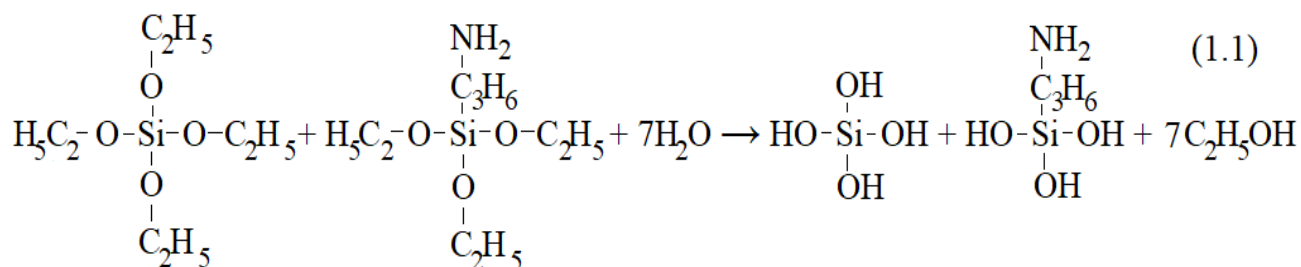


Рисунок 1 – Уравнения протекающих реакций гидролиза и со-поликонденсации TEOS и APTES

Список литературы

1. Pena-Alonso R. et al. Study of the hydrolysis and condensation of γ -Aminopropyltriethoxysilane by FT-IR spectroscopy // Journal of Materials Science. 2007. Vol. 42. P. 595-603. DOI: 10.1007/s10853-006-1138-9.

СИНТЕЗ И ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ОКСИДА ЦИНКА, ДЕКОРИРОВАННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ ПАЛЛАДИЯ

А. С. Мокрушин, И. А. Нагорнов, Н. П. Симоненко, Е. П. Симоненко

*Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН,
Российская Федерация, artyom.nano@gmail.com*

С использованием сольвотермального синтеза получены нанокompозиты ZnO/Pd содержащие 0.5-3.0 мол.% палладия и обладающие улучшенными газочувствительными свойствами при детектировании VOC's. Синтезированные порошки охарактеризованы с применением различных методов физико-химического анализа (DSC/TGA, XRD, SET/TEM, XPS). Показано, что на поверхности наночастиц ZnO (размером 40-50 нм) локализованы наночастицы палладия (диаметром 4–7 нм). По совокупным данным XRD и XPS установлено, что палладий находится в частично окисленном состоянии, нанокompозит имеет структуру близкую к «ядро@обложка»: Pd@PdO. Изучено влияние концентрации палладия в композите ZnO/Pd на комплекс хеморезистивных газочувствительных свойств (рисунок 1). Показано, что при температуре 250 °C полученные нанокompозиты демонстрируют высокий (до 57.8 отн.ед.) отклик на 100 ppb-20 ppm ацетона, что может быть использовано в составе сверхчувствительных устройств для неинвазивной диагностики заболеваний.

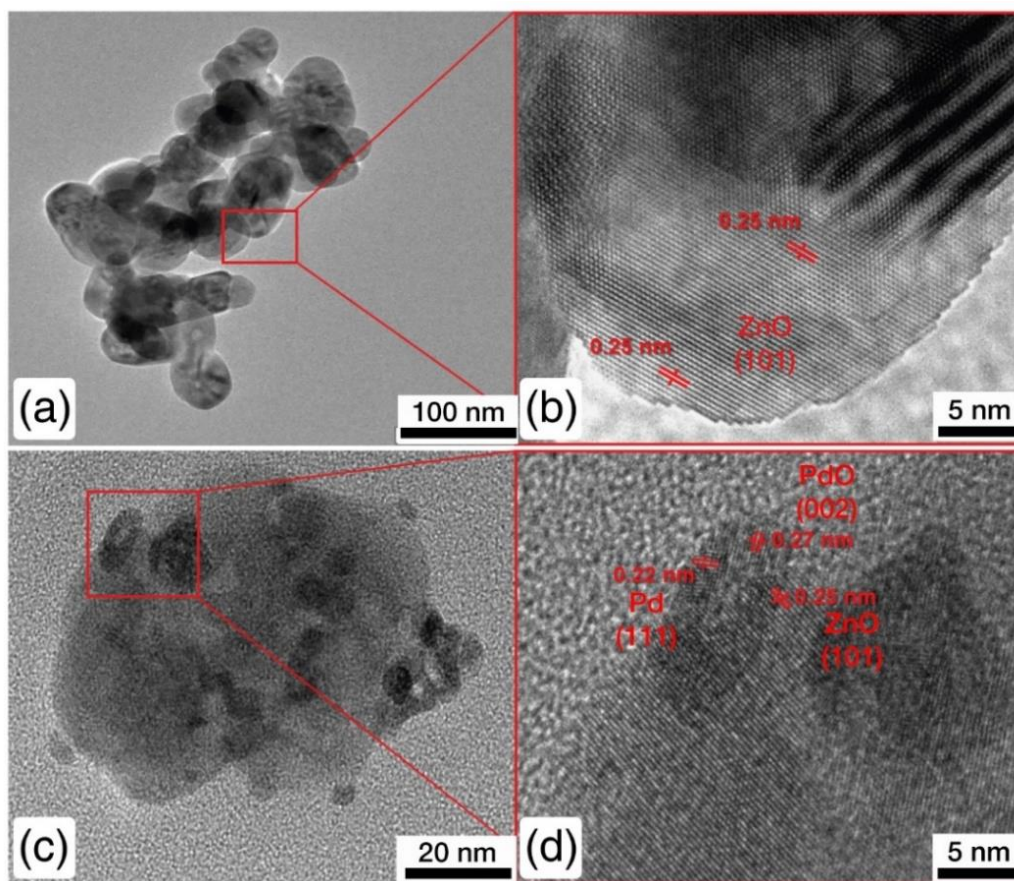


Рисунок 1 – СЭМ-ВР наночастиц ZnO (a-b) и ZnO/Pd (c-d)

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-13-00254, <https://rscf.ru/project/24-13-00254/>.

Список литературы

1. A. S. Mokrushin, et al, «Synthesis of Pd-decorated ZnO nanocomposites with improved gas-sensitive properties for acetone detection», Journal of Alloys and Compounds, 2024, Vol. 1009, №176856. DOI: 10.1016/j.jallcom.2024.176856.

ДВУХКОМПОНЕНТНЫЕ ГЕЛИ С НЕКОВАЛЕНТНО СШИТЫМИ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫМИ МАТРИЦАМИ

В. С. Молчанов, А. С. Оспенников, А. П. Сторожук, И. В. Прокопьев, О. Е. Филиппова

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
Российская Федерация, molchan@polly.phys.msu.ru*

В связи со все возрастающим загрязнением планеты полимерными отходами актуальными становятся разработка биоразлагаемых полимерных материалов и использование безотходных технологий для их производства. Одной из наиболее перспективных безотходных технологий является 3D-печать. Особый интерес представляет изготовление объектов методом 3D-печати полимерными гелями. Это позволяет получать мягкие изделия, хорошо совместимые с биологическими тканями.

Полученные при помощи 3D-печати изделия из гелей перспективны для использования в качестве мягких манипуляторов в робототехнике, персонализированных «умных» сенсоров, наклеиваемых на кожу, которые могут являться датчиками движения или содержания различных веществ в организме.

Перспективной для получения изделий из гидрогелей является экструзионная 3D-печать. Она подходит для сетчатых структур, которые, с одной стороны, способны течь при прикладывании значительного напряжения, с другой стороны, быстро восстанавливают свои исходные механические свойства в покое. Для этой цели удобны сетчатые структуры с нековалентными сшивками. Однако они часто бывают недостаточно прочными. Для решения этой проблемы мы предлагаем комбинирование двух типов сетчатых структур: более жесткой для обеспечения высоких механических свойств в покое и более гибкой и лабильной для обеспечения экструзии и быстрого последующего восстановления свойств при 3D-печати.

В качестве жесткой сетки была использована перколяционная сетка разветвленных фибрилл альгината натрия, которые были получены специально разработанным методом. Они образованы полимерными цепями сшитыми ионами кальция. В качестве мягкой сетки была использована сетка топологических зацеплений макромолекул альгината натрия. Такие двухкомпонентные сетки ранее не были изучены. В нашей работе показано, что такие сетчатые материалы обладают высокими механическими свойствами, способны течь при деформации и быстро восстанавливать структуру и свойства при снятии нагрузки, т.е. образуются тиксотропные гели. Были получены и изучены разветвленные фибриллы альгината натрия размеры которых варьировались от сотен нанометров до нескольких микрон. Получены закономерности изменения модуля упругости и предела текучести гелей в зависимости от состава композиции. Показано, что гели могут быть использованы как чернила для экструзионной 3D-печати.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-13-00177).

ДИФфуЗИЯ ЖИДКОСТЕЙ В МОДИФИЦИРОВАННОМ SBA-15: ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ДИФфуЗИОННОГО ЯМР

Е. В. Морозов¹, Ю. Н. Зайцева¹, А. О. Еремина¹, С. А. Новикова¹, С. Д. Кирик^{1,2}

¹*Институт химии и химической технологии Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН,
Российская Федерация, j-n-zaitseva@yandex.ru;*

²*Сибирский федеральный университет, Российская Федерация*

В работе методом ЯМР спектроскопии с импульсным градиентом магнитного поля (диффузионного ЯМР) проведены сравнительные исследования процессов молекулярной диффузии воды и *n*-гептана при различном массовом содержании в мезоструктурированных порошковых материалах SBA-15, модифицированных введением оксидов металлов циркония и молибдена (Zr/SBA-15, Mo/SBA-15).

Обнаружено, что введение оксидов металлов в порошковые материалы SBA-15 не меняет характера диффузионных кривых (количество и соотношение весовых долей компонент), что свидетельствует о сохранении механизмов транспорта жидких сред в пористой матрице порошка. Однако введение в силикатную матрицу d-элементов приводит к заметному уменьшению времен спин-решеточной релаксации протонов воды и гептана (рисунок 1).

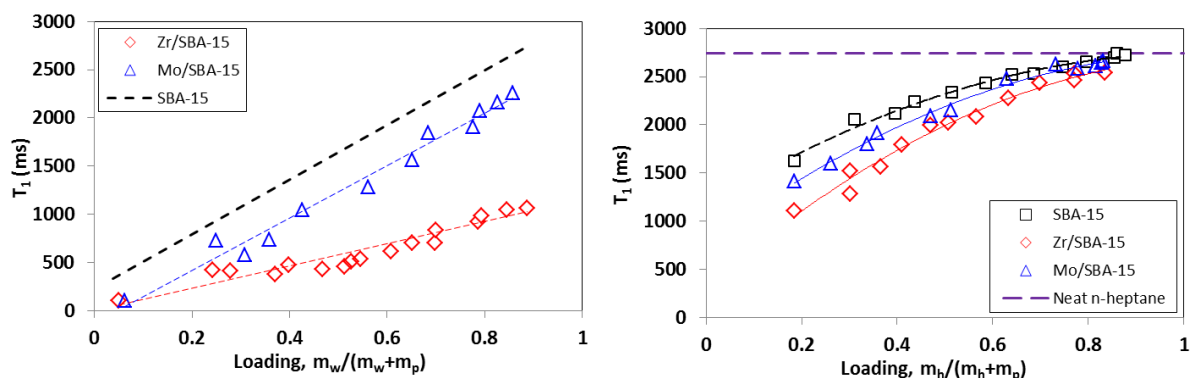


Рисунок 1 – Зависимость времен спин-решеточной релаксации T_1 от величины загрузки для воды (слева) и гептана (справа) в порошках Zr/SBA-15 и Mo/SBA-15 по сравнению с исходным SBA-15

Экспериментально установлено изменение характера зависимости коэффициентов диффузии воды в зависимости от величины загрузки для модифицированных образцов SBA-15 (рисунок 2). Так, для исходного образца наблюдается пологое уменьшение коэффициента диффузии с ростом доли воды, в то время как для образцов Zr/SBA-15 и Mo/SBA-15 значения коэффициентов диффузии резко падают в диапазоне $0,2 < \varphi < 0,4$, после чего с некоторой задержкой возвращаются к динамике исходного образца ($\varphi > 0,5$). Это изменение характера зависимости на малых значениях содержания воды можно объяснить за счет изменения пористой текстуры материала на характерных масштабах трансляционного движения 20–60 мкм.

В случае транспорта молекул н-гептана обнаружено, что для образцов Zr/SBA-15 и Mo/SBA-15 значения коэффициентов диффузии гептана лежат ниже соответствующей зависимости для исходного образца практически во всем диапазоне загрузки $0,2 < \varphi < 0,8$, что особенно заметно на малых значениях φ .

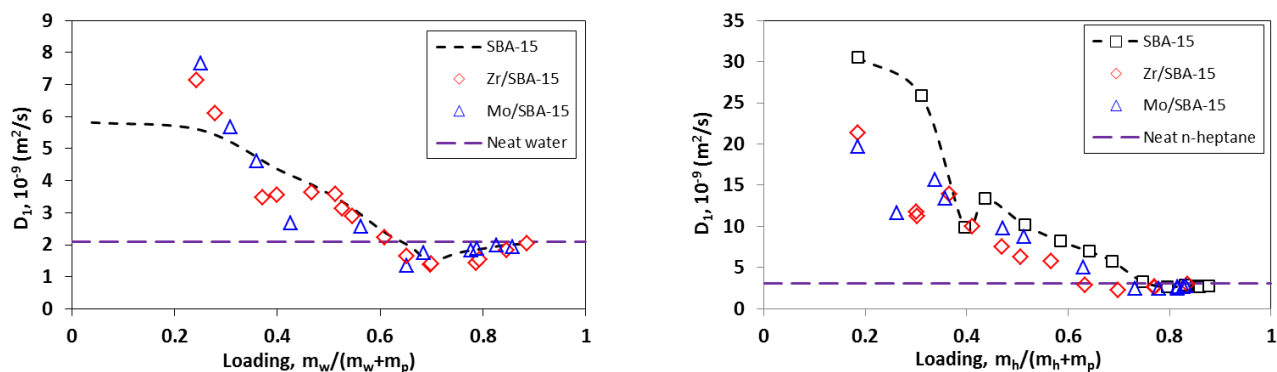


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента диффузии D_1 молекул воды (слева) и *n*-гептана (справа) от загрузки в порошках Zr/SBA-15 и Mo/SBA-15 по сравнению с исходным SBA-15

Полученные данные демонстрируют, что введение оксидов d-металлов в пористую матрицу SBA-15 не меняет механизмы транспорта жидких сред в порошках, но способно заметно менять характер зависимости коэффициентов диффузии от величины загрузки для водных систем и снижать трансляционную подвижность молекул алифатических углеводородов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института химии и химической технологии СО РАН (FWES-2021-0012) на оборудовании КРЦКП ФИЦ КНЦ СО РАН и Научно-исследовательского аналитического центра коллективного пользования СФУ.

НАНОМАТЕРИАЛЫ TiO_2 , ЛЕГИРОВАННЫЕ 3D-МЕТАЛЛАМИ: ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СИНТЕЗ И СВОЙСТВА

Х. Б. Мусаев¹, Л. С. Хорошко^{2,3} Д. Бойкобилов⁴, А. Б. Парманов⁴, О. Н. Рузимурадов⁵

¹Институт фундаментальных и прикладных исследований при Национальном
исследовательском университете ТИИИМСХ,
Республика Узбекистан, musaevkhusniddin90@gmail.com;

²Белорусский государственный университет,
Республика Беларусь, khoroshko@bsu.by;

³Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Республика Беларусь;

⁴Национальный университет Узбекистана,
dilshodkimyo1988@gmail.com;

⁵Туринский политехнический университет в Ташкенте имени Мирзо Улугбека,
Республика Узбекистан, ruzimurodov@rambler.ru

Работа посвящена золь-гель синтезу наноматериалов на основе диоксида титана (TiO_2), легированного 3d-переходными металлами, а также изучению их физико-химических свойств. TiO_2 широко применяется в области фотокатализа, преобразования солнечной энергии, сенсорики и биосовместимы. Легирование 3d-переходными металлами (например, Fe, Cu, Cr, V, Ni, Mn) значительно улучшает оптические, электронные и каталитические свойства TiO_2 .

Синтез. Для синтеза моно- и солегированных кобальтом (Co), хромом (Cr) и никелем (Ni) наноматериалов TiO_2 использовали золь-гель метод, как описано в [1]. Готовый золь перемешивали при комнатной температуре до образования геля, затем гель выдерживали заданное время для увеличения его стабильности, после сушили при 100 °С для удаления остаточных растворителей. Высушенный гель прокачивали при 450–600 °С в муфельной печи для достижения кристаллизации с внедрением ионов Co, Cr и Ni в решетку TiO_2 .

Характеризация. Для оценки структурных, морфологических и оптических свойств синтезированных наноматериалов готовые образцы исследовали методами сканирующей электронной микроскопии (SEM), рентгеновской дифракции (XRD), оптической спектроскопии (UV-Vis) (рисунок 1).

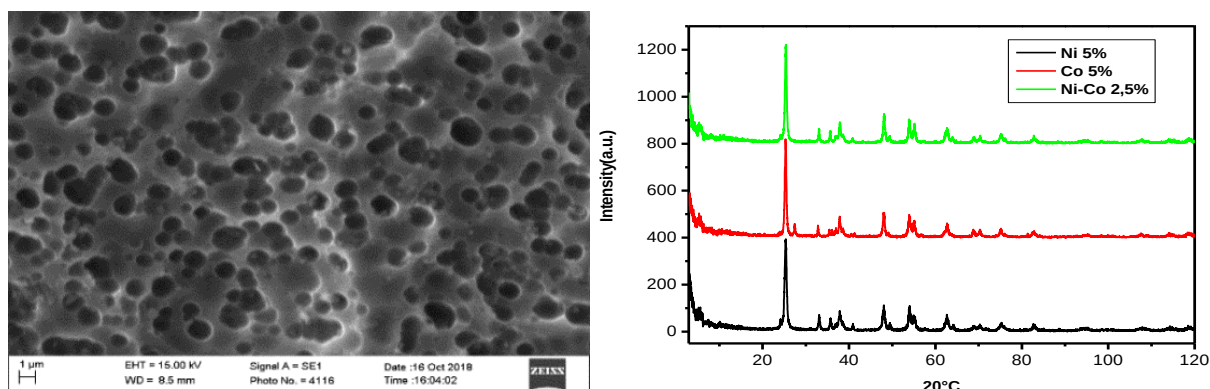


Рисунок 1 – SEM-снимок поверхности (слева) и результаты XRD (справа)
полученных образцов легированного TiO_2

Результаты характеризации подтвердили успешное включение легирующих элементов в кристаллическую решетку TiO_2 , что способствует улучшению поглощения света и разделения зарядов. Моно- и совместное легирование кобальтом, хромом и никелем эффективно модифицировало структурные, оптические и фотокаталитические свойства TiO_2 , повышая его активность при облучении видимым светом.

Список литературы

1. Ruzimuradov O., Musaev Kh., Mamatkulov Sh., Butanov Kh., Gonzalo-Juan I., Khoroshko L., Turapov N., Nurmanov S., Razzokov J., Borisenko V., Riedel R. Structural and optical properties of sol-gel synthesized TiO₂ nanocrystals: Effect of Ni and Cr (co)doping // Optical Materials. 2023. Vol. 143. P. 114203. DOI 10.1016/j.optmat.2023.114203.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ СОРБЕНТОВ ГЕЛИЕВОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ СОРБЦИИ ИОНОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

М. Г. Мухамедиев, Д. Ж. Бекчанов, С. Ботиров, Ю. Файзуллаев, Х. Усманова

*Национальный университет Узбекистана,
Республика Узбекистан, mtihamediev@mail.ru*

Ионообменные материалы гелиевой структуры на основе синтетических полимеров, например поливинилхлорида (ПВХ) широко используются в различных отраслях промышленности. Среди них гидрометаллургия, медицина и биотехнология, фармацевтическая промышленность и другие [1]. Ионообменные материалы получают путем взаимодействия гранулированного ПВХ с различными аминами, в частности полиэтиленполиамином [2]. Одной областей, которая широко использует подобные материалы, является экология. Особый интерес привлекает их использование в очистке сточных вод от токсичных ионов тяжёлых металлов [3, 4]. В процессе покрытия изделий в гальванических цехах образуются сточные воды, содержащие хром и его соединения, особенно хроматами и дихроматами, которые токсичны для живых организмов. Ионы меди и цинка широко встречаются в сточных водах горно-металлургических комбинатов, а марганца в сточных водах химических комбинатов. В таблице 1 приведены данные по сорбционной способности одного из гелиевых сорбентов на основе поливинилхлорида. Видно, что этот анионит способен извлекать из водных растворов как катионы так и анионы.

Таблица 1 – Сорбционные характеристики гелиевого анионита ПВХ-А-N-2 к ионам Cu(II), Cr(VI) и Mn(VII) в статических условиях (масса сорбента 3 г, температура 298K)

Ионы	Начальная концентрация (мг/л)	Остаточная концентрация (мг/л)	q _{max} (мг/г)
Cu(II)	3 200	2 799,14	136,7
Cr(VI)	1 080	859,16	75,76
Mn(VII)	595	354,4	126,6

Работа выполнена при поддержке Министерства Высшего образования, науки и инноваций республики Узбекистан (проект FL-8824063235).

Список литературы

1. Lieberzeit P., Bekchanov D., Mukhamediev M. Polyvinyl chloride modifications, properties, and applications: Review. Polym Adv Technol, 2022. P. 1–18. <https://doi.org/10.1002/pat.5656>.

2. Sorption of cobalt (II) and chromium (III) ions to nitrogen- and sulfur-containing polyampholyte on the basis of polyvinylchloride / D. Bekchanov, H. Kawakita, M. Mukhamediev, S. Khushvaktov, M. Juraev // Polym. Adv. Technol. 2021. V. 32. P. 2700–2709. <https://doi.org/10.1002/pat.5209>

3. Polyvinylchloride-based anion exchanger for efficient removal of chromium (VI) from aqueous solutions / D. Bekchanov, M. Mukhamediev, P. Lieberzeit, G. Babojonova, S. Botirov // Polym. Adv. Technol. 2021. P. 1–10. <https://doi.org/10.1002/pat.5403>.

4. Davronbek Bekchanov, Mukhtarjan Mukhamediev, Gulbakhor Babojonova, Peter Lieberzeit, Xin-tai Su. Anion exchange material based on polyvinylchloride and urea for the removal of chromium(vi) ions from aqueous solutions. Clean - Soil, Air, Water. 2023. 2200411. <https://doi.org/10.1002/clen.202200411>.

ВЫСОКОДИСПЕРСНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ZnO ДЛЯ ХЕМОРЕЗИСТИВНЫХ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ

И. А. Нагорнов, А. С. Мокрушин, Н. П. Симоненко, Т. Л. Симоненко, Е. П. Симоненко

*Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН,
Российская Федерация, il.nagornov.chem@gmail.com; artyom.nano@gmail.com;
n_simonenko@mail.ru; egorova.offver@gmail.com; ep_simonenko@mail.ru*

Во многих областях науки и техники, в первую очередь, при мониторинге загрязнений окружающей среды или контроле промышленных процессов, остро встает проблема качественного и быстрого определения содержания в атмосфере некоторых газообразных аналитов (особенно, токсичных и взрывоопасных) с использованием компактных, недорогих и простых в эксплуатации устройств. Многие летучие соединения постоянно присутствуют в атмосфере промышленно развитых территорий, содержатся в выбросах автотранспорта и предприятий промышленности и др. Превышение ПДК токсичных газов отрицательно сказывается, в первую очередь, на состоянии метаболических систем живых организмов [1].

Целью работы является установление влияния условий синтеза на микроструктуру и хеморезистивные свойства нанопорошков оксида цинка, а также выявление их селективности и чувствительности по отношению к практически важным газам-аналитам при модификации ZnO компонентами различной химической природы (наночастицами LnO_x ($\text{Ln}=\text{Ce}, \text{Pr}, \text{Eu}$), Pt и максена Ti_2CT_x).

Для реализации поставленной цели сольвотермальным методом при атмосферном давлении синтезирован индивидуальный нанокристаллический ZnO, а также наноконпозиты на его основе. Показано, что синтез нанодисперсного оксида цинка путем термической обработки раствора $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_2]$ в спиртах (*n*-бутанол, изоамиловый спирт, этиленгликоль) без добавления дополнительного гидролизующего агента позволяет создавать наноконпозиты на основе ZnO, модифицированные высокодисперсными оксидами церия, празеодима, европия, наночастицами платины, палладия и многослойного максена Ti_2CT_x .

Показано, что тип растворителя влияет на форму частиц и газовую чувствительность индивидуального оксида цинка особенно на NO_2 и CO в разных температурных интервалах. Модифицирование же ZnO компонентами различной химической природы позволяет изменять сенсорные свойства: введение оксидов церия, празеодима и европия улучшает кинетические свойства материалов, а многослойный максен Ti_2CT_x реализует высокую селективность и чувствительность к NO_2 .

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 24-13-00254, <https://rscf.ru/project/24-13-00254/>).

Список литературы

1. Mokrushin A.S. et. al. Gas-sensitive nanostructured ZnO films praseodymium and europium doped: Electrical conductivity, selectivity, influence of UV irradiation and humidity // Applied Surface Science, 2022, 589, DOI: 10.1016/j.apsusc.2022.152974.

ВЛИЯНИЕ ТИПА ПРЕКУРСОРА АЛЮМИНИЯ НА МЕЗОСТРУКТУРУ И МОРФОЛОГИЮ AL-SBA-15

С. А. Новикова¹, Ю. Н. Зайцева¹, А. О. Еремина¹, С. Д. Кирик^{1,2}

¹Институт химии и химической технологии Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН,
Российская Федерация, snovik.chem@gmail.com;

²Сибирский федеральный университет, Российская Федерация

Работа посвящена синтезу и исследованию физико-химических свойств пористой каталитической системы на основе мезопористого мезоструктурированного SBA-15. Методом соконденсации с различными прекурсорами алюминия (нитрат алюминия и изопропоксид алюминия) и мольном соотношении Al/Si, равном 5 и 10 мол. % синтезированы алюмосиликатные композиты (рисунок 1). Полученные образцы охарактеризованы методами рентгеновской дифракции, газовой адсорбции, ИК-спектроскопии, электронной микроскопии и элементным анализом.

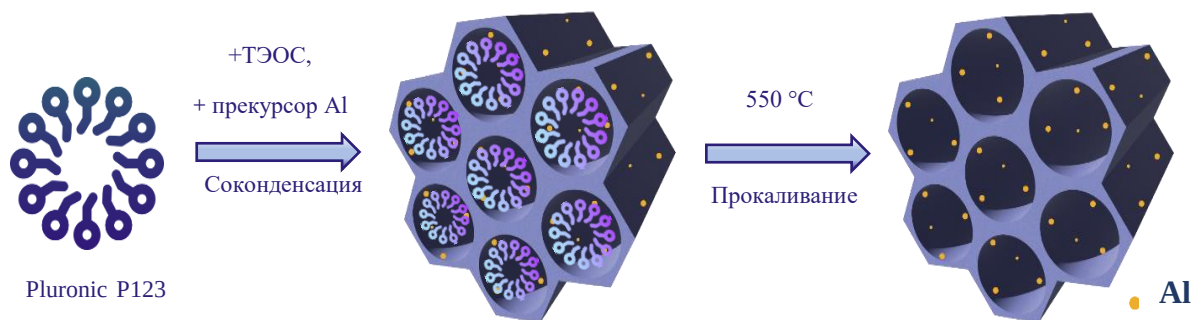


Рисунок 1 – Схема синтеза алюмосиликатных композитов на основе SBA-15

Согласно результатам рентгенографического анализа полученные алюмосиликатные композиты являются мезоструктурированными материалами типа SBA-15. Упорядочение силикатной структуры носит надмолекулярный характер в нанометровом диапазоне размеров. Плоская группа симметрии $rbmm$ отвечает двумерному упорядочению цилиндрических пор по типу пчелиных сот. На молекулярном уровне все алюмосиликатные композиты аморфны. Согласно результатам низкотемпературной адсорбции-десорбции азота все образцы имеют изотермы IV типа с петлей гистерезиса типа H1. Форма гистерезиса H1 слегка варьируется, но подтверждает регулярную упаковку близких по размеру пор, которые представляют собой обособленные и открытые с обоих концов цилиндрические капилляры. Установлено, что введение алюминия на стадии синтеза оказывает влияние на морфологию алюмосиликатных композитов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института химии и химической технологии СО РАН (FWES-2021-0012) на оборудовании КРЦКП ФИЦ КНЦ СО РАН и Научно-исследовательского аналитического центра коллективного пользования СФУ.

ВЛИЯНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СУСПЕНЗИЙ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ C/ZrB₂-SiC КОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ КЕРАМИЧЕСКИХ ПРЕПРЕГОВ

Р. А. Орбант, Я. М. Шершов, М. А. Голосов, А. В. Уткин, Н. И. Бакланова

*Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
Российская Федерация, orbant@solid.nsc.ru*

Для разработки аэрокосмической техники нового поколения необходимы конструкционные материалы, обладающие устойчивостью к воздействию высоких температур (выше 1800°C) и агрессивной окислительной среды. Наиболее подходящим кандидатом является сверхвысокотемпературная керамика, такая как ZrB₂-SiC, которая обладает высокой стойкостью к окислению благодаря образованию защитного слоя из боросиликатного стекла. Хрупкость такой керамики диктует необходимость разработки армированных композитов для повышения трещиностойкости и устойчивости к тепловому удару.

Продуктивным подходом к формированию композитов со сверхвысокотемпературной матрицей, армированной непрерывным углеродным волокном, является метод, основанный на формировании промежуточных лент-препрегов. Ключевой стадией этого метода является инфильтрация жгута углеродного волокна предкерамической суспензией, что во многом задает состав и микроструктуру композитов. Целью настоящей работы было исследование реологического поведения керамических суспензий на основе ZrB₂ и изучение его влияния на свойства формируемых композитов.

Проведено детальное исследование реологических свойств суспензий, содержащих субмикронный и микронный порошок ZrB₂ в качестве дисперсной фазы, фенолформальдегидную смолу в качестве связующего и ацетон в качестве растворителя. Динамическая вязкость и напряжение сдвига для суспензий различного состава измерялись как функции скорости сдвига в диапазоне значений до 1000 с⁻¹. Реологическое поведение керамических суспензий можно описать как суперпозицию дилатантного и псевдопластического эффектов. Дилатантный эффект обусловлен вкладом фенолформальдегидной смолы и преобладает при высоких скоростях сдвига. Псевдопластичный эффект возникает ввиду взаимодействия наполнителя со смолой и проявляется при низких скоростях сдвига.

Методом керамических препрегов из суспензий различного состава получены C/ZrB₂-SiC композиты. Проведена всесторонняя характеристика композитов с точки зрения морфологии, текстуры, плотности, прочности на изгиб в зависимости от состава и реологических свойств используемых суспензий. Показано, что оптимальная микроструктура и механические свойства композитов достигаются при использовании суспензий с динамической вязкостью 10 – 50 мПа·с. Увеличение содержания ZrB₂ в матрице композитов приводит к росту количества микротрещин, что приводит к снижению предела прочности разрушения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 23-19-00212).

МЕДИАТОРНЫЙ БИОЭЛЕКТРОКАТАЛИЗ В СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕМ ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯТА КРЕМНИЯ В ПРИСУТСТВИИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И БИОКАТАЛИЗАТОРОВ

О. Н. Понаморева¹, П. В. Оськин¹, Д. В. Потапова¹, В. А. Алферов¹, Т. Г. Хонина²,
И. В. Гутник³, Т. П. Дьячкова³

¹Тулский государственный университет,
Российская Федерация, olgaponamoreva@mail.ru;

²Институт органического синтеза им. И. Я. Постовского УрО РАН,
Российская Федерация, khonina@ios.uran.ru;

³Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация, dyachkova_tp@mail.ru

При разработке промышленных биокатализаторов в качестве носителей для иммобилизации ферментов используют кремнезем-основанные материалы благодаря их инертности и химической стабильности в широком диапазоне pH. Особый интерес для иммобилизации биоконпонентов представляют кремнийорганические материалы или органомодифицированные кремнеземы (ормосилы), которые сохраняют преимущества как неорганических, так и органических матриц. Кремнеземы и ормосилы не обладают электропроводящими свойствами, поэтому в электрохимических системах используют их композиты с углеродными наноматериалами (УНМ). Среди различных подходов для модификации поверхности электрода особое внимание заслуживает электрохимическое осаждение пленки кремнезема в присутствии УНМ [1]. Так как процесс протекает в мягких условиях, возможна одновременная иммобилизация биоматериала.

Для синтеза электропроводящих композитов на графитовых электродах нами предложено использовать метод электроосаждения полиэтиленгликолята кремния [2] в присутствии многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ), а для получения биоконкомпозитов добавляли в реакционную среду биоматериал (фермент – бактериальную лакказу *Streptomyces carpinensis* ВКМ Ас-1300 (ScaSL) (КФ 1.3.10.2) [3] или метилотрофные бактерии). В зависимости от времени осаждения изменяется толщина пленки композита, что определяет величину электроактивной площади поверхности, с одной стороны, и диффузионные ограничения, с другой стороны. СЭМ-микрофотографии скола композита демонстрирует то, что нанотрубки находятся в оболочке из кремнезема или ормосила, сам же композит представляет собой пористую губчатоподобную структуру с развитой поверхностью. Ферментный электрод продемонстрировал лакказную активность по отношению к типичному субстрату – 2,2'-азино-бис-(3-этилбензотиазолин-6-сульфоновой) кислоте (ABTS), что важно при разработке медиаторного электрохимического биосенсора, например, для определения сульфаниламидных препаратов (рисунок 1). Разработанный электрохимический биосенсор по своему линейному диапазону и коэффициенту чувствительности не уступает аналогам.

На основе микробного электрода разработаны подходы для медиаторного биоэлектро-синтеза формиата из гидрокарбоната (продукта растворения CO₂). Принцип медиаторного электросинтеза формиата под действием формиатдегидрогеназ метиловых бактерий разработан японскими учеными. В нашем исследовании продемонстрированы возможности иммобилизации в объеме проводящего композита метанотрофа *Methylovibrioformis* 20Z – бактерий с другим метаболизмом, для увеличения эффективности процесса биоэлектро-синтеза формиата.

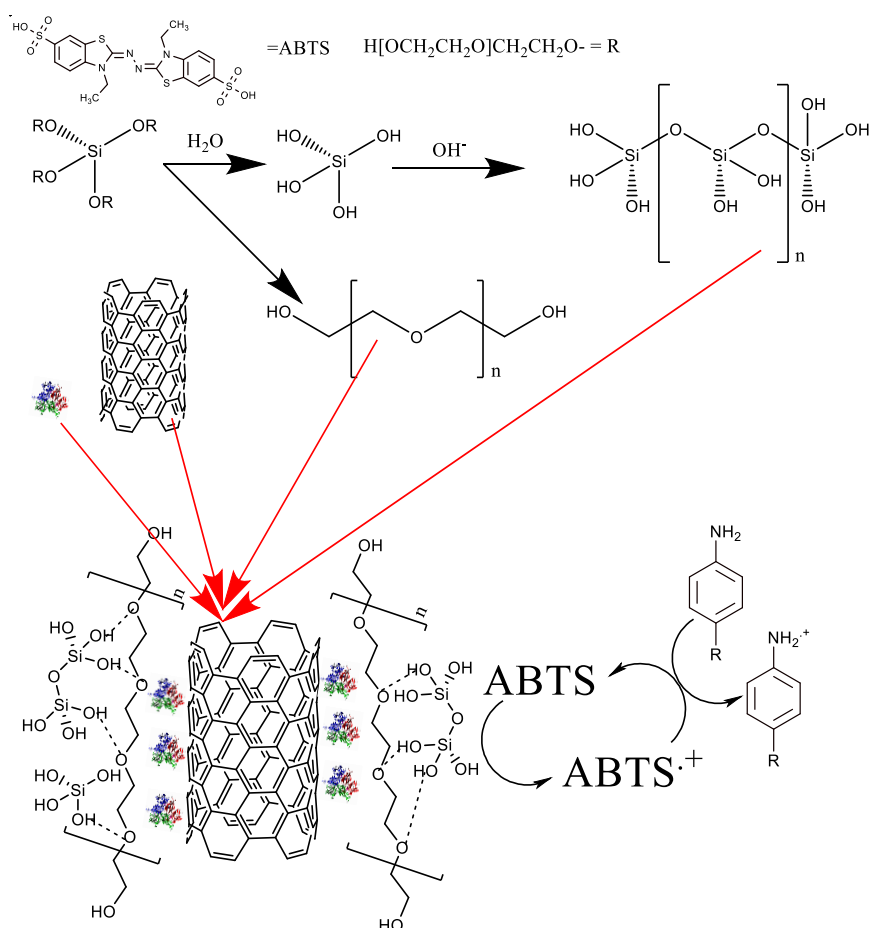


Рисунок 1 – Иммобилизация лакказы в электропроводящий композит методом электроосаждения и принцип функционирования медиаторного биосенсора для определения сульфаниламидных препаратов

Таким образом, композит МУНТ/ормосил, полученный методом электроосаждения, демонстрирует отличную электропроводность. Мягкие условия получения, нетоксичность и пористость композитной пленки на поверхности электрода позволяют удерживать различные типы биокатализаторов для создания биосенсорных систем и биоэлектросинтетических технологий получения ценных веществ.

Исследование выполнено поддержке Российского научного фонда (грант № 24-14-20013, <https://rscf.ru/project/24-14-20013/>) и при поддержке Комитета Тульской области по науке и инноватике.

Список литературы

1. Cui Y., et al. Silica nanochannel array on co-electrodeposited graphene-carbon nanotubes 3D composite film for antifouling detection of uric acid in human serum and urine samples. // Microchemical Journal. 2023. V. 190. P. 108632. DOI:10.1016/j.microc.2023.108632.
2. Khonina T.G., et al. Features of silicon- and titanium-polyethylene glycol precursors in sol-gel synthesis of new hydrogels for medical application. // J. Mater. Chem. B. 2015. V.3. P. 5490–5500. DOI: 10.1039/c5tb00480b.
3. Трубицина Л.И., с соавт. Новая двухдоменная лакказа со средним окислительно-восстановительным потенциалом: физико-химические и структурные свойства. // Биохимия. 2023. Т. 88. С. 2002–2013. DOI: 10.31857/S0320972523100184.

ПЕРОКСИДАЗОПОДОБНАЯ АКТИВНОСТЬ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦЕРИЯ: АНАЛИЗ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИМ И ХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМ МЕТОДАМИ

М. А. Попков, М. М. Созарукова, А. Е. Баранчиков, В. К. Иванов

*Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН,
Российская Федерация, ma_popkov@igic.ras.ru*

По данным Международного союза теоретической и прикладной химии (IUPAC), направленный синтез биологически активных наноматериалов, обладающих ферментоподобной активностью и способных участвовать в регуляции биохимических процессов, является одной из наиболее динамично развивающихся областей современного материаловедения. В связи с этим, разработка надежных методов анализа ферментоподобной активности наноматериалов с заданной структурой и химическим составом представляет собой актуальную и важную задачу.

В качестве объекта исследования был выбран нанокристаллический диоксид церия – материал, обладающий широким спектром биокаталитической активности, в том числе пероксидазоподобной. Ферменты класса пероксидаз и их миметики играют ключевую роль в регуляции метаболизма активных форм кислорода в живых системах, что делает создание новых материалов на основе диоксида церия особенно перспективным для биомедицинских применений.

Целью данной работы является синтез агрегативно устойчивых коллоидных растворов нанокристаллического диоксида церия, функционализированного биосовместимыми лигандами (цитрат- и аскорбат-анионами) и оценка их пероксидазоподобной активности двумя независимыми методами – колориметрическим и хемилюминесцентным.

Электростатически стабилизированный золь диоксида церия был синтезирован методом термогидролиза водного раствора гексанитратоцерата(IV) аммония. Для функционализации поверхности нанодисперсного диоксида церия биосовместимыми низкомолекулярными лигандами (цитратом аммония и аскорбатом натрия) были выбраны мольные соотношения лиганд:CeO₂ в диапазоне от 0.125:1 до 2:1. Выбранные соотношения обеспечивали частичное или полное покрытие наночастиц CeO₂ лигандами. Полученные материалы были охарактеризованы комплексом взаимодополняющих методов анализа, включая рентгенофазовый анализ, просвечивающую растровую электронную микроскопию, динамическое рассеяние света, РФЭС, ИК и УФ-спектроскопию. Результаты показали, что стабилизация золь достигается за счет электростатического взаимодействия между положительно заряженной поверхностью диоксида церия и карбоксильными группами лигандов.

Пероксидазоподобная активность наноматериалов на основе диоксида церия была подтверждена двумя независимыми методами. Колориметрический анализ показал, что кинетика окисления 3,3',5,5'-тетраметилбензидина в присутствии наночастиц диоксида церия соответствует модели Михаэлиса-Ментен. Рассчитанные для наноматериалов на основе CeO₂ каталитические параметры (константа Михаэлиса, каталитическая константа) сопоставимы с характеристиками природного фермента – пероксидазы из корней хрена. С помощью хемилюминесцентного метода были определены константы скоростей элементарных реакций окисления люминола пероксидом водорода в присутствии наночастиц диоксида церия. При увеличении соотношения лиганда от 0.125:1 до 2:1 наблюдается значительное уменьшение каталитической активности наноматериалов в 4 раза, что вероятно связано с уменьшением количества активных центров на поверхности частиц.

Таким образом, были получены биосовместимые наноматериалы на основе диоксида церия с регулируемой пероксидазоподобной активностью, сопоставимой с природной пероксидазой из корней хрена. Впервые проведено сопоставление возможностей количественного анализа пероксидазоподобной активности наноматериалов на основе CeO₂ с использованием принципиально разных аналитических методов – колориметрического и хемилюминесцентного. Каталитическая активность золь CeO₂ с мольным соотношением лиганд:CeO₂,

равным 1:1, сопоставлена с активностью пероксидазы из корней хрена: по данным колориметрического метода, каталитическая активность золь оказалась на 2 порядка ниже по сравнению с природным ферментом, по данным хемилюминесцентного анализа – на 3 порядка.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект №24-13-00370.

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СИНТЕЗИРОВАННЫХ Mn-ОКСИДОВ, ДОПИРОВАННЫХ КОБАЛЬТОМ

Е. В. Саенко

*«Институт технической химии Уральского отделения Российской академии наук» –
филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения
Российской академии наук,
Российская Федерация, saenko_ekaterina@mai.ru*

Нanomатериалы на основе оксидов марганца обладают уникальными химическими и физическими свойствами, включая структурное разнообразие и ферментоподобную активность, что делает их перспективными для применения в мультиферментных системах, детекции пестицидов, хемодинамической терапии и разработки биосенсоров [1, 2]. Однако синтез высокоактивных и селективных нанозимов остается сложной задачей из-за многовалентности марганца и недостаточной изученности взаимосвязи между методом синтеза, структурой и функциональными характеристиками [3].

В работе представлен комплексный анализ морфологических характеристик и фазового состава оксидов марганца (III, IV) допированных кобальтом, синтезированных золь-гель методом в сравнении с традиционными методами получения. Методами рентгенофазового анализа, адсорбционной порометрии и электронной микроскопии изучено влияние ключевых параметров синтеза (температуры, pH среды, природы и концентрации прекурсоров) на формирование кристаллической структуры, удельную поверхность и параметров пористой структуры (объем и распределение пор по размерам). Особое внимание уделено направленному структурообразованию слоистых и туннельных структур под действием темплатных ионов, а также эффектам допирования кобальтом в процессе термической обработки в интервале 150–500 °C. Полученные результаты демонстрируют преимущества золь-гель синтеза в контролируемом формировании функциональных свойств оксидов марганца. Определены оптимальные стратегии получения материалов с высокой каталитической активностью, открывающие новые возможности для разработки эффективных миметиков с заданными свойствами.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда грант № 25-23-00268.

Список литературы

1. Pan Y, Zhang Z, Cun JE, Fan X, Pan Q, Gao W, Luo K, He B, Pu Y. Oxidase-like manganese oxide nanoparticles: a mechanism of organic acids/aldehydes as electron acceptors and potential application in cancer therapy // *Nanoscale*. 2024 Feb 8;16(6):2860-2867. <https://doi.org/10.1039/D3NR05127G>.
2. Liu J, Meng L, Fei Z, Dyson PJ, Jing X, Liu X. MnO₂ nanosheets as an artificial enzyme to mimic oxidase for rapid and sensitive detection of glutathione // *Biosens Bioelectron*. 2017 Apr 15;90:69-74. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2016.11.046>.
3. Yadav, P., Bhaduri, A., & Thakur, A. Manganese Oxide Nanoparticles: An Insight into Structure, Synthesis and Applications // *ChemBioEng Reviews*, 2023, 10(4), 510-528. <https://doi.org/10.1002/cben.202200056>.

ФОРМИРОВАНИЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЕВ ДЛЯ МИКРО- И ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

А. В. Семченко¹, В. В. Пилипенко², В. В. Сидский¹

¹Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь, *alina@gsu.by*

²ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»,
Республика Беларусь, *office@bms.by*

Целенаправленное получение золь-гель методом функциональных слоев с воспроизводимыми, заранее заданными свойствами является сложной многофакторной задачей, при решении которой нужно учитывать фундаментальные закономерности золь-гель процесса, особенности взаимодействия конкретных исходных компонентов, требования к конечным параметрам разрабатываемых структур. Получение функциональных слоев золь-гель методом подразумевает создание стабильных систем с заданной пространственной организацией, при которой достигаются требуемые свойства. Золь-гель метод часто применяется для синтеза оксидных соединений, в том числе многокомпонентных и содержащих различные активирующие добавки, так как такой подход имеет ряд существенных преимуществ. В частности, это возможность снизить температуру формирования конечного соединения за счет непосредственного взаимодействия растворенных солей металлов между собой с образованием гомогенного пленкообразующего раствора, в котором равномерно распределены ионы активатора, что позволяет предварительно сформировать материал с нужным фазовым и структурным составом. Необходимо учесть, что за счет механизма роста золь-гель слоев, близкого к эпитаксиальному, их структурные и, как следствие, функциональные свойства будут существенно зависеть не только от природы золя, но и от условий осаждения и подложки.

Золь-гель методом могут быть получены различные классы перспективных функциональных оксидных и сложнооксидных материалов, в том числе в виде тонких слоев. Так, сегнетоэлектрики со структурой слоистого перовскита, такие как танталат (танталат-ниобат) висмута-стронция $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ ($\text{SrBi}_2(\text{Ta}_{1-x}\text{Nb}_x)_2\text{O}_9$), характеризуются высокой диэлектрической проницаемостью, высокими пьезоэлектрическими и пирозлектрическими коэффициентами, приемлемыми электрооптическими свойствами и надежным переключением поляризации, что делает их перспективными для применения в энергонезависимой сегнетоэлектрической памяти с произвольным доступом.

Феррит висмута со структурой перовскита является единственным однофазным соединением перовскита, который одновременно обладает сегнетоэлектрическими и ферромагнитными свойствами при комнатной температуре, а активирование ионами редкоземельных элементов приводит к изменению его структуры, что позволит контролировать функциональные свойства.

Тонкие плёнки на основе оксида цинка широко применяются в фотовольтаике в солнечных элементах, фотодетекторах и других устройствах; в светодиодах (LED, OLED), в электрохромных элементах, плоских телевизионных панелях, а также в качестве дополнительных слоев для пленочных фотоэлектрически активных гетеросистем, что позволит обеспечить стабильность их параметров.

Общей проблемой при разработке всех перечисленных тонкослойных материалов является отсутствие либо недостаток информации о процессах, происходящих при формировании требуемых фаз в золь-гель структурах, образовании дефектов различной природы, а также влияния наноструктуры золь-гель слоев на их функциональные свойства. В настоящей работе предложены механизмы регулирования функциональных свойств золь-гель слоев за счет формирования в них требуемого стехиометрического и фазового составов, учета влияния материала подложки, выбора параметров золь-гель процесса, температуры и длительности

обработки, добавление иона-активатора и т.д., что в конечном итоге позволяет использовать разработанные оксидные и сложнооксидные тонкослойные золь-гель материалы для элементной базы современной микроэлектроники, улучшения характеристик и миниатюризации ячеек энергонезависимой памяти, оптоэлектроники и фотовольтаики.

Список литературы

1. Effect of annealing on the charge-voltage characteristics of the $\text{SrBi}_2(\text{Ta}_x\text{Nb}_{1-x})_2\text{O}_9$ films / N. V. Morozovsky, A. V. Semchenko, V. V. Sidsky, V. V. Kolos, A. S. Turtsevich, E. A. Eliseev, A. N. Morozovska // *Physica B : Condensed Matter*. – 2015. – Vol. 464.
2. Влияние дополнительного отжига в вакууме на структуру, электрические и оптические свойства ZnO:Al пленок, синтезированных зольгель методом / В. В. Сидский, А. В. Семченко, В. Е. Гайшун, Д. Л. Коваленко, А. С. Ханна // *Проблемы физики, математики и техники*. – 2018. – № 4 (37). – С. 44-46.
3. Влияние температуры отжига на структуру тонких золь-гель пленок BiFeO_3 , легированных самарием / С. А. Хахомов, А. В. Семченко, В. В. Сидский, О. И. Тюленкова, А. Н. Морозовская // *Проблемы физики, математики и техники*. – 2020. – № 4 (45). – С. 71-74.
4. Фотоактивные свойства нанокпозиционных покрытий $\text{ZnO}_x\text{:MgO}$, осажденных в вакууме и методом золь-гель синтеза / В. В. Малютина-Бронская, А. В. Семченко, А. В. Рогачев, М. А. Ярмоленко, В. В. Сидский, К. Д. Данильченко, С. А. Сорока, Э. В. Русу // *Проблемы физики, математики и техники*. – 2021. – № 2 (47). – С. 39-44.
5. Влияние состава и условий золь-гель процесса на свойства сегнетоэлектрических тонких пленок титаната бария-стронция / С. А. Хахомов, А. В. Семченко, В. В. Сидский, В. В. Васькевич, А. А. Маевский, О. И. Тюленкова, В. Е. Гайшун, Д. Л. Коваленко, О. В. Пахомов, А. В. Еськов, А. С. Старков, А. Л. Холкин, В. А. Пилипенко // *Проблемы физики, математики и техники*. – 2021. – № 4(49). – С. 45–50.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЗОПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ОКСИДА ТИТАНА

Д. С. Серегин, П. А. Мокрушев, А. С. Вишневский, К. А. Воротилов

*МИРЭА - Российский технологический университет,
Российская Федерация, d_seregin@mirea.ru*

В работе представлены результаты исследования тонких (до 200 нм) мезопористых пленок оксида титана, полученных с помощью золь-гель метода. Пленкообразующие (ПО) растворы готовили с использованием бутилата титана и этанола или бутанола [1]. Для формирования пористой структуры методом молекулярной самосборки использовали два типа поверхностно-активных веществ (ПАВ): Pluronic F-127 или Pluronic P-123. Пленки формировали центрифугированием на подложках монокристаллического кремния, после чего часть образцов выдерживали в эксикаторе при разной относительной влажности (~20 – 70 %), а затем подвергали термической обработке при 400°C с различной скоростью нагрева (от 2 до 10 °C/мин).

Установлено, что пленки из ПО растворов на основе бутанола обладают большей пористостью (46 и 55 % в случае F-127 и P-123 соответственно) и меньшим показателем преломления, однако в таких образцах наблюдается агломерация пор. При использовании F-127 и этанола в пленках наблюдаются отдельные поры диаметром ~7 нм, которые упорядочиваются при повышении относительной влажности в камере центрифуги. Установлено, что повышение

относительной влажности непосредственно во время нанесения более эффективно обеспечивает самоорганизацию мицелл в пленках, в отличие от выдержки в условиях повышенной влажности после осаждения.

Показано, что изменение скорости нагрева незначительно влияет на показатель преломления (n) пленок и, соответственно, пористость (V). Существенное уменьшение n (увеличение V) наблюдается при загрузке образцов в заранее разогретую печь.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-79-30016).

Список литературы

1. Серегин Д.С. и др. Формирование мезопористых тонких пленок диоксида титана методом молекулярной самосборки // Нано- и микросистемная техника. 2025. Т. 27, № 2. С. 72–79. DOI 10.17587/nmst.27.72-79.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕГИРОВАНИЯ НА СВОЙСТВА ФТО-ПЛЁНОК, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

**В. В. Сидский¹, А. В. Семченко¹, В. Е. Гайшун¹, А. А. Маевский¹, К. Д. Данильченко¹,
П. П. Парчинский², А. А. Насиров², С. А. Хахомов¹**

¹*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь, alina@gsu.by;*

²*Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека,
Республика Узбекистан*

Для формирования прозрачных проводящих покрытий на основе фторида и оксида олова (ФТО) применен метод спрей-пиролиза, отличающийся простотой реализации, гибкостью и возможностью нанесения равномерных пленок на подложки различного размера. В качестве устройства для формирования аэрозоля использован компрессорный небулайзер, обеспечивающий преобразование жидкого прекурсора в мелкодисперсный аэрозоль [1].

Раствор прекурсора готовили на основе водно-спиртовой смеси с добавлением хлорида олова и аммония фтористого в качестве источников олова и фтора соответственно. Для модификации свойств покрытий в раствор вводился графеновый нанопорошок в концентрациях 5 и 10 масс. %. Синтезируемый золь выдерживался при температуре $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 2–3 суток для завершения процессов гидролиза и поликонденсации.

Процесс формирования пленок осуществлялся при температуре подложки 250–300 °С, что обеспечивало пиролитическое разложение прекурсоров с последующим образованием ФТО-покрытия. Для повышения однородности и сплошности пленок была произведена модификация конструкции установки, обеспечивающая нанесение покрытия на вертикально ориентированную подложку, что способствовало равномерному распределению аэрозоля по всей площади образца. Важным преимуществом метода является отсутствие необходимости создания вакуума, что делает технологию экономически эффективной и масштабируемой.

На рисунке 1 представлены типичные АСМ-изображения поверхности образца ФТО:графен (топография, фазовый контраст, маркировка зерен), полученные с помощью Gwyddion. Область сканирования – 4×4 мкм. Введение графена не оказывает существенного влияния на морфологию поверхности пленок ФТО:графен.

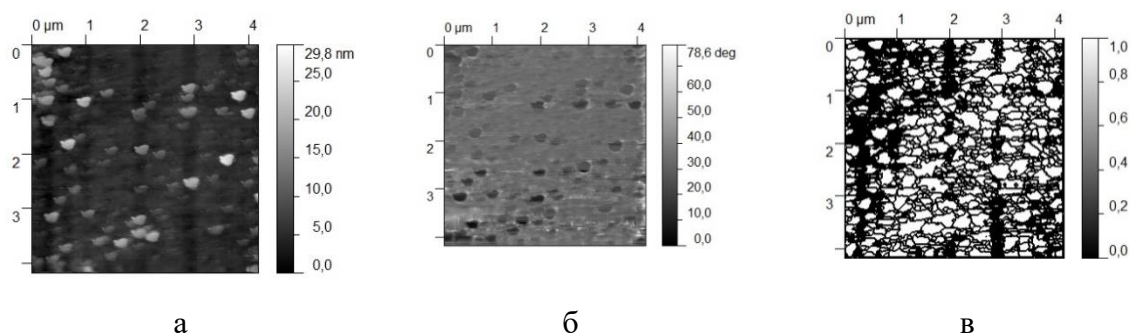


Рисунок 1 – АСМ изображения поверхности образца ФТО: графен (6 слоёв):
а – топография; б – фазовый контраст; в – маркировка зерен

Как видно из рисунка 1, поверхность пленки ФТО:графен состоит из равномерно распределённых зерен с чёткими границами, в результате формируется плотный слой с размером зерен около 80 нм и субшероховатостью 6,5 нм. Полученные покрытия отличаются высокой адгезией к подложке.

Оптические свойства проводящих пленок исследованы с помощью спектрофотометра Cary 50. На рисунке 2 показаны спектры пропускания ФТО-пленок без графена и с его содержанием 5 и 10 масс. %.

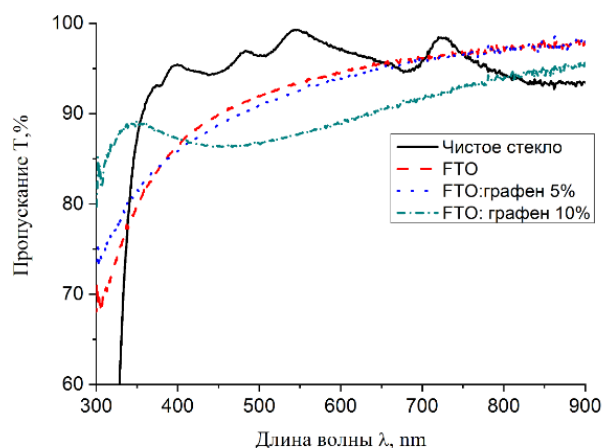


Рисунок 2 – Спектры пропускания пленок
ФТО с различным содержанием графена (0, 5, 10 масс. %)

Как видно из рисунка 2, пленки ФТО с содержанием графена 0, 5 и 10 масс. % демонстрируют коэффициент пропускания 90–97 % в видимой области. Снижение пропускания при 300–380 нм связано с поглощением графена. Резкий спад края поглощения и его положение указывает формирование широкозонного полупроводника.

Анализ элементного состава тонких пленок ФТО, содержащих графен и ионы церия, показал наличие элементов С, О, Sn, Si, а также примесей F, Na, Mg, Al, Ca. Включение атомов олова и фтора формирует точечные примесные дефекты, тогда как кислородные вакансии и избыток углерода способствуют изменению электрофизических характеристик покрытий. Наиболее низкое удельное сопротивление ($2,6 \times 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{см}$) зафиксировано для пленок ФТО, содержащих графен и церий. При термообработке до 550 °С происходит выгорание графена, что приводит к росту удельного сопротивления до $1,3 \times 10^{-2} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ и сопровождается изменением спектров фотолюминесценции. Уменьшение интенсивности люминесценции в области

530–550 нм в графенсодержащих образцах почти в 5 раз указывает на изменение зарядового состояния церия ($\text{Ce}^{4+} \rightarrow \text{Ce}^{3+}$), что связано с восстановлением церия при выгорании углерода и подтверждается ухудшением электропроводности пленок.

Работа выполнена при частичной поддержке БРФФИ (проект № T25УЗБ-111).

Список литературы

1. Suer B., Ozenbas M. Conducting fluorine doped tin dioxide (FTO) coatings by ultrasonic spray pyrolysis for heating applications // *Ceramics International*. 2021. Vol. 47, No. 12. P. 17245–17254.

ГИБРИДНЫЙ МАТЕРИАЛ В СИСТЕМЕ НИТРАТ ЦЕРИЯ(III)/ХИТОЗАН/МОЧЕВИНА

В. Е. Силантьев^{1,2}, Л. А. Земскова¹, Д. Х. Шлык¹

¹*Институт химии Дальневосточного отделения РАН,
Российская Федерация, zemskova@ich.dvo.ru;*

²*Дальневосточный федеральный университет, Школа медицины и наук о жизни,
Российская Федерация, vladimir.silantyev@gmail.com*

Ультра- и нанодисперсный диоксид церия является перспективным материалом в современных высокотехнологичных отраслях промышленности: в качестве компонента полирующих смесей и абразивов, в составе защитных покрытий от УФ-излучения, антиотражающих покрытий солнечных батарей, в газовых сенсорах, катализаторах дожигания выхлопных газов автомобилей, антикоррозионных покрытий металлов и др.

Уникальные биохимические свойства, обнаруженные у нанодисперсного диоксида церия, активно исследуются с целью медико-биологического применения.

Более того, CeO_2 часто комбинируют с другими материалами. В частности, с биополимерами для получения многокомпонентных композитов, с подходящими участками для закрепления клеток или лекарственных препаратов. Например, желатин, коллаген, альгинат, каррагинан, мальтодекстрин, хитозан, как стабилизирующие агенты, были использованы для получения многокомпонентных композитов на основе CeO_2 с потенциальными биологическими свойствами. Хитозан сам по себе обладает уникальными характеристиками: биосовместимостью, биоразлагаемостью, низкой токсичностью, способностью к пленкообразованию. Композиты, изготовленные из неорганических наноразмерных частиц с антимикробными, противовоспалительными свойствами в сочетании с природными биополимерами, могут быть очень эффективными материалами для создания перевязочных материалов или пленок для восстановления/регенерации различных тканей.

Широкому применению CeO_2 , в основном, препятствует агрегация наночастиц, которая устраняется использованием полимеров/биополимеров в качестве структурно направляющих агентов. Активность наночастиц сильно зависит от их размера и морфологии, определяемыми условиями синтеза. Поэтому предпринимается тщательный контроль за концентрациями реагентов, pH, стабилизирующими агентами.

В данной работе предпринята попытка оценить возможность формирования наночастиц оксида церия в процессе их осаждения (из нитрата церия как прекурсора) в присутствии хитозана в результате гомогенного гидролиза мочевины в реакционной смеси при 90 °C. Образцы охарактеризованы методами РФА, сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и ИК спектроскопии.

По данным РФА в системе формируется фаза орторомбического монооксокарбоната $\text{Ce}_2\text{O}(\text{CO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ с примесью мочевины. ИК указывает на присутствие хитозана, вероятно в сорбированной форме на поверхности минеральной фазы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Государственное задание № 0205-2025-0002. Исследования методами ИК-спектроскопии и электронной микроскопии проведены при поддержке Государственного задания № FZNS-2023-0017.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СИНТЕЗА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БЕСКИСЛОРОДНОЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КЕРАМИКИ

**Е. П. Симоненко, Н. П. Симоненко, И. А. Нагорнов, А. С. Мокрушин,
Т. Л. Симоненко, Ф. Ю. Горобцов, Н. Т. Кузнецов**

*Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН,
Российская Федерация, er_simonenko@mail.ru*

Бескислородная высокотемпературная керамика, в том числе и ультравысокотемпературная [1], имеет важное научное и технологическое значение, поскольку предполагает сохранение работоспособности, базовых свойств при повышенных температурах вплоть до 2000–3000 °С. Наиболее распространенным керамическим материалом данного класса является карбид кремния, который благодаря своей выдающейся среди карбидов металлов стойкости к окислению может находить применение в различных областях в качестве конструкционных материалов, нагревателей для печного оборудования, компонентов электронных устройств и др. Другие, более тугоплавкие карбиды металлов, включая МАХ-фазы, предлагается применять при существенно более высокой температуре (выше 3000 °С) в условиях газовой атмосферы, содержащей минимальное количество кислорода. Однако ковалентный характер связи в данных соединениях и рекордно высокие температуры плавления приводят к необходимости использования для консолидации керамических композитов на их основе очень высоких температур, отрицательно влияющих на механические свойства.

Золь-гель синтез позволяет существенно снизить температуры синтеза тугоплавких соединений за счет высокой дисперсности частиц и равномерного распределения исходных компонентов. Кроме того, промежуточное образование жидкой фазы при горячем прессовании [2] или SPS [3] композиционных порошков $\text{MO}_x\text{-C}$ приводит к значительному снижению температур уплотнения и, соответственно, повышению энергоэффективности процессов. Разработанные методики реакционной высокотемпературной консолидации дает возможность введения модифицирующих компонентов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда № 24-23-00561, <https://rscf.ru/project/24-23-00561/>.

Список литературы

1. Simonenko E. P., Sevast'yanov D. V., Simonenko N. P., Sevast'yanov V. G., Kuznetsov N. T. Promising Ultra-High-Temperature Ceramic Materials for Aerospace Applications // Russ. J. Inorg. Chem. 2013. T. 58. С. 1669–1693, DOI 10.1134/S0036023613140039.

2. Simonenko E. P., Kolesnikov A. F., Chaplygin A. V., Kotov M. A., Yakimov M. Yu., Lukomskii I. V., Galkin S. S., Shemyakin A. N., Solovyov N. G., Lysenkov A. S., Nagornov I. A., Mokrushin A. S., Simonenko N. P., Kuznetsov N. T. Oxidation of ceramic materials based on $\text{HfB}_2\text{-SiC}$ under the influence of supersonic CO_2 jets and additional laser heating // Int. J. Molec. Sci. 2023. V. 24. № 17. P. 13634. DOI 10.3390/ijms241713634.

3. Simonenko E. P., Simonenko N. P., Papynov E. K., Shichalin O. O., Belov A. A., Nagornov I. A., Gorobtsov Ph. Yu., Kuznetsov N. T. Effect of nanocrystalline SiC addition on reactive SPS and oxidation resistance of Ta_4HfC_5 ceramics // Ceram. Int. 2023. V. 49. № 6. P. 9691-9701. DOI 10.1016/j.ceramint.2022.11.140.

ФОРМИРОВАНИЕ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МИКРОСТРУКТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖИДКОФАЗНЫХ МЕТОДОВ СИНТЕЗА И ПЕЧАТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Н. П. Симоненко¹, Т. Л. Симоненко¹, Ф. Ю. Горобцов¹, А. С. Мокрушин¹, Н. А. Фисенко¹,
И. А. Нагорнов¹, И. А. Соломатов², З. И. Рахимова³, Д. А. Дудорова⁴, А. А. Землянухин⁵,
П. Д. Дементьева², В. А. Шахов⁵, Е. П. Симоненко¹**

¹*Институт общей и неорганической химии имени Н. С. Курнакова РАН,
Российская Федерация, n_simonenko@mail.ru;*

²*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
Российская Федерация;*

³*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
Российская Федерация;*

⁴*Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),
Российская Федерация;*

⁵*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,
Российская Федерация*

Как известно, проблема поиска новых функциональных материалов на сегодняшний день не теряет своей актуальности. Так, полупроводниковые наноструктуры, характеризующиеся улучшенными свойствами, являются востребованными в широком спектре областей науки и техники – энергетика, оптика, хемосенсорика, катализ, микроэлектроника и др. Для достижения более высокой эффективности с точки зрения эксплуатационных характеристик необходимо оптимизировать как процессы синтеза соответствующих наноматериалов, так и подходы к формированию плёнок на их основе. В частности, для обеспечения воспроизводимости микроструктурных параметров, адресности нанесения материалов на поверхность подложки, точности дозирования и высокой скорости процесса сегодня всё чаще применяют печатные технологии (микроплоттерная, микроэкструзионная, аэрозольная, струйная, электрохимическая печать и т.п.) [1–3]. Таким образом, в рамках доклада будут представлены результаты исследований научной группы, связанные с сочетанием жидкофазных методов синтеза наноматериалов разного химического состава (SnO_2 , NiO , NiCo_2O_4 , CuO и др.) с автоматизированными методами их нанесения в виде миниатюрных полупроводниковых структур на поверхность подложек различного типа, в частности, при изготовлении компонентов суперконденсаторов. В том числе будут рассмотрены особенности метода электрохимической печати (или локализованного электрохимического осаждения) при формировании массивов планарных и объёмных электродных микроструктур.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (№ 25-13-00348, <https://rscf.ru/project/25-13-00348/>).

Список литературы

1. Simonenko T. L. et all., Microextrusion Printing of Multilayer Hierarchically Organized Planar Nanostructures Based on NiO, $(\text{CeO}_2)_{0.8}(\text{Sm}_2\text{O}_3)_{0.2}$ and $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ // *Micromachines*, 2023, 14(1), 3. <https://doi.org/10.3390/mi14010003>.
2. Simonenko T.L. et all., Microplotter Printing of Hierarchically Organized NiCo_2O_4 Films for Ethanol Gas Sensing // *Chemosensors*, 2023, 11(2), 138. <https://doi.org/10.3390/chemosensors11020138>.
3. Simonenko T. L. et all., Microplotter Printing of a Miniature Flexible Supercapacitor Electrode Based on Hierarchically Organized NiCo_2O_4 Nanostructures // *Materials*, 2023, 16(12), 4202. <https://doi.org/10.3390/ma16124202>.

СИНТЕЗ ИЕРАРХИЧЕСКИ ОРГАНИЗОВАННЫХ НАНОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ $\text{Ni}(\text{OH})_2$ И NiO В КАЧЕСТВЕ КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

Т. Л. Симоненко, Д. А. Дудорова, Н. П. Симоненко, Ф. Ю. Горобцов, Е. П. Симоненко

*Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН,
Российская Федерация, egorova.offver@gmail.com*

Активное развитие сектора альтернативной энергетики требует создания не только систем генерации электроэнергии, но и устройств её хранения [1]. Среди имеющихся в настоящее время различных технологий запасаения энергии суперконденсаторы могут быть особенно востребованы при обеспечении работы систем, требующих высокой мощности, скорости заряда/разряда, циклической стабильности, а также длительных сроков эксплуатации и широкого диапазона рабочих температур (от -40 до 70°C). Несмотря на активное развитие подходов к изготовлению суперконденсаторов, на сегодняшний день по-прежнему остаются нерешёнными задачи по улучшению их основных рабочих характеристик: повышение величин удельной ёмкости и показателей циклической стабильности, а также увеличение плотности мощности и энергии устройства. С целью преодоления обозначенных проблем в современной литературе предлагаются такие пути как поиск оптимального состава электродного материала, обладающего высокой проводимостью, электрохимической активностью, химической и термической стабильностью в наиболее широком диапазоне рабочих потенциалов и температур, а также микроструктурный дизайн активного материала, предполагающий получение анизотропных, в том числе иерархически организованных материалов, с целью развития электрохимически активной поверхности. Среди различных электродных материалов гидроксиды и оксиды переходных металлов занимают особое место, поскольку характеризуются высокими значениями ёмкости, реализуемыми за счёт одновременной работы двойного электрического слоя и фарадеевских процессов, позволяют достигать высоких плотностей энергии и стабильности электрохимических характеристик в процессе эксплуатации. Так, электроды на основе NiO являются одними из наиболее востребованных при создании устройств хранения энергии за счёт высокой теоретической удельной ёмкости (3750 Ф/г), химической стабильности, низкой токсичности и широкой доступности. В последние годы в этом контексте заметную популярность приобретают различные полиморфные модификации гидроксидов никеля (в частности, α -, β - и γ - $\text{Ni}(\text{OH})_2$), которые благодаря способности к интеркаляции ионов электролита (например, OH -групп) и/или наличию в их составе никеля в различных степенях окисления могут проявлять различную электрохимическую активность и циклическую стабильность.

Согласно литературным данным одним из наиболее перспективных и востребованных методов в контексте получения иерархически организованных наноструктур, в том числе на основе обозначенных выше составов, является гидротермальный метод, дающий возможность формировать наиболее широкий спектр различных вариантов морфологии (например, полые сферы, нановолокна, нанолисты и пластинчатые структуры) [2]. Ранее нами также была показана эффективность использования дисперсных систем, предварительно полученных с помощью программируемого химического осаждения гидроксидов металлов, перед проведением гидротермальной обработки, что дает возможность управлять процессом зародышеобразования частиц твердой фазы на первом этапе синтеза [3]. Целью работы являлось изучение процесса синтеза анизотропных наноструктур на основе гидроксидов и оксида никеля с помощью программируемого химического осаждения, а также установление зависимости между условиями дополнительной гидротермальной обработки и микроструктурными характеристиками формируемых материалов.

На первом этапе был проведён процесс химического осаждения гидроксидов никеля с использованием водных растворов сульфата и нитрата никеля путём программируемого добавления раствора гидроксида натрия в качестве осадителя. Далее сформировавшиеся осадки в присутствии маточного раствора подвергали гидротермальной обработке при температурах 100-200 °С и длительности 1–5 ч. Далее их отделяли, промывали дистиллированной водой, подвергали сушке (80 °С, 3 ч) и дополнительно термообработывали (270 °С, 2 ч) с целью кристаллизации целевого продукта. Термическое поведение полученных образцов исследовали с помощью синхронного термического анализа. Спектральные характеристики изучали с применением ИК- и КР-спектроскопии. С помощью рентгенофазового анализа и электронной микроскопии было установлено, что использование сульфата никеля приводит к формированию нанопроволок состава $\text{Ni}(\text{OH})_{2x}(\text{SO}_4)_{0.5x}$, средний размер ОКР и диаметр которых растёт на 8 и 21 %, соответственно, с увеличением концентрационного отношения $c(\text{NiSO}_4)/c(\text{NaOH})$ от 1 до 3. В то же время использование нитрата никеля позволяет формировать плоские наноструктуры $\beta\text{-Ni}(\text{OH})_2$ гексагональной формы, средний размер ОКР которых растёт с 11 до 23 нм при повышении температуры гидротермальной обработки от 100 до 200 °С. Данные циклической вольтамперометрии и гальваностатического заряда-разряда для электродных покрытий, сформированных на основе полученных нанопорошков, свидетельствуют о том, что максимальные величины удельной ёмкости среди исследуемых образцов демонстрируют композитные электроды на основе $\beta\text{-Ni}(\text{OH})_2$ и NiO с содержанием 5 масс.% полимерного связующего.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-13-00348, <https://rscf.ru/project/25-13-00348/>.

Список литературы

1. Simonenko T. L. et al. Microplotter Printing of aMiniature Flexible Supercapacitor Electrode Based on Hierarchically Organized NiCo_2O_4 Nanostructures // Materials. 2023. 16, 4202. <https://doi.org/10.3390/ma16124202>.
2. Simonenko T. L. et al. Hydrothermal Synthesis of a Cellular NiO Film on Carbon Paper as a Promising Way to Obtain a Hierarchically Organized Electrode for a Flexible Supercapacitor // Materials. 2023. 16. 5208. <https://doi.org/10.3390/ma16155208>.
3. Simonenko T. L. et al. Synthesis of Two-Dimensional NiO Nanostructures by a Combination of Programmable Chemical Deposition and Hydrothermal Treatment // Russian Journal of Inorganic Chemistry. 2023. Vol. 68. No. 12. pp. 1865–1874. DOI: 10.1134/S0036023623602131.

МЕТОДИКА НАНЕСЕНИЯ РАДИОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СЛОЖНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

И. В. Снятков¹, В. В. Бахметьев¹, Е. В. Зеленина^{1,2}, А. В. Чуркина¹

¹Санкт-Петербургский Государственный технологический институт (технический университет),
Российская Федерация;

²Радиевый институт им. В. Г. Хлопина,
Российская Федерация, ilicosnyatkov@gmail.com

Серийно выпускаемые радиолюминесцентные светоисточники (РЛС) представляют собой запаянные стеклянные капсулы с люминофорным покрытием на внутренней стороне, заполненные радиоактивным газом (как правило, тритием). Яркость такого светоисточника зависит не только от эффективности возбуждения, но и в значительной степени от состава, толщины, равномерности и прочности люминофорного покрытия. Основными требованиями к покрытиям являются равномерность нанесения, обеспечивающая равномерность свечения, подбор оптимальной толщины люминофорного слоя, его высокая радиационная, химическая и температурная стойкость, оптическая прозрачность и высокая адгезия покрытия к стеклу. Люминофорные экраны на основе жидкого стекла хорошо удерживают ионизирующее излучение и обладают достаточной радиационной стойкостью и оптической прозрачностью, что было показано нами ранее для люминофорных экранов на плоских поверхностях [1].

Разработана золь-гель методика нанесения равномерных и прочных люминесцентных покрытий регулируемой толщины на внутреннюю поверхность стеклянных трубок различного диаметра и длины. Толщина люминофорного покрытия может регулироваться двумя путями: концентрацией связующего и массой люминофора в суспензии (рисунок 1).

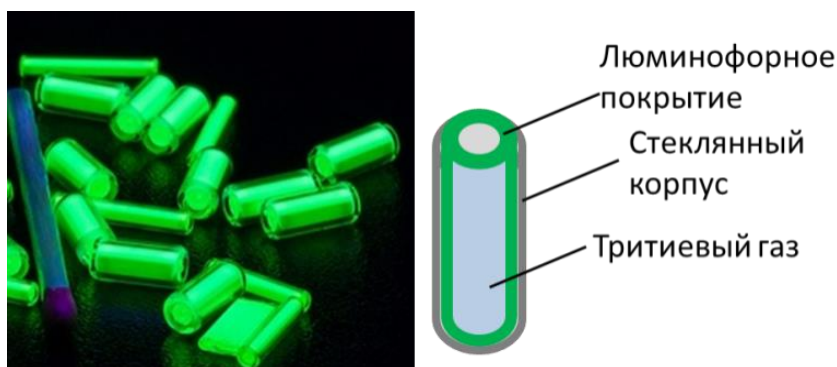


Рисунок 1 – Схема люминофорного покрытия радиолюминесцентного светоисточника

Соотношения компонентов суспензии, а также оптимальные режимы сушки покрытий были установлены опытным путем. Адгезия покрытия к стеклу испытывалась на специально разработанном виброударном стенде в диапазоне частот до 50 Гц с амплитудой ударного ускорения до 100 м/с². Испытания продемонстрировали увеличение прочности покрытий более чем на 20 %. Таким образом, разработанная методика обеспечивает нанесение люминофорных покрытий повышенной прочности без снижения яркостных показателей.

Список литературы

1. Zelenina, E., Bakhmetyev, V., Pechertseva, E., Sychoy, M. A modified sol–gel technique of phosphor screens preparation for tritium solid-state radioluminescent light sources (SRLS) // Journal of Sol-Gel Science and Technology. 2019. V. 92. №.2. P. 467-473.

ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ТЕХНОЛОГИИ И КЛЕТОК МИКРООРГАНИЗМОВ В СИНТЕЗЕ ПАЛЛАДИЕВОГО КАТАЛИЗАТОРА ДЛЯ РЕАКЦИИ МИЗОРОКИ-ХЕКА

В. Н. Соромотин, П. В. Рыбочкин, В. А. Перцева

Тульский государственный университет,
Российская Федерация, *kilativ90@yandex.ru*

Наночастицы палладия с размером менее 5 нм нанесенные на различные носители зарекомендовали себя как эффективные катализаторы органического синтеза. Однако вместе с этим наночастицы малого размера подвержены агломерации и личингу, что приводит к снижению активности катализатора и снижает срок его службы. Перспективной альтернативой «классическим» носителям (оксиды кремния и алюминия, углерод в разных формах) могут стать биологические носители в виде микроорганизмов.

В работе [1] предложена методика быстрого формирования наночастиц палладия на бактерии *Paracoccus Yeei* VKM В-3302, а полученный катализатор продемонстрировал высокую, сопоставимую с коммерчески доступным катализатором Pd/C активность в реакции Мизороки-Хека. Однако за 5 циклов работы катализатор 1 %-Pd/*P.yeei* потерял 23 % (по данным ICP-MS) от исходной загрузки палладия.

В настоящей работе предпринята попытка снижения потерь палладия в результате реакции Мизороки-Хека путем иммобилизации катализатора Pd/*P.yeei* в золь-гель материал. Полученный катализатор 1 %-Pd/*P.yeei*@ORMOSIL (1мол%) испытывали в реакции получения стильбена из йодбензола и стирола при 140 °С в течении 10 циклов (рисунок 1).

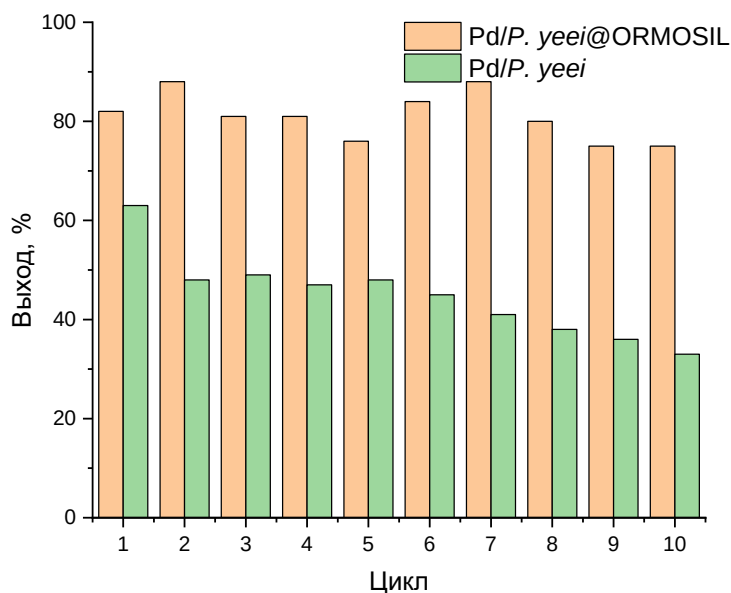


Рисунок 1 – Выход стильбена в реакции Мизороки-Хека

Иммобилизованный в золь-гель катализатор демонстрирует стабильность работы в течении 10 циклов, а потеря палладия составила 13 % от первоначальной загрузки.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-23-20040.

Список литературы

1. O. A. Kamanina и др., Sustainable catalysts in a short time: harnessing bacteria for swift palladium nanoparticle production // *Nanoscale*. (2025). Т 17, № 7. С. 5289-5300. 10.1039/D4NR03661A.

МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ МАССИВОВ ОТКРЫТЫХ МИКРОКАПСУЛ СО СТЕНКАМИ ИЗ ОКСИДОВ ИЛИ ГИДРОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕАКЦИЙ ГИДРОЛИЗА В МИКРОКАПЛЯХ АЭРОЗОЛЕЙ РАСТВОРОВ СОЛЕЙ МЕТАЛЛОВ НА ПОВЕРХНОСТИ РАСТВОРА ЩЕЛОЧИ

В. П. Толстой, А. А. Голубева, Т. А. Москвина

*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии
Российская Федерация, v.tolstoy@spbu.ru*

Как известно, упорядоченные массивы из наноразмерных частиц на поверхности различных подложек являются объектами пристального внимания в нанотехнологии и находят применение в составе множества, например, фотонных и электродных материалов.

Среди таких объектов особое внимание вызывают так называемые открытые микро-сферы и микрокапсулы. Наличие отверстий в их стенках обеспечивает более доступный массо- и электроно-обмен между активными центрами внутренней поверхности и реагентами в окружающей среде и, таким образом, большее количество мест для адсорбции и реакции молекул или ионов. Следует также отметить, что благодаря своей морфологии внутри таких микрокапсул создаются уникальные условия при отражении, рассеянии и поглощении света и эти особенности определяют эффективность их использования в составе фото-, фототермо- и фото-электрокатализаторов. При этом, наличие у полых микросфер тонкой стенки приводит к более эффективному разделению зарядов и это тоже способствует повышению эффективности таких катализаторов. Как правило, полые микроструктуры синтезируют с использованием жестких, жертвенных или мягких шаблонов. К числу жестких и жертвенных шаблонов относят различного рода твердые соединения, а мягких - микрокапли жидкости или газа.

В докладе обобщаются экспериментальные результаты по обоснованию предложенной ранее в работах [1–4] методологии создания на поверхности планарных подложек упорядоченных массивов из вазоподобных микрокапсул со стенками из оксидов или гидроксидов ряда переходных металлов и, в том числе, $\text{CeO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, YOOH , LaOOH , $\text{Cu}(\text{OH})_2/\text{CuO}$, Mn_3O_4 и др.

Данная методология включает несколько последовательных стадий при которых на первом этапе происходит формирование на поверхности раствора щелочи массива открытых и ориентированных по отношению к границе раздела раствор-воздух вазоподобных микрокапсул со стенками отмеченных составов. Далее на второй стадии проводится удаление избытка реагентов и на третьей – перенос данного массива на поверхность подложки. Анализируется влияние широкого круга условий определяющих формирование стенок таких микрокапсул в процессе гидролиза в микрокаплях солей металлов на поверхности раствора щелочи и среди них концентраций растворов, значений их плотности, поверхностного натяжения и т. д. На основе полученных результатов построена обобщенная модель наблюдаемых химических реакций при формировании стенок таких микрокапсул.

На примере микрокапсул со стенками из $\text{CeO}_2\text{:Eu}_x$ и Ni_xFeOH обращается внимание на возможность получения с использованием предлагаемой методологии чрезвычайно широкого круга микрокапсул со стенками из многокомпонентных оксидов и гидроксидов. Отмечается уникальная морфология таких открытых микрокапсул поскольку большинство из них имеют специальный ободок вокруг отверстия, который может служить своеобразным «фундаментом» при закреплении микрокапсул на стадии переноса на поверхность подложки (рисунок 1).

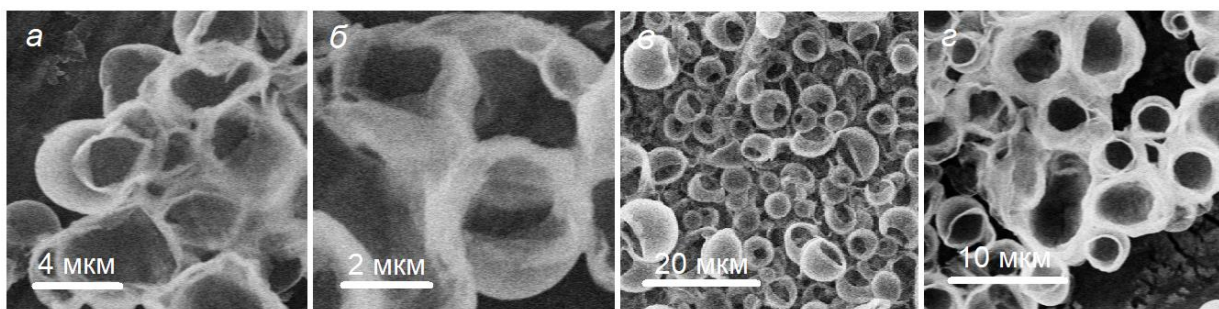


Рисунок 1 – СЭМ микрофотографии микрокапсул со стенками из YOOH (а), LaOOH (б), Cu(OH)₂/CuO (в) и CeO₂ (г).

Приводятся также результаты по термической стабильности таких микрокапсул и данные об изменении состава их стенок при прогреве образцов в атмосфере воздуха при температурах до 600 °С. Обсуждается возможность применения данных массивов микрокапсул в составах фото- и фототермокатализаторов различных химических процессов, газовых сенсоров и т. д.

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 25-49-00071).

Список литературы

1. Tolstoy V. P., Meleshko A. A., Golubeva A. A., et al. The Effect of the Open Vase-like Microcapsules Formation. // Coll. and Interf. 2022. V. 6, № 2. 32. DOI:10.3390/colloids6020032.
2. Tolstoy V. P., Danilov D. V., Meleshko A. A., Effect of the formation of open microcapsules with Mn₃O₄ walls during hydrolysis of the MnSO₄ salt solution droplets deposited on the alkaline...// Mend. Commun., V. 34, 3, 2024, P. 430-432, DOI:10.1016/j.mencom.2024.04.038.
3. Golubeva A. A., Meleshko A. A., Tolstoy V. P., Fast Hydrolysis in the Microdroplets of an Aqueous Solution of CuSO₄ on the Surface of an Alkali Solution... // Russ. J. of Inorg. Chem. 2025, V. 70, № 2, P. 290–297. DOI:10.1134/S0036023624603441.
4. Golubeva A., Kolesnikov I., Tolstoy V., Facile synthesis of vase-like CeO₂ microcapsules and their ordered arrays using the technique of spraying Ce(NO₃)₃ solution microdroplets on the alkali... // Ceram. Intern. 2024. V. 50, № 24, Part C, P. 56025-56032. DOI:10.1016/j.ceramint.2024.11.025.

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ Sr₂TiO₄

А. М. Упорова¹, А. А. Банникова², Ю. А. Деева^{1,2}, О. И. Гырдасова¹, Т. И. Чупахина¹

¹*Институт химии твёрдого тела УрО РАН,
Российская Федерация;*

²*Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина,
Российская Федерация, nastyauporova99@gmail.com*

Загрязнение водных ресурсов органическими соединениями, такими как фенолы, требует разработки эффективных методов очистки. Фотокатализ на основе полупроводниковых материалов, таких как Sr₂TiO₄, представляет собой перспективное решение благодаря их способности разлагать токсичные вещества под действием света. Ключевыми факторами, определяющими эффективность фотокатализаторов, являются их морфология и структурные особенности.

Материалы Sr_2TiO_4 были получены методами пиролиза нитратно-органических композиций и термолиза формиатных и гликолятных прекурсоров. Эти подходы позволили контролировать морфологию и дисперсность частиц, что напрямую повлияло на их фотокаталитическую активность.

Исследование морфологии Sr_2TiO_4 , проведенное с помощью сканирующей электронной микроскопии, показало, что материал состоит из частиц с четко выраженными гранями и средним размером от 0,7 до 2,0 мкм в зависимости от метода синтеза. Наибольшую удельную поверхность ($1,5 \pm 0,1 \text{ м}^2/\text{г}$) демонстрируют образцы, полученные формиатным методом, что способствует их высокой фотокаталитической активности.

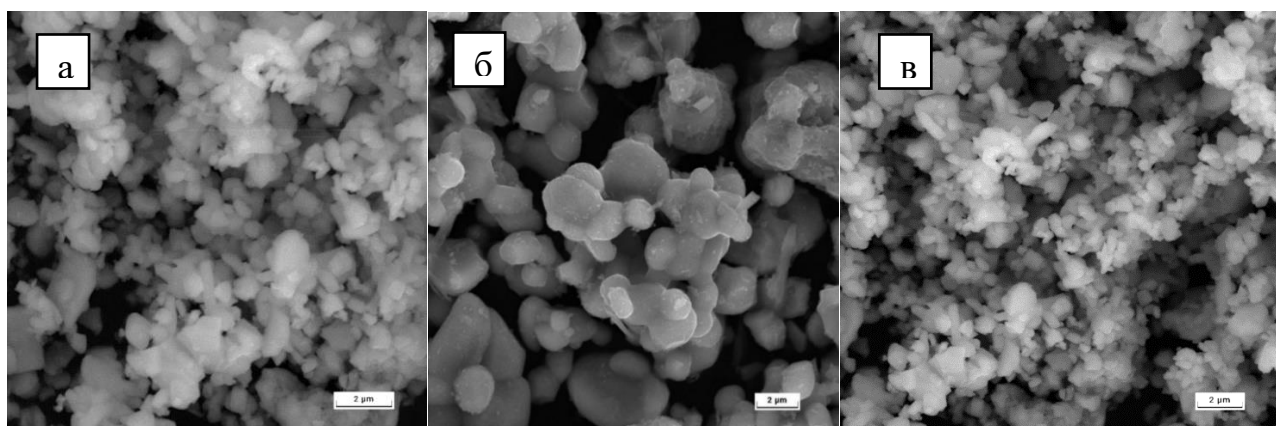


Рисунок 1 – СЭМ-изображение оксида Sr_2TiO_4 полученного пиролизом нитратно-органических композиций (а) и термолизом формиатных (б) и гликолятных (в) прекурсоров

Благодаря оптимальной морфологии и развитой поверхности материалы на основе Sr_2TiO_4 обладают высокой фотокаталитической активностью,кратно превышающей показатели коммерческих катализаторов на основе TiO_2 . Их способность работать как в УФ-, так и в видимом световом диапазоне открывает новые возможности для применения в экологических технологиях.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 24-23-20123) и Правительства Свердловской области (договор № 8-25-МГ).

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ РЕАГЕНТОВ НА СВОЙСТВА ДИОКСИДА ОЛОВА И ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПЛЁНОК НА ЕГО ОСНОВЕ

**Н. А. Фисенко¹, И. А. Соломатов^{1,2}, П. Д. Дементьева^{1,2}, Н. П. Симоненко¹,
А. С. Мокрушин¹, Ф. Ю. Горобцов¹, Т. Л. Симоненко¹, Е. П. Симоненко¹**

¹*Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН,
Российская Федерация, fisenkonk@yandex.ru;*

²*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
Российская Федерация, ivsolomatov@yandex.ru*

Диоксид олова является широкозонным ($E_g = 3,5\text{--}4 \text{ эВ}$) полупроводником n-типа и находит свое применение в качестве электродных материалов, в устройствах альтернативной

энергетики, в оптоэлектронных устройствах, катализе, хемосенсорике и не только [1–3]. Зачастую для получения SnO_2 методом химического осаждения используют хлориды олова(II) и олова(IV), что сопряжено с высокой вероятностью сохранения хлорид-ионов в составе образующегося оксида и негативно влияет на его электропроводность и другие свойства. В качестве альтернативного варианта возможно использование ацетата олова(II), что в том числе позволяет расширить спектр подходов к получению плёнок с заданными микроструктурными и функциональными характеристиками. Целью работы было изучение влияния природы Sn-содержащих реагентов на свойства формируемого SnO_2 и получение функциональных плёнок на его основе. Для синтеза SnO_2 методом химического осаждения добавляли к растворам ацетата и хлорида олова(II) раствор гидрата аммиака, после чего реакцию систему подвергали гидротермальной обработке при варьировании условий (120, 160 и 200 °C; длительность процесса – 2 ч). Полученные нанопорошки использовали для формирования электродных плёнок соответствующего состава для изучения их электрохимических характеристик и оценки эффективности в качестве электродов суперконденсаторов. Плёнки SnO_2 были изучены с применением комплекса физико-химических методов, а также проведена оценка их функциональных свойств. Высокая дисперсность образцов была подтверждена с помощью рентгенофазового анализа и электронной микроскопии, средний размер частиц составил от 2,2 до 9,1 нм в зависимости от условий термообработки. Построенные карты распределения поверхностных потенциалов позволили сделать выводы о равномерном распределении электронной плотности и низкой дефектности полученных материалов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (№ 25-13-00348, <https://rscf.ru/project/25-13-00348/>).

Список литературы

1. Fisenko N. A. Atmospheric Pressure Solvothermal Synthesis of Nanoscale SnO_2 and Its Application in Microextrusion Printing of a Thick-Film Chemosensor Material for Effective Ethanol Detection // *Sensors*, 2022, 22, 9800. DOI: 10.3390/s22249800.
2. Simonenko N. P. Printing Technologies as an Emerging Approach in Gas Sensors: Survey of Literature // *Sensors*, 2022, 22, 3473. DOI: 10.3390/s22093473.
3. Simonenko N. P. Microemulsion Synthesis of SnO_2 Spheres Using Tin Acetylacetonate as a Precursor // *Russ. J. Inorg. Chem.*, 2019, 64, 1758. DOI: 10.1134/S0036023619140092.

ОПТИЧЕСКИЕ И ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ TiO_2 И CeO_2

О. С. Халипова, Н. А. Елкин, С. А. Кузнецова

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Российская Федерация, chalipova@mail.ru*

Применение фотокатализаторов в виде тонких пленок на поверхности твердотельных носителей имеет большую практическую значимость. Это позволяет значительно повысить эффективность фотокаталитических процессов благодаря увеличенной площади активных центров, улучшенной интеграции с другими материалами, а также упростить технологию их извлечения из очищаемых растворов. Диоксид титана широко используется в качестве фотокатализатора.

Большое значение ширины запрещенной зоны (3,2 эВ) оксида делает его использование эффективным только под воздействием УФ облучения. Снижение ширины запрещенной зоны и повышение степени использования видимого света может быть достигнуто за счет создания многослойных покрытий на основе диоксида титана с диоксидом церия. Изменение порядка нанесения оксидных слоев разного химического состава на подложке позволяет управлять движением электронов и дырок. Электронные гетеропереходы способствуют изменению ширины запрещенной зоны, эффективному разделению носителей зарядов, снижению скорости их рекомбинации и увеличению фотокаталитических свойств.

В работе изучались оптические свойства и фотокаталитическая активность тонкопленочных материалов с разной гетероструктурой: стеклянная подложка/ $\text{CeO}_2/\text{TiO}_2$ и стеклянная подложка/ $\text{TiO}_2/\text{CeO}_2$, полученных золь-гель методом.

Для получения покрытия $\text{CeO}_2/\text{TiO}_2$, стеклянную подложку ($1,0 \times 2,5 \pm 0,2$ см) погружали в золь на основе нитрата гидроксосалицилата церия(III) в этаноле (0,3 моль/л). После процедуры вытягивания, подложку с нанесенным слоем золь сушили при температуре 60 °С в течении 1 часа и отжигали 1 час при температуре 500 °С. Затем наносили золь на основе тетрабутоксититана в бутаноле и проводили повторную термическую обработку в тех же условиях. Термическая обработка золь приводит к формированию диоксида церия со структурой флюорита и диоксида титана со структурой анатаза. При изменении порядка нанесения золь был получен материал – подложка/ $\text{TiO}_2/\text{CeO}_2$.

Установлено, что толщина формируемых покрытий составляет 230 ± 5 нм. Образцы характеризуются пропусканием 55–65 % при длинах волн от 440 до 1000 нм. Материал с гетероструктурой подложка/ $\text{TiO}_2/\text{CeO}_2$ отличается более высоким поглощением в области близкой к УФ ($\lambda = 300\text{--}400$ нм). Материал подложка/ $\text{CeO}_2/\text{TiO}_2$ характеризуется меньшим значением ширины запрещенной зоны (2,4 эВ) по сравнению с другими: подложка/ $\text{TiO}_2/\text{CeO}_2$ (3,1 эВ) и подложка/ TiO_2 (3,2 эВ). Степень разложения метилового оранжевого (2,5 мг/л) в водном растворе с использованием данного фотокатализатора под воздействием УФ облучения ($\lambda = 312$ нм) составляет 43 % за 120 минут, а константа скорости (k) – $4,5 \cdot 10^{-3} \text{ мин}^{-1}$, что превышает значения, достигнутые при использовании гетероструктуры подложка/ $\text{TiO}_2/\text{CeO}_2$ (степень разложения – 16 %, $k = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ мин}^{-1}$) и не уступает значениям скорости разложения красителей с использованием порошковых фотокатализаторов аналогичного состава.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПРИ МОДИФИКАЦИИ КРЕМНЕЗОЛЯМИ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

А. Г. Хантимиров, Л. А. Абдрахманова, Е. А. Сучкова

*Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
Российская Федерация, khantimirov94@mail.ru.; laa@kgasu.ru; katasuckova2004@gmail.com*

Поливинилхлорид (ПВХ) по своим объемам производства и потребления уступает только полиолефинам, как в мире, так и в России. Основное потребление ПВХ остается в производстве строительных материалов, например, в 2023 году на этот рынок ушло 86 % всего ПВХ в России. Многие годы на кафедре Технологии строительных материалов, изделий и конструкций Казанского государственного архитектурно-строительного университета разрабатываются модифицированные поливинилхлоридные строительные материалы различного функционального назначения, в последние годы основное внимание уделено древесно-полимерным композитам (ДПК). Одно из

основных направлений – это модификация их кремнезолями, в первую очередь, на стадии подготовки наполнителя - древесной муки. Установлены достаточно высокие показатели технических свойств композитов, изучены особенности технологии переработки ДПК в присутствии кремнезольей, рассматриваются возможные варианты взаимодействия кремнезольей с древесной мукой, как на стадии смешения компонентов, так и на стадии высокотемпературной переработки. Накоплен уже достаточно большой багаж исследований, хотя тех экспериментальных данных все же не хватает для того, чтобы выделить какой-то определяющий механизм изменения свойств полимерной матрицы [1, 2]. В данной работе рассмотрено влияние трех видов кремнезольей, стабилизированных ионами Na^+ , NH_4^+ и Cl^- , но имеющих одинаковую концентрацию SiO_2 (32-33 масс.%) и предложены возможные механизмы взаимодействия компонентов композиции. В золе, стабилизированном хлорид-ионом, частицы кремнезема положительно заряжены за счет нанесения на поверхность молекулярного слоя покрытия из оксида алюминия. Процесс перехода золя в однородный гель, вмещающий в себя жидкую фазу золя, происходит за счет сцепления частиц через образование связей Si-O-Si . Процесс, а именно, золь-гель синтез гибридного материала на основе древесной муки и коллоидного кремнезема происходит при совмещении частиц древесной муки с золями, в дальнейшем при сушке процесс конденсации между частицами кремнезема и поверхностью частиц древесной муки завершается. Теоретически была рассчитана толщина образованного на поверхности древесной муки слоя кремнезема при гелеобразовании. Значения толщин для кремнезольей находятся практически на одном уровне (650-700 мкм) ввиду равных величин силикатного модуля, то есть содержания SiO_2 . Методом ИК-спектроскопии проанализированы изменения в структуре древесной муки при обработке кремнезолями с одинаковым силикатным модулем. По величине эффекта снижения количества OH^- -групп в спектре древесной муки кремнезоли располагаются в ряд в зависимости от вида стабилизирующего иона: Na^+ , затем NH_4^+ и Cl^- . Интенсивность процесса гелеобразования с укрупнением частиц дисперсной фазы кремнезольей и осаждением их на поверхности частиц древесной муки подтверждается наличием полос Si-O-Si в ИК-спектрах древесной муки, интенсивность которых составляет 0,06; 0,03 и 0,02 % в том же ряду кремнезольей. Таким образом, одновременно идет процесс взаимодействия с активными группами OH^- и процесс гелеобразования с укрупнением частиц дисперсной фазы кремнезольей и осаждением их на поверхности частиц древесной муки. Эти данные согласуются со смачивающей способностью зольей по отношению к древесной муке. Наибольшей смачивающей способностью характеризуются золи, стабилизированные Na^+ , затем NH_4^+ , а для золя, стабилизированного Cl^- , по данным ДСК выявлен эндоэффект (хотя и небольшой по величине), что свидетельствует о снижении смачивания данным золем. Хорошо смачивая поверхность частиц ДМ, золи способствуют при составлении композиции «ПВХ-модифицированная древесная мука» увеличению сродства поверхности древесного наполнителя к полимеру. При снижении смачивающей способности процесс гелеобразования не завершается на поверхности древесной муки, поэтому при формировании структуры ДПК появляется возможность структурирования золя на поверхности частиц ПВХ, то есть за счет протекания перехода золь-гель одновременно на поверхности как частиц древесной муки, так и зерен ПВХ, чем и обуславливается большая степень взаимодействия на границе раздела фаз.

Список литературы

1. Абдрахманова Л. А., Мубаракшина Л. Ф., Низамов Р. К., Азанов Р. З., Хозин В. Г. Модификация кремне- и алюмозолями полимерных строительных материалов // Сборник тезисов докладов Второй международной конференции стран СНГ «Золь-гель-2012», Севастополь. 2012. С.107.

2. Абдрахманова Л. А., Хантимиров А. Г., Хозин В. Г., Низамов Р. К. Использование кремнезолой для модификации поливинилхлоридных ДПК // Сборник тезисов докладов Седьмой международной конференции стран СНГ «Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем «Золь-гель 2023». Москва. 2023. С.108.

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ С ШИРОКИМ СПЕКТРОМ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ДЛЯ МЕСТНОЙ ТЕРАПИИ В МЕДИЦИНЕ И ВЕТЕРИНАРИИ

**Т. Г. Хонина^{1,2}, Е. В. Шадрина¹, С. Г. Алексеенко¹, В. М. Фролова¹, М. Н. Добринская³,
Н. В. Изможерова³, М. М. Кохан⁴, А. В. Замятин³, О. Н. Чупахин^{1,5}**

¹*Институт органического синтеза им. И. Я. Постовского УрО РАН,
Российская Федерация;*

²*Уральский государственный аграрный университет,
Российская Федерация;*

³*Уральский государственный медицинский университет,
Российская Федерация;*

⁴*Уральский научно-исследовательский институт дерматовенерологии и иммунопатологии,
Российская Федерация;*

⁵*Уральский Федеральный университет имени Первого Президента России Б. Н. Ельцина,
Российская Федерация, khonina@ios.uran.ru*

Полиолаты биогенных элементов являются перспективными прекурсорами в золь-гель синтезе потенциальных лекарственных средств топического применения с широким спектром фармакологической активности [1, 2].

В докладе будут рассмотрены разработанные нами методологические подходы к золь-гель синтезу фармакологически активных веществ – потенциальных лекарственных препаратов топического применения с комплексом положительных фармакологических свойств, присущих полиолатам биогенных элементов. Разрабатываемые средства в виде жидких и мягких лекарственных форм также могут выполнять роль систем доставки активных лекарственных добавок в пораженные органы и ткани.

Основное внимание будет уделено ранозаживляющим, гемостатическим и антимикробным средствам для лечения травм и заболеваний кожи, мягких тканей и слизистых оболочек (полость рта, мочевого пузыря) различной этиологии, а также средствам для лечения воспалительных дерматозов - псориаз, атопический дерматит, экзема и др.

Кроме того, будут рассмотрены средства для местной терапии заболеваний молочной железы (маститы), репродуктивной системы (эндометриты) и копытца на примере сельскохозяйственных животных.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант №24-23-20164) и правительства Свердловской области.

Список литературы

1. Khonina T. G., Kungurov N. V., Zilberberg N. P., et al. Structural features and antimicrobial activity of hydrogels obtained by the sol–gel method from silicon, zinc, and boron glycerolates // J. Sol-Gel Sci. Technol. 2020. Vol. 95. P. 682-692. DOI 10.1007/s10971-020-05328-6.

ИССЛЕДОВАНИЕ АДсорбЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ ЦЕЗИЙСОДЕРЖАЩЕГО КВАРЦОИДНОГО СТЕКЛА

Т. А. Цыганова¹, Я. П. Лушанкин¹, С. В. Мякин², Л. Н. Куриленко¹, И. Н. Анфимова¹

¹Филиал Петербургского института ядерной физики им. Б. П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –
Институт химии силикатов им. И. В. Гребенищикова,
Российская Федерация, tsyganova2@yandex.ru

²Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
Российская Федерация, svmjakin@spbti.ru

В работе представлены результаты исследования функционального состава поверхности высококремнеземных (кварцoidных) стекол, содержащих цезий. Кварцoidные стекла (КС), содержащие цезий, являются перспективным материалом для применения в медицине, сельском хозяйстве, оптике, атомной промышленности. КС были синтезированы на основе пористых стекол (ПС) (состав по анализу, мас. %: 0.17 Na₂O · 5.96 B₂O₃ · 93.75 SiO₂ · 0.07 P₂O₅ · 0.05F) [1], которые были подвергнуты импрегнированию водно-аммиачными растворами CsNO₃ различной концентрации с последующим спеканием до схлопывания пор. Характеристики поверхности КС исследовали методами динамической рН-метрии и адсорбции кислотно-основных индикаторов [2]. По результатам динамической рН-метрии было установлено, что при погружении исследуемых образцов КС в воду наблюдается ступенчатое повышение величины ее рН (зависящее от содержания Cs₂O в стекле, варьируемого в диапазоне от 0.68 до 2.11 мас. %), которое можно объяснить как выделением катионов Cs, Na, так и взаимодействием с водой основных центров Льюиса и Бренстеда на поверхности стекла, образованных соответственно ионами кислорода и гидроксильными группами основного характера Si(OH)_n (n = 2, 3). Функциональный состав поверхности КС изучали по адсорбции индикаторов тимолового синего, метилового красного, бромкрезолового пурпурного и этиленгликоля, позволяющей оценить содержание соответственно бренстедовских основных (рK_a 8,8) и слабокислых (рK_a 5,0; 6,4), а также льюисовских кислотных (рK_a 14,2) центров соответственно. Полученные результаты показали, что для всех КС с ростом содержания Cs₂O (0,68 - 5,0 мас. %) наблюдается тенденция к уменьшению содержания бренстедовских центров, соответствующих гидроксильным группам Si(OH)_n (n = 1 – 3) и увеличению содержания льюисовских кислотных центров, связанных с атомами стеклообразующих элементов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Филиала НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИХС (Государственная регистрация № 1024030700034-2-1.4.3, Тематика 3).

Список литературы

1. Антропова Т. В., Калинина С. В., Костырева Т. Г., Дроздова И. А. Анфимова И.Н. // Физика и химия стекла. 2015. Т. 41. № 1. С. 25–41.
2. Сычев М.М., Минакова Т.С. Кислотно-основные характеристики поверхности твердых тел и управление свойствами материалов и композитов. – СПб. Химиздат, 2022. – 288 с.

СИНТЕЗ МОЛИБДЕНОВЫХ СИНЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИОННОГО ОБМЕНА И АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ В КАЧЕСТВЕ ВОССТАНОВИТЕЛЯ

Д. П. Чертин¹, Н. Н. Гаврилова¹

*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,
Российская Федерация, chertin.d.p@mustr.ru¹*

Синтез и исследование молибденовых синей актуально благодаря их многофункциональности. Данные соединения используются в аналитической химии, катализе, медицине и других областях, а также используются в качестве прекурсоров для получения карбидов и оксидов.

Большинство существующих методов получения молибденовых синей (электрохимическое, химическое, фотохимическое восстановление из растворов) имеют определённые недостатки: сложное аппаратное обеспечение, образование электролита при синтезе золя, низкие значения pH области агрегативной устойчивости, сложность масштабирования.

Использование ионного, как хорошо масштабируемого процесса, может позволить упростить синтез и избежать образования побочных продуктов.

В данном исследовании синтез дисперсий молибденовых синей осуществлялся поэтапным пропусканием раствора гептамолибдата аммония через ионит КУ-2-8 для удаления ионов аммония и восстановлением полученного элюата аскорбиновой кислотой. Молярное соотношение $[R]/[Mo]$ варьировалось от 0,01 до 5.

Для характеристики полученных систем использовались такие методы, как спектроскопия в видимой и ИК области, фотон-корреляционная спектроскопия, просвечивающая электронная микроскопия, рентгеновская спектроскопия.

Установлено, что образование полиоксометаллатных кластеров происходит во всём диапазоне молярных соотношений $[R]/[Mo]$ (от 0,01 до 5). По данным зависимостей ОВП, pH и оптической плотности определено время самосборки систем.

Анализ данных спектров поглощения и спектров комбинационного рассеяния позволил сделать вывод о том, что в диапазоне молярных соотношений от 0,01 до 0,1 образуются полиоксомолибдатные кластеры семейства $\{Mo_{15}4\}$, а при соотношениях больших 0,1 оптические свойства кластеров меняются. По данным просвечивающей электронной микроскопии определён диаметр частиц – 3,5 нм, что соответствует тороидальной структуре частиц. В области значений pH от 0,5 до 6,5 электрокинетический потенциал полученных систем имеет отрицательные значения и достигает максимального значения при pH = 4.

Разработанный способ синтеза позволяет получить агрегативно-устойчивые золи молибденовых синей с массовой концентрацией частиц 5 %, что превышает значения данного параметра для других известных методов. Применение ионного обмена делает синтез полиоксометаллатов более экологичным (получаемые золи не содержат побочные продукты реакции) и масштабируемым. Данный способ синтеза может быть также распространён на получение зольных дисперсий других полиоксометаллатов.

СЕНСОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ СВЕЖЕСТИ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ АНТОЦИАНОВ, ИММОБИЛИЗОВАННЫХ В СИЛИКАТНОЙ МАТРИЦЕ

Н. Ю. Чеснокова¹, И. В. Постнова¹, Ю. А. Щипунов²

*¹Институт химии ДВО РАН, Дальневосточный федеральный университет,
Российская Федерация, chesnokova.nyu@dvfu.ru; postnova.iv@dvfu.ru;*

*²Институт химии ДВО РАН,
Российская Федерация, yas@ich.dvo.ru*

Обеспечение качества и безопасности пищевых продуктов для человека от поступления сырья до непосредственного употребления представляет собой одну из приоритетных задач.

Одним из ключевых элементов в этой цепочке является контроль за свежестью продуктов, в особенности, за скоропортящимися, к которым относятся мясо, птица и рыба. В последнее время внимание обратили на антоциановые пигменты, которые находятся в пищевых продуктах растительного происхождения. Они характеризуются хорошей биосовместимостью и отсутствием токсичности. Их окраска зависит от pH среды. Как известно, порча мясных и рыбных продуктов под действием микроорганизмов сопровождается разложением белков с выделением амин-содержащих соединений, сдвигающих pH в щелочную сторону. Ряд антоцианов способны изменять окраску в этом диапазоне, что позволяет применить их для контроля за качеством продуктов. Однако антоциановые пигменты не имеют необходимой устойчивости. Они подвержены обесцвечиванию под действием света и окислению кислородом воздуха, что ограничивает их использования.

Настоящее исследование направлено на стабилизацию антоцианов и создание сенсоров для контроля за порчей мясных и рыбных продуктов питания. Для решения указанной задачи применен биомиметический золь-гель метод, позволивший иммобилизовать антоциановые пигменты в силикатной матрице с сохранением их основных физико-химических свойств.

Иммобилизация проведена с помощью силана тетраакис(2-гидроксиэтил)ортосиликата – далее ТГЭОС, предложенный в Институте химии ДВО РАН. К числу его достоинств относятся высокая растворимость в воде, что исключает использование органических растворителей, и, что более важно, протекание реакции гидролиза при нейтральных значениях pH без добавления кислоты или щелочи и нагрева реакционной смеси [1]. Благодаря указанным достоинствам, иммобилизация антоцианов осуществлена в условия максимально благоприятных для пигментов, минимизирующих их разрушение и обесцвечивание. На рисунке 1 приведены фотографии синтезированных образцов с различными концентрациями антоцианов.

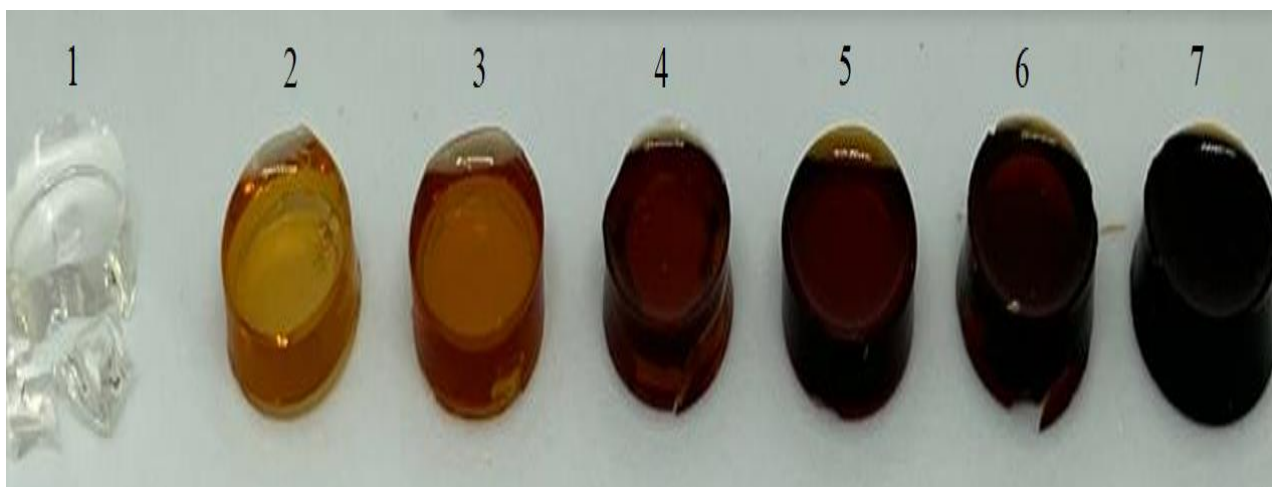


Рисунок 1 – Фотографии гидрогелей, содержащих антоцианы в концентрациях
1 – 0, 2 – 0,5, 3 – 1, 4 – 2, 5 – 3, 6 – 4, 7 – 5 мас. %

Из рисунка 1 видно, что интенсивность окраски гидрогелей усиливается с ростом содержания иммобилизованного антоцианового пигмента. Он также оказывает стабилизирующее действие, препятствуя растрескиванию силикатной матрицы. Кроме того, удалось существенно повысилась стабильность пигментов. Их окраска и спектральные характеристики оставались неизменными на протяжении трех недель. Растворы обесцвечивались через несколько дней. Исследование в парах аммиака показало обратимое изменение окраски, что позволяет их использовать в качестве сенсоров для определения свежести пищевых продуктов.

Список литературы

1. Shchipunov, Y. Biomimetic sol-gel chemistry to tailor structure, properties, and functionality of bionanocomposites by biopolymers and cells // *Materials*. 2023. Vol. 17. e224. DOI 10.32604/jrm.2025.02024-0032.

СЛОИСТЫЕ ГИДРОКСИДЫ РЗЭ, ИНТЕРКАЛИРОВАННЫЕ ДИПИКОЛИНАТАМИ ЕВРОПИЯ И ТЕРБИЯ

Е. Д. Шейченко^{1,2}, А. Д. Япрынцев², В. М. Гуменюк²

¹*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
Российская Федерация, kseterina@yandex.ru;*

²*Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова,
Российская Федерация yapryntsev@igic.ras.ru*

Слоистые гидроксиды РЗЭ (СГ РЗЭ) – класс слоистых неорганических анионообменных материалов, состоящих из положительно заряженных металл-гидроксидных слоёв и анионов расположенных между ними. Такое строение СГ РЗЭ позволяет сочетать уникальные характеристики лантанидов и интеркалированных анионов для создания многофункциональных материалов. Особый интерес представляет возможность интеркаляции полиидентатных лигандов в слоистые гидроксиды РЗЭ, поскольку они способны обеспечить дополнительные оптические взаимодействия сразу с несколькими катионами РЗЭ. Кроме того, полиидентатные анионные лиганды способны захватывать катионы металлов и интеркалироваться в слоистые гидроксиды в форме хелатных соединений, что может быть использовано для создания новых средств доставки лекарств, сорбентов и хемосенсоров.

Целью данной работы стала разработка методики получения гибридных материалов на основе СГ РЗЭ (Y, Eu-Tb) и анионных дипиколлинатов европия и тербия. Для реализации поставленной цели был выполнен ряд задач, включая синтез слоистых гидроксохлоридов РЗЭ; синтез анионных комплексов европия и тербия с дипиколлинат-анионом; проведение взаимодействия слоистых гидроксидов иттрия, европия, тербия и гадолиния с полученными комплексами; анализ состава, структуры и свойств полученных соединений методами РФА, РЭМ, РСМА, ИК-спектроскопии и люминесцентной спектроскопии.

В результате были получены гибридные материалы на основе слоистых гидроксидов РЗЭ и дипиколлинатов европия и тербия. В результате интеркаляции происходит увеличение межплоскостного пространства слоистого гидроксохлорида с 8 Å до 13 Å. В гибридных материалах слоистых гидроксидов европия и тербия с дипиколлинатами тербия и европия, соответственно, наблюдалась преимущественно только люминесценция европия, что указывает на наличие переноса $Tb^{3+} \rightarrow Eu^{3+}$ в полученных гибридных материалах. В указанных соединениях отношение полос $Eu^{3+} \ ^5D_0-^7F_2/^5D_0-^7F_1$ линейно увеличивалось с температурой (30–70 °С), что указывало на снижение локальной симметрии окружения Eu^{3+} с температурой. Вычисленные из полученных прямых значения коэффициентов температурной чувствительности для гибридных соединений слоистых гидроксидов РЗЭ с дипиколлинатами тербия и европия составили 0.63–2.2 %·K⁻¹·10⁻³. Максимальное значение температурной чувствительности (2.2 %·K⁻¹·10⁻³) было получено для слоистого гидроксида тербия, интеркалированного дипиколлинатом европия. На его примере была показана обратимость и циклируемость изменения люминесцентных свойств с температурой, что делает полученный материал перспективным для сенсорных приложений.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №24-73-00216).

SOL-GEL SYNTHESIS OF THE CuO/POLYMER NANOCOMPOSITE MATERIAL AND ITS PROPERTIES

D. J. Bekchanov, D. A. Eshtursunov, I. A. Abdujalilov, M. G. Mukhamediev

*National University of Uzbekistan,
Republic of Uzbekistan, eshtursunovd@gmail.com*

The development of polymer nanocomposites is a promising direction in the chemistry and technology of polymer materials. The combination of a polymer matrix with an inorganic phase allows for a synergistic enhancement of mechanical strength, thermal and chemical resistance, as well as the introduction of new functional properties such as photocatalytic activity, conductivity, and antibacterial behavior. Previous studies have shown that the sol-gel method, based on the hydrolytic polycondensation of inorganic precursors, can be successfully applied to obtain a wide range of oxide nanoparticles and ensure their uniform distribution within the polymer matrix. In particular, this approach has proven effective in modifying polymers with oxides of titanium, zinc, iron, and copper, providing stable dispersion and strong interfacial adhesion.

To prepare the hybrid polymer matrix, a two-stage modification of polyvinyl chloride (PVC) with polyethyleneimine (PEI) was carried out. PVC (3.0 g) was mixed with 10 mL of a 70 % aqueous solution of PEI ($\geq 99\%$) in a 100 mL round-bottom flask. The mixture was stirred at 300 rpm and heated in a water bath at 80 °C for 2 hours, initiating nucleophilic substitution of chlorine atoms by the amino groups of PEI in the PVC macromolecules. The reaction mixture was then transferred to a 50 mL Teflon-lined autoclave and subjected to hydrothermal treatment at 150 °C for 3 hours under autogenous pressure. The hydrothermal conditions ensured both the completion of the substitution reaction and partial cross-linking of PEI, which was confirmed by the formation of a dense, mechanically stable powder morphology. The resulting material was washed and vacuum-dried and is referred to as PPE-4. The synthesized PPE-4 was then used as a reactive solid-phase support for the preparation of the copper-based nanocomposite. A sol-gel method was employed using copper(II) nitrate trihydrate ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) and sodium citrate in a 1:1 molar ratio. The resulting mixture was thoroughly stirred at 70 °C for 2 hours, and the pH was adjusted to approximately 7 using aqueous ammonia. Aging of the sol for 12 hours enabled the diffusion of copper ions into the pores and coordination sites of the PEI structure, where controlled nucleation subsequently occurred. The material was then dried at 120 °C for 10 hours, and the resulting xerogel was calcined at 450 °C (2 hours, heating rate of 5 °C/min), leading to the formation of stabilized black CuO powders homogeneously distributed within the polymer matrix.

In this study, a photocatalytically active CuO/PPE-4 nanocomposite was synthesized using the sol-gel method and evaluated for its efficiency in the degradation of methomyl ($\text{C}_5\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$) in aqueous solutions with initial concentrations ranging from 0.00025 to 0.001 M. Aliquots of 50 mL of the working solutions were treated with 0.5 g of CuO/PPE-4 and allowed to stand in the dark for 20 minutes to establish adsorption-desorption equilibrium (Figure 1a–d). Photocatalytic experiments were conducted under UV irradiation (365 nm) using a PCX50C Discover photoreactor, and degradation was monitored via a UV-1900i spectrophotometer. The characteristic absorption maximum of methomyl was observed at 234 nm, corresponding to the π – π^* transition in its molecular structure. In all concentrations tested, the absorbance at 234 nm decreased over time, indicating progressive degradation of the methomyl molecule under UV exposure in the presence of the catalyst. The fastest rate of decrease was observed at a concentration of 2.5×10^{-4} mol/L, where the absorption signal nearly disappeared by the 140th minute. In contrast, at a higher concentration of 1.0×10^{-3} mol/L, noticeable absorbance was still present even after 200 minutes of irradiation.

To confirm the reaction kinetics, a plot of $-\ln(C/C_0)$ versus time was constructed (Figure 1e–f). The resulting linear relationships confirm that the photocatalytic degradation follows a pseudo-first-order kinetic model, with high correlation coefficients (R^2), particularly at lower concentrations (e.g., $R^2 = 0.97703$ at 2.5×10^{-4} mol/L). The corresponding C/C_0 versus time curves are shown in Figure 1e,

where faster degradation rates can clearly be observed at lower initial methomyl concentrations. In Figure 1g, the calculated rate constants (k) obtained from the linear portions of the pseudo-first-order plots are presented. The rate constants vary from 0.02745 min^{-1} at $2.5 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ to 0.00307 min^{-1} at $1 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$. This trend can be attributed to the saturation of active catalytic sites on the CuO surface at higher concentrations, which reduces the availability of sites for adsorption and radical generation. In addition, at elevated methomyl concentrations, light shielding effects become more pronounced, leading to a reduced generation of reactive species such as $\bullet\text{OH}$ and $\text{O}_2^{\bullet-}$ radicals.

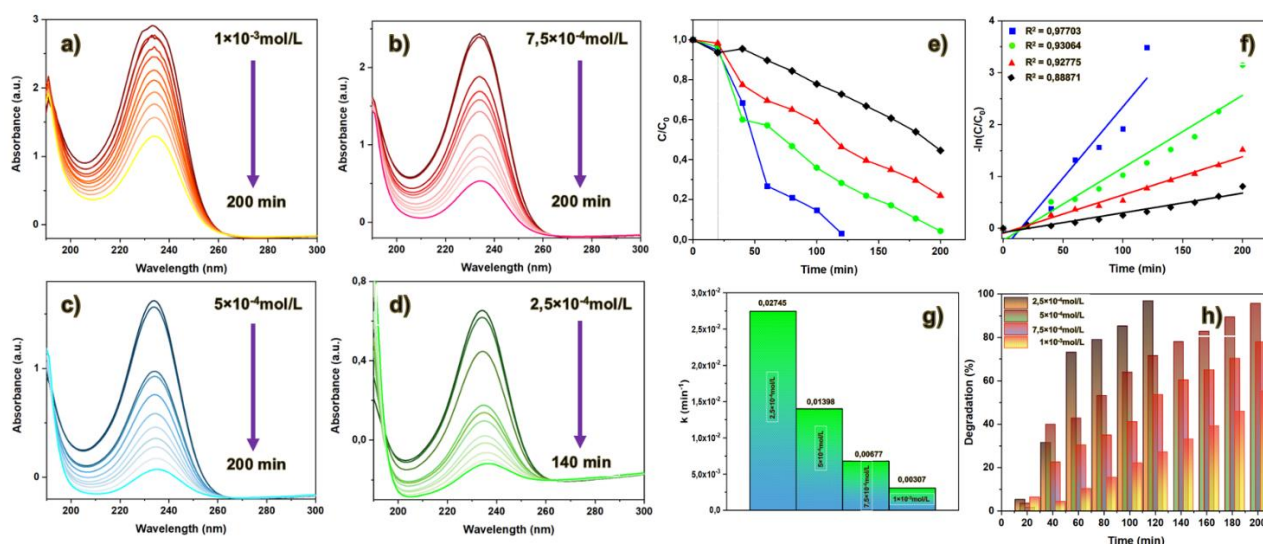


Figure 1 – (a–d) UV absorption spectra of methomyl at different initial concentrations during photocatalytic degradation under UV irradiation (365 nm) using CuO/PPE-4; (e–f) kinetic plots of methomyl degradation showing linearized pseudo-first-order behavior; (g) calculated rate constants (k) at various methomyl concentrations; (h) degradation efficiency as a function of time

Figure 1h shows the change in degradation efficiency (%) over time for all studied methomyl concentrations. After 140 minutes, more than 90 % degradation was achieved at the lowest concentration, whereas at the highest concentration, less than 50 % degradation was observed even after 200 minutes. These results emphasize the importance of selecting an optimal catalyst-to-substrate ratio and confirm the high efficiency of CuO/PPE-4 under dilute pollutant conditions. The obtained data revealed that the highest degradation rate ($k = 0.02745 \text{ min}^{-1}$) was achieved at a concentration of 0.00025 M , consistent with first-order kinetics ($R^2 > 0.97703$). After 140 minutes of photocatalysis, the degradation degree of methomyl exceeded 95 %, indicating the high photocatalytic activity of CuO/PPE-4 under UV irradiation. The material demonstrated strong potential for application in wastewater treatment systems for the removal of pesticide contaminants.

PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF ORGANIC DYES USING IN SITU SYNTHESIZED CO-DOPED ZnO/SiOC NANOCOMPOSITES UNDER VISIBLE IRRADIATION

R. Sh. Hasanov^{1,2}, O. N. Ruzimuradov¹, Sh. Mamatkulov²

¹Turin Polytechnic University in Tashkent,

Republic of Uzbekistan, hasanovrustam219@gmail.com;

²Institute of Material Sciences ASUZ, Republic of Uzbekistan

Silicon oxycarbide (SiOC) is a distinct type of polymer-derived ceramic (PDC) characterized by an amorphous network structure comprising silicon, oxygen, and carbon atoms. Recognized as an

advanced functional material, modified SiOC ceramics have attracted great interest due to their low density, tunable microstructure, and excellent resistance to high-temperature oxidation [1]. Transition metal-containing silicon oxycarbide (SiOC) composites exhibit enhanced functional properties compared to pure SiOC and are therefore garnering increased attention across various fields [2].

Experimental method. The process involved dissolving Commercial polysiloxane along with zinc (II) nitrate hexahydrate ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) and nickel (II) nitrate hexahydrate ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) separately in ethanol. Next, the solutions of $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ were added to the polysiloxane solution to create the modified Co-doped ZnO/SiOC precursor. After stirring the mixture for 0.5 hours at room temperature, the Co-doped ZnO/SiOC modified polysiloxane precursor was obtained.

Pyrolysis of modified Ni doped ZnO/SiOC composite. The PSO precursor, modified with $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, underwent an initial cross-linking process in an Ar atmosphere at 200°C for 2 hours. Subsequently, the material was pyrolyzed at 700°C for 2 hours, resulting in the formation of a modified Co-doped ZnO/SiOC composite ceramic. For comparison, SiOC ceramics were prepared using the same procedure.

Study of photocatalytic degradation Figure 1 shows the graphs of the photodegradation process of methyl orange (MO) dye by SiOC/Co-doped ZnO nanocomposite: (a) UV–Vis absorbance spectra in the range of 350–600 nm show a consistent decrease in MO concentration over time; (b) the time dependence of C/C_0 confirms the efficiency of the photodegradation process; (c) the almost linear shape of the $\ln(C/C_0)$ graph and the coefficient $R^2 = 0.97786$ indicate that this process is consistent with the first-order kinetic model.

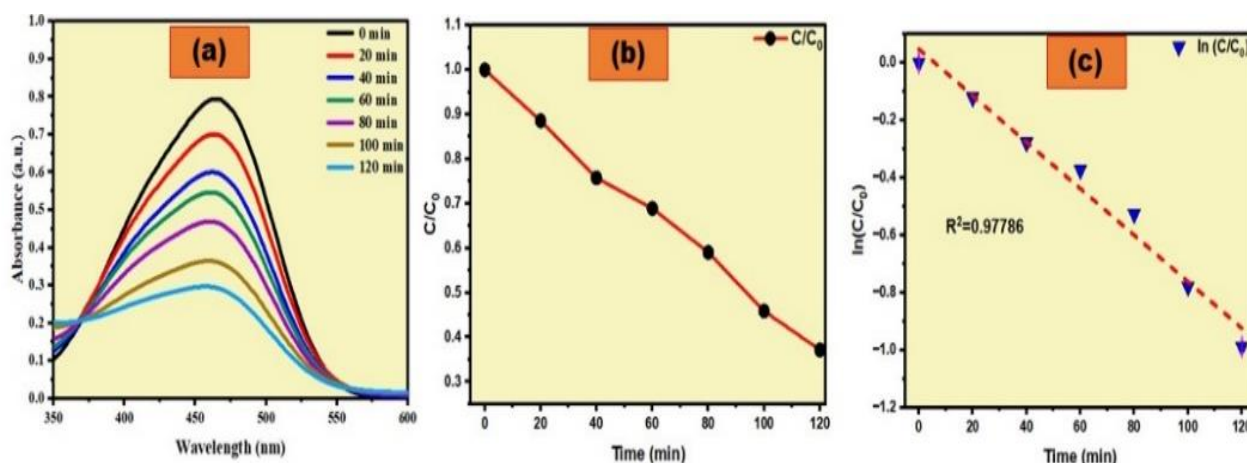


Figure 1 – (a) Absorbance spectra, (b) C/C_0 versus time, and (c) $\ln(C/C_0)$ plot – photocatalytic degradation of MO dye using SiOC/Co-doped ZnO nanocomposite

Co-doped ZnO/SiOC nanocomposites have high photocatalytic potential for the degradation of organic dyes under UV and visible light irradiation. The effective reduction of the methyl orange (MO) dye concentration and the stable degradation rate demonstrate the importance of these nanocomposites as effective photocatalysts.

Bibliography

1. Sugie, C., Navrotsky, A., Lauterbach, S., Kleebe, H. J., & Mera, G. (2021). Structure and thermodynamics of silicon oxycarbide polymer-derived ceramics with and without mixed-bonding. *Materials*, 14(15), 4075.
2. Yang, Ni. "Fundamental Understanding and Functionality of Silicon Oxycarbide." (2021).

SYNTHESIS AND PHOTOCATALYTIC PROPERTIES OF CARBON QUANTUM DOTS

A. F. Ishankulov¹, F. J. Sobirova¹, Q. F. Khalilov¹, N. Q. Mukhamadiev¹, Y. G. Galyametdinov²

¹*Samarkand state university, Samarkand,
Republic of Uzbekistan, ishankulov@mail.ru*

²*Russian Federation, National Research Technological University*

The topic "Synthesis and photocatalytic properties of carbon quantum dots (CQDs)" focuses on the preparation methods and functional applications of CQDs in photocatalysis. Carbon quantum dots are a class of zero-dimensional carbon-based nanomaterials, typically less than 10 nm in size, known for their excellent water solubility, low toxicity, biocompatibility, and tunable photoluminescence. This research area explores various synthetic approaches including hydrothermal, microwave-assisted, and electrochemical methods using natural or synthetic carbon sources. The photocatalytic properties of CQDs are attributed to their unique electronic structure, up-conversion photoluminescence, and ability to act as electron reservoirs, which enhance charge separation and light absorption in photocatalytic systems.

The synthesis of carbon quantum dots, 0.005 mol of citric acid and 335 ml of ethylenediamine were added to 300 ml of distilled water. 0.05 g of p-benzoquinone was dissolved in 5 ml, 10 ml, 15 ml of distilled water and thoroughly mixed at a temperature of 70 °C. All processes were carried out under argon with constant stirring.

g-C₃N₄ structures were obtained by thermal decomposition of melamine at a heating rate of 5 °C/min to 550 °C (2 h) and exposure at 550 °C for 1 h in an argon atmosphere. To obtain the CdZnS/g-C₃N₄ heterostructure, 0.266 g (1 mmol) of cadmium acetate dihydrate, 0.220 (1 mmol) of zinc acetate dihydrate, 0.381 g (5 mmol) of thiourea and 1 g (8 mmol) of melamine were taken and mixed. CdZnS and ZnIn₂S₄ samples were synthesized under similar conditions without the use of melamine. The synthesis of γ-C₃N₄ structures was carried out by decomposition of melamine at 550 °C. The synthesis of CdZnS/γ-C₃N₄ and ZnIn₂S₄/γ-C₃N₄ quantum dots is described in detail in [3].

Bibliography

1. X. Li, J. Xiong, X. Gao, J. Huang, Z. Feng, Z. Chen, Y. Zhu, Recent advances in 3D g- C₃N₄ composite photocatalysts for photocatalytic water splitting, degradation of pollutants and CO₂ reduction, J. Alloys Compd. 802 (2019) 196–209, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.06>.
2. Shamilov R. R. et al. Dye adsorption and degradation properties of g-C₃N₄/ZnIn₂S₄ and g-C₃N₄/C-dots/ZnIn₂S₄ photocatalytic materials //Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. – 2024. – T. 455. – C. 115791.
3. Ishankulov A.F., Eliboev I., Berdimurodov E. T. (2025). Advancing Analytical Chemistry with Carbon Quantum Dots: Comprehensive review. Analytical Methods.

SYNTHESIS OF La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_{3-δ} PEROVSKITE IN BIG SOLAR FURNACE

Sh. I. Mamatkulov, S. A. Ibodullayev, M. D. Pecherskaya, D. K. Akhmedova

*Institute of Material Sciences, Academy of Sciences,
Republic of Uzbekistan, mi-shavkat@yandex.ru*

In this work we investigated the relationship between the electrical, thermodynamic and catalytic properties of the La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_{3-δ} (LSCF) perovskite material prepared by the sol-gel method and annealed in big solar furnace. The stability of perovskites including LSCF, especially

retaining initial catalytic/electrocatalytic activity and electronic-ionic conductivity, during long-term operation in methane has to be considered for the use of these materials as a part of the solid oxide fuel cells (SOFC) anode. Further development will require optimization of electrocatalytic oxidation activity and sintering resistance through fine-tuning perovskite compositions. The LSCF perovskite material, characterized by its nanoscale crystallite size and cubic structure, exhibits exceptional properties that enable its use in a variety of advanced technological applications [1–2]. Additionally, LSCF is highly suitable for oxygen separation membranes, where its robust structure and conductivity facilitate efficient gas separation processes, critical for industrial applications such as oxygen production and purification. Furthermore, the material serves as an effective catalyst in environmental applications, including CO oxidation and NO_x reduction, contributing to air pollution control and the mitigation of greenhouse gas emissions [3]. The synthesis process, utilizing the sol-gel method with solar-assisted annealing, underscores its potential for scalable, environmentally sustainable production.

Figures 1 show the results of the diffraction patterns using the Rietveld method for LSCF samples synthesized at 1700 °C in solar furnace and their DT TGA analysis. The results of TG-DTA analysis provide important indicators for the selection of the synthesis temperature for the LSCF material.

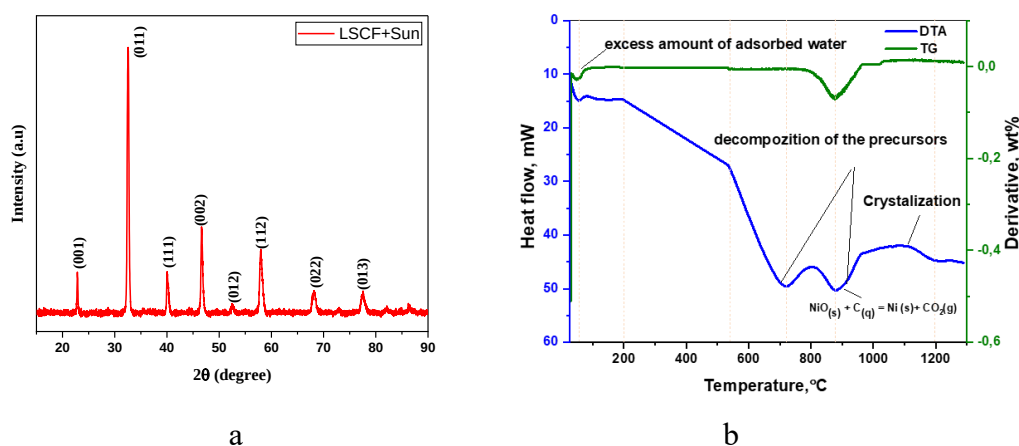


Figure 1 – XRD (A) of La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_{3-δ} and TG-DTA analysis prepared by sol-gel method and annealed in solar furnace

The carbonate and organic components contained in the material are mainly decomposed in the range of 200–800 °C. The formation of the perovskite phase occurs around 600–800 °C, and the main crystalline phases are observed in this temperature range. The selection of 1000 °C as the optimal synthesis temperature is based on the formation of the complete perovskite phase and the achievement of stable thermal properties of the material. Thermal recovery modes were optimized for each of the methods for fabricating the LSCF composite material in a wide temperature range of 1100–1200 °C and depending on time. Composition and microstructure analysis of fuel cell anodes after testing showed less carbon deposition on the LSCF-Ni/YSZ anode compared to Ni/YSZ. LSCF retained its perovskite structure after long-term stability test in CH₄. The results of this study suggest that LSCF is a promising promoter catalyst for stable direct CH₄ fuel cells.

This work funded by Innovative development agency grant. FL-7923051799.

Bibliography

1. Akbari-Fakhrabadi, A., et al., Low frequency ultrasound assisted synthesis of La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_{3-δ} (LSCF) perovskite nanostructures. Powder Technology, 2015. 276: p. 200-203.

2. Yoo, Y.-S., et al., A Facile Combustion Synthesis Route for Performance Enhancement of La 0.6 Sr 0.4 Co 0.2 Fe 0.8 O 3-δ (LSCF6428) as a Robust Cathode Material for IT-SOFC. Journal of the Korean Ceramic Society, 2019. 56(5), p. 497-505.

3. Habib, M., et al., A review of recent developments in carbon capture utilizing oxy-fuel combustion in conventional and ion transport membrane systems. International Journal of Energy Research, 2011. 35(9), p. 741-764.

SOL-GEL SYNTHESIS OF ZINC-CONTAINING SiOC-BASED CATALYSTS FOR THE VINYLATION OF AROMATIC CARBOXYLIC ACIDS

A. B. Parmanov¹, S. E. Nurmanov¹, M. Z. Wilamowska², O. N. Ruzimuradov³

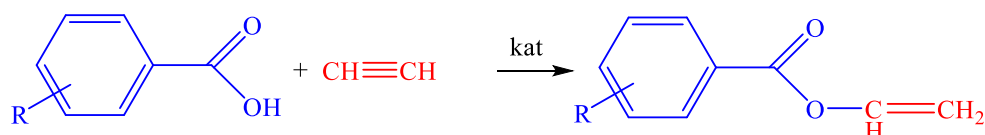
¹National University of Uzbekistan,
Republic of Uzbekistan, asqarparmanov@gmail.com;

²Gdańsk University of Technology,
Gdansk, Poland, monika.wilamowska@pg.edu.pl;

³Turin Polytechnic University in Tashkent,
Republic of Uzbekistan, o.ruzimuradov@polito.uz

In recent years metal nanoparticles embedded in silicon oxycarbide (SiOC) have been widely used in the field of organic synthesis owing to their high thermal stability, large surface area, reaction selectivity and unique catalytic properties.

In this work Zn/SiOC catalytic system synthesized by the sol-gel method from polymethylhydrosiloxane and divinylbenzene in the presence of a platinum Karstedt catalyst was applied to the synthesis vinyl esters through the heterogeneous catalytic vinylation of selected aromatic carboxylic acids with acetylene [1]. The vinylation reaction of several substituted aromatic carboxylic acids with acetylene was carried out in the presence of a nanostructured Zn/SiOC-based catalytic system in DMF solution at 150 °C for 12 hours. The starting aromatic carboxylic acid and acetylene were used at molar ratio 1:2. The general scheme of the reaction can be as follow:



1=C₆H₅COOH; **2**=4-CH₃-C₆H₄COOH; **3**=4-CH₃O-C₆H₄COOH; **4**=4-F-C₆H₄COOH; **5**=4-(CH₃)₃C-C₆H₄COOH; **6**=4-Cl-C₆H₄COOH.

Below is presented the effect of the zinc metal mass content (10, 30, 50 and 70 %) in the Zn/SiOC catalytic system on the yield of vinyl esters in the vinylation reactions of aromatic carboxylic acids with acetylene (table 1).

Table 1 – Dependence of vinyl ester yields on the zinc ion mass fraction in the Zn/SiOC catalytic system (*Temperature – 150 °C, reaction time – 12 h., solvent – DMFA, catalyst amount – 10 mol%*)

№	Carboxylic acids	Catalytic system / Yield of vinyl ester, %			
		Zn/SiOC_10	Zn/SiOC_30	Zn/SiOC_50	Zn/SiOC_70
1	2	3	4	5	6
1	1	55	70	80	75
2	2	52	68	77	72

End of table 1

1	2	3	4	5	6
3	3	48	63	70	65
4	4	58	73	83	78
5	5	45	58	65	60
6	6	60	75	85	80

It can be observed that at the vinylation of carboxylic acids the Zn/SiOC_10 and Zn/SiOC_30 catalytic systems showed the lowest vinyl ester yield owing to an insufficient number of active sites for the reaction to proceed efficiently. The highest vinyl ester yield was achieved at using the Zn/SiOC_50 catalytic system, what can be attributed to a greater number of active sites and better dispersion of metal ions. In the case of Zn/SiOC_70 the excess amount of zinc metal led to a decreasing of active sites and catalytic activity, resulting in a reducing yield of vinyl esters.

Bibliography

1. Stabler C. et al. Silicon oxycarbide glasses and glass-ceramics. Journal of the American ceramic society. – 2018. – T. 101. – №. 11. – S. 4817-4856.

SILICA AND SILSESQUAXANE. BIOMIMETIC SYNTHESIS AND FUNCTIONALIZATION ON AEROGELS FROM NANO/MICROFIBRILLATED CELLULOSE

Y. Shchipunov

*Institute of Chemistry, Far-East Department, Russian Academy of Sciences,
Russian Federation, YAS@ich.dvo.ru*

Common sol-gel processing is far from biomimetic character because of using such precursors as tetraethoxysilane (TEOS) or methyltriethoxysilane. Their application needs to add an organic solvent and acid/alkali, as well as to heat for catalysis and acceleration of the processes. This results in protein denaturation, precipitation of some polysaccharides and formation of heterogeneous bionanocomposites without certain structural organization because of the absence of any regulation of the sol-gel process by the biopolymers. Biosilica synthesized in living nature is formed under mild conditions via green routes and superior control of biopolymers over its structural organization [1].

Here, the fabrication of bionanocomposites on the basis of aerogels made from nano/microfibrillated cellulose with the help of biocompatible precursors is presented. Used silanes were synthesized by exchanging the alcohol residues in TEOS and methyltriethoxysilane for ethylene glycol by means of transesterification reaction [2, 3]. Tetrakis(2-hydroxyethyl)silane (THEOS) and tris(2-hydroxyethoxy)methylsilane (THEMS) were prepared, respectively. The exchange resulted in complete solubility of THEOS in water, while THEMS could be dissolved up to 20 %. This means that no organic solvent was required to dissolve them. Furthermore, ethylene glycol issued after their hydrolysis which did not cause the protein denaturation or polysaccharide precipitation. Nano/microfibrillated cellulose, in its turn, catalyze and regulate the sol-gel processing, determining the structure of the formed silica or polysilsesquioxane. Mineralization was performed at mild conditions in neutral aqueous solutions without the addition of organic solvent, acid/alkali and any heating. Conditions were dictated by biopolymers, but not the sol-gel processes. Mineralization performed with THEOS and THEMS well biomimic the biosynthesis of biosilica in living nature.

The features of processes, structure, properties and functional characteristics of the resulting bionanocomposites are reviewed in the presentation.

Both silanes provided the formation of coating on nano/microfibrils that increased mechanical strength of aerogels. Further properties differed notably. Coating formed by THEOS did not change

hydrophilic nature of cellulosic bionanocomposite. It resulted in flame-retardancy. Aerogels were stable under heating. Charring was observed only at the area of flame exposure. The flame practically no spread along the sample. Areas not exposed to the flame did not darken or char.

THEMS treatment resulted in the formation of a superhydrophobic coating, which provided water-repellent properties. Schematic Figure 1 shows the differences in the surface layers of the coatings formed using THEOS and THEMS.

Aerogels with a superhydrophobic coating had good buoyancy, remaining on the surface of water and floating up after being immersed. They had a high absorption capacity with respect to organic solvents and oils. Due to the elasticity of the aerogels, the absorbed liquids could be squeezed out by compression and the bionanocomposite could then be used for re-absorption.

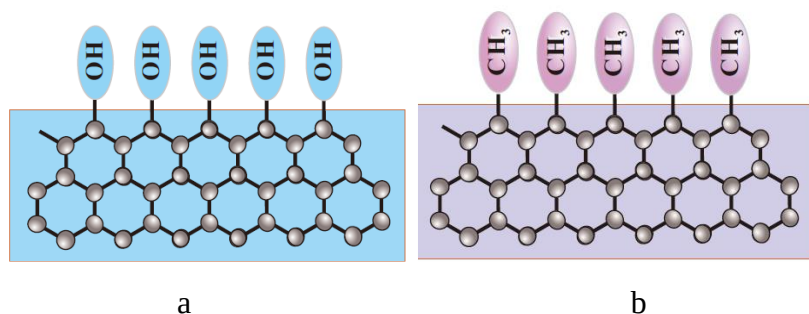


Figure 1 – Schematic representation of the surface of coatings formed using THEOS (a) and THEMS (b)

Detailed study of the aerogels revealed that the coating consists of ladder polysilsesquioxanes [4]. Nano/microfibrils of cellulose served as a structure-directing template, catalyzing sol-gel processes that occurred in very dilute neutral solutions.

Bibliography

1. Shchipunov, Y. Biomimetic sol-gel chemistry to tailor structure, properties, and functionality of bionanocomposites by biopolymers and cells // *Materials*. 2023. Vol. 17. e224. DOI 10.3390/ma17010224
2. Shchipunov Y. A., Karpenko T. Y. Hybrid polysaccharide-silica nanocomposites prepared by the sol-gel technique // *Langmuir* 2004. Vol. 20. No. 10. P. 3882 - 3887.
3. Postnova I. V., Chen L. J., Shchipunov Y. A. One-pot synthesis of monolithic macroporous polymethylsilsesquioxane absorbing oil // *Colloid J.* 2015. Vol. 77. No. 2. P. 248 – 250.
4. Postnova I., Khlebnikov O., Sarin S., Shchipunov Y. Nano/microfibrillated cellulose as a structure-directing template for one-stage synthesis of ladder polysilsesquioxane in diluted aqueous solutions at ambient conditions // *ACS Appl. Polym. Mater.* 2025. Vol. 7. No. 7. P. 4177 - 4182.

X-RAY PHASE ANALYSIS OF SYNTHESIZED GRAPHENE OXIDE

Kh. Kh. Turaev¹, Sh. A. Kasimov¹, D. Kh. Shukurov², P. J. Tojiyev³, O. N. Ruzimuradov⁴

¹*Termez State University, Faculty of Chemistry,
Republic of Uzbekistan, hhturaev@rambler.ru;*

²*Denau Institute of Entrepreneurship and Pedagogy,
Republic of Uzbekistan, dkhursanovich@mail.ru;*

³*Termiz State Pedagogical Institute, Republic of Uzbekistan;*

⁴*Turin Polytechnic University in Tashkent, Republic of Uzbekistan*

The analysis was conducted using the X-ray phase analysis equipment with the brand (XRD-6100 SHIMADZU X-RAY Diffractometer). It allowed for measuring the average distance

between layers or atomic rows of the obtained polymer material, determining the orientation of a single crystal or molecule, identifying whether an unknown material has a crystalline or amorphous structure and its quantity, measuring the size, shape, and internal structure of small crystalline regions, and performing qualitative and quantitative analysis of the material's composition. Additionally, it was determined that the graphene oxide molecule has a 100% crystalline structure, as shown in Figure 1 [1].

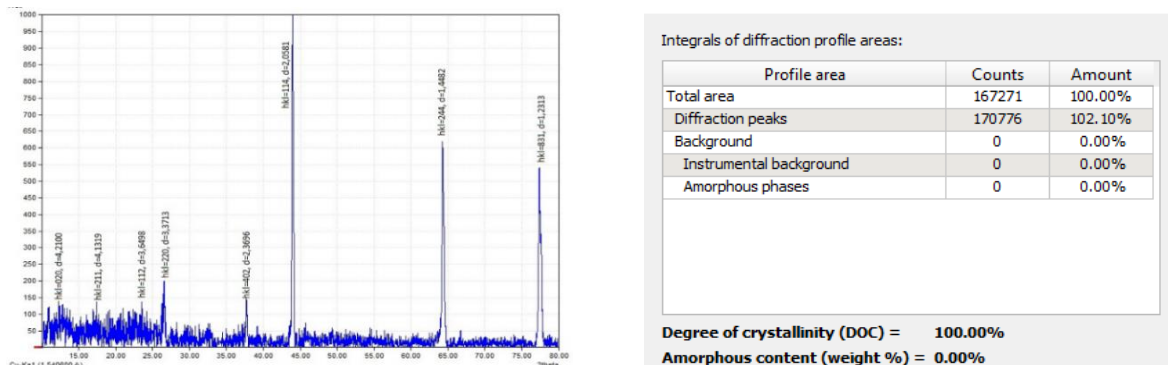


Figure 1 – X-ray Phase Analysis of Synthesized Graphene Oxide

The average crystal size and shape of nanoparticles, as well as their distribution patterns, are often studied experimentally using X-ray phase analysis, with the Scherrer method being commonly applied. When calculating the particle size of graphene oxide according to the Williamson-Hull equation, the values provided in the formula are used for the calculation.

The particle size of graphene oxide was calculated based on the values given in the formula, according to the Williamson-Hull equation [2].

$$B(2\theta) = \frac{K\lambda}{L \cos \theta}$$

Example: $V(2\theta) = 0.94 \times 1.540600 / (0.2200 \times 0.2) = 33.91$.

According to the Williamson-Hull equation, the average particle size d (nm) of graphene oxide was calculated to be approximately 33.91 nm, confirming that the particles are in the nanoscale range.

Bibliography

1. D.Kh. Shukurov et al., Synthesis of Graphene Oxide and its Physicochemical Study. International Journal of Engineering Trends and Technology. 2024. Volume 72 Issue 4. pp.137-144. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V72I4P114>.
2. Sadhak Xanna, Prashant Dubey, Shaveta S. Sharda, Priyanka X. Maheshvari. Graphite/MWCNT Nanocomposite: A Novel Paint Electrode for Energy Storage Devices. Energy and Fuel. 2024, 38 (17), pp.17003-17016. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.4c02746>.

ПОСТЕРНЫЕ И
СТЕНДОВЫЕ
ДОКЛАДЫ

СТАНДАРТИЗАЦИЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ СУБСТАНЦИИ КРЕМНИЙЖЕЛЕЗОЦИНКБОРГЛИЦЕРОЛАТНОГО ГИДРОГЕЛЯ

С. Г. Алексеенко, В. М. Давлетханова, Е. В. Шадрина

*Институт органического синтеза им. И. Я. Постовского УрО РАН,
Российская Федерация, sema_alekseenko_1999@mail.ru*

В настоящее время поражение кожных покровов и слизистых оболочек различной этиологии является серьезной проблемой, требующей комплексного подхода в лечении, при этом рынок отечественных лекарственных средств топического применения недостаточно разнообразен и эффективен.

Ранее нами синтезирован кремнийжелезоцинкборглицеролатный гидрогель (Si-Fe-Zn-B-гель), проявляющий ранозаживляющую, гемостатическую и антимикробную активность [1]. Si-Fe-Zn-B-гель перспективен для внедрения в медицинскую практику как самостоятельное лекарственное средство топического применения, так и в качестве системы доставки фармакологически активных добавок. Si-Fe-Zn-B-гель получают золь-гель методом, используя в качестве биосовместимых прекурсоров глицеролаты биогенных элементов (Si, Fe, Zn и B), в водно-глицериновой среде при 70 °С в мольном соотношении исходных компонентов $\text{Si}(\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_3)_4$: $\text{FeC}_3\text{H}_5\text{O}_3$: $\text{ZnC}_3\text{H}_6\text{O}_3$: $\text{HB}(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3)_2$: $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$: H_2O = 1,00 : 0,25 : 1,00 : 1,00 : 8,00 : 25,00. Полученный светло-зеленого цвета гель характеризуется высокой стабильностью и устойчивостью к синерезису.

Цель работы – определить показатели качества субстанции Si-Fe-Zn-B-геля. Предложить методику совместного количественного определения входящих в состав элементов. На основании полученных данных провести валидационную оценку выбранной методики.

В соответствии с действующими нормативно-правовыми актами и Государственной фармакопией РФ XV издания определены основные показатели качества субстанции Si-Fe-Zn-B-геля. Для определения подлинности субстанции использовали ИК-спектроскопию в области от 4000 до 400 см⁻¹. Количественное определение Si, Fe, Zn и B в исследуемом геле проводили методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. Проведена статистическая обработка и оценка полученных данных совместного количественного определения Si, Fe, Zn и B в геле. На основании расчетов проведена валидационная оценка методики по критериям: специфичность, линейность, аналитическая область, прецизионность. Представленная методика совместного определения Si, Fe, Zn и B может быть рекомендована для стандартизации готовых лекарственных форм на основе субстанции Si-Fe-Zn-B-геля.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант №24-23-20164) и правительства Свердловской области.

Список литературы

1. Khonina T.G., Alekseenko S.G., Shadrina E.V. et al. Hemostatic Antimicrobial Hydrogels Based on Silicon, Iron, Zinc, and Boron Glycerolates for Wound Healing Applications // Gels. 2024. Vol. 10, № 12. P. 795. DOI 10.3390/gels10120795.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ГИДРОСИЛИКАТА НАТРИЯ И КИСЛОТНЫХ МОДИФИКАТОРОВ

А. В. Антусёва¹, Е. Ф. Кудина²

¹РУП «ПО «Белоруснефть» БелНИПИнефть,
Республика Беларусь, a.antuseva@beloil.by

²Белорусский государственный университет транспорта,
Республика Беларусь, kudina_mpri@tut.by

Эффективным способом проведения работ для увеличения нефтедобычи является применение гелеобразующих композиций на основе неорганического связующего – дисперсного ГСН, в которых процесс гелеобразования композиционного раствора происходит при участии добавок функционально активных КМ (органические и неорганические кислоты) [1]. С целью изучения процессов, протекающих при совмещении компонентов, и влияния, вводимых в раствор ГСН органических и неорганических кислот на формирование структуры геля, проведен анализ гелеобразующих композиций методом ИК-спектроскопии.

Установлено, что в ИК-спектрах гелей, сформированных на основе раствора ГСН и КМ, присутствуют широкие полосы поглощения в областях ($3000\text{--}3700\text{ см}^{-1}$ и $1636,0\text{ см}^{-1}$), которые соответствуют валентным колебаниям гидроксильных групп и деформационным колебаниям угла Н–О–Н в молекуле воды [2]. Основная полоса поглощения на ИК-спектрах наблюдается в области ($\sim 1042,7\text{ см}^{-1}$), характерной для колебаний атомов в группе SiO_4 -тетраэдра [3]. Использование в качестве модификаторов раствора ГСН органических и неорганических кислот приводит к значительному увеличению интенсивности основной полосы поглощения в высоковольтную область, что является следствием увеличения степени полимеризации неорганической матрицы, т.е. кремнийкислородных цепей, образованием в системе мостиковых связей Si–O–Si разной длины [4].

Исследованы структурные особенности гелей в зависимости от концентрации введенного КМ. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при увеличении концентрации КМ происходит образование кремнийкислородных структур с более высокой степенью полимеризации тетраэдров $[\text{SiO}_4]$, т. е., чем больше степень связанности тетраэдров друг с другом, тем в более высокочастотной области будет находиться основной максимум поглощения [2, 3].

Проведены исследования по определению действия временного фактора на структуру гелей. Установлено, что увеличение времени экспозиции геля при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 7–30 суток приводит к уменьшению интенсивности полосы ($\sim 3360\text{ см}^{-1}$), характерной для спектра колебаний поверхностных групп –ОН. Наблюдается расширение полосы поглощения $\sim 1046,8\text{ см}^{-1}$, что свидетельствует об увеличении степени структурирования и прочности системы, обусловленное продолжением протекания процесса полимеризации силикат-анионов после образования геля и образованием более длинных цепей полимера и дополнительных водородных связей между тетраэдрами $[\text{SiO}_4]^{4-}$.

Исследовано влияние термической обработки гелей на упрочнение композиционного материала. Полученные результаты свидетельствуют о том, что термообработка гелей в течение 5–30 суток при $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводит к появлению в ИК-спектрах новой интенсивной полосы поглощения в области $\sim 1170\text{--}1240\text{ см}^{-1}$ и полос малой интенсивности с максимумом $\sim 788\text{--}792\text{ см}^{-1}$, что обусловлено внутренними колебаниями атомов в $[\text{SiO}_4]^{-}$ -тетраэдрах и колебаниями Si–O–Si возможных кольцевых структур кремнезема. По мере нагревания системы ГСН/КМ происходит уменьшение интенсивности и постепенное смещение полосы поглощения с пиком 1035 см^{-1} , соответствующей валентным колебаниям связи Si–O, в область больших волновых чисел, что

обусловлено интенсифицированием процесса физико-химического взаимодействия компонентов при термическом воздействии, способствующего дальнейшему структурированию ГСН с образованием кремнекислородной матрицы геля [3].

Таким образом, изучение процессов, протекающих в двухкомпонентных гелеобразующих композициях, методом ИК-спектроскопии показало, что в результате кислотно-основного взаимодействия ГСН с органическими и неорганическими кислотами в качестве модификаторов гелеобразования происходит формирование полимерного кремнекислородного каркаса. Установлено, что при увеличении концентрации КМ и времени выдержки составов в диапазоне температур 20–70 °С в структуре геля возрастает степень структурирования неорганической фазы и система переходит в более сложное состояние.

Список литературы

1. Антусёва А. В., Кудина Е. Ф. Гелеобразующие материалы на основе порошкообразного гидросиликата натрия для повышения нефтеотдачи // Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем Золь-гель 2018: Материалы пятой международной конференции стран СНГ. – Санкт-Петербург, 2018. – С. 133-135.
2. Дехант И. Инфракрасная спектроскопия полимеров. – М.: Химия, 1976. – 471 с.
3. Плюснина И.И. Инфракрасные спектры силикатов. – М.: МГУ, 1976.
4. Доломатов М.Ю. Применение электронной спектроскопии в физикохимии многокомпонентных стохастических смесей и сложных молекулярных систем. – Уфа: ЦНТИ, 1989. – 150 с.

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ СИЛИКАТНО-ПОЛИМЕРНЫХ СТРУКТУР И НАНОПОРОШКОВ АЛЮМОЛЮТЕЦИЕВОГО ГРАНАТА

А. А. Бойко, Е. Н. Подденежный, Н. Е. Дробышевская, О. В. Давыдова

*Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь, boiko@gstu.by*

Люминесцентные покрытия на прозрачных подложках могут быть использованы для создания преобразователей излучения в конструкциях светодиодных источников света [1]. Лютеций-алюминиевый гранат, активированный ионами церия ($\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ – LuAG:Ce), является эффективным желто-зеленым люминофором, способным преобразовывать излучение синих светодиодов в яркий белый свет [2]. Целью исследования является поиск составов и разработка процессов нанесения люминофорной композиции, состоящей из полимерно-силикатной основы (поливиниловый спирт (ПВС) – SiO_2) и нанокристаллического LuAG:Ce на стеклянные подложки. Композиционные покрытия ПВС – SiO_2 были получены золь-гель методом с использованием тетраэтоксисилана (ТЭОС) как прекурсора диоксида кремния, с аммиаком в качестве гидролизующего агента. Этот процесс включает в себя растворение ПВС в горячей дистиллированной воде, добавление ПАВ – Твин-80, аммиачного раствора и введение по каплям ТЭОС. В гелеобразную систему вводится расчетное количество нанопорошка LuAG:Ce, и полученная суспензия наносится стеклянную подложку методом полива. Образцы сушат при 60 °С в течение 6 часов. Люминесцентное покрытие представляет собой полупрозрачную матрицу, в которой формируется сетка из SiO_2 и наноразмерных частиц LuAG:Ce (рисунок1).

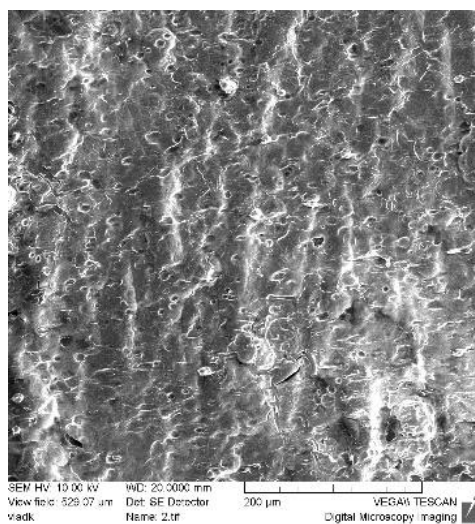


Рисунок 1 – СЭМ – изображение композиционного покрытия ПВС – SiO₂ – LuAG:Ce

Работа выполнена при поддержке Государственной программы научных исследований «Материаловедение, новые материалы и технологии» на 2021–2025 гг. в Республике Беларусь (задание 8.4.1.7).

Список литературы

1. Chen D., Xiang W., Liang X. [et al.]. Advances in transparent glass-ceramic phosphors for white light-emitting diodes-A review // J. Eur. Ceram. 2015. Vol. 35, № 3. P. 859-869. DOI:10.1016/j.jeurceramsoc.2014.10.002.
2. Xu J., Yang Y., Wang J. [et al.]. Industry-friendly synthesis and high saturation threshold of a LuAG:Ce/glass composite film realizing high-brightness laser lighting // J. Eur. Ceram. Soc. 2020. Vol. 40, № 15. P. 6031-6036. DOI:10.1016/j.jeurceramsoc.2020.06.074.

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ПОЛИМЕРНО-НЕОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ ДЕКОРИРОВАНИЕМ НАПОЛНИТЕЛЯ ФЕРРОМАГНИТНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ В СОЧЕТАНИИ С ВОЗДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Л. Ш. Боридько¹, С. В. Мякин^{1,2}, С. Гуань^{1,3}, М. М. Сычев^{1,4}, С. В. Дьяченко¹, О. Ю. Голубева⁴

¹Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
Российская Федерация, svmjakin@spbti.ru;

²Институт аналитического приборостроения Российской академии наук,
Российская Федерация;

³Гуйянский университет, Китайская Народная Республика;

⁴Филиал Петербургского института ядерной физики им. Б. П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –
Институт химии силикатов им. И. В. Гребенщикова,
Российская Федерация

Повышение диэлектрической проницаемости композитов на полимерной основе является важной задачей для их применения в устройствах накопления электроэнергии (в т. ч. специальных мощных конденсаторах) и «гибкой» электроники (дисплеев, люминесцентных

панелей и т. д.). Для достижения указанной цели необходимо использование компонентов (связующего и наполнителя) с высокой диэлектрической проницаемостью, регулирование межфазных взаимодействий между ними и структурирование материала с формированием упорядоченных структур из частиц наполнителя, образующих параллельное соединение по отношению к прилагаемому электрическому полю, что может быть достигнуто за счет дополнительного ориентирующего воздействия.

В качестве подхода к решению данной задачи изучено влияние осаждения ферромагнитных частиц (смеси магнетита и монтмориллонита) на поверхность субмикронных частиц сегнетоэлектрического наполнителя титаната бария (BaTiO_3) на электрические свойства композитов, получаемых при его введении в матрицу цианэтилового эфира поливинилового спирта с последующим воздействием магнитного поля в процессе сушки. Установлен нелинейный характер зависимости электрических свойств композита от количества вводимой декорирующей добавки, с увеличением которого от 0,6 до 4 мг/г BaTiO_3 наблюдается чередование областей роста и снижения диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь и электрического сопротивления. Воздействие магнитного поля приводит к значительному увеличению диэлектрической проницаемости (от 40-60 % при содержании ферромагнитной добавки 1 – 2,4 мг /г BaTiO_3 до более чем 2,5-кратного роста при повышении ее содержания до значений свыше 4 мг/г BaTiO_3) по сравнению с аналогичными материалами, полученными в отсутствие магнитного поля, что обусловлено ориентацией частиц наполнителя с формированием упорядоченной анизотропной структуры композита.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 21-73-30019.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ С ВЫСОКОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТЬЮ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. В. Васькевич, Д. Л. Коваленко, В. Е. Гайшун, В. В. Сидский

*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь, vaskevich@gsu.by*

Защита полимерных материалов направлена в первую очередь на увеличение срока службы изделий, улучшение их эксплуатационных характеристик, а также придание им эстетичного внешнего вида. Покрытия, формируемые на поверхности полимерных материалов предназначены для, защиты от механических повреждений, химических воздействий, ультрафиолетового излучения, а также позволяют защищать изделие от старения и деградации.

Наиболее простым и функциональным методом формирования защитных декоративных покрытий на поверхности изделий из пластика является золь-гель метод [1]. Золь-гель технология – один из простых и эффективных способов получения функциональных материалов на основе неорганических полимерных матриц с включенными в полимерную структуру органическими красителями. Золь-гель метод позволяет за счет изменения условий синтеза и формирования пленки в достаточно широких пределах изменять структурные и функционально значимые характеристики получаемых гибридных материалов [2–4].

Нанесение кремнийсодержащих слоёв на изделия из пластика производится с целью предотвращения их деградации и защиты от царапин, разрушения под действием света, атмосферы и влаги, а также с целью модификации или придания им новых свойств. Большинство органо-неорганических материалов используется в неокрашенном виде или с базовой окраской. Тем не менее, такие материалы все больше и больше используются для замены декоративных покрытий, которые должны соответствовать жестким функциональным требованиям.

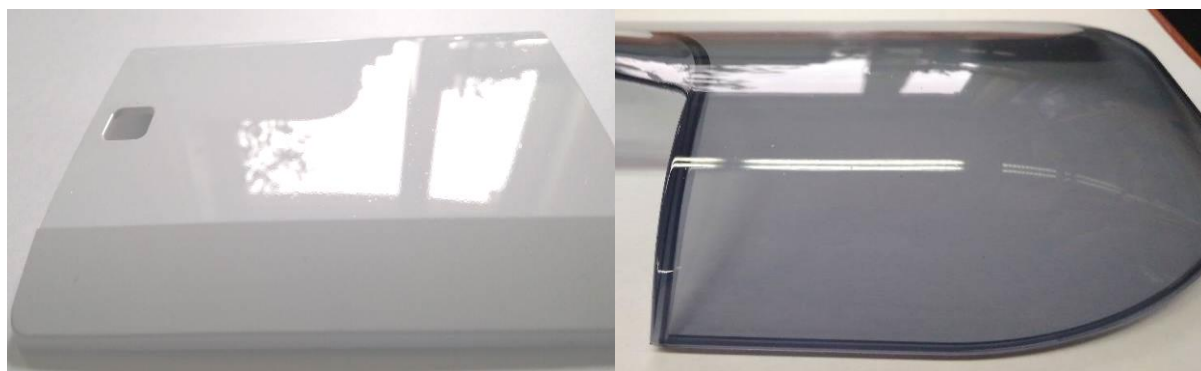
Для получения защитных покрытий на пластиковой подложке были приготовлены исходные золи нескольких составов - на основе металлоорганических соединений кремния и титана, растворителя и катализатора, содержащих фото-отверждаемые добавки (эпоксиакрилат).

Нанесение органо-неорганических золь-гель покрытий на подложки осуществляли методом распыления, так как данным методом возможно получить защитные покрытия необходимой толщины на пластике сложной формы. Этот метод нанесения достаточно распространен, и он состоит в том, что готовый пленкообразующий раствор равномерно наносят по всей поверхности подложки посредством применения специального распылительного пульта.

После нанесения на поверхности пластиковых подложек формируется однородный по толщине слой. Последующая термическая обработка приводит к завершению реакций разложения промежуточных продуктов гидролиза и к полному удалению растворителя и органических остатков. На поверхности формируется твердая пленка, препятствующая свободному удалению паров растворителей, находящихся в лежащих ниже слоях. Поэтому этап сушки необходимо проводить по ступенчатой схеме:

- первичная: с использованием технического фена потоком горячего воздуха (происходит интенсивное испарение растворителя) - при температуре (150–200) °С в течении 60–120 секунд;
- вторичная: в сушильном шкафу, при температуре (100–150) °С в течении часа.

Скорость отверждения покрытий зависит от толщины, материала подложки, концентрации фото-отверждаемых добавок и вида пленкообразующего раствора. Введение в исходный раствор фото-отверждаемых добавок приводит к увеличению скорости полимеризации и улучшает сушку получаемых покрытий.



а

б

Рисунок 1 – Внешний вид защитных покрытий, полученных на поверхности:

а – поликарбоната; б – АБС пластика

Проведены исследования адгезии, твердости и стойкости к истиранию полученных покрытий к полимерным подложкам из поликарбоната и АБС пластика.

Результаты исследования показывают, что введение фото-отверждаемых добавок не оказывает влияния на адгезию получаемых покрытий к поверхности подложек. Все полученные покрытия имеют самый высокий класс адгезии согласно ГОСТ 31149-2014 (ISO 2409:2013) – Класс 0 (края надрезов полностью гладкие; ни один из квадратов в решетке не отслоился).

Из многочисленных методов испытаний твердости с целью изучения долговечности покрытий наиболее распространенными методами являются измерения с помощью твердости карандаша ГОСТ Р 54586-2011 (ISO 15184:1998). Метод хорошо воспроизводится. Карандаши используются с твердостями в диапазоне от 6В до 9Н. По результатам исследования твердости можно сделать вывод, что увеличение концентрации эпоксиакрилата приводит к снижению твердости формируемого покрытия. Образцы без фото-отверждаемых добавок имеют твердость 4Н. С увеличением концентрации эпоксиакрилата происходит уменьшение содержания кремниевой основы гибридной кремний-полимерной матрицы, что приводит к уменьшению твердости полученных покрытий.

Механическая прочность покрытий, содержащих органические красители, определялась методом истирания резиновым наконечником, изготовленным из пищевой резины средней плотности, через батистовую прокладку. Все полученные покрытия выдерживают 3000 циклов истирания, что соответствует нулевой группе прочности. Полученные материалы могут применяться в качестве защитных покрытий для полимерных материалов.

Работа выполнена при поддержке государственной программы научных исследований Республики Беларусь «Материаловедение, новые материалы и технологии» задания 4.1.1 и 4.1.6.

Список литературы

1. Защитные золь-гель покрытия с гидрофобными свойствами / В. В. Васькевич, В. Е. Гайшун, Д. Л. Коваленко, В. В. Сидский // Проблемы физики, математики и техники. – 2011. – №3 (8). – С. 15-19.
2. Кудина, Е. Ф. Органосиликатные материалы (обзор) / Е. Ф. Кудина // Материалы, технологии, инструменты. – 2013. – Т. 18, № 4. – С. 31-42.
3. Биоповреждения и защита синтетических полимерных материалов / Пехташева Е. Л., Неверов А. Н., Заиков Г. Е., Стоянов О. В., Русанова С. Н. // Вестник Казанского технологического университета, 2012. – Том 15. – №10. – С. 166-173.
4. Формирование и исследование свойств золь-гель покрытий, предназначенных для модификации поверхности полимерных материалов / В. В. Васькевич, В. В. Сидский, А. В. Семченко, В. Е. Гайшун, Д. Л. Коваленко, А. А. Бойко, А. А. Алексеенко // Полимерные материалы и технологии. – 2019. – №4(4). – С. 64-70.

ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОСОБО ЧИСТОГО КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА

**В. Е. Гайшун¹, А. В. Семченко¹, Д. Л. Коваленко¹, В. В. Сидский¹, О. И. Тюленкова¹,
В. В. Васькевич¹, В. Г. Кузьмин², А. С. Лебедев³, В. М. Рыжков³**

¹*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь, alina@gsu.by;*

²*ООО НПК «КРИН»,
Российская Федерация, kuzminvg1949@yandex.ru;*

³*Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН,
Российская Федерация, Lebedev.a.s@bk.ru*

Производство особо чистого диоксида кремния (с содержанием SiO₂ более 99,999 %) является одной из важных и актуальных задач современной химической промышленности. Этот материал находит широкое применение в производстве оптического стекла, оптических волокон для интернет-кабелей, фотошаблонов, других применений.

Существующие технологии синтетического производства диоксида кремния были разработаны еще в середине XX века. Эти методы отличаются высокой энергоемкостью, многоступенчатостью и не соответствуют современным экологическим стандартам. Со временем, по мере устаревания традиционных технологий, возникла необходимость в разработке новых методов производства синтетического диоксида кремния.

В промышленности диоксид кремния, маркируемый как «Silica White», получают жидкофазным методом. Этот процесс включает осаждение аморфного кремнезема из растворов натриевого силиката с помощью кислот. Данный способ не применим для получения синтетического диоксида кремния.

Другой метод, применяемый для производства диоксида кремния, – гидролиз SiCl_4 с водяным паром при температуре (1000 – 1100) °С, при котором образуется высокодисперсный и малопористый продукт, известный как «Aerosil». Однако данный метод отличается высокой энергоемкостью, высокой стоимостью исходных материалов и значительным выбросом HCl .

Таким образом, разработка новой технологии получения синтетического диоксида кремния, основанной на фторидной технологии, представляет собой значительный шаг вперед в химической промышленности, позволяя снизить энергозатраты, улучшить экологические показатели и повысить чистоту конечного продукта для нужд полупроводниковой и оптоэлектронной отраслей. Золь-гель метод является основным методом получения диоксида кремния, представляет собой перспективную технологию для разработки особо чистого синтетического диоксида кремния, используемого в полупроводниковой и оптоэлектронной промышленности. Этот метод основан на гидролизе и конденсации органометаллических соединений в спиртовых растворах, что позволяет достичь высокой степени чистоты и контролировать размер, морфологию и распределение частиц.

Для выполнения работ был выбран тетраэтилортосиликат (тетраэтилортосилиан, ТЭОС) производства ПАО «Химпром» (г. Новочебоксарск, Российская Федерация) марки А с содержанием SiO_2 98,5 %. Как следует из характеристик ТЭОСа, он нуждается в дополнительной очистке.

Установлено, что наилучший результат дает очистка ТЭОСа методом пролива с прохождением частичного гидролиза в присутствии соляной кислоты либо щелочи.

Получены золи поликремниевой кислоты (ПКК) с содержанием диоксида кремния (SiO_2) не менее 25 %. Исследование показало, что применение деионизованной воды класса А и У, в сочетании с методами очистки ТЭОСа с использованием 0,5 % водных растворов аммиака и соляной кислоты, обеспечивает снижение содержания примесей до значений 3-5 ppm.

Разработана принципиальная технологическая схема получения СДК и изготовлены образцы СДК с размером частиц 130-600 мкм, внешне напоминающий оптически прозрачный песок, не нуждающийся в дальнейшем размалывании.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что использование предложенной технологии позволяет получить синтетический диоксид кремния высокой чистоты, что открывает перспективы для его применения в производстве оптического стекла. Разработанная методология может быть использована для оптимизации процессов получения высококачественных материалов в других областях, где требуется высокая степень чистоты.

Список литературы

1. Гайшун В. Е., Косенок Я. А., Семченко А. В., Тюленкова О. И., Судник Л. В., Кузьмин В. Г., Лебедев А. С., Рыжков В. М., Манин Ю. А. Высокочистая кварцевая крупка и стекло, полученные золь-гель методом// В сборнике: Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка. Материалы 16-й Международной научно-технической конференции. Минск, 2024. С. 224-226.
2. Synthesis of high purity silica from low cost water glass via sol-gel process and soxhlet extraction / B. Gu, K. Dongwook, Ahn Seokhoon, C. H. Dong, L. Hyun-Kwuon, K. Jongbok // Journal of Sol-Gel Science and Technology. – 2017. – Т. 82. – С. 675-681.
3. Brinker, C. J. Sol-gel science: the physics and chemistry of sol-gel processing / C. J. Brinker, G. W. Scherer // Academic press. – 2013. – P. 1-908.
4. Sol-Gel processing of silica nanoparticles and their applications / L. P. Singh, S. K. Bhattacharyya, R. Kumar, G. Mishra, U. Sharma, G. Singh, S. Ahalawat // Advances in colloid and interface science. – 2014. – Т. 214. – С. 17-37.
5. Андрианов К. А. Кремнийорганические соединения. – М.: Госхимиздат, 1955. – 520с.

ВОЛНОВОДЫ И МИКРОДИСКИ ИЗ ТИТАНАТА БАРИЯ, ПОЛУЧЕННОГО ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

Н. В. Гапоненко¹, Е. И. Лашковская¹, К. И. Меледин¹, И. А. Кашко¹, Р. Т. Махмутов¹,
К. В. Шустикова¹, В. А. Лабунов¹, Ю. В. Радюш², А. А. Козлов³

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Республика Беларусь, garopenko@bsuir.by;

²Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению,
Республика Беларусь;

³Пермский государственный университет,
Российская Федерация

По ранее разработанным нами методикам [1, 2] были приготовлены пленкообразующие золи, и на кремниевой подложке сформированы золь-гель методом многослойные пленки ксерогеля титаната бария. Золь формировали из уксусной кислоты, ацетилацетона, изопропоксида титана, ацетата бария. Изопропоксид титана и ацетат бария брали в молярном соотношении 1 к 1. Суммарная концентрация оксидов титана и бария составила приблизительно 60 мг/мл. Слои пленок наносили на подложку методом центрифугирования с промежуточной подсушкой при 200 °С и окончательным отжигом 450 °С. Перенос рисунка осуществляли методом оптической фотолитографии, и в полученных пленках формировали структуры канальных волноводов и микродисков с помощью мокрого химического травления или сухого травления (рисунок 1). Сухое травление осуществляли с помощью источника ионной очистки. Определены режимы сухого травления: ток пучка 30 мА, напряжение 2,5 кВ, поток аргона 5 см³/мин, время обработки 20 мин.

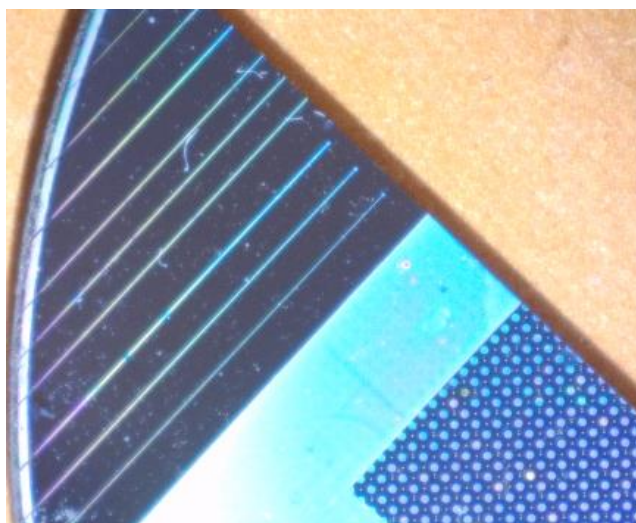


Рисунок 1 – Изображение канальных волноводов и микродисков на основе BaTiO₃, полученного золь-гель методом

Возможно изменение технологического маршрута с использованием вакуумного осаждения пленок титаната бария из мишеней, сформированных золь-гель методом, и легированных лантаноидами. Полученные структуры перспективны для разработки канальных волноводов, оптических модуляторов и микролазеров.

Работа выполнена при финансовой поддержке задания 2.1.02 ГПНИ «Конвергенция-2025», задания 1.4 ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия», договоров с БРФФИ № X25МЭ-008 и №T23РНФ-147.

Список литературы

1. Гапоненко, Н. В.; Судник, Л. В.; Витязь, П. А.; Лученок, А. Р.; Степихова, М. В.; Яблонский, А. Н.; Лашковская, Е. И.; Шустикова, К. В.; Радюш, Ю. В.; Живулько, В. Д.; Мудрый, А. В.; Казючиц, Н. М.; Русецкий, М. С. Ап-конверсионная люминесценция ионов Er^{3+} в порошке ксерогеля титаната бария и мишени, сформированной методом взрывного прессования // ЖПС. 2022. Т. 89, № 2. С. 184-190. DOI 10.47612/0514-7506-2022-89-2-184-190.
2. Lashkovskaya, E. I.; Gaponenko, N. V.; Stepikhova, M. V.; Yablonskiy, A. N.; Andreev, B. A.; Zhivulko, V. D.; Mudryi, A. V.; Martynov, I. L.; Chistyakov, A. A.; Kargin, N. I.; et al. Optical properties and upconversion luminescence of BaTiO_3 xerogel structures doped with erbium and ytterbium // Gels 2022, 8, 347. DOI 10.3390/gels8060347.

ФОТОАКТИВНЫЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ДАТЧИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ КОРОТКОВОЛНОВОГО УФ-ДИАПАЗОНА

К. Д. Данильченко, А. А. Маевский, А. В. Семченко, В. В. Сидский

*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь, alina@gsu.by*

Датчики ультрафиолетового (УФ) излучения позволяют решать ряд задач промышленного, медицинского, экологического характера, а также могут найти применение в космической и военной технике, научных исследованиях.

За счет разработки новых конструкций фотоприемников УФ и рентгеновской области спектра с использованием прозрачных проводящих слоев ZnO , ZnMgO можно добиться существенного снижения цен на производство УФ-сенсоров, обладающих высокой чувствительностью, малым расходом материала, высокой технологичностью при массовом производстве.

В данной работе изготовлены образцы наноконпозиционных покрытий на различных типах подложек (кремний, стекло). Изготовлен опытный образец модели УФ-датчика.

Введение ионов Mg приводит не только к увеличению ширины запрещенной зоны, но и к появлению дополнительных поверхностных состояний.

Под действием УФ-излучения наблюдается снижение полного тока структуры при увеличении концентрации Mg , что соответствует отрицательному фотоотклику. Отрицательный фотоотклик зависит от концентрации легирования Mg и обусловлен фотовозбуждением ловушек в ZnO и на границе с кремнием. Наличие таких состояний вызывает фотогенерацию избыточных носителей заряда и может способствовать селективной фоточувствительности.

На основе результатов полученных и исследованных покрытий была сделана экспериментальная модель датчика на базе площадки для фотодиодов (рисунок 1).

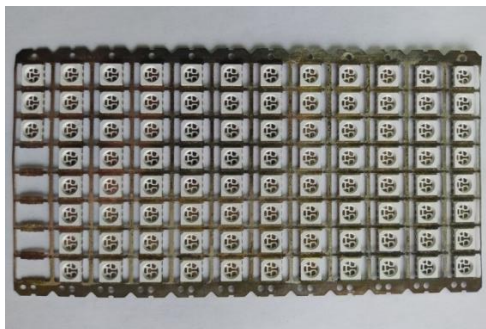


Рисунок 1 – Площадки для фотодиодов

Золь был нанесен на площадку и отожжен в вакуумной печи при температуре 400 °С. Макет фотодиода и внешний вид корпусированной структуры (готового УФ-датчика) представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Заготовка (макет фотодиода) и корпусированная структура (готовый УФ-датчик)

На рисунке 3 показаны вольт-амперные характеристики полученной корпусированной структуры (УФ-датчика) при положительном смещении под действием излучения с различной длиной волны в диапазоне от 405 нм до 1064 нм.

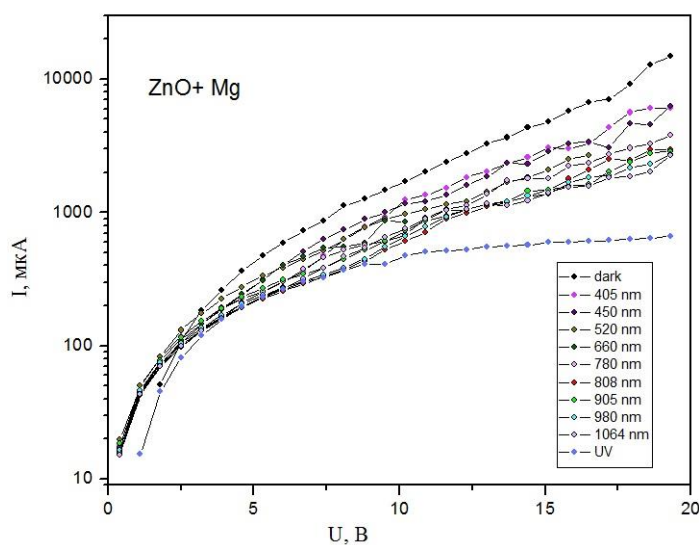


Рисунок 3 – ВАХ датчика УФ-излучения

ВАХ показывают, что датчик демонстрирует увеличение тока под действием оптического излучения.

Модель УФ-датчика демонстрирует избирательную чувствительность к УФ- и части видимого диапазона и может быть использована для его детектирования.

Список литературы

1. Семченко, А. В. Влияние иона-активатора на свойства пленок оксида цинка / А. В. Семченко, В. В. Сидский, Д. Л. Коваленко, В. Е. Гайшун, В. В. Малютин-Бронская, К. Д. Данильченко, Л. А. Ахоян, Г. Е. Айвазян // Вестник инженерной академии Армении, Ереван. - 2021. – N 2. – С. 232 – 236.

2. Sidsky, V. V. Photoactive and Structure Properties of ZnO:XMgO Nanocomposite Sol–gel Films on the Surface of Silicon / V. V. Sidsky, V. V. Malyutina-Bronskaya, K. D. Danilchenko, S. A. Soroka, A. V. Semchenko, V. A. Pilipenko // Research and Education: Traditions and Innovations: Proceedings of the 19th International Conference on Global Research and Education, Springer. – Singapore, 2022. – P. 227 - 235.

ИССЛЕДОВАНИЯ АДСОРБЦИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА СОРБЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ Рр-PAU-A

Д. Ж. Жумаева¹, Р. О. Ахророва¹, С. Б. Барноева, Н. Т. Рахматуллаева², А. Х. Абдурахимов²

¹Институт общей и неорганической химии, Академия наук Республики Узбекистан,
Республика Узбекистан, d.jumayeva@list.ru

²Ташкентский-химико технологический институт,
Республика Узбекистан

На основе коры и древесных отходов павловнии, активированных как традиционными (в условиях термического пиролиза и в присутствии пара при определенных условиях), так и нетрадиционными методами (с помощью микроволнового излучения), возможно определить количество, силу и природу активных центров углеродного сорбента, а также его сорбционный механизм. Это достигается не только путем закономерного изменения количества адсорбции в соответствии с изотермой и основными термодинамическими характеристиками (ΔH , ΔF и ΔS), но и посредством сравнения сорбционных величин активированного адсорбента в отношении адсорбатов различной природы. Углеродный адсорбент, активированный с использованием пара из коры Павловнии, обозначен в сокращенной форме как Рр-PAU-A. Логарифмическая изотерма адсорбции CO_2 на адсорбенте Рр-PAU-A и ее описание по уравнению ТОЗМ приведены на рисунке 1. Изотерма изначально имеет вогнутую форму при низких давлениях, что указывает на наличие адсорбционных центров с сильным взаимодействием. Предполагается, что количество начальных активных центров адсорбента Рр-PAU-A по отношению к CO_2 составляет 0,1 ммоль/г и высока вероятность образования мономерного комплекса $1\text{CO}_2:\text{C}_1$ молекулами CO_2 на этих центрах. На основании данных об изотерме адсорбции, при дальнейших поглощениях молекул CO_2 значение $\ln(P/P_s) = -7$ ($P = 51$ мм рт. ст.) показывает, что верхняя часть изотермы достигается при адсорбции до 0,4 ммоль/г. Это количество адсорбции в 4 раза превышает количество начальных активных центров, описанных для активированного адсорбента Рр-PAU-A.

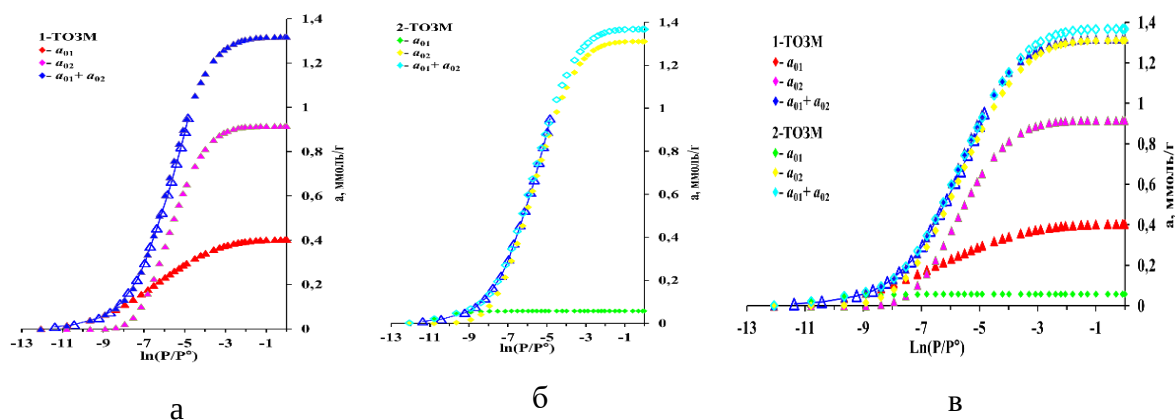


Рисунок 1 – Изотерма адсорбции CO_2 на адсорбенте Рр-PAU-A в логарифмических координатах с описанием по уравнению ТОЗМ: Δ – экспериментальные данные, $\blacklozenge$ – по уравнению ТОЗМ

Таким образом, наблюдается, что молекулы диоксида углерода последовательно образуют димерные $2\text{CO}_2:\text{C}_1$, тримерные $3\text{CO}_2:\text{C}_1$ и тетрамерные $4\text{CO}_2:\text{C}_1$ комплексы с начальными активными центрами активированного угля.

После достижения количества адсорбции в 0,4 ммоль/г изотерма изменяет кривизну, переходя в линейное возрастание, что указывает на адсорбцию в однородной части активированного адсорбента Рр-РАУ-А. Полное описание сорбционного механизма можно определить, опираясь на относительное давление P/P_s , дифференциальную теплоту адсорбции, значения изотермы, а также на изменение энтропии, рассчитанное по энергии Гиббса и дифференциальной энтальпии, и используя время теплового равновесия.

ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТЕКЛООБРАЗНОГО НАНОКОМПОЗИТА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КНИ-СТРУКТУРАХ

**В. Е. Гайшун¹, Д. Л. Коваленко¹, Я. А. Косенок¹, В. В. Васькевич¹, О. И. Тюленкова¹,
В. Е. Борисенко², Н. С. Ковальчук³, А. Н. Петлицкий³**

¹*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь, ykosenok@gsu.by;*

²*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Республика Беларусь;*

³*ОАО «Интеграл» - Управляющая компания холдинга «Интеграл»,
Республика Беларусь*

Пакеты из двух пластин монокристаллического кремния, соединенных слоем изолятора, сегодня все активнее используются при создании микро-электромеханических систем (МЭМС) и интегральных микросхем кремний-на-изоляторе (КНИ), а также рассматриваются в качестве перспективных для трехмерной интеграции элементов интегральных микросхем [1]. Обычно их создают методом анодной сварки (anodic bonding) при помощи боросиликатных стекол типа Pyrex или Borofloat [2]. Анодная сварка производится сжатием пластин кремния и стекла, нагревом такой заготовки до 550 °С и приложением постоянного электрического напряжения от 200 до 2000 В (так называемого анодного напряжения). При нагреве происходит расщепление оксидов натрия в стекле и дальше под воздействием электрического поля положительно заряженные ионы натрия перемещаются от границы соприкосновения стекла с пластиной кремния в стекло, оставляя на границе слой, обогащенный кислородом. Он вступает в реакцию с кремнием, окисляя его и формируя сплошное соединение. Основным недостатком анодной сварки – необходимость дорогостоящего технологического оборудования и высочайшие требования к геометрии поверхностей склеиваемых пластин кремния и стекла. Целью исследований авторов явилась разработка и опробование стеклообразного материала, синтезируемого золь-гель методом, для соединения пластин кремния, который позволяет снизить требования к подготовке поверхностей соединяемых пластин кремния и совместим с традиционными материалами и процессами современной планарной технологии изготовления интегральных микросхем.

Для создания стабильного соединения пластин различных материалов предлагается использовать боросиликатную стеклообразную композицию, формируемую золь-гель методом. При этом минимизируется влияние разницы в температурных коэффициентах линейного расширения соединяемых материалов и промежуточного слоя. Известно, что эта разница не должна превышать $1 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ [3]. Иначе индуцированные нагревом/охлаждением механические напряжения приводят к растрескиванию соединенных пластин, нарушению герметичности такого соединения и его электрических свойств. В качестве исходного материала использовали наноразмерный диоксид кремния, который может образовывать стабильные водные суспензии с дисперсной фазой, состоящей преимущественно из частиц со средним размером 12 нм. Водную суспензию приготавливали следующим образом: в дистиллированную воду порционно добавляли диоксид кремния

при постоянном перемешивании, затем выполняли ультразвуковую обработку при частоте перемешивания 250 мин^{-1} в течение 1 ч. Для синтеза боросиликатной композиции в суспензию, нагретую до 80°C , добавляли соединение бора. Стеклообразующую жидкую композицию наносили на вращающиеся пластины монокристаллического кремния (111) диаметром 100 мм, прошедшие химико-механическую полировку и оксидирование для формирования слоя диоксида кремния толщиной примерно 0,7 мкм, предназначенного для препятствия диффузии бора из композита в подложку при последующей высокотемпературной обработке. Нанесение осуществляли методом механического распыления композиции на пластины кремния, нагретые до температуры не выше 60°C . По две пластины механически соединяли друг с другом сторонами, на которые нанесен композит. Созданные таким образом сборки выдерживали на воздухе при комнатной температуре в течение 20...30 мин, после чего подвергали термообработке на воздухе при $950\ldots1100^\circ\text{C}$ по программе: нагрев до заданной температуры в течение 60 мин, выдержка при этой температуре в течение 30 мин, охлаждение до комнатной температуры в течение 4...5 ч [4].

Установлено, что применение диоксида кремния со средним размером частиц 12 нм в стеклообразующей композиции обеспечивает формирование высокооднородного соединительного слоя (10-15 мкм) и позволяет понизить температуру его стеклования до $\sim 1000^\circ\text{C}$. Совокупный эффект состоит в повышении структурной целостности и термической совместимости соединения кремниевых пластин, что, в перспективе, улучшает долговечность и надёжность микросистемных устройств.

Таким образом, применение золь-гель технологии позволяет получить стеклообразующий состав с требуемыми характеристиками и снизить температуру стеклообразования. Многослойные стеклокомпозиции могут быть использованы в технологических процессах, требующих формирования неразъёмных соединений кремниевых пластин на ОАО «ИНТЕГРАЛ», а также других предприятиях электронной промышленности в странах СНГ и ближнего зарубежья.

Список литературы

1. Athif A. M. F., Sabzehmeidani Y., Suzumori K. Application of Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS) as Sensors: A Review // J. of Robotics and Mechatronics. 2020. Vol. 32, № 2. P. 281–288.
2. Тимошенко С. П., Бойко А. Н., Симонов Б. М. Методы сборки и монтажа макетных образцов микроэлектромеханических систем // Изв. вузов. Электроника. 2010. Т. 84, № 4. С. 58–63.
3. Неразъёмные соединения в конструкциях микроэлектронных датчиков. Особенности материалов и технологий формирования / П. Г. Михайлов и др. // Вестн. Пензенского гос. ун-та. 2016. Т. 16, № 4. С. 78–85.
4. Соединение пластин кремния стеклообразным нанокомпозитом, формируемым золь-гель методом/ В. Е. Гайшун, Я. А. Косенок, В. В. Васькевич, О. И. Тюленкова, В. Е. Борисенко, Н. С. Ковальчук, А. Н. Петлицкий, С. В. Чумак // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сэрыя фізіка-матэматычных навук. – 2023. – Т. 59, № 3. – С. 233–240.

СВОЙСТВА СИЛИКАТСОДЕРЖАЩИХ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е. Ф. Кудина

*Белорусский государственный университет транспорта,
Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем
им. В. А. Белого НАН Беларуси»,
Республика Беларусь, kudina_mpri@tut.by*

Широкое применение эпоксидных смол (ЭС) обусловлено широким спектром их высоких физико-механических свойств. Однако при этом они относительно хрупки, склонны к растрескиванию, недостаточно прочны при ударе.

Одним из направлений решения данных проблем может быть: 1 – обеспечение эластичности композиционных материалов, формируемых на основе эпоксидных смол, путем введения олигомерных или полимерных органических компонентов и получения многокомпонентной комбинированной матрицы; 2 – повышение прочности материалов введением в их состав минеральных наполнителей.

Функционализация ЭС обеспечивает эластичные свойства и снижает хрупкость связующего [1, 2]. Минеральные добавки эффективно воздействуют на структурные параметры исходных и функционализированных эпоксидных смол [2, 3]. Функционализирующими реагентами являлись фенолоформальдегидная резольная смола (ФФС) и бинарный феноло-каучуковый компонент (ФКК).

В качестве дисперсных наполнителей применяли высокодисперсные силикатсодержащие продукты (шунгит, ценосферы и синтезированный железосодержащий наполнитель на основе эпоксидносиликатной матрицы (эпоксисиликат железа)) [4].

Функционализация олигомера ЭС. Экспериментально установлено, что при введении ФФС или ФКК в ЭС образуются агрегативно устойчивые композиции в широком диапазоне концентрационных соотношений. Отвержденные композиции характеризуются более низкими значениями модуля упругости.

Получены составы композиционных материалов на основе исходной и функционализированной ЭС. Исследовано влияние концентрационного соотношения компонентов комбинированной матрицы, типа и содержания наполнителя на процессы отверждения композиций и физико-механические свойства гибридных материалов. Показано влияние технологических условий процесса структурообразования композиции и физико-химического взаимодействия компонентов матрицы и полимолекулярных дисперсных продуктов на структуру и свойства структурно организованных гибридных материалов.

Изучение деформационно-прочностных свойств показало, что образцы на основе ЭС разрушаются при деформации 6,0-6,5 %, а на основе функционализированной ЭС – при 40 %. Анализ изменения микротвердости композиций показывает, что функционализация ЭС приводит к некоторому повышению микротвердости.

Влияние силикатсодержащих наполнителей на свойства ЭС-связующих. Установлено, что введение в композиты исследуемых силикатсодержащих наполнителей улучшает их физико-механические характеристики. Введение силикатсодержащих наполнителей в ЭС приводит к увеличению прочности: шунгита – до 34 %, эпоксисиликата железа – до 27 %, ценосфер – до 14 %. Рост физико-механических показателей связан с микродисперсионным упрочнением матрицы. Наибольшее повышение прочности композита при введении шунгита обусловлено многокомпонентным составом, включающего ряд наноразмерных компонентов. Анализ влияния наполнителей на микро-твердость композиций на основе ЭС показал, что введение ценосфер повышает микротвердость до 30 %, эпоксисиликата железа – до 29 %, шунгита – до 28 %. Применение силикатсодержащих наполнителей в комбинированном связующем позволяет увеличить прочность материала при сжатии до 5 % без ухудшения эластичности материала.

Таким образом, улучшение физико-механических свойств композиционных материалов на основе эпоксидиановой смолы возможно при использовании двух технологических приемов: 1 – функционализации исходного связующего с получением комбинированных матриц, 2 – модифицировании связующего силикатсодержащими наполнителями. На основании установленных закономерностей получены гибридные многофункциональные материалы с улучшенными эксплуатационными свойствами, которые могут использоваться в качестве защитных покрытий для металлических поверхностей.

Список литературы

1. Sergienko V. P., Bukharov S. N., Kudina E., Dutescu C. M., Ramadan I. Review on Materials for Composite Repair Systems // Non-destructive Testing and Repair of pipelines / Ed. by E. N. Barkanov, A. Dumitrescu, I. A. Parinov. Springer International Publishing, 2018. Pp. 269-189.

2. Kudina H. F., Bukharov S. N. and Sergienko V. P. Composite Materials Intended to Repair Mechanochemical Defects in Pipelines // In: Advances in Engineering Research. Vol. 26 / Ed. by V. M. Petrova. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2019. Ch. 3. Pp. 107-172.

3. Кудина Е. Ф. Получение и свойства комбинированных эпоксидных покрытий // Вестник Фонда фундаментальных исследований. 2017. № 4. С. 11-25.

4. Kudina E. F. Synthesis and Properties of Dispersed Hybrid Materials Based on a Silicate Matrix // Glass Physics and Chemistry. 2012. Vol. 38, № 1. P. 172-179.

ГИБРИДНЫЕ ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МАТЕРИАЛЫ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОПОЛИМЕРА АКРИЛАМИДА И АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ В КАЧЕСТВЕ СТРУКТУРООБРАЗУЮЩЕГО АГЕНТА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОПОРИСТЫХ КРЕМНЕЗЁМНЫХ МАТРИЦ

Ш. А. Кулдашева, А. М. Калбаев, И. Д. Эшметов

¹*Институт общей и неорганической химии,
Республика Узбекистан, ecology.shaxnoz@mail.ru; qalbaev.alisher.98@gmail.com;
izzat.dusimbatovich@gmail.com*

Исследованы нанопористые кремнезёмные матрицы, усиленные сополимером акриламида и акриловой кислоты (Р(ААм-со-ААс)). Синтез проводился методом золь-гель в слабокислой среде (рН 5–6) при 50–70 °С, с использованием техногенного двуокиси кремния в качестве источника SiO₂. Добавление полимера (0,5–3 мас. %) выполняло роль мягкого направляющего шаблона (мягкого порогена) при формировании пористой структуры. Применение полимеров в гибридных кремнезёмных композитах доказало свою эффективность: полимеры не только улучшают механическую прочность высокопористого кремнезёма, но и как порогены обеспечивают тонкую настройку размеров и распределения пор.

Раствор сополимера акриламида-акриловой кислоты приготавливали в воде и добавляли к золю кремнезёма (SiO₂) в концентрации от 0,5 до 3 мас. %. Система гидролизовалась и конденсировалась при 50–70 °С и рН 5–6. После гелефикации и отверждения полученные образцы сушили и анализировали. Пористость изучали методом низкотемпературной адсорбции/десорбции N₂: строили изотермы, по которым вычисляли удельную поверхность (SBET) и поровый объём (V_р). Морфологию исследовали сканирующей электронной микроскопией (СЭМ), фазовый состав – рентгенофазовым анализом (XRD). Полученные материалы характеризовались изотермами типа IV, типичными для мезопористых оксидов.

Установлено, что введение сополимера существенно изменяет текстурные параметры матриц. Максимальные значения SBET (~380 м²/г) и V_р (~0,45 см³/г) при среднем размере пор 5–15 нм получены при содержании сополимера около 1–2 мас.% (таблица ниже). Размер пор в этом диапазоне сравним с пористостью классических мезопористых силикатов (5–15 нм). При меньших дозах полимера пористость была слабо выражена (низкие SBET и V_р), а при больших (>2 %) наблюдалась консолидация структуры: утолщались стенки пор и происходило частичное спадение мелкопористой фазы. Таким образом, оптимум пористости достигался при промежуточном содержании полимера (1–2 %). СЭМ-изображения показали гелеобразную сетчатую структуру кремнезёма с явно выраженными пористыми каналами при оптимальном введении полимера; Риджер-анализ подтвердил аморфную природу силики с характерным широким дифракционным «холмом» ~22° (типичный для золь-гель кремнезёма). **Основные текстурные параметры полученных матриц: SBET до ~380 м²/г; V_р до ~0,45 см³/г.**

Сополимер Р(ААм-со-ААс) выступал в роли мягкого направляющего шаблона (мягкого порогена). Будучи поглощённым в золь, он образует гибридный полимер-кремнезёмный гель, по аналогии с известными полиэтиленоксидными (Pluronic) шаблонами, определяющими

размер пор (5–15 нм). Полимер создаёт трёхмерную матрицу, по которой происходит конденсация SiO_2 , а затем при удалении (промывке или термической обработке) образуется взаимосвязанная пористая структура. Такое «мягкое» шаблонирование позволяет варьировать пористость и иерархичность структуры без жёстких твёрдых порожен. Высокая удельная поверхность и развитая мезопористость обеспечивают большое число активных сайтов для адсорбции и катализа.

Таким образом, предложенная органо–неорганическая гибридная система с полимерным мягким шаблоном демонстрирует конкурентные текстурные характеристики и может служить основой для создания эффективных адсорбентов и катализаторов.

СТРУКТУРА И ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА Ni-Mg-ГИДРОСИЛИКАТОВ С НАНОТУБУЛЯРНОЙ МОРФОЛОГИЕЙ

М. Е. Кургузкина¹, А. А. Левин², В. Л. Уголков¹, Е. С. Деркачева¹

¹ *Филиал Петербургского института ядерной физики им. Б. П. Константинова
Национального исследовательского центра – Институт химии силикатов им. И. В. Гребеницкого,
Российская Федерация, kotovamaria715@gmail.com, uolkov.52@mail.ru,
derkachevael@gmail.com*

² *Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН,
Российская Федерация, aleksandr.a.levin@mail.ioffe.ru*

В данной работе были исследованы порошковые образцы Ni-Mg-гидросиликатов (NMS) со структурой хризотила и с нанотубулярной морфологией частиц. Содержание Ni в образцах состава $(\text{Ni}_x\text{Mg}_{1-x})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ варьировалось (x от 0 до 1, с шагом 0.1). Подробное описание методики синтеза содержится в работе [1]. Рентгенодифракционные измерения выполнялись на дифрактометре D2 Phaser с Cu-K α излучением, в диапазоне 2θ от 5.6° до 140° , с тщательной калибровкой и коррекциями для учета смещений, при температуре около 317 К. Размерные параметры наночастиц исследовали с помощью просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) с использованием электронного микроскопа JEM 2100-F. Комплексный термический анализ проводили на спрессованных в таблетки образцах в диапазоне температур от 30 до 1000 °С с помощью прибора STA 429 CD, представляющего собой термогравиметрический анализатор (ТГА) и дифференциальный сканирующий калориметр (ДСК) в совокупности.

Рентгенодифракционные картины образцов Ni-Mg-гидросиликатов соответствуют кристаллической фазе типа $(\text{Ni}_x\text{Mg}_{1-x})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, пространственной группы Cc , как и в образцах в работе [2]. Сравнение синтезированных образцов с ранее исследованными [2] показывает, что новые образцы имеют более узкие рефлексы, что свидетельствует о меньших размерах кристаллитов. Размеры кристаллитов, рассчитанные методом Шеррера, и их сравнение с данными электронной микроскопии подтверждают изменения структурных характеристик при варьировании содержания никеля. Толщина стенок полых цилиндрических частиц составляет около 21.7 нм, что сопоставимо с размерами кристаллитов по плоскостям (001) и (010), тогда как в работе [2] эти размеры значительно меньше и более стабильны при изменении содержания Ni. Исследование структуры полых цилиндрических частиц показывает, что они образованы скручиванием кристаллографических плоскостей (001) или (010) вокруг оси [100], причём параметры размеров и аспектных соотношений подтверждают этот механизм. Полное уточнение структурных параметров осуществляется методом полнопрофильной подгонки рентгенографических данных с помощью программы TOPAS и метода Ле Бойла, что позволяет определить параметры элементарной ячейки и поправки к углам без необходимости построения полной структурной модели. Анализ показал, что при использовании метода Ле Бойла для уточнения структурных параметров NMS невозможно полностью описать рентгенографические данные без учета

анизотропии кристаллитов, так как профильные параметры вдоль разных направлений $[hkl]$ существенно различаются. Это связано с тем, что реальные кристаллы NMS имеют сильную анизотропию формы, что не учитывается при использовании одинаковых профильных параметров для всех рефлексов. Несмотря на различия в микроструктуре и параметрах кристаллов, синтезированные образцы NMS показывают хорошее совпадение по объемам и параметрам элементарной ячейки с данными [2], хотя они отличаются от данных [3], что обусловлено разными методами и условиями синтеза (рисунок 1.).

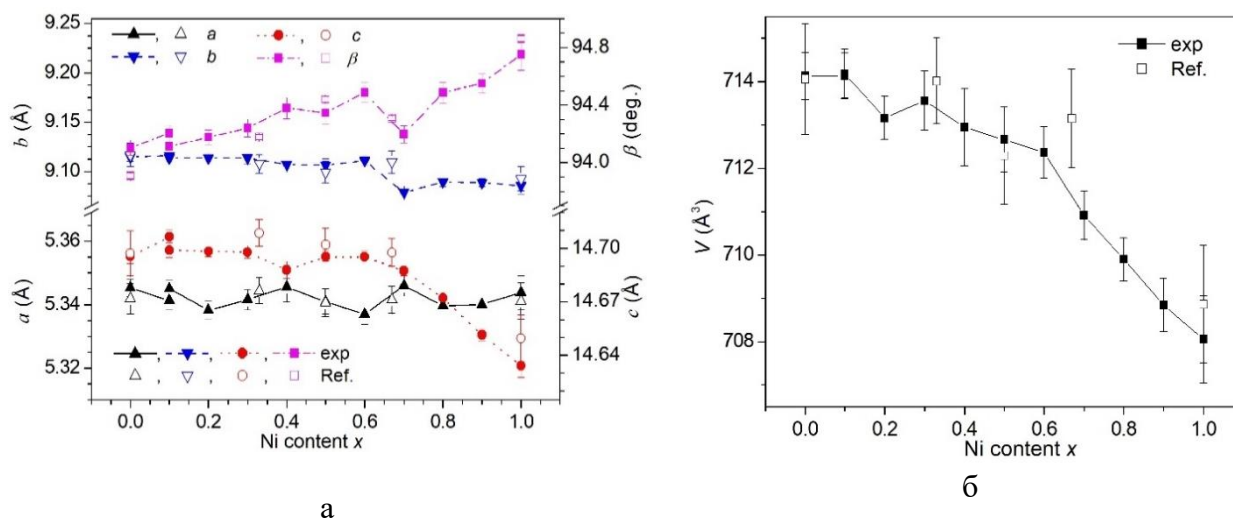


Рисунок 1 – а – Параметры и б – объем элементарной ячейки образцов NMS с разным атомным Ni-содержанием x по результатам уточнения методом Ле Бойла.

Данные из [2] обозначены как Ref

Термический анализ гидросиликатов состава $(\text{Ni}_x\text{Mg}_{1-x})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ показал, что потеря массы в основном связана с удалением адсорбированной и структурной воды. При температуре около 450 °C начинается дегидроксилирование гидросиликатных материалов, которое сопровождается широким эндотермическим эффектом на кривых ДСК. С увеличением содержания Ni максимум данного эффекта смещается в более низкие температуры, а при высоком содержании Ni ($x \geq 0.6$) появляется новый эффект около 660 °C, что может быть связано с тем, что процесс дегидроксилирования образовавшейся Ni-Mg-сепиолитоподобной фазы идет не непрерывно. Для образцов с высоким содержанием Mg ($x = 0.0-0.6$) происходит перекристаллизация гидросиликатов в фазу форстерита при 800–900 °C, тогда как у образцов с высоким содержанием Ni ($x \geq 0.6$) возникают сложные эффекты, связанные с дегидроксилированием, перекристаллизацией и образованием фаз NiO и Ni_2SiO_4 .

Работа выполнена при в рамках государственного задания 1024030700042-1-1.4.3

Список литературы

1. Kurguzkina M. E., Maslennikova T. P., Gusarov V. V. Formation, morphology, and size parameters of nanopowders based on $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ - $\text{Ni}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ nanoscrolls // *Inorganic Materials*. 2023. V. 59, № 10. P. 1075-1084. DOI: 10.1134/s0020168523100060.
2. Levin A., Khrapova E., Kozlov D., Krasilin A., Gusarov V. Structure refinement, microstrains and crystallite sizes of Mg-Ni-phyllsilicate nanoscroll powders // *Journal of Applied Crystallography*. 2022. V. 2. P. 484-502. DOI: 10.1107/s1600576722003594.
3. Falini G., Foresti E., Gazzano M., Gualtieri A.F., Leoni M., Lesci I.G., Roveri N. Tubular-shaped stoichiometric chrysotile nanocrystals // *Chemistry: A European Journal*. 2004. V. 10. P. 3043-3049. DOI: 10.1002/chem.200305685.

ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СИНТЕЗ МОНОДИСПЕРСНЫХ ГЛОБУЛ SiO_2 В СОЧЕТАНИИ С МЕЗО- И МАКРОПОРИСТЫМИ МАТЕРИАЛАМИ НА КРЕМНИИ

Е. И. Лашковская¹, Н. В. Гапоненко¹, А. Н. Плиговка¹, Б. З. С. Хамаде¹,
А. В. Долбик¹, С. К. Лазарук¹, В. А. Лабунов¹, Д. В. Жигулин²,

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Республика Беларусь, gaпоненко@bsuir.by;

² ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ», Республика Беларусь

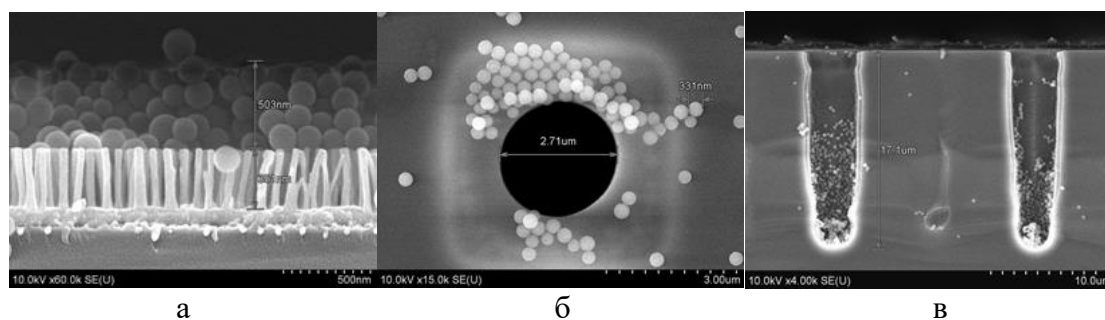
Монодисперсные глобулы SiO_2 , формируемые методом Штебера, используются для получения синтетических опалов – трехмерных фотонных кристаллов, и представляют интерес для перераспределения плотности мод оптического излучения в сочетании с другими оптически анизотропными структурами на различных подложках [1, 2].

В данной работе исследована морфология структур, содержащих массив наноразмерных столбиков анодного оксида тантала и макропористого кремния.

Двухслойные системы Al/Ta были сформированы методом магнетронного распыления на кремниевых пластинах. Потенциостатическое анодирование алюминия проводили в 0,4 М водном растворе щавелевой кислоты при начальной температуре электролита 20 °С при напряжении 37 В. Затем проводили гальваностатическое реанодирование подслоя тантала через поры анодного оксида алюминия, сформированного на этапе анодирования алюминия. Реанодирование осуществляли при плотности тока $300 \text{ мкА} \cdot \text{см}^{-2}$ до напряжения 300 В в 0,5 М водном растворе борной кислоты, начальная температура электролита составляла 20 °С. В результате самоорганизации на границе раздела Al/Ta был сформирован двумерный массив наноразмерных столбиков анодного оксида тантала. Пористый анодный оксид алюминия был удален методом химического травления в 50 % водном растворе ортофосфорной кислоты.

Слой макропористого кремния с заданным расположением пор формировали на кремниевых подложках ориентации (100), легированных фосфором с удельным сопротивлением 20 Ом·см. Вначале на поверхность кремниевых подложек наносили двухслойную пленку из оксида кремния и нитрида кремния. При помощи стандартных операций фотолитографии из двухслойной пленки формировали маску со вскрытыми окнами, соответствующими расположению пор макропористого кремния. Далее во вскрытых окнах при помощи химического анизотропного травления кремния в растворе КОН формировали затравочные ямки.

Слой макропористого кремния формировали электрохимическим анодированием кремния через окна сформированной маски в местах, определяемых остриями вершин затравочных ямок в 5 % водном растворе HF. Плотность анодного тока составляла $6 \text{ мА} \cdot \text{см}^{-2}$. Толщина макропористого кремния определялась временем анодного процесса и варьировалась от 30 до 50 мкм. (рисунок 1).



а – анодный оксид тантала, б, в – макропористый кремний

Рисунок 1 – СЭМ изображения монодисперсных глобул SiO_2 , сформированных на поверхности мезопористого слоя анодного оксида тантала и макропористого кремния

Развиваемый подход, совмещающий золь-гель технологию и электрохимическую обработку материалов, может найти применение в планарных структурах оптоэлектроники, например для изменения характеристик волновода с фотонной запрещенной зоной на 2D макропористом кремнии или для снижения волноводных потерь в подложку.

Работа выполнена при финансовой поддержке задания 2.1.02 ГПНИ «Конвергенция-2025», задания 1.4 ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия», проекта БРФФИ № T24B-009.

Список литературы

1. Bogomolov V. N., Gaponenko S. V., Germanenko I. N., Kapitonov A. M., Petrov E. P., Gaponenko N. V., Prokofiev A. V., Ponyavina A. N., Silvanovich N. I., Samoilovich S. M. Photonic band gap phenomenon and optical properties of artificial opals // Phys. Rev. E. – 1997. – Vol. 55. – P. 7619–7625.

2. Гапоненко Н. В., Клещева С. М., Лашковская Е. И., Лабунов В. А., Мартынов И. Л., Чистяков А. А., Каргин Н. И., Райченко Т. Ф., Судник Л. В., Лученок А. Р., Ванг М. Золь-гель-синтез монодисперсных глобул кремнезема и оптические свойства упорядоченных и неупорядоченных материалов на их основе // Доклады БГУИР. – 2024. – Vol. 22(6). – P. 21-28.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КВАРЦЕВЫХ СТЕКОЛ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СЫРЬЯ

А. С. Лебедев¹, В. М. Рыжков¹, В. Г. Кузьмин², В. Е. Гайшун³, А. В. Семченко³, Д. Л. Коваленко³

¹ Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН,
Российская Федерация, Lebedev.a.s@bk.ru;

² ООО НПК «КРИН»,
Российская Федерация, kuzminvg1949@yandex.ru;

³ Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь, alina@gsu.by

Кварцевое стекло является базовым материалом для целого ряда изделий, применяемых в специальной оптике, микроэлектронике, светотехнике, изготовлении реакторов для эпитахсиальных процессов и ряде других высокотехнологичных применений.

В настоящее время основным сырьем для получения кварцевого стекла являются: глубоко обогащенная кварцевая крупка из природного кварца и искусственных кристаллов кварца, порошки кристоболита на основе синтетического диоксида кремния (СДК). Все вышеперечисленные материалы существенно отличаются друг от друга по химической чистоте, содержанию газовой-жидких включений, плотности и некоторым другим параметрам, которые определяют оптические свойства кварцевого стекла.

В работе представлены результаты наплава и исследование стекол, выплавленных из наиболее чистых и доступных материалов: природный кварц марки RQ-1К (АО «Русский кварц»), СДК, полученный методом гидролиза из тетраэтоксисилана [1] и глубоко обогащенная кварцевая крупка из ИКК (ООО «Кварцевые технологии»).

Наплав стекла проводили по технологии КС-4В в модернизированной установке «Гранат-2М» [2] в кварцевой ампуле с продувкой активными газами (He, H₂, O₂) согласно регламенту наплава по ТУ-5933-030-12617929-98. После этого выплавленный блок подвергался компрессионному переплаву в среде аргона при давлении 25 атм [3].

Из выплавленных блоков стекла были изготовлены плоскопараллельные полированные пластины толщиной 10 мм для проведения исследований согласно ГОСТ-15130-86. В качестве эталона для сравнения использовали кварцевое стекло марки КС-4В, выплавленное из СДК (АО “ММЗ”) по техническим условиям ТУ-5933-030-12617929-98.

Из приведенных на рисунке 1 спектров видно:

- стекло из RQ-1К имеет низкое пропускание при 190–220 нм и пик поглощения ОН-групп (2600–2800 нм), но имеет высокое пропускание в видимой области;
- стекло из ИКК близко к эталону КС-4В, но имеет слабый пик поглощения (230–250 нм) из-за примесей Fe и Al;
- стекло из СДК демонстрирует пропускание ~45% на 190 нм без выраженных пиков поглощения в видимой и ИК-областях.

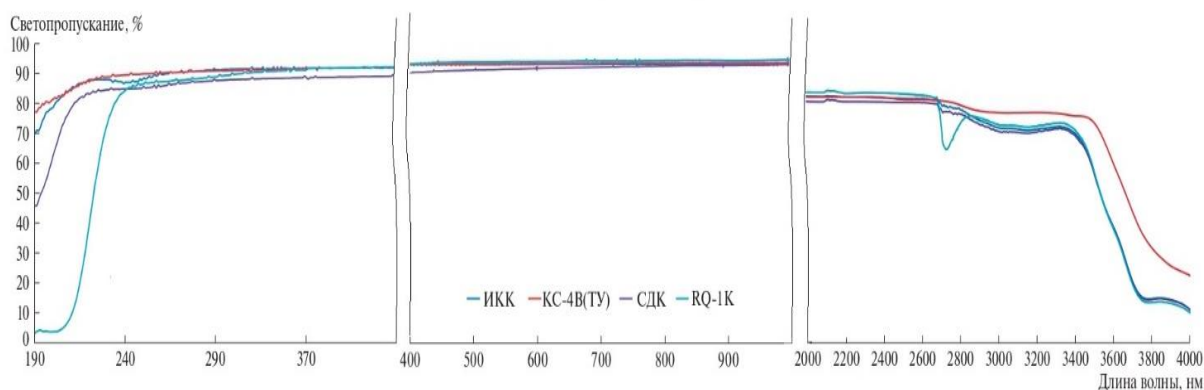


Рисунок 1 – Спектры пропускания образцов стекла в диапазоне 190-4000 нм

Таким образом, проведенные работы по наплаву и анализу полученных стекол показали эффективность технологии КС-4В для получения стекол из природного кварца, искусственных кристаллов кварца и синтетического диоксида кремния с высоким светопропусканием в УФ, видимой и ИК-областях спектра. Процесс наплава, включающий обработку активными газами, позволяет исключить загрязнение стекла в процессе наплава. Без продувки хлором высокого светопропускания в ультрафиолетовой области можно добиться, имея изначально чистое плавочное сырье.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (государственное задание № 122040800014-4).

Список литературы

1. Гайшун В. Е., Косенок Я. А., Семченко А. В., Тюленкова О. И., Судник Л. В., Кузьмин В. Г., Лебедев А. С., Рыжков В. М., Манин Ю. А. Высокочистая кварцевая крупка и стекло, полученные золь-гель методом// В сборнике: Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка. Материалы 16-й Международной научно-технической конференции. Минск, 2024. С. 224-226.
2. Попов С. А., Насыров Р. Ш., Лебедев А. С.. Установка для выплавки кварцевых стекол в вакууме и среде активных газов// Стекло и керамика. 2011. № 9. С. 38–39.
3. Попов С. А., Насыров Р. Ш., Лебедев А. С. Высокотемпературная компрессионная печь// Минералы: строение, свойства, методы исследования. Материалы II Всероссийской молодежной научной конференции. 23–26 марта 2010 г. Екатеринбург. 2010. № 2. С. 299–301.

КОНДЕНСАТОРНЫЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СЛОИ НА ОСНОВЕ $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$

А. А. Маевский, К. Д. Данильченко, А. В. Семченко, В. В. Сидский

*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь, alina@gsu.by*

На сегодняшний день рынок запоминающих устройств с произвольной выборкой (ЗУПВ) (DRAM) представляет собой большой и стремительно развивающийся сектор изделий микро- и нанoeлектроники (не менее 70 % составляет рынок электронных устройств для различных применений). Конкуренция на этом секторе рынка, сопровождающаяся постоянным увеличением степени интеграции и уменьшением стоимости бита информации, и определяет одно из лидирующих положений отрасли на рынке микрoeлектронных устройств.

Тенденция увеличения емкости ЗУПВ обеспечивается следующими основными факторами:

- уменьшение топологического разрешения;
- увеличением размера кристалла;
- уменьшением площади ячейки.

Дальнейшее увеличение размеров кристалла сдерживается экономическими причинами повышения стоимости на рынке, что делает данную технологию невостребованной, а уменьшение топологического разрешения ограничено физическими пределами существующего оборудования, как в Беларуси, так и за рубежом. В связи с этим микрoeлектронная промышленность столкнулась с необходимостью внесения существенных изменений в технологические процессы создания ЗУПВ. Площадь, занимаемая ячейкой памяти, состоящая из транзистора и конденсатора, непрерывно уменьшается, в то время как емкость конденсатора должна оставаться неизменной для обеспечения необходимой чувствительности и помехозащищенности. Решение этой проблемы возможно двумя путями. Первый путь – увеличение площади конденсаторного элемента, т.е. увеличение ячейки, что снижает количество элементов на единицу площади, а, следовательно, конкурентоспособность устройства, и второй путь – применение материала диэлектрика с высокой диэлектрической проницаемостью. Среди таких материалов наибольший интерес представляют активные диэлектрики, в частности сегнетоэлектрики. Одно из уникальных физических свойств сегнетоэлектрических материалов (высокая диэлектрическая проницаемость, изменяемая под действием внешнего поля) позволяет создать новый тип конденсаторных элементов для ЗУПВ на основе структур металл-диэлектрик-металл (МДМ), в которых активным элементом является тонкая сегнетоэлектрическая пленка. Разработка высокоэффективных и надежных конденсаторных элементов на основе МДМ структур, в которых активным элементом является тонкая сегнетоэлектрическая пленка, может стать одним из основных направлений в области создания конкурентоспособных промышленных отечественных производств ЗУПВ.

Полученные растворы наносились методом центрифугирования на поверхность пластин монокристаллического кремния с подслоем платины. После нанесения каждого слоя плёнка предварительно высушивалась в печи в течение 5 минут при температуре 250 °С. После нанесения пятого слоя проводился отжиг при температуре 550 °С в течение часа. Поверхность пленок исследовали с помощью металлографического микроскопа XJM500, а фотографии делали с помощью цифровой камеры Levenhuk M1400 PLUS.

Исследование сегнетоэлектрических свойств проводилось осциллографическим методом, в зависимости от напряженности внешнего электрического поля.

В результате применения раздельного гидролиза наблюдается уменьшение количества дефектов на поверхности пленок и увеличение остаточной поляризации полученных пленок BST и BT. Золи, полученные раздельным гидролизом, приводят к образованию более однородных пленок. Это связано с тем, что при раздельном гидролизе каждое исходное соединение реагирует индивидуально со своей скоростью. В случае общего гидролиза реакции не доходят

до конца, так как протекают с разной скоростью, что приводит к увеличению эффективности внешних воздействий, приводящих к растрескиванию пленки. При неполном гидролизе металлов наблюдается нарушение целостности поверхности пленки BST. При формировании (с использованием раздельного гидролиза) тонких сегнетоэлектрических пленок $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$ происходит релаксация механических напряжений за счет перехода от послойного механизма роста к островковому, благодаря чему снижается растрескивание пленки.

Как сегнетоэлектрические свойства, так и топография поверхности существенно зависят от содержания Ba, что может быть связано с эффектом размера зерна. Установлено влияние восстановительного отжига на сегнетоэлектрические характеристики тонких золь-гель пленок BST.

Список литературы

1. Semchenko A., Sidsky V., Gaishun V., Kovalenko D. Nanoscale Piezoelectric Properties and Phase Separation in Pure and La-Doped BiFeO₃ Films Prepared by Sol–Gel Method. Materials. – V.14 – №7. – P. 1694.
2. Effects of Additional Vacuum Annealing on the Structure? Electrical and Optical Properties of ZnO:Al Films Synthesized by Sol-Gel Method// V. V. Sydsky, A. V. Semchenko, V. E. Gaishun, D. L. Kovalenko, A. S. Khanna. Problems of Physics, Mathematics and Technics. – 2018. – № 4 (37). – P. 44-46.

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ СЛОЕВ ZnO:MgO НА КРЕМНИИ, ПОЛУЧЕННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

**В. В. Малютина-Бронская¹, А. В. Семченко², В. В. Сидский², А. С. Кузьмицкая¹,
А. Н. Петлицкий³, Т. В. Петлицкая³**

¹ Государственное научно-производственное объединение
«Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»,
Республика Беларусь, malyutina@oelt.basnet.by;

² Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь, alina@gsu.by;

³ ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ», Республика Беларусь

В настоящее время активно ведутся исследования, направленные на поиск новых материалов для датчиков с чувствительностью к ультрафиолетовому (УФ) излучению. Одним из кандидатов для подобных датчиков является оксид цинка (ZnO). Данный материал отличается высокой подвижностью электронов, хорошей теплопроводностью, широкой и прямой запрещенной зоной ($E_g \sim 3,37$ эВ) и относительно высоким значением оптического пропускания [1]. Нелегированные тонкие пленки ZnO обладают фоточувствительностью в видимой области спектра из-за наличия собственных дефектов. Для варьирования оптических и электрических свойств ZnO легируют металлами из периодической таблицы группы III, такими как B, Al, Mg, Ca, Cd и Ga [2]. При этом, для обеспечения образования соединения с небольшими искажениями кристаллической решетки важно, чтобы радиус легирующего элемента был приблизительно равен радиусу замещаемого элемента. В этом аспекте радиус иона Mg^{2+} (0,57 Å) сравним с радиусом иона Zn^{2+} (0,60 Å), что делает Mg подходящим для замены в решетке Zn и облегчения увеличения запрещенной зоны [3].

Слои на основе пленок ZnO:MgO были получены золь-гель методом с использованием раздельного гидролиза. В качестве исходных материалов использовали дигидрат ацетата

цинка; ацетат магния; изопропиловый спирт; дистиллированная вода; диэтаноламин. Для изготовления плёнообразующего раствора ацетат цинка и ацетат магния отдельно растворяли в изопропиловом спирте и перемешивали при 60 °С в течение 10 минут. Затем золи смешивались в концентрации 3:2 (образец 1), 3:1 (образец 2), 2:1 (образец 3) и 2:3 (образец 4). Осаждение пленки производилось методом центрифугирования со скоростью вращения 2000 об/мин в течение 40 с, после чего происходила сушка каждого слоя при 60 °С в течение 10 минут. После нанесения проводили отжиг слоя при температуре 550 °С в течении часа. Толщина получаемых пленок ZnO:MgO составляла порядка 100 нм. В качестве подложек использовали кремниевые пластины КДБ-10.

Измерение вольтамперных характеристик (ВАХ) проводили в темноте и под воздействием оптического излучения с использованием вольфрамовых зондов по поперечной схеме подключения, когда один из зондов устанавливался поверх пленки ZnO:MgO, а второй снизу к подложке через InGa контакт. Напряжение на ВАХ, соответствует напряжению подаваемому на верхний электрод к пленке ZnO:MgO. Оптический модуль измерительного комплекса включал в себя модуль позиционирования для размещения испытуемого образца и мультиспектральный источник лазерного излучения, состоящий из набора 9 лазерных диодов с длинами волн 405, 450, 520, 660, 780, 808, 905, 980 и 1064 нм с общим оптоволоконным выводом и с платами управления с мощностью излучения порядка 2 мВт [3]. В качестве источника глубокого ультрафиолетового (УФ) излучения с длиной волны 278 нм использовали светодиод ТО-3535BC-UVC265-30-6V-E. Все измерения были проведены с разверткой по напряжению от –15 до +15 В при комнатной температуре. Результаты измерения зависимости темнового тока от напряжения структур ZnO:MgO/Si представлены на рисунке 1 (а).

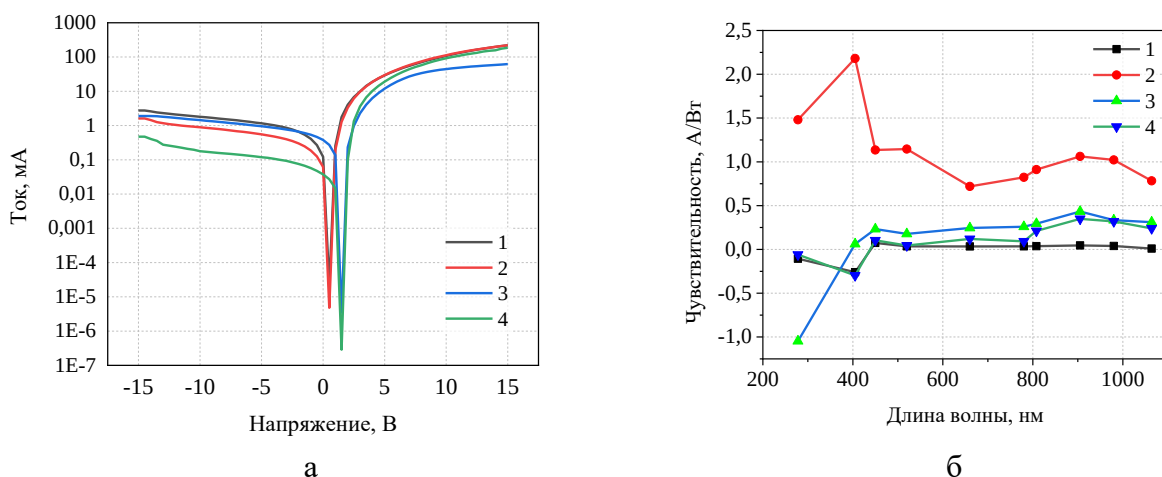


Рисунок 1 – Зависимость темнового тока от напряжения (а) и зависимость спектральной чувствительности от длины волны (б) образцов структуры ZnO:MgO/Si

Расчет абсолютной спектральной чувствительности проводился по формуле:

$$S = \frac{|I_p| - |I_D|}{P}, \quad (1)$$

где I_p – фототок;

I_D – темновой ток;

P – мощность источника излучения.

Результаты расчетов абсолютной спектральной чувствительности при напряжении $U = -12$ В представлены на рисунке 1 (б).

Из анализа зависимостей спектральной чувствительности от длины волны следует, что характер фотоэффективности меняется с изменением концентрации примеси магния, что объясняется изменением переходом от электронной проводимости к дырочной. На зависимости фотоэффективности от длины волны на кривой 2 наблюдается два максимума при $\lambda = 278$ нм и при $\lambda = 405$ нм. С ростом содержания магния в УФ области спектра ($\lambda = 278$ нм) возникает отрицательная фотоэффективность (-1 А/Вт), в то время как в остальном диапазоне длин волн фотоэффективность положительная и не превышает 0,5 А/Вт. У всех образцов наблюдается фотоэффективность в ИК области спектра ($\lambda = 905$ нм), что может быть обусловлено фотопроводимостью поверхностных состояний границы раздела структур ZnO:MgO/Si.

Список литературы

1. Ayvazyan G. Y. et al. Synthesis, investigation and neural network modeling of the properties of sol-gel ITO/ZnO and ITO/ZnO:Mg structures // News of the National Academy of Sciences of Armenia. Physics. 2023. V. 58, № 1. P. 366-375. DOI : 10.1134/S1068337223030064
2. Priscilla S. J. et al. Effect of magnesium dopant on the structural, morphological and electrical properties of ZnO nanoparticles by sol-gel method // Materials Today: Proceedings. 2021. V. 36. P. 793-796. DOI : 10.1016/j.matpr.2020.07.005
3. Sidsky V. V. et al. Photoactive and Structure Properties of ZnO:XMgO Nanocomposite Sol-gel Films on the Surface of Silicon // Research and Education: Traditions and Innovations Proceedings of the 19th International Conference on Global Research and Education (Inter-Academia 2021). 2022. P. 227.

ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА МЕЗОПОРИСТЫХ ОРГАНОСИЛИКАТНЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПЛЕНОК

П. А. Мокрушев, Д. С. Серегин, К. А. Воротилов

¹*МИРЭА – Российский технологический университет,
Российская Федерация, mokrushev@mirea.ru*

Мезопористые органосиликатные пленки, сформированные золь-гель методом, широко используются для различных применений, в том числе в технологии микроэлектроники в качестве материала с низкой величиной диэлектрической проницаемостью (low-k диэлектрики). Существенным ограничением применений таких материалов является ухудшение их механических свойств при образовании пористой структуры. Одним из способов улучшения механических свойств является оптимизация режима термообработки, позволяющая добиться упрочнения стенок металлоорганического каркаса за счет более полного протекания реакций поликонденсации [1].

Целью работы было исследование влияния режимов предварительной сушки на механические свойства тонких пористых органосиликатных (OSG) и периодических мезопористых органосиликатных (PMO) пленок, сформированных золь-гель методом на кремниевых подложках.

Для формирования пористой структуры использовали метод молекулярной самосборки. С этой целью в пленкообразующие растворы добавляли поверхностно-активное вещество Brij® L4. Пленки формировали на кремниевых пластинах методом центрифугирования. После нанесения пленки сушили различными способами, как это представлено в таблице 1. Финишная температура отжига всех образцов составляла 400 °С.

Таблица 1 – Режимы предварительной сушки

Режим	Температура термообработки			
	80°C 30 мин	150°C 30 мин	250°C 30 мин	400°C 30 мин
1	✗	✗	✓	✓
2	✗	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓
4	до сушки выдержка на воздухе 24 часа	✓	✓	✓
5	сушка в парах растворителя	✓	✓	✓
6	сушка в парах 10 % водного раствора аммиака	✓	✓	✓

Исследования образцов проводили с помощью адсорбционной эллипсометрической порометрии [2]. Установлено, что при многоступенчатой сушке наблюдается увеличение величины модуля Юнга на 20-50 %, при этом открытая пористость изменяется на ~3 %, радиус пор ~4 %, а усадка не претерпевает существенных изменений.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-79-30016).

Список литературы

1. Maex K., Baklanov M. R., Shamiryan D. et al. Low dielectric constant materials for microelectronics //Journal of Applied Physics. – 2003. – Т. 93. – №. 11. – С. 8793-8841. DOI 10.1063/1.1567460
2. Baklanov M. R., Mogilnikov K. P., Vishnevskiy A. S. Challenges in porosity characterization of thin films: Cross-evaluation of different techniques //Journal of Vacuum Science & Technology A. – 2023. – Т. 41. – №. 5. – С. 050802 DOI 10.1116/6.0002793.

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ОКСОГИДРООКСИДА АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

М. А. Мячина, Д. С. Карпухина, Н. Н. Гаврилова, В. В. Назаров

*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,
Российская Федерация, miachina.m.a@muctr.ru*

Алюмооксидные материалы относятся к одному из наиболее распространенных материалов для получения катализаторов и керамики, сорбентов, мембран и т. д. Отдельным направлением выступает создание тонких пленок, покрытий и волокон из оксида алюминия. Для получения такого класса материалов используются различные методы, включая золь-гель метод, отличающийся широкими возможностями для управления свойствами конечного продукта. Достоинством золь-гель технологии можно считать её гибкость, в том числе в отношении свойств исходной композиции – золя. Для создания тонкопленочных материалов важную роль играют реологические свойства золя, в частности наличие тиксотропных и вязкоупругих свойств, тип реологического поведения и т. д. Один из подходов для управления реологическими свойствами заключается в введении в исходную дисперсную систему высокомолекулярных соединений [1].

Целью данной работы являлось получение и анализ реологических свойств полимерных композиций на основе золя γ - оксигидрооксида алюминия (бемита) для дальнейшего получения тонкопленочных и волокнистых материалов. Золи бемита были синтезированы путем гидролиза органических и неорганических прекурсоров в присутствии азотной кислоты. В качестве высокомолекулярных соединений были выбраны поливиниловый спирт (ПВС) и поливинилпирролидон (ПВП) различных марок. Синтез дисперсных систем при различных условиях гидролиза неорганических и органических прекурсоров позволил получить агрегативно устойчивые золи. Исходные золи являются ньютоновскими жидкостями, концентрирование приводит к формированию тиксотропных гелей. При концентрировании золь, полученных при гидролизе неорганических прекурсоров, было установлено, что точка золь-гель перехода соответствует концентрации 4 % масс. При проведении совместного гидролиза нитрата алюминия и изопропоксида алюминия удастся синтезировать золь, концентрирование которого приводит к золь-гель переходу при концентрации 17 % масс.

Высокомолекулярные соединения вводились в золи с различной концентрацией дисперсной фазы, но сохраняющие ньютоновский характер течения. Были получены композиции с концентрацией полимера от 5 до 20 % масс. Было установлено, что при введении поливинилового спирта максимальная концентрация полимера, при которой композиция остается ньютоновской жидкостью, составляет 10 % масс. В случае поливинилпирролидона, ньютоновское течение композиции сохраняется при содержании полимера не более 15 % масс.

Список литературы

1. Dressler M. Rheology, UV-vis transparency and particle size of modified Yoldas sols// Journal of Sol-Gel Science and Technology. 2006. V. 38, P. 261-269. DOI 10.1007/s10971-006-6634-5.

ВЛИЯНИЕ ОБОЛОЧКИ SiO_2 НА ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ДОПИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОМ НАНОПОРОШКОВ TiO_2

А. М. Николаев, А. С. Коваленко, О. А. Шилова, Т. В. Хамова

*Филиал «Петербургского института ядерной физики им. Б. П. Константинова
национального исследовательского центра «Курчатовский институт» –
Институт химии силикатов им. И. В. Гребенщикова,
Российская Федерация, floijan@gmail.com*

Диоксид титана широко применяется благодаря своим фотокаталитическим свойствам, которые, в свою очередь, поддаются контролируемому управлению при помощи допирования и модификации поверхности [1, 2]. В данной работе было изучено влияние оболочки SiO_2 на фотокаталитическую активность нанопорошков анатаза и рутила.

Исходные порошки TiO_2 , допированные железом, были синтезированы методом осаждения. Для получения анатаза осадки отжигали при температуре 500 °С, для получения рутила – при 1000 °С. Оболочку SiO_2 формировали методом золь-гель синтеза, используя выдерживание при перемешивании в прегидролизате (TEOS, этанол, вода и азотная кислота в качестве катализатора).

Фотокаталитическую активность исследуемых нанопорошков оценивали по степени разложения раствора метиленового синего на поверхности нанопорошков под действием ультрафиолетового облучения.

Результаты РФА показали, что нанопорошки $\text{TiO}_2\text{-Fe}$, термообработанные при 500 °С, соответствуют фазе анатаза. Наличие оксидов железа (маггемит-магнетитового ряда ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Fe}_3\text{O}_4$)) было зафиксировано в следовых количествах для порошков анатаза, содержащих 6-7 ат. % железа.

Нанопорошки, термообработанные при 1000 °С, отвечают фазе рутила, помимо этого в их составе присутствует оксид железа (α -Fe₂O₃).

Наличие оболочки SiO₂ было подтверждено результатами ИК-спектроскопии и EDX-анализа.

Для нанопорошков анатаза при легировании Fe (1-7 ат.%) фотокаталитическая активность увеличивалась более чем в 2 раза (с 16 до 35 %). Для нанопорошков рутила, наоборот, легирование Fe (1-4 ат.%) кратно снижало фотокаталитическую активность (с 68 до 24 %). Дополнительное нанесение оболочки SiO₂ на поверхность нанопорошков, легированных Fe, для анатаза еще более увеличило фотокаталитическую активность (до 70-80 %), а в случае рутила, наоборот, еще больше уменьшило фотокаталитическую активность (с 24 до 3-16 %). Таким образом, модифицирование поверхности нанопорошков вкупе с легированием является эффективным способом управления фотокаталитической активностью наночастиц TiO₂ (рисунок 1).

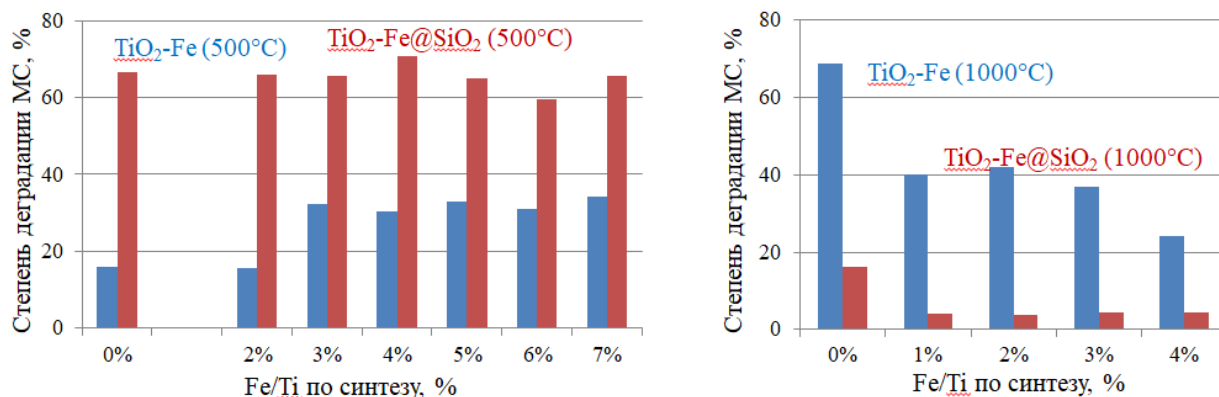


Рисунок 1 – Фотокаталитическая активность нанопорошков: а – TiO₂-Fe и TiO₂-Fe@SiO₂ (анатаз), б – TiO₂-Fe и TiO₂-Fe@SiO₂ (рутил)

Работа выполнена в рамках проекта НИР №0081-2022-0006 Института химии силикатов.

Список литературы

1. Jesus M. A. M. L., Ferreira A. M., Lima L. F. S. et al. Micro-mesoporous TiO₂/SiO₂ nanocomposites: sol-gel synthesis, characterization, and enhanced photodegradation of quinolone // Ceram. Int. 2021.No. 7. P. 23844-23850.
2. Shilova O. A., Kovalenko A. S., Nikolaev A. M. et al. Surface and photocatalytic properties of sol-gel derived TiO₂@SiO₂ core-shell nanoparticles // J. Sol-Gel. Sci. Technol. 2023. V.108. P.263-273.

ДИФФУЗИЯ ЖИДКОСТЕЙ В МОДИФИЦИРОВАННОМ SWA-15: ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ДИФФУЗИОННОГО ЯМР

С. А. Новикова¹, Е. В. Морозов¹, Ю. Н. Зайцева¹, А. О. Еремина¹, С. Д. Кирик^{1,2}

¹Институт химии и химической технологии Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН,
Российская Федерация, j-n-zaitseva@yandex.ru;

²Сибирский федеральный университет,
Российская Федерация

В работе методом ЯМР спектроскопии с импульсным градиентом магнитного поля (диффузионного ЯМР) проведены сравнительные исследования процессов молекулярной

диффузии воды и *n*-гептана при различном массовом содержании в мезоструктурированных порошковых материалах SBA-15, модифицированных введением оксидов металлов циркония и молибдена (Zr/SBA-15, Mo/SBA-15).

Обнаружено, что введение оксидов металлов в порошковые материалы SBA-15 не меняет характера диффузионных кривых (количество и соотношение весовых долей компонент), что свидетельствует о сохранении механизмов транспорта жидких сред в пористой матрице порошка. Однако введение в силикатную матрицу d-элементов приводит к заметному уменьшению времен спин-решеточной релаксации протонов воды и гептана (рисунок 1).

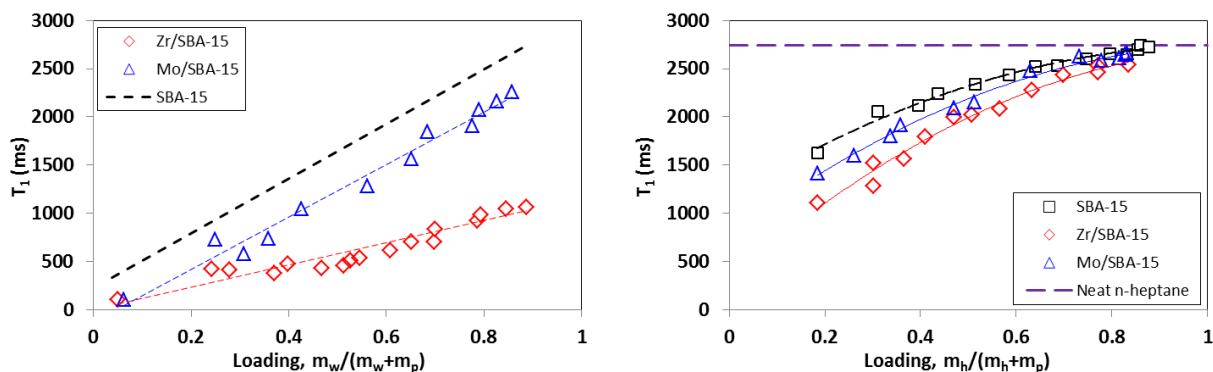


Рисунок 1 – Зависимость времен спин-решеточной релаксации T_1 от величины загрузки для воды (слева) и гептана (справа) в порошках Zr/SBA-15 и Mo/SBA-15 по сравнению с исходным SBA-15

Экспериментально установлено изменение характера зависимости коэффициентов диффузии воды в зависимости от величины загрузки для модифицированных образцов SBA-15 (рисунок 2). Так, для исходного образца наблюдается пологое уменьшение коэффициента диффузии с ростом доли воды, в то время как для образцов Zr/SBA-15 и Mo/SBA-15 значения коэффициентов диффузии резко падают в диапазоне $0,2 < \phi < 0,4$, после чего с некоторой задержкой возвращаются к динамике исходного образца ($\phi > 0,5$). Это изменение характера зависимости на малых значениях содержания воды можно объяснить за счет изменения пористой текстуры материала на характерных масштабах трансляционного движения 20-60 мкм.

В случае транспорта молекул *n*-гептана обнаружено, что для образцов Zr/SBA-15 и Mo/SBA-15 значения коэффициентов диффузии гептана лежат ниже соответствующей зависимости для исходного образца практически во всем диапазоне загрузки $0,2 < \phi < 0,8$, что особенно заметно на малых значениях ϕ .

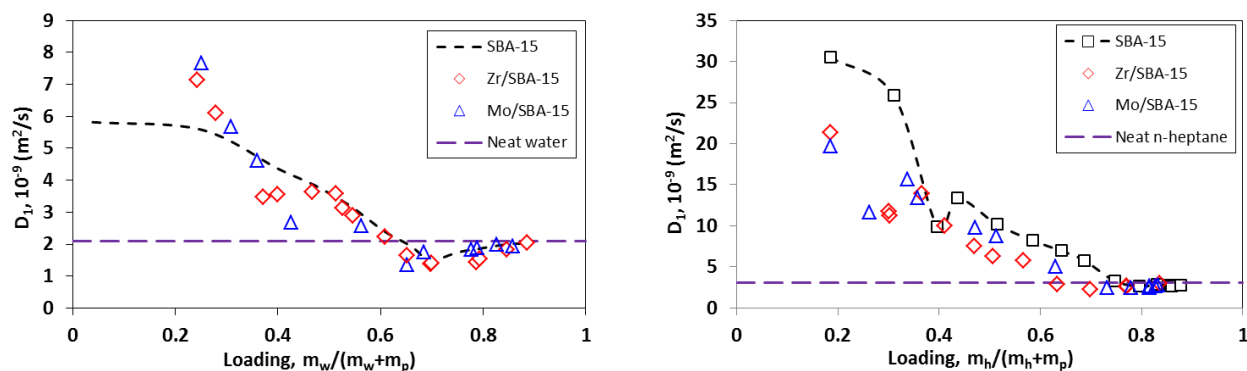


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента диффузии D_1 молекул воды (слева) и *n*-гептана (справа) от загрузки в порошках Zr/SBA-15 и Mo/SBA-15 по сравнению с исходным SBA-15

Полученные данные демонстрируют, что введение оксидов d-металлов в пористую матрицу SBA-15 не меняет механизмы транспорта жидких сред в порошках, но способно заметно менять характер зависимости коэффициентов диффузии от величины загрузки для водных систем и снижать трансляционную подвижность молекул алифатических углеводов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института химии и химической технологии СО РАН (FWES-2021-0012) на оборудовании КРЦКП ФИЦ КНЦ СО РАН и Научно-исследовательского аналитического центра коллективного пользования СФУ.

МЕЗОПОРИСТЫЕ КРЕМНЕЗЕМЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ИОНАМИ МЕДИ

Г. Г. Пестерникова¹, В. Б. Обухова², А. И. Хацринов³

^{1,2,3} Казанский национальный исследовательский технологический университет, Российская Федерация, ¹pesternikova_kstu@mail.ru, ²nomak_kazan@mail.ru, ³khatsrin@mail.ru

Мезопористые кремнеземы (mesoporous silica materials – MCM) являются одними из наиболее эффективных носителей для стабилизации наночастиц металлов благодаря высокой удельной поверхности, регулярной пористой структуре и возможности функционализации. Ввиду высокой каталитической активности, антибактериальным свойствам и широкой областью применения, особое внимание уделяется меди. Наночастицы меди, синтезируемые на MCM, обычно имеют размеры в диапазоне от 2 до 10 нм. Так, при их равномерном распределении в пористой матрице кремнезема, они обладают высокой стабильностью и эффективностью в реакциях окисления и восстановления [1].

Методом кислотного золь-гель синтеза получены образцы мезопористого кремнезема (MCM), модифицированного ионами меди. В качестве кремнеземной основы использовались: полисиликат натрия торговой марки «Силином ВН-М» ($5\text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{O}$) и двойной полисиликат натрия и органического основания марки «ПолиСилиам» ($5\text{SiO}_2 \cdot 0,9\text{Na}_2\text{O} \cdot 0,1(\text{NR}_4^{1-2})_2\text{O}$) [2]. Процесс получения наночастиц меди включал предварительную подготовку MCM, его импрегнирование 1М растворами CuSO_4 и восстановление меди до металлического состояния.

Текстурные характеристики синтезированных MCM исследованы методом низкотемпературной адсорбции азота (метод БЭТ) с анализом мезопор по методу Баррета-Джойнера-Халенды. Результаты показали, что удельная поверхность образцов полисиликата после нанесения ионов меди уменьшается с 408,5 до 372,9 $\text{м}^2/\text{г}$, и снижается объем мезопор с 1,19 до 0,68 $\text{см}^3/\text{г}$ и диаметр с 11,3 до 6,95 нм. Введение ионов меди в образец на основе двойного полисиликата натрия и органического основания способствует повышению удельной поверхности с 382,9 до 524,5 $\text{м}^2/\text{г}$, что соответствует уменьшению размера первичных кремнеземных частиц от 7 до 5 нм, объема мезопор с 1,32 до 0,86 $\text{см}^3/\text{г}$, и диаметра с 12,3 до 7,15 нм. Микропоры в синтезируемых образцах не обнаружены.

Результаты проведенных экспериментов показали, что продолжение исследований в данной области по установлению оптимальных параметров синтеза MCM, модифицированных ионами меди, с целью создания каталитических систем является актуальным и целесообразным решением.

Список литературы

1. Айлер Р. Химия кремнезёма/ Р. Айлер; пер с англ.: в 2 ч. Ч.2. — 416 с.
2. Пат. 2466933 Российская федерация, МПК C08G 77/02; C01B 33/32. Двойной полисиликат щелочного металла и органического основания / Обухова В. Б., Пестерников Г. Н.; заявитель и патентообладатель Обухова В. Б., Пестерников Г. Н. – № 2018116833/05; заявл. 04.05.2018; опубл. 28.03.2019, Бюл. № 10. – 10 с.

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРА CrMnFeCoNi/NF

М. Д. Печерская¹, Ф. Х. Хошимов¹, Д. К. Ахмедова¹, Ш. И. Маматкулов¹, О. Н. Рузимуратов²

¹*Институт материаловедения Академии наук Республики Узбекистан,
Республика Узбекистан, mariya.pecherskaya@yahoo.com;*

²*Туринский политехнический университет в г. Ташкенте,
Республика Узбекистан, o.ruzimuradov@polito.uz*

В условиях глобальных экологических вызовов и растущего интереса к возобновляемым источникам энергии водород рассматривается как один из наиболее перспективных и экологически чистых энергоносителей. Одним из эффективных способов его получения является электролиз воды, особенно в щелочной среде. Однако широкому промышленному применению этой технологии препятствует отсутствие доступных и стабильных электрокатализаторов. На сегодняшний день наиболее высокой каталитической активностью обладают благородные металлы, такие как платина, но их применение ограничено высокой стоимостью и дефицитностью. В связи с этим возрастает интерес к альтернативным материалам, в частности к сплавам с высокой энтропией. Благодаря синергетическим эффектам между различными металлическими компонентами такие сплавы способны демонстрировать выдающиеся каталитические свойства при значительно меньших затратах [1–3].

В рамках данного исследования был получен нанокомпозит CoFeNiCrMn/NF путём гидротермального осаждения CrMnFeCoNi на никелевую пену. Раствор готовился путем растворения равномолярных количеств (по 1 ммоль) нитратов Cr, Mn, Fe, Co и Ni в деионизированной воде, с последующим добавлением мочевины и NH₄F (по 3 ммоль). Полученный раствор и предварительно очищенную никелевую пену (NF) размером 3×3 см² помещались в автоклав объемом 100 мл с тефлоновым покрытием. Гидротермальная реакция проводилась при температуре 160 °С в течение 12 часов. После охлаждения полученный образец многократно промывали этанолом и дистиллированной водой, а затем сушили при 60 °С.

Электрохимическая активность полученного катализатора CrMnFeCoNi/NF была исследована в 1.0 М растворе КОН с использованием стандартной трёхэлектродной системы как для реакции выделения водорода (РВВ), так и для реакции выделения кислорода (РВК). Полученный катализатор продемонстрировал хорошую каталитическую активность для РВВ, достигая плотности тока 10 мА·см⁻² при перенапряжении всего 96 мВ, с низким значением наклона Тафеля (122.97 мВ·дек⁻¹), и ёмкостью двойного слоя (Cdl) 3.09 мФ·см⁻², указывая на благоприятную кинетику РВВ и эффективный перенос заряда. Кроме того, стабильность катализатора была подтверждена хронопотенциометрическим тестом в течение 24 часов при плотности тока 100 мА·см⁻², в ходе которого наблюдалось лишь 0.6 % снижение потенциала, что указывает на устойчивость материала к длительной работе.

Дополнительно была изучена активность катализатора для РВК, где перенапряжение составило 430 мВ при плотности тока 10 мА·см⁻², наклон Тафеля 149.71 мВ·дек⁻¹ и ёмкость двойного слоя (Cdl) 133.14 мФ·см⁻². Эти результаты указывают на высокую электрокаталитическую активность и развитую поверхность исследуемого электрокатализатора.

Список литературы

1. Liu Y., Li P., Wang Z., Gao L. Shape-preserved CoFeNi–MOF/NF exhibiting superior performance for overall water splitting across alkaline and neutral conditions // *Materials*. 2024. 17. 2195. DOI: 10.3390/ma17102195.

2. Jiang et al. High-performance binder-free supercapacitor electrode by direct growth of cobalt-manganese composite oxide nanostructures on nickel foam // *Nanoscale Research Letters*. 2014. 9. 492. DOI:10.1186/1556-276X-9-492.

3. Yao Y., Huang Z., Xie P. et al. Carbothermal shock synthesis of high-entropy-alloy nanoparticles // *Science*. 2018. 359. 1489–1494. DOI: 10.1126/science.aan5412.

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ОКСИДА ЭРБИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ЛАНТАНОМ МЕТОДОМ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ-ГОРЕНИЕ

Е. Н. Подденежный¹, Н. Е. Дробышевская¹, А. А. Бойко¹, В. С. Урбанович²

¹Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,
Республика Беларусь, podd-evgen@yandex.ru;

²Государственное объединение «Научно-практический центр
НАН Беларуси по материаловедению»,
Республика Беларусь, urban@physics.by

Оптически прозрачная керамика на основе оксидов лантаноидов является перспективной в качестве активной среды лазеров, люминесцентных преобразователей, сцинтилляторов, благодаря высоким оптическим и термическим характеристикам [1, 2]. Цель настоящего исследования – разработка нового метода синтеза наноразмерных порошков оксида эрбия Er_2O_3 , с добавкой лантана, предназначенной для активации процесса спекания прозрачной керамики. Процесс получения наноразмерного оксида эрбия, легированного лантаном, осуществляют следующим образом. Формируют устойчивый золь из компонентов $\text{Er}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; уксусной кислоты, ПВС 16/1 при 60 °С. Затем выливают смесь в термостойкий тигель и нагревают при 85 °С в течение 90 мин до состояния вязкого геля. Затем гель помещают в муфельную печь, где под воздействием нагрева до 850 °С проходит реакция синтеза. В результате получают порошок Er_2O_3 - La_2O_3 с размерами частиц 21,5 – 28,1 нм, не требующий дополнительного размола. Далее порошок прокаливают при 1100 °С (1 час). Термическая обработка вызывает агломерацию и укрупнению частиц до 76 – 103 нм. Дифрактограммы $\text{Er}_2\text{O}_3\text{:La}$, полученных при 850 °С и 1100 °С, приведены на рисунок 1.

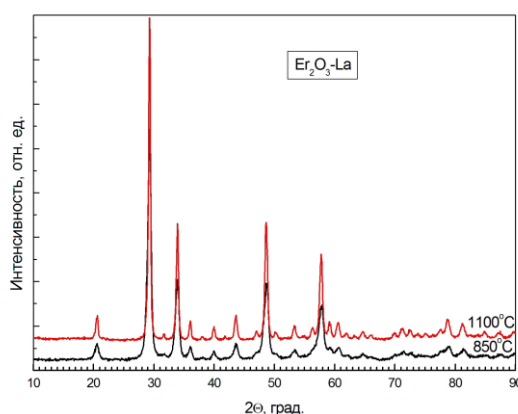


Рисунок 1 – Дифрактограммы порошков $\text{Er}_2\text{O}_3\text{:La}$, прокаленных при 850 °С и 1100 °С

Работа выполнена при поддержке Государственной программы научных исследований «Материаловедение, новые материалы и технологии» на 2021–2025 гг. в Республике Беларусь (задание 2.8).

Список литературы

1. Balabanov S. S., Ivanov M., Filofeev S. [et al.] Fabrication and characterizations of erbium oxide based optical ceramics // Optical Materials. 2020. Vol. 101. Article 109732. doi.org/10.1016/j.optmat.2020.109732.
2. Урбанович В. С., Леончик С. В., Живулько В. Д. [et al.] Получение керамики на основе оксидов эрбия и иттербия спеканием под высоким давлением // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. 2023. №4. С.61 – 69.

СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНО- И МИКРОДИСПЕРСИЙ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ИОНООБМЕННЫМ МЕТОДОМ

Т. А. Савицкая¹, И. М. Кимленко¹, В. Е. Гайшун², Я. А. Косенок²

¹Белорусский государственный университет,
Республика Беларусь, savitskayata@bsu.by;

²Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь, vgaishun@gsu.by

Получены микро- и нанодисперсии диоксида кремния на основе жидкого стекла с массовой долей SiO₂, равной 6 %, ионообменным методом с использованием гранулированных и волокнистых катионитов.

Одним из способов регулирования агрегативной устойчивости золей и суспензий является введение различных добавок [1]. Изучено влияние стабилизирующих добавок в виде неионогенных ПАВ (этиленгликоля и полиэтиленгликоля) на дисперсный состав, устойчивость и реологические свойства полученных образцов. Показано, что исследуемые ПАВ приводят к увеличению размера частиц, при этом сохраняется достаточно высокая степень однородности. Результаты определения кинематической вязкости кремнезольей свидетельствуют об их относительной устойчивости. При этом в присутствии ПАВ скорость седиментации частиц уменьшается, что подтверждает их стабилизирующее действие. Установлена зависимость вязкости кремнезольей от скорости сдвига, которая демонстрирует характерное для полученных систем поведение, отражающее их неньютоновскую природу. Показано, что при низких скоростях сдвига система ведёт себя как структурированная, вязкая жидкость, а при высоких – как разжиженная дисперсия. Определены динамические характеристики полученных образцов. Результаты частотного сканирования в режиме осцилляции указывают, что во всем диапазоне угловых частот 2-100 рад/с модуль накопления больше комплексной вязкости и значительно превосходит модуль потерь, что свидетельствует о вязкоупругости образцов. В то же время уменьшение комплексной вязкости с увеличением частоты свидетельствует об увеличении текучести кремнезольей.

В целом, анализ реологических данных свидетельствует о многообразии структурных изменений, происходящих в полученных образцах. Данные реологических исследований позволят в дальнейшем оптимизировать процессы получения, хранения и транспортировки золей, в результате которых может происходить изменение нагрузок и температур. В свою очередь, это позволит прогнозировать поведение кремнезольей в различных промышленных применениях.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия» (НИР 2.1.04.06.6)

Список литературы

1. Савицкая Т. А. и др. Исследование влияния поверхностно-активных веществ на устойчивость полирующих суспензий диоксида кремния // Свиридовские чтения : сб. ст. 2015. Вып. 11. С. 121–131.

СТРУКТУРА И АДСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕРОДОВ ИЗ ОТХОДОВ ВИШНИ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЩЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Д. С. Салиханова¹, Д. Д. Савриева¹, М. А. Исмаилова¹, З. Усмонова², С. С. Маматалиева¹

¹Институт общей и неорганической химии, Академии наук Республики Узбекистан, Республика Узбекистан, salihanova79@mail.ru;

²Наманганский государственный технический университет, Республика Узбекистан

Из косточек вишни получены два углеродных материала: образец С-0, полученный пиролизом биомассы без дополнительной обработки, и образец С-КОН, полученный пиролизом после пропитки исходного сырья 10-%-ным раствором КОН (массоотношение КОН:биомасса = 3:1). Цель работы – оценить влияние щелочной активации на структуру пор и сорбционные свойства полученных углеродов.

Адсорбционные изотермы N₂ (-196 °С, метод БЭТ) показали, что щелочная обработка вызывает резкое развитие микропористости: удельная поверхность увеличивается с 51 до 255 м²/г, а общий объём пор — с 0,109 до 0,406 см³/г. Доля микропор возрастает с ≈70 % до ≈86 %, что свидетельствует о формировании тонкодисперсной пористой структуры (таблица 1).

Таблица 1 – Текстульные характеристики углеродных образцов по адсорбции-десорбции азота

Образец	S _{ВЕТ} , м ² /г	V _{пор общ.} , см ³ /г	V _{микро.} , см ³ /г	D _{пор ВЖ} , Å
С-0	51	0,109	0,076	37,5
С-КОН	255	0,406	0,348	20,9

Фурье-ИК-спектроскопия выявила наличие кислородсодержащих функциональных групп (гидроксильных, карбонильных, карбоксильных) у обоих образцов; после КОН-активации интенсивность полос, соответствующих поверхностным О-группам, несколько снижается, что указывает на восстановление части кислородных фрагментов. Рентгеновская дифракция подтвердила преимущественно аморфный характер углеродной матрицы с широкими рефлексамии графитоподобных слоёв; в активированном образце дополнительно фиксируются слабые пики, соответствующие соединениям калия.

Изотермы адсорбции паров бензола (25 °С) демонстрируют, что сорбционная ёмкость С-КОН превышает ёмкость С-0 более чем в десять раз (2,53 против 0,55 моль/кг при P/P₀ ≈ 1). Высокая эффективность обусловлена увеличением удельной поверхности и объёма микропор, которые обеспечивают конденсацию неполярных молекул в узких порах.

В результате, КОН-активация косточек вишни является эффективным методом получения микропористых углеродных адсорбентов с высокой удельной поверхностью и повышенной способностью к удалению неполярных органических загрязнителей из газовых и жидких сред.

Список литературы

1. Ioannidou O., Zabaniotou A. Agricultural residues as precursors for activated carbon production—A review // *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2007. Vol. 11, No 9. P. 1966–2005. DOI 10.1016/j.rser.2006.03.013.
2. Yahya M. A., Al-Qodah Z., Ngah C. W. Z. Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: A review // *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2015. Vol. 46. P. 218–235. DOI 10.1016/j.rser.2015.02.051.

АДСОРБЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ И СТРУКТУРА МОНТМОРИЛЛОНИТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕГО КАТИОНООБМЕННОЙ ЕМКОСТИ

О. М. Сейтназарова¹, А. Б. Абдикамалова²

¹*Каракалпакский государственный университет,
Республика Узбекистан, oks_seyt_1986@mail.ru;*

²*Институт общей и неорганической химии,
Республика Узбекистан, aziza.abdik@gmail.com*

Адсорбционная активность монтмориллонита обусловлена его катионообменной ёмкостью (КОЕ), структурой межслоевого пространства и пористой архитектурой. В данной работе проведено сравнительное исследование двух образцов монтмориллонита: природного (КОЕ ≈ 70 мг-экв./100 г) и обогащённого (КОЕ $\approx 106,2$ мг-экв./100 г) методами кислотного выщелачивания и декантации. Целью исследования было установить, как увеличение КОЕ влияет на сорбционные свойства и структурные параметры минерала.

Для оценки адсорбционных характеристик использовали модельные красители: метиленовый голубой (МГ) и конго-красный (КК). Эксперименты проводили при 25 °С, pH 6–7 и времени контакта 60 мин. Адсорбционные изотермы строили в диапазоне начальных концентраций 1–50 мг/л. Для каждого образца рассчитывали параметр ёмкости мономолекулярного слоя (A_0) по модели Ленгмюра и константу сродства (K).

Природный монтмориллонит адсорбировал МГ с ёмкостью 0,12 ммоль/г и константой $K_{\text{МГ}} \approx 45$ л/ммоль; КК с ёмкостью 0,06 ммоль/г и $K_{\text{КК}} \approx 30$ л/ммоль. Обогащённый образец продемонстрировал более высокие значения: $A_0 \approx 0,21$ ммоль/г и $K_{\text{МГ}} \approx 60$ л/ммоль, $A_0 \approx 0,18$ ммоль/г и $K_{\text{КК}} \approx 42$ л/ммоль. Такое усиление сорбции объясняется увеличением числа доступных межслоевых катионов (Na^+ , Ca^{2+}), замещаемых ионами красителей, а также более выраженными электростатическими взаимодействиями.

Структурный анализ включал рентгенофазовый анализ (XRD) и низкотемпературную адсорбцию–десорбцию азота (метод BET–BJH). XRD показал, что до контакта с красителями базальный параметр d_{001} составлял 12,6 Å (природный) и 12,8 Å (обогащённый). После адсорбции МГ d_{001} обогащённого образца увеличивался до 13,2 Å, тогда как у природного смещался лишь до 12,9 Å. Это говорит о более интенсивном расширении межслоевого пространства у образца с большей КОЕ. При адсорбции конго-красного смещение было менее выраженным (до 12,9 Å и 13,0 Å соответственно), поскольку анионный краситель преимущественно захватывается на внешней поверхности.

По данным BET обогащённый монтмориллонит обладал удельной поверхностью $S_{\text{BET}} \approx 90$ м²/г и общим объёмом пор $V \approx 0,18$ см³/г (средний размер пор ≈ 15 нм), тогда как S_{BET} природного образца составляла ≈ 60 м²/г и $V \approx 0,12$ см³/г (поры ≈ 18 нм).

Таким образом, обогащённый монтмориллонит с более высокой КОЕ демонстрирует существенный рост адсорбционной ёмкости по катионным и анионным красителям, более выраженное расширение межслойного пространства и развитие мезопористости. Эти результаты подчёркивают ключевую роль КОЕ при проектировании эффективных адсорбентов на основе смектитовых минералов для очистки водных растворов от ионных загрязнений.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАВЛЕННЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СТЕКОЛ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДА

А. В. Семченко¹, В. В. Ткаченко², М. В. Заморянская³, В. В. Сидский¹

¹Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь, *alina@gsu.by*;

²Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,
Республика Беларусь, *tkach@newman.bas-net.by*;

³Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе РАН,
Российская Федерация, *zam@mail.ioffe.ru*

Расширение сферы применения ионизирующих излучений, включая медицинскую диагностику и терапию, системы радиационного неразрушающего контроля, атомную энергетику, определяет потребность в материалах для детектирования ионизирующего излучения, совершенствования их свойств, увеличения чувствительности, быстродействия, разрешающей способности, разработки новых материалов с заданными характеристиками [1–3]. Стекла, активированные редкоземельными ионами (РЗИ), могут служить альтернативой сцинтилляционным кристаллам, т. к. обладают интенсивной люминесценцией, хорошей растворимостью для РЗИ, возможностью модификации физико-химических свойств в широком диапазоне за счет изменения состава стеклообразующих компонентов, относительно низкой стоимостью и др. [4–5]. Стекла обладают рядом очевидных преимуществ, к которым относятся существенно более низкие температуры синтеза, низкая стоимость основных компонентов, простота формовки изделий заданной формы, возможность выращивания стекол больших размеров. В связи с этим разработка сцинтилляторов на основе стекол остается перспективной задачей.

Для сцинтилляционных материалов важной характеристикой является не только эффективность сцинтилляционного процесса, напрямую связанная с механизмами диссипации поглощенной энергии в материале, но и стойкость стекол к воздействию высокоэнергетического излучения. Люминесцентные детекторы сцинтилляционного типа, работающие в режиме реального времени, и запоминающие детекторы термoluminesцентного типа широко применяются в комплексах и системах радиационного и радиоэкологического мониторинга для обнаружения делящихся и радиоактивных веществ; в системах контроля в аэропортах, метрополитене; в медицинской и специальной технике и т.д. С учетом высокой энергии излучения воздействия детекторы должны иметь высокую стойкость к высокоэнергетическому излучению и малое время отклика.

Люминесцентное стекло, активированное ионами РЗИ, является перспективным материалом для создания дозиметров, сцинтилляторов, используемых в таких областях как детектирование излучения высоких энергий и рентгенография. Боросиликатные стекла обладают хорошими физико-химическими и эксплуатационными свойствами, имеют достаточно низкую температуру плавления и являются негигроскопичными, что делает их еще более интересными для изучения. Выбор состава матрицы стекла и концентрации редкоземельного иона важен в этом случае и является важным фактором для повышения интенсивности люминесценции стекла. Разработка оптимальных составов стекол, подбор катионов-модификаторов с целью улучшения физико-химических свойств стекла также представляют немаловажную задачу. В настоящее время для регистрации излучения необходимо ориентироваться на кремниевые фотоприемники, которые успешно выпускаются отечественным производителем (ОАО «ИНТЕГРАЛ»), которые обладают фоточувствительностью в «красном» диапазоне. По этой причине в качестве иона-активатора оправдано введение иона Eu^{3+} , основные полосы люминесценции которого находятся в этом диапазоне. Однако введение легирующих добавок и варьирование состава стекла приведет к изменению температуры его формирования. Так как температура формирования радиационно-стойких стекол является высокой, целесообразным представляется провести математическое моделирование процессов формирования и расчет

температур плавления многокомпонентных стекол. В качестве методов расчета температурных свойств других составов алюмоборосиликатных стекол в интервале значений вязкости $10^9 - 10^{14}$ Па·с, соответствующего переходу из твердого в пластическое наряду с методом Гельгофа-Томаса использовалось регрессионное уравнение [6]. Установлено, что с некоторыми правками в регрессионном уравнении данные из статьи [6] можно использовать для расчета температурных свойств других составов алюмоборосиликатных стекол.

Список литературы

1. Валиев Д. Т. Люминесцентные свойства боросиликатного стекла, легированного церием / Д. Т. Валиев [и др.] // Физика твёрдого тела. – 2019. – Т. 61, №10. – С. 1879–1883.
2. Jose A. Color tunable luminescence characteristics and energy transfer analysis of $\text{Dy}^{3+}/\text{Sm}^{3+}$ co-doped multicomponent borosilicate glasses / A. Jose [et. al.] // Scripta Materialia. – 2021. – Vol. 203. – P. 114088.
3. Malchukova E. Spectroscopic properties and luminescence decay behavior of pristine and β – irradiated Sm-doped borosilicate glasses / E. Malchukova, B. Boizot // J. of Luminescence. – 2021. – Vol. 229, – P. 117662.
4. Zhang F. et al. Adjusting photoluminescence of high thermostability $\text{Dy}^{3+}/\text{Eu}^{3+}$ co-doped borosilicate glass for white LED device //Ceramics International. – 2024. – Т. 50. – №. 19. – С. 35557-35567.
5. Sivaranjani, V., Deepa, P., Murugesan, P. *et al.* A review article: Luminescence features of rare earths-activated glass systems for w-LED applications. *emergent mater.* (2025). <https://doi.org/10.1007/s42247-025-01079-8>.
6. И. А. Левицкий и др. «Расчет вязкости многокомпонентных боросиликатных стекол» / Труды БГТУ. Серия III. Выпуск XVIII. 2010. С.47-50.

ПРЕВРАЩЕНИЯ ДИОКСИДА ЦЕРИЯ ВО ФТОРИД-СОДЕРЖАЩЕЙ СРЕДЕ В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

А. Д. Филиппова, А. Е. Баранчиков, В. К. Иванов

*Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН,
Российская Федерация, arifilipova@yandex.ru*

Наноматериалы на основе диоксида церия являются перспективным компонентом биологически активных препаратов, обладающих выраженной антиоксидантной активностью, регенерирующим и УФ-протекторным действием. Природа биологического действия нанокристаллического диоксида церия может быть связана с наличием у CeO_2 энзимоподобной активности, которая зависит от химического состава среды и может значительно изменяться в присутствии фосфат- и фторид-ионов [1, 2]. В частности, взаимодействие нанокристаллического диоксида церия с фосфатами в гидротермальных условиях приводит к формированию кристаллических двойных ортофосфатов церия(IV) [3].

Целью настоящей работы является анализ химического поведения диоксида церия в присутствии фторид-ионов в гидротермальных условиях. В качестве объектов исследования были выбраны золи диоксида церия, стабилизированные цитратом аммония в мольных соотношениях лиганд: CeO_2 0:1, 0.4:1, 1:1. Исследование поведения диоксида церия во фторид-содержащей среде проводили путем гидротермальной обработки цитрат-стабилизированных зольей диоксида церия в водном растворе фторида аммония при 120°C в течение суток, мольное соотношение $\text{CeO}_2:\text{NH}_4\text{F}$ составило 1:5. Во всех случаях были получены твердофазные продукты, состав которых определяли с помощью рентгенофазового анализа, растровой

электронной микроскопии, УФ-видимой и ИК-спектроскопии. Анализ энзимоподобной активности диоксида церия в присутствии фторид-ионов проводили с помощью хемилюминесцентного метода при 37 °С.

Согласно результатам хемилюминесцентного анализа, пероксидазоподобная активность диоксида церия снижается в присутствии фторид-ионов. Данные РФА и РЭМ показали, что гидротермальная обработка цитрат-стабилизированного золя диоксида церия (молярное соотношение цитрат:CeO₂ 1:1) приводит к формированию однофазного продукта фторида церия(III), тогда как в отсутствие цитрата аммония образования частиц CeF₃ не происходит.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 24-13-00370).

Список литературы

1. Zhou R. et al. Homogeneous voltammetric sensing strategy for fluoride ion based on fluoride-stimulated oxidase-like activity of CeO₂ nanozyme // Microchemical Journal. 2024. Т. 197. С. 109875. DOI:10.1016/j.microc.2023.109875.
2. Vinothkumar G. et al. Cerium phosphate–cerium oxide heterogeneous composite Nanozymes with enhanced peroxidase-like biomimetic activity for glucose and hydrogen peroxide sensing // Inorganic chemistry. 2018. Т. 58, №. 1. С. 349-358. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.8b02423.
3. Plakhova T. V. et al. Unexpected nanoscale CeO₂ structural transformations induced by ecologically relevant phosphate species // Chemosphere. 2024. Т. 368. С. 143664. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.143664.

БИОСОВМЕСТИМЫЕ ПОЛИОЛАТЫ КРЕМНИЯ – ИННОВАЦИОННЫЕ ПРЕКУРСОРЫ В ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПРОЦЕССЕ

В. М. Фролова¹, Е. В. Шадрина¹, А. В. Мехаев¹, А. П. Сафронов², Т. Г. Хонина¹

¹*Институт органического синтеза им. И. Я. Постовского УрО РАН,
Российская Федерация;*

²*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
Российская Федерация, lerafrolova2001@yandex.ru*

Инновационным и перспективным направлением в современной золь-гель химии является использование элементсодержащих, в частности, кремнийсодержащих полиолатных прекурсоров. Преимуществом их является биосовместимость (выделяющиеся в реакции полиолы не оказывают отрицательного действия на биомакромолекулы), мягкие условия синтеза, а также отсутствие катализатора и гомогенизирующего растворителя [1].

Целью работы является сравнительное исследование состава, структурных особенностей и реакционной способности кремнийсодержащих полиолатных прекурсоров в золь-гель процессе.

Объектами исследования являлись кремнийсодержащие прекурсоры на основе этиленгликоля (I), глицерина (II), 1,2-пропандиола (III) и ПЭГ-400 (IV). Прекурсоры получали реакцией перэтерификации тетраэтоксисилана соответствующим полиолом в молярном соотношении 1 : 4.

Продукты охарактеризованы комплексом физико-химических методов, включая ЯМР ¹H ²⁹Si, ВЭЖХ, ДТА, ИК-спектроскопию, также определяли молекулярную массу (криоскопическим методом).

Нами показано, что за исключением соединения IV, вещества I – III не являются индивидуальными и представляют равновесную смесь мономера (соответствующего тетраполиолата кремния) с низкомолекулярными продуктами межмолекулярной конденсации и выделяющимся полиолом. Добавление соответствующего полиола в систему сдвигает равновесие в сторону образования тетраполиолата кремния.

Исследован золь-гель процесс с использованием полиолов кремния I – IV. Установлен ряд реакционной способности: $I \geq II > III \gg IV$. Выявлены особенности процесса. Для биомедицинской практики предпочтительно использовать производные глицерина и 1,2-пропандиола, соответственно, II и III.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант №24-23-20164) и правительства Свердловской области.

Список литературы

1. Shchipunov Y. Biomimetic Sol–Gel Chemistry to Tailor Structure, Properties, and Functionality of Bionanocomposites by Biopolymers and Cells // Materials. 2024. Vol. 17, №1. P. 224. DOI:10.3390/ma17010224.

СИНТЕЗ МИКРОСФЕРИЧЕСКОГО ФИБРОИН/КРЕМНЕЗЕМНОГО НАНОКОМПОЗИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПРОЦЕССА IN SITU

Д. Ш. Шакарова¹, Ч. К. Бегимкулова¹, К. С. Перри²

¹Институт общей и неорганической химии,
Республика Узбекистан, d.shakarova@yahoo.com;

²Университет Ноттингем Трент,
Великобритания, carole.perry@ntu.ac.uk

В последние годы возрос интерес к гибридным материалам на основе биополимеров. Особый интерес представляет фиброин из коконов тутового шелкопряда, который характеризуется хорошими механическими свойствами, биоразлагаемостью, биосовместимостью и возможностью его включения в золь-гель процесс гидролитической поликонденсации тетраэтилортосиликата. Недавние исследования подчеркивают потенциал фиброина как основы для включения кремнезема, известного своей высокой площадью поверхности и термической стабильностью, в гибридные адсорбенты, повышая адсорбционную способность и структурную целостность [1]. Золь-гель процесс, универсальный метод получения материалов на основе кремнезема, стал многообещающим способом производства гибридных биополимер/кремнеземных адсорбентов. Он позволяет контролировать форму и пористость конечного продукта, которые важны для эффективности адсорбции [2].

В связи с этим задачей нашего исследования ставилось синтезировать микросферический фиброин/кремнеземный адсорбент в условиях золь-гель процесса in situ, с включением фиброина в процесс гидролитической поликонденсации тетраэтоксисилана. При этом на стадии реакций конденсации продуктов его гидролиза, возможны взаимодействия с функциональными группами макромолекул фиброина. Нами осуществлен синтез в одnoreакторном варианте путем смешения фиброина, ТЭОС и катализатора в муравьиной кислоте. В результате одностадийного синтеза был получен фиброин/кремнеземный материал. Образцы фиброин/кремнеземного материала были исследованы методами сканирующей электронной микроскопии, ИК-спектроскопии, рентгенографии, термогравиметрии, текстурного анализа.

Полученный нами микросферический фиброин/кремнеземный наногибридный материал может использоваться в качестве экологически безопасного и биосовместимого адсорбента, а также в биомедицине.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан FZ-2020093090.

Список литературы

1. Samiey, B., Cheng, C.-H., & Wu, J. Organic-Inorganic Hybrid Polymers as Adsorbents for Removal of Heavy Metal Ions from Solutions: A Review. *Materials* 2014, 7, P.673-726; DOI: 10.3390/ma7020673.
2. Prado, A.G.S.; Arakaki, L.N.H.; Airoidi, C. Adsorption and separation of cations on chemically modified silica gel synthesised via the sol-gel process. *J. Chem. Soc. Dalton Trans* 2001, P.2206–2209. DOI: 10.1039/b102478g.

СИНТЕЗ НАНОРАЗМЕРНОГО ЦЕОЛИТА В ГЕЛЯХ ПОЛИСАХАРИДОВ

Д. Ш. Шакарова¹, Ч. К. Бегимкулова¹, Ф. Ахтар²

¹*Институт общей и неорганической химии,
Республика Узбекистан, shakarova@yahoo.com;*

²*Отделение материаловедения, Технологический университет Лулео, Швеция*

Известные методы синтеза наноцеолитов включают гидротермальный, золь-гель и микроволновый. Среди них наиболее рациональным является золь-гель метод, который является универсальным химическим процессом, важным для производства современных материалов, включая наноцеолиты [1]. Этот процесс легко настраивается, что позволяет исследователям манипулировать такими факторами, как pH и температура, для влияния на физические свойства получаемых наноматериалов. В ходе этого процесса используются различные темплатные материалы, которые играют ключевую роль в контроле над морфологией получаемых структур, и динамикой роста кристаллов цеолита [2]. Как показали исследования гели полисахаридов; метилцеллюлозы и хитозана играют существенную роль в формировании нанокристаллов цеолита [3]. Процесс синтеза наноцеолита в геле хитозана имеет недостаток взаимодействия наночастиц цеолита с функциональными группами макромолекул хитозана. В отличие от хитозана в макромолекулах метилцеллюлозы отсутствуют активные функциональные группы. Содержащиеся –ОН группы образуют слабые водородные связи с поверхностными группами как наночастиц кремнезема, так и образовавшегося цеолита. С целью оптимизации процесса синтеза наноразмерного цеолита нами проведено реокинетическое изучение золь-гель процесса в растворах метилцеллюлозы различной концентрации при значении pH = 11. Нами установлено, что стадия гелеобразования в растворе метилцеллюлозы с прекурсорами SiO₂ и Al₂O₃ сохраняют динамическую вязкость до 75–80 °C, в то время как раствор метилцеллюлозы в отсутствии прекурсоров достигает стадии гелеобразования в интервале температур от 40 °C до 50 °C. Контрольный раствор прекурсоров SiO₂ и Al₂O₃, не содержащий метилцеллюлозу теряет текучесть при 65–70 °C. Предложен механизм формирования нанокристаллов цеолита в гелевой сетке метилцеллюлозы, ограничивающей их рост. Полученные нами в гелевой сетке метилцеллюлозы кристаллы цеолита образуются в 10 раз меньшего размера (от 100 до 250 нм), чем в контрольном опыте в отсутствии метилцеллюлозы. Это является свидетельством подавления роста кристаллов, а прекращение процесса синтеза в точке флокуляции позволяет контролировать размеры нанокристаллов цеолита.

Список литературы

1. N. S. Majeed, J. T. Majeed. Synthesis of Nanozeolite NaA from Pure Source Material Using Sol Gel Method. *Journal of Engineering* 2017, V.23, №6, P.52-62. DOI:10.31026/j.eng.2017.06.04.

2. K. E. Jelfs, B. Slater, D. Lewis, D. J. Willock. The role of organic templates in controlling zeolite crystal morphology. *Studies in Surface Science and Catalysis* 2007, 170, P.1685-1692. DOI:10.1016/S0167-2991(07)81047-0.

3. Д. Ш. Шакарова, А.Б.Ибрагимов. Темплатный синтез наноструктурированного цеолита//Узбекский химический журнал, Неорганическая химия 2023. №1. С. 34-40.

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ И НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ВИСЬМУТОСИЛИКАТОВ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ИЗ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ

И. Д. Эшметов¹, Ш. М. Хошимов¹, Т. Ф. Кузнецова²

¹Институт общей и неорганической химии,
Республика Узбекистан, izzat.dusimbatovich@gmail.com; shaxromxoshimov1989@gmail.com;

²Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси,
Республика Беларусь, kouzn@igic.bas-net.by

Диоксид кремния из рисовой шелухи, обладая развитой микропористой структурой, служит основой для синтеза висмутосиликатов с ионами Bi^{3+} , формирующими мостики Bi-O-Si . Эти мостики каркасируют пористую сеть, влияя на размер и распределение каналов. Понимание взаимосвязи между молекулярной конденсацией узлов и надмолекулярной архитектурой пор позволит целенаправленно регулировать текстуру и функциональные свойства материалов.

Исследование взаимосвязи молекулярной и надмолекулярной структуры висмутосиликатов, полученных на основе диоксида кремния из рисовой шелухи, начато с подготовки кремнезёмной матрицы методом кислотного выщелачивания и последующего термического обезорганивания. В полученном сырье сохраняется аморфная природа SiO_2 с развитой микропористой структурой ($\text{SBET} \approx 200 \text{ м}^2/\text{г}$, $V_p \approx 0,15 \text{ см}^3/\text{г}$), что задаёт основу для формирования одно- и двухкомпонентных сетей при взаимодействии с ионами Bi^{3+} .

Синтез висмутосиликатов осуществляли путём аналогичного золь-гель метода при варьировании молярного соотношения Bi:Si (0,1-0,5) и условий термообработки (400-600 °C). Молекулярная структура характеризовалась с помощью фурье-спектроскопии (FTIR): в области $400\text{-}800 \text{ см}^{-1}$ выявлялись смещённые полосы Si-O-Si , свидетельствующие о включении Bi-O-Si связей, а появление широкой бимодальной полосы при $900\text{-}950 \text{ см}^{-1}$ указывало на образование полимерных цепей $[\text{BiO}_3]$ и $[\text{BiO}_4]$. Рентгенофазовый анализ (XRD) подтвердил аморфный характер при низких соотношениях, сменяющийся на образование небольших кристаллитов Bi_2SiO_5 при $\text{Bi:Si} \geq 0,3$.

Надмолекулярная структура изучалась методами СЭМ/ТЕМ и низкотемпературной адсорбции азота. При $\text{Bi:Si} \leq 0,2$ сохраняется преимущественно мезопористая сетка с узкими каналами (2–10 нм) и специфической поверхностью $150\text{-}180 \text{ м}^2/\text{г}$. Увеличение доли Bi^{3+} до 0,3–0,5 приводит к частичному спеканию слоистых фрагментов, снижая SBET до $80\text{-}100 \text{ м}^2/\text{г}$ и формируя иерархические агрегаты размером 50-200 нм.

Установлена прямая корреляция между степенью образования Bi-O-Si мостиков и развитием мезо-/макропористости: более высокая степень конденсации в молекулярном узле обеспечивает упорядоченную сеть наноканалов, тогда как избыток Bi^{3+} ведёт к укрупнению фрагментов и потере текстурной доступности. Это означает, что оптимальный $\text{Bi:Si} \approx 0,2\text{-}0,3$ обеспечивает сбалансированный рост решётки силикатной матрицы и возникновение пористых структур, пригодных для катализаторов и адсорбентов. Полученные результаты позволяют на молекулярном уровне прогнозировать надмолекулярную текстуру и направленно синтезировать висмутосиликаты с заданными функциональными свойствами.

ELECTRONIC AND CHARGE TRANSPORT PROPERTIES OF Ag_3PO_4

O. A. Galkina, Sh. I. Mamatkulov

*Institute of Materials Science,
Republic of Uzbekistan, helga93rr@mail.ru*

An increasing number of studies in recent years have focused on catalysts capable of producing H_2 via water splitting. Materials that are active under visible light are considered particularly important, as they offer promising opportunities for efficient solar energy utilization [1]. One such catalyst is Ag_3PO_4 possessing a narrow band gap (2.4 eV) and high quantum efficiency without the need for doping. In the present work, we report the results of calculations of the electronic structure of Ag_3PO_4 , as well as the electron and hole mobilities, elastic and deformation potential constants based on deformation potential theory within first principles (DFT GGA+U), using optimized norm-conserving Vanderbilt (ONCV) pseudopotentials and the Perdew-Burke-Ernzerhof (PBE) exchange-correlation potential via the Quantum ESPRESSO software package (Figure 1).

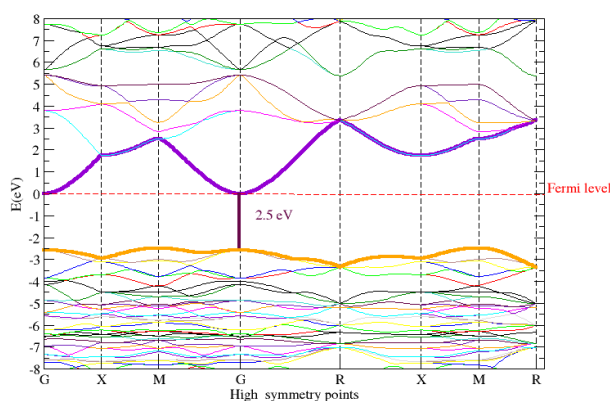


Figure 1 – Band structure of Ag_3PO_4

The effective masses of electrons and holes in Ag_3PO_4 were evaluated in both the relaxed lattice and under a 5 % applied strain. The conduction band minimum and valence band maximum are located at the Gamma point of the Brillouin zone. The band gap width is 2.509 eV (see Figure 1). The deformation potential (-0,71 eV and 0.64 eV for electron and hole respectively) and elasticity (9,21 GPa) constants indicate that the electronic structure of Ag_3PO_4 is sensitive to mechanical deformations. Changes in the band edge energies due to strain can affect the behavior of charge carriers – their mobilities and recombination probability. The effective masses of electrons and holes significantly increase under strain. Under a 5 % lattice deformation a significant decrease in the effective mass ratio D is observed, indicating a reduction in the separation efficiency of electron-hole pairs and, consequently, an increased likelihood of their recombination. Similarly, the charge carrier mobilities decrease, especially for electrons. However, the charge carrier lifetimes increase and reach the maximum value of 5,67 ns under 3 % deformation, that may be attributed to changes in the electronic structure and redistribution of the density of states.

The work was supported by the project FL-7923051799, funded by the Agency for Innovative Development of the Republic of Uzbekistan.

Bibliography

1. Djurišić A. B., He Y., Ng A. M. C. Visible-light photocatalysts: Prospects and challenges. APL Materials, 2020, 8(3), 030903. <https://doi.org/10.1063/1.5140497>.

SOL-GEL SYNTHESIS AND PHOTOCHEMICAL STUDY OF NANOCOMPOSITES BASED ON ZnO-SiO₂ IMMOBILIZED WITH ORGANIC DYES

Sh. E. Mirzaev, Sh. A. Begimkulova, Kh. Sh. Tashpulatov, A. M. Nasimov

*Samarkand State University named after Sharof Rashidov,
Republic of Uzbekistan, mirzayevsherzodbek877@gmail.com*

In recent years, the potential technological applications of optical materials based on metal oxide nanoparticles have been studied in a number of fields, including materials chemistry, medicine, agriculture, information technology, biomedicine, optics, electronics, catalysis, environment, energy, and sensors. The properties of the resulting systems can be modified and controlled by various methods used in the synthesis of semiconducting metal oxide nanomaterials [1].

The sol-gel process is a cheap and simple chemical synthesis method for the preparation of metal oxide films. The advantage of this process depends on several parameters such as precursors, solvents, substrate, solution mixing and gelation time, preheating, annealing, and coating methods [2].

In this work, ZnO-SiO₂ nanomaterials were synthesized by the sol-gel method. ZnO-SiO₂ thin layers were obtained by spin coating and their photochemical properties were studied.

The molar ratios for the mixture were selected to be TEOS : H₂O : C₂H₅OH : HCl ~ 1 : 4 : 4 : 0.25 at an optimal composition. The resulting sol was aged for 1 day.

To form the ZnO-SiO₂ layer, 2 ml of the ZnO sol mixture, which had been aged for 2 hours, was added dropwise to the previously prepared 10 ml SiO₂ solution. 0.5 ml of a 0.5 M concentration of STAB solution was added to the mixture with constant stirring and mixed at high speed for 30 minutes. Immobilization of organic dye on the ZnO-SiO₂-containing sol-gel layer 0.5 ml of a 0.1 M solution of the BCP indicator was added dropwise to the resulting mixture and the process was stirred at high speed at 80 °C for 1 hour (Figure1).

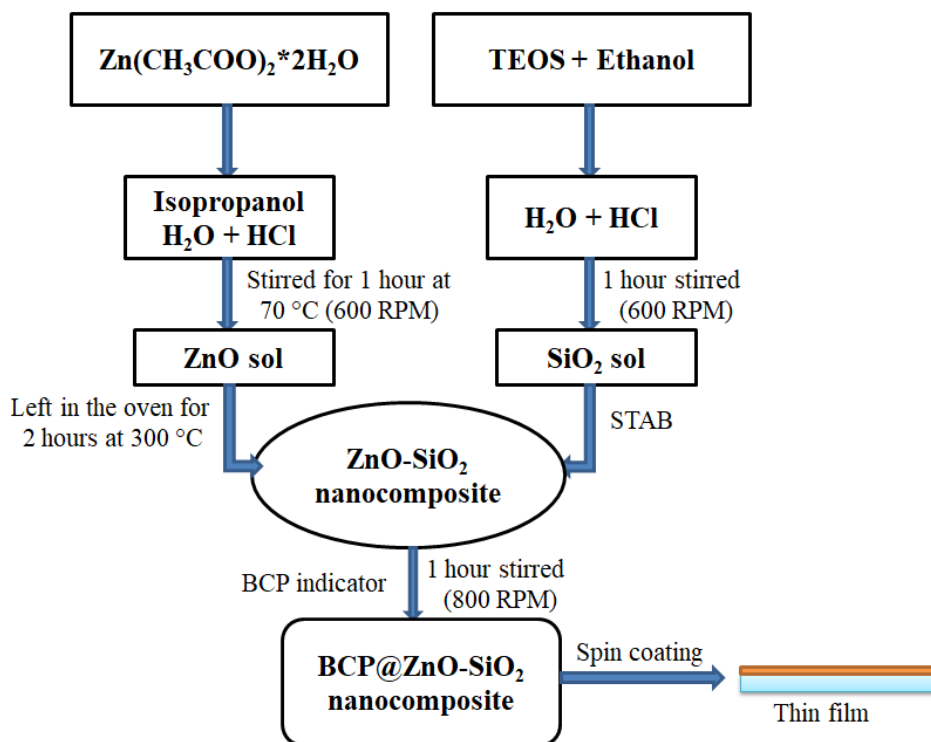


Figure 1 – Diagram of the formation of a BCP@ZnO-SiO₂ optical layer by the sol-gel method

In the experiments, the mass ratios of SiO₂ and ZnO were mixed in % as 95:5, 90:10, 85:15 (Table 1).

Table 1 – Masses of the main precursors in the formation of ZnO-SiO₂ in grams

ZnO(%):SiO ₂ (%)	Zn(CH ₃ COO) ₂ *2H ₂ O (g)	TEOS (g)
5 - 95	0,100	1,866
10 - 90	0,220	1,866
15 - 95	0,350	1,866

To form a thin layer, the prepared BCP@ZnO-SiO₂ mixture was deposited on 15x20 mm microscope slides by spin coating method for 30 seconds at 3000 RPM. The coated substrates were first dried at 70 °C for 30 minutes and then at room temperature for several days.

The pH-dependent optical properties of the ZnO-SiO₂-based optical layer with the BCP (bromocresol purple) indicator immobilized were studied using UV-Vis spectroscopy. Figure 2a shows the absorption spectra obtained at pH = 2 and pH = 12 and the dependence of the absorption intensity at 434 nm and 600 nm on pH.

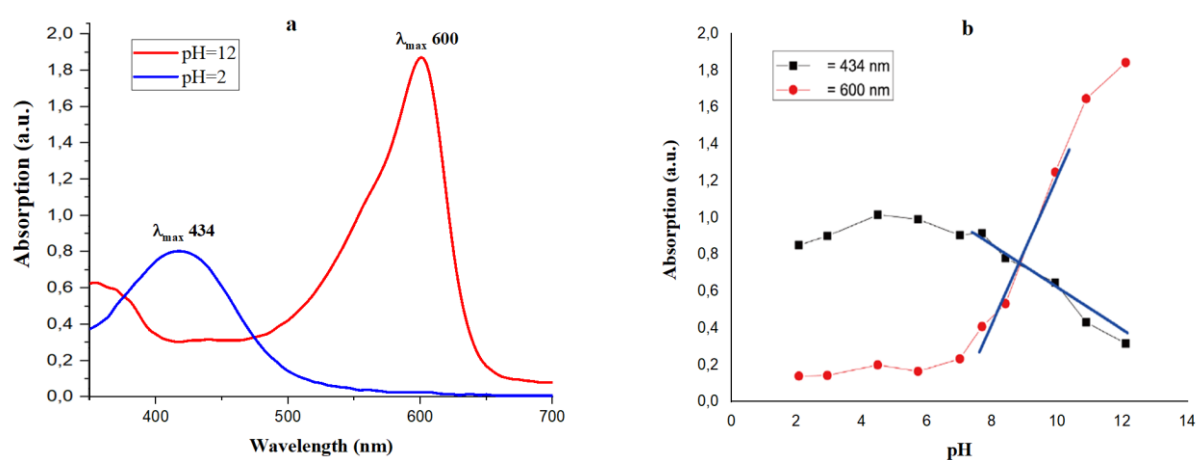


Figure 2 – Optical properties of the BCP@ZnO-SiO₂ composite layer: (a) Absorption spectra at pH = 2 and pH = 12; (b) pH dependence of the absorption intensity at 434 nm and 600 nm

Under acidic conditions (pH = 2), the maximum absorption wavelength of the material was observed around 434 nm, which is associated with the presence of the protonated form of the BCP indicator (HIn). In alkaline conditions (pH = 12), the absorption maximum shifted to 600 nm, which corresponds to the dominance of the deprotonated form of the indicator molecule (In⁻). The clear spectroscopic difference between these two cases proves the sensitivity of the material to pH changes and allows visual observation of the color changes (from yellow to purple).

Based on the pH-dependent cutoff of the absorption values, the pK_a value of the BCP@ZnO-SiO₂ nanocomposite was estimated to be approximately 9.2. This value represents the sensitivity of the optical material in alkaline environments and allows it to be used as a high-precision pH sensor in the pH range of 8–11.

Bibliography

1. Tashpulatov K. et al. Development of Bromocresol Purple Immobilized Optical Sensor for the Determination of Dissolved Ammonia //Egyptian Journal of Chemistry. – 2023. – T. 66. – №. 10. – P. 119-124.
2. Huang X. J., Choi Y. K. Chemical sensors based on nanostructured materials //Sensors and Actuators B: Chemical. – 2007. – T. 122. – №. 2. – P. 659-671.

ЗАОЧНЫЕ ДОКЛАДЫ

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{H}_2\text{O}$, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

О. В. Артамонова, А. Б. Закатов

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, zakatovartem@yandex.ru*

Основными задачами современного строительного материаловедения являются разработка способов направленного формирования высококачественных структур композиционных строительных материалов. При этом одним из наиболее распространенных способов модифицирования структуры цементных композитов является введение высокоактивных микродобавок и нанодобавок на основе активных аморфизированных оксидов, например, кремния или алюминия.

В работе разработана методика золь-гель синтеза гидрозоля алюминия из различных прекурсоров: сульфата алюминия, нитрата алюминия и хлорида алюминия, для стабилизации полученных золь-гелей использовали суперпластификатор марки Sika® ViscoCrete® 20HE, также проведено изучение его структурных особенностей для дальнейшего использования при модифицировании цементных систем твердения.

Для изучения кинетики роста частиц синтезируемых систем, определение их фазового состава, формы и размера использовали инструментальные методы исследования: динамического светорассеяния, лазерной дифракции, рентгеновской дифрактометрии.

Установлено влияние состава прекурсоров, pH среды и температуры на кинетические параметры процесса, размер частиц и скорость их агломерации, что позволяет оптимизировать параметры получения стабильных алюминиевых гидрозолей. Наиболее стабильные наночастицы (~ 50 нм) образуются в системе при использовании в качестве прекурсора сульфата алюминия, метода обратного титрования (скорость титрования 2 – 3 капли в минуту), pH = 5 и температуре 22 – 25 °C.

На основании полученных экспериментальных данных, а также ранее проведенных исследований [1, 2] предложена феноменологическая модель образования наноразмерных частиц в системе $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{H}_2\text{O}$. Установлено существование элементарных стадий процесса поликонденсации в водных растворах гидроксида алюминия, включающих гомогенную поликонденсацию, флуктуационное образование зародышей новой фазы, последующий рост частиц. Более детально рассмотрена стадия зародышеобразования гидрозоля алюминия, которая проходит в несколько этапов.

Список литературы

1. Артамонова О. В., Сергуткина О. Р., Останкова И. В., Шведова М. А. Синтез нанодисперсного модификатора на основе SiO_2 для цементных композитов // Конденсированные среды и межфазные границы. 2014. Т. 16, № 2. С. 152 – 162.
2. Артамонова О. В. Синтез наномодифицирующих добавок для технологии строительных композитов: монография. – Воронеж : Воронежский ГАСУ, 2016. – 100 с.

УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДЕ ПРИ СИНТЕЗЕ ФЕРРИТОВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

С. М. Зульфугарова, З. Ф. Алескерова, Г. Р. Азимова, Ф. У. Сеидова

*Институт катализа и неорганической химии,
Азербайджан, sm07@mail.ru*

Ферриты используют в качестве магнитных материалов в электронике, автоматике, радиотехнике [1]. В то же время ферриты переходных металлов находят применение как

гетерогенные катализаторы в окислительных превращениях углеводородов. Одним из методов получения ферритов является золь-гель метод с горением, который может быть использован в сочетании с микроволновой технологией. И при решении конкретной задачи, будь то синтез ферритных магнитных материалов или ферритсодержащих катализаторов, важно правильное сочетание микроволновой технологии и золь-гель метода с горением. Учитывая высокую скорость подъема температуры при микроволновой обработке вещества очень важно время горения и СВЧ-обработки. Так, при синтезе ферритов в качестве магнитных материалов, образец после горения обычно дополнительно подвергают микроволновой обработке для получения очень чистых высококристаллических ферритов. При синтезе ферритов в качестве катализаторов окислительных реакций энергия микроволн может быть достаточна лишь для «зажигания» геля, в результате образуются фазы переменного состава - оксиды металлов и ферриты (шпинели). Полученные образцы переменного состава, для которых возможно наличие различных структурных дефектов, могут быть активными катализаторами окислительных реакций. Примером этому служат результаты, полученные нами при изучении ферритов переходных металлов меди и кобальта для окислительного превращения монооксида углерода в диоксид, что является актуальным как для утилизации выхлопных газов автомобилей, так и выбросов промышленных предприятий. Для синтеза ферритов золь-гель методом с горением использовали нитраты металлов меди, кобальта и железа, а в качестве органического реагента и «топлива» лимонную кислоту. Микроволновой синтез осуществляли в печи EM-G5593V (Panasonic) с объемом резонатора 25 л при варьировании мощности магнетрона 300-800 Вт с рабочей частотой 2450 МГц. Окисление СО проводили проточным методом при соотношении СО : воздух = 1 : (3-5), объемной скорости 6000-12000 ч⁻¹. Анализ проводили на хроматографе ЛХМ в двух колонках с сорбентами СаА и поропак Q. Измерение удельной поверхности образцов определяли низкотемпературной адсорбцией азота по многоточечному методу БЭТ на приборе SORBI-MS. Микроволновой синтез проводили в. На примере меди и кобальт содержащих ферритов показано, что в окислении СО наиболее активны образцы, приготовленные золь-гель методом с горением как обычным нагревом в сушильном шкафу, так и с микроволновым «поджиганием» геля. На этих образцах полная конверсия СО в СО₂ происходит при температуре 180-250 °С. Значение удельной поверхности этих образцов составляет 16–20 м²/г. Более длительная или дополнительная обработка в микроволновом поле приводит к спеканию частиц катализаторов, в результате чего уменьшается значение их удельной поверхности до 2-4 м²/г. Полученные в результате длительной микроволновой обработки геля образцы ферритов активны в окислительной конверсии монооксида углерода при более высоких (≥ 350 °С) температурах. Подтверждением этого факта являются результаты твердофазного микроволнового синтеза этих ферритов из соответствующих оксидов металлов, требующего длительной микроволновой обработки и приводящего к уменьшению удельной поверхности ($S = 0.2-1.0$ м²/г), и активности в реакции окисления монооксида углерода [2].

Список литературы

1. Левин Б. Е., Третьяков Ю. Д., Летюк Л. М. Физико-химические основы получения, свойства и применение ферритов. М.: Металлургия, 1979. 470 с.
2. Литвишков Ю.Н., Зульфугарова С.М., Алескерова З.Ф. Микроволновый синтез ферритов (Co, Ni, Cu, Zn). // Журнал прикладной химии. 2018. Т. 91. №. 5. С.679-687.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОКРЕМНЕЗЁМА ДЛЯ СИНТЕЗА ПИГМЕНТА ВИЛЛЕМИТОВОЙ СТРУКТУРЫ

З. Р. Кадырова¹, У. А. Кодирова², А. А. Эминов³, Х. Л. Усманов⁴

Институт общей и неорганической химии,
Республика Узбекистан ¹kad.zulayho@mail.ru; ²umida.aslonovna96@mail.ru;
³azizeminov@mail.ru

В последние годы возрастающий интерес к устойчивым и экологически безопасным пигментам стимулирует исследование природных и техногенных источников сырья. Одним из таких материалов является микрокремнезём – аморфный диоксид кремния с высокой удельной поверхностью, который может эффективно участвовать в твердофазных реакциях синтеза.

В данной работе представлены результаты синтеза и исследования свойств керамических пигментов на основе твёрдых растворов виллемитовой структуры общей формулы $Zn_{2-x}Co_xSiO_4$ (где $x = 0,2-2,0$), содержащих хромофорный оксид кобальта. Синтез пигментов осуществлялся гибридным методом на основе золь-гель-процесса с использованием нитратов металлов в качестве исходных солей. В качестве альтернативного источника оксида кремния применялся микрокремнезём, а в роли хелатообразующего агента использовался моногидрат лимонной кислоты. Стехиометрические количества нитратов цинка и кобальта растворяли в дистиллированной воде с соблюдением заданного молярного соотношения. В водной среде происходила полная диссоциация солей. Полученный раствор непрерывно перемешивали на магнитной мешалке при комнатной температуре, постепенно добавляя рассчитанное количество лимонной кислоты для обеспечения молярного соотношения солей к цитрату 1:3. Лимонную кислоту вводили с небольшим избытком по отношению к содержанию ионов цинка и кобальта с целью предотвращения преждевременного осаждения гидроксидов. Реакционную среду поддерживали в диапазоне pH 5–7 с помощью аммиачного раствора (NH_4OH). Далее раствор нагревали до 60–70 °C, способствуя образованию золя, который затем быстро доводили до ~100 °C при постоянном перемешивании до получения прозрачного геля. Полученный гель сушили при температуре 120–130 °C в течение 8 часов для удаления остаточной влаги и образования аморфного ксерогеля. К высушенному ксерогелю добавляли микрокремнезём с учётом стехиометрических соотношений компонентов, после чего смесь тщательно гомогенизировали в агатовой ступке. Обжиг проводили при температурах 500–1050 °C с выдержкой 3 часа, в результате чего происходило разложение органических соединений, образование оксидных фаз и последующая кристаллизация твёрдых растворов виллемитовой структуры $Zn_{2-x}Co_xSiO_4$.

Полученные результаты (таблица 1) показали, что пигмент виллемитовой структуры состава Zn_2SiO_4 обладает белым цветом с лёгкими сероватыми оттенками. Образцы с частичным замещением ионов Zn^{2+} на Co^{2+} , в диапазоне составов от $Zn_{1,8}Co_{0,2}SiO_4$ до $Zn_{1,0}Co_{1,0}SiO_4$, характеризуются цветовой гаммой от синего до тёмно-синего, с соответствующими значениями цветовой координаты $-b^*$ в пределах от –45,40 до –47,26. Пигменты с более высоким содержанием кобальта, от состава $Zn_{0,8}Co_{1,2}SiO_4$ до состава $Co_{2,0}SiO_4$ приобретают насыщенные фиолетово-синие и фиолетовые оттенки, демонстрируя аналогичную цветовую направленность в координатах цветового пространства CIE Lab*.

Таблица 1 – Компонентные составы и цветовые характеристики полученных образцов пигментов $Zn_{2-x}Co_xSiO_4$ при температуре 1050 °C с выдержкой 3 ч

Наименование образца	Компонентный состав пигментов, мас. %			Цветовая координата		
	ZnO	CoO	SiO ₂ (мк)	L*	a*	b*
1	2	3	4	5	6	7
Zn_2SiO_4	73,0	-	27,0			
$Zn_{1,8}Co_{0,2}SiO_4$	65,70	7,30	27,0	38,57	7,89	-38,35

1	2	3	4	5	6	7
$Zn_{1,6}Co_{0,4}SiO_4$	58,40	14,60	27,0	39,08	7,65	-44,42
$Zn_{1,4}Co_{0,6}SiO_4$	51,10	21,90	27,0	38,65	7,75	-45,40
$Zn_{1,2}Co_{0,8}SiO_4$	43,80	29,20	27,0	38,04	7,95	-46,27
$Zn_{1,0}Co_{1,0}SiO_4$	36,50	36,50	27,0	37,56	7,89	-47,26
$Zn_{0,8}Co_{1,2}SiO_4$	29,20	43,80	27,0	36,43	7,65	-48,65
$Zn_{0,6}Co_{1,4}SiO_4$	21,90	51,10	27,0	35,54	6,43	-49,62
$Zn_{0,4}Co_{1,6}SiO_4$	14,60	58,40	27,0	34,78	6,89	-50,24
$Zn_{0,2}Co_{1,8}SiO_4$	7,30	65,70	27,0	33,56	5,98	-51,25
$Co_{2,0}SiO_4$	-	73,0	27,0	32,44	5,24	-52,32

Таким образом, полученные результаты исследования показывают, что при температуре 1050 °С возможно получение керамических пигментов с использованием микрокремнезёма. Образцы составов $Zn_{1,6}Co_{0,4}SiO_4$, $Zn_{1,4}Co_{0,6}SiO_4$ и $Zn_{1,2}Co_{0,8}SiO_4$ обеспечивают интенсивную и насыщенную синюю окраску. Следует отметить, что по сравнению с импортными шпинельными пигментами демонстрируют сопоставимые цветовые характеристики и могут рассматриваться как оптимальная альтернатива для применения в керамической промышленности.

СИНТЕЗ ЧЕРНЫХ ПИГМЕНТОВ ШПИНЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ, ПОЛУЧЕННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

З. Р. Кадырова¹, Ф. Г. Хомидов², У. А. Кодирова³

*Институт общей и неорганической химии АН РУз,
Республика Узбекистан, ¹kad.zulayho@mail.ru; ²faha0101@mail.ru;
³umida.aslonovna96@mail.ru*

Известно, что результаты анализа имеющихся данных по синтезу и исследованию физико-химических свойств керамических пигментов на основе шпинельных твёрдых растворов свидетельствуют о высоком уровне интереса к данным соединениям, благодаря их устойчивости к высоким температурам, химической инертности, широкой цветовой гамме и стабильности окраски в агрессивных средах.

В данной работе приведены результаты синтеза и исследования свойств керамических пигментов на основе твёрдых растворов шпинельной структуры с общей формулой $(Mg_xCo_{x-1})(Al_{(1-y)}Fe_yMn_{0,2})_2O_4$ (где: $x=0,2-0,5$; $y=0,2-0,8$), содержащих хромофорные оксиды кобальта, железа и марганца, полученных золь-гель методом с использованием нитратных солей металлов. В качестве альтернативного источника оксида алюминия применялся глиноземсодержащий отход газоперерабатывающей отрасли, а в качестве хелатообразующего агента – моногидрат лимонной кислоты. Следует отметить, что исходный глиноземсодержащий отход состоит из минералов гиббсита $Al(OH)_3$ и гамма-глинозема $\gamma-Al_2O_3$. После прокалики до 900 °С на рентгенограммах эффекты, соответствующие минералу гиббситу, исчезают вследствие дегидратации, и в результате получают соединение, состоящее из гамма-формы оксида алюминия $\gamma-Al_2O_3$. Полученную γ -форму оксида алюминия измельчали с помощью планетарной шаровой мельницы до микроуровня – размером менее 0,7 мкм – и растворяли в подкисленной азотной кислотой (HNO_3) дистиллированной воде. Нитратные соли остальных металлов

растворяли по отдельности также в дистиллированной воде. Полученные растворы предварительно перемешивали при комнатной температуре, после чего добавляли лимонную кислоту и продолжали перемешивание на магнитной мешалке при температуре 70–80 °С до образования гелеобразной массы. После чего образовавшийся гель высушивали при температуре 130–140 °С в сушильном шкафу в течение 8 часов. Затем полученный высушенный ксерогель обжигали при температуре 1200 °С с выдержкой 4 часа.

Полученные результаты показали (табл.), что с увеличением количества Fe_2O_3 происходит последовательный рост параметра кристаллической решётки шпинели от 8,0795 до 8,1602 Å, что обусловлено замещением ионов Al^{3+} ионами Fe^{3+} в результате образования твёрдого раствора кубической структуры шпинели. При этом одновременно отмечено изменение цветовой характеристики пигментов от зеленовато-чёрного оттенка при низком содержании железа до глубокого чёрного и чёрного с коричневатым оттенком при его высокой концентрации. С увеличением содержания кобальта также наблюдается рост параметров элементарной ячейки, что свидетельствует о формировании твёрдого раствора с участием ионов Co^{2+} . Наиболее высокое значение параметра кристаллической решётки (8,1602 Å) зафиксировано для состава $(\text{Mg}_{0.5}\text{Co}_{0.5})\text{Al}_{1.0}\text{Fe}_{0.8}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_4$, что позволяет считать его оптимальным с точки зрения цветовой насыщенности и структурной стабильности при температуре синтеза 1200 °С.

Таблица 1 – Рентгеновские параметры полученных образцов пигментов $(\text{Mg}_x\text{Co}_{x-1})(\text{Al}_{(1-y-z)}\text{Fe}_y\text{Mn}_{0.2})_2\text{O}_4$ при температуре 1200 °С с выдержкой 4 ч

Наименование образца	Индекс Миллера, hkl	Межплоскостные расстояния (d, Å)	Параметр кубической элементарной ячейки, Å
1	2	3	4
MgAl_2O_4	311	2,4361	8,0795
$(\text{Mg}_{0.8}\text{Co}_{0.2})\text{Al}_{1.6}\text{Fe}_{0.2}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_4$	311	2,4408	8,0951
$(\text{Mg}_{0.8}\text{Co}_{0.2})\text{Al}_{1.4}\text{Fe}_{0.4}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_4$	311	2,4427	8,1014
$(\text{Mg}_{0.8}\text{Co}_{0.2})\text{Al}_{1.2}\text{Fe}_{0.6}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_4$	311	2,4463	8,1133
$(\text{Mg}_{0.8}\text{Co}_{0.2})\text{Al}_{1.0}\text{Fe}_{0.8}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_4$	311	2,4494	8,1236
$(\text{Mg}_{0.7}\text{Co}_{0.3})\text{Al}_{1.6}\text{Fe}_{0.2}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_4$	311	2,4443	8,1068
$(\text{Mg}_{0.7}\text{Co}_{0.3})\text{Al}_{1.4}\text{Fe}_{0.4}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_4$	311	2,4472	8,1164
$(\text{Mg}_{0.7}\text{Co}_{0.3})\text{Al}_{1.2}\text{Fe}_{0.6}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_4$	311	2,4496	8,1243
$(\text{Mg}_{0.7}\text{Co}_{0.3})\text{Al}_{1.0}\text{Fe}_{0.8}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_4$	311	2,4531	8,1360
$(\text{Mg}_{0.6}\text{Co}_{0.4})\text{Al}_{1.6}\text{Fe}_{0.2}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_4$	311	2,4468	8,1151
$(\text{Mg}_{0.6}\text{Co}_{0.4})\text{Al}_{1.4}\text{Fe}_{0.4}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_4$	311	2,4497	8,1247
$(\text{Mg}_{0.6}\text{Co}_{0.4})\text{Al}_{1.2}\text{Fe}_{0.6}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_4$	311	2,4522	8,1330
$(\text{Mg}_{0.6}\text{Co}_{0.4})\text{Al}_{1.0}\text{Fe}_{0.8}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_4$	311	2,4558	8,1449
$(\text{Mg}_{0.5}\text{Co}_{0.5})\text{Al}_{1.6}\text{Fe}_{0.2}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_4$	311	2,4495	8,1240
$(\text{Mg}_{0.5}\text{Co}_{0.5})\text{Al}_{1.4}\text{Fe}_{0.4}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_4$	311	2,4524	8,1336
$(\text{Mg}_{0.5}\text{Co}_{0.5})\text{Al}_{1.2}\text{Fe}_{0.6}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_4$	311	2,4565	8,1472
$(\text{Mg}_{0.5}\text{Co}_{0.5})\text{Al}_{1.0}\text{Fe}_{0.8}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_4$	311	2,4604	8,1602

Таким образом, установлено, что варьирование содержания кобальта и железа в пигментах шпинельной структуры существенно влияет на их цветовые характеристики. Наиболее насыщенный чёрный оттенок зафиксирован после термообработки при 1200 °С для состава $(\text{Mg}_{0.5}\text{Co}_{0.5})\text{Al}_{1.0}\text{Fe}_{0.8}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_4$, что обусловлено оптимальным соотношением хромофорных ионов в кристаллической решётке шпинели.

ПОЛУЧЕНИЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ ПОРОШКООБРАЗНЫХ И МОНОЛИТНЫХ ОБРАЗЦОВ ФОСФАТОВ СО СТРУКТУРОЙ ЛАНГБЕЙНИТА

В. А. Каракулов, Е. И. Серебров, В. И. Петьков

*Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского,
Российская Федерация, karakulov@unn.ru*

Фосфаты, являющиеся структурными аналогами минерала лангбейнита $\text{K}_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$ (кубическая система, пр. гр. $P2_13$) [1], относят к неорганическим соединениям с тетраэдрическими анионами PO_4 с каркасом $\{[\text{L}_2(\text{PO}_4)_3]^{P-}\}_{3\infty}$. Каркасы образованы объединением по вершинам LO_6 -октаэдров и PO_4 -тетраэдров, где катионами L выступают элементы в степенях окисления от +5 до +2. Материалы со структурой лангбейнита (Lbn) обладают магнитными, оптическими и ферроэлектрическими свойствами и высокой химической, термической, радиационной устойчивостью. Широкие возможности варьирования состава, в том числе включение в состав радиоактивных элементов (Cs, Sr, Ln, An), позволяет рассматривать фосфаты со структурой Lbn как основу керамик для иммобилизации радиоактивных отходов с целью их изоляции от биосферы [2].

Целью работы является синтез и исследование фосфатов с ожидаемой структурой Lbn: $\text{Cs}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Mg}_{0.5(1+x)}\text{Zr}_{1.5-0.5x}(\text{PO}_4)_3$, $\text{Cs}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Ln}_{1+x}\text{Zr}_{1.5-0.5x}(\text{PO}_4)_3$ (Ln = Pr, Sm, Eu, Gd; $0 \leq x \leq 1$).

Образцы описанных составов синтезированы золь-гель методом с последующей термической обработкой. На первом этапе смешивали стехиометрические количества водных растворов нитратов или хлоридов металлов в степенях окисления от +3 до +1 и оксихлорида циркония. Далее при перемешивании приливали раствор дигидрофосфата аммония, взятый в соответствии со стехиометрией фосфата. Полученные гели высушивали при 90 °С и подвергали термообработке в условиях свободного доступа воздуха с промежуточным диспергированием на каждой изотермической стадии. Подобранные условия позволили снизить температуру конечной стадии синтеза до 800–900 °С.

Синтезированные образцы представляли собой поликристаллические порошки и были исследованы с использованием методов рентгенографии, ТГ-ДТА, ИК-спектроскопии, СЭМ и энергодисперсионного рентгеновского анализа. Порошковые образцы использовали для приготовления керамик с помощью метода горячего прессования, позволяющего быстро получать керамику с минимальной пористостью.

Исследование теплового расширения керамик показало, что они расширяются изотропно и относятся к умеренно расширяющимся материалам.

Список литературы

1. Zemann A., Zemann J. Die Kristallstruktur von Langbeinit, $\text{K}_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$ // Acta Crystallorg. 1957. V. 10. Pt. 6. P. 409–413. DOI: 10.1107/S0365110X57001346.
2. Pet'kov V. I., Alekseev A. A., Asabina E. A. et al. Synthesis and characterization of complex phosphates of alkaline elements, magnesium and zirconium as potential ceramics for nuclear waste immobilization // Solid State Sci. 2024. V. 149. P. 107481. DOI: 10.1016/j.solidstatesciences.2024.107481.

КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ, ПОЛУЧЕННЫЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОБНЫХ ТЕМПЛАТОВ, КАК ЗАГРУЗОЧНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ОКТЕНИДИНА ДИГИДРОХЛОРИДА

Е. А. Ланцова, Д. А. Колыхалов

Тульский государственный университет,
Российская Федерация, e.a.lansova.tsu@gmail.com; laften_71rus@mail.ru

Одной из мировых проблем является устойчивость микроорганизмов к противомикробным агентам [1]. Использование жидких антисептиков приводит к увеличенному расходу, загрязнению окружающей среды и развитию резистентности у микроорганизмов [2]. Решением проблемы может быть синтез пористых материалов с возможностью сорбции эффективных противомикробных агентов.

Получены кремнийсодержащие материалы на основе метилтриэтоксисилана и тетраэтоксисилана в соотношении 50/50 об. % с использованием клеток *Paraccocus yeei* ВКМ В-3302 для формирования пор и без клеток. Матрицы отжигали в диапазоне температур от 200 до 1200 °С. В матрицы был сорбирован октенидин дигидрохлорид (ОКТ). С помощью метода УФ-спектроскопии было определено высвобождение октенидина из полученных материалов.

Для материалов, отожженных при 800 °С, характерны 2 стадии десорбции – быстрое высвобождение большой концентрации вещества и медленное высвобождение благодаря диффузии сквозь поры материала. Наиболее перспективен материал, сформированный с использованием бактерий и отожженный при температуре 800 °С, поскольку отличается более высоким показателем кумулятивного высвобождения октенидина дигидрохлорида (рисунок 1).

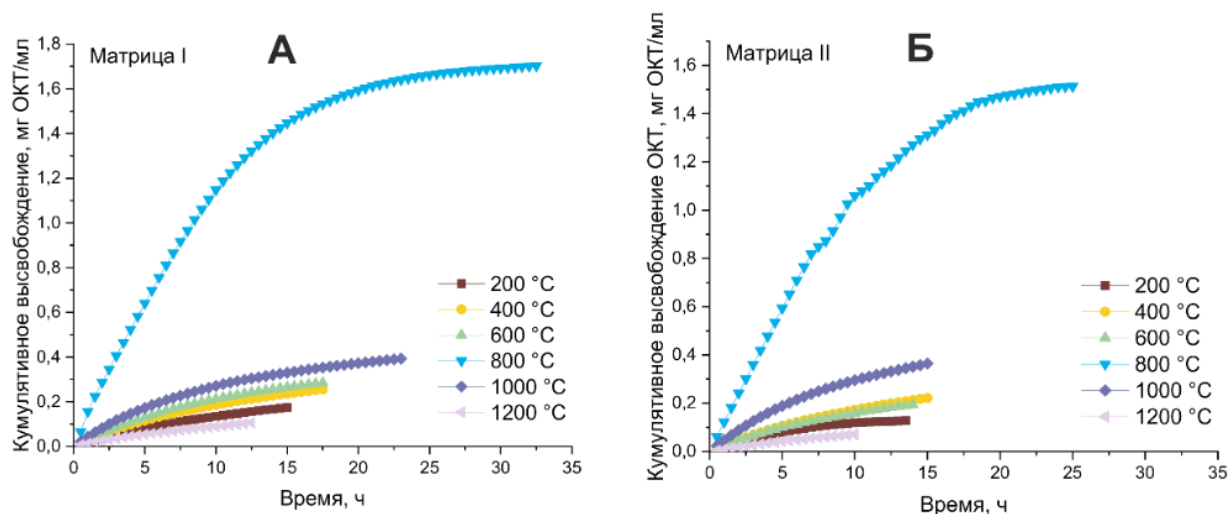


Рисунок 1 – Кумулятивное высвобождение октенидина: а – материалы, сформированные с использованием бактерий; б – материалы, сформированные без клеток

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант РНФ № 25-23-00410, <https://rscf.ru/project/25-23-00410>).

Список литературы

1. Varela M. F., Stephen J., Lekshmi M., Ojha M., Wenzel N., Sanford L. M., Hernandez A. J., Parvathi A., Kumar S. H. Bacterial resistance to antimicrobial agents //Antibiotics. 2021. Vol. 10. №. 5. P. 593. doi: 10.3390/antibiotics10050593.

2. Li W. et al. Surface Design for Antibacterial Materials: From Fundamentals to Advanced Strategies // Adv. Sci. John Wiley & Sons. 2021. Vol. 8, № 19. P. 2100368. doi.org/10.1002/advs.202100368.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕЗА ТОНКИХ ПЛЁНОК BiFeO_3 И $\text{Bi}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

В. В. Сидский, А. В. Семченко, С. А. Хахомов, А. А. Маевский, К. Д. Данильченко

*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь, alina@gsu.by*

Феррит висмута (BiFeO_3) — мультиферроик, сочетающий сегнетоэлектрические и ферромагнитные свойства. Благодаря этому он применяется в суперконденсаторах, солнечных элементах, натрий-ионных аккумуляторах и запоминающих устройствах. Среди методов его получения золь-гель синтез отличается простотой, контролируемой морфологией и структурой, а также сниженной температурой обработки [1].

В настоящей работе методом золь-гель синтеза были получены тонкие пленки BiFeO_3 и $\text{Bi}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$. Слои формировали по методике с использованием отдельного гидролиза нитратов соответствующих металлов с лимонной и азотной кислотами и добавлением 2-метоксиэтанолamina для стабилизации вязкости золя [2]. Пленки наносили на подложки методом центрифугирования (~2000 об/мин), с промежуточным отжигом при 250 °С. Финальный отжиг проводился при 500, 550 и 600 °С.

После высокотемпературной обработки (600–700 °С) все образцы продемонстрировали потери массы менее 1 %, что свидетельствует о стабильности состава. Для уточнения структурных особенностей проведён рентгенофазный анализ в диапазоне $2\theta = 10\text{--}100^\circ$ [3].

Анализ дифрактограмм выявил наличие трёх фаз: BiFeO_3 , $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ и металлического Bi. Основные параметры кристаллической решётки приведены в таблице 6.1. Установлено:

- BiFeO_3 формирует ромбоэдрическую решётку с наибольшим объёмом элементарной ячейки (0,432–0,466 нм³);
- при замещении Bi^{3+} на La^{3+} объём ячейки уменьшается вследствие меньшего ионного радиуса La^{3+} , что подтверждает термодинамическую предпочтительность замещения;
- при повышении температуры отжига исчезает расщепление пиков $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ и Bi, что свидетельствует об уменьшении искажений в решётке;
- объёмы кристаллитов BiFeO_3 растут с температурой отжига, тогда как параметры кристаллитов Bi остаются неизменными.

Таким образом, золь-гель метод обеспечивает получение однофазных плёнок BiFeO_3 с контролируемой кристаллической структурой и возможностью модификации её параметров за счёт легирования и температурной обработки.

Список литературы

1. Desu S. B., Vijay D. P. Novel fatigue-free layered structure ferroelectric thin films // Materials Science and Engineering: B. – 1995. – Vol. 32., No. 2. P. 75-81.
2. Nanoscale Piezoelectric Properties and Phase Separation in Pure and La Doped BiFeO_3 Films Prepared by Sol–Gel Method / A. V. Semchenko, V. V. Sidsky, I. Bdikin, V. E. Gaishun, S. Kopyl, D. L. Kovalenko, O. Pakhomov, S. A. Khakhomov, A. L. Kholkin // Materials. – 2021. – № 14 (7). – P. 1694 (1–11).
3. Hench L. L., West J. K. The sol-gel process // Chem. Rev. – 1990. – Vol. 90, No. 1. P. 33-72. <http://dx.doi.org/10.1021/cr00099a003>.

ВЛИЯНИЕ ОКСИДА ГРАФЕНА НА ПРОЦЕССЫ ФАЗОВОГО РАЗДЕЛЕНИЯ В СЛОЯХ FTO, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СПРЕЙ-ПИРОЛИЗА

П. Б. Парчинский¹, А. А. Насиров¹, Р. А. Нусретов², С. А. Хахомов³, А. В. Семченко³,
В. В. Сидский³, В. Е. Гайшун³, К. Д. Данильченко³, А. А. Маевский³

¹Национальный университет Узбекистана,
Республика Узбекистан, *ravelhys@mail.ru*;

²Узбекско-Японский молодежный центр инноваций,
Республика Узбекистан, *rnusretov@yandex.ru*;

³Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь, *alina@gsu.by*

Оксид олова легированный фтором (F doped SnO₂ или FTO) широко применяется при разработке и проектировании солнечных элементов второго и третьего поколения [1–3]. Среди его достоинств высокая прозрачность в видимой области спектра и достаточно высокая удельная проводимость, что позволяет использовать его в качестве фронтального собирающего электрода. Кроме того, данный материал термически стабилен до 300 °С и обладает высокой устойчивостью к активным химическим средам, что позволяет использовать его как подложку для синтеза поглощающих слоев в перовскитных солнечных элементах. К настоящему времени установлено, что введение в объем проводящих оксидов частиц оксида графена может существенным образом модифицировать его структурные и электрофизические свойства [4, 5]. В связи с вышесказанным нами было изучено влияние легирования оксидом графена на структурные характеристики слоев FTO, полученных методом ультразвукового спрей-пиролиза.

Исследуемые слои выращивались на подложке кремния р-типа проводимости с удельным сопротивлением 4 Ом×см. Для формирования слоев FTO был приготовлен водно-спиртовой золь. Гидролиз растворов для получения образцов проводили в водно-спиртовой среде, в качестве растворителей использовали этиловый спирт. В качестве элементов выбран хлорид олова и аммоний фтористый не ниже ОСЧ. В полученный золь вводили наноразмерный порошок оксида графена. Концентрация нанографена в исходном золе составляла от 6 до 10 молярных процентов. Структура поверхности получаемых слоев изучалась при помощи электронного микроскопа JEOL JSM IT 200.

На рисунке 1 представлены данные электронной микроскопии слоев FTO содержащих 6 и 10 молярных процента оксида нанографена.

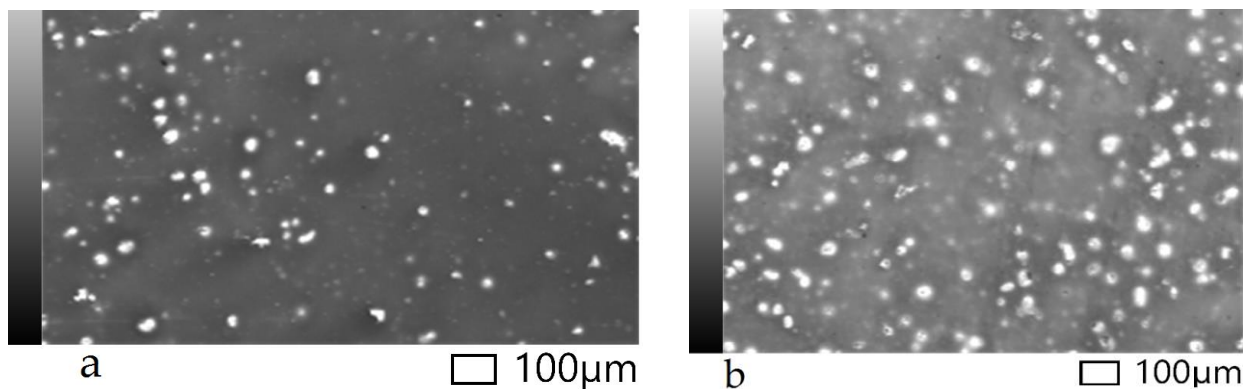


Рисунок 1 – Фотографии рельефа поверхности слоев FTO, содержащих наночастицы оксида графена: а – 6 молярных процента, б – 10 молярных процента

На представленных зависимостях видно, что на поверхности исследуемых образцов наблюдается неоднородности рельефа в виде точек, диаметром от 5 до 40 мкм. Причем концентрация таких неоднородностей и их диаметр увеличивается с увеличением содержания графена в слое FTO. Более того обнаружено, что в контрольных образцах, не содержащих нанографен, такой рельеф практически отсутствует. Исследования, проведенные методом EDS, показали, что данные неоднородности представляют собой конгломераты оксида олова, образующиеся на поверхности исследуемого слоя. Обнаруженная при этом корреляция между концентрацией частиц оксида нанографена в исследуемых слоях и величиной и размером фазовых неоднородностей позволяет сделать вывод о том, что введение наночастиц оксида графена стимулирует процессы фазового разделения в объеме пленок FTO с образованием на его поверхности конгломератов оксида олова.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (грант T25УЗБ-111).

Список литературы

1. C.C. Pla Cid, E.R. Spada, M.L. Sartorelli. Effect of the cathodic polarization on structural and morphological proprieties of FTO and ITO thin films // *Applied Surface Science* 2013. v. 273., C. 603-606. DOI:10.1016/j.apsusc.2013.02.085.
2. E. Ching-Prad, A. Watson, H. Miranda. Optical and electrical properties of fluorine doped tin oxide thin film // *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2018 v. 29, p. 15299–15306. DOI: 10.1007/s10854-018-8795-8.
3. Kue-Ho Kim, Bon-Ryul Koo, Hyo-Jin Ahn. Sheet resistance dependence of fluorine-doped tin oxide films for high performance electrochromic devices // *Ceramics International* v.44, №8, p. 8408 -8412 DOI:10.1016/j.ceramint.2018.02.157.
4. R. Raja, M. Govindaraj, M. D. Antony, K. Krishnan, E. Velusamy, A. Sambandam, M. Subbaiah, V. W. Rayar. Effect of TiO₂/reduced graphene oxide composite thin film as a blocking layer on the efficiency of dye-sensitized solar cells // *J. Solid State Electrochem.* 2017, v.21, p. 891 DOI: 10.1007/s10008-016-3437-7.
5. M. J. Alsultani, H. H. Abed, R. A. Ghazi, M. A. Mohammed. Electrical Characterization of Thin Films (TiO₂: ZnO)_{1-x} (GO)_x / FTO Heterojunction Prepared by Spray Pyrolysis Technique // *Journal of Physics: Conference Series* 2020 v.591 p. 012002 DOI: 10.1088/1742-6596/1591/1/012002.

MAGNETIC FLUID-ASSISTED CoFeNi-MF/NF ELECTROCATALYST FOR EFFICIENT WATER SPLITTING

F. Hoshimov ^{1,2}, Kh. Butanov ¹, Sh. Mamatkulov ¹, O. Ruzimuradov ^{1,3}

¹*Institute of Material Sciences, Academy of Sciences,
Republic of Uzbekistan, farhod272@gmail.com;*

²*National Research Institute of Renewable Energy Sources;*

³*Turin Polytechnic University in Tashkent*

Hydrogen production via electrochemical water splitting is a key pathway toward sustainable and carbon-free energy systems. However, the commercialization of this technology relies heavily on the development of highly efficient, stable, and economically viable electrocatalysts. In this study, we report the design and synthesis of a novel trimetallic nanocomposite, CoFeNi-MF/NF, fabricated

through a two-step hydrothermal method. First, a CoFeNi alloy nanostructure was grown on nickel foam (NF) as a substrate. In the second step, a magnetic fluid (MF) composed of Fe_3O_4 nanoparticles was integrated onto the CoFeNi/NF surface. This dual-step approach resulted in a highly uniform, layered morphology with strong magnetic responsiveness. SEM characterization revealed densely packed, leaf-like nanosheets covering the NF, indicating a significant increase in surface area (Figure 1).

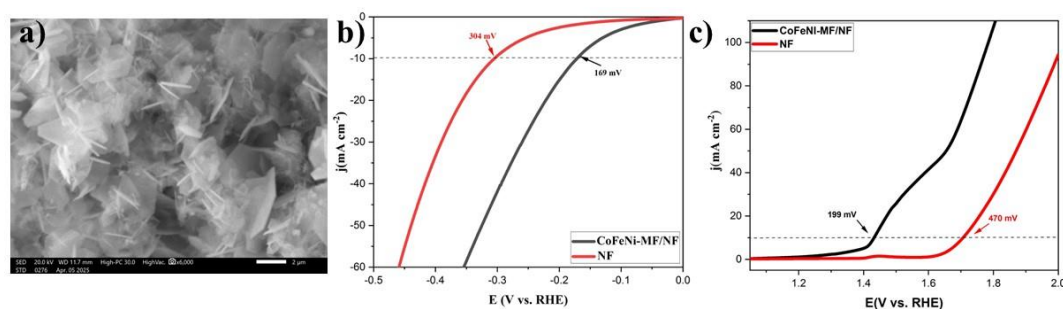


Figure 1 – **a** SEM images CoFeNi–MF/NF, **b,c** HER and OER performance under 1 M KOH: LSV polarization curves of CoFeNiMF/NF catalysts.

Electrochemical evaluations in 1 M KOH showed excellent bifunctional catalytic activity, achieving low overpotentials of 169 mV for the hydrogen evolution reaction (HER) and 199 mV for the oxygen evolution reaction (OER) at 10 mA cm^{-2} . The improved performance is attributed to the synergistic interactions between Co, Fe, Ni, and magnetic Fe_3O_4 , which enhance electron transport and facilitate active site exposure. These findings demonstrate the potential of CoFeNi-MF/NF as a low-cost, high-efficiency bifunctional electrocatalyst for alkaline water electrolysis, offering a scalable solution for future green hydrogen production technologies.

This work funded by Innovative development agency grant. ALM-20230502808.

Bibliography

1. Zhang H. et al. Recent Advances and Perspectives on Coupled Water Electrolysis for Energy-Saving Hydrogen Production. *Advanced Science*. 12, 22011964 (2025).
2. Amin M. B. et al. Environmental Assessment of Hydrogen Utilization in Various Applications and Alternative Renewable Sources for Hydrogen Production: A Review. *Energies* 2023, 16, 4348.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абдикамалова А. Б.	14, 40, 46, 127	Гапоненко Н. В.	8, 20, 101, 111
Абдрахманова Л. А.	76	Гасенкова И. В.	32
Абдурахимов А. Х.	104	Глебова И. Б.	26
Аверкина А. С.	14	Голосов М. А.	56
Агафонов А. В.	16	Голубева А. А.	72
Азимова Г. Р.	138	Голубева О. Ю.	96
Алексеева О. В.	16	Гордеев А. А.	27
Алексеев С. Г.	78, 93	Горлова Ю. Д.	18
Алескерова З. Ф.	138	Горобцов Ф. Ю.	66, 67, 68, 74
Алферов В. А.	57	Горшкова Ю. Е.	38
Алферов С. В.	18	Гуань С.	96
Антусёва А. В.	94	Губанова Н. Н.	29
Анфимова И. Н.	79	Гуменюк В. М.	82
Артамонова О. В.	138	Гурин В. С.	30
Ахмедова Д. К.	123	Гутник И. В.	57
Ахтар Ф.	132	Гырдасова О. И.	73
Ахророва Р. О.	104		
		Давлетханова В. М.	93
Бадулина А. О.	38	Давыдова О. В.	95
Бакланова Н. И.	56	Данильченко К. Д.	63, 102, 114, 145,
Банникова А. А.	73		146
Баранчиков А. Е.	38, 42, 59, 129	Деева Ю. А.	73
Барноева С. Б.	104	Дементьева П. Д.	67, 74
Бахметьев В. В.	22, 70	Денисюк С. В.	32
Бегимкулова Ч. К.	131, 132	Деркачева Е. С.	109
Бекчанов Д. Ж.	36, 53	Добринская М. Н.	78
Бичёва Е. С.	21, 33	Долбик А. В.	111
Бойко А. А.	95, 124	Дробышевская Н. Е.	95, 124
Бойкобилов Д.	52	Дудорова Д. А.	67, 68
Бондарь Е. А.	43	Дьяченко С. В.	96
Боридько Л. Ш.	96	Дьячкова Т. П.	57
Борисенко В. Е.	105		
Ботиров С.	53	Елкин Н. А.	75
		Еремина А. О.	50, 55, 120
Вальцифер В. А.	14		
Вальцифер И. В.	14	Живулько В. Д.	20
Васькевич В. В.	36, 97, 99, 105	Жигулин Д. В.	111
Витязь П. А.	20	Жумаева Д. Ж.	104
Вишневский А. С.	62		
Власенко А. Б.	22	Зайцева Ю. Н.	50, 55, 120
Возяков А. О.	23, 47	Закатов А. Б.	138
Воронина С. Ю.	24	Заморянская М. В.	128
Воротилов К. А.	62, 117	Замятин А. В.	78
		Звонарев А. Н.	45
Гаврилова Н. Н.	25, 80, 118	Зеленина Е. В.	70
Гайшун В. Е.	36, 63, 97, 99, 105,	Землянухин А. А.	67
	112, 125, 146	Земскова Л. А.	65

Зульфугарова С. М.	138	Лебедев А. С.	99, 112
Зыкова П. Д.	22	Левин А. А.	109
Иванец А. И.	21, 33, 40	Лугин В. Г.	32
Иванов В. К.	38, 42, 59, 129	Лученок А. Р.	20
Изможерова Н. В.	78	Лушанкин Я. П.	79
Исмаилова М. А.	126	Маевский А. А.	63, 102, 114, 145, 146
Кадырова З. Р.	140, 141	Малютина-Бронская В. В.	115
Калбаев А. М.	108	Маматалиев Н. Н.	14, 46
Каманина О. А.	34	Маматалиева С. С.	126
Камлюк Т. В.	32	Маматкулов Ш. И.	9, 123
Каракулов В. А.	143	Мартынов И. Л.	20
Каргин Н. И.	20	Матвеев В. А.	29
Карпухина Д. С.	118	Махмутов Р. Т.	101
Кашко И. А.	101	Машарипова М. Н.	46
Кимленко И. М.	125	Медведева Н. А.	23, 47
Кирик С. Д.	50, 55, 120	Меледин К. И.	101
Коваленко А. С.	35, 43, 119	Мехаев А. В.	130
Коваленко Д. Л.	36, 97, 99, 105, 112	Михайлова М. С.	23, 47
Ковальчук Н. С.	105	Мокрушев П. А.	62, 117
Кодирова У. А.	140, 141	Мокрушин А. С.	48, 54, 66, 67, 74
Козлов А. А.	101	Молчанов В. С.	49
Кольхалов Д. А.	144	Морозов Е. В.	50, 120
Копица Г. П.	38	Москвина Т. А.	72
Копыш Е. А.	40	Мудрый А. В.	20
Корнилова Ю. Д.	20	Мусаев Х. Б.	52
Косенок Я. А.	36, 105, 125	Мухамедиев М. Г.	53
Котцов С. Ю.	38, 42	Мухуров Н. И.	32
Кохан М. М.	78	Мякин С. В.	35, 79, 96
Красильникова Л. Н.	11	Мячина М. А.	25, 118
Куданович О. Н.	32	Нагорнов И. А.	48, 54, 66, 67
Куддашева Ш. А.	14	Назаров В. В.	25, 118
Кудина Е. Ф.	94, 106	Насиров А. А.	63, 146
Кузнецов Н. Т.	66	Никифорова М. Е.	38
Кузнецова С. А.	27, 75	Николаев А. М.	35, 43, 119
Кузнецова Т. Ф.	21, 33, 40, 133	Новикова С. А.	50, 55, 120
Кузьмин В. Г.	99, 112	Нусретов Р. А.	146
Кузьмицкая А. С.	115	Обухова В. Б.	122
Кулдашева Ш. А.	14, 108	Орбант Р. А.	56
Кургузкина М. Е.	109	Оспенников А. С.	49
Куриленко Л. Н.	79	Оськин П. В.	57
Кушакова А. И.	43	Павлова А. А.	38
Лабунов В. А.	20, 101, 111	Панова Г. Г.	35
Лаврова Д. Г.	18, 45	Парманов А. Б.	52
Лазарук С. К.	111	Парчинский П. П.	63
Ланцова Е. А.	144		
Лашковская Е. И.	20, 101, 111		

Парчинский П. Б.	146	Стаськов Н. И.	20
Перри К. С.	131	Степихова М. В.	20
Перцева В. А.	71	Сторожук А. П.	49
Пестерникова Г. Г.	122	Судник Л. В.	20
Петлицкая Т. В.	115	Сучкова Е. А.	76
Петлицкий А. Н.	105, 115	Сычев М. М.	96
Петьков В. И.	143		
Печерская М. Д.	123	Тимошенко В. Ю.	20
Пилипенко В. В.	61	Ткаченко В. В.	128
Плиговка А. Н.	111	Толстой В. П.	72
Подденежный Е. Н.	95, 124	Тюленкова О. И.	99, 105
Понаморева О. Н.	57		
Попков М. А.	59	Уголков В. Л.	26, 109
Постнова И. В.	80	Удалова О.Р.	35
Потапова Д. В.	57	Упорова А. М.	73
Прокопив И. В.	49	Урбанович В. С.	124
		Усманов Х. Л.	140
Радюш Ю. В.	20, 101	Усманова Х.	53
Райченок Т. Ф.	20	Усмонова З.	126
Рахимова З. И.	67	Уткин А. В.	56
Рахматуллаева Н. Т.	104		
Рузимурадов О. Н.	9, 33, 52, 123	Файзуллаев Ю.	53
Рыбочкин П. В.	34, 71	Филиппова А. Д.	129
Рыжков В. М.	99, 112	Филиппова Е. С.	45
		Филиппова О. Е.	49
Савицкая Т. А.	125	Фисенко Н. А.	67, 74
Савриева Д. Д.	126	Фролова В. М.	78, 130
Саенко Е. В.	60		
Салиханова Д. С.	126	Халипова О. С.	75
Сафронов А. П.	130	Хамаде Б. З. С.	111
Сеидова Ф. У.	138	Хамова Т. В.	38, 119
Сейтназарова О. М.	127	Хантимиров А. Г.	76
Селиванов Н. А.	38	Хахомов С. А.	63, 145, 146
Семченко А. В.	61, 63, 99, 102, 112, 114, 115, 128, 145, 146	Хацринов А. И.	122
Серебров Е. И.	143	Хлюстова А. В.	16
Серегин Д. С.	62, 117	Ходин А. А.	32
Сидский В. В.	61, 63, 97, 99, 102, 114, 115, 128, 145, 146	Хомидов Ф. Г.	141
Силантьев В. Е.	65	Хонина Т. Г.	57, 78, 130
Симоненко Е. П.	48, 54, 66, 67, 68, 74	Хорошко Л. С.	52
Симоненко Н. П.	38, 48, 54, 66, 67, 68, 74	Хошимов Ф. Х.	123
Симоненко Т. Л.	54, 66, 67, 68, 74	Хошимов Ш. М.	133
Синельников А. А.	35	Цыганова Т. А.	79
Сироткин Н. А.	16		
Снятков И. В.	70	Чертин Д. П.	80
Созарукова М. М.	59	Чеснокова Н. Ю.	80
Соломатов И. А.	67, 74	Чистяков А. А.	20
Соромотин В. Н.	71	Чупахин О. Н.	78
		Чупахина Т. И.	73

Чуркина А. В.	70	Nasimov A. M.	135
		Nurmanov S. E.	88
Шадрина Е. В.	78, 93, 130		
Шакарова Д. Ш.	131, 132	Parmanov A. B.	88
Шахов В. А.	67	Pecherskaya M. D.	86
Шейченко Е. Д.	82		
Шершов Я. М.	56	Ruzimuradov O. N.	84, 88, 90, 147
Шибасева В. Д.	16		
Шилова О. А.	11, 26, 29, 35, 43, 119	Shchipunov Y.	89
Шлык Д. Х.	65	Shukurov D. Kh.	90
Шустикова К. В.	101	Sobirova F. J.	86
Щипунов Ю. А.	80	Tashpulatov Kh. Sh.	135
		Tojiyev P. J.	90
Эминов А. А.	140	Turaev Kh. Kh.	90
Эшметов И. Д.	40, 108, 133		
		Wilamowska M. Z.	88
Яблонский А. Н.	20		
Янг Г. Ф.	22		
Япрынцев А. Д.	82		
Abdujalilov I. A.	83		
Akhmedova D. K.	86		
Begimkulova Sh. A.	135		
Bekchanov D. J.	83		
Butanov Kh.	147		
Eshtursunov D. A.	83		
Galkina O. A.	134		
Galyametdinov Y. G.	86		
Hasanov R. Sh.	84		
Hoshimov F.	147		
Ibodullayev S. A.	86		
Ishankulov A. F.	86		
Kasimov Sh. A.	90		
Khalilov Q. F.	86		
Low J	9		
Mamatkulov Sh. I.	84, 86, 134, 147		
Mirzaev Sh. E.	135		
Mukhamediev M. G.	83		
Mukhamadiev N. Q.	89		

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕКЦИИ И ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ.....	7
Гапоненко Н. В. Золь-гель синтез в пористых матрицах – от усиления люминесценции до фотонных кристаллов для эффектов шоу.....	8
Рузимурадов О. Н., Маматкулов Ш. И., Low J. Модификация наноструктурных фотокатализаторов с гетеропереходом для высокоэффективного превращения CO ₂ в органических продуктах.....	9
Шилова О. А., Красильникова Л. Н. Органосиликатные покрытия: история, настоящее и будущее.....	11
УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ.....	13
Абдикамалова А. Б., Маматалиев Н. Н., Куддашева Ш. А. Пористая структура и адсорбционные характеристики систем «пав + монтмориллонит» в зависимости от плотности упаковки пав и зарядового состояния поверхности монтмориллонита.....	14
Аверкина А. С., Вальцифер И. В., Вальцифер В. А. Неорганические гибриды AgI-SiO ₂ -MeI _x как новые осадкообразующие реагенты в геоинженерии.....	14
Агафонов А. В., Хлюстова А. В., Шibaева В. Д., Алексеева О. В., Сироткин Н. А. Комбинация золь-гель метода и плазменно-растворного синтеза для создания новых наногетероструктурных фотокатализаторов на основе диоксида титана и нитрида углерода.....	16
Алферов С. В., Горлова Ю. Д., Лаврова Д. Г. Биогридные материалы на основе лакказы <i>Streptomyces Carpinensis</i> , иммобилизованной в органосиликатные матрицы...	18
Лашковская Е. И., Гапоненко Н. В., Корнилова Ю. Д., Стаськов Н. И., Судник Л. В., Витязь П. А., Лученок А. Р., Степихова М. В., Яблонский А. Н., Райченко Т. Ф., Живулько В. Д., Мудрый А. В., Радюш Ю. В., Мартынов И. Л., Чистяков А. А., Каргин Н. И., Лабунов В. А., Тимошенко В. Ю. Ап-конверсионная люминесценция эрбия в микрорезонаторах и мишенях, сформированных золь-гель методом.....	20
Бичёва Е. С., Иванец А. И., Кузнецова Т. Ф. Влияние допирования ионами Mg ²⁺ оксидов Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ и Li ₂ TiO ₃ на адсорбционные свойства.....	21
Власенко А. Б., Зыкова П. Д., Янг Г. Ф., Бахметьев В. В. Взаимосвязь кристаллической структуры и люминесцентных свойств нанолюминофоров, синтезированных с использованием золь-гель метода.....	22
Возяков А. О., Михайлова М. С., Медведева Н. А. Влияние APTES на золь-гель систему SiO ₂ – B ₂ O ₃	23
Воронина С. Ю. Разработка гибридных нанокомпозитов с функциональными свойствами для сенсорных приложений.....	24
Гаврилова Н. Н., Мячина М. А., Назаров В. В. Коллоидно-химические закономерности получения каталитических материалов на основе оксидов с лиофилизированной поверхностью.....	25
Глебова И. Б., Уголков В. Л., Шилова О. А. Исследования методом SAXS структурных особенностей гелеобразования, термические и защитные свойства оксидно-титанатных и оксидно-силикатных нанокомпозитов.....	26
Гордеев А. А., Кузнецова С. А. Получение и антиоксидантные свойства золей на основе твердых растворов диоксида церия с лантаном (III) и иттербием (III).....	27
Губанова Н. Н., Матвеев В. А., Шилова О. А. Золь-гель композиционные оксидные пленки: состав, структура и применение.....	29
Гурин В. С. Эффект диэлектрической проницаемости матрицы на плазмонное поглощение золь-гель стекол с наночастицами селенида меди.....	30
Денисюк С. В., Мухуров Н. И., Куданович О. Н., Гасенкова И. В., Ходин А. А., Лугин В. Г., Камлюк Т. В. Синтез микрочастиц на основе оксидов редкоземельных металлов методом Печини.....	32

Иванец А. И., Бичёва Е. С., Кузнецова Т. Ф., Рузимурадов О. Н. Получение модифицированных адсорбентов на основе оксидов лития-титана для сорбции ионов лития.....	33
Каманина О. А., Рыбочкин П. В. Гибридные биокатализаторы на основе клеток микроорганизмов и кремнийорганических соединений для применения в экологии и катализе.....	34
Коваленко А. С., Панова Г. Г., Удалова О. Р., Николаев А. М., Мякин С. В., Синельников А. А., Шилова О. А. Влияние функциональной оболочки SiO ₂ на поверхности наночастиц диоксида титана различного состава на их биологическую активность в отношении сельскохозяйственных культур.....	35
Коваленко Д. Л., Васькевич В. В., Гайшун В. Е., Косенок Я. А., Бекчанов Д. Ж. Антибактериальные композиционные золь-гель покрытия.....	36
Копица Г. П., Котцов С. Ю., Баранчиков А. Е., Павлова А. А., Бадулина А. О., Горшкова Ю. Е., Селиванов Н. А., Хамова Т. В., Симоненко Н. П., Никифорова М. Е., Иванов В. К. Исследование надмолекулярной организации ионогелей на основе ионной жидкости OMIM BF ₄ и мезопористого SiO ₂ методом МУРР.....	38
Копыш Е. А., Кузнецова Т. Ф., Эшметов И. Д., Абдикамалова А. Б., Иванец А. И. Синтез силикагелей с топологией мезопор, управляемой двумя прекурсорами оксида кремния(IV) разной природы.....	40
Котцов С. Ю., Баранчиков А. Е., Иванов В. К. Новые экстрагенты ионов d- и f-элементов из водных растворов на основе ионогелей.....	42
Кушакова А. И., Коваленко А. С., Николаев А. М., Бондарь Е. А., Шилова О. А. Оптимизация технологии получения тонких электропроводящих фторлегированных пленок SnO ₂ для применения в опто- и микроэлектронике.....	43
Лаврова Д. Г., Филиппова Е. С., Звонарев А. Н. Биогибридные материалы на основе клеток дрожжей и бактерий в гидрогелях из полиэтиленгликолятов кремния и титана.....	45
Маматалиев Н. Н., Абдикамалова А. Б., Машарипова М. Н. Сравнительный анализ активности пилларованных бентонита и лапонита в реакциях фото-Фентона окисления органических красителей.....	46
Михайлова М. С., Возяков А. О., Медведева Н. А. Ксерогель, полученный сополиконденсацией TEOS и APTES.....	47
Мокрушин А. С., Нагорнов И. А., Симоненко Н. П., Симоненко Е. П. Синтез и газочувствительные свойства оксида цинка, декорированного наночастицами палладия.....	48
Молчанов В. С., Оспенников А. С., Сторожук А. П., Прокопьев И. В., Филиппова О. Е. Двухкомпонентные гели с нековалентно сшитыми перестраиваемыми матрицами.....	49
Морозов Е. В., Зайцева Ю. Н., Еремина А. О., Новикова С. А., Кирик С. Д. Диффузия жидкостей в модифицированном SBA-15: исследование методом диффузионного ЯМР.....	50
Мусаев Х. Б., Хорошко Л. С., Бойкобилов Д., Парманов А. Б., Рузимурадов О. Н. Наноматериалы TiO ₂ , легированные 3d-металлами: золь-гель синтез и свойства.....	52
Мухамедиев М. Г., Бекчанов Д. Ж., Ботиров С., Файзуллаев Ю., Усманова Х. Применение полимерных сорбентов гелиевой структуры для сорбции ионов цветных металлов.....	53
Нагорнов И. А., Мокрушин А. С., Симоненко Н. П., Симоненко Т. Л., Симоненко Е. П. Высокодисперсные наноккомпозиты на основе ZnO для хеморезистивных газовых сенсоров.....	54
Новикова С. А., Зайцева Ю. Н., Еремина А. О., Кирик С. Д. Влияние типа прекурсора алюминия на мезоструктуру и морфологию Al-SBA-15.....	55

Орбант Р. А., Шершов Я. М., Голосов М. А., Уткин А. В., Бакланова Н. И. Влияние реологических свойств суспензий на структуру и механические характеристики C/ZrB ₂ -SiC композитов, полученных методом керамических препрегов.....	56
Понаморева О. Н., Оськин П. В., Потапова Д. В., Алферов В. А., Хонина Т. Г., Гутник И. В., Дьячкова Т. П. Медиаторный биоэлектрокатализ в системах на основе композитов, полученных электроосаждением полиэтиленгликоля кремния в присутствии углеродных нанотрубок и биокатализаторов.....	57
Попков М. А., Созарукова М. М., Баранчиков А. Е., Иванов В. К. Пероксидазоподобная активность наноматериалов на основе диоксида церия: анализ колориметрическим и хемилюминесцентным методами.....	59
Саенко Е. В. Структурно-функциональные особенности золь-гель синтезированных Мп-оксидов, допированных кобальтом.....	60
Семченко А. В., Пилипенко В. В., Сидский В. В. Формирование золь-гель методом функциональных слоев для микро-и оптоэлектроники.....	61
Серегин Д. С., Мокрушев П. А., Вишневский А. С., Воротилов К. А. Особенности формирования мезопористой структуры в тонких пленках оксида титана.....	62
Сидский В. В., Семченко А. В., Гайшун В. Е., Маевский А. А., Данильченко К. Д., Парчинский П. П., Насиров А. А., Хахомов С. А. Исследование влияния легирования на свойства FTO-плёнок, синтезированных золь-гель методом.....	63
Силантьев В. Е., Земскова Л. А., Шлык Д. Х. Гибридный материал в системе нитрат церия(III)/хитозан/мочевина.....	65
Симоненко Е. П., Симоненко Н. П., Нагорнов И. А., Мокрушин А. С., Симоненко Т. Л., Горобцов Ф. Ю., Кузнецов Н. Т. Использование золь-гель синтеза для получения бескислородной высокотемпературной керамики.....	66
Симоненко Н. П., Симоненко Т. Л., Горобцов Ф. Ю., Мокрушин А. С., Фисенко Н. А., Нагорнов И. А., Соломатов И. А., Рахимова З. И., Дудорова Д. А., Землянухин А. А., Дементьева П. Д., Шахов В. А., Симоненко Е. П. Формирование локализованных полупроводниковых микроструктур с использованием жидкофазных методов синтеза и печатных технологий.....	67
Симоненко Т. Л., Дудорова Д. А., Симоненко Н. П., Горобцов Ф. Ю., Симоненко Е. П. Синтез иерархически организованных наноструктур на основе Ni(OH) ₂ и NiO в качестве катодных материалов суперконденсаторов.....	68
Снятков И. В., Бахметьев В. В., Зеленина Е. В., Чуркина А. В. Методика нанесения радиолюминесцентных покрытий на сложные поверхности.....	70
Соромотин В. Н., Рыбочкин П. В., Перцева В. А. Применение золь-гель технологии и клеток микроорганизмов в синтезе палладиевого катализатора для реакции Мизороки-Хека.....	71
Толстой В. П., Голубева А. А., Москвина Т. А. Методология создания массивов открытых микрокапсул со стенками из оксидов или гидроксидов металлов с использованием реакций гидролиза в микрокаплях аэрозолей растворов солей металлов на поверхности раствора щелочи.....	72
Упорова А. М., Банникова А. А., Деева Ю. А., Гырдасова О. И., Чупахина Т. И. Разработка и анализ фотокатализаторов на основе Sr ₂ TiO ₄	73
Фисенко Н. А., Соломатов И. А., Дементьева П. Д., Симоненко Н. П., Мокрушин А. С., Горобцов Ф. Ю., Симоненко Т. Л., Симоненко Е. П. Влияние природы реагентов на свойства диоксида олова и получение функциональных плёнок на его основе.....	74
Халипова О. С., Елкин Н. А., Кузнецова С. А. Оптические и фотокаталитические свойства многослойных покрытий на основе TiO ₂ и CeO ₂	75
Хантимиров А. Г., Абдрахманова Л. А., Сучкова Е. А. Особенности процесса золь-гель при модификации кремнезолями древесно-полимерных композитов.....	76

Хонина Т. Г., Шадрина Е. В., Алексеенко С. Г., Фролова В. М., Добринская М. Н., Изможерова Н. В., Кохан М. М., Замятин А. В., Чупахин О. Н. Разработка средств с широким спектром фармакологической активности для местной терапии в медицине и ветеринарии.....	78
Цыганова Т. А., Лушанкин Я. П., Мякин С. В., Куриленко Л. Н., Анфимова И. Н. Исследование адсорбционных центров цезийсодержащего кварцоидного стекла.....	79
Чергин Д. П., Гаврилова Н. Н. Синтез молибденовых синей с использованием ионного обмена и аскорбиновой кислоты в качестве восстановителя.....	80
Чеснокова Н. Ю., Постнова И. В., Щипунов Ю. А. Сенсор для контроля свежести продуктов на основе антоцианов, иммобилизованных в силикатной матрице.....	80
Шейченко Е. Д., Япрынцева А. Д., Гуменюк В. М. Слоистые гидроксиды РЗЭ, интеркалированные дипиколинатами европия и тербия.....	82
Bekchanov D. J., Eshtursunov D. A., Abdujalilov I. A., Mukhamediev M. G. Sol-Gel Synthesis of the CuO/Polymer Nanocomposite Material and Its Properties.....	83
Hasanov R. SH., Ruzimuradov O. N., Mamatkulov Sh. Photocatalytic Degradation of Organic Dyes Using In Situ Synthesized Co-Doped ZnO/SiOC Nanocomposites Under visible Irradiation.....	84
Ishankulov A. F., Sobirova F. J., Khalilov Q. F., Mukhamadiev N. Q., Galyametdinov Y. G. Synthesis and photocatalytic properties of carbon quantum dots.....	86
Mamatkulov Sh. I., Ibodullayev S. A., Pecherskaya M. D., Akhmedova D. K. Synthesis of $LA_{0.6}SR_{0.4}CO_{0.2}FE_{0.8}O_{3-\Delta}$ Perovskite in Big Solar Furnace.....	86
Parmanov A. B., Nurmanov S. E., Wilamowska M. Z., Ruzimuradov O. N. Sol-Gel synthesis of zinc-containing SiOC-based catalysts for the vinylation of aromatic carboxylic acids.....	88
Shchipunov Y. Silica and silsesquaxane. Biomimetic synthesis and functionalization on aerogels from nano/microfibrillated cellulose.....	89
Turaev Kh. Kh., Kasimov Sh. A., Shukurov D. Kh., Tojiyev P. J., Ruzimuradov O. N. X-ray phase analysis of synthesized graphene oxide.....	90
ПОСТЕРНЫЕ И СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ	92
Алексеенко С. Г., Давлетханова В. М., Шадрина Е. В. Стандартизация фармацевтической субстанции кремнийжелезоцинкборглицеролатного гидрогеля.....	93
Антусёва А. В., Кудина Е. Ф. Структура и свойства гелеобразующих композиций на основе гидросиликата натрия и кислотных модификаторов.....	94
Бойко А. А., Подденежный Е. Н., Дробышевская Н. Е., Давыдова О. В. Люминесцентные покрытия на основе гибридных силикатно-полимерных структур и нанопорошков алюмолютециевого граната.....	95
Боридько Л. Ш., Мякин С. В., Гуань С., Сычев М. М., Дьяченко С. В., Голубева О. Ю. Управление электрическими свойствами полимерно-неорганических композитов декорированием наполнителя ферромагнитными наночастицами в сочетании с воздействием магнитного поля.....	96
Васькевич В. В., Коваленко Д. Л., Гайшун В. Е., Сидский В. В. Композиционные покрытия с высокой механической стойкостью для защиты поверхности полимерных материалов.....	97
Гайшун В. Е., Семченко А. В., Коваленко Д. Л., Сидский В. В., Тюленкова О. И., Васькевич В. В., Кузьмин В. Г., Лебедев А. С., Рыжков В. М. Золь-гель метод получения синтетического диоксида кремния для получения особо чистого кварцевого стекла.....	99
Гапоненко Н. В., Лашковская Е. И., Меледин К. И., Кашко И. А., Махмутов Р. Т., Шустикова К. В., Лабунов В. А., Радюш Ю. В., Козлов А. А. Волноводы и микродиски из титаната бария, полученного золь-гель методом.....	101

Данильченко К. Д., Маевский А. А., Семченко А. В., Сидский В. В. Фотоактивные золь-гель покрытия для датчиков излучения коротковолнового УФ-диапазона.....	102
Жумаева Д. Ж., Ахророва Р. О., Барноева С. Б., Рахматуллаева Н. Т., Абдурахимов А. Х. Исследования адсорбции диоксида углерода на сорбционный материал Рр-PAU-A.....	104
Гайшун В. Е., Коваленко Д. Л., Косенок Я. А., Васькевич В. В., Тюленкова О. И., Борисенко В. Е., Ковальчук Н. С., Петлицкий А. Н. Золь-гель технология получения стеклообразного нанокompозита для применения в КНИ-структурах.....	105
Кудина Е. Ф. Свойства силикатсодержащих микроструктурированных материалов.....	106
Кулдашева Ш. А., Калбаев А. М., Эшметов И. Д. Гибридные органо-неорганические золь-гель материалы: использование сополимера акриламида и акриловой кислоты в качестве структурообразующего агента для формирования нанопористых кремнезёмных матриц.....	108
Кургузкина М. Е., Левин А. А., Уголков В. Л., Деркачева Е. С. Структура и термические свойства Ni-Mg-гидросиликатов с нанотубулярной морфологией.....	109
Лашковская Е. И., Гапоненко Н. В., Плиговка А. Н., Хамаде Б. З. С., Долбик А. В., Лазарук С. К., Лабунов В. А., Жигулин Д. В. Золь-гель синтез монодисперсных глобул SiO ₂ в сочетании с мезо- и макропористыми материалами на кремнии.....	111
Лебедев А. С., Рыжков В. М., Кузьмин В. Г., Гайшун В. Е., Семченко А. В., Коваленко Д. Л. Сравнительные оптические характеристики кварцевых стекол, полученных из различных видов сырья.....	112
Маевский А. А., Данильченко К. Д., Семченко А. В., Сидский В. В. Конденсаторные золь-гель слои на основе Ba _x Sr _{1-x} TiO ₃	114
Малютина-Бронская В. В., Семченко А. В., Сидский В. В., Кузьмицкая А. С., Петлицкий А. Н., Петлицкая Т. В. Фотоэлектрические характеристики нанокompозиционных слоев ZnO:MgO на кремнии, полученных золь-гель методом.....	115
Мокрушев П. А., Серегин Д. С., Воротилов К. А. Влияния предварительной термообработки на свойства мезопористых органосиликатных золь-гель пленок.....	117
Мячина М. А., Карпухина Д. С., Гаврилова Н. Н., Назаров В. В. Полимерные композиции на основе оксигидрооксида алюминия для получения функциональных материалов различного назначения.....	118
Николаев А. М., Коваленко А. С., Шилова О. А., Хамова Т. В. Влияние оболочки SiO ₂ на фотокаталитическую активность допированных железом нанопорошков TiO ₂ ...	119
Новикова С. А., Морозов Е. В., Зайцева Ю. Н., Еремина А. О., Кирик С. Д. Диффузия жидкостей в модифицированном SBA-15: исследование методом диффузионного ЯМР.....	120
Пестерникова Г. Г., Обухова В. Б., Хацринов А. И. Мезопористые кремнеземы, модифицированные ионами меди.....	122
Печерская М. Д., Хошимов Ф. Х., Ахмедова Д. К., Маматкулов Ш. И., Рузимурадов О. Н. Получение наноструктурированного электрокатализатора CrMnFeCoNi/NF.	123
Подденежный Е. Н., Дробышевская Н. Е., Бойко А. А., Урбанович В. С. Получение нанокристаллических порошков оксида эрбия, легированного лантаном методом золь-гель-горение.....	124
Савицкая Т. А., Кимленко И. М., Гайшун В. Е., Косенок Я. А. Структурно-механические свойства нано- и микродисперсий диоксида кремния, полученных ионообменным методом.....	125
Салиханова Д. С., Савриева Д. Д., Исмаилова М. А., Усмонова З., Маматалиева С. С. Структура и адсорбционные свойства активированных углеродов из отходов вишни, модифицированных щелочной обработкой.....	126
Сейтназарова О. М., Абдикамалова А. Б. Адсорбционная активность и структура монтмориллонита в зависимости от его катионообменной емкости.....	127

Семченко А. В., Ткаченко В. В., Заморянская М. В., Сидский В. В. Моделирование процессов формирования плавленных многокомпонентных стекол, полученных с использованием золь-гель метода.....	128
Филиппова А. Д., Баранчиков А. Е., Иванов В. К. Превращения диоксида церия во фторид-содержащей среде в гидротермальных условиях.....	129
Фролова В. М., Шадрина Е. В., Мехаяев А. В., Сафронов А. П., Хонина Т. Г. Биосовместимые полиолаты кремния – инновационные прекурсоры в золь-гель процессе.....	130
Шакарова Д. Ш., Бегимкулова Ч. К., Перри К. С. Синтез микросферического фиброин/кремнеземного нанокомпозита с использованием золь-гель процесса in situ... ..	131
Шакарова Д. Ш., Бегимкулова Ч. К., Ахтар Ф. Синтез наноразмерного цеолита в гелях полисахаридов.....	132
Эшметов И. Д., Хошимов Ш. М., Кузнецова Т. Ф. Анализ взаимосвязи молекулярной и надмолекулярной структуры висмутосиликатов на основе диоксида кремния из рисовой шелухи.....	133
Galkina O. A., Mamatkulov Sh. I. Electronic and charge transport properties of Ag_3PO_4	134
Mirzaev Sh. E., Beginkulova Sh. A., Tashpulatov Kh. Sh., Nasimov A. M. Sol-gel synthesis and photochemical study of nanocomposites based on ZnO-SiO_2 immobilized with organic dyes.....	135
ЗАОЧНЫЕ ДОКЛАДЫ	137
Артамонова О. В., Закатов А. Б. Исследование наноразмерных систем $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{H}_2\text{O}$, синтезированных золь-гель методом.....	138
Зульфугарова С. М., Алескерова З. Ф., Азимова Г. Р., Сеидова Ф. У. Условия применения микроволновой технологии в золь-гель методе при синтезе ферритовых катализаторов.....	138
Кадырова З. Р., Кодирова У. А., Эминов А. А., Усманов Х. Л. Использование микрокремнезёма для синтеза пигмента виллемитовой структуры.....	140
Кадырова З. Р., Хомидов Ф. Г., Кодирова У. А. Синтез черных пигментов шпинельной структуры, полученных золь-гель методом.....	141
Каракулов В. А., Серебров Е. И., Петьков В. И. Получение золь-гель методом порошкообразных и монокристаллических образцов фосфатов со структурой лангбейнита.....	143
Ланцова Е. А., Колыханов Д. А. Кремнийорганический материал, полученный с использованием микробных темплатов, как загрузочная платформа для октенидина дигидрохлорида.....	144
Сидский В. В., Семченко А. В., Хахомов С. А., Маевский А. А., Данильченко К. Д. Исследование синтеза тонких плёнок BiFeO_3 и $\text{Bi}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_3$ золь-гель методом.....	145
Парчинский П. Б., Насиров А. А., Нусретов Р. А., Хахомов С. А., Семченко А. В., Сидский В. В., Гайшун В. Е., Данильченко К. Д., Маевский А. А. Влияние оксида графена на процессы фазового разделения в слоях FTO, полученных методом спрей-пиролиза.....	146
Hoshimov F., Butanov Kh., Mamatkulov Sh., Ruzimuradov O. Magnetic Fluid-Assisted CoFeNi-Mf/Nf Electrocatalyst for Efficient Water Splitting.....	147
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ	149

Научное издание

**ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ
НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ,
ГИБРИДНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
И ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ «ЗОЛЬ-ГЕЛЬ 2025»**

VIII Международная Евро-Азиатская конференция
(Гомель, 22–26 сентября 2025 года)

Сборник тезисов докладов

Подписано в печать 15.09.2025. Формат 60х84 1/8.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 18,6. Уч.-изд. л. 16,2.
Тираж 80 экз. Заказ 448.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».
Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий в качестве:
издателя печатных изданий № 1/87 от 18.11.2013 г.;
распространителя печатных изданий № 3/1452 от 17.04.2017 г.
Ул. Советская, 104, 246028, Гомель.

