

Белорусский государственный университет

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе  
и образовательным инновациям

О.Г. Прохоренко

«30» июня 2023 г.

Регистрационный № УД-12512 /уч.



**ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ТВЕРДЫХ ФАЗ**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 05 01-01 Химия (научно-производственная деятельность)

2023 г.



Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 05 01-2021 №97 от 25.04.2022. и учебного плана № G 31-01-005 УП. 25.05.2021.

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

О.Н. ВРУБЛЕВСКАЯ, доцент кафедры неорганической химии, кандидат химических наук, доцент

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

ГАПОНЕНКО Н.В. профессор кафедры микро- и наноэлектроники Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, доктор физико-математических наук, профессор.  
ЮРКОВА И.Л., профессор кафедры аналитической химии Белорусского государственного университета, доктор химических наук, доцент

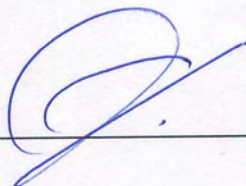
**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой неорганической химии Белорусского государственного университета

(протокол № 14 от 04.05.2023 г.);

Научно-методическим Советом Белорусского государственного университета (протокол № 9 от 29.06.2023)

Зав.кафедрой  
д.х.н., профессор



Д.В. Свиридов

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа по дисциплине «Основы химического синтеза твердых фаз» разработана для обучающихся I ступени высшего образования в соответствии с образовательным стандартом и учебным планом специальности 1-31 05 01-01 Химия (научно-производственная деятельность).

Учебная дисциплина «Основы химического синтеза твердых фаз» имеет научную и прикладную направленность. В ней суммированы общие подходы к синтезу неорганических веществ в твердом состоянии, основанные на: современных представлениях о термодинамике и кинетике протекания химических реакций; процессов возникновения и роста зародышей и их рекристаллизации; об особенностях протекания реакций с образованием твердых фаз в определенных структурных организациях; о путях управления составом, структурой и свойствами получаемых продуктов в растворах расплавах, газовой фазе, твердофазном синтезе.

### **Цели и задачи учебной дисциплины**

**Цель** учебной дисциплины – научить студентов целенаправленно подбирать методику и конкретные условия синтеза неорганических веществ заданной структурной организации и заданного состава, что позволит будущим выпускникам самостоятельно решать проблемы разработки новых методов получения материалов различного назначения, а также обслуживания и совершенствования используемых технологий.

### **Задачи учебной дисциплины:**

1. Выработка целенаправленного, обоснованного подхода к выбору метода синтеза неорганических веществ в определенной структурной организации, заданного элементного и фазового состава;
2. Формирование научного мировоззрения для комплексного анализа факторов, влияющих на степень чистоты получаемого продукта, состав, структурную организацию.

В системе подготовки специалиста с высшим образованием учебная дисциплина относится к дисциплинам специализации компонента УВО.

### **Формирование компетенций**

Освоение учебной дисциплины «Основы химического синтеза твердых фаз» должно обеспечить формирование

УК-1 Владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации

В результате изучения учебной дисциплины студент должен

### **знать:**

– механизм и кинетику реакций осуществляемых в растворах (водных, неводных), расплавах, газовой фазе, твердофазных реакциях;

–факторы, влияющие на получение твердых тел определенного состава(элементного, фазового) и в определенной структурной организации.

**уметь:**

–использовать знания при подборе методик получения веществ в заданного состава, в определенной структурной организации и степени чистоты.

–прогнозировать физические свойства и реакционную способность твердых тел на основе знания их химического, фазового состава и структуры,

–анализировать вероятные проблемы, возникающие при получении веществ по различным методикам в водной (неводной) среде, расплаве, газовой фазе, твердофазных реакциях.

**владеть:**

– методами планирования и организации синтеза неорганических веществ в водной (неводной) среде, при проведении твердофазных реакций.

–методиками получения веществ в определенной структурной организации в водных растворах;

–методиками управления реакционной способностью веществ в водных растворах, при проведении твердофазных реакций.

### **Структура содержания учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 6 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Основы химического синтеза твердых фаз» отведено:

– для очной формы получения высшего образования– 102 часа, в том числе 54 аудиторных часов, из них: лекции –24 часа, лабораторные – 18 часов, семинарские занятия– 8 часов, управляемая самостоятельная работа – 4часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма **промежуточной** аттестации – зачет.

# СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

## Раздел 1. Современный неорганический синтез

### Тема 1.1 Современный неорганический синтез: способы управления химическим и фазовым составом, микроструктурой твердых фаз

Способы классификации неорганических твердых фаз по составу, структурной организации.

Современный неорганический синтез: способы управления химическим и фазовым составом, микроструктурой твердых фаз, поиск путей получения и идентификации новых неорганических соединений, композиционных материалов; направления разработки новых методов получения известных соединений, композиционных материалов. Роль предшественников (прекурсоров) в неорганическом синтезе: в растворе, в твердой фазе, в газовой фазе.

Классификация физических и химических процессов, используемых в неорганическом синтезе. Обоснование возможности и рациональности метода синтеза требуемого вещества с заданной структурой. Выбор условий проведения синтеза на основании анализа термодинамических и кинетических факторов, определяющих возможность осуществления и скорость реакции. Прогнозирование степени чистоты, характера загрязнений, структуры, возможных дефектов структуры.

## Раздел 2. Синтез неорганических соединений в растворе

### Тема 2.1. Классификация растворителей. Синтез монокристаллов и поликристаллических веществ (покрытий, порошков) в водных и неводных растворителях

Растворители, растворимость. Общая характеристика факторов, обуславливающих зависимость скорости реакции в растворе от среды: природа растворителя, вязкость, сольватация, ионизация растворителем, солевой эффект. Зависимость растворимости от природы растворяемого вещества и растворителя (механизмы сольватации, специфическая и неспецифическая сольватация). Процессы, осложняющие и облегчающие растворение. Оценка физических и химических свойств веществ как растворителей и сред для проведения синтеза. Классификация растворителей. Донорные и акцепторные числа растворителей. Принципы выбора растворителей для синтеза. Растворитель как средство управления химическим процессом.

Неводные растворители в современном неорганическом синтезе. Смешанные растворители.

Современные представления о закономерностях образования твердой фазы в растворах. Особенности зародышеобразования в гомогенных и

гетерогенных системах. Влияние условий осаждения (степени пересыщения, вязкости среды, интенсивности перемешивания, температуры, адсорбции ионов на поверхности и др.) на формирование твердой фазы. Кинетика образования и роста частиц твердой фазы в растворе.

### **Тема 2.2. Общие принципы управления морфологией, структурой твердофазных продуктов, осаждаемых из растворов**

Общие принципы управления морфологией, структурой твердофазных продуктов, осаждаемых из растворов.

Принципы подбора условий осаждения для получения продукта определенной дисперсности (от грубо- до ультрадисперсной), структуры (аморфной, кристаллической), формы (порошки, моно- и поликристаллические пленки, монокристаллы). Условия формирования поли- и монодисперсных осадков. Механизмы роста твердых фаз в растворах.

Проблемы количественного выделения продуктов синтеза. Загрязнение продуктов синтеза в растворах и общие принципы получения чистых продуктов. Явления изоморфизма изодиморфизма и особенности их проявления при соосаждении веществ из растворов. Условия образования смешанных кристаллов, твердых растворов. Специфические дефекты монокристаллов, выращиваемых в растворе.

### **Тема 2.3. Синтез веществ в ультра - и нано- дисперсном состоянии**

Составы растворов и условия получения веществ в ультра- и нанодисперсном состоянии. Кинетическая и агрегативная устойчивость коллоидных растворов. Особенности химической природы стабилизаторов. Методы концентрирования и очистки золь (испарение растворителя, его экстракция, диализ, электродиализ).

Золь-гель синтез. Получение ксерогелей. Использование золь-гель процесса для получения неорганических сорбентов, катализаторов, синтетических цеолитов, пористой керамики, пленок, вяжущих, волокон.

### **Тема 2.4. Электрохимический синтез неорганических веществ.**

Общая характеристика процессов электрохимического осаждения металлов в виде слоев (покрытий), порошков, монокристаллов (вискеры олова и серебра); синтез сплавов и композитов. Составы растворов для электрохимического синтеза покрытий, роль компонентов раствора.

Электрохимический синтез сильных окислителей (гипохлоритов, хлоратов, манганатов, пероксодисульфатов) а также перхлоратов.

Синтез оксидных покрытий (анодное окисление алюминия, кремния, германия).

Гидрометаллургия. Извлечение металлов из отработанных электролитов.



## **Раздел 3. Синтез неорганических веществ в расплавах**

### **Тема 3.1 Синтез монокристаллов, поликристаллических веществ, расплавах**

Условия получения монокристаллов простых и сложных веществ, поликристаллических веществ из расплавов.

Классификация методов получения монокристаллов в расплавах – пьедестальные, тигельные и бестигельные методы (методы Вернейля, Чохральского, Киропулоса, Шубникова, Стокбаргера, Бриджмена). Проблемы гидродинамики расплава, теплопереноса и массопереноса при получении монокристаллов из расплава. Механизмы роста твердых фаз в расплавах. Распределение примесей в монокристаллах. Специфические дефекты монокристаллов, выращиваемых в расплаве.

Расплав-раствор (перекристаллизация, синтез сложных веществ (халькогенидов, титантов, ферратов и др. с определенным фазовым составом).

### **Тема 3.2. Синтез стекол, ситаллов.**

Классификация стекол (элементарные, оксидные, халькогенидные, галогенидные, металлические).

Кинетика формирования твердой фазы при получении стекол охлаждением расплава. Дефекты стекол.

Синтез ситаллов.

## **Раздел 4. Синтез неорганических веществ в паровой или газовой фазе пленок, порошков, монокристаллов**

### **Тема 4.1. Методы регулирования структурной организации твердых фаз при их получении в газовой (паровой фазе).**

Методы регулирования структурной организации твердых фаз при их получении в газовой (паровой фазе). Организация синтеза и его стадии. Механизмы роста твердых фаз. Дефекты монокристаллов и эпитаксиальных пленок, выращиваемых в газовой фазе.

Газотранспортные реакции в получении монокристаллов и эпитаксиальных пленок, очистке веществ. Методы получения монокристаллов, поликристаллических веществ, эпитаксиальных пленок в ампулах, в открытой трубе, в потоке газа-носителя.

Использование термического разложения легколетучих органических соединений металлов для получения пленок и порошков металлов, карбидов и оксидов металлов. 3-d печать.

## **Тема 4.2 Гидротермальный синтез монокристаллов и поликристаллических веществ.**

Гидротермальный синтез. Структурные организации продуктов гидротермального синтеза. Организация процесса синтеза. Механизм роста твердых фаз. Специфические дефекты монокристаллов.

Методы гидротермального синтеза: температурного перепада, общего снижения температуры, метастабильной шихты, разделенной шихты.

## **Раздел 5 .Синтез неорганических соединений в твердой фазе.**

### **Тема 5.1. Синтез неорганических соединений в твердой фазе (порошковый и керамический методы, самораспространяющийся высокотемпературный синтез)**

Механизмы диффузии в твердых телах. Факторы, определяющие скорость твердофазной реакции.

Керамический метод синтеза. Метод порошковой металлургии.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез.

3-d печать с использованием приемов твердофазного синтеза.



## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования с применением дистанционных образовательных технологий

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Тема 1.1 Современный неорганический синтез: способы управления химическим и фазовым составом, микроструктурой твердых фаз.	2						собеседование
2	Тема 2.1 Классификация растворителей. Синтез монокристаллов и поликристаллических веществ в водных и неводных растворителях.	2		2				Устный опрос. Решение задач,
3	Тема 2.2 Общие принципы управления морфологией, структурой твердофазных продуктов, осаждаемых из растворов.	2			6			Устный опрос, контрольная работа, отчет по домашним практическим упражнениям
4	Тема 2.3. Синтез веществ в ультра- и нано-	2			6			дискуссия, контрольная работа,

	дисперсном состоянии			2				
5	Тема 2.4 Электрохимический синтез покрытий из металлов и сплавов, оксидов. Применение электролиза для получения сильных окислителей.	4			6			собеседование, коллоквиум по темам 1.1-2.4, рефераты
6	Тема 3.1 Синтез монокристаллов, поликристаллических веществ, в расплавах.	2						дискуссия, коллоквиум по темам 3.1. и 3.2
7	Тема 3.2. Синтез стекол, ситаллов.	2		2				
8	Тема 4.1. Методы регулирования структурной организации твердых фаз при их получении в газовой (паровой фазе).	2						собеседование, контрольная работа
9	Тема 4.2 Гидротермальный синтез монокристаллов и поликристаллических веществ.	2					2	собеседование, контрольная работа, коллоквиум по темам 3.1-4.2
10	Тема 5.1. Синтез неорганических соединений в твердой фазе (порошковый и керамический методы, самораспространя	4					2	собеседование, контрольная работа

ющийся высокотемператур ный синтез)								
---	--	--	--	--	--	--	--	--

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Перечень основной литературы

1. Врублевская, О. Н. Основы химического синтеза твердых фаз: пособие / О. Н. Врублевская. – Мн.: БГУ, 2013. –126 с.
2. Старостин, В. В. Материалы и методы нанотехнологий : учеб. пособие / В. В. Старостин ; под общ. ред. Л. Н. Патрикеева. – 2-е изд. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2017. – 431 с.
3. Химическая технология неорганических веществ : учебное пособие / Т. Г. Ахметов, В. М. Бусыгин, Л. Г. Гайсин, Р. Т. Ахметова ; под редакцией Т. Г. Ахметова. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 452 с. – ISBN 978-5-8114-3882-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/206612> (дата обращения: 21.08.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Гуров, А. А. Химия: теория и практика. Металлы и сплавы : учебник / А. А. Гуров, П. В. Слитиков, Ж. Н. Медных ; под редакцией А. А. Гурова. — 2-е изд., испр. – Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. – 359 с. Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/172907> (дата обращения: 21.08.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Шкуро, А. Е. Технологии и материалы 3D-печати : учебное пособие / А. Е. Шкуро, П. С. Кривоногов. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2017. – 99 с. –ISBN 978-5-94984-616-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/142568> (дата обращения: 21.08.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

### Перечень дополнительной литературы

1. Вест, А.Р. Химия твердого тела : теория и приложения : в 2 ч. Ч. 1 / Антони Р. Вест ; пер. с англ. А. Р. Кауля, И. Б. Куценка ; под ред. Ю. Д. Третьякова. - Москва : Мир, 1988. - 555 с.
2. Кнотько, А. В. Химия твердого тела : учеб. пособие / А. В. Кнотько, И. А. Пресняков, Ю. Д. Третьяков. - Москва : Academia, 2006. - 303 с.
3. Пинчук, С.И. Химия твердого тела (краткий курс): Учебник для студентов технических вузов.– Киев: ООО «Издательский дом АртЕК», 2018.–120 с.

4. Остроушко, А.А. Физико-химические основы получения твердофазных материалов электронной техники / А.А. Остроушко, Ю.В. Могильников. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2011. – 158 с.
5. Пополитов, Владислав Иванович. Выращивание монокристаллов в гидротермальных условиях / В. И. Пополитов, Б. Н. Литвин ; отв. ред. И. В. Тананаев - Москва : Наука, 1986. – 190 с.
6. Фиалков, Ю. Я. Растворитель как средство управления химическим процессом / Ю. Я. Фиалков. - Ленинград : Химия, Ленинградское отд-ние, 1990. - 236с.
7. Болдырев, В.В. Управление химическими реакциями в твердой фазе // Соросовский образовательный журнал. –1996. – № 5.–С. 49–55.
8. Гропянов, А. В. Порошковые материалы [Электронный ресурс] : учебное пособие / Гропянов А. В. - Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2017. - 74 с.
9. Füredi-Milhofer H.. Spontaneous precipitation from electrolytic solutions // Pure and Appl. Chem. –1981. Vol. 53, No 11. P. 2041–2055.
10. Brinker C.J., Scherer G.W. Sol-gel science: the physics and chemistry of sol-gel processing. – N.-Y.: Academic Press, Inc., 1990. – 908 p.
11. Карпова О.Г. Рост и морфология кристаллов. –М.: МГУ, 1990.– 368 с.
12. Rodríguez B.S, Mayora A.S., Herrera-Herrera A.V., Delgado M.R. Chapter 5. Deep eutectic solvents green sustainable process for chemical and environmental engineering and science ionic liquids as green solvents. – Elsevier. 2019, –P.123-177
13. Byrappa K., Yoshimura M. Handbook of hydrothermal technology. –Elsevier. 2013. – 537 p.
14. Girolami G. S., Sattelberger A. P. Inorganic Syntheses, Vol. 36. –John Wiley & Sons, 2014.–336 p.
15. Duda T., Raghavan L.V. 3D Metal printing technology // IFAC- Papers OnLine. – 2016. Vol. 49-29. – P. 103-110

#### **Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки**

Текущий контроль качества усвоения знаний по данной учебной дисциплине может осуществляться с использованием следующих форм диагностики компетенций:

1. Устный опрос в формате вопрос – ответ.
2. Защита индивидуальных лабораторных работ.
3. Отчеты по домашним практическим упражнениям.
4. Написание аудиторных контрольных работ по темам №№ 2.3, 4.1, 4.2, 5.1.
5. Рефераты.
6. Устный зачет по дисциплине.

Примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний и (промежуточной) аттестации в итоговую отметку:



1. Защита индивидуальных лабораторных работ – 25 %.
2. Отчеты по домашним практическим упражнениям – 25 %.
3. Контрольные работы – 50 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей успеваемости и зачета с учетом их весовых коэффициентов. Весовой коэффициент отметки текущей успеваемости составляет 35 %, зачет – 65 %.

### **Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов**

Тема 4.2 Гидротермальный синтез монокристаллов и поликристаллических веществ. (2ч.)

Задания проектного типа (индивидуальные):

- 1) Предложить методики получения монокристаллического кварца, цинкита.
- 2) Предложить методики получения ультрадисперсного  $TiO_2$ .
- 3) Предложить методики получения цирконата бария в разных структурных организациях.

Перечень средств диагностики: опрос или оформление презентации по теме.

Тема 5.1. Синтез неорганических соединений в твердой фазе (порошковый и керамический методы, самораспространяющийся высокотемпературный синтез). (2ч.)

Задания проектного типа (индивидуальные):

- 4) Твердофазный синтез сложнооксидной керамики.
- 5) Твердофазный синтез сплавов.
- 6) Самораспространяющийся синтез (получение стали, карбидов, нитридов, оксидов и др.).

Перечень средств диагностики: опрос или оформление презентации по теме.

### **Примерная тематика лабораторных занятий**

Лабораторное занятие № 1. Синтез в водных растворах ультра- и нанодисперсных порошков серебра (оксидов железа, оксидов кобальта); получение золя и геля  $SiO_2$ .

Лабораторное занятие № 2. Химический синтез поликристаллических покрытий в водных растворах (покрытия из никеля, олова, меди, серебра) на подложках их меди, стали, алюминия.

Лабораторное занятие № 3. Электрохимический синтез поликристаллических покрытий в водных растворах (покрытия из никеля, олова, меди, сплава никель-олово и др.) на подложках их меди, стали, алюминия.

## **Примерная тематика семинарских занятий**

### **Семинарское занятие № 1. «Современный неорганический синтез. Классификация методов синтеза. Синтез моно- и поликристаллических веществ в растворах»**

- 1) Приведите примеры различных способов классификации неорганических веществ.
- 2) Приведите примеры различных типов структурной организации твердых тел. (монокристаллы, поликристаллические системы, др.)
- 3) Укажите способы управления реакционной способностью веществ при осуществлении реакций в водных растворах и твердофазном синтезе.
- 4) Этапы формирования твердых фаз (в растворах, расплавах, газовой фазе). Гомо- и гетерогенное зародышеобразование. Критический радиус зародыша кристалла. Механизмы роста кристаллов.
- 5) Механизмы гомо- и гетеромолекулярной ассоциации, гомо- и гетеро-ионизации молекул растворителя и растворенного вещества.
- 6) Анализ диаграмм растворимости неорганических веществ в воде. Выбор условий кристаллизации твердой фазы.
- 7) Метастабильные и лабильные растворы. Способы приготовления пересыщенных растворов. Факторы, влияющие на растворимость вещества, правила приготовления пересыщенных растворов, в растворителях с разной диэлектрической проницаемостью. Синтез монокристаллов, оборудование. Дефекты монокристаллов (нульмерные, одномерные, двухмерные и специфические), выращенных в растворах. Полиморфизм, изоморфизм, изодиморфизм (примеры).
- 8) Классифицируйте типы химических реакций, используемых для синтеза зольей. Приведите примеры получения зольей неметаллов, металлов, оксидов металлов, халькогенидов, труднорастворимых солей. Охарактеризуйте состав коллоидных частиц в каждом приведенном случае. От чего зависит заряд частицы?
- 9) Стабилизация частиц зольей. Вещества-стабилизаторы. Контроль размеров и формы частиц.
- 10) Укажите стадии химических превращений при получении гелей. Приведите примеры механизмов сополиконденсации гидролизированных алкоксидов.

### **Семинарское занятие № 2. «Электрохимический синтез. Получение металлических и оксидированных покрытий»**

1. Принцип электрохимического синтеза. Законы электрохимического синтеза (Законы Фарадея). Оборудование для проведения электрохимического синтеза.
2. Что означает термин «перенапряжение» (поляризация). Какие составляющие включает данное понятие. Как перенапряжение связано со стандартным значением окислительно-восстановительного потенциала. Как влияет величина перенапряжения на качество формирующихся покрытий.

3. Как влияет природа катиона, аниона, концентрация ионов металлов, pH, плотность тока, рабочая температура электролита, наличие в растворе ПАВ на качество формирующихся металлических покрытий, выход металла по току?

4. Составы электролитов для электрохимического синтеза металлических покрытий, компоненты, их роль.

5. С какими факторами связано микро- и макрораспределение металла (плотности тока) по поверхности катода?

6. Приведите примеры получения нанопроволок металлов с использованием метода электрохимического синтеза?

7. Предложите условия получения порошковой меди. Возможно ли получение порошка никеля, железа?

8. Какие проблемы, возникающие при электроосаждении металлических покрытий, позволяет решить использование неводных электролитов? Сформулируйте требования к неводным электролитам, которые могут быть использованы в электрохимическом синтезе?

9. Электрохимический синтез гипохлорита натрия.

10. Электрохимический синтез хлората калия.

11. Электрохимический синтез пероксодисульфата аммония.

12. Электрохимический синтез перманганата калия.

### **Семинарское занятие № 3. «Синтез монокристаллов (поликристаллических веществ) в расплавах и расплавах-растворах. Синтез стекол»**

1. В чем заключаются особенности выращивания монокристаллов (поликристаллов) из расплавов в сравнении с выращиванием монокристаллов (поликристаллов) из растворов? Укажите ограничения применения метода выращивания кристаллов из расплавов.

2. От каких факторов зависит скорость роста кристалла в растворе (водном или неводном) и расплаве?

3. Механизмы роста монокристаллов в расплавах. Распределение примесей по длине кристалла и его сечению в зависимости от формы границы роста.

4. Сущность метода Вернейля. Преимущества метода и его недостатки.

5. Сущность метода Чохральского. Влияние гидродинамики расплава на дефектность формирующегося кристалла.

6. Сущность метода Киропулоса. Преимущества метода и его недостатки.

7. Метод зонной плавки. Особенности применения метода.

8. Дайте краткую характеристику тигельным методам кристаллизации (Метод Бриджмена, Стокбаргера и др.).

9. Синтез монокристаллов в растворах-расплавах. (3 вида методов)

10. Дефекты кристаллов, получаемых путем синтеза из расплава.

11. Отличия в свойствах аморфных (стеклообразных) и кристаллических веществ.

12. Условия формирования веществ в стеклообразном состоянии. Изменение свойств (объема и теплоемкости) вещества в расплаве, при кристаллизации и стекловании.

13. Классификация веществ, склонных к стеклообразованию. Классификация стеклообразующих материалов по типу химической связи.

14. Правила Захарисена. Структурные модели стеклообразного оксида кремния(IV) и боратных стекол.

15. Общие методы получения веществ в аморфном (стеклообразном состоянии).

16. Составы промышленных стекол. Назначение компонентов стекол (стеклообразователи, модификаторы, глушители, осветлители, красители, ускорители). Соединения, используемые в качестве исходных реагентов.

17. Опишите стадии технологического процесса получения промышленных (оконных) стекол. Дайте характеристику процессам, осуществляющимся на каждой стадии промышленного процесса.

18. Дефекты стекол. Причины возникновения.

19. Ситаллы, применение, синтез. Катализаторы, применяемые для получения ситаллов и механизмы их действия.

#### Семинарское занятие № 4. «Получение пленок, порошков, монокристаллов в паровой или газовой фазе»

1. Этапы формирования монокристаллов в газовой фазе: методы перевода вещества в газовую (паровую фазу); механизмы переноса вещества от источника до подложки; механизм кристаллизации в газовой (паровой) фазе.

2. Выращивание монокристаллов в газовой (паровой) фазе методом сублимации-конденсации в замкнутой системе, запаянной ампуле, в проточной системе.

3. Укажите сходства и отличия (специальные требования) в выращивании монокристаллов в газовой фазе методами сублимации-конденсации и химических реакций. Классифицируйте типы реакций, которые можно использовать для выращивания монокристаллов в газовой фазе.

4. Транспортные реакции: определение, назначение, «агенты переносчики», способы реализации (в проточной системе, запаянной ампуле).

5. Преимущества эпитаксиального синтеза пленок в сравнении с синтезом монокристаллов в газовой фазе.

6. Дайте определения понятию «эпитаксия», что означают термины гомоэпитаксия, гетероэпитаксия.

7. Механизмы роста гомо- и гетеро- эпитаксиальных пленок.

8. Дефекты эпитаксиальных пленок.

9. Синтез эпитаксиальных пленок методом газотранспортных реакций. Приведите соответствующие примеры.



10. Синтез эпитаксиальных пленок методом химических реакций. Получение эпитаксиальных пленок кремния (германия): схема процесса, химические реакции, этапы (легирование).

11. Молекулярно лучевая эпитаксия (получение эпитаксиальных пленок германия, арсенида галлия, послойное получение полупроводниковых структур селенида свинца –арсенид галлия).

12. Приведите примеры получения поликристаллических структур методом синтеза в газовой фазе.

### **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины(эвристический, проективный, практико-ориентированный)**

При организации образовательного процесса по спецкурсу используются **практико-ориентированный подход и метод учебной дискуссии.**

**Практико-ориентированный подход** предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме.

Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

**Метод учебной дискуссии** предполагает:

- освоение содержание образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- поиск и обзор литературы и электронных источников по заданной проблеме курса;
- выполнение домашнего задания;
- решение задач, предлагаемых на практических занятиях;
- подготовка к лабораторным и практическим занятиям.

### **Примерный перечень вопросов к зачету**

1. Этапы формирования твердых фаз (в растворах, расплавах, газовой фазе). Гомо- и гетерогенное зародышеобразование

2. Классификация физических и химических процессов, используемых в неорганическом синтезе (классификация Ормонта). Обоснование

возможности и рациональности метода синтеза требуемого вещества с заданной структурой.

3. Растворители, растворимость. Зависимость растворимости от природы растворяемого вещества и растворителя Классификация растворителей. Донорные и акцепторные числа растворителей. Принципы выбора растворителей для синтеза.

4. Механизмы гомо- и гетеромолекулярной ассоциации, гомо- и гетеро-ионизации молекул растворителя и растворенного вещества. Физические процессы и химические процессы, сопровождающие (осложняющие) процесс растворения веществ.

5. Способы получения коллоидных растворов, их устойчивость, методы стабилизации. Состав коллоидных частиц.

6. –Агрегативная и –кинетическая устойчивость” зольей, –фазовая и поверхностная устойчивость” частиц дисперсной фазы. От чего зависят эти типы устойчивости, чем определяются? Какие воздействия нарушают устойчивость зольей. Эмпирические закономерности коагуляции зольей электролитами. Стабилизация частиц зольей, вещества-стабилизаторы. Контроль размеров и формы частиц.

7. Составы растворов для получения гелей. Стадии химических превращений при получении гелей. Механизмы сополиконденсации гидролизированных алкоксидов. Синерезис. Применение крерогелей.

8. Анализ диаграмм растворимости неорганических веществ в воде. Выбор условий кристаллизации твердой фазы. Способы приготовления пересыщенных растворов. Метастабильные и лабильные растворы.

9. Преимущества и недостатки получения монокристаллов или поликристаллических неорганических веществ в растворах. Дефекты монокристаллов, выращенных в растворах. Полиморфизм, изоморфизм, изодиморфизм (примеры).

10. Выращивание в кристаллов геле (механизм выращивания кристаллов). Схема устройства, порядок операций.

11. Принцип электрохимического синтеза. Законы электрохимического синтеза. Оборудование для проведения электрохимического синтеза. Механизм электрохимического восстановления  $Ni(II)$ , окисления  $Sn(II)$  в водном растворе.

12. Влияние природы катиона, аниона, концентрации ионов металлов, pH, плотность тока, рабочей температуры электролита, наличие в растворе ПАВ на качество формирующихся металлических покрытий, выход металла по току.

13. Получение нанопроволок металлов с использованием метода электрохимического синтеза. Условия получения порошков металлов (монокристаллов металлов).

14. Электрохимический синтез гипохлоритов, хлоратов, перхлоратов. Процессы, протекающие на катоде и аноде.

15. Требования к веществам, синтезируемым методом гидротермального синтеза. Методы гидротермального выращивания кристаллов. (Метод

температурного перепада, метод общего снижения температуры. метод «метастабильной фазы, метод разделенной шихты). Дефекты кристаллов, получаемых методом гидротермального синтеза.

16. Сравнительная характеристика методов выращивания монокристаллов (поликристаллов) из расплавов и растворов? Укажите ограничения применения методов выращивания кристаллов из расплавов и растворов. Дефекты синтезируемых кристаллов.

17. Метод синтеза монокристаллов из расплавов. Границы применимости метода. Скорость выращивания монокристаллов, требования к атмосфере при которой проводится кристаллизация, требования к материалу тигля.

18. Выращивание монокристаллов из расплавов методом Чохральского. Распределение примесей, типичные для этого метода дефекты.

19. Выращивание монокристаллов из расплавов методом Киропулоса. Распределение примесей, типичные для этого метода дефекты.

20. Выращивание и очистка монокристаллов методом зонной плавки. Распределение примесей, типичные для этого метода дефекты

21. Тигельные методы выращивания монокристаллов из расплавов. Распределение примесей, типичные для этого метода дефекты.

22. Синтез монокристаллов в растворах-расплавах. (3 вида методов)

23. Этапы формирования монокристаллов в газовой фазе: методы перевода вещества в газовую (паровую фазу); механизмы переноса вещества от источника до подложки; механизм кристаллизации в газовой (паровой) фазе.

24. Выращивание монокристаллов в газовой (паровой) фазе методом сублимации-конденсации в замкнутой системе, запаянной ампуле, в проточной системе. Получение поликристаллических структур.

25. Выращивание монокристаллов в газовой фазе методом химических реакций (в том числе транспортные реакции). Классификация типов реакций используемых для выращивания монокристаллов в газовой фазе.

26. Газофазный синтез эпитаксиальных пленок. Гомоэпитаксия, гетероэпитаксия. Механизмы роста гомо- и гетеро- эпитаксиальных пленок. Дефекты эпитаксиальных пленок. Примеры получения эпитаксиальных пленок.

27. Синтез эпитаксиальных пленок с использованием металлоорганических соединений. Молекулярно лучевая эпитаксия (получение эпитаксиальных пленок германия, арсенида галлия, послойное получение полупроводниковых структур селенида свинца – арсенид галлия).

28. Объемная и поверхностная диффузия в твердофазном синтезе (механизмы, схемы, геометрические модели). Стадии физико-химических превращений реагентов в твердофазных реакциях.

29. Методы получения порошковых реагентов для керамического метода синтеза (привести примеры). Стадии твердофазного керамического метода синтеза.

30. Механические, физические, химические методы получения порошковых металлов (привести примеры). Стадии твердофазного метода порошковой металлургии.

31. Принцип реализации самораспространяющегося высокотемпературного синтеза твердофазных материалов. Типы реакций применимых для СВС синтеза. Структура материалов получаемых методом СВС. Принципы проведения СВС синтеза в промышленном масштабе

32. Условия формирования веществ в стеклообразном состоянии. Температура стеклования. Изменение свойств (объема и теплоемкости) вещества в расплаве, при кристаллизации и стекловании. Классификация стеклообразующих материалов по типу химической связи. Правила Захарисена. Структурные модели стеклообразного оксида кремния(IV) и боратных стекол.

33. Составы промышленных стекол. Стадии технологического процесса получения промышленных (оконных) стекол. Дайте характеристику Физическим процессам и химическим реакциям, осуществляющимся на каждой стадии промышленного процесса. Дефекты стекол.

34. Ситаллы, применение, состав шихты. Особенности синтеза ситаллов. Катализаторы, применяемые для получения ситаллов и механизмы их действия.



## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1. Неорганическая химия	Кафедра неорганической химии	Изменения не требуются	Программы согласованы, протокол №14 от 04.05.2023
2. Кристаллохимия	Кафедра неорганической химии	Изменения не требуются	Программы согласованы, протокол №14 от 04.05.2023

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО  
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
\_\_\_\_\_ (протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 202\_ г.)

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа по дисциплине «Основы химического синтеза твердых фаз» разработана для обучающихся I степени высшего образования в соответствии с образовательным стандартом и учебным планом специальности 1-31 05 01-01 Химия (научно-производственная деятельность).

Учебная дисциплина «Основы химического синтеза твердых фаз» имеет научную и прикладную направленность. В ней суммированы общие подходы к синтезу неорганических веществ в твердом состоянии, основанные на: современных представлениях о термодинамике и кинетике протекания химических реакций; процессов возникновения и роста зародышей и их рекристаллизации; об особенностях протекания реакций с образованием твердых фаз в определенных структурных организациях; о путях управления составом, структурой и свойствами получаемых продуктов в растворах расплавах, газовой фазе, твердофазном синтезе.

### **Цели и задачи учебной дисциплины**

**Цель** учебной дисциплины – научить студентов целенаправленно подбирать методику и конкретные условия синтеза неорганических веществ заданной структурной организации и заданного состава, что позволит будущим выпускникам самостоятельно решать проблемы разработки новых методов получения материалов различного назначения, а также обслуживания и совершенствования используемых технологий.

### **Задачи учебной дисциплины:**

1. Выработка целенаправленного, обоснованного подхода к выбору метода синтеза неорганических веществ в определенной структурной организации, заданного элементного и фазового состава;
2. Формирование научного мировоззрения для комплексного анализа факторов, влияющих на степень чистоты получаемого продукта, состав, структурную организацию.

В системе подготовки специалиста с высшим образованием учебная дисциплина относится к дисциплинам специализации компонента УВО.

### **Формирование компетенций**

Освоение учебной дисциплины «Основы химического синтеза твердых фаз» должно обеспечить формирование

УК-1 Владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации

В результате изучения учебной дисциплины студент должен

### **знать:**

– механизм и кинетику реакций осуществляемых в растворах (водных, неводных), расплавах, газовой фазе, твердофазных реакциях;

–факторы, влияющие на получение твердых тел определенного состава(элементного, фазового) и в определенной структурной организации.

**уметь:**

–использовать знания при подборе методик получения веществ в заданного состава, в определенной структурной организации и степени чистоты.

–прогнозировать физические свойства и реакционную способность твердых тел на основе знания их химического, фазового состава и структуры,

–анализировать вероятные проблемы, возникающие при получении веществ по различным методикам в водной (неводной) среде, расплаве, газовой фазе, твердофазных реакциях.

**владеть:**

– методами планирования и организации синтеза неорганических веществ в водной (неводной) среде, при проведении твердофазных реакций.

–методиками получения веществ в определенной структурной организации в водных растворах;

–методиками управления реакционной способностью веществ в водных растворах, при проведении твердофазных реакций.

**Структура содержания учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 6 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Основы химического синтеза твердых фаз» отведено:

– для очной формы получения высшего образования– 102 часа, в том числе 54 аудиторных часов, из них: лекции –24 часа, лабораторные – 18 часов, семинарские занятия– 8 часов, управляемая самостоятельная работа – 4часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма **промежуточной** аттестации – зачет.

# СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

## Раздел 1. Современный неорганический синтез

### Тема 1.1 Современный неорганический синтез: способы управления химическим и фазовым составом, микроструктурой твердых фаз

Способы классификации неорганических твердых фаз по составу, структурной организации.

Современный неорганический синтез: способы управления химическим и фазовым составом, микроструктурой твердых фаз, поиск путей получения и идентификации новых неорганических соединений, композиционных материалов; направления разработки новых методов получения известных соединений, композиционных материалов. Роль предшественников (прекурсоров) в неорганическом синтезе: в растворе, в твердой фазе, в газовой фазе.

Классификация физических и химических процессов, используемых в неорганическом синтезе. Обоснование возможности и рациональности метода синтеза требуемого вещества с заданной структурой. Выбор условий проведения синтеза на основании анализа термодинамических и кинетических факторов, определяющих возможность осуществления и скорость реакции. Прогнозирование степени чистоты, характера загрязнений, структуры, возможных дефектов структуры.

## Раздел 2. Синтез неорганических соединений в растворе

### Тема 2.1. Классификация растворителей. Синтез монокристаллов и поликристаллических веществ (покрытий, порошков) в водных и неводных растворителях

Растворители, растворимость. Общая характеристика факторов, обуславливающих зависимость скорости реакции в растворе от среды: природа растворителя, вязкость, сольватация, ионизация растворителем, солевой эффект. Зависимость растворимости от природы растворяемого вещества и растворителя (механизмы сольватации, специфическая и неспецифическая сольватация). Процессы, осложняющие и облегчающие растворение. Оценка физических и химических свойств веществ как растворителей и сред для проведения синтеза. Классификация растворителей. Донорные и акцепторные числа растворителей. Принципы выбора растворителей для синтеза. Растворитель как средство управления химическим процессом.

Неводные растворители в современном неорганическом синтезе. Смешанные растворители.

Современные представления о закономерностях образования твердой фазы в растворах. Особенности зародышеобразования в гомогенных и

гетерогенных системах. Влияние условий осаждения (степени пересыщения, вязкости среды, интенсивности перемешивания, температуры, адсорбции ионов на поверхности и др.) на формирование твердой фазы. Кинетика образования и роста частиц твердой фазы в растворе.

### **Тема 2.2. Общие принципы управления морфологией, структурой твердофазных продуктов, осаждаемых из растворов**

Общие принципы управления морфологией, структурой твердофазных продуктов, осаждаемых из растворов.

Принципы подбора условий осаждения для получения продукта определенной дисперсности (от грубо- до ультрадисперсной), структуры (аморфной, кристаллической), формы (порошки, моно- и поликристаллические пленки, монокристаллы). Условия формирования поли- и монодисперсных осадков. Механизмы роста твердых фаз в растворах.

Проблемы количественного выделения продуктов синтеза. Загрязнение продуктов синтеза в растворах и общие принципы получения чистых продуктов. Явления изоморфизма изодиморфизма и особенности их проявления при соосаждении веществ из растворов. Условия образования смешанных кристаллов, твердых растворов. Специфические дефекты монокристаллов, выращиваемых в растворе.

### **Тема 2.3. Синтез веществ в ультра - и нано- дисперсном состоянии**

Составы растворов и условия получения веществ в ультра- и нанодисперсном состоянии. Кинетическая и агрегативная устойчивость коллоидных растворов. Особенности химической природы стабилизаторов. Методы концентрирования и очистки золь (испарение растворителя, его экстракция, диализ, электродиализ).

Золь-гель синтез. Получение ксерогелей. Использование золь-гель процесса для получения неорганических сорбентов, катализаторов, синтетических цеолитов, пористой керамики, пленок, вяжущих, волокон.

### **Тема 2.4. Электрохимический синтез неорганических веществ.**

Общая характеристика процессов электрохимического осаждения металлов в виде слоев (покрытий), порошков, монокристаллов (вискеры олова и серебра); синтез сплавов и композитов. Составы растворов для электрохимического синтеза покрытий, роль компонентов раствора.

Электрохимический синтез сильных окислителей (гипохлоритов, хлоратов, манганатов, пероксодисульфатов) а также перхлоратов.

Синтез оксидных покрытий (анодное окисление алюминия, кремния, германия).

Гидрометаллургия. Извлечение металлов из отработанных электролитов.

## **Раздел 3. Синтез неорганических веществ в расплавах**

### **Тема 3.1 Синтез монокристаллов, поликристаллических веществ, расплавах**

Условия получения монокристаллов простых и сложных веществ, поликристаллических веществ из расплавов.

Классификация методов получения монокристаллов в расплавах – пьедестальные, тигельные и бестигельные методы (методы Вернейля, Чохральского, Киропулоса, Шубникова, Стокбаргера, Бриджмена). Проблемы гидродинамики расплава, теплопереноса и массопереноса при получении монокристаллов из расплава. Механизмы роста твердых фаз в расплавах. Распределение примесей в монокристаллах. Специфические дефекты монокристаллов, выращиваемых в расплаве.

Расплав-раствор (перекристаллизация, синтез сложных веществ (халькогенидов, титантов, ферратов и др. с определенным фазовым составом).

### **Тема 3.2. Синтез стекол, ситаллов.**

Классификация стекол (элементарные, оксидные, халькогенидные, галогенидные, металлические).

Кинетика формирования твердой фазы при получении стекол охлаждением расплава. Дефекты стекол.

Синтез ситаллов.

## **Раздел 4. Синтез неорганических веществ в паровой или газовой фазе пленок, порошков, монокристаллов**

### **Тема 4.1. Методы регулирования структурной организации твердых фаз при их получении в газовой (паровой фазе).**

Методы регулирования структурной организации твердых фаз при их получении в газовой (паровой фазе). Организация синтеза и его стадии. Механизмы роста твердых фаз. Дефекты монокристаллов и эпитаксиальных пленок, выращиваемых в газовой фазе.

Газотранспортные реакции в получении монокристаллов и эпитаксиальных пленок, очистке веществ. Методы получения монокристаллов, поликристаллических веществ, эпитаксиальных пленок в ампулах, в открытой трубе, в потоке газа-носителя.

Использование термического разложения легколетучих органических соединений металлов для получения пленок и порошков металлов, карбидов и оксидов металлов. 3-d печать.



## **Тема 4.2 Гидротермальный синтез монокристаллов и поликристаллических веществ.**

Гидротермальный синтез. Структурные организации продуктов гидротермального синтеза. Организация процесса синтеза. Механизм роста твердых фаз. Специфические дефекты монокристаллов.

Методы гидротермального синтеза: температурного перепада, общего снижения температуры, метастабильной шихты, разделенной шихты.

## **Раздел 5. Синтез неорганических соединений в твердой фазе.**

### **Тема 5.1. Синтез неорганических соединений в твердой фазе (порошковый и керамический методы, самораспространяющийся высокотемпературный синтез)**

Механизмы диффузии в твердых телах. Факторы, определяющие скорость твердофазной реакции.

Керамический метод синтеза. Метод порошковой металлургии.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез.

3-d печать с использованием приемов твердофазного синтеза.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования с применением дистанционных образовательных технологий

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Тема 1.1 Современный неорганический синтез: способы управления химическим и фазовым составом, микроструктурой твердых фаз.	2						собеседование
2	Тема 2.1 Классификация растворителей. Синтез монокристаллов и поликристаллических веществ в водных и неводных растворителях.	2		2				Устный опрос. Решение задач,
3	Тема 2.2 Общие принципы управления морфологией, структурой твердофазных продуктов, осаждаемых из растворов.	2			6			Устный опрос, контрольная работа, отчет по домашним практическим упражнениям
4	Тема 2.3. Синтез веществ в ультра- и нано-	2			6			дискуссия, контрольная работа,

	дисперсном состоянии			2				
5	Тема 2.4 Электрохимический синтез покрытий из металлов и сплавов, оксидов. Применение электролиза для получения сильных окислителей.	4			6			собеседование, коллоквиум по темам 1.1-2.4, рефераты
6	Тема 3.1 Синтез монокристаллов, поликристаллических веществ, в расплавах.	2						дискуссия, коллоквиум по темам 3.1. и 3.2
7	Тема 3.2. Синтез стекол, ситаллов.	2		2				
8	Тема 4.1. Методы регулирования структурной организации твердых фаз при их получении в газовой (паровой фазе).	2						собеседование, контрольная работа
9	Тема 4.2 Гидротермальный синтез монокристаллов и поликристаллических веществ.	2					2	собеседование, контрольная работа, коллоквиум по темам 3.1-4.2
10	Тема 5.1. Синтез неорганических соединений в твердой фазе (порошковый и керамический методы, самораспространя	4					2	собеседование, контрольная работа

ющийся высокотемператур ный синтез)								
---	--	--	--	--	--	--	--	--

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Перечень основной литературы

1. Врублевская, О. Н. Основы химического синтеза твердых фаз: пособие / О. Н. Врублевская. – Мн.: БГУ, 2013. –126 с.
2. Старостин, В. В. Материалы и методы нанотехнологий : учеб. пособие / В. В. Старостин ; под общ. ред. Л. Н. Патрикеева. – 2-е изд. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2017. – 431 с.
3. Химическая технология неорганических веществ : учебное пособие / Т. Г. Ахметов, В. М. Бусыгин, Л. Г. Гайсин, Р. Т. Ахметова ; под редакцией Т. Г. Ахметова. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 452 с. – ISBN 978-5-8114-3882-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/206612> (дата обращения: 21.08.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Гуров, А. А. Химия: теория и практика. Металлы и сплавы : учебник / А. А. Гуров, П. В. Слитиков, Ж. Н. Медных ; под редакцией А. А. Гурова. — 2-е изд., испр. – Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. – 359 с. Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/172907> (дата обращения: 21.08.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Шкуро, А. Е. Технологии и материалы 3D-печати : учебное пособие / А. Е. Шкуро, П. С. Кривоногов. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2017. – 99 с. –ISBN 978-5-94984-616-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/142568> (дата обращения: 21.08.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

### Перечень дополнительной литературы

1. Вест, А.Р. Химия твердого тела : теория и приложения : в 2 ч. Ч. 1 / Антони Р. Вест ; пер. с англ. А. Р. Кауля, И. Б. Куценка ; под ред. Ю. Д. Третьякова. - Москва : Мир, 1988. - 555 с.
2. Кнотько, А. В. Химия твердого тела : учеб. пособие / А. В. Кнотько, И. А. Пресняков, Ю. Д. Третьяков. - Москва : Academia, 2006. - 303 с.
3. Пинчук, С.И. Химия твердого тела (краткий курс): Учебник для студентов технических вузов.– Киев: ООО «Издательский дом АртЕК», 2018.–120 с.

4. Остроушко, А.А. Физико-химические основы получения твердофазных материалов электронной техники / А.А. Остроушко, Ю.В. Могильников. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2011. – 158 с.
5. Пополитов, Владислав Иванович. Выращивание монокристаллов в гидротермальных условиях / В. И. Пополитов, Б. Н. Литвин ; отв. ред. И. В. Тананаев - Москва : Наука, 1986. – 190 с.
6. Фиалков, Ю. Я. Растворитель как средство управления химическим процессом / Ю. Я. Фиалков. - Ленинград : Химия, Ленинградское отд-ние, 1990. - 236с.
7. Болдырев, В.В. Управление химическими реакциями в твердой фазе // Соросовский образовательный журнал. –1996. – № 5.–С. 49–55.
8. Гропянов, А. В. Порошковые материалы [Электронный ресурс] : учебное пособие / Гропянов А. В. - Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2017. - 74 с.
9. Füredi-Milhofer H.. Spontaneous precipitation from electrolytic solutions // Pure and Appl. Chem. –1981. Vol. 53, No 11. P. 2041–2055.
10. Brinker C.J., Scherer G.W. Sol-gel science: the physics and chemistry of sol-gel processing. – N.-Y.: Academic Press, Inc., 1990. – 908 p.
11. Карпова О.Г. Рост и морфология кристаллов. –М.: МГУ, 1990.– 368 с.
12. Rodríguez B.S, Mayora A.S., Herrera-Herrera A.V., Delgado M.R. Chapter 5. Deep eutectic solvents green sustainable process for chemical and environmental engineering and science ionic liquids as green solvents. – Elsevier. 2019, –P.123-177
13. Byrappa K., Yoshimura M. Handbook of hydrothermal technology. –Elsevier. 2013. – 537 p.
14. Girolami G. S., Sattelberger A. P. Inorganic Syntheses, Vol. 36. –John Wiley & Sons, 2014.–336 p.
15. Duda T., Raghavan L.V. 3D Metal printing technology // IFAC- Papers OnLine. – 2016. Vol. 49-29. – P. 103-110

#### **Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки**

Текущий контроль качества усвоения знаний по данной учебной дисциплине может осуществляться с использованием следующих форм диагностики компетенций:

1. Устный опрос в формате вопрос – ответ.
2. Защита индивидуальных лабораторных работ.
3. Отчеты по домашним практическим упражнениям.
4. Написание аудиторных контрольных работ по темам №№ 2.3, 4.1, 4.2, 5.1.
5. Рефераты.
6. Устный зачет по дисциплине.

Примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний и (промежуточной) аттестации в итоговую отметку:

1. Защита индивидуальных лабораторных работ – 25 %.
2. Отчеты по домашним практическим упражнениям – 25 %.
3. Контрольные работы – 50 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей успеваемости и зачета с учетом их весовых коэффициентов. Весовой коэффициент отметки текущей успеваемости составляет 35 %, зачет – 65 %.

### **Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов**

Тема 4.2 Гидротермальный синтез монокристаллов и поликристаллических веществ. (2ч.)

Задания проектного типа (индивидуальные):

- 1) Предложить методики получения монокристаллического кварца, цинкита.
- 2) Предложить методики получения ультрадисперсного  $TiO_2$ .
- 3) Предложить методики получения цирконата бария в разных структурных организациях.

Перечень средств диагностики: опрос или оформление презентации по теме.

Тема 5.1. Синтез неорганических соединений в твердой фазе (порошковый и керамический методы, самораспространяющийся высокотемпературный синтез). (2ч.)

Задания проектного типа (индивидуальные):

- 4) Твердофазный синтез сложнооксидной керамики.
- 5) Твердофазный синтез сплавов.
- 6) Самораспространяющийся синтез (получение стали, карбидов, нитридов, оксидов и др.).

Перечень средств диагностики: опрос или оформление презентации по теме.

### **Примерная тематика лабораторных занятий**

Лабораторное занятие № 1. Синтез в водных растворах ультра- и нанодисперсных порошков серебра (оксидов железа, оксидов кобальта); получение золя и геля  $SiO_2$ .

Лабораторное занятие № 2. Химический синтез поликристаллических покрытий в водных растворах (покрытия из никеля, олова, меди, серебра) на подложках их меди, стали, алюминия.

Лабораторное занятие № 3. Электрохимический синтез поликристаллических покрытий в водных растворах (покрытия из никеля, олова, меди, сплава никель-олово и др.) на подложках их меди, стали, алюминия.

## **Примерная тематика семинарских занятий**

### **Семинарское занятие № 1. «Современный неорганический синтез. Классификация методов синтеза. Синтез моно- и поликристаллических веществ в растворах»**

- 1) Приведите примеры различных способов классификации неорганических веществ.
- 2) Приведите примеры различных типов структурной организации твердых тел. (монокристаллы, поликристаллические системы, др.)
- 3) Укажите способы управления реакционной способностью веществ при осуществлении реакций в водных растворах и твердофазном синтезе.
- 4) Этапы формирования твердых фаз (в растворах, расплавах, газовой фазе). Гомо- и гетерогенное зародышеобразование. Критический радиус зародыша кристалла. Механизмы роста кристаллов.
- 5) Механизмы гомо- и гетеромолекулярной ассоциации, гомо- и гетеро-ионизации молекул растворителя и растворенного вещества.
- 6) Анализ диаграмм растворимости неорганических веществ в воде. Выбор условий кристаллизации твердой фазы.
- 7) Метастабильные и лабильные растворы. Способы приготовления пересыщенных растворов. Факторы, влияющие на растворимость вещества, правила приготовления пересыщенных растворов, в растворителях с разной диэлектрической проницаемостью. Синтез монокристаллов, оборудование. Дефекты монокристаллов (нульмерные, одномерные, двухмерные и специфические), выращенных в растворах. Полиморфизм, изоморфизм, изодиморфизм (примеры).
- 8) Классифицируйте типы химических реакций, используемых для синтеза зольей. Приведите примеры получения зольей неметаллов, металлов, оксидов металлов, халькогенидов, труднорастворимых солей. Охарактеризуйте состав коллоидных частиц в каждом приведенном случае. От чего зависит заряд частицы?
- 9) Стабилизация частиц зольей. Вещества-стабилизаторы. Контроль размеров и формы частиц.
- 10) Укажите стадии химических превращений при получении гелей. Приведите примеры механизмов сополиконденсации гидролизованых алкоксидов.

### **Семинарское занятие № 2. «Электрохимический синтез. Получение металлических и оксидированных покрытий»**

1. Принцип электрохимического синтеза. Законы электрохимического синтеза (Законы Фарадея). Оборудование для проведения электрохимического синтеза.
2. Что означает термин «перенапряжение» (поляризация). Какие составляющие включает данное понятие. Как перенапряжение связано со стандартным значением окислительно-восстановительного потенциала. Как влияет величина перенапряжения на качество формирующихся покрытий.



3. Как влияет природа катиона, аниона, концентрация ионов металлов, рН, плотность тока, рабочая температура электролита, наличие в растворе ПАВ на качество формирующихся металлических покрытий, выход металла по току?

4. Составы электролитов для электрохимического синтеза металлических покрытий, компоненты, их роль.

5. С какими факторами связано микро- и макрораспределение металла (плотности тока) по поверхности катода?

6. Приведите примеры получения нанопроволок металлов с использованием метода электрохимического синтеза?

7. Предложите условия получения порошковой меди. Возможно ли получение порошка никеля, железа?

8. Какие проблемы, возникающие при электроосаждении металлических покрытий, позволяет решить использование неводных электролитов? Сформулируйте требования к неводным электролитам, которые могут быть использованы в электрохимическом синтезе?

9. Электрохимический синтез гипохлорита натрия.

10. Электрохимический синтез хлората калия.

11. Электрохимический синтез пероксодисульфата аммония.

12. Электрохимический синтез перманганата калия.

### **Семинарское занятие № 3. «Синтез монокристаллов (поликристаллических веществ) в расплавах и расплавах-растворах. Синтез стекол»**

1. В чем заключаются особенности выращивания монокристаллов (поликристаллов) из расплавов в сравнении с выращиванием монокристаллов (поликристаллов) из растворов? Укажите ограничения применения метода выращивания кристаллов из расплавов.

2. От каких факторов зависит скорость роста кристалла в растворе (водном или неводном) и расплаве?

3. Механизмы роста монокристаллов в расплавах. Распределение примесей по длине кристалла и его сечению в зависимости от формы границы роста.

4. Сущность метода Вернейля. Преимущества метода и его недостатки.

5. Сущность метода Чохральского. Влияние гидродинамики расплава на дефектность формирующегося кристалла.

6. Сущность метода Киропулоса. Преимущества метода и его недостатки.

7. Метод зонной плавки. Особенности применения метода.

8. Дайте краткую характеристику тигельным методам кристаллизации (Метод Бриджмена, Стокбаргера и др.).

9. Синтез монокристаллов в растворах-расплавах. (3 вида методов)

10. Дефекты кристаллов, получаемых путем синтеза из расплава.

11. Отличия в свойствах аморфных (стеклообразных) и кристаллических веществ.

12. Условия формирования веществ в стеклообразном состоянии. Изменение свойств (объема и теплоемкости) вещества в расплаве, при кристаллизации и стекловании.

13. Классификация веществ, склонных к стеклообразованию. Классификация стеклообразующих материалов по типу химической связи.

14. Правила Захарисена. Структурные модели стеклообразного оксида кремния(IV) и боратных стекол.

15. Общие методы получения веществ в аморфном (стеклообразном состоянии).

16. Составы промышленных стекол. Назначение компонентов стекол (стеклообразователи, модификаторы, глушители, осветлители, красители, ускорители). Соединения, используемые в качестве исходных реагентов.

17. Опишите стадии технологического процесса получения промышленных (оконных) стекол. Дайте характеристику процессам, осуществляющимся на каждой стадии промышленного процесса.

18. Дефекты стекол. Причины возникновения.

19. Ситаллы, применение, синтез. Катализаторы, применяемые для получения ситаллов и механизмы их действия.

#### Семинарское занятие № 4. «Получение пленок, порошков, монокристаллов в паровой или газовой фазе»

1. Этапы формирования монокристаллов в газовой фазе: методы перевода вещества в газовую (паровую фазу); механизмы переноса вещества от источника до подложки; механизм кристаллизации в газовой (паровой) фазе.

2. Выращивание монокристаллов в газовой (паровой) фазе методом сублимации-конденсации в замкнутой системе, запаянной ампуле, в проточной системе.

3. Укажите сходства и отличия (специальные требования) в выращивании монокристаллов в газовой фазе методами сублимации-конденсации и химических реакций. Классифицируйте типы реакций, которые можно использовать для выращивания монокристаллов в газовой фазе.

4. Транспортные реакции: определение, назначение, «агенты переносчики», способы реализации (в проточной системе, запаянной ампуле).

5. Преимущества эпитаксиального синтеза пленок в сравнении с синтезом монокристаллов в газовой фазе.

6. Дайте определения понятию «эпитаксия», что означают термины гомоэпитаксия, гетероэпитаксия.

7. Механизмы роста гомо- и гетеро- эпитаксиальных пленок.

8. Дефекты эпитаксиальных пленок.

9. Синтез эпитаксиальных пленок методом газотранспортных реакций. Приведите соответствующие примеры.

10. Синтез эпитаксиальных пленок методом химических реакций. Получение эпитаксиальных пленок кремния (германия): схема процесса, химические реакции, этапы (легирование).

11. Молекулярно лучевая эпитаксия (получение эпитаксиальных пленок германия, арсенида галлия, послойное получение полупроводниковых структур селенида свинца –арсенид галлия).

12. Приведите примеры получения поликристаллических структур методом синтеза в газовой фазе.

### **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины(эвристический, проективный, практико-ориентированный)**

При организации образовательного процесса по спецкурсу используются **практико-ориентированный подход и метод учебной дискуссии.**

**Практико-ориентированный подход** предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме.

Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

**Метод учебной дискуссии** предполагает:

- освоение содержание образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- поиск и обзор литературы и электронных источников по заданной проблеме курса;
- выполнение домашнего задания;
- решение задач, предлагаемых на практических занятиях;
- подготовка к лабораторным и практическим занятиям.

### **Примерный перечень вопросов к зачету**

1. Этапы формирования твердых фаз (в растворах, расплавах, газовой фазе). Гомо- и гетерогенное зародышеобразование

2. Классификация физических и химических процессов, используемых в неорганическом синтезе (классификация Ормонта). Обоснование

возможности и рациональности метода синтеза требуемого вещества с заданной структурой.

3. Растворители, растворимость. Зависимость растворимости от природы растворяемого вещества и растворителя Классификация растворителей. Донорные и акцепторные числа растворителей. Принципы выбора растворителей для синтеза.

4. Механизмы гомо- и гетеромолекулярной ассоциации, гомо- и гетеро-ионизации молекул растворителя и растворенного вещества. Физические процессы и химические процессы, сопровождающие (осложняющие) процесс растворения веществ.

5. Способы получения коллоидных растворов, их устойчивость, методы стабилизации. Состав коллоидных частиц.

6. –Агрегативная и –кинетическая устойчивость” зольей, –фазовая и поверхностная устойчивость” частиц дисперсной фазы. От чего зависят эти типы устойчивости, чем определяются? Какие воздействия нарушают устойчивость зольей. Эмпирические закономерности коагуляции зольей электролитами. Стабилизация частиц зольей, вещества-стабилизаторы. Контроль размеров и формы частиц.

7. Составы растворов для получения гелей. Стадии химических превращений при получении гелей. Механизмы сополиконденсации гидролизированных алкоксидов. Синерезис. Применение кротогелей.

8. Анализ диаграмм растворимости неорганических веществ в воде. Выбор условий кристаллизации твердой фазы. Способы приготовления пересыщенных растворов. Метастабильные и лабильные растворы.

9. Преимущества и недостатки получения монокристаллов или поликристаллических неорганических веществ в растворах. Дефекты монокристаллов, выращенных в растворах. Полиморфизм, изоморфизм, изодиморфизм (примеры).

10. Выращивание в кристаллов геле (механизм выращивания кристаллов). Схема устройства, порядок операций.

11. Принцип электрохимического синтеза. Законы электрохимического синтеза. Оборудование для проведения электрохимического синтеза. Механизм электрохимического восстановления  $Ni(II)$ , окисления  $Sn(II)$  в водном растворе.

12. Влияние природы катиона, аниона, концентрации ионов металлов, pH, плотность тока, рабочей температуры электролита, наличие в растворе ПАВ на качество формирующихся металлических покрытий, выход металла по току.

13. Получение нанопроволок металлов с использованием метода электрохимического синтеза. Условия получения порошков металлов (монокристаллов металлов).

14. Электрохимический синтез гипохлоритов, хлоратов, перхлоратов. Процессы, протекающие на катоде и аноде.

15. Требования к веществам, синтезируемым методом гидротермального синтеза. Методы гидротермального выращивания кристаллов. (Метод

температурного перепада, метод общего снижения температуры. метод «метастабильной фазы, метод разделенной шихты). Дефекты кристаллов, получаемых методом гидротермального синтеза.

16. Сравнительная характеристика методов выращивания монокристаллов (поликристаллов) из расплавов и растворов? Укажите ограничения применения методов выращивания кристаллов из расплавов и растворов. Дефекты синтезируемых кристаллов.

17. Метод синтеза монокристаллов из расплавов. Границы применимости метода. Скорость выращивания монокристаллов, требования к атмосфере при которой проводится кристаллизация, требования к материалу тигля.

18. Выращивание монокристаллов из расплавов методом Чохральского. Распределение примесей, типичные для этого метода дефекты.

19. Выращивание монокристаллов из расплавов методом Киропулоса. Распределение примесей, типичные для этого метода дефекты.

20. Выращивание и очистка монокристаллов методом зонной плавки. Распределение примесей, типичные для этого метода дефекты

21. Тигельные методы выращивания монокристаллов из расплавов. Распределение примесей, типичные для этого метода дефекты.

22. Синтез монокристаллов в растворах-расплавах. (3 вида методов)

23. Этапы формирования монокристаллов в газовой фазе: методы перевода вещества в газовую (паровую фазу); механизмы переноса вещества от источника до подложки; механизм кристаллизации в газовой (паровой) фазе.

24. Выращивание монокристаллов в газовой (паровой) фазе методом сублимации-конденсации в замкнутой системе, запаянной ампуле, в проточной системе. Получение поликристаллических структур.

25. Выращивание монокристаллов в газовой фазе методом химических реакций (в том числе транспортные реакции). Классификация типов реакций используемых для выращивания монокристаллов в газовой фазе.

26. Газофазный синтез эпитаксиальных пленок. Гомоэпитаксия, гетероэпитаксия. Механизмы роста гомо- и гетеро- эпитаксиальных пленок. Дефекты эпитаксиальных пленок. Примеры получения эпитаксиальных пленок.

27. Синтез эпитаксиальных пленок с использованием металлоорганических соединений. Молекулярно лучевая эпитаксия (получение эпитаксиальных пленок германия, арсенида галлия, послойное получение полупроводниковых структур селенида свинца – арсенид галлия).

28. Объемная и поверхностная диффузия в твердофазном синтезе (механизмы, схемы, геометрические модели). Стадии физико-химических превращений реагентов в твердофазных реакциях.

29. Методы получения порошковых реагентов для керамического метода синтеза (привести примеры). Стадии твердофазного керамического метода синтеза.

30. Механические, физические, химические методы получения порошковых металлов (привести примеры). Стадии твердофазного метода порошковой металлургии.

31. Принцип реализации самораспространяющегося высокотемпературного синтеза твердофазных материалов. Типы реакций применимых для СВС синтеза. Структура материалов получаемых методом СВС. Принципы проведения СВС синтеза в промышленном масштабе

32. Условия формирования веществ в стеклообразном состоянии. Температура стеклования. Изменение свойств (объема и теплоемкости) вещества в расплаве, при кристаллизации и стекловании. Классификация стеклообразующих материалов по типу химической связи. Правила Захарисена. Структурные модели стеклообразного оксида кремния(IV) и боратных стекол.

33. Составы промышленных стекол. Стадии технологического процесса получения промышленных (оконных) стекол. Дайте характеристику Физическим процессам и химическим реакциям, осуществляющимся на каждой стадии промышленного процесса. Дефекты стекол.

34. Ситаллы, применение, состав шихты. Особенности синтеза ситаллов. Катализаторы, применяемые для получения ситаллов и механизмы их действия.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1. Неорганическая химия	Кафедра неорганической химии	Изменения не требуются	Программы согласованы, протокол №14 от 04.05.2023
2. Кристаллохимия	Кафедра неорганической химии	Изменения не требуются	Программы согласованы, протокол №14 от 04.05.2023



**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО  
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
\_\_\_\_\_ (протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 202\_ г.)

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_