

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)**  
**Фундаментальные основы неорганического синтеза**

**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..

Компетенция	Индикатор достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<p><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</p>	<p><b>СПК-2.М.1</b> Проводит синтез неорганических веществ и материалов с заданной морфологией, микроструктурой, дисперсностью с использованием традиционных и новых синтезических методов</p>	<p><b>Владеть:</b> основными методами синтеза неорганических материалов из раствора, расплава и пара в виде кристаллов, пленок и гетероструктур.</p>
	<p><b>СПК-2.М.2</b> Применяет аппарат физической химии для оптимизации условий проведения направленного неорганического синтеза</p>	<p><b>Знать:</b> классификацию неорганических материалов по кристаллической структуре, составу и функциональным свойствам;  <b>Знать:</b> основные физико-химические параметры, определяющие ход химических превращений, термодинамический прогноз возможности реализации синтеза  <b>Уметь:</b> выбирать условия синтеза материалов из расплава, раствора и пара из анализа Р-Т-х фазовой диаграммы.  <b>Уметь:</b> определять основные операционные параметры синтеза материалов.</p>
<p><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 материа-</p>	<p><b>СПК-4.М.1</b> Предлагает способы получения функциональных материалов с заданными свойствами с учетом имеющихся ресурсов</p>	<p><b>Знать:</b> классификацию неорганических материалов по кристаллической структуре, составу и функциональным свойствам;  <b>Знать:</b> основные физико-химические параметры, определяющие ход химических превращений, термодинамический прогноз возможности реализации синтеза.  <b>Уметь:</b> выбирать условия синтеза материалов и определять основные параметры функциональных неорганических материалов: электрофизические, фотоэлектрические, оптические, магнитные, термоэлектрические и др свойства.  <b>Уметь:</b> определять основные операционные параметры синтеза материалов.</p>

лы для дизайна устройств с заданным функционалом		
<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>Владеть:</b> основными методами исследования состава и структуры кристаллов, пленок и гетероструктур с учетом локальности и глубины анализа: электронная микроскопия, рентгеновская дифракция, спектроскопия поглощения. <b>Владеть:</b> основными методами измерения функциональных свойств: электрофизических, оптических, фотоэлектрических, магнитных, термоэлектрических свойств

3. Объем дисциплины (модуля) составляет **5** зачетных единицы, всего **180** часов, из которых **148** часов составляет контактная работа студента с преподавателем (38 часов занятия лекционного типа, 38 часов – занятия семинарского типа, 57 часов – практические занятия, 11 часов – индивидуальные консультации, 4 часа – промежуточный контроль успеваемости), **32** часа составляет самостоятельная работа студента.

4. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия. Требуется освоение дисциплин «Неорганическая химия», «Математический анализ», «Уравнения математической физики», «Общая физика», «Основы квантовой механики», «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, основы математического анализа, дифференциальные уравнения, уравнения математической физики, 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	Самостоятельная работа обучающегося, часы

Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)		из них					Всего	из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Практические занятия	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации		Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Кристаллическое строение неорганических веществ с функциональными свойствами	<b>16</b>	8	8				<b>16</b>			
Реальная структура кристаллических веществ	<b>8</b>	4	4				<b>8</b>			
Термодинамические и кинетические основы синтеза кристаллических веществ	<b>20</b>	10	10				<b>20</b>			
Термодинамические и кинетические основы синтеза наноразмерных материалов	<b>16</b>	8	8				<b>16</b>			
Синтез в условиях высокоэнергетических воздействий	<b>16</b>	8	8				<b>16</b>			
Синтез неорганических наноматериалов.	<b>22</b>			19	3		<b>22</b>			
Синтез неорганических наноструктур.	<b>22</b>			19	3		<b>22</b>			
Синтез керамических материалов и рост монокристаллов.	<b>24</b>			19	5		<b>24</b>			
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	<b>36</b>					4	<b>4</b>			<b>32</b>
<b>Итого</b>	<b>180</b>	<b>38</b>	<b>38</b>	<b>57</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>148</b>			<b>32</b>

Каждая тема практических занятий включает набор задач. Студент выполняет по одной задаче из темы. Всего выполняется три задачи.

Криохимический синтез современных оксидных материалов.

Синтез фотокатализаторов на основе  $TiO_2$ .

Синтез люминесцентных соединений лантанидов осаждением из растворов.

Синтез кристаллов  $SbSI$  методом химического транспорта.

Вакуумное напыление тонкопленочных структур.

Получение однодоменных частиц гексаферрита стронция методом кристаллизации стекла.

Синтез полупроводниковых наноструктур оксида цинка и оксида меди(I).

Направленный неорганический синтез оксогалогенидов металлов 16 группы.

Электрохимический синтез наноматериалов на основе нанопористого оксида алюминия.

Синтез полупроводниковых оксидных наноматериалов для галовых сенсоров.

Синтез биосовместимой керамики.

Получение фторидных наноматериалов из растворов координационных соединений.

Синтез наноуглеродного материала – оксида графена.

3D печать биоматериалов.

#### 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 экзамену.

#### 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. А. Вест. Химия твердого тела. Теория и приложения: в 2-х ч, пер. с англ. Москва. Мир. 1988

2. В.С. Урусов, Н.Н. Еремин. Кристаллохимия. Москва. Изд-во МГУ. 2010
3. Ч.Н.Р. Рао, Дж. Гопалакришнан. Новые направления в химии твердого тела. Новосибирск. Наука. 1990
4. А. Уэллс. Структурная неорганическая химия. Москва. Мир. 1987.
5. Р. Лодиз, Р. Паркер. Рост монокристаллов. Москва. Мир. 1974.
6. О.Г. Козлова. Рост и морфология кристаллов. Москва. Изд. МГУ. 1980.
7. И.П. Суздалев. НАНОТЕХНОЛОГИЯ Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. Москва .2005.
8. В.Б. Фенелонов. Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов. Новосибирск. Изд. СО РАН. 2002.
9. А.Л.Моссэ, В.В.Печковский. Применение низкотемпературной плазмы в технологии неорганических веществ. Под ред. М. Коидзуми. Москва. Мир. 1998.

#### К практическим работам

1. Описания задач спецпрактикума «Химические методы синтеза неорганических веществ и материалов». Под редакцией профессора Кауля А.Р. Часть 1. Тонкие пленки и прекурсоры. М.: МГУ имени М.В.Ломоносова, 2006 г. – 145 с.
2. Описания задач спецпрактикума «Химические методы синтеза неорганических веществ и материалов». Под редакцией профессора Кауля А.Р. Часть 2. М.: МГУ имени М.В.Ломоносова, 2008 г. – 211 с.
3. Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:  
WinXrow (программный пакет STOE), программное обеспечение Proteus прибора STA 409 PC Luxx (NETZSCH), программное обеспечение ИК-Фурье спектрометра; программа обработки спектров PeakFit;
4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы, интернет-ресурсы:  
профессиональные поисковые системы PC PDF-2.

#### Дополнительная литература

1. А.Уолд, Д.Беллаванс. Препаративная химия твердого тела гл. «Получение соединений переходных металлов электролитическим восстановлением расплавленных солей». Москва. Мир. 1976.
2. Новоселова А.В. Фазовые диаграммы, их построение и методы исследования. Москва. Изд. МГУ. 1987.
3. Зломанов В.П. Р-Т-х диаграммы двухкомпонентных систем. Изд. МГУ. 1980.
4. Калдис Э. Рост кристаллов, т.1. гл. Принципы выращивания монокристаллов из паровой фазы. Москва. Мир. 1977.
5. Г. Шефер. Химические транспортные реакции. Москва. Мир. 1964.
6. Р.А.Андриевский, А.В.Рагуля. Наноструктурные материалы. Учебное пособие для студ. высш. учебн. заведений. Изд.центр «Академия». 2005.
7. А.С.Рогачев, А.С.Мукасян. Горение для синтеза материалов. Москва. ФИЗМАТЛИТ. 400 стр. 2013

#### Периодическая литература

1. Afanasiev P., Geantet C. Synthesis of solid materials in molten nitrates . Coord. Chem. Reviews. 1998. V. 178-180. P. 1725-1752.

2. Karpinski, J.; et al. Single crystals of  $\text{LnFeAsO}_{1-x}\text{Fx}$  ( $\text{Ln} = \text{La, Pr, Nd, Sm, Gd}$ ) and  $\text{Ba}_{1-x}\text{RbxFe}_2\text{As}_2$ : Growth, structure and superconducting properties. *Physica C*. 2009. V. 469. P. 370.
3. И.П. Суздаев, П.И. Суздаев. Нанокластеры и нанокластерные системы. Организация, взаимодействие, свойства. *Успехи химии*. 2001. Т. 70. №3. С. 203-240.
4. Б.Д. Сумм, Н.И. Иванова. Объекты и методы коллоидной химии в нанохимии. *Успехи химии*. 2000. Т. 69. № 11. С. 995-1008.
5. С.А. Товстун, В.Ф. Разумов. Получение наночастиц в обратных микроэмульсиях. *Успехи химии*. 2004. Т.80. №10. С. 996-1012
6. V.L. Cushing, V.I. Kolesnichenko, C.J.O'Connor. Recent Advances in the Liquid-Phase Syntheses of Inorganic Nanoparticles. *Chem. Rev.* 2004 V. 104. N 9. P. 3893-3946.
7. Р.Б. Васильев, Д.Н. Дирин, А.М. Гаськов. Полупроводниковые частицы с пространственным разделением заряда: синтез и оптические свойства. *Успехи химии*. 2011. Т. 80. № 12. С. 1190-1210.
8. П.Б. Кочергинская, А.В. Романова, И.А. Прохоренко, Д.М. Иткис, В.А. Коршун, Е.А. Гудилин, Ю.Д. Третьяков. Модифицирование квантовых точек нуклеиновыми кислотами. *Успехи химии*. 2011. Т. 80. № 12. С. 1263-1277.
9. А.Р. Кауль, О.Ю. Горбенко, А.А. Каменев. Роль гетероэпитаксии в разработке новых тонкопленочных функциональных материалов. *Успехи химии*. 2004. Т. 73. № 9. С. 932-953.
10. M. Yoshimura, K. Vurappa. Hydrothermal processing of materials past, present and future. *J. Mater. Sci.* V. 43. P. 2085-2103.
11. А.Г. Мержанов, М.Д. Нерсесян. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез оксидных материалов. *ЖФХО им. Менделеева*. 1990. Т. XXXV. №6.
12. В.А.Шрейдер, Е.П.Туревская и др. Прямой электрохимический синтез алколюлятов металлов. *Изв.АН СССР, Сер.хим.* 1981. №8. С. 1687-1692.

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

Занятия проводятся в лабораториях (к. 379-382, 478-482) с необходимым современным оборудованием.

Оборудование: Устройство для сушки посуды - 4 шт.; Весы - 3 шт.; Колбонагреватель - 4 шт.; Аквадистиллятор - 1 шт. Кондуктометр - 1 шт.; Ванна ультразвуковая - 1 шт.; Микроскоп - 2 шт.; Морозильник - 1 шт.; Холодильник - 1 шт.; рН-метр-иономер - 3 шт.; Сушильный шкаф - 3 шт.; Печь - 12 шт. Спектрофотометр - 2 шт.; Устройство для сушки посуды - 6 шт.; Весы лабораторные электронные - 19 шт.; Весы аналитические - 5 шт.; Колбонагреватель - 25 шт.; Генератор водорода - 5 шт.; Манометр - 1 шт.; Центрифуга - 2 шт.; Мешалка магнитная - 20 шт.; Аквадистиллятор - 3 шт.; Кондуктометр - 2 шт.; Источник питания - 4 шт.; Ванна ультразвуковая - 2 шт.; Насос - 2 шт.; Микроскоп - 4 шт.; Морозильник - 1 шт.; Холодильник - 1 шт.; Калориметр - 2 шт.; рН-метр-иономер - 8 шт.; Сушильный шкаф - 3 шт.; Печь - 25 шт.; Титратор - 2 шт..

9. Язык преподавания – русский

10. Преподаватели: Кауль Андрей Рафаилович, д.х.н., профессор; Антипов Евгений Викторович, д.х.н., профессор; Гаськов Александр Михайлович д.х.н., профессор; Морозов Игорь Викторович д.х.н., ведущий научный сотрудник.



Практические занятия ведут: к.х.н. Баранов А.Н., к.х.н. Корсаков И.Е., д.х.н. Шляхтин О.А., к.х.н. Колесник И.В., к.х.н. Уточникова В.В., д.х.н. Алёшин В.А., к.х.н. Дорофеев С.Г., к.х.н. Васильев Р.Б., к.х.н. Трусов Л.А., к.х.н. Чаркин Д.О., к.х.н. Григорьева А.В., к.х.н. Напольский К.С., к.х.н. Петухов Д.И., к.х.н. Цымбаренко Д.М., к.х.н. Капитанова О.О., к.х.н. Евдокипов П.В., к.т.н. Сафронова Т.В.

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

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

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

##### **Раздел 1. Кристаллическое строение неорганических веществ и кристаллохимические принципы синтеза соединений с функциональными свойствами.**

1. Факторы, влияющие на устойчивость структурных типов со стехиометрией  $AХ$ .
2. Факторы, определяющие структуры неорганических соединений: стехиометрия, природа химической связи и размеры атомов (ионов).
3. Плотнейшие упаковки и типы пустот. Основные структурные типы:  $NaCl$ ,  $ZnS$ ,  $CaF_2$ . Использование ионных радиусов для предсказания простейших структурных типов.
4. Образование структур кристаллографического сдвига.
5. Условия образования и трансформации структурных типов со стехиометрией  $ABX_3$ .
6. Структура шпинели.
7. Аниондефицитные перовскиты. Особенность меди, обуславливающая возможность получения многообразных перовскитов, содержащих этот элемент.
8. Сходство и отличия структурных типов  $NaCl$ , флюорита и перовскита. Дизайн новых структур, состоящих из этих блоков.
9. Сверхструктуры на примере производных от структуры хлористого натрия ( $NaCl-NaFeO_2-NaInO_2-SrHgO_2$ ). Кристаллохимический дизайн соединений со структурами, производными от структуры  $NaCl$ .
10. Аниондефицитные перовскиты. Особенность меди, обуславливающая возможность получения многообразных перовскитов, содержащих этот элемент.
11. Сходство и отличия структурных типов  $NaCl$ , флюорита и перовскита. Дизайн новых структур, состоящих из этих блоков.
12. Плотнейшие упаковки и типы пустот. Основные структурные типы:  $NaCl$ ,  $ZnS$ ,  $CaF_2$ . Использование ионных радиусов для предсказания простейших структурных типов.

##### **Раздел 2. Реальная структура и ее влияние на свойства кристаллических веществ**

1. Дефекты и нестехиометрия: центры окраски, влияние состава газовой фазы над бинарным кристаллом на равновесие точечных дефектов, связь с типом и величиной электропроводности для п/п.

2. Термодинамика образования точечных дефектов. Равновесная и неравновесная концентрация точечных дефектов. Виды точечных дефектов
3. Примесные дефекты: гетеровалентное легирование, образование внедрённых ионов и вакансий ионов.
4. Дефекты упаковки: антифазные границы, дефекты Уодсли, «лишние плоскости» в полимерах.
5. Квазихимическое представление дефектообразования и взаимодействия дефектов.
6. Влияние точечных дефектов на зонную структуру п/п кристаллов.
7. Влияние точечных и протяжённых дефектов на функциональные свойства материалов (ионная проводимость суперионных проводников, проводимость полупроводников и диэлектриков, магнитные и др. свойства манганитов, ВТСП и т.д.).
8. Протяжённые дефекты: термодинамические представления о равновесности. Виды протяжённых дефектов: краевая, винтовая, смешанная дислокации. Определение вектора Бюргерса и его смысл.
9. Механизмы образования дислокаций: конденсация точечных дефектов, механические деформации. Дислокации и механические свойства материалов. Движение дислокаций через кристалл. Деформационное упрочнение.
10. Методы наблюдения дислокаций: центры роста кристаллов, ямки травления, ПЭМ, ПЭМВР и др.
11. Границы кристаллов: границы блоков, малоугловые границы, высокоугловые границы. Энергия межзёренных границ и концентрация дислокаций. Двойникование
12. Границы кристаллов: когерентные, полукogerентные, некогерентные границы, влияние напряжений на концентрацию дислокаций несоответствия на границе.

### **Раздел 3 Термодинамические и кинетические основы синтеза кристаллических веществ**

1. Химические транспортные реакции. Анализ зависимостей скорости процесса от термодинамических параметров реакции и экспериментальных условий. Условия осуществления химического транспорта. Принципы подбора носителей. Примеры.
2. Твердофазный синтез. Особенности термодинамического описания твердофазных реакций. Критерии достижения равновесия. Стратегия поиска новых фаз в субсолидусной области двух- и трехкомпонентных систем. Триангуляция.
3. Особенности кинетики твердофазного синтеза. Общие кинетические закономерности процессов типа  $S_1 + S_2 \rightarrow S_3$ . Параболический закон. Механизмы твердофазных процессов типа  $S_1 + S_2 \rightarrow S_3$  на примере реакций синтеза шпинелей из оксидов. Закономерности движения межфазных границ.
4. Использование Т-х конденсированных диаграмм для выбора начальных и конечных условий синтеза конгруэнтно и инконгруэнтно плавящихся соединений в двухкомпонентных системах. Расчет теоретического выхода продукта с помощью фазовых диаграмм. Синтез твердых растворов заданного состава.
5. Кинетические особенности кристаллизации из растворов. Возможности управления скоростью процесса, размером и формой частиц образующегося осадка. Способы получения монокристаллов из раствора.
6. Выращивание кристаллов из газовой фазы. Применение замкнутых и поточных систем. Использование фазовых диаграмм. Расчет скорости процесса 1. Лимитирование переносом через пар. 2. Лимитирование кристаллизацией.
7. Примеры фазовых диаграмм однокомпонентных систем (С, Не, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>). Математическое описание двухфазных равновесий, критическая точка, тройная точка. Уравнения состояния реальных газов. Сверхкритические флюиды и их применение.

8. Особенности синтеза из расплава (раствора в расплаве). Влияние термодинамических и кинетических факторов на размер и форму растущих кристаллов. Конгруэнтная кристаллизация. Метод Бриджмена-Стокбаргера. Метод Чохральского, аналогичные методы и факторы, влияющие на кристаллизацию. Бесконтактный нагрев, зонная плавка.
9. Кристаллизация бинарных фаз из газовой фазы в двухтемпературной ампуле. Кинетические особенности процесса, последовательные стадии. Лимитирующая стадия. Получение кристаллов с определенной стехиометрией.
10. Метод гидротермального синтеза. Термодинамические основы метода. Влияние параметров гидротермального синтеза на свойства получаемых продуктов. Осаждение из сверхкритических растворов. Особенности ультразвукового воздействия на водные растворы, кавитация. RESS технология.
11. Свойства треугольника составов Гиббса-Розебома. Тройные водно-солевые системы. Определение состава твердой фазы методом Скрейнемакера. Случаи ограниченной и полной взаимной растворимости в твердой фазе. Изотермические сечения. Политермические разрезы. Примеры.

#### **Раздел 4. Термодинамические и кинетические основы синтеза наноразмерных материалов**

1. Гомогенное зародышеобразование. Уравнение Гиббса-Томсона. Критическое пересыщение. Критический размер зародыша. Кинетические уравнения скорости зародышеобразования. Нуклеация и рост. Диаграмма Ла-Мера. Кинетические модели роста.
2. Поверхностная энергия твердых тел. Влияние морфологии, рельефа и адсорбции молекул. Состав поверхности, сегрегация компонентов в приповерхностных слоях. Неустойчивость дисперсных систем. Образование кластеров.
3. Основы термодинамики поверхностных явлений. Избыточные термодинамические функции. Поверхностное натяжение и свободная энергия поверхностей раздела фаз. Связь поверхностного натяжения с объемными свойствами веществ. Термодинамическое уравнение Гиббса для поверхности раздела фаз в однокомпонентных системах.
4. Дисперсное состояние вещества. Классификация дисперсных систем по размерности, агрегатному состоянию и структуре. Наноразмерные системы. Основные характеристики наночастиц и дисперсных систем. Размерный эффект. Гомогенные и гетерогенные процессы.
5. Кооперативные явления в системе наночастиц; остwaldово созревание, агрегирование. Гетерогенное зародышеобразование. Эпитаксиальные соотношения. Образование новой фазы при участии модификаторов.
6. Роль агрегации в формировании наноматериалов. Типы взаимодействия частиц. Силы Ван-дер-Ваальса. Электростатические силы для заряженных частиц. Потенциал Ленарда-Джонса. Гидрофобное/гидрофильное взаимодействие (неполярные/полярные среды). Расклинивающее давление. Водородные связи. Двойной электрический слой. Сольватация. Влияние pH. Теория Лифшица – Слезова - Вагнера.
7. Золи. Гели. Гравитационные силы. Золь-гель технология. Гидролиз. Поликонденсация. Переход истинный раствор – золь. Влияние растворителя, температуры, pH. Строение гелей, ксерогели. Пример получения нанодисперсного кремнезема.
8. Получение наноматериалов химическим осаждением из растворов. Гидролиз органических солей. Алкоксотехнология. Мицеллы. Темплатный синтез. Микроэмульсии. Поверхностно активные вещества. Коллоидный синтез нанокристаллов полупроводников - коллоидных квантовых точек.
9. Поверхностная энергия твердых тел. Влияние морфологии, рельефа и адсорбции молекул. Состав поверхности, сегрегация компонентов в приповерхностных слоях. Неустойчивость дисперсных систем. Образование кластеров.

10. Синтез нитевидных наноматериалов. Прямой и обратный темплатный синтез. Нано-реакторы. Синтез из пара. Механизм ПЖК. Роль затравки. Проточный метод синтеза нитевидных кристаллов из пара. Лазерный синтез. Углеродные нанотрубки. Одностенные и многостенные нанотрубки.

11. Сублимационная сушка. Методы низкотемпературной сушки золь и гелей. Способы достижения низких температур. Эффект Джоуля – Томсона. Скорость сублимации. Влияние вакуума. Потеря растворителя. Принципиальная схема установки криохимической сушки.

### **Раздел 5. Синтез в условиях высокоэнергетических воздействий**

1. Сравнительные характеристики реакций при обычной температуре и высокой температуре. Роль источников энтропии. Правила Броуэра.

2. Диаграммы Эллингхема и их применение для предсказания продуктов и условий химического взаимодействия.

3. Методы получения высоких температур. Современные материалы электрических нагревателей. Проблема высокотемпературного взаимодействия («проблема контейнеров»), методы и приемы ее решения.

4. Метод саморазвивающегося высокотемпературного синтеза. Факторы, влияющие на возможность осуществления СВС-процесса и количественный выход продукта. Примеры СВС-процессов и продуктов.

5. Процессы, происходящие при анодной поляризации переходных металлов. Микродуговое оксидирование.

6. Электросинтез при электролизе расплавов. Катодные и анодные процессы.

7. Электросинтез в неводных растворах. Электросинтез алкоголятов. Получение соединений внедрения.

8. Механизмы взаимодействия веществ с микроволновым полем. Преимущества и проблемы синтеза с применением микроволнового воздействия.

9. Классификация плазмы. Возможности синтеза в квазиравновесной плазме. Устройство плазматронов, типы реакций и продуктов, получаемых в плазматронах.

10. Неравновесная плазма низкого давления. Получение дисперсных порошков и пленок в неравновесной плазме.

11. Ультразвуковое воздействие на неорганические системы.

12. Термодинамические и кинетические основы неорганического синтеза с применением высокого давления. Синтез в наковальнях Бриджмена, наковальнях с вращением, синтез и исследование реакций в алмазных наковальнях.

13. Механохимическая активация реакций в неорганическом синтезе.

### **Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения**

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

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>				
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 непринципиального 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

<b>РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>	<b>ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ</b>
Знать: классификацию неорганических материалов по кристаллической структуре, составу и функциональным свойствам; Знать: основные физико-химические параметры, определяющие ход химических превращений, термодинамический прогноз возможности реализации синтеза.	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене
Уметь: выбирать условия синтеза материалов из расплава, раствора и пара из анализа Р-Т-х фазовой диаграммы. Уметь: выбирать условия синтеза материалов и определять основные параметры функциональных неорганических материалов: электрофизические, фотоэлектрические, оптические, магнитные, термоэлектрические и др свойства. Уметь: определять основные операционные параметры синтеза материалов.	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене
Владеть основными методами синтеза неорганических материалов из раствора, расплава и пара в виде кристаллов, пленок и гетероструктур. Владеть: основными методами исследования состава и структуры кристаллов, пленок и гетероструктур с учетом локальности и глубины анализа: электронная микроскопия, рентгеновская дифракция, спектроскопия поглощения. Владеть: основными методами измерения функциональных свойств: электрофизических, оптических, фотоэлектрических, магнитных, термоэлектрических свойств.	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене