

**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](mailto: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](mailto:esklimashina@gmail.com), к.х.н., ст.н.с., доц. Филиппов Я.Ю. [filippovya@gmail.com](mailto: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](mailto: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 гидроксиапатита 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](mailto: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 pH, 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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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 GeI<sub>4</sub>. Руководитель: Дорощев Сергей Геннадиевич, внс, кхн, к.455, 458, почта: [dorofeev\\_sg@mail.ru](mailto: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 GeI<sub>4</sub> отжигают в вакууммированных кварцевых ампулах. Варьируют температуру и соотношение n-Si/GeI<sub>4</sub>. 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](mailto: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)Cl<sub>2</sub>]<sub>2</sub> 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](mailto: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](mailto: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](mailto:ilva.roslyakov@gmail.com). Группа электрохимического наноструктурирования [www.eng.fnm.msu.ru](http://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](mailto:ilva.roslyakov@gmail.com). Группа электрохимического наноструктурирования [www.eng.fnm.msu.ru](http://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](mailto:kirill@inorg.chem.msu.ru). Группа электрохимического наноструктурирования [www.eng.fnm.msu.ru](http://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](mailto:kirill@inorg.chem.msu.ru). Группа электрохимического наноструктурирования [www.eng.fnm.msu.ru](http://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](mailto:kushnirse@my.msu.ru). Группа электрохимического наноструктурирования [www.eng.fnm.msu.ru](http://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](mailto:kushnirse@my.msu.ru). Группа электрохимического наноструктурирования [www.eng.fnm.msu.ru](http://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.