АПФМ-2025

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

16-20 ИЮНЯ 2025 Г. | СТАВРОПОЛЬ

СКФУ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ»

посвящённый 95-летию высшего образования в Ставропольском крае и 80-летию профессора Синельникова Бориса Михайловича

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

16 - 20 ИЮНЯ 2025 ГОДА
СТАВРОПОЛЬ

IX

МЕЖДУНАРОДНАЯ СТАВРОПОЛЬСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО МАГНИТНЫМ КОЛЛОИДАМ

ПРИ ФИНАНСОВОЙ ПОДДЕРЖКЕ

НПО НХП НЕФТЕХИМПРОЕКТ
ООО «Научно-производственное объединение»

СОВЛАБ
КОМПЛЕКСНОЕ ОСНАЩЕНИЕ

Международный симпозиум «Актуальные проблемы функциональных материалов» - 2025»: сборник тезисов (16-20 июня 2025 г., Ставрополь) - Ставрополь, 2025. - 142 с.

ISBN 978-5-9296-1355-5

Материалы Международного симпозиума «Актуальные проблемы функциональных материалов», проводимой с 16 по 20 июня 2025 года. Симпозиум охватил широкий диапазон тем, включая синтез и свойства функциональных неорганических материалов, оптических материалов. Особое внимание уделили новым подходам, связанным с физико-химическими свойствами и практическим применением неорганических соединений.

Также в рамках симпозиума «Актуальные проблемы функциональных материалов» (АПФМ-2025) состоялась сателлитная конференция: IX Международная Ставропольская конференция по магнитным коллоидам. На конференции обсуждались современные исследования в области синтеза и физико-химических свойств магнитных коллоидных наносистем и функциональных материалов на их основе, а также вопросы применения магниточувствительных материалов в современной технике и медицине.

Данные материалы подготовлены на основе информации, предоставленной участниками, и одобрены оргкомитетом. Тезисы публикуются в авторской версии. Организаторы не несут ответственности за неточности и пропуски в именах и адресах, представленных в данном сборнике.

9 785929 613555

ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКЕ

mesol

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ОПЕРАТОР КОНГРЕССОВ

АПФМ-2025
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
16-20 ИЮНЯ 2025 Г. | СТАВРОПОЛЬ

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ»

Посвящённый 95-летию высшего образования в Ставропольском крае и 80-летию профессора Синельникова Бориса Михайловича

IX МЕЖДУНАРОДНАЯ СТАВРОПОЛЬСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО МАГНИТНЫМ КОЛЛОИДАМ

СКФУ

16-20 июня 2025 г.
Ставрополь

Уважаемые коллеги!

Добро пожаловать на Симпозиум «Актуальные проблемы функциональных материалов» (АПФМ-2025), посвященный 95-летию высшего образования в Ставропольском крае и 80-летию профессора Синельникова Бориса Михайловича! Данный симпозиум является продолжением цикла конференций по материаловедению «Химия твердого тела: наноматериалы, нанотехнологии», которые проводились на базе Северо-Кавказского государственного технического университета, в обновленном формате с расширенным спектром рассматриваемых проблем.

В 1930 г. в Ставрополе был открыт Ставропольский агропедагогический институт и образована кафедра химии на химико-биологическом отделении института (с 1996 года Ставропольский государственный университет). В 1971 году на базе филиала Краснодарского политехнического института в г. Ставрополь был организован Ставропольский политехнический институт (с 1999 года Северо-Кавказский государственный технический университет). Северо-Кавказский федеральный университет образовался в 2012 году путем объединения Северо-Кавказского государственного технического университета и Ставропольского государственного университета.

Профессор Синельников Борис Михайлович – известный ученый в области химии твердого тела и оптоэлектроники, Заслуженный деятель науки РФ. С 1987 года возглавлял Ставропольский политехнический институт, впоследствии преобразованный в Северо-Кавказский федеральный университет, и руководил им в течение 25 лет. Опубликовал свыше 300 работ в отечественных и иностранных журналах. Имеет 15 авторских свидетельств и патентов на изобретения. Основатель научно-производственной фирмы «Экситон», которая занимает передовые позиции в производстве лазерных элементов и монокристаллов для оптики и лазерной техники.

Симпозиум будет охватывать широкий диапазон тем, включая синтез и свойства функциональных неорганических материалов, оптических материалов. В первую очередь внимание будет уделяться новым подходам, связанным с физико-химическими свойствами и практическим применением неорганических соединений.

Также в рамках симпозиума «Актуальные проблемы функциональных материалов» (АПФМ-2025) состоится сателлитная конференция: IX Международная Ставропольская конференция по магнитным коллоидам. На конференции планируется обсуждение современных исследований в области синтеза и физико-химических свойств магнитных коллоидных наносистем и функциональных материалов на их основе, а также вопросы применения магниточувствительных материалов в современной технике и медицине. К участию приглашаются исследователи ВУЗов и научных организаций, аспиранты, студенты, представители промышленных предприятий и компаний, использующих и разрабатывающих устройства с использованием магниточувствительных материалов.

Желаем всем участникам конференции успешных выступлений и удачи в дальнейших исследованиях!

С уважением,
Председатель организационного комитета
проф. А.В. Аксенов,
декан химического факультета
Северо-Кавказского федерального университета,
доктор химических наук, профессор.

СКФУ

Северо-Кавказский федеральный университет (СКФУ) – один из десяти федеральных университетов России, созданных в рамках реализации приоритетного национального проекта «Образование» как новый вид высшего учебного заведения.

СКФУ был организован на базе трех крупнейших вузов Ставрополья:

- Северо-Кавказского государственного технического университета,
- Ставропольского государственного университета,
- Пятигорского государственного гуманитарно-технологического университета.

СКФУ осуществляет подготовку квалифицированных кадров по направлениям, обозначенным как приоритетные в рамках социально-экономического развития округа, и выступает ведущей экспертной площадкой межкультурного диалога в этнически многообразном регионе, а также странах ближнего зарубежья. Он привержен принципу интеграции научных, образовательных, экономических и социальных процессов и работает над укреплением Российского государства и общества. Это один из ведущих университетов страны.

Сегодня большой интегрированный научный и педагогический коллектив представляет собой сочетание молодости и опыта. Он остается верным своим традициям в подготовке будущих специалистов, открыт для инноваций и поиска новых научных контактов. Это центр научной деятельности и инноваций, играющий ключевую роль в жизни Северо-Кавказского федерального округа. В структуре СКФУ 13 институтов и факультетов, две высших школы, два института (филиала) в

Пятигорске и Невинномысске. Помимо этого, в вузе функционируют два колледжа, специализированный учебный научный центр (СУНЦ) и военный учебный центр (ВУЦ).

Сегодня в СКФУ работают 1053 высококвалифицированных преподавателя, большинство из которых имеют высокие ученые степени (докторов наук – 189, от всего профессорско-преподавательского состава – 746 кандидатов наук). Университет может похвастаться 27 научными школами и 47 направлениями исследований. Кроме того, университет предлагает обучение по 160 предметным направлениям бакалавриата, магистратуры, последипломного образования и медицинской ординатуры, а также 55 двуязычных программ. В университете обучаются более 25 тысяч человек, представляющих 86 национальностей и этносов из 52 регионов России и 51 страны мира. Северо-Кавказский федеральный университет имеет историю успешного международного сотрудничества под эгидой 100 двусторонних соглашений с университетами и центрами науки и образования в 38 странах мира. В университете регулярно проводятся международные конференции, семинары и мастер-классы с участием специалистов ведущих зарубежных научных и образовательных организаций.

Университет располагает современным лабораторным комплексом, который позволяет студентам и сотрудникам иметь возможность работать в современных лабораториях с использованием новейшего оборудования. Исследовательская деятельность в основном проводится в сотрудничестве с европейскими и североамериканскими институтами, а ее результаты регулярно публикуются в известных рецензируемых химических журналах. Химический факультет на постоянной основе является организатором российских и международных конференций.

Сегодня Северо-Кавказский федеральный университет — уникальный центр науки и профессиональной подготовки конкурентоспособных сотрудников с высоким уровнем личностной культуры и творческого мышления; Университет имеет большой потенциал для развития и предлагает широкие возможности для интеллектуального и профессионального роста, закладывая основу для успеха в постоянно меняющемся мире.

КОМИТЕТЫ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА

Академик
Цивадзе Аслан Юсупович
Институт физической химии и электрохимиии им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва

ЧЛЕНЫ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА

Академик
Антипов Евгений Викторович
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Академик
Горбунова Юлия Германовна
Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва

Член-корреспондент
Антипин Игорь Сергеевич
КФУ, Казань

Член-корреспондент
Буряк Алексей Константинович
Институт физической химии и электрохимиии им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва

Член-корреспондент
Гудилин Евгений Алексеевич
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Член-корреспондент
Жижин Константин Юрьевич
Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва

Член-корреспондент
Ненайденко Валентин Георгиевич
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Член-корреспондент
Шевельков Андрей Владимирович
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Профессор
Диканский Юрий Иванович
Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь

Профессор
Иванов Алексей Олегович
Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА

Аксенов Александр Викторович
Декан химического факультета Северо-Кавказского федерального университета, доктор химических наук, профессор

СОПРЕДСЕДАТЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА

Синельников Борис Михайлович
Зав. кафедрой базовой кафедры физики и технологии материалов квантовой электроники физико-технического факультета Северо-Кавказского федерального университета, доктор химических наук, профессор

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Бережная Татьяна Сергеевна
Ассистент кафедры неорганической химии химического факультета Северо-Кавказского федерального университета

ЧЛЕНЫ ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА

Алиханов Анатолий Алиевич
Проректор по научной и исследовательской работе Северо-Кавказского федерального университета, кандидат физико-математических наук, доцент

Ерин Константин Валерьевич
Ведущий научный сотрудник проблемной научно-исследовательской лаборатории магнитных наноматериалов, профессор кафедры экспериментальной физики физико-технического факультета Северо-Кавказского федерального университета, доктор физико-математических наук, доцент

Чебышев Константин Александрович
И.о. зав. Кафедрой неорганической химии химического факультета Северо-Кавказского федерального университета, кандидат химических наук

Тарала Виталий Алексеевич
Зав. научно-исследовательской лаборатории технологии перспективных материалов и лазерных сред физико-технического факультета Северо-Кавказского федерального университета, кандидат химических наук, доцент

Червонная Татьяна Артемовна
Старший преподаватель кафедры аналитической химии химического факультета Северо-Кавказского федерального университета, кандидат химических наук

Волкова Татьяна Борисовна
Заместитель генерального директора ООО «МЕСОЛ», кандидат химических наук

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ 9

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НЕОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ 18

Приглашенные доклады 19

Устные доклады 25

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ 42

Приглашенные доклады 43

Устные доклады 49

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОПТИКИ, ФОТОНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ 54

Приглашенные доклады 55

Устные доклады 57

ПОСТЕРНЫЕ ДОКЛАДЫ 68

IX МЕЖДУНАРОДНАЯ СТАВРОПОЛЬСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО МАГНИТНЫМ КОЛЛОИДАМ 85

Приглашенные доклады 86

Устные доклады 94

ЗАОЧНЫЕ ДОКЛАДЫ 122

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ 140

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

СИНТЕЗЫ НЕКОТОРЫХ НОВЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Аксенов А.В., Аксенова И.В., Овчаров С.Н.

Северо-Кавказский федеральный университет, 355017, Ставрополь, Пушкина 1,
e-mail: aaksenov@ncfu.ru,

Разработаны методы синтеза и функционализации широкого спектра органических соединений, включая гетероциклические, краун-эфиры, которые могут быть весьма интересны для получения различных хелатов и других интересных соединений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-73-20003, https://rscf.ru/project/25-73-20003/

МЕТАЛЛ-ИОННЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ: МАТЕРИАЛЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Антипов Е.В.

Химический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
Сколковский институт науки и технологий, Москва, Россия
e-mail: evgeny.antipov@gmail.com

Бурный прогресс в массовом производстве литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) для крупных электрохимических источников энергии (стационарных накопителей в энергетике, в электромобилях) диктует необходимость интенсификации исследований в области натрий-ионных аккумуляторов (НИА), которые наряду с очевидным недостатком (меньшей величиной удельной энергии) в сравнении с ЛИА обладают целым рядом важных преимуществ, включая более низкую стоимость, большую удельную мощность, возможность использования алюминиевых токосъемников на обоих электродах и др.

Удельные энергетические характеристики НИА, в основном, определяются свойствами используемых электродных материалов. В настоящее время основное внимание уделяется двум типам катодных материалов: сложным оксидам и полианионным соединениям. Последние демонстрируют более широкое структурное разнообразие, что открывает большие возможности для дизайна новых материалов, которые демонстрируют лучшую циклическую и термическую стабильность в сравнении с оксидными материалами.

В докладе будут представлены: современное состояние и тенденции развития производства литий-ионных аккумуляторов в мире и в России, перспективы натрий-ионных аккумуляторов и результаты наших исследований новых электродных материалов ($NaNbV(PO_4)_3$, $NaVPO_4F$, $NaVP_2O_7$ и др.) для аккумуляторов с особым акцентом на взаимосвязи между химическим составом, условиями синтеза, кристаллической структурой и электрохимическими свойствами материалов.

Работа выполнена в рамках государственного задания МГУ № АААА-А21-121011590088-4.

МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ХИМИИ ПОВЕРХНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Буряк А.К., Миненкова И.С., Пыцкий И.С.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН, Москва, Ленинский проспект 31/4
e-mail: akburyak@mail.ru

Химия поверхности влияет на многие свойства материалов и вносит существенный, а иногда и решающий вклад в их эксплуатационные характеристики. В связи с этим исследования химии поверхности представляется актуальной задачей. Среди более чем ста различных методов исследования поверхности особое место занимают масс-спектрометрические методы, поскольку отличаются надежностью, информативностью и экспрессностью. Говоря о надежности необходимо отметить, что масс-спектрометрия единственный метод из используемых при исследовании химии поверхности, который позволяет определять молекулярные массы исследуемых соединений.

Исторически первым является термодесорбционный масс-спектрометрический метод, который и в настоящее время широко используется для определения термодинамических характеристик десорбции и структуры десорбирующихся молекул. Хромато-масс-спектрометрический метод в различных его вариантах: жидкостная, газовая, сверхкритическая хроматография, состыкованные с различными вариантами масс-спектрометрии широко используются для анализа органических и металлорганических соединений на поверхности.

Наиболее интересным и новым является метод масс-спектрометрии с лазерной десорбцией/ионизацией и его многочисленные варианты, позволяющие исследовать органические и неорганические соединения на поверхности в одном эксперименте.

В докладе представлены примеры исследования поверхностей катализаторов[1], модифицированных поверхностей органических и неорганических материалов[2].

Литература

1. Tarkhanova I.G., Minenkova I.V., Gorbunov V.S., Zelikman V.M., Krasovskii V.G., Maslakov K.I., Buryak A.K. Russian Journal of Physical Chemistry A. 2024. Т. 98. № 12. С. 2727-2734. DOI: 10.1134/S0036024424701954.
2. Pytskii I.S., Kuznetsova E.S., Buryak A.K. Russian Journal of Physical Chemistry A, 2023, V. 97, № 9, с. 2013-2019 DOI: 10.1134/s0036024423090169

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение о предоставлении гранта № 075-15-2024-534).

ОРИЕНТАЦИОННОЕ СТРУКТУРИРОВАНИЕ СУПЕРПАРАМАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ В ФЕРРОЖИДКОСТЯХ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Иванов А.О.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
620000, Екатеринбург, пр. Ленина 51,
e-mail: Alexey.Ivanov@urfu.ru

Одной из жидкостей с особыми свойствами является феррожидкость, представляющая собой коллоидную взвесь магнитных наночастиц в жидком носителе. Для предотвращения агрегирования и седиментационной неустойчивости в феррожидкостях используются однодоменные наночастицы магнитных материалов с характерным размером 10 - 15 нм. Энергии магнитной анизотропии в таких маленьких частицах оказывается недостаточной для фиксации макроскопического магнитного момента вдоль оси легкого намагничивания в кристаллической решетке магнетика, и магнитный момент претерпевает суперпарамагнитные флуктуации.

В присутствии магнитного поля феррожидкость становится анизотропной, поскольку появляется выделенное направление магнитных моментов, преимущественно ориентированных вдоль поля. В ансамбле суперпарамагнитных наночастиц появляется дополнительное структурирование в пространстве направлений легких осей [1-3]. Если в этот момент осуществить «быстрое» затвердевание (полимеризацию) жидкой матрицы, то будет получен феррокомпозит с обездвиженными наночастицами, трансляционные и вращательные степени свободы которых будут исключены, а основную роль начнут играть суперпарамагнитные степени свободы магнитных моментов, вращающихся внутри неподвижных наночастиц. Такой феррокомпозит обладает анизотропией в ориентациях легких осей и демонстрирует аномалии макроскопических свойств.

В докладе обсуждаются влияние магнитного поля на ориентационное структурирование легких осей в зависимости от энергии магнитной анизотропии, влияние концентрации и интенсивности межчастичного магнито-дипольного взаимодействия. Приводится сопоставление теоретических расчетов с данными компьютерного моделирования.

Литература

1. Solovyova A.Yu., Elfimova E.A., Ivanov A.O. *Physical Review E*, 2021, **104**, 064616.
2. Ivanov A.O., Elfimova E.A. *Nanoscale*, 2024, **16**, 15730.
3. Ivanov A.O., Solovyova A.Yu., Elfimova E.A. *J. Molecular Liquids*, 2024, **400**, 124493.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 23-12-00039.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТРИКАЛЬЦИЙФОСФАТА

Лазоряк Б.И., Барышникова О.В., Морозов В.А.

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
e-mail: bilazoryak@gmail.com

Матрица типа β-$Ca_3(PO_4)_2$ (β-TCP) является перспективной для конструирования неорганических материалов с полифункциональными свойствами. Структура типа β-TCP (пр.гр. *R*3*c*) нецентросимметрична, что предопределяет наличие сегнетоэлектрических и нелинейно-оптических свойств. Наличие вакансий в структуре позволяет проводить гетеровалентные замещения по схемам $3Ca^{2+} = 2R^{3+}+\square$ или $Ca^{2+}+\square = 2M^{+}$, где □-вакансия с образованием или заселением вакансий. Структура β-TCP обладает широкой изоморфной емкостью и в нее могут входить одно-, двух- и трхвалентные катионы с размерами от 0.12Å до 1.88Å. В докладе приведены данные по моделированию состава новых фосфатов и ванадатов с полифункциональными свойствами. В большинстве случаев при изо- и гетовалентных замещениях структура остается нецентросимметричной. Однако, в некоторых случаях, при определенном наборе катионов в структуре, она переходит в центросимметричную с возникновением антисегнетоэлекетрических свойств. Вхождение в структуру РЗЭ предполагает наличие и люминесцентных свойств. Люминофоры, построенные на основе β-TCP, обладают высокой интенсивностью и термической стабильностью люминесценции. В исследованных соединениях обнаружено три группы соединений с сегнетоэлектрическими, антисегнетоэлектрическими и параэлектрическими свойствами. Температура фазового перехода сегнетоэлектрик-параэлектрик или антисегнетоэлектрик-параэлектрик существенно зависит от набора катионов в структуре и меняется в широком интервале температур от 700 K до 1400 K. Величина сигнала генерации второй гармоники также существенно зависит от набора катионов в матрице и меняется от 10 ед. до 700 ед. кварцевого эталона. В последние годы наблюдается большой интерес к соединениям со структурой β-TCP, обусловленный направлениями их практических применений: как биоактивные материалы, люминофоры для pc-LED, эффективные нелинейно-оптические материалы и лазерные материалы.

Литература

1. Dickens B., Schroeder L. W., Brown W. E. *J. Solid State Chem.*, 1974,**10**, 232.

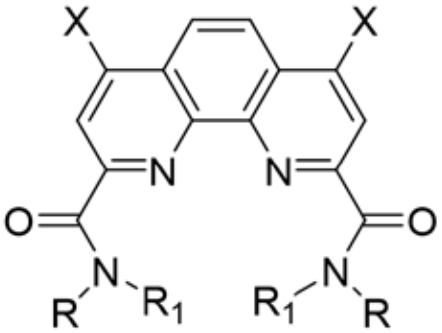
Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 24-13-00148, https://rscf.ru/project/24-13-00148/.

ДИЗАЙН И СИНТЕЗ ФЕНАНТРОЛИНДИАМИДОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ *f*-ЭЛЕМЕНТОВ

Ненайденко В.Г.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва
nenajdenko@gmail.com

Разработка высокоселективных лигандов для разделения f-элементов является актуальной задачей. Такие лиганды остро необходимы в производстве высокочистых редкоземельных элементов (РЗЭ), без которых невозможно существование и развитие инновационных технологий в энергетике, электронике, транспорте, системах связи и многих других важнейших областях современной техники. Использование таких лигандов лежит в основе экстракционных технологий переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) в ядерной энергетике. Диамиды 1,10-фенантролин-2,9-дикарбоновой кислоты представляют собой один из наиболее перспективных классов лигандов для решения таких задач. В докладе обсуждается синтез, координационная химия и экстракционные характеристики таких лигандов.



ЛАЗЕРНЫЙ СИНТЕЗ НАНОПОРОШКОВ И СОПРОВОЖДАЮЩИЕ ЕГО ПРОЦЕССЫ

Осипов В.В., Лисенков В.В., Платонов В.В., Тихонов Е.В.

Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук,
620016, Екатеринбург, Амундсена 106,
e-mail: osipov@iep.uran.ru

В работе сообщается о получении нанопорошков путем лазерной абляции веществ мишени. Рассмотрены основные особенности воздействия на мишени из тугоплавких оксидов излучения мощных непрерывного и импульсно-периодических волоконного иттербиевого и CO_2 лазеров. Показано влияние мощности излучения, давления и состава газа на производительность получения наночастиц и их размеры. Последние в зависимости от теплофизических свойств материала мишени и давления газа менялись от 2 до 360 г/час и от 5 до 42 нм, соответственно. В ходе получения нанопорошка обнаружен переход от парового к паро-капельному режиму испарения мишени. При этом осциллограммы свечения лазерного факела имеют пичковый характер. Исследование запаздывания появления лазерного факела T_3 от показателя преломления n показало, что оно уменьшается более чем на три порядка при изменении n от 1.43 (CaF_2) до 1.75 (Al_2O_3). Причем поверхность мишени из прозрачного пористого материала после длительного воздействия на нее излучения имеет иглоподобный характер с диаметром иглы ~2 мм и высотой до 8 мм, а после одиночного импульса иногда наблюдается откол передней поверхности. Для объяснения полученных результатов создана модель взаимодействия излучения с пористой средой из прозрачных частиц на основе уравнения Гельмгольца, численное решение которого показало, что вследствие интерференции падающего и преломленного в частице мишени излучения ее интенсивность может увеличиваться более чем в 65 раз. При попадании точки с повышенной интенсивностью излучения на дефект в мишени, от него к поверхности по лучу начинает двигаться тепловая волна. Если температура в волне, не достигшей поверхности, увеличивается до температуры плавления материала, то из-за резкого возрастания давления в ней происходит откол поверхности мишени. Показывается, что появление в лазерном факеле капель может быть связано с развитием неустойчивости Кельвина-Гельмгольца. Приводятся оценки ее формирования.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №24-19-20074, https://rscf.ru/project/24-19-20074/, при финансовой поддержке со стороны Правительства Свердловской области.

МАГНИТОАКТИВНЫЕ ЭЛАСТОМЕРЫ: ФЕРРОЧАСТИЦЫ В ПОЛИМЕРНОЙ УПРЯЖКЕ. МЕЗОСКОПИЧЕСКИЙ ВЗГЛЯД НА МАКРОСКОПИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ

Райхер Ю.Л.

Институт механики сплошных сред Уральского отделения РАН, Пермь 614018, Россия
e-mail: raikher@icmm.ru

Идея соединить высокую магнитную восприимчивость и высокую деформируемость, но исключить необратимую текучесть, нашла своё воплощение в композитных материалах, называемых магнитоактивными эластомерами (МАЭ). Их «магнетизм» обусловлен присутствием микронных частиц ферромагнетика, а податливость – тем, что эти частицы внедрены в слабосшитый полимер, который, однако, обладает равновесной упругостью, т.е., восстанавливает форму после снятия поля и/или нагрузки. Прикладной потенциал таких сред, очевидно, очень велик, см., например, обзоры[1,2].

Стремление к эффективному практическому использованию МАЭ обусловило интерес к их теории – фундаментальному материаловедению, где тесно переплетены физика, химия и механика.

Магнитные наполнители известных МАЭ разнообразны: существуют магнитомягкие, магнитожёсткие и системы смешанного состава (МАЭ-СС). Из-за этой разницы композиты с одинаковыми эластомерными матрицами могут проявлять различные магнитомеханические эффекты.

Континуальный подход (КП) – в целом, удобный теоретический инструмент – при описании наблюдаемых свойств МАЭ часто заходит, однако, в тупик. Дело в том, что в рамках КП нельзя включить в рассмотрение взаимные перемещения частиц внутри матрицы. Хотя эти процессы протекают на мезоскопическом масштабе (порядка межчастичных расстояний), их совокупное действие влияет на макроскопическое поведение МАЭ. Альтернативой является мезоскопический подход, который позволяет рассматривать системы из многих частиц, между которыми имеются дальнодействующие (магнитное и упругое) взаимодействия; это, в свою очередь, делает компьютерное моделирование основным методом исследования.

Ввиду ограниченного объёма доклада, в нём будут представлены только самые важные примеры из физической магнитомеханики МАЭ. А именно:

- магнитострикционный эффект;
- эффект магнитной памяти формы;
- магнитный гистерезис в МАЭ-СС при вариации адгезии частица / матрица.

Литература

1. Lucarini S., Hossain M., Garcia-Gonzalez D. *Composite Structures*, 2022, **279**, 114800.
2. Karacakol A., Alapan Y., Demir, S. Sitti M. *Nature Communications*, 2025, **16**, 2956.

Работа выполнена при поддержке проекта АААА-А20-120020690030-5 Министерства высшего образования и науки РФ.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НЕОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И МАГНИТНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ И ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ИХ ОСНОВЕ

Амиров Р.Р., Солодов А.Н.

Химический институт им. А.М. Бутлерова, Казанский федеральный университет, 420008 г. Казань, ул. Кремлевская, 18,
e-mail: ramirov@kpfu.ru

В докладе представлены результаты получения и исследования свойств ряда магнитных и люминесцентных наноматериалов.

По данным парамагнитной ЯМР-релаксометрии установлен характер взаимодействий в водных дисперсиях оксида графена (ОГ) [1] и особенности термального синтеза наночастиц оксидов железа (НЧОЖ) [2]. На основе ОГ и НЧОЖ получены композиты, проявляющие магнитооптические свойства как в растворах, так и в составе полимерной матрицы [3]. Способность таких композитов к ориентации в магнитном поле приводит к изменению трибологических свойств полимерного материала [4], а использование тройных композитов ОГ-НЧОЖ-АКНЧ (апконверсионные НЧ) позволяет доказать градиентный характер их распределения в эпоксидной матрице под влиянием магнитного поля [5].

Другое направление исследований включает создание полимерных люминесцентных материалов на основе матриц разной природы. Введение ионов Tb^{3+}, Eu^{3+} в эпоксидную матрицу достигалось как использованием макроциклических комплексов, «упакованных» внутри наночастиц аминомодифицированного кремнезема [6], так и прямым растворением их нитратов в жидком триглицидилфосфате (ТГФТ) [7]. В последнем случае вследствие катализа раскрытия эпоксидных циклов ТГФТ происходит гомополимеризация с образованием прозрачных образцов (с содержанием соли вплоть до 50 масс%). Разработан способ одностадийного получения полимерного композита, содержащего перовскитные квантовые точки $CsPb(Hal)_3$ (Hal = Cl, Br, I), путем экструдирования гранул полипропилена вместе с необходимыми прекурсорами [8]. Способ отличается высокой производительностью, экономичностью и отсутствием вредных выбросов.

Литература

1. Amirov R.R., e.a. Carbon. 2017. **116**. 356.
2. Solodov A., Amirov R., e.a. Journal of Physical Chemistry. Part C. 2021. **125**. 20980.
3. Solodov A.N., Amirov R., e.a. ACS Appl. Polym. Mater. 2023. **5**. 6338.
4. Solodov A.N., Amirov R.R., e.a. Diamond and Related Materials. 2023. **138**. a.n. 110211.
5. Solodov A.N., Amirov R.R., e.a. Tribology International. 2025. **204**. a.n. 110504.
6. Amirov R.R., e.a. Journal of Nanoparticle Research. 2020. **22**, a.n. 226.
7. Amirov R.R., e.a. Materials Today Chemistry. 2023. a.n. 101464.
8. Solodov A.N., Amirov R.R., e.a. Additive Manufacturing. 2022. **59**, Part A. a.n. 103094.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОРБЦИИ И КАТАЛИЗА, СОДЕРЖАЩИЕ НЕКОТОРЫЕ *d*-МЕТАЛЛЫ

Вашурин А.С.

Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской Академии Наук, 119991, Москва, Ленинский проспект 31,
e-mail: vashurin@igic.ras.ru

Большое разнообразие гетерогенных систем, которые выступают катализаторами тех или иных химических реакций, обуславливает необходимость создания различных материалов, в том числе разработку пористых твердофазных носителей для катализаторов. Например, при получении ряда дисульфидов, которые являются компонентами препаратов для лечения ряда нейродегенеративных заболеваний, могут быть использованы комплексы *d*-металлов с фталоцианинами[1]. Несмотря на эффективность таких катализаторов, проведение гомогенного процесса затруднено их само- и индуцированной агрегацией в водных средах[2]. Решением этой проблемы может быть иммобилизация макроциклов на различных твердофазных носителях. В настоящей работе рассмотрены вопросы получения функциональных материалов путем поверхностной модификации твердофазных носителей некоторыми *d*-металлами (кобальт, платина, палладий) и их соединениями.

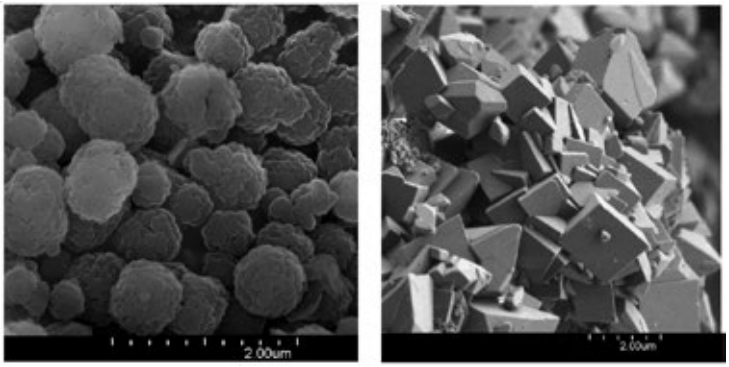


Рисунок 1. Изображения СЭМ материалов Co-MOF:
а) – материал получен методом прямого смешения б) – материал получен сольвотермическим методом.

Особое внимание в работе уделяется созданию пористых систем, имеющих иерархическую структуру, и исследованию их сорбционных свойств[3], что используется при создании конечного материала.

Литература
1. Koifman O.I., Ageeva T.A., Beletskaya I.P. et al. *Macroheterocycles.* 2020, **13**, 311.
2. Вашурин А.С. Известия Академии наук. Серия химическая. 2016, **№ 9**, 2220.
3. Карасева А.А., Диалло А., Филиппов Д.В., Вашурин А.С. Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология. 2025, **68**, 77.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 22-73-10158.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С МУЛЬТИФЕРРОИЧНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Лисневская И.В.

Южный федеральный университет, химический факультет,
344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 7
e-mail: liv@sfedu.ru

Мультиферроичные системы, сочетающие в себе пьезоэлектрические и магнитные свойства, делятся на две большие группы – однофазные соединения (или твердые растворы на их основе) и двухфазные (называемые магнитоэлектрическими (МЭ) композитами). Данные объекты *на уровне материала* обладают способностью преобразовывать энергию магнитного поля в электрические сигналы и наоборот, что обеспечивает им экономичность и быстродействие. Интерес к ним обусловлен как фундаментальными проблемами взаимосвязи сосуществующих в одной матрице ферроичных упорядоченностей различной природы, так и перспективой создания уникального класса функциональных материалов, которые могут стать платформой для нового поколения приборов и устройств различного назначения. Среди однофазных материалов наибольшее внимание привлекают твердые растворы на основе высокотемпературного мультиферроика феррита висмута, легированные по подрешеткам A и B структуры перовскита, и родственные материалы [1-3]. В свою очередь МЭ композиты [4-9] обладают целым рядом преимуществ: это технологичность, возможность произвольного выбора пьезоэлектрической и магнитострикционной компонент и изменения состава и свойств в широких пределах, а также сохранение на достаточно высоком уровне параметров исходных материалов. Изучение проблематики синтеза феррита висмута и твердых растворов на его основе, исследование межфазных взаимодействий в МЭ композитах, выявление синергетических и диссинергетических эффектов взаимного влияния фаз, а также установление взаимосвязей состав – структура – свойства позволяет разрабатывать мультиферроики с требуемым набором параметров.

Литература

1. Lisnevskaya I.V., Popodko D.O., Tolstunov M. *I. Ceram. Int.* 2023, **49**, 26530.
2. Lisnevskaya I.V., Myagkaya K.V., Butova V.V. et al. *Ceram. Int.* 2020, **46**, 6333.
3. Lisnevskaya I.V., Bobrova I.A., Lupeiko T.G. *J. Magn. Magn. Mater.* 2016, **397**, 86.
4. Lisnevskaya I.V., Aleksandrova I.A., Reshetnikova E.A. et al. *Ceram. Int.* 2024, **50**, 17613.
5. Lisnevskaya I.V., Aleksandrova I.A., Savinov A.N. *J. Compos. Sci.* 2023, **7**, 2.
6. Lisnevskaya I.V., Aleksandrova I.A. *Nanomaterials*. 2020, **10**, 1.
7. Lisnevskaya I.V., Aleksandrova I.A. *Appl. Phys. A.* 2020, 126, 406.
8. Lisnevskaya I.V., Lupeiko T.G., Myagkaya K.V. J. *Compos. Mater.* 2017, **51**, 507.
9. Lisnevskaya I.V., Bobrova I.A., Lupeiko T.G. et al. *J. Magn. Magn. Mater.* 2016, **405,** 62.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Моцейко А.В.,[а] Русалев Ю.В.,[б] Тер-Оганесян Н.В.[а]

[а]Научно-исследовательский институт физики, Южный федеральный университет, 344090, Ростов-на-Дону, просп. Стачки 194,
e-mail: teroganesyan@sfedu.ru
[б]Международный исследовательский институт интеллектуальных материалов, Южный федеральный университет, 344090, Ростов-на-Дону, ул. Андрея Сладкова, 178/24

Расчёты свойств функциональных материалов с использованием теории функционала плотности (DFT) обычно хорошо согласуются с экспериментальными данными, однако из-за ресурсоёмкости таких вычислений они ограничены малыми системами (порядка ~100 атомов) и короткими временами, на которых исследуется эволюция системы. В последние годы активно развивается моделирование значительно более крупных систем (от 10^3 до 10^6 атомов) методами молекулярной динамики на значительных временах эволюции. Это связано с необходимостью описания и понимания поведения больших систем, например свойств доменной структуры и взаимодействия доменов, различных гетероструктур (тонкая плёнка/подложка, сверхрешётки), наночастиц большого размера и их взаимодействия с окружением, и т.д. Основная проблема моделирования методом молекулярной динамики заключается в получении межатомных потенциалов. На начальном этапе развития такого моделирования использовались эквивалентные гамильтонианы, параметры которых определялись с помощью DFT, однако в последние годы прилагаются значительные усилия к разработке межатомных потенциалов, основанных на машинном обучении.

В данном докладе представлены последние результаты моделирования структуры, физических свойств и фазовых переходов в различных функциональных материалах при помощи ReaxFF потенциалов и межатомных потенциалов типа тензора момента: наночастицы сплавов благородных металлов, металл-органические каркасы и антисегнетоэлектрические перовскиты.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственное задание в сфере научной деятельности 2023 г., проект № FENW-2023-0015).

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ НЕЙТРОННОЙ ДИФРАКЦИИ

Турченко В.А.

Объединенный институт ядерных исследований, 141980, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, 6
e-mail: turchenko@jinr.ru

В современных дифракционных исследованиях конденсированных сред для установления взаимного расположения атомов активно применяют различные микрочастицы (фотоны, электроны и нейтроны), каждая из которых обладает уникальными характеристиками. К неоспоримым преимуществам тепловых нейтронов относят их высокую проникающую способность в веществе (~ 1 – 3 см), соизмеримые величины ядерного и магнитного сечений рассеяния, а также возможность анализа структурных особенностей соединений, состоящих из элементов как с близким порядковым номером в периодической таблице, так и существенно различающихся (легких и тяжелых) элементов.

Современные нейтронные дифрактометры позволяют проводить широкий круг междисциплинарных исследований в области физики конденсированного состояния, материаловедения, химии, биологии, геофизики, фармакологии и др. и успешно решать следующие задачи: анализировать фазовый состав, определять типа кристаллической структуры, уточнять параметры элементарной ячейки и заселенность кристаллографических позиций, оценивать межионные расстояния, углы, и микроструктурные параметры, анализировать текстуру и особенности магнитной структуры. Следует отметить, что все вышеперечисленные характеристики могут претерпевать изменения под действием внешних факторов: температуры, магнитного и электрического полей, внешнего давления и даже газовой атмосферы. Таким образом, цель представляемой работы сравнить возможности нейтронных дифрактометров ИБР-2 [1] в процессе исследования структурных особенностей функциональных материалов.

Литература

[1] В.Л. Аксенов, А.М. Балагуров / Успехи физических наук Т.186, №3 (2016) С.293 – 320.

ИСКУССТВО В ХИМИИ: МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ДИЗАЙН СИЛСЕСКВИОКСАНОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ КАТАЛИЗА И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Хрусталев В.Н.

Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы,
117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Россия,
E-mail: khrustalev-vn@rudn.ru

Развитие современных наукоемких технологий и, прежде всего, нанотехнологий опирается на изучение классов соединений, способных к формированию молекулярных конструкций различного состава и разнообразной структурной архитектуры. Именно в таких соединениях потенциально заложены возможности реализации разнообразных физических эффектов, прежде всего, ориентированных на создание материалов для различных областей информационных технологий, а также на применение в различных каталитических процессах. Перечисленным условиям полностью соответствует класс элементоорганических соединений – металлорганосилсесквиоксаны.

В докладе будут представлены интересные результаты в химии силсесквиоксановых комплексов переходных металлов, полученные нами недавно в следующих направлениях:

• разработка методов формирования металлосилсесквиоксанового каркаса, что привело к обнаружению новых структурных типов клеточноподобных комплексов переходных металлов;

• развитие обобщенных представлений, описывающих формирование структуры металлорганосилсесквиоксанов, и возможностей управления этим процессом;

• применение металлорганосилсесквиоксановых комплексов переходных металлов для катализа важных химических реакций и получения новых функциональных материалов.

Важно отметить, что полиядерные силсесквиоксановые комплексы переходных металлов – эстетически исключительно привлекательны: калейдоскопическое разнообразие каркасных структур и их перестроений дополняется красочным разнообразием самих соединений, окрашенных в яркие цвета соответствующих катионов металлов. Синтез таких соединений, изучение их структуры и физико-химических свойств весьма увлекательны.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 25-73-20040.

ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В СИСТЕМЕ HF – V

Афанасьева А.Д., Блатова О.А., Блатов В.А.

Самарский государственный технический университет,
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244,
e-mail: afansevaad@yandex.ru

Впервые с помощью топологического подхода были изучены трансформации подструктур ванадия при фазовых переходах в системе Hf-V. Методика анализа заключалась в поиске соответствий между атомными сетками, описывающими топологию подструктур, с помощью программного комплекса ToposPro (https://topospro.com). Установлено, что атомная сетка чистого металла Hf (структурный тип Mg, ГПУ) имеет топологию hcp ($P6_3/mmc$), являющейся подсеткой сетки с топологией bcu-x ($Im\bar{3}m$), которой соответствует структурная сетка чистого V. Ранее экспериментально было подтверждено образование нескольких фаз состава HfV_2 (структурный тип фазы Лавеса $MgCu_2$) с топологией mgc-x. Нами найдено, что подструктура атомов ванадия в HfV_2 обладает топологией crs, которая, в свою очередь, является подсеткой сетки чистого ванадия. Более того, сетка чистого ванадия может быть разбита на две взаимопроникающие не связанные сетки crs. На рисунке показано, что замена одной из сеток crs атомами Hf дает структуру HfV_2, причем атомы Hf располагаются в центрах пустот другой сетки crs, моделируемых натуральными тайлами (минимальными элементарными полостями), построение которых осуществляется с помощью ToposPro. Таким образом, образование HfV_2 может быть представлено как замена половины атомов V в структуре металла на атомы Hf с сохранением связности оставшихся атомов V. Полученный результат открывает новые возможности для моделирования новых структур интерметаллических соединений путем замены части атомов в матрице исходного металла на атомы другого металла, располагающиеся в пустотах подструктуры, образованной оставшимися атомами исходного металла.

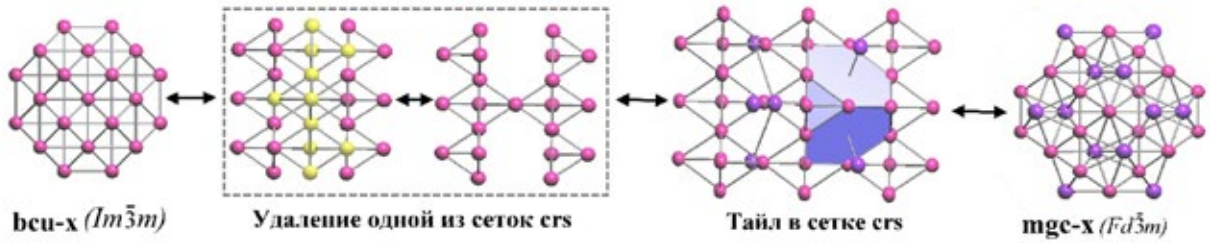


Рисунок 1. Переход между сетками bcu-x и mgc-x через массив из двух переплетающихся сеток crs.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 24-23-00117.

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ДВОЙНЫХ ФЛЮОРИТОПОДОБНЫХ МОЛИБДАТОВ ЛАНТАНА И ДРУГИХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Бережная Т.С., Чебышев К.А.

Северо-Кавказский федеральный университет, 355017, Ставрополь, Пушкина, 1
e-mail: t-novik@internet.ru

Поиск новых материалов, обладающих высокими значениями ионной проводимости по кислороду является актуальной задачей. Полученные на данный момент наиболее эффективные кислород-ионные проводники кристаллизуются в структуре флюорита. Некоторые сложные соединения, имеющие структуру схожую со структурой флюорита, также демонстрируют отличные проводящие свойства. Известны молибдаты редкоземельных элементов типа $Ln_5Mo_3O_{16+\delta}$, кристаллизующиеся в пространственной группе Pn-3n с удвоенным параметром ячейки относительно флюорита. Среди данных соединений наибольшей проводимостью обладает молибдат лантана, который в окислительных условиях неустойчив.

В данной работе исследована возможность стабилизации кубической структуры молибдата лантана путем замещения лантана на самарий, европий, гадолиний и иттрий. Образцы получали как твердофазным, так и цитратным методом. Цитратный метод использовали для получения более мелкодисперсных образцов, а также для улучшения спекаемости керамики. Конечная температура синтеза составляла 1200 °C. По данным рентгенофазового анализа были определены области существования кубической флюоритоподобной фазы в системах La_2O_3-R_2O_3-MoO_3, где R – Sm, Eu, Gd и Y. Методом Ритвельда по данным рентгеновской дифракции была уточнена кристаллическая структура однофазных образцов. В системе La_2O_3-Y_2O_3-MoO_3 благодаря достаточно большому различию в ионных радиусах лантана и иттрия удалось установить, что в кристаллической структуре флюоритоподобного молибдата лантана-иттрия ионы лантана располагаются преимущественно в положении 8c, а иттрия – в положении 12e. Методом импедансной спектроскопии изучали вклады различных процессов переноса заряда. Величина объемной проводимости зерен достигает 10^{-2} См/см при 900°C и практически не зависит от природы замещающего редкоземельного элемента.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ $1/6Pr_6O_{11} – WO_3$ В ДИАПАЗОНЕ 0-50 МОЛ. % ОКСИДА ВОЛЬФРАМА

Березовская Д.Ю., Щеглов Н.Е., Бережная Т.С., Чебышев К.А.

Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, 355011, ул. Пушкина 1
e-mail: dashaber2214@yandex.ru

Оксид празеодима представляет значительный интерес в качестве компонента композитных электродных материалов для среднетемпературных твердооксидных топливных элементов ввиду его смешанной электронно-ионной проводимости и высокой электрокаталитической активности в реакциях кислородного обмена. Несмотря на это, в доступной литературе отсутствуют систематические исследования влияния изоморфных замещений в кристаллической структуре Pr_6O_{11} на его функциональные свойства. В настоящей работе методом высокотемпературного твердофазного синтеза изучено фазообразование в системе $x/6Pr_6O_{11} – WO_3$ в температурном диапазоне 1000 – 1250 °C и электропроводность полученных материалов.

Образцы системы синтезированы методом твердофазного взаимодействия оксидов металлов (Pr_6O_{11} и WO_3) в температурном диапазоне 600-1250°C, со спеканием прессованных образцов при 1250°C в течение 20 часов в воздушной атмосфере, что привело к образованию черных продуктов, свидетельствующих о наличии Pr^{4+} в их составе. Количественное содержание Pr^{+4} определяли йодометрическим титрованием (растворение в 4M HCl с последующим титрованием выделившегося йода 0.1M $Na_2S_2O_3$, стандартизированным по $K_2Cr_2O_7$). Для изучения полученных материалов применяли рентгенофазовый анализ (XRD, CuKα-излучение), импедансную спектроскопию и сканирующую электронную микроскопию.

Рентгенофазовый анализ образцов, прокаленных при 1000°C, показал, что введение WO_3 приводит к формированию области гомогенности флюоритоподобных фаз на основе оксида празеодима (пр. гр. Fm-3m) вплоть до состава $Pr_{12}WO_{21-\delta}$, при этом параллельно наблюдается образование моноклинной фазы Pr_2WO_6, содержание которой возрастает с увеличением концентрации WO_3, тогда как для состава $5PrO_{1,83}\cdot 3WO_3$ дополнительно идентифицируются слабые рефлексы, соответствующие моноклинной фазе $Pr_2W_2O_9$.

Результаты рентгенофазового анализа образцов, термически обработанных при 1100°C, демонстрируют расширение области гомогенности кубической флюоритоподобной фазы (Fm-3m) до состава $Pr_{12}WO_{21-\delta}$, что указывает на увеличение растворимости вольфрама в матрице оксида празеодима. При этом для состава $5PrO_{1,83}\cdot 3WO_3$ наблюдается полное изменение дифракционной картины, соответствующее соединению $Pr_8W_5O_{27}$ (PDF-2 ICDD № 00-031-1150), кристаллическая структура которого, включая параметры элементарной ячейки, атомные позиции и пространственную группу симметрии, в настоящее время не описана в литературе, что подчеркивает необходимость проведения дополнительных структурных исследований методом рентгеноструктурного анализа монокристаллов.

Рентгенофазовый анализ образцов, прокаленных при 1250°C, выявил значительное расширение области гомогенности флюоритоподобной фазы (исходная пространственная группа Fm-3m) до состава $Pr_4WO_{9+\delta}$, сопровождающееся редукцией фазового поля моноклинного соединения Pr_2WO_6. Наблюдение слабоинтенсивных сверхструктурных рефлексов на дифрактограммах свидетельствует о возникновении дальнего порядка в распределении точечных дефектов, приводящего к понижению симметрии кристаллической структуры. Проведенное индицирование в программе DICVOL с учетом рефлексов второго порядка позволило установить образование сверхструктуры с кубической элементарной ячейкой (a = 10.9706±0.0001 Å), параметр которой кратен удвоенному значению параметра исходной флюоритной решетки. Анализ систематических погасаний согласуется с возможным понижением симметрии до пространственной группы F-43m.

Рентгеноструктурный анализ системы $1/6Pr_6O_{11} – WO_3$ выявил достоверное увеличение параметра элементарной ячейки флюоритоподобной фазы пропорционально концентрации WO_3 во всем исследованном температурном диапазоне (600-1250°C), что обусловлено изоморфным замещением и изменением кислородной нестехиометрии. Количественный анализ степени окисления празеодима методом йодометрического титрования показал линейную зависимость между содержанием WO_3 (0-20 мол.%) и снижением концентрации Pr^{4+}, что приводит к уменьшению полной проводимости на два порядка. Допирование WO_3 также способствует увеличению относительной плотности керамики.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 25-23-00399).

ПОЛИМЕРНЫЕ БИОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ СТРОНЦИЙЗАМЕЩЕННОГО ГИДРОКСИАПАТИТА

Голованова О.А., Карпова А.И.

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
Россия, 644077 Омск, пр-т Мира, 55а
Golovanoa2000@mail.ru

Среди различных бионеорганических ионов стронций (Sr) привлек значительное внимание исследователей в последние время. Известно, что Sr является микроэлементом в организме человека и играет важную роль в метаболизме костной ткани. Он способствует остеогенезу и может смешиваться с гидроксиапатитом (ГА) посредством поверхностного обмена или ионного замещения, что приводит к увеличению содержания минералов в костях и плотности костей, что улучшает регенерацию и восстановление костей. Стронций способен увеличивать объем костной ткани, и предотвращать потерю костной массы, поэтому Sr становится все более популярным в профилактике и лечении остеопороза. Sr связан с улучшением постменопаузального остеопороза за счет уменьшения резорбции и увеличения образования кости с возможным эффектом снижения риска переломов.

Синтез композита Sr-гидроксиапатит/хитозан проводили в присутствии хитозана методом осаждения из водных растворов при комнатной температуре. В основе синтеза лежит реакция.

$$(10\text{-}x)Ca(NO_3)_2+xSr(NO_3)_2+6(NH_4)_2HPO_4+8NH_4OH=Ca_{10\text{-}x}Sr_x(PO_4)_6(OH)_2+20NH_4NO_3+6H_2O$$

Состав синтезированных композитов на основе Sr-ГА и хитозана постоянен, наличие функциональных групп ГА и хитозана подтверждено методом ИК-спектроскопии, присутствие фаз ГА и хитозана установлено методом РФА. Все композиты имеют идентичную морфологию, кристаллизуются в виде кристаллитов определенной формы. Средний размер кристаллита Sr-ГА/хитозан уменьшается с увеличением концентрации иона стронция в исходном растворе. Начальные скорости растворения полученных композитов уменьшает резорбцию Sr-ГА/хитозан по сравнению с немодифицированным ГА/хитозан.

Таким образом, для использования композитов в качестве материалов с высокой биодеградацией, лучше использовать композит Sr-ГА/хитозан с минимальным содержанием иона стронция – 0,9 г/л.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 075-03-2023).

ПОИСК НОВЫХ ФАЗ С ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМИ СВОЙСТВАМИ В СИСТЕМЕ Sr–Zn–Eu^{3+} ФОСФАТОВ

Дейнеко Д.В., Никифоров И.В., Жуковская Е.С.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет, 119991, Москва, Ленинские горы, 1,
e-mail: deynekomsu@gmail.com

В работе рассмотрено фазообразование в системе тройных фосфатов Sr–Zn–Eu^{3+}. Твердые растворы в серии двойных фосфатов Sr–Zn представлены структурами пальмиерита $Sr_3(PO_4)_2$, херлбатита $SrZn_2(PO_4)_2$ [1] и гопеита $Zn_3(PO_4)_2$, однако о существовании промежуточных составов и пределов замещения между компонентами неизвестно, за исключением фазы стронциовитлокита $Sr_{2.55}Zn_{0.45}(PO_4)_2$ [2], изоструктурного β-$Ca_3(PO_4)_2$. Интерес к новым оксидным матрицам для допирования ионами редкоземельных элементов (РЗЭ) достаточно велик, и объясняется расширением областей применения люминесцентных материалов, например, в дозиметрии, криминалистике, верификации и др. Ранее, была показана перспективность фаз фосфатов стронция, допированных РЗЭ [3], с точки зрения люминесцентных свойств ввиду объемных координационных полиэдров стронция, благоприятных для размещения в них ионов РЗЭ без проявления эффектов концентрационного тушения. С другой стороны, ионы цинка формируют октаэдрическое окружение, и благоприятствуют разнообразию кристаллографических окружений.

Изучены особенности формирования фаз стронциовитлокита, херлбатита, эвлитина а также особенности изоморфизма в сериях фосфатов $Sr_{9-x}Zn_xEu(PO_4)_7$, $Sr_{3-x}Zn_xEu(PO_4)_3$ и $Sr_{3-x}Zn_x(PO_4)_2$, полученных методом твердофазного синтеза. Составлен треугольник соотношения фаз, и найдены концентрационные пределы существования чистых фаз, а также 2-х и 3-х фазных областей. Предложены предпосылки формирования фаз со структурой стронциовитлокита. Изучены фотолюминесцентные свойства, и показано, что образцы обладают стабильной фотолюминесценцией в красно-оранжевой области за счет излучения катионов Eu^{3+}.

Литература

1. M. E. Mrose American Mineralogist, 1952, **37**, 931.
2. J. F. Sarver *et al*. *J. Electrochem. Soc.* 1961, **108**, 1103.
3. D. V. Deyneko *et al*. Journal of Alloys and Compounds, 2021, **887**, 161340.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 23-73-10007.

СИНТЕЗ НАНОКОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ НА ОСНОВЕ ДНК-ИНТЕРФЕЙСОВ

Дроздов А.С., Сунгатуллина А.Р., Иванцова П.М.

Инновационный научно-технологический центр «Сириус»,
354340, Сочи, Сириус , Олимпийский пр. 1,
e-mail: drozdov.as@talantiuspeh.ru

«Умные» наноматериалы, реализующие свои функции в ответ на определенные внешние стимулы, представляют собой быстроразвивающийся класс функциональных систем. Основной тенденцией развития данного класса материалов является создание комплексных агентов, способных реализовывать свои функции в ответ на сложные входящие сигналы, присущие биологическим системам, а также способные выполнять базовые логические операции «ДА», «НЕТ», «И». «ИЛИ», тем самым реализуя свою функцию только в случае присутствия или отсутствия соответствующих биомаркеров. На данный момент известен ряд систем на основе наночастиц, способных реализовывать логические функции на основе белков, ферментов и малых молекул[1,2].

В данной работе описываются подходы по созданию наносистем а основе ДНК-интерфейсов, способных функционировать в ответ на короткоцепочечные олигонуклеотидные последовательности. Для этих целей был получен ряд наночастиц на основе металлов, оксидов и полимеров, пригодных для дальнейшей модификации ДНК-цепями. Был проведен дизайн и методами самосборки получен ряд комплексных агентов, способных демонстрировать программируемую диссоциацию в ответ на короткоцепочечные ДНК цепи, и реализующих базовые логические функции. Полученные системы могут функционировать в виде растворов и ламинарных тест-полосок. Описываемые системы могут применяться для создания тест-систем и создания новых типов терапевтических препаратов.

Литература

1. Nikitin, M. P., Shipunova, V. O., Deyev, S. M., & Nikitin, P. I. (2014). Biocomputing based on particle disassembly. *Nature nanotechnology*, *9*(9), 716-722.
2. Jia, S., Lv, H., Li, Q., Fan, C., & Wang, F. (2025). DNA-based biocomputing circuits and their biomedical applications. *Nature Reviews Bioengineering*, 1-14.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 24-13-20032.

ИЗУЧЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЦЕРИЕМ ФЛЮОРИТОПОДОБНОГО МОЛИБДАТА ЛАНТАНА-ИТТРИЯ

Кабанов Р.В., Колесникова Н.В., Бережная Т.С., Чебышев К.А.

Северо-Кавказский федеральный университет,
г. Ставрополь
e-mail: romankabanov70@gmail.com

Молибдаты редкоземельных элементов с флюоритоподобной структурой известны благодаря своим люминесцентным, каталитическим и ионопроводящим свойствам. Несмотря на длительное изучение фазообразования в системах «оксид РЗЭ – оксид молибдена» в настоящее время регулярно появляются сообщения о получении новых соединений, которые демонстрируют высокие значения кислород-ионной проводимости. Синтез и исследование новых твердых электролитов, проявляющих превосходные проводящие свойства при более низкой, чем у их аналогов, температуре эксплуатации, позволяет увеличить эффективность использования и распространенность газовых сенсоров, кислородных насосов и электрохимических преобразователей.

В настоящее время привлекают внимание материалы со структурой флюорита, а также производными от нее структурами пирохлора, биксбиита и $Nd_5Mo_3O_{16+\delta}$. Ввиду присутствия избыточного кислорода в структурах состава $Nd_5Mo_3O_{16+\delta}$, локализованных в октаэдрических пустотах кристаллической решетки, обозначенные материалы также обладают высокими значениями ионной проводимости.

В настоящей работе представлено изучение замещения иттрия и лантана в недавно описанном нами двойном молибдате лантана-иттрия $La_3Y_2Mo_{2.625}O_{15.375}$ со структурой типа $Nd_5Mo_3O_{16+\delta}$. Образцы систем $La_{3-x}Ce_xY_2Mo_{2.625}O_{15.375+x/2}$ и $La_3Y_{2-x}Ce_xMo_{2.625}O_{15.375+x/2}$ получены путем применения цитратного золь-гель метода. Исходные оксиды редкоземельных металлов, предварительно просушивали, растворяли с нитратом церия (III) в концентрированной азотной кислоте, а оксид молибдена – в растворе аммиака. Для связывания металлов в комплекс к растворам добавляли лимонную кислоту. Смешанные растворы упаривали до образования вязкого геля, который вследствие помещали в муфельную печь нагретую до 600 °C. После разложения продукт прокаливали при 800 °C и 1000 °C в течение 1 ч. Спрессованные образцы спекали при 1250 °C в течение 20 ч для получения керамики.

Предел замещения в полученных системах составляет около 5 мол %. Полученные керамические образцы исследовались методами рентгенофазового анализа, ИК-спектроскопии, дифференциальной сканирующей калориметрии, импедансной спектроскопии.

СИНТЕЗ, ИЗОМОРФНЫЕ ЗАМЕЩЕНИЯ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА МОЛИБДАТА ЛАНТАНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ВАНАДИЕМ $La_5Mo_2VO_{16}$

Коваль К.А. [1], **Голубович В.С.** [2], **Бережная Т.С.** [1], **Пасечник Л.В.** [2], **Чебышев К.А.** [1]

[1]ФГАОУ ВО «Северо-Кавказкий федеральный университет», Ставрополь, РФ
[2] ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», Донецк, РФ
hasagiwr@gmail.com

В данной работе рассматривается стабилизация флюоритоподобной структуры типа $Nd_5Mo_3O_{16+\delta}$ для молибдата лантана при замещении молибдена на ванадий, а также получение люминофора красного свечения на его основе. Введение ванадия в системе $La_5Mo_{3-x}V_xO_{16+\delta}$ позволяет получить кубическую флюоритоподобную фазу в диапазоне $0.6 \leq x \leq 1.0$, параметр ячейки которой уменьшается с увеличением содержания ванадия в системе.

Изоморфное замещение лантана на европий приводит к формированию непрерывного ряда твердых растворов со структурой $Nd_5Mo_3O_{16+\delta}$, причем их образование в процессе твердофазного синтеза происходит посредством взаимодействия нескольких изоструктурных промежуточных фаз. Образцы системы $La_{5-x}Eu_xMo_2VO_{16}$ демонстрируют яркую красную люминесценцию при возбуждении УФ-излучением. Наибольшая ее интенсивность характерна для состава $La_4EuMo_2VO_{16}$, однако, квантовая эффективность полученного материала достаточно низкая (около 2%).

Синтез европий-содержащих твердых растворов также проводили из растворов цитратным методом. При этом образование конечного продукта идет через формирование промежуточных фаз ванадата и молибдата лантана, которые примерно при 1200 °C реагируют между собой. Применение данного метода позволило увеличить квантовый выход люминесценции до 3,5%.

Также изучено замещение молибдена на вольфрам в системе $La_4EuMo_{2-x}W_xVO_{16}$ ($0 \leq x \leq 0.5$). При температуре синтеза 1200 °C получены твердые растворы со структурой $Nd_5Mo_3O_{16+\delta}$ во всем изученном диапазоне составов. Введение вольфрама также повышает величину квантового выхода люминесценции до 4.5%.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект 124012400342-7.

МИКРОФЛЮИДНЫЙ СИНТЕЗ РЕНТГЕНОЛЮМИНОФОРОВ С ДОБАВЛЕНИЕМ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Кузнецова П.Д., Муханова Е.А.

Международный исследовательский институт интеллектуальных материалов Южного федерального университета, 344090, Ростов-на-Дону, ул. Андрея Сладкова, 178/24
e-mail: pkuznecova@sfedu.ru

Замещенный вольфрамат кальция является перспективным рентгенолюминофорным материалом для биосенсинга, оптической визуализации и онкотерапии, преобразующим рентгеновское излучение в видимое[1]. Использование микрофлюидного синтеза позволяет не только контролировать степень замещения кальция редкоземельными элементами, но и *in situ* контролировать протекание химических реакций.

В данной работе обнаружено, что микрофлюидный метод позволяет не только получать вольфрамат кальция в мягких условиях, но и одностадийно легировать его лантаноидами Ln^{3+} (Ln = Pr, Nd, Eu, Ce, Sm), для усиления люминесценции и изменения длины волны излучения. Установлено, что допирование Ho^{3+} и In^{3+} приводит к получению многофазных образцов, содержащих эти редкоземельные элементы (РЗЭ). Отмечается, что варьирование скоростей потоков хлорида кальция-РЗЭ и вольфрамата натрия влияет на процент замещения лантаноидами в конечном материале.

Полученные наночастицы $CaWO_4$:Ln по данным просвечивающей электронной микроскопии обладают средним размером менее 10 нм и склонны к агломерации. Спектры рентген-возбуждённой оптической люминесценции (XEOL) демонстрируют усиление исходных сцинтилляционных свойств вольфрамата кальция при легировании лантаноидами за счёт 4f-4f переходов.

Рисунок 1. Схема микрофлюидного синтеза $CaWO_4$:Ln

Литература
1. Hong, Z., Chen, Z., Chen, Q. & Yang, H. *Acc Chem Res,* 2023, **56**, 37.

Исследование выполнено при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

СИНТЕЗ ТРОЙНЫХ ВОЛЬФРАМАТОВ СОСТАВА $M^1M^2Y(WO_4)_3$ (M^1 – Li, Na, K; M^2 – Mg, Ca, Sr, Ba) И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ НОВОГО ТРОЙНОГО СОЕДИНЕНИЯ $LiMgY(WO_4)_3$, ДОПИРОВАННОГО Sm^{3+}, Eu^{3+}, Dy^{3+}, Tb^{3+}

Левин Я.В., Бережная Т.С., Чебышев К.А.

Северо-Кавказский федеральный университет,
355017, Ставрополь, ул. Пушкина 1,
e-mail: levinaroslav@gmail.com

Вольфраматы со структурой шеелита являются перспективными матрицами для люминесцентных ионов. Возможность смешивания катионов с разными зарядами в одной позиции структуры позволяет существенно расширить спектр изоструктурных соединений по схеме $Ca^{2+} \rightarrow ½M^{1+} + ½M^{3+} \rightarrow ⅓M^{1+} + ⅓M^{2+} + ⅓M^{3+}$.

В настоящей работе представлены результаты синтеза тройных соединений состава $M^1M^2Y(WO_4)_3$ (M^1 – Li, Na, K; M^2 – Mg, Ca, Sr, Ba).

Образцы составов $M^1M^2Y(WO_4)_3$ (M^1 – Li, Na, K; M^2 – Mg, Ca, Sr, Ba) получали прокаливанием карбонатов щелочных, щелочноземельных металлов с оксидами иттрия и вольфрама при температурах 500, 700, 800 и 900 °C. Однофазные образцы получены для составов $LiCaY(WO_4)_3$, $NaCaY(WO_4)_3$, $NaSrY(WO_4)_3$ (тетрагональная структура) и $LiMgY(WO_4)_3$ (моноклинная структура). Остальные составы содержали фазы двойных вольфраматов щелочного металла и иттрия, а также простых вольфраматов щелочноземельного металла, что указывает на термодинамические затруднения при смешении компонентов.

На основе впервые описанного тройного вольфрамата $LiMgY(WO_4)_3$ замещением иттрия на самарий, европий, диспрозий и тербий в аналогичных условиях получены люминесцентные материалы оранжево-красного, красного, желтого и зеленого свечения.

НОВЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛИ КЛАССА СТРОНЦИОВИТЛОКИТА, КАК ЭФФЕКТИВНЫЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Никифоров И.В.,[а] **Дейнеко Д.В.** [а,б]

[а]*МГУ им. М.В.Ломоносова, химический факультет, Москва, Россия*
[б]*Лаборатория Арктической минералогии и материаловедения ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия*
e-mail: nikiforoviv@my.msu.ru

Красные люминофоры – группа веществ, необходимая компонента для получения эффективных LED устройств. Существует большое число матриц для реализации люминесцентных свойств катионов активаторов: фосфаты, алюминаты, силикаты, бораты. Как правило модификация происходит в катионной части решетки. На данный момент известно небольшое число работ, которые фокусируются на анионном замещении. Фосфаты со структурой стронциовитлокита активно выбираются исследователями для реализации фотолюминесцентных свойств. Однако, кристаллохимические предпосылки для формирования анионно-замещенных люминофоров со структурой стронциовитлокита еще не сформулированы

Образцы сложных фосфато-ванадатов со структурой стронциовитлокита были получены из оксида европия, карбоната стронция, источником фосфора служили – $NH_4H_2PO_4$, а источником ванадия – NH_4VO_3. Стехиометрические количества гомогенизировались в ступке. Смесь отжигали ступенчато – для удаления летучих продуктов и предотвращения образования примесных фаз.

Все синтезированные вещества кристаллизуются в структурном типе стронциовитлокита (пространственная группа $R\bar{3}m$), что подтверждается совпадением всех рефлексов с $Sr_9Fe_{1.5}(PO_4)_7$ (PDF2 Card No 51-0427).

Фосфато-ванадаты демонстрируют интенсивную фотолюминесценцию в красной области видимого спектра. При увеличении содержания группы VO_4^{3-} наблюдается рост интенсивности фотолюминесценции, а также перераспределение интенсивностей полос на спектрах возбуждения фотолюминесценции. Было так же показано, что при синтезе отсутствуют восстановительные процессы, поскольку не было зарегистрировано линий, отвечающих Eu^{2+}.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 23-73-10007.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НОНАМОЛИБДАТОМАНГАНАТА (IV) АММОНИЯ

Чебышев К.А., Бережная Т.С., Петрова О.В.

Северо-Кавказский федеральный университет,
355017, Ставрополь, ул. Пушкина 1,
e-mail: petrova-olgavik@yandex.ru

Полиоксометаллаты представляют собой класс неорганических кластерных соединений переходных металлов, интересных своими окислительно-восстановительными, катализируемыми, адсорбционными и фунгицидными свойствами. Одним из представителей данного класса соединений является нонамолибдатоманганат (IV) аммония $(NH_4)_6[MnMo_9O_{32}]\cdot 9H_2O$.

Нонамолибдатоманганат (IV) аммония был получен путём добавления перманганата калия к нагретому до 50°С раствору гептамолибдата аммония тетрагидрата с pH, доведённым до 3 с помощью уксусной кислоты.

На ИК-спектрах обнаружены полосы валентных и деформационных колебаний O-H и N-H, а также полосы интенсивного поглощения колебаний Mo-O и Mo-O-Mo. УФ-спектроскопия показала широкую полосу поглощения в ультрафиолетовом диапозоне в области 200-400 нм. Рентгенофазовым анализом было установлено совпадение с нонамолибдатоманганатом аммония. После термического разложения соединения его продукты термолиза были идентифицированы как оксид молибдена MoO_3 и молибдат марганца $MnMoO_4$.

Ввиду значительной окислительно-восстановительной активности полиоксометаллатов, было проведено исследование обесцвечивания красителя на примере метилового оранжевого в присутствии нонамолибдатоманганата (IV) аммония. При добавлении исследуемого соединения в раствор метилового-оранжевого наблюдалось обесцвечивание красителя. Было установлено отсутствие влияния освещения на интенсивность обесцвечивания, что объясняется окислительно-восстановительными свойствами нонамолибдатоманганата (IV) аммония.

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ГЕКСААЛЮМИНАТОВ РЗЭ-МАГНИЯ СО СТРУКТУРОЙ МАГНЕТОПЛЮМБИТА

Рюмин М.А., Гагарин П.Г., Никифорова Г.Е., Гавричев К.С.

Институт общей и неорганической химии им. Н.С.Курнакова Российской Академии Наук, 119991, Москва, Ленинский проспект 31, e-mail: Ryumin@igic.ras.ru

В настоящее время основным материалом для термобарьерных покрытий (ТБП) является стабилизированный иттрием диоксид циркония. Однако он имеет один существенный недостаток, который ограничивает его применение[1]. Ведется активный поиск новых материалов – кандидатов для ТБП – для улучшения производительности и эффективности работы газовых турбин различного назначения[2]. В качестве новых материалов для термобарьерных покрытий рассматриваются соединения со структурой магнетоплюмбита состава $REMAl_{11}O_{19}$ (RE = La–Gd, Ca, Sr; M = Mg, Zn, Cu, Mn), которые характеризуются низкой теплопроводностью и высокой термической устойчивостью[3].

В настоящем исследовании выполнен сравнительный анализ методов получения гексаалюминатов редкоземельных элементов (РЗЭ) и магния состава $REMgAl_{11}O_{19}$ с целью установления оптимальных параметров синтеза однофазных образцов со структурой магнетоплюмбита. При твердофазном методе синтеза гексаалюминатов для получения однофазного продукта, как правило, необходимо проведение промежуточных стадий синтеза, направленных на ускорение реакции, таких как механоактивация, плазменное распыление и прессование, в том числе горячее прессование.

Добиться лучшей гомогенизации реагентов можно также путем проведения синтеза в две стадии. На первой стадии из растворов солей металлов методом соосаждения или золь-гель методом получают прекурсоры, которые затем подвергают термической обработке.

Экспериментально определено, что синтез конечного продукта идет через образование промежуточных фаз – магниевой шпинели ($MgAl_2O_4$) и алюмината РЗЭ ($REAlO_3$) со структурой перовскита. Однофазные образцы гексалюминатов могут быть получены при температуре 1500-1700ºС. Измерение и расчет термодинамических и теплофизических характеристик позволяют рекомендовать изученные соединения в качестве высокотемпературных материалов для ТБП

Литература
1. Clarke D.R., Phillpot S.R. // *Mater. Today.* 2005. V. 8. № 6. P. 22.
2. Seraffon M., Simms N.J., Sumner J. et al. // *Surf. Coat. Technol.* 2011. V. 206. P. 1529.
3. Haoran L., Chang-An W., Chenguang Zh. et al. // *J. Eur. Ceram. Soc.* 2015. V.35 P.1297

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 23-13-00051.

СИНТЕЗ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $La_{2.5}Eu_{2.5-x}R_xMo_{2.125}W_{0.5}O_{16+\delta}$ (R – Gd,Y) И ИХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА

Сускина О.Д., Бережная Т.С., Чебышев К.А.

Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь,
e-mail: 0runningonthewaves0@gmail.com

Молибдаты и вольфраматы редкоземельных элементов давно привлекают внимание исследователей благодаря перспективам использования в качестве оптических и лазерных материалов. Данные соединения с преобладающим содержанием оксида РЗЭ в основном имеют кристаллические структуры, которые образуются искажением прототипа флюорита. Последнее время молибдаты РЗЭ со структурой типа $Nd_5Mo_3O_{16+\delta}$ исследуются как ионопроводящие, люминесцентные и диэлектрические функциональные материалы.

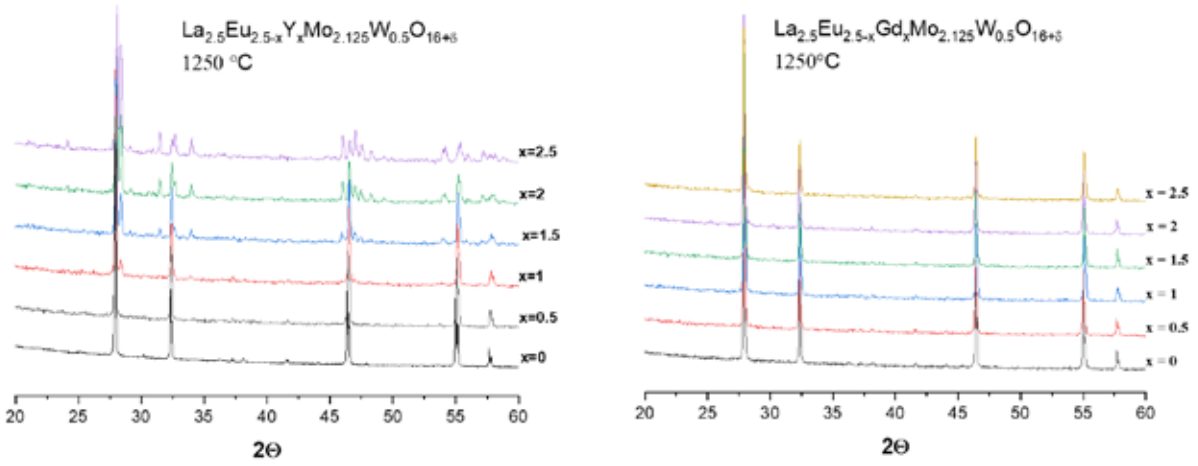


Рис 1. Дифрактограммы образцов систем $La_{2.5}Eu_{2.5-x}R_xMo_{2.125}W_{0.5}O_{16+\delta}$.

Например, двойные молибдаты лантана-европия $La_{2.5}Eu_{2.5}Mo_{2.625}O_{16+\delta}$ демонстрируют ярко-красную люминесценцию, однако высокое содержание европия обуславливает сильное концентрационное тушение. В настоящей работе представлены результаты исследования синтеза твердых растворов в системах $La_{2.5}Eu_{2.5-x}R_xMo_{2.125}W_{0.5}O_{16+\delta}$, где R – Gd, Y.

Методом рентгенофазового анализа показано, что формирование кубической флюоритоподобной структуры типа $Nd_5Mo_3O_{16+\delta}$ происходит через образование моноклинной фазы со структурой типа Sm_2MoO_6. В одинаковых условиях синтеза область гомогенности кубической фазы в системе с гадолинием значительно больше по сравнению с иттрием. Люминесцентные свойства твердых растворов с моноклинной структурой значительно выше, чем кубических со структурой $Nd_5Mo_3O_{16+\delta}$.

НОВЫЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НЕОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Чебышев К.А., Гусева А.В., Бережная Т.С.

Северо-Кавказский федеральный университет, 355017, Ставрополь, Пушкина, 1
e-mail: chebyshev.konst@mail.ru

Оксидные соединения редкоземельных элементов с d-металлами находят применение в различных областях науки и техники благодаря многообразию функциональных свойств. Спектр применений включает, но не ограничивается, кислород-ионную и протонную проводимость, каталитические и люминесцентные свойства. Несмотря на длительное изучение данных систем, имеющиеся данные часто являются не полными, что подтверждается обнаружением новых соединений.

В работе представлены результаты исследований систем на основе оксидов празеодима и неодима с оксидами вольфрама и молибдена в области большего содержания оксидов РЗЭ. В изученных системах идентифицированы некоторые новые соединения, определены области гомогенности образующихся фаз, описаны высокотемпературные полиморфные превращения. Общей особенностью полученных соединений является структурное подобие типу флюорита со сверхструктурным упорядочением высокозарядных катионов Mo^{6+} и W^{6+}.

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 25-23-00399).

ИЗУЧЕНИЕ СИНТЕЗА, СТРУКТУРЫ И ПРОВОДЯЩИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ Pr_6O_{11} – MoO_3

Щеглов Н.Е., Березовская Д.Ю., Бережная Т.С., Чебышев К.А.

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»
chebyshev.konst@mail.ru

В качестве перспективного компонента композитных электродных материалов топливных элементов, работающих в режиме средних температур, на сегодняшний день выступает оксид празеодима Pr_6O_{11}. Интерес к себе он привлёк благодаря хорошим проводящим свойствам свойства ($\sigma = 7{,}6 \cdot 10^{-6}$ S/cm при 60°C и $\sigma = 1{,}40$ S/cm при 850°C) и высокой электрокаталитической активностью в реакциях восстановления кислорода.

Недостатком данного оксида является наличие большого количества фазовых превращений, в результате которых могут образовываться каталитически неактивные фазы [1]. Возможным методом решения данной проблемы является стабилизация активных модификаций оксида празеодима допированием кислород-донорными заместителями.

Опираясь на наше предыдущее исследование [2] системы Pr_6O_{11} – MoO_3, были синтезированы и изучены материла в области высокого содержания оксида празеодима. Образцы системы были получены твердофазным и цитратным золь-гель методами. С помощью рентгенофазового анализа было подтверждено вхождение Pr_6MoO_{12} в область гомогенности оксида празеодима.

Титриметрическими методами анализа впервые подтверждено, что увеличение содержание молибдена в системе Pr – Mo – O приводит к уменьшению количества празеодима в степени окисления +4. Исследование проводящих свойств синтезированных материалов показало, что введение оксида молибдена в структуру оксида празеодима приводит к снижению электропроводности твёрдых растворов.

Литература

1. Burnham D. A., Eyring L. R. Phase transformations in the praseodymium oxide-oxygen system: high-temperature x-ray diffraction studies //The Journal of Physical Chemistry. – 1968. – Т. 72. – №. 13. – С. 4415-4424.
2. Chebyshev K. A. et al. Solid state synthesis and investigation of double oxides in x/6Pr6O11–MoO3 (2≤ x≤ 6) series //Materials Today Communications. – 2023. – Т. 37. – С. 107573.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 25-23-00399).

ЗАМЕЩЕНИЕ МОЛИБДЕНА ВОЛЬФРАМОМ В СИСТЕМЕ $NaSrTb(Mo_{1-X}W_XO_4)_3$

Щуринов Я.С., Бережная Т.С., Чебышев К.А.

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский Федеральный Университет»,
Россия, 355017, Ставропольский край, Ставрополь, ул. Пушкина, 1
e-mail: 3407yar@gmail.com

В данной работе представлено исследование синтеза и люминесцентных свойств твердых растворов тройных молибдатовольфраматов $NaSrTb(Mo_{1-x}W_xO_4)_3$ со структурой шеелита. После прокаливания при 1000°C получен непрерывный ряд твердых растворов.

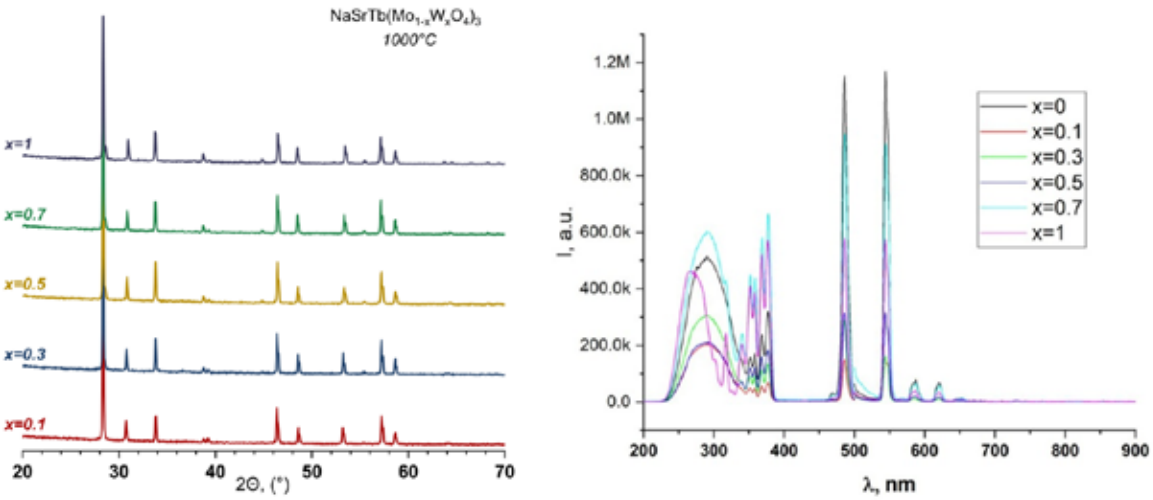


Рисунок 1. Дифрактограммы (слева) и спектры возбуждения и эмиссии (справа) образцов системы $NaSrTb(Mo_{1-x}W_xO_4)_3$.

На спектрах возбуждения присутствует широкая полоса, свидетельствующая о переносе заряда с O^{2-} на MoO_4^{2-} и WO_4^{2-}. При больших длинах волн наблюдается множество интенсивных резких линий, приписываемых f-f переходам ионов Tb^{3+}. Наибольшая интенсивность люминесценции наблюдается для образца x = 0,7, а квантовая эффективность достигает 25%.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

МЕТОД ЭКСТРАКЦИОННОГО ВЫМОРАЖИВАНИЯ, ДВАДЦАТЬ ЛЕТ РАЗВИТИЯ

Бехтерев В.Н.

Сочинский филиал ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Краснодарском крае», 354000, Сочи, Россия
ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр РАН»
e-mail: vic-bekhterev@yandex.ru

Любое химическое производство, экологический мониторинг, многие параметры жизнедеятельности человека требуют сопровождения в виде химического анализа, основным этапом которого, как обычно, являются экстракция и концентрирование. Предложенный в 2005г. способ экстракционного вымораживания (ЭВ, EF) [Патент РФ RU N2303476/2007] совместил процесс экстракции с вымораживанием. Метод основан на низкотемпературном извлечении целевых компонентов с помощью перераспределения растворенных веществ между жидкой фазой предварительно добавленного незамерзающего гидрофильного растворителя и образующейся твердой фазой льда во время замораживания [ЖАХ, 2008, 2011, 2020, 2021; Mendeleev Comm., 2007; ЖФХ, 2016]. Граница раздела фаз появляется в исходно гомогенной смеси экстрагента с водным раствором при охлаждении, когда образуется лед. Осуществление экстракционного вымораживания в режиме воздействия поля центробежных сил (ЭВЦ, EFC) [Патент РФ RU N2564999/2015, Patent EPO N3357873/2019, Indian Patent N370406/2021] путем снижения доли экстрагента в экстракционной системе значительно увеличило степень концентрирования аналита в получаемом экстракте.

Несмотря на относительно небольшой срок развития данного подхода к экстракции органических веществ из водных сред решен целый ряд конкретных фармакологических, химико-токсикологических задач [Хим.-фарм. ж., 2008; ж. Суд.-мед. Экспертиза, 2007, 2010, 2017, 2019], созданы методики быстрого определения фенолов, пестицидов и ПХБ в водных объектах [Аналитика и контроль. 2020; ЖАХ, 2023; Гиг. и санитария, 2024; Зав. Лаборатория. Диагн. матер., 2024], показана возможность повышения селективности выделения БАВ из растительного сырья [ж. Изв. вузов. Прикл. химия и биотехнология, 2018; Mendeleev Comm., 2019], обеспечен контроль пищевых добавок и пестицидов в продуктах питания [Гиг. и санитария, 2025]. В представленных выше разработках убедительно продемонстрированы преимущества данного принципа экстракции над другими методами извлечения и концентрирования:

- эффективность извлечения органических соединений из воды превосходит жидкостную экстракцию;
- технология выполняется в одну стадию, напрямую без каких-либо дополнительных операций фильтрования, осушки и пр. даже из сильно загрязненных, дисперсных систем;
- можно применять водорастворимые экстрагенты без химической модификации пробы (без высаливания);
- процедуру проводят при отрицательных температурах, что требуется, например, для термолабильных компонентов и благоприятно в целях улучшения условий труда и техники безопасности, поскольку значительно снижается летучесть растворителей и извлекаемых веществ;
- технология отвечает требованиям «зеленой химии», т.к. нет никаких полимерных и иных специально утилизируемых материалов и отходов, минимален объем экстрагента;
- низкая стоимость в отношении расходных материалов, химической посуды и реактивов;
- нет особых требований к квалификации оператора, лаборанта.

Предложенная технология к настоящему времени реализована на лабораторном уровне в виде криоэкстрактора ЭВЦ-2, серийный выпуск которого начат в 2021 г. в России НПФ “Мета-Хром, (г. Йошкар-Ола).

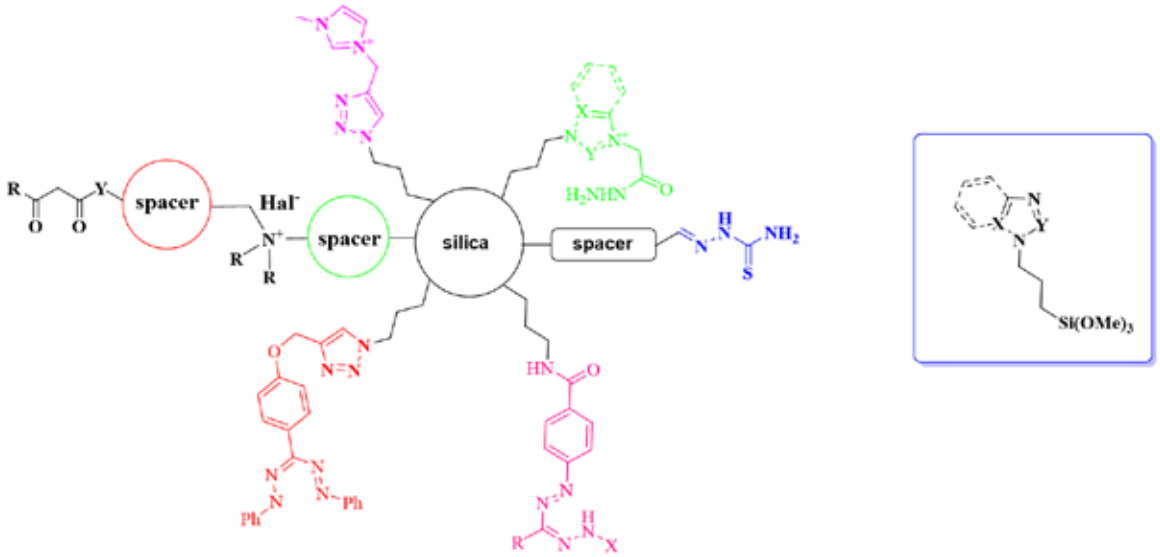
ДИЗАЙН И СВОЙСТВА РЕАГЕНТОВ И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ, КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ ВЕЩЕСТВ

Коншина Дж.Н., Коншин В.В.

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»,
350040, Краснодар, ул. Ставропльская, д. 149,
e-mail: organotin@mail.ru

Поиск новых веществ и материалов для различных технологий разделения и выделения веществ из объектов сложного состава является важной задачей, решение которой открывает новые возможности при препаративном выделении или аналитическом определении ценных или токсичных веществ. Наиболее распространенными материалами, являются химически модифицированные кремнеземы, в первую очередь благодаря устойчивости матрицы и широким возможностям химической трансформации реакционноспособных силанольных групп.

В докладе обсуждаются пути получения и свойства ряда материалов на основе силикагеля, а также пути синтеза кремнийорганических прекурсоров, необходимых для первичной функционализации поверхности



Литература
1. Тихомирова Т.И., Нестеренко П.Н. Координационная химия, 2022, **48**, 615.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ (проект FZEN-2023-0006).

МАРКЕРЫ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Родин И.А.,[а, б], Ананьева И.А.,[а] Болотник Т.А.,[а] Браун А.В.,[а] Близнюк У.А.,[в,г] Борщеговская П.Ю.,[в,г] Ипатова В.С.,[г] Ихалайнен Ю.А.,[а] Козлова Е.К.,[д] Ким В.С.,[в] Опруненко А.Ю.,[а] Торопыгина М.И.,[д] Черняев А.П.[в,г]

[а]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, химический факультет, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, 1, стр.2,
[б]МИРЭА — Российский технологический университет (Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова), 119571, Москва, Россия
e-mail: igorrodin@yandex.ru
[в]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, 1, стр.2
[г]Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, 1, стр.2
[д]ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), кафедра медицинской и биологической физики, 119991, Москва, Большая Пироговская, 2, стр.4

Междисциплинарное исследование направлено на поиск количественных маркеров радиационной обработки биообъектов и пищевых материалов среди летучих органических соединений и белков с целью оптимизации обработки пучками электронов и фотонами пищевой продукции для инактивации широкого спектра патогенов. Установлено, что концентрация ряда летучих органических соединений альдегидов и кетонов в пищевых материалах растительного и животного происхождения увеличивается с увеличением дозы облучения. Получены дозовые зависимости степени структурных изменений белковых молекул после воздействия пучков электронов и фотонов. Получены количественные оценки изменения функциональных изменений белка миоглобина и фермента каталазы от дозы облучения. Поскольку при радиационной обработке помимо повреждения целевых патогенов в пищевых материалах может происходить окисление липидов и белков, модификация белковых молекул, инактивация ферментов, найденные маркеры позволяют обосновывать выбор границ оптимальных диапазонов доз обработки различных категорий биообъектов и материалов с учетом их индивидуального белково-жиро-углеводного состава.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 22-63-00075.

ТОПОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КОНТАКТНЫХ ПЛОЩАДОК ПОВЕРХНОСТЕЙ НА РАЗЛИЧНЫХ МАСШТАБАХ

Агликов А.С., Жуков М.В., Алиев Т.А., Маслий В.И., Гельфенштейн П.В., Козодаев Д.А., Носоновский М.И., Андреева Д.В., Скорб Е.В.

Университет ИТМО, Санкт-Петербург

Для описания сложной текстуры рельефа поверхности используются традиционные статистические характеристики. Развитие вычислительной техники позволяет применять топологические подходы к описанию рельефа как облака точек в абстрактном многомерном пространстве – топологический анализ данных [1-3]. Современные задачи трибологии требуют принципиально новых подходов, способных объединить анализ поверхностей на различных масштабах. Для моделирования процесса перехода от состояния трения покоя к трению скольжения между двумя взаимодействующими поверхностями в рамках данного исследования разработан универсальный вычислительный метод, который преодолевает ограничения традиционных моделей, фокусирующихся на локальных механических взаимодействиях. Основу метода составляет пороговая модель «среза» (Рис. 1), где поверхность последовательно бинаризуется на разных уровнях деформации. На каждом из уровней «среза» вычисляются количественные характеристики контактных площадок, степень их вложенности, и топологические свойства – размерность Хаусдорфа и лакунарность. Принципы могут быть интерпретированы с точки зрения теории перколяции, где глобальное скольжение возникает при формировании связанной сети микроконтактов, достигшей критической плотности, или статистически, как переход от состояния трения покоя к трению скольжения при образовании максимального количества контактных площадок всех уровней вложенности.

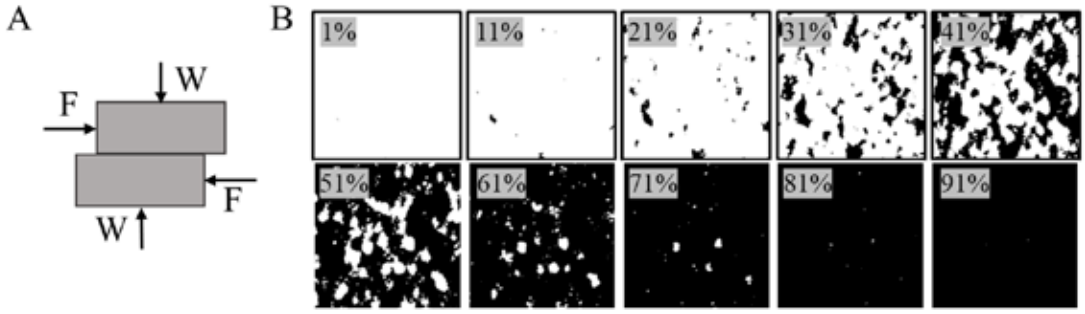


Рисунок 1. А) Модельная система двух трибологически взаимодействующих поверхностей; Б) Эволюция контактных площадок в зависимости от приложенной

Метод предоставляет инструменты для количественного описания текстуры рельефа реальных поверхностей, что важно в задачах проектирования материалов с контролируемыми трибологическими свойствами.

Литература

[1] Zhukov M. V. et al. AFM-Topological Data Analysis of Brass after Ultrasonic Surface Modification //ACS Applied Engineering Materials. – 2023. – Т. 1. – №. 8. – С. 2084-2091.
[2] Aglikov A. S. et al. Topological data analysis of nanoscale roughness of layer-by-layer polyelectrolyte samples using machine learning //ACS Applied Electronic Materials. – 2023. – Т. 5. – №. 12. – С. 6955-6963.
[3] Aglikov A. S. et al. New metrics for describing atomic force microscopy data of nanostructured surfaces through topological data analysis //Applied Surface Science. – 2024. – Т. 670. – С. 160640.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, № FSER-2024-0003.

ВОЗМОЖНОСТИ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИЕЛЕЙ В СИТЕЗЕ И МОДИФИКАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Шишов А.Ю.

Санкт-Петербургский Государственный Университет,
Университетская наб. 7/9, г. Санкт-Петербург, 199034, Российская Федерация
e-mail: andrey.shishov.rus@gmail.com

Глубокие эвтектические растворители (ГЭР) представляют собой новый класс экологически безопасных растворителей, сочетающих низкую летучесть, высокую биосовместимость и регулируемые физико-химические свойства. Их уникальные характеристики, такие как широкий диапазон составов, высокая растворяющая способность и простота синтеза, делают ГЭР перспективными для создания и модификации функциональных материалов, применяемых в химическом анализе. Одним из ключевых преимуществ ГЭР является их способность выступать в роли эффективной среды для синтеза сорбционных материалов, катализаторов и электродных покрытий. Например, при создании пористых сорбентов для твердофазной экстракции ГЭР позволяют улучшить пористую структуру и селективность по отношению к целевым аналитам. В электрохимических сенсорах использование ГЭР в составе модифицирующих покрытий способствует увеличению чувствительности и избирательности определения тяжёлых металлов и органических соединений.

Кроме того, ГЭР находят применение в синтезе наноматериалов, таких как квантовые точки и металл-органические каркасы, которые используются в флуоресцентном и хемосенсорном анализе. Благодаря своей способности растворять оксиды металлов и стабилизировать наночастицы, ГЭР упрощают получение высокоэффективных каталитических систем для усиления аналитических сигналов.

В докладе будут отражены основные направления в синтезе и модификации функциональных материалов для решения широкого спектра задач аналитической химии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 24-43-02023.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НАНОАНАЛИТИКИ

Штыков С.Н.

Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, г. Саратов,
e-mail: shtykovsn@mail.ru

Наноаналитика – раздел аналитической химии, развивающий принципы и методы применения в анализе нанотехнологий и особых свойств вещества в наноразмерном состоянии.[1,2] Согласно этой концепции наноаналитика включает три основных направления:

- использование в химическом анализе различных нанообъектов, как инструментов анализа, позволяющих изменять чувствительность и селективность аналитического сигнала в спектрометрических, электрохимических методах анализа или влиять на разделение и концентрирование веществ;
- использование в аналитической химии различных видов нанотехнологий, основанных как на синтезе и функционализации наноматериалов для химического анализа, пробоподготовке объекта анализа, так и измерениях размеров, оценке формы и морфологии нанообъектов для установления их связи с аналитическим сигналом;
- химический анализ самих нанообъектов химическими и физическими методами, и связанные с ним метрологические проблемы.

Использование нанообъектов в анализе базируется на свойственных им уникальных квантово-размерных оптических, электрохимических, магнитных, каталитических эффектах, высоком отношении их поверхности к объему, использовании эффектов самоорганизации, распознавания и самосборки как основы селективности аналитических реакций. Определяющую роль в формировании аналитического сигнала играет природа, размер и форма нанообъектов. В последние 10-15 лет показано, что дополнительное влияние на свойства нанообъектов и особенно селективность распознавания аналита играет возможность функционализации их поверхности. В докладе будут рассмотрены возможности и направления синтеза, применения, функционализации и создания гибридных и композитных новых наноматериалов.

Литература

1. Shtykov S.N. Nanoanalytics: definitions, classification, history and primary advances. In: Nanoanalytics: Nanoobjects and Nanotechnologies in Analytical Chemistry. Pt. I: Chapter 1. P. 3−52 / Ed. by Sergei Shtykov – De Gruyter. Berlin, Germany, 2018.
2. Аналитическая химия. / Под ред. А.А. Ищенко Т. 3. Инструментальные методы анализа. Часть 2. Физматлит. 2020. С. 96-128.

ONE-POT МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ 3,12*C*-ДИАРИЛ-8,12*C*-ДИГИДРОБЕНЗО[*A*]ПИРРОЛО[3,2-*C*] КАРБАЗОЛ-2(1*H*)-ОНОВ РЕАКЦИЕЙ 5-ГИДРОКСИ-3,5-ДИЗАМЕЩЁННЫХ-1,5-ДИГИДРО-2Н-ПИРРОЛ-2-ОНОВ С ПРОИЗВОДНЫМИ ИНДОЛА

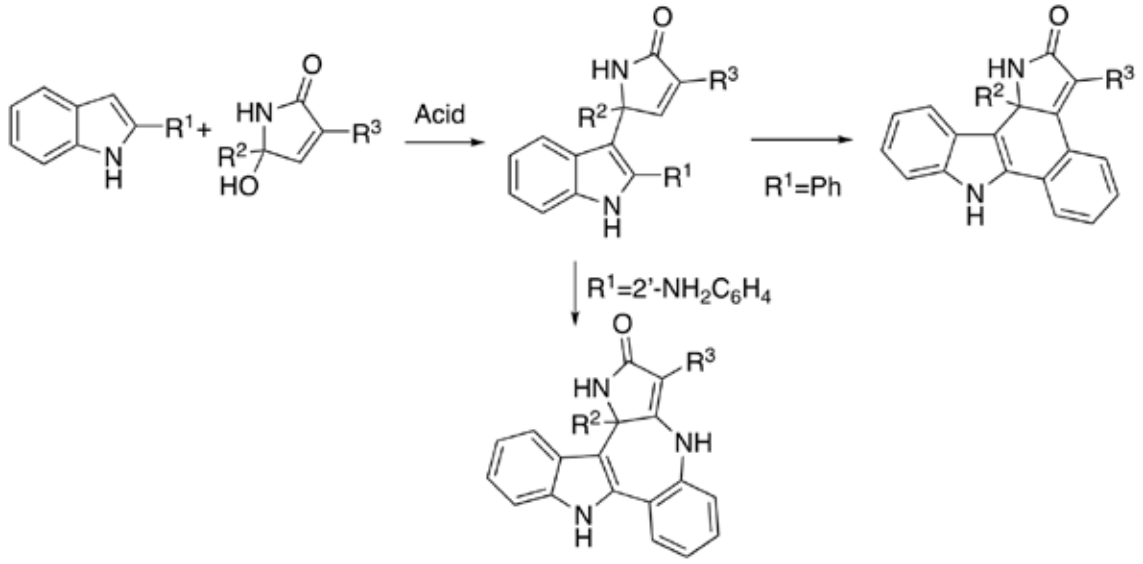
Аксенов Д.А., Аксенов А.В., Аксенов Н.А., Галушко Т.С.

Северо-Кавказский федеральный университет,
355009, Россия, Ставрополь, ул. Пушкина, д.1а.
e-mail: daksenovncfu@gmail.com

Ранее в нашей лаборатории были получены 2-арил-2-(3-индолил)-ацетамиды, которые показали высокую противоопухолевую активность. Также, известно, что структуры, содержащие ацетамидный фрагмент, представляют особый интерес для исследования вследствие большого синтетического потенциала.

Нами были получены циклические аналоги ацетамидов - 5-гидрокси-3,5-дизамещенных-1,5-дигидро-2*H* пиррол-2-оны, реакция которых с индолами приводит к образованию 5-(1*H*-индол-3-ил)-3,5-диарил-1,5-дигидро-2*H*-пиррол-2-онов.

Интересной является последующая возможность внутримолекулярной циклизации с получением 4*c*,7-диарил-4*c*,5,8,13-тетрагидро-6*H*-бензо[2,3]пирроло[2',3':6,7]азепино[4,5-*b*]индол-6-онов, либо же 3,12*c*-диарил-8,12*c*-дигидробензо[*a*]пирроло[3,2-*c*]карбазол-2(1*H*)-онов, в зависимости от природы арильного заместителя во 2 положении индола.



Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-73-20003, https://rscf.ru/project/25-73-20003/

ПРИМЕНЕНИЕ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ В МАТЕРИАЛАХ

Байгильдиев Т.М.[а,б], **Родин И.А.**[а]

[а] МИРЭА-Российский Технологический Университет
(Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова),
119571, Москва, проспект Вернадского, 86
[б] Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,
119071, Москва, Ленинский проспект 31 к 4
email: t.baygildiev@yandex.ru

Современные полимерные и композиционные материалы, используемые в упаковке, строительстве, электронике и других отраслях, содержат широкий спектр малых органических соединений, включая пластификаторы, стабилизаторы, мономерные остатки, а также продукты термического или фотохимического разложения. Эти вещества могут существенно влиять на эксплуатационные свойства материалов, их долговечность, а также на безопасность при контакте с человеком или окружающей средой. Для изучения состава таких соединений всё большую роль играют методы ненаправленного анализа, основанные на высокоэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией высокого разрешения (ВЭЖХ-МСВР). Такие методы позволяют проводить широкомасштабный скрининг экстрагируемых и мигрирующих соединений без предварительного знания их структуры. Однако в условиях ограниченного числа экспериментальных масс-спектров в библиотеках часто возникают трудности с достоверной идентификацией компонентов.

В рамках доклада будут рассмотрены современные подходы к повышению точности и полноты идентификации с использованием алгоритмов машинного обучения для предсказания масс-спектров высокого разрешения и времен хроматографического удерживания. Эти подходы позволяют обеспечивать более уверенную интерпретацию полученных данных, включая выявление новых или ранее нехарактеризованных соединений.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 124041900012-4.

CaviDAC: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ПОЛОСТЕЙ В КАЛИКСАРЕНАХ С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМОВ ТЕССЕЛЯЦИИ И «РАЗДЕЛЯЙ И ВЛАСТВУЙ»

Каралаш С.А., Кротков Н.А., Шмурыгина А.В., Алиев Т.А., Скорб Е.В., Муравьев А.А.

Университет ИТМО, НОЦ инфохимии, 191002, Санкт-Петербург, Ломоносова 9,
e-mail: sergei-karalash@mail.ru

Супрамолекулярные кавитанды находят применение в доставке лекарственных веществ, молекулярном распознавании, клеточной визуализации, катализе органических реакций и процессах сорбции. Согласно эмпирическому правилу Ребека [1], эффективность инкапсуляции молекулы “гостя” в полость “хозяина” максимальна при коэффициенте упаковки 55±9%. Однако существующие методы определения внутримолекулярных объемов не позволяют адекватно рассчитать объемы полостей открытого типа. Поэтому необходима разработка эффективных методов расчета объема внутримолекулярной полости.

В данной работе были разработаны два новых подхода к расчёту объёмов полостей каликсаренов с использованием тесселяции или метода “разделяй и властвуй” (рис. 1), при этом последний был имплементирован в разработанную нами программу CaviDAC [2]. Проведённые вычисления показали высокую сходимость рассчитанных объемов (более 96%) для ряда модельных каликсаренов и продемонстрировали более высокую точность по сравнению с существующими программами. Представленные методы могут быть полезны для расчета объемов полостей других молекул кавитандов.

Рисунок 1. Визуализация свободного внутримолекулярного пространства в методе тесселяции и замкнутой оболочки в алгоритме «разделяй и властвуй».

Литература
1. Mecozzi S., Rebek, Jr J., Chem. Eur. J. – 1998. – Т. 4. – №. 6. – С. 1016-1022.
2. https://github.com/VinaVolo/CaviDAC.

Работа выполнена при финансовой поддержке НИРСИИ, проект №640116.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ ЖИДКОСТЬ-ЖИДКОСТНОЙ МИКРОЭКСТРАКЦИИ ПРИОРИТЕТНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ИЗ ПРИРОДНЫХ ВОД

Кудрявцева А.Н., Червонная Т.А.

Северо-Кавказский Федеральный университет
355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1
e-mail: nastyapeshikova@mail.ru

Обновление информации о канцерогенной опасности большинства представителей органических загрязнителей в последние годы обуславливает повышенный интерес к разработке новых методик их определения в природных объектах. Поскольку водные объекты периодически подвергаются антропогенному загрязнению различного характера, необходимы надежные способы контроля уровня загрязнителей в них.

Варианты жидкостной микроэкстракции занимают определенную лидирующую нишу в способах извлечения, благодаря экспрессности и простоте разрабатываемых методик, однако при этом в случае органических загрязнителей сложно подобрать достаточно селективный экстрагент.

Целью данного исследования стала оценка селективности вариантов жидкость-жидкостной микроэкстракции для извлечения различных классов органических загрязнителей из природных вод при их совместном присутствии.

В качестве экстрагентов применяли классические органические растворители, а также новые «зеленые» экстрагенты. Проводили сравнительную оценку эффективности извлечения аналитов при помощи растворителей различного типа. В данном исследовании показаны особенности применения вариантов жидкостной миркоэкстракции при ГХ-МС определении различных классов органических загрязнителей.

Работа проведена в рамках выполнения Государственного задания FSRN-2023-0005

HS-GC-MS ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ПОЧВАХ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

Червонная Т.А., Кудрявцева А.Н., Бурова Е.Б.

Северо-Кавказский Федеральный университет
355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1
e-mail: cheta97@yandex.ru

Почвы являются средой депонирования большинства органических загрязнителей, что делает оценку содержания веществ именно в этом объекте более представительной для определения характера загрязнения и его источников.

Обновление информации о канцерогенной опасности большинства представителей органических загрязнителей в последние годы обуславливает повышенный интерес к разработке новых методик их определения в природных объектах. Вариант Headspace позволяет провести экспрессную оценку содержания летучих органических загрязнителей (ЛОС) в различных объектах. В связи с недостаточным освещением применимости данного варианта экстракции для определения широкого спектра ЛОС в почвах, целью данной работы стало исследование возможностей HS-GC-MS определения некоторых органических загрязнителей в почвах.

Сорбционными материалами выбраны эвтектические системы различного состава, в ходе работы оптимизированы условия выдерживания образца перед анализом, а также оценены матричные эффекты. Разработанный способ является простым в реализации, экологичным и достаточно экспрессным, что позволяет применять его при рутинных анализах в ходе выполнения объемных экологических работ.

Работа проведена в рамках выполнения Государственного задания FSRN-2023-0005

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОПТИКИ, ФОТОНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ НА ОПТИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО ЛАЗЕРНОЙ КЕРАМИКИ Nd:YAG

Канаев А.Ю., Конюхов А.С., Кукушкин Д.В., Лысинская О.В., Задоренко Е.А., Оболдуев Д.А., Ульянов Я.В.

Федеральное казённое предприятие «Государственный лазерный полигон «Радуга», 600910, Владимирская область, г. Радужный, а/я 771, e-mail: kanaev@trassa.org

Оптическое качество лазерной керамики напрямую влияет на выходные генерационные характеристики лазера, такие как дифференциальный КПД, мощность, порог, расходимость излучения[1].

Условно весь технологический процесс получения лазерной керамики состоит из трех стадий: смешение (помол) исходных порошков оксидов в мельнице с использованием помольных шаров из корунда, компактирование заготовок из смеси порошков, вакуумное спекание заготовок.

В данное работе было исследовано комплексное влияние технологических параметров получения лазерной керамики иттрий-алюминиевого граната с неодимом (Nd:YAG), с целью повышения её оптического качества (ОК). В качестве критериев оценки ОК использовались коэффициент неактивных (холодных) потерь, объемная пористость, концентрация и размеры пор.

Из всех рассмотренных технологических параметров наибольшее влияние на критерии оценки ОК оказали намол шаров, образующийся на стадии смешивания исходных порошков, удельная поверхность порошков и температура вакуумного спекания.

В ходе исследования было установлено, что для улучшения ОК лазерной керамики необходимо одновременно увеличивать удельную поверхность порошков и снижать намол от шаров и температуру вакуумного спекания. На практике это невозможно реализовать при использовании одних и тех же исходных порошков оксидов, так как увеличение удельной поверхности порошков ведёт к неминуемому увеличению намола, для компенсации которого приходится повышать температуру спекания.

Благодаря изучению комплексного влияния указанных технологических параметров в ходе работы удалось снизить коэффициент потерь с 0,050 см$^{-1}$ до 0,002 см$^{-1}$, общую пористость с 10,4 ppm до 2,2 ppm, концентрацию пор с 44,3 шт./мм^3 до 1,6 шт./мм^3, а максимальный размер по с 76 мкм до 54 мкм.

Литература

1. С.М.Ватник и др. Исследование генерационных характеристик лазерной керамики 1 % Nd:YAG. «Квантовая электроника», 43, № 3 (2013).

ЛАЗЕРНАЯ КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ПОЛУТОРНЫХ ОКСИДОВ, ЛЕГИРОВАННЫХ ИОНАМИ Tm^{3+}, Ho^{3+}, ДЛЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ ДВУХМИКРОННОГО ДИАПАЗОНА СПЕКТРА

Рябочкина П.А.[а], **Арискин А.О.**[а], **Алексеева А.С.**[а], **Балашов В.В.**[б]

[а]*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, 430005, г. Саранск, ул. Большевистская, 68*
e-mail: ryabochkina@freemail.mrsu.ru
[б]*Фрязинский филиал ИРЭ РАН, 141190, г. Фрязино Московской области, пл. Введенского 1*

Кристаллы полуторных оксидов, легированные редкоземельными (РЗ) ионами, характеризуются высокими пиковыми значениями сечений поглощения и вынужденного излучения оптических переходов РЗ ионов, а также высокой теплопроводностью. Эти характеристики позволяют рассматривать их в качестве активных сред твердотельных лазеров с высокими энергетическими характеристиками. Однако, из-за высокой температуры плавления (~2500^{0}C) их получение в виде монокристаллов затруднительно, что, в свою очередь, ограничивает их использование в лазерной технике. Альтернативой монокристаллическим полуторным оксидам с РЗ-ионами является лазерная керамика. В работе [1] нами впервые была получена лазерная генерация на керамике Y_2O_3:Tm с длинами волн излучения 1,95 и 2,05 мкм в условиях полупроводниковой накачки.

В настоящем докладе представлен обзор работ по разработке технологии получения, исследованию спектрально-люминесцентных и лазерных характеристик керамик Y_2O_3:Tm, Y_2O_3:Ho, включая результаты исследований, выполненные авторами доклада в этом направлении к настоящему времени.

В докладе значительное место отводится результатам исследования наночастиц Y_2O_3, Y_2O_3, Y_2O_3:Tm, Y_2O_3:Tm, полученных с использованием различных методов синтеза и исходных реагентов, характеристики которых значительным образом влияют на качество керамики.

Литература

1. Ryabochkina P.A., Chabushkin A.N., Kopylov Yu.L., Balashov V.V., Lopukhin K.V. Quantum Electronics, 2016, 46, 597.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (код научной темы FZRS-2-25-0001) в рамках государственного задания ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарева».

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ 5-ГИДРОКСИ-3,5-АРИЛ-1,5-ДИГИДРО-2*H*-ПИРРО-2-ОНОВ С ИНДОЛОМ И ЕГО ПРОИЗВОДНЫМИ

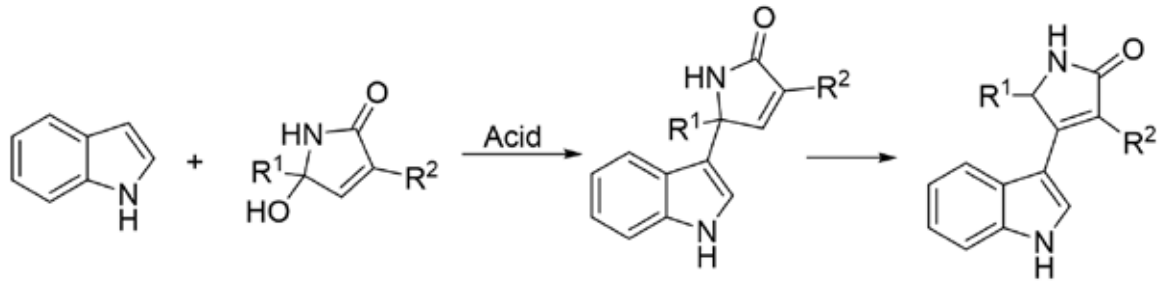
Акулова А.С., Аксенов А.В., Аксенов Д.А., Аксенов Н.А., Галушко Т.С..

Северо-Кавказский федеральный университет,
355009, Россия, Ставрополь, ул. Пушкина, д.1а.
E-mail: alesya.akulova@gmail.com

Последние несколько лет сотрудники лабораторий нашей кафедры синтезируют и изучают свойства производных (индол-3-ил)ацетамида и 2-(индол-3-ил)ацетогидроксамовых кислот, которые демонстрируют значительную субмикромолекулярную противораковую активность *in vitro* в отношении различных типов линий опухолевых клеток. Также последние соединения также показали редкую способность обращать дифференцировку клеток глиомы, в чем-то сходная с механизмом астроцитов. Более того, при оценке опыта на лабораторных мышах некоторые из содержащихся в доле гидроксамовых кислот были способны снижать рост ксенотрансплантата меланомы

Следуя из вышесказанного, мы обратили внимание на 3,5-диарилзамещенный 5-гидрокси-1,5-дигидро-2H-пиррол-2-он, который, как было обнаружено ранее, подвергается реакции Фриделя–Крафтса с анилинами и фенолами [1].

В нашей лаборатории была показана возможность получения 5-(1*H*-индол-3-ил)-3,5-диарил-1,5-дигидро-2*H*-пиррол-2-он реакцией 5-гидрокси-3,5-дизамещенных-1,5-дигидро-2*H* пиррол-2-онов с индолом в присутствии различных кислот [2]. Также интересной является возможность последующей перегруппировки с образованием 4-(1*H*-индол-3-ил)-3,5-диарил-1,5-дигидро-2*H*-пиррол-2-онов.



Литература
1. N.A. Aksenov, D.A. Aksenov, I.A. Kurenkov, A.V. Aksenov, A.A. Skomorokhov, L.A. Prityko, M. Rubin // RSC Advances – 2021. – V. 11. – № 27. – pp. 16236-16245.
2. Abaev, V. T., Aksenov, N. A., Aksenov, D. A., Aleksandrova, E. V., Akulova, A. S., Kurenkov, I. A., ... & Aksenov, A. V. Molecules, 2023, 28, 3162.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-73-20003, https://rscf.ru/project/25-73-20003/).

НАСТРОЙКА СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ АРИЛГИДРАЗОНОВ ПОСРЕДСТВОМ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ, ИНДУЦИРОВАННЫХ СОЛЬВАТАЦИЕЙ И ТАУТОМЕРИЕЙ

Балашова Ю.Е.,[а] Сбытов Д.А.,[а] Голованов А.А.,[б] Орлова Т.,[а] Скорб Е.В.,[а] Муравьев А.А.[а]

[а]Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А.,
[б]Тольяттинский государственный университет, ул. Белорусская, 14, 445020, Тольятти, Россия
e-mail: yulya.balashova.05@mail.ru

Малые флуоресцентные органические молекулы привлекают все большее внимание в разработке функциональных материалов для биомедицины, нелинейной оптики, а также мониторинга и защиты окружающей среды[1]. В этом контексте арилгидразоны представляют собой перспективный каркас для молекулярных логических элементов благодаря не только их чувствительности к pH и свету, но и к ионам металлов[2].

В нашем исследовании серия производных арилгидразона 1,5-дизамещенных (E)-пентил-1-ен-4-ин-3-онов (рис. 1, а) продемонстрировала значительный Стоксов сдвиг (100–120 нм), который увеличивался с ростом полярности растворителя, но их квантовый выход оставался низким (не более 11%). Наличие азо- и гидразо-таутомерии определил механизм ESPT, влияющий на спектры люминесценции. Введение нитрогруппы в орто-положение арилгидразонного кольца привело к подавлению ESPT и уменьшению Стоксовского сдвига до 60–70 нм. Жесткая водородная связь через орто-нитрогруппу способствовала узкому пику эмиссии (17 нм) (рис. 1, б). Также было установлено, что сопряжение фенилэтинильных, стирильных и 4-бромфенилгидразоновых фрагментов приводит к расщеплению полос люминесценции, вероятно, из-за участия d-орбиталей атома брома.

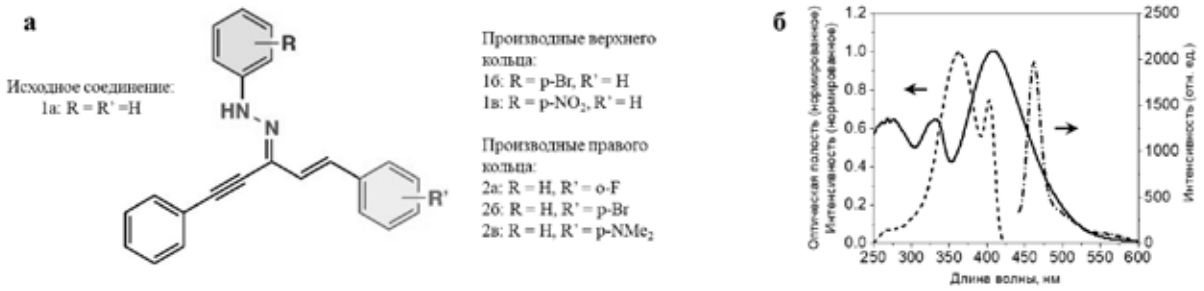


Рисунок 1. а. Серия исследуемых производных арилгидразона; б. Нормализованные спектры поглощения (сплошная) и возбуждения (пунктирные) производного арилгидразона с нитрогруппой в орто-положении и его спектр излучения в метаноле (пунктир с точкой).

Литература
1. Reineck P., Gibson B. C. *Adv. Opt. Mater.*, 2016, **5**, 1600446.
2. Hegedüsová L., Blaise N., Pašteka L. F., Budzák S., Medveď M., Filo J., Mravec B., Slavov C., Wachtveitl J., Grabarz A. M., Cigáň M. *Chem. Eur. J.*, 2024, **30**, e202303509.

МЕТОД ШАБЛОННОГО СИНТЕЗА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ФОТОНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

Бедин С.А., Кожина Е.П., Драчев В.П.

Сколковский институт науки и технологий, 121205, Москва, Большой бул., д. 30, стр. 1
e-mail: bserg5@gmail.com

Метод шаблонного синтеза, зарекомендовавший себя как эффективный инструмент для массового получения микро- и наноструктур из металлов и полупроводников, базируется на использовании специально изготовленных пористых шаблонов. Наиболее технологичными и универсальными являются шаблоны, полученные по ионно-трековой технологии, которые позволяют варьировать размер, ориентацию и геометрию пор[1], что открывает широкие возможности для создания материалов с заданными функциональными свойствами.

В рамках данного метода чаще всего цилиндрические поры полимерных шаблонов заполняются металлами, сплавами или их комбинациями, что позволяет формировать структуры, применимые в гибкой электронике, включая сверхтонкие проводящие и нагревательные элементы[2]. После удаления полимерной матрицы могут быть получены металлические нанопроволоки в виде суспензий или массивов, закреплённых на твёрдых подложках.

Особый интерес представляют нанопроволоки из плазмонных металлов (например, серебра и золота), которые демонстрируют высокую эффективность в качестве SERS-активных поверхностей[3]. Возможность точной настройки геометрии наноструктур делает данный метод особенно перспективным для решения специализированных исследовательских задач. Дополнительно рассматривается формирование упорядоченных массивов металлических нанопроволок на поверхности кремниевых чипов, что может быть использовано для оптимизации теплоотвода и создания низкотемпературных соединений.

Литература

1. Apel P. *Radiation Measurements*, 2001, **34**, 559.
2. Kozhina E., Panov D., Kovalets N., Apel P., Bedin S. *Nanotechnology*, 2023, **35**, 035601.
3. Kozhina E. P., Bedin S. A., Nechaeva N. L., Podoynitsyn S. N., Tarakanov V. P., Andreev S. N., Grigoriev Y. V., Naumov A. V. *Applied Sciences*, 2021, **11**, 1375.

ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ZnS. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКИТВЫ

Герке М.Н., Вознесенская А.А., Кочуев Д.А. Чкалов Р.В.

ФГБОУ высшего образования Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, 600000, г. Владимир, ул. Горького, дом № 87
e-mail:miron_gerke@mail.ru

Халькогениды цинка ZnS – широко распространённый материал ИК-оптики. Поликристаллический CVD-ZnS сульфид цинка, получаемый в процессе синтеза, обладает заметным поглощением в видимой части спектра и называется ИК сортом сульфида цинка или FLIR grade.

Улучшить свойства поликристаллического сульфида цинка удается при его последующей обработке методом высокотемпературного изостатического прессования (HIP – Hot Isostatic Press)[1]. В результате получают материал категории MS grade с максимально высоким пропусканием во всем спектральном диапазоне 0,4 – 12,5 мкм [2]. Также при этом улучшаются механические прочностные свойства CVD-ZnS. Сравнительные спектральные кривые пропускания CVD-ZnS обоих типов представлены ниже на рисунке 1:

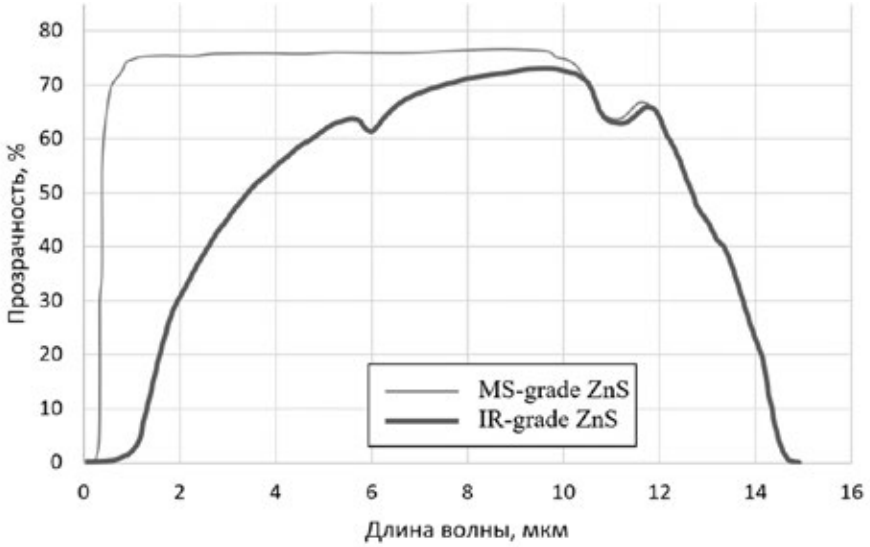


Рисунок 1. Спектр пропускания ZnS.

Литература
1.John S. McCloy, PROPERTIES AND PROCESSING OF CHEMICAL VAPOR DEPOSITED ZINC SULFIDE, PhD dissertation, 2008
2. Электронный ресурс URL: https://www.vitron.de/en/cvd-zinc-sulfide/specifications.php (дата обращения: 10.04.2025).

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА НА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ LuGdAG: Ce

Кравцов А.А., **Филиппов Д.Д.**

ФГАОУ ВО Северо-Кавказский федеральный университет, 355009, Ставрополь, ул. Пушкина 1
e-mail: sanya-kravtsov@ya.ru

Одним из перспективных решений, позволяющих получить материал с широким спектром люминесценции, высоким индексом цветопередачи и в то же время высокой термической устойчивостью, является создание люминесцентной керамики на основе твердых растворов. В работе показано, что с увеличением доли гадолиния увеличивается светопропускание керамики, а также происходит смещение спектра люминесценции в красную область, уменьшается цветовая температура, падает эффективность люминесценции, но увеличивается индекс цветопередачи (Ra)[1]. После отжига на воздухе наблюдалось значительное усиление люминесценции керамики с высоким содержанием гадолиния, сопровождавшееся падением Ra (рис. 1). Представленные результаты подтверждают, что керамика LuGdAG:Ce имеет перспективы использования в источниках теплого белого света с высоким индексом цветопередачи.

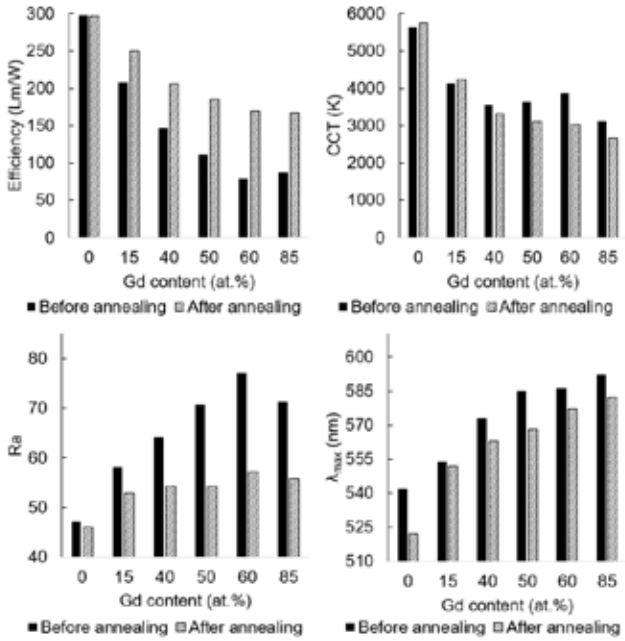


Рисунок 1. Влияние отжига (1300 °C) на люминесцентные свойства керамики LuGdAG:Ce.

Литература
1. Kravtsov A.A. et al. *J Am Ceram Soc.*, 2025, **e20497**.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-73-00005 (https://rscf.ru/project/24-73-00005/))

ВЛИЯНИЕ КАТИОНОВ СКАНДИЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ YSAG:Sm3+

Лапин В.А., Вакалов Д.С., Супрунчук В.Е.

Северо-Кавказский федеральный университет
e-mail: viacheslavlapin@yandex.ru

Одной из проблем технологии высокомощных лазеров является спонтанная флуоресценция. Этот эффект уменьшает населенность верхнего уровня лазера, снижая его КПД. Необходима поглощающая оболочка для подавления паразитных излучений. Для YAG: Nd лазеров, обычно используют в качестве оболочки оптическую керамику из YAG: Sm3+[1]. Управляя силой кристаллического поля, можно добиться уширения полосы поглощения самария, тем самым увеличивая коэффициент поглощения Sm3+ на длине волны 1064 нм. Цель проведенных исследований – изучение влияния катионов скандия в матрице YSAG на оптические, теплофизические и люминесцентные свойства катионов Sm3+.

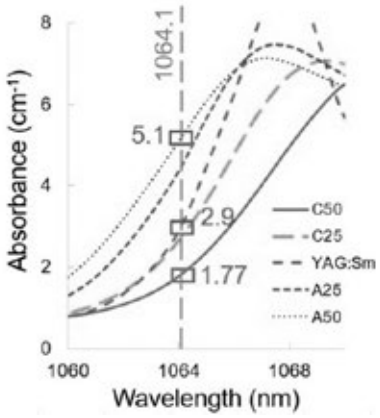


Рисунок 1. Спектр поглощения керамики C50, C25, YAG:Sm, A25 и A50 в диапазоне длин волн 1060-1070 нм

Таблица 1. Составы полученных оксидных композиций со структурой граната

Шифр состава	Sc^{3+}_{dod}, *x* (ф.ед.)	Sc^{3+}_{oct}, *y* (ф.ед.)	Номинальный состав композиции
C50	1.50	0,2	$\{Y_{1.35}Sc_{1.50}Sm_{0.15}\}[Sc_{0.20}Al_{1.80}]Al_3O_{12}$
C25	0,75	0,2	$\{Y_{2.10}Sc_{0.75}Sm_{0.15}\}[Sc_{0.20}Al_{1.80}]Al_3O_{12}$
A25	0,15	0,5	$\{Y_{2.70}Sc_{0.15}Sm_{0.15}\}[Sc_{0.50}Al_{1.50}]Al_3O_{12}$
A50	0,15	0,95	$\{Y_{2.70}Sc_{0.15}Sm_{0.15}\}[Sc_{0.95}Al_{1.05}]Al_3O_{12}$

Литература
1. Huß R et al. *Optics express*, 2010, **18 (12)**, 13094-13101.

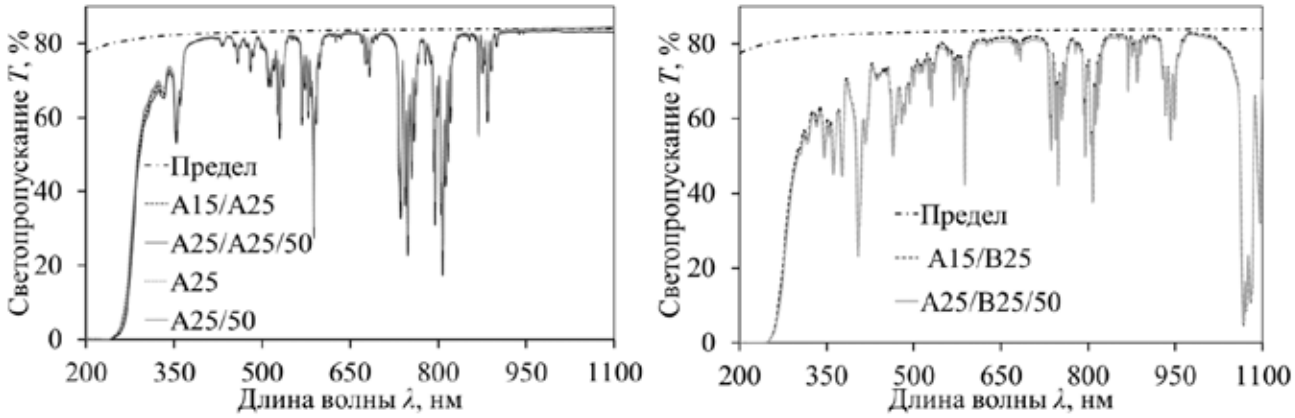
Исследования выполнены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FSRN-2025-0001)

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОМПОЗИТНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ

Малявин Ф.Ф., Бедраков Д.П., Бражко Е.А., Медяник Е.В.

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
355017, Ставрополь, ул. Пушкина 1
e-mail: fedormalyavin@mail.ru

Композитная оптическая керамика YAG:Nd^{3+}/YAG:Sm^{3+} необходима для создания высокомощных твердотельных лазеров[1]. Из нанокристаллических порошков YAG:Nd^{3+} (A) и YAG:Sm^{3+} (B) были изготовлены образцы оптической керамики с композитной двухслойной структурой A/A и A/B типов. Образцы A15/A25 и A15/B25 получали путем одноосного прессования первого слоя порошка при 15 МПа, засыпкой второго слоя порошка, прессованием при 25 МПа. Составные части образцов A25/A25/50 и A25/B25/50 отдельно прессовали при 25 МПа, совмещали по торцам и подвергали холодному изостатическому прессованию (ХИП) при давлении 50 МПа. При одноосном давлении 25 МПа изготовлены два однослойных (некомпозитных) образца сравнения, один из которых обжимали методом ХИП при 50 МПа (A25 и A25/50). Все образцы проходили термообработку в вакуумной печи и в горячем изостатическом прессе, полировку торцов.



а) б)

Рисунок 1. Спектры светопропускания образцов (толщина образцов 3,0±0,1мм)

Светопропускание двухслойных и однослойных образцов практически совпало, и близкó к теоретическому пределу (рисунок 1а). Использование метода совмещения составных частей с последующим ХИП привело к незначительному ухудшению прозрачности (рисунок 1а, б). Свойства материалов и параметры их спекания более критичны условий прессования.

Литература
1. Tian F., Ikesue A., Li J. *Journal of the European Ceramic Society*, 2022, **42**, 1833.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FSRN-2025-0001).

ИЗУЧЕНИЕ ЗАМЕЩЕНИЙ ЛАНТАНА НА ЕВРОПИЙ В НИОБАТОВОЛЬФРАМАТЕ La_3NbWO_{10} И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ОБРАЗУЮЩИХСЯ ФАЗ

Мусорина М.В., Бережная Т.С., Чебышев К.А.

Северо-Кавказский федеральный университет,
355017, Ставрополь, ул. Пушкина 1
e-mail: chebyshev.konst@mail.ru

Твердофазным взаимодействием оксидов металлов при 1400°C впервые получены образцы системы $La_{3-x}Eu_xNbWO_{10}$. По данным рентгенофазового анализа в данной системе наблюдается формирование твердых растворов на основе ниобатовольфрамата лантана с пределом замещения x = 0.6. Увеличение содержания европия приводит к возникновению на дифрактограммах дополнительных рефлексов, которые относятся к примесной фазе. Ширина двухфазной области составляет 0.6 < x < 1.5. При содержании европия x > 1.5 наблюдается область гомогенности ранее не описанной фазы со шеелитоподобной структурой.

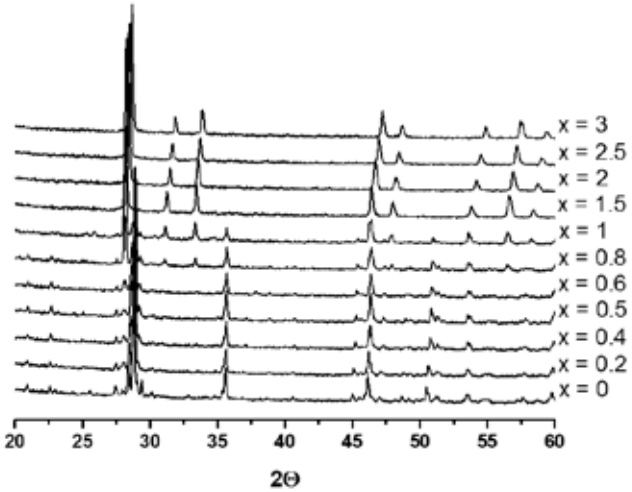


Рисунок 1. Дифрактограммы образцов системы $La_{3-x}Eu_xNbWO_{10}$.

Полученные твердые растворы демонстрируют яркое красное свечение при возбуждении УФ-излучением. Для шеелитоподобных твердых растворов наблюдается выраженное концентрационное тушение, что приводит к наиболее слабой люминесценции для ниобатовольфрамата европия. Квантовая эффективность состава $La_{2.5}Eu_{0.5}NbWO_{10}$ достигает 12 %, а характер спектров эмиссии свидетельствует о расположении ионов европия в нецентросимметричном окружении.

ИК-ПРОЗРАЧНЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДА МАГНИЯ И ОКСИДОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Пермин Д.А.[а,б], **Кеткова Л.А.**[а,б], **Курашкин С.В.**[а,б], **Тимофеев О.В.**[а,б], **Тимофеев Е.О.**[а], **Евстропов Т.О.**[б], **Отопкова П.А.**[б], **Снетков И.Л.**[а,в]

[а] *Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, пр-т Гагарина, д. 23, permin@chem.unn.ru*

[б] *Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девятых РАН, Нижний Новгород, ул. Тропинина, д.49*

[в] *Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, 603950, ул. Ульянова, 46*

Композиционная керамика Y_2O_3-MgO является перспективным материалом для создания ИК-прозрачных окон, подверженных сильным температурным перепадам и механическим нагрузкам. Актуальным представляется также получение и исследование композитов оксида магния с другими оксидами РЗЭ MgO-RE_2O_3 (RE = Y,Sc,Lu,Gd) и установление возможности изготовления на их основе люминофоров при легировании ионами редкоземельных элементов.

Основными требованиями для обеспечения высокого светопропускания композитной керамики в ИК-области спектра является формирование в процессе спекания плотной беспористой структуры при сохранении субмикронных размеров зерен и высокой химической чистоты.

Получение целевых материалов было выполнено горячим прессованием нанопорошков, синтезированных глицин-нитратным методом. Выбранные подходы обеспечили спекание керамик с плотностью более 99% и средним размером зёрен 150-300 нм. Пропускание в диапазоне 3-6 мкм полученных композитов на уровне монокристаллов индивидуальных оксидов - компонентов.

Было проведено легирование керамик MgO-RE_2O_3 оптически активными ионами Yb^{3+}, Er^{3+}, Ho^{3+}. Установлено, что в условиях синтеза происходит образование твёрдого раствора оксидов редкоземельных элементов без взаимодействия с оксидом магния. В результате исследования люминесцентных свойств была показана возможность изготовления керамических визуализаторов $(Y_{1-x-y}Yb_xEr_y)_2O_3$-MgO с диапазоном детектирования ИК-излучения 0,8 – 1,5 мкм, а также $(Ho_{0.05}RE_{0.95})_2O_3$-MgO для визуализации излучения 1,9-2 мкм.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-73-10084

ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМИКИ ИТТРИЙ-АЛЮМИНИЕВОГО ГРАНТА, ЛЕГИРОВАННОГО РУТЕНИЕМ

Супрунчук В.Е., Лапин В.А., Бедраков Д.П., Кравцов А.А.

Северо-Кавказский федеральный университет,
355000, Ставрополь, проспект Кулакова 2,
e-mail: vikasuprunchuk@gmail.com

Иттрий-алюминиевый гранат (YAG) представляет собой кристаллический материал кубической структуры, который обладает высокой теплопроводностью, химической стабильность, хорошими физическими и оптическими свойствами. Известно, что легирование и изменение количественного содержания легирующего агента приводит к изменению оптических[1], механических и тепловых свойств YAG[2,3]. Рутений относится к 4d-катионам и является привлекательным легирующим агентом. Разнообразие электронных состояний рутения позволяет обеспечить матрице уникальные магнитные[4], фоторефрактивные и фотохромные свойства[5]. Целью работы явилась разработка подхода к синтезу оптически прозрачной керамики YAG:Ru.

В ходе работы было исследовано влияние рутения на микроструктуру и фазовые превращения порошков, а также изучены фазовый состав, микроструктура и оптические свойства готовой керамики YAG:Ru. Выявлено, что рутений в структуре граната снижает светопропускание керамики в диапазоне длин волн от 200 до 1100 нм. Также определено изменение ширины запрещенной зоны при легировании рутением иттрий-алюминиевого граната.

Полученные результаты могут быть применимы для рассмотрения возможности применения YAG:Ru в качестве материала для оптики и имеют важное фундаментальное и промышленное значение.

Литература

1.Wu X., Wang S., Wong-Ng W., et al.. *Journal of Advanced Ceramics*. 2021, **10**, 120-128.
2.Timoshenko A.D., Matvienko O.O., Doroshenko A.G., et al. *Ceramics International*, 2023, **49**, 7524-7533.
3.Yagi H., Yanagitani T., Numazawa T., Ueda K. *Ceramics International*, 2007, **33**, 711-714.
4.Banerjee A. *Journal of Fluorine Chemistry*. 2021, **245**, 109779.
5.Wu S.Y., Fu Q., Lin J.Z., Zhang H.M.. *Optical Materials*, 2007, **29**, 1014-1018.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 24-73-00023, (https://rscf.ru/project/24-73-00023/)

ЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ КЕРАМИКА YAG:Ce ДЛЯ wLED

Тарала В.А.,[а] Кунгурцев К.В.,[а,б] Поделякин В.А.,[а,б] Кравцов А.А.[а]

[а]ФГБОУ ВО Северо-Кавказский федеральный университет,
355009, Ставрополь, ул. Пушкина, 1.
e-mail: vtarala@ncfu.ru
[б]ООО НПФ «ЭКСИТОН»,
355035, Ставрополь, ул. 1-я Промышленная, 13.

Люминесцентная керамика (YAG:Ce) рассматривается как альтернатива люминесцентных композиций, состоящих из порошкового люминофора (YAG:Ce) и органической смолы, которые широко используются в создании светодиодов белого света (wLED). Высокая теплопроводность (>7 Вт/м/К) керамики, по сравнению с композициями (0,1-0,4 Вт/м/К), позволяет лучше рассеивать тепло, которое выделяется при преобразовании части синего излучения LED (λ_{max}=440÷470 нм) в люминесценцию (λ_{max}=545÷565 нм), что делает её перспективной для создания сверхярких источников белого света.

Керамика получена методом нереактивного спекания нанокристаллических порошков YAG:Ce. Содержание катионов церия (Ce^{3+}) варьировалось в диапазоне от 0.13 ат.% (0.004 f.u.) до 10 ат.% (0.3 f.u.). При помощи спектрорадиометра измерялись характеристики wLED с люминесцентной керамикой, толщину которой изменяли от 1.0 мм до 150 мкм. Использовались LED с длиной волны излучения 444±2, 448±2, 457±2 и 467±2 нм.

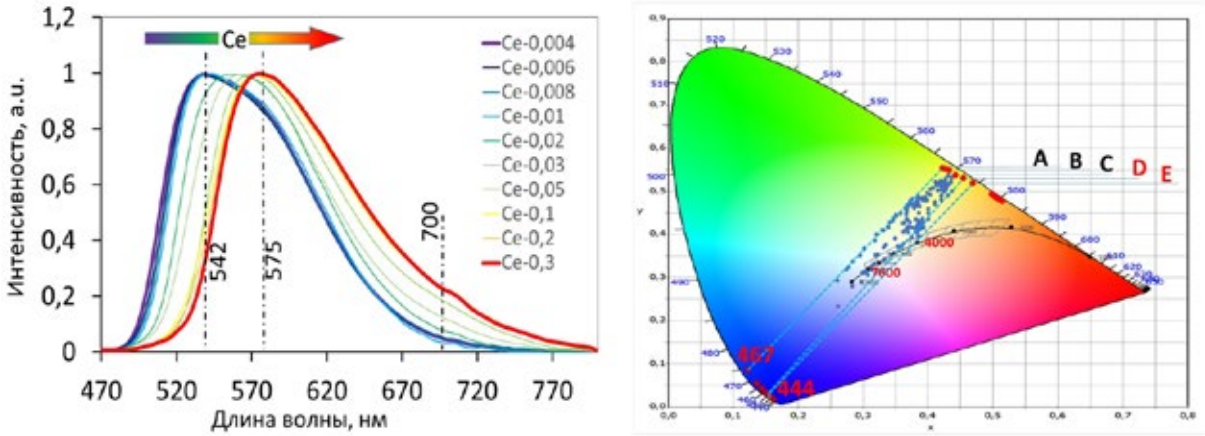


Рисунок 1. Спектры люминесценции керамики и координаты цвета wLED с керамическими преобразователями

Установлено, что при толщинах керамики YAG:Ce порядка 200±30 мкм и при концентрациях церия от 0.13 ат.% (0.004 f.u.) до 1 ат.% (0.03 f.u.) могут быть получены wLED демонстрирующие излучение с цветовыми температурами от 7500K до 4500 K и с индексами цветопередачи CRI≥70.

Работа выполнена в рамках государственного задания FSRN-2025-0001.

ПОСТЕРНЫЕ ДОКЛАДЫ

СИНТЕЗ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ПРАЗЕОДИМА ЦИТРАТНЫМ МЕТОДОМ

Бережная Т.С., Хрущ М.Р., Березовская Д.Ю., Щеглов Н.Е., Чебышев К.А.

Северо-Кавказский федеральный университет, 355017, Ставрополь, Пушкина, 1
e-mail: t-novik@internet.ru

Оксид празеодима демонстрирует высокую электро-каталитическую активность в реакции окисления и восстановления кислорода. Возможность его модифицирования путем изоморфных замещений в настоящее время практически не изучена. Представляет интерес исследование систем, в которых празеодим замещается на кислород-донорный заместитель. Такие замещения могут привести к стабилизации обогащенных кислородом фаз, демонстрирующих высокую электро-каталитическую активность.

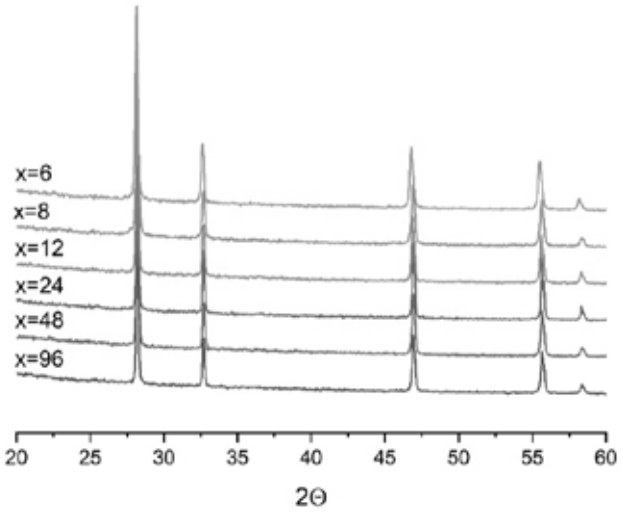


Рисунок 1. Дифрактограммы образцов системы $xPrO_{1.83} \cdot WO_3$ после прокаливания при 1000 °C

Твердые растворы получали цитратным методом. Оксид празеодима растворяли в азотной кислоте, а оксид вольфрама – в растворе аммиака. После сливания исходных компонентов раствор упаривали до разложения. После прокаливания при 1000°C по данным рентгенофазового анализа установлено, что получены однофазные образцы со структурой флюорита. Методом йодометрического титрования определяли степень окисления празеодима. Увеличение содержания оксида вольфрама в системе приводит к уменьшению содержания празеодима в степени окисления +4.

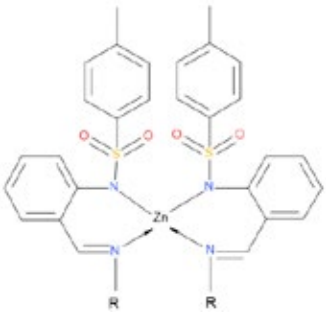
Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 25-23-00399.

СИНТЕЗ, СТРОЕНИЕ И ФОТО- И ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА БИСХЕЛАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ Zn(II) АЗОМЕТИНОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ 2-(N-[2-ТОЗИЛАМИНО)БЕНЗАЛЬДЕГИДА

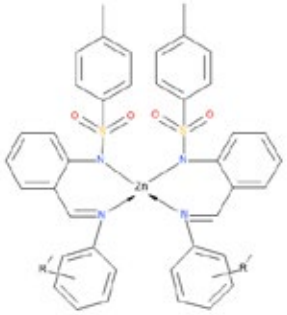
Бурлов А.С.[1], Власенко В.Г.[2], Кощиенко Ю.В.[1], Чальцев Б.В.[1], Колодина А.А.[1], Демидов О.П.[3], Брага Е.В.[4], Гусев А.Н.[4]

[1]Научно-исследовательский институт физической и органической химии Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, Россия
[2]Научно-исследовательский институт физики Южного федерального университета
[3]Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия
[4]Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Россия
**e-mail: anatoly.burlov@yandex.ru*

С целью поиска новых электролюминесцентных материалов получена большая серия комплексов Zn(II) азометиновых соединений 2-(N-[2-тозиламино)бензальдегида с алифатическими аминами и различными замещенными анилинами.



R= $(CH_2)_nOH$, n=1-6, $(CH_2)_n$-N-$(C_2H_5)_2$, циклогексил, циклогексиланилин;



R'= 2-F, 4-F, 2,4-F_2, 2,5-F_2, 2,6-F_2, 3,4-F_2, 3,5-F_2, 2,4,6-F_3, 4-Cl, 2,4,6-Cl_3, 2,4-Cl_2

Структура азометинов и комплексов Zn(II) определена методами элементного анализа, ИК, ^{1}H ЯМР, рентгеновской спектроскопии поглощения и РСА. По данным РСА монокристаллов комплексов установлено, что все они образуют центросимметричные моноядерные молекулы с двумя лигандами, в которых ионы цинка имеют тетраэдрическое координационное окружение «4+2» четырьмя атомами N из тозиламинной и иминной групп лигандов, а также дополнительные слабые взаимодействия с двумя атомами O сульфогрупп.

Фотолюминесцентные свойства азометинов и комплексов Zn(II) были исследованы в твердом состоянии и в растворе дихлорметана. В твердом состоянии азометины демонстрируют оранжево-красную люминесценцию, с максимумами полос в диапазоне 586-598 нм, которые относятся к π*-π переходам. При возбуждении длиной волны 380-400 нм комплексы Zn(II) демонстрируют интенсивную фотолюминесценцию. Спектр эмиссии твердых образцов с максимумами полос в диапазоне от 436 до 510 нм. Квантовые выходы комплексов лежат в интервале 18.5-44.5%. На основе комплексов цинка изготовлены электролюминесцентные устройства OLED. Интенсивность электролюминесценции устройств достигала яркости от 1100 до 6300 кд/м^2 при 11-12 В и эффективности по току 11.1-19.7 кд/А. Полученные значения яркости и эффективности устройств сопоставимы или превышают характеристики для комплексов цинка с другими азометиновыми лигандами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Государственное задание в сфере научной деятельности 2023 г. №FENW-2023-0011).

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ПАУ ИЗ ВОД ПО ТЕХНИКЕ SFOD-DES И DES-DLLME

Бурова Е.Б., Махмутова А.А., Кудрявцева А.Н., Червонная Т.А.

Северо-Кавказский Федеральный университет
355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1
e-mail: katekate221204@gmail.com

Полиароматические углеводороды (ПАУ) относятся к группе приоритетных загрязнителей воды, подлежащей обязательному контролю из-за наличия канцерогенных, мутагенных и тератогенных свойств. Варианты извлечения ПАУ из природных вод способами жидкостной микроэкстракции получили широкое распространение ввиду простоты реализации и экспрессности извлечения.

В настоящее время развитию подлежат методы пробоподготовки, предполагающие уход от токсичных органических загрязнителей в качестве экстрагентов, миниатюризацию процесса, а также доступность реагентов и по возможности вторичное их использование.

В работе рассмотрели применение техник жидкостной микроэкстракции SFOD-DES и DES-DLLME на основе гидрофобного эвтектического растворителя ментол:камфора. Показана простота реализации обеих техник в сравнении с классическими вариантами жидкостной микроэкстракции, высокая эффективность извлечения и достаточная воспроизводимость результатов анализа. Оба варианта экстракции сочетаются с последующим ГХ-МС детектированием аналитов, что в значительной мере повышает надежность идентификации определяемых компонентов в сложной природной матрице.

Работа проведена в рамках выполнения Государственного задания FSRN-2023-0005

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОФОБНЫХ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ БАВ ИЗ ЧАБРЕЦА ОБЫКНОВЕННОГО (THYMUS VULGARIS)

Бутко П.Р., Писаренко Я.В., Токмакова У.Д., Червонная Т.А.

Северо-Кавказский Федеральный университет
355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1
e-mail: polina.butko.2004@mail.ru

Лекарственные средства, получаемые из растений в большинстве своем не имеют равноценных синтетических заменителей. В терапии некоторых заболеваний используют преимущественно препараты растительного происхождения. Это подчеркивает актуальность исследований в области определения состава экстрактов лекарственных растений.

Чабрец обыкновенный произрастает на территории Ставропольского Края, поэтому он может активно использоваться на региональных фармакологических предприятиях, а также для целей косметической промышленности. В связи с этим в данной работе проводили исследование качественного состава экстрактов растений.

Для экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья использовали варианты жидкостной экстракции типичными органическими растворителями, а также оценивали возможность использования глубоких эвтектических растворителей (ГЭР), как более безопасных и экологичных. Применение ГЭР также открывает перспективы использования непосредственно экстрактов растительного сырья без дополнительной обработки, как в случае классических растворителей.

Качественный состав экстрактов устанавливали при помощи газовой хромато-масс-спектрометрии. Полученные данные сравнивали с вариантами, описанными в литературе.

Работа проведена в рамках выполнения Государственного задания FSRN-2023-0005

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ЗЕРНА НА ОПТИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СУЛЬФИДА ЦИНКА

Вознесенская А.А., Герке М.Н., Кочуев Д.А., Харькова А.В.

Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых (ВлГУ), 6000000, г. Владимир, ул. Горького, 87
e-mail: 2obk@bk.ru

Сульфид цинка (ZnS) - полупроводниковый материал, имеет широкий спектр применения: в светодиодах, люминесцентных устройствах, фотокатализаторах, инфракрасной проходной оптике, благодаря его уникальным оптическим и химическим свойствам[1]. ZnS промышленно синтезируется методом химического осаждения из газовой фазы (CVD). Известно, что заготовки, получаемые методом CVD, имеют рассеивание света, наиболее выраженное в видимом спектральном диапазоне[2,3]. Расширение спектрального пропускания в видимой части спектра достигается посредством горячего изостатического прессования (ГИП).

В данной работе проведено исследование механических характеристик сульфида цинка, полученных методом CVD-осаждения, а также подверженных последующему газостатированию. Получены значения микротвердости для групп образцов с различным размером зерна и различных зон зерна. В результате проведенных работ установлена тенденция к снижению значения микротвердости с увеличением размера зерна. Установлено увеличение значения микротвердости в зонах измерения близких к границе зерна относительно его центральной части. Полученные результаты предела прочности при трехточечном изгибе близки к заявленным в литературных источниках данным. Получена зависимость размера зерна и предела прочности для CVD-ZnS и образцов подверженных ГИП-обработке. В случае крупнозернистой структуры образцов, разрушение происходит не по границе, как это характерно для образцов с мелкозернистой структурой, а по самому зерну. Повышение оптических характеристик материала приводит к снижению его механических свойств. Структура образца на границе зерна представляет большой научный и практический интерес. Наличие анизотропии свойств в оптических материалах напрямую влияют на их свойства.

Литература

1. Li Y., Wu Y. Journal of the American Ceramic Society, 2015, **98** (10), 2972.
2. Yeo S. Y. et al. Journal of Electroceramics, 2018, **41,** 1.
3. Chlique C. et al. Optical Materials, 2011, **33**(5), 706.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 25-22-20075.

БИОМИМЕТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Голованова О.А., Герк С.А.

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
Россия, 644077 Омск, пр-т Мира, 55а
Golovanoa2000@mail.ru

Кристаллохимическое сходство гидроксилапатита (ГА) с неорганической основой костной ткани обеспечивает высокую биосовместимость при имплантации. Применение органических веществ, позволяет приблизить условия синтеза материалов к костной минерализации *in vivo*, протекающей на коллагеновой матрице и с участием биологических жидкостей. Использование гибридных композиционных материалов дает возможность сохранения исходных свойств костной ткани: композиты с матриксами из биополимеров по структуре и свойствам в большей степени соответствуют костной ткани; эластичность позволяет заполнять такими материалами костный дефект любой формы без зазора между костью и матриксом; минеральная фаза ФК придает повышенную жесткость и биологическую активность; природные полимеры – биоразлагаемые материалы; гиалуроновая кислота обеспечивает нужную вязкость, выполняет «барьерную» функцию; отсутствие аллергических реакций.

В работе осуществлен синтез ГА с различным содержанием высокомолекулярной гиалуроновой кислоты (0; 4; 6 и 8 г/л). При исследовании свойств композитов ГА-ВГК установлено: фазовый состав образцов не изменяется, при добавлении ВГН. Размеры кристаллитов с содержанием полимера уменьшаются, по сравнению с чистым ГА. По данным ИК-спектроскопии все синтезированные порошки имеют в своем составе группировки, характерные для гидроксилапатита. Наблюдается незначительно увеличиваются интенсивности пиков с увеличением содержания ВГН. С добавлением ВГК формируются пластинчатые агрегаты. Для композитов наблюдается уменьшение скорости растворения в 0,9% NaCl и ацетатном буфере с увеличением концентрации полимеров.

Получены композиты с различным содержанием ГА (10, 30, 50%) при T=25°C и T=200°C. Рентгенофазовый анализ и ИК-спектроскопии показал, что состав образцов не изменяется. Размеры кристаллитов увеличиваются с ростом температуры, агрегаты композитов имеют пластинчатый вид. С увеличением содержания ГА в композите скорость растворение увеличивается.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 075-03-2023).

СИНТЕЗ НАНОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ АЛЛЮМАГНИЕВОЙ ШПИНЕЛИ

Ежикова Е.В.,[а] Телегин И.А.,[б] Хохлов Н.А.,[б] Кулебякин А.В.,[2] Ломонова Е.Е. [а], Мызина В.А. [а], Рэу А.А. [а], Табачкова Н.Ю. [а,в]

[а]ИОФ РАН, 119333 (119333), Москва, ул. Вавилова, д.38
e-mail: yuzhik@list.ru
[б]ООО «Кристаллы Сибири», 630058 г. Новосибирск, ул. Русская 43
[в]НИТУ МИСИС, 119049, Москва, Ленинский проспект, д.4

Алюмомагниевая шпинель является важным материалом в современных технологиях благодаря своим уникальным физико-механическим свойствам. Алюмомагниевая шпинель ($MgAl_2O_4$) может быть использована в качестве инфракрасных окон для ракетных пусковых установок, обтекателей для ракет с ИК наведением, окон космических аппаратов, сканеров, в системах ночного видения, а так же как основа для сцинтилляционных и лазерных материалов. Однако процесс получения мелкодисперсных порошков для использования в производстве оптических изделий различного назначения достаточно сложен, особенно в промышленных масштабах. Целью данного исследования является синтез и комплексное исследование нанопорошков алюмомагниевой шпинели, а также получение прозрачной керамики из синтезированных порошков и исследование особенностей ее структуры.

Нанопорошки алюмомагниевой шпинели получали с помощью обработки смеси исходных коммерческих порошков в стехиометрическом составе в серийной установке синтеза «АТЛАС» производства ООО «ИК-ТТЕ». Структуру и фазовый состав порошков исследовали методами рентгеновской дифрактометрии и просвечивающей электронной микроскопии.

В работе показано, что синтезированный материал алюмомагниевой шпинели представляет собой слабоагломерованные белый порошок с низкой насыпной плотностью. Порошок был однофазным, на дифрактограмме наблюдали только отражения соответствующие фазе $MgAl_2O_4$. Частицы порошка имели сферическую форму, размеры частиц варьировались в диапазоне от 20 до 30 нанометров. Среднее значение удельной поверхности синтезированного материала составило 75 м²/г.

Оптические свойства прозрачной керамики, изготовленной из синтезированных порошков, были сопоставимы с имеющимися в настоящее время аналогами. Светопропускание образцов достигало 75% в диапазоне длин волн от 0,4 до 6 мкм. В работе обсуждаются особенности технологического процесса синтеза порошков с помощью установки «АТЛАС», а также особенности компактирования и термической обработки.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ФОСФАТОВ КАЛЬЦИЯ-СТРОНЦИЯ

Жуковская Е.С., Харовская М.И., Никифоров И.В., Дейнеко Д.В.

Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия, 119234, Москва, ул. Ленинские горы, д.1, стр. 11
e-mail: evg.zhukovskaya@gmail.com

Большой интерес исследователей вызывают композиции на основе фосфатов и ванадатов кальция и стронция, изоструктурные β-трикальций фосфату (TCP)[1]. Они являются многофункциональными веществами, сочетающими в себе люминесцентные, нелинейно-оптические, биоактивные и другие свойства[2].

В работе исследовались фосфаты состава $Ca_{9.5-x}Sr_xM^{2+}(PO_4)_7$, где M^{2+} = Mg, Zn, Mn ($0 \le x \le 9.5$), полученные методом твердофазного синтеза с отжигом при температуре 900 °C в течение 100 ч. По результатам рентгенофазового анализа (РФА) установлено, что количество и положение рефлексов для образцов $Ca_{9.5-x}Sr_xZn(PO_4)_7$ до $x = 3$ совпадает с β-TCP, однако при увеличении содержания стронция наблюдается появление рефлексов, которые относятся к примесным фазам α-$Ca_3(PO_4)_2$ и $Sr_3(PO_4)_2$. Образцы $Ca_{9.5-x}Sr_xMg(PO_4)_7$ однофазны до $x = 8$ и принадлежат к структурному типу β-TCP, при $x \ge 8$ наблюдается примесь $Sr_3(PO_4)_2$. Соединения $Ca_{9.5-x}Sr_xMn(PO_4)_7$ однофазны и кристаллизуются в структурном типе β-TCP до $x = 7$, при $x \ge 7$ обнаружена примесная фаза $Sr_3(PO_4)_2$.

Для уточнения структуры соединений $Ca_{9.5-x}Sr_xM^{2+}(PO_4)_7$ и наличия в них центра инверсии выполнены исследования методом генерации второй оптической гармоники (ГВГ). Полученные сигналы ГВГ свидетельствуют о неполярной структуре образцов и, соответственно, кристаллизации в пространственных группах $R3c$ или $R\bar{3}m$ в зависимости от состава. Для серий $Ca_{9.5-x}Sr_xMg(PO_4)_7$ и $Ca_{9.5-x}Sr_xMn(PO_4)_7$ до $x = 4$ наблюдается четкий сигнал, затем он падает до нуля, на основании чего можно сделать вывод о изменении пространственной группы с $R3c$ или $R\bar{3}m$ при увеличении содержания стронция. Для образцов $Ca_{9.5-x}Sr_xZn(PO_4)_7$ такой переход наблюдается при $x = 3$.

Литература

1. Mi X., Du K., Huang K., Zhou P., Geng D., Zhang Y., Shang M. *Mater. Res. Bull.*, 2014, **60**, 72.
2. Rangavittal N., Landa-Canovas A.R., Gonzalez-Calbet J.M., Vallet-Regi M. *J. Biomed. Mater. Res.*, 2000, **51**, 4, 660.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 23-73-10007.

ПРИМЕНЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КАЛИКСАРЕНОВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПХБ ИЗ ПРИРОДНЫХ ВОД

Кондратенко Г.Н., Токмакова У.Д., Крутоголов Н.М., Червонная Т.А.

Северо-Кавказский Федеральный университет
355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1
e-mail: g.kondratenko19@bk.ru

Полихлорированные бифенилы (ПХБ) относятся к классу стойких органических загрязнителей, надлежащих строгому контролю. Обычно извлечение ПХБ из природных вод проводят жидкостной экстракцией, однако в данном случае возможно со-экстрагирование других классов органических загрязнителей со схожими физико-химическими свойствами. В свете указанной проблемы, интерес представляет поиск сорбционных материалов, позволяющих селективно выделить ПХБ из матриц природных вод.

Варианты твердофазной экстракции получили широкое распространение в области извлечения органических загрязнителей ввиду неограниченной возможности варьирования их селективности. Использование структур с полостями различного размера также открывает перспективы разработки сорбционных систем комбинированного состава.

В данной работе провели оценку извлечения ПХБ из вод каликсаренами различного состава и с различным размером полости. В ходе извлечения также оценивали возможные мешающие влияния некоторых сопутствующих загрязнителей природных вод. Анализ модельных образцов вод на остаточное содержание ПХБ после экстракции каликсаренами проводили с использованием газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием в режиме селективно-заданных ионов.

Работа проведена в рамках выполнения Государственного задания FSRN-2023-0005.

ЛАЗЕРНЫЙ АБЛЯЦИОННЫЙ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ ZNS

Кочуев Д.А., Вознесенская А.А., Галкин А.Ф., Герке М.Н., Харькова А.В.

Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых (ВлГУ), 6000000, г. Владимир, ул. Горького, 87
e-mail: _b_@mail.ru

ZnS – полупроводниковый материал, обладающий рядом уникальных свойств. Наночастицы ZnS по сравнению с объемным материалом обладают большим оптическим поглощением, химической активностью и относительно высокой температурной устойчивостью, высокими каталитическими свойствами. используются в качестве люминофоров, катализаторов, биосенсоров[1]. Нанопорошки ZnS также могут использоваться для получения объемных элементов проходной и активной оптики, работающей в широком спектральном диапазоне 0,4-12 мкм по керамической технологии.

Лазерная абляция – процесс удаления вещества с поверхности лазерными импульсами. Использование субпикосекундных лазерных импульсов позволяет получать сферические наночасицы из широкого круга материалов. В зависимости от режима лазерного абляционного воздействия возможно управление распределением размеров, формой получаемых наночастиц, химическим составом и фазовым состоянием[2].

В работе представлены результаты измерения порогового значения энергии необходимой для развития процесса лазерной абляции объемного образца поликристаллического CVD-ZnS. Воздействие осуществлялось с использованием импульсной лазерной системы с длинной волны 1030 нм, длительностью импульса 0,28 пс. Представлены результаты эффективности лазерного абляцинного синтеза в зависимости от плотности мощности лазерного излучения, свойства полученных наночастиц.

Литература

1. Kaur N. et al. A review on zinc sulphide nanoparticles: from synthesis, properties to applications //J Bioelectron Nanotechnol. – 2016. – Т. 1. – №. 1. – С. 1-5.
2. Chernikov A. S. et al. Synthesis of spherical zinc sulfide nanoparticles produced by femtosecond laser ablation and deposited on a silicon substrate under the action of an electrostatic field //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 2077. – №. 1. – С. 012002.

Работа по синтезу наночастиц ZnS выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема FZUN-2024-0019, госзадание ВлГУ). Анализ полученных материалов осуществлялся при финансовой поддержке РНФ, проект № 25-22-20075.

DES-DLLME/GC-MS ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ

Махмутова А.А., Бурова Е.Б., ПешиковаА.В., Кудрявцева А.Н., Червонная Т.А.

Северо-Кавказский Федеральный университет
355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1
e-mail: alinamachmutova777@gmail.com

Контроль качества состояния питьевой воды одна из важнейших задач в области аналитической химии, поскольку несоблюдение санитарно-эпидемиологических норм в данном случае может привести к токсикологическому отравлению организма, повышению риска развития канцерогенных и мутагенных заболеваний.

Одними из первых полиароматические углеводороды вошли в список 126 загрязнителей воды Природоохранного Агентства, что подтверждает актуальность усовершенствования методик их контроля. Применяемые в аналитической практике методики также должны отвечать требованиям экологической безопасности, минимизации потребления ресурсов, энергозатрат. В этой связи интерес представляют варианты жидкостной мироэкстракции с применением «зеленых» экстрагентов.

В данной работе продемонстрированы результаты оптимизации условий извлечения канцерогеноопасных ПАУ из питьевых вод, поставляемых различными фирмами Ставропольского края, с использованием варианта дисперсионной жидкость-жидкостной микроэкстракции (DLLME). В качестве экстрагента выбраны безопасные и легкодоступные глубокие эвтектические растворители на основе камфоры, тимола и холин хлорида. В разработанном варианте степени извлечения аналитов составили 85 – 101% при воспроизводимости 4,6 –7,8%. Определение аналитов в экстрактах проводили методом газовой хромато-масс-спектрометрии, при этом высокая степень концентрирования позволила достигнуть необходимой для контроля качества питьевой воды чувствительности детектирования.

Работа проведена в рамках выполнения Государственного задания FSRN-2023-0005.

ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ HS-GC-MS ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОС В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ В ПРИСУТСТВИИ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ И СРЕДНЕМОЛЕКУЛЯРНЫХ ПАУ

Пешикова А.В., Бурова Е.Б., Кудрявцева А.Н., Червонная Т.А.

Северо-Кавказский Федеральный университет
355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1
e-mail: nastyapeshikova@mail.ru

К летучим органическим соединениям относятся вещества, испаряющиеся при обычных значениях температуры и давления. Одними из наиболее распространенных соединений, регламентированных для экологического мониторинга, являются бензол, толуол, этилбензол, ксилен (BTEX).

Известно, что извлечение в открытом пространстве (headspace) характеризуется малыми матричными эффектами. Однако в случае различного рода загрязнений природных вод, особенно нефтепродуктами, мешающее влияние может наблюдаться от полиароматических соединений (низко- и среднемолекулярных).

В этом исследовании провели оценку матричного влияния полиароматических водородов на извлечение BTEX из природных вод. Для изучения эффекта использовали модельные образцы воды, в различной степени загрязненные полиароматическими углеводородами, при этом концентрацию BTEX варьировали от 2 до 10000 мкг/л.

В оптимизированных условиях извлечения BTEX оценивали степень совместного экстрагирования из вод полиароматических углеводородов. В качестве улавливающего материала применяли гидрофобные глубокие эвтектические растворители различного состава. Определение BTEX и полиароматических углеводородов в экстрактах проводили методом газовой хромато-масс-спектрометрии.

Работа проведена в рамках выполнения Государственного задания FSRN-2023-0005.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАМЕЩЕНИЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА КАДМИЙ И СВИНЕЦ В СИСТЕМАХ $Ln_{5-x}Me_xMo_3O_{16.5-x/2}$ (Ln – La, Sm, Eu)

Решетилов К.С.[1], **Голубович В.С.**[2], **Бережная Т.С.**[1], **Пасечник Л.В.**[2], **Чебышев К.А.**[1]

[1]*Северо-Кавказский федеральный университет, 355017, Ставрополь, ул. Пушкина 1, e-mail: reshetilov2005@mail.ru*
[2]*Донецкий государственный университет, 283001, Донецк, ул. Университетская 24*

Изучение изоморфных замещений в молибдатах редкоземельных элементов является необходимым для получения функциональных материалов. В данной работе изучено замещение лантана, самария и европия на кадмий или свинец в составах «$Ln_5Mo_3O_{16.5}$». Образцы получали по стандартной керамической технологии из стехиометрических смесей оксидов металлов при температуре 1000°C. Согласно результатам рентгенофазового анализа незамещенный состав, где Ln – La, представляет собой смесь молибдатов La_2MoO_6 и $La_2Mo_2O_9$, а для самария и европия получены образцы с моноклинной структурой. Введение кадмия и свинца вместо редкоземельных элементов приводит к постепенному переходу к кубической флюоритоподобной структуре типа $Nd_5Mo_3O_{16+\delta}$. Для систем с кадмием получены достаточно широкие области гомогенности флюоритоподобной фазы, которые достигают x = 1. В случае свинец-содержащих систем область кубической флюоритоподобной фазы оказалась узкой.

Электропроводность полученных образцов изучена методом импедансной спектроскопии. Согласно полученным результатам можно выделить следующие закономерности: электропроводность в двухфазных областях увеличивается с увеличением содержания флюоритоподобной фазы, а в однофазных областях наибольшей электропроводностью характеризуются наименее замещенные составы. Для получения плотных (с относительной плотностью до 92 %) керамических кадмий-содержащих образцов предложено использовать добавку оксида магния.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект 124012400342-7.

КРИТЕРИИ ФОРМИРОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В ВАНАДАТАХ КАЛЬЦИЯ И СТРОНЦИЯ

Титков В.В.

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова,
119991, Москва, Ленинские горы 1,
e-mail: vlatitkov@yandex.ru

Ванадаты кальция и стронция рассматриваются как перспективные нелинейно-оптические материалы. В настоящее время большое число научных работ, посвященных ванадатам, связано с изучением семейства витлокитов на основе $Ca_3(VO_4)_2$ и изоструктурных ему $Sr_9R^{3+}(VO_4)_7$ (R^{3+} = РЗЭ). В структурном типе витлокита выделяют пять различных по размерам полиэдров в катионной части и три неэквивалентные позиции в анионной части. Это позволяет широко варьировать состав и исследовать влияние различных катионов и анионов на функциональные свойства.

Известно, что введение крупных и высокополяризуемых катионов в структуру витлокита способно значительно увеличивать оптическую-нелинейность. Например, замещение V^{5+} на Nb^{5+} в $Ca_9Y(VO_4)_7$, позволило увеличить интенсивность сигналов ГВГ в два раза[1]. Замещение Ca^{2+} на Sr^{2+}, Ba^{2+}, Bi^{3+}, Pb^{2+} позволяет на порядок повысить интенсивность сигналов ГВГ.

Проведение анионных замещений также значительно влияет на люминесцентные свойства, например, введение Nb^{5+} в $Ca_{9.75}Eu_{0.5}(VO_4)_7$ привело к увеличению интенсивности люминесценции в 1.5 раза[2].

В работе синтезированы новые ванадаты кальция $Ca_8Me^{2+}R^{3+}(VO_4)_7$ и ванадаты стронция $Sr_8Me^{2+}R^{3+}(VO_4)_7$ (Me^{2+} = Mg^{2+}, Zn^{2+}, R^{3+} = Yb^{3+}, Er^{3+}) с замещением V^{5+} на Nb^{5+} и исследованы их нелинейно-оптические и люминесцентные свойства. Показано различное влияние катионов Nb^{5+} на нелинейно-оптические свойства для кальциевых и стронциевых ванадатов.

Литература

1. Titkov V.V., Stefanovich S.Y., Deyneko D.V. et al. *Journal of Solid State Chemistry*, 2019, **279**, 120966.
2. Titkov V.V., Latipov E.V., Baryshnikova O.V. et al. *Journal of Solid State Chemistry*, 2022, **308**, 122884.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 24-13-00148.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАЛИКСАРЕНОВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПАУ ИЗ ВОД

Токмакова У.Д., Кондратенко Г.Н., Федотова А.В., Пешикова А.В., Червонная Т.А.

Северо-Кавказский Федеральный университет
355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1
e-mail: g.kondratenko19@bk.ru

Оценку содержания полиароматических углеводородов (ПАУ) в водах классически проводят с использованием хроматографических методов анализа. Однако в свете развивающейся концепции «зеленой» аналитической химии интерес представляет поиск альтернативных способов определения данных загрязнителей, при этом характеризующихся меньшими ресурсо- и энергозатратами. Это открывает перспективы применения сенсорных систем, однако в данном случае важную роль играет выбор чувствительного покрытия. Последний факт обусловливает поиск новых селективных сорбционных материалов.

В данном исследовании проводили оценку селективности и эффективности извлечения ПАУ из вод каликсаренами различного состава и строения. Выбор данного класса соединений обусловлен их потенциальной селективностью при правильном подборе типа каликсарена. На данный момент исследований по использованию макроциклических соединений для извлечения органических загрязнителей достаточно мало, что также подчеркивает актуальность исследований в выбранной области. Содержание ПАУ в экстрактах оценивали при помощи ГХ-МС, для каждого исследуемого типа сорбента получили предварительные показатели эффективности извлечения аналитов и последующей их десорбции для анализа.

Работа проведена в рамках выполнения Государственного задания FSRN-2023-0005

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Ca_{8-x}Sr_xZnEu(PO_4)_7$ (x=1–7)

Шендрик Р.Ю.[а, б], **Дейнеко Д.В.**[а]

[а]*Химический Факультет Московского Государственного Университета,*
119991, ул. Ленинские Горы, дом 1, строение 11 Москва,
e-mail: r.shendrik@gmail.com
[б]*Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН,*
664033, ул. Фаворского стр. 1а, Иркутск,Россия

Материалы на основе ортофосфата кальция находят активное применение в медицине и являются наиболее подходящими для лечения патологий костной ткани благодаря своей биосовместимости. Одним из наиболее проверенных и надежных соединений для регенерации костной ткани является низкотемпературная модификация β-трикальцийфосфата. Кристаллографическое разнообразие позиций позволяет включать в его структуру различные катионы, которые меняют функциональные свойства данных соединений. Одним из важных маркеров структурных изменений могут служить ионы Eu^{3+}, 4f-4f люминесценция которых является чувствительной к даже незначительным изменениям локального окружения европия при даже незначительном изменении катионного состава β-трикальцийфосфата.

В настоящей работе были исследованы спектры люминесценции соединений $Ca_{8-x}Sr_xZnEu(PO_4)_7$ (x=1–7). Данные соединения были получены методом твердофазного синтеза, их структура подтверждена методом порошковой дифракции.

В спектрах фотолюминесценции всех образцов наблюдаются интенсивные полосы люминесценции, связанные с переходами $^5D_0$-^7F_J (J=0–4). По спектрам фотолюминесценции можно сделать вывод о том, что ионы Eu^{3+} в исследуемых материалах имеют по крайней мере две неэквивалентные позиции, с увеличением концентрации стронция структура спектров люминесценции становится более диффузной, что может свидетельствовать о появлении разупорядоченности в окружении Eu^{3+}. В спектрах возбуждения люминесценции Eu^{3+} в области вакуумного ультрафиолета обнаружено, что с увеличением концентрации Sr^{2+} эффективность передачи возбуждения от PO_4 групп на ионы Eu^{3+} растет, что делает такие составы достаточно эффективными люминофорами для рентгеновской визуализации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 23-73-10007.

IX МЕЖДУНАРОДНАЯ СТАВРОПОЛЬСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО МАГНИТНЫМ КОЛЛОИДАМ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФОРЕЗА В МАГНИТНЫХ КОЛЛОИДАХ МАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ

Диканский Ю.И.[а], **Дроздов А.С.**[б], **Дорожко Д.С.**[а]

[а]Северо-кавказский федеральный университет,
355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1,
e-mail: dikansky@mail.ru
[б]Московский физико-технический институт (НИУ),
141701, Долгопрудный, Институтский переулок, 9

В настоящей работе исследован процесс электрофореза магнитных коллоидах и влияние на него магнитного поля. Экспериментальная ячейка представляла собой кювету с медными пластинчатыми прямоугольными электродами. Для выяснения возможности управления процессом электрофореза с помощью магнитного поля, кювета снабжалась намагничивающей системой, создававшей между электродами неоднородное магнитное поле с постоянным градиентом. В качестве объектов исследования использовались магнитные коллоиды на водной основе, как однородные, так и содержащие магнитные фотонные агрегаты. При проведении эксперимента на одном из электродов образовывался слой из магнитных частиц, толщина которого увеличивалась со временем и при повышении напряжения на электродах. Оценка интенсивности электрофореза производилась посредством магнитных измерений. Для этого определялась намагниченность насыщения осадка и его эффективная магнитная восприимчивость. На основе анализа методов исследования получены выражения для определения электрофоретической скорости

$$v = \frac{M_{\infty 0}}{M_{\infty}} \frac{l}{\Delta t} \qquad l = \frac{\chi_{эф}}{\chi} \frac{V_{эф}}{S}$$

где $M_{\infty 0}$ – намагниченность осадка, M_{∞}– намагниченность исходного коллоида, l – толщина осадка, образовавшегося за время t, $\chi_{эф}$ – эффективная магнитная восприимчивость осадка, $V_{эф}$ – эффективный объем поля в измерительной катушке.

Полученные при проведении магнитных измерений результаты позволили провести расчеты электрофоретической скорости частиц, электрокинетического потенциала и их заряда. Показано, что неоднородное магнитное поле оказывает существенное влияние на процесс электрофореза вплоть до его компенсации. Его условие $q\vec{E} = (\vec{m}\nabla)\vec{B}$), использовано для определения размер коллоидных частиц.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FSRN-2023-0006).

НАМАГНИЧИВАНИЕ ОБЕЗДВИЖЕННЫХ МНОГОГРАНУЛЬНЫХ ЧАСТИЦ: ТЕОРИЯ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Елфимова Е.А., Грохотова Е.В., Соловьева А.Ю., Иванов А.О.

Уральский федеральный университет им. Первого президента России Б.Н. Ельцина,
620000, Екатеринбург, Ленина 51,
e-mail: Ekaterina.Elfimova@urfu.ru

В работе исследуется намагничивание во внешнем статическом магнитном поле обездвиженных многогранульных частиц (МГЧ), содержащих малое количество суперпарамагнитных гранул. Разработана теория для определения намагниченности индивидуальной МГЧ с обездвиженными гранулами, магнитный момент в которых свободно вращается внутри тела гранулы. Теория может быть применена для прогнозирования намагниченности МГЧ любой структуры; кроме того, она учитывает межгранульные дипольные взаимодействия на уровне парных корреляций. Построенная теория протестирована на результатах компьютерного Монте-Карло моделирования для серий образцов МГЧ, содержащих 4 и 7 гранул, расположенных в правильной структуре и произвольным образом. Теория хорошо согласуется с данными компьютерного моделирования для МГЧ с интенсивностью межгранульных дипольных взаимодействий $\lambda \leq 2$.

Предложен метод определения намагниченности ансамбля невзаимодействующих обездвиженных МГЧ со взаимодействующими гранулами путем отождествления этой системы с ансамблем обездвиженных одиночных невзаимодействующих суперпарамагнитных частиц, для которых определяется эффективный параметр магнитной анизотропии, зависящий от интенсивности межгранульных взаимодействий в МГЧ.

Полученные в этой статье аналитические выражения для намагниченности индивидуальных МГЧ и их ансамблей позволяют прогнозировать магнитный отклик МГЧ в вязких биологических средах, например, в биологических клетках, что является теоретической основой для совершенствования технологий медицинской диагностики и клеточной терапии, использующих МГЧ в качестве магнитоактивных агентов для визуализации клеток.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда № 23-12-00039.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ГИСТЕРЕЗИСЫ И ВСПЛЕСКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ МАГНИТНЫХ ЭЛАСТОМЕРАХ

Зубарев А.Ю.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, 620083, пр. Ленина 51
e-mail: A.J.Zubarev@urfu.ru

Работа посвящена физическому моделированию экспериментально обнаруженных нелинейных механических и нестационарных механо-электрических эффектов в магнитных эластомерах с микронными намагничивающимися частицами.

1) Нелинейные и гистерезисные зависимости механического напряжения от величины одноосной деформации при растяжении-сжатии образца в магнитном поле, параллельном оси деформации. В отсутствии поля деформация линейна, подчиняется закону Гука. Площадь петли гистерезиса не зависит от скорости (частоты) деформации образца, поэтому соответствующая диссипация энергии не может быть объяснена вязкоупругостью материала. 2) Кратковременные «всплески» (овершуты) электрического сопротивления образца после его быстрого сокращения или растяжения вдоль оси распространения тока.

При объяснении механических эффектов предполагается, что на поверхностях частиц образуются относительно жесткие «шубы» с более высокой концентрацией макромолекул, чем в основной части полимера. Под действием магнитного поля частицы сближаются и их «шубы» пересекаются. При растяжении образца частицы, расположенные вдоль оси растяжения, расходятся, в образующуюся щель может сместиться расположенная сбоку частица и застрять там. В рамках этих представлений удается количественно воспроизвести нелинейную гистерезисную деформацию композита в магнитном поле. Объяснение всплесков электрического сопротивления при внезапном сжатии-растяжении образца основывается на представлении о туннельной проводимости между частицами через очень тонкий слой полимера. Рассматривается кластер частиц, находящихся в упруго-вязкой среде, растягивающийся или сжимающийся в направлении распространения тока под действием внезапно приложенной силы. Решение уравнений смещения частиц показывает, что общее туннельное электросопротивление кластера может кратковременно увеличиваться как при растягивающем, так и при сжимающем воздействии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Мин. Науки и Высшего образования РФ, Гос.Задание FEUZ 2023-0020

ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ СОПУТСТВУЮЩИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЮ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ

Иванов А.С., Сомов С.А., Лебедев А.В., Лысенко С.Н., Райхер Ю.Л., Голдобин Д.С., Крыласова О.С.

Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, филиал ФГБУН ПФИЦ УрО РАН («ИМСС УрО РАН»), 614000, Пермь, ул. Академика Королева, 1
e-mail: lesnichiy@icmm.ru

Создание коммерчески успешных ультразвуковых (УЗ) дефектоскопов, использующих магнитные коллоиды в качестве жидкости для создания акустического контакта, оказалось невозможным без поисковых физических исследований, заключающихся в решении ряда модельных задач, имеющих прямое отношение к проектированию отдельных узлов и подсистем головки датчика. Отдельную трудность представляет собой задача синтеза низкотемпературных магнитных жидкостей, обладающих одновременно высокими эксплуатационными характеристиками и низкой себестоимостью.

Предложенные ранее конструкции[1] ультразвуковых датчиков также требуют проработки. Необходимо решить задачу о плёночном течении магнитной жидкости в зазоре между УЗ-датчиком и обследуемой деталью, а также решить вопрос о сплошном заполнении этого зазора[3]. Последнее определяется конфигурацией магнитного поля в приповерхностном слое датчика. Дополнительно решается ряд фундаментальных задач[4], связанных с методическим обеспечением исследований коллоидной стабильности магнитных жидкостей, используемых при низких температурах.

Литература
1. Баев А.Р., Королев В.Д., Прохоренко П.П. *Авт. Свид. 845086, Бюл. изобр.,1981, 25.*
2. Коровин *В.М., Райхер Ю.Л. Дефектоскопия, 1992, 12, 30.*
3. Иванов А.С., Косков М.А., Крыласова О.С. *XXVI Зимняя школа по механике сплошных сред*, 2025, Пермь, 131.
4. Ivanov A.S., Somov S.A. *Journal of Molecular Liquids*, 2024, 414, 126020.

Работа выполнена в рамках крупного научного проекта при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение № 075-15-2024-535 от 23.04.2024).

ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕПОЧЕЧНЫХ АГРЕГАТОВ В СУСПЕНЗИЯХ СУПЕРПАРАМАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ

Иванов А.О., Соловьева А.Ю., Елфимова Е.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620000, Екатеринбург, пр. Ленина 51,
e-mail: Alexey.Ivanov@urfu.ru

Формирование цепочечных агрегатов в феррожидкостях является общепризнанным явлением, основные сведения о закономерностях которого получены путем компьютерного моделирования [1]. Проблеме посвящено также значительное количество теоретических работ [2]. При этом во всех известных теоретических работах пренебрегается суперпарамагнитными флуктуациями в направлениях магнитных моментов феррочастиц, а значит пренебрегается степенями свободы, связанными с вращением магнитных моментов внутри феррочастиц.

Настоящая работа посвящена изучению равновесного формирования цепочечных агрегатов в суспензии взаимодействующих суперпарамагнитных наночастиц, описываемого в рамках метода функционала плотности свободной энергии [2], как баланс («игра») между проигрышем в энтропии и энергетическим выигрышем при сцеплении наночастиц по типу «голова-хвост» за счет магнито-дипольных сил. Теоретически доказано, что учет суперпарамагнитных степеней свободы для вращающихся магнитных моментов не оказывает влияния на распределение цепочек по числу включенных в них наночастиц. В качестве ‘экспериментального’ подтверждения использовано компьютерное моделирование методом Монте Карло. Большой объем проведенных расчетов для различных величин энергии анизотропии подтвердил указанный выше теоретический вывод: начальная магнитная восприимчивость суспензии интенсивно взаимодействующих суперпарамагнитных наночастиц не зависит от энергии анизотропии, и данные компьютерного моделирования весьма точно описываются комбинацией выражения, полученного в рамках модели гибких цепочек [2], с подходом «модифицированной модели среднего поля» [3], используемой для учета дальнодействующего взаимодействия между всеми частицами в образце.

Литература

1. Camp P.J., Ivanov A.O., Sindt J.O. *Physical Review E*, 2021, **103**, 062611.
2. Mendelev V.S., Ivanov A.O. *Physical Review E*, 2004, **70**, 051502.
3. Ivanov A.O., Solovyova A.Yu., Elfimova E.A. *J. Molecular Liquids*, 2024, **400**, 124493.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 23-12-00039.

ИННОВАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ НАНОДИСПЕРСНЫХ МАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Казаков Ю.Б.

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 153003, Иваново, Рабфаковская, 34,
e-mail: dr.kazakov@mail.ru

Нанодисперсные магнитные жидкости (МЖ) эффективно применяются в инновационных электротехнических устройствах и технологических процессах[1,2,3]: уплотнениях зазоров подвижных и неподвижных сочленений деталей с регулируемой степенью герметизации; сепараторах с управляемым разделением материалов; электрических машинах с МЖ в зазоре; амортизаторах с регулируемым демпфированием колебаний; опорах с управляемой силой вывешивания; муфтах с регулируемым передаваемым моментом; подшипниках качения и скольжения с регулируемым пятном контакта; датчиках магнитного поля, давления, угла наклона, положения, ускорения, плотностей; расходомерах и измерителях уровня жидкости; МЖ реле; тепловых насосах и холодильниках на основе магнитокалорического эффекта; оптических устройствах с управляемым поглощением, пропусканием и преломлением спектров светового потока; электродинамиках с улучшенной амплитудно-частотной характеристикой звуковых колебаний; генераторах колебаний звуковой частоты; акустомагнитной диагностике газовых и жидких включений; магнитодефектоскопии; смазочно-охлаждающих жидкостях узлов трения и зубчатых передач с удержанием смазки в зоне контакта; для интенсификации охлаждения электротехнических устройств на основе термомагнитной конвекции; магнитноимпульсной обработки деталей; выглаживания и полирования поверхностей; управления движением жидкостей; создания протезов с управляемым движением конечностей; магнитоуправляемого внутрисосудистого введения лекарств; в противоопухолевых препаратах для термохимиотерапии, управляемого магнитофореза; для очистки воды от нефтепродуктов; снижения антропогенного воздействия на окружающую среду МЖ, синтезированными из железосодержащих отходов.

Литература

1. Морозов Н.А., Казаков Ю.Б. Нанодисперсные магнитные жидкости в технике и технологиях / Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина (ИГЭУ). – Иваново, 2011. – 264 с.
2. Казаков Ю.Б., Морозов Н.А., Страдомский Ю.И., Перминов С.М. Герметизаторы на основе нанодисперсных магнитных жидкостей и их моделирование / Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина. – Иваново, 2010. – 184 с.
3. Казаков Ю.Б., Морозов Н.А., Нестеров С.А., Арефьев И.М. Управляемые демпфирующие устройства с использованием нанодисперсных магнитных жидкостей / ИГЭУ. - Иваново, 2016. - 145 с.

ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ФЕРРОКОЛЛОИДАХ НА ОСНОВЕ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ: ЭФФЕКТЫ СИЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИОННОЙ СВЯЗИ МАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ С МАТРИЦЕЙ

Петров Д.А., Манцуров А.В., Макаров Д.В.

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Пермь, ул. Букирева, 15,
e-mail: petrovda@bk.ru

В рамках молекулярно-статистической теории исследованы индуцированные температурой и магнитным полем фазовые переходы в коллоидных суспензиях ферромагнитных частиц на основе нематических жидких кристаллов. Известно, что наличие примесных частиц может как повышать, так и понижать температуру перехода упорядоченная нематическая фаза – изотропная жидкость по сравнению с беспримесным жидким кристаллом[1]. С одной стороны, понижение температуры перехода связано с эффектом разбавления, когда примесные частиц исключают некоторый объем, доступный жидкому кристаллу и тем самым приводят к разупорядочению матрицы. С другой стороны, эффекты сцепления, проявляющиеся в ориентационной связи дисперсных анизометричных частиц с жидкокристаллической средой, приводят к дополнительному упорядочению последней и как следствие переход в упорядоченное состояние смещается в область более высоких температур. Нами обнаружено, что если энергия сцепления частиц с жидким кристаллом превышает некоторое критическое значение, то с ростом температуры суспензия переходит из сильно упорядоченной нематической фазы не в изотропную фазу, а в слабоупорядоченное паранематическое состояние даже в отсутствие магнитного поля. С дальнейшим нагреванием системы происходит переходит в изотропное состояние. Нам удалось рассчитать значения температуры и энергии сцепления частиц с матрицей, отвечающие тройной точке, где сосуществуют нематическая, паранематическая и изотропная фазы, а также критической точке, выше которой нематическая и паранематическая фазы становятся неразличимы. Показано, что помещение в магнитное поле ферроколлоида с сильной ориентационной связью приводит к существованию двух критических точек.

Литература

1. Петров Д.А., Захлевных А.Н., Манцуров А.В. *ЖЭТФ*, 2018, **154**, 415.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, проект FSNF-2024-0001.

МАГНИТНЫЕ ЖИДКОСТИ: ДИНАМИКА И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРИ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Ряполов П.А., Шельдешова Е.В., Соколов Е.А., Калюжная Д.А., Мальчиков А.В.

Юго-Западный государственный университет,
305040, Курск, 50 лет Октября 94,
e-mail: r-piter@yandex.ru

Интерес к магнитным жидкостям (МЖ) продолжает расти с каждым годом несмотря на то, что они являются первыми активными нанодисперсными материалами. Это связано с развитием нанотехнологий, синтеза наноразмерных структур и поверхностно-активных систем. Уникальные эффекты находят применения не только в различных физических экспериментах, но и в прикладных аспектах.

Эффект нарушения намагниченности МЖ при воздействии стоячей звуковой волны, получил название акустомагнитного эффектом. Амплитуда ЭДС, возбуждаемой в катушке в этом случае будет прямо пропорциональна амплитуде локальных колебаний концентрации магнитных наночастиц. Это позволяет проводить неинвазивные исследования структуры образцов магнитной жидкости, а также изучение процессов релаксации магнитных наночастиц.

Одним из первых был исследован магнитовязкий эффект, который основан на измерении вязкости под воздействием внешнего магнитного поля и вязкости без его воздействия. Область наших интересах заключается в исследовании пристеночного слоя левитирующего объема магнитной жидкости в условиях сдвиговых колебаний.

Объектом наших последних исследований является динамика немагнитных жидких и газообразных включений в магнитной жидкости, а также капель МЖ в немагнитной среде в неоднородном магнитном поле. Магнитное поле позволяет осуществлять контролируемое дозирование, разделение и транспортировку этих магнитных систем. Результаты исследований позволяют разработать систему бесконтактного контроля с использованием магнитного поля, которая может быть использована в счетчиках и дозаторах в микрофлюидике.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 24-22-00309.

УПРАВЛЕНИЕ ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИЕЙ В МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ В ПЛОСКОМ КАНАЛЕ С ПОМОЩЬЮ ИНДУЦИРОВАННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Ананич А.Н., Краков М.С.

Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 65, Минск, Беларусь, 220013
e-mail: aliinaananich@gmail.com

Для устройств микрофлюидики ввиду их малых размеров характерны небольшие значения чисел Рейнольдса, что исключает возникновение турбулентности. Это приводит к ограниченной конвективной теплопередаче, оставляя теплопроводность основным механизмом теплопереноса. Одним из способов интенсификации теплообмена является использование магнитных жидкостей. В неоднородном магнитном поле в неизотермическом объеме магнитной жидкости возникает сила, которая может изменить характер течения и повлиять на теплоперенос.

В работе численно исследовано ламинарное течение магнитной жидкости в плоском канале в однородном магнитном поле, нормальном плоскости канала. Показана возможность интенсификации теплопередачи за счет неоднородности магнитного поля, возникающей из-за размещения вблизи канала синусоидальных намагничивающихся элементов.

На рис. 1 представлено распределение локальных значений числа Нуссельта (а) и средней температуры (б) вдоль канала. Установлено, что для магнитного числа Ричардсона Ri_m=200 и числа Рейнольдса Re=5 интегральное значение числа Нуссельта возрастает на 23% по сравнению с течением в отсутствии магнитного поля (Ri_m=0). Средняя температура на выходе из канала увеличивается на 9%. На рис. 2 показаны распределение температуры (а) и структура течения (б) канале.

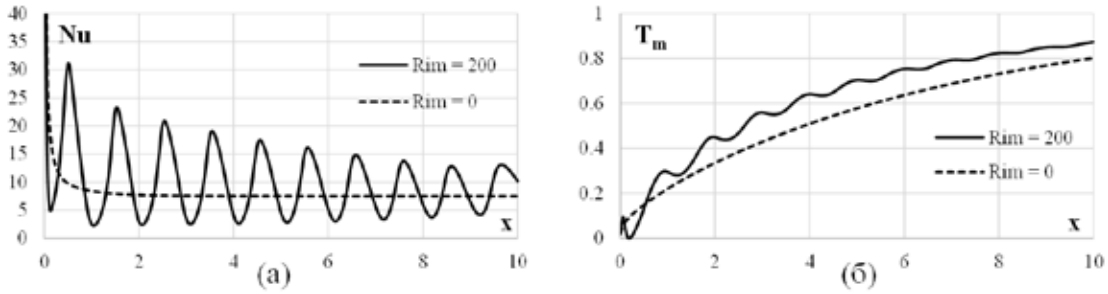


Рисунок 1. Распределение локальных чисел Нуссельта (а) и средней температуры (б)

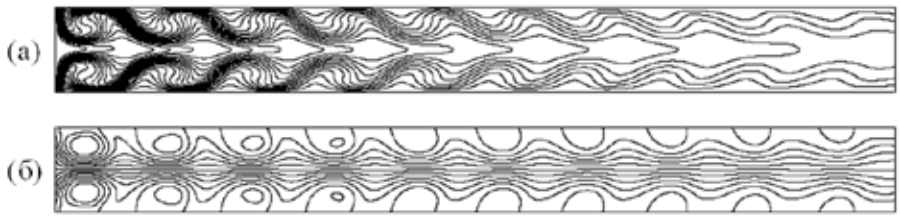


Рисунок 2. Изотермы (а) и линии тока (б) для Re=5, Ri_m=200

ПОГЛОЩЕНИЕ МИКРОВОЛНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ НА ОСНОВЕ ФЕРРОЖИДКОСТИ

Туркин С.Д., Боженко С.А., Закинян А.Р., Чернышов А.В.

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
355017, Ставрополь, ул. Пушкина 1,
e-mail: turkinsd@gmail.com

Высокую степень поглощения микроволнового излучения композиционными материалами с развитой морфологией можно значительно улучшить, непосредственно изменяя геометрические параметры субволновой структуры[1]. В данной работе в диапазоне сверхвысоких частот 8 – 12 ГГц исследован коэффициент поглощения электромагнитного излучения композитами на основе феррожидкости и воды (рисунок 1). Образец, в котором компоненты представляют собой два сплошных слоя (фракции) проявляет более высокие поглощающие свойства, чем эмульсия вода-феррожидкость с аналогичной объемной долей компонентов.

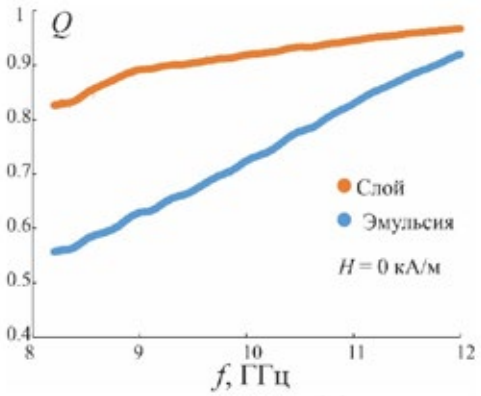


Рисунок 1. Экспериментальные зависимости коэффициента поглощения от частоты электромагнитного излучения при отсутствии внешнего магнитного поля. Объемная доля воды в образцах 20 %.

Литература
1. Turkin S.D., Zakinyan A.R., Bozhenko S.A. *Physica Scripta*, 2024, **99**, 045507.

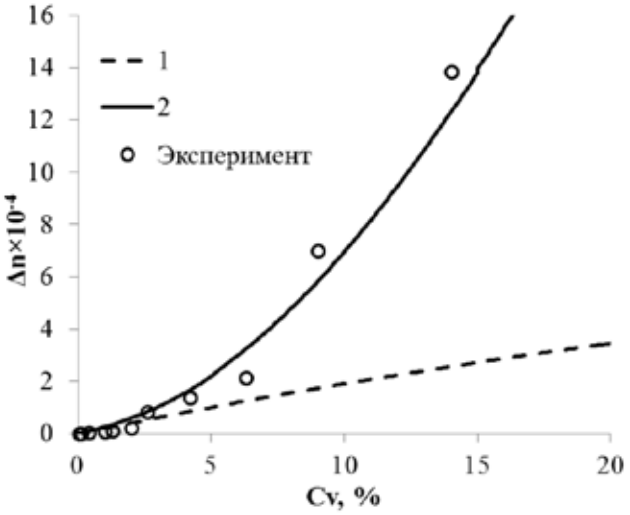
Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания вузам в сфере научной деятельности (проект FSRN-2023-0006).

ЭФФЕКТ ДВОЙНОГО ЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ В КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ МАГНИТНЫХ КОЛЛОИДАХ

Вивчарь В.И., **Ерин К.В.**

Северо-Кавказский федеральный университет
355017, ул. Пушкина, 1, Ставрополь, Российская Федерация
**E-mail: vicklyh74@gmail.com*

Эффект двойного лучепреломления (ДЛП) является одним из наиболее ярких оптических эффектов в магнитных жидкостях. Для магнитных жидкостей с низкой концентрацией твердой фазы теория этого эффекта может быть построена на основе одночастичной ориентационной модели [1]. Однако для более концентрированных систем требуется учет взаимодействия частиц и особенностей распространения света в плотноупакованных средах.



Измерение параметра ДЛП производилось с помощью спектрального эллипсометрического комплекса «Эллипс-1891». Для измерений использовалась магнитная жидкость типа магнетит в керосине со средним размером частиц 6 нм и концентрацией 14%, путем разбавлении были получены образцы с концентрацией в диапазоне 0,05-9%. Эксперименты (рис.1) показывают, что зависимость эффекта ДЛП от концентрации имеет сложный характер. В диапазоне при концентрациях менее 0,2% наблюдается линейная зависимость, при больших концентрациях появляется выраженная нелинейность.

В одночастичной модели концентрационная зависимость эффекта ДЛП должна линейно зависеть от концентрации (кривая 1). Для учета взаимодействия частиц можно применить модель эффективного поля MMF-2. Более корректная интерпретация требует учета, также, эффектов многократного рассеяния в концентрированных коллоидах. Результаты такого расчета представлены на рисунке (кривая 2).

Литература

1. Скибин Ю. Н, Чеканов В. В., Райхер Ю. Л. ЖЭТФ. 1977. Т. 72, **3**. 949.

Работа выполнена при поддержке государственного задания Минобрнауки России на выполнение научно-исследовательских работ (FSRN-2023-0006).

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ГЕЛИРУЮЩЕЙСЯ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ

Диканский Ю.И.[а], Гладких Д.В.[а], Дроздов А.С.[б], Дорожко Д.С.[а]

[а]Северо-кавказский федеральный университет,
355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1,
e-mail: dorozhkod@yandex.ru
[б]Московский физико-технический институт (НИУ),
141701, Долгопрудный, Институтский переулок, 9

В качестве объекта исследования выступили образцы МЖ на водной основе с добавлением полимера, позволяющему материалу гелироваться. Для изучения магнитных свойств МЖ были проведены исследования зависимости её магнитной восприимчивости от температуры. Образец заполнял цилиндрическую кювету и помещался в измерительную катушку с термостабилизированной обмоткой, и, в дальнейшем, подвергался циклическому охлаждению с последующим нагревом. Измерения магнитной восприимчивости производились с помощью мостового метода. Магнитная восприимчивость рассчитывалась по изменению индуктивности измерительной катушки при заполнении ее исследуемым образцом. Было обнаружено влияние частоты переменного измерительного поля на ход температурных зависимостей магнитной восприимчивости (рис.1). Были проведены исследования температурных зависимостей магнитной восприимчивости при дополнительном воздействии продольного и поперечного внешнего постоянного магнитного поля различной величины. Кроме того, были проведены исследования зависимости магнитной восприимчивости гелировавших образцов от их продольного удлинения при деформации.

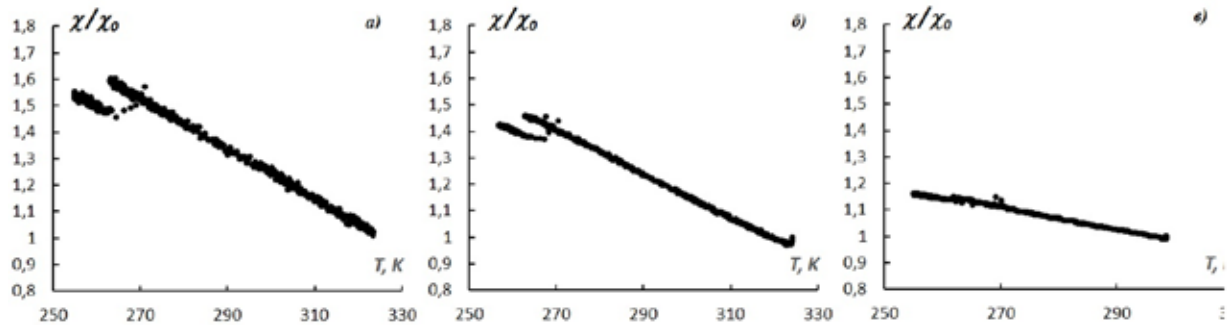


Рисунок 1. Зависимость относительной величины действительной части магнитной восприимчивости от температуры при различных частотах измерительного поля: (а) 320 Гц, (б) 1000 Гц, (в) 5000 Гц для первого цикла охлаждения образцов

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FSRN-2023-0006).

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ МНОГОГРАНУЛЬНОЙ ЧАСТИЦЫ НА ЕЕ МАГНИТНЫЙ ОТКЛИК В СТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Грохотова Е.В., Елфимова Е.А., Соловьева А.Ю.

Уральский федеральный университет им. Первого президента России Б.Н. Ельцина,
620000, Екатеринбург, Ленина 51,
e-mail: e.v.grokhotova@urfu.ru

В среде с низкой вязкостью агрегаты суперпарамагнитных наночастиц, также называемые многогранульными частицами (МГЧ), способны изменять своё пространственное расположение под воздействием внешнего статического магнитного поля. Это позволяет системе достичь энергетически выгодного состояния, соответствующего минимуму потенциальной энергии. Целью данной работы является моделирование поворота МГЧ в постоянном магнитном поле и расчет кривой намагниченности в этой ориентационной конфигурации системы. В рамках моделирования рассматривались модельные МГЧ, состоящие из 4 одинаковых магнитных гранул. Анализ проводился для трёх геометрий: одномерная цепочка, плоское кольцо и объемный тетраэдр.

Компьютерное моделирование (метод Монте-Карло) включало два этапа. На первом этапе определялось энергетически выгодное пространственное расположение МГЧ в заданном постоянном магнитном поле. На втором этапе проводился расчёт статической намагниченности МГЧ. При этом пространственное положение МГЧ, ориентация осей магнитной анизотропии и направление внешнего поля оставались неизменными. Считалось, что реакция системы на изменение напряженности магнитного поля осуществляется по неелевскому механизму — за счёт вращения магнитных моментов внутри гранул без перемещения самих гранул.

Анализ показал, что на магнитный отклик МГЧ комплексно влияют такие факторы как расположение гранул в МГЧ, интенсивности межгранульных дипольных взаимодействий и направления внешнего поля. Для структур типа «кольцо» и «тетраэдр» наблюдается участок замедленного роста намагниченности. Это свидетельствует о том, что выбор направления поля в соответствии с минимумом энергии не обязательно означает увеличение магнитного отклика, подобно тому, как это происходит для цепочки.

Полученные результаты способствуют более глубокому пониманию взаимосвязи между структурой, пространственной ориентацией МГЧ и её статической намагниченностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 24-72-00115.

ДИНАМИЧЕСКИЙ МАГНИТНЫЙ ОТКЛИК МАГНИТНЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ: УЧЕТ ВНУТРЕННЕЙ МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИИ И ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Добросердова А.Б.,[а] **Канторович С.С.**[б]

[а] *Уральский федеральный университет, 620000, Екатеринбург, проспект Ленина, 51, e-mail: alla.dobroserdova@urfu.ru*
[б] *University of Vienna, 1090, Vienna, Austria, Kolingasse 14-16*

Магнитные эластомеры представляют собой магнитные частицы, внедренные в немагнитную упругую матрицу. Ввиду того, что модуль упругости магнитных эластомеров в значительной степени можно изменять при помощи внешнего магнитного поля [1–2], этот класс «умных» материалов привлек к себе внимание ученых. На динамическое изменение магнитных и механических свойств эластомера оказывают влияние множество факторов, среди которых можно отметить внешнее магнитное поле, тип материала матрицы, распределение магнитных частиц, их размер, полидисперсность, их внутренние магнитные свойства. Такой широкий спектр управляющих параметров составляет основу для их практического применения как в промышленности, так и в области медицины [3].

В работе рассмотрены две простые модели магнитных эластомеров с магнитными частицами одного размера, обладающими внутренней магнитной анизотропией. В рамках компьютерного моделирования магнитные частицы взаимодействуют посредством магнитного диполь-дипольного потенциала, короткодействующее отталкивание описывается потенциалом «мягких сфер» (потенциалом Викса-Чендлера-Андерсена). Упругая немагнитная матрица моделируется с помощью классического гармонического потенциала. Компьютерное моделирование методом молекулярной динамики реализуется в программной среде ESPResSo [4]. Компьютерный эксперимент направлен на получение динамического магнитного отклика с учетом внешнего магнитного поля.

Литература

1. Filipcsei G. Magnetic Field-Responsive Smart Polymer Composites / G. Filipcsei // Oligomers – Polymer Composites – Molecular Imprinting / G. Filipcsei, I. Csetneki, A. Szilágyi, and M. Zrínyi. – Berlin, 2007. – PP. 137–189.
2. Odenbach S. Microstructure and rheology of magnetic hybrid materials / S. Odenbach // Arch. Appl. Mech. – 2016. – Vol. 86. – PP. 269–279.
3. Carlson J. D. MR fluid, foam and elastomer devices / J. D. Carlson J.D. and M. R. Jolly // Mechatronics. – 2000. – Vol. 10. – PP. 555–569.
4. https://espressomd.org/.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 25-22-00270.

СПЕКТРЫ ОПТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В КОЛЛОИДАХ МАГНЕТИТА

Ерин К.В., Вивчарь В.И.

Северо-Кавказский федеральный университет,
355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1
e-mail: exiton@inbox.ru

Исследованы спектры магнитооптических эффектов двойного лучепреломления, дихроизма, а также спектры пропускания в магнитных жидкостях с наночастицами магнетита в керосине. В спектрах двойного лучепреломления магнитной жидкости с обнаружен максимум около 500 нм. В спектрах дихроизма помимо максимума в этой же области можно видеть минимум в области 740-750 нм (рис. 1). Спектр пропускания такой магнитной жидкости имеет характерный максимум в ближней ИК-области (около 750 нм), который становится более выраженным с увеличением объемной концентрации магнетита в образце. Показано, что форма спектров магнитооптических эффектов и спектров пропускания определяется спектральными зависимостями комплексного показателя преломления нанодисперсного магнетита. Анализ известных спектров комплексного показателя преломления массивного магнетита природного и искусственного происхождения показывает, что магнетит в нанодисперсном состоянии имеет спектр показателя преломления существенно отличающийся от случая массивного моно- или поликристалла.

Таким образом, магнитооптические эффекты в магнитных жидкостях могут быть хорошим дополнением к традиционному методу отражательной эллипсометрии.

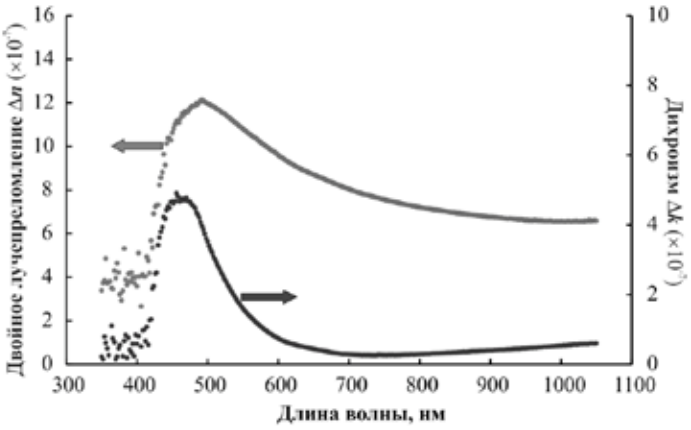


Рисунок 1. Спектры эффектов двойного лучепреломления и дихроизма в магнитной жидкости с наночастицами магнетита

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект FSRN-2023-0006).

ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ПРИЭЛЕКТРОДНОМ СЛОЕ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ НА ОСНОВЕ КЕРОСИНА

Еськова И.В., Ерин К.В.

Северо-Кавказский федеральный университет, 355017,
г. Ставрополь, ул. Пушкина 1, Россия,
E-mail: i.tatova@inbox.ru

Исследован электрооптический эффект двойного лучепреломления при воздействии прямоугольных импульсов высокого напряжения при различных расстояниях лазерного луча от поверхности электрода. Для исследования эффекта использовалась оптическая установка, представляющая собой ячейку с электродами, помещённую между двумя скрещенными поляризаторами. Через ячейку пропускался луч гелий-неонового лазера. Мы исследовали магнитную жидкость на основе керосина с объёмной концентрацией магнетита 0,01%. Для предотвращения свободного обмена зарядами поверхность электрода покрывалась изолирующей полипропиленовой плёнкой толщиной 40 мкм.

Эксперименты показали, что в ячейке с изолированными электродами электрооптический сигнал представляет собой два пика в моменты включения и выключения поля, когда внешнее поле, создаваемое источником, не компенсируется неравномерно распределённым объёмным зарядом. На расстояние менее 0,3 мм от поверхности электрода наблюдается необычный эффект раздвоения максимума эффекта. При удалении лазерного луча от поверхности раздвоение исчезает и процесс релаксации эффекта двойного лучепреломления становится монотонным. (рисунок 1).

Возникновение немонотонной релаксации электрооптического эффекта в приэлектродной области может быть связано со структурными изменениями в магнитной жидкости в области объёмного заряда.

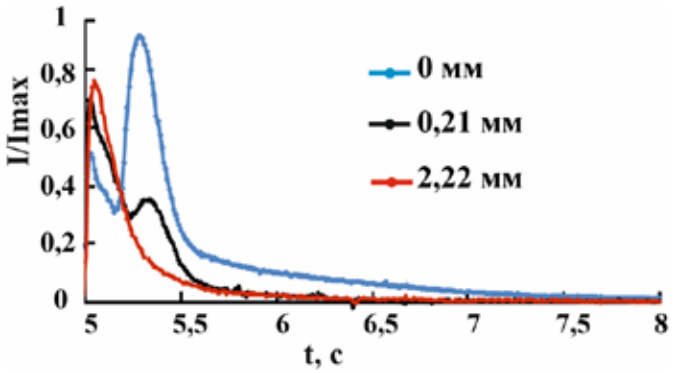


Рисунок 1. Электрооптический сигнал после выключения электрического поля при различных расстояниях лазерного луча от электрода.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (проект FSRN -2023-0006).

ДИНАМИКА ДЕФОРМАЦИИ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАПЕЛЬ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Закинян А.Р., Кононенко Д.В.

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
355017, Ставрополь, ул. Пушкина 1,
e-mail: art.zakinyan@gmail.com

В работе исследуется динамика изменения формы капель магнитной жидкости при наложении однородного стационарного магнитного поля. Рассмотрены отдельные капли, а также пары и тройки близко расположенных капель, на процесс изменения формы которых также оказываются влияние магнитное и механическое взаимодействие капель (рисунок 1). Выполнены экспериментальные наблюдения, а также проведено компьютерное моделирование рассматриваемых процессов.

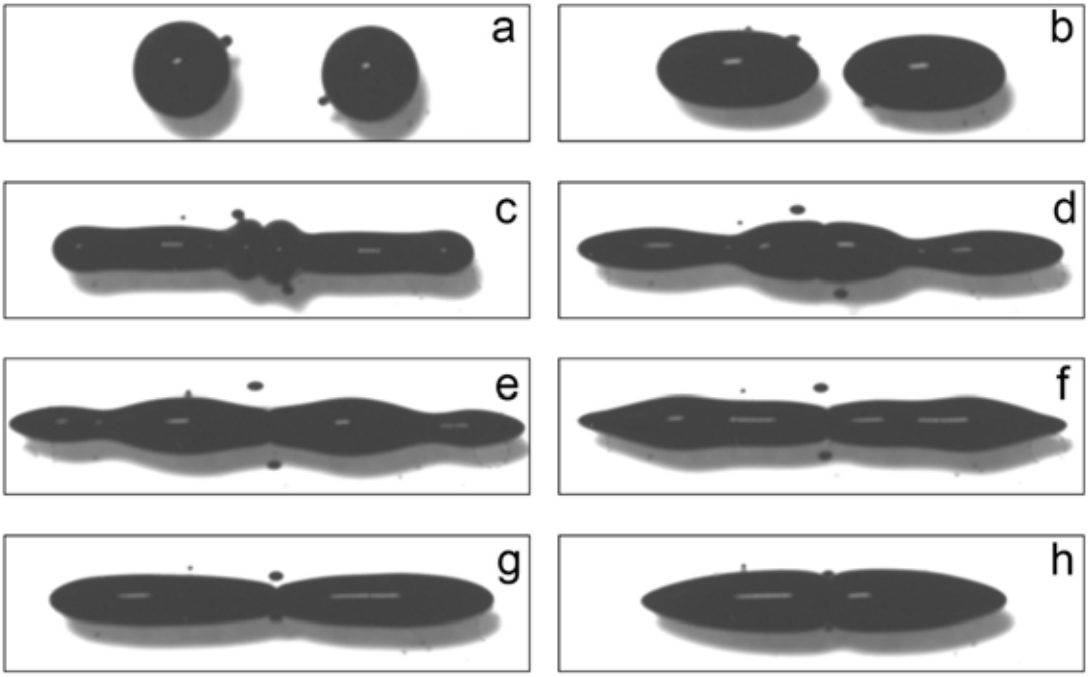


Рисунок 1. Пара капель магнитной жидкости в последовательные моменты времени после наложения однородного магнитного поля, направленного горизонтально вдоль плоскости рисунка.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания вузам в сфере научной деятельности (проект FSRN-2023-0006).

ЛАБИРИНТНАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ДИФФУЗИОННОГО ФРОНТА ПАДАЮЩЕЙ КАПЛИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ, НОРМАЛЬНОМ К ПЛОСКОСТИ ЯЧЕЙКИ ХЕЛЕ-ШОУ

Краков М.С.,[а] **Чернышов А.В.**,[б] **Закинян А.Р.**[б]

[а]*Белорусскский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, г. Минск, Беларусь, 220013, mskrakov@gmail.com*
[б]*Северо-Кавказский федеральный университет, 355017, г.Ставрополь, ул. Пушкина, 1, Россия*

Численно и экспериментально исследовано падение растворяющейся в окружающей жидкости-основе капли магнитной жидкости в вертикальной ячейке Хеле-Шоу. Магнитное поле, перпендикулярное плоскости ячейки, вызывает развитие многочисленных пальцев на диффузионном фронте. Характер развития неустойчивости определяется числом Архимеда Ar, магнитным числом Архимеда Ar_m, шириной зазора ячейки и начальной шириной диффузионного фронта.

Обнаружено: а) существует критическое значение Ar_m, выше которого наступает неустойчивость; б) с ростом Ar_m длина волны неустойчивых возмущений уменьшается; в) с увеличением ширины зазора в ячейке длина волны увеличивается; г) с ростом Ar_m возрастает скорость растворения капли; д) с ростом Ar_m скорость падения капли уменьшается.

На рис. 1 слева направо показано последовательное изменение формы падающей капли и структуры диффузионного фронта, полученные численно (верхний ряд) и экспериментально (нижний ряд).

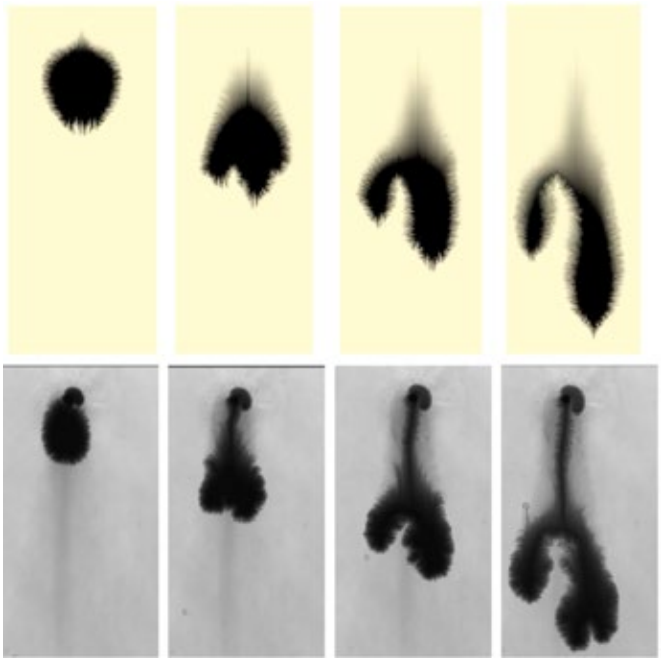


Рисунок 1. Ширина зазора 0,1 мм, в численном моделировании H = 15 кА/м, в эксперименте H = 10,58 кА/м. M_S = 45,6 кА/м, χ_0 = 2,36.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ КОЛЛОИДОВ МЕТОДОМ УЛЬТРАМИКРОСОКПИИ

Курьяков В.Н.

Институт проблем нефти и газа РАН,
119333, Москва, ул. Губкина 3

Метод ультрамикроскопии, благодаря специальному освещению лазером, позволяет визуализировать нанообъекты в жидкости, наблюдать за их движением, подсчитать их[1]. При этом сами нанообъекты не видны – наблюдается рассеяние на них лазерного излучения. Данный метод позволяет неинвазивно наблюдать за движением наночастиц (НЧ) в жидких средах (броуновским или под действием внешних сил/полей), измерять их скорость движения, а подсчитав их в единице объема жидкости, измерить их численную концентрацию. За разработку и исследования методом ультрамикроскопии Рихард Зигмонди в 1925 году был удостоен Нобелевской премии по химии. В данной работе представлены результаты исследований влияния ультразвукового диспергирования и магнитного поля на магнитные НЧ в воде. Для исследованных образцов определена численная концентрация НЧ в исходном образце и после ультразвукового (УЗ) диспергирования. Показано, что УЗ диспергирование приводит к повышению численной концентрации наночастиц вследствие разрушения кластеров. Характерный вид поля зрения ультрамикроскопа при наблюдении магнитных НЧ в воде представлен на Рисунке 1.

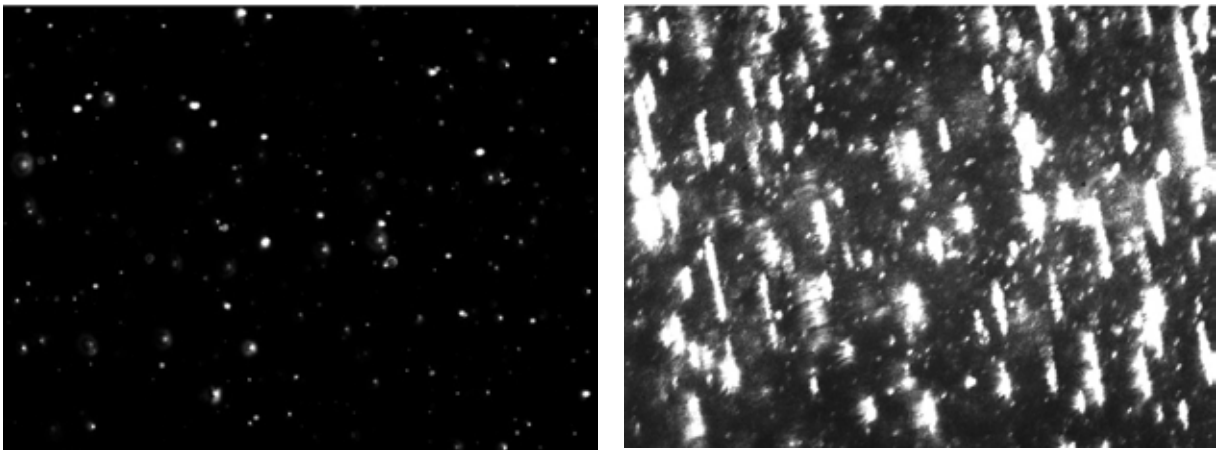


Рисунок 1. Магнитные наночастицы в воде: слева – без магнитного поля, справа в магнитном поле, выстраивание вдоль магнитных силовых линий

Литература
1. Описание метода ультрамикроскопии: [сайт]. URL: http://npcounter.ru/ (дата обращения: 01.03.2025).

ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ МАГНИТОЖИДКОСТНЫЕ ПОДШИПНИКИ СКОЛЬЖЕНИЯ

Лабкович О.Н., Погирницкая С.Г., Рекс А.Г., Чернобай В.А.

Белорусский национальный технический университет
Республика Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65,
e-mail: olji@tut.by

В экспериментах использовалась суспензия многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) в магнитной жидкости магнетит-трансформаторное масло с намагниченностью насыщения 70 кА/м (ММт-70). Диаметр немагнитных МУНТ изменялся от 50 до 300 н·м, длина от 5 до 20 мкм, плотность составила ρ=1450 кг/м^3.

Методом электронной микроскопии было установлено, что немагнитные МУНТ вытесняются из области максимального градиента магнитного поля увлекая с собой основную массу магнитной жидкости. На границах рабочего слоя суспензии в подшипнике устанавливались полюса, создающие градиенты магнитного поля ∇H = 6200 кА/м^2. При выбросе суспензии из рабочего зазора на немагнитные структуры МУНТ в области градиента магнитного поля действовала магнитная сила, выталкивающая их в рабочий зазор $F_M = -\mu_0 \cdot M \cdot \nabla H \cdot V$, где μ_0 – магнитная проницаемость вакуума, V – объем структуры МУНТ.

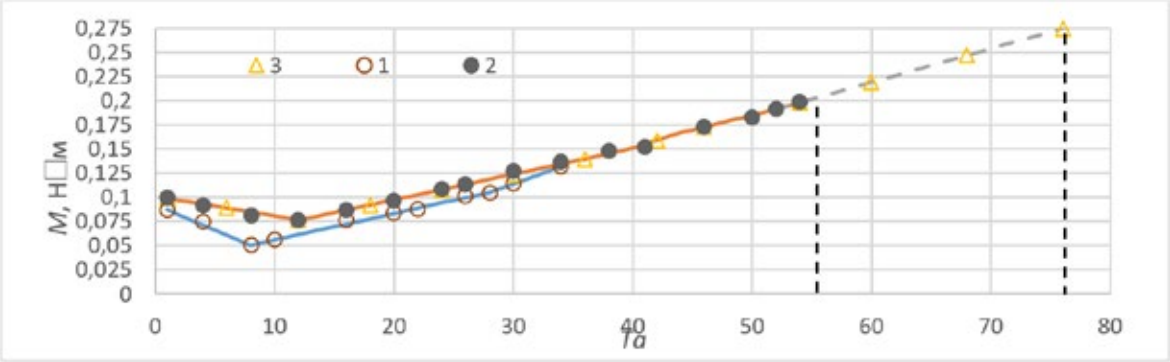


Рисунок 1. Зависимость момента трения Мтр от числа Тейлора Та (N-N, H=230 кА/м):
1 – ММт-70; 2 – ММт-70+2% МУНТ;2 – ММт-70+2% МУНТ, grad H.

Магнитное число Фруда, оценивающее устойчивость суспензии в рабочем зазоре в поле центробежных сил, имело вид $Fr_m = (\rho v^2)/R(\mu_0 M_s \nabla H + F_a + F_M)$, где $\mu_0 M_s \nabla H$ – магнитная сила в рабочем зазоре, F_a – сила адгезии массива МУНТ к поверхности вала, F_M – сила градиентного магнитного поля, возвращающая массивы МУНТ в рабочий зазор при их выбросе. Как видно из рис. 1 наличие градиентов магнитного поля позволило на 36 % увеличить интервал рабочих скоростей для подшипников скольжения с радиальным магнитным полем. Для подшипников с тангенциальным магнитным полем увеличение рабочих скоростей не превышало 20 %.

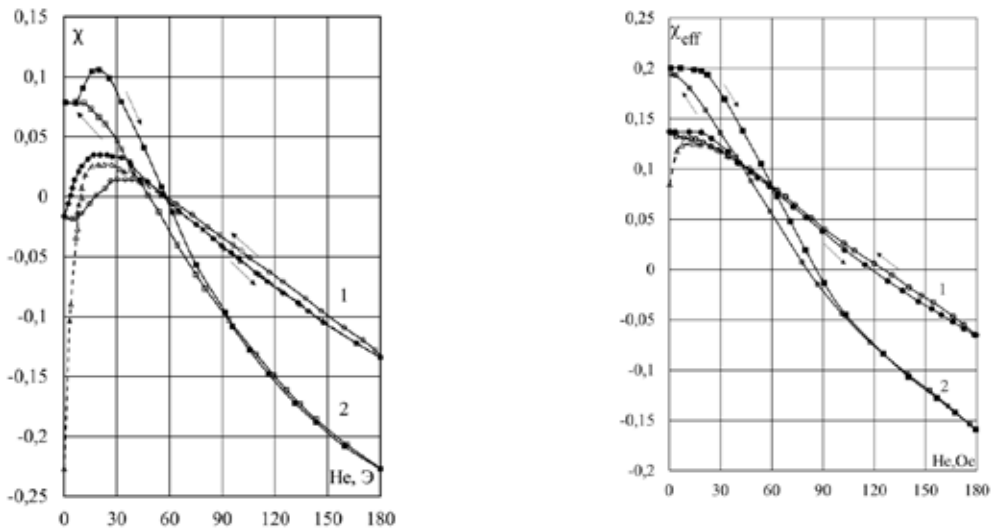
ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ларионов Ю.А., Кожевников В.М., Чуенкова И.Ю.

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»
355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1
e-mail: yury.larionov.ncfu@mail.ru

Были исследованы композиционные материалы на основе порошков высокотемпературного сверхпроводника $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (ВТСП) и высокодисперсного магнетита, состав подбирался из условия: $\chi_{ВМ}(1-\varphi) \leq \varphi_{ВТСП}$, где φ – объемная концентрация частиц сверхпроводника, χ – магнитная восприимчивость. Исследование свойств композиционного материала проводилось в интервале температур 77 – 110 К.

Магнитная восприимчивость композиционного материала при температуре больше 110 К определялась свойствами высокодисперсного магнетита, а при температуре меньше 95 К проявлялись особенности магнитных свойств фазы ВТСП. Наблюдался излом кривой температурной зависимости χ при переходе ВТСП в состояние сверхпроводимости. Композит проявлял свойства сильного парамагнетика, так и диамагнетика в зависимости от температуры. Магнитные свойства композита при Т=77 К зависят от размера частиц ВТСП (рис. 1а, б).



а б

Рисунок 1. Зависимость χ от *He*: охлаждение композита при *He*: 1– 0, 2 – 420 Э

Начальная кривая (Δ) – охлаждение образца проводилось в отсутствии поля, кривая обратима до величины 10 Э. Дальнейшее увеличение He приводило к необратимости зависимости χ от *He* (кривая 1). При охлаждении образца в магнитном поле χ определялась свойствами магнетита (кривая 2). В полях больших критического Hc_2 сверхпроводимость ВТСП исчезает, и магнитная восприимчивость композита должна еще раз поменять знак.

РЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СУСПЕНЗИИ НЕМАГНИТНЫХ МИКРОЧАСТИЦ В МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ В ОДНОРОДНОМ СТАЦИОНАРНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Месяцева Л.С., Закинян А.Р.

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
355017, Ставрополь, ул. Пушкина 1,
e-mail: zakinyan.a.r@gmail.com

Проведены экспериментальные исследования характера реологического поведения суспензии немагнитных микрочастиц в магнитной жидкости при воздействии внешнего однородного стационарного магнитного поля. Измерены кривые течения при варьировании величины магнитного поля и концентрации дисперсной фазы суспензии. Показано, что течение рассматриваемых суспензий носит неньютоновский характер, а эффективная вязкость возрастает с ростом величины магнитного поля и концентрации суспензии (рисунок 1).

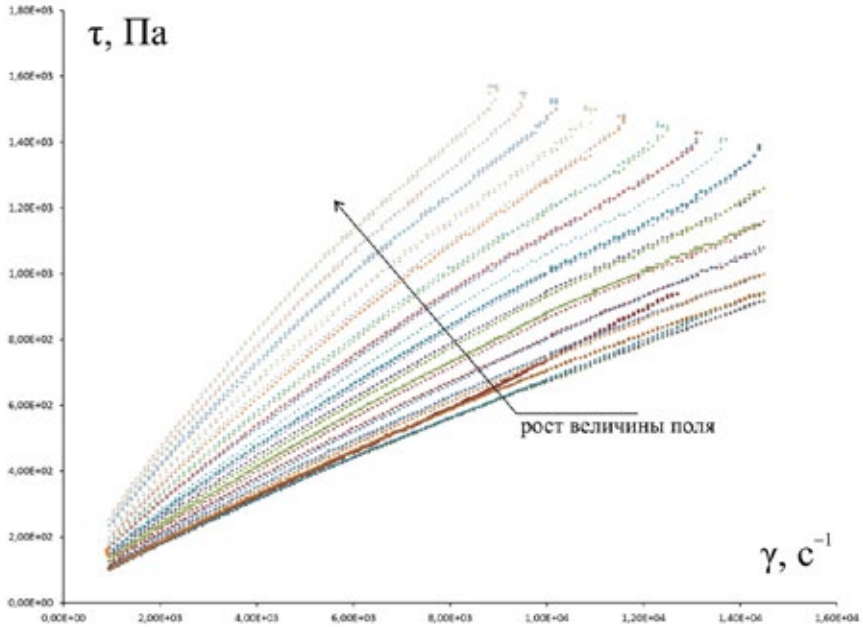


Рисунок 1. Кривые течения суспензии немагнитных микрочастиц в магнитной жидкости при различных величинах напряженности внешнего магнитного поля.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания вузам в сфере научной деятельности (проект FSRN-2023-0006).

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТЕРМОЛИНЗОВЫЙ ЭФФЕКТ В НАНОМАГНИТНЫХ КОЛЛОИДАХ

Мкртчян В.Д., Диканский Ю.И.

Северо-Кавказский федеральный университет,
физико-технический факультет, 3555017, Ставрополь, Пушкина, 1
e-mail: me@vmkrtchyan.ru

В настоящей работе исследован эффект тепловой линзы [1] в магнитных жидкостях с целью выяснения возможности управления им с помощью дополнительного воздействия магнитным полем.

Для изучения эффекта использовался образец магнитной жидкости на основе керосина с объемной концентрацией $\theta = 0{,}02\%$, помещённый в плоскую кювету толщиной 4 мм. Луч лазера мощностью 500 мВт пропускался через плоскую кювету с образцом перпендикулярно ее стенке и попадал на экран, где формировалось светлое пятно. Однородное магнитное поле создавалось электромагнитом с плоскими полюсными наконечниками и было направлено как вертикально – перпендикулярно лучу лазера, так и вдоль него (горизонтально), для этого в них были сделаны отверстия, через которые проходил луч. Для создания вертикального неоднородного магнитного поля, перпендикулярного лучу лазера, верхний плоский наконечник заменялся на конусный.

В отсутствие поля наблюдалось круглое светлое пятно, состоящее из круговых полос. Однако по истечении некоторого времени (~ 0,5 с) верхняя половина дифракционной картины начинала темнеть и окончательно исчезала. В результате нагрева происходит изменение показателя преломления среды и вокруг лазерного луча создается градиент показателя преломления. При этом восходящие потоки нарушают его осевую симметрию, с чем и связано затемнение.

Оказалось, что радиус пятна стационарной дифракционной картины уменьшается с увеличением напряжённости однородного магнитного поля, при этом зависимость сильнее в случае, когда магнитное поле и луч лазера сонаправлены. В неоднородном магнитном поле верхняя половина картины проявляется, но визуально бледнее, чем нижняя, при этом размер отклика увеличивается с увеличением напряжённости поля. Проведен анализ полученных результатов.

Литература

1. Иванов В.И., Иванова Г.Д., Ливашвили А.И. *Современные проблемы науки и образования,* 2015, №1 (часть 1).

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект № FSRN - 2023-0006.

АНИЗОТРОПИЯ МАГНИТОАКТИВНЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ: ВЛИЯНИЕ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Мусихин А.Ю.,[а] Зубарев А.Ю.,[а] Крамаренко Е.Ю.[б]

[а] Уральский федеральный университет,
620000, Екатеринбург, пр. Ленина, 51
e-mail: antoniusmagna@yandex.ru
[б] Московский государственный университет,
119991, Москва, Ленинские горы, 1

Магнитоактивные эластомеры (МАЭ) перспективны для применений, требующих контролируемых изменений механических свойств под воздействием магнитного поля. Для оптимизации их характеристик необходимо понимать магнитомеханическое поведение МАЭ, особенно модуль сдвига[1]. В этой работе разработана микроскопическая модель для описания упругих свойств мягких МАЭ, учитывающая формирование цепочек магнитных частиц под воздействием внешнего магнитного поля (иллюстрация представлена на рисунке 1). Разработана теоретическая модель, основанная на решеточном подходе и иерархическом принципе агрегации частиц в цепочки. Рассмотрены изотропные и анизотропные МАЭ. Проведен анализ зависимости модуля сдвига от магнитного поля и деформации сдвига. Показано, что анизотропные МАЭ обладают более высокими упругими характеристиками по сравнению с изотропными.

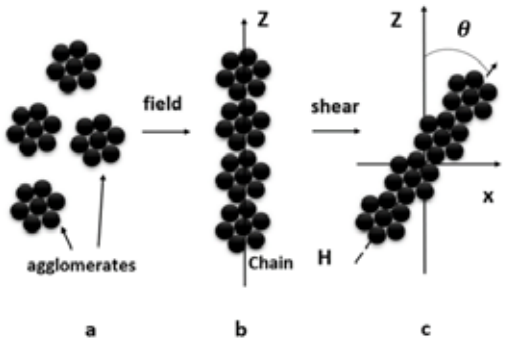


Рисунок 1. Этапы моделирования

Теоретические результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными, что подтверждает адекватность предложенной модели. Формирование цепочек магнитных частиц играет ключевую роль в определении упругих свойств МАЭ.

Литература
1. Kostrov S.A., Gorodov V.V., Muzafarov A.M., Kramarenko E.Yu. // Vysokomolekulyarnye soedineniya. Seriya B, izdatelstvo FGBU «Izdatelstvo «Nauka» (Moskva), tom 62, № 6. 2022.

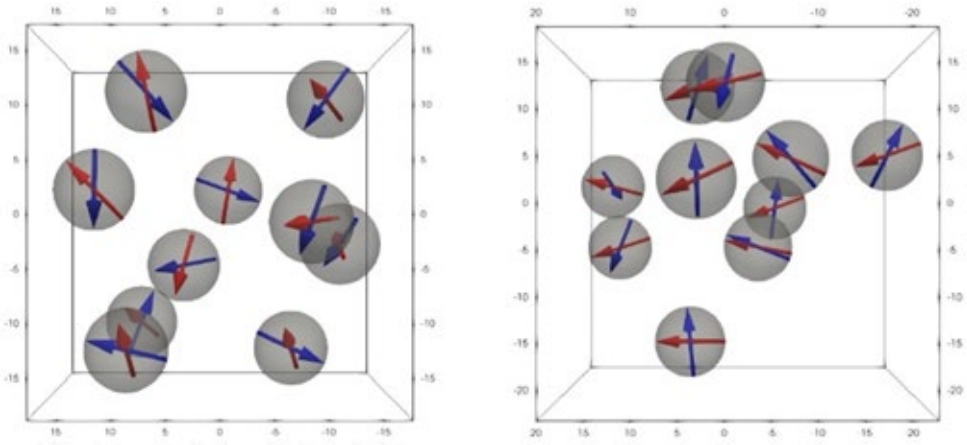
Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, программа ФЭУЗ 2023-0020.

КОМЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ АНСАМБЛЯ ОБЕЗДВИЖЕННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ФЕРРОЧАСТИЦ

Радушнов Д.И., Зверев В.С., Елфимова Е.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
620000, Екатеринбург, ул. Ленина 51,
e-mail: Dmitry.Radushnov@urfu.ru

В работе представлены результаты компьютерного моделирования ансамбля обездвиженных магнитных наночастиц с анизотропной ориентационной структурой, выполненного с использованием метода молекулярной динамики в программном пакете ESPResSo[1]. Компьютерное моделирование проходило в два этапа (рис. 1). На первом этапе предполагалось, что магнитные наночастицы подвижны и они находятся под действием постоянного магнитного поля $\hat{\boldsymbol{h}}^p$**=(0,0,1)**. В результате оси легкого намагничивания выстраивались вдоль направления поля, формируя ориентационную анизотропию системы. После этого положения и оси легкого намагничивания частиц фиксировались в системе. На втором этапе ансамбль обездвиженных наночастиц подвергался воздействию внешнего постоянного магнитного поля $\hat{\boldsymbol{h}} = (\sin\beta, 0, \cos\beta)$, которое ориентировалось под углом β относительно поля $\hat{\boldsymbol{h}}^p$. На основе полученных данных моделирования была рассчитана намагниченность в зависимости от системных параметров и угла поворота β намагничивающего поля $\hat{\boldsymbol{h}}$.



Подвижные частицы в поле $\hat{\boldsymbol{h}}^p$ Обездвиженные частицы в поле $\hat{\boldsymbol{h}}$

Рисунок 1. Этапы моделирования ансамбля магнитных наночастиц в программном пакете ESPResSo. Красные стрелки обозначают магнитный момент, синие – ось легкого намагничивания.

Литература
1. Weik F. et al. *The European Physical Journal Special Topics*, 2019, **227**, 1789.

Работа выполнение при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-12-00039.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНИМОСТИ ПРИБЛИЖЕНИЯ ПАРНЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ ДЛЯ ПЕРВОЙ ГАРМОНИКИ АНСАМБЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ЧАСТИЦ В ПЕРЕМЕННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ ПРОИЗВОЛЬНОЙ АМПЛИТУДЫ

Русанов М.С., Елфимова Е.А., Зверев В.С.

Уральский федеральный университет,
620000, Екатеринбург, пр. Ленина, 51, Россия
e-mail: mikhail.rusanov@urfu.ru

Цель работы - математическое и компьютерное моделирование первой гармоники динамической магнитной восприимчивости ансамбля подвижных взаимодействующих магнитных частиц, находящихся во внешнем переменном магнитном поле, произвольной амплитуды. Основная задача заключается в сравнительном анализе результатов математического моделирования и данных компьютерного моделирования для оценки границ применимости математической модели.

Математическое моделирование основывалось на численном решении уравнения Фоккера-Планка для плотности вероятности ориентации магнитных моментов с последующим определением действительной и мнимой части первой гармоники динамической восприимчивости. Потенциалы взаимодействий, входящих в уравнение, включали взаимодействие с переменным магнитным полем произвольной амплитуды, а также диполь-дипольные взаимодействия, аппроксимируемые парными корреляциями.[1]

Компьютерное моделирование проводилось в программном пакете ESPResSo, в котором симулировалась монодисперсная система из 512 дипольных твердых частиц. В симуляции для всех частиц учитывалось взаимодействие магнитных моментов с переменным магнитным полем, диполь-дипольные взаимодействия между всеми частицами и отталкивание твердых сфер. Параметр дипольной связи λ был зафиксирован на значении 1. Интенсивность магнитных взаимодействий оценивалась через восприимчивость Ланжевена χ_L, для которого рассматривались значения: 0.5, 1, 1.5 и 3. Моделирование отклика проводилось при значениях параметра Ланжевена α, выступающего в роли амплитуды переменного поля: 1, 5 и 10.

Литература

1. A. O. Ivanov, V. S. Zverev, S. S. Kantorovich, Revealing the signature of dipolar interactions in dynamic spectra of polydisperse magnetic nanoparticles - Soft Matter, 12 (15), 2016 - 3507 -3513 p.

Работа выполнена при финансовой поддержке: Уральский математический центр соглашение № 075-02-2025-1719/1

МОДЕЛЬ МИКРОФЕРРОГЕЛЯ, СШИТОГО С РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ МАГНИТНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ

Рыжков А.В.

Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук,
614068, Пермь, ул. Академика Королева, 1,
e-mail: ryzhkov.a@icmm.ru

В фокусе исследования перспективные для биомедицины микроферрогели – субмикронные гидрогелевые агрегаты, сшитые с магнитными наночастицами. Предложена модель крупнозернистой молекулярной динамики[1], основанная на шарообразных шаблонах (Рис. 1) с задаваемым послойно числом полимерных и магнитных наночастиц (МНЧ). Рассмотрено такое начальное распределение МНЧ по шаблону, при котором в каждом слое они занимают приблизительно одинаковую долю отведенного объема, а оставшееся место занимают полимерные частицы.

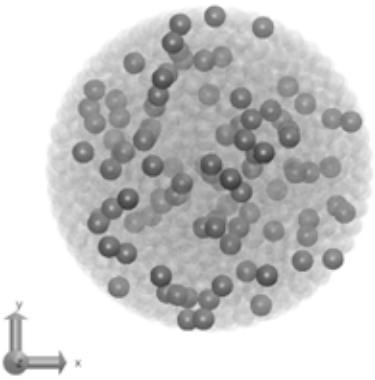


Рисунок 1. Шаблон модельного микрогеля из восьми слоев, содержащий 5% равномерно распределенных МНЧ (обозначены темно-серым)

Далее частицы в шаблонах с различной долей МНЧ соединяются упругими связями по разработанному алгоритму. Полученные сшитые магнитополимерные системы затем рассматриваются в вычислительном эксперименте с различным параметром магнитного взаимодействия при намагничивании в однородном магнитном поле в изотермических условиях. По результатам моделирования анализируется проявляющийся совместный магнитный, структурный и механический отклик систем.

Литература

1. Weik F. et.al. *The European Physical Journal Special Topics*, 2019, **227**, 1789-1816.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-71-00055, https://rscf.ru/project/24-71-00055/.

УПРАВЛЕНИЕ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ОХЛАЖДЕНИЯ ТВЁРДЫХ ТЕЛ В МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ

Симоновский А.Я.

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
355017, Ставрополь, ул. Пушкина 1,
e-mail: simonovchkij@mail.ru

В работе экспериментально найдены зависимости температуры центра цилиндрического образца, выполненного из ферромагнитной стали, при охлаждении в магнитной жидкости в магнитном поле. Жидкость представляла собой коллоидный раствор магнетита в воде с различной объемной долей магнитной фазы. Температурно-временные кривые охлаждения центра цилиндрического образца в магнитной жидкости послужили для расчётов удельных тепловых потоков от цилиндрического образца к магнитной жидкости путём решения внешней обратной задачи теплопроводности. Даётся анализ результатов решения обратной задачи теплопроводности. Эти результаты приведены на рисунке 1.

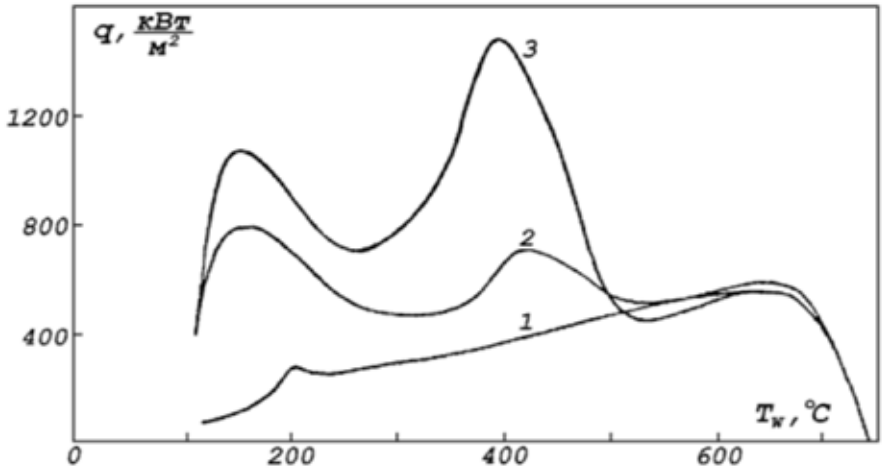


Рис. 1. Зависимость плотности теплового потока q от температуры поверхности цилиндра при охлаждении в магнитной жидкости с начальной температурой 24 ^{0}C при объемной доле магнитной фазы ϕ_m: 1-0,0374; 2-0,0294; 3- 0,0023

Приводится анализ причин развития удельных тепловых потоков от интенсивности приложенного магнитного поля и объемной концентрации твердой фазы в магнитной жидкости при формировании пристенного кипящего слоя на поверхности охлаждаемого цилиндра. Показана высокая эффективность воздействия магнитного поля на интенсивность различных режимов кипения магнитной жидкости на поверхности цилиндрического образца.

ДИНАМИКА ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ В КАНАЛАХ В НЕОДНОРОДНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Соколов Е.А., Ряполов П.А., Калюжная Д.А.

ФГБОУ ВО Юго-Западный государственный университет,
305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94,
e-mail: evgeniysokolov1@yandex.ru

Внешние магнитные поля способны эффективно управлять динамикой магнитных капель и эмульсий. Присутствие в системе магниточувствительных материалов, таких как магнитная жидкость (МЖ), позволяет управлять ею с помощью внешнего воздействия магнитного поля[1]. На сегодняшний день проведено большое количество исследований, посвященных динамике капель МЖ, диспергированных в немагнитной жидкости (НМЖ)[2], и динамике немагнитных капель в магнитной жидкости[3].

В исследовании представлены ключевые результаты изучения динамики магнитных эмульсий, сформированных на основе магнитной жидкости. Процесс эмульгирования осуществлялся в плоском канале под воздействием внешнего магнитного поля. Расчет сил, действующих на немагнитные включения в МЖ и капли магнитной жидкости, плавающих в НМЖ под действием магнитного поля, был проведен с помощью численного моделирования с использованием программных комплексов FEMM 4.2 и MATLAB. Экспериментальные и расчетные данные продемонстрировали эффективность управления динамикой немагнитных включений в магнитной среде и капель МЖ в немагнитной среде посредством действия внешнего магнитного поля.

Литература

1. G. P. Zhu, et al., Droplet manipulation under a magnetic field: A review, Biosensors, vol. 12, no. 3, pp. 156, 2022.
2. D. Bhattacharjee, A. Atta, and S. Chakraborty, Magnetic field-mediated ferrofluid droplet deformation in extensional flow, Physics of Fluids, vol. 36, no. 9, pp. 092020, 2024.
3. Z. Q. Dong, X. Li, H. Yamaguchi, and P. Yu, Magnetic field effect on the sedimentation process of two non-magnetic particles inside a ferrofluid, JMMM, vol. 589, pp. 171501, 2024.

Статья подготовлена в рамках государственного задания на 2025 год №075-03-2025-526.

ДИНАМИКА РЕЛАКСАЦИИ НАМАГНИЧЕННОСТИ МОНОДИСПЕРСНОГО АНСАМБЛЯ ОБЕЗДВИЖЕННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ

Субботин И.М., Иванов А.О.

Уральский Федеральный Университет, Институт естественных наук и математики,
620000, Екатеринбург, Проспект Ленина 51,
e-mail: igor.subbotin@urfu.ru

Феррокомпозиты, представляющие собой ансамбли магнитных микро- или наночастиц, внедренных в немагнитную среду, относятся к классу так называемых «smart» материалом и широко исследуются в настоящее время. Важнейшим свойством таких композитов является значительное изменение собственной намагниченности под действием внешних магнитных полей.

В случае, когда наполнитель жестко вморожен в твердую полимерную матрицу, т.е. частицы теряют свои поступательные и вращательные степени свободы [1], единственным механизмом, обеспечивающим изменение намагниченности ансамбля таких частиц, становится неелевский механизм изменения направления вектора магнитного момента внутри частиц. Используя структурирование осей легкого намагничивания частиц в процессе синтеза композита посредством полимеризации во внешнем постоянном поле, можно добиться анизотропии магнитных свойств, посредством фиксирования приложенным магнитным полем в выбранном направлении лёгких осей частиц в процессе полимеризации. В результате полученный композитный материал будет иметь максимальный магнитный отклик вдоль того направления, в котором было приложено поле при затвердевании [2-3]. В отсутствии же поля такие материалы в силу процессов релаксации теряют намагниченность.

Данная работа посвящена моделированию и численному расчёту динамики релаксации намагниченности феррокомпозита, изначально намагниченного вдоль оси анизотропии структурированных магнитных частиц. Для решения поставленной задачи численно решается уравнение Фоккера-Планка-Брауна [4] для ансамбля взаимодействующих частиц.

Литература

1. A. O. Ivanov and P. J. Camp. Phys. Rev. E, vol. 102 (2020), pp. 032610
2. Borin D.Yu., Odenbach S. // J. Physics: Condensed Matter. 2009. V. 21. No. 24. Art. No. 246002.
3. Stepanov G.V., Borin D.Y., Kramarenko E.Y., et al. // Polymer Science Ser. A. 2014. V. 56, No. 5. P. 603.
4. Coffey W.T., Cregg P.J., Kalmykov Y.P. // in Advances in Chemical Physics, ed. I. Prigogine and S.A. Rice. New York, Wiley. 1993. V. 83. P. 263.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, соглашение № 075-02-2025-1719/1.

ЭФФЕКТ ФАРАДЕЯ В ФЕРРОЖИДКОСТЯХ НА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ

Туркин С.Д., Боженко С.А., Закинян А.Р., Чернышов А.В.

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
355017, Ставрополь, ул. Пушкина 1,
e-mail: turkinsd@gmail.com

В диапазоне сверхвысоких частот 10 – 12 ГГц проведены экспериментальные и теоретические исследования эффекта Фарадея, наблюдающегося в магнитных жидкостях при воздействии внешнего постоянного магнитного поля (рисунок 1). Исследуемый материал – феррожидкость на основе керосина с магнетитовыми частицами, концентрация которых в ходе исследований варьировалась в пределах от 7% до 25%. Экспериментальные данные аппроксимированы в рамках модели невзаимодействующих изотропных частиц[1].

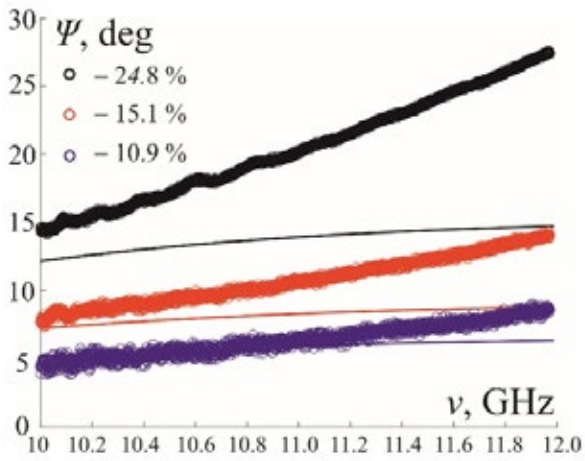


Рисунок 1. График зависимостей угла поворота плоскости поляризации от частоты электромагнитного излучения при различных значениях объемной концентрации твердой фазы в образце. Напряженность внешнего магнитного поля 29 кА/м. Точками обозначены экспериментальные кривые, теоретический расчет – гладкие кривые.

Литература
1. Гехт Р.С., Игнатченко В.А., Райхер Ю.Л., Шлиомис М.И. *Журн. экспер. теор. физ.*, 1976, **70**, 1300.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания вузам в сфере научной деятельности (проект FSRN-2023-0006).

ТОНКИЙ СЛОЙ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ НА ПЛОСКОЙ ПОДЛОЖКЕ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Тятюшкин А.Н.

НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова,
119192, Москва, Мичуринский проспект 1,
e-mail: tan@imec.msu.ru

Влияние магнитного поля на течение тонкой пленки намагничивающейся жидкости по вращающейся подложке исследовалось в работах [1] и [2]. В работе [3] было найдено аналитическое решение задачи о течении пленки намагничивающейся жидкости по горизонтальной подложке в поле вертикального проводника с током.

В данной работе рассматривается тонкий слой вязкой несжимаемой магнитной жидкости с заданной зависимостью намагниченности от напряженности магнитного поля, текущей по твердой плоской подложке в заданном приложенном квазистационарном магнитном поле. Подложка наклонена под заданным углом к горизонту и движется как твердое тело вдоль самой себя. Учитывается влияние силы тяжести и поверхностного натяжения. Считается, что слой магнитной жидкости в общем случае искажает приложенное поле; для искаженного магнитного поля выписаны определяющие его уравнения и граничные условия. Получено уравнение в частных производных, описывающее эволюцию рассматриваемого слоя в приближении теории смазки. Выписаны условия, при которых использованные при выводе этого уравнения приближения могут применяться.

В качестве примера использования полученного уравнения рассматривается задача о тонком слое магнитной жидкости, текущей по неподвижной горизонтальной абсолютно твердой подложке в приложенном, вообще говоря, переменном магнитном поле. Угол смачивания жидкости на подложке считается достаточно малым, чтобы приближение теории смазки можно было применить для тонкого слоя магнитной жидкости конечного объема. Если приложенное магнитное поле — постоянное, то слой магнитной жидкости конечного объема стремится принять некоторую форму, которая не изменяется со временем после того, как она будет принята.

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова.

Литература

1. Naletova V.A., Kim L.G., Turkov V.A. *J. Magn. Magn. Mater.*, 1995, **149**, 162.
2. Naletova V.A., Turkov V.A. *J. Magn. Magn. Mater.*, 1999, **201**, 346.
3. Тятюшкин А.Н. Известия РАН. *Механика жидкости и газа*, 2019, **83**(7), 885.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖФАЗНЫХ СВОЙСТВ МАГНИТНЫХ КОЛЛОИДОВ

Халуповская Л.И., Закинян А.Р.

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
355017, Ставрополь, ул. Пушкина 1,
e-mail: halupovskaya@mail.ru

Исследование влияния магнитного поля на межфазные свойства магнитных дисперсных систем представляет значительный интерес для фундаментальной науки.

Целью данной работы было экспериментальное исследование межфазных свойств магнитных дисперсных систем статическим и динамическим методами. В качестве образцов использовались магнитные жидкости на основе воды и керосина с варьируемой концентрацией дисперсной фазы, а также ультрадисперсная магнитная эмульсия, в которой под воздействием внешнего магнитного поля может создаваться упорядоченная цепочечная микроструктура. Статические измерения проводились на тензиометре, принцип работы которого основан на методе висячей или сидячей капли. Динамические измерения включали в себя модулирование площади поверхности раздела с последующей обработкой по модели Люкассена.

В результате проведенных исследований было показано, что межфазное натяжение и модуль упругости магнитных жидкостей зависят от роста концентрации дисперсной фазы. В случае с углеводородной основой это приводит к увеличению данных параметров на 10–15 %. В случае с водной основой это приводит к уменьшению данных параметров на 50–60 %.

Для всех образцов установлено уменьшение межфазного натяжения на 5–15 % и рост модуля упругости на 20–50 % при увеличении напряженности магнитного поля. Для образцов магнитной эмульсии также показано, что скорость изменения таких параметров как межфазное натяжение, модуль упругости и поверхностная вязкость в зависимости от поля возрастает при увеличении концентрации эмульсии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания вузам в сфере научной деятельности (проект FSRN-2023-0006).

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ФРАКТАЛОПОДОБНЫХ АГРЕГАТОВ СУПЕРПАРАМАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ НА ИХ МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА

Чемезова Е.А., Соловьева А.Ю., Елфимова Е.А.

Уральский федеральный университет, 620000, Екатеринбург, проспект Ленина, 51,
e-mail: Chemezova.Ekaterina@urfu.ru

Магнитные наночастицы являются перспективным инструментом в таких областях биомедицины, как тканевая инженерия, магнитная гипертермия, адресная доставка лекарств. Попадая в клетки, магнитные наночастицы образуют внутри них агрегаты, в том числе и фракталоподобной структуры. Строение этих агрегатов существенно влияет на их отклик на внешнее магнитное поле, что делает прогнозирование такого поведения важной задачей для развития биомедицинских методов.

В данной работе рассматривалось формирование серий фракталоподобных кластеров с использованием двух различных алгоритмов. Первый алгоритм генерировал вытянутые кластеры. Было построено две серии по 10 кластеров, каждая из которых содержала по 32 наночастицы. Фрактальная размерность кластеров первой серии составляла 1.5, второй — 1.8. Второй алгоритм позволил сформировать сфероподобные кластеры. В этом случае было создано три серии по 20 кластеров: две из них обладали теми же характеристиками, что и кластеры, построенные первым алгоритмом (фрактальные размерности 1.5 и 1.8, по 32 частицы в каждом), а третья серия включала более плотные кластеры с фрактальной размерностью 2.2 (также по 32 частицы).

Каждой наночастице был присвоен единичный вектор магнитного момента. С использованием метода Монте-Карло была рассчитана намагниченность кластеров. Предполагалось, что магнитные моменты релаксируют по неелевскому механизму, и все наночастицы взаимодействуют друг с другом.

В результате работы были найдены закономерности влияния алгоритма сборки кластеров и их фрактальной размерности на намагниченность; произведено сравнение с намагниченностью кубической решетки, содержащей то же количество наночастиц; сделаны выводы относительно анизотропности рассматриваемых структур.

Работа выполнение при поддержке Российского научного фонда, грант № 24-72-00115.

ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ СМЕШИВАЮЩИХСЯ КАПЕЛЬ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ В ПЛОСКОМ СЛОЕ В ОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Чернышов А.В., Закинян А.Р.

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
355017, Ставрополь, ул. Пушкина 1,
e-mail: andreyrwm@gmail.com

Исследовано влияние однородного стационарного поля на динамику движения капель магнитной жидкости в окружающей жидкости внутри ячейки Хеле-Шоу. Выявлены закономерности влияния ориентации внешнего магнитного поля на характер движения капли и количество распадов.

Была проведена серия экспериментов для исследования поведения падающих капель ферромагнитной жидкости в жидкой немагнитной среде под воздействием внешнего однородного магнитного поля различной конфигурации.

Было выявлено, что при падении капли магнитной жидкости диаметром 5 мм в слое 0.1 мм в керосине без действия внешнего магнитного поля капля распадается каскадно с образованием множества более мелких капель, из-за межфазного натяжения на границе капли с внешней средой. В вертикальном магнитном поле до 10 кА/м количество распадов уменьшается за счет увеличения диффузионного фронта отдельных капель. В полях, напряженность больше 10 кА/м капля движется почти единым целым, вытягиваясь вдоль направления магнитного поля.

В горизонтальном магнитном поле, направленном вдоль плоскости ячейки капля движется единым объемом без распадов, постепенно расширяясь в горизонтальном направлении за счет диффузии в окружающую среду.

В горизонтальном магнитном поле, направленном перпендикулярно плоскости ячейки, капля движется единым объемом без распадов, постепенно расширяясь в горизонтальном направлении за счет диффузии в окружающую среду.

Литература

1. Garcimartín, H. L. Mancini, C. Pérez-García., *Europhysics Letters*, 1992, 19, 171.
2. Clément Toupoint, Sylvain Joubaud, Bruce R., *Phys. Rev. Fluids*, 2021, 6, 10.
3. M. S. Krakov, A. V. Chernyshov, A. R. Zakinyan; *Physics of Fluids*, 2025; 37, 033301.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания вузам в сфере научной деятельности (проект FSRN-2023-0006).

НЕВЗАИМНЫЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ

Кожевников В.М., Ларионов Ю.А., Чуенкова И.Ю.

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»
355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1
e-mail: vmk1952@mail.ru

Невзаимный эффект Холла наблюдался в микроструктуре, состоящей из текстурированных наночастиц платины на кремниевом полупроводнике. Когда через микроструктуру проходил ток, было обнаружено напряжение Холла даже без магнитного поля, пропорциональное квадрату силы тока[1].

Исследование электропроводности структурированной магнитной жидкости (МЖ) в магнитном и электрическом полях проводилось на установке (рис. 1). Перпендикулярно направлению электрического поля и измерительным электродам создавалось постоянное однородное магнитное поле. Полученные зависимости токов между электродами 1 и 2 свидетельствовали о непосредственном влиянии объемных структурных образований на электропроводность МЖ в электрических и магнитных полях (рис. 2). Наличие тока на измерительных электродах без магнитного поля свидетельствовало о неоднородностях в объеме МЖ, что приводило к возникновению эффекта в МЖ, аналогичного невзаимному эффекту Холла. Воздействие магнитного поля увеличивало неоднородности, причем в полях выше 150 кА/м уменьшало неоднородность распределения плотности тока.

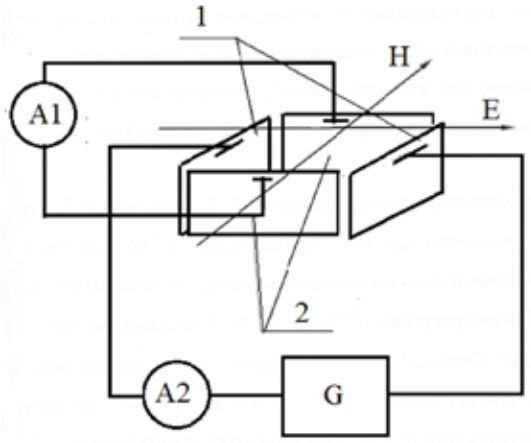


Рисунок 1. Схема установки: где 1 – электроды для создания постоянного электрического поля, 2 – измерительные электроды

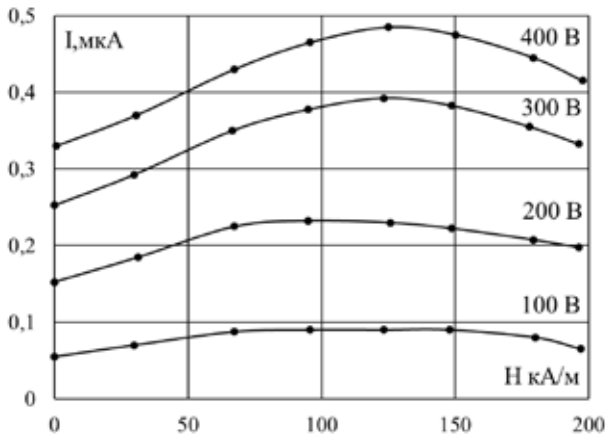


Рисунок 2. Ток, протекающий через измерительные электроды

Литература
1. Ludjin Min, Zhiqiang Mao Nature Materials and others, 2024, 10, 1038.

ЗАОЧНЫЕ ДОКЛАДЫ

СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ КАК КАТАЛИЗАТОРЫ ОТВЕРЖДЕНИЯ ЭПОКСИ-БЕНЗОКСАЗИНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Амирова Л.М., Никитин В.С., Журавлева Ю.И., Амиров Р.Р.

Химический институт им. А.М. Бутлерова,
Казанский федеральный университет, 420008, Казань, ул. Кремлевская 18,
e-mail: ramirov@kpfu.ru

Полимеры на основе бензоксазинов весьма перспективны в качестве высокотемпературных связующих при изготовлении композиционных материалов. Для преодоления их недостатков (хрупкость, твердое состояние при комнатной температуре, отсутствие липкости) используют смеси бензоксазинов с другими мономерами и олигомерами, например эпоксидами, в том числе элементоорганическими. Недавно нами был разработан состав эпокси-бензоксазинового связующего, содержащего триглицидилфосфат (ТГФТ), с необходимыми для получения препрега реологическими свойствами, с хорошей липкостью препрега [1].

Дополнительной задачей оптимизации свойств связующего является снижение температуры отверждения при сохранении высоких значений температуры стеклования и механических свойств образуемой полимерной матрицы. С этой целью возможно использование различных добавок, снижающих энергию активации реакции раскрытия бензоксазинового кольца, и ускоряющих процесс. В качестве подобных катализаторов (кислот Льюиса) в настоящей работе использованы соли металлов, которые вводились в состав композиций в виде растворов в ТГФТ. Данный способ оказался наиболее удобным, позволяющим создавать в полимере необходимое (даже высокое) содержание солей редкоземельных металлов (РЗЭ) [2].

По результатам ДСК-исследования установлено, что введение солей ряда РЗЭ привело к снижению температур отверждения эпокси-бензоксазиновых композиций. С использованием известных подходов определены кинетические параметры реакций отверждения. Изучены механические и теплофизические характеристики полученных полимеров. Оптимизированы технологические режимы процесса отверждения, обеспечивающие получение полимеров с высокой теплостойкостью.

Литература

1. Амиров Р.Р. с соавт. Изв. ВУЗов. Авиационная техника. 2024. № 2. 172.
2. Amirov R.R., et.al. Materials Today Chemistry. 2023. Article number 101464.

Работа выполнена за счет средств проекта № FZSM-2023-0018 государственного задания.

ВЛИЯНИЕ БИС-ГЕТАРИЛГИДРАЗОНОВЫХ ЛИГАНДНЫХ СИСТЕМ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КОМПЛЕКСОВ КОБАЛЬТА С 2,6-ДИАЦЕТИЛПИРИДИНОМ

Андреева А.С., Туполова Ю.П., Щербаков И.Н., Попов Л.Д.

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 7,
anaeva2580@gmail.com

Исследовано влияние природы гетероциклических фрагментов на магнитные характеристики комплексов гептакоординированного кобальта(II) с бис-гетарилгидразонами 2,6-диацетилпиридина. В качестве гетероциклических фрагментов использованы хинолин, бензимидазол и диметилпиримидин. Комплексы имеют состав $[Co(H_2L)(X)(Y)]$ и характеризуются пентагонально бипирамидальным строением координационного полиэдра, что подтверждено методом рентгеноструктурного анализа.

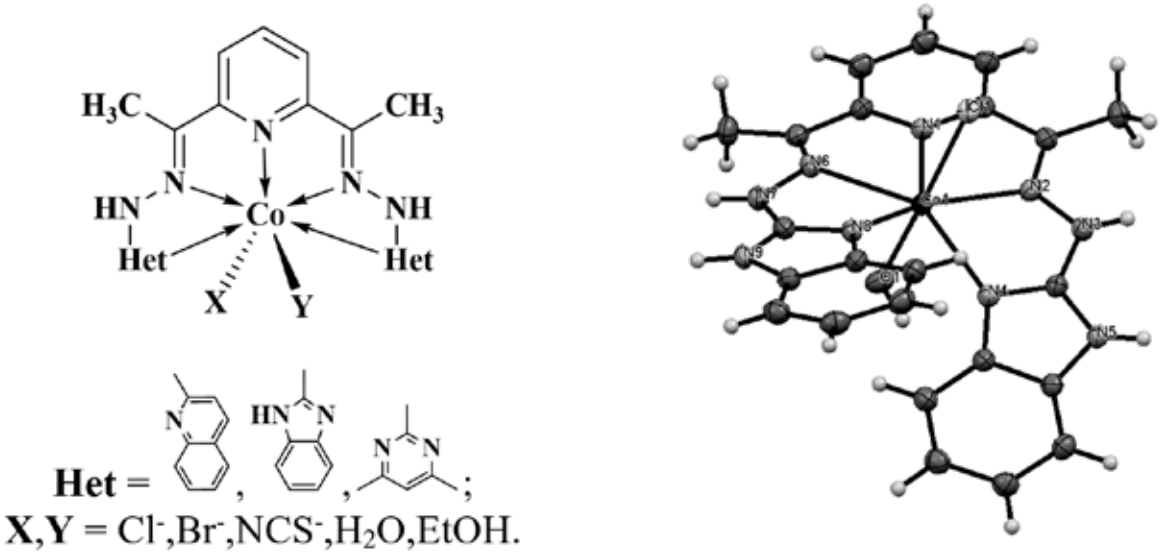


Рисунок 1. Структура комплекса 1.

Магнетохимические исследования показали, что все соединения являются высокоспиновыми и характеризуются выраженной магнитной анизотропией. Оценка параметров расщепления в нулевом поле (ZFS – zero field splitting) была проведена с использованием метода полного активного пространства CASSCF в базисе def2-TZVP. Согласно расчетам, определяющее влияние на значение параметра D оказывают ацидолиганды. Наибольшее значение D зафиксировано для комплексов с $X = Cl^-$, тогда как комплексы с $X = NCS^-$ демонстрируют промежуточные значения, а введение молекулы воды в качестве ацидолиганда приводит к минимальному значению параметра. Полученный диапазон значений D (11,5–39,3 $см^{-1}$) оказался ниже по сравнению с аналогичными комплексами на основе семи- и тиосемикарбазонов 2,6-диацетилпиридина.

SN-ЗАМЕЩЕННЫЕ АПАТИТЫ КАК ОСНОВА СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Болховская Т.Д., Буланов Е.Н.

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
603022, г.Нижний Новгород, пр.Гагарина, 23,
e-mail: bolkhovskyat@gmail.com

Повышенная чувствительность дентина — распространённая стоматологическая проблема, вызывающая значительное снижение качества жизни пациентов[1]. Клинически доказана эффективность применения двухвалентного олова для снижении чувствительности зубов за счет обтурации дентинных канальцев и образования кислоторезистентного слоя на поверхности эмали[2].

Гидроксиапатит (ГАП), являющийся основным минеральным компонентом зубов, широко используется в реминерализующих составах[3]. Включение олова в структуру ГАП может обеспечить не только кратковременное снижение чувствительности, но и долгосрочный эффект за счет стабилизации минеральной матрицы и формирования устойчивого защитного слоя.

В рамках исследования методом твердофазного синтеза был получен Sn-модифицированный гидроксиапатит $Ca_{10-x}Sn_x(PO_4)_6(OH)_2$ (x = 1–3) посредством изоморфного замещения катионов Ca^{2+} на Sn^{2+} в условиях контролируемого катионного обмена.

Анализ рентгенограммы образца $Ca_9Sn(PO_4)_6(OH)_2$ демонстрирует характерные рефлексы апатитовой структуры, включая интенсивный пик при $2\theta \approx 31.8°$, в ожидаемых положениях, что подтверждает сохранение кристаллической решетки гидроксиапатита. Наблюдаемое смещение пиков в меньшие углы 2θ указывает на увеличение параметров элементарной ячейки вследствие изоморфного замещения Ca^{2+} на более крупный Sn^{2+}. Образец является полностью кристаллическим, без аморфной составляющей, что свидетельствует об успешном синтезе Sn-модифицированного апатита.

Литература

1.Santos P.S. Dentin hypersensitivity and toothache among patients diagnosed with Molar-Incisor Hypomineralization: A systematic review and meta-analysis // Journal of Dentistry, 2024, Vol. 145, P. 104981.
2. El-Damanhoury H.M., Dentinal Tubule Occlusion and Dentin Permeability Efficacy of Silver Diamine Fluoride Solutions // International Journal of Dental Hygiene, 2024, P. idh.12854.
3. Ivette Guanipa Ortiz M. Remineralizing effect of the association of nano-hydroxyapatite and fluoride in the treatment of initial lesions of the enamel: A systematic review // Journal of Dentistry, 2024, Vol. 145, P. 104973.

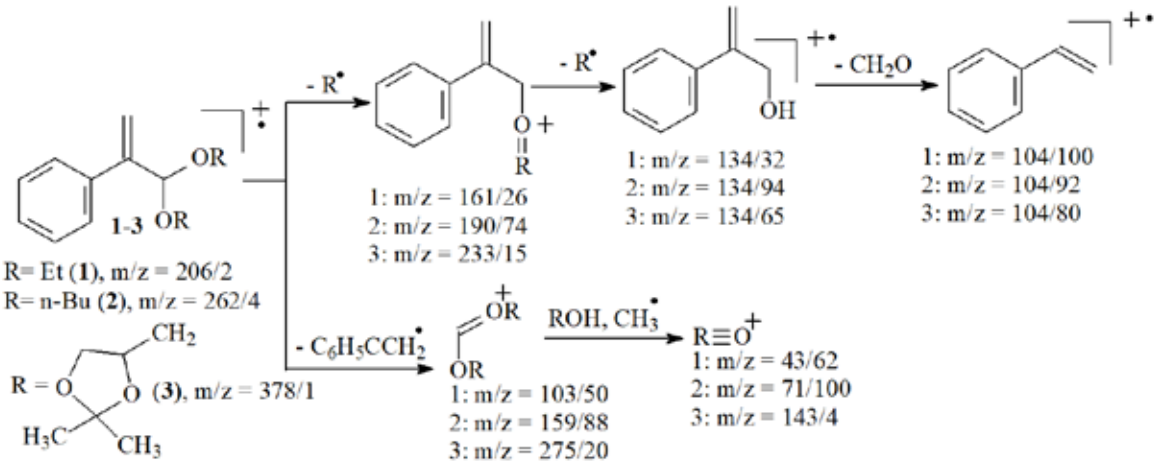
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЦЕТАЛЕЙ *a*-ФЕНИЛАКРОЛЕИНА МЕТОДОМ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

Борисова Ю.Г., Войнов В.А., Раскильдина Г.З.

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
450064, Уфа, ул. Космонавтов 1
**E-mail: yulianna_borisova@mail.ru*

Ранее[1] методом ЯМР была изучена конформационная предпочтительность диацеталя в различных растворителях. Продолжая исследования в области физико-химических свойств 1,3-диоксациклоалканов, методом хромато-масс-спектрометрии было изучено строение ацеталей *a*-фенилакролеина, полученных по известной методике[2].

В масс-спектрах синтезированных олефинов **1-3** обнаружены пики молекулярных ионов, интенсивность которых не превышает 5%.



Основное направление распада **1-3** связано с выбросом из молекулярных ионов M^+ ацетального фрагмента. Максимальной интенсивностью (100 %) для олефина **1** обладает ион с массой 104, для вещества **2** – ион с массой 71, для производного 2,2-диметил-4-оксиметил-1,3-диоксолана **3** – 77 ($C_6H_5^+$). Фрагментограмма и характер распада молекулярных ионов M^+ согласуется с приводимыми нами ранее результатами для аналогичного ряда соединений[3].

Литература
1. Raskil'dina G.Z., Zlotskii S.S. *Russ. J. Org. Chem.,* 2024, **60**, 2, 198-205.
2. Мусин А.И., Раскильдина Г.З., Злотский С.С. *Изв. вузов. Химия и хим. технология,* 2024, **67**, 1, 15-21.
3. Raskil'dina G.Z., Musin A.I., Zlotskii S.S. *Russ. J. Gen. Chem.,* 2021, **91**, 4, 596-601.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России в сфере научной деятельности, номер для публикаций FEUR — 2025-0001 «Нефтехимические реагенты, добавки и материалы».

СТРОЕНИЕ И ЦИТОТОКСИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСОВ Cu(II) ОСНОВЕ *БИС*-ГЕТАРИЛГИДРАЗОНОВ ДИАЦЕТИЛА И АЦЕНАФТЕНХИНОНА: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Домченков А.Д., Капустина А.А., Туполова Ю.П., Попов Л.Д., Каймакан Э.Б., Четверикова В.А., Щербаков И.Н.

Южный Федеральный университет 344006, Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42.
e-mail: domchenkov@sfedu.ru

Для исследования влияния электронного и пространственного строения комплексов на их цитотоксическую активность были синтезированы новые *бис*-гетарилгидразоны – продукты конденсации 2-гидразинохинолина и 1-гидразинофталазина с диацетилом ($H_2L_a^1$, $H_2L_a^2$) и аценафтенхиноном ($H_2L_b^3$, $H_2L_b^4$) соответственно. Показано, что при взаимодействии нитрата и перхлората Cu(II) с *бис*-гетарилгидразонами диацетила образуются биядерные комплексы состава $[Cu_2(H_2L_a)_2](X)_2$, в то время как с *бис*-гетарилгидразонами аценафтенхинона были получены моноядерные металлохелаты с общей формулой $[Cu(HL_b)C_2H_5OH]X$ (X = ClO_4^-, NO_3^-). С галогенидами меди в обоих случаях образуются моноядерные комплексы нессиметричного строения состава $[Cu(H_2L_a)Y_2]$ и $[Cu(H_2L_b)Y]Y$ (Y = Cl^-, Br^-) соответственно. Кристаллические структуры комплексов $[Cu_2(H_2L_a^1)_2](ClO_4)_2$ и $[Cu(H_2L_b^4)Cl]Cl$ показаны на рисунках 1 и 2 соответственно.

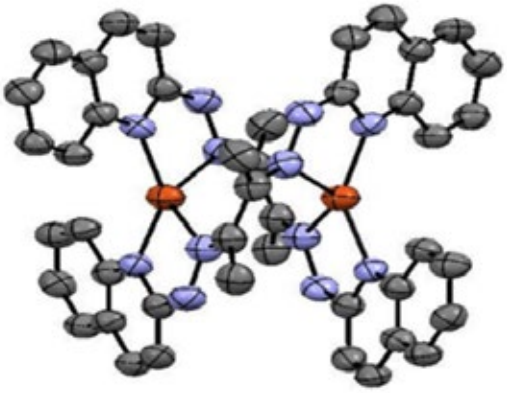


Рисунок 1. Молекулярное строение комплекса $[Cu_2(H_2L_a^1)_2](ClO_4)_2$

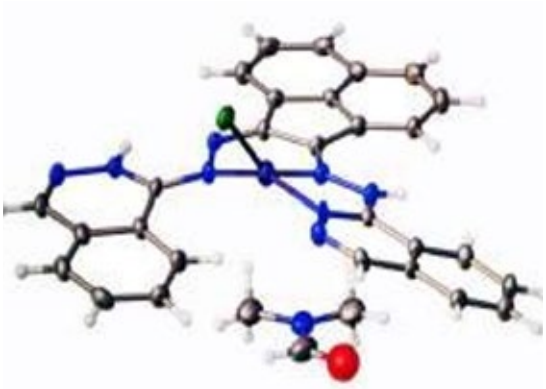


Рисунок 2. Молекулярное строение комплекса $[Cu(H_2L_b^4)Cl]Cl$

Цитотоксические свойства полученных соединений были исследованы in vitro. Показано, что бис-гетарилгидразоны активностью не обладают, в то время как все комплексы проявили высокую токсичность по отношению к линиям раковых клеток Hep-2 и HepG2. Для интерпретации полученных результатов были проведены исследования in silico. В качестве биологической мишени был выбран белок VEGFR-2 (PDB: 4ASD). Полученные энергии связывания комплексов с белком хорошо согласуются с цитотоксическими испытаниями.

СИНТЕЗ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ AlGaPSbAs ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Лунин Л.С.,[а,б] Лунина М.Л.,[б] Донская А.В.[а]

[а]Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова, 346428, Новочеркасск, улица Просвещения 132,
e-mail: alina_donskaya.8@mail.ru
[б]Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской Академии Наук, 344006, Ростов-на-Дону, проспект Чехова, 41

Перспективным направлением развития солнечной энергетики является поиск новых материалов для фотоэлектрических преобразователей (ФЭП). ФЭП на основе многокомпонентных твердых растворов имеют наибольшую эффективность преобразования солнечного излучения по сравнению с другими аналогами[1].

Гетероструктуры AlGaPSbAs/InAs получали методом градиентной жидкофазной эпитаксии при следующих параметрах процесса: температура 900 K, градиент температуры 20 K/см, толщина жидкой зоны 180 мкм.

Твердый раствор AlGaPSbAs при различном составе может являться прямозонным и непрямозонным полупроводником, что способствует расширению области применения согласованных по периодам кристаллических решеток (a) и коэффициентам термического расширения гетероструктур AlGaPSbAs/InAs с шириной запрещенной зоны (E_g) в диапазоне 0,72–2,20 эВ. Согласование по периодам решеток между слоем и подложкой достигается при малых концентрациях фосфора и мышьяка, поэтому состав твердой фазы определили, как $Al_{0,18}Ga_{0,82}P_{0,03}Sb_{0,92}As_{0,05}$. Отметим, что допустимое содержание P не превышает 0,1 мол. доли, а напряжения в гетеросистеме, вызванные рассогласованием по a менее чем 0,1%, способствуют сужению области несмешиваемости рассматриваемого твердого раствора.

ФЭП на основе $Al_{0,18}Ga_{0,82}P_{0,03}Sb_{0,92}As_{0,05}$/InAs способен преобразовывать излучение в среднем и ближнем ИК-диапазоне длин волн 800–3200 нм. Добавление широкозонного окна AlInP позволяет расширить интервал длин волн поглощаемого ФЭП света, в сторону меньших длин волн до 500 нм.

Литература

1. Лозовский В.Н., Лунин Л.С., Попов В.П. Зонная перекристаллизация градиентом температуры полупроводниковых материалов. – М.: Металлургия, 1987. – 232 с.

Работа выполнена в рамках государственных заданий ФИЦ ЮНЦ РАН №122020100254-3, ФИЦ ЮНЦ РАН №122020100326-7, а также в рамках инициативной НИР ЮРГПУ(НПИ) №ПЗ-392.

СТРОЕНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДИФФУЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ

Киселевич А.Г.[а,б], **Соснов Е.А.**[а]

[а]*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), 190013, Санкт-Петербург, Московский пр. 26*
[б]*АО «НИИ «Феррит-Домен», 196084, Санкт-Петербург, Цветочная ул. 25*
e-mail: anastasia.kiselevich@yandex.ru

Одним из важных факторов, определяющих сорбционные, каталитические и другие функциональные свойства твердых тел, являются их строение и фазовый состав. Учитывая существенную роль поверхности в физико-химических процессах, представляется важным идентифицировать не только структуру объемной фазы, но и строение ее поверхностного слоя. Эффективным методом, позволяющим оценить координационное состояние атомов на поверхности твердофазных материалов, является электронная спектроскопия диффузного отражения (ЭСДО) в ультрафиолетовой и видимой области спектра. Учитывая глубину проникновения в твердофазные объекты излучения указанного диапазона, метод позволяет проводить идентификацию состава поверхностного слоя толщиной не более 1,5-2 нм[1].

Исследование осуществляли на наноразмерном ZrO_2, полученным аммиачным осаждением из раствора $ZrO(NO_3)_2$, подвергнутым термообработке в диапазоне температур 500-1300°С, что обусловлено необходимостью завершения фазовых превращений исходного аморфного гидратированного диоксида циркония и удаления всех форм воды. Фазовый состав контролировали методом РФА. Спектры ЭСДО получены на спектрофотометре Specord M40 (Carl Zeiss, Германия) с фотометрическим шаром в диапазоне 220-700 нм с шагом 1 нм. Полученные спектры в области границы фундаментального поглощения были разделены на составляющие, описываемые распределением Ферми-Дирака[2].

Определены координационное строение приповерхностного слоя формирующейся в этих условиях моноклинной фазы ZrO_2 и спектральные проявления образования дефектов на поверхности материала; предложены схемы зонной структуры моноклинной модификации ZrO_2.

Литература
1. Малков А.А., Кукушкина Ю.А., Соснов Е.А., Малыгин А.А. *Неорганические материалы*, 2020, **56**(12), 1303.
2. Соснов Е.А., Малков А.А., Малыгин А.А. *Журнал физической химии*, 2009, **83**(4), 746.

Работа выполнена с использованием оборудования Первого всероссийского Инжинирингового центра технологии молекулярного наслаивания СПбГТИ(ТУ).

ИОННАЯ ОБРАБОТКА ОПТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Купцов А.Д.,[а] Сидорова С.В.,[а] Минкин А.М.,[б,в] Медведева Н.А.[в]

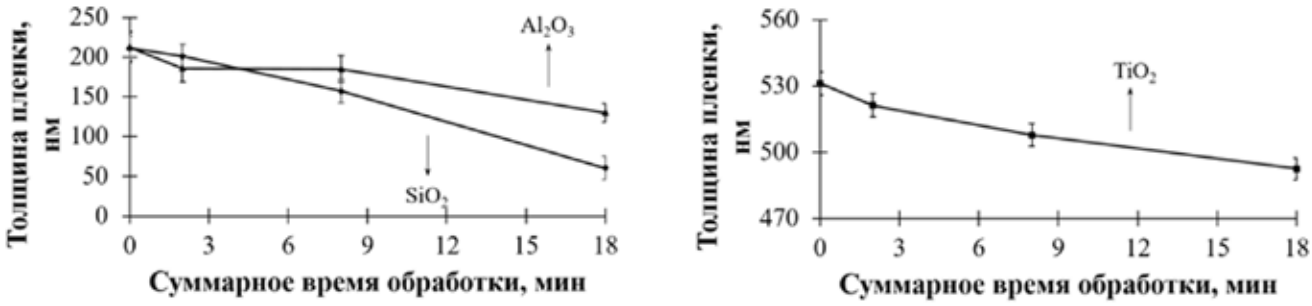
[а]МГТУ имени Н.Э. Баумана, 105005, Москва, 2-я Бауманская улица, 5.с1,
e-mail: alex-kouptsov@bmstu.ru
[б]ПАО «ПНППК», 614002, г. Пермь, ул.25 Октября, 105
[в]ФГАОУ ВО ПГНИУ, 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Для управления световыми потоками и оптимизации оптических свойств используются многослойные структуры, состоящие из тонких пленок TiO_2, Al_2O_3 и SiO_2. Ионная обработка аргоном позволяет создавать элементы с заданной формой, улучшает адгезию слоев и снижает механические напряжения в этих структурах.

Современное оборудование для травления пленок имеет зону обработки до 500 кв.см и скорости от 50 до 135 нм/мин[1] при мощности от 500 до 800 Вт. Оборудование МВТУ-11-1МС в МГТУ им. Н.Э. Баумана позволяет проводить ионную обработку при мощности разряда 90 Вт, обеспечивая малую скорость распыления и сохраняя возможность воздействия на поверхность пленок без вреда для их оптических свойств.

Целью работы является оценка скоростей травления покрытий TiO_2, Al_2O_3 и SiO_2 методом ионной обработки в среде аргона.

Проведены исследования травления тонкопленочных покрытий оксидов толщинами до 1 мкм. Кинетические кривые травления покрытий представлены на Рисунке.



а) б)

Зависимость толщины покрытий Al_2O_3, SiO_2 (а) и TiO_2 (б) от времени ионной обработки.

Скорость уменьшения толщины покрытия при ионной обработке для TiO_2 и SiO_2 составляет 1–5 нм/мин. В отличие от них, для Al_2O_3 наблюдается более широкий диапазон скоростей (0–13 нм/мин), что может быть обусловлено первоначальным уплотнением поверхностного слоя пленки, после которого начинается процесс распыления.

Литература

1. Kim, D.-P., Yeo, J.-W., & Kim, C.-I. (2004). Etching properties of Al2O3 films in inductively coupled plasma. Thin Solid Films, 459(1-2), 122–126. doi:10.1016/j.tsf.2003.12.113.

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДОПОЛИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИИ СТРУКТУРНОГО СОВЕРШЕНСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК ФЕРРИТ-ГРАНАТОВ

Максимов Г.С., **Стругацкий М.Б., Максимова Е.М.**

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
295007, Симферополь, проспект Академика Вернадского 4,
e-mail: neondreamer00@gmail.com

Широкое практическое применение феррит-гранатовых пленок, выращенных на подложках из граната, предъявляют особые требования к совершенству их кристаллической структуры. Наряду с основным критерием качества эпитаксиальных пленок – параметром несоответствия размеров элементарных ячеек пленки и подложки:$\Delta a=_{апленки} - a_{подложки}$, важными показателями их кристаллического совершенства являются области когерентного рассеяния (ОКР) и микродеформации[1,2].

Поскольку к появлению в пленке напряжений, в пределе релаксирующих с образованием дислокаций, приводит также разница в коэффициентах теплового расширения (КТР) пленки и подложки, в работе изучены зависимости всех перечисленных характеристик структуры от температуры.

Исследования феррит-гранатовых пленок разного химического состава и толщины, выращенных на немагнитных гранатовых подложках кристаллографической ориентации (111), проводились методом рентгеноструктурного анализа на рентгеновском дифрактометре Shimadzu с использованием низкотемпературной камеры Anton Paar TTK-450. Съемка проходила в медном (Cu) K_{α}-излучении с использованием графитового монохроматора и Si в качестве внешнего стандарта, с шагом по углу съемки 0,02 °.

Показано, что для каждой пленки существуют температурные интервалы, где наблюдается наиболее заметные изменения в кристаллической структуре образцов, соответствующие максимальному расхождению параметров несоответствия и коэффициентов теплового расширения пленки и подложки. Аномалии теплового расширения на этих участках мы связываем с наличием в них температур, при которых происходит изменение магнитной структуры пленок.

Литература

1. Шаренкова Н.В., Каминский В.В., Петров С.Н. *Журнал технической физики*, 2011, **81**, 144.
2. Шаренкова Н.В., Каминский В.В., Романова М.В., Васильев Л.Н., Каменская Г.А. *Физика твердого тела,* 2008, **50**, 1158.

ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПВХ

Новиков М.А., Яковлюк Р.О., Зима С.А.

ФГБОУ «РОСБИОТЕХ», Москва
aanovikovnovikov@yandex.ru

В настоящее время электропроводящие композиции находят широкое применение в приборостроении и других отрослях. Простота и дешевизна производства таких материалов поможет значительно снизить расходы при создании электроники и заменить провода содерщажие большое количество металла.

Для усиления электропроводящих свойств полимеров, используют способы химической модификации (легирование) за счет реакции полимера с донорами или акцепторами легирующих примесей[1]

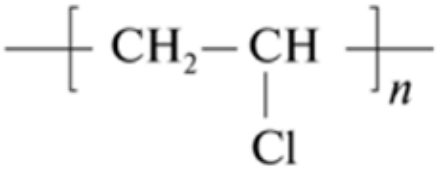


Рисунок 1. Структурное строение ПВХ

ПВХ-Полимер с высокими физико-механическими показателями.

Термоусадочные пленки ПВХ широко используются для упаковки различной продукции. Данные пленки обладают высокими прочностными показателями, прозрачны, проницаемы для света. Поэтому представляет практический интерес изучение свойств этих пленок и областей их применения.[2]

Электрическая проводимость может осуществляться посредством движения как электронов, так и ионов.[3]

Литература
1. Лачинов А.Н., Воробъева Н.В. Электроника тонких слоев широкозонных полимеров // УФН, 2006. № 17. С. 1249-1266.
2. Доцент В.А Седых//профессор А.В Жучков//Технические свойства упаковочных пленок на основе ПВХ // Фундаментальная и прикладная химия химическая технология.
3. Блайт А., Блур Д. Электрические свойства полимеров. М.: Физматлит, 2008

МАГНИТНЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ СОРБЕНТЫ *$ZnFe_2O_4$/ОСАДОК СТОЧНЫХ ВОД* ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ МЕДИ ИЗ ВОДНОЙ СРЕДЫ

Томина Е.В., Новикова Л.А., Молчанова О.Н., Жужукин К.В.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», 394087, Воронеж, Тимирязева 8,
e-mail: yonk@mail.ru

Сорбционные материалы с магнитными свойствами востребованы в промышленных технологиях очистки воды благодаря способности к магнитной сепарации [1, 2]. Целью работы явилось создание композитных сорбентов на основе осадка сточных вод и наночастиц феррита цинка и оценка их сорбционной способности к ионам меди в водной среде.

Образцы новых композитов (U-16F) получены из углеродных материалов (U) - продуктов пиролиза осадка сточных вод (ОСВ, 6 час при 600 °С) и 16 мас. % наночастиц феррита цинка, $ZnFe_2O_4$ (40-80 нм), синтезированных методом цитратного горения [2]. Химический состав образцов по данным рентгеноспектрального анализа характеризуется увеличением мольного соотношения О/С от 0,51 (U) до 1,73 (U-16F). Сорбция ионов Cu^{2+} изучена в водных растворах 0,01 н $CuSO_4$ (соотношение сорбент/раствор=1:100, t=20 °С) при времени сорбции 10-240 мин. Количественный анализ растворов осуществляли фотоколориметрическим методом. Обнаружено установление равновесия сорбции ионов Cu^{2+} в течение 240 (U), 180 (U-16F) и 120 (F) мин, при этом сорбционная емкость составила 94, 149 и 168 (F) мг/г соответственно. Степень извлечения ионов меди из раствора достигла 46 (U), 74 (U-16F) и 82 (F) %, а при введении большей массы сорбента повысилась до 99-100 %. Поверхность $ZnFe_2O_4$ имеет повышенное сродство к ионам Cu^{2+}. Композитный сорбент легко извлекается из водной среды действием Nd-магнита для регенерации и повторного использования.

Литература

1. Новикова Л.А. Томина Е.В., Молчанова О.Н., Жукова Е.А., Дорошенко А.В. Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. *Всероссийский симпозиум с международным участием* «Адсорбенты и промышленные адсорбционные процессы в XXI веке», 24 сентября 2024, РХТУ, Москва, том XXXVIII, № 3 (282). – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2024. с. 67-69.

2. Новикова, Л. А., Томина, Е. В., Молчанова, О. Н., Жукова, Е. А., Дорошенко, А. В., Тюпина, Е. А. Сорбция ионов меди из водных растворов высокодисперсными ферритами кобальта и цинка. *Сорбционные и хроматографические процессы*, 2024, (5), 695-710. https://journals.vsu.ru/sorpchrom/article/view/12509

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 23-23-00122.

ИЗУЧЕНИЕ ИЗОМОРФНЫХ ЗАМЕЩЕНИЙ В СТРУКТУРЕ ЭЛЕКТРОННО-ИОННОГО ПРОВОДНИКА $Pr_5Mo_3O_{16+\delta}$

Сидоренко А.О.,[а] **Чебышев К.А.**[б]

[а]*Донецкий государственный университет, 283001, Донецк, ул. Университетская, 24, e-mail: zhegailoalisa@mail.ru*
[б]*Северо-Кавказский федеральный университет, 355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1*

Молибдаты редкоземельных элементов известны как перспективные функциональные материалы различного назначения. Практический интерес непосредственно связан с проводящими, оптическими, люминесцентными, сегнето- и пьезоэлектрическими свойствами. Наибольший интерес представляют молибдаты празеодима и неодима, особенность которых состоит в том, что полностью окисленные составы содержат сверхстехиометрический кислород по отношению к структуре флюорита.

Изоморфные замещения в молибдате празеодима $Pr_5Mo_3O_{16+\delta}$ могут увеличить анионную составляющую проводимости за счет разупорядочения структуры. Замещение празеодима на двухвалентные и четырехвалентные элементы может повысить электронную проводимость, что позволит снизить поляризационные потери при использовании таких твердых растворов как электродных материалов среднетемпературных симметричных ТОТЭ и использовать их без гетерофазного допирования соединениями с высокой электронной проводимостью.

Образцы получали твердофазным методом из смесей оксидов металлов. Фазовый состав контролировали с помощью рентгенофазового анализа порошка после каждого прокаливания. Полученные образцы исследовали методом рентгенофазового анализа. Для определения электропроводности из порошка прессовали таблетки с добавлением 5% раствора поливинилового спирта. После просушивания на поверхность керамических таблеток наносили электроды путем вжигания серебросодержащей пасты.

Изоморфное замещение протекает в различной степени в зависимости от природы входящего в структуру элемента. Определяющее влияние на степень замещения оказывают разница электроотрицательностей и размеров замещающихся ионов.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках государственного задания «Полифункциональные материалы на основе сложнооксидных соединений редких и редкоземельных элементов» (№ госрегистрации 124012400342-7**).**

СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Pb_{6-2x}Gd_xCa_2Na_{2+x}(PO_4)_6$

Сидоренко А.О.,[а] Чебышев К.А.,[б] Игнатов А.В.[а]

[а]Донецкий государственный университет, 283001, Донецк, ул. Университетская, 24, e-mail: zhegailoalisa@mail.ru
[б]Северо-Кавказский федеральный университет, 355017, Ставрополь, ул. Пушкина, 1

Фосфат свинца-натрия, модифицированного кальцием, $Pb_6Ca_2Na_2(PO_4)_6$ имеет структуру апатита с вакансией в анионной подрешетке. Структурный тип апатита может допускать значительные изо- и гетеровалентные замещения как в катионных, так и в анионных позициях структуры. Систематические исследования изоморфных замещений в соединениях со структурой апатита нужны для того, чтобы установить факторы, которые определяют характер протекания изоморфного замещения, то есть как изменяются при этом параметры элементарной ячейки, влияет ли это на физико-химические характеристики твердых растворов.

По методике с использованием растворов («полукерамический» метод синтеза) синтезированы твердые растворы состава $Pb_{6-2x}Gd_xCa_2Na_{2+x}(PO_4)_6$. Образование твердых растворов вышеуказанного состава обусловлено протеканием в структуре апатита изоморфного гетеровалентного замещения, которое описывается следующей схемой: $2Pb^{2+} \rightarrow Gd^{3+} + Na^{+}$.

Методом рентгенофазового анализа установлен предел изоморфного замещения замещение свинца на гадолиний и натрий. Изменения параметров элементарных ячеек полученных твердых растворов подтверждают протекания замещения и согласуются с различием ионных радиусов замещающихся ионов. Методом растровой электронной микроскопии изучен элементный анализ и распределение элементов по поверхности поликристаллов. Методом ИК-спектроскопии исследованы однофазные твердые растворы. Определено влияние замещения свинца гадолинием и натрием в твердых растворах со структурой апатита на проводимость полученных образцов. Полученные результаты работы представляют собой определенный вклад в накопление экспериментальных данных о способности замещения атомов в структуре апатита, чтобы в дальнейшем установить влияние замещения на физико-химические свойства.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках государственного задания «Полифункциональные материалы на основе сложнооксидных соединений редких и редкоземельных элементов» (№ госрегистрации 124012400342-7**).**

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОДУКТОВ ОТЖИГА МНОГОКАТИОННЫХ СЛОИСТЫХ ГИДРОКСОХЛОРИДОВ РЗЭ С ВОДНО-СОЛЕВЫМИ РАСТВОРАМИ

Теплоногова М.А., Козлова А.А., Иванов В.К.

Институт общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова Российской академии наук, 119991, Москва, Ленинский проспект 31,
e-mail: ma_teplonogova@igic.ras.ru

При изучении термического разложения индивидуальных слоистых гидроксидов РЗЭ была обнаружена способность продуктов их отжига к регидратации, т.е. к восстановлению слоистой структуры исходных слоистых гидроксидов. В данной работе исследована возможность регидратации многокатионных слоистых гидроксохлоридов РЗЭ.

Отжиг многокатионных слоистых гидроксохлоридов РЗЭ проводили при 500-700 °С в течение 2 ч. Продукты отжига суспендировали в 1 М растворе NaCl; суспензию выдерживали при постоянном перемешивании 24 ч.

Согласно результатам рентгенофазового анализа, в результате отжига при 700 °С получены оксиды РЗЭ. После взаимодействия полученных оксидов с растворами NaCl изменений на дифрактограммах не обнаружено, т.е. регидратация многокатионных оксидов до слоистых гидроксидов не происходит. Дифрактограммы продуктов отжига при 500 °С содержат как рефлексы оксидов РЗЭ кубической модификации, так и оксохлоридов РЗЭ тетрагональной модификации (рис. 1, а). Взаимодействие полученных продуктов с раствором NaCl не приводит к появлению рефлексов слоистых гидроксохлоридов РЗЭ (рис. 1, б), т.е. регидратации продуктов отжига многокатионных слоистых гидроксохлоридов РЗЭ не происходит.

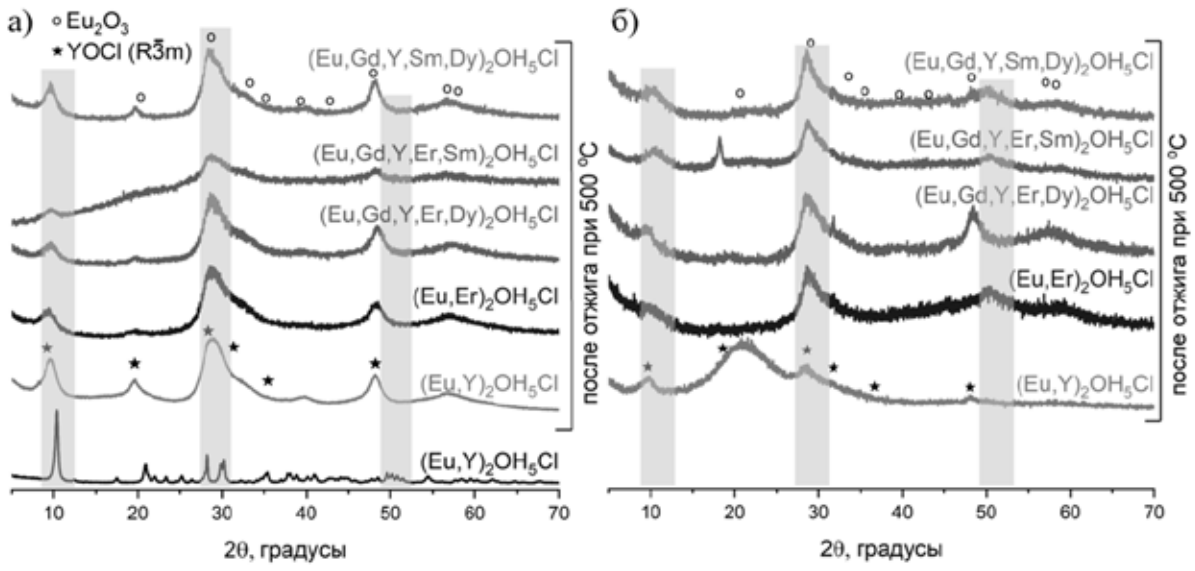


Рисунок 1. Дифрактограммы продуктов а) отжига многокатионных слоистых гидроксохлоридов РЗЭ и б) их последующего взаимодействия с 1 М раствором NaCl.

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОЛИЗА СМЕСЕЙ ПЕРРЕНАТА АММОНИЯ С КОМПЛЕКСНЫМИ АММИАКАТАМИ ПЛАТИНЫ(II) И ПАЛЛАДИЯ(II)

Фесик Е.В.,[а,б] **Гусева Е.В.**,[в] **Зыкова М.П.**[а]

[а]МИРЭА-Российский технологический университет, 119454, ЦФО,
г. Москва, проспект Вернадского, 78,
e-mail: 1707-fesik@mail.ru
[б]Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,
125047, г. Москва, Миусская пл., 9
[в]Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Респ. Татарстан, 420015, Казань, ул. Карла Маркса, 68

Огромный интерес к биметаллическим сплавам Pt(Pd)-Re стимулируется в основном потенциальными приложениями в катализе. В связи с широким использованием платины и палладия в катализе неудивительно, что достижениям в этой области уделяется большое внимание. Растет интерес к комплексам, содержащим связи Pt(Pd)-Re, благодаря использованию катализаторов Pt(Pd)-Re в риформинге нефти, которые обычно восстанавливаются перед использованием. Степень окисления Pt в восстановленных катализаторах широко признана равной нулю. Однако степень окисления Re в восстановленных катализаторах обсуждается в течение длительного времени.

В докладе обсуждаются результаты и особенности термолиза индивидуального перрената аммония, а также смесей NH_4ReO_4 с $[Pt(NH_3)_4]Cl_2$ и с $[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ в атмосфере аргона до 550°C. Результаты указывают на то, что в рассмотренных условиях и смесях Re в значительной степени восстанавливается до нулевой степени окисления, хотя некоторое количество рения находится в более высокой степени окисления.

УГОЛЬНЫЕ СОРБЕНТЫ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ АСТРАХАНСКОГО РЕГИОНА

Шакирова В.В., Садомцева О.С.

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева»,
414000, Астрахань, ул. Татищева 20-а,
e-mail: svv_2004@mail.ru

Для получения сорбентов использовали стебли хлопчатника и побеги полыни. Доступность и распространенность полыни и большие объемы отходов стеблей хлопчатника на территории Астраханского региона делают их экономически привлекательным сырьем для производства угольных сорбентов. Растительное сырье было модифицировано путем процесса карбонизации[1]. В результате экспериментального исследования были определены характеристики полученных сорбентов[2,3] (см.табл.1).

Таблица 1. Сравнительная характеристика свойств сорбентов с аналогами

Параметры	Угольные сорбенты					
	Полынь	Хлопок	Аналоги			
			Шелуха риса	Тростник	Скорлупа ореха	Уголь (акт)
Влажность, %	3,46	2,6	3,5	2,1	11,3	< 5
Насыпная плотность, г/дм^3	673,5	483,5	441,0	485,5	413,8	550
$S_{уд}$, м^2/г	396,6	586,0	589,2	230,982	237,0	около 1000

Были получены значения нефтепоглощения, для сорбента на основе хлопчатника оно составило 0,57 г/г и 0,53 г/г для сорбента на основе полыни. Аналогичный показатель активированного угля - 0,5 г/г. В ходе проведения эксперимента по определению плавучести, установлено, что только через сутки произошло оседание сорбента на примерно на 20%.

Также был проведен эксперимент по оценки, новых материалов сорбировать ионы железа (III) и свинца (II). Результаты позволили предположить, что адсорбция представляет собой хемосорбционный процесс, наблюдается одновременное формирование слабой водородной связи (хемосорбция) и Ван-дер-ваальсовых взаимодействий.

Литература

1. Дворянкин Д. Ю., Сафонова М. Е. *Леса России и хозяйство в них*. № 1, 2024. С. 171.
2. Джаббарова, Н. Э., Курбанова, Л. Н., Гасанова, М. Б. *Проблемы современной науки и образования.* №. 3 (190), 2024. С. 5.
3. Хайитов Р.Р., Наубеев Т.Х., Сапашов И.Я. *Universum: технические науки*, №.2, 2017. С. 80.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОФОРМОВАННЫХ ВОЛОКОН $Ni_xZn_{1-x}Fe_2O$

Якупов Р.П.,[а,б,в] **Бузько В.Ю.,**[а,б,в] **Сухно И.В.**[в]

[а] *Кубанский государственный университет*
350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, д. 149,
e-mail: yakupov@nano-fiber.ru
[б]*Кубанский Государственный Технологический Университет*
350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2
[в] *Кубанский Государственный Аграрный Университет*
350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Калинина, д. 13

Никель-цинковые ферриты ($Ni_xZn_{1-x}Fe_2O_4$) — перспективные материалы для высокочастотных устройств, магнитного экранирования и биомедицинского применения. Ключевой параметр их функциональности — магнитная мягкость, определяемая составом и микроструктурой. В работе исследованы волокна $Ni_xZn_{1-x}Fe_2O_4$, синтезированные методом электроформования с последующим отжигом.[1]

Магнитные свойства волокон изучены методом вибрационной магнитометрии при комнатной температуре в поле ±15 кЭ. Установлено, что коэрцитивная сила (H_a) варьируется от 24 Э для состава $Ni_{0.2}Zn_{0.8}Fe_2O_4$ до 160 Э для $NiFe_2O_4$, демонстрируя переход от мягких к жестким магнитным материалам. Намагниченность насыщения (M_s) достигает максимума 56 эме/г для образца $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$. Для $Ni_{0.8}Zn_{0.2}Fe_2O_4$ M_s составляет 52 эме/г, а для $Ni_{0.2}Zn_{0.8}Fe_2O_4$ — 19 эме/г, что отражает ключевую роль Ni^{2+} в формировании магнитного момента. Цинковый феррит $ZnFe_2O_4$ показал низкую намагниченность, подтверждая его немагнитную природу.

Практическая значимость работы заключается в выявлении аномального роста намагниченности насыщения для состава $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$. Сочетание высокой M_s 56 эме/г и умеренной H_c 58 Э делает его перспективным для применения в сферах, где необходимо управление материалом внешним магнитным полем. $NiFe_2O_4$, несмотря на высокую H_c 160 Э, уступает по M_s, что ограничивает его эффективность. Низкие параметры $ZnFe_2O_4$ не позволяют использовать его в магнитоуправляемых системах, однако высокая химическая стабильность открывает возможности для биосовместимых покрытий.

Литература

1. S. N. Ivanin, V. Yu. Buz'ko, R. P. Yakupov [et al.]. // *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 2024, **69**, 683–689.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования РФ (проект государственного задания FZEN-2023–0006).

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Аксенов А.В. 10
Аксенов Д.А. 49
Акулова А.С. 57
Амиров Р.Р. 19, 123
Ананич А.Н. 94
Андреева А.С. 124
Антипов Е.В. 11
Афанасьева А.Д. 25
Байгильдиев Т.М. 50
Балашова Ю.Е. 58
Бедин С.А 59
Бережная Т.С. 26, 69
Березовская Д.Ю. 27
Бехтерев В.Н. 43
Боженко С.А. 95
Болховская Т.Д. 125
Борисова Ю.Г. 126
Бурлов А.С. 70
Бурова Е.Б. 71
Буряк А.К. 12
Бутко П.Р. 72
Вашурин А.С. 20
Вивчарь В.И. 96
Вознесенская А.А. 73
Герке М.Н. 60
Гладких Д.В. 97
Голованова О.А. 28, 74
Грохотова Е.В. 98
Дейнеко Д.В. 29
Диканский Ю.И. 86
Добросердова А.Б. 99
Домченков А.Д. 127
Донская А.В. 128
Дроздов А.С. 30
Ежикова Е.В. 75
Елфимова Е.А. 87
Ерин К.В. 100
Еськова И.В. 101
Жуковская Е.С. 76
Закинян А.Р. 102
Зубарев А.Ю. 88
Иванов А.О. 13
Иванов А.О. 90
Иванов А.С. 89
Кабанов Р.В. 31
Казаков Ю.Б. 91
Канаев А.Ю. 55
Каралаш С.А. 51
Киселевич А.Г. 129
Коваль К.А. 32
Кондратенко Г.Н. 77
Коншина Дж.Н. 44
Кочуев Д.А. 78
Кравцов А.А. 61
Краков М.С. 103
Кудрявцева А.Н. 52
Кузнецова П.Д. 33
Купцов А.Д. 130
Курьяков В.Н. 104
Лабкович О.Н. 105
Лазоряк Б.И. 14
Лапин В.А. 62
Ларионов Ю.А. 106
Левин Я.В. 34
Лисневская И.В. 21
Максимов Г.С. 131
Малявин Ф.Ф. 63
Махмутова А.А. 79
Месяцева Л.С. 107
Мкртчян В.Д. 108
Мусихин А.Ю. 109
Мусорина М.В. 64
Ненайденко В.Г. 15
Никифоров И.В. 35
Новиков М.А. 132
Осипов В.В. 16
Пермин Д.А. 65
Петров Д.А. 92
Петрова О.В. 36
Пешикова А.В. 80
Радушнов Д.И. 110
Райхер Ю.Л. 17
Решетилов К.С. 81
Родин И.А. 45
Русанов М.С. 111
Рыжков А.В. 112
Рюмин М.А. 37
Рябочкина П.А. 56
Ряполов П.А. 93
Сидоренко А.О. 134
Сидоренко А.О. 135
Симоновский А.Я. 113
Скорб Е.В. 46
Соколов Е.А. 114
Субботин И.М. 115
Супрунчук В.Е. 66
Сускина О.Д. 38
Тарала В.А. 67
Теплоногова М.А. 136
Тер-Оганесян Н.В. 22
Титков В.В. 82
Токмакова У.Д. 83
Томина Е.В. 133
Туркин С.Д. 116
Турченко В.А. 23
Тятюшкин А.Н. 117
Фесик Е.В. 137
Халуповская Л.И. 118
Хрусталев В.Н. 24
Чебышев К.А. 39
Чемезова Е.А. 119
Червонная Т.А. 53
Чернышов А.В. 120
Чуенкова И.Ю. 121
Шакирова В.В. 138
Шендрик Р.Ю. 84
Шишов А.Ю. 47
Штыков С.Н. 48
Щеглов Н.Е. 40
Щуринов Я.С. 41
Якупов Р.П. 139

НХП

НЕФТЕХИМПРОЕКТ

ООО «Научно-производственное объединение»

ВОПЛОЩАЯ ИННОВАЦИИ В РЕАЛЬНОСТЬ

Общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственное объединение «НефтеХимПроект» (ООО «НПО «НХП») – это высокотехнологичная инжиниринговая компания, оказывающая услуги в нефтяной, газовой, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности.

В течение 10 лет мы разрабатываем инновационные решения высокой сложности, которые успешно внедрены в производственные циклы ведущих нефтегазохимических и нефтеперерабатывающих предприятий России.

Мы предоставляем услуги на всех этапах реализации проектов: от научно-технических исследований и созданий базовых проектов, опытно-конструкторских разработок до комплексного проектирования, строительно-монтажных работ, авторского надзора, строительного контроля, поставок оборудования и комплектующих широкой номенклатуры, сервисного обслуживания оборудования, пусконаладочных работ.

Мы обеспечиваем нефтеперерабатывающую и нефтехимическую отрасль инновационными технологическими и инжиниринговыми решениями «под ключ». Создаем систему внедрения инновационных идей в промышленность и в серийное производство.

Наши главные ценности – это наши люди, наш опыт, наши инновационные идеи, наши технологии, наши отношения с заказчиками. Наша команда — это группа высококвалифицированных научно-исследовательских и инженерно-технических специалистов.

Канал в Telegram

hetchem.ru