

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе  
и образовательным инновациям

О.Г. Прохоренко

«30» июня 2023 г.

Регистрационный № УД-12387 /уч.



**ИЗБРАННЫЕ ГЛАВЫ ХИМИИ ТВЕРДОГО ТЕЛА**

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

**1-31 05 01 Химия (по направлениям)**

Направление специальности:

1-31 05 01-02 Химия (научно-педагогическая деятельность)

2023 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-31 05 02-2021, утвержденного 15.06.2022, учебного плана № G-31-1-006/уч., утвержденного 25.05.2021.

**СОСТАВИТЕЛИ:**

Т.Н. Воробьева, профессор кафедры неорганической химии, доктор химических наук, профессор

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

А.И. Кулак, директор Института общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси, доктор химических наук, профессор, академик НАН Беларуси;

А.Е. Стрельцов, заведующий кафедрой электрохимии химического факультета БГУ, доктор химических наук, профессор

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой неорганической химии химического факультета Белорусского государственного университета  
(протокол № 11 от 28.04.2023);

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

Зав. кафедрой  
д.х.н., профессор  
член-корр. НАН Беларуси



\_\_\_\_\_ Д.В. Свиридов

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Химия твердого тела – область химической науки, предметом которой является изучение влияния фазового состава веществ в твердом агрегатном состоянии и их структуры (в том числе дефектной) на их физические свойства и реакционную способность для обоснования процессов синтеза твердофазных веществ и материалов с заданными составом, структурой и физико-химическими свойствами. Эта область науки носит междисциплинарный характер и тесно связана с физической химией, кристаллохимией, физикой твердого тела, материаловедением и др.

Курс «Избранные главы химии твердого тела» представляет собой одну из основных дисциплин химического цикла, которая является адаптированным к специфике будущей научно-педагогической деятельности студентов химического факультета вариантом курса «Химия твердого тела». Ее изучение призвано обеспечить подготовку будущих ученых и педагогов к исследованиям реальной структуры твердых тел, пониманию ее влияния на структурно чувствительные свойства, механизм и кинетику физико-химических превращений твердофазных веществ, а также к использованию полученных знаний для обоснования методов синтеза твердофазных веществ с заданной структурой и свойствами.

Приобретенные при изучении дисциплины «Избранные главы химии твердого тела» знания, умения, навыки будут полезными при выполнении студентами курсовых и дипломных работ, а также в будущей профессиональной деятельности специалистов, связанной с проведением научных исследований, организацией факультативных занятий по химии в школе, преподаванием химии на повышенном уровне, организацией научной работы одаренных учащихся и студентов в случае работы выпускника в вузе.

**Цель данной учебной дисциплины** – ознакомить студентов с понятиями об электронной, фононной и дефектной подсистемах в твердофазных веществах (моно- и поликристаллических, аморфных, стеклообразных) и о влиянии этих подсистем на физические свойства твердых тел, изучить особенности химических реакций с участием твердофазных реагентов и пути синтеза веществ с заданными составом, структурой и свойствами, что позволит будущим специалистам-ученым и педагогам проводить научные исследования в области химии твердого тела или осуществлять руководство научной деятельностью учащихся или студентов.

**Задачи данной учебной дисциплины** заключаются

- в изучении студентами влияния фазового состава, структуры веществ в твердом агрегатном состоянии на их физические свойства и получении общих представлений о методах изучения фазового состава и структуры,

- в ознакомлении с процессами диффузии, особенностями протекания реакций с участием твердых тел, процессами зародышеобразования и роста кристаллов, очистки и легирования материалов,

- в формировании у студентов научного мировоззрения, навыков и умений для обоснования методов синтеза веществ с заданными фазовым составом и микроструктурой, для прогнозирования свойств твердотельных материалов и управления реакционной способностью твердофазных реагентов, что необходимо для подготовки специалистов-исследователей, а также педа-

гогов, способных вовлечь учащихся в научную деятельность и ознакомить их с проблемами ряда производств, где требуются знания в области химии твердого тела.

В системе подготовки специалиста с высшим образованием учебная дисциплина относится к модулю «Химия конденсированного состояния» компонента УВО.

### **Формирование компетенций**

Освоение учебной дисциплины «Химия твердого тела» должно обеспечить формирование следующей базовой профессиональной компетенции:

СК-5 Ориентироваться в системе современных знаний о строении кристаллов и частично упорядоченных конденсированных фаз, методах получения твердотельных материалов с заданной структурной организацией (моно- и поликристаллические, нанокристаллические, аморфные и стеклообразные твердые тела, порошки, пленки), механизме и кинетике реакций с участием твердых тел, особенностях химического, фазового состава и структуры твердых тел, обуславливающих их свойства и практическое применение

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

#### **знать:**

- основы зонной теории твердых тел;
- структурные дефекты в кристаллах, их влияние на физические свойства и реакционную способность твердых тел;
- механизм и кинетику реакций с участием твердых тел;
- методы получения твердофазных материалов с заданной структурой (монокристаллы, поликристаллические материалы, пленки или покрытия, порошки);
- основные способы введения примесей в твердотельные материалы и их очистки.

#### **уметь:**

- использовать знания о составе, структуре и реакционной способности твердых тел для синтеза материалов с заданными свойствами;
- прогнозировать физические свойства и реакционную способность твердых тел на основе знания их химического, фазового состава и структуры;

#### **владеть:**

- методами управления реакционной способностью твердых тел;
- способами получения твердотельных материалов с заданными элементарным, фазовым составом и структурной организацией (моно- и поликристаллические, нанокристаллические, аморфные и стеклообразные твердые тела, порошки, пленки).

### **Структура содержания учебной дисциплины**

В соответствии с учебным планом по специальности 1-31 05 01 Химия по направлению 1-31 05 01-02 Химия (научно-производственная деятельность) программа по учебной дисциплине «Избранные главы химии твердого тела» рассчитана на 94 часа, из них 44 часа аудиторных: 28 часов лекций, 10 часов семинарских занятий, 6 часов УСР.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – зачет (в устной форме).

# СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

## Раздел 1. Теория твердого тела

### Тема 1.1. Предмет и задачи курса «Химия твердого тела».

Химия твердого тела как наука; предмет изучения, методы исследования. Особенности энергетического строения, структуры, физико-химических свойств и реакционной способности твердых веществ. Специфика механизма и кинетики реакций с участием твердых тел.

### Тема 1.2. Энергетическое строение кристаллов.

#### Электронная подсистема

Обоснование наличия энергетических зон в кристаллах с использованием моделей квазисвободных и сильно связанных электронов. Волна де Бройля, волновой вектор, квадратичный закон дисперсии. Представления об идеально периодическом кристалле, обратной решетке, условии цикличности Борна–Кармана, зонах Бриллюэна. Дифракция рентгеновского излучения и электронов на кристаллической решетке. Зонное строение металлов, диэлектриков, полупроводников. Заполнение зон электронами. Уровень Ферми.

### Тема 1.3. Возбужденные состояния. Фононная подсистема

Электроны и дырки как носители заряда в кристаллах полупроводников и диэлектриков. Экситоны. Колебания кристаллической решетки; акустические и оптические фононы. Оптическое возбуждение твердых тел; спектры поглощения. Электрон-фононные взаимодействия.

### Тема 1.4. Дефектная структура твердых тел

Классификация структурных дефектов: равновесные и биографические дефекты; ноль-мерные, один-, два- и трехмерные дефекты. Точечные дефекты и их комплексы (вакансии, междоузельные атомы, примесные атомы, дефекты Шоттки и Френкеля, центры окраски в ионных кристаллах). Принцип сохранения электронейтральности. Пути появления точечных дефектов. Разупорядоченность в ионных кристаллах; донорные и акцепторные примеси в полупроводниках; дефекты в кристаллах нестехиометрических соединений. Описание возникновения дефектов с помощью квазихимических уравнений. Дислокации, их типы, возникновение, перемещение и взаимодействие дислокаций. Их влияние на механические и электрофизические свойства твердых тел. Поверхностные и объемные дефекты, их влияние на энергетическое строение и физические свойства твердых тел.

## Раздел 2. Физические свойства твердотельных материалов в зависимости от их фазового состава и наличия структурных дефектов

### Тема 2.1. Структурно-чувствительные механические свойства твердых тел

Структурно-чувствительные и структурно-нечувствительные физические свойства твердых тел. Связь между строением, энергией кристаллической решетки, температурой плавления, микротвердостью, прочностью на разрыв

и пластичностью твердых тел. Внутренние напряжения в кристаллах и причины их появления. Влияние структурных дефектов на механические свойства твердых тел. Пути управления твердостью и пластичностью (на примере металлов).

### **Тема 2.2. Электрофизические свойства твердых тел**

Электрофизические свойства твердых тел: электронная, электронно-дырочная и ионная проводимость, фотопроводимость. Зависимость электропроводности от числа и подвижности носителей заряда. Температурная зависимость электропроводности в металлах, полупроводниках и диэлектриках. Влияние структурных дефектов на величину электропроводности в металлах и полупроводниках.

### **Тема 2.3. Магнитные свойства твердых тел**

Представления об электронной теории магнетизма веществ в твердофазном состоянии: спиновый и орбитальный магнитные моменты, намагниченность, магнитная проницаемость и магнитная восприимчивость. Особенности структуры твердых тел, определяющие их магнитные свойства: диамагнетизм, парамагнетизм, ферро-, ферри-, и антиферромагнетизм. Доменная структура ферромагнитных материалов. Зависимость намагниченности от напряженности внешнего магнитного поля. Коэрцитивная сила, магнитомягкие и магнитотвердые материалы, их применение. Температура Кюри.

### **Тема 2.4. Сегнето- и пьезоэлектрические свойства твердых тел**

Понятие о сегнетоэлектричестве, пьезоэлектричестве; особенности состава и строения кристаллов сегнето- и пьезоэлектриков. Фазовые переходы в сегнетоэлектриках (на примере титаната бария). Зависимость величины дипольного момента от напряженности внешнего электрического поля. Доменная структура сегнетоэлектриков. Пьезоэлектрики. Области практического применения сегнето- и пьезоэлектриков.

### **Тема 2.5. Диффузия в твердых телах**

Механизмы диффузии в моно и поликристаллических твердых телах. Зависимость коэффициента диффузии от состава диффузанта и твердого вещества, параметров кристаллической решетки, температуры, дефектной структуры твердого тела. Законы Фика. Энергия активации диффузии. Самодиффузия и ее роль в процессах пластической деформации, спекания, химических реакций с участием твердых тел. Диффузионное легирование. Распределение примесей в твердых телах в зависимости от разных факторов (коэффициент диффузии, длительность процесса, источник диффузанта ограниченной и неограниченной мощности).

### **Тема 2.6. Фазовые переходы в твердых телах**

Типы фазовых переходов: реконструктивные и деформационные, первого и второго рода. Термодинамика фазовых переходов в твердых телах. Типы полиморфных превращений в твердых телах; мартенситные превращения; распад твердых растворов. Процессы образования зародышей и диффузии при протекании фазовых переходов. Спекание частиц твердых тел. Структурные изменения при плавлении. Представления о составе и строении жидких кри-

сталлов: фазовые переходы жидких кристаллов в твердое или жидкое состояние. Особенности физических свойств жидких кристаллов и их использование в технике. Стеклообразное состояние твердого тела: влияние различных факторов на стеклообразование, особенности структуры, кинетическая заторможенность кристаллизации.

### **Раздел 3. Механизм и кинетика твердофазных реакций**

#### **Тема 3.1. Особенности химических реакций с участием твердых тел**

Понятие «топохимическая реакция». Типы топохимических реакций. Особенности кинетики и механизма химических реакций с участием твердых тел. Лимитирующие стадии (диффузия, зародышеобразование, электронный и ионный транспорт). Представления о формально-кинетических уравнениях и принципах их подбора для описания кинетики топохимических реакций.

#### **Тема 3.2. Активное состояние твердых тел**

Понятие об активном состоянии твердых тел. Термодинамические характеристики активного состояния. Влияние размера кристаллитов на химическую активность твердофазного вещества. Уравнение Гиббса-Томсона. Примеры активирования твердых тел (процессы выщелачивания, твердофазного синтеза керамики).

#### **Тема 3.3. Химические превращения твердофазных реагентов, возбуждаемые термическим путем**

Реакции типа «твердое + твердое»: кинетика и механизм, влияние дисперсности и примесей; уравнение Яндера. Кинетика и механизм реакций окисления металлов и сходных реакций с участием газообразных реагентов. Реакции термического разложения твердых тел; возможности стабилизации и активации твердых тел за счет управления их структурой. Уравнение Ерофеева – Колмогорова. Примеры использования реакций «твердое + твердое» и «твердое + газ» в промышленности

#### **Тема 3.4. Химические превращения твердофазных реагентов, возбуждаемые нетепловыми методами**

Химическое действие света и ионизирующего излучения на твердые тела. Законы поглощения электромагнитного излучения твердыми телами. Фотокаталитические реакции (на примере диоксида титана). Особенности фотолиза солей серебра. Представления о механохимических реакциях: физические явления при механических воздействиях, образование структурных дефектов; особенности химических превращений.

### **Раздел 4. Общая характеристика материалов различных типов**

#### **Тема 4.1. Металлические материалы**

Особенности химической связи, кристаллической структуры металлов, дефектной структуры кристаллов и их влияние этих особенностей на температуру плавления, величину электропроводности, твердость, пластичность, износостойчивость металлов, наличие в них внутренних напряжений. Сплавы

разных типов: твердые растворы, интерметаллические соединения, гетерогенные сплавы, сверхструктуры. Диаграммы состояния бинарных систем, в которых образуются твердые растворы и/или интерметаллиды. Факторы, определяющие механические свойства металлов и сплавов. Влияние процессов отжига, закалки, механических воздействий, легирования на состав, структуру и свойства металлов и сплавов.

Нанокристаллические металлические системы. Особенности свойств ультрадисперсных частиц металлов. Представления о катализаторах на основе наночастиц металлов в матрице или на поверхности инертных и полупроводниковых носителей.

#### **Тема 4.2. Полупроводниковые материалы**

Особенности физических свойств, кристаллической структуры и химической связи в полупроводниковых материалах. Влияние разных факторов на ширину запрещенной зоны, подвижность носителей, тип и величину проводимости. Общие представления о типах полупроводниковых материалов на примерах кремния, германия, селена, бинарных полупроводниковых соединений  $A^{III}B^{IV}$ ,  $A^{II}B^{VI}$ ,  $A^I B^{VII}$ , полупроводниковых оксидов, халькогенидов, галогенидов, тройных соединений. Стехиометрические и нестехиометрические бинарные полупроводниковые соединения, соответствующие диаграммы состояния. Влияние примесей и отклонений от стехиометрического состава на величину и тип проводимости. Стеклообразные полупроводники, механизм прыжковой проводимости. Органические полупроводниковые соединения; механизм и величина проводимости; области применения.

#### **Тема 4.3. Строительные и огнеупорные материалы, керамика, абразивы**

Цементы, особенности их химического, фазового состава и структуры, процессы гидратации и схватывания. Огнеупорные материалы, керамика: присущие им особенности химической связи, структуры и физических свойств, применение. Абразивные материалы, область применения, состав, требования в структуре и свойствам.

#### **Тема 4.4. Люминофоры**

Явление люминесценции, ее виды. Особенности химического состава, химической связи и дефектной структуры неорганических люминофоров. Спектры поглощения и люминесценции. Механизмы люминесценции (возбуждение, сенсбилизация, рекомбинационный механизм). Условия тушения люминесценции. Применение люминофоров. Лазеры.

### **Раздел 5. Методы синтеза неорганических материалов с заданной структурой**

#### **Тема 5.1. Закономерности зародышеобразования, формирования и роста кристаллов из растворов, расплавов и паровой фазы**

Проблемы и пути получения веществ в заданном структурном состоянии (порошки, пленки, монокристаллы, скелетные структуры, слоистые и пористые материалы, наночастицы и нановолокна) с использованием физических и



химических процессов (систематика Ормонта). Представления о механизмах, термодинамике и кинетике процессов формирования зародышей и роста кристаллов из растворов, расплавов и паровой фазы.

### **Тема 5.2. Выращивание монокристаллов**

Термодинамические и кинетические условия выращивания монокристаллов из расплавов, растворов, расплавов-растворов и паровой фазы. Применение приемов создания пересыщения и переохлаждения. Получение монокристаллов из расплавов методами Бриджмена-Стокбаргера, Чохральского, Вернейля, градиентной зонной плавки. Использование фазовых диаграмм состояния для управления процессами выращивания монокристаллов. Распределение примесей при выращивании монокристаллов из растворов-расплавов. Получение монокристаллов из паровой фазы (газотранспортные реакции, процессы термического разложения, восстановления, диспропорционирования, обратимые реакции окисления-восстановления в процессах близкого и дальнего переноса). Области применения монокристаллов.

Общие представления об очистке веществ с использованием физических равновесий, а также химических превращений. Прогнозирование степени очистки с использованием равновесий твердое – расплав, твердое – пар.

### **Тема 5.3. Получение пленок, покрытий**

Принципы получения и термодинамические условия формирования поликристаллических и эпитаксиальных пленок и порошковых материалов. Важнейшие свойства пленок – адгезия и когезия. Представления о применении покрытий и порошков.

Вакуумные методы получения пленок: термическое испарение, катодное и ионно-плазменное распыление. Представления о формировании пленок при химических реакциях в газовой фазе (реакции разложения на примере пиролиза металлоорганических соединений и моносилана, восстановления, диспропорционирования). Представления о получении диэлектрических пленок с использованием реакций  $A_{гв} + B_{гв} = AB_{гв}$ , а также методом гидролиза из растворов, регулирование микроструктуры продукта с использованием золь-гель технологии. Получение пленок металлов с использованием реакций химического осаждения из растворов, контактного вытеснения. Пути селективного осаждения пленок металлов в виде рисунков. Общие сведения об электрохимических методах получения металлических и оксидных покрытий.

### **Тема 5.4. Легирование твердых тел**

Понятие о процессах легирования твердофазных веществ в процессах их получения или обработкой готовых материалов. Микроструктура легированных веществ и распределение в них примесей. Управление свойствами материалов путем легирования. Общие представления о методах легирования (плавление, диффузия, ионная имплантация). Контроль количества примеси и ее распределения по глубине материала при диффузионном и ионном легировании.

## 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	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<b>Теория твердого тела</b>	<b>8</b>		<b>2</b>			<b>2</b>	
1.1	Предмет и задачи курса «Химия твердого тела»	1						Дискуссия
1.2	Энергетическое строение кристаллов. Электронная подсистема	2						Устный и письменный опрос
1.3	Возбужденные состояния. Фононная подсистема	1						Устный опрос
1.4	Дефектная структура твердых тел	4		2			2	Устный и письменный опрос, <b>контрольная работа</b>
2	<b>Физические свойства твердотельных материалов в зависимости от их фазового состава и наличия структурных дефектов</b>	<b>6</b>		<b>2</b>				
2.1	Структурно-чувствительные механические свойства твердых тел	1						Устный опрос
2.2	Электрофизические свойства твердых тел	1						Дискуссия, тестовые задания
2.3	Магнитные свойства твердых тел	1		1				Тестовые задания, устный опрос,
2.4	Сегнето- и пьезоэлектрические свойства твердых тел	1						Дискуссия, тестовые задания
2.5	Диффузия в твердых телах	1		1				<b>Контрольная работа</b>

2.6	Фазовые переходы в твердых телах	1					Устный опрос, тестовые задания
3	<b>Механизм и кинетика твердофазных реакций</b>	<b>4</b>		<b>2</b>			
3.1	Особенности химических реакций с участием твердых тел	1					Дискуссия
3.2	Активное состояние твердых тел	1					Устный опрос
3.3	Химические превращения твердофазных реагентов, возбуждаемые термическим путем	1		1			Устный и письменный опрос
3.4	Химические превращения твердофазных реагентов, возбуждаемые нетепловыми методами	1		1			Устный и письменный опрос
4	<b>Общая характеристика материалов различных типов</b>	<b>6</b>		<b>2</b>		<b>2</b>	
4.1	Металлические материалы	1					Дискуссия, устный опрос
4.2	Полупроводниковые материалы	3		2		1	Дискуссия, устный опрос, <b>контрольная работа</b>
4.3	Строительные и огнеупорные материалы, керамика, абразивы	1					Дискуссия, устный опрос
4.4	Люминофоры	1				1	Дискуссия, устный опрос
5	<b>Методы синтеза неорганических материалов с заданной структурой</b>	<b>4</b>		<b>2</b>		<b>2</b>	
5.1	Закономерности зародышеобразования, формирования и роста кристаллов из растворов, расплавов и паровой фазы	1		1		1	Устный опрос
5.2	Выращивание монокристаллов	1				1	Дискуссия, письменный опрос
5.3	Получение пленок, покрытий и порошковых материалов	1		1			<b>Контрольная работа</b>
5.4	Легирование твердых тел	1					Устный опрос
<b>ИТОГО</b>		<b>28</b>		<b>10</b>		<b>6</b>	

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Основная литература

### Основная литература

1. Воробьева, Т. Н. Химия твердого тела : учебник для студ. учреждений высш. образования по хим. спец. / Т. Н. Воробьева, А. И. Кулак, Т. В. Свиридова. – Минск : БГУ, 2011. – 320 с.

2. Ефремова, Е. И. Химия и физика твердофазных систем : учебное пособие / Е. И. Ефремова. — Москва : РТУ МИРЭА, 2021 — Часть 1 — 2021. — 66 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/218651>.

3. Уваров, Н. Ф. Химия твердого тела : учеб. пособие / Н. Ф. Уваров, Ю. Г. Матейшина. – 2-е изд., испр. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2022. – 108 с.

### Дополнительная литература

1. Артамонова, О. В. Химия твердого тела : учеб. пособие / О. В. Артамонова. – Воронеж : Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. – 168 с.

2. Кнотько, А. В. Химия твердого тела: учеб. пособие для студентов вузов / А. В. Кнотько, И. А. Пресняков, Ю. Д. Третьяков. – М. : Академия, 2006. – 304 с.

3. Третьяков, Ю. Д. Введение в химию твердофазных материалов : учеб. пособие / Ю. Д. Третьяков, В. И. Путляев ; МГУ им. М. В. Ломоносова. – Москва : Изд-во Московского ун-та : Наука, 2006. – 400 с.

### 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. Письменный опрос в формате вопрос – ответ.
3. Написание контрольных работ по темам №№: 1) 1.4; 2) 2.3, 2.4, 2.5; 3) 4.2; 4) 5.1, 5.2, 5.3.
4. Тесты по темам №№ 2.2; 2.3; 2.4; 2.6.
5. Устный зачет по дисциплине.

Примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний и текущей аттестации в итоговую отметку:

1. Результаты письменного опроса и выполнения тестовых заданий – 20 %.
2. Контрольные работы – 80 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей успеваемости и зачета с учетом их весовых коэффициентов. Весовой коэффициент отметки текущей успеваемости составляет 50%, зачета – 50%.

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

#### **Тема 1.4. Дефектная структура твердых тел**

Задание 1. Привести примеры точечных дефектов в кристаллах, описать пути их образования и влияние на физические свойства твердых тел.

Задание 2. Привести примеры линейных дефектов в кристаллах, описать пути их образования и движения, указать влияние на свойства.

Задание 3. Привести примеры поверхностных и объемных дефектов в кристаллах, описать пути их образования и влияние на свойства.

Перечень средств диагностики:

1. Устный опрос.
2. Письменный опрос.
3. Контрольная работа.

#### **Тема 4.2 и 4.4. Полупроводниковые материалы и люминофоры**

Задание 1. Привести примеры особых физических свойств полупроводниковых материалов и объяснить эти свойства с позиций особенностей химической связи, электронной и дефектной подсистем твердого тела.

Задание 2. Указать влияние разных факторов на ширину запрещенной зоны и подвижности носителей заряда. Привести примеры закономерного изменения ширины запрещенной зоны и подвижности носителей заряда в рядах изоэлектронных изоэлектронных аналогов.

Задание 3. Привести примеры и описать механизм проводимости нестехиометрических соединений, стеклообразных полупроводников, органических соединений с полупроводниковыми свойствами.

Задание 4. Описать рекомбинационный механизм люминесценции на конкретном примере.

Перечень средств диагностики:

1. Устный опрос.
2. Письменное задание.
3. Контрольная работа.

#### **Тема 5. Методы синтеза неорганических материалов с заданной структурой**

Задание 1. Описать закономерности зародышеобразования, формирования и роста кристаллов из растворов, расплавов и паровой фазы.

Задание 2. Предложить метод выращивания монокристаллов заданного вещества из расплава, раствора-расплава, из паровой фазы, с использованием химических превращений.

Задание 3. Описать приемы выращивания монокристаллов путем создания пересыщения, переохлаждения; привести соответствующие диаграммы состояния.

Перечень средств диагностики:

1. Устный опрос.
2. Письменное задание.
3. Контрольная работа.

### **Примерная тематика семинарских занятий**

Семинарское занятие № 1. Дефектная структура твердых тел.

Семинарское занятие № 2. Магнитные свойства твердых тел. Диффузия в твердых телах.

Семинарское занятие № 3. Химические превращения твердофазных реагентов, возбуждаемые термическим путем и нетепловыми методами.

Семинарское занятие № 4. Полупроводниковые материалы.

Семинарское занятие № 5. Образование зародышей твердой фазы, рост кристаллов из растворов, расплавов и паровой фазы. Получение пленок, покрытий и порошковых материалов.

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

При организации образовательного процесса используются *эвристический подход и метод учебной дискуссии*, которые предполагают:

- демонстрацию многообразия решений большинства профессиональных задач;
- индивидуализацию обучения через возможность самостоятельно ставить цели, осуществлять рефлексию собственной образовательной деятельности;
- участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме.

### **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;
- ответы на вопросы, задаваемые на семинарских занятиях;
- подготовка к семинарским занятиям;
- подготовка к контрольным работам.

### **Примерные типы заданий для зачета (в устной форме)**

1. Зонное строение металлов, диэлектриков, полупроводников. Соотношение концентрации носителей заряда – электронов и дырок при наличии и отсутствии электрически активных примесных атомов. Уровень Ферми.

2. Типы точечных дефектов и их комплексов (вакансии, междоузельные и примесные атомы, дефекты Шоттки и Френкеля). Принцип электронейтральности. Равновесные и биографические дефекты.
3. Точечные дефекты в ионных кристаллах. Принцип электронейтральности, реализуемый при их формировании. Влияние на электропроводность.
4. Нестехиометрические соединения. Дефекты в них. Квазихимические уравнения, отражающие появление электронной или дырочной проводимости. Примеры диаграмм плавкости.
5. Дислокации, их типы, движение и взаимодействие дислокаций. Влияние дислокаций на механические свойства кристаллических твердых тел.
6. Двумерные дефекты в кристаллах. Влияние на физические свойства (электропроводность, пластичность, реакционная способность).
7. Примеры структурно-чувствительных и структурно-нечувствительных физических свойств твердых тел с объяснением влияния на свойства типа химической связи и/или структурных дефектов.
8. Магнитные свойства кристаллов. Механизмы магнетизма. Парамагнетики, ферро-, ферри- и антиферромагнетики. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы. Доменная структура.
9. Сегнетоэлектрические свойства кристаллов. Примеры сегнетоэлектриков и их использование. Фазовый переход в титанате бария. Пьезоэлектрики.
10. Фазовые переходы твердое–твердое. Классификации (реконструктивные и деформационные переходы; термодинамический подход). Процессы диффузии и зародышеобразования при фазовых переходах. Примеры.
11. Диффузия в твердых телах. Механизмы диффузии. Законы Фика. Коэффициент диффузии; самодиффузия. Применение в процессах диффузионного легирования.
12. Общие особенности различных типов химических реакций с участием твердых тел. Понятие «топохимическая реакция». Лимитирующая стадия. Выбор формально-кинетического уравнения на примере реакции «твердое + твердое».
13. Кинетика реакций окисления металлов и кремния кислородом. Механизм. Формально-кинетические уравнения. Пути управления скоростью реакции.
14. Кинетика реакций термического разложения. Механизм. Формально-кинетические уравнения. Пути управления скоростью реакции.
15. Активное состояние твердых тел. Термодинамическая интерпретация активного состояния. Пути активирования твердых тел.
16. Факторы, определяющие физические свойства металлов (твердость, пластичность, внутренние напряжения, температура плавления).
17. Сплавы трех типов: твердые растворы, интерметаллические соединения разных типов, гетерогенные сплавы. Диаграммы состояния этих сплавов.
18. Влияние разных факторов на ширину запрещенной зоны полупроводников. Закономерности изменения в рядах аналогов.

19. Бинарные полупроводниковые соединения  $A^{III}B^V$ ,  $A^{II}B^{VI}$ ,  $A^I B^{VII}$ . Сравнение ширины запрещенной зоны, подвижности носителей в рядах аналогов. Отклонение от стехиометрии. Диаграммы плавкости.

20. Факторы, определяющие подвижность носителей в полупроводниках. Закономерности изменения подвижности в рядах аналогов.

21. Стеклообразные полупроводники: примеры, особенности химической связи и структуры, механизм проводимости, области применения.

22. Цементы. Общее понятие, составы, свойства. Сущность процессов спекания, гидратации.

23. Стекло. Особенности химической связи и строения. Причины кинетической заторможенности кристаллизации. Влияние различных факторов на стеклообразование. Примеры стекол.

24. Люминесценция: механизмы люминесценции, примеры веществ, особенности химической связи, зонной структуры, наличие дефектов и примесей. Понятие о лазерах.

25. Термодинамика, кинетика и механизм зародышеобразования в объеме жидкости или пара и на поверхности их раздела с твердой фазой.

26. Термодинамика и механизм роста зародышей. Выбор условий получения монокристаллов, мелкодисперсных порошков и пленок на основании зависимости скорости образования зародышей и скорости их роста от пересыщения (переохлаждения) в системе.

27. Выращивание монокристаллов простых веществ и химических соединений из расплавов методами Бриджмена-Стокбаргера и Чохральского. Термодинамическое обоснование условий роста монокристалла. Распределение примесей, типичные для этого метода дефекты, диаграммы плавкости.

28. Выращивание монокристаллов методами Вернейля и градиентной зонной плавки. Распределение примесей в кристаллах, полученных зонной плавкой.

29. Вакуумные методы получения пленок. Факторы, определяющие состав пленок, скорость их осаждения и толщину.

30. Парофазные методы получения пленок на конкретных примерах химических реакций. Термодинамические условия, обеспечивающие образование поликристаллических и эпитаксиальных пленок. Управление направлением реакций.

31. Получение пленок оксидов металлов с использованием процессов гидролиза (золь-гель технология) и термического окисления.

32. Получение пленок металлов химическим осаждением из растворов. Термодинамика и кинетика процессов. Эффекты катализа.

33. Получение пленок металлов в виде рисунков химическим осаждением меди и никеля из растворов.



## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Физическая химия	Кафедра физической химии	Нет изменений	Вносить изменения не требуется. Протокол № 11 от 28.04.2023.
Кристаллохимия	Кафедра неорганической химии	Нет изменений	Вносить изменения не требуется. Протокол № 11 от 28.04.2023.

**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 неорганической химии Белорусского государственного университета (протокол № от \_\_\_\_\_ г.)

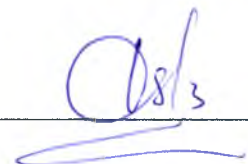
Заведующий кафедрой, д.х.н.,  
член-корр. НАН Беларуси



Д.В. Свиридов

УТВЕРЖДАЮ

Декан химического факультета  
к. х. н., доцент



А.В. Зураев