

Белорусский государственный университет

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе и  
образовательным инновациям

О.Н. Здрок

« 29 » июня 2020 г.

Регистрационный № Д-8222/уч.



*Основы неорганического синтеза*

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

1-31 05 04 Фундаментальная химия

2020 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 05 04-2013, учебного плана G31-147/уч. от 30.05.2013 г.

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

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

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

КРУТЬКО Э.Т., профессор кафедры полимерных композиционных материалов УО “Белорусский государственный технологический университет”, доктор технических наук, профессор;

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой неорганической химии  
(протокол № 14 от 04.05.2020 г.);

Научно-методическим Советом БГУ  
(протокол № 5 от 17.06.2020 г.)

Зав.кафедрой \_\_\_\_\_



Василевская Е.И.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа по дисциплине «Основы неорганического синтеза» разработана для обучающихся I степени высшего образования в соответствии с образовательным стандартом и учебным планом специальности 1-31 05 04 Фундаментальная химия.

Дисциплина 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 и процессов образования и роста зародышей и их рекристаллизации, об особенностях протекания реакций с образованием твердых фаз и путях управления составом, структурой и свойствами продуктов в растворах расплавах, газовой фазе, твердофазном синтезе.

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

**Цель** учебной дисциплины – научить студентов целенаправленно подбирать методiku и конкретные условия синтеза неорганических веществ в заданном структурном состоянии, что позволит будущим выпускникам самостоятельно решать проблемы разработки новых методов получения веществ, а также обслуживания и совершенствования используемых технологий.

### **Задачи учебной дисциплины:**

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

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к циклу общенаучных и общепрофессиональных дисциплин (дисциплин по выбору студентов) компонента учреждения высшего образования.

**Связи** дисциплины – при освоении содержания учебной дисциплины задействуются знания в области физической химии, химии твердого тела, кристаллохимии, аналитической и неорганической химии.

### **Требования к компетенциям**

Освоение учебной дисциплины «Основы неорганического синтеза» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций:

**академические** компетенции:

АК – 1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК – 3. Владеть исследовательскими навыками.

АК – 4. Уметь работать самостоятельно.

АК – 6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблемы.

АК – 9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

**социально-личностные** компетенции:

СЛК – 4. Владеть навыками здоровьесбережения.

СЛК – 5. Быть способным к критике и самокритике.

СЛК – 7. Пользоваться в равной степени двумя государственными языками Республики Беларусь и иным иностранным языком как средством делового общения.

**профессиональные** компетенции:

**(научно-исследовательская деятельность)**

ПК – 1. Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, анализировать перспективы и направления развития отдельных областей химической науки.

ПК – 2. Принимать участие в научных исследованиях, связанных с совершенствованием и развитием химии и физико-химических методов исследования.

ПК – 3. Формулировать цели и задачи научно-исследовательской деятельности, осуществлять планирование, принимать участие в подготовке отчетов и публикаций.

**(производственно-технологическая деятельность)**

ПК – 5. Формулировать и решать задачи, возникающие в процессе производственно-технологической деятельности

ПК – 6. На основе анализа показателей режимов, параметров схемы и технического оборудования выявлять причины не оптимальности технологических процессов и разрабатывать пути их устранения.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

**знать:**

– механизм и кинетику реакций осуществляемых в растворах, расплавах, газовой фазе, твердофазных реакциях;

– факторы, влияющие на получение твердых тел в определенной структурной организации.

**уметь:**

– использовать знания при подборе методик получения веществ в определенной структурной организации и определенной 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:**

–методиками получения веществ в определенной структурной организации;

–методиками управления реакционной способностью веществ.

### **Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 5 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Основы неорганического синтеза» отведено:

– для очной формы получения высшего образования– 86 часов, в том числе 40 аудиторных часов, из них: лекции – 26 часов, семинарские занятия– 12 часов, управляемая самостоятельная работа – 2 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – экзамен.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### **Раздел 1 Современный неорганический синтез**

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

Современный неорганический синтез: способы управления химическим и фазовым составом, микроструктурой твердых фаз, поиск путей получения и идентификации новых неорганических соединений; разработка новых методов получения известных соединений. 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 протекания 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 в водных и неводных растворителях**

Растворители, растворимость. Зависимость растворимости от природы растворяемого вещества и растворителя. Процессы, осложняющие и облегчающие растворение. Оценка 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.

Общая характеристика факторов, обуславливающих зависимость скорости реакции в растворе от среды: природа растворителя, вязкость, сольватация, ионизация растворителем, солевой эффект. Роль неводных растворителей 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, сверхструктуры), формы (порошки, моно- и поликристаллические пленки, монокристаллы). Условия формирования поли- и монодисперсных осадков.

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**

Кинетическая и агрегативная устойчивость коллоидных растворов. Золь-гель процесс. Особенности химической природы стабилизаторов. Методы концентрирования и очистки золь (испарение растворителя, его экстракция, диализ, электродиализ). Получение ксерогелей. Использование золь-гель процесса для получения неорганических сорбентов, катализаторов, синтетических цеолитов, пористой керамики, пленок, вяжущих, волокон и др.; его преимущества по сравнению с порошковым методом синтеза.

### **Тема 2.4 Электрохимический синтез покрытий из металлов и сплавов, оксидов. Применение электролиза для получения сильных окислителей**

Общая характеристика осаждения металлов в виде слоев (покрытий), порошков, монокристаллов, синтез сплавов и композитов. Катодное восстановление без выделения металла: получение сульфатов редкоземельных элементов и др. Электрохимический синтез гипохлоритов, хлоратов, перхлоратов, манганатов, пероксодисульфата аммония, ферратов, сульфата кобальта(III) и др. 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. Распределение примесей в монокристаллах полученных различными методами. 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). 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. Дефекты монокристаллов и эпитаксиальных пленок, выращиваемых в газовой фазе.

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

Гидротермальный синтез. Методы температурного перепада, общего снижения температуры, метастабильной шихты, разделенной шихты. Специфические дефекты монокристаллов.

## **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 твердофазных реакций. Керамический метод синтеза, метод порошковой металлургии.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез.

## **Раздел 6 Физические методы изменения реакционной способности веществ**

### **Тема 6.1 Криохимические методы синтеза**

Криохимический метод синтеза, общая характеристика метода. Матричная криохимия. Препаративная криохимия. Возможности криохимии для получения, стабилизации химически неустойчивых частиц и соединений.



Криохимическая технология производства твердофазных материалов: получение ферритов, адсорбентов, катализаторов.

### **Тема 6.2 Механохимические методы синтеза**

Общая характеристика механохимического метода, процессы, протекающие при механохимической обработке вещества. Механохимические реакции в системах твердое-твердое, твердое-жидкое, твердое-газ. Синтез сплавов, неметаллических продуктов.

### **Тема 6.3 Сонохимический метод синтеза.**

Сонолиз воды. Синтез нанодисперсных металлов, оксидов, халькогенидов. Воздействие ультразвука на твердофазные системы

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

| Номер раздела, темы | Название раздела, темы  | Количество аудиторных часов |                      |                     |                      | Количество часов УСП | Форма контроля знаний             |
|---------------------|---|-----------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|
|                     |   | Лекции                      | Практические занятия | Семинарские занятия | Лабораторные занятия |                      |                                   |
| 1                   | 2   | 3                           | 4                    | 5                   | 6                    | 7                    | 8                                 |
| 1.1                 | Современный неорганический синтез: способы управления химическим и фазовым составом, микроструктурой твердых фаз.   | 2                           |                      | 2                   |                      |                      | собеседование                     |
| 2.1                 | Классификация растворителей. Синтез монокристаллов и поликристаллических веществ в водных и неводных растворителях. | 2                           |                      |                     |                      |                      | собеседование, контрольная работа |
| 2.2                 | Общие принципы управления морфологией, структурой твердофазных продуктов, осаждаемых из растворов.                  | 2                           |                      |                     |                      |                      | собеседование, контрольная работа |

|     |   |   |  |   |  |   |   |
|-----|---|---|--|---|--|---|---|
|     |   |   |  |   |  |   |   |
| 2.3 | Синтез веществ в ультра - и нано- дисперсном состоянии  | 2 |  | 2 |  |   | собеседование,<br>контрольная работа,<br>коллоквиум                     |
| 2.4 | Электрохимический синтез покрытий из металлов и сплавов, оксидов. Применение электролиза для получения сильных окислителей. | 2 |  | 2 |  |   | собеседование,<br>контрольная работа<br>коллоквиум по темам<br>1.1-2.4  |
| 3.1 | Синтез монокристаллов, поликристаллических веществ, в расплавах.  | 2 |  | 2 |  | 2 | собеседование,<br>контрольная работа<br>презентация                     |
| 3.2 | Синтез стекол, ситаллов.  | 2 |  |   |  |   |   |
| 4.1 | Методы регулирования структурной организации твердых фаз при их получении в газовой (паровой фазе).                         | 2 |  | 2 |  |   | собеседование,<br>контрольная работа<br>реферат                         |
| 4.2 | Гидротермальный синтез монокристаллов и поликристаллических веществ.  | 2 |  |   |  |   | собеседование,<br>контрольная работа,<br>коллоквиум по темам<br>3.1-4.2 |

|     |   |   |  |   |  |  |  |
|-----|---|---|--|---|--|--|--|
| 5.1 | Синтез неорганических соединений в твердой фазе (порошковый и керамический методы, самораспространяющийся высокотемпературный синтез) | 2 |  | 2 |  |  | собеседование,<br>контрольная работа<br>реферат                        |
| 6.1 | Криохимические методы синтеза   | 2 |  |   |  |  | собеседование,<br>контрольная работа                                   |
| 6.2 | Механохимические методы синтеза   | 2 |  |   |  |  | собеседование,<br>контрольная работа<br>реферат                        |
| 6.3 | Сонохимический метод синтеза.   | 2 |  |   |  |  | собеседование,<br>контрольная работа<br>коллоквиум по темам<br>5.1-6.3 |

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Перечень основной литературы

1. Врублевская О.Н. Основы химического синтеза твердых фаз: пособие. – Мн.: БГУ, 2013. –126 с.
2. Вест А.Химия твердого тела. Теория и приложения.– М.: Мир, 1988. Т.1. – 558 с.
3. Кнотько А.В., Пресняков И.А., Третьяков Ю.Д. Химия твердого тела. – М.: Изд. центр “Академия”, 2006. –304 с.
4. Пинчук С.И. Химия твердого тела (краткий курс). Учебник для студентов технических вузов.– Киев: ООО «Издательский дом АртЕК», 2018.–120 с.
5. Остроушко А.А., Могильников Ю.В. Физико-химические основы получения твердофазных материалов электронной техники.– Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2011. –158 с.
6. Пополитов В.В. и др. Выращивание монокристаллов в гидротермальных условиях. – М.: Наука, 1986. – 189 с.
7. Девярых Г.Г., Еллиев Ю.Е. Введение в теорию глубокой очистки веществ. – М.: Наука, 1981. – 320 с.
8. Фиалков Ю.А. Растворитель как средство управления химическим процессом. –Л.: Химия, 1990.– 240 с.
9. Третьяков Ю.Д. и др. Основы криохимической технологии. М., 1987. 360 с.
10. Болдырев В.В. Управление химическими реакциями в твердой фазе // Соросовский образовательный журнал. –1996. – № 5.–С. 49–55.
11. Аввакумов Е.Г. Фундаментальные основы механической активации, механосинтеза и механохимических технологий: монография. – Изд. СО РАН, 2009. –343 с.
12. Ремпель А. А., Валеева А. А. Материалы и методы нанотехнологий. Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд. Уральского университета. 2015. –136 с.
13. Ахметов Т.Г., Бусыгин В.М., Гайсин Л.Г. Химическая технология неорганических веществ. Учебное пособие. – Изд. “Лань”. 2019. – 452 с.
14. Жилиев А.П., Лэнгдон Т.Д., Валиев Р.З. Объемные наноструктурные материалы. Фундаментальные основы и применения. –Изд.”Эко-вектор” 2017. – 479 с.
15. Гуров Л.Л. Химия, теория и практика, металлы и сплавы. Учебник для вузов.–Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2018. –247 с.

### Перечень дополнительной литературы

1. Füredi-Milhofer H.. Spontaneous precipitation from electrolytic solutions // Pure and Appl. Chem. –1981. Vol. 53, No 11. P. 2041–2055.
2. 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.

3. Карпова О.Г. Рост и морфология кристаллов. –М.: МГУ, 1990.– 368 с.
4. 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
5. Byrappa K., Yoshimura M. Handbook of hydrothermal technology. –Elsevier. 2013. – 537 p.
6. Kajdas C. Chapter 11. General approach to mechanochemistry and its relation to tribochemistry. In: Pihili, H., Ed., Tribology in engineering, InTech. – 2013. – P.209–240.
7. Girolami G. S., Sattelberger A. P. Inorganic Syntheses, Vol. 36. –John Wiley & Sons, 2014.–336 p.
8. Баранчиков А.Е., Иванов В.К., Третьяков Ю.Д. Сонохимический синтез неорганических материалов // Успехи химии. – 2007. –Т.76, № 2. – С. 147-168.

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

Оценка за ответы на лекциях и семинарских занятиях, коллоквиумах включает в себя полноту ответа, наличие аргументов, примеров из практики и т.д.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Основы неорганического синтеза» учебным планом предусмотрен экзамен.

Формирование оценки за текущую успеваемость:

- ответы на лекциях, семинарских занятиях, коллоквиумах – 75 %;
- подготовка реферата, презентации – 25 %;
- Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и экзаменационной оценки с учетом их весовых коэффициентов Вес оценка по текущей успеваемости составляет 40 %, экзаменационная оценка – 60 %.

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

**Темы:** 3.1 Синтез монокристаллов, поликристаллических веществ, в расплавах. 3.2. Синтез стекол, ситаллов. (2ч.)

Задания проектного типа (индивидуальные):

- 1) Предложить методики получения моно и поликристаллического германия.
- 2) Предложить методики получения моно- и поликристаллического арсенида галлия.
- 3) Предложить не менее двух методик синтеза монокристаллов арсенида галлия.
- 4) Предложить методики получения поликристаллического оксида кремния и стекла на его основе.

(Форма контроля – Представление презентации в произвольной форме).

## 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.
5. Механизмы роста кристаллов.
6. Приведите примеры физических процессов, сопровождающих процесс растворения веществ (в воде, аммиаке, в органических растворителях).
7. Механизмы гомо- и гетеромолекулярной ассоциации, гомо- и гетероионизации молекул растворителя и растворенного вещества.
8. Приведите перечень возможных химических реакций, осуществляющихся при растворении солей (в воде, аммиаке).
9. Рассмотрите взаимодействия в системах: вода – серная кислота, вода – азотная кислота, глицерин – хлорид натрия, хлорид олова(IV) – вода, хлорид олова(IV) – этиленгликоль, вода – хлорид железа (II) или соль ванадия (II). Объясните, почему скорость растворения хлорида натрия в воде, этиловом спирте, этиленгликоле и глицерине отличается.
10. Способы классификации растворителей, применяемых в неорганическом синтезе.
11. Анализ диаграмм растворимости неорганических веществ в воде. Выбор условий кристаллизации твердой фазы.
12. Метастабильные и лабильные растворы. Способы приготовления пересыщенных растворов.
13. Факторы, влияющие на растворимость вещества, правила приготовления пересыщенных растворов, в растворителях с разной диэлектрической проницаемостью.
14. Синтез монокристаллов, оборудование.
15. От чего зависит чистота выделенных кристаллов, выбор промывки кристаллов?
16. Дефекты монокристаллов (нульмерные, одномерные, двухмерные и специфические), выращенных в растворах. Полиморфизм, изоморфизм, изодиморфизм (примеры).
17. Преимущества и недостатки получения монокристаллов или поликристаллических неорганических веществ в растворах.
18. Синтез бромида натрия (выращивание монокристалла и получение чистых поликристаллов)

## Семинарское занятие № 2. «Методы получения ультрадисперсных систем в водных и неводных растворах»

1. Приведите примеры получения ультрадисперсных материалов с использованием физических методов.
2. Классифицируйте типы химических реакций, используемых для синтеза золей. Приведите примеры получения золей неметаллов, металлов, оксидов металлов, халькогенидов, труднорастворимых солей. Охарактеризуйте состав коллоидных частиц в каждом приведенном случае. От чего зависит заряд частицы?
3. Что означают термины “агрегативная устойчивость” и “кинетическая устойчивость” золей. От чего зависят эти типы устойчивости, чем определяются?
4. Что означают термины “фазовая и поверхностная устойчивость” частиц дисперсной фазы?
5. Приведите различные способы оценки размеров частиц золя.
6. Какие воздействия могут привести к нарушению агрегативной и кинетической устойчивости золей (коллоидных растворов).
7. Перечислите эмпирические закономерности коагуляции золей электролитами, дайте пояснения к приведенным правилам.
8. Стабилизация частиц золей. Вещества-стабилизаторы. Контроль размеров и формы частиц.
9. Укажите компоненты растворов для получения гелей. Охарактеризуйте их роль в синтезе.
10. Укажите стадии химических превращений при получении гелей. Приведите примеры механизмов сополикондсации гидролизированных алкоксидов.
11. Что такое синерезис? Охарактеризуйте этапы высушивания геля.
12. От чего зависит конечный состав и структура ксерогеля?
13. Дайте характеристику этапам получения и формирования пленок геля на подложке?
14. Возможно ли выращивание в геле монокристаллов, поликристаллов? Опишите схему устройства, порядок операций и механизм выращивания кристаллов в геле.
15. Опишите условия получения сферических наночастиц золота и золотых нанопроволок.
16. В случае проведения синтеза наночастиц в микроэмульсиях какую форму будут иметь частицы? От чего будет зависеть их размер?
17. Предложите способ получения двухслойных наночастиц, например  $Me_1$  – ядро,  $Me_2$  – оболочка, оксид металла - ядро, металл- оболочка

## Семинарское занятие № 3. «Электрохимический синтез. Получение металлических и оксидированных покрытий»

1. Принцип электрохимического синтеза. Законы электрохимического синтеза (Законы Фарадея). Оборудование для проведения электрохимического синтеза.



2. Перечислите и опишите стадии электрохимического восстановления катионов  $\text{Ni}(\text{NH}_3)_6^{2+}$  в жидком аммиаке.
3. Перечислите и опишите стадии электрохимического окисления, восстановления, соединений олова(II) в водном растворе.
4. 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.
5. 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?
6. Составы электролитов для электрохимического синтеза металлических покрытий, компоненты, их роль.
7. С какими факторами связано микро- и макрораспределение металла (плотности тока) по поверхности катода?
8. Опишите механизмы анодного окисления железа, алюминия. Возможно ли получение пористых покрытий толщиной 10-20 мкм на поверхности алюминия, железа?
9. Приведите примеры получения нанопроволок металлов с использованием метода электрохимического синтеза. Можно ли регулировать толщину нанопроволок металлов?
10. Предложите условия получения порошковой меди. Возможно ли получение порошка никеля, железа?
11. Какие проблемы, возникающие при электроосаждении металлических покрытий, позволяет решить использование неводных электролитов? Сформулируйте требования к неводным электролитам, которые могут быть использованы в электрохимическом синтезе?
12. Известно, что путем электрохимического синтеза получают композиционные покрытия металл–дисперсная фаза (например, Ni–SiO<sub>2</sub>, Ni–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Предложите вероятный механизм соосаждения дисперсной фазы?
13. Предложите возможный состав устойчивого электролита для получения сплава золото-олово. Какие проблемы могут возникнуть при эксплуатации электролита?
14. Предложите способ очистки стоков гальванических вод содержащих медь(II), никель(II), железо(II и III).
15. Электрохимический синтез гипохлорита натрия.
16. Электрохимический синтез хлората калия.
17. Электрохимический синтез пероксодисульфата аммония.
18. Электрохимический синтез перманганата калия.

Семинарское занятие № 4. «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. Перечислите и охарактеризуйте способы изготовления монокристаллических затравок.
5. Предложите классификации методов выращивания кристаллов из расплава.
6. Сущность метода Вернейля. Преимущества метода и его недостатки.
7. Сущность метода Чохральского. Влияние гидродинамики расплава на дефектность формирующегося кристалла.
8. Сущность метода Киропулоса. Преимущества метода и его недостатки.
9. Метод зонной плавки. Особенности применения метода.
10. Дайте краткую характеристику тигельным методам кристаллизации (Метод Бриджмена, Стокбаргера и др.).
11. Синтез монокристаллов в растворах-расплавах. (3 разновидности методов).
12. Дефекты кристаллов, получаемых путем синтеза из расплава.
13. Отличия в свойствах аморфных (стеклообразных) и кристаллических веществ.
14. Условия формирования веществ в стеклообразном состоянии. Изменение свойств (объема и теплоемкости) вещества в расплаве, при кристаллизации и стекловании.
15. Классификация веществ, склонных к стеклообразованию. Классификация стеклообразующих материалов по типу химической связи.
16. Правила Захарисена. Структурные модели стеклообразного оксида кремния(IV) и боратных стекол.
17. Общие методы получения веществ в аморфном (стеклообразном состоянии).
18. Составы промышленных стекол. Назначение компонентов стекол (стеклообразователи, модификаторы, глушители, осветлители, красители, ускорители). Соединения, используемые в качестве исходных реагентов.
19. Физические процессы и химические реакции, осуществляющиеся при получении промышленных (оконных) стекол.
20. Опишите стадии технологического процесса получения промышленных (оконных) стекол. Дайте характеристику процессам, осуществляющимся на каждой стадии промышленного процесса.
21. Дефекты стекол. Причины возникновения.

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

Семинарское занятие № 5. «Гидротермальный синтез. Получение пленок, порошков, монокристаллов в паровой или газовой фазе»

1. Принцип гидротермального синтеза. Области применения метода.
2. Требования к веществам, синтезируемым методом гидротермального синтеза.
3. Методы гидротермального выращивания кристаллов. Метод температурного перепада. Метод общего снижения температуры. Метод «метастабильной фазы». Метод разделенной шихты.
4. Дефекты кристаллов, получаемых методом гидротермального синтеза.
5. Преимущества и недостатки гидротермального метода синтеза.
6. Дайте определения понятиям “направленная кристаллизация”, “массовая кристаллизация”, “спонтанная кристаллизация”, приведите соответствующие примеры.
7. Укажите области применения метода синтеза в газовой (паровой) фазе.
8. 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.
9. Выращивание монокристаллов в газовой (паровой) фазе методом сублимации-конденсации в замкнутой системе, запаянной ампуле, в проточной системе.
10. 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.
11. Транспортные реакции: определение, назначение, «агенты переносчики», способы реализации (в проточной системе, запаянной ампуле).
12. Преимущества эпитаксиального синтеза пленок в сравнении с синтезом монокристаллов в газовой фазе.
13. Дайте определения понятию «эпитаксия», что означают термины гомоэпитаксия, гетероэпитаксия.
14. Механизмы роста гомо- и гетеро- эпитаксиальных пленок.
15. Дефекты эпитаксиальных пленок.
16. Синтез эпитаксиальных пленок методом газотранспортных реакций. Приведите соответствующие примеры.
17. Синтез эпитаксиальных пленок методом химических реакций. Получение эпитаксиальных пленок кремния (германия): схема процесса, химические реакции, этапы (легирование).

18. Получение эпитаксиальных пленок арсенида галлия методом химических реакций: схема процесса, химические реакции, этапы.

19. Приведите примеры синтеза эпитаксиальных пленок с использованием металлоорганических соединений.

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

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

### Семинарское занятие № 6. «Синтез неорганических соединений в твердой фазе. Физические методы повышения реакционной способности твердофазных реагентов»

1. Области применения твердофазного метода синтеза.

2. Механизмы диффузии в твердых телах. Диффузия в кристаллах и поликристаллических системах.

3. Геометрические модели твердофазных реакций (модели Яндера, анти-Яндера, Вагнера, Коматсу).

4. Стадии физико-химических превращений исходных реагентов в твердофазных реакциях (11 стадий).

5. Методы получения порошковых реагентов для керамического метода синтеза. Примеры.

6. Механические, физические, химические методы получения порошковых металлов. Примеры.

7. Описание стадий твердофазного синтеза (с учетом возможных реализаций различных механизмов уплотнения порошка): прессование-формование, спекание.

8. Предложите способ получения сплава Ni-Sn методом порошковой металлургии. Опишите стадии синтеза.

9. Принцип реализации самораспространяющегося высокотемпературного синтеза твердофазных материалов. Типы реакций применимых для СВС синтеза. Структура материалов получаемых методом СВС

10. Принципы проведения СВС синтеза в промышленном масштабе.

11. Сущность криохимического метода матричной изоляции. Область используемых температур. Примеры получения частиц (соединений) изолированных в матрице.

12. Охарактеризуйте возможности препаративной криохимии, сформулируйте требования к реагентам.

13. Перечислите и прокомментируйте стадии криохимической технологий получения поликристаллических веществ.

14. Приведите примеры воздействий на поликристаллическое вещество при его механохимической обработке в механоактиваторе.

15. Пути релаксации напряжений, возникающих в поликристаллическом веществе при механохимической активации.

16. Механохимическая активация однокомпонентной системы, процессы, продукты. Механохимическая обработка графита, кремния, диоксида кремния, металлов.

17. Механохимические реакции в многокомпонентных системах (твердое-газ) (типы и примеры реакций).

18. Механохимические реакции в многокомпонентных системах (твердое-жидкость).

19. Механохимические реакции в твердофазных двухкомпонентных системах (примеры реакций).

20. Механизм воздействия ультразвука на жидкофазные системы.

21. Факторы, влияющие на интенсивность кавитации.

22. Сонолиз воды (водно-спиртовых растворов).

23. Сонохимический синтез нанодисперсных металлов, оксидов металлов, халькогенидов в водных (неводных) растворах.

24. Процессы, протекающие при ультразвуковой обработке поликристаллических веществ.

25. Отличия акустического воздействия на жидко- и твердофазные системы.

26. Сходство (отличия) синтеза, осуществляемого с использованием методов механохимии и сонохимии в системе реагентов содержащих только твердофазные реагенты.

### **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины**

При организации образовательного процесса по спецкурсу используется **метод учебной дискуссии**.

**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**

Для самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине на образовательном портале будут размещены: учебно-программные материалы, учебное издание для теоретического изучения дисциплины (Врублевская О.Н. Основы химического синтеза твердых фаз: пособие. – Мн.: БГУ, 2013. –126 с.), вопросы семинарских занятий, перечень заданий для УСР, темы рефератов, вопросы к экзамену список рекомендуемой литературы и информационных ресурсов, результаты текущей аттестации.

### Темы реферативных работ

1. Синтез фосфида индия (*не менее двух способов*).
2. Синтез сульфида цинка (*не менее двух способов*).
3. Получение фианитов.
4. Синтез аквамарина.
5. Получение инструментальной стали методом самораспространяющегося синтеза.
6. Механохимический синтез карбидов металлов.
7. Получение светорассеивающих стекол.
8. Получение металлических стекол.
9. Получение боратных стекол.
10. Получение порошков никеля (*не менее трех способов*)
11. Получение порошков меди (*не менее трех способов*)
12. Синтез монокристалла глицинсульфата в неводных растворах.
13. Гарнисажная плавка, применение.
14. Синтез сапфиров (*не менее двух способов*)
15. Сонохимический синтез золь металлов.
16. Сонохимический синтез сульфидов.
17. 3d печать металлами
18. Получение золотых слитков и золотых покрытий.

### Примерный перечень вопросов к экзамену

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” золь, “фазовая и поверхностная устойчивость” частиц дисперсной фазы. От чего зависят эти типы устойчивости, чем определяются? Какие воздействия нарушают устойчивость золь. Эмпирические закономерности коагуляции золь электролитами. Стабилизация частиц золь, 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 кристаллов в 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.



35. Сущность криохимического метода матричной изоляции. Область используемых температур. Примеры получения частиц (соединений) изолированных в матрице. Возможности препаративной криохимии, требования к реагентам.

36. Стадии криохимической технологий получения поликристаллических веществ. Характеристика веществ, получаемых методом криохимической технологии. Области применения технологии.

37. Виды воздействий на поликристаллическое вещество при механохимической обработке в механоактиваторе. Пути релаксации напряжений, возникающих в поликристаллическом веществе при механохимической активации. Механохимическая активация однокомпонентной системы, процессы, продукты. Механохимическая обработка графита, кремния, диоксида кремния, металлов.

38. Виды воздействий на поликристаллическое вещество при механохимической обработке в механоактиваторе. Пути релаксации напряжений, возникающих в поликристаллическом веществе при механохимической активации. Механохимические реакции в многокомпонентных системах: твердое-газ, твердое-жидкость, твердое-твердое.

39. Механизм воздействия ультразвука на жидкофазные системы. Факторы, влияющие на интенсивность кавитации. Сонолиз воды (водно-спиртовых растворов).

40. Сонохимический синтез нанодисперсных металлов, оксидов металлов, халькогенидов в водных (неводных) растворах.

41. Процессы, протекающие при ультразвуковой обработке поликристаллических веществ. Отличия акустического воздействия на жидко- и твердофазные системы.

42. Сходство (отличия) синтеза, осуществляемого с использованием методов механохимии и сонохимии в системе реагентов содержащих только твердофазные реагенты.

## 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) |
|---|------------------|---|---|
|   |                  |   |   |
|   |                  |   |   |

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

на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

| №<br>п/п | Дополнения и изменения | Основание |
|----------|------------------------|-----------|
|          |                        |           |

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
\_\_\_\_\_ (протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 201\_ г.)

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_