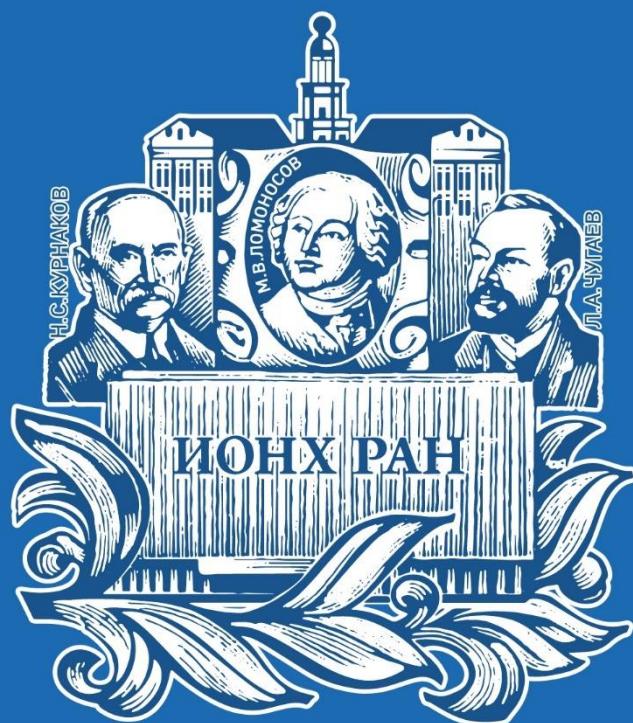


**Научный центр мирового уровня
«Центр рационального использования редкometалльного сырья»
Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН**

Научный совет РАН по неорганической химии

Научный совет РАН по химической технологии



14 - 17 ДЕКАБРЯ 2025 ГОДА

**ШЕСТАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ, СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ
«НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ:
ПОКОЛЕНИЕ NEXT»**

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Научный центр мирового уровня
«Центр рационального использования редкometалльного сырья»
Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН

Научный совет РАН по неорганической химии

Научный совет РАН по химической технологии



14 - 17 ДЕКАБРЯ 2025 ГОДА

**ШЕСТАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ, СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ
«НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ:
ПОКОЛЕНИЕ NEXT»**

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

УДК 546

Научный центр мирового уровня
«Центр рационального использования редкometалльного сырья»
Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН
Научный совет РАН по неорганической химии
Научный совет РАН по химической технологии

Шестая научно-практическая конференция для школьников, студентов и аспирантов «Неорганическая химия и материаловедение: поколение NEXT»
14 - 17 декабря 2025 года . – Москва: ИОНХ РАН, 2025. – 84 с.

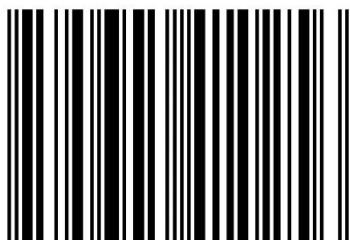
ISBN 978-5-6054102-5-6

В сборнике собраны тезисы докладов, представленных на шестой научно-практической конференции для школьников, студентов и аспирантов «Неорганическая химия и материаловедение: поколение NEXT». Тезисы приведены в авторской редакции.

Книга предназначена для широкого круга читателей, интересующихся широким спектром актуальных фундаментальных и прикладных вопросов, связанных с неорганической химией, материаловедением, переработкой редкometалльного сырья и современными химическими технологиями.

УДК 546

ISBN 978-5-6054102-5-6



9 785605 410256 >

© ИОНХ РАН, 2025

**ШЕСТАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ:
ПОКОЛЕНИЕ NEXT»
(СЕКЦИЯ 1)**

ОРГАНИЗАТОРЫ

ФГБУН Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова
Российской академии наук при поддержке Института развития профильного
обучения ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет»

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ

ИОНХ РАН, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 31

ПРОГРАММНЫЙ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Иванов В.К. академик РАН – Председатель (г. Москва)
Вашурин А.С. д.х.н. – Ученый секретарь секции 1 (г. Москва)
Смирнова М.Н. к.х.н. – Ученый секретарь секции 2 (г. Москва)

Вошкин А.А. член-корр. РАН (г. Москва)
Жижин К.Ю. член-корр. РАН (г. Москва)
Кискин М.А. проф. РАН (г. Москва)
Барановская В.Б. д.х.н. (г. Москва)
Баранчиков А.Е. к.х.н. (г. Москва)
Павлов А.А. д.х.н. (г. Москва)
Марьина Г.Е. к.т.н. (г. Москва)

Программа конференции включает в себя обсуждение широкого спектра актуальных фундаментальных и прикладных вопросов, связанных с неорганической химией, материаловедением, переработкой редкометалльного сырья и современными химическими технологиями.

**ПРОВОДИТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ МИНОБРНАУКИ РОССИИ
(СОГЛАШЕНИЕ О ПРЕДОСТАВЛЕНИИ ГРАНТА №075-15-2025-584)**

Научный центр мирового уровня «Центр рационального использования редкometалльного сырья»

Научный центр мирового уровня «Центр рационального использования редкometалльного сырья», созданный по инициативе и под руководством академика РАН **Аслана Юсуповича Цивадзе** объединяет компетенции ведущих ученых и инфраструктуру Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН и Кольского научного центра РАН с целью ответа на наиболее актуальные научно-технологические вызовы.



Ключевыми задачами работы Центра в рамках утвержденного перечня приоритетных направлений научно-технологического развития Российской Федерации и перечня важнейших наукоемких технологий станут – проведение комплексных исследований и разработок, направленных на создание передовых отечественных технологий переработки широкого спектра редкometалльного сырья, включая литиевые рассолы, руды и рудные концентраты Кольского полуострова, техногенные отходы, такие как отработавшие редкоземельные магниты, отходы алюминиевой промышленности — красные шламы, а также отходы, содержащие серебро и металлы платиновой группы. Работы ведутся в рамках направления «Экологически чистые технологии эффективной добычи и глубокой переработки стратегических и дефицитных видов полезных ископаемых».

Центром формируются научные основы и прикладные решения для технологий функциональных материалов по приоритетным направлениям «Технологии создания новых материалов с заданными свойствами и эксплуатационными характеристиками» и «Технологии производства малотоннажной химической продукции, включая особо чистые вещества, для фармацевтики, энергетики и микроэлектроники».



Научный руководитель исследований, проводимых в ИОНХ РАН в рамках НЦМУ, академик РАН, директор ИОНХ РАН **Иванов Владимир Константинович**.

Руководитель проектного офиса:
член-корреспондент РАН **Вошкин Андрей Алексеевич**
ncmu@igic.ras.ru
+7 (495) 775-65-81

Влияние массы сорбентов на величину адсорбции тетрациклина

Анисимова В.А., Ким К.Б., Нифталиев С.И.

Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
anisimovav2207@gmail.com

Загрязнение водных систем антибиотиками, в том числе тетрациклинами представляет собой серьезную экологическую проблему. Наличие остаточных количеств этих соединений в водной среде, почвах и пищевых продуктах оказывает негативное влияние на экосистемы и здоровье человека, способствуя распространению антибиотикорезистентности у микроорганизмов.

Среди различных методов удаления загрязнителей адсорбционная технология демонстрирует высокую эффективность. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка эффективных и экономически доступных сорбционных материалов для очистки сточных вод. Природные алюмосиликаты различных составов и происхождения являются перспективными сорбентами благодаря их широкой распространенности, низкой стоимости, а также выраженным ионообменным и сорбционным свойствам. Однако для достижения высокой эффективности адсорбции важным является подбор оптимального соотношения массы сорбента к объему адсорбируемого раствора.

В качестве объектов исследования использовали: бентонит (10-й Хутор, Хакасия), вермикулит (Потанинское месторождение, Челябинская обл.), глауконит (Каринское месторождение, Челябинская обл.). Исследовали проводили в статических условиях при постоянном перемешивании при комнатной температуре, концентрация тетрациклина составляла $C_0=25$ мг/л, при этом соотношение массы сорбента к объему сорбируемого раствора изменяли в диапазоне от 1:50 до 1:800. Количественное определение тетрациклина, осуществляли спектрофотометрическим методом длины волны 357 нм (Unico AC85).

Экспериментально установлены оптимальные массовые соотношения «сорбент-раствор» для каждого материала. Для бентонита максимальная эффективность извлечения антибиотика (78,1%) достигается при соотношении 1:400. Глауконит демонстрирует наивысшую сорбционную способность (83,0-84,1%) при соотношении 1:200. Аналогичное оптимальное соотношение 1:200 установлено для вермикулита, обеспечивающее степень извлечения 66,3%.

Таким образом, экспериментально подтверждено, что каждый из изученных сорбентов требует индивидуального подбора дозировки для достижения максимальной эффективности в процессе очистки водных сред от тетрациклина. Наибольший сорбционный потенциал в отношении тетрациклина показал глауконит, что делает его наиболее перспективным материалом для дальнейших исследований и практического применения.

Синтез нанесенных катализаторов из кобальт-аммиачно-карбонатных растворов

Антонова А.С., Смирнов Д.В.

Ивановский государственный химико-технологический университет, г. Иваново, Россия
ari_baik04@mail.ru

Большинство промышленных реакций, порядка 90%, являются катализитическими. В качестве катализаторов используются переходные металлы, как в массивном виде, так и в нанесенном. Наиболее распространенными металлами, используемыми в реакциях гидрирования, являются переходные D-элементы. Единственной задачей науки катализа является прогнозирование активности и селективности. Не смотря на это, в настоящее время катализ фактически не формализован. Разработка новых катализитических систем заключается в экспериментальном определении основных катализитических свойств вновь создаваемых систем. Таким образом, задача расширения сырьевой базы катализаторов является актуальной.

Цель работы заключалась в синтезе нанесенных на γ - Al_2O_3 , силикагель и активированный уголь катализаторов, используя в качестве пропитки аммиачно-карбонатный раствор кобальта.

Определение основных текстурных характеристик катализатора проводили с использованием следующих физико-химических методов анализа: рентгенофазовый анализ, низкотемпературная адсорбция/десорбция азота, сканирующая электронная микроскопия.

Синтез катализаторов заключался в следующем. Готовили аммиачно-карбонатный раствор кобальта путем смешения 20 г оксидов кобальта в различных степенях окисления, 100 г карбоната аммония, 150 мл аммиачного раствора с концентрацией 25 % и 20 мл воды. Раствор выдерживали на водяной бане до растворения оксида кобальта. Нанесение активного металла проводилось путем пропитки носителя полученным раствором в течение суток. Катализатор отфильтровывали, сушили и после проводили термическую обработку при 300 °C до постоянной массы.

Полученные катализаторы испытывали в реакции жидкофазного восстановления кратной углеродной связи в молекуле диэтилового эфира малеиновой кислоты. Условие протекания реакции: растворитель – вода, температура – 30 °C, атмосферное давление водорода в системе, гидродинамический режим – 2500 об/мин. Полученные кинетические данные позволяют утверждать, что нанесенные кобальтовые катализаторы, полученные с использованием аммиачно-карбонатных растворов, при изменении условий синтеза являются перспективными в реакциях восстановления различных классов органических соединений.

Теоретическая часть работы выполнена в рамках государственного задания на выполнение НИР (Тема № FZZW-2024-0004).

Синтез и спектрально-люминесцентные свойства фталоцианинатов цинка и магния

Антуганова В.А.

Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия
neorg@isuct.ru

Целью данной работы было изучение спектрально-люминесцентных свойств тетра-3-(2,4,5 трихлорфенокси)фталоцианинов цинка и магния. Были поставлены следующие задачи: синтез 3-(2,4,5 трихлорфенокси)фталоцианинов цинка и магния, определение спектрально-люминесцентных свойств данных комплексов и их сравнение. Гипотеза: в ряду фталоцианинатов переход от магниевых комплексов к цинковым сопровождается существенным улучшением спектрально-люминесцентных свойств, что повышает их эффективность и перспективность для использования в роли фотосенсибилизаторов.

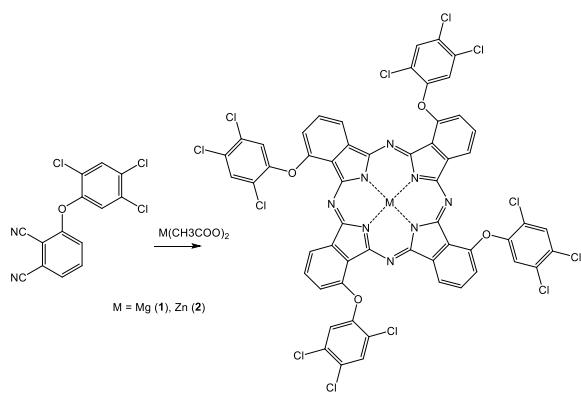


Рис. 1.

Синтез целевых комплексов осуществляли темплатной конденсацией 3-(2,4,5-трихлор)феноксифталонитрила с ацетатом магния или цинка сплавлением при температуре 180-190 °C (рис. 1).. Идентификацию целевых продуктов осуществляли физико-химическими методами.

Изучены спектрально-люминесцентные свойства синтезированных комплексов. Показано влияние металла-комплексообразователя, природы растворителя на характер спектральных кривых, квантовый выход и время жизни люминесценции, квантовый выход генерации синглетного кислорода.

С помощью спектрофотометрического титрования трифторуксусной кислотой в толуоле рассчитаны константы протонирования металлокомплексов.

Было установлено, что центральный ион металла влияет на квантовый выход флуоресценции и время жизни флуоресценции: при переходе от цинка к магнию наблюдается увеличение квантового выхода флуоресценции и времени жизни флуоресценции. Показано, что полученные металлокомплексы склонны к протонированию. Наибольшей основностью обладает комплекс магния.

Новые смешаннокатионные селениты $\text{Sr}_2\text{Mn}(\text{SeO}_3)_2\text{Cl}_2$, $\text{BaNi}_2(\text{SeO}_3)_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{SrCu}(\text{HSeO}_3)_2\text{Cl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ с уникальными магнитными свойствами

Астахов Н.В., Бердоносов П.С.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
nickavit@yandex.ru

Низкоразмерные магнетики – это материалы, в которых наблюдается анизотропия магнитных обменных взаимодействий. Такие материалы с точки зрения кристаллической структуры – трехмерны, но при этом магнитная подсистема может представлять собой различные низкоразмерные «мотивы»: нульмерные – кластеры (димеры, тримеры и т.п.), одномерные – цепочки и лестницы, а также двумерные сетки различной геометрии (квадратные, треугольные, сетка кагомэ). Образование низкоразмерного мотива магнитной подсистемы в большинстве случаев происходит благодаря особому включению магнитных катионов в немагнитную подрешетку, обуславливающую возникновение корреляций ближнего порядка в данных материалах. В настоящее время нет теоретического подхода, который позволял бы достоверно на основании данных о кристаллической структуре предсказать магнитные свойства. Поэтому научным сообществом продолжается накопление экспериментальных данных о различных низкоразмерных системах, для дальнейшего обобщения и расширения фундаментальных представлений о магнетизме. Однако такие соединения представляют не только фундаментальный интерес, но и предполагают возможное их применение в квантовых компьютерах [1].

Одна из ключевых задач лабораторий неорганического синтеза – поиск новых низкоразмерных магнетиков на основе прототипов фаз. Так наше внимание привлекли составы $\text{Sr}_2\text{M}(\text{SeO}_3)_2\text{Cl}_2$ ($\text{M} = \text{Co, Ni, Cu}$) как потенциальные магнитные цепочки, $\text{BaM}_2(\text{SeO}_3)_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ($\text{M} = \text{Mn, Co}$) – магнитные димеры, а также $\text{Cu}(\text{HSeO}_3)_2\text{Cl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Анализ кристаллической структуры последнего соединения, представляющего собой трехмерный каркас из октаэдров меди, предполагает перспективным замену одной из двух кристаллографических позиций меди на немагнитный катион, с образованием магнитных плоскостей. В данной работе представляется поиск и изучение свойств новых соединений: $\text{Sr}_2\text{Mn}(\text{SeO}_3)_2\text{Cl}_2$, $\text{BaNi}_2(\text{SeO}_3)_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{SrCu}(\text{HSeO}_3)_2\text{Cl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Кристаллогидраты в виде были синтезированы гидротермальным методом, а их структура была решена на монокристальном дифрактометре, а фаза с марганцем – ампульным методом. Структура $\text{Sr}_2\text{Mn}(\text{SeO}_3)_2\text{Cl}_2$ была установлена индицированием порошковой рентгенограммы методом аналогии и последующим уточнением структуры методом Ритвельда. В докладе будет представлено подробное обсуждение экспериментальной части и результаты работы с акцентом на магнитные свойства.

Работа выполнена с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ФГБОУ ВО «ИГХТУ».

[1] Shantanu M. et al Nature, 2021

Влияние условий синтеза и типа подложки на состав, структуру и свойства нанокомпозитов на основе CdTe

Бакланова У.Р.^{1,2}, Ракитин В.В.¹, Гапанович М.В.^{1,2,3}

¹ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН, г. Черноголовка, Московская область, Россия

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия

³Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), г. Долгопрудный, Московская область, Россия

ulyana.baklanova@mail.ru

Благодаря уникальным свойствам, обусловленным размером и удельной площадью поверхности, наноматериалы имеют большой потенциал для применения в солнечной энергетике [1]. Ориентированные структуры (нанотрубки, наностержни) способствуют эффективному и направленному движению носителей заряда и их разделению и передаче [2]. Такая структура может быть реализована за счет нанокомпозитов, включающих в себя анодированные пористых металлических подложках (Al или Ti) и нанотрубки CdTe, полученные электрохимическим способом. Однако оптимальные условия для синтеза данных нанокомпозитов практически не изучены.

В данной работе электрохимическое осаждение нанотрубок CdTe проводилось в трехэлектродной электрохимической ячейке с рабочим электродом – анодированной алюминиевой или титановой пластиной, электродом сравнения – хлорсеребряным электродом и противоэлектродом – графитовой пластиной. Рабочий раствор включал H_2SO_4 , $3CdSO_4 \cdot 8H_2O$ и TeO_2 . Синтез проводился в течение 1 час при непрерывном перемешивании при $T = 70$ °C для образцов на алюминиевых и при $T = 50$ °C – на титановых подложках. Диапазон потенциалов осаждения составлял от -450 до -650 мВ.

Методами РФА и КР-спектроскопии было подтверждено наличие фазы CdTe с избытком теллура в образцах на всех типах подложек. Методом СЭМ показано, что поверхности образцов состоят из 2-х типов – равномерной кратерообразной структуры CdTe/Te и избыточного количества вещества Te, имеющего различную морфологию в зависимости от потенциала осаждения. Методом РЕС установлено, что все полученные образцы обладают фоточувствительностью и *n*-типов проводимости, так как отклик наблюдается в анодной области. Наибольшие значения плотности фототока были получены для образцов нанокомпозитов CdTe, синтезированных при $E_{осажд} = -520$ мВ на алюминиевой подложке и при $E_{осажд} = -450$ мВ на титановой подложке, и составляли соответственно $0,094$ mA/cm^2 и $0,494$ mA/cm^2 (измеренные при $E = 1000$ мВ отн. 3М ХСЭ). Полученные значения фототока для образцов на алюминиевых подложках превышают значения фототока для образцов на титановых подложках примерно в 200 раз.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 124013000686-3.

[1] Gur I. et al. Air-stable all-inorganic nanocrystal solar cells processed from solution //Science. – 2005. – Т. 310. – №. 5747. – С. 462-465.

[2] Kapoor S. et al. Synthesis of highly reproducible CdTe nanotubes on anodized alumina template and confinement study by photoluminescence and Raman spectroscopy //Journal of Alloys and Compounds. – 2019. – Т. 809. – С. 151765.

Особенности окисления керамических материалов $\text{ZrB}_2\text{-SiC-Ti}_2\text{AlC}$ в потоке CO_2 -плазмы

Барсуковский К.А.¹, Нагорнов И.А.¹, Симоненко Е.П.¹,
Чаплыгин А.В.², Симоненко Н.П.¹, Лукомский И.В.², Лысенков А.С.³, Мокрушин А.С.¹,
Колесников А.Ф.², Кузнецов Н.Т.¹

¹Лаборатория физикохимии керамических материалов ИОНХ РАН

²Институт проблем механики им. В.И. Ишлинского Российской академии наук

³Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук
kbarsukovskiy@yandex.ru

Исследование поведения сверхвысокотемпературной керамики в средах, имитирующих атмосферу Марса и Венеры (95% CO_2), представляет значительный интерес для космических приложений, в первую очередь, для создания теплозащитных систем спускаемых аппаратов. В работе изучено окисление керамического композита $\text{ZrB}_2\text{-SiC}$, модифицированного 15 об.% MAX-фазой Ti_2AlC , в дозвуковом потоке CO_2 -плазмы.

В ходе 15-минутного воздействия в высокочастотном плазмотроне на поверхности образца была достигнута температура $\sim 1970^\circ\text{C}$ (рис. 1). Несмотря на это, полного уноса защитного силикатного расплава не произошло. Методами РФА и Раман-спектроскопии установлено, что поверхность керамического образца после испытаний состоит в основном из моноклинного ZrO_2 . РЭМ-анализ поверхности окисленного образца показал формирование многослойной зоны деградации толщиной ~ 400 мкм. Такое поведение связано с введением в его состав более тугоплавких оксидов титана и алюминия (продуктов окисления Ti_2AlC), а также значительным увеличением вязкости расплава вследствие ликвации.

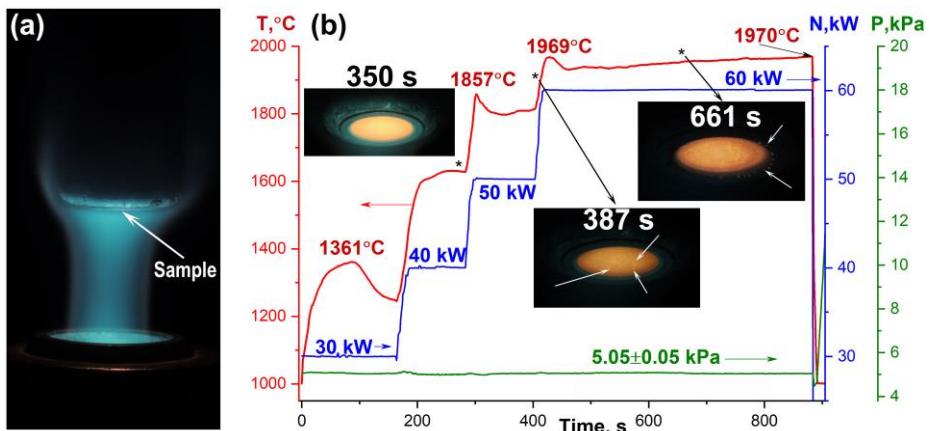


Рис. 1. Внешний вид обтекания CO_2 -плазмы водоохлаждаемого держателя с закрепленным в нем образцом (а) и изменение средней температуры поверхности в центральной области керамического образца во времени в зависимости от давления в камере (P , kPa), а также мощности анодного питания плазмотрона (N , kW) (б). Белыми стрелками обозначены яркие точки на поверхности образца (пузырьки) и капли унесенного силикатного расплава на поверхности водоохлаждаемого держателя образца.

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

Разработка трубчатых керамических подложек для мембранный хроматографии

Богословская А.Д., Дмитриева Е.С., Волков А.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева
Российской академии наук (ИНХС РАН)
anastasiabogoslovskaia20@gmail.com

Мембранный хроматография — высокоэффективный метод разделения, важный для многих актуальных задач: извлечения редкоземельных элементов, лития, очистки биофармацевтических препаратов и т.д. Керамические мембранные перспективны в качестве подложек благодаря своей химической устойчивости [1]. Получение керамических мембранных методом инверсии фаз и спекания из паст на основе полимера и керамического компонента уменьшает затраты на производство благодаря снижению количества стадий спекания. В этом методе одним из ключевых факторов является состав формовочных паст. Цель работы — исследовать влияние полимерного связующего на свойства трубчатых керамических мембранных, получаемых методом фазовой инверсии с последующим спеканием.

Формовочные пасты содержали оксида алюминия (60% масс.), N-метилпирролидон (30% масс.) и полимеры (10% масс.): полисульфоны (ПСФ ПСК-1 и ПСФ БАСФ), полизэфиримид (ПЭИ). Формование в виде плоских листов и трубок проводили методом фазовой инверсии в воде с последующим спеканием при 1200 °C в течение 6 часов.

При исследовании плоских образцов выявили, что полимерное связующее влияет на вязкость паст, морфологию образцов и их пористость. Только ПЭИ приводил к появлению пальцеобразных пор. Оптимальное связующее, отечественный ПСФ ПСК-1, обеспечивал минимальную вязкость паст (1800 мПа·с), упрощая процесс формовки. А также максимальную пористость прекурсора (образца до спекания), равную 54%. На его основе были успешно получены трубчатые подложки с наружным диаметром 3 мм и внутренним — 2 мм (рисунок 1).

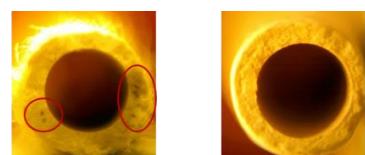


Рис. 1. Фотографии бокового скола подложки до и после отжига

Отжиг позволил ликвидировать неоднородности прекурсора. Показано, что изготовление керамических мембранных методом инверсии фаз и спекания на основе отечественного ПСФ ПСК-1 является возможным и перспективным методом для их последующего применения в мембранный хроматографии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Госзадания ИНХС РАН

[1] Mel, M., Abdeen, F. R., & Sopyan, I. (2011). *Fabrication of ceramic membrane chromatography for biologics purification. IIUM Engineering Journal, 12(4)*.

Супрамолекулярный дизайн ярко люминесцирующих смешанноанионных соединений Eu(III) и Tb(III) с анионами ароматических монокарбоновых кислот

Болотко А.Е.^{1,2}, Шмелев М.А.²,
Вараксина Е.А.², Сидоров А.А.², Ерёменко И.Л.²

¹Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
факультет химии, Москва, Россия

²Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва, Россия
al.bolotko@gmail.com

Люминесцирующие координационные соединения лантанидов привлекают внимание широким разнообразием применений, например, в качестве люминесцентных термометров, агентов для биовизуализации, сенсоров, катализаторов, а также в качестве компонентов излучающих слоев органических светодиодов (OLEDs). В связи с этим, актуальной задачей является повышение эффективности их фотолюминесценции. Ранее было показано, что совмещение различных со-лигандов в структуре комплексов может способствовать стабилизации кристаллической структуры из-за возникновения ряда нековалентных взаимодействий, а также приводить к улучшению их люминесцентных характеристик. В связи с этим, ожидается, что одновременная координация анионов бензойной и фторированных бензойных кислот к иону редкоземельного металла приведет к формированию супрамолекулярных цепей, стабилизованных нековалентными взаимодействиями, что может оказывать положительное влияние на фотолюминесцентные свойства соединений.

В рамках данной работы для получения ярко люминесцирующих комплексов европия в качестве лигандов были выбраны анионы бензойной, пента- и дифторбензойной кислот (bz, pfb, dfb), а также набор N-донорных лигандов – производных 1,10-фенантролина (phen) и 2,2'-дипиридила (bpy): 4,7-дифенил-1,10-фенантролин (bathphen), 3,4,7,8-тетраметил-1,10-фенантролин (Me₄phen), 4,4'-диметил-2,2'-дипиридил (Me₂bpy), 4,4'-динонил-2,2'-дипиридил (dnbpyp). Был получен ряд смешанноанионных комплексов европия различного состава и строения: [Eu₂(phen)₂(pfb)_{4-2x}(bz)_{2+2x}] (**1x**; x = 0.2; 0.3; 0.45; 0.6; 0.75) (**1**), [Eu₂(bathphen)₂(pfb)₄(bz)₂][Eu₂(bathphen)₂(pfb)₂(bz)₄] (**2**), [Eu₂(H₂O)₂(Me₄phen)₂(pfb)₄(bz)₂] (**3**), [Eu₂(bpy)₂(pfb)_{2.4}(bz)_{3.6}] (**4**), [Eu₂(Me₂bpy)₂(pfb)_{2.6}(bz)_{3.4}] (**5**), [Eu₂(dnbpyp)₂(pfb)₄(bz)₂] (**6**), [Eu₂(phen)₂(dfb)_{6-2x}(bz)_{2x}] (**7x**; x = 0.6, 0.85, 1.1, 2.05, 2.4). Соединения были охарактеризованы методами РСА, РФА, ИК-спектроскопии и CHN-анализа. Было показано, что в случае совмещения указанных анионов в структурах соединений наблюдается формирование неупорядоченных позиций, в которых координированы либо bz-, либо pfb- (dfb-) анионы, причем при переходе от pfb к dfb увеличивается число таких позиций. Были исследованы фотолюминесцентные свойства соединений, и на примере комплексов с phen (**1**) и bathphen (**2**), было показано, что соединения, содержащие несколько анионов, обладают на 46 % и 29% (или 19%) более эффективной люминесценцией, чем их аналоги, содержащие только bz или pfb. Более того, соединение **10.2** стало основой излучательного слоя OLED-устройства, продемонстрировавшего высокую квантовую эффективность электролюминесценции (5.7%) и высокую яркость (2917 Кд/м²).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда 25-73-10110

Синтез тетраацетатов кремния и олова как прекурсоров для получения материалов для газовых сенсоров

Бруцкая М.А., Шерстобитов А.В.

Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 119991, г. Москва
brutskayama@my.msu.ru

Полупроводники на основе оксидов металлов представляют собой важный класс материалов для газовых сенсоров. Один из них – диоксид олова – широкозонный полупроводник n-типа. Для улучшения сенсорных характеристик SnO_2 подвергают химической модификации. Модификация при помощи SiO_2 позволяет добиться стабилизацииnanoструктуры SnO_2 . Известные методы получения SnO_2 [1], [2], [3] сопряжены с загрязнением продукта хлорид-ионами, требуют дорогостоящих реагентов, расхода большого количества растворителей или ограничивают введение модификаторов. Использование тетраацетатов элементов IV A группы для получения композитов на основе SnO_2 позволяет обеспечить однородное распределение элементов на этапе образования оксидов и осуществлять введение иных компонентов как для легирования, так и поверхностной модификации. В литературе сведения об использовании данного подхода для синтеза материалов $\text{SnO}_2/\text{SiO}_2$ не представлены.

Тетраацетат кремния получали по реакции SiCl_4 с избытком уксусного ангидрида. Необходимый для работы SiCl_4 получали из простых веществ. Предложена новая методика синтеза тетраацетата олова с использованием реакции ионного обмена между безводным SnCl_4 и гидратом $\text{Pb}(\text{OAc})_2$ ($\text{Ac} = \text{CH}_3\text{CO}$) в среде $\text{AcOH}/\text{Ac}_2\text{O}$. Синтезировали SnCl_4 из $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ путём обработки SOCl_2 . Тетраацетаты Sn и Si характеризовали при помощи гравиметрии, рентгеновской дифракции, колебательной спектроскопии (ИК, КР).

Для получения материалов SnO_2 и $\text{SnO}_2/\text{SiO}_2$ смешивали необходимые количества соответствующих тетраацетатов и осуществляли их гидролиз в среде водного этанола, после чего выполняли сольватермальную обработку при 150°C . Полученные оксиды отжигали при 600°C в течение 24 часов. Определяли удельную площадь поверхности с помощью низкотемпературной адсорбции азота по модели БЭТ. Исследовали фазовый состав, морфологию образцов методами рентгеновской дифракции и колебательной спектроскопии (ИК, КР). Элементный состав контролировали при помощи рентгенфлуоресцентного анализа.

Сенсорные свойства синтезированных полупроводниковых материалов исследовали по отношению к метанолу (20 м.д.) в сухом воздухе. Показано повышение отклика сенсоров при введении SiO_2 по сравнению с немодифицированным SnO_2 .

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ 22-73-10038-П

Комплексы ZnI_2 с редокс-активными α -дииминовыми лигандами: синтез, структура, спектроскопические и электрохимические свойства

Бушуев В.А., Ямбулатов Д.С., Кискин М.А.

Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, 119991, г. Москва,
vbushuev05@gmail.com

Взаимодействие иодида цинка(II) с редокс-активными 1,4-диаза-1,3-бутадиеновыми (DAD) и бис(имино)аценафтеновыми (dpp-BIAN) лигандами в среде абсолютированного ацетонитрила привело к образованию новых комплексов $[(Mes\text{-}DAD)ZnI_2]$ (1), $[(dpp\text{-}DAD)ZnI_2]$ (2) и $[(dpp\text{-}BIAN)ZnI_2]$ (3) (рис. 1).

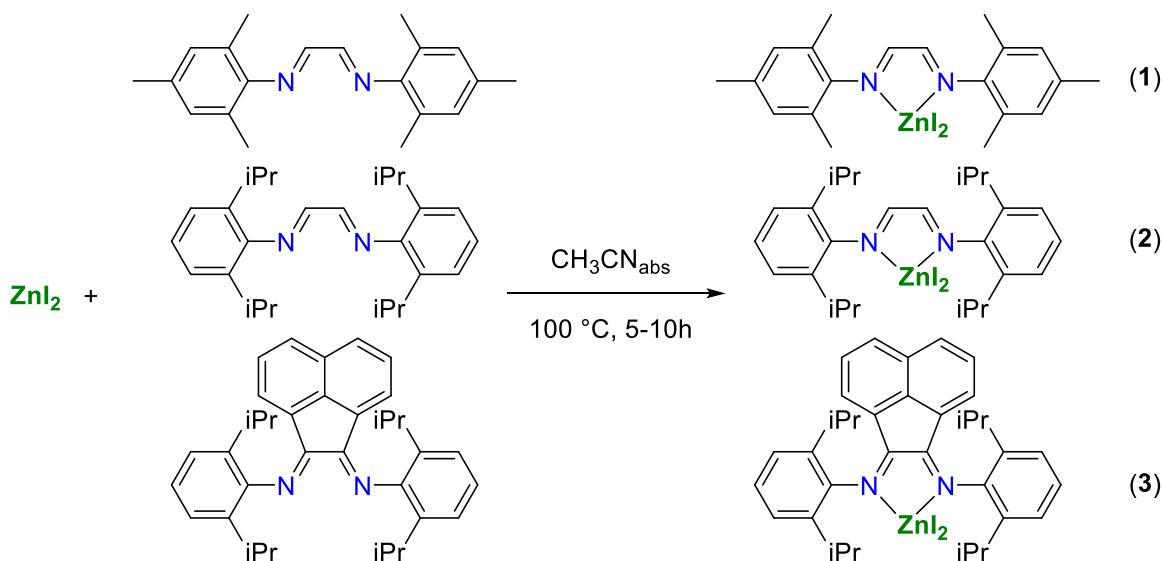


Рис. 1. Синтез новых соединений

Строение комплексов **1-3** установлено РСА, фазовая чистота подтверждена РФА. Стабильность комплексов в растворе подтверждена UV-vis и ЯМР-спектроскопией. Циклическая вольтамперометрия показала наличие двух или трех квазиобратимых волн восстановления в катодной области для комплексов. Способность (3) принимать до трёх электронов подчёркивает потенциал этих соединений как электрокатализаторов восстановительных превращений. В работе будут обсуждены особенности синтеза, устойчивость в растворе, плёнкообразующие свойства.

Результаты исследования опубликованы в литературе [1].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, проект 25-73-20065 (<https://rscf.ru/project/25-73-20065>)

[1] Yambulatov, D. S., Gogoleva, N. V., Smolyaninov, I. V., Bushuev, V. A., Tychinina, A. A., Samulionis, A. S., Voronina, J. K., Skabitsky, I. V., Shapovalov, S. S., Nikolaevskii, S. A., & Kiskin, M. A. (2025). Zinc(II) Iodide Complexes with Redox-Active α -Diimine Ligands: Synthesis, Structure, Spectroscopic and Electrochemical Properties. Crystals, 15(11), 967. <https://doi.org/10.3390/crust15110967>

Формирование иерархически организованных электродных плёнок на основе оксида и гидроксида никеля

Васенина Ю.Е.^{1,2}, Симоненко Т.Л.¹, Горобцов Ф.Ю.¹,
Симоненко Н.П.¹, Симоненко Е.П.¹

¹Лаборатория физикохимии керамических материалов ИОНХ РАН, Москва, Россия

²Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, Москва, Россия
vaseninayulya22@gmail.com

На сегодняшний день растущая потребность в экологичных, компактных и надежных системах энергоснабжения для широкого спектра приложений, в том числе для поддержания автономной работы современных носимых «умных» устройств микроэлектроники стимулирует активное развитие в области создания суперконденсаторов, демонстрирующих высокие значения плотности мощности и скорости заряда-разряда на протяжении тысяч рабочих циклов в широком диапазоне температур. Рабочие характеристики указанных устройств во многом определяются химическим составом, микроструктурными особенностями и электрохимическими характеристиками используемых электродных материалов. Гидроксиды и оксиды переходных металлов, в частности NiO и Ni(OH)₂, являются востребованными электродными материалами при создании современных устройств хранения энергии, так как обладают высокими показателями электрохимической активности и теоретической ёмкости [1]. Среди различных подходов к их синтезу стоит выделить гидротермальный метод, позволяющий формировать наноматериалы различного типа, при этом варьирование условий синтеза обеспечивает контроль особенностей их кристаллической структуры, степени самоорганизации и электрохимических свойств. Целью данной работы являлся гидротермальный рост иерархически организованных плёнок NiO и Ni(OH)₂ на поверхности металлических подложек, а также исследование кристаллической структуры, морфологии и электрохимических характеристик сформированных электродных материалов. Формирование плёнок на поверхности никелевых и титановых лент проходило с использованием реакционной системы на основе нитрата никеля (0,01-0,05 моль/л) и мочевины (0,1 – 0,5 моль/л), растворённых в смеси воды и этилового спирта (фснбон = 20 %). Температура синтеза варьировалась в интервале 100-160°C, а длительность термообработки составляла 2-6 ч. С использованием комплекса методов физико-химического анализа изучен фазовый состав и особенности микроструктуры полученных плёнок, проанализированы их локальные электрофизические характеристики, а также электрохимическое поведение в среде водного раствора гидроксида калия.

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

[1] Simonenko, T.L., Simonenko, N.P., Gorobtsov Ph. Yu. et al. Current Trends and Promising Electrode Materials in Micro-Supercapacitor Printing. Materials. 2023. 16, 6133.

Разработка матриц на основе ортофосфатов церия(IV) для создания высокоэнтропийных люминофоров и сорбционных материалов

Васильева Д.Н.^{1,2}, Шейченко Е.Д.^{1,2}, Козлова Т.О.¹

¹Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва

²Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва
dnvasileva_1@edu.hse.ru

Функциональные материалы на основе ортофосфатов редкоземельных элементов (РЗЭ) характеризуются набором уникальных свойств, что обуславливает их высокую практическую значимость в современном материаловедении и химической технологии, в т.ч. в области создания эффективных люминофоров и сорбционных материалов. Кристаллические ортофосфаты церия(IV) перспективны для подобных применений ввиду стабильности фосфатной матрицы, близости химических свойств церия с другими РЗЭ и некоторыми актинидами.

При оценке возможности получения новых сорбционных материалов смешивали церийфосфатные растворы с водными растворами нитратов Cs^+ , Ba^{2+} или Sr^{2+} , после чего проводили отжиг (550 и 800°C, 2 ч) или гидротермальную (ГТ) обработку получаемых гелей (100°C и 200°C, 24 ч). Показано, что продукты отжига или ГТ обработки имеют различный фазовый состав. В случае отжига гелей при 550°C их структура преимущественно остается рентгеноаморфной, а при повышении температуры до 800°C образцы являются неоднофазными и представлены смесью монацита и фосфатов извлекаемых металлов (в частности, $\text{CsCeP}_4\text{O}_{12}$ или $\text{Ba}(\text{PO}_3)_2$). ГТ обработка гелей во всех случаях приводила к кристаллическим продуктам неустановленного фазового состава, который был различен в зависимости от используемой температуры. В частности, для Sr-содержащего образца при 100°C было получено соединение со структурой, близкой брокиту $(\text{Ln},\text{Ca},\text{Th})\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, а при 200°C – $\text{SrTh}(\text{PO}_4)_2$. Микроструктура полученных в случае ГТ обработки образцов являлась преимущественно однородной и была представлена хорошо закристаллизованными частицами с четкой огранкой.

В рамках изучения потенциала класса ортофосфатов церия(IV) в качестве матриц люминофоров была получена серия аморфных гелей путем смешения церийфосфатного раствора с раствором нитрата РЗЭ (Nd^{3+} , Sm^{3+} , Eu^{3+} , Gd^{3+} , Tb^{3+} , Er^{3+} или Yb^{3+}) и KNO_3 . Синтезированные ксерогели имели идентичную структуру и являлись рентгеноаморфными. Их последующий отжиг при 550°C приводил к формированию мелкокристаллических продуктов со структурой монацита, а увеличение температуры до 800 °C – к образованию смеси монацита и фосфатов калия. Отсутствие рефлексов дополнительных фаз фосфатов РЗЭ на дифрактограммах косвенно свидетельствует о встраивании РЗЭ в структуру матрицы фосфата церия.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России
(соглашение о предоставлении гранта №075-15-2025-584).*

Газовая чувствительность WO_3 при модификации MnO_x и SiO_2

Веденягин Е.С., Талалаев С.А., Эшмаков Р.С.

Лаборатория ХФПСМ, кафедра неорганической химии
Химический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия
egorveden@gmail.com

Газовые сенсоры на основе полупроводниковых оксидов, таких как SnO_2 или WO_3 , являются важными устройствами для мониторинга окружающей среды и обеспечения безопасности. Для улучшения сенсорных свойств в оксиды вводят различные модификаторы. Хорошо изучено влияние катализитических MnO_x [1] и стабилизатора структуры SiO_2 [2] на свойства SnO_2 , однако в случае WO_3 их влияние исследовано недостаточно. Целью работы стало воспроизведение результата модификации SnO_2 при получении нанокомпозитов WO_3/MnO_x и WO_3/SiO_2 , а также изучение их состава, структуры и сенсорных свойств.

Немодифицированный WO_3 получали отжигом H_2WO_4 , полученной по методу золь-гель. Образцы с содержанием $[Mn]/[Mn+W] = 0.1, 0.25, 0.5, 1, 1.5$ и 10 ат. % получали путем отжига WO_3 и $Mn(C_5H_7O_2)_3$. Для введения SiO_2 в количестве $[Si]/[Si+W] = 5, 15, 25$ ат. % проводили сольватермальную обработку H_2WO_4 спиртовым золем кремниевой кислоты, полученной гидролизом $Si(OC_2H_5)_4$, затем продукт сушили и отжигали. Температура отжига всех образцов составляла $600^\circ C$. Образцы изучали методами рентгеновской дифракции, колебательной спектроскопии (ИК, КР), электронной микроскопии, низкотемпературной адсорбции азота.

Во всех синтезированных образцах WO_3 присутствует в стабильной моноклинной модификации. При модификации WO_3 оксидами марганца образуется кристаллический $MnWO_4$. Диоксид кремния в образцах присутствует в аморфном виде, причем при содержании 25 ат. % его введение приводит к снижению кристалличности WO_3 . Фаза $MnWO_4$ не оказывает значимого влияния на электрофизические и сенсорные свойства композитов, однако введение SiO_2 приводит к приросту сигнала по отношению к бензолу в сухом воздухе.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 22-73-10038-П.

[1] Eshmakov R.S., Sherstobitov A.V., Filatova D.G., Konstantinova E.A., Rumyantseva M.N. SnO_2/MnO_x composite systems as VOCs sensors: Influence of manganese chemical state and distribution on functional performances // Mater. Chem. Phys., Vol. 328, 129992.

[2] Gulevich D., Rumyantseva M.N., Marikutsa A., Shatalova T., Konstantinova E., Gerasimov E., Gaskov A. Nanocomposites SnO_2/SiO_2 : SiO_2 Impact on the Active Centers and Conductivity Mechanism // Materials, Vol. 12, No. 21, 3618.

Исследование газохроматографических параметров сорбции спиртов на сорбенте на основе 1-децил-3-метилимидазолий бромида

Выходцев А.С.^{1,2} Канатьева А.Ю.²

¹ Факультет фундаментальной физико-химической инженерии

МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

² ИНХС РАН, г. Москва, Россия

a.pushkin44@ya.ru, kanatieva@ips.ac.ru

Целью работы был расчет величины изменения энталпии и энтропии сорбции спиртов на неподвижной фазе для газовой хроматографии - сорбенте на основе 1-декил-3-метилимидазолий бромида.

Для этого методом статического нанесения из раствора диэтилового эфира была приготовлена капиллярная колонка (11 м x 0,21 мм x 0,2 мкм). Колонка была исследована в режиме газовой хроматографии и показала удовлетворительную разделяющую способность по отношению к спиртам. В качестве тестовых соединений использовали линейные спирты от гексанола-1 до деканола-1. Методом Вант-Гоффа были определены ΔH и ΔS сорбции (Табл.1).

Таблица 1. Изменение энталпии и энтропии сорбции спиртов на 1-декил-3-метилимидазолий бромиде

| Сорбат | | ΔH , кДж/моль | ΔS , Дж/моль·К |
|------------|--|-----------------------|------------------------|
| Гексанол-1 | | -6,1 | 27,5 |
| Гептанол-1 | | -23,0 | -15,1 |
| Октанол-1 | | -25,5 | -17,9 |
| Нонанол-1 | | -33,4 | -34,8 |
| Деканол-1 | | -41,6 | -52,6 |

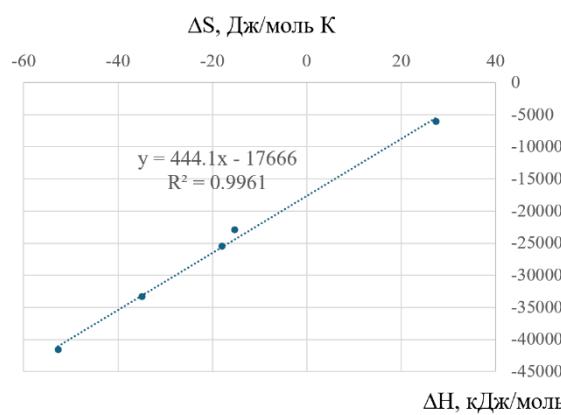


Рис. 1. Компенсационная прямая для сорбента на основе 1-декил-3-метилимидазолий бромида для гомологов спиртов.

Для гомологического ряда спиртов была рассчитана компенсационная температура (Рис.1), значение которой имеет порядок, близкий к величинам компенсационных температур спиртов на полярных полимерных неподвижных фазах.

Замещенные фталоцианинаты никеля и кобальта как компоненты гетерогенных катализаторов: синтез и свойства

Гаврилов М.И.,^{1,2} Тонкова С.С.¹

¹Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва, Россия

²Факультет фундаментальной физико-химической инженерии

МГУ имени М.В Ломоносова, Москва, Россия

Mihsa503@yandex.ru

Молекулы фталоцианинов обладают уникальным строением, а также различным спектром физико-химических свойств, чем и обусловлен их широкий диапазон практического применения. Отдельно выделяется такая область применения данных соединений как катализ, одним из необходимых условий которого является агрегативная устойчивость фталоцианинов и их высокая растворимость. Путем ковалентной и нековалентной иммобилизации макрогетероциклов на неорганические носители, например, диоксид кремния или титана, можно снизить наблюдаемые агрегационные процессы и повысить механические характеристики получаемых материалов. Такая комбинация носителя и макроцикла повышает срок эксплуатации и катализическую эффективность получаемых материалов.

Одним из наиболее эффективных методов получения замещенных фталоцианинов является темплатный синтез с использованием нитрилов в качестве предшественников. Были получены производные 4-хлор-5-(4-бензидилпiperазин-1-ил) фталонитрила – фталоцианинаты никеля и кобальта. Синтез осуществлялся методом темплатного сплавления исходного фталонитрила с соответствующей солью металла при 190°C в течение 30 минут при добавлении мочевины (рис. 1).

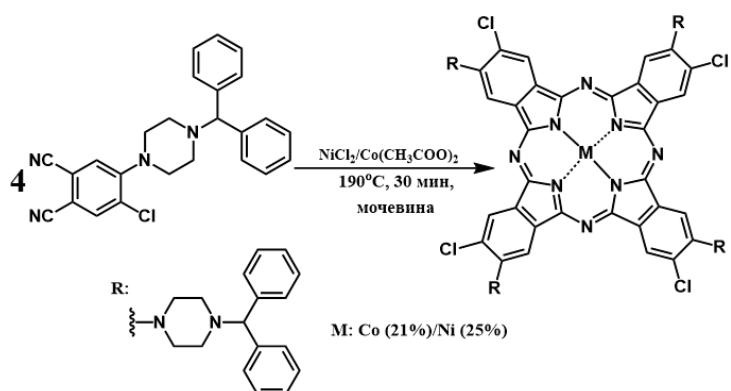


Рис. 1. Получение производных 4-хлор-5-(4-бензидилпiperазин-1-ил) фталонитрила

Для синтезированных комплексов было изучено поведение в растворах различных органических растворителей. Также проведены исследования по катализической активности на модельной реакции аэробного окисления N,N-диэтилдитиокарбамата натрия, протекающей в водно-щелочных средах при pH = 8. Выявлено, что использование в качестве катализатора фталоцианината никеля увеличивает скорость протекания реакции в 1.6 раз, а фталоцианината кобальта – в 3.8 раз.

Синтез и фотофизические свойства наночастиц SiO_2 , модифицированных производными DBMBF_2

Гордеева Е.Ю.¹, Филиппов М.В.^{3,4}, Белова А.С.^{2,4}, Ионов Д.С.⁴

Руководитель работы: Филиппов Максим Вячеславович^{2,3,4}

¹Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева. 125047, г. Москва

²Институт элементоорганических соединений имени А. Н. Несмиянова Российской академии наук. 119334, г. Москва

³Московский физико-технический институт, физтех-школа электроники, фотоники и молекулярной физики. 141701, г. Долгопрудный

⁴ Отделение Центр Фотохимии Курчатовского комплекса кристаллографии и фотоники НИЦ «Курчатовский институт». 119333, г. Москва

Дибензоилметанат дифторида бора (DBMBF_2), благодаря способности образовывать эксиплексы с ароматическими углеводородами, может найти потенциальное применение в качестве флуоресцентных хемосенсоров на БТК (бензол, толуол, ксилол) в газовой фазе [1]. Однако, незамещенный DBMBF_2 обладает рядом недостатков (например, низкая гидролитическая устойчивость), что ограничивает его применение в хемосенсорике. Ранее нами было изучено влияние заместителей различной электронной природы на гидролитическую стабильность комплексов [2], а также на их способность к образованию эксиплексов в растворе. В продолжение данной работы нами была поставлена цель: изучить возможность применения этих комплексов в качестве активного материала хемосенсора на компоненты БТК.

В настоящей работе получены функциональные производные DBMBF_2 , которые были привиты на поверхность наночастиц SiO_2 (рис. 1). Исходные наночастицы SiO_2 (200 нм) были получены по методу Штёбера путем щелочного гидролиза тетраэтоксисилана. Для модифицированных наночастиц также были изучены оптические свойства в чистом воздухе и в парах метилбензолов (бензол, толуол, пара-ксилол).

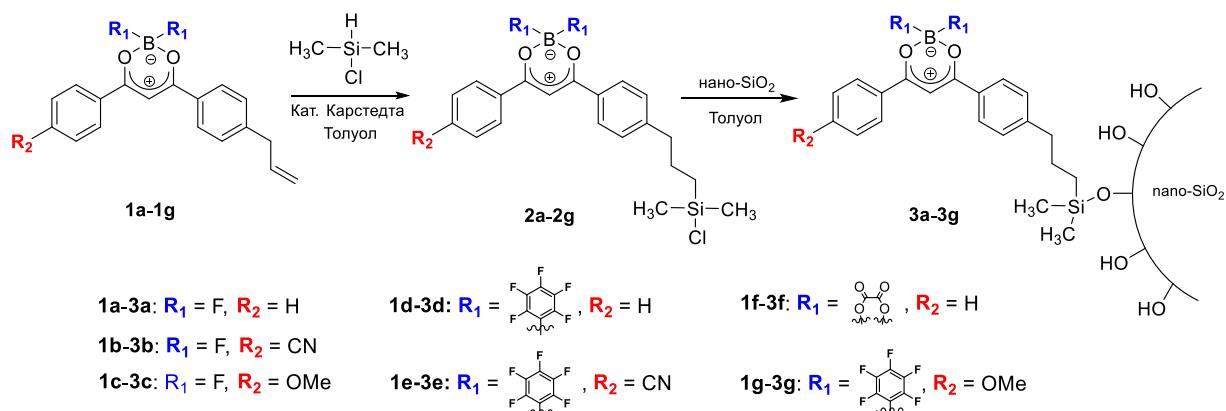


Рис. 1. Схема синтеза поверхностью-функционализированных наночастиц SiO_2 .

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 24-13-00443).

[1] Ионов Д.С. Струйная печать хемосенсорных слоев на основе поверхностью-функционализированных кремнеземных наночастиц // Российские нанотехнологии, 2017. Т.12. № 7–8. С. 13–24.

[2] Filippov M.V. Hydrolytic stability and non-radiative decay processes of dibenzoyl-methanatoboron difluoride derivatives // Journal of Molecular Liquids, 2025. V.440. P. 128949.

Влияние концентрации прекурсора ацетилацетоната цинка для AACVD синтеза на микроструктуру тонких плёнок ZnO

Губанов В.В., Мокрушин А.С., Симоненко Н.П., Симоненко Е.П.

Лаборатория физикохимии керамических материалов ИОНХ РАН
perfomanceartist@bk.ru

Хеморезистивные газовые сенсоры – такой класс устройств, концепция работы которых основана на регистрации изменения сопротивления полупроводника при обратимых реакциях с газами на его поверхности. Газовые сенсоры позволяют определять мгновенную концентрацию анализаторов, находящихся в газовой фазе, что является необходимым во многих прикладных областях таких, как медицина, бытовая безопасность и промышленность. Чувствительным элементом в таких сенсорах является полупроводниковый материал, находящийся на керамической подложке. Для нанесения полупроводника на подложку использован метод AACVD (Aerosol Assisted Chemical Vapor Deposition), который заключается в осаждении из аэрозоля на поверхность подложки из газовой фазы необходимого соединения [1]. В рамках работы было выполнено исследование и изучено влияние концентрации раствора на микроструктуру и морфологию тонких плёнок оксида цинка. [1]

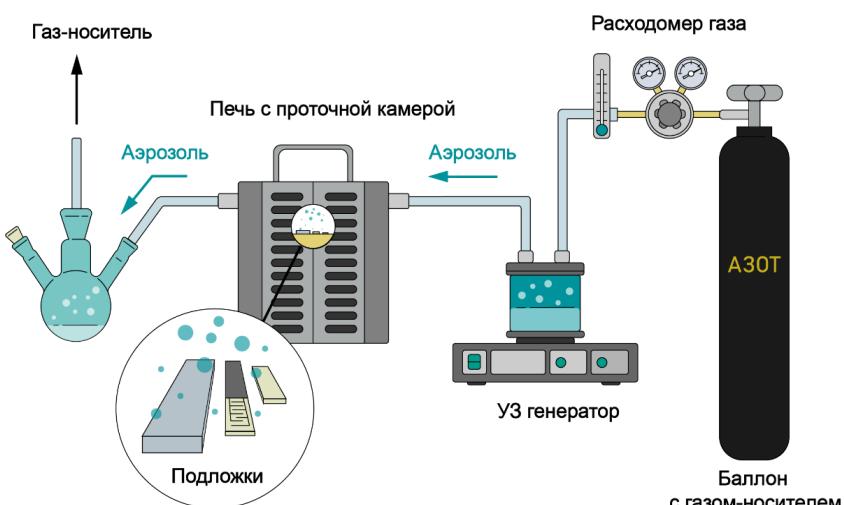


Рис.1. Схема процесса AACVD [1]

[1] Мокрушин А. С., Симоненко Е. П. Полупроводниковые металлооксидные газовые сенсоры // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал – URL: <https://bigenc.ru/c/poluprovodnikovye-metallooksidnye-gazovye-sensory-3390e2/?v=5840787>. – Дата публикации: 21.12.2022

Гидротермальный синтез высокодисперсного SnO_2 с использованием ацетата олова в качестве предшественника

*Дементьева П.Д.^{1,2}, Фисенко Н.А.¹,
Симоненко Н.П.¹, Симоненко Т.Л.¹, Симоненко Е.П.¹*

¹Лаборатория физикохимии керамических материалов, ИОНХ РАН, Москва, Россия

²Национально-исследовательский университет
«Высшая школа экономики», факультет химии, Москва, Россия
polina.dementeva3044@gmail.com

Получение токопроводящих наноматериалов является одним из важнейших направлений развития современной электроники. В связи с этим исследуется ряд различных материалов, в том числе на основе диоксида олова - одного из наиболее перспективных оксидных полупроводников n-типа, обладающих высокой электропроводностью, прозрачностью в видимом диапазоне света и термической стабильностью. Благодаря такому сочетанию характеристик материалы на основе диоксида олова находят своё применение в качестве компонента электродов суперконденсаторов, хеморезистивных газовых сенсоров, в роли прозрачных электродов в оптоэлектронных устройствах и т.д. В большинстве случаев в качестве оловосодержащего реагента для получения SnO_2 используют хлориды олова(II) и олова(IV). Основными способами синтеза диоксида олова с использованием хлоридов являются метод химического осаждения, гидротермальный и сольваттермальный синтез, а также золь-гель метод. Однако, при использовании хлорида олова в качестве предшественника для получения диоксида олова с помощью жидкофазных методов синтеза наблюдается присутствие остаточных ионов хлора в составе формируемых структур, которые зачастую вносят негативный вклад в электропроводность материала, а также ухудшают сорбционные свойства. Для удаления примеси хлорид-ионов требуется проведение длительной высокотемпературной обработки, ведущей к спеканию частиц и их укрупнению, что является нежелательным эффектом при использовании диоксида олова. Ацетат олова(II) в качестве альтернативного оловосодержащего реагента позволяет расширить спектр синтетических подходов при получении наноразмерного SnO_2 с заданными микроструктурными характеристиками. В связи с этим целью данной работы являлся гидротермальный синтез высокодисперсного SnO_2 с использованием ацетата олова в качестве предшественника, а также формирование оксидных пленок в гидротермальных условиях на поверхности металлических подложек различного состава. Для формирования наноразмерного SnO_2 на первом этапе был приготовлен раствор ацетата олова(II) и мочевины (при соотношении концентраций 1:10, соответственно) в н-бутиловом спирте, после чего полученную систему переносили в стальной автоклав с тефлоновой вставкой и подвергали термообработке при варировании концентрации ацетата олова (0.005, 0.010 и 0.025 моль/л), температурного режима (180 и 200°C) и длительности термообработки (2 и 6 часов). Далее полученные порошки были выделены, очищены и высушены при 50°C. Также в гидротермальных условиях были сформированы оксидные пленки в условиях, соответствующих условиям получения оксидных нанопорошков. Полученные материалы были изучены с применением комплекса физико-химических методов (рентгенофазовый анализ, ИК-спектроскопия, КР-спектроскопия, растровая электронная микроскопия, просвечивающая электронная микроскопия), а также проведена оценка электрохимических свойств полученных плёнок.

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

Гидротермальный синтез оксида меди(II) в виде нанокристаллических плёнок на поверхности металлических подложек

*Демидкин Д.И.^{1,2}, Симоненко Т.Л.¹, Горобцов Ф.Ю.¹,
Симоненко Н.П.¹, Симоненко Е.П.¹*

¹Лаборатория физикохимии керамических материалов ИОНХ РАН, Москва, Россия

²Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Москва, Россия
daniil.demidkin@yandex.ru

В настоящее время суперконденсаторы являются активно развивающейся и востребованной областью альтернативной энергетики. Сочетая высокую удельную мощность и скорость заряда-разряда, длительный срок эксплуатации, а также широкий диапазон рабочих температур, они особенно перспективны в сферах, где необходима высокая мощность, долговременная стабильность функциональных характеристик и безопасность. Обеспечение высоких рабочих параметров современных суперконденсаторов требует разработки эффективных электродных материалов. Перспективным кандидатом в данном контексте является оксид меди(II), характеризующийся высокой теоретической ёмкостью, электропроводностью и коммерческой доступностью. Среди различных методов получения CuO гидротермальный синтез является одним из наиболее востребованных, так как даёт возможность контролировать особенности кристаллической структуры, фазовый состав и микроструктуру (в том числе степень упорядоченности и удельную площадь поверхности) целевых продуктов, что оказывает существенное влияние на электрохимические характеристики конечного продукта. Таким образом, целью работы являлся гидротермальный синтез CuO в виде нанокристаллических плёнок на поверхности металлических подложек, а также изучение влияния условий синтеза (температура, длительность, концентрация реагентов) на кристаллическую структуру, морфологию и функциональные свойства полученных электродов. Условия получения плёнок были предварительно оптимизированы при получении нанопорошков CuO. Реакционные системы для получения целевых продуктов представляли собой растворы Cu(NO₃)₂·3H₂O (0,01-0,05 моль/л) и (NH₂)₂CO (0,1-0,5 моль/л) в смеси воды и этилового спирта (φ_{С2Н5ОН} = 20%). Температуру гидротермальной обработки изменяли в интервале 100-120°C, а её длительность регулировали в диапазоне 2-6 часов. Термическое поведение продуктов синтеза анализировали с помощью синхронного (ТГА/ДСК) термического анализа. Микроструктура образцов была изучена с помощью растровой электронной микроскопии, а их локальные электрофизические свойства исследованы в рамках атомно-силовой микроскопии. Данные рентгенофазового анализа и КР-спектроскопии свидетельствуют о преимущественном формировании гидроксокарбоната меди при повышении концентрации катионов меди в реакционных системах. Электрохимические свойства электродных плёнок были изучены методами циклической вольтамперометрии, гальваностатического заряда-разряда и импедансной спектроскопии.

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

Влияние температуры AACVD на свойства тонких плёнок ZnO для хеморезистивных газовых сенсоров

Дмитриева С.А.^{1,2}, Мокрушин А.С.², Симоненко Н.П.²,
Симоненко Е.П.²

¹ Факультет фундаментальной физико-химической инженерии МГУ имени М.В. Ломоносова

² Лаборатория физикохимии керамических материалов ИОНХ РАН

dmitrievasa-3@yandex.ru

Растущие требования к системам мониторинга газов стимулируют поиск новых решений, среди которых особое место занимают хеморезистивные газовые сенсоры на основе оксида цинка (ZnO). В контексте создания чувствительных элементов сенсоров ключевыми являются тонко- и толстоплёночные методы. Важным преимуществом технологии нанесения тонких плёнок является сокращённое количество технологических этапов, что положительно сказывается на воспроизводимость параметров готовых покрытий.

В данной работе методом AACVD были получены тонкие плёнки ZnO. Варьируемым параметром являлась температура синтеза, которую изменяли в диапазоне от 350 до 500°C с шагом 25°C.

Изучение морфологии полученных плёнок продемонстрировало зависимость среднего размера частиц от температурного режима. В частности, в диапазоне 400-450°C формируются сплошные пленки со средним размером частиц от 34±7 до 69±22 нм, тогда как при температурах 350-375°C и 475-500°C образуются пленки с островковой структурой с размером частиц 36±9 - 79±26 нм.

Для исследования хемосенсорных свойств были выбраны три образца со сплошными пленками, полученные при 400, 425 и 450°C. Измерения сенсорного отклика проводились для ряда газов-аналитов, включая CO, NH₃, H₂, CH₄, C₆H₆, этанол, ацетон и NO₂, при рабочей температуре обнаружения – 150-350°C. Плёнки продемонстрировали высокий отклик на ацетон и этанол в широком диапазоне концентраций. Была выявлена зависимость величины сенсорного отклика от шероховатости поверхности пленки - максимальная чувствительность наблюдалась для образца с наиболее развитой поверхностью. Дополнительно изучено влияние относительной влажности (RH) при детектировании ацетоном. Для всех образцов при увеличении RH наблюдается постепенное снижение сопротивления базовой линии, а также падение величины отклика.

Таким образом, в результате работы были установлены температурные режимы формирования тонких наноструктурированных плёнок ZnO и показана эффективность используемого метода AACVD для нанесения чувствительных слоёв газовых сенсоров.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН (ИОНХ РАН)

Комплексный анализ фторидных соединений, используемых в качестве сырья для получения стекол

Егорова А.А., Марьина Г.Е., Барановская В.Б.

Центр коллективного пользования физическими методами
исследования веществ и материалов, ИОНХ РАН
ana.egorova13@ya.ru

Системы на основе фторидов металлов относятся к числу наиболее перспективных классов современных неоксидных стекол. Их востребованность обусловлена наличием таких уникальных свойств, как низкая температура размягчения, малый показатель преломления, широкий диапазон пропускания в инфракрасной области, обширная вариабельность составов и др. Существенную роль играет и возможность легирования фторидных стекол ионами редкоземельных элементов в значительных концентрациях, что придает им выраженные люминесцентные свойства и выгодно отличает от других классов стекол [1]. Благодаря совокупности оптических и физико-химических свойств фторидные стекла нашли широкое применение в оптике, фотонике, сцинтилляционной технике и телекоммуникационных системах. Но несмотря на уникальные свойства, фторидным стеклам свойственны высокая чувствительность к влаге и кислороду, склонность к расстекловыванию, а также сравнительно низкая химическая и термическая стабильность [2]. Высокие требования к качеству таких материалов подчеркивают необходимость контроля состава на всех этапах получения.

В рамках работы в ЦКП ФМИ ИОНХ РАН исследована группа высокодисперсных фторидных материалов на основе Ba, Al, Na, Zr, La и Hf, используемых в качестве исходного сырья для получения стекол. Измерения проводили с использованием комплекса твердофазных методов, включающих рентгенофлуоресцентный анализ, инфракрасную спектроскопию, рентгенофазовый анализ, спектроскопию комбинационного рассеяния света и рентгеноспектральный микроанализ.

Предварительный обзорный анализ методом волновой рентгенофлуоресцентной спектрометрии с использованием модели фундаментальных параметров показал отсутствие примесей в исследуемых образцах на уровне 10^{-3} % масс. Результаты рентгенофазового анализа подтвердили соответствие образцов эталонным фазам. Качественный рентгеноспектральный микроанализ выявил присутствие кислорода и углерода во всех исследованных соединениях. По данным ИК-спектроскопии полосы поглощения гидроксильных групп не наблюдались, однако спектры комбинационного рассеяния света позволили выявить полосы в области $3200\text{--}3700\text{ cm}^{-1}$ в ряде соединений (AlF_3 , BaF_2 , HfF_4 и NaF), что свидетельствует о наличии OH-групп.

Проведенный комплексный анализ позволил охарактеризовать исходные фторидные соединения и выявить присутствие кислородсодержащих примесей, негативно влияющих на спектральные характеристики и прозрачность фторидных стекол [2]. Полученные данные свидетельствуют о важности всестороннего аналитического контроля фторидных материалов на этапах подготовки сырья и в процессе синтеза.

Работа выполнена в рамках Государственного задания по фундаментальным научным исследованиям ИОНХ РАН с использованием оборудования ЦКП ФМИ ВМ ИОНХ РАН.

- [1] Poulain M. Heavy metal fluoride glasses: A tutorial review // *APL Photonics*. 2024. 9. 091103.
- [2] Wang P., Wang X., Guo H., Zhang P., Wang S., Jia S., Farrell G., Dai S. *MidInfrared Fluoride and Chalcogenide Glasses and Fibers*. Singapore: Springer, 2022. 373 p.
- [3] Brekhovskikh M.N. et al. Influence of xenon difluoride on the optical properties of fluorozirconate and fluorohafnate glasses // *Mendeleev Communications*. 2023. 33(4), 525–527.

Гомо- и гетерометаллические комплексы трифторацетатов и трифлатов лантаноидов: синтез, особенности строения и биологические свойства

Елисеенкова В.А.^{1,2}, Уварова М.А.²

¹Российский химико-технологический институт им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия

²Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, г. Москва, Россия

eliseenkova.vera@yandex.ru

Комплексы лантаноидов, которые одновременно обладают биологической активностью и люминесцентными свойствами могут оказывать терапевтический эффект и детектировать свою локализацию в клетке [1]. Введение в комплексы лантаноидов фторированных анионов и фармокофорных фрагментов может усиливать люминесцентные свойства и обеспечивать водорастворимость, необходимую для биоиспытаний. Фенантролин и его производные обладают, не только биологической активностью, но и улучшает фотофизические характеристики комплексов лантаноидов. В свою очередь, ионы серебра обладают выраженным антибиотическим свойством.

Целью работы является разработка методик синтеза водорастворимых комплексов Eu(III) и Gd(III) с анионами трифторуксусной и трифторметансульфоновой (HOtf) кислот и различными лигандами, исследование структурного строения, устойчивости комплексов в растворах, антибактериальных свойств, цитотоксичности в отношении раковых клеток линии A549 (рак легкого) и оценка биовизуализации комплексов в клетках.

В результате обнаружено, что при взаимодействии трифторацетатов и трифлатов лантаноидов с 1,10-фенантролином и его производными образуются моноядерные биядерные и полиядерные координационные соединения. В реакции соединения трифторацетатов лантаноидов и серебра в ацетонитриле образуются ионные координационные полимеры $\{[Ln(OOCCF_3)_4][Ag(CH_3CN)_4]\}_n$. Состав и строение комплексов подтверждены методами РСА, ИК, УФ-спектроскопии. Изучено влияние лигандного окружения на антибактериальные и фотофизические свойства комплексов.

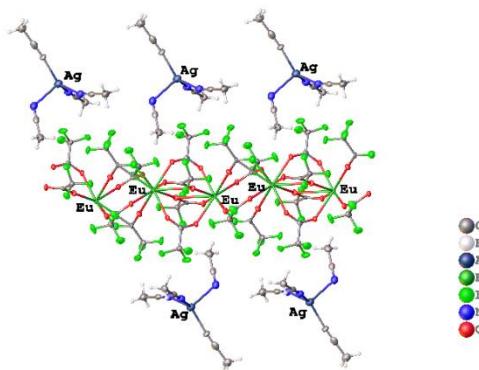


Рис.1 Строение координационного полимера $\{[Eu(OOCCF_3)_4][Ag(CH_3CN)_4]\}_n$

[1] M.A. Uvarova, M.E.Nikiforova, M.A.Shmelev Lanthanide furoate complexes as promising systems with double effects//Inorganica Chimica Acta.2024. Vol. 567.

Эволюция никельсодержащего слоистого двойного гидроксида магния-алюминия в катализе углекислотной конверсии метана

Ермаков Е.В.¹, Локтев А.С.^{1,2}, Садовников А.А.¹, Дедов А.Г.^{1,2}

¹ ИНХС РАН им. А.В. Топчиева

² РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

ermakov_ev@ips.ac.ru

Реакция углекислотной конверсии метана (УКМ) привлекает возрастающее внимание как процесс переработки парниковых газов CH_4 и CO_2 с получением синтез-газа состава CO:H_2 1:1, подходящего для синтеза Фишера-Тропша и получения диметилового эфира [1]. В работе в качестве катализатора УКМ использован материал на основе гидроталькитоподобного Ni-содержащего слоистого двойного гидроксида Mg и Al, прокалённого при 900°C. Исходный материал характеризовался наличием слоистой гидроталькитоподобной структуры (рис. 1), удельной площадью поверхности 148 $\text{m}^2/\text{г}$ и по данным РФА содержал фазы твёрдого раствора NiO-MgO и алюмомагниевой шпинели. Катализатор на протяжении 42 ч показывал выходы CO и H_2 около 90%.

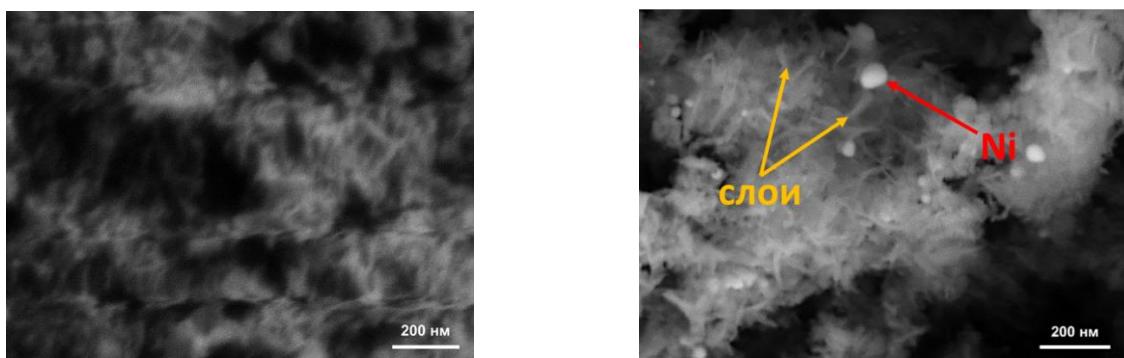


Рис. 1. РЭМ-микрофотографии свежеприготовленного и отработанного катализатора

На РЭМ-микрофотографии отработанного катализатора наблюдается сохранение слоистой гидроталькитоподобной структуры и образование наночастиц металлического Ni. На дифрактограмме отработанного катализатора присутствуют рефлексы твёрдого раствора со структурой MgO периклаза, сложных оксидов Mg, Al и Ni, и металлического Ni, и ресинтезированного алюмомагниевого гидроталькита. Удельная площадь поверхности снизилась до 84 $\text{m}^2/\text{г}$. По данным ТГА отработанного катализатора количество углеродных отложений составило менее 2% мас., которые по данным КР-спектроскопии содержали аморфный углерод, многослойный графен и графит. Полученные результаты характеризуют материал как стабильный и эффективный катализатор УКМ.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда
РНФ грант 23-13-00098*

[1] Alhassan A.M. et. al. Advances in catalytic dry reforming of methane (DRM): Emerging trends, current challenges, and future perspectives. — Journal of Cleaner Production, V. 423, 138638, 2023.

Влияние молекулярных форм йода на фотолюминесценцию дииодида европия в тетрагидрофуране

Ермолаева О.В., Василюк К.С., Якупова С.М., Галимов Д.И.

Лаборатория химии высоких энергий и катализа ИНК УФИЦ РАН, Уфа, Россия
mamaaprapaw@mail.ru

Соединения двухвалентного европия благодаря способности к яркой фотолюминесценции (ФЛ) широко применяются в качестве люминофоров в люминесцентных материалах [1]. Ключевым прекурсором для синтеза таких материалов является дииодид европия EuI_2 . Несмотря на интенсивную люминесценцию в твёрдом состоянии [2], ФЛ EuI_2 в растворе тетрагидрофурана (ТГФ) не регистрируется [3]. Установлено, что отсутствие ФЛ обусловлено присутствием в коммерческом образце EuI_2 примесей молекулярного йода (до 0,63 мол. %). При растворении EuI_2 в ТГФ также наблюдается образование I_3^- по реакции $\text{I}_2 + \text{I}^- \rightleftharpoons \text{I}_3^-$. Трииодид-анион характеризуется сильным поглощением: $22\,005 \text{ M}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ при 295 нм и $12\,869 \text{ M}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ при 366 нм, что приводит к проявлению эффекта внутреннего фильтра и полному тушению ФЛ Eu^{2+} . Добавление в раствор сильных восстановителей, в частности металлического европия Eu^0 , приводит к поэтапному восстановлению I_3^- до I^- (поглощение при 234 нм), а также появлению характерных для иона Eu^{2+} полос поглощения при 263, 356 нм и интенсивной ФЛ при 448 нм. Предложенный подход, основанный на восстановлении йодсодержащих примесей, позволяет избежать фундаментальных ошибок при интерпретации спектров EuI_2 в органических растворителях (см. [3]) и обеспечить воспроизводимый синтез чистых люминофоров на его основе.

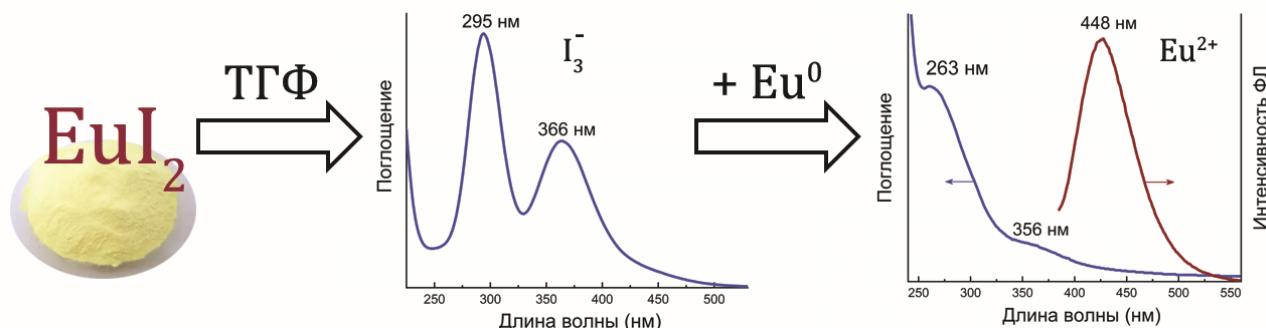


Рис. 1. Спектры поглощения и ФЛ раствора EuI_2 (10^{-3} M) в ТГФ до и после взаимодействия с Eu^0 . $l = 0.1 \text{ см}$.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИНК УФИЦ РАН (№ FMRS-2025-0025).

- [1] Lewandowski E.C., Arban C.B., Deal M.P., Batchev A.L., Allen M.J. Europium(II/III) coordination chemistry toward applications // *Chem. Comm.*, 2024, 60, 10655-10671.
[2] Galimov D.I.; Bulgakov R.G., The first example of fluorescence of the solid individual compounds of Eu^{2+} ion: EuCl_2 , EuI_2 , EuBr_2 // *Lumin.*, 2019, 34 (1), 127-129.
[3] Galimov D.I., Yakupova S.M., Vasilyuk K.S., Bulgakov R.G., Influence of the nature of the halide and triiodide anion on absorption and photoluminescence spectra of EuX_2 ($\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$) solutions in tetrahydrofuran // *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, 2024, 451, 115489.

Синтез и сравнение люминисцентных свойств различных сульфозамещенных производных фталоцианинов цинка

Жидоморова А.Н.

Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия
annazhidomorova@mail.ru

Для изучения фотосенсибилизации в настоящей работе использовали сульфозамещенные фталоцианины цинка, содержащие диметилфенилфеноксильные группы (рис1).

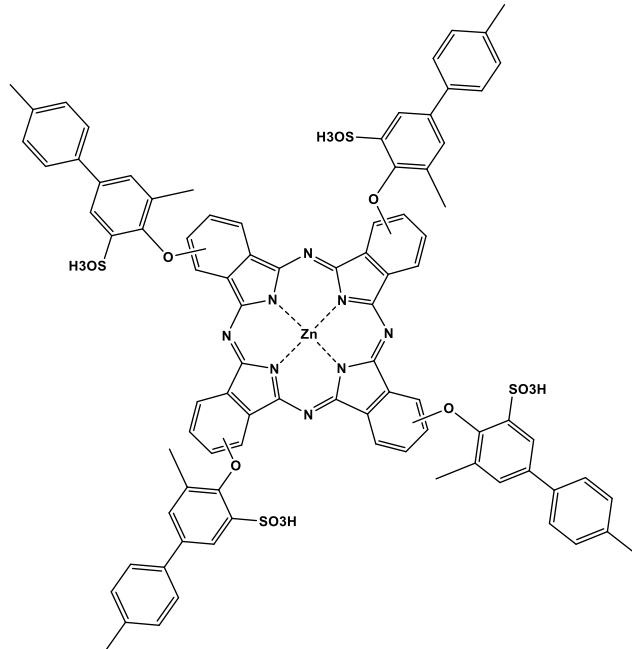


Рис. 1. Структура сульфозамещенных фталоцианинов цинка, содержащих диметилфенилфеноксильные группы

Для сульфированных комплексов получены электронные спектры поглощения в аммиаке, воде и ДМСО.

Для несульфированных комплексов были изучены спектрально-люминесцентные свойства в растворителях разной полярности (ДМФА, ТГФ, толуол, хлороформ).

Показано влияние местоположения заместителя на спектральные и люминесцентные свойства.

Работа выполнена с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ФГБОУ ВО «ИГХТУ».

1-Д координационный полимер диазаадамантана с кластерами Cu_4I_4

Запесоцкий М.Я.¹, Шестимерова Т.А.¹,
Дун Шичжсань¹, Субботин Я.А.²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
химический факультет, Москва, Россия

²Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
факультет наук о материалах, Москва, Россия
mikhail.zapesotskii@chemistry.msu.ru

Гибридные материалы на основе галогенидов меди (I), перспективной областью применения которых является использование их в качестве материалов для сцинтиляционных детекторов и экранов способных фиксировать ультрафиолетовое и рентгеновское излучение. Отличительной особенностью кластеров на основе галогенидов меди является то, что они обладают структурной гибкостью и могут кристаллизоваться в различных геометриях, в зависимости от условий синтеза и структуры органической составляющей. Наиболее ярким и новым примером такого соединения является $(\text{Cu}_6\text{I}_6)(\text{HTMA})_2$ йодокупрат гексаметилентетрамина (HTMA), обладающий световым выходом 63,500 фотон/МэВ и пространственным разрешением до 18 л.п./мм (пар линий/мм) [1].

В данной работе получен новый координационный полимер состава $[\text{Cu}_4\text{I}_4](\text{A})_2$ (A – 1,5-диметил-3,7-диазаадамантан) и изучены его свойства. Данное соединение было получено из водных растворов в виде белого осадка. Методом разделения слоев были получены кристаллы данного соединения, и по данным рентгеноструктурного анализа установлена структура. Соединение кристаллизуется в пространственной группе $\text{C}2/\text{c}$ с параметрами элементарной ячейки $a = 26.9976(17)$ Å, $b = 13.7560(10)$ Å, $c = 16.4141(17)$ Å, $\beta = 90.159(3)$ °, $R = 5.83$ %, $\text{GOF} = 1.025$. В структуре соединения присутствуют кластеры $[\text{Cu}_4\text{I}_4]$, имеющие форму искаженного куба, причем каждый атом меди координирует один атом азота органического фрагмента, формируя цепи вдоль диагоналей плоскости ab .

Исследования фотолюминесцентных свойств вещества показали, наличие широкой полосы испускания с максимумом 585 нм при возбуждении излучением с длинной волны 365 нм, а при возбуждении рентгеновским излучением, полоса сдвигается до 610 нм.

На основе полученного вещества были сделаны сцинтиляционные экраны, проанализировав которые был измерен световой выход 10,758 ф/МэВ и пространственное разрешение 5.3 п.л./мм при толщине пластиинки 50 мкм.

Работа поддержана государственной программой #AAAA-A21-121011590082-2

[1] S. A. Fateev, A. D. Riabova, D. E. Belikova, A. V. Orlova, E. A. Goodilin, A. B. Tarasov ACS Materials Lett. 2025, 7, 2406–2412

Металл-органический каркас ZIF-67 как основа для лекарственных форм иммуномодуляторов нового поколения

Зарубин А.А.^{1,2}, Кочкина Н.Е.¹, Бутикова О.А.^{1,3},
Делягина Е.В.^{1,2}, Терехова И.В.¹

¹ Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, Иваново, Россия

² Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия

³ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет», Иваново, Россия

antonnn.zzarubin2203@mail.ru

Финголимод, терифлуномид и лаквинимод – лекарственные препараты нового поколения, одобренные для лечения рассеянного склероза. Однако их применение отчасти ограничивается низким уровнем растворимости, стабильности и биодоступности, что обуславливает необходимость создания усовершенствованных систем доставки.

Перспективным решением указанных проблем является использование в качестве носителей лекарственных веществ металл-органических каркасов (MOF) с высокой удельной площадью поверхности и способностью к таргетной доставке препаратов, иммобилизируемых в их поры. В рамках данной работы были синтезированы и изучены композиты на основе цеолитоподобного ZIF-67, загруженного вышеизложенными препаратами.

Исследован процесс получения композитов методом сорбции из раствора. Сорбция терифлуномида и лаквиномода на ZIF-67 не наблюдалась, в то время как степень загрузки каркаса финголимодом составляла 100 %. Кинетика процесса сорбции финголимода наиболее точно описывается моделью псевдо-первого порядка, а изотермы сорбции – моделью Темкина. Анализ композита ZIF-67/финголимод методом РФА показал сохранение кристаллической структуры ZIF-67 после иммобилизации препарата. Наличие слабоинтенсивных пиков, характерных для финголимода, позволяет предположить его частичную кристаллизацию в порах каркаса. Результаты ИК-спектроскопии свидетельствуют о наличии водородных связей между молекулами финголимода и ZIF-67, возможной координации аминогрупп препарата с ионами кобальта и π - π -стэкинг ароматических фрагментов каркаса и лекарства.

Исследование высвобождения финголимода в солянокислом буферном растворе (pH=1.6), моделирующем желудочную среду, продемонстрировало быстрый выход 75% препарата в течение первых 20 минут, после чего система достигает равновесия между процессами десорбции и сорбции. Количество лекарства, высвободившегося в среде FaSSIF (pH 6.5) – биорелевантной среде, моделирующей кишечный сок, было существенно выше по сравнению с высвобождением в стандартном фосфатном буферном растворе (pH=6.8). Установлено, что в FaSSIF происходит постепенное разрушение каркасной структуры ZIF-67 и высвобождение финголимода в течение 5 часов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда
(проект № 24-73-10085)*

Матрицы люминофоров в системах NaF-LnF_3 для создания стоксовых и антистоксовых люминофоров

Захарова А.С.^{1,2,3}, Петрова Л.А.^{2,4}, Александров А.А.^{1,2}, Кузнецов С.В.²,
Баранчиков А.Е.¹, Иванов В.К.¹

¹ Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова
Российской академии наук, Москва, Россия

² Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, Москва, Россия

³ Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия

⁴МИРЭА — Российский технологический университет (Институт тонких химических
технологий им. М.В. Ломоносова), Москва, Россия

alexandrov1996@yandex.ru

Люминофоры на основе матриц NaF-LnF_3 , где Ln = редкоземельный элемент (РЗЭ) широко применяются в фотонике. С их помощью создают чувствительные к температуре и давлению датчики, детекторы различных молекул и pH-сенсоры [1]. Самой распространённой матрицей для создания люминофоров является фаза NaLnF_4 ($\text{Ln} = \text{Y, Gd}$), обладающая двумя полиморфными модификациями: низкотемпературной кубической $\alpha\text{-NaLnF}_4$ и высокотемпературной гексагональной $\beta\text{-NaLnF}_4$. Выбор ионов Y^{3+} и Gd^{3+} обусловлен отсутствием собственных f-f электронных переходов при возбуждении люминесценции в инфракрасной области спектра. На данный момент разработано большое количество подходов к получению данных матриц. Однако, большинство методов сталкивается с распространённой проблемой при синтезе неорганических фторидов — проблемой пирогидролиза, который приводит к ухудшению спектрально-оптических характеристик люминофоров. Для нивелирования реакции гидролиза наиболее подходящим является синтез фторидов в среде расплава нитрата натрия [1].

Целью настоящей работы являлся синтез однофазных матриц в системах NaF-LnF_3 методом кристаллизации из раствора в расплаве нитрата натрия и демонстрация возможности получения на их основе стоксовых и антистоксовых люминофоров. Были получены порошкообразные образцы $\beta\text{-NaYF}_4$ и $\beta\text{-NaGdF}_4$ с гексагональной кристаллической структурой. Состав, структура и морфология были подтверждены методами порошковой рентгеновской дифракции, рентгеноспектрального микроанализа и растровой электронной микроскопией. В результате были синтезированы люминофоры на основе матриц NaGdF_4 и NaYF_4 .

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России
(соглашение о предоставлении гранта №075-15-2025-584).*

[1] Zheng B., Fan J., Chen B., Qin X., Wang J., Wang F., Deng R., Liu X. Chemical Reviews. 2022. 122, 6, 5519-5603. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.1c00644>

[2] Fedorov P., Mayakova M., Alexandrov A., Voronov V., Kuznetsov S., Baranchikov A., Ivanov V. Inorganics 2018, 6, 38. <https://doi.org/10.3390/inorganics6020038>

Синтез высокодисперсного VO_2 , допированного вольфрамом, с применением бутоксиацетилацетоната ванадила

Зубарев А.Э., Горобцов Ф.Ю., Симоненко Т.Л.,
Симоненко Н.П., Симоненко Е.П.

Лаборатория физикохимии керамических материалов, ИОНХ РАН
anton.zubarev.05@mail.ru

Материалы, состоящие из высокодисперсных компонентов, вызывают значительный интерес у исследователей. Это связано с их высокой удельной площадью поверхности, повышенной активностью и улучшением связанных с данными факторами функциональными свойствами. В частности, такое улучшение наблюдается при использовании подобных материалов в качестве электродов суперконденсаторов. VO_2 , в том числе допированный вольфрамом, за счет своей электрохимической активности и слоистой структуры перспективен для использования в псевдоемкостных суперконденсаторах. Золь-гель синтез с использованием аллоксоацетилацетонатов металлов в качестве предшественников представляет большой интерес при получении высокодисперсных материалов благодаря возможности влиять на структуру и свойства продукта за счет изменения доли аллоксильных фрагментов в координационной сфере предшественников [1,2]. Таким образом, целью работы являлось изучение процесса синтеза VO_2 , в т.ч. допированного вольфрамом, золь-гель методом с использованием бутоксиацетилацетонатных предшественников с различной долей аллоксильных групп в составе.

На первом этапе был изучен процесс синтеза бутоксиацетилацетонатов ванадила с различным содержанием аллоксильных групп в составе комплекса. Затем, после добавления к растворам полученных гетеролигандных комплексов бутоксида вольфрама(VI), с помощью ротационной вискозиметрии были изучены процессы гидролиза и поликонденсации данных координационных соединений. Сформировавшиеся в итоге дисперсные системы были подвергнуты сольвотермальной обработке, после чего полученные оксидные порошки были изучены методами РЭМ, ПЭМ, ИК-спектроскопии, РФА, и показано влияние доли бутоксильных групп на структуру продуктов синтеза.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-73-01249,
<https://rscf.ru/project/23-73-01249/>.*

- [1] Gorobtsov P.Y., Fisenko N.A., Solovey V.R., Simonenko N.P., Simonenko E.P., Volkov I.A., Sevastyanov V.G., Kuznetsov N.T. “Microstructure and local electrophysical properties of sol-gel derived $(\text{In}_2\text{O}_3\text{-}10\%\text{SnO}_2)/\text{V}_2\text{O}_5$ films”, Colloids and Interface Science Communications, 2021, V. 43, p. 100452, DOI:10.1016/j.colcom.2021.100452;
- [2] Gorobtsov P.Y., Mokrushin A.S., Simonenko T.L., Simonenko N.P., Simonenko E.P., Kuznetsov N.T. “Microextrusion Printing of Hierarchically Structured Thick V_2O_5 Film with Independent from Humidity Sensing Response to Benzene”, Materials, 2022, V. 15, № 21, p. 7837, DOI: 10.3390/ma15217837.

Сорбционные свойства титаносиликатов фармакисидеритового типа в присутствии конкурирующих ионов

Иванов Г.К.

НИЛ адсорбции и катализа химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова
grigorii.ivanov@chemistry.msu.ru

Титаносиликаты являются перспективным материалом для утилизации и захоронения радионуклидов, содержащихся в сточных водах атомных электростанций. Радиационная устойчивость, возможность перевода в инертную форму и образование структур с различным размером ионных позиций вызывают интерес к этим веществам.

В данной работе были получены титаносиликаты фармакосидеритового типа с общей формулой $H_{4-y}K_y[Ti_4(O, OH)_4(SiO_4)_3] \cdot nH_2O$. Синтез проводили в гидротермальных условиях при 200 °C, из смеси, оптимальный состав которой был установлен ранее. Для исследования образцов применяли следующие физико-химические методы: низкотемпературную сорбцию азота, рентгенофазовый анализ (РФА), рентгенофлуоресцентный анализ (РФЛА) и термогравиметрический анализ (ТГА).

Максимальную статическую ёмкость определяли в растворе 0,20 M Cs⁺ при соотношении ж:т = 100 мл/г. Сорбцию из разбавленных растворов изучали в системе на основе 0,0075 M Cs⁺, содержащей до десяти мешающих элементов (в том числе редкоземельных), которая моделирует реальный раствор. В эксперименте соотношение ж:т подбирали таким образом, чтобы количество сорбента превышало необходимое для полного поглощения (расчитанное исходя из его максимальной ёмкости) в 1,5 раза. Чтобы смоделировать высокое содержание нитратов в модельном растворе, использовали HNO₃ (3 M), либо NaNO₃ (1 M). Время сорбционного эксперимента варьировали от 1 до 48 часов. Все измерения проводили в статических условиях при комнатной температуре.

Максимальная ёмкость по отношению к Cs⁺ оказалась сопоставимой с литературными данными [1]. В случае же модельных растворов сорбция оказалась селективной, т.е. не наблюдалось сорбции остальных элементов. Однако в случае кислого раствора сорбент поглотил лишь 20% присутствующего Cs⁺. По всей видимости вместе с Cs⁺ ионные позиции занимает и H₃O⁺, поскольку после сорбции в образце отсутствуют ионы K⁺, которые были введены изначально при синтезе.

Исследования элементного состава, фазового состава и морфологии образцов выполнены с использованием оборудования, приобретенного за счёт средств национального проекта «Наука и университеты».

[1] Кривовичев С.В., Николаев А.И., Яковенчук В.Н., Покровский Ю.Г., Чурилов Л.П., Марарица В.Ф., Демидов Ю.Т. // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». 2019. Т. 11. №. 4. С. 161-170.

Комплексы аренрутений хлорида с производными пиразола

Иванцов А.И.^{1,2}, Шаповалов С.С.^{1,2}

¹Лаборатория химии обменных кластеров ИОНХ РАН

²НИУ ВШЭ, Москва, Россия

aiivantsov@edu.hse.ru

Стремительное развитие координационной химии рутения способствует активному поиску применения этих соединений в гомогенном катализе [1] и медицине [2]. Димерные комплексы $[\text{RuCl}_2(\eta^6\text{-arene})]_2$ показали высокую активность в каталитическом гидрировании ароматических кетонов в присутствии изопропанола [3].

Активно изучается класс полуседвичевых соединений аренрутения(II), содержащих обеспечивающий хорошую растворимость лиганд 1,3,5-триаза-7-фосфоадамантан (РТА) и называемых RAPTA [4]. Наиболее эффективный из них, RAPTA-C, по результатам клинических исследований *in vivo* показал хорошую противораковую активность даже при действии на первичные опухоли.

В данной работе был получен ряд комплексов парацименирутений(II) хлорида с гидразинами и гидразидами на основе замещённых пиразолов для их дальнейшего изучения. Соединения такого типа могут проявлять высокую цитотоксичность и обладать антипролиферативными свойствами.

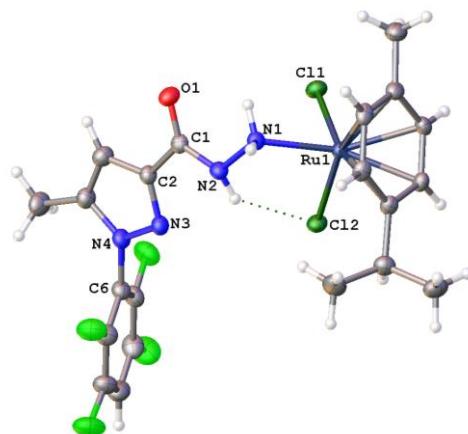


Рис.1. Структура одного из полученных комплексов

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания ИОНХ РАН (Номер государственной регистрации: 1021071612853-1-1.4.2).

- [1] Arockiam, P. B., Bruneau, C., Dixneuf, P. H. Ruthenium(II)-catalyzed C–H bond activation and functionalization. // *Chem. Rev.* **2012**. 112, 5879–5918.
- [2] Lin, K. et al. Applications of ruthenium complex in tumor diagnosis and therapy. // *Frontiers in Pharmacology*. **2018**. 9, 1323.
- [3] Yiğit, B. et al. Synthesis of ruthenium(II) N-heterocyclic carbene complexes and their catalytic activities in transfer hydrogenation of ketones. // *Transition Metal Chemistry*. **2012**. 37, 297–302.
- [4] Dyson P. J. Systematic design of a targeted organometallic antitumour drug in pre-clinical development.

Исследование комплексов Ni с аминокислотами и их 4f-металлакриптов методами ИК-спектроскопии

Карманов А.Д.^{1,3}, Новикова Е.А.²,
Соловьев И.П.^{1,3}, Торопов И.А.^{1,3}, Саварец А.Р.³

¹ РХТУ имени Д.И. Менделеева, ВХК РАН, Москва, Россия

² МГУ имени М.В. Ломоносова, химический факультет, Москва, Россия

³ ИОХ РАН имени Н.Д. Зелинского, Москва, Россия

240223@muctr.ru

В представленной работе синтезированы и исследованы комплексы Ni (II) с разнообразным гидратным составом с различными аминокислотами (L-Ile, L-Val, L-Leu, L-Gly) и их металлакриптов [LaNi₆(AA)₁₂](ClO₄)₃ (AA – аминокислота), осуществлено детальное отнесение полос поглощения их ИК-спектров на основании изотопного замещения и DFT расчётов. В комплексах NiAA₂·2H₂O обнаружено значительное участие карбоксильной группы в межмолекулярных связях. В безводном NiGly₂ выявлено значительное большее расщепление $\Delta(\text{COO}^-)$ по сравнению с дигидратом, а также повышенная ковалентность связи Ni-O, что связано с мостиковой координацией атома O1 карбоксильной группы. Напротив, в комплексах NiAA₂ (AA = Ile, Val) ковалентность связи Ni-O уменьшается, октаэдрическое окружение Ni достигается за счет мостиковой координации атома O2 карбоксильной группы. В ИК спектрах комплексов [LaNi₆(AA)₁₂](ClO₄)₃ обнаружено расщепление полосы $\nu_{as}(\text{COO}^-)$, вызванное множественными колебаниями карбоксильных групп и их частичным погасанием [1].

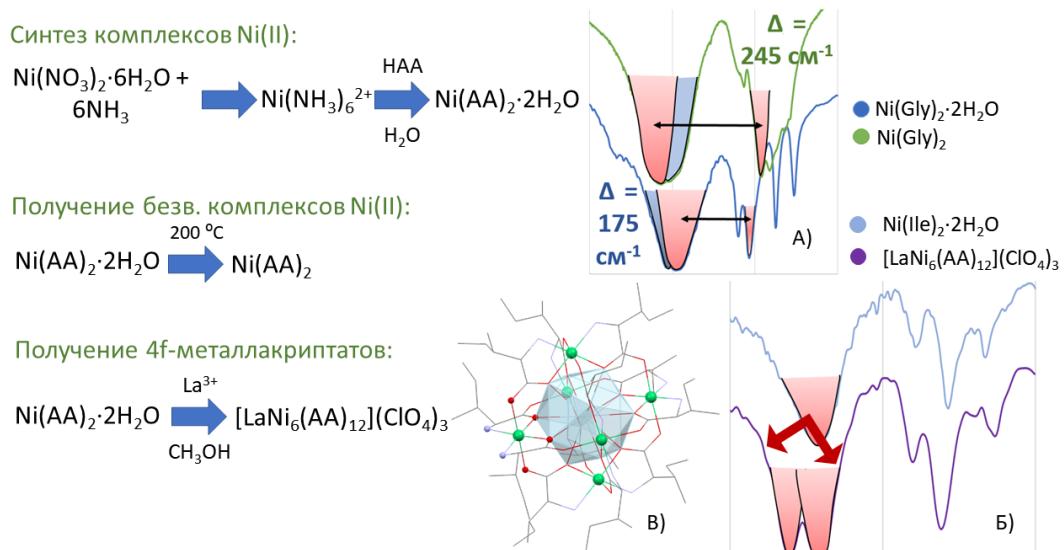


Рис. 1. Схема представленных синтетических процедур. А) Увеличение $\Delta(\text{COO}^-)$ после дегидратации $\text{Ni}(\text{Gly})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ Б) Расщепление $\nu_{as}(\text{COO}^-)$ в ИК-спектре $[\text{LaNi}_6(\text{AA})_{12}](\text{ClO}_4)_3$ Б) Структура металлакрипта $[\text{LaNi}_6(\text{AA})_{12}]^{3+}$

[1] Savarets A. R., Maximova A. D., Dolotov R. A., D'yakonov V. A., Dolzhenko V. D. //Journal of Molecular Structure, 2025, V. 1351, P. 144164.

Синтез и характеристика нового биядерного комплекса рутения как ключевого компонента для рутениевых электролитов нового поколения

Католикова А.С., Крайнева О.Д., Ерзунов Д.А., Ващурин А.С.

Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва, Россия
katolikova17@mail.ru

Рутений, как один из металлов платиновой группы, является материалом для современных технологий, включая катализ, электронику и производство устойчивых анодов [1]. Его высокая стоимость и ограниченность природных запасов делают актуальной задачу до извлечения металлов из вторичных источников. Особый интерес представляют стабильные μ -азотсодержащие биядерные комплексы рутения, которые сами по себе являются ценными продуктами [2]. Их выделение затруднено сложным компонентным составом растворов и присутствием органических примесей. Высокая стоимость и востребованность металлов платиновой группы определяют актуальность разработки методов выделения рутений содержащих соединений из отработанных электролитов.

В качестве объекта исследования был выбран рутениевый электролит. Такой подход на начальном этапе позволяет избежать влияния многочисленных примесей, характерных для реального отработанного сырья, и отработать ключевые стадии процесса.

Основные реакции синтеза исследуемого комплекса

- 1) $\text{RuCl}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_2\text{SO}_3\text{H} \rightarrow [\text{Ru}_2\text{N}(\text{H}_2\text{O})_2\text{Cl}_8](\text{NH}_4)_2 + \text{RuCl}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$
- 2) $[\text{Ru}_2\text{N}(\text{H}_2\text{O})_2\text{Cl}_8](\text{NH}_4)_2 + 2\text{KCl} \rightarrow \text{K}_2[\text{Ru}_2\text{N}(\text{H}_2\text{O})_2\text{Cl}_8] + 2\text{NH}_4\text{Cl}$
- 3) $\text{K}_2[\text{Ru}_2\text{N}(\text{H}_2\text{O})_2\text{Cl}_8] + \text{KCl} \rightarrow \text{K}_3[\text{Ru}_2\text{N}(\text{H}_2\text{O})_2\text{Cl}_8] + \text{H}_2\text{O}$

Для структурной идентификации применялись методы рентгеноструктурного анализа (РСА) и рентгенофазового анализа (РФА). Наличие дифрактограммы позволяет подтвердить предложенную структуру.

Полученные результаты демонстрируют возможность эффективного выделения рутений содержащих комплексов из электролитных систем и создают основу для разработки технологического подхода к извлечению металлов платиновой группы из отработанного сырья. Продолжается работа по уточнению структуры, оптимизации методов выделения и расширению исследований на реальные отработанные электролиты с более сложным матричным составом.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России
(соглашение о предоставлении гранта № 075-15-2025-584)*

[1] Золотов Ю.А., Варшал Г.М., Иванов В.М. Аналитическая химия металлов платиновой группы. — М.: Изд. ЛКИ, 2005. — 592 с.

[2] № CN107021464B. A kind of method of the synthetic method and electronic component surface plating ruthenium of [μ -nitrogen-is bis- (hydration of tetrachloro one ruthenium)) acid potassium. China. 2019.

Эволюция частиц TiC в технически чистом титане под воздействием ультракоротких лазерных импульсов

*Киселев Е.В., Неласов И.В., Манохин С.С.,
Максименко В.Н., Колобов Ю.Р.*

ФИЦ ПХФ и МХ РАН, г. Черноголовка

Модификация приповерхностных слоев титана с использованием импульсной лазерной обработки, создающей в тонком слое высокие давления (вплоть до 1 ТПа) и скорости деформации, приводят к существенному упрочнению за счет образования в нем частиц карбидов титана. Исследование фазовых переходов в технически чистом титане в указанных условиях представляет не только научный, но практический интерес, поскольку является основой для оптимизации режимов лазерной обработки с целью формирования заранее заданных свойств поверхности и приповерхностных слоев рассматриваемого материала.

В приповерхностном слое технически чистого титана, в областях воздействия лазерными импульсами фемтосекундной длительности, были идентифицированы игольчатые частицы карбида титана (TiC) размером порядка 500 нм, которые не наблюдались и за пределами зоны лазерного воздействия и после обработки импульсами наносекундной длительности [1, 2]. Максимальные значения давления достигаемого при фемтосекундной лазерной обработке, предполагают его ключевую роль в формировании карбидов.

Расчёты методом теории функционала электронной плотности с использованием программы ABINIT, показали, что в диапазоне давлений 20-130 ГПа твёрдый раствор углерода в титане становится энергетически более выгодным по сравнению с фазой карбида титана. Это указывает на инициацию процесса распада наноразмерных частиц карбида титана (размером порядка 20 нм) [3] с последующим переходом углерода в твердый раствор. Последующее диффузионное перераспределение атомов углерода, к дефектам кристаллической решетки, таким как дислокации и границы зерен, будет приводить к сегрегации атомов углерода на данных структурных элементах. После релаксации давления, происходит формирование наблюдаемых в эксперименте укрупненных частиц карбидов (размером порядка 500 нм), локализованных на дефектах кристаллической структуры деформационной природы.

Полученные результаты открывают перспективы для управления выделением карбидных включений, повышению поверхностной твёрдости и износостойкости титановых изделий при импульсной лазерной обработке.

*Исследования выполнены в рамках государственного задания FFSG-2024-0018
(номер государственной регистрации 124020700089-3).*

- [1] S.S. Manokhin, et al., Investigation of the mechanism of polymorphic transformation in titanium under the influence of a femtosecond laser pulse, Technical Physics Letters. – 2025. – V. 51. – P. 28–31.
- [2] Kolobov Y. R., Manokhin S. S., Betekhtin V. I., Kadomtsev A. G., Narykova M. V., Odintsova G. V., Khramov G. V.. Investigation of the Effect of Nanosecond Laser Pulses Processing on the Microstructure and Fatigue Resistance of Commercially Pure Titanium // Technical Physics Letters. – 2023. – V. 49. – № S4. – P. 368–371.
- [2] M.B. Ivanov, S.S. Manokhin, D.A. Nechaenko, Yu.R. Kolobov, Features of the crystal structure of disperse carbides in alpha titanium, Russian Physics Journal. – 2011. – V. 54. – № 7. – P. 749–755.

Взаимодействие триметилацетата кобальта с редокс – активным лигандом дииминового ряда

Климакин Я.С.^{1,2}, Ямбулатов Д.С.¹, Кискин М.А.¹

¹Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, 119991, г. Москва,

²Российский химико – технологический университет им. Д.И. Менделеева, 125047, г. Москва,

Взаимодействие пивалата кобальта(II) с редокс-активным лигандом дииминового ряда (Mes-DAD) в среде безводного ацетонитрила в условиях инертной среды привело к образованию игольчатых кристаллов коричнево – фиолетового цвета. Рентгеноструктурный анализ продукта указывает на образование биядерного комплекса с лигандом, координированным хелатно (рисунок 1, слева), в отличие от ранее полученных аналогичных комплексов меди, где лиганд выполняет функцию мостика. Рентгенофазовый анализ указывает на отсутствие кристаллических примесей и устойчивость продукта к влаге и кислороду воздуха.

Достигнутый результат может быть использован в дальнейших синтезах координационных соединений с редокс – активными азотсодержащими лигандами, поскольку их способность обратимо присоединять электроны [1] открывает широкие возможности для синтеза новых соединений, активно применяющихся в различных областях науки, в частности, исследовании магнитных и катализитических свойств [2].

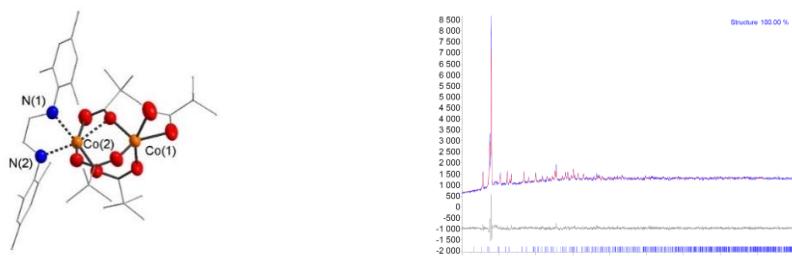


Рис. 1. Слева – строение комплексного соединения кобальта (II) с редокс – активными лигандом дииминового ряда Mes- DAD, справа – данные РФА образца соединения.

В настоящей работе описываются условия синтеза новых координационных соединений кобальта с дииминами. Некоторые свойства и особенности протекания химической реакции будут изложены в рамках доклада. Также будут обсуждены результаты взаимодействия триметилацетатов кобальта и лития с дииминовыми и моноиминовыми редокс-активными лигандами.

- [1] Казаков Г.Г., Дружков Н.О., Черкасов В.К. N-гетероаналоги 9,10-фенантренхинона – иминохиноны и диимины в координационной химии // Координационная химия. – 2020. – Т. 46, № 3. – С. 157–171.
[2] Ямбулатов Д.С., Воронина Ю.К., Николаевский С.А., Поддельский А.И., Кискин М.А., Еременко И.Л. Синтез и строение тетраядерных гетерометаллических карбоксилатов железа (II) – лития, стабилизованных N-донорными лигандами // Координационная химия. – 2023. – Т. 49, № 8. – С. 466–473.

Синтез и исследование водородсорбционных свойств многокомпонентных сплавов на основе редкоземельных элементов

Кром П.А., Вербецкий В.Н.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, химический факультет
pavelakrot@gmail.com

Высокоэнтропийные сплавы (ВЭС, High-Entropy Alloys, HEA) – это сплавы, имеющие в своем составе не менее пяти (трех для среднеэнтропийных, СЭС) элементов содержанием от 5 до 35 ат. %. Исследования нового класса сплавов начались в 2000-х года после публикации основополагающих статей двух групп: Cantor в Великобритании [1] и Yeh на Тайване [2]. Рассмотрев ряд таких сплавов на основе 3d-металлов, авторы обнаружили, что их механические свойства нельзя представить как суперпозицию свойств образующих сплавы металлов. Среди примечательных свойств, обнаруженных у сплавов класса ВЭС, выделяются высокая прочность, устойчивость к высоким температурам и коррозии [3, 4].

В 2017 году Yuan с коллегами сообщили об обнаруженном ими «гигантском» магнитокалорическом эффекте (МКЭ, изменение температуры на $\sim 10^1$ К) в высокоэнтропийных сплавах на основе тяжелых редкоземельных элементов (РЗЭ) [5]. С помощью МКЭ могут быть реализованы чрезвычайно низкие температуры (до единиц К), при этом холодильники на основе МКЭ не используют экологически небезопасные вещества, такие как фреоны. РЗЭ легко образуют твердые растворы друг с другом, так что, варьируя в широких пределах стехиометрию и элементный состав сплава, можно добиваться различного МКЭ без изменения фазового состава. Внедрение водорода в решетку сплава меняет расстояние «металл-металл» в нем и так же позволяет управлять магнитными свойствами сплава.

Целью работы являлся синтез СЭС и ВЭС на основе редкоземельных элементов и исследование их взаимодействия с водородом. Электродуговой плавкой получены четырехэлементный и три пятиэлементных эквимолярных сплава на основе РЗЭ. Сплавы подвергнуты высокотемпературному отжигу и охарактеризованы методами рентгенофазового анализа и сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией. С помощью аппарата типа Sieverts построены изотермы «давление-состав», произведена оценка термодинамических параметров гидрирования сплавов.

- [1] B. Cantor, I.T.H. Chang, P. Knight, A.J.B. Vincent. Mater. Sci. Eng. A375–377, 213–218 (2004)
- [2] J.W. Yeh, S.K. Chen, S.J. Lin, J.Y. Gan, T.S. Chin, T.T. Shun, C.H. Tsau, S.Y. Chang, Adv. Eng. Mater. 6, 299–303 (2004)
- [3] Zezhou Li, Shiteng Zhao. Prog Mater Sci. 2019. Vol. 102. P. 296-345.
- [4] Zuo Tingting. Zhang, Min & Liaw, Peter & Zhang, Yong. Intermetallics. 2018. Vol. 100, P. 1-8
- [5] Y. Yuan, Y. Wu, X. Tong. Acta Mater. 2017. Vol. 125. P. 481-48

**Координационные соединения
Нитрата алюминия с карбамидом в качестве лиганда:
условия и методика синтеза, свойства**

*Крылов М.С.¹, Караваев И.А.¹, Савинкина Е.В.¹,
Бузанов Г.А.², Кубасов А.С.²*

¹МИРЭА–Российский технологический университет, Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова, 119454, Москва, Россия,

²Институт общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова РАН,
119991, Москва, Россия
krylovmaximsergeevich@gmail.com

Оксид алюминия широко используется в катализе, производстве абразивных, огнеупорных материалов, электрических изоляторов, композитов и конструкционных материалов. Al_2O_3 со специфическими физическими свойствами, особенно наноструктурированный порошок γ - Al_2O_3 , представляет большой интерес как для научных исследований, так и для промышленного применения. Свойства и эксплуатационные характеристики Al_2O_3 в значительной степени зависят от текстурных и структурных свойств, которые зависят от процедуры синтеза.

В настоящей работе были синтезированы ранее не описанные координационные соединения $[\text{Al}(\text{Ur})_6](\text{NO}_3)_3$, $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{Ur})_4](\text{NO}_3)_3$ (Ur – карбамид) фазовый и химический состав которых были определены совокупностью методов анализа (элементный анализ, комплексонометрическое титрование, инфракрасная спектроскопия, рентгенофазовый анализ и рентгеноструктурный анализ).

Метод ИК-спектроскопии оказался достаточно информативным для определения характера координации выбранных лигандов. Показано, что нитрат-ион является внешнесферным лигандром. Смещение полосы валентных колебаний $\text{C}=\text{O}$ в область меньших значений (1630 – 1655 cm^{-1}) по сравнению с некоординированным лигандром (1680 cm^{-1} для Ur), что указывает на координацию амидов посредством донорного атома кислорода.

Методом рентгенофазового анализа (РФА) был подтвержден фазовый состав выделенных целевых продуктов. На дифрактограммах данных систем отсутствуют рефлексы исходных соединений, что подтверждает образование новых соединений.

Методом РСА была решена структура соединений $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{Ur})_4](\text{NO}_3)_3$ и $[\text{Al}(\text{Ur})_6](\text{NO}_3)_3$ для синтезов $\text{Al}(\text{NO}_3)_3:\text{Ur}$ в мольном соотношении 1:5 и 1:6. Было показано, что данные соединения представляют собой ионные комплексы, координационный полиэдр которых представляет собой искаженный октаэдр, при этом, в элементарной ячейке комплекса $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{Ur})_4](\text{NO}_3)_3$ присутствует один независимый комплексный катион, а комплексы $[\text{Al}(\text{Ur})_6](\text{NO}_3)_3$, синтез которых осуществлялся в мольном соотношении металл : лигандр 1:5 и 1:6 включают 2 и 4 независимые катионные части соответственно.

Новые электроды на основе халькопиритов $\text{Ag}_x\text{Cu}_{1-x}\text{GaSe}_2$ для прямого фотоэлектрохимического разложения воды

Кулеметьев И.Д.^{1,2}, Гапанович М.В.^{1,2},
Ракитин В.В.¹, Станчик А.В.³

¹ ФИЦ ПХФ и МХ РАН, г. Черноголовка, Московская обл.

² ФФФХИ МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

³ ГО «НПЦ НАН Беларусь по материаловедению», Минск, Беларусь

ivan-2002@bk.ru

Целью данной работы было исследовать особенности синтеза пленок $\text{Cu}_{1-x}\text{Ag}_x\text{GaSe}_2$ на проводящих подложках, а также исследовать влияние их стехиометрии и условий получения на фазовый состав, оптические и электрофизические свойства. Такие твердые растворы перспективны для создания фотокатодов для прямого разложения воды под действием солнечного света [1, 2].

Синтез проводился на подложках Mo/MoO_{3-x}, в качестве прекурсоров использовались интерметаллиды CuGa₂, Cu₉Ga₄, Ag₂Ga₃ и Ag₅Ga₂, напыление которых проводилось методом PVD в вакууме. Полученные пленки отжигались в парах селена в трубчатом реакторе при $T=550$ и 650 °C в течение $t=10$, 15 , 30 мин. Количество селена в реакторе было постоянным $m(\text{Se})=50$ мг. Исследование полученных образцов методом РФА (PANalytical Aeris, излучение Cu-K_α) показало, что преобладающей в полученных образцах является халькопиритная фаза, однако присутствуют примеси и других селенидов Cu_{2-x}Se, Ag₂Se, GaSe. При этом оптимальные условия отжига для получения пленок с минимальными количествами примесных фаз зависели от получаемого состава. Структура основной фазы была тетрагональной, пространственная группа $I-42d$. При этом параметр решетки a менялся нелинейно при увеличении x в $\text{Ag}_x\text{Cu}_{1-x}\text{GaSe}_2$, а параметр c был приблизительно постоянным. Методом оптической спектроскопии (Shimadzu UV-3101PC) показано, что ширина запрещённой зоны полученных пленок ниже теоретического значения, что, по-видимому, обусловлено наличием примесных фаз. При этом исследование образцов методом фотоэлектрохимических ячеек в условиях прерывистого освещения (PEC, 0.175 M CH₃COOK + 0.1 M CH₃COOH + 0.1 M K₂SO₄, $P_{\text{св}}=0.1$ Вт/см²) показало, что наибольшую фотопроводимость и минимальное сопротивление имеют пленки Ag_{0.9}Cu_{0.1}GaSe₂ (550 °C, 15 мин). При этом данные образцы имеют *p*-тип темновой проводимости.

Работа выполнена при финансовой поддержки РНФ (Соглашение №24-43-10003) и БРФФИ (грант № T23РНФМ-029).

[1] Shogo Ishizuka, Riku Okamoto, Shigeru Ikeda. Enhanced Performance of // Advanced Materials Interfaces. 2022, No 9(25). – P. 2201266.

[2] Huang, D., Persson, C., Ju, Z., Dou, M., Yao, C., & Guo, J. (2014). // Europhysics Letters. 2014, V.105, No 3, P. 37007

Моделирование газопроницаемости полинорборненовых мембран методами квантовой химии и молекулярной динамики

Лелекова В.А.^{1,2}, Павлов А.А.¹

¹Центр Цифрового Материаловедения, ИОНХ РАН

²Факультет Фундаментальной Физико-Химической Инженерии, МГУ им. М.В. Ломоносова
zenyatharr@gmail.com

Газоразделительные полимерные мембранные применяются для очистки газов и разделения лёгких углеводородов. Тем не менее, используемый сейчас ограниченный набор стеклообразных полимеров упирается в компромисс между проницаемостью и селективностью. Для дальнейшего развития необходимы новые материалы. Перспективным семейством для этого считаются замещённые полинорборнены [1]. Ввиду высокой стоимости их экспериментальной разработки, актуален направленный дизайн таких мембран методами квантовой химии и молекулярной динамики, с дальнейшим развитием в машинно-обучаемые модели. Целью данной работы было провести расчёт газопроницаемости полинорборненов.

Полинорборнены - жёсткие бициклические полимеры, отличающиеся от "типовых" органических, для которых уже накоплены данные по газопроницаемости. Поэтому и модели машинного обучения, натренированные на классических наборах, и молекулярная динамика со стандартными силовыми полями надёжны только в пределах знакомых структурных дескрипторов, а при экстраполяции на новые классы их предсказательная способность заметно снижается [2].

В связи с этим, была поставлена актуальная задача разработки методологически нового численного маршрута для моделирования полинорборненов: от квантово-химической оптимизации до моделирования газопроницаемости с использованием молекулярной динамики.

В настоящей работе была выполнена оптимизация геометрии тримера норборнена методами квантовой химии, проведены торсионные сканы по диэдральным углам, а также разработана схема корректного применения силового поля GAFF2 к норборненовым фрагментам. На основе квантово-химических энергетических профилей выполнена параметризация торсионных потенциалов для классического силового поля. Показано, что целенаправленная параметризация торсионных взаимодействий по квантово-химическим данным существенно влияет на описание конформационного пространства и энергетики бициклических полинорборненовых фрагментов, что принципиально важно для последующего корректного моделирования транспортных свойств.

[1] Wang X., Wilson T.J., Alevant D., Gringolts M., Finkelshtein E., Bermeshev M., Long B.K. Substituted polynorbornene membranes: a modular template for targeted gas separations. *Polym. Chem.*, 2021, 12, 2947-2977.

[2] Phan B.K., Shen K.-H., Gurnani R., Tran H., Lively R., Ramprasad R. Gas permeability, diffusivity, and solubility in polymers: Simulation-experiment data fusion and multi-task machine learning. *npj Computational Materials*, 2024, 10(1), 186.

Нуклеофильное замещение атомов хлора в 4,5-дихлорфталонитриле на гексилоксиленоксильные группы. Получение комплексов цинка на основе синтезированных нитрилов

Леонова К.Р.

Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия
neorg@isuct.ru

Целью данной работы был синтез и подбор условий для замещения одно и двух атомов хлора в молекуле 4,5-дихлорфталонитрила на гексилоксиленоксильные группы (рис. 1), а также получение и изучение свойств фталоцианинов цинка и магния на его основе и на основе 4-(2,3,4-триметилфенокси)-5-(2,3,4-триметилфенокси) фталонитрила. Были поставлены следующие задачи: синтез фталонитрилов, получение комплексов фталоцианинов цинка и магния, изучение их спектрально-люминесцентных свойств. Гипотеза: модификация структуры фталоцианинов путем введения объемных заместителей напрямую влияет на их применимость в биомедицине, в особенности, для лечения онкологических заболеваний с использованием фотодинамической терапии.

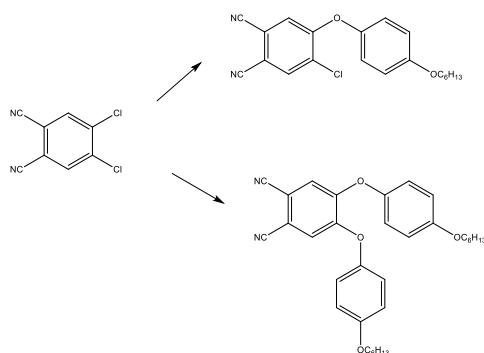


Рис. 1. Схема замещения атомов хлора в молекуле 4,5-дихлорфталонитрила на гексилоксиленоксильные группы

Синтез фталонитрилов проводили при температуре 60°C, варяя мольное соотношение 4,5-дихлорфталонитрила и гексилоксиленола. Подтвержден состав и структура целевого продукта. Синтез металлокомплексов проводили путем сплавления фталонитрилов с ацетатом цинка и магния при температуре 180-200°C. Синтезированные соединения были очищены с помощью колоночной хроматографии на хлороформе. Состав и строение полученных комплексов подтверждали с применением физико-химических методов. Благодаря хорошей растворимости металлокомплексов в органических растворителях были изучены их спектральные характеристики. Для образцов сняты спектры поглощения для определения сольватохромного эффекта в следующих растворителях: хлороформ, толуол, ТГФ, ДМФА. Определен квантовый выход флуоресценции, квантовый выход генерации синглетного кислорода.

Работа выполнена с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ФГБОУ ВО «ИГХТУ».

**Разработка новых катализаторов на основе бромида лития
и фосфор- и азотсодержащих соединений для реакции присоединения
углекислого газа к оксиранам**

Любимов С.Е., Черкасова П.В., Арифулин Р.Ж.

Лаборатория стереохимии сорбционных процессов ИНЭОС РАН
creeperminecraft32@gmail.com

Углекислый газ – один из самых распространённых неорганических отходов промышленного производства. Одним из рациональных методов его утилизации является получение органических циклических карбонатов (Рис 1). Последние нашли применение в производстве поликарбонатов, неизоцианатных полиуретанов, в качестве присадок к топливу, электролитов для литий-ионных батарей и полярных растворителей. Нами найдено, что смесь бромида лития с рядом азот- или фосфорсодержащих соединений может быть эффективными катализатором реакции присоединения углекислого газа к оксиранам ($\text{P}(\text{CO}_2)$ от 3 атм, Т от 2 ч для получения 100% конверсии).

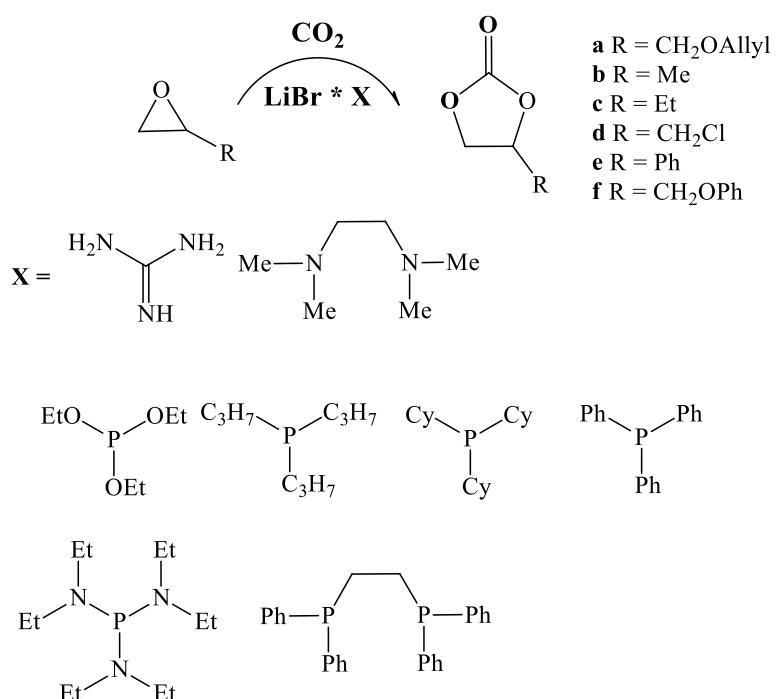


Рис. 2

Синтез и исследование строения комплексов кальция с редокс-активным 3,5-дитретбутилхиноновым лигандом

Морозова М.С., Ямбулатов Д.С., Кискин М.А.

Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, г. Москва, Россия
morozovams2007@gmail.com

Бензохиноны как и некоторые ионы переходных металлов могут проявлять редокс-активные свойства при небольших потенциалах, образуя динамические системы. Один из доступных диоксоленовых лигандов, 3,5-дитретбутилортобензохинон, может существовать в различных редокс-формах (катехолат (Cat - дианион), семихинолят (SQ – анион-радикал) и хинон (Q – нейтральный лиганд)).

Соединения кальция с редокс-активными лигандами вызывают неподдельный интерес ввиду схожести ионных радиусов Ca^{2+} и Yb^{2+} , то есть можно использовать кальциевые системы в качестве модельных для, например, ускорения квантово-химических расчетов. Кальций также использовался в реакциях с редокс-активными лигандами, в полученных соединениях наблюдалось изменение магнитной восприимчивости [1].

Металлический кальций в абсолютированном ТГФ восстанавливает хинон до бис-семихинолята и катехолата (рисунок 1). Получены кристаллы для обоих продуктов, установлено их строение – образуются трех- и четырехъядерные металлоостовы. Для семихинолята обнаружено, что в течение нескольких десятков минут ИК-спектр соединения остается неизменным. Что косвенно может указывать на устойчивость соединения к влаге и кислороду воздуха. В докладе будут обсуждены условия синтеза и кристаллизации продукта, а также данные ЭПР для бис-семихинолятного комплекса.



Рис. 1. Молекулярные структуры катехолата и семихинолята кальция, третбутильные группы и молекулы ТГФ не показаны

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 25-73-10021

[1] Bazyakina N. L. [и др.]. Metal-Organic Frameworks Derived from Calcium and Strontium Complexes of a Redox-Active Ligand // Inorganic Chemistry. 2021. № 5 (60). С. 3238–3248.

Новый метод синтеза гексахлороклатрохелатов рутения(II) и их рёберная функционализация под действием *N*-нуклеофила с терминальным полиароматическим фрагментом для эффективной иммобилизации на углеродные материалы

Мосов Д.О.¹, Чуприн А.С.¹, Теплоногова М.А.², Волошин Я.З.^{1,2}

¹Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Россия, г. Москва

²Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Россия, г. Москва

mosovD@yandex.ru

Нами был разработан новый подход к синтезу гексахлороклатрохелатов рутения(II) – производных этого кинетически инертного платинового металла и низкодонорного дихлороглиоксиматного хелатирующего лигандного синтона. Ключевой стадией является использование подходящих реакционноспособных (сольвато)комплексов рутения(II), как источников ионов Ru^{2+} в качестве матриц для темплатной конденсации по схеме 1, позволяющих получать целевой гексахлороклатрохелат этого кинетически инертного иона 4d-металла в более мягких условиях и с большими выходами, чем известные ранее [1].

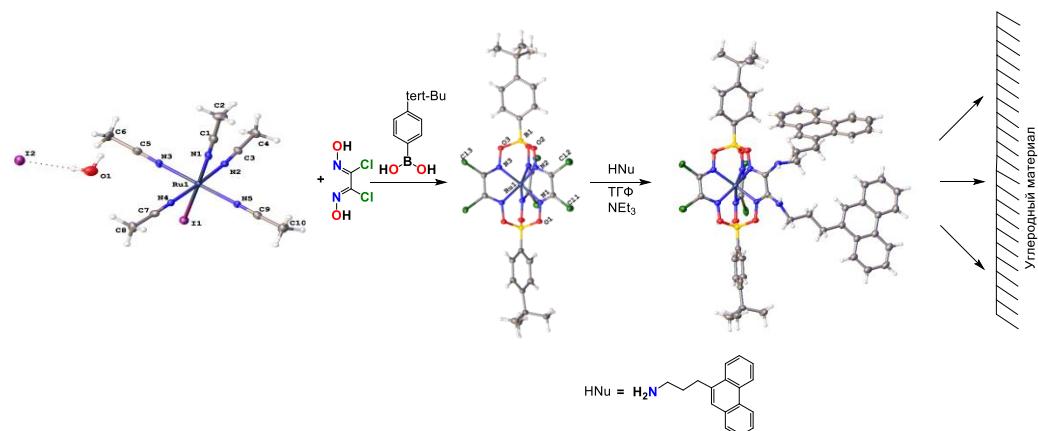


Схема 1.

Постсинтетическая рёберная функционализация одного из полученных гексахлороклатрохелатных предшественников под действием фенантренилсодержащего первичного амина как функционализирующего *N*-нуклеофильного агента привела к целевому диаминоклатрохелату рутения(II) с терминальными фенантренильными группами, которые продемонстрировали сильную физическую адсорбцию на поверхность углеродных материалов (активированный уголь, углеродная бумага, восстановленный оксид графена), а также, по данным вольтамперометрии, перспективным моноатомным электрокатализатором получения высокочистого водорода в полупромышленных генераторах водорода.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 25-73-00065).

[1] Волошин Я.З., Белая И.Г., Кремер Р., Клеточные комплексы металлов: клатрохелаты возвращаются, Springer – Граница, 2019.

Металл-органические каркасы на основе глутаминовой кислоты как носители иммуносупрессантов

*Никитина М.Г.¹, Делягина Е.С.^{1,2},
Агафонов М.А.¹, Парфенов А.С.^{1,3}, Терехова И.В.¹*

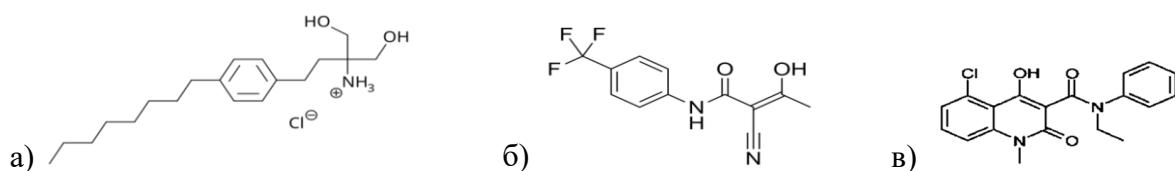
¹ Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук,
Иваново, Россия

² Ивановский государственный университет, Иваново, Россия

³ Ивановский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения
Российской Федерации, Иваново, Россия
nikmariyaa@gmail.com

В настоящее время одним из перспективных направлений химии является разработка систем доставки лекарственных соединений. Одними из таких систем доставки являются металл-органические каркасы (МОК), которые представляют собой кристаллические пористые структуры, состоящие из органических лигандов и координирующих их ионов металлов. Применение МОК в качестве систем доставки может обеспечить длительное фармакологическое действие лекарственных соединений за счет поддержания их постоянной терапевтической концентрации в крови без ее резких изменений.

В данной работе в качестве систем доставки иммуносупрессантов нового поколения – терифлуномида, лаквинимода и финголимода были предложены МОК на основе глутаминовой кислоты и катионов меди. Полученные МОК были загружены изучаемыми лекарственными соединениями методами сорбции и соосаждения. Полученные изотермы и кинетические кривые адсорбции иммуносупрессантов на поверхности МОК были обработаны с помощью математических моделей. Выявлено, что адсорбция лекарственных соединений на МОК является физическим процессом и протекает в смешанно-диффузионном режиме. Проанализировано влияние строения лекарственных веществ на включение в МОК.



**Рис.1. Структурные формулы иммуносупрессантов а) финголимод,
б) терифлуномид, в) лаквинимод**

Композиты МОК/лекарство были охарактеризованы методами низкотемпературной сорбции/десорбции азота, рентгенофазового анализа, сканирующей электронной микроскопии и ИК-спектроскопии. Исследование процессов высвобождения иммуносупрессантов из МОК проведено *in vitro* в буферных растворах, имитирующих среду кишечника. Выявлено влияние включения лекарственных соединений в МОК на их фармакологически значимые физико-химические свойства.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ №24-73-10085.

Синтетические подходы к созданию металл-имидаэольных комплексов-прекурсоров процессов гидрирования

Новиков Д.В.^{1,2}, Кошенкова К.А.², Еременко И.Л.², Луценко И.А.²

¹Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва

²Лаборатория химии координационных полиядерных соединений ИОНХ РАН

dima.novikov.2004@mail.ru

В химической промышленности для процессов гидрирования преимущественно применяют катализаторы на основе металлов платиновой группы, которые отличаются высокой активностью, но при этом имеют значительную стоимость. В связи с этим поиск более доступных альтернатив, например, на основе *d*-металлов, таких как Zn, Co, Cu, Fe, остается актуальной задачей.

Цель данного исследования заключалась в разработке методов синтеза координационных соединений на основе *d*-металлов (Cu, Co, Ni) с O-донорными лигандами: (фуранкарбоновые (Hfur), пивалиновые (Hpriv) кислоты, дибензоилметан (DBM)) и имидазолом (Im); определении структуры, изучении физико-химических свойств и катализитической активности для процессов гидрирования.

Различными синтетическими походами в реакциях ионообменного обмена были получены молекулярные комплексы состава $[M(An)_2Im_2(H_2O)_x]$ ($M = Co^{2+}$ (**1**), Ni^{2+} (**3**), Cu^{2+} (**5**, **6**); $An = 3fur^-$ (**1**, **6**), $2fur^-$ (**5**), DBM (**3**); $x = 0$ (**1**, **3**), 1 (**5**, **6**)), ионные $[M(Im)_6]^{2+} \cdot 2fur^-$ ($M = Co$ (**2**), Ni (**4**)); и необычный четырёхъядерный, содержащий два мостиковых имидазола $[Cu_4priv_6Im_4]$ (**7**) (рис. 1). Все соединения выделены в виде монокристаллов, их структура определена методом РСА, чистота подтверждена методами элементного анализа и РФА. Катализитическая активность **1**, **5-7** была исследована в реакциях катализитического гидрирования.

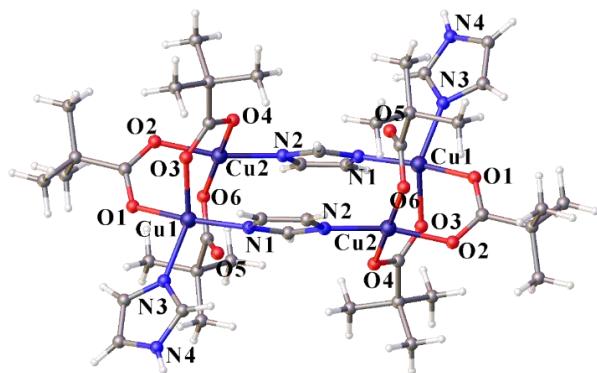


Рис. 1. Структура комплекса **7**

По результатам проведенных экспериментов установлено, что в процессах гидрирования связи $-C=C-$ в ДЦПД наиболее активными комплексами оказались **5-6**, которые также были протестированы в реакциях восстановления нитробензола до анилина и алкилирования нитробензола изобутанолом со 100 %-ыми выходами целевых продуктов.

Благодарность за исследование катализитической активности доц., к.х.н. Небыкову Д.Н.
(Волгоградский государственный технический университет).

Получение микро-мезопористого углеродного материала из биметаллических координационных соединений Zn и Ni

Новоселов А.С.¹, Корнеева Е.Ю.², Шмелев М.А.³, Клямкин С.Н.¹

¹Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

²Факультет наук о материалах МГУ имени М.В.Ломоносова

³Лаборатория химии координационных полиядерных соединений ИОНХ РАН
novoseloval2006@gmail.com

Применение пористых углеродных материалов (УМ) с высокой удельной поверхностью является перспективным направлением для повышения эффективности разделения и хранения газов. Интересуемые материалы можно получить посредством пиролиза координационных соединений, содержащих легколетучие металлические компоненты, например цинк. В процессе термического разложения цинксодержащих прекурсоров происходит восстановление металла с его последующим испарением и образованием мезопористой углеродной матрицы [1].

В рамках исследования была выдвинута гипотеза о возможности синтеза функционализированных углеродных материалов с включениями каталитически активного металла (например, никеля), посредством использования биметаллических координационных соединений как прекурсоров. Такой дизайн материала открывает возможности не только для создания систем с повышенной адсорбционной емкостью, но и для дальнейшего применения в гетерогенном катализе и сепарации газовых смесей.

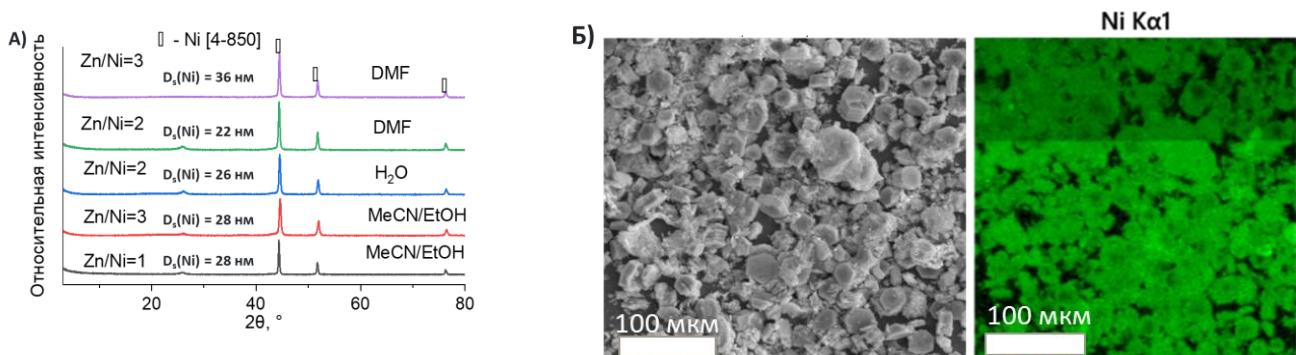


Рис. 1. а) Дифрактограмма продуктов карбонизации $Zn_xNi_{1-x}(trat)_{0.66}$ при $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ для разных растворителей осаждения и соотношений Zn/Ni в прекурсорах; **б)** СЭМ-изображение УМ с картированием по никелю

Использование предложенных нами биметаллических прекурсоров и режимов термообработки позволило синтезировать аморфный углеродный материал, содержащий наночастицы металлического никеля. Образцы, полученные из тримезата цинка-никеля, демонстрируют развитую удельную поверхность ($100\text{--}400\text{ m}^2/\text{г}$).

Установлено, что соотношение Zn/Ni, выбор растворителя и структура лиганда при синтезе прекурсоров карбонизации критически влияют на пористость УМ. В ближайшей перспективе планируется оценить газосорбционные свойства по отношению к H_2 , CH_4 , CO_2 и катализическую активность в реакциях гидрирования непредельных углеводородов.

Работа выполнена в рамках госзадания №122012400186-9

[1] Chuvikov S. V. et al. //Carbon. – 2024. – T. 228. – C. 119421.

Образование кубаноподобного комплекса с металлоостовом Co_4O_4 при взаимодействии триметилацетата кобальта(II) и 3,5-ди-трет-бутилкатахола

Новоселова А.С.^{1,2}, Ямбулатов Д.С.¹, Кискин М.А.¹

¹Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, г. Москва, Россия

²Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия
aleksnov2005@yandex.ru

Многоядерные комплексы кобальта с кубаноподобным металлоостовом $[\text{Co}_4\text{O}_4]$ рассматриваются не только как необычные структурные объекты с фундаментальной точки зрения, но и как перспективные катализаторы ключевых химических процессов. Искусственные металлобелки, содержащие активные центры в виде кубана Co_4O_4 , демонстрируют свойства катализаторов окисления воды. Стабилизированные в белковой матрице кубаны проявляют многоэлектронную редокс-активность, необходимую для эффективного катализа [1].

Реакция безводного триметилацетата кобальта(II) и 3,5-ди-трет-бутилкатахола в абсолютированном толуоле в запаянной стеклянной ампуле под низким давлением привела к образованию кубаноподобного соединения $[\text{Co}_4(\text{L})_4(\text{Piv})_6]$ (рисунок 1). Его строение определено с помощью рентгеноструктурного анализа, фазовая чистота подтверждена с помощью РФА. Соединение в кристаллическом виде устойчиво к влаге и кислороду воздуха.

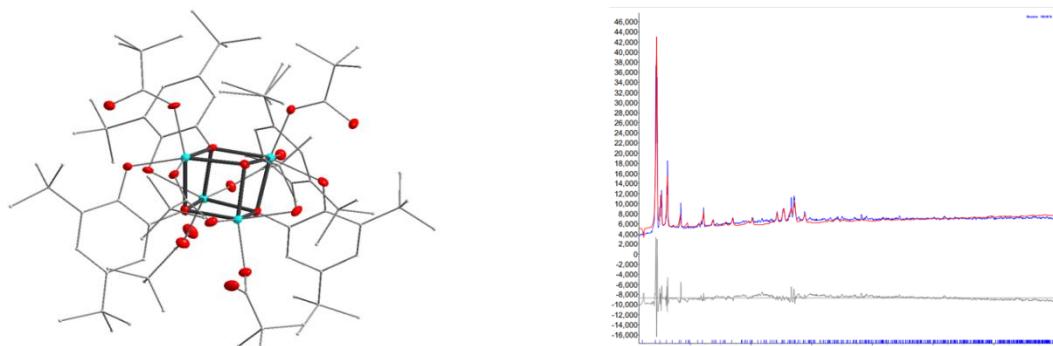


Рис. 1. Слева - строение $[\text{Co}_4(\text{L})_4(\text{Piv})_6]$, полученного длительным нагреванием пивалата кобальта(II) с 3,5-ди-трет-бутилкатахолом в толуоле в инертной среде. Справа – данные рентгенофазового анализа образца $[\text{Co}_4(\text{L})_4(\text{Piv})_6]$.

Наличие в системе одновременно редокс-активного металла и лиганда в переменной степени окисления является перспективной для получения переключаемых материалов на основе возможного редокс-изомерного перехода [2]. Условия синтеза соединения и его кристаллизации, особенности строения и попытки функционализации вновь полученного комплекса будут обсуждены в рамках доклада.

[1] Lisa Olshansky, Raúl Huerta-Lavorie, Andy I. Nguyen, Jaicy Vallapurackal, Ariel Furst, T. Don Tilley, A. S. Borovik Artificial Metalloproteins Containing Co_4O_4 Cubane Active Sites // Journal of the American Chemical Society. - 2018. - №140(8). - С. 2739-2742.

[2] Tina Tezgerevska, Kerwyn G. Alley, Colette Boskovic Valence tautomerism in metal complexes: Stimulated and reversible intramolecular electron transfer between metal centers and organic ligands // Coordination Chemistry Reviews. - 2014. - №268. - С. 23-40.

Инъекционная система доставки лефлуномида на основе термочувствительных гидрогелей из плюроников

Пануев Д.М.^{1,2}, Агафонов М.А.¹, Терехова И.В.¹

¹ Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук, Иваново, Россия

² Ивановский государственный университет, Иваново, Россия

danila.panuev.02@mail.ru

В настоящий момент в терапии ревматоидного артрита широко используются препараты для перорального применения, эффективность которых может быть снижена за счет низкой растворимости действующего вещества в водных средах. К таким препаратам относится лефлуномид (рис. 1а). Исходя из этого, возникает необходимость в разработке альтернативных систем доставки противоревматических препаратов непосредственно к очагу воспаления. Одним из перспективных направлений является создание термочувствительных гидрогелей на основе плюроников – блок-сополимеров полиэтиленоксида и полипропиленоксида (рис. 1б). Гелеобразование происходит при нагревании растворов плюроников, что позволяет вводить препарат при комнатной температуре в жидком состоянии и получать гидрогели в организме при физиологической температуре. Таким образом, целью данного исследования является создание и изучение термочувствительных гидрогелей на основе плюроников разного строения с содержанием лефлуномида.

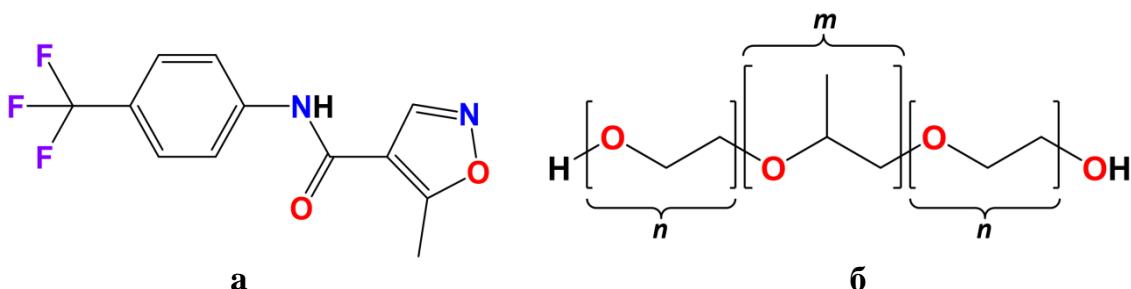


Рис. 1. Структурная формула лефлуномида (а) и плюроников (б)

В ходе исследования были получены и проанализированы гидрогели на основе плюроников F127 и L64. Установлено, что температуру золь-гель перехода можно контролировать путем добавления L64 к раствору F127, а структурно-механические свойства можно варьировать путем изменения общей концентрации плюроников в составе геля. При изучении процессов высвобождения лефлуномида из полученных гидрогелей в стандартных буферных растворах и в биоревантных средах, имитирующих синовиальную жидкость, было обнаружено, что наибольшее влияние на фармакокинетические параметры оказывает вязкость среды растворения, которая может лимитировать стадию диффузии лекарства из полимерной матрицы, что приводит к снижению скорости высвобождения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №24-73-00323).

Синтез металл-органических координационных полимеров лантаноидов и цинка на основе ацетиленидных ароматических карбоновых кислот

Пилюкова Е.А.^{1,2}, Редькин Р.В.^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова, д.2, Новосибирск, 630090

²Институт неорганической химии СО РАН, пр. Лаврентьева 3, Новосибирск 630090

e.pilyukova@g.nsu.ru

Металл-органические координационные полимеры (МОКП) - класс соединений, в которых атомы металлов объединены в структуры разной размерности за счет координации к мостиковым органическим лигандам.

Особый интерес к изучению этих соединений связан прежде всего с высокими показателями пористости и удельной площади поверхности трехмерных структур, что позволяет применять их в качестве эффективных сорбентов для хранения и разделения смесей или газов. Введение различных функциональных групп может придавать полимерам уникальные каталитические и оптические свойства, а варьирования как металлоцентра, так и структуры лиганда позволяет получать дополнительные наборы характеристик [1].

Люминесцентные свойства лантаноидов дают возможность для использования их в качестве оптических сенсоров, материалов для лазеров, компонентов тонких люминесцирующих пленок. Поглощение ионов Ln(III), обычно малоинтенсивное, может быть усилено за счет органических лигандов с протяженной π -системой. Помимо этого, полиацетиленидные полиароматические карбоновые кислоты имеют «жесткий» скелет, что позволяет ожидать высокую пористость получаемых каркасов [2].

В данной работе нами получено 15 новых соединений на основе Zn, Ln(III) и кислот, представленных в таблице ниже.

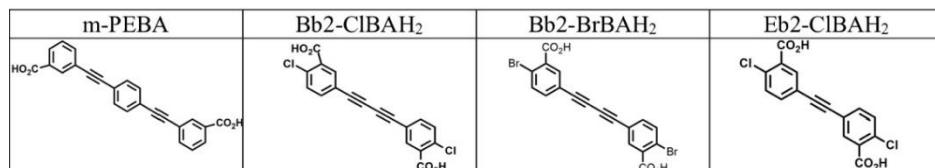


Таблица 1 Кислоты, использованные в работе

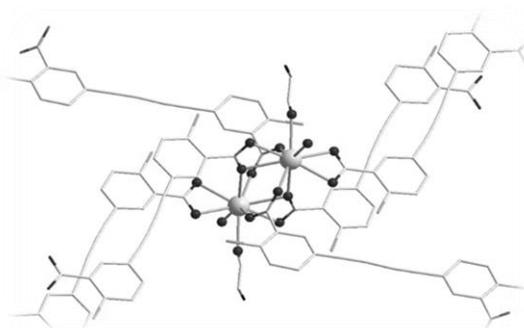


Рис. 1. Структурная единица $[Eu_2(DMF)_4(Bb2-ClBA)_3]$

[1] Song X. et al. A Microporous Metal– Organic Framework Based on [2+ 2] Parallel and Inclined Interpenetrated 2D Sheets Interconnected by an Auxiliary Linker //Crystal growth & design. – 2010. – Т. 10. – №. 7. – С. 3222-3227

[2] Sculley J., Yuan D., Zhou H.-C., The current status of hydrogen storage in metal–organic frameworks—updated // Energ. Environ. Sci. – 2011. – V. 4, No. 8. – P. 2721–2735

Сравнительная характеристика влияния легирования теллурида кадмия фосфором и висмутом на структуру и времена жизни фотогенерированных носителей тока

*Поликарпов Д.С.*¹, *Гапанович М.В.*^{1,2,3}, *Рabenok E.B.*¹

¹Федеральный Исследовательский Центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, Проспект Академика Семенова, 1, 142432, Черноголовка, Московская область, Россия

²Факультет фундаментальной физико-химической инженерии, МГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы 1-51, 119991, Москва, Россия

³Московский Физико-технический институт, Институтский пер., 9, 141701, г. Долгопрудный, Московская область, Россия
polik4grov.dm@yandex.ru

Теллурид кадмия является широко распространённым материалом для создания солнечных батарей благодаря оптимальному значению E_g – 1.45 эВ и большому коэффициенту поглощения солнечного излучения $5 \cdot 10^5$ см⁻¹[1]. Однако КПД данных устройств все еще меньше теоретически возможного. Согласно литературным данным, легирование теллурида кадмия элементами V-группы способствует увеличению дырочной проводимости[2] и, в перспективе, может рассматриваться как способ увеличения КПД солнечных батарей.

Образцы были получены методом твердофазного ампульного синтеза в несколько этапов аналогично [3]. Были синтезированы 4 серии с уровнями легирования 10^{16} - 10^{20} и 10^{17} - 10^{21} ат.Р/см³ (CdTe-P и CdTe-Cd₃P₂) и 10^{16} - 10^{20} ат. Ви/см³ (CdTe-Bi₂Te₃ и CdTe-BiTe).

Исследование образцов методом РФА установило границы твердых растворов для каждой из серий. Отметим, что для серии теллурида кадмия легированного висмутом граница твердых растворов достигается уже при уровне легирования в 10^{17} ат. Ви на см⁻³, что может быть объяснено невысокой встраиваемостью иона висмута в решетку теллурида кадмия ввиду большого ионного радиуса последнего, в то время как для серии легированной фосфором граница твердых растворов достигается на уровне легирования 10^{20} что свидетельствует о большой встраиваемости иона фосфора ввиду меньшего ионного радиуса. Исследование времен жизни фотогенерированных носителей тока в обеих сериях показало, что при увеличении концентрации легирующих добавок времена жизни фотогенерированных носителей заряда возрастают нелинейно вплоть до уровня легирования 10^{19} см⁻³ для серий легированных фосфором и висмутом. Отметим, также, что для диапазона концентраций легирующей добавки 10^{18} - 10^{19} наблюдается образование медленной компоненты рекомбинации. [3]

Работа выполнена в рамках госзадания № 124013000686-3.

- 1.A. Luque, S. Hegedus, Handbook of Photovoltaic Science and Engineering . - 4 изд. - 1138: J. Wiley & Sons Ltd., 2010
- 2.J. Duenow, D. Albin, Enhanced p-Type Doping in Polycrystalline CdTe Films: Deposition and Activation // IEEE Journal of Photovoltaics. - 2019. - №9(3). - С. 912-917.
3. M. V. Gapanovich, E. V. Rabenok, Studying the Structure and Lifetime of Photogenerated Current Carriers of Cadmium Telluride-Based Solid Solutions in CdTe-Sb₂Te₃ and CdTe-CdSb Systems // High Energy Chemistry. - 2024. - №8(2). - С. 202-207.

Разработка прекатализаторов процессов гидрирования на основе РЗЭ

Потылицына С.М.^{1,2}, Шмелев М.А.¹, Луценко И.А.¹

¹ Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова, Москва, Россия

² Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

sofiapotyltsina@gmail.com

Комплексы лантаноидов находят широкое применение в различных областях науки, медицины, техники. Способность проявлять люминесценцию / фосфоресценцию в биологических объектах стало основой для развития нового направления в медицине – биовизуализации – детектирования разнообразных процессов, отслеживание миграции лекарственных препаратов, разработка контрастных веществ для магнитно-резонансной томографии. Актуальным направлением последнего десятилетия стал катализ на основе РЗЭ. Например, поиск новых катализитических систем с оптимальной морфологией поверхности для процессов гидрирования, которые позволяют с более высокой удельной производительностью и в более мягких условиях (особенно, при атмосферном давлении водорода) осуществлять получение ценных химических продуктов (анилин, тетрагидроцикlopентадиен и др.), что является значимой научной проблематикой.

Целью данного исследования являлась разработка способов получения координационных соединений лантаноидов (Eu, Tb, Yb, Gd) с различными карбоксилат-анионами — 2-фуранкарбоновой (Hfur), уксусной (HOAc) и пентафторбензойной (Hpfba) кислотами и N-донорными лигандами (имидаол, бензимидаол), установление их структуры методом рентгеноструктурного анализа (РСА), чистоты и однофазности (РФА, СН) и спектроскопических характеристик (ИК-спектроскопия).

Катионы лантаноидов в координационных соединениях способны проявлять высокие координационные числа, формируя структуры различной ядерности. В результате реакций ионного обмена и самосборки в растворе были получены новые кристаллические комплексы состава $[Ln(pfba)_2(OAc)(MeOH)]_n \cdot nMeOH$ ($Ln = Gd$ (**1**), Yb (**2**)); $[Ln_2(fur)_6(H_2O)_2] \cdot (ImH^+)_2 \cdot 2fur^-$ ($Ln = Eu$ (**3**) и Tb (**4**)), $[Ln_2(fur)_9](BImH^+)_3$ ($Ln = Eu$ (**5**) и Tb (**6**)). По данным РСА **1** представляет собой полимер, состоящий из молекулярных фрагментов, сшитых в единую цепь: центросимметричные димерные фрагменты $\{Gd_2(pfba)_2(OAc)_2(MeOH)_2\}$ связаны друг с другом мостиковыми карбоксильными фрагментами анионов пентафторбензойной кислоты. В отличие от **1**, комплекс **3** является ионным биядерным - Eu^{3+} окружены тремя хелатными и тремя мостиковыми 2-фураат-анионами, образующими трехшапочное тригонально-призматическое окружение металла с расстояниями $Eu\text{-O}$ варьирующимися в диапазоне 2.362(4)-2.577(3) Å. Анионные фрагменты $[Eu_2(fur)_9]^{3-}$ компенсируются положительно заряженными Im^+ , которые связаны водородными связями с координированными атомами кислорода фураат-анионов, что дополнительно стабилизирует молекулярные структуры. Для комплексов **3** и **5** проведены первичные катализитические тесты в процессе селективного гидрирования ДЦПД в реакторе проточного типа при атмосферном давлении.

Работа выполнена в рамках госзадания ИОНХ РАН. Исследования проводились с использованием оборудования ЦКП ФМИ ИОНХ РАН.

Золь-гель синтез TiO_2 с использованием сольватермальной обработки дисперсных систем

*Рахимова З.И., Горобцов Ф.Ю., Симоненко Т.Л.,
Симоненко Н.П., Симоненко Е.П.*

Лаборатория физикохимии керамических материалов, ИОНХ РАН
zar1406@mail.ru

Диоксид титана является полупроводниковым материалом, широко используемым в качестве пигмента, активного материала в фотокатализе, электрохромных устройствах, суперконденсаторах, газовых сенсорах и солнечных элементах. Для многих из этих применений, в частности, при использовании в суперконденсаторах, важны кристаллическая структура, дисперсность и микроструктура TiO_2 . Наиболее перспективными методами получения материалов на основе данного оксида являются такие, которые позволяют за счет изменения различных параметров в ходе синтеза влиять на перечисленные особенности продукта. С этой точки зрения нам представляется наиболее гибким золь-гель метод, совмещённый с сольватермальной обработкой дисперсных систем, образующихся в результате гидролиза и поликонденсации аллоксоацетилацетоната титана [1,2]. Следует отметить, что не менее важным этапом синтеза TiO_2 является постобработка полученного материала, как правило, термическая. Таким образом, цель данного исследования – изучение процесса золь-гель синтеза TiO_2 с использованием бутоксиацетилацетонатного комплекса титана и применением дополнительной сольватермальной обработки, изучение влияния её температуры и условий термической обработки продуктов синтеза на их микроструктуру и кристаллическую структуру.

На первом этапе, после добавления ацетилацетона в раствор тетрабутоксититана, добавлением по каплям гидролизующего агента были инициированы процессы гидролиза и поликонденсации, контролировавшиеся с помощью ротационной вискозиметрии. Затем от сформировавшейся связнодисперсной системы отбирали пробу для сольватермальной обработки при различных температурах и длительности 5 ч. Продукты синтеза подвергали сушке и термообработке на воздухе при 400-700°C. Полученные порошки были охарактеризованы методами ИК- и КР-спектроскопии, РФА, РЭМ и ПЭМ. В результате было определено влияние температуры сольватермальной обработки и термической постобработки порошков на микроструктуру и кристаллическую структуру TiO_2 .

[1] Gorobtsov P.Y., Fisenko N.A., Simonenko N.P., Simonenko T.L., Simonenko E.P. “Aerosol Printing of Electrochromic Films Based on Nickel- or Tungsten-Doped V_2O_5 ”, Russian Journal of Inorganic Chemistry, 2025, V. 70, № 8, pp. 1236-1242, DOI:10.1134/S003602362560220X;

[2] Gorobtsov P.Y., Mokrushin A.S., Simonenko T.L., Simonenko N.P., Simonenko E.P., Kuznetsov N.T. “Microextrusion Printing of Hierarchically Structured Thick V_2O_5 Film with Independent from Humidity Sensing Response to Benzene”, Materials, 2022, V. 15, № 21, p. 7837, DOI: 10.3390/ma15217837.

Гетерометаллические координационные полимеры на основе лантанидов и иод-замещённых ароматических карбоновых кислот

Редькин Р.В.^{1,2}, Пилюкова Е.А.^{1,2}, Бондаренко М.А.²

¹Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова 2, Новосибирск 630090

²Институт неорганической химии СО РАН, пр. Лаврентьева 3, Новосибирск 630090

r.redkin1@g.nsu.ru

Координационные полимеры состоят из ионов металлов и мостиковых органических лигандов, которые объединяют структуры, прорастающие в одном (1D), двух (2D) или трёх (3D) направлениях. Двумерные и трёхмерные координационные полимеры с потенциальными пустотами часто представляются как металл-органические каркасы (МОКП) [1].

В данной работе нами получена серия МОКП с комбинацией металлов Gd-Dy и Eu-Dy на основе 5-иодизофталевой кислоты (5-iipH₂).

Полученные соединения были исследованы методами: РФА (рентгенофазовый анализ), ИСП-МС (масс – спектрометрия с индуктивно связанный плазмой, EDX (энергодисперсионный рентгеновский анализ).

Также были изучены фотолюминесцентные свойства полученных полимеров.

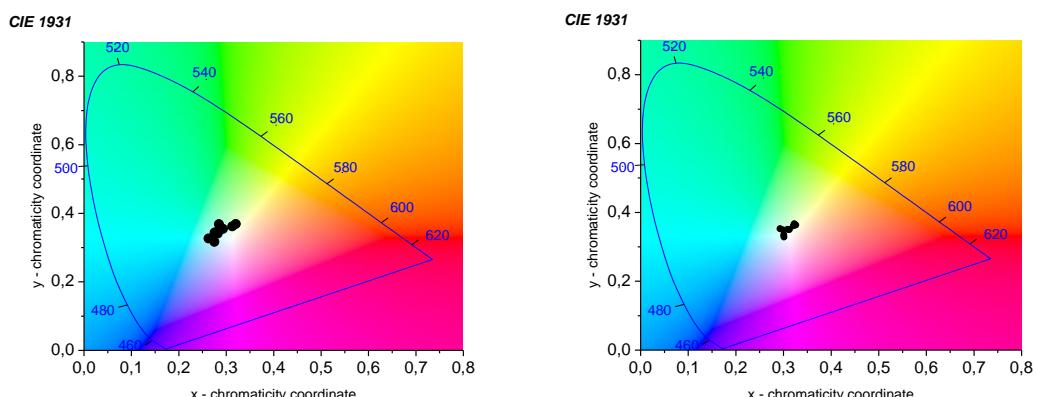


Рис.1. CIE координаты для серии $[Gd_xDy_{2-x}(5\text{-}iip)_3DMF_2] \cdot 0.33DMF$ при 300 K

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (Проект №24-73-00209)

[1] Freund R. et al. The current status of MOF and COF applications //Angewandte Chemie International Edition. – 2021. – Т. 60. – №. 45. – С. 23975-24001.

Синтез и исследование многофункционального катализатора на основе СВС-ВЭС сплава FeCoNiCu.

Ромазева К.А., Пугачева Е.В., Борщ В.Н.

Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения
им. А.Г. Мержанова РАН, Черноголовка, Россия
xenia_romazeva@ism.ac.ru

Разработка эффективных катализаторов является важной задачей в современной химии. Особенno актуально создание многофункциональных материалов, что позволяет снизить затраты и повысить эффективность технологических процессов [1].

В настоящей работе был синтезирован прекурсор на основе высокоэнтропийного сплава (ВЭС) FeCoNiCuAl_x. ВЭС был получен методом жидкофазного самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), в котором в качестве исходных компонентов выступали порошки оксидов основных элементов (Fe₂O₃, Co₃O₄, NiO, CuO) и Al как восстановитель и компонент ВЭС. Прекурсор выщелачивали 20% раствором NaOH с целью удаления алюминия и формирования повышенной удельной поверхности с поверхностью наноструктурой, промывали и стабилизировали в 10 % растворе H₂O₂ [2]. Были проведены физико-химические исследования катализаторов и прекурсоров методами рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактометре ДРОН-3, сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с EDS-приставкой (Zeiss Ultra plus microscope + INCA Energy 350 XT energy-dispersive spectrometer), методом БЭТ, а также катализитические испытания.

Полученный катализатор с составом FeCoNiCu был протестирован в реакциях разложения метана, гидрирования CO₂ при атмосферном давлении и глубокого окисления пропана и CO. В процессе разложения метана достигнута конверсия порядка 30 %, которая стабильно сохраняется в течение 2,5 ч испытаний. Результаты СЭМ свидетельствуют о формировании углеродных нанотрубок на поверхности образца в процессе реакции. В реакции метанования CO₂ при температуре 400°C достигается конверсия 50,6 % при селективности по метану 77,6 %. В процессе глубокого окисления CO полностью сгорает при температуре 250°C, а конверсия пропана при 400°C составляет 92,26%.

Полученные результаты демонстрируют, что разработанный катализатор обладает активностью, сопоставимой с известными аналогами, описанными в научной литературе для указанных катализитических процессов. В дальнейшем планируется использование данного катализатора для синтеза углеводородов по процессу Фишера-Тропша и проведения гидрирования под давлением, что позволит расширить его область применения и увеличить эффективность катализитических процессов.

[1] H. Sharma, S. Sharma. Catalytic Potential and Utility of High Entropy Alloys /Trans. Indian Nat. Acad. Eng., 2024, Vol. 9, PP. 689–702.

[2] Pugacheva E., et al. Multifunctional Catalysts Based on High-Entropy Transition Metal Alloys / Int. J. of SHS – 2024 – Vol. 33, No. 3 , PP. 200–208 – DOI 10.3103/S1061386224700158.

Исследование изомеризации β -аланината Cu(II) и его координационного полимера $[\text{Cu}_2(\beta\text{-Ala})_2(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})(\text{ClO}_4)]$

Саварец А.Р.¹, Новикова Е.А.², Карманов А.Д.^{1,3}, Соловьев И.П.^{1,3}, Торопов И.А.^{1,3},
Максимова А.Д.⁴, Долженко В.Д.^{1,2}

¹ИОХ РАН имени Н.Д. Зелинского, Москва, Россия

²МГУ имени М.В. Ломоносова, химический факультет, Москва, Россия

³РХТУ имени Д.И. Менделеева, ВХК РАН, Москва, Россия

⁴ИОНХ РАН имени Н.С. Курнакова, Москва, Россия

alekesander.savarets@yandex.ru

Несмотря на кажущуюся простоту системы Cu^{2+} - $\beta\text{-Ala}^-$ - H_2O , в ней образуется ряд соединений [1]. В представленной работе синтезированы и исследованы комплексы $\text{Cu}(\beta\text{-Ala})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (**1**), $\text{Cu}(\beta\text{-Ala})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (**2**), $\text{Cu}(\beta\text{-Ala})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (**3**), $\text{Cu}(\beta\text{-Ala})_2$ (**4**), $[\text{Cu}_2(\beta\text{-Ala})_2(\mu_3\text{-OH})(\text{H}_2\text{O})(\text{ClO}_4)]$ (**5**). Показано, что комплекс **1** кристаллизуется при комнатной температуре и деградирует на воздухе до комплекса **2**. Соединение **3** может быть выделено из раствора при 50 °C. При добавлении в систему ClO_4^- из раствора кристаллизуется координационный полимер **5**. Комплексы **1** и **5** исследованы методом РСА (рис. 1). Структура **1** представляет собой классический аксиально-искажённый октаэдрический комплекс Cu(II).

Комплекс $[\text{Cu}_2(\beta\text{-Ala})_2(\mu_3\text{-OH})(\text{H}_2\text{O})(\text{ClO}_4)]$ (**5**) имеет строение цепочечного координационного полимера, в котором фрагменты $[\text{Cu}_4(\beta\text{-Ala})_4(\mu_3\text{-OH})_2(\text{ClO}_4)_2]$ связаны двумя мостиковыми атомами O_2 карбоксильной группы β -аланина. Фрагмент $[\text{Cu}_4(\mu_3\text{-OH})_2]$ содержит 2 неэквивалентных атома Cu с близкими расстояниями Cu-Cu. Атомы меди имеют пентакоординированное окружение с хелатной координацией $\beta\text{-Ala}^-$.

Состав и строение соединений **1-5** исследованы методами ИК-спектроскопии, ЭПР, ЭСДО, CHN-анализа, магнитометрией. Соотнесение полос в ИК-спектрах проведено на основании изотопного замещения. Комплексы 1-5 проявляют антибактериальную активность против *E. coli*, при этом токсичность $\text{Cu}(\beta\text{-Ala})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (**1-4**) выше, чем у соединения **5**.

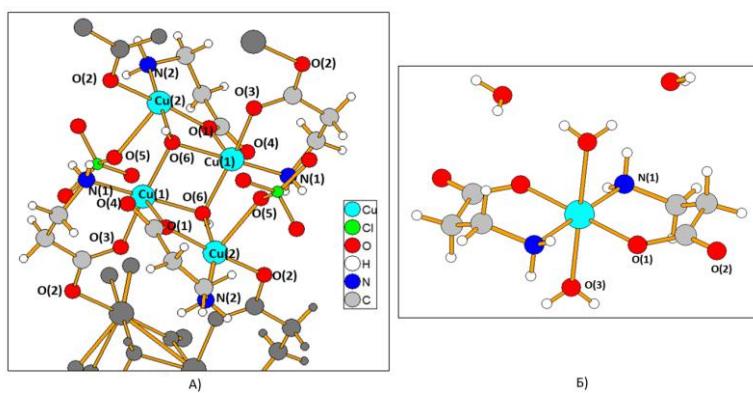


Рис. 1. Строение $[\text{Cu}_2(\beta\text{-Ala})_2(\mu_3\text{-OH})(\text{H}_2\text{O})(\text{ClO}_4)]$ (**5**) (A) и $\text{Cu}(\beta\text{-Ala})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (**1**) (B)

[1] Grigor'eva L. N., Shuriupova T. A. Electron paramagnetic resonance of copper complexes of β -alanine //Journal of Structural Chemistry, 1971. V. 11, №. 6, P. 947-949.

Изменение цвета оксида цинка при развитии его удельной поверхности

Сальникова Н.В., Телегин Ф.Ю.

Ивановский государственный химико-технологический университет
nata_salnikova@list.ru

Оксид цинка традиционно используется как хемосорбент для очистки природного газа от сероводорода и меркаптанов. В производстве гранулированного оксида цинка, используемого в качестве поглотителя, ключевой проблемой является увеличение величин пористости и удельной поверхности. На сегодняшний день используют карбонатную и оксалатную технологии увеличения удельной поверхности оксида цинка.

Цель работы: установить изменение цвета оксида цинка при увеличении его удельной поверхности.

Оксид цинка с удельной поверхностью порядка $5 \text{ м}^2/\text{г}$ обладает выраженным белым цветом. Для получения развитой удельной поверхности в работе использовали карбонатную технологию. Она заключается в следующем. Оксид цинка с удельной поверхностью около $5 \text{ м}^2/\text{г}$ смешивали с карбонатом аммония в соотношении 1:1. Время механообработки в ролико-кольцевой вибромельнице оксида цинка составляло 5 минут при 30 Гц, этого времени достаточно чтобы полностью усреднить массу с получением аммиаката цинка. Разложение аммиаката цинка проводили при 200°C до постоянной массы. Полученный таким образом оксид цинка имел удельную поверхность порядка $47 \text{ м}^2/\text{г}$ и менял цвет с белого на розовый.

Согласно экспериментальным данным, представленным в работах [1-2], видимая люминесценция ZnO является дефект-зависимым явлением. Внутренние точечные дефекты, усиленные эффектами высокой площади поверхности и модифицируемые параметрами обработки, наряду с нарушениями кристаллической решетки, определяют оптические характеристики материала. Это приводит к тому, что оксид цинка часто демонстрирует выраженную люминесценцию в розовой или красной области спектра.

Таким образом, экспериментально установлено изменение окраски оксида цинка при развитии его текстурных параметров, что позволяет сделать предположение о возможности прогнозирования величин удельной поверхности, и как следствие адсорбционной емкости по отношению к сероводороду, оксида цинка по его цвету.

*Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение НИР
(Тема № FZZW-2024-0004)*

[1] Rayi, R. ZnO nanostructures with tunable visible luminescence: Effects of kinetics of chemical reduction and annealing/ R. Rayi, K.G. Gopchandran – *Journal of Science: Advanced Materials and Devices.* – Vol. 2. – 2017. – p. 51-58.

[2] Irimpan L. Size dependent fluorescence spectroscopy of nanocolloids of ZnO / Litty Irimpan, V.P.N. Nampoori, P. Radhakrishnan, A. Deepthy, Bindu Krishnan — *Journal of Applied Physics.* - Vol. 102. – 2007.

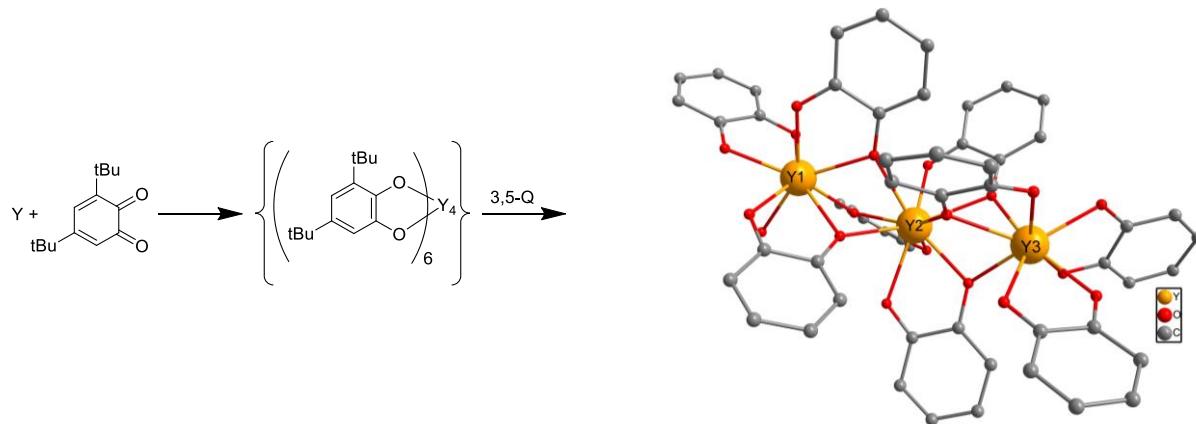
Комплексы редкоземельных металлов с редокс-активными лигандами о-хинонового типа: синтез и исследование строения

Самулионис А.С., Ямбулатов Д.С.,
Николаевский С.А., Кискин М.А., Еременко И.Л.

Лаборатория химии координационных полиядерных соединений ИОНХ РАН
aleksandrasamulionis@gmail.com

Развитие методов синтеза координационных соединений Nd и Yb с редокс-активными лигандами хинонового типа является перспективным инструментом для создания новых отечественных материалов, обладающих люминесценцией в ИК-области. Поиск люминесцентных свойств является нетипичным и недостаточно исследованным направлением развития химии комплексов металлов с редокс-активными лигандами.

В докладе будут освещены разработанные нами методики синтеза координационных соединений Y, Yb, Nd с редокс-активными лигандами - производными 3,5-ди-трет-бутил-о-бензохинона (3,5-Q). Будет детально обсуждено строение полученных катехолатов и семихинолятов Y, Nd, Yb, их реакционная способность и устойчивость по отношению к факторам окружающей среды.



**Рис. 1. Схема синтеза семихинолята иттрия $[Y_3(SQ)_9(THF)]$.
Молекулы тетрагидрофурана и трет-бутильных групп не показаны**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-73-10021,
<https://rscf.ru/project/25-73-10021/>.

Синтез и исследование нанокомпозитов на основе ZnO, модифицированных оксидом празеодима

*Сапронова В.М.^{1,2}, Нагорнов И.А.¹,
Симоненко Н.П.¹, Мокрушин А.С.¹, Симоненко Е.П.¹*

¹Лаборатория физикохимии функциональных материалов ИОНХ РАН

²Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева
vita.sapronova.2004@mail.ru

Разработка методов синтеза новых газочувствительных наноматериалов на основе полупроводниковых оксидов металлов (MOS) остаётся актуальной и практически значимой для многих областей применения. Увеличение промышленного производства и рост выбросов токсичных газов требуют повышения требований к газоаналитическим системам.

Оксид цинка является широко используемым газочувствительным материалом, но недостатки (низкая селективность и высокая рабочая температура) требуют его химической модификации для улучшения хемосенсорных свойств.

Целью работы является получение нанокомпозитов на основе оксида цинка, модифицированных оксидом празеодима, а также изучение их комплекса физико-химических свойств.

Для реализации цели сольвотермальным методом в среде н-бутанола (145°C, 6 ч) и этиленгликоля (145°C, 6 ч) получены образцы ZnO:Pr (содержание 1, 3 и 5 мол.% Pr). Далее полученные образцы отмывались от маточного раствора путем многократной промывки этанолом и высушивались при 70°C до постоянной массы. Полученные нанокомпозиты охарактеризованы комплексом физико-химических методов анализа (РФА, РЭМ, ПЭМ).

Спектрально-люминесцентные и фотофизические свойства комплексов Mg и Zn с пиперазинсодержащими фталоцианинами в растворах

Сарвин И.А., Ерзунов Д.А., Ващурин А.С.

Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН
sarvin2002@mail.ru

Металлокомплексы фталоцианинов имеют огромный потенциал в качестве основного компонента в материалах для различных отраслей, в том числе для использования в качестве ФДТ агентов и флуоресцентных биометок. Определяется этот потенциал, в первую очередь, высокоспецифичной структурой данных соединений.

Более широкое применение металлофталоцианинов ограничено их низкой растворимостью в водных средах. Путем введения в структуру определенных заместителей можно добиться водорастворимости комплексов. Например, введение пиперазиновых фрагментов позволяет в дальнейшем придать растворимости комплексу за счет перевода атомов азота пиперазинового кольца в катионную форму

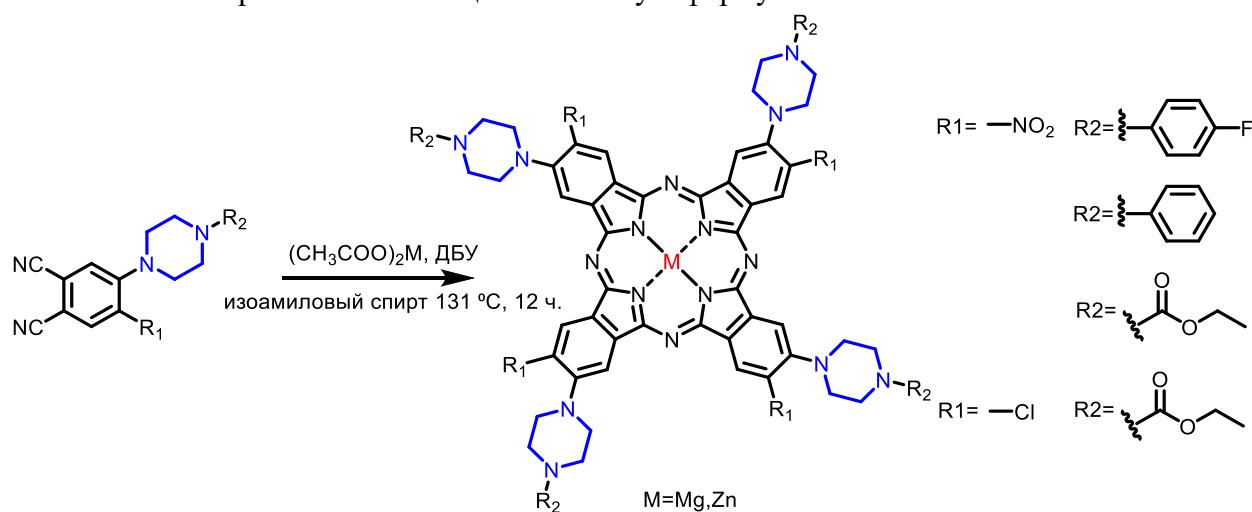


Рис. 1. Синтез пиперазин-замещенных комплексов магния и цинка

В настоящем исследовании нами выполнен синтез бифункционально замещенных комплексов Mg(II) и Zn(II) с фталоцианинами, содержащими в четырёх периферических положениях пиперазиновые фрагменты. Исследование спектральных и фотофизических свойств проводилось в различных органических средах. Кроме того, для представленного ряда комплексов было изучено агрегационное поведение в различных органических средах, это необходимо, так как протекание процессов ассоциации в растворе данных соединений может значительно изменять свойства целевых материалов при этом, в зависимости от типа агрегированных частиц, изменение можно расценивать как в сторону ухудшения свойств, так и в сторону их улучшения.

Работа выполнена в рамках госзадания ИОНХ РАН.

Получение наночастиц платины методом химической конденсации в растворе с использованием растительного экстракта

Сарвина Т.В., Сарвин И.А., Ващурин А.С.

*Институт общей и неорганической химии имени Н. С. Курнакова РАН, Москва
kokurina-t@mail.ru*

Наночастицы благородных металлов обладают широким спектром функционально значимых свойств; в частности, для наночастиц платины характерны выраженные антимикробные, антиоксидантные и противовоспалительные эффекты. Одним из ключевых преимуществ наночастиц является их развитая удельная поверхность, обеспечивающая высокую каталитическую активность и создающая возможности для последующих химических модификаций. Данные характеристики определяют востребованность наночастиц во множестве технологических направлений, включая автомобильную и фармацевтическую промышленности [1].

В научной литературе представлено значительное разнообразие подходов к синтезу наночастиц благородных металлов, включающее физические, химические и биологические методы [2]. Однако, несмотря на их широкое распространение, физические методы зачастую требуют применения высокозэнергетического излучения, тогда как химические методы могут предполагать использование токсичных реагентов и растворителей, что ограничивает их экологическую и технологическую приемлемость.

В связи с этим в данной работе был выбран биогенный подход, основанный на восстановлении металлов в водных растворах растительных экстрактов. Последние содержат фитохимические компоненты, способные одновременно выполнять функции восстановителей и стабилизаторов образующихся частиц [3]. Коричный экстракт использовался в качестве восстановителя при синтезе наночастиц платины путём восстановления гексахлороплатината (IV) калия ($K_2[PtCl_6]$). Для исследования влияния фитохимических веществ на устойчивость коллоидной системы дополнительно варьировались концентрации исходных реагентов и содержание вводимых стабилизаторов, таких как лимонная кислота и поливинилпирролидон (PVP), а также условия проведения синтеза.

Анализ полученных наночастиц проводили с использованием СЭМ для определения размера и формы частиц и РФА.

Работа выполнена в рамках госзадания ИОНХ РАН.

[1] Jeyaraj M., Gurunathan S., Qasim M., Kang M.-H., Kim J.-H. Nanomaterials. 2019. 9.12. 1719.

[2] Hasan S. Res. J. Recent Sci. 2015. 2277. 2502.

[3] Kothari R. Rasayan Journal of Chemistry. 2023. 16. 3.

Координационное состояние катионов бинарных газочувствительных покрытий $\text{TiO}_2/\text{V}_2\text{O}_5$, полученных методом молекулярного наслаждания

Синило Д.А., Синюгин Л.К., Захарова Н.В.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)
sinilodanil.1@mail.ru

Одним из современных направлений совершенствования газовых датчиков является создание двухкомпонентных (бинарных) систем, состоящих из комбинации двух различных функциональных материалов, позволяющих оптимизировать физико-химические свойства покрытий. Таким примером служат сочетания TiO_2 и V_2O_5 , каждый из которых обладает уникальными характеристиками, способствующими повышению отклика сенсора.

Бинарные покрытия с различным количеством циклов обработки парами TiCl_4 , VOCl_3 и H_2O на поверхности пластин $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (A) синтезировали методом молекулярного наслаждания. Полученные системы $\text{A}-x\text{TiO}_2/y\text{V}_2\text{O}_5$ и $\text{A}-x\text{V}_2\text{O}_5/y\text{TiO}_2$, где x, y – заданная цикличность обработки ($x = 300, y = 50, 150, 300$), охарактеризованы методом электронной спектроскопии диффузного отражения (ЭСДО) для оценки формирования металлооксидных структур. Дифференцирование спектров показало наличие нескольких максимумов на кривых, что может свидетельствовать о различной структурной организации оксидных соединений на поверхности Al_2O_3 в зависимости от количества циклов обработки (рис. 1) [1].

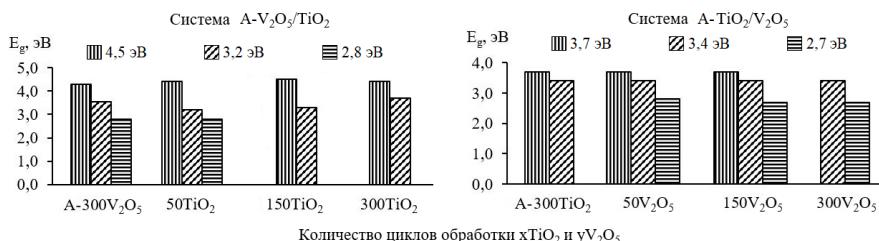


Рис. 1. Энергии координационных полиэдров на поверхности из спектров ЭСДО

Анализ данных показывает, что в системе $\text{A}-x\text{TiO}_2/y\text{V}_2\text{O}_5$ на поверхности формируются тетраэдрически координированные полиэдры Ti^{4+} разной степени искажения (3,4 и 3,7 эВ), а также комплексы, близкие по энергии к кристаллическому V_2O_5 (2,7 эВ). В то же время, в обратной системе, ванадийоксидные структуры не регистрируются, вероятно, из-за протекания на поверхности реакций вытеснения атомов ванадия в образованных оксидных комплексах [2]. Данное явление необходимо учитывать при создании бинарных покрытий газовых сенсоров с целью прогнозирования их газочувствительных свойств.

[1] Соснов Е.А. Новый вариант обработки электронных спектров диффузного отражения / Е.А.Соснов, А.А.Малков, А.А.Малыгин // ЖФХ. – 2009. – Т. 83, № 4. – С. 746-752.

[2] Евдокимов А.В. Синтез многокомпонентных элементооксидных монослоев на поверхности кремнезема, особенности их строения и межфункциональных взаимодействий : специальность 02.00.04 «Физическая химия»: Автореф. дисс ... канд. хим. наук / Евдокимов Андрей Витальевич ; ЛТИ им. Ленсовета. – Ленинград, 1986. – 24 с.

Синтез оксида никеля с развитыми текстурными свойствами

Смирнова О.А., Покровская Е.А.

Ивановский государственный химико-технологический университет, г. Иваново, Россия
Kukla123321@mail.ru

Синтез оксидов переходных металлов с развитой удельной поверхностью и пористостью является актуальной задачей при получении каталитических и адсорбционных систем процессов с участием водорода и водородсодержащих газов. В настоящее время практически не существует теоретических способов прогнозирования активности и селективности катализаторов, при создании каталитических и адсорбционных систем в большинстве случаев исходят из предположения наличия корреляции активности катализатора и его удельной поверхности. Цель работы – увеличение удельной поверхности оксида никеля путем перевода его в аммиачно-карбонатные соли с последующим термическим разложением.

В работе использовали NiO , полученный путем разложения оксалата никеля при температуре $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($S_{\text{уд}} = 14 \pm 1\text{ m}^2/\text{г}$), а также NiO ТУ 6-09-4125-80. Метод увеличения удельной поверхности заключался в следующем: оксид никеля смешивали с карбонатом аммония, 25%-ым раствором нашатырного спирта и водой, выдерживали на водяной бане до полного растворения оксида никеля, далее полученный раствор упаривали, а осадок разлагали при температуре $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Фазовый состав определяли методом рентгеновской дифрактометрии на дифрактометре Bruker D8 Advance с использованием $\text{CuK}\alpha$ – излучения ($\lambda = 0,15406\text{ нм}$, напряжение 40 кВ , 20 mA , углы снятия $2\Theta = 10^{\circ} \div 90^{\circ}$, скорость сканирования $4^{\circ}/\text{мин}$, дискретность – $0,01^{\circ}$). Для идентификации данных рентгенофазового анализа использовалась кристаллографическая база данных МИНКРИСТ). Величины удельной поверхности определяли методом низкотемпературной адсорбции азота, экспериментальные данные обрабатывали уравнением БЭТ.

В работе проверялась возможность получения солей путем смешения оксида никеля и карбоната аммония как в водном растворе, так и в сухом виде используя ролико-кольцевую вибромельницу. При этом удалось получить оксиды никеля с удельной поверхностью $185.6 \pm 0.8\text{ m}^2/\text{г}$ из раствора и $58.4 \pm 0.3\text{ m}^2/\text{г}$ в случае механоактивации (время активации 20 минут при частоте 40 Гц). Получение оксида никеля из аммиачных солей позволяет увеличить удельную поверхность до $156.5 \pm 1.3\text{ m}^2/\text{г}$. Таким образом, можно считать экспериментально обоснованным подход к получению массивных никелевых катализаторов гидрирования, по аналогии с катализаторами синтеза метанола, полученных смешением аммиачно-карбонатных растворов меди и цинка.

Получение наноструктур SnO_x С применением хлорида олова(II) и оценка их функциональных характеристик

Соломатов И.А.^{1,2}, Фисенко Н.А.¹, Симоненко Н.П.¹, Горобцов Ф.Ю.¹, Симоненко Т.Л.¹,
Симоненко Е.П.¹

¹Лаборатория физикохимии керамических материалов, ИОНХ РАН, Москва, Россия

²Национально-исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
факультет химии, Москва, Россия
ivsolomatov@yandex.ru

Развитие методов формирования тонкоплёночных структур на основе оксидов металлов является важной задачей современного материаловедения. Среди таких материалов особый интерес вызывают покрытия на основе диоксида олова – широкозонного полупроводника n-типа, обладающего высокой химической и термической стабильностью, а также прозрачностью в видимом диапазоне. Эти свойства делают SnO_2 востребованным материалом для электрохимических, сенсорных, фотокаталитических и оптоэлектронных технологий [1]. Микроструктурные и функциональные характеристики плёночных оксидных материалов в значительной степени зависят от метода их формирования. Большинство современных технологий формирования оксидных покрытий требуют использования высоких температур и сложного оборудования, что ограничивает работу с некоторыми типами подложек. В связи с этим всё активнее применяются жидкофазные методы получения наноматериалов, например, гидротермальный синтез, позволяющий формировать оксидные фазы из растворов при относительно низких температурах (до 200°C). В качестве основания в подобных процессах обычно используют гидрат аммиака или гидроксиды щелочных металлов, однако при их применении происходит быстрое повышение pH системы, что затрудняет контролируемое постепенное формирование плёнок. Использование мочевины в качестве основания позволяет решить эту проблему. В процессе гидротермальной обработки мочевина постепенно разлагается с образованием аммиака, что создаёт условия для контролируемого осаждения структур SnO_x . Таким образом, целью данной работы стало исследование процесса формирования структур SnO_x на поверхности металлических подложек в гидротермальных условиях с использованием хлорида олова(II) в качестве источника ионов олова и мочевины в качестве основания. При выполнении работы были приготовлены водные растворы $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с концентрацией ионов олова в растворе 0,005-0,025 моль/л, после чего добавляли мочевину в соотношении $n(\text{Sn}^{2+}):n(\text{NH}_2)_2\text{CO} = 1:10$. Реакционную систему помещали в автоклав и проводили гидротермальную обработку при 180 и 200°C в течение 2-6 часов. Полученную твёрдую фазу отделяли и сушили при 50°C. Аналогично были проведены эксперименты по гидротермальной обработке растворов с погружёнными в них титановыми и никелевыми подложками, что позволяло формировать на их поверхности плёнки SnO_x . Полученные материалы были исследованы комплексом физико-химических методов для установления связи между условиями синтеза, морфологией, кристаллической структурой и электрохимическими характеристиками.

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

[1] N.A. Fisenko, I.A. Solomatov, N.P. Simonenko, A.S. Mokrushin, P.Y. Gorobtsov, T.L. Simonenko, I.A. Volkov, E.P. Simonenko, N.T. Kuznetsov, Sensors, 2022, 22, 9800 <https://doi.org/10.3390/s22249800>

Подложки на основе серебряных нанопроволок для усиления рамановских спектров биологических образцов

Стинская К.Б.^{1,2,3}, Белицкая Е.Д.⁴, Батищева Ю.А.^{2,3}, Залыгин А.В.^{1,3,4}, Наумов А.В.^{1,3}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Москва, Россия

²Московский государственный университет, имени М.В. Ломоносова, факультет фундаментальной физико-химической инженерии, Москва, Россия

³Московский педагогический государственный университет, Институт физики, технологии и информационных систем, Москва, Россия

⁴Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Государственный научный центр Российской Федерации Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова Российской академии наук, Москва, Россия

ks.stinskaya@gmail.com

Наиболее эффективным способом усиления сигнала комбинационного рассеяния (КР) является размещение молекулы в непосредственной близости к наночастицам благородных металлов. Этот метод называется гигантским комбинационным рассеянием (ГКР) и заключается в размещении исследуемых молекул на поверхности наноструктурированных подложек, после чего КР регистрируется традиционным способом [1,2]. В данной работе рассмотрена возможность применения подложек на основе серебряных нанопроволок для ГКР спектроскопии биологических образцов. Для получения нанопроволок серебро электрохимически осаждали в поры полимерной трековой мембранны, используя слои серебра и меди, предварительно нанесенные на мембрану, в качестве катода. Процесс осаждения проводился в двухэлектродной электрохимической ячейке при комнатной температуре с серебряным анодом и временем осаждения от 250 до 550 с, с шагом в 100 с. Полученные структуры были подвергнуты травлению раствором щелочи для удаления полимера. На подложках были измерены спектры белка цитохрома С с концентрацией 10^{-5} М. Пик 748 cm^{-1} показал усиление в 800 раз по сравнению с образцом без ГКР-подложки. По результатам проделанных экспериментов можно сделать вывод, что предложенные подложки могут применяться для усиления сигнала комбинационного рассеяния для детекции различных веществ при малых концентрациях.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства просвещения Российской Федерации № 124031100005-5.

[1] Kozhina E. P. et al. Study of local fields of dendrite nanostructures in hot spots formed on SERS-active substrates produced via template-assisted synthesis // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2020. – Т. 84. – С. 1465-1468.

[2] Oleinikov V. A. et al. The effect of plasmon silver and exiton semiconductor nanoparticles on the bacteriorhodopsin photocycle in Halobacterium salinarum membranes // Optics and Spectroscopy. – 2017. – Т. 122. – №. 1. – С. 30-35.

AACVD-синтез двухслойных нанокомпозитов ZnO/CuO и изучение их газочувствительных свойств

*Стройкова А.Р.^{1,2}, Мокрушин А.С.²,
Симоненко Н.П.², Симоненко Е.П.²*

¹Институт материалов современной энергетики и нанотехнологии РХТУ

²Лаборатория физикохимии керамических материалов ИОНХ РАН
esiamya737@mail.ru

Нанокомпозиты CuO/ZnO в виде тонких пленок были синтезированы методом осаждения из газовой фазы с помощью аэрозоля (AACVD). Этот метод предполагает доставку аэрозоля в реакционную зону потоком газа-носителя. Полученные пленки активно используются в газовой сенсорике, что обусловлено наличием p-/n-перехода.

Процесс формирования двухслойных наноструктурированных пленок ZnO/CuO проходил в два этапа. Сначала формировался нижний (базовый) слой ZnO, а затем на его поверхности осаждался слой CuO, имеющий островковую структуру. Для синтеза применялись растворы ацетилацетоната цинка (концентрация 0,05 М) и ацетилацетоната меди (с регулируемой концентрацией), растворенные в метаноле. В качестве газа-носителя использовался азот с расходом 200 мл/мин. Синтетическая установка включала расходомер, ультразвуковой генератор аэрозоля, проточную печь и систему улавливания аэрозоля

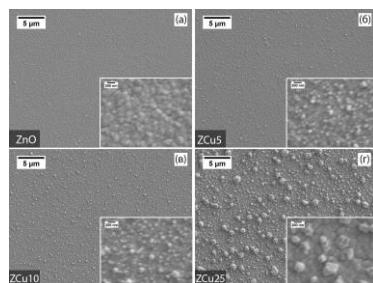


Рис. 1. СЭМ изображения тонких пленок ZnO/CuO на подложках из Si: ZnO (a), ZCu5 (b), ZCu10 (c), ZCu25 (d).

В качестве подложек применялись три материала: поликристаллический оксид алюминия, монокристаллический кремний и стекло. Для удаления органических загрязнений с поверхности подложки подвергались предварительной термообработке в воздушной среде при 400°C. Полученные пленки были охарактеризованы с помощью физико-математических методов. Для изучения морфологии и микроструктуры была задействована сканирующая электронная микроскопия (СЭМ). Было установлено, что средний размер сферических агломератов CuO находился в диапазоне от 97 до 499 нм и зависел от концентрации прекурсора. Химический состав определялся энергодисперсионным анализом (EDX). Фазовый состав был исследован методом рентгенофазового анализа (РФА) и подтвержден Раман-спектроскопией. Изучение газочувствительных характеристик пленок чистого ZnO и нанокомпозитов ZnO/CuO продемонстрировало, что внедрение CuO существенно улучшает селективность к сероводороду (H2S) в широком диапазоне его концентраций.

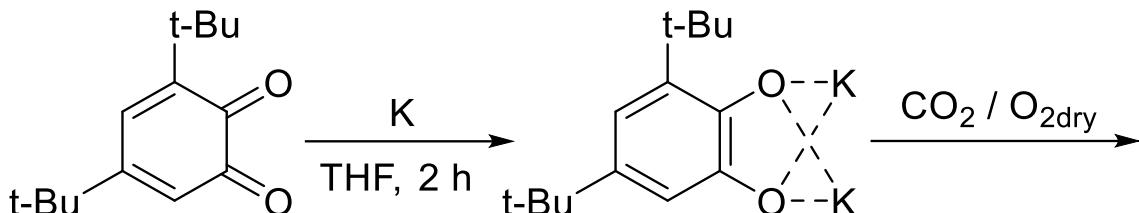
Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН (ИОНХ РАН)

Активация малых молекул соединениями щелочных металлов с редокс-активными лигандами диоксоленового ряда

Тычинина А.А., Ямбулатов Д.С., Кискин М.А.

Лаборатория химии координационных полиядерных соединений ИОНХ РАН
anatychinina326@gmail.com

Ключевая задача современной химии - разработка методов активации стабильных малых молекул. Низкая реакционная способность, обусловленная прочными связями и высокими энергиями активации, препятствует их широкому использованию в качестве сырья для синтеза ценных продуктов. Снижение энергетического барьера для их вовлечения в химические реакции, является важным шагом на пути к решению таких глобальных проблем, как утилизация парникового газа CO_2 [1-2]. В данной работе исследуется новый подход к активации, основанный на синтезе соединений калия с редокс-активным орто-хиноновым лигандом, которые за счет сильного восстановительного потенциала и способности к переносу электронов, могут взаимодействовать с малыми молекулами (схема 1).



Проведенные эксперименты однозначно подтверждают реакционную способность катехолата калия в отношении малых молекул CO_2 и O_2 , о чем свидетельствуют выраженные изменения реакционной среды и формирование осадка. Образование нового продукта в случае с CO_2 установлено методом ИК-спектроскопии. Картина поглощения полученного вещества уникальна и не соответствует спектрам катехолата или семихинолята, что является косвенным доказательством синтеза ранее не описанного координационного соединения. В настоящей работе обсуждаются условия синтеза комплексов калия, их взаимодействие с CO_2 и O_2 , данные ИК-спектроскопии и возможные пути реакции.

[1] Aresta M., Dibenedetto A., Quaranta E. State of the art and perspectives in catalytic processes for CO_2 conversion into chemicals and fuels: The distinctive contribution of chemical catalysis and biotechnology //Journal of Catalysis. – 2016.

[2] Lim G. et al. Organometallic and coordinative photoresist materials for EUV lithography and related photolytic mechanisms //Coordination Chemistry Reviews. – 2023.

Функциональные покрытия на основе органозамещенных силоксанов для гидрофобизации поверхности и порового пространства графитовой фольги

Сюнякова С.М.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
химический факультет, Москва, Россия
safiya2002s@yandex.ru

В настоящее время материалы на основе графитовой фольги (ГФ) широко используются в качестве уплотнений, которые предотвращают утечки жидкостей [1]. Однако условия получения терморасширенного графита (ТРГ), из которого сделана ГФ, сильно влияют на ее герметизирующую способность по отношению к водным средам [2]. Поэтому важно изучение возможности контролировать гидрофобность ее поверхности. Одним из таких способов является нанесение гидрофобных модификаций на основе силанов с органическими заместителями.

ТРГ был получен при температуре 800 °С из окисленного графита. Изготовлена графитовая фольга, путем прессования и прокатки на валах ТРГ. Гидрофобные покрытия наносились на поверхность графитовой фольги из растворов дихлорметилфенилсилана и тетраэтоксисилана. Исследовались поверхностные и сорбционные свойства графитовой фольги в зависимости от типа силана, растворителя и температуры термообработки.

Были проведены измерения угла смачивания ГФ в дистиллированной воде, глицерине, формамиде и октане. На основе углов смачивания были рассчитаны полярная и дисперсионная составляющие свободной энергии поверхности ГФ. При нанесении покрытий полярная составляющая уменьшилась, что говорит об увеличении гидрофобности поверхности ГФ.

При проведении кинетики сорбции октана и воды образцами графитовой фольги измерялась масса сорбированной жидкости с течением времени. Массы сорбированной воды уменьшились для модифицированных образцов, а минимальные значения получились при использовании метилфенилсилана в гептане. При увеличении температуры термообработки с 300° до 500°С происходит разрушение покрытий, вследствие чего полярная составляющая свободной энергии модифицированной ГФ увеличивается, также и увеличивается масса сорбированной воды.

[1]. Ivanov A.V., Maksimova N.V., Manylov M.S., Kirichenko A.N., Kalachev I.L., Malakho A.P., Avdeev V.V. Gas permeability of graphite foil prepared from exfoliated graphite with different microstructures // Chemical routes to materials, J Mater Sci. 2021. Vol. 56. P. 4197-4211.

[2]. Kozbial A., Trouba C., Liu H., Li L. Characterization of the Intrinsic Water Wettability of Graphite Using Contact Angle Measurements: Effect of Defects on Static and Dynamic Contact Angles // Langmuir. 2017. Vol. 33. P. 959-967.

Особенности получения реакционноспеченного карбида кремния

Филиппова М.С., Грицкевич М.Д., Грачева А.В.

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова,
Химический факультет, Москва, Россия
filippovams@my.msu.ru

Керамика на основе реакционноспеченного карбида кремния (РКК) – практически безусадочный материал, получаемый спеканием [1]. РКК за счет своих выдающихся физико-механических свойств применяется в производстве износостойких плит и деталей пар трения насосов для абразивных сред.

В качестве основного компонента при производстве РКК использовались порошки карбида кремния со средними размерами частиц 28-40 мкм и 3-5 мкм, в качестве углеродсодержащего наполнителя для образования вторичного карбида кремния использовалась сажа, а также фенольное связующее. Исходные компоненты смешивались в оптимальных соотношениях, а затем подвергались прессованию с давлениями: 0; 5; 17; 22,5; 42,4; 50; 62,4; 75 МПа. Прессовки подвергались двум этапам термообработки: термостабилизации при температуре 175°C и в течение 3,5 часов - для сшивки связующего, и карбонизации при температуре 900 °C в течение 30 минут - для частичного удаления его из заготовки. Карбонизированные заготовки проливались расплавом кремния. На рисунке 1 приведены данные исследования образцов после силицирования.

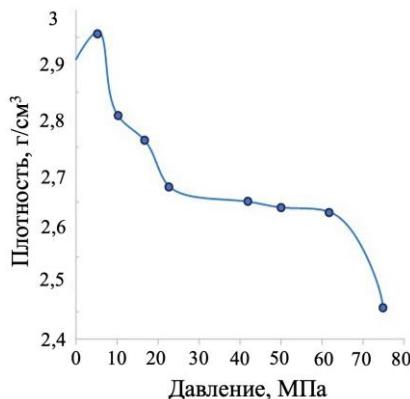


Рис. 1 – График зависимости плотности от давления прессования

Показано, что при увеличении давления прессования, плотность образцов снижается, что обуславливается более высокой плотностью и закрытой пористостью заготовок, препятствующих полному проливу расплавом кремния, и, как следствие, образованию вторичного карбида кремния.

[1] P.S. Grinchuk, M.V. Kiyashko Advanced technology for fabrication of reaction-bonded SiC with controlled composition and properties // Journal of the European Ceramic Society. - 2021. - №12. - С. 5813–5824.

Влияние природы предшественника на особенности формирования и электрохимические свойства наноразмерного оксида олова

*Фисенко Н.А.¹, Соломатов И.А.^{1,2}, Дементьева П.Д.^{1,2}, Симоненко Н.П.¹, Мокрушин А.С.¹,
Горобцов Ф.Ю.¹, Симоненко Т.Л.¹, Симоненко Е.П.¹*

¹Лаборатория физикохимии керамических материалов, ИОНХ РАН, Москва, Россия

²Национально-исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
факультет химии, Москва, Россия

fisenkonk@yandex.ru

Одним из ключевых факторов прогресса в области современных наноматериалов для электроники является разработка эффективных подходов к синтезу токопроводящих наноструктур, обладающих заданными функциональными характеристиками. В данном контексте особое внимание уделяется диоксиду олова (SnO_2), являющемуся перспективным оксидным полупроводником n -типа, сочетающим относительно высокую электропроводность, прозрачность в видимом диапазоне и термическую стабильность [1]. Наноматериалы на основе SnO_2 активно внедряются в качестве электродов суперконденсаторов, компонентов хеморезистивных газовых сенсоров и прозрачных электродов в оптоэлектронных приборах. Традиционно синтез наноразмерного SnO_2 осуществляется с применением хлоридов олова, преимущественно посредством жидкофазных подходов, таких как гидротермальный или сольвотермальный методы, а также с помощью химического осаждения и золь-гель технологии. Однако при использовании хлорида олова(II) существенным недостатком может стать присутствие остаточных ионов хлора в конечных продуктах, что может негативно сказаться на электропроводности и сорбционной активности материала. Альтернативным вариантом является использование ацетата олова(II) в качестве предшественника, что позволяет существенно минимизировать содержание посторонних примесей в образцах SnO_2 и оптимизировать микроструктуру синтезированных наноматериалов. Таким образом, целью работы стало изучение влияния природы предшественника на особенности формирования наноразмерного оксида олова и электрохимических свойств материалов на его основе, для чего был проведен сравнительный анализ процесса синтеза оксида олова, осуществленного как с применением ацетата олова(II), так и с применением хлорида олова(II), а также изучение физико-химических характеристик материалов на основе оксида олова. Для формирования наноразмерного SnO_2 были приготовлены растворы ацетата и хлорида олова(II), далее к ним добавляли мочевину, после чего полученную систему подвергали гидротермальной термообработке при варировании концентрации соединения олова (0.005, 0.010 и 0.025 моль/л), температуры (180 и 200°C) и длительности термообработки (2 и 6 часов). Полученные порошки были выделены, очищены и высушены при 50°C. Также в гидротермальных условиях были сформированы оксидные пленки в условиях, соответствующих параметрам получения оксидных нанопорошков. Полученные материалы были изучены с применением комплекса физико-химических методов, а также проведена оценка электрохимических свойств оксидных плёнок.

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

[1] N.A. Fisenko, P.D. Dementieva, N.P. Simonenko, Ph.Yu. Gorobtsov, T.L. Simonenko, E.P. Simonenko, Russ. J. Inorg. Chem., 2025, 70, 1310–1317. <https://doi.org/10.1134/S0036023625602776>

Катионная нестехиометрия в эпитаксиальных пленках $\text{Lu}_{3+x}\text{Fe}_{5-x}\text{O}_{12}$

Хафизов А.А.¹, Гу Жосюань¹, Маркелова М.Н.¹, Волков Д.А.², Габриелян Д.А.², Сафин А.Р.²,
Васильев А.Л.³, Кауль А.Р.¹

1 МГУ имени М.В.Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, 1

² ИРЭ имени В.А.Котельникова, 125009, Москва, Моховая, 11к7

³ НИЦ «Курчатовский Институт», 123098, Москва, пл. Академика Курчатова, 1
abduvosithafizov220@gmail.com

В последние годы редкоземельные феррогранаты ($\text{R}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$) привлекают к себе внимание как перспективные материалы спинtronики и магноники, среди них выделяется $\text{Lu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, являющийся магнитным диэлектриком с высоким значением намагниченности насыщения. Эффективность тонких пленок $\text{R}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ в резонансных экспериментах ухудшается при наличии дефектов эпитаксиального роста и упругих напряжений. Целью данной работы является синтез, изучение структуры и резонансных свойств эпитаксиальных пленок $\text{Lu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ на монокристалльных подложках $\text{Gd}_3\text{Ga}_{5-x}\text{Al}_x\text{O}_{12}$ ($x=0-2$).

Для эпитаксиального роста пленок $\text{Lu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ нами использовано химическое осаждение из паров дипивалоилметанатов (MOCVD) с нитепротяжным питателем [1]. Состав и структуру пленок исследовали методами РФА, РСМА и ПЭМ поперечного среза. Ферримагнитный резонанс (ФМР) пленок измеряли на установке на основе векторного анализатора цепей [2].

Показано, что при эпитаксиальном росте $\text{Lu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ избыток Lu-компонента в паре может приводить к частичному замещению Fe^{3+} в октаэдрических позициях и образованию антиструктурных дефектов $[\text{Lu}^{3+}\text{Fe}^{3+}]_{\text{октаэдр}}$. Эпитаксиальная стабилизация и образование антиструктурных дефектов в пленке $\text{Lu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ при сверхстехиометрическом ($> 3/5$) содержании Lu приводят к расширению области катионной нестехиометрии $\text{Lu}_3(\text{Fe}_{5-x}\text{Lu}_x)\text{O}_{12}$ и сильному увеличению параметра ЭЯ граната. Т.о. было установлено, что варьирование количественного соотношения компонентов в паре позволяет изменять состав $\text{Lu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ в нестехиометрическом диапазоне и получать пленки с различными параметрами ЭЯ граната. Для достижения наилучших резонансных свойств пленок $\text{Lu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ необходимо оптимизировать катионное стехиометрическое соотношение компонентов пленки $\text{Lu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, обеспечивая тем самым минимальное рассогласование параметров ЭЯ (ε) на границе с используемыми подложками $\text{Gd}_3\text{Ga}_{5-x}\text{Al}_x\text{O}_{12}$ того или иного состава. Уменьшение величины ε коррелирует с уменьшением дефектности получаемых пленок граната, что приводит к увеличению интенсивности и сужению ширины линий ФМР.

Показано, что образование фазы $\text{Lu}_3(\text{Lu}_x\text{Fe}_{5-x})\text{O}_{12}$ с катионной нестехиометрией происходит только в пленках благодаря эпитаксиальной стабилизации. В автономном состоянии (кристалл, керамика или порошки) катионная нестехиометрия феррограната лютения не обнаруживается .

[1] Кауль А. Р., Нигаард Р. Р., Ратовский В. Ю., Васильев А. Л.. TSF-MOCVD – новый способ осаждения оксидных тонких пленок и слоистых гетероструктур из газовой фазы. Конденсированные среды и межфазные границы. 2021.

[2] Волков Д. А., Габриелян Д. А., Матвеев А. А., Сафин А. Р., Калябин Д. В., Хафизов А. А., Маркелова М. Н., Кауль А. Р., Никитов С. А. Спиновая накачка из $\text{Lu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$. Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики. 2024.

Методы автоматизированного создания химических баз данных

Шандыбо М.А.^{1,2}, Злобин И.С.^{1,2}, Фролов С.В.¹, Павлов А.А.¹

¹Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова, Москва, Россия

²Институт физической химии и электрохимии имени А. Н. Фрумкина РАН, Москва, Россия
shandybo.ma@phystech.edu

Одно из ключевых препятствий для применения методов машинного обучения в химии – это нехватка качественных и достоверных данных. Несмотря на простоту формулировки, задача извлечения текстовой информации из PDF-файлов с сохранением исходного форматирования до сих пор не решена в полной мере: даже лучшие open source решения не обеспечивают качества, достаточного для дальнейшей автоматизированной обработки и извлечения химических сущностей [1].

В настоящей работе мы представляем фреймворк для полностью автоматического извлечения информации из химических статей, без использования больших лингвистических моделей промышленного масштаба, включающий перевод PDF-файла научной статьи в Markdown с полным сохранением структуры и форматирования и выделение заданных химических сущностей из полученного текстового массива. Изложенный подход демонстрирует качество выделения химических сущностей с F1 score 87%, что на 11% выше, чем самые продвинутые аналоги в области [2].

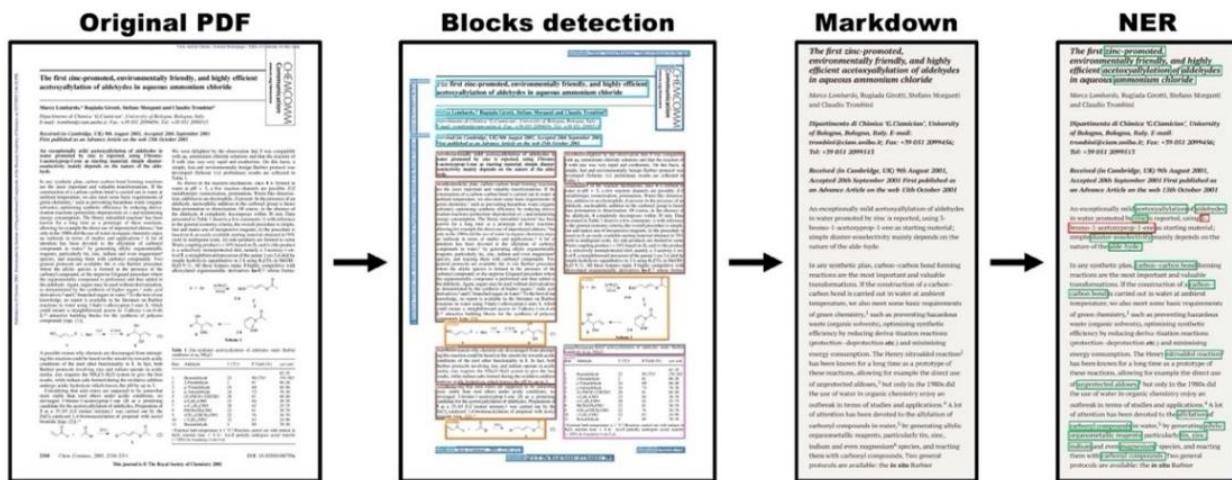


Рис. 1. Визуализация стадий работы фреймворка

[1] Swain, M. C. & Cole, J. M. J. Chem. Inf. Model. 2016, 56, 1894–1904.

[2] Zhang, Y., Vlachos, D. G., Liu, D. & Fang, H. J. Chem. Inf. Model. 2025, 65, 4334–4345.

Никельхромовые катализаторы для получения D-сорбита

Шахов Д.С., Осадчая Т.Ю., Афинеевский А.В.

Ивановский государственный химико-технологический университет
osadchayatyui@gmail.com

D-сорбит представляет собой промышленно значимый продукт и полупродукт, широко применяемый в химической, пищевой, парфюмерной и фармацевтической промышленности [1]. Применение гетерогенных катализитических систем на основе переходных металлов позволяет проводить процесс с высокой степенью конверсии при упрощённой технологической схеме, сниженных энергозатратах и минимальном экологическом воздействии [2]. В ходе проведённых исследований получен ряд никелевых катализаторов, синтезированных методами: соосаждение, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), механохимический (МА) и выщелачивание. Математический анализ полученных данных показал, что полученные образцы существенно различались не только по фазовому составу, но и по текстурным характеристикам.

Для самого эффективного катализатора, по результатам кинетических экспериментов, подобраны условия гидрирования с достижением высокой селективности процесса (около 99.0 %) при практически 100 % конверсии D-глюкозы, что позволило предложить новые обоснованные подходы к совершенствованию существующих технологических процессов.

Таким образом, ключевым фактором оказывается выбор метода синтеза и исходных веществ. Наилучшие абсолютные значения площади активной поверхности обеспечивают выщелачивание и СВС. Если же сравнивать долю активной поверхности от общей, то наиболее оптимальными оказываются СВС и МА с коммерческим оксидом хрома.

*Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда
№24-23-00362.*

[1] Moreno, J., Iglesias, J., Blanco, J. et al. Life-cycle sustainability of biomass-derived sorbitol: Proposing technological alternatives for improving the environmental profile of a bio-refinery platform molecule //Journal of Cleaner Production. 2020. 250. 119568.

[2] Yang, X., Li, X., Zhao, et al. Production of sorbitol via hydrogenation of glucose over ruthenium coordinated with amino styrene-co-maleic anhydride polymer encapsulated on activated carbon (Ru/ASMA@ AC) catalyst // Molecules. 2023. 28(12). 4830.

Синтез, структура и люминесцентные свойства МОКП на основе лантанидов и 1,2,4,5 - бензолтетракарбоновой кислоты

Эфендиев Р.А.¹, Сидорук А.В.^{1,2}, Белоусов Ю.А.^{1,2,3}, Гончаренко В.Е.^{2,3}

¹ Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Россия,

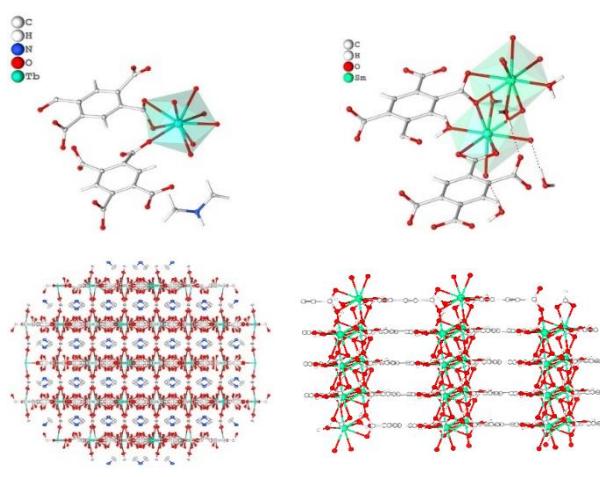
²Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Россия, Москва, Покровский бульвар, 11, стр. 10,

³Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН, 119991, г. Москва, пр-кт Ленинский, д.53,
rasul.efendiev@chemistry.msu.ru

Металлорганические каркасные соединения, содержащие лантаноиды, применяются в качестве люминофоров с настраиваемыми цветовыми координатами, источников белого света, химических сенсоров и люминесцентных термометров. Эффективность люминесценции таких соединений зависит от природы структурообразующего лиганда и центрального атома металла. Используемый лиганд должен обладать минимальным количеством связей-тушителей, таких как O-H, N-H и C-H, и иметь оптимальный триплетный уровень для сенсибилизации иона РЗЭ.

В представленной работе синтезируются и исследуется получение координационных соединений на основе 1,2,4,5 - бензолтетракарбоновой кислотой свойств (H₄BTCA) и металлов лантаноидного ряда от Sm до Dy в сольватермальных условиях в смеси диметилформамида (DMF) – H₂O. В условиях синтеза происходит гидролиз DMF с образованием катионов диметиламмония NMe₂H₂⁺ и анионов HCOO⁻. Для подавления процесса образования побочной фазы формиата {Ln(HCOO)₃}₃ уменьшалось значение pH реакционной смеси. Кроме того, как было показано ранее в работе [1], уменьшение величины pH при некотором снижении выхода



приводит к улучшению качества монокристаллов. Образующиеся катионы NMe₂H₂⁺ способны встраиваться в поры МОКП, поэтому получаемые соединения могут находить применение в качестве люминесцентных сенсоров. При помощи РСА определены кристаллические структуры комплексов тербия и самария (рис. 1).

Соединение тербия имеет формулу {(Me₂NH₂)[Tb(HBTCA³⁻)(HCOO)]}_n (Cmce), а самария - {Sm₂(BTCA)(HCOO)₂(H₂O)₄}_n и не содержит катионов диметиламмония или молекул воды в каналах (Р-1).

Рис.1. КП(Tb) и структура {(Me₂NH₂)[Tb(HBTCA³⁻)(HCOO)]}_n (слева), КП(Sm) и структура {Sm₂(BTCA)(HCOO)₂(H₂O)₄}_n (справа).

[1] Anna A. Ivanova, Victoria E. Gontcharenko, Alexey M. Lunev, Anastasia V. Sidoruk, Ilya A. Arkhipov, Ilya V. Taydakov and Yuriy A. Belousov. New Carboxylate Anionic Sm-MOF: Synthesis, Structure and Effect of the Isomorphic Substitution of Sm³⁺ with Gd³⁺ and Tb³⁺ Ions on the Luminescent Properties. // Inorganics. 2022. V. 10. № 104.

Смешанновалентный хлороантимонат диазабицикло[2.2.2] октана

Юдин К.М.¹, Гончаренко В.Е.², Шестимерова Т.А.¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
химический факультет, Москва, Россия

² НИУ ВШЭ, Москва, Россия
KiRiK1110@yandex.ru

Смешанновалентные соединения привлекали внимание учёных со времён открытия знаменитого пигмента Fe(II, III) - берлинской лазури в 18 веке. Последующие исследования позволили выявить богатый химический состав соединений с переходными или постпереходными металлами в двух различных степенях окисления, которые проявляют необычное поведение, включая сверхпроводимость, магнитные фазовые переходы и межвалентную полосу переноса заряда при поглощении [1].

В данной работе было получено соединение $(\text{dabcoH}_2)_7[\text{Sb}^{\text{V}}\text{Cl}_6][\text{Sb}_7^{\text{III}}\text{Cl}_{34}] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. ($\text{dabco} = 1,4\text{-диазабицикло}[2.2.2]\text{октана}$). Ранее было известно два хлороантимоната катиона dabcoH_2^{2+} , в состав анионов которых входила сурьма(III), $(\text{dabcoH}_2)_2[\text{Sb}_2\text{Cl}_{10}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $(\text{dabcoH}_2)[\text{SbCl}_5] \cdot \text{H}_2\text{O}$. В этих соединениях катион dabcoH_2^{2+} выступает в роли структурнонаправляющего агента, организуя структуры и ориентируя дискретные анионы $\text{Sb}_2\text{Cl}_{10}^{4-}$ и линейные одномернобесконечные SbCl_5^{2-} в первом и втором соединении, соответственно. В новом соединении $(\text{dabcoH}_2)_7[\text{Sb}^{\text{V}}\text{Cl}_6][\text{Sb}_7^{\text{III}}\text{Cl}_{34}] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ мы наблюдаем формирование трехмерного аниона $\text{Sb}_7^{\text{III}}\text{Cl}_{34}^{13-}$, в полостях которого располагаются катионы dabcoH_2^{2+} , октаэдры $[\text{Sb}^{\text{V}}\text{Cl}_6]^-$ и молекулы воды. Соединение имеет глубокий оранжево-красный цвет, что не характерно для хлороантимонатов(III), и объясняется присутствием в структуре сурьмы в двух степенях окисления. Данное соединение кристаллизуется в пространственной группе $Pbca$ с параметрами кристаллической решётки $a = 27.1657(14)$ Å, $b = 27.2469(10)$ Å, $c = 27.2832(10)$ Å. Соединение получено в чистом виде, данные термогравиметрии показывают, что данное соединение устойчиво на воздухе и начинает терять воду только при нагревании до 160°C .

Таким образом, в работе впервые показана возможность образования смешанновалентных гибридных галогенометаллатов, обладающих аномально низкими для хлороантимонатов значениями ширины запрещенной зоны, и необычным кристаллическим строением. Это открывает дополнительные возможности для модификаций кристаллического и электронного строения, а значит и свойств галогенометаллатов.

Работа поддержана государственной программой #AAAA-A21-121011590082-2

[1] Benin B. M. и др. Lone-Pair-Induced Structural Ordering in the Mixed-Valent 0D Metal-Halides $\text{Rb}_{23} \text{Bi}^{\text{III}}_x \text{Sb}^{\text{III}}_{7-x} \text{Sb}^{\text{V}}_2 \text{Cl}_{54}$ ($0 \leq x \leq 7$) // Chem. Mater. 2021.

- Агафонов М.А., 49, 53
Александров А.А., 33
Анисимова В.А., 6
Антонова А.С., 7
Антуганова В.А., 8
Арифулин Р.Ж., 46
Астахов Н.В., 9
Афинеевский А.В., 77
Бакланова У.Р., 10
Барановская В.Б., 26
Баранчиков А.Е., 33
Барсуковский К.А., 11
Батищева Ю.А., 69
Белицкая Е.Д., 69
Белова А.С., 21
Белоусов Ю.А., 78
Бердоносов П.С., 9
Богословская А.Д., 12
Болотько А.Е., 13
Бондаренко М.А., 58
Борщ В.Н., 59
Бруцкая М.А., 14
Бузанов Г.А., 42
Бутикова О.А., 32
Бушуев В.А., 15
Вараксина Е.А., 13
Васенина Ю.Е., 16
Васильев А.Л., 75
Васильева Д.Н., 17
Василюк К.С., 29
Вашурин А.С., 38, 64, 65
Веденяпин Е.С., 18
Вербецкий В.Н., 41
Волков А.В., 12
Волков Д.А., 75
Волошин Я.З., 48
Выходцев А.С., 19
Габриелян Д.А., 75
Гаврилов М.И., 20
Галимов Д.И., 29
Гапанович М.В., 10, 55
Гапанович.М.В., 43
Гончаренко В.Е., 78, 79
Гордеева Е.Ю., 21
Горобцов Ф.Ю., 16, 24, 34, 57, 68, 74
Грачева А.В., 73
Грицкевич М.Д., 73
Гу Жосюань, 75
Губанов В.В., 22
Дедов А.Г., 28
Делягина Е.В., 32
Делягина Е.С., 49
Дементьева П.Д., 23, 74
Демидкин Д.И., 24
Дмитриева Е.С., 12
Дмитриева С.А., 25
Долженко В.Д., 60
Дун Шичжань, 31
Егорова А.А., 26
Елисеенкова В.А., 27
Еременко И.Л., 50, 62
Ерёменко И.Л., 13
Ерзунов Д.А., 38, 64
Ермаков Е.В., 28
Ермолаева О.В., 29
Жидоморова А.Н., 30
Залыгин А.В., 69
Запесоцкий М.Я., 31
Зарубин А.А., 32
Захарова А.С., 33
Захарова Н.В., 66
Злобин И.С., 76

- Зубарев А.Э., 34
Иванов В.К., 33
Иванов Г.К., 35
Иванцов А.И., 36
Ионов Д.С., 21
Канатьева А.Ю., 19
Караваев И.А., 42
Карманов А.Д., 37, 60
Католикова А.С., 38
Кауль А.Р., 75
Ким К.Б., 6
Киселев Е.В., 39
Кискин М.А., 15, 40, 47, 52, 62, 71
Климакин Я.С., 40
Клямкин С.Н., 51
Козлова Т.О., 17
Колесников А.Ф., 11
Колобов Ю.Р., 39
Корнеева Е.Ю., 51
Кочкина Н.Е., 32
Кошенская К.А., 50
Крайнева О.Д., 38
Крот П.А., 41
Крылов М.С., 42
Кубасов А.С., 42
Кузнецов Н.Т., 11
Кузнецов С.В., 33
Кулеметьев И.Д., 43
Лелекова В.А., 44
Леонова К.Р., 45
Локтев А.С., 28
Лукомский И.В., 11
Луценко И.А., 50, 56
Лысенков А.С., 11
Любимов С.Е., 46
Максименко В.Н., 39
Максимова А.Д., 60
Манохин С.С., 39
Маркелова М.Н., 75
Марьина Г.Е., 26
Мокрушин А.С., 22, 25, 70, 11, 63, 74
Морозова М.С., 47
Мосов Д.О., 48
Нагорнов И.А., 11, 63
Наумов А.В., 69
Неласов И.В., 39
Никитина М.Г., 49
Николаевский С.А., 62
Нифталиев С.И., 6
Новиков Д.В., 50
Новикова Е.А., 37, 60
Новоселов А.С., 51
Новоселова А.С., 52
Осадчая Т.Ю., 77
Павлов А.А., 44, 76
Пануев Д.М., 53
Парфенов А.С., 49
Петрова Л.А., 33
Пилюкова Е.А., 54, 58
Покровская Е.А., 67
Поликарпов Д.С., 55
Потылицына С.М., 56
Пугачева Е.В., 59
Рабенок Е.В., 55
Ракитин В.В., 10, 43
Рахимова З.И., 57
Редькин Р.В., 54, 58
Ромазева К.А., 59
Саварец А.Р., 37, 60
Савинкина Е.В., 42
Садовников А.А., 28
Сальникова Н.В., 61
Самулионис А.С., 62
Сапронова В.М., 63

- Сарвин И.А., 64, 65
Сарвина Т.В., 65
Сафин А.Р., 75
Сидоров А.А., 13
Сидорук А.В., 78
Симоненко Е.П., 11, 16, 22, 23, 24, 25, 34, 57, 63, 68, 70, 74
Симоненко Н.П., 11, 16, 22, 23, 24, 25, 34, 57, 63, 68, 70, 74
Симоненко Т.Л., 16, 23, 24, 34, 57, 68, 74
Синило Д.А., 66
Синюгин Л.К., 66
Смирнов Д.В., 7
Смирнова О.А., 67
Соловьев И.П., 37, 60
Соломатов И.А., 68, 74
Станчик А.В., 43
Стинская К.Б., 69
Стройкова А.Р., 70
Субботин Я.А., 31
Сюнякова С.М., 72
Талалаев С.А., 18
Телегин Ф.Ю., 61
Теплоногова М.А., 48
Терехова И.В., 32, 49, 53
Тонкова С.С., 20
Торопов И.А., 37, 60
Тычинина А.А., 71
Уварова М.А., 27
Филиппов М.В., 21
Филиппова М.С., 73
Фисенко Н.А., 23, 68, 74
Фролов С.В., 76
Хафизов А.А., 75
Чаплыгин А.В., 11
Черкасова П.В., 46
Чуприн А.С., 48
Шандыбо М.А., 76
Шаповалов С.С., 36
Шахов Д.С., 77
Шейченко Е.Д., 17
Шерстобитов А.В., 14
Шестимерова Т.А., 31, 79
Шмелев М.А., 13, 51, 56
Эфендиев Р.А., 78
Эшмаков Р.С., 18
Юдин К.М., 79
Якупова С.М., 29
Ямбулатов Д.С., 15, 40, 47, 52, 62, 71



@firstchemical

Химическое информационное агентство Свидетельство о регистрации
ИА № ФС 77-89595 выдано Роскомнадзором 27.05.2025



@chemrussia

Telegram-канал «Химия в России и за рубежом»
Новости химической науки,
информация о научных исследованиях, публикациях,
научных конференциях и грантах.

