

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»  
Институт новых материалов и технологий

  
УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по науке  
А.В. Германенко  
2022 г.




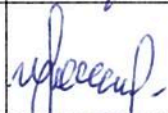
**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов**

Перечень сведений о рабочей программе дисциплины	Учетные данные
<b>Программа аспирантуры</b> Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов	Код ПА 2.6.14.
<b>Группа специальностей</b> Химические технологии, науки о материалах, металлургия	Код 2.6.
<b>Федеральные государственные требования (ФГТ)</b>	Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.10.2021 г. № 951
<b>Самостоятельно утвержденные требования (СУТ)</b>	Приказ «О введении в действие «Требований к разработке и реализации программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре УрФУ» от 31.03.2022 №315/03

Екатеринбург  
2022 г.

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Структурное подразделение	Подпись
1	Капустин Федор Леонидович	Д.т.н., профессор	Заведующий кафедрой	Кафедра материаловедения в строительстве	
2	Кашеев Иван Дмитриевич	Д.т.н., профессор	Профессор	Кафедра химической технологии керамики и огнеупоров	

**Рекомендовано учебно-методическим советом института новых материалов и технологий**

Председатель учебно-методического совета  
Протокол № 20220526-01 от 26.05.2022 г.  
Согласовано:



О.Ю. Корниенко

Начальник ОПНПК



Е.А. Бутрина

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ «ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ ТУГОПЛАВКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ И СИЛИКАТ- НЫХ МАТЕРИАЛОВ»

## 1.1. Аннотация содержания дисциплины

Дисциплина «Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» (СиТНМ) является факультативом в программе аспирантуры.

Цель дисциплины: формирование у аспирантов компетенций в области физико-химии и теоретических основ технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов, в том числе наноматериалов.

Изучение дисциплины предполагает выполнение следующих задач:

- изучение физико-химии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов;
- изучение фазовых равновесий в тугоплавких неметаллических, силикатных и оксидных системах, владение принципами построения фазовых диаграмм состояния систем;
- владение теориями процессов, протекающих при синтезе материалов в разнообразных условиях при высоких температурах.

## 1.2. Язык реализации дисциплины – русский.

## 1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

### Знать:

- основные физико-химические понятия, связанные со строением и структурой тугоплавких неметаллических, силикатных и оксидных материалов в твердом, жидком и стеклообразном состояниях, фазовыми равновесиями в силикатных и оксидных системах.

### Уметь:

- использовать полученные знания для анализа физико-химических систем при рассмотрении технологий тугоплавких неметаллических, силикатных и оксидных материалов, в том числе, керамики, цемента, огнеупоров, стекла, наноматериалов и др.);
- применять полученные знания для расчета количества и состава фаз в конкретных системах тугоплавких неметаллических материалов, силикатных и оксидных систем, а также использовать их в технологических расчетах конкретных производств.

### Владеть (демонстрировать навыки и опыт деятельности):

- знаниями о строении и свойствах вещества, пространственно-временных закономерностях и механизмах химических процессов в технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов;
- знаниями о количестве и составе фаз в конкретных диаграммах состояния тугоплавких неметаллических, силикатных и оксидных систем.

## 1.4. Объем дисциплины

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины в 4 семестре (час.)
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)*	
1.	Аудиторные занятия	4	4	4
2.	Лекции	4	4	4
3.	Самостоятельная работа аспирантов, включая все виды текущей аттестации	104	1	104
4.	Промежуточная аттестация	36	0,25	3
5.	Общий объем по учебному плану, час.	108	5,25	108
6.	Общий объем по учебному плану, з.е.	3		3

\* Контактная работа составляет:

в п/п 2,3, - количество часов, равное объему соответствующего вида занятий;

в п.4 – количество часов, равное сумме объема времени, выделенного преподавателю на консультации в группе (15% от объема аудиторных занятий).

в п.5 – количество часов, равное сумме объема времени, выделенного преподавателю на проведение соответствующего вида промежуточной аттестации одного аспиранта.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины	Содержание
P1	Введение. Агрегатные состояния вещества	<p>Предмет физической химии силикатов. Физхимия силикатов как специальный раздел общего курса физической химии. Значение физической химии силикатов для изучения технических дисциплин (технологии силикатов, технологии вяжущих веществ, керамики, огнеупоров и стекла). История развития физической химии силикатов.</p> <p>Три состояния вещества: газообразное, жидкое, твердое (кристаллическое, аморфное, стекловидное), характерные свойства газообразного, жидкого и твердого состояний, сходство и различие между ними. Уравнения состояний. Другие агрегатные состояния (жидкие кристаллы, газокристаллическое, плазменное).</p>
P2	Химия кремния	<p>Элементарный кремний. Распространение соединений кремния в природе и их значение в технике. Получение кремния. Свойства и применение. Квантово-элементарное строение кремния. Зонное строение кремния. Природа проводимости. Собственная ионизация.</p>
P3	Кристаллическое состояние вещества	<p>Пространственная решетка, понятие об элементарной ячейке. Понятие трансляции. Способы образования пространственной решетки. Сложные пространственные решетки. Примеры структурных типов оксидов и некоторых оксидных соединений. Размеры ионных радиусов и их расчеты и значение в таблице Д.И. Менделеева. Типы пространственных решеток. Метод изображения кристаллических структур шарами разных размеров. Теория плотнейших шаровых упаковок. Типы пустот в шаровых упаковках. Координационное число. Геометрические пределы устойчивости структур с разными координационными числами. Координационное число и плотность упаковки. Координационные полиэдры.</p> <p>Типы связей между структурными элементами кристаллической решетки (ионная, ковалентная, молекулярная, металлическая). Методы оценки химической связи. Электростатическое правило валентности Полинга, значение электроотрицательности в таблице Д.И. Менделеева.</p> <p>Реальные кристаллы. Дефекты «грубой» и «тонкой» структуры твердого тела. Точечные, протяженные или линейные, поверхностные дефекты. Концентрация вакансий. Вектор Бюргерса. Дефекты нестехиометрических оксидов. Константы равновесия образования дефектов нестехиометрии. Твердые растворы I и II рода, твердые растворы вычитания. Законы кристаллохимии. Первый закон Гольдшмита. Второй закон кристаллохимии и формулы Борна, Капустинского, Ферсмана. Круговой цикл Борна-Габер для определения энергии кристаллической решетки. Зависимость физико-химических свойств твердых веществ от строения кристаллов. Структура силикатов. Классификация структур по Брэггу, Махачки, Белову. Твердые растворы в силикатах. Правило Ферсмана в таблице Д.И. Менделеева. Свойства твердых растворов силикатов. Структура шпинелей. Зависимость свойств силикатов от структуры. Группы оливина, силлиманита, кольцевые силикаты, цепочные, слоистые, каркасные. Глинистые минералы. Вода в силикатах. Газы в силикатах.</p> <p>Диффузия в водных телах. Самодиффузия и гетеродиффузия: поверхностная, объемная, граничная. Макроскопическое описание диффузии.</p>

P4	Реакция в твердых фазах (химия твердого тела)	<p>Понятие о реакциях в твердом состоянии. Принципы классификации реакций в твердом состоянии. Периоды покрытия, активизирования, дезактивирования, вторичного активирования, образования продукта реакции с дефектной решеткой, исправление дефектов строения. Тепловой эффект твердофазных реакций.</p> <p>Условия протекания реакций в твердом состоянии: гранулометрический состав смеси, температура, давление, газовая среда. Наличие полиморфных превращений у компонентов реагентов, природа исходных реагентов. Подвижность структурных элементов решеток.</p> <p>Уравнение кинетики реакций. Зависимость скорости от диффузии. Константа скорости реакции. Уравнения Яндера, Журавлева, Гинстлинга-Броунштейна. Влияние температуры на скорость реакций. Уравнение Аррениуса для константы скорости реакции. Энергия активации твердофазовых реакций.</p>
P5	Химическая термодинамика оксидов и силикатов	<p>Основные понятия химической термодинамики. Первое и второе начало термодинамики. Понятие о физико-химическом равновесии. Равновесие истинное и кажущееся. Признаки истинного равновесия. Энтропия, энтальпия, свободная и связанная энергия тел. Физический смысл термодинамических потенциалов. Энтропия вещества и изменение энтропии в процессах и реакциях, стандартные энтропии образования соединений. Расчет изменений стандартных величин для системы веществ при их химическом взаимодействии. Зависимость энтропии, энтальпии образования и изобарного потенциала для реакции при заданной температуре как величины, определяющей возможность прохождения соответствующей реакции, энтропийные и энтальпийные факторы процессов. Методы расчета энергии Гиббса. Особенности термодинамики силикатов. Термодинамические расчеты с применением ЭВМ.</p>
P6	Жидкое состояние оксидов и силикатов. Стеклообразное состояние. Спекание и рекристаллизация	<p>Теория строения расплавов. Модель жидкого состояния. Плавление вещества. Работы Френкеля, Данилова, Есина. Уравнение Бачинского. Свойства веществ, находящихся в жидком состоянии. Вязкость силикатных расплавов, ее зависимость от состава и температуры. Поверхностное натяжение силикатных расплавов и смачиваемость. Уравнение Юнга. Адгезия, уравнение Дюпре для работы адгезии. Плотность силикатных расплавов. Строение силикатных расплавов. Микрогетерогенность. Молекулярная и ионная теория строения расплавов. Теория полимерного строения расплавов. Константы равновесия различных видов кислорода <math>O^0</math>, <math>O^-</math>, <math>O^{2-}</math>. Длина полимерной цепи. Механизм плавления кристаллических веществ. Температура плавления и ее зависимость от размера зерен вещества. Уравнение скорости растворения.</p> <p>Процессы, проходящие при кристаллизации силикатных расплавов. Температура кристаллизации. Устойчивое и неустойчивое положение, кристаллический зародыш новой фазы. Рост кристаллов из расплава. Скорость кристаллизации.</p> <p>Характеристика стеклообразного вещества. Гипотезы строения стекол. Модель стеклообразного состояния по Макензи. Строение стекол по Аппену. Условия получения стекол. Физические и физико-химические свойства стекол в области стекловарения. Вязкость стекол. Поверхностное натяжение. Электропроводность. Диффузия. Механические свойства. Аномальный интервал, аддитивность свойств стекол. Основные свойства стекол. Стабилизированное стекло. Стекловолокна. Прочность. Стеклопластики.</p> <p>Понятие о спекании. Основной признак процесса спекания. Обобщенный коэффициент спекания. Понятие о температуре спекания. Температура спекания по Тресветскому и Тамману. Связь температуры спекания с энергией кристаллической решетки. Физико-химические основы спекания. Определение спекания с точек зрения: технологии, физической химии и термодинамики.</p> <p>Твердофазовое спекание. Стадии спекания. Механизмы спекания на</p>

		<p>каждой стадии. Влияние кривизны поверхности на процессы и механизмы спекания. Положительная и отрицательная кривизна. Спекание «insitu» (на месте). Припекание одноименных тел. Механизмы припекания: диффузионно-вязкого течения, объемной диффузии, поверхностной диффузии, переноса вещества через газовую фазу («испарение-конденсация»), дислокационное припекание, припекание под влиянием внешней нагрузки.</p> <p>Жидкостное спекание. Основные факторы, определяющие скорость жидкостного спекания. Уравнение жидкостного спекания. Процесс уплотнения при спекании с участием жидкой фазы. Спекание за счет процесса «испарения-конденсации». Механизмы массопереноса при спекании. Кинетика изотермического спекания.</p> <p>Влияние газовой фазы на спекание. Влияние парциального давления кислорода на спекание. Механизм спекания. Факторы, ускоряющие спекание: механические, теплотехнические, химические. Выбор спекающих добавок. Оценка эффективности действия добавок: по разности электроотрицательности катионов, относительной разнице ионных радиусов катионов, силе связи катионов с кислородом у добавки и основного оксида.</p> <p>Реакционное спекание. Общие положения. Определение спекания материалов по механизму реакционного спекания. Критерии реакционного спекания. Основные условия реакционного спекания. Зависимость пористости сформованного материала от объемного эффекта реакции. Процессы рекристаллизации и роста зерен в твердых телах. Виды рекристаллизации: первичная и вторичная (собирающая) рекристаллизации. Движущая сила и механизм вторичной рекристаллизации. Кинетика процесса вторичной рекристаллизации. Основное уравнение роста зерен при рекристаллизации. Основные факторы, влияющие на процесс вторичной рекристаллизации (температура, время, размер исходных зерен, наличие примесей в материале и др.).</p>
P7	Фазовые равновесия	<p>Основные понятия и определения: система, фаза, компонент. Термодинамические параметры, степени свободы. Равновесие. Методы изучения гетерогенных равновесий при высоких температурах и построение диаграмм состояния. Правило фаз Гиббса.</p> <p>Однокомпонентные системы. Графическое изображение. Диаграмма состояния в координатах Т-Р. Тройная точка. Энантиотропные и монотропные превращения. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона. Условия равновесия модификаций кремнезема и глинозема.</p> <p>Двухкомпонентные системы. Графическое изображение двойных диаграмм состояния (принцип построения), фигуративные точки. Закон Рауля. Линия ликвидуса и солидуса. Правило рычага. Эвтектическая точка. Определение количества фаз в двойной диаграмме состояния.</p> <p>Типы двойных диаграмм состояния: Диаграмма состояния двухкомпонентной системы с эвтектикой без твердых растворов. Диаграмма состояния системы с химическим соединением, плавящемся конгруэнтно. Диаграмма состояния системы с инконгруэнтно плавящимся химическим соединением. Диаграмма состояния системы с ограниченной растворимостью в жидкой фазе. Диаграмма состояния системы с образованием твердых растворов с ограниченной растворимостью в жидком и твердом состоянии. Диаграмма состояния системы с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии. Диаграмма состояния системы с ограниченной растворимостью в твердом состоянии и наличием перитектического превращения. Диаграмма состояния системы с наличием полиморфного превращения компонентов выше и ниже эвтектической линии.</p> <p>Трехкомпонентные системы. Изображение состава трехкомпонентных систем. Схема отсчета составов в тройных диаграммах состояния. Линии концентрационного треугольника, обладающие характерными осо-</p>

		<p>бенностями. Определение количества фаз в тройной диаграмме состояния. Правило центра тяжести и правило рычага в тройной системе. Типы тройных диаграмм состояния. Диаграмма состояния системы с наличием одной, двух, трех эвтектик без химических соединений и твердых растворов. Правило разбивки основного треугольника на элементарные. Определение направления падения температуры на внутренних кривых, разделяющих поля треугольника. Расчет среднего состава твердого вещества, выделяющегося в процессе кристаллизации.</p> <p>Диаграмма состояния с двойным химическим соединением, плавящимся конгруэнтно. Диаграмма состояния системы с двойным химическим соединением, плавящимся инконгруэнтно. Диаграмма состояния системы с переходом от плавления без разложения к плавлению с разложением. Диаграмма состояния системы с образованием тройного соединения, плавящегося с разложением. Диаграмма состояния системы с распадом двойного соединения ниже определенной температуры. Диаграмма состояния системы с полиморфными превращениями и ликвидацией в тройных диаграммах состояния. Приведение сложного химического состава к простому трехкомпонентному составу. Диаграмма состояния системы с тройным химическим соединением, плавящимся конгруэнтно. Жидкостные кривые и их построение.</p> <p>Четырехкомпонентные диаграммы состояния. Геометрические основы построения и общие представления. Четвертная диаграмма состояния. Тетраэдр состояния с четвертной эвтектикой. Сечение тетраэдра состояния. Влияние давления на фазовые превращения и изменение системы.</p>
--	--	--

### 3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

#### 3.1. Практические занятия

Не предусмотрено.

#### 3.2. Примерная тематика самостоятельной работы

##### 3.2.1. Примерный перечень тем рефератов

Не предусмотрено.

##### 3.2.2. Примерная тематика индивидуальных или групповых проектов

Не предусмотрено.

### 4. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (Приложение 1)

#### 4.1. Критерии оценивания результатов контрольно-оценочных мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

Применяются утвержденные в Институтах новых материалов и технологий и физико-технологическом критерии оценивания достижений аспирантов по каждому контрольно-оценочному мероприятию. Система критериев оценивания опирается на три уровня освоения компонентов компетенций: пороговый, повышенный, высокий.

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
<b>Знания</b>	Аспирант демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществ-	Аспирант демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систе-	Аспирант может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.

	лять самостоятельно ре-продуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	материализует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	
<b>Умения</b>	Аспирант умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
<b>Личностные качества</b>	Аспирант имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Аспирант имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Аспирант имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.

## 4.2. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестации

### 4.2.1. Перечень примерных вопросов для зачета

1. Три состояния вещества: газообразное, жидкое, твердое (кристаллическое, аморфное, стекловидное), их характерные свойства, сходство и различие между ними. Уравнения состояний. Другие агрегатные состояния (жидкие кристаллы, газокристаллическое, плазменное).

2. Элементарный кремний. Получение, свойства и применение кремния. Квантово-элементарное и зонное строение кремния. Природа проводимости. Собственная ионизация.

3. Пространственная решетка, понятие об элементарной ячейке и трансляции. Способы образования пространственной решетки. Сложные пространственные решетки. Примеры структурных типов оксидов и некоторых оксидных соединений.

4. Типы пространственных решеток. Метод изображения кристаллических структур шарами разных размеров. Теория плотнейших шаровых упаковок. Типы пустот в шаровых упаковках. Координационное число и плотность упаковки.

5. Типы связей между структурными элементами кристаллической решетки (ионная, ковалентная, молекулярная, металлическая). Методы оценки химической связи. Электростатическое правило валентности Полинга, значение электроотрицательности в таблице Д.И. Менделеева.

6. Реальные кристаллы. Дефекты «грубой» и «тонкой» структуры твердого тела. Точечные, протяженные или линейные, поверхностные дефекты. Концентрация вакансий. Вектор Бюргера. Дефекты нестехиометрических оксидов. Константы равновесия образования дефектов нестехиометрии. Твердые растворы I и II рода, твердые растворы вычитания.

7. Законы кристаллохимии. Первый закон Гольдшмита. Второй закон кристаллохимии и формулы Борна, Капустинского, Ферсмана. Круговой цикл Борна-Габер для определения энергии кристаллической решетки. Зависимость физико-химических свойств твердых веществ от строения кристаллов.



8. Структура силикатов. Классификация структур по Брэггу, Махачки, Белову. Твердые растворы в силикатах. Правило Ферсмана в таблице Д.И.Менделеева. Свойства твердых растворов силикатов. Зависимость свойств силикатов от структуры. Группы оливина, силлиманита, кольцевые силикаты, цепочные, слоистые, каркасные. Глинистые минералы. Вода в силикатах. Газы в силикатах.

9. Диффузия в водных телах. Самодиффузия и гетеродиффузия: поверхностная, объемная, граничная. Макроскопическое описание диффузии.

10. Понятие о реакциях в твердом состоянии. Принципы классификации реакций в твердом состоянии. Периоды покрывания, активизирования, дезактивирования, вторичного активирования, образования продукта реакции с дефектной решеткой, исправление дефектов строения. Тепловой эффект твердофазных реакций.

11. Условия протекания реакций в твердом состоянии: гранулометрический состав смеси, температура, давление, газовая среда. Наличие полиморфных превращений у компонентов реагентов, природа исходных реагентов. Подвижность структурных элементов решеток.

12. Уравнение кинетики реакций. Зависимость скорости от диффузии. Константа скорости реакции. Уравнения Яндера, Журавлева, Гинстлинга-Брунштейна. Влияние температуры на скорость реакций. Уравнение Аррениуса для константы скорости реакции. Энергия активации твердофазовых реакций.

13. Основные понятия химической термодинамики. Первое и второе начало термодинамики. Понятие о физико-химическом равновесии. Равновесие истинное и кажущееся. Признаки истинного равновесия.

14. Энтропия, энтальпия, свободная и связанная энергия тел. Физический смысл термодинамических потенциалов. Энтропия вещества и изменение энтропии в процессах и реакциях, стандартные энтропии образования соединений. Расчет изменений стандартных величин для системы веществ при их химическом взаимодействии.

15. Зависимость энтропии, энтальпии образования и изобарного потенциала для реакции при заданной температуре как величины, определяющей возможность прохождения соответствующей реакции, энтропийные и энтальпийные факторы процессов. Методы расчета энергии Гиббса.

16. Теория строения расплавов. Модель жидкого состояния. Плавление вещества. Уравнение Бачинского. Свойства веществ, находящихся в жидком состоянии. Вязкость силикатных расплавов, ее зависимость от состава и температуры.

17. Поверхностное натяжение силикатных расплавов и смачиваемость. Уравнение Юнга. Адгезия, уравнение Дюпре для работы адгезии. Плотность силикатных расплавов. Строение силикатных расплавов. Микрогетерогенность. Молекулярная и ионная теория строения расплавов. Теория полимерного строения расплавов. Константы равновесия различных видов кислорода  $O^0$ ,  $O^-$ ,  $O^{2-}$ . Длина полимерной цепи.

18. Механизм плавления кристаллических веществ. Температура плавления и ее зависимость от размера зерен вещества. Уравнение скорости растворения.

19. Процессы, проходящие при кристаллизации силикатных расплавов. Температура кристаллизации. Устойчивое и неустойчивое положение, кристаллический зародыш новой фазы. Рост кристаллов из расплава. Скорость кристаллизации.

20. Характеристика стеклообразного вещества. Гипотезы строения стекол. Модель стеклообразного состояния по Макензи. Строение стекол по Аппену. Условия получения стекол. Физические и физико-химические свойства стекол в области стекловарения. Вязкость стекол. Поверхностное натяжение. Электропроводность. Диффузия. Механические свойства. Аномальный интервал, аддитивность свойств стекол. Стабилизированное стекло. Стекловолокна.

21. Понятие о спекании. Основной признак процесса спекания. Обобщенный коэффициент спекания. Понятие о температуре спекания. Температура спекания по Тресветскому и Тамману. Связь температуры спекания с энергией кристаллической решетки. Физико-химические основы спекания. Определение спекания с точек зрения: технологии, физической химии и термодинамики.

22. Твердофазовое спекание. Стадии спекания. Механизмы спекания на каждой стадии. Влияние кривизны поверхности на процессы и механизмы спекания. Положительная и отрицательная кривизна. Спекание «*insitu*» (на месте). Припекание одноименных тел. Механизмы припекания.

23. Жидкостное спекание. Основные факторы, определяющие скорость жидкостного спекания. Уравнение жидкостного спекания. Процесс уплотнения при спекании с участием жидкой фазы. Спекание за счет процесса «испарения-конденсации». Механизмы массопереноса при спекании. Кинетика изотермического спекания.

24. Влияние газовой фазы на спекание. Влияние парциального давления кислорода на спекание. Механизм спекания. Факторы, ускоряющие спекание: механические, теплотехнические, химические. Выбор спекающих добавок. Оценка эффективности действия добавок.

25. Реакционное спекание. Определение спекания материалов по механизму реакционного спекания. Критерии реакционного спекания. Основные условия реакционного спекания. Зависимость пористости сформованного материала от объемного эффекта реакции.

26. Процессы рекристаллизации и роста зерен в твердых телах. Виды рекристаллизации. Движущая сила и механизм вторичной рекристаллизации. Кинетика процесса вторичной рекристаллизации. Основное уравнение роста зерен при рекристаллизации. Основные факторы, влияющие на процесс вторичной рекристаллизации.

27. Диаграмма состояния двухкомпонентной системы.

28. Диаграмма состояния трехкомпонентной системы.

#### 4.2.2. Перечень примерных вопросов для экзамена

Не предусмотрено.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Рекомендуемая литература

#### 5.1.1. Основная литература

1. Бобкова, Н.М. Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов / Н.М. Бобкова. – Минск: Высшая школа, 2007. – 301 с.

2. Рабухин, А.И. Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных соединений / А.И. Рабухин, В.Г. Савельев. – М.: Инфра-М, 2008. – 304 с.

3. Кащеев, И.Д. Фазовые равновесия в оксидных системах / И.Д. Кащеев, А.В. Иванова. – Екатеринбург: УрФУ, 2010. – 157 с.

#### 5.1.2. Дополнительная литература

1. Горшков, В.С. Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений / В.С. Горшков, В.Г. Савельев, Н.Ф. Федоров. – М.: Высшая школа, 1988.

2. Урьев, Н.Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов / Н.Б. Урьев. – М.: Химия, 1988.

3. Сулименко, Л.М. Основы технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов / Л.М. Сулименко, И.А. Тихомирова. – М.: РХТУ, 2000

4. Горшков, В.С. Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений / В.С. Горшков, В.Г. Савельев, Н.Ф. Федоров. – М.: Высшая школа, 1988. – 254 с.

5. Физическая химия силикатов / Под ред. А.А. Пашенко. – М.: Высшая школа, 1986. – 352 с.

6. Стрекаловский, В.Н. Оксиды с примесной разупорядоченностью. Состав, структура, фазовые превращения / В.Н. Стрекаловский, Ю.М. Полежаев, С.Ф. Пальгуев. – М.: Наука, 1987.

7. Бабушкин, В.И. Термодинамика силикатов / В.И. Бабушкин, Г.М. Матвеев. – М.: Стройиздат, 1986. – 386 с.

8. Ковтуненко, П.В. Физическая химия твердого тела. Кристаллы с дефектами / П.В. Ковтуненко. – М.: Высшая школа, 1993.

9. Торопов, Н.А. Диаграммы состояния силикатных систем. Двойные силикатные системы: справочник / Н.А. Торопов, В.П. Барзаковский, В.В. Лапин и др. – Л.: Наука, 1972. – Вып. 3. – 448 с.

10. Барзаковский, В.П. Диаграммы состояния силикатных систем. Тройные силикатные системы: справочник / В.П. Барзаковский, В.В. Лапин, А.И. Бойкова, Н.Н. Курцева. – Л.: Наука, 1974. – Вып. 4. – 514 с.

11. Диаграммы состояния систем тугоплавких оксидов: Справочник / Под ред. Ф.Я. Галахова, Р.Г. Гребенщикова. – Л.: Наука, 1965-1997. – Вып. 5, 6.

#### **5.2. Методические разработки**

Не используются.

#### **5.3. Программное обеспечение**

1. Microsoft office (Word, Excel, Power point);
2. Adobe Reader.

#### **5.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>;
2. Web of Science: <http://apps.webofknowledge.com>;
3. Scopus: <http://www.scopus.com>;
4. Reaxys: <http://reaxys.com>;
5. Поисковая система EBSCO Discovery Service <http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=141>;
6. Федеральный институт промышленной собственности <http://www1.fips.ru>;
7. Интеллектуальная поисковая система Нигма.РФ . режим доступа: <http://www.nigma.ru>.

#### **5.5. Электронные образовательные ресурсы**

1. Зональная научная библиотека <http://lib.urfu.ru>;
2. Каталоги библиотеки <http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=76>;
3. Электронный каталог <http://opac.urfu.ru>;
4. Электронно-библиотечные системы <http://lib.urfu.ru/mod/resource/view.php?id=2330>;
5. Электронные ресурсы свободного доступа <http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=75>;
6. Электронные ресурсы по подписке <http://lib.urfu.ru/mod/data/view.php?id=1379>.

### **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **6.1. Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием**

Уральский федеральный университет имеет специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования.