

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»  
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана химического факультета,  
Чл.-корр. РАН, профессор



/С.Н. Калмыков/

«30» августа 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Синтез и свойства неорганических веществ и материалов:  
координационные соединения**

**Уровень высшего образования:**  
Магистратура

---

**Направление подготовки (специальность):**

04.04.01 Химия

**Направленность (профиль) ОПОП:**

Неорганическая химия

**Форма обучения:**

очная

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Учебно-методической комиссией факультета  
(протокол №3 от 13.05.2019)

Москва 2019

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 04.04.01 «Химия» (программа магистратуры) в редакции приказа МГУ от 30 августа 2019 г., №1033.

Год (годы) приема на обучение 2019/2020, 2020/2021

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок ПД.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников). Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП (в форме компетенция – индикатор - ЗУВ) указано в Общей характеристике ОПОП.

<b>Компетенция</b>	<b>Индикатор достижения</b>	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)</b>
<b>СПК-2.М</b> Способен применять кристаллохимические, термодинамические и кинетические представления для проведения направленного неорганического синтеза, владение как классическими, так и новейшими методами синтеза для получения неорганических веществ и материалов с заданной морфологией, микроструктурой, дисперсностью, включая монокристаллы, наночастицы, аморфные фазы и пленки	<b>СПК-2.М.2</b> Применяет аппарат физической химии для оптимизации условий проведения направленного неорганического синтеза	<b>Уметь:</b> критически анализировать, обобщать и применять научную информацию о фазовых равновесиях, реакционной способности и физических свойствах неорганических веществ, с целью оптимизации экспериментальных условий направленного синтеза неорганических соединений и материалов с определенным строением и свойствами
<b>СПК-4.М</b> Владеет основным терминологическим и понятийным аппаратом современного неорганического материаловедения; знанием основных классов функциональных материалов, методов их получения, взаимосвязи структуры и свойств, умением анализировать и предлагать способы получения функциональных материалов с заданными свойствами, выбирать оптимальные материалы для дизайна устройств с заданным функционалом	<b>СПК-4.М.1</b> Предлагает способы получения функциональных материалов с заданными свойствами с учетом имеющихся ресурсов	<b>Уметь:</b> выбирать оптимальный набор методов для решения конкретной задачи по изучению неорганических веществ и материалов <b>Владеть:</b> информацией о возможностях методов, их точности и ограничениях, иметь представление о приемах подготовки образцов, задании параметров проведения эксперимента, методах регистрации и обработки экспериментальных результатов.
<b>СПК-5.М</b> Способен обоснованно выбирать и применять современные методы исследования состава, структуры и свойств неорганических веществ и материалов, знание теоретических основ этих методов и основных принципов работы приборов для выбора параметров проведения эксперимента, обработки и интерпретации полученных результатов	<b>СПК-5.М.1</b> Предлагает методы исследования состава, структуры и свойств неорганических веществ и материалов, адекватные поставленной задаче	<b>Знать</b> возможности и ограничения методов получения неорганических веществ и материалов из газовой фазы, раствора и твердой фазы, понимать роль термодинамики и кинетики процессов синтеза, возможности и ограничения управления составом и структурой в процессе синтеза. Знать основные виды опасностей при работе в химической лаборатории, правила техники безопасности при работе с химическими реактивами, ЛВЖ, ва-

		<p>куумными установками, баллонами со сжатыми газами и сосудами под давлением, криогенными сосудами, электрическими установками, высокотемпературными печами.</p> <p><b>Уметь</b> находить релевантные методы синтеза и исследования, применять основные законы химии при анализе полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных; представлять полученные в исследованиях результаты в виде отчета, научного доклада, презентации.</p>
--	--	--

3. Объем дисциплины (модуля) составляет **2** зачетных единицы, всего **72** часа, из которых **59** часов составляет контактная работа студента с преподавателем (19 часов занятия лекционного типа, 38 часов – занятия семинарского типа, 2 часа – промежуточный контроль успеваемости), **13** часов составляет самостоятельная работа студента.

4. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

Требуется освоение дисциплин «Неорганическая химия», «Общая физика», «Элементы строения вещества», «Физическая химия», «Кристаллохимия» в объеме, преподаваемом на Химическом факультете МГУ.

Обучающийся должен

**Знать:** химические свойства неорганических соединений и основные закономерности в их изменении, основные законы физики, основные операторы физических величин, основы учения о фазовых равновесиях, основные подходы к описанию строения вещества.

**Уметь:** применять знания вышеуказанных разделов для описания химических объектов и их взаимодействий.

**Владеть:** современными представлениями о строении вещества и факторах, влияющих на возможность протекания химических реакций.

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),	Всего (часы)	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	Самостоятельная работа обучающегося, часы из них
Тема промежуточной аттестации			

		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Раздел 1.	27	9	18				27			
Раздел 2.	30	10	20				30			
Промежуточная аттестация <i>зачет</i>	15					2	2			13
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>19</b>	<b>38</b>			<b>2</b>	<b>59</b>			<b>13</b>

Содержание разделов:

*Раздел 1.* Химия координационных соединений: теория, синтез, применение. Основные понятия координационной химии. Термодинамические и кинетические закономерности реакций комплексообразования. Методы синтеза координационных соединений.

Теоретические подходы к описанию строения, реакционной способности и свойств КС

Координационные соединения – прекурсоры материалов

*Раздел 2.* Получение веществ и материалов методом химического осаждения из координационных соединений. Координационные соединения в современных технологиях. Сравнительный обзор физических и химических методов получения высокодисперсных порошков и наночастиц, пленок и покрытий. Классификация методов химического осаждения из координационных соединений.

Элементы термодинамики и кинетики процессов осаждения из газовой фазы. Лимитирующие стадии кинетики процессов CVD. CVD многокомпонентных материалов. Проблема инконгруэнтности состава, ее решения.

Особенности различных способов перевода комплексных соединений в пар, выбор оптимального способа в соответствии с природой комплекса.

Классификация методов активации процессов CVD. Атомные механизмы роста пленок из газовой фазы. Получение неорганических пленок путем осаждения из растворов координационных соединений (КС).

6. Образовательные технологии:

-использование средств дистанционного сопровождения учебного процесса;

-преподавание дисциплин в форме авторских курсов по программам, составленным на основе результатов исследований научных школ МГУ.

7. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):

Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования. Занятия могут проходить на русском или английском языках. Для самоподготовки предлагается список вопросов по каждой теме, контрольные задания и перечень вопросов к зачету.

8. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

Со всех компьютеров МГУ организован доступ к полным текстам научных журналов и книг на русском и иностранных языках. Доступ открыт по IP-адресам, логин и пароль не требуются: <http://nbmgu.ru/>

### Основная литература

1. Киселёв Ю.М. Химия координационных соединений, учебник и задачник для бакалавриата и магистратуры, М.: Изд. Юрайт, 2014. - 657 с.
2. Скопенко В.В., Цивадзе А.Ю., Савранский Л.И., Гарновский А.Д. Координационная химия. Москва, Академкнига, 2007. 487 с.
3. Берсукер И.Б. Электронное строение и свойства координационных соединений, Л.: Химия, 1976
4. Тоуб М. Механизмы неорганических реакций. М.: Мир, 1975. 267 с.
5. Лен Ж.-М. Супрамолекулярная химия. Концепции и перспективы, Издательство: Наука, Новосибирск, 1998, 334 с.
6. В.Г. Сыркин, CVD-метод. Химическое парофазное осаждение, изд-во Наука, М., 2000.
7. Данилин Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. М.: Энергоатомиздат, 1989. 328 с.

### Дополнительная литература

1. A. Drozdov, N. Kuzmina, in: Comprehensive Inorganic Chemistry II, J. Reedijk, K. Poeppelmeier (Eds.), Elsevier, USA. 2013. pp. 511-534.
2. Бальхаузен К. Введение в теорию поля лигандов, М.: Мир, 1964. 360 с.
3. Lawrance G.A.-Introduction to Coordination Chemistry-Wiley. 2010.
4. Glen E. Rodgers-Descriptive Inorganic, Coordination, and Solid-State Chemistry. 2011.
5. H. O. Pierson, Handbook of Chemical Vapor Deposition (CVD): Principles, Technology and Applications, Noyes Publications, Park Ridge, N.J., USA, 1992.
6. Th.Schneller, R. Waser, M. Kosec and D. Payne Eds, Chemical Solution Deposition of Functional Oxide Thin Films, Springer-Verlag Wien 2013, p.796.
7. Н.Я.Турова, Алкоксиды металлов. Синтез, свойства и структура, Успехи химии, т. 73. №11. 2004. С.1131–1154.

### Периодическая литература

1. David T. Richens Ligand Substitution Reactions at Inorganic Centers // Chem. Rev. (2005), 105, 1961-2002

2. Thomaws . Swaddlaned Markk . S. Mak.//Can. J . Chem. (1983), 61, 473-480
3. Patrick L. Holland Metal–dioxygen and metal–dinitrogen complexes: where are the electrons? // Dalton Trans. (2010), 39, 5415–5425
4. Anuj Kumar, Ying Zhang, Wen Liu, Xiaoming Sun, The chemistry, recent advancements and activity descriptors for macrocycles based electro-catalysts in oxygen reduction reaction // Coord. Chem. Rev. (2020) 402, 213047
5. William Levason, Francesco M. Monzittu, Gillian Reid Coordination chemistry and applications of medium/high oxidation state metal and non-metal fluoride and oxide-fluoride complexes with neutral donor ligands// Coord. Chem. Rev. (2019), 391, 90–130
6. R. Janicki, A. Mondry, P. Starynowicz, Carboxylates of rare earth elements // Coord. Chem. Rev. (2017) 340, 98-133
7. Кауль А.Р., Химические методы получения пленок и покрытий ВТСП, Журнал ВХО им. Менделеева, 1989, т.34 №.4, стр 492-504.
8. Кауль А.Р., Горбенко О.Ю., Каменев А.А., Роль гетероэпитаксии в разработке новых тонкопленочных функциональных материалов на основе оксидов, Russian Chemical Reviews, издательство Turpion - Moscow Ltd. (United Kingdom), том 73, № 9, с. 932-953.

- Материально-техническое обеспечение: специальных требований нет, занятия проводятся в обычной аудитории, оснащенной доской и мелом (маркерами)

9. Язык преподавания – русский

10. Преподаватели: Кауль Андрей Рафаилович, д.х.н., профессор; Цымбаренко Дмитрий Михайлович, к.х.н., старший научный сотрудник; Долженко Владимир Дмитриевич, к.х.н., доцент.; Корсаков Игорь Евгеньевич, к.х.н., доцент.

### **Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения**

Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации - зачета. На зачете проверяется достижение промежуточных индикаторов компетенций, перечисленных в п.2.

#### **Вопросы для самостоятельной работы и подготовки к зачету:**

##### **Раздел 1. Химия координационных соединений: теория, синтез, применение.**

1. Почему Вернер для обоснования своей теории изучал комплексы кобальта?
2. Изобразите все изомеры для комплекса состава  $[MA_2B_2C_2]$ .
3. Предложите методы экспериментального определения констант устойчивости комплексов  $[Cr(CN)_6]^{3-}$  и  $[Fe(SCN)_n(H_2O)_{6-n}]^{3-n}$ .
4. Предложите методы экспериментального определения скорости лигандного обмена в комплексах  $[Cr(CN)_6]^{3-}$  и  $[La(H_2O)_9]^{3+}$ .
5. Предложите метод синтеза  $[Li(NH_3)_4]C_2H$ . Почему в аналогичных условиях образуется  $Cs_2C_2 \cdot 7NH_3$ ?
6. Приведите примеры координационных соединений Mn(VI), с чем связаны различия в условиях их получения?
7. В чем состоят особенности кватерно-химического моделирования координационных соединений f-элементов?

8. Предложите способ оценки энергии связей в координационном полимере на основании квантово-химического моделирования. Могут ли данные расчета быть подтверждены экспериментами?
9. Могут ли быть теоретически рассчитаны энергии граничных орбиталей молекул координационных соединений? В чем состоит сложность при использовании теории функционала плотности для таких расчетов?
10. Назовите методы экспериментального определения давления и состава насыщенного пара координационных соединений.
11. Запишите уравнения основных процессов протекающих при испарении/сублимации разнолигандных комплексов.
12. Какие факторы определяют устойчивость разнолигандных комплексов к отщеплению нейтрального лиганда?
13. Опишите разнообразие бета-дикетонатов никеля, чем оно вызвано?
14. В чем состоят основные отличия карбоксилатных и бета-дикетонатных лигандов?

## **Раздел 2. Получение веществ и материалов методом химического осаждения из координационных соединений.**

1. Назовите наиболее часто применяемые физические методы напыления пленок неорганических веществ.
2. Поясните принцип метода импульсного лазерного нанесения пленок неорганических веществ и материалов.
3. Каковы основные преимущества метода импульсного лазерного нанесения перед другими методами нанесения, в чем ограничения этого метода?
4. Поясните принцип метода магнетронного нанесения пленок неорганических веществ и материалов. В чем состоят достоинства и недостатки этого метода?
5. Какие неорганические реакции могут быть положены в основу метода химического газофазного осаждения?
6. Какие морфологические разновидности материалов могут быть получены химическим осаждением из газовой фазы?
7. Постройте график зависимости скорости осаждения из газовой фазы от обратной температуры. Поясните, пользуясь графиком, различие режимов осаждения.
8. В каком из режимов, кинетическом или диффузионном, достигается максимальная скорость осаждения пленок?
9. В каком режиме следует проводить осаждение для достижения минимальной шероховатости и максимальной конформности пленок?
10. Приведите примеры реакций химического осаждения из газовой фазы, изменяющих свое направление по термодинамическим причинам. Поясните физико-химические причины обращения направления этих реакций.
11. Перечислите известные Вам способы активации химического осаждения из газовой фазы.
12. Опишите последовательность стадий процесса в методе атомно-слоевого нанесения пленок.
13. Какие прекурсоры используются при получении пленок сложных оксидов из растворов координационных соединений?
14. Опишите основные химические процессы в методах химического осаждения из растворов.
15. Для чего при получении пленок растворными методами требуется введение в состав раствора дополнительных нейтральных лигандов?
16. Как влияют вязкость раствора и скорость вытягивания подложки из раствора на толщину пленок при их получении из растворов координационных соединений?



### Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Шкала оценивания знаний, умений и навыков является единой для всех дисциплин (приведена в таблице ниже)

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)				
Оценка \ Результат	2	3	4	5
Знания	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки, но не в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении задач

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ
<p><b>Знать</b> возможности и ограничения методов получения неорганических веществ и материалов из газовой фазы, раствора и твердой фазы, понимать роль термодинамики и кинетики процессов синтеза, возможности и ограничения управления составом и структурой в процессе синтеза.</p> <p><b>Знать</b> основные виды опасностей при работе в химической лаборатории, правила техники безопасности при работе с химическими реактивами, ЛВЖ, вакуумными установками, баллонами со сжатыми газами и сосудами под давлением, криогенными сосудами, электрическими установками, высокотемпературными печами.</p>	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на семинарских занятиях и зачете
<p><b>Уметь:</b> критически анализировать, обобщать и применять научную информацию о фазовых равновесиях, реакционной способности и физических свойствах неорганических веществ, с целью оптимизации экспериментальных условий направленного синтеза неорганических соединений и материалов с определенным строением и свойствами</p> <p><b>Уметь</b> находить релевантные методы синтеза и исследования, применять основные законы химии при анализе полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных; представлять полученные в исследованиях результаты в виде отчета, научного доклада, презентации.</p>	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на семинарских занятиях и зачете

<b>Уметь:</b> выбирать оптимальный набор методов для решения конкретной задачи по изучению неорганических веществ и материалов.	
<b>Владеть:</b> информацией о возможностях методов, их точности и ограничениях, иметь представление о приемах подготовки образцов, задании параметров проведения эксперимента, методах регистрации и обработки экспериментальных результатов.	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете