

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
материаловедения и индустрии наносистем



В.М. Иевлев
21.04.2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.16 Химические и кристаллохимические основы синтеза функциональных материалов

- 1. Код и наименование направления подготовки/специальности:** 04.03.02 Химия, физика и механика материалов
- 2. Профиль подготовки/специализация:** материаловедение и индустрия наносистем
- 3. Квалификация выпускника:** бакалавр
- 4. Форма обучения:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** кафедра материаловедения и индустрии наносистем
- 6. Составители программы:** Кострюков Виктор Федорович, доктор химических наук, доцент
- 7. Рекомендована:** научно-методическим советом химического факультета, протокол №3 от 19.04.2022

отметки о продлении вносятся вручную)

8. Учебный год: 2023-2024

Семестр(ы): 3

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Цель: Освоение студентами фундаментальных знаний в области химических и кристаллохимических основ синтеза неорганических веществ и материалов различной кристалличности и размерности с применением как традиционных, так и новейших методов

Задачи: Формирование базовых знаний в области кристаллохимических принципов синтеза неорганических соединений с функциональными свойствами с учетом их реальной структуры, что включает представления о дефектах и их влиянии на свойства кристаллических веществ.

Обучение студентов принципам научного планирования эксперимента на основе выделения основных стадий процесса неорганического синтеза и учета закономерностей протекания каждой из этих стадий.

Формирование подходов к направленному синтезу неорганических веществ и материалов различной степени кристалличности во всем диапазоне размеров: от наночастиц до крупных монокристаллов.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Б1. Часть, формируемая участниками образовательных отношений.

Для успешного освоения данной дисциплины, студент должен предварительно изучить следующие дисциплины: Математика; Физика; Общая и неорганическая химия; Кристаллохимия. Данная дисциплина является предшествующей для дисциплин: Материаловедение; Наноматериалы; Материалы для электронной техники; Перспективные функциональные материалы.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-2	Способен использовать знания о методах синтеза и свойствах материалов различного назначения, в том числе наноматериалов, для решения профессиональных задач	ПК-2.1	Способен выбирать методы синтеза материалов различного назначения (в том числе наноматериалов) в соответствии с поставленной задачей	Знать: химические и кристаллохимические основы неорганического синтеза Уметь: использовать теоретические знания для решения конкретных задач синтеза твердофазных материалов. Владеть: навыками применения знаний и умений для интерпретации и моделирования процессов получения широкого круга материалов, включая объекты, полученные самостоятельно в рамках научно-исследовательской деятельности.
		ПК-2.2	Способен использовать знания о свойствах материалов для решения конкретных профессиональных задач	Знать: основные современные методологические, теоретические и экспериментальные подходы к решению задач синтеза твердофазных материалов; Уметь: выделять и систематизировать основные идеи в научной литературе, составлять конспекты и планы текстов, находить необходимую информацию, посвященную вопросам синтеза твердофазных материалов;

				Владеть: навыками выбора методов и средств решения задач исследования, применять различные методы в комплексе для достижения наилучших результатов.
ПК-3	Способен проводить обработку и анализ результатов исследования, полученных основными методами анализа веществ, элементного и фазового состава, структуры и свойств материалов (включая наноматериалы)	ПК-3.1	Обладает знаниями возможностей основных методов анализа веществ, элементного и фазового состава, структуры и свойств материалов (в том числе наноматериалов)	Знать: возможности основных методов анализа материалов по установлению их состава, структуры и свойств; Уметь: применять основные методы анализа для установления состава, структуры и свойств материалов; Владеть: навыками использования основных методов анализа состава, структуры и свойств материалов;
		ПК-3.2	Обрабатывает и анализирует результаты типовых методов исследования состава, структуры и свойств материалов (в том числе наноматериалов)	Знать: основные приемы анализа результатов анализа материалов с целью установлению их состава, структуры и свойств; Уметь: интерпретировать результаты методов анализа материалов с целью установления их состава, структуры и свойств; Владеть: навыками обработки и анализа результатов исследования состава, структуры и свойств материалов;
ПК-4	Способен проводить анализ сырья и компонентов, аттестацию производимых материалов по структуре и свойствам	ПК-4.1	Выполняет стандартные технологические операции для характеристики сырья, промежуточной и конечной продукции производства материалов	знать: стандартные технологические операции для характеристики сырья, промежуточной и конечной продукции производства материалов; уметь: выполнять стандартные технологические операции для характеристики сырья, промежуточной и конечной продукции производства материалов; владеть: навыками выполнения стандартных технологических операций для характеристики сырья, промежуточной и конечной продукции производства материалов;
		ПК-4.2	Составляет протоколы аттестации материалов и отчеты о выполненной работе в соответствии с заданной формой	знать: основные требования к оформлению протоколов аттестации материалов; уметь: подготавливать документацию по итогам испытаний материалов; владеть: навыками подготовки документации по итогам испытаний материалов;

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 3/108

Форма промежуточной аттестации – дифференцированный зачет.

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость			
		Всего	По семестрам		
			№ семестра	№ семестра 3	...
Контактная работа					
в том числе:	лекции	36		36	
	практические	36		36	
	лабораторные				
	курсовая работа				
Самостоятельная работа		36		36	
Промежуточная аттестация					
Итого:		108		108	

13.1. Содержание дисциплины

№ п / п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1. Лекции			
1	Основные подходы к классификации материалов. Основные принципы получения материалов	Классификация материалов: общая, по составу, по структуре, по формам существования, по функциональным свойствам. Принципы получения материалов: периодичности; структурного дизайна; химического, термодинамического и структурного подобия; непрерывности и соответствия компонентов равновесной системы, ограничения числа независимых параметров состояния в равновесной системе; структурного разупорядочения непостоянства состава; химического, структурного, фазового усложнения и др. и их сущность.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11351
2	Методы неорганического синтеза. Синтез на основе реакций ионного обмена в водной среде. Окислительно-восстановительные реакции в неорганическом синтезе	Измельчение, растворение, упаривание, перекристаллизация, осаждение, декантирование, фильтрование при нормальном давлении и под вакуумом. Сушка веществ. Прокаливание. Планирование синтеза. Выбор методов и исходных веществ. Характеристика исходных веществ. Методы разделения продуктов синтеза и побочных веществ в водных растворах. Получение нерастворимых и растворимых соединений. Синтез двойных солей и комплексных соединений. Характеристика продуктов и их свойств. Реакции в водных растворах. Реакции в неводных растворителях. Апротонные растворители. Амфотерные растворители. Кислотные растворители. Основные растворители. Теория сольвосистем. Получение безводных солей металлов. Диспропорционирование и конпропорционирование.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11351

		Реакции в расплавах солей. Синтезы путем электролиза. Металлотермия.	
3	Методы синтеза наноматериалов	Условия получения наночастиц и наноматериалов. Классификация и общая характеристика методов получения наночастиц и наноматериалов (высокоэнергетические методы, механохимические методы, метод нанореакторов, методы коллоидной химии, методы получения высокопористых и высокодисперсных структур замещением одного из компонентов гетерогенной системы химической реакцией или анодным растворением). Синтез наночастиц в матрицах (нульмерные, одномерные и двумерные реакторы). Получение наночастиц в нульмерных нанореакторах. Структура Y-цеолитов. Получение наночастиц в одномерных нанореакторах. Структура цеолитов (MFI, мезопористые молекулярные сита, мезопористый SiO ₂ , мезопористые алюмосиликаты, пористый оксид алюминия). Получение наночастиц в двумерных нанореакторах. Структура и состав слоистых двойных гидроксидов. Получение наночастиц в нанореакторах на основе наноструктурированных полимерных систем. Формирование наночастиц в амфифильных блок-сополимерах. Образование наночастиц металлов в полиэлектролитных системах с регулярными микроструктурами. Синтез наночастиц металлов в дендримерах. Формирование наночастиц металлов в полостях полимерной матрицы.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11351
4	Методы твердофазного синтеза	Фазовые диаграммы двухкомпонентных систем как геометрическое представление термодинамических данных. Правило фаз Гиббса. Работа с проекциями и сечениями Р-Т-х диаграмм. Основные типы конденсированных фазовых диаграмм двухкомпонентных систем: с простой эвтектикой, с образованием конгруэнтно и инконгруэнтно плавящихся промежуточных соединений, с расслаиванием в жидкой фазе, с неограниченными и ограниченными твердыми растворами, с полиморфизмом компонентов и соединений. Конденсированные диаграммы трехкомпонентных систем. Фазовые равновесия в субсолидусной области. Использование фазовых диаграмм для выбора условий синтеза. Синтез путем твердофазных реакций. Основные закономерности. Экспериментальное осуществление, роль температуры. Совместное осаждение компонентов из растворов. Кристаллизация из растворов и расплавов. Использование фазовых диаграмм. Кривые растворимости. Особенности зародышеобразования. Возможность образования метастабильных фаз. Политермические и изотермические процессы синтеза. Экспериментальное оформление. Кристаллизация из паровой фазы. Основные закономерности. Процессы сублимации и конденсации. Управление составом внутри области гомогенности отжигом в паре компонентов. Синтез и очистка веществ с помощью химических транспортных реакций в паровой фазе. Теоретические основы, основные закономерности и возможности. Выращивание	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11351

		<p>монокристаллов. Общие особенности. Механизмы роста кристаллов. Выращивание из расплавов и растворов. Методы Чохральского и Бриджмена- Стокбаргера. Зонная плавка. Выращивание из газовой фазы. Газоплазменный метод Вернейля. Получение твердых веществ в виде тонких слоев и пленок. Поликристаллические и эпитаксиальные пленки. Химическое осаждение из паровой фазы, использование гидридов, галогенидов, металлорганических соединений.</p>	
2. Практические занятия			
1	<p>Основные подходы к классификации и материалов. Основные принципы получения материалов</p>	<p>Классификация материалов: общая, по составу, по структуре, по формам существования, по функциональным свойствам. Принципы получения материалов: периодичности; структурного дизайна; химического, термодинамического и структурного подобию; непрерывности и соответствия компонентов равновесной системы, ограничения числа независимых параметров состояния в равновесной системе; структурного разупорядочения непостоянства состава; химического, структурного, фазового усложнения и др. и их сущность.</p>	<p>https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11351</p>
2	<p>Методы неорганического синтеза. Синтез на основе реакций ионного обмена в водной среде. Окислительно-восстановительные реакции в неорганическом синтезе</p>	<p>Измельчение, растворение, упаривание, перекристаллизация, осаждение, декантирование, фильтрование при нормальном давлении и под вакуумом. Сушка веществ. Прокаливание. Планирование синтеза. Выбор методов и исходных веществ. Характеристика исходных веществ. Методы разделения продуктов синтеза и побочных веществ в водных растворах. Получение нерастворимых и растворимых соединений. Синтез двойных солей и комплексных соединений. Характеристика продуктов и их свойств. Реакции в водных растворах. Реакции в неводных растворителях. Апротонные растворители. Амфотерные растворители. Кислотные растворители. Основные растворители. Теория сольвосистем. Получение безводных солей металлов. Диспропорционирование и конпропорционирование. Реакции в расплавах солей. Синтезы путем электролиза. Металлотермия.</p>	<p>https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11351</p>
3	<p>Методы синтеза наноматериалов</p>	<p>Условия получения наночастиц и наноматериалов. Классификация и общая характеристика методов получения наночастиц и наноматериалов (высокоэнергетические методы, механохимические методы, метод нанореакторов, методы коллоидной химии, методы получения высокопористых и высокодисперсных структур замещением одного из компонентов гетерогенной системы химической реакцией или анодным растворением). Синтез наночастиц в матрицах (нульмерные, одномерные и двумерные реакторы). Получение наночастиц в нульмерных нанореакторах. Структура Y-цеолитов. Получение наночастиц в одномерных нанореакторах. Структура цеолитов (MFI, мезопористые молекулярные сита, мезопористый SiO₂, мезопористые алюмосиликаты, пористый оксид алюминия). Получение наночастиц в двумерных нанореакторах. Структура и состав слоистых двойных гидроксидов. Получение наночастиц в нанореакторах на основе наноструктурированных</p>	<p>https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11351</p>

		полимерных систем. Формирование наночастиц в амфифильных блок-сополимерах. Образование наночастиц металлов в полиэлектролитных системах с регулярными микроструктурами. Синтез наночастиц металлов в дендримерах. Формирование наночастиц металлов в полостях полимерной матрицы.	
4	Методы твердофазного синтеза	<p>Фазовые диаграммы двухкомпонентных систем как геометрическое представление термодинамических данных. Правило фаз Гиббса. Работа с проекциями и сечениями Р-Т-х диаграмм. Основные типы конденсированных фазовых диаграмм двухкомпонентных систем: с простой эвтектикой, с образованием конгруэнтно и инконгруэнтно плавящихся промежуточных соединений, с расслаиванием в жидкой фазе, с неограниченными и ограниченными твердыми растворами, с полиморфизмом компонентов и соединений. Конденсированные диаграммы трехкомпонентных систем. Фазовые равновесия в субсолидусной области.</p> <p>Использование фазовых диаграмм для выбора условий синтеза. Синтез путем твердофазных реакций. Основные закономерности. Экспериментальное осуществление, роль температуры. Совместное осаждение компонентов из растворов. Кристаллизация из растворов и расплавов. Использование фазовых диаграмм. Кривые растворимости. Особенности зародышеобразования. Возможность образования метастабильных фаз. Политермические и изотермические процессы синтеза. Экспериментальное оформление. Кристаллизация из паровой фазы. Основные закономерности. Процессы сублимации и конденсации. Управление составом внутри области гомогенности отжигом в паре компонентов. Синтез и очистка веществ с помощью химических транспортных реакций в паровой фазе. Теоретические основы, основные закономерности и возможности. Выращивание монокристаллов. Общие особенности. Механизмы роста кристаллов. Выращивание из расплавов и растворов. Методы Чохральского и Бриджмена-Стокбаргера. Зонная плавка. Выращивание из газовой фазы. Газоплазменный метод Вернейля. Получение твердых веществ в виде тонких слоев и пленок. Поликристаллические и эпитаксиальные пленки. Химическое осаждение из паровой фазы, использование гидридов, галогенидов, металлоорганических соединений.</p>	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11351

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Основные подходы к классификации материалов. Основные принципы получения материалов	4	4		4	12

2	Методы неорганического синтеза. Синтез на основе реакций ионного обмена в водной среде. Окислительно-восстановительные реакции в неорганическом синтезе	6	6		6	18
3	Методы синтеза наноматериалов	10	10		10	30
4	Методы твердофазного синтеза	16	16		16	48
Итого:		36	36		36	108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для успешного освоения дисциплины, необходимо

- изучение основных и дополнительных литературных источников;
- подготовка рефератов с целью более детального изучения вопросов, рассматриваемых на лекциях;
- текущий контроль успеваемости в форме устного опроса.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Кнотько А.В., Пресняков И.А., Третьяков Ю.Д. Химия твердого тела М.: Академия, 2006, 420 с.
2	Мюллер У. Структурная неорганическая химия. Долгопрудный: Интеллект, 2010, 352 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Ч.Н.Р.Рао, Дж.Гополакришнан. Новые направления в химии твердого тела. Новосибирск: Наука, 1990, 520 с.
4	Сергеев Г.Б. Нанохимия: учебное пособие, -2-е изд. –М.: КДУ, 2007, 336 с.
5	Черкасова Т.Г., Кузнецова О.А., Чурилова Н.Н., Шевченко Т.М. Основы неорганического синтеза : учеб. пособие для ВПО. Изд.: КузГТУ, 2012, 110 с.
6	Елисеев А.А., Лукашин А.В. Функциональные наноматериалы. - М.: Физматлит. 2010, 456 с.
7	Новоселова А.В. Фазовые диаграммы, их построение и методы исследования. 1987, 207 с.
8	Шефер Г. Химические транспортные реакции. – М.: Мир. 1964, 194 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Источник
9	http://www.elibrary.ru – научная электронная библиотека.
10	http://www.lib.vsu.ru – Зональная научная библиотека ВГУ.

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

Проведение текущей аттестации и самостоятельной работы по отдельным разделам дисциплины.
ЭУМК <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11351>

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Ноутбук, мультимедийный проектор, экран

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Основные подходы к классификации материалов. Основные принципы получения материалов	ПК-2 ПК-3 ПК-4	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-3.1 ПК-3.2 ПК-4.1 ПК-4.2	Текущий опрос
2.	Методы неорганического синтеза. Синтез на основе реакций ионного обмена в водной среде. Окислительно-восстановительные реакции в неорганическом синтезе	ПК-2 ПК-3 ПК-4	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-3.1 ПК-3.2 ПК-4.1 ПК-4.2	Текущий опрос
3.	Методы синтеза наноматериалов	ПК-2 ПК-3 ПК-4	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-3.1 ПК-3.2 ПК-4.1 ПК-4.2	Текущий опрос
4.	Методы твердофазного синтеза	ПК-2 ПК-3 ПК-4	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-3.1 ПК-3.2 ПК-4.1 ПК-4.2	Текущий опрос
Промежуточная аттестация форма контроля - дифференцированный зачет				Перечень вопросов

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью опроса на практических занятиях

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: собеседование по билетам

Список вопросов

1. Общие принципы классификации материалов
2. Классификация материалов по составу
3. Классификация материалов по структуре
4. Классификация материалов по формам существования
5. Классификация материалов по функциональным свойствам
6. Основные типы функциональных материалов
7. Основные принципы получения материалов
8. Принцип периодичности
9. Принцип структурного дизайна
10. Принцип химического, термодинамического и структурного подобия
11. Принцип непрерывности и соответствия компонентов равновесной системы
12. Диаграммы состояния ограниченной растворимостью в твердой фазе
13. Диаграммы состояния с конгруэнтным и инконгруэнтным плавлением
14. Диаграммы состояния с превращениями в твердой фазе.
15. Диаграммы состояния с полиморфизмом.
16. Принцип структурного разупорядочения и непостоянства состава
17. Принцип химического, структурного, фазового усложнения
18. Принцип химической, гранулометрической и фазовой однородности
19. Принцип эквивалентности источников беспорядка
20. Принцип одинакового эффекта различных физико-химических воздействий
21. Принцип синергетического эффекта различных физико-химических воздействий
22. Принцип неравноценности объема и поверхности
23. Принцип метастабильного многообразия
24. Зависимость физико-химических свойств твердых веществ от строения кристаллов
25. Образование точечных дефектов.
26. Электрические свойства точечных дефектов
27. Дислокации. Их образование и роль.
28. Планарные дефекты.

Практические задания

1. Определить тип и рассчитать количество собственных дефектов в кристалле $A^{+1}B^{-1}$, образующихся после его легирования x ионами C^{2+} .
2. Определить тип и рассчитать количество собственных дефектов в кристалле $A^{+2}B^{-2}$, образующихся после его легирования x ионами C^{1+} .
3. Определить тип и рассчитать количество собственных дефектов в кристалле $A^{+2}B^{-2}$, образующихся после его легирования x ионами C^{3+} .
4. Определить тип и рассчитать количество собственных дефектов в кристалле $A^{+3}B^{-3}$, образующихся после его легирования x ионами C^{2+} .
5. Определить тип и рассчитать количество собственных дефектов в кристалле $A^{+3}B^{-3}$, образующихся после его легирования x ионами C^{4+} .

Описание технологии проведения.

После получения студентом билета КИМ и бланка листа ответа, самостоятельно выполняются задания КИМ в письменной форме. Время подготовки 40 минут. При выставлении итоговой оценки по промежуточной аттестации учитывается активность и успешность работы студента на этапах текущего контроля успеваемости.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания.

Оценка “отлично” ставится если студент дает полный и правильный ответ, раскрывая теоретические и практические аспекты вопроса, анализируя литературные источники по данному вопросу, аргументирует собственную позицию по данному вопросу

Оценка “хорошо” ставится если студент допускает несущественные ошибки, испытывает трудности при определении собственной оценочной позиции

Оценка “удовлетворительно” ставится если студент допускает существенные ошибки, нарушена логика изложения материала, требуются наводящие вопросы преподавателя

Оценка “неудовлетворительно” ставится при незнании или непонимании большей или наиболее существенной части содержания учебного материала