

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»  
Институт новых материалов и технологий  
Физико-технологический институт

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по науке

В.В. Кружаев

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ ТУГОПЛАВКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ И СИЛИКАТНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ**

<b>Перечень сведений об образовательной программе</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов	<b>Код ОП</b> 18.06.01
<b>Направление подготовки</b> Химическая технология	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 18.06.01
<b>Уровень образования</b> Подготовка кадров высшей квалификации	
<b>Квалификация, присваиваемая выпускнику</b> Исследователь. Преподаватель - исследователь	<b>Реквизиты приказа Минобрнауки РФ об утверждении ФГОС ВО:</b> № 883 от 30.07.2014 г., изменения № 464 от 30.04.2015 г.
<b>ФГОС ВО</b>	

**СОГЛАСОВАНО**  
**УПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ**  
**КАДРОВ ВЫСШЕЙ**  
**КВАЛИФИКАЦИИ**

Екатеринбург  
2016

**Рабочая программа составлена авторами:**

№	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Кафедра	Подпись
1	Капустин Ф.Л.	доктор техн. наук, профессор	зав. кафедрой	материаловедения в строительстве	
2	Кащеев И.Д.	доктор техн. наук, профессор	зав. кафедрой	химической технологии керамики и огнеупоров	

**Рекомендовано Методическим советом УрФУ**

Председатель Методического Совета УрФУ

Е.В. Вострецова

**Согласовано:**

Начальник ОПНПК

О.А. Неволлина

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ

Программа дисциплины составлена в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования (ФГОС ВО):

Шифр направления	Название направления/направленности	Реквизиты приказа Министерства образования и науки Российской Федерации об утверждении и вводе в действие ФГОС ВПО	
		Дата	Номер приказа
18.06.01	Химическая технология / Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов	30.07.2014 с изменениями от 30.04.2015	883 изменения 464

### Цели, задачи и место дисциплины в структуре учебной деятельности

Дисциплина «Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» относится к вариативной части по выбору ОП ВО направления аспирантуры.

*Цели дисциплины:* Основной целью дисциплины является формирование у аспирантов компетенций в области теоретических основ технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов, в том числе наноматериалов.

Изучение дисциплины предполагает выполнение *следующей задачи:*

- изучить физико-химию тугоплавких неметаллических и силикатных материалов, фазовых равновесий в тугоплавких неметаллических, силикатных и оксидных системах, принципов построения фазовых диаграмм состояния систем, теории процессов, протекающих при синтезе материалов в разнообразных условиях при высоких температурах.

В результате изучения курса обучающийся 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 оксидно-силикатных материалов (тугоплавких неметаллических материалов специального назначения, в том числе, наноматериалов, керамики, цемента, огнеупоров, стекла 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:*

- 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;  
- навыками работы с научной литературой с целью определения направления исследования и решения специализированных задач.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен овладеть следующими компетенциями:

**общефессиональными компетенциями (ОПК):**

- способность и готовность к организации и проведению фундаментальных и прикладных научных исследований в области химических технологий (ОПК-1);
- владение культурой научного исследования в области химических технологий, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);
- способность и готовность к разработке новых методов исследования и их применение в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области химической технологии с учетом правил соблюдения авторских прав (ОПК-4);
- способность и готовность к использованию лабораторной и инструментальной базы для получения научных данных (ОПК-5).

**профессиональными компетенциями (ПК):**

**научно-исследовательская деятельность в области химической технологии:**

- способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности) 05.17.11 Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов (ПК-1);
- готовность представлять научные результаты по теме диссертационной работы в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях, докладов на научных конференциях, рецензировать и редактировать научные статьи в области технологии силикатных и тугоплавких неметаллических материалов (ПК-2).

**Структура и распределение учебного времени**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е. / 108 час.

Наименования дисциплин, составляющих модуль	Семестр	Объем времени, отведенный на освоение дисциплин модуля						
		Аудиторные занятия час.				Самостоятельная работа час.	Аттестация по дисциплине (зачет, экзамен)	Всего час/з.е
		Всего	лекции	практические	лабораторные работы			
Перспективные технологии неорганических веществ и материалов	5	8	4	4		100	зачет	108/3
Всего на освоение		8	4	4		100		108/3

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код раздела	Раздел участия в работе	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 Бюргера. Дефекты нестехиометрических оксидов. Константы равновесия образования дефектов нестехиометрии. Твердые растворы I и II рода, твердые растворы вычитания.</p> <p>Законы кристаллохимии. Первый закон Гольдшмита. Второй закон кристаллохимии и формулы Борна, Капустинского, Ферсмана. Круговой цикл Борна-Габеры для определения энергии кристаллической решетки. Зависимость физико-химических свойств твердых веществ от строения кристаллов. Структура</p>

		<p>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 покрывания, 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>0^0</math>,</p>

		<p>0, 0<sup>2</sup>. 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 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.</p> <p>Процессы рекристаллизации и роста зерен в твердых телах. Виды рекристаллизации: первичная и вторичная (собирающая) рекристаллизации. Движущая сила и механизм вторичной</p>
--	--	---

		<p>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 монокотропные 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 особенностями. 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</p>



		<p>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. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ТЕМАМ И ВИДАМ РАБОТ

Код раздела, темы	Тема, раздел дисциплины	Объем учебного времени, отведенный на освоение дисциплины з.е./час					
		Аудиторные занятия				Самостоятельная работа	Всего по разделам
		всего	в т.ч. лекции	в т.ч. семинар/ практ. занятия	в т.ч. лаб. раб.		
P1	Введение. Агрегатные состояния вещества	1	1			10	11
P2	Химия кремния	1		1		15	16
P3	Кристаллическое состояние вещества	1	1			16	17
P4	Реакция в твердых фазах (химия твердого тела)	2	1	1		14	16
P5	Химическая термодинамика оксидов и силикатов	1		1		15	16
P6	Жидкое состояние оксидов и силикатов. Стеклообразное состояние. Спекание и рекристаллизация	1	1			15	16
P7	Фазовые равновесия	1		1		15	16
Итого по дисциплине		8	4	4	0	100	108

### 4. ОЦЕНИВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Объективная оценка уровня соответствия результатов обучения требованиям к освоению ОП обеспечивается системой разработанных критериев (показателей) оценки освоения знаний, сформированности умений и опыта выполнения профессиональных задач.

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
Знания	Аспирант демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Аспирант демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Аспирант может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
Умения	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)
Личностные качества	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.

## 5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### Примерный перечень контрольных вопросов для подготовки к аттестации по дисциплине (проверяемые компетенции ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ПК-1, ПК-2):

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 Бюргерса. 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-Габера 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  $0^0$ ,  $0^-$ ,  $0^{2-}$ . 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 «*in situ*» (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.

## **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

### **6.1. Рекомендуемая литература**

#### **6.1.1. 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. Кашеев, И.Д. Фазовые равновесия в оксидных системах / И.Д. Кашеев, А.В. Иванова. – Екатеринбург: УрФУ, 2010. – 157 с.

#### **6.1.2. 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. Пащенко. – 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.

## **6.2. Электронные образовательные ресурсы**

Зональная научная библиотека <http://lib.urfu.ru>

Каталоги библиотеки <http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=76>

Электронный каталог <http://opac.urfu.ru>

Электронно-библиотечные системы <http://lib.urfu.ru/mod/resource/view.php?id=2330>

Электронные ресурсы свободного доступа <http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=75>

Электронные ресурсы по подписке <http://lib.urfu.ru/mod/data/view.php?id=1379>

## **6.3. Программное обеспечение**

Microsoft office (Word, Excel, Power point)

Adobe Reader

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

ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>;

Web of Science: <http://apps.webofknowledge.com>;

Scopus: <http://www.scopus.com>;

Reaxys: <http://reaxys.com>

Поисковая система EBSCO Discovery Service <http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=141>

Федеральный институт промышленной собственности <http://www1.fips.ru>

Интеллектуальная поисковая система Нигма.РФ . режим доступа: <http://www.nigma.ru>

## **7. УЧЕБНО-МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Уральский федеральный университет имеет специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории.

Уральский федеральный университет имеет материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации программы аспирантуры, обеспечения дисциплин (модулей), научно-исследовательской работы и практик, в соответствии с требованиями к материально-техническому и учебно-методическому обеспечению направленности программы.



## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ В ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер листа изменений	Номер протокола	Дата заседания	Всего листов в документе	Подпись ответственного за внесение изменений