

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Российский химико-технологический университет имени  
Д.И. Менделеева»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке

РХТУ им. Д.И. Менделеева



А.А. Щербина

«13» декабря 2022 г.

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО НАУЧНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

**2.6.14. ТЕХНОЛОГИЯ СИЛИКАТНЫХ И ТУГОПЛАВКИХ  
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

Москва 2022 г

Программа составлена заведующим кафедрой химической технологии стекла и ситаллов, профессором В.Н. Сигаевым, заведующим кафедрой химической технологии композиционных и вяжущих материалов И.Ю. Бурловым, заведующим кафедрой химической технологии керамики и огнеупоров, профессором, Н.А. Макаровым.

## СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

### I. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СИЛИКАТНЫХ И ТУГОПЛАВКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

#### 1. Кристаллохимические особенности твердых тел и прогнозирование их свойств для создания функциональных материалов.

Современная теория симметрии кристаллических твердых тел. Международная символика обозначения пространственных групп симметрии (символика Шенфлиса, символика Германна-Могена, классы и символы). Современные Интернет-платформы по кристаллохимическим базам данных.

Электронное строение кристаллических твердых материалов. Кристаллохимические радиусы атомов и ионов в кристаллических структурах. Гомо- и гетеродесмичные структуры.

Основные критерии устойчивости ионных структур. Влияние электронной конфигурации атомных орбиталей и кристаллохимического радиуса центрального атома на формирование координационного полиэдра в кристаллической структуре. Энергия взаимодействия частиц в кристаллической решетке. Энергия кристаллической решетки и ее влияние на физико-химические свойства. Постоянная Маделунга для основных кристаллических структурных типов. Влияние кристаллического строения твердых тел на физико-химические свойства материалов.

Современные представления о росте кристаллов. Зарождение и равновесные формы кристаллов. Использование компьютерных программ для построения форм ограничения кристаллов. Методы выращивания монокристаллов: метод газотранспортных реакций, выращивание из водных растворов, гидротермальный и расплавные методы (методы Чохральского, Киропулоса, Бриджмена – Стокбаргера и др.), выращивание профилированных кристаллов. Современные области применения монокристаллов в науке и технике.

#### 2. Термодинамические и экологические аспекты производства силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Термодинамический анализ фазообразования в силикатных системах.

Понятие о результирующей химической реакции и термодинамической вероятности сосуществования фаз.

Способы расчета изобарно-изотермического потенциала химических реакций и фазового состава продуктов химического взаимодействия методом минимизации изобарно-изотермического потенциала результирующей химической реакции. Примеры использования термодинамического анализа при изучении процессов гидратации цементов, обжига керамики, кристаллизации стекол.

Современные подходы к экологическим проблемам производства силикатных материалов. Наилучшие доступные технологии (НДТ). Национальные стандарты по НДТ для обеспечения энергоэффективности и экологической результативности производства. Системы экологического менеджмента при производстве силикатных и тугоплавких неметаллических материалов в РФ.

### **3. Проблемы прочности высокотемпературных функциональных материалов.**

Температура хрупко-вязкого перехода в тугоплавких соединениях. Схема Иоффе-Давиденкова. Напряжение роста трещин. Энергетический и силовой подходы при распространении трещины. Их достоинства и недостатки. Истинная и эффективная поверхностная энергия. Составляющие эффективной поверхностной энергии. Микропластичность. Влияние пористости, размера зерна, температуры, длины трещины, примесей на эффективную поверхностную энергию. Первое уравнение Гилмана. Зарождение и распространение трещин. Механизмы зарождения трещины.

Распространение трещин. Докритическая и закритическая стадии. Влияние различных факторов на распространение трещины. Второе уравнение Гилмана. Взаимодействие трещины с пораами, границами зерен и включениями. Статистические теории прочности Вейбулла, Френкеля, Конторовой. Иные статистические теории прочности.

Влияние температуры, пористости, размера зерна на механическую прочность. Уравнения Бальшина, Пинеса - Сухинина, Рышкевича, Кнудсена, Хассельмана, Вейла, Харвея. Немонотонность изменения прочности в зависимости от размера зерна по Полубояринову. Изменение прочности в области гомогенности. Зависимость механической прочности от вида и содержания добавок. Влияние поверхностных процессов на прочность твердых тел. Эффекты Иоффе и Ребиндера.

Крип. Пороговые и непороговые механизмы ползучести. Влияние химического состава, температуры, длительности нагружения, размера зерна, пористости, добавок на крипоустойчивость. Сверхпластичность. Релаксация напряжений и упругое последствие.

#### **4. Структурные особенности и альтернативные способы синтеза стеклообразных материалов.**

Универсальные свойства стекол – рентгеноаморфность, изотропность, избыточный свободный объем, низкотемпературные аномалии свойств, аномалии низкочастотного колебательного спектра, обратимость свойств в интервале стеклования (для классических стекол).

Современные представления о «ближнем», «среднем» и «дальнем» порядках структуры применительно к стеклу. Низкочастотный колебательный спектр стекол. Бозонный пик и природа его возникновения в стекле. Функции радиального распределения электронной или ядерной плотности.

Природа фазовых неоднородностей в стеклах. Проявления универсальных свойств стекол и их особенности в случае гомогенных стекол и стекол с фазовыми неоднородностями. Рассеяние рентгеновских лучей гомогенным стеклом и стеклом с фазовыми неоднородностями. Однородность стекол на макро-, мезо-, микроуровнях и неоднородность в нанометровом масштабе.

Микро- и наномодифицирование структуры стекла – путь к созданию новых функциональных материалов. Специфика и возможности современных экспериментальных методов изучения структуры стекол.

Зависимость свойств стекла от скорости переохлаждения и метода получения.

Многообразие способов получения некристаллических веществ. Традиционная технология получения стекол из расплава и альтернативные способы синтеза стеклообразных материалов. Роль скорости охлаждения при получении стекол из расплава. Стекла с необычными технологическими свойствами – металлические, халькогенидные, фторидные, сильно кристаллизующиеся; методы их синтеза. Новые химические технологии получения стекол и области их применения.

Аморфизированные реакторным излучением кристаллы. Пленочные аморфные продукты осаждения из газовой фазы.

#### **5. Современные и перспективные материалы на основе вяжущих, керамических, стекловидных, композитных систем.**

Физико-химические явления и процессы при синтезе и эксплуатации жаростойких самоотвердевающих материалов; композиционных вяжущих материалов, армированных волокнами; 2D и 3D композиционных керамических материалов, люминесцирующих, светочувствительных, фото-и электрохромных стекол; коррозионностойких стекол. Механизмы формирования ведущих свойств материалов. Принципы проектирования новых тугоплавких неметаллических и силикатных материалов с комплексом заданных характеристик.

## **6. Охрана окружающей среды**

Экология химических производств. Структура и значимость основных вредных выбросов на производственных объектах. Водные бассейны, почва, атмосфера и их охрана от загрязнений. Правовые и другие вопросы охраны окружающей среды. Экологические проблемы при производстве, реализации и утилизации силикатных материалов.

## **II. ТЕХНОЛОГИЯ СИЛИКАТНЫХ И ТУГОПЛАВКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

Место и роль силикатных и тугоплавких неметаллических материалов в экономике и научно-техническом прогрессе. Роль отечественных ученых и научных школ в создании и развитии материаловедения и научных основ технологии силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

### **1. Научные основы технологии силикатных и тугоплавких неметаллических материалов**

Общая характеристика силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Классификации силикатных и тугоплавких неметаллических материалов по химическому составу: оксиды, их соединения, силикаты, неметаллические углеродсодержащие материалы, нитриды, карбиды, бориды, силициды, фосфиды, оксикарбиды, оксинитриды, силаны, карбонитриды; по структуре слагающих фаз – аморфные и кристаллические (монокристаллические, поликристаллические, нанокристаллические); по особенностям технологии, строению и функциональному назначению- вяжущие, керамика, огнеупоры, стекло и стеклокристаллические материалы, композиционные материалы на основе силикатных и тугоплавких неметаллических материалов (полиминеральные, керметы, армированные стекла, бетоны, нанокompозиты, функционально-градиентные материалы и др.); по размерным параметрам- наноразмерные, порошковые, волокнистые, пленки, покрытия, объемные (монокристаллические) материалы.

Теоретические основы строения кристаллических и аморфных силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Элементы теории симметрии кристаллов. Описание атомарного строения кристаллических и аморфных силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Особенности понятия о ближнем и дальнем порядках расположения частиц в структурах кристаллических и аморфных силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Дефекты строения реальных твердых тел. Совершенные и несовершенные кристаллы. Типы дефектов, дефекты по Шоттки и Френкелю, причины их образования и влияние на свойства силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Точечные дефекты, примесные и радиационные дефекты.

Протяженные дефекты в силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Дислокации, их виды, причины возникновения. Дислокационный характер границ блоков (мозаичная текстура монокристаллов) и границ зерен в поликристаллах. Влияние дефектов на прочность силикатных и тугоплавких неметаллических материалов и скорость роста кристаллов силикатных и тугоплавких неметаллических материалов из расплавов. Квазихимические реакции взаимодействия дефектов.

Твердые растворы в силикатах. Типы твердых растворов – замещения, внедрения, вычитания. Эффект Френкеля—Киркендала. Нестехиометрические твердые растворы. Условия стабильности твердых растворов. Явление изоморфизма и его проявление в синтетических и природных силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Изовалентные и гетеровалентные замещения.

Электронное строение и природа химической связи в силикатных и тугоплавких неметаллических материалах. Энергия взаимодействия частиц в кристаллической решетке. Энергия кристаллической решетки. Правила построения ионных кристаллов. Электронная конфигурация атомов как основа, определяющая геометрию пространственных полиэдров. Природа химической связи в силикатных и тугоплавких неметаллических материалах. Структура тугоплавких простых и сложных оксидов, углерода, карбидов, нитридов и других бинарных соединений. Зонное строение силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Образование энергетических зон в силикатных и тугоплавких неметаллических материалах. Структура силикатов с крупными катионами. Явления полиморфизма и изоморфизма в силикатных и тугоплавких неметаллических материалах. Изоморфные замещения в силикатах. Нестехиометрические твердые тела. Переходы порядок – беспорядок. Наночастицы, наноструктуры и наноматериалы. Прогнозирование свойств силикатных и тугоплавких неметаллических материалов – электропроводности, теплопроводности, прозрачности, цветности и др. – с учетом их зонного строения.

Механические свойства силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Основы теории пластичности. Деформационные свойства: модуль упругости, модуль сдвига, коэффициент Пуассона. Теоретическая прочность и прочность реальных материалов. Механические и упругие свойства кристаллических и стеклообразных тел. Хрупкое и пластическое разрушение. Механизм и стадии разрушения. Реальная прочность как статистическая величина, ее зависимость от дефектности поверхности, концентрации дислокаций, размера зерен, пористости, температуры, влажности, агрессивности среды, длительности эксплуатации (статическая усталость и длительная прочность). Коэффициент интенсивности напряжений. Влияние микроструктуры и текстуры материалов на их разрушение. Термические

напряжения: причины возникновения и виды. Устойчивость материалов к воздействию термических напряжений. Теории термостойкости. Способы повышения работоспособности разрушения силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Вязкое течение. Крип.

Физико-химические свойства силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Теплофизические свойства: теоретические основы теплоемкости, теплопроводности, термического расширения, влияние состава и структуры силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Материалы с положительным, нулевым и отрицательным термическим расширением.

Электрофизические свойства. Электропроводность силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, носители заряда в проводниках, полупроводниках, диэлектриках. Связь проводимости с характером заполнения внешних зон, шириной запрещенной зоны, с наличием дискретных уровней в запрещенной зоне. Поляризация в силикатных и тугоплавких неметаллических материалах и ее виды (электронная, ионная, дипольная), зависимость от электронной конфигурации и размеров атомов. Диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери в постоянном и переменном полях. Их связь с составами и структурными параметрами силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Сверхпроводимость и высокотемпературная сверхпроводимость.

Оптические свойства. Поглощение, пропускание, отражение, преломление и рассеяние света как результат взаимодействия силикатных и тугоплавких неметаллических материалов с электромагнитным излучением. Показатель преломления, дисперсия показателя преломления, нормальный и аномальный ход дисперсии. Связь показателя преломления с составом и структурой силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Прозрачность силикатных и тугоплавких неметаллических материалов в свете особенностей их зонного строения. Спектры собственного поглощения и отражения. Факторы, определяющие прозрачность однофазных и многофазных поликристаллических сред. Окрашивание оксидов и материалов. Спектры поглощения окрашенных материалов. Явление полного внутреннего отражения и его использование в оптике и волоконной оптике. Факторы, влияющие на интенсивность полос поглощения.

Магнитные свойства. Полный магнитный момент свободного электрона, магнитные диполи, магнитная восприимчивость, относительная магнитная проницаемость, индуцированный магнитный поток. Связь магнитных свойств с электронным строением атомов, группировок химически связанных атомов, наличием доменов с постоянным магнитным моментом. Температурная зависимость магнитной восприимчивости, температура Кюри. Намагничивание материалов, остаточная намагниченность, коэрцитивная сила. Ферромагнетики (ферриты): свойства и области применения.

Химические свойства. Устойчивость силикатных и тугоплавких неметаллических материалов к воздействию твердых, жидких и газообразных реагентов различной химической природы.

## **2. Физико-химические основы технологии силикатных и тугоплавких неметаллических материалов**

Теории строения жидкостей. Особенности структуры силикатных расплавов. Степень ассоциации структурных элементов в силикатных расплавах. Структура силикатных стекол.

Коллоидно-дисперсное состояние вещества, поверхностные явления. Механизмы агломерации. Коагуляционные, конденсационные и кристаллизационные структуры. Поверхностно-активные вещества.

Технологические свойства расплавов - вязкость, поверхностное натяжение и смачивающая способность силикатных расплавов, влияние на них температуры и состава.

Диаграммы состояния. Правило фаз и его значение. Методы построения диаграмм состояния. Основные типы одно-, двух- и трехкомпонентных диаграмм состояния. Правила определения последовательности фазовых преобразований при изменении температуры по диаграмме состояния. Графические и аналитические методы расчета количественных соотношений фаз в гетерогенных системах. Особенности силикатных систем с точки зрения достижения равновесных состояний. Общие понятия о геометрических основах диаграмм состояния четырехкомпонентных систем. Диаграммы состояния важнейших силикатных, алюминатных, фосфатных и других систем; характеристика фаз, образующихся в этих системах.

Термодинамика процессов при синтезе силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Закон Гесса и его применение для определения тепловых эффектов образования соединений, взаимодействия, плавления и кристаллизации, растворения, гидратации, полиморфных превращений в системах силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Определение свойств веществ и термодинамических параметров реакций в системах силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Компьютерные базы термодинамических данных. Энергия кристаллической решетки силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Физико-химическая сущность процессов, протекающих при получении силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

Основные закономерности формирования фазового состава силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Установление термодинамической вероятности протекания процессов и последовательности фазовых преобразований в системах силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Механизмы и кинетика твердофазных реакций. Термодинамические



условия достижения равновесия при твердофазных реакциях. Общие понятия о термодинамике необратимых процессов при диффузионном массопереносе. Поведение сырьевых материалов при нагревании. Физико-химическая сущность процессов гидратации и твердения вяжущих материалов. Гидратированные силикаты, алюминаты и ферриты кальция. Водорастворимые силикаты и фосфатные вяжущие. Влияние химического и фазового состава на свойства и эксплуатационные характеристики силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

### **3. Основные закономерности процессов в технологии силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.**

Классификация и характеристика основных и вспомогательных сырьевых материалов. Физико-механическая подготовка сырьевых материалов. Сущность и кинетика процессов измельчения твердых материалов. Закономерности классификации порошков, их технологическая характеристика. Новые методы измельчения. Особенности получения высокодисперсных и нанопорошков. Методики расчетов составов сырьевых смесей. Составление и контроль однородности сырьевых смесей. Технологические свойства и характеристики сырьевых смесей (полусухих масс, суспензий, шликеров, шламов, паст). Строение и реологические свойства дисперсных систем, их связь с процессами формования. Основные способы формования изделий в технологии силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Важнейшие технологические характеристики процессов формования и способы управления ими.

Процессы сушки в технологии силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Процессы тепло- и массообмена, протекающие при сушке. Параметры и режимы сушки, основы расчета оптимальных режимов, способы управления процессом сушки. Современные методы сушки. Сушильные агрегаты: типы, методы расчета.

Разновидности и сущность процессов термообработки при производстве вяжущих, керамики, огнеупоров, стекла и ситаллов.

Процессы спекания, их классификация, стадии спекания. Сущность, признаки, движущая сила, механизмы, кинетика процессов спекания и рекристаллизации. Активированное спекание, физические основы.

Обжиг как стадия технологического процесса при производстве керамики и цемента, параметры и режимы. Условия и способы теплопередачи при обжиге. Влияние условий обжига на качество изделий. Типовые печи для обжига формованных изделий, особенности теплообмена в них. Печи для обжига порошкообразных и гранулированных материалов. Гипсоварочные котлы, запарники, автоклавы. Расчет основных параметров и тепловых балансов печей.

Процессы получения гомогенных расплавов при синтезе стекол. Режимы и условия теплообмена на различных стадиях получения стекломассы. Роль

диффузионных процессов. Теоретические основы процессов формирования стекломассы и принципы их математического описания. Тепло- и массообмен, термические и механические явления при формировании.

#### **4. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов**

Общие принципы разработки технологий силикатных и тугоплавких неметаллических материалов: научная обоснованность выбора исходных материалов, технологических операций и их параметров, научная организация труда, ресурс- и энергосбережение, механизация и автоматизация технологических процессов, управляемость технологии, безопасность труда и экологическая безопасность. Технические требования и управление качеством продукции. Тенденции развития.

Основное технологическое оборудование. Принципы действия, конструктивные особенности. Критерии выбора. Методы оценочного расчета производительности.

Технология стекла и ситаллов. Классификация промышленных стекол. Технологические схемы, параметры технологических процессов производства. Особенности варки, формирования и обработки стекол при производстве изделий различного назначения: листового, архитектурно-строительного, тарного, сортового, технического (оптического, электровакуумного, медицинского, светотехнического, химико-лабораторного, кварцевого), стеклянного волокна (непрерывного, штапельного, волоконных световодов), дров и труб, пеностекла, эмалей. Технологические линии и типы применяемого оборудования. Процессы кристаллизации для создания стеклокристаллической структуры; технологические линии для производства ситаллов, режимы термообработки и области их применения. Новые виды стекол с функциональными покрытиями.

Технология керамики. Основные виды керамических материалов. Основные стадии технологии: получение исходных материалов, в том числе порошков с требуемым химическим и фазовым составом, формой частиц, размером, распределением по размеру; смешивание компонентов; формирование заготовок; процессы обжига и спекания; после обжиговая обработка. Технология функциональной керамики. Керамика в промышленном и гражданском строительстве, технике, науке, быту.

Технология огнеупоров. Классификация огнеупоров. Основные стадии технологии различных видов огнеупоров. Применение огнеупоров.

Технология вяжущих материалов. Основные виды вяжущих материалов. Основные стадии технологии. Процессы синтеза и твердения вяжущих материалов; способы регулирования их строительно-технических свойств. Технология жидких стекол (водных стекол) и материалов на их основе. Вяжущие

материалы в промышленном и гражданском строительстве, технике, науке, быту.

Технология высокотемпературных конструкционных и композиционных материалов. Волокнистые и дисперсно-упрочненные КМ. Механизм упрочнения КМ дисперсными частицами. Модели Орована, Анселла и Ленела, Фишера, Гуарда и др. Основные виды, стадии технологий, перспективные области применения.

Технология теплоизоляционных материалов и изделий. Классификация. Способы формирования поровых и волокнистых структур. Основные стадии технологии. Технико-экономическая эффективность применения.

## **5. Новые способы получения перспективных силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.**

Выращивание нитевидных кристаллов, плазмохимическое получение порошков и покрытий, золь-гель метод получения порошков, покрытий и объемных материалов, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, импульсное высокоэнергетическое воздействие.

## **6. Охрана окружающей природы в процессах переработки силикатных и тугоплавких неметаллических материалов**

Основы законодательства России в отношении окружающей природы. Основные источники загрязнения атмосферы, водных источников, почвы на предприятиях химической технологии силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Перспективы перехода к бессточному ведению технологических процессов. Безотходная технология.

### **Вопросы для кандидатского экзамена по научной специальности**

#### **2.6.14. Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов**

1. Структура кристаллов и кристаллическая решетка. Симметрия кристаллов, трансляционные решетки Бравэ, пространственные группы симметрии.

2. Основы кристаллохимии: простейшие кристаллические структуры, плотнейшие упаковки, атомные и ионные радиусы, координационные числа.

3. Энергетические характеристики кристаллической решетки. Взаимосвязь с физико-химическими свойствами ТНСМ.

4. Огнеупоры для футеровки стекловаренных печей – составы, структура, свойства. Принципы рациональной раскладки огнеупоров при футеровке стекловаренных печей.

5. Твердые растворы: типы твердых растворов, условия образования и термодинамической стабильности. Эффект Френкеля-Киркендала.

Стехиометрия и отклонения от стехиометрии.

6. Химическая связь в кристаллах. Правила построения ионных кристаллов. Структура тугоплавких простых и сложных оксидов, углерода, карбидов, нитридов и других бинарных соединений. Особенности структуры кристаллических силикатов.

7. Дефекты кристаллической решетки. Типы дефектов. Дефекты по Шоттки и Френкелю. Дислокации. Влияние дефектов на свойства кристаллических тел.

8. Квазихимические реакции взаимодействия дефектов. Твердые растворы: типы твердых растворов, условия образования и термодинамической стабильности.

9. Правило фаз и его значение. Методы построения диаграмм состояния. Основные типы одно-, двух- и трехкомпонентных диаграмм состояния. Особенности силикатных систем с точки зрения достижения равновесных состояний.

10. Технология прозрачной керамики. Особенности получения порошков, формовочной массы, формования, удаления связки, обжига.

11. Механические и упругие свойства кристаллических и стеклообразных тел. Пластическая и упругая деформация. Хрупкое разрушение: основные теории, стадии, механизмы. Коэффициент интенсивности напряжений. Влияние микроструктуры и текстуры материалов на их разрушение.

12. Технология нанокерамики. Классификация, сырье. Получение порошков и формовочных масс, формование, сушка, обжиг. Применяемое оборудование.

13. Оптические свойства как результат взаимодействия ТНСМ с электромагнитным излучением. Зависимость свойств от химического состава и зонного строения оксидов.

14. Технология углеродсодержащих огнеупоров. Классификация, сырье. Получение порошков и формовочных масс, формование, сушка, обжиг. Применяемое оборудование.

15. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез и его применение в технологии керамики для получения порошков, покрытий, трехмерных изделий.

16. Технология высокотеплопроводных материалов и изделий. Классификация. Способы формирования теплопроводной структуры в керамике. Основные стадии технологии.

17. Сущность и кинетика процессов измельчения твердых материалов. Классификация порошков, их технологическая характеристика. Новые методы измельчения. Особенности получения высокодисперсных и нанопорошков.

18. Технология керамоматричных композитов. Классификация, сырье. Получение порошков и формовочных масс, формование, сушка, обжиг. Области

применения. Применяемое оборудование.

19. Процессы спекания, их классификация, стадии спекания. Сущность, признаки, движущая сила, механизмы, кинетика процессов спекания и рекристаллизации. Активированное спекание, физические основы.

20. Технология безобжиговых (неформованных) огнеупоров. Классификация, сырье. Получение порошков и формовочных масс, формование, сушка, обжиг. Применяемое оборудование.

21. Строение и реологические свойства дисперсных систем, их связь с процессами формования. Основные способы формования изделий в технологии керамики. Важнейшие технологические характеристики процессов формования и способы управления ими.

22. Способы получения нанопорошков. Классификация нанопорошков по геометрическим параметрам. Особенности поведения нанопорошков и их причины. Особенности их поведения при получении формовочных масс, формовании, сушке и спекании.

23. Сущность и кинетика процессов сушки керамического полуфабриката. Тепло- и массообмен в капиллярно-пористых телах. Влияние микроструктуры и текстуры материалов на их чувствительность к сушке. Основные приемы сушки изделий с различной геометрией. Применяемое оборудование.

24. Послеобжиговая обработка изделий из керамики. Назначение, основные технологические приемы, применяемое оборудование. Металлизация керамики: назначение, физико-химические основы, применяемые технологии и оборудование. Технология совместного обжига.

25. Современные представления о механизме хрупкого разрушения керамических материалов. Теоретическая и реальная прочность. Влияние различных факторов на механические свойства керамики.

26. Основные положения физического и феноменологического подходов к исследованию закономерностей спекания. Уравнение Ивенсена в дифференциальной и интегральной формах. Физический смысл констант уравнения Ивенсена и следствия из него. Достоинства и недостатки физического и феноменологического подходов к описанию процесса спекания.

27. Рекристаллизация: особенности протекания процесса в чистых оксидах и в системах, образующих твердые растворы. Движущая сила, энергия активации. Влияние примесей на рост кристаллов. Модели ограничения роста кристаллов за счет введения добавок.

28. Технология высокопрочных и сверхтвердых материалов на основе бескислородных соединений. Физико-механические свойства, область применения, особенности технологии, применяемое оборудование.

29. Технология биосовместимой керамики. Составы, особенности получения порошков и изготовления изделий, основные свойства.

30. Теоретические основы и технологические приемы повышения ресурсоэффективности в производстве изделий из керамики. Понятие о термодинамически идеальных технологических процессах. Принципы составления энергобаланса высокотемпературных технологических процессов.
31. Влияние минералогического состава портландцемента на свойства цементного камня (сульфато-, морозостойкость, долговечность).
32. Влияние качества (состава) сырьевых материалов на спекаемость сырьевых шламов и свойства портландцемента.
33. Пути модифицирования портландцементной матрицы для получения долговечных композиционных материалов.
34. Механизм коррозии армирующих стекловолокон в среде цементного камня. Пути снижения коррозии стекловолокон.
35. Роль жидкой фазы гидратирующегося цемента при твердении стеклоцементных композиций.
36. Кислотно-основное взаимодействие в клинкерных расплавах.
37. Пути снижения расхода топлива и энергии при производстве портландцемента.
38. Влияние физической структуры цементного камня на его прочность.
39. Пути расширения сырьевой базы при получении вяжущих материалов.
40. Взаимосвязь между дефектностью кристаллической структуры и свойствами цемента.
41. Сжигание дополнительного топлива в подготовительных зонах цементных печей.
42. Физико-химические основы самоармирования вяжущих материалов.
43. Сульфатсодержащие клинкера и цементы на их основе.
44. Повышение эффективности процессов измельчения материалов в цементной промышленности.
45. Усадка цементного камня. Теоретические основы получения безусадочных и расширяющихся цементов. Сульфоалюмоферритные безусадочные цементы.
46. Научные основы эффективного применения техногенных материалов в производстве клинкера.
47. Сульфоферриты и сульфоалюмоферриты кальция: температурный интервал существования, состав и структура.
48. Гидратация и твердение сульфоферрита и сульфоалюмоферрита кальция при нормальных условиях и воздействии агрессивных сред.
49. Специальные тампонажные цементы: требования к составу и свойствам тампонажных растворов для низкотемпературных скважин, скважин с высоким пластовым давлением, скважин в слабо связанных породах.
50. Влияние состава и способа производства полимерцементных

композиций на их свойства.

51. Термодинамика и кинетика клинкерообразования.
52. Основные виды воздействия на окружающую среду при производстве портландцемента. Справочные документы по наилучшим доступным технологиям при производстве портландцемента. Экологические маркеры.
53. Альтернативное топливо, топливосодержащие отходы, требования к ним. Экологические аспекты использования альтернативного топлива при производстве портландцемента.
54. Физико-химические основы эффективного применения техногенных материалов в производстве клинкера.
55. Термодинамический анализ фазообразования в силикатных системах. Понятие о результирующей химической реакции и термодинамической вероятности сосуществования фаз.
56. Снижение расхода природных материалов при производстве портландцемента. Требования к отходам. Влияние промышленных отходов на технологический процесс и экологические аспекты производства портландцемента.
57. Взаимосвязь между дефектностью кристаллической структуры и свойствами цемента.
58. Наилучшие доступные технологии по снижению выбросов пыли,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{CO}$  при производстве портландцемента.
59. Наилучшие доступные технологии по снижению теплотрат при производстве портландцемента.
60. Цементы, армированные стеклянными волокнами. Принципы и обоснование выбора цементной матрицы и армирующего стекловолокна для получения долговечных композиций.
61. Вязкость, поверхностное натяжение и тепловое расширение стекол.
62. Физико-химические и эксплуатационные свойства композитов на основе стеклообразных и ситалловых матриц. Их сопоставление с другими типами КМ.
63. Физико-химические свойства стекол (механические, теплофизические, химическая устойчивость).
64. Составы и свойства стекол, применяемых в качестве матриц КМ конструкционного назначения.
65. Составы и свойства стекол, используемых в качестве волокнистых наполнителей в стеклопластиках. Основные факторы, определяющие физико-механические свойства стеклопластиков.
66. Основные признаки КМ. Основные преимущества стекол и ситаллов как матриц КМ.
67. Ситаллы: классификация, составы, области применения.

68. Теория Гриффитса разрушения материалов. Определение и физический смысл коэффициента интенсивности напряжений. Трещиностойкость стекол, ситаллов и КМ на их основе.

69. Составы и свойства стекол и ситаллов, используемых в КМ в качестве матриц.

70. Основные методы изготовления КМ на основе стекла и ситаллов.

71. Явление стеклования. Определение стеклообразного состояния вещества. Вязкость стекол. Методы измерения и оценки вязкости.

72. Определение КМ. Классификация КМ на основе стекла и ситаллов.

73. Гипотезы строения стекла. Понятие о ближнем, среднем и дальнем порядке.

74. Характерные наполнители аморфно-кристаллических КМ. Основные требования, предъявляемые к ним.

75.. Имманентные свойства стекол и причинно-следственные связи между ними (рентгеноаморфность, изотропность, однородность (на макро-, мезо-, микро- и нано-уровне), избыточный свободный объем, низко- температурные аномалии свойств, аномалии низкочастотного колебательного спектра, обратимость свойств в интервале стеклования).

76. Характерные наполнители аморфно-кристаллических КМ. Основные требования, предъявляемые к ним.

77. Основные методы исследования структуры стекол в масштабе ближнего и среднего порядка. Современные представления о структуре стекла.

78. Порошковая технология в производстве стеклопорошковых материалов, ситаллов и стеклокомпозитов.

79. Сопоставление возможностей нейтронографии, рентгенографии, электронографии и атомной силовой микроскопии в исследованиях стекол. Основы применения метода молекулярной динамики к стеклам.

80. Строение и свойства стеклопластиков и их применения.

81. Основы методов малоуглового рассеяния рентгеновских лучей и нейтронов. Их применение к исследованиям ликвационных явлений в стеклах. Метастабильная ликвация, протекающая по механизму спинодального распада и нуклеации и роста.

82. Основные типы армирующих волокон и их свойства. Ультранизкоплотные волокнистые композиционные материалы.

83. Методы исследования объемной и поверхностной кристаллизации стекла. Наноразмерные изменения структуры стекла на начальной стадии ситаллообразования. Влияние состава стекла, типа и количества нуклеатора кристаллизации на формирование нанонеоднородной структуры.

84. Свойства и структура КМ на основе стекла и ситаллов (на примере композитов, армированных волокнами SiC).

85. Современные представления о строении стекла. Классические



гипотезы строения и их развитие (на примере силикатных, боратных, фосфатных стекол).

86. Современные представления о структуре силикатных, боратных, фосфатных стекол.

87. Основные гипотезы строения стекла. Современное состояние вопроса. Ближний и дальний порядок, координация атомов, химическая связь в стеклах.

88. Дифракционные методы исследования и модели строения силикатных стекол.

89. Стеклообразное и кристаллическое состояние вещества. Термодинамический, кинетический, структурный аспекты перехода расплавов в стекло и кристаллическое состояние при охлаждении.

90. Современные представления о структуре стекла. Кристаллохимический подход к описанию структуры стекла. Координационно-структурные группировки, их влияние на свойства стекол. Микрогетерогенное строение стекла.

#### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия. М.: КДУ, 2014. 588 с.

2. Буланов В.А., Сизых А.И. Кристаллохимизм породообразующих минералов: Учебное пособие. Иркутск: ИГУ, 2010. 220 с.

3. Химическая технология керамики: Учеб. пособие для вузов / Н.Т. Андрианов, В.Л. Балкевич, А.В. Беляков, А.С. Власов, И.Я. Гузман, Е.С. Лукин, Ю.М. Мосин, Б.С. Скидан / Под ред. И.Я. Гузмана. М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2011. 496 с.

4. Технология стекла. Справочные материалы. Под ред. П.Д. Саркисова, В.Е. Маневича и др. М., 2012. 647 с.

5. Раскин А.А., Прокофьева В.К. Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники: учеб. пособие для вузов. М. : БИНОМ., 2010. ч.1. 165 с.; ч.2. 181 с.

6. Немилов С.В. Оптическое материаловедение: Физическая химия стекла. Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. 113 с.

7. Бакунов В.С., Беляков А.В., Лукин Е.С., Шаяхметов У.Ш. Оксидная керамика: спекание и ползучесть. М., 2007, 583 с.

8. О. В. Казьмина, Э. Н. Беломестнова, А.А. Дитц. Химическая технология стекла и ситаллов. Издательство Томского политехнического университета. 2011. 188 стр.

9. Wolfram Holand, George H. Beall. Glass-Ceramic Technology. The American Ceramic Society. 2019. 422 стр.

10. А.П. Сивко. Технология электролампового стекла. Саранск, Издательство мордовского университета. 2015, 623 стр.

11. Ю.А. Гулоян. Технология стекла и стеклоизделий. Владимир, 2015, 711 стр.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Чупрунов Е.В., Хохлов А.Ф. Кристаллография. М.: Физматлит, 2004. 500с.
2. Julian M.M. Foundations of Crystallography with Computer applications. London – New York: CRC Press, 2014. 666 p.
3. Кудряшов Н.И., Кривобородов Ю.Р. Фазовые равновесия в вязущих системах. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2014. 132 с.
4. Классен В.К., Борисов И.Н., Мануйлов В.Е. Техногенные материалы в производстве цемента. Белгород: БГТУ, 2008. 334 с.
5. Штарк Й., Вихт Б. Долговечность бетона. / Пер. с нем. Под ред. П. Кривенко. Киев: ОРАНТА, 2004. 295 с.
6. Малыгин Г.А. Пластичность и прочность микро- и нанокристаллических материалов // Физика твердого тела. 2007. Т. 49. Вып. 6. С. 961-982.
7. Эванс А.Г., Лэнгдон Т.Г. Конструкционная керамика / Пер. с англ. М.:Металлургия, 1980. 256 с.
8. Шелби Дж. Структура, свойства и технология стекла. Пер. с англ. М.:Мир, 2006. 288 с.
9. Фельц А. Аморфные и стеклообразные неорганические твердые тела. М.:Мир, 1986. 558 с.
10. Гришаев А.А. О природе стеклообразного состояния. <http://newfiz.info/glass.htm>.
11. Н.М. Бобкова . Физическая химия тугоплавких силикатных и неметаллических материалов. Минск, «Высшая школа», 2007, 302 стр.
12. Н.Ю. Михайленко, М.А. Семин. Технологические свойства стекла. М.,Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2014 г., 126 стр.



