

**Темы научно исследовательских работ
для студентов 2 курса специалитета химического факультета
на кафедре неорганической химии в осеннем семестре 2024-2025 учебного года**

1. Создание биорезорбируемых композитных скаффолдов на основе термопластичных полимеров, наполненных фосфатами кальция, для регенерации костной ткани. Руководители: к.х.н., доц. Путляев В.И., асп. Голубчиков Д.О., лаб.449, valery.putlayev@gmail.com, лаборатория Неорганического материаловедения.

В рамках данной темы предполагается исследовать условия синтеза неорганического наполнителя композитных скаффолдов на основе смеси аморфного фосфата кальция (АФК) и полифосфатов кальция-магния-натрия. Будет проведено экспериментальное уточнение фазовой диаграммы $\text{Ca}(\text{PO}_3)_2\text{-Mg}(\text{PO}_3)_2\text{-NaPO}_3$, в частности, двухкомпонентной системы $\text{Ca}(\text{PO}_3)_2\text{-Mg}(\text{PO}_3)_2$. Полученный наполнитель предполагается использовать для создания макропористого композитного имплантата из фотоотверждаемого акрирированного полиэфира методом стереолитографической 3D печати. Кроме того, из данного наполнителя будет изготовлена плотная модельная керамика и исследованы ее физико-химические свойства (прочность, поведение в средах, моделирующих биологические жидкости), а также запланированы клеточные эксперименты *in vitro* для оценки медико-биологических свойств и разработка рекомендаций для экспериментов по имплантации малым лабораторным животным.

2. Синтез фосфатов магния в неводных растворителях, их физико-химическое исследование, для создания биорезорбируемых остеокондуктивных высокопористых керамических материалов с повышенной прочностью методами 3D-печати. Руководитель: к.х.н., н.с., преп. Климашина Е.С. esklimashina@gmail.com, к.х.н., ст.н.с., доц. Филиппов Я.Ю. filippovya@gmail.com, ком. 449, лаборатория Неорганического материаловедения.

Будут разработаны и исследованы условия синтеза фосфатов магния заданного состава осаждением из неводных растворителей (этиленгликоль, этиловый спирт) варьированием концентрации исходных реагентов, температуры и времени реакции. Будут подобраны условия получения (керамического) материала. Будет изготовлена плотная керамика для исследования физико-химических свойств (прочность, поведение в средах, моделирующих биологические жидкости) и, в дальнейшем, прототипы имплантатов методом стереолитографической 3D печати для последующих медико-биологических исследований.

3. Золь-гель синтез фосфатов магния для биомедицинских применений. Руководитель: к.х.н., н.с., преп. Климашина Е.С. esklimashina@gmail.com, ком. 449, лаборатория Неорганического материаловедения.

Будет исследована принципиальная возможность синтеза фосфатов магния (орто-, пирофосфатов) заданного состава золь-гель методом для создания биорезорбируемых остеокондуктивных материалов. Будут исследованы физико-химические свойства получаемых порошков, изготовлены керамические материалы из них. Синтез порошков фосфатов магния золь-гель методом является альтернативой классическому растворному методу синтеза ортофосфата магния, так как, например, может приводить к инконгруэнтному осаждению, что более перспективно, чем в случае хорошо отработанного синтеза фосфатов кальция, где происходит осаждение гидроксипатита кальция.

4. Остеоиндуктивная керамика сложного состава на основе глазеритоподобных фаз для костно-тканевой инженерии.

Руководители: к.х.н., н.с. Евдокимов П.В. (Pavel.Evdokimov@gmail.com), асп. Леонтьев Н.В., к. 449, лаборатория Неорганического материаловедения.

В рамках темы предполагается разработка методов синтеза глазеритоподобных соединений $X^{[6+6]}Y_2^{[4+6]}M^{[6]}(TO_4)_2$, где в качестве элементов одновременно присутствуют $T = P, Si, Ge$; $M = Ca, Mg, Na, Mn, Fe, Co, Cu, Zn$; $X, Y = Ca, Na, K, Sr, Ba$; в виде порошков с субмикронным размером кристаллов. Предполагается корректировка и построение некоторых фазовых диаграмм. Будут исследованы условия получения из данных порошков биокерамики различной плотности (в том числе, пенообразных пористых имплантатов методами 3D печати). Будет исследовано поведение такой керамики в растворах, моделирующих биологические жидкости с различным рН, а также клеточные эксперименты *in vitro* для оценки медико-биологических свойств и рекомендаций для экспериментов по имплантации малым лабораторным животным.

5. Синтез и исследование стеклокерамических материалов с апконверсионными свойствами. Руководитель: к.х.н., доцент Дроздов Андрей Анатольевич, лаб. 553, camertus@mail.ru, лаборатория Химии и физики полупроводниковых и сенсорных материалов.

6. Редокс-процессы в силикатных расплавах и их влияние на окраску исторических стекол и модельных систем. Руководитель: к.х.н., доцент Дроздов Андрей Анатольевич, лаб. 553, camertus@mail.ru, лаборатория Химии и физики полупроводниковых и сенсорных материалов.

7. Синтез соединений со структурой типа $Mg_6Cu_{16}Si_7$ в системах Mn-Co(Ni)-Si(Ge). Руководитель: к.х.н., ст. преп. Захарова Е.Ю., 460 комн., zah-elena@yandex.ru.

Соединения со структурой $Mg_6Cu_{16}Si_7$ образуются в виде микровключений при выплавке конструкционных сплавов на основе металлов второй половины 3d-ряда. Некоторые важнейшие свойства сплавов связывают с присутствием именно таких соединений. Однако свойства собственно самих соединений в чистом виде изучены в основном только для систем с Ni.

Для НИР предлагается знакомство с современными статьями по фазообразованию при получении конструкционных сплавов на основе никеля, синтез соединений со структурой типа $Mg_6Cu_{16}Si_7$ в системах Mn-Co(Ni)-Si(Ge), подтверждение строения и состава полученных фаз.

Методы синтеза: высокотемпературный ампульный синтез и искровое плазменное спекание. Методы исследования: порошковая рентгеновская дифракция и локальный рентгеноспектральный микроанализ.

8. Синтез солей щелочных металлов двухосновных карбоновых кислот, содержащих циклопропановые фрагменты. Изучение строения и свойств новых соединений.

Руководитель: доц., к.х.н. Карпова Елена Владимировна, к.454, karpova@inorg.chem.msu.ru.

9. Синтез и исследование магнитных свойств диспрозийсодержащих хромитов (III) и манганитов(III) лантана-стронция со структурой K_2NiF_4 . Руководители: проф. Казин П.Е., доц. Васильев А.В. и асп. Шарифуллин Т.Н. (несколько студентов на одну

тему). a.vasiliev@inorg.chem.msu.ru, лаборатория Неорганического материаловедения.

На текущий момент известно несколько соединений со структурой K_2NiF_4 , содержащих в своем составе диспрозий и являющихся твердотельными неорганическими моноионными магнитами. Магнитными центрами, демонстрирующими медленную релаксацию намагниченности, в данных соединениях являются ионы Dy^{3+} в позиции с анизотропией кристаллического поля. В рамках курсовой работы предлагается синтез и изучение магнитных свойств диспрозийсодержащих хромитов (III) и манганитов(III) лантана-стронция со структурой K_2NiF_4 с целью установления возможности формирования моноионных магнитов в антиферромагнитных матрицах. Методы синтеза: стандартные твердофазные методики. Методы исследования: порошковая рентгеновская дифракция, магнитометрия в постоянном и переменном магнитных полях.

10. Механохимический синтез как простой, быстрый и экологичный способ получения координационных полимеров на основе РЗЭ. Руководитель к.х.н., с.н.с. Цымбаренко Дмитрий Михайлович, лаб. 553а, лаборатория Химии координационных соединений.

Оптимизация методики получения терефталатов РЗЭ. Разработка методики получения металл-органических каркасов путём механохимической переработки бутылочного полиэтилентерефталата. Исследование продуктов синтеза комплексом современных физико-химических методов (рентгеновская дифракция порошков, полное рентгеновское рассеяние, ИК-спектроскопия).

11. Синтез гетерометаллических (Ce + Ti или Ce + Zr) оксо- и оксогидрокарбоксилатов. Руководитель к.х.н., с.н.с. Цымбаренко Дмитрий Михайлович, лаб. 553а, лаборатория Химии координационных соединений.

Синтез шестиядерных комплексов с октаэдрическим ядром M_6O_8 , в котором атомы церия частично замещены на атомы других катионов. Исследование продуктов синтеза комплексом современных физико-химических методов (рентгеновская дифракция порошков, полное рентгеновское рассеяние, ИК-спектроскопия).

12. Синтез металл-органических каркасов, исследование их свойств и строения новыми рентгеновскими методами. Руководитель к.х.н., с.н.с. Цымбаренко Дмитрий Михайлович, лаб. 553а, лаборатория Химии координационных соединений.

Координационные полимеры представляют собой соединения цепочечного, слоистого или каркасного строения. За счет анизотропии кристаллической структуры соединения обладают уникальными свойствами — аномальным коэффициентом теплового расширения, способностью к структурным фазовым переходам, что позволяет с помощью изменения температуры управлять геометрическими размерами, формой кристаллов и их свойствами (например фотолюминесценцией, диэлектрической проницаемостью и т. д.). Разработки в этой области позволят создавать, например, наносенсоры, молекулярные машины и т.д. Задача работы заключается в синтезе соединений редкоземельных элементов с органическими лигандами, выращивании монокристаллов и их исследовании с помощью политермического рентгеноструктурного анализа и полного рентгеновского рассеяния с анализом функции парного распределения.

13. Синтез полиядерных детерий-замещенных координационных соединений для нейтронных исследований. Руководитель к.х.н., с.н.с. Цымбаренко Дмитрий Михайлович, лаб. 553а, лаборатория Химии координационных соединений.

Будет разработана методика синтеза полиядерных и полимерных карбоксилатов РЗЭ, пригодных для исследований методами нейтронной дифрактометрии. Химический и изотопный состав и строение соединений будут исследованы методами рентгеновской дифракции, ИК-спектроскопии, масс-спектрометрии.

14. Получение нанокремния, легированного фосфором в тлеющем разряде. Руководитель: Дорощев Сергей Геннадиевич, внс, кхн, к.455, 458, почта: dorofeev_sg@mail.ru, лаборатория Химии и физики полупроводниковых и сенсорных материалов.

В плазмохимический реактор с низкочастотным тлеющим разрядом [1] подают силан, фосфин и водород (для управления параметрами разряда и получаемых наночастиц). Полученные наночастицы исследуют методами РФА (размер кристаллитов), ПЭМ или СЭМ (размер и форма частиц), спектроскопиями: ИК (состав поверхности, плазмонный резонанс при высоком уровне легирования), КРС (степень кристалличности, размер кристаллитов), РФЛА-ПВО (соотношение Si/P). Полученный нанокремний планируется использовать для совместного легирования при диффузионных отжигах в парах второй примеси.

Литература:

1. High-throughput low frequency reactor for non-thermal plasma synthesis of amorphous silicon nanoparticles / S. S. Bubenov, A. A. Vinokurov, I. V. Yudin et al. // *Silicon*. — 2023.

15. Рекристаллизация нанокремния в парах GeI₄. Руководитель: Дорощев Сергей Геннадиевич, внс, кхн, к.455, 458, почта: dorofeev_sg@mail.ru, лаборатория Химии и физики полупроводниковых и сенсорных материалов.

Цели работы: получить нано/микродисперсный твёрдый раствор Si-Ge и проверить возможность образования из него микростержней [1]. Навески нанокремния и GeI₄ отжигают в вакууммированных кварцевых ампулах. Варьируют температуру и соотношение n-Si/GeI₄. Полученные частицы исследуют методами РФА (изменение параметра элементарной ячейки при образовании твёрдого раствора, размер кристаллитов, обнаружение некубических фаз), ПЭМ или СЭМ (размер и форма частиц), спектроскопиями: видимой и ИК (изменение ширины запрещённой зоны при образовании твёрдого раствора), КРС (степень кристалличности, соотношение Si/Ge), РФЛА-ПВО (соотношение Si/Ge). Из полученных частиц делают золи/взвеси и накапливают плёнки. Исследуют электрические свойства плёнок в сверхвысоком вакууме и на воздухе. Если хватит времени, исследуют сенсорные свойства плёнок. В дальнейшем, в случае образования микростержней, планируется изучение электрических и оптических свойств отдельных микростержней. При отсутствии образования микростержней полученные наночастицы твёрдого раствора могут быть использованы для изготовления ИК-фотоприёмников и солнечных батарей.

Литература:

1. Recrystallization of si nanoparticles in presence of chalcogens: Improved electrical and optical properties / A. A. Vinokurov, V. M. Popelensky, S. S. Bubenov et al. // *Materials*. — 2022. — Vol. 15, no. 24. — P. 8842.

16. Рекристаллизация нанокремния в парах галогенидов серебра. Руководитель: Дорофеев Сергей Геннадиевич, внс, кхн, к.455, 458, почта: dorofeev_sg@mail.ru, лаборатория Химии и физики полупроводниковых и сенсорных материалов.

Цели работы: проверить возможность образования кремниевых микростержней и некубических фаз кремния [1]. Навески нанокремния и галогенидов серебра отжигают в вакууммированных кварцевых ампулах. Варьируют температуру, соотношение n-Si/AgHal, тип галогена (Cl, Br, I). Полученные частицы исследуют методами РФА (размер кристаллитов, обнаружение некубических фаз), ПЭМ или СЭМ (размер и форма частиц), спектроскопиями: видимой и ИК (изменение ширины запрещённой зоны при образовании некубических фаз кремния), КРС (степень кристалличности, обнаружение некубических фаз), РФЛА-ПВО (соотношение Si/Ag/Hal). В случае образования некубических фаз кремния измеряют спектры люминесценции в видимом и ИК диапазонах. Из полученных частиц делают золи/взвеси и накапывают плёнки. Исследуют электрические свойства плёнок в сверхвысоком вакууме и на воздухе. Если хватит времени, исследуют сенсорные свойства плёнок. В дальнейшем, в случае образования микростержней, планируется изучение электрических и оптических свойств отдельных микростержней. При образовании некубических фаз кремния полученные частицы могут быть использованы для изготовления не только фотоприёмников и солнечных батарей, но и источников света (светодиодов).

Литература:

1. Recrystallization of si nanoparticles in presence of chalcogens: Improved electrical and optical properties / A. A. Vinokurov, V. M. Popelensky, S. S. Bubenov et al. // *Materials*. — 2022. — Vol. 15, no. 24. — P. 8842.

17. Синтез димерного комплекса [Os(p-cym)Cl₂]₂ как прекурсора для получения циклометаллированных комплексов осмия(II) в качестве красителей для DSSC. Руководитель: к.х.н., доцент Долженко Владимир Дмитриевич, doljenko_vd@mail.ru, лаб. 553, лаборатория Химии координационных соединений.

DSSC (dye-sensitized solar cell) - солнечный элемент 3-его поколения, в основе устройства которого лежит диоксид титана, сенсibilизированный красителем. Краситель должен удовлетворять ряду требований, главным из которых является эффективное поглощение в диапазоне солнечного излучения. Стандартные красители в основном используют комплексы рутения(II) на основе бипиридинов. В нашей лаборатории проводится работа по дизайну циклометаллированных комплексов - такие комплексы гораздо более инертные, что позволяет солнечному элементу работать дольше. Комплексы осмия, как 5d-металла, обладают более интенсивным поглощением относительно рутениевых комплексов, что делает их перспективными красителями. В рамках практики возможно обучиться азам работы с платиновыми металлами, синтезировать исходный сэндвичевый комплекс и получить циклометаллированный краситель, исследовать полученные вещества с помощью ЯМР-спектроскопии, протестировать их оптические, электрохимические и люминесцентные свойства. Работа находится на стыке органической и неорганической химии.

18. Определение коэффициентов распределения лантаноидов при осаждении в виде полиядерных комплексов с никелем и аминокислотами. Руководитель: к.х.н., доцент Долженко Владимир Дмитриевич, doljenko_vd@mail.ru, лаб. 553, лаборатория Химии координационных соединений.

Лантаноиды представляют большой интерес для науки и техники благодаря своим уникальным физическим свойствам. Из-за близости ионных радиусов и химических свойств их разделение представляет собой сложную технологическую задачу. Благодаря наличию жёсткого каркаса полиядерные гетеро-металлические 3d-4f комплексы с

аминокислотами состава $[LnM_6(AA)_{12}]^{3+}$ селективно образуются лишь для элементов начала ряда, что может быть использовано для их извлечения.

В рамках НИР планируется:

- 1) синтез комплексов никеля с аминокислотами;
- 2) проведение разделения модельной смеси лантанидов за счет кристаллизации полиядерных 3d-4f комплексов, образовавшихся в растворе;
- 3) определение содержания различных лантанидов в осадке и фильтрата методом ICPMS;
- 4) оценка коэффициентов распределения лантаноидом между раствором и осадком при различных условиях.

В ходе выполнения НИР студент может познакомиться с такими методами, как спектрофотометрическое титрование, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, инфракрасной спектроскопией, рентгенофазовым анализом, электронной спектроскопией диффузного отражения.

А также получит возможность развить различные химические soft skills: мат. обработка больших массивов экспериментальных данных, представление результатов научному сообществу, творческий подход к решению задач.

19. Нанопористые пленки корунда – влияние условий кристаллизации на микроструктуру материала. Руководитель: к.х.н., асс. Росляков Илья Владимирович, ilva.roslyakov@gmail.com. Группа электрохимического наноструктурирования www.eng.fnm.msu.ru.

Многоступенчатый отжиг анодного оксида алюминия приводит к кристаллизации аморфного материала в фазу корунда с сохранением исходной пористой структуры. Материал в фазе корунда состоит из монокристаллических зерен размером около 10 микрон, каждое из которых пронизано каналами нанометрового размера. Целью работы является установление влияния условий отжига (температуры и продолжительности отдельных стадий) на микроструктуру материала (размер и кристаллографическую ориентацию зерен), которая будет охарактеризована с помощью оптической и растровой электронной микроскопии, а также дифракции отраженных электронов.

20. Композиционные Pd-содержащие мембраны на основе анодного оксида алюминия для очистки водорода. Руководитель: к.х.н., асс. Росляков Илья Владимирович, ilva.roslyakov@gmail.com. Группа электрохимического наноструктурирования www.eng.fnm.msu.ru.

Целью данной работы является получение композиционных мембран на основе Pd и его сплавов (Pd-Ag, Pd-Au) на несущей основе из анодного оксида алюминия (АОА) и исследование их эффективности для очистки водорода. В ходе работы предполагается формирование пористых пленок АОА методом двухстадийного анодирования металла. На следующем этапе методом магнетронного напыления на поверхности АОА будет сформирован сплошной слой палладия. Последующая электрохимическая кристаллизация палладия и его сплавов в порах АОА является заключительным этапом формирования композиционных Pd-содержащих мембран.

21. Одномерные металлические наноструктуры для задач сверхпроводниковой микроэлектроники. Руководитель: к.х.н., в.н.с. Напольский Кирилл Сергеевич, kirill@inorg.chem.msu.ru. Группа электрохимического наноструктурирования www.eng.fnm.msu.ru.

Квантовые технологии набирают популярность. Важной материаловедческой задачей в этой области является разработка элементной базы для создания логических элементов. Одним из примеров таких элементов являются джозефсоновские переходы на основе единичных нанопроводов. В рамках курсовой/дипломной работы Вы сможете научиться

получать металлические нанонити нужного состава и исследовать их транспортные свойства при низких температурах.

22. Гиперболические метаматериалы с управляемыми свойствами для задач нанофотоники. Руководитель: к.х.н., в.н.с. Напольский Кирилл Сергеевич, kirill@inorg.chem.msu.ru. Группа электрохимического наноструктурирования www.eng.fnm.msu.ru.

Перспективным методом получения массивов металлических наностержней является темплатное электроосаждение. В случае использования в качестве матриц пористых пленок анодного оксида алюминия с высокоупорядоченной структурой, получаемые нанокомпозиты могут обладать уникальными свойствами в оптическом диапазоне. В рамках курсовой/дипломной работы Вы сможете получить гиперболический метаматериал с управляемыми оптическими свойствами.

23. Режекторные фильтры на основе анодного оксида алюминия. Руководитель: к.х.н., с.н.с. Кушнир Сергей Евгеньевич, kushnirse@my.msu.ru. Группа электрохимического наноструктурирования www.eng.fnm.msu.ru.

Оптический режекторный фильтр или полосно-заграждающий (notch filter) блокирует заданный узкий диапазон длин волн и пропускает все другие длины волн в пределах рабочего диапазона фильтра. Такие фильтры используются в спектроскопии, оптических системах связи и аналитических измерениях. Их применяют, например, в рамановских спектрометрах, в которых необходимо отделить полезный сигнал от зондирующего лазерного излучения. Режекторные фильтры представляют из себя плёнки с периодической структурой. Коммерчески доступные фильтры получают при помощи физических методов, которые требуют дорогостоящего оборудования. Использование электрохимического окисления алюминия при периодическом изменении напряжения позволяет значительно снизить себестоимость получаемых оптических фильтров.

24. Влияние термической обработки на оптические свойства фотонных кристаллов из анодного оксида алюминия. Руководитель: к.х.н., с.н.с. Кушнир Сергей Евгеньевич, kushnirse@my.msu.ru. Группа электрохимического наноструктурирования www.eng.fnm.msu.ru.

Фотонно-кристаллические структуры на основе анодного оксида алюминия обладают уникальными оптическими свойствами, позволяющими использовать их в качестве сенсоров химических веществ. Однако, формирующиеся в процессе анодирования алюминия оксидные плёнки являются аморфными и характеризуются недостаточной для их долгой работы химической стабильностью. Химическая стабильность может быть значительно увеличена в результате термической обработки материала.