

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Структурное подразделение «Радиоэлектроники и телекоммуникационных систем»

УТВЕРЖДЕНА:
на заседании кафедры
Протокол №13 от 02 июня 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«НАНОСТРУКТУРНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

Направление: 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Материалы микро- и наносистемной техники

Квалификация: Магистр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой
электронной подписью
Составитель программы:
Бадырова Наталия Моисеевна
Дата подписания: 19.06.2025

Документ подписан простой
электронной подписью
Утвердил: Ченский Александр
Геннадьевич
Дата подписания: 26.06.2025

Документ подписан простой
электронной подписью
Согласовал: Ниндакова Лидия
Очировна
Дата подписания: 21.06.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Наноструктурное материаловедение» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ПК-3 Способен выбирать и применять на практике методы и средства планирования и организации исследований и разработок, методы проведения экспериментов и наблюдений, обобщения и обработки информации	ПК-3.2, ПК-3.3

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПК-3.2	Знать: важнейшие свойства материалов, кристаллическую структуру и дефекты кристаллической структуры вещества, их классификацию и влияние на свойства материалов; Уметь: применять современные методы исследования для синтеза и анализа материалов нано- и микросистемной техники; Владеть: методами экспериментального исследования параметров и характеристик материалов нано- и микросистемной техники	Знать классификацию металлов, сплавов, диэлектрических и магнитных материалов, полупроводников и их соединений по их физико-химическим, электрическим и оптическим свойствам и назначению Уметь учитывать базовые принципы проектирования, модификации основных свойств наноструктурных материалов различного функционального назначения Владеть методами анализа параметров и характеристик материалов нано-и микросистемной техники, оценки их достоверности.
ПК-3.3	Знать: классификацию металлов, сплавов, диэлектрических и магнитных материалов, полупроводников и их соединений по их физико-химическим, электрическим и оптическим свойствам и назначению. Уметь: применять методы анализа и обработки экспериментальных данных; систематизировать научно-техническую информацию; Владеть: методами анализа параметров и характеристик материалов нано- и микросистемной техники, оценки их достоверности	Знать классификацию металлов, сплавов, диэлектрических и магнитных материалов, полупроводников и их соединений по их физико-химическим, электрическим и оптическим свойствам и назначению Уметь учитывать базовые принципы проектирования, модификации основных свойств наноструктурных материалов различного функционального назначения Владеть методами анализа параметров и характеристик материалов нано-и микросистемной техники, оценки их достоверности.

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Наноструктурное материаловедение» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Методы исследования микро- и наносистем»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Химия функциональных материалов»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 9 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)		
	Всего	Семестр № 3	Семестр № 4
Общая трудоемкость дисциплины	324	180	144
Аудиторные занятия, в том числе:	54	26	28
лекции	27	13	14
лабораторные работы	13	13	0
практические/семинарские занятия	14	0	14
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	234	154	80
Трудоемкость промежуточной аттестации	36	0	36
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Зачет, Экзамен	Зачет	Экзамен

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 3

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)				
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Введение в предмет курса	1	1					3	15	Устный опрос
2	Наноструктуриро ванные керамические материалы. Функциональные керамические материалы	2	2					1	24	Устный опрос
3	Полимерные	3	1	1, 2,	7			2, 3	35	Устный

	материалы			3						опрос
4	Композиционные материалы	4	1	5, 6	4			2	20	Устный опрос
5	Углеродные наноматериалы	5	2							Устный опрос
6	Полупроводниковые квантовые наноструктуры	6	2					1	25	Устный опрос
7	Оптические свойства наноматериалов	7	2							Устный опрос
8	Наноструктурированные пленочные материалы	8	2	4	2			2, 3	35	Устный опрос
	Промежуточная аттестация									Зачет
	Всего		13		13				154	

Семестр № 4

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)				
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	Взаимосвязь физических, химических, технологических свойств материалов с их строением. Строение твердых тел	2	2			1, 2	6	1	15	Устный опрос
3	Дефекты кристаллической структуры вещества, их размерность и влияние на свойства материалов.	3	2			3	2	1	15	Устный опрос
4	Важнейшие свойства материалов, определяющие возможность их практического использования.	4	4			4	2	1	15	Устный опрос
5	Методы получения наноматериалов. Основные техники синтеза твердых тел	5	2			5	2	1	10	Устный опрос
6	Металлические материалы	6	2					1	5	Устный опрос
7	Полупроводниковые материалы и технологии.	7	2			6	2	1	20	Устный опрос

	Промежуточная аттестация								36	Экзамен
	Всего		14				14		116	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 3

№	Тема	Краткое содержание
1	Введение в предмет курса	История «овладения» материалами. Общая классификация материалов. Классификации материалов по их использованию, химическому составу, по электрическим, магнитным, оптическим свойствам. Основные приоритеты современного материаловедения. Наноструктурированные материалы. Значение нанотехнологий в создании новых материалов.
2	Наноструктурированные керамические материалы. Функциональные керамические материалы	Классификация керамических материалов. Конструкционная, функциональная керамика, биокерамика. Свойства керамических материалов. Методы синтеза керамических материалов (традиционные и современные). Особенности получения наноструктурированной керамики. Золь-гель процессы. Важнейшие представители керамических материалов.
3	Полимерные материалы	Полимеры как наноразмерные макромолекулы. Классификация. Технологическое значение. Структура полимеров. Свойства полимерных материалов, обусловленные наноразмерностью их молекул. Основные способы получения высокомолекулярных соединений. Каучуки. Пластмассы. Серийное производство полимерных продуктов. Функциональные полимеры.
4	Композиционные материалы	Классификация. Свойства. Композиты с полимерной, металлической, керамической матрицами. Полимерные связующие. Методы получения композиционных материалов. Препреги. Конструкционные ткани. Механизмы взаимодействия армирующего материала и матрицы. Наноструктурированные композиционные материалы.
5	Углеродные наноматериалы	Углеродные нанотрубки, фуллерены, графен. Способы получения. Структура. Механические, электрические, магнитные свойства. Текущее применение и перспективы использования.
6	Полупроводниковые квантовые наноструктуры	Квантовые ямы, квантовые проволоки и квантовые точки. Структура, особенности свойств, способы получения и применение.
7	Оптические свойства наноматериалов	Фотонные кристаллы. Метаматериалы. Наноплазмоника. Спинтроника
8	Наноструктурированные пленочные материалы	Алмазные и алмазоподобные пленки. Полупроводниковые пленочные материалы.

		Пленки поверхностно-активных веществ. Пленки Ленгмюра-Блоджетт. Высокопрочные нанокомпозитные и керамические материалы. Способы получения, особенности строения и свойств. Применение.
--	--	--

Семестр № 4

№	Тема	Краткое содержание
2	Взаимосвязь физических, химических, технологических свойств материалов с их строением. Строение твердых тел	Идеальные и реальные кристаллы. Понятие элементарной ячейки. Важнейшие типы кристаллических решеток. Поли- и изоморфизм. Эффекты памяти формы. Аморфные тела. Примеры влияния внутреннего строения материалов на их физические, химические и технологические свойства
3	Дефекты кристаллической структуры вещества, их размерность и влияние на свойства материалов.	Точечные дефекты и механизмы диффузии, центры окраски, электропроводность. Одномерные дефекты и пластические деформации. Двумерные и объемные дефекты и их влияние на технологические свойства материалов. Объемные дефекты. Взаимосвязи между дефектами.
4	Важнейшие свойства материалов, определяющие возможность их практического использования.	Модуль упругости. Твердость. Вязкость разрушения. Коэффициент линейного расширения. Изнашивание. Коррозионная стойкость. Теплопроводность. Старение материалов. Электрические, магнитные и оптические свойства. Основные методы и приборы диагностики свойств материалов.
5	Методы получения наноматериалов. Основные техники синтеза твердых тел	Процессы физического и химического осаждения из газовой фазы. Эпитаксия. Жидкофазные процессы. Аэрозольные процессы. Золь-гель технологии
6	Металлические материалы	Структура. Основные методы получения металлических материалов – традиционных и наноструктурированных. Сплавы. Основы получения, свойства, применение. Фазовые равновесия и фазовый анализ. Суперсплавы. Сплавы с эффектом памяти формы. Нанокристаллические металлические материалы. Порошковая металлургия. Методы получения порошков металлов, в том числе наноразмерных. Технологии порошковой металлургии для производства микро- и наноматериалов
7	Полупроводниковые материалы и технологии.	Классификация полупроводниковых материалов. Значение в технике. Роль нанотехнологий в прогрессе развития полупроводниковых технологий. Кремний – важнейший полупроводник, промышленное получение поли- и монокристаллического кремния. Методы получения и очистки монокристаллов полупроводников. Технологии

		полупроводниковых устройств. Диффузия. Ионная имплантация. Нанесение изолирующих слоев. Осаждение тонких пленок. Эпитаксия. Процессы травления и литографии. Технологии манипуляции веществом на наноразмерном уровне. Создание наноструктур. Требования к чистоте полупроводниковых материалов.
--	--	--

4.3 Перечень лабораторных работ

Семестр № 3

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Основы метода термического анализа	3
2	Подготовка к анализу полимеров	2
3	Определение температурного интервала плавления и энтальпии плавления олимеров	2
4	Определение среднего размера наночастиц палладия и расчет их удельной поверхности	2
5	Получение наноразмерных оксидов меди, кобальта и никеля	2
6	Исследование процесса органического набухания полимера	2

4.4 Перечень практических занятий

Семестр № 4

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Наноструктурированные материалы. Особые свойства наносистем и наноматериалов	4
2	Строение твердых тел. Классификация. Кристаллические твердые тела Кристаллическая решетка.	2
3	Основные группы твердых материалов. Важнейшие механические, технологические, физические и химические свойства твердых тел.	2
4	Точечные, линейные, поверхностные (двумерные) и трехмерные дефекты кристаллической структуры. Механизмы возникновения точечных дефектов. Вакансии. Образование вакансий по Шоттки и по Френкелю. Влияние на свойства материалов, взаимосвязи между дефектами.	2
5	Упорядоченность расположения атомов в кристаллической решетке. Кристаллографические направления и плоскости. Индексы Миллера. Кристаллографически эквивалентные плоскости. Определение индексов	2

	кристаллографических плоскостей Четырехиндексная система Миллера—Браве	
6	Полупроводниковые материалы. Полупроводники n- и p-типа. Электронная и дырочная проводимости. Полупроводниковые приборы. Наноматериалы для полупроводниковых технологий.	2

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 3

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Подготовка к зачёту	49
2	Подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам)	60
3	Проработка разделов теоретического материала	45

Семестр № 4

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Проработка разделов теоретического материала	80

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: интерактивные лекции

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Тема: Наноструктурированные материалы. Особые свойства наносистем и наноматериалов

Тема: Строение твердых тел. Классификация. Кристаллические твердые тела
Кристаллическая решетка. Пример задачи с решением

Задача: Чему равно число атомов в элементарной ячейке в случае 1) простой, 2) объемноцентрированной и 3) гранецентрированной кубических решеток?

Решение: 1) В простой кубической решетке атомы находятся только в вершинах углов ячейки. Одна вершина принадлежит восьми параллелепипедам кристаллической решетки. Поэтому на каждую вершину одной ячейки приходится одна восьмая часть атома, находящегося в вершине.

Задачи:

Задача 1: Чему равно число атомов в элементарной ячейке гексагональной плотноупакованной решетки?

Задача 2: Плотность кристалла NaCl равна 2180 кг/м³. Атомный вес натрия 23, хлора 35,46. Определить постоянную решетки.

Задача 3: Найти число атомов алюминия в единице объема. Плотность алюминия = 2700 кг/м³.

Задача 4: Определить объемы элементарной ячейки через радиусы равновеликих шаров, образующих плотные упаковки для 1) объемноцентрированной, 2) гранецентрированной и

3) гексагональной решеток. Тема: Плоскости в кристаллической решетке. Индексы Миллера.

Пример задачи с решением

Задача: Определить отрезки, которые отсекает на осях решетки плоскость (125).

Решение: Записываем величины, обратные индексам плоскости:

Общий знаменатель 10. Так как , $A : B : C =$, то $A=10$, $B=5$, $C=2$.

Задачи:

Задача 1: Найти индексы плоскостей, проходящих через узловые точки кристаллической решетки с координатами 9 10 30, если параметры решетки $a=3$, $b=5$ и $c=6$

Задача 2: Даны грани (320) и (110). Найти символ ребра их пересечения.

Задача 3: Найти угол, образуемый гранями (100) и (010) кубического кристалла.

Задача 4: Вычислить угол между двумя прямыми [101] и [012] в ромбической решетке медного купороса с параметрами решетки $a=4,88 \text{ \AA}$, $b=6,66 \text{ \AA}$, $c=8,32 \text{ \AA}$.

5.1.2 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

Лабораторная работа №1 «Основы термического анализа»

Теоретические указания

Термический анализ - группа методов, изучающая изменение физических и химических свойств образца при проведении температурной программы. Температурная программа может включать нагревание или охлаждение с постоянной скоростью, выдерживание при постоянной температуре (изотерма) и комбинацию этих режимов.

В простом термическом анализе, при небольшой величине удельного теплового эффекта на единицу массы образца или при использовании малого количества превращающейся фазы, изгибы на термических кривых, соответствующих превращениям, могут быть малозаметными и такие превращения могут быть не обнаружены. Для повышения чувствительности анализа были разработаны дифференциальные методы, основанные на сравнении температуры исследуемого образца с температурой эталона, в роли которого выступает термически стабильное вещество, не претерпевающее в данном температурном диапазоне фазовых переходов, с температурами плавления и разложения выше максимального значения температуры при данной программе. В настоящее время, существуют различные методики термического анализа, среди которых можно отметить такие как дифференциально-термический анализ (ДТА); дифференциально-сканирующая калориметрия (ДСК); термогравиметрический анализ (ТГА); термомеханический анализ (ТМА); дилатометрия (Дил); динамический механический анализ (ДМА); диэлектрический термический анализ (ДЭТА); анализ выделяемых газов (ГТА); термооптический анализ (ТОА); визуально-политермический анализ (ВПА); лазерный импульсный анализ (ЛПА); термомагнитный анализ (ТМА).

Одним из первых методов термического анализа, который позволял определять тепловые эффекты, был дифференциальный термический анализ (ДТА). В этом методе измеряется разница температуры образца и температур эталона в течение времени или температуры, когда они подвергаются одинаковой температурной программе. Дальнейшим развитием метода была дифференциальная сканирующая, в которой измеряется различие между скоростью теплового потока в образце и скоростью теплового потока в эталоне, которое регистрируется как функция температуры и/или времени. В измерительной камере дифференциального сканирующего калориметра располагаются две ячейки. В одной находится исследуемый образец, а в другую ячейку, ячейку сравнения, помещают эталон. Измерительная камера должна быть максимально симметрична и иметь одинаковые ячейки, одинаковые сенсоры, одинаковое расстояние от нагревателя печи до ячеек. Между тиглем и термопарой располагается теплопроводящая колонка, позволяющая измерять усредненную температуру по всей площади тигля. Исследуемый образец и эталон

подвергаются одной и той же температурной программе в одной и той же атмосфере при использовании симметричной измерительной системы. Таким образом, измеряется различие теплового потока в тигле, содержащем образец, и пустым тиглем или тиглем, содержащим стандартный образец. Измеряемые величины в данном методе - абсолютная температура образца и разность температур, возникающая между образцом и эталоном, пропорциональная разности теплового потока между ними, что позволяет оценивать количественно тепловые эффекты.

Теплота в методе дифференциальной сканирующей калориметрии измеряется посредством теплового потока, представляющем собой производную теплоты по времени. Тепловой поток определяется как температурная разность двух точек измерительной системы в один и тот же конкретный момент времени.

Процессы, протекающие в образце в ходе температурной программы, могут сопровождаться различными тепловыми эффектами. Процессы с поглощением тепла называются эндотермическими, процессы, сопровождающиеся выделением тепла – экзотермическими. В таблице 1 приведены эффекты, сопровождающие основные фазовые переходы.

Таблица 1 – Тепловые эффекты фазовых переходов.

Переходы	Направления эффектов	
	Эндотермический	Экзотермический
Плавление	х	-
Кристаллизация	х	-
Испарение	-	х
Сублимация	х	-
Абсорбция	-	х
Десорбция	х	-
Магнитные переходы (точка перехода)	х	-
Переходы жидкая-кристаллическая фазы	х	-
Переход стеклования	Нет пиков, но есть ступенька в эндотермическом направлении	
Хемосорбция	-	х
Десольватация	х	-
Дегидратация	х	-
Термическое разложение	х	-
Окислительное разложение	-	х
Горение	-	х
Переходы твердое-твердое	х	х
Полимеризация	-	х
Отверждение	-	х
Восстановительные реакции	Может быть экзо- и эндотермическим	

Метод ДСК имеет ряд преимуществ, в сравнении с методом ДТА:

- термопара имеет контактную площадку;
- высокая воспроизводимость базовой линии;
- возможность точной калибровки для температуры и энтальпии;
- точное определение теплот реакций;
- точное определение удельной теплоемкости;
- быстрый теплообмен: малая постоянная времени прибора;
- малое влияние конвекции и излучения.

В то же время, методу присущи и определённые недостатки:

- требуется сравнительно малая масса образца - до 2 г.;
- ограничения при очень высоких температурах;
- необходимость тщательного позиционирования образца и тигля.

Исследовать методом ДСК можно любые не агрессивные к материалу тигля твердые и жидкие вещества. Результаты измерения будут зависеть от массы образца. Большая масса образца приводит к большей интенсивности сигнала, фиксируемого калориметром, что приводит к повышению отношения сигнал/шум и уменьшает погрешность, которую вносят внешние факторы. С другой стороны, чем больше масса исследуемого образца, тем выше в его объеме градиент температур, что приводит к размытию кривых ДСК, и тем самым уменьшает точность измерения температуры и теплоты.

Материал тигля выбирают, исходя из значения максимальной температуры нагрева образца и возможности протекания реакции образца с тиглем. Самыми распространёнными материалами являются алюминий (до 600оС), золото (до 900оС), платина (до 1000оС) и корунд (до 1600оС и выше). Крышку тигля прокалывают, чтоб избежать возможной деформации и повреждения тигля из-за повышения внутреннего давления. Отверстие не делается при использовании ядовитых веществ и образцов, у которых в исследуемом температурном диапазоне отсутствуют испарение или разложение.

Чем больше область контакта образца и дна тигля таким образом, тем сильнее и точнее получаемый сигнал, так что при помещении образца в тигель требуется обеспечить максимально возможную область контакта исследуемого образца с дном тигля. Твердые моно- и поликристаллические образцы по возможности нужно измельчить. При использовании однородных мягких материалов, таких как полимеры, вырезается плёнка или цилиндр нужного диаметра. При исследовании жидкостей, капля должна целиком покрывать дно тигля.

Не следует брать образцы или тигли голыми руками, во избежание их загрязнения. Также не следует располагать тигли и образцы на грязных поверхностях, так как это может привести к загрязнению измерительной ячейки.

Оборудование и приборы: дифференциальный сканирующий калориметр DSC 204 F1 Phoenix, алюминиевые тигли с крышкой, исследуемые образцы металлов, пинцет, аналитические весы, лабораторный пресс для закрывания тиглей.

Ход выполнения лабораторной работы:

1. Под руководством преподавателя или лаборанта произвести пробоподготовку образца, поместить его в тигель и взвесить. Тигель с образцом запрессовать и загрузить в измерительную ячейку. Составить оптимальную температурную программу и провести измерение тепловых эффектов. После завершения программы, проанализировать полученные данные и составить отчёт.

2. Порядок проведения измерения образца:

2.1 Открыть папку “NETZSCH-Proteus” и запустить управляющую программу;

2.2 В открывшейся программе создать новое измерение (File → New);

2.3 В разделе “Setup” выбрать используемый тигель;

2.4 В разделе “Header” выбрать режим измерения образца, внести массу образца и заполнить информационные поля;

2.5 В разделе “Temperature program” составить температурную программу;

2.5 В разделе “Last Items” вбить название файла, в котором будут храниться данные;

2.6 При нажатии кнопки “Forward” откроется новое окно, где нужно будет запустить продув предустановленным газом и запустить измерение после выравнивания

температуры.

3. Порядок проведения анализа полученных данных:

3.1 Запустить программу “Proteus Analysis”;

3.2 Выбрать файл измерения (File → Open) и открыть его;

3.4 Выбрать интересные участки кривых можно с помощью пункта “Segments...” вкладки “View”;

3.5 Для перевода в координаты времени нужно выбрать соответствующий пункт в меню “Settings”

3.6 Для определения точного значения температурного пика фазового перехода выбрать пункт “Peak...” меню “Evaluation”

3.6 Для определения энтальпии фазового перехода нужно измерить площадь теплового пика, используя пункт “Area...” меню “Evaluation”

3.7. Заполнить таблицу

№ пп	Номер пика ТЭ, масса образца	Время появления пика ТЭ	Температура
	появления пика ТЭ	Площадь пика	Величина и знак теплового эффекта ФП
	Наименование фазового перехода		

4. Отчет должен содержать:

4.1. Теоретическую часть

4.2. Цель работы;

4.3. Перечень оборудования и реагентов

4.4. Описание хода исследования

4.5. Таблицу с полученными результатами

4.6. Последовательность произведенных расчетов

4.7. Заключение и его обоснование о предположительном составе образца, учитывая, что он представляет собой смесь легкоплавких металлов. Справочные данные о температурах фазовых переходов и их энтальпиях для разных металлов и температуры их сплавов приведены в таблице 2. Ввиду того, что исходные образцы представляют собой смесь образцов, а не сплав, энтальпии этих образцов будут соответствовать энтальпиям плавления отдельных компонентов и энтальпии образования расплава.

Таблица 2. – Фазовые переходы некоторых металлов.

Металл	Температура плавления, оС	Энтальпия, кДж/моль
Индий	156,6	3,24
Олово	231,9	7,19
Висмут	271,4	11,3
Свинец	327,5	4,77
Цинк	419,6	7,28

Натрий	371	2,6	
Сплав олово-цинковый	198	-	
Сплав олово-свинцовый	183-177	-	
Сплав висмут-свинец-олово	172-148	-	
Сплав висмут-свинец	145	-	
Сплав висмут-олово	139	-	

Вопросы для контроля:

1. Что такое термический анализ?
2. Какие методы термического анализа существуют?
3. Что такое метод ДТА?
4. На чём основывается метод ДСК
5. Какие различия между методами ДСК и ДТА?
6. Что такое тепловые эффекты? Каким фазовым переходам они соответствуют?
7. Какие требования предъявляются к исследуемым образцам при термическом анализе?
8. Что надо учитывать при выборе материала тигля
9. В чём заключается пробоподготовка при использовании метода ДСК?

Лабораторная работа №2 «Анализ полимеров»

Теоретическая часть.

Полимеры представляют собой высокомолекулярные соединения, состоящие из мономеров, соединённых химическими или координационными связями. Количество звеньев полимера должно быть таким, чтоб при присоединении очередного мономера молекулярные свойства не изменялись, в противном случае, соединение будет считаться олигомером. Зачастую полимеры имеют молекулярную массу от нескольких тысяч до миллионов.

По природе связи макромолекул полимеры разделяют на термопласты, связанные слабыми Ван-Дер-Ваальсовыми силами, и реактопласты, имеющие достаточно прочные химические связи. По структуре, полимеры могут быть линейными, как целлюлоза, разветвлёнными, как амилопектин, или иметь сложное пространственное строение. Полимеры содержащие несколько разных повторяющихся мономеров носят название сополимеров или гетерополимеров.

Полимерные соединения широко распространены в природе. Например, полимерами являются белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды и каучук. Однако наиболее распространённым способом получения полимеров является их синтез из простых природных соединений, путём реакций полимеризации, поликонденсации и химических преобразований.

Такие высокомолекулярные соединения широко используются во многих областях человеческой деятельности: в машиностроении, текстильной промышленности, сельском хозяйстве, медицине, автомобиле- и судостроении, авиастроении и в быту. Полимеры служат основой для изготовления плёнок, лакокрасочных покрытий, резин и волокон; также все ткани живых организмов являются высокомолекулярными соединениями. Ввиду большого разнообразия полимеров, не существует единой схемы систематического анализа подобных соединений. Для определения направления изучения, нередко необходимо провести предварительные исследования, с целью обнаружения основных элементов, типа структуры и установления кислотного или основного характера данного высокомолекулярного соединения.

Предварительные исследования начинаются с изучения внешнего вида. При первоначальном осмотре можно визуально определить однородность или наличие слоёв, составляющих образец. В случае работы с многослойным образцом, каждый слой

отделяется и изучается отдельно. Как внешний вид, так и физические свойства полимеров в значительной мере определяются структурой мономерных цепей, которые могут быть гибкими или жесткими и иметь линейную, разветвленную или сетчатую структуру. В основе эластичных полимеров обычно лежат эластомеры, к которым относятся полибутадиеновые, полиизопреновые, полисилоксановые и полиуретановые каучуки. Соединения, размягчающиеся при повышении температуры, как правило, относятся к термопластам, среди которых полиэтилен, полипропилен и полиамиды. Термопласты обычно выступают основой для прозрачных твердых и полужестких материалов и пленок. Температурные изменения не наблюдаются у термореактопластов, которые с изменением температуры почти не меняют агрегатного состояния, и лишь при высоких температурах подвергаются пиролизу с образованием газообразных продуктов разложения. Чистые термореактопласты жесткие и твердые, неплавкие и хрупкие, они почти не растворяются в органических растворителях, а их скол имеет ярко выраженную зернистую структуру. К наиболее распространенным реактопластам относят фенопласты и эпоксидные смолы. Образцы, имеющие воскообразный вид, зачастую представлены полиолефинами. В полимерных дисперсиях в качестве фазы, чаще всего, используются полиолефины, поливинилацетатные пластики и фторполимеры, а в качестве дисперсионной среды выступают органические растворители, вода или их смеси. В Газонаполненных полимерах обычно используются эластичные и жесткие пенополиуретаны, в основе которых простые и сложные полиэфиры, пенополиолефины, вспененные полистиролы, пенополивинилхлориды, вспененные мочевиноформальдегидные смолы, пенополиэпоксиды и пенофенопласты.

Таким образом, посредством визуального осмотра можно с некоторой точностью предположить природу полимерной основы образца. Ввиду использования красителей, пигментов и добавок, цвет образца не может выступать достоверным индикатором основы материала. С другой стороны, лишь для фенопластов, естественными являются коричневый и черный цвета, что отличает их от других видов полимеров.

Другим видом предварительных исследований могут выступать механические испытания. Так как термопласты размягчаются при нагревании, их можно проткнуть нагретой металлической спицей, в отличие от термореактопластов. Таким образом, определив принадлежность образца к термопластам, его можно испытать на изгиб. Для этой цели, один край образца закрепляют в тисках, а второй изгибают под углом 90°.

Материалы на основе полиэтилена и акрилонитрилбутадиенстирольного пластика (АБС-пластика) изгибаются и сохраняют изгиб;

материалы на основе полистирола изгибаются с растрескиванием в месте изгиба и сохраняют изгиб;

материалы на основе полиметилметакрилата и сополимеры стирола с метилметакрилатом растрескиваются при изгибе;

материалы на основе жесткого поливинилхлорида, сополимеров этилена с пропиленом, композиции из смеси АБС-пластика и поливинилхлорида легко изгибаются и выпрямляются;

материалы на основе политетрафторэтилена и полиамида изгибаются и пружинят при сгибании;

материалы на основе полипропилена, пентапласта практически не изгибаются.

Для исследования полимерных плёнок проводят испытания на раздир. Для этого плёнку надрезают ножницами и тянут края надреза в противоположные стороны. Такое же испытание проводят при надрезе пленки с другой стороны, перпендикулярно первому разрыву. Подобное исследование неприменимо для изучения ориентированных плёнок с высокой прочностью.

Пленки из ацетата целлюлозы и целлофана разрываются легко и ровно по прямой; пленки из полистирола рвутся без усилий с образованием неровных краев;

пленки из полиэтилена и полипропилена при разрыве становятся вязкими, растягиваются перед разрывом, причём полипропиленовые - сильнее, образуют при обрыве волнистые края;

пленки из поливинилхлорида растягиваются и разрываются с образованием рваных краев;

пленки из поливинилового спирта растягиваются, а разрыв смещается в сторону;

пленки из фторполимеров разрываются с треском.

Полимеры могут быть охарактеризованы поведением в открытом пламени. Так, полимеры с высоким содержанием кислорода в продуктах горения, такие как спирты и эфиры, горят более голубым пламенем. Полимеры, разлагающиеся на ароматические соединения, дают жёлтое, сильно коптящее пламя. Зелёный цвет пламени характерен для хлорсодержащих полимеров. Кремнийорганические соединения можно определить по образованию белой золы или обильного белого дыма. Для проведения анализа, небольшое количество исследуемого полимера вносят в пламя газовой горелки или спиртовки и изучают горение образца. Характерное поведение различных полимеров в пламени представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Исследование полимеров путём сжигания в открытом пламени

Полимер	Цвет пламени и характер горения	Запах при горении
Полиэтилен высокой и низкой плотности (ПЭВП и ПЭНП)	Светящееся голубое пламя с желтой верхушкой. Легко воспламеняется. Горит быстро почти без копоти и после удаления из пламени. Плавится, образует капли	Горящего парафина (потушенной свечи)

Сополимер этилена с винилацетатом (СЭВА)	Пламя желтое. Плавится, капает и незначительно коптит. Горит медленно и после удаления из пламени	Уксусной кислоты и горящего парафина
--	---	--------------------------------------

Полипропилен (ПП)	Пламя голубое в основании с желтой верхушкой. Легко воспламеняется. Горит медленно без сажи и почти, без копоти и после удаления из пламени. Плавится, образует капли, нити	Горящего парафина, с резким запахом ароматики, напоминает дизельное топливо
-------------------	---	---

Полиизобутилен	Светящееся светлое пламя, горит без копоти	Слабый, напоминает резину
----------------	--	---------------------------

Полиметакрилат (оргстекло)	Светящееся, голубое снизу пламя, слегка коптит. Плавится, горит хорошо и после удаления из пламени	Сладкий, цветочно-плодовый
Полиметилметакрилат (ПММА)	Светящееся, синеватое с белой верхушкой пламя. Воспламеняется легко. Горит быстро и незначительно коптит	Сильный цветочно-плодовый, сладковатый

Полиамид (ПА)	Пламя голубое с желтой каймой. Медленно, выделяется белый дым, без сажи, может пузыриться и вспениваться, течет нитью	Горелой шерсти, жженого рога или горелых растений
---------------	---	---

Полиимид	Не плавится, почти не горит, обугливается	Без запаха
----------	---	------------

Полиуретан (ПУ)	Светящееся синеватое с желтыми краями пламя. Легко загорается. Быстро, выделяется лёгкий серый дым, течет по каплям. Весьма ядовит, опасен для здоровья	Острый запах изоцианата и миндальный запах синильной кислоты
-----------------	---	--

Поливинилацетат (ПВА)	Светящееся пламя с пурпурной каймой, искры	Уксусной кислоты
-----------------------	--	------------------

Полиэтилен терефталат (ПЭТФ)	Желто-оранжевое коптящее пламя	Сладкий, ароматный
------------------------------	--------------------------------	--------------------

Полистирол (ПС) и его сополимеры	Пламя ярко оранжевое, желтое. Легко воспламеняется, вспыхивает при поджигании. Сильно коптит с дымом. Горит быстро и после удаления из пламени, плавится, капает	Сладковатый, цветочный, запах стирола,
Сополимер стирола с нитрилом акриловой кислоты (САН)	Оранжево – желтое пламя.	

Легко воспламеняется, коптит. Горит быстро и после удаления из пламени, плавится
Сладковатый, запахстирола

Акрилонитрилбутадиен-стирольный пластик (АБС) Пламя голубое с желтыми краями
или оранжево-желтое. Вспыхивает при поджигании. Горит быстро, легко и после
удаления из пламени. Плавится, образует много копоти Резкий, напоминает запах
горящей резины и стирола

Эпоксидная смола (эпоксипласт) Желтое коптящее пламя. Горит медленно и при
удалении из пламени, постепенно затухает Специфический, в начале нагревания
свежий

Полиэфирная смола Коптящее, светящееся желтое пламя. Сладковатый

Кремний-органическое соединение Желтое пламя, белый дым. Горит неровно,
гаснет, образуется белая зола Запах формальдегида

Поливинилхлорид (ПВХ), пентапласт, хлорсодержащие каучуки Яркое-зеленое пламя.
Воспламеняется с трудом. Горит медленно, неровно, при удалении из пламени
самопроизвольно затухает, образует белый дым, размягчается Резкий, запах
хлористого водорода, хлора

Поликарбонат (ПК) Оранжевое или желтое пламя. Воспламеняется с трудом. Медленно,
неспокойно с выделением черного дыма (копоти). Постепенно само затухает с
образованием пузырей. По месту горения материал хрупкий, с налетом копоти Без
запаха

Феноло-формальдегидная смола (фенопласт) Желтое пламя. Загорается с трудом, горит
плохо, сохраняет форму Запахи енола и формальдегида

Политетра-фторэтилен (ПТФЭ, фторопласт-4) Не горит, не плавится, разлагается.
Плавится при температуре выше 370°C Резкий

Полиэтилен-терефталат (ПЭТФ, лавсан) Пламя желто-оранжевое, светящееся. Горит
быстро с искрами, почти без дыма. Слегка коптит, образует капли в виде черных
пластинок Сладковатый, ароматный

Полиэтилен хлорированный (ХПЭ, ПХП) Зеленое с голубой верхушкой пламя,
загорается с трудом. Горит очень медленно, при удалении из пламени гаснет Очень
резкий с примесью паленой резины

Дополнительным методом идентификации полимера выступает пиролиз – термическая
деструкция образца. Для проведения этого анализа в пробирку помещают 1-2 грамма
образца, закрывают крышкой с отводом и нагревают на горелке, наблюдая поведение
полимера. По завершении пиролиза, пробирку ополаскивают дистиллированной водой, и
посредством индикаторной бумаги определяют реакцию водного раствора. Основные
особенности поведения основных полимеров при пиролизе, а также реакции водного
раствора соответствующих остатков представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Идентификация пластмасс по поведению их при пиролизе и реакции водного
раствора.

Полимер	Поведение при пиролизе	Реакция водного раствора, pH
---------	------------------------	------------------------------

Полиэтилен	Плавится, выделяется белый дым, на стенках конденсируется жидкость Нейтральная, 7	
------------	--	--

Полипропилен	Плавится, выделяется белый дым, который поглощается дистиллированной водой, остается смола черного цвета. Нейтральная, 7	
--------------	---	--

Полиамид	Плавится, выделяется газообразное вещество, осаждающееся в виде кристаллов. Остается вещество янтарного цвета. Кислая, 6	
----------	---	--

Полиуретан	Плавится, выделяется газообразное вещество, осаждающееся на стенках в виде желто-зеленого налета, остается маслянистая смола. Кислая, 6	
------------	--	--

Полистирол	Выделяется белый дым. В пробирке с дистиллированной водой собирается слой маслянистой белой жидкости. Остается желтая жидкость, застывающая в вязкую	
------------	---	--

смолообразную массу. Нейтральная, 7

Акрилобутадиенстирол (АБС) Плавится, темнеет, кипит, выделяется белый дым, растворяющийся в дистиллированной воде. На стенках маслянистая жидкость. Остается темная смола затвердевает Нейтральная, 7

Полиформальдегид Выделяется обильный белый дым, на стенках остается белый налет. В пробирке с дистиллированной водой нерастворимый слой жидкости. Нейтральная, 7

Поливинилацетат Разлагается, выделяется газообразное вещество, поглощающееся дистиллированной водой. Кислая, 6

Полиметилметакрилат Плавится, кипит, выделяется белый дым, растворяющийся в дистиллированной воде, на стенках капельки желтой жидкости. Остается прозрачная смола. Кислая, 6

Полиэтилентерефталат Обугливается, плавится, образуется темная жидкость, кипит, выделяется белый дым. На стенках налет желтоватого цвета. Кислая, 6

Поливинилхлорид Плавится, темнеет. В пробирке с дистиллированной водой маслянистая жидкость. Остается черная смола. Кислая, 6

Эпоксидная смола Плавится, кипит, выделяется белый дым, сначала слабый, затем интенсивный, в пробирке остается черная смола. Кислая, 6

Фторопласт Темнеет, после долгого нагревания выделяется белый дым, на стенках белый налет. Кислая, 6

Аминопласт Чернеет, на стенках конденсируется жидкость, затем темный налет. Резкий запах. Остается черный порошок. Кислая, 6

Ацетобутират- целлюлозный этрол Плавится, выделяется густой дым. На стенках конденсируется жидкость, запах прогорклого сыра. Остается черная смола. Нейтральная, 7

Пентапласт Плавится, на стенках конденсируется жидкость, слабый дым, остается черная смола. Кислая, 6

Оборудование и приборы: исследуемые образцы полимеров, пинцет, аналитические весы, спиртовая горелка, пробирка, крышка с отводом, дистиллированная вода.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Провести визуальный осмотр полученного образца, по физическим свойствам и виду предположить вероятную природу полимера. Осуществить возможные механические исследования.
2. Поместить часть полимера в пламя горелки. Определить характерные особенности сгорания: воспламенение, плавление, обугливание, запах, цвет пламени, наличие копоти или дыма, самогашение, образование сублимата, наличие золы и её окраску. По таблице 1 сверить полученный результат.
3. Произвести пиролиз образца полимера. Следить за поведением при пиролизе и измерить pH раствора оставшихся продуктов. Полученный результат сопоставить с данными, представленными в таблице 2.
4. На основе полученных данных составить отчёт, который должен содержать:
 - 4.1. Теоретическую часть
 - 4.2. Цель работы;
 - 4.3. Перечень оборудования и реагентов
 - 4.4. Описание хода исследования
 - 4.5. Полученные результаты
 - 4.6. Заключение и его обоснование о природе полимерного образца.

Вопросы для контроля:

1. Что такое полимеры? Какие соединения к ним относятся?
2. Как классифицируются полимеры?
3. Какие параметры можно определить из визуального осмотра?

4. В чём заключается метод механических испытаний?
5. Как ведут себя различные полимеры при исследовании на раздир?
6. Что такое пиролиз? Какую информацию можно получить из этого метода?
7. Как ведут себя различные полимеры в пламени?

Лабораторная работа №3 «Стеклование полимеров»

Наряду с другими методами, ценную информацию о полимерных образцах можно получить посредством термического анализа. В частности, дифференциальная сканирующая калориметрия позволяет достаточно точно определить температуры и энтальпии физических превращений и фазовых переходов. Также полимеры имеют характерную особенность – стеклование.

Стеклование не является фазовым переходом и имеет релаксационную природу. Этот процесс проходит как в прямом, так и в обратном направлении, но всегда протекает неравновесно. Энтальпия, как и энтропия, и объем, представляющие собой первые производные энергии Гиббса по температуре и давлению соответственно, в процессе стеклования изменяются постепенно, без скачков. В то же самое время, теплоемкость, коэффициент теплового расширения и изотермическая сжимаемость, представляющие собой вторые производные энергии Гиббса, при расстекловывании изменяются скачкообразно. Калориметрическим методом можно определить такие характеристики процесса стеклования, как интервал ΔT_C и температуру стеклования T_C , изменение теплоемкости $\Delta C_P(T_C)$, изменение объема и коэффициента теплового расширения. На термограмме стеклование выглядит как возрастание теплового потока, что обусловлено увеличением теплоемкости образца. Принято считать, что температуре стеклования соответствует середина изгиба кривой ДСК. Расстекловывание полимеров обычно протекает в интервале 20 – 40 оС. В таблице 1 приведены значения T_C для некоторых полимеров.

Таблица 1. Температуры стеклования некоторых полимеров

Полимер	T_C , оС
Полидиметилсилоксан	-122
1,4-цис-Полибутадиен	-102
Политетрагидрофуран	-87
Полиизобутилен	-75
Натуральный каучук	-72
Полиэтилен	-36
Поливинилхлорид	82
Полиакрилонитрил	97
Полистирол	100
Полиметилметакрилат	105

Стекловаться могут многие кристаллизующиеся полимеры, если их быстро охлаждать. Между температурами стеклования и плавления существует соотношение, определённое эмпирическим путём:

$$\gamma = T_C / T_P,$$

которое находится в пределах значений от 0,25 до 0,97. Для полимеров, обладающих симметрией, к которым, например, относятся полиэтилен и поливинилиденфторид, $\gamma = 0,5$, для несимметричных, таких как изотактический полипропилен, $\gamma = 0,67$. В большинстве случаев $0,5T_P < T_C < 0,67 T_P$.

Многие кристаллические полимеры фактически представляют собой частично кристаллические материалы и находятся в состоянии метастабильного равновесия. Такие полимеры представляют собой набор кристаллитов разных размеров, различающихся

химическими потенциалами. Такая поликристалличность, совместно со структурными различиями их кристаллических образований приводит к тому, что плавление происходит в широком интервале температур. В таблице 2 приведены диапазоны температур плавления для распространённых полимеров.

Таблица 2 - Температуры плавления полимеров, определенные методом ДСК

Полимер	Температура плавления ТП, °С	Энтальпия плавления ΔH 100%, Дж/г
Полиэтилен низкой плотности	100-110	140
Линейный полиэтилен низкой плотности	122-127	н/д
Полиэтилен высокой плотности	125-135	293
Изотактический полипропилен	160-165	207
Полиоксиметилен	140-170	192
Полиамид-6	225-235	190
Полиамид-66	225-265	185

Таким образом, полимеры имеют ряд особенностей. Они метастабильны, при комнатной температуре они, зачастую, находятся в стеклообразном или частично кристаллическом состоянии. Эти соединения полимолекулярны и представляют собой макромолекулы разной молекулярной массы. Мономерные звенья в них могут быть соединены разным образом, что приводит к широкомтемпературному интервалу плавления полимеров и рекристаллизация вещества. Все эти особенности должны быть учтены при проведении термического анализа.

Оборудование и приборы: исследуемые образцы полимеров, пинцет, аналитические весы, дифференциальный сканирующий калориметр DSC 204 F1 Phoenix, алюминиевые тигли с крышкой.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Под руководством преподавателя или лаборанта подготовить исследуемый образец и составить температурную программу исследования. После этого, поместить подготовленный образец в тигель и взвесить. Тигель запрессовать проколотой крышкой и загрузить в прибор. Провести анализ ДСК, после чего проанализировать полученные данные.

2. Порядок проведения измерения образца:

2.1 Открыть папку “NETZSCH-Proteus” и запустить управляющую программу;

2.2 В открывшейся программе создать новое измерение (File → New);

2.3 В разделе “Setup” выбрать используемый тигель;

2.4 В разделе “Header” выбрать режим измерения образца, внести массу образца и заполнить информационные поля;

2.5 В разделе “Temperature program” составить температурную программу;

2.5 В разделе “Last Items” внести название файла, в котором будут храниться данные;

2.6 При нажатии кнопки “Forward” откроется новое окно, где нужно будет запустить продув предустановленным газом и запустить измерение после выравнивания температуры.

3. Порядок проведения анализа полученных данных:

3.1 Запустить программу “Proteus Analysis”;

3.2 Выбрать файл измерения (File → Open) и открыть его;

3.4 Выбрать интересные участки кривых можно с помощью пункта “Segments...” вкладки “View”;

3.5 Для перевода в координаты времени нужно выбрать соответствующий пункт в меню “Settings”

3.6 Для определения точного значения температурного пика фазового перехода выбрать пункт “Peak...” меню “Evaluation”

3.6 Для определения энтальпии фазового перехода, нужно измерить площадь теплового пика, используя пункт “Area...” меню “Evaluation”

3.7. Заполнить таблицу

№ пп	Температура начала ТЭ	Температура пика ТЭ	Площадь пика (при его наличии)	Величина и знак теплового эффекта ФП	Наименование фазового перехода
------	-----------------------	---------------------	--------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

4. Произвести максимально подробный анализ полученных данных, определить температуры и теплоты фазовых переходов, температуры разложения и стеклования, если таковые наблюдаются в исследуемом температурном диапазоне. Сравнить полученные результаты с известными данными для имеющихся полимеров, используя таблицы 1 и 2.

4. Отчет должен содержать:

4.1. Теоретическую часть

4.2. Цель работы;

4.3. Перечень оборудования и реагентов

4.4. Описание хода исследования

4.5. Таблицу с полученными результатами

4.6. Последовательность произведенных расчетов

4.7. Заключение и его обоснование о предположительном составе образца.

Вопросы для контроля:

1. Что такое стеклование полимеров?

2. В чём заключается метод термического анализа? Какие виды ТА существуют?

3. Какие характеристики полимера можно определить методами ТА?

4. Какое существует соотношение между температурой плавления и температурой стеклования?

5. Что такое поликристалличность? Как она влияет на свойства полимеров?

6. Особенности поведения полимеров при термическом анализе?

Лабораторная работа №4 «Определение среднего размера наночастиц и их удельной поверхности»

Все методы получения наноматериалов можно поделить на две большие группы по типу формирования наноструктур: подход «сверху вниз» (top-down), основанный на измельчении частиц до наноразмеров; и подход «снизу вверх» (bottom-up), который характеризуется ростом наночастиц или сборкой наночастиц из отдельных атомов. Типичными примерами метода «сверху вниз» являются размол вещества с помощью мельниц или травление в литографии. Помол широко используется для измельчения частиц, хотя зачастую их конечный размер, строго говоря, находится не в «нано-» (1-100 нм) а в субмикронном (100-1000 нм) диапазоне. Кроме того, с помощью механического воздействия можно получать новые соединения, синтез которых с помощью обычных химических методов сильно затруднен. Главный недостаток способов получения наноматериалов «сверху вниз» заключается в ухудшении их структуры из-за образования дефектов. Так, при литографическом травлении границы фаз в материале не гладкие и содержат большое количество примесей и дефектов. Подобные нарушения поверхности структуры оказывают существенное влияние на свойства наноматериала, поскольку наночастицы обладают большой удельной поверхностью. С другой стороны, данный класс методов обладает высокой производительностью и повторяемостью процессов. К методу получения «снизу вверх» относятся синтез или сборка нанообъектов из атомов и молекул. В этих методах синтез наноматериалов происходит путем присоединения к наночастице атома за атомом, молекула за молекулой или кластер за кластером. Примерами такого способа получения являются производство солей и монокристаллов, нанесение тонких пленок. В органической химии синтез полимера также осуществляется методом «снизу вверх». Различные способы синтеза одного и того же материала могут приводить к получению материалов, различных по химическому составу, по кристалличности и микроструктуре из-за различий в кинетике процессов. В настоящий момент подход «сверху вниз» является наиболее надежным для создания элементов памяти компьютеров и электронных схем, так как позволяет прецизионно контролировать размер и расположение всех элементов и создавать из них большие массивы. Использование подхода «снизу-вверх» кажется перспективным, так как с помощью процессов самосборки можно также создавать достаточно большие массивы из одинаковых элементов, причем размер этих элементов может быть гораздо меньше, чем предел литографии в настоящее время.

Методы получения наночастиц по природе воздействия обычно подразделяют на химические, физические и биологические, иногда отдельно выделяют еще и механические. Четкой границы между этими группами методов нет. Примерами химических методов являются золь-гель синтез, синтез в мицеллах, химическое осаждение, удаление одного из компонентов гетерогенной системы. Причём в таких методах наночастицы могут формироваться в результате различных физических воздействий, таких как ультразвук или микроволны. Главным преимуществом таких методов является то, что микроструктура получаемых в ходе воздействия наноматериалов во многом определяется параметрами физического воздействия: частотой, интенсивностью и так далее. Однако это воздействие в первую очередь инициирует прохождение в реакционной смеси различных процессов и химических реакций, что и приводит к формированию материала с особенной микроструктурой, фазовым составом, уникальными функциональными свойствами. Иногда, получить материал, обладающий такими свойствами, не используя дополнительное физическое воздействие, невозможно. Поэтому эти методы часто относят к промежуточной группе – физико-химической. В эту группу также включают сольвотермальный синтез, синтез в сверхкритических растворителях и пиролиз аэрозолей.

В отличие от химических и физико-химических методов, физические методы не предусматривают образования новых соединений в ходе химических реакций, хотя и в этих методах могут образовываться новые химические связи при росте наноструктур.

Примером физических методов являются молекулярно-лучевая эпитаксия и различные способы испарения с последующим контролем роста в инертной атмосфере и стабилизацией наночастиц. С другой стороны, если рост наноструктур происходит не в инертной атмосфере, то уже могут происходить различные химические реакции, что используется для получения оксидных наночастиц, которые синтезируют в присутствии кислорода. Также, к физическим методам получения наноструктур относятся различные разновидности литографии. Современные литографические технологии позволяют получать полупроводниковые транзисторы размером около 45 нм, и эта область очень быстро развивается в связи с тенденцией к минитюаризации элементов электронных схем.

Получаемые наноструктуры очень разнообразны. В зависимости от метода, можно получать как индивидуальные частицы, так и наноразмерные плёнки, и различные композитные материалы. В целом, нанообъекты могут быть классифицированы по принципу конечного продукта, полученного тем или иным способом. Кластеры представляют собой совокупность атомов, окруженных оболочкой лигандов. Их получают химическим синтезом в растворах или конденсацией из газовой фазы, и они могут рассматриваться как очень большие комплексы. Наиболее характерно образование кластеров со связями металл-металл для соединений металлов платиновой группы и тяжелых переходных металлов, таких как молибден и вольфрам. В химии кластеры известны достаточно давно и являются переходным объектом, между молекулой и наночастицей. Коллоиды – это дисперсные системы, содержащие твердые частицы размером от 1 до 1000 нм. Методы их получения основываются на осуществлении реакций в растворах таким образом, чтобы предотвратить рост частиц до макроразмеров и их коагуляцию. Наночастицами являются изолированные частицы твердого вещества размером от 1 до 100 нм. Вещество при этом может находиться в кристаллическом или аморфном состоянии. Способы получения наночастиц выбираются таким образом, чтобы предотвратить рост частиц и их агломерацию, для чего зачастую используют дополнительные вещества-стабилизаторы. Нанокристаллы – монокристаллические наночастицы. Часто квантовые точки выделяют как самостоятельный класс нанообъектов. Это наночастицы, в которых проявляются размерные квантовые эффекты. Квантовые точки наиболее характерны для металлов и для полупроводников, когда размер наночастиц становится сопоставимым с какой либо характерной длиной, например, длиной волны электрона, или когда число валентных электронов становится малым для образования энергетических зон, подобных зонам макрокристалла.

Оборудование и приборы: микрофотографии ПЭМ ВР наночастиц палладия, линейка, программное обеспечение Microsoft Excel.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Получить микроснимки ПЭМ ВР наночастиц палладия. Произвести измерение 50 различных нанообъектов со снимка и пересчитать, согласно размерной линейке в углу снимка. Полученные данные внести в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты измерения наночастиц.

№ пп	Размер продольный, нм	Размер поперечный, нм	Форма нанообъекта
------	-----------------------	-----------------------	-------------------

2. По полученным данным построить гистограмму распределения наночастиц по размерам, рассчитать среднее значение размера и погрешность.

3. Рассчитать среднее значение удельной поверхности наночастиц для каждой из форм, используя формулу:

$$S_{уд} = S/V,$$

где $S_{уд}$ – удельная поверхность, S – поверхность наночастицы, V – объём наночастицы.

4. Составить отчёт, который должен содержать:

4.1. Теоретическую часть

4.2. Цель работы;

4.3. Перечень оборудования и реагентов

4.4. Описание хода исследования

4.5. Таблицу с полученными результатами

4.6. Гистограмму распределения частиц по размерам

4.6. Последовательность произведенных расчетов

4.7. Заключение, включающее анализ зависимости удельной поверхности от формы наночастиц.

Вопросы для контроля:

1. Как классифицируются методы получения наноматериалов?

2. В чём заключаются подход «сверху вниз»? Какие методы используются? Какими преимуществами и недостатками обладают?

3. Какие особенности имеет подход «снизу вверх»? Какие плюсы и минусы подобного подхода?

4. Что лежит в основе химических методов? Какие способы получения относятся к химическим методам?

5. Какие методы относятся к физическим?

6. Как классифицируются наноматериалы? В чём различие разных наноструктур?

7. Для чего используются наноструктурные материалы?

Лабораторная работа №5 «Получение наноразмерных оксидов металлов»

Цель работы: получение наноразмерных оксидов церия, меди, кобальта и никеля.

Теоретические указания

Интерес к разработке методов синтеза и изучению свойств наночастиц оксидов металлов обусловлен их специфическими физическими и химическими свойствами, находящими применение в катализе, оптических, сенсорных и электронных устройствах.

Наноразмерные оксиды как в чистом виде, так и легированные катионами (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Y^{3+} , Zr^{4+} и др.) могут иметь широкую область применения, в частности, в источниках тока, поскольку обладают высокой эффективностью и экологически безопасны. Так, нанопорошок оксида меди используется в качестве добавок к электродным материалам для изготовления высокопроводящих кислородных электродов с высокой электрохимической активностью.

С другой стороны, наночастицы оксидов металлов нашли широкое применение и в других областях промышленности. Например, в керамической промышленности и производстве резинотехнических изделий нанодисперсный порошок оксида алюминия используют в качестве пластификатора, упрочнителя, армирующего агента. Данный материал также находит применение в производстве катализаторов, аналитических реагентов, при получении искусственных драгоценных камней. Наноразмерный оксид алюминия позволяет создавать однородные материалы, не имеющие пустот, обладающие повышенными прочностными свойствами. Использование порошка нанодисперсного оксида алюминия приводит к повышению эффективности производства искусственного каучука в несколько раз по сравнению с традиционным оксидом. Также подобный оксид алюминия служит компонентом при получении кристаллов, необходимых для работы YAG-лазеров. Оксид титана, TiO_2 широко используется в обрабатывающей промышленности для производства красок, защитных покрытий, абразивов и полировки, этот материал играет важную роль в оптике как фотокатализатор и покрытие линз, задерживающее ультрафиолетовое излучение. Диоксид титана все больше и больше используется в области экологии, например, при очистке сточных вод, в воздушных

фильтрах. Кроме того, они также применяются в производстве строительных материалов, косметики, пластмасс, печатных красок, стекла и зеркал, а также для уничтожения боеголовок химических ракет.

Для получения наноразмерных порошков оксидов металлов в промышленности широко используются механические методы измельчения, например, при помощи планетарных мельниц с использованием мелящих тел размером менее 0,1 мкм. Однако, такие методы обладают рядом минусов, главными из которых являются неоднородность по размерам и возникновение различных дефектов структуры. В связи с этим, для высокотехнологичных разработок требуются методы получения более чистого и однородного материала. Для этой цели широко используются химические методы, такие как осаждение растворов и термическое разложение гидроксидов металлов. Одной из проблем получения таких материалов из водных растворов является агломерация ультрадисперсных частиц, для предотвращения которой используют органические растворители, в частности, спирты.

Оборудование и приборы: этиловый спирт, натрия гидро-оксид, кобальт азотнокислый, медь азотнокислая, никель азотнокислый, бюретка на 25 мл, коническая колба на 50 мл (3 шт.), магнитная мешалка с электрообогревом, рН-метр.

Ход выполнения лабораторной работы:

1. Приготовить 0.1 М растворы солей меди, кобальта и никеля в этиловом спирте (30мл) в конической колбе (3 шт).
2. Добавить в каждую колбу постепенно по каплям при постоянном перемешивании и температуре 60 оС 60 мл 0.1 М раствора едкого натра.
3. Через 20 минут после приливания отфильтровать осадки, промыть их дистиллированной водой на фильтре до нейтральной среды (рН~7), просушите 20 минут на фильтре.
4. Собрать осадок с фильтра, следя за тем, чтобы фрагменты фильтра не попадали в образец, поместить осадок в фарфоровый тигель и поставить в сушильный шкаф для прогрева образцов при T=200 оС
5. Получить еще новый образец путем мгновенного сливания водного раствора соли кобальта с гидроксидом натрия, после чего также промыть водой, высушить и прогреть.
6. Полученные образцы будут измерены на силовом атомном микроскопе.
7. На основе полученных данных составить отчет, который должен содержать:
 - 7.1. Теоретическую часть
 - 7.2. Цель работы;
 - 7.3. Перечень оборудования и реагентов
 - 7.4. Описание хода исследования
 - 7.5. Полученные результаты
 - 7.6. Заключение.

Вопросы для контроля:

1. Как классифицируются методы получения наноматериалов?
2. Какие физические и механические методы получения наночастиц существуют. В чём их плюсы и минусы?
3. Что лежит в основе химических методов получения наноструктур? Какие методы для этой цели разработаны?
4. Где применяются металлические наночастицы?
5. Для чего используются нанопорошки оксидов металлов?
6. Какие методы позволяют получать наноразмерные порошки оксидов металлов?

5.1.3 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Основой для самостоятельной работы являются лекционные материалы, которые рекомендуется прорабатывать. Другая составляющая самостоятельной работы – работа с рекомендованной основной и дополнительной учебной литературой. Для повышения эффективности самостоятельной работы необходимо использовать ресурсы сети Интернет, в том числе электронные библиотечные системы и базы данных доступные обучающимся ИРНИТУ. Для закрепления теоретического материала в программе курса предусмотрено выполнение обучающих и тренировочных тестов. Частью самостоятельной работы студентов являются оформление отчетов по лабораторным работам и подготовка к их защите. Все данные, получаемые в ходе работы заносятся в рабочую тетрадь, обрабатываются и заносятся в сводную итоговую таблицу, после анализа которых делаются соответствующие выводы. Отчет по лабораторной работе должен содержать краткое описание проведенных процедур, объяснения наблюдаемых явлений и выводы по итогам работы. Подготовка к экзамену должна предусматривать кроме проработки теоретического материала по отдельным разделам курса, комплексный анализ всего учебного и выполнение тренировочных и обучающих тестов для успешной сдачи экзамена.

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 семестр 3 | Устный опрос

Описание процедуры.

Тема (раздел): Введение в предмет курса
Описание процедуры: текущий контроль выполняется в виде устного опроса

Вопросы для контроля:

- а) История «овладения» материалами. Материалы как ступени цивилизации
- б) Связь науки и дисциплины «Материаловедение наноструктурированных материалов» с другими науками и областями деятельности (перечислите)
- в) Предмет изучения современного материаловедения
- г) Дайте определение термину «материалы». От чего зависят их свойства?
- д) Классификация структуры материалов
- е) Перечислите проблемы, которые решает современное материаловедение в разных областях знаний и условий практической эксплуатации материалов
- ж) Основные приоритеты современного материаловедения. Требования XXI века к технологиям получения материалов
- з) Наноструктурированные материалы. Значение нанотехнологий в создании новых материалов

Тема (раздел): Взаимосвязь физических, химических, технологических свойств материалов с их строением. Строение твердых тел.

Описание процедуры: текущий контроль выполняется в виде устного опроса

Вопросы для контроля:

- а) Общая классификация материалов.
- б) Классификации материалов по их использованию, химическому составу.
- в) Классификации материалов по электрическим, магнитным, оптическим свойствам.
- г) Сравните химию молекул и химию твердого тела
- д) Охарактеризуйте аморфное состояние вещества
- е) Изотропность свойств аморфных тел?
- ж) Что такое монокристалл и поликристаллы?
- з) Объясните анизотропию свойств монокристаллов и изотропию свойств поликристаллов

и) Кристаллическое строение металлов. Трансляционная симметрия. Кристаллическая решетка. Элементарная кристаллическая решетка. Период решетки, «базис» решетки.

к) Опишите важнейшие типы кристаллических решеток. Координационное число. Коэффициент компактности. Поли- и изоморфизм. Эффекты памяти формы.

л) Идеальные и реальные кристаллы.

м) Что такое решетки Бравэ?

н) Перечислите трехмерные решетки Бравэ и кристаллографические системы

о) Упорядоченность расположения атомов в кристаллической решетке.

Кристаллографические направления и плоскости. Индексы Миллера

п) Кристаллографически эквивалентные плоскости.

р) Определение индексов кристаллографических плоскостей в кубических решетках

с) Особенности определения индексов Миллера в гексагональной решетке.

Четырехиндексная система Миллера—Браве

т) Приведите примеры влияния внутреннего строения материалов на их физические, химические и технологические свойства.

Тема (раздел): Дефекты кристаллической структуры вещества, их размерность и влияние на свойства материалов.

Описание процедуры: текущий контроль выполняется в виде устного опроса

Вопросы для контроля:

а) Дефекты строения кристаллических решеток. Классификация дефектов кристаллических

решеток. Характеристика 0D-, 1D-, 2D- и 3D-дефектов.

б) Точечные дефекты

в) Образование вакансий по Шоттки и по Френкелю. Механизмы возникновения точечных дефектов.

г) Равновесная концентрация вакансий. Формула Больцмана.

д) Влияние вакансий на диффузионные процессы в материалах

е) Атомные механизмы диффузии в твердом теле.

ж) Искажения кристаллической решетки вблизи точечных дефектов

з) Влияние вакансий на электропроводимость материалов

и) Энергии активации диффузии по вакансиям, диффузии по междоузлиям, диффузии по междоузлиям вытеснением, диффузии по краудинному механизму

Тема (раздел): Важнейшие свойства материалов, определяющие возможность их практического использования.

Описание процедуры: текущий контроль выполняется в виде устного опроса

Вопросы для контроля:

Тема (раздел): Полупроводниковые материалы. Полупроводники n- и p-типа. Электронная и дырочная проводимости. Полупроводниковые приборы. Наноматериалы для полупроводниковых технологий. Описание процедуры: текущий контроль выполняется в виде устного опроса

Вопросы для контроля:

а) Какие основные параметры свойства отличают полупроводники от металлов и диэлектриков

б) Какие виды полупроводниковой техники Вы знаете?

в) Какие легирующие добавки вызовут в германии образование донорных и акцепторных уровней?

г) Какой уровень легирующих добавок обычно используется в полупроводниковой технике и какова чистота обычно используемых материалов?

д) Что такое p-n-p переход и почему он произвел в свое время переворот в электронике?

Охарактеризуйте собственную и примесную проводимости полупроводников?

е) В каких устройствах применяется односторонняя проводимость контактов

металлполупроводник ?

ж) В каких устройствах применяется контакт полупроводников р- и п- типов ?

з) Назовите типы фотоэлементов

и) Опишите методы получения полупроводников:

к) рост монокристаллов методом Чохральского или Бриджмена,

л) механическая обработка (полупроводниковая техника)

м) Напыление тонких и толстых пленок (фотоэлементы, солнечные источники тока)

н) Фотолитография и CVD (большие интегральные схемы – компьютерная техника)

о) Жидкофазная эпитаксия (элементы солнечных батарей)

п) Транзисторы, БИС, термисторы, фотоэлементы, фотодиоды, п/п лазеры, преобразователи солнечной энергии в электрическую – какие из устройств могут быть полупроводниковыми?

р) Какие максимальные КПД достигнуты сейчас для преобразования солнечной энергии в электрическую и как можно повысить этот коэффициент?

Критерии оценивания.

Описание процедуры: контрольная работа выполняется в виде письменной тестовой работы.

Вопросы для контроля:

1. Как можно определить является ли материал кристаллическим?

а) По геометрической форме (горный хрусталь)

б) По названию

в) По физическим свойствам (преломление света, электропроводность)

г) По деформируемости (аморфные тела хрупкие)

2. Какими параметрами можно полностью описать кристаллическую решетку?

а) С помощью трансляционного вектора

б) Одним базовым вектором и углом между двумя другими базисными векторами

в) С помощью набора трех базисных векторов

г) С помощью наименования решетки по классификации Бравэ

3. Какие из нижеперечисленных дефектов являются трехмерными?

а) Границы между зернами

б) Дислокации

в) Атомы в междоузловом пространстве

г) Дефекты упаковки

д) Вакансии

е) Включения

ж) Примесные атомы в узлах решетки

з) Поры

и) Фазовые границы

к) Малые включения второй фазы

4. Какие из нижеперечисленных факторов не являются дефектами кристаллической решетки?

а) Упругие деформации решетки

б) Тепловые колебания решетки

в) Поверхность

г) Фазовая граница между двумя различными кристаллами

д) Внутренний объем фазы включения

е) Примесные атомы в узлах кристаллической решетки

Критерии оценки:

Зачтено – даны правильные ответы на все поставленные вопросы.

Не зачтено – в ответах на вопросы присутствуют ошибки.

6.1.2 семестр 4 | Устный опрос

Описание процедуры.

Тема: Наноструктурированные керамические материалы. Функциональные керамические материалы

Описание процедуры: текущий контроль выполняется в виде устного опроса

Вопросы для контроля:

- а) Наноструктурная (нанокристаллическая) керамика как один из типов наноматериалов.
- б) Назовите три основных класса объёмных материалов по своему назначению?
- в) Керамики являются материалами с высоким модулем упругости, высокой температурой плавления и высокой твердостью. Насколько верно это утверждение?
- г) Зависимость свойств керамических материалов от исходных материалов, методов и параметров технологии, структуры и фазового состава спечённых материалов, промежуточных методов обработки и качества поверхности.
- д) Отличительные особенности конструкционной керамики на основе глин и кремнистых пород?
- е) Какими свойствами должна обладать функциональная керамика?
- ж) В каких устройствах применяется пьезосегнетоэлектрическая керамика?
- з) Какие свойства оптически прозрачной керамики нашли применение?
- и) Назовите оксиды элементов, которые применяются для получения оптически прозрачной керамики?
- к) Какие требования, выполнение которых необходимо, предъявляются для синтеза оптических керамик высокого качества?
- л) Какие свойства оптически прозрачной нанокерамики требуются для лазерной техники, сцинтилляторов и других применений?
- м) Назовите основные этапы технологии изготовления оптических керамик?

Тема. Полимерные материалы

Тема. Композиционные материалы.

Описание процедуры: текущий контроль выполняется в виде устного опроса

Вопросы для контроля:

- а) Охарактеризуйте полимерные дисперсии, полимерные эмульсии, полимерные пены и армированные системы.
- б) Каковы основные цели создания ПКМ?
- в) Назовите принципиальные недостатки ПКМ, чем они вызваны?
- г) По какой причине возникают перенапряжения на границе частица-матрица?
- д) Назовите факторы, приводящие к улучшению свойств ПКМ.
- е) Как изменяются три основных показателя свойств: модуль упругости, вязкость и прочность ПКМ с увеличением содержания наполнителя?
- ж) Влияет ли удельная поверхность частиц наполнителя на свойства матричного полимера и на свойства самих частиц?
- з) Какие параметры определяют фазовую структуру ПКМ, как они влияют на свойства ПКМ?
- и) Опишите кратко основные способы получения композиционных материалов смешение и полимеризационное наполнение.
- к) Какая подготовка компонентов ПКМ выполняется перед смешением?
- л) Каким образом проводят модификацию поверхности наполнителя для улучшения совмещения компонентов ПКМ?
- м) В чем заключается подготовка углеродных, арамидных волокон?

- н) Как совмещаются дисперсные и волокнистые наполнители с полимером?
- о) Что такое полимеризационное наполнение?
- п) Какие способы проведения полимеризационного наполнения Вы знаете? В чем их суть?
- р) С какой целью проводят процессы модификации матрицы?
- с) Металлокерамические материалы.
- т) Какова технология получения, область применения металлокерамики

Тема: Полупроводниковые квантовые наноструктуры

Описание процедуры: текущий контроль выполняется в виде устного опроса

Вопросы для контроля:

- а) Назовите основной материал, применяющийся в настоящее время для создания интегральных схем?
- б) Что такое квантовые ямы, квантовые проволоки и квантовые точки?
- в) Назовите способы создания квантовых точек?
- г) Как можно получить квантовые ямы в гетероструктурах?
- д) Что описывает механизм роста Странского - Крастанова (квантовые точки, нити, ямы)?
- е) Назовите особые физические свойства полупроводниковых сверхрешеток ?

Тема Наноструктурированные пленочные материалы

Описание процедуры: текущий контроль выполняется в виде устного опроса

Вопросы для контроля:

- а) Методы получения наноструктурированных тонких пленок аморфного гидрогенизированного кремния, совместимых с технологией интегральных микросхем
- б) Опишите кратко общие методы получения тонких пленок.
- в) Метод эпитаксии требуемого вещества на ориентированную поверхность монокристалла лазерным испарением или молекулярным пучком
- г) Приведите схему метода CVD (химическое парофазное осаждение веществ).
- д) Какие прекурсоры применяют для получения пленок металла?
- е) Какие факторы определяют скорость роста пленки в методе CVD?
- ж) В чем суть метода молекулярного наслаивания?
- з) Опишите пленочную технологию Ленгмюра-Блоджетт.

Критерии оценивания.

Критерии оценки:

Зачтено – даны правильные ответы на все поставленные вопросы.

Не зачтено – в ответах на вопросы присутствуют ошибки.

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ПК-3.2	Умеет охарактеризовать конкретный наноструктурированный материал и продемонстрировать связь его свойств	Устное собеседование по теоретическим

	с внутренней структурой материала.	вопросам и выполнению практических заданий.
ПК-3.3	Умеет охарактеризовать конкретный наноструктурированный материал и продемонстрировать связь его свойств с внутренней структурой материала.	Устное собеседование по теоретическим вопросам и выполнению практических заданий.

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 3, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Зачет проводится в форме устного собеседования по теоретическим вопросам и (или) выполнения практических заданий

Пример задания:

1. Приоритеты современного материаловедения
2. Физические, механические и технологические свойства материалов
3. Монокристаллы, поликристаллы. Основные свойства кристаллических тел.
4. Различие в свойствах правильного кристалла и аморфного вещества
5. Характерные признаки черных и цветных металлов
6. Подразделение черных металлов на группы по физико-химическим свойствам
7. Подразделение цветных металлов на группы по физико-химическим свойствам
8. Наиболее часто встречающиеся кристаллические решетки
9. Явления, происходящие в металлах при нагревании и охлаждении, атомнокристаллическое строение. Основы теории кристаллического строения металлов
10. Кристаллические решетки металлов. Координационное число. Элементарная ячейка.
11. Кристаллографические направления и плоскости. Индексы Миллера.
12. Порядок определения индексов плоскости.
13. Какие плоскости входят в семейство структурно-эквивалентных плоскостей (как различаются их индексы) в кубической ячейке.
14. Особенности определения индексов Миллера в гексагональной решетке. Четырехиндексная система Миллера—Браве.
15. Анизотропия металлов и материалов.
16. Кристаллические модификации. Полиморфизм. Полиморфные превращения Дефекты строения кристаллических решеток. Классификация дефектов кристаллических решеток. Характеристика 0D-, 1D-, 2D- и 3D-дефектов.
17. Точечные дефекты.
18. Образование вакансий по Шоттки и по Френкелю. Механизмы возникновения точечных дефектов.
19. Равновесная концентрация вакансий. Формула Больцмана.
20. Атомные механизмы диффузии в твердом теле.

21. Искажения кристаллической решётки вблизи точечных дефектов
22. Энергии активации диффузии по вакансиям, диффузии по междоузлиям, диффузии по междоузлиям вытеснением, диффузии по краудинному механизму.

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не зачтено
Оценка «зачтено» ставится, если студент демонстрирует уверенное, либо достаточное знание дисциплины. Уверенное знание дисциплины означает, что: - студент самостоятельно и исчерпывающе отвечает на все вопросы билета, отвечает на дополнительные вопросы по темам билета; - в случае сомнения – отвечает самостоятельно на все дополнительные вопросы по другим темам дисциплины	Студент имеет существенные пробелы в знании основного материала по программе, допускает принципиальные ошибки при изложении материала. Оценка «незачет» ставится, если студент не ответил ни на один вопрос билета (ни самостоятельно, ни с помощью «наводящих» вопросов преподавателя).

6.2.2.2 Семестр 4, Типовые оценочные средства для проведения экзамена по дисциплине

6.2.2.2.1 Описание процедуры

Экзамен проводится в форме устного опроса по билетам с предварительной подготовкой студента. Экзаменатор вправе задавать дополнительные вопросы и давать расчетные задачи по программе данного курса.

Пример задания:

Вопросы к экзамену

1. Основные типы материалов. Структурные и функциональные материалы. Неорганические, органические и гибридные материалы. Электрические, диэлектрические, магнитные, оптические материалы.
2. Физические, механические и технологические свойства материалов.
3. Кристаллические твердые тела. Идеальные кристаллы. Реальные кристаллы. Монокристаллы. Аморфные твердые тела.
4. Кристаллические решетки, важнейшие типы. Полиморфизм. Изоморфизм. Типы твердых растворов.
5. Дефекты кристаллической структуры вещества и их влияние на свойства материала. Классификация дефектов.
6. Точечные дефекты: вакансии, дефекты с собственными и с примесными атомами. Механизмы диффузии, значение процессов диффузии для технологии, центры окраски, электропроводность.
7. Одномерные дефекты: дислокации краевые и винтовые, механизмы перемещения дислокаций в кристалле. Пластические деформации и одномерные дефекты.
8. Двумерные дефекты: фазовые границы, границы между зёрнами, дефекты упаковки. Поверхностная энергия.
9. Объемные дефекты (поры, микротрещины, включения) и их влияние на

технологические свойства материалов. Взаимосвязи между дефектами.

10. Важнейшие механические, технологические, физические и химические свойства твердых тел. Модуль упругости. Напряжение растяжения и напряжение сдвига. Прочность на разрыв. Методы испытаний. Диаграмма растяжения. Области пластических деформаций. Предел текучести.

11. Твердость по Бриннелю, Роквеллу, Виккерсу. Твердость и температура. Термошок. Твердость при переменных (циклических) нагрузках.

12. Вязкость разрушения. Типы разрывов. Коэффициент линейного расширения.

13. Старение материалов. Механизмы старения. Ползучесть. Механизм ползучести. Электромиграция.

14. Особенности физических взаимодействий в наном мире (электростатические, гравитационные взаимодействия, силы трения, колебательные процессы, значение сил Ван-дер-Ваальса, изменения оптических и магнитных свойств).

15. Основные техники синтеза твердых тел. Процессы физического и химического осаждения из газовой фазы. Различные варианты проведения химического осаждения из газовой фазы. Эпитаксия.

16. Жидкофазные процессы. Аэрозольные процессы. Распылительный пиролиз. Получение аэросила.

17. Золь-гель технологии. Ксерогель. Аэрогель. Получение плотных пленок и керамических волокон.

18. Полупроводниковые материалы. Классификация. Значение в технике. Полупроводники n- и p-типа. Электронная и дырочная проводимости.

19. Кремний – важнейший полупроводник. Структура и свойства кремния. Производство неочищенного кремния из природных источников. Производство поликристаллического солнечного кремния из металлургического кремния.

20. Вытягивание монокристаллического кремния из расплава. Метод Чохральского. Зонная плавка. Механическая обработка слитка. Травление. Шлифование с получением кремниевых плат

21. Методы получения монокристаллов. Метод Вернейля. Метод Бриджмена. Выращивание из раствора в расплаве (спонтанная кристаллизация). Выращивание кристаллов из газовой фазы. Кристаллы CdSpO Фрерихсу. Кристаллы ZnSpO Грину. Гидротермальное выращивание.

22. Технологии полупроводниковых устройств. Диффузия. Ионная имплантация. Нанесение изолирующих слоев. Осаждение тонких пленок. Эпитаксия. Ячейки Кнудсена.

23. Структурирование. Процессы травления и литографии. Фотолитография. Фоторезисты и требования к ним. Оптическая литография, Электронно-лучевая литография. Рентгеновская литография. Требования к чистоте полупроводниковых материалов.

24. Керамические материалы. Классификация. Конструкционная, функциональная керамика, биокерамика. Структура и свойства керамических материалов. Основные стадии их получения. Примеры золь-гель процессов для получения керамических материалов. Важнейшие представители керамических материалов.

25. Полимеры. Классификация. Кремнийсодержащие и на основе органических соединений углерода. Технологическое значение. Термопласты. Дуропласты. Эластомеры. Структура и основные свойства полимеров.

26. Основные способы получения высокомолекулярных соединений. Реакции полимеризации и поликонденсации. Радикальная, ионная и каталитическая полимеризации. Сырье для получения полимеров.

27. Каучуки. Пластмассы. Серийное производство полимерных продуктов. Литье под давлением. Прессование. Экструзия. Формование выдувом. Термоформование. Обработка полиуретанов. Функциональные полимеры.

28. Композиционные материалы. Классификация. Свойства. Композиты с полимерной,

металлической, керамической матрицами. Сравнение свойств композиционных материалов со свойствами традиционных конструкционных материалов.

29. Полимерные связующие. Методы получения композиционных материалов. Препреги. Конструкционные ткани. Механизмы взаимодействия армирующего материала и матрицы. Примеры применения композитов в различных отраслях техники.

30. Порошковая металлургия. Способы получения порошков. Спекание без давления. Холодная штамповка. Горячее прессование. Изостатическое горячее прессование. МІМ-процесс. Литье под давлением.

31. Методы исследования и диагностика нанообъектов и наносистем. Пространственное разрешение (угловое и линейное). Дифракционный предел разрешающей способности

32. Оптическая микроскопия для исследования нанообъектов (флуоресцентная, конфокальная, с насыщением люминесценции)

33. Виды коротковолновых излучений и механизмы их взаимодействия с веществом (рентгеновское, нейтроны, электроны).

34. Растровая (сканирующая) электронная микроскопия. Просвечивающая электронная микроскопия. Ионные микроскопы.

35. Сканирующая туннельная микроскопия. Сканирующая атомно-силовая микроскопия. Сканирующая оптическая микроскопия ближнего поля.

6.2.2.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос; - в ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений; - знания по предмету демонстрируются на фоне понимания его места в системе данной науки и междисциплинарных связей; - свободное владение терминологией; ответы на дополнительные вопросы четкие,	Дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, показано умение выделять существенные и несущественные признаки, - рассказ недостаточно логичен с единичными ошибками в частностях, исправленными студентом с помощью преподавателя; - ответы на дополнительные вопросы верные, но недостаточно полные и четкие	Ответ неполный, с ошибками в деталях, умение раскрыть значение обобщенных знаний не показано, речевое оформление требует поправок, коррекции; - логика и последовательность изложения имеют нарушения, студент не способен самостоятельно выделить существенные и несущественные признаки; - студент не ориентируется в, допускает серьезные ошибки; - студент не может ответить на большую часть дополнительных вопросов.	Ответ представляет собой разрозненные знания с существенными ошибками; - присутствуют фрагментарность, нелогичность изложения, незнание терминологии, речь неграмотная; - ответы на дополнительные вопросы неверные или отсутствуют.

краткие.			
----------	--	--	--

7 Основная учебная литература

1. Наноструктуры в электронике и фотонике / под ред. Ф. Рахмана; пер. с англ. Ю. А. Заболотной; под ред. Е. Л. Свинцова, 2010. - 343.
2. Наноструктурные материалы / пер. с англ. А. А. Шустикова под ред. Н. И. Бауровой, 2009. - 487.
3. Рыжонков Д. И. Наноматериалы : учебное пособие / Д. И. Рыжонков, В. В. Левина, Э. Л. Дзидзигури, 2010. - 365.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Андриевский Р. А. Наноструктурные материалы : учеб. пособие для вузов по направлению подгот. диплом. специалистов 651800" Физ. материаловедение" / Р. А. Андриевский, А. В. Рагуля, 2005. - 178, [9].
2. Технология материалов микро- и нанoeлектроники / Л.В. Кожитов [и др.], 2007. - 542.
3. Наноструктурные покрытия : сборник / под ред. А. Кавалейро, Д. де Хоссона; пер. с англ. А. В. Хачояна; под ред. Р. А. Андриевского, 2011. - 750.
4. Валиев Р. З. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства : монография / Р. З. Валиев, И. В. Александров, 2007. - 397.
5. Андриевский Р. А. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы : монография / Р. А. Андриевский, 2012. - 251.

9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Microsoft Windows Seven Professional [1x1000] RUS (проведен апгрейд с Microsoft Windows Seven Starter [5x200])-поставка 2010
2. Microsoft Office 2007 VLK (поставки 2007 и 2008)

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. прибор синхронного термического анализа STA 449F3 Jupiter для работы в температурном диапазоне от комн... до 1550 град. в режимах ДТА/ДСК/6ТГ в различ
2. Комплекс учебных измерительных приборов NanoEducator-5 SPMO1Ed
3. Комплекс управления учебными измерительными приборами NanoEducator-5 EMO1Ed