

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

_____ А.Д.Король

27 июня 2025 г.

Регистрационный № 2903/б.



ИЗБРАННЫЕ ГЛАВЫ ХИМИИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальности:

6-05-0531-04 Химия (научно-педагогическая деятельность)

2025 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 6-05-0531-04-2023, учебного плана № 6-5.5-43/01 от 15.05.2023.

СОСТАВИТЕЛИ:

Т.Н.Воробьева, профессор кафедры неорганической химии химического факультета Белорусского государственного университета, 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;

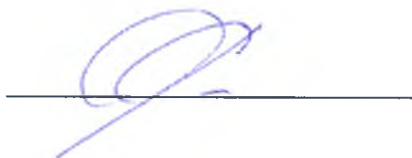
А.Е.Стрельцов, заведующий кафедрой физической химии и электрохимии химического факультета Белорусского государственного университета, доктор химических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой неорганической химии БГУ
(протокол № 10 от 06.06.2025);

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 11 от 26.06.2025)

Заведующий кафедрой



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.

Дисциплина «Избранные главы химии твердого тела» представляет собой одну из основных дисциплин химического цикла, который является адаптированным к специфике будущей научно-педагогической деятельности студентов химического факультета вариантом дисциплины «Химия твердого тела». Изучение этой дисциплины 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 заданными 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.

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель 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 учебной дисциплины:

1) изучение студентами влияния фазового состава, структуры веществ в твердом агрегатном состоянии на их физические свойства и получение общих представлений о методах определения фазового состава и структуры;

2) ознакомление с процессами диффузии, особенностями протекания реакций с участием твердых тел, процессами зародышеобразования и роста кристаллов, очистки и легирования материалов;

3) формирование у студентов научного мировоззрения, навыков и умений обосновывать методы синтеза веществ с заданными фазовым составом и микроструктурой, прогнозировать свойства твердотельных материалов и управлять реакционной способностью твердофазных реагентов, что необходимо для подготовки специалистов-исследователей, а также педагогов, способных вовлечь учащихся в научную деятельность и ознакомить их с проблемами ряда производств, где требуются знания в области химии твердого тела.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к модулю «Химия конденсированного состояния» компонента учреждения образования.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.: Физика, Физическая химия, Кристаллохимия, Квантовая химия и строение молекул, Физические методы исследования.

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Избранные главы химии твердого тела» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

Специализированные компетенции:

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 освоения 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;

иметь навык:

- управления реакционной способностью твердых тел;

- получения твердотельных материалов с заданной структурной организацией (моно- и поликристаллические, нанокристаллические, аморфные и стеклообразные твердые тела, порошки, пленки).

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 5 семестре. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Избранные главы химии твердого тела» отведено для **очной формы** получения высшего образования – 90 часов, в том числе 44 аудиторных часов, лекции – 28 часов, семинарские занятия – 16 часов.

Из них:

Лекции – 28 часов, семинарские занятия – 12 часов, управляемая самостоятельная работа (УСР) – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Теория твердого тела

Тема 1.1. Предмет и задачи дисциплины «Избранные главы химии 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, одно-, двух- 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 полупроводниковых соединений, нестехиометрических соединений. Твердые растворы, их типы, границы растворимости. Описание возникновения дефектов с помощью квазихимических уравнений. Дислокации, их типы, возникновение, перемещение и взаимодействие дислокаций. Их влияние на механические и электрофизические свойства кристаллических 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 составов 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, наличие электрического поля).

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 кристаллов: фазовые переходы жидких кристаллов в твердое или жидкое состояние. 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. 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, износоустойчивость 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, жидкие кристаллы

Явление люминесценции, ее виды. Особенности химического состава, химической связи и дефектной структуры неорганических люминофоров. Спектры поглощения и люминесценции. Механизмы люминесценции (возбуждение, сенсibilизация, рекомбинационный механизм). Условия тушения люминесценции. Применение люминофоров. Лазеры. Жидкие кристаллы: состав, строение, анизотропия свойств, практическое применение.

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 и порошковых материалов

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 $A_{\text{тв}} + B_{\text{гв}} = AB_{\text{тв}}$, 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.

Тема 5.4. Легирование твердых тел

Понятие о процессах легирования твердофазных веществ в процессах их получения или при обработке 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

Очная (дневная) форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий
(ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСП	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Теория твердого тела	8		2			2	
1.1	Предмет и задачи дисциплины «Избранные главы химии твердого тела»	1						Дискуссия
1.2	Энергетическое строение кристаллов. Электронная подсистема	2						Устный опрос
1.3	Возбужденные состояния. Фононная подсистема	1						Устный опрос
1.4	Дефектная структура твердых тел	4		2			2	Устный и письменный опрос, контрольная работа
2	Физические свойства твердотельных материалов в зависимости от их фазового состава и наличия структурных дефектов	6		4				
2.1	Структурно-чувствительные механические свойства твердых тел	1						Устный опрос, эвристическая беседа
2.2	Электрофизические свойства твердых тел	1						Дискуссия

2.3	Магнитные свойства твердых тел	1		1			Устный и письменный опрос
2.4	Сегнето- и пьезоэлектрические свойства твердых тел	1		1			Дискуссия
2.5	Диффузия в твердых телах	1		1			Тестовые задания, устный опрос
2.6	Фазовые переходы в твердых телах	1		1			Тестовые задания, устный опрос
3	Механизм и кинетика твердофазных реакций	4		2			
3.1	Особенности химических реакций с участием твердых тел	1		1			Дискуссия, эвристическая беседа
3.2	Активное состояние твердых тел	1					Дискуссия
3.3	Химические превращения твердофазных реагентов, возбуждаемые термическим путем	1		1			Контрольная работа
3.4	Химические превращения твердофазных реагентов, возбуждаемые нетепловыми методами	1					Устный и письменный опрос
4	Общая характеристика материалов различных типов	6		2		2	
4.1	Металлические материалы	1					Дискуссия
4.2	Полупроводниковые материалы	3		2		1	Дискуссия, устный опрос, контрольная работа
4.3	Строительные и огнеупорные материалы, керамика, абразивы	1					Дискуссия
4.4	Люминофоры и жидкие кристаллы	1				1	Дискуссия, устный опрос,
5	Методы синтеза неорганических материалов с заданной структурой	4		2			

5.1	Закономерности зародышеобразования, формирования и роста кристаллов из растворов, расплавов и паровой фазы	1		1				Устный опрос
5.2	Выращивание монокристаллов	1						Устный опрос
5.3	Получение пленок, покрытий и порошковых материалов	1		1				Контрольная работа
5.4	Легирование твердых тел	1						Устный опрос
ИТОГО		28		12			4	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. 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>

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

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

3. Ивашкевич, Л. С. Рентгенографические методы в химических исследованиях : учеб. пособие для студ. хим. спец. в узов / Л. С. Ивашкевич, Т. П. Каратаева, А. С. Ляхов. — Минск : БГУ, 2001.

4. 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.

5. Кузнецова, Е. В. Рентгенография металлов и сплавов: учеб. пособие / Е. В. Кузнецова, О. А. Косинова, И. А. Коваленко, И. А. Цыганов. — Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2019. — 187 с. https://www.stu.lipetsk.ru/assets/struct/kaf/kaf-fm/rentgenostrukturyij_analiz_uchebnoe_posobie.pdf.

6. 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. Дискуссия, эвристическая беседа.
4. Написание аудиторных контрольных работ.

5. Тесты по темам.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Избранные главы химии твердого тела» учебным планом предусмотрен зачет (в устной форме).

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы

Тема 1.4. Дефектная структура твердых тел (2 часа)

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.

Форма контроля: устный опрос, контрольная работа.

Тема 4.2. Полупроводниковые материалы (2 часа)

Задание 1. Привести примеры особых физических свойств полупроводниковых материалов и объяснить эти свойства с позиции 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 изоядерных аналогов.

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

Форма контроля: устный опрос, контрольная работа.

Примерная тематика семинарских занятий

Семинарское занятие № 1. Тема 1.4. Дефектная структура твердых тел.

Семинарское занятие № 2. Темы 2.3 и 2.4. Магнитные свойства твердых тел и Сегнетоэлектрические свойства твердых тел

Семинарское занятие № 3. Темы 2.5 и 2.6. Диффузия в твердых телах и Фазовые переходы в твердых телах.

Семинарское занятие № 4. Темы 3.1 и 3.3. Особенности химических реакций с участием твердых тел и Химические превращения твердофазных реагентов, возбуждаемые термическим путем.

Семинарское занятие № 5. Тема 4.2. Полупроводниковые материалы.

Семинарское занятие № 6. Темы 5.1 и 5.3. Закономерности зародышеобразования, формирования и роста кристаллов из растворов, расплавов и паровой фазы и Получение пленок, покрытий и порошковых материалов.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используются *эвристический метод 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

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.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Особенности зонного строения металлов, диэлектриков, полупроводников. Заполнение зон. Статистика (концентрация) электронов и дырок в равновесном состоянии. Уровень Ферми.
2. Типы точечных равновесных и неравновесных дефектов (вакансии, междоузельные атомы, дефекты Шоттки и Френкеля).
3. Точечные дефекты в кристаллах: примесные атомы, центры окраски. Их влияние на электрофизические и оптические свойства твердых тел.
4. Точечные дефекты в ионных кристаллах. Принцип электронейтральности, реализуемый при их формировании. Влияние на электропроводность.
5. Дислокации, их типы, движение и взаимодействие дислокаций. Влияние дислокаций на механические свойства кристаллических твердых тел.
6. Двумерные дефекты в кристаллах, причины их появления и влияние на свойства твердых тел (показать, используя зонную структуру, контакт с кислородом, металлом).
7. Нестехиометрические соединения. Дефекты в них. Квазихимические уравнения, отражающие появление электронной или дырочной проводимости. Примеры диаграмм плавкости.
8. Представления о структурно-чувствительных и структурно-нечувствительных физических свойствах твердых тел. Влияние на физические

свойства твердых тел типа химической связи и строения кристаллической решетки в отсутствие дефектов (величина электропроводности и ее температурная зависимость, твердость, пластичность, спектр поглощения в видимой и УФ области, коэффициент отражения).

9. Магнитные свойства кристаллов. Механизмы магнетизма. Парамагнетики, ферро-, ферри- и антиферромагнетики. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы. Доменная структура.

10. Сегнетоэлектрические свойства кристаллов. Примеры сегнетоэлектриков и их использование. Фазовый переход в титанате бария.

11. Пьезоэлектрические свойства. Состав и структура пьезоэлектриков, их практическое применение.

12. Структурные фазовые переходы. Классификации (реконструктивные и деформационные переходы; термодинамический подход). Процессы диффузии и зародышеобразования при фазовых переходах. Примеры.

13. Диффузия в твердых телах. Механизмы диффузии. Законы Фика. Коэффициент диффузии; самодиффузия. Применение в процессах диффузионного легирования.

14. Общие особенности различных типов химических реакций с участием твердых тел. Понятие “топохимическая реакция”. Лимитирующая стадия. Принципы выбора формально-кинетических уравнений.

15. Реакции типа “твердое + твердое”, окисления металлов и кремния кислородом, термического разложения. Кинетика и механизм. Формально-кинетические уравнения.

16. Активное состояние твердых тел. Термодинамическая интерпретация активного состояния. Пути активирования твердых тел.

17. Факторы, определяющие физические свойства металлов (твердость, пластичность, внутренние напряжения, температура плавления).

18. Сплавы трех типов: твердые растворы, интерметаллические соединения разных типов, гетерогенные сплавы. Диаграммы состояния этих сплавов.

19. Влияние разных факторов на ширину запрещенной зоны полупроводниковых материалов. Методы ее прогнозирования. Ряды изоэлектронных изоядерных аналогов и закономерности изменения E_g в этих рядах.

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

21. Бинарные полупроводниковые соединения $A^{III}B^V$, $A^{II}B^{VI}$, A^IB^{VII} , $A^{III}_2B^{VI}_3$. Сравнение ширины запрещенной зоны, подвижности носителей заряда в рядах аналогов. Отклонение от стехиометрии. Диаграммы плавкости.

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

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

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

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

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

27. Термодинамика и механизмы роста зародышей. Кинетика роста кристаллов. Применение термодинамических представлений для выбора условий получения монокристаллов, мелкодисперсных порошков и пленок.

28. 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.

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

30. Выращивание монокристаллов нестехиометрических соединений из растворов-расплавов с использованием приемов пересыщения и переохлаждения. Возможности регулирования степени отклонения от стехиометрии. Диаграммы плавкости.

31. Общие представления об очистке твердофазных веществ с использованием физических равновесий твердое – жидкость, твердое – пар, а также химических превращений. Распределение примесей при очистке переводом примеси из твердого в расплав. Факторы, влияющие на степень очистки.

32. Вакуумные методы получения пленок. Термодинамические условия, обеспечивающие получение пленок. Факторы, определяющие скорость осаждения, состав пленок.

33. Пути получения пленок оксидов металлов с использованием процессов гидролиза и термического окисления.

34. Парофазные методы получения пленок на конкретных примерах химических реакций. Термодинамические условия, обеспечивающие образование пленок (а не монокристаллов или порошка). Условия получения эпитаксиальных пленок. Управление направлением реакций.

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

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

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)
Физическая химия	Физической химии и электрохимии	Предложения отсутствуют	Рекомендовать к утверждению учебную программу (протокол № 10 от 06.06.2025)

Заведующий кафедрой физической химии

и электрохимии

доктор химических наук

профессор



Е.А.Стрельцов

06.06.2025

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УО

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
