

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 15.09.2023 17:44:58  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по учебной  
и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В.Пекаревский  
«25» июня 2019 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**НАНОРАЗМЕРНОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА**

Направление подготовки

**28.04.03 Наноматериалы**

Направленность программы магистратуры  
**Наноматериалы для Промышленности 4.0**

Квалификация

**Магистр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **механический**

Кафедра **теоретических основ материаловедения**

Санкт-Петербург

2019

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность разработчика	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Доцент		доцент Мякин С.В.

Рабочая программа дисциплины «Наноразмерное состояние вещества» обсуждена на заседании кафедры теоретических основ материаловедения протокол от «06» июня 2019 № 8  
Заведующий кафедрой

М.М.Сычев

Одобрено учебно-методической комиссией механического факультета протокол от «21» июня 2019 № 11

Председатель

А.Н.Луцко

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Наноматериалы»		М.М. Сычев
Директор библиотеки		Т.Н.Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И.Богданова
Начальник учебно-методического управления		С.Н.Денисенко

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	04
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	05
3. Объем дисциплины .....	05
4. Содержание дисциплины	
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий .....	06
4.2. Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины .....	06
4.3. Занятия лекционного типа .....	07
4.4. Занятия семинарского типа .....	11
4.4.1. Семинары, практические занятия .....	11
4.4.2. Лабораторные занятия .....	12
4.5. Самостоятельная работа обучающихся .....	12
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	13
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....	14
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины .....	15
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины .....	16
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины .....	16
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	
10.1. Информационные технологии .....	16
10.2. Программное обеспечение .....	17
10.3. Базы данных и информационные справочные системы .....	17
11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы .....	18
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....	18

Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.**

Для освоения образовательной программы магистратуры обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<p><b>ПК-1</b> Способен использовать на практике современные представления о влиянии микро- и нано- структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, энергетическими частицами и излучением.</p>	<p><b>ПК-1.4</b> Исследования наноматериалов, опираясь на фундаментальные знания о микро- и нано- материалах.</p>	<p><b>Знать:</b> - классификацию веществ и материалов по особенностям электронной структуры, кристаллографическим характеристикам и физическим (электрическим, магнитным, физико-механическим) свойствам (ЗН-1); - физико-химические особенности наноразмерного состояния вещества (ЗН-2); <b>Уметь:</b> выдавать рекомендации по оптимальному выбору наноматериалов для конкретных применений (У-1); <b>Владеть:</b> методами исследования и анализа взаимосвязи между структурой, свойствами и техническими характеристиками различных классов материалов (Н-1)</p>
	<p><b>ПК-1.5</b> Опора на современные теоретические знания в своей практической деятельности</p>	<p><b>Знать:</b> - основные принципы установления взаимосвязи между составом, структурой и свойствами твердых веществ; основные характеристики кристаллов, типы кристаллических решеток, типы и характеристики дефектов кристаллической структуры (ЗН-3)</p>
	<p><b>ПК-1.6</b> Использование программных продуктов для прогнозирования и изучения свойств наноматериалов</p>	<p><b>Владеть:</b> Навыками использования современного программного обеспечения для анализа характеристик материалов и взаимосвязи между их составом, структурой и свойствами (Н-2)</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина относится к части формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины» образовательной программы магистратуры. (Б1.В.01.01) и изучается на 1 курсе в 1 и 2 семестрах.

В методическом плане дисциплина опирается на дисциплины «Материаловедение и технологии современных и перспективных материалов», «Структура и свойства наноматериалов», «Особочистые вещества и материалы». Полученные в процессе изучения дисциплины «Наноразмерное состояние вещества» знания, умения и навыки могут быть использованы при прохождении преддипломной практики, а также при выполнении выпускной квалификационной работы

## 3. Объем дисциплины.

Вид учебной работы	Всего, ЗЕ/академ. часов
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	<b>5/180</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>104</b>
занятия лекционного типа	34
занятия семинарского типа, в т.ч.	64
семинары, практические занятия	32
лабораторные работы	32
курсовое проектирование (КР или КП)	-
КСР	6
другие виды контактной работы	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>49</b>
<b>Форма текущего контроля</b>	доклад
<b>Форма промежуточной аттестации</b>	<b>Экзамен (27)</b>

#### 4. Содержание дисциплины.

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, академ. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, академ. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1	Физико-химическая природа наноразмерного состояния вещества	14	8	8	14	ПК-1
2	Структура кристаллов и структурные дефекты	8	8	8	14	ПК-1
3	Вещества и материалы с особыми физическими свойствами	6	8	8	12	ПК-1
4	Нанотехнология твердых веществ и материалов	6	8	8	9	ПК-1

##### 4.2 Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины

№ п/п	Код индикаторов достижения компетенции	Наименование раздела дисциплины
1	ПК-1.4, ПК-1.5	Физико-химическая природа наноразмерного состояния вещества
2	ПК-1.4, ПК-1.5, ПК-1.6	Структура кристаллов и структурные дефекты
3	ПК-1.4, ПК-1.5	Вещества и материалы с особыми физическими свойствами
4	ПК-1.4	Нанотехнология твердых веществ и материалов

### 4.3. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<p>1. Введение. Общая классификация наноструктурированных твердых веществ и материалов. Общая классификация свойств и характеристик наноструктурированных веществ и материалов. Общее представление об наноразмерном состоянии вещества и особых свойствах наноматериалов</p> <p>2. Межатомные связи. Взаимодействие между атомами (или ионами). Силы отталкивания и притяжения, обменные взаимодействия. Потенциальная энергия взаимодействия атомов. Межатомное равновесное расстояние. Особенности напряженных связей в наноматериалах.</p> <p>3. Ионная связь. Электронная конфигурация атомов и ионов. Прочность ионной связи в кристаллах. Решетка хлористого натрия. Энергия решетки регулярного ионного кристалла. Модель Борна. Экспериментальное определение энергии решетки ионного кристалла на примере хлорида натрия. Энергия ионизации атомов и сродство к электрону.</p> <p>4. Ковалентная химическая связь. Электронная конфигурация атомов углерода в решетке алмаза. Решетка алмаза и графита. Неупорядоченные твердые тела с ковалентной химической связью между атомами.</p> <p>5. Металлическая связь. Классическая и квантово-механическая модель металлического состояния. Свободные электроны и проводимость металлов</p> <p>6. Образование химической связи в твердом теле. Время релаксации, длина свободного пробега электрона, подвижность носителей зарядов в электрическом поле. Приближение свободных электронов для металлов. Модифицированная модель Зоммерфельда-Друде. Энергия Ферми. Распределение Ферми-Дирака.</p>	<p>2</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>2</p>	Интерактивная лекция

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Иновационная форма
1	<p>7. Зонная теория твердого тела. Эффективная масса электрона. Зависимость энергии электрона от волнового числа (волнового вектора). Модель рассеяния электронов в периодическом поле кристалла. Запрещенные зоны. Энергетические зоны в натрии и алмазе. Поверхность Ферми. Особенности зонной структуры в наноматериалах.</p> <p>8 Закон распределения электронов по энергетическим состояниям. Классификация твердых тел на основе зонной теории. Заполнение энергетических зон в металлах, диэлектриках и полупроводниках. Запрещенная зона. Температура Кюри.</p> <p>9 Механизм диффузии в твердых телах. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Температурная зависимость коэффициента диффузии. Основные представления о механизме диффузии в кристаллах галогенидов щелочных металлах.. Особенности процессов диффузии в наноструктурированных материалах, субмикронных пленках и поверхностных слоях.</p> <p>10. Движение ионов в электрическом поле. Заряд и подвижность ионов. Ионный ток. Ионная проводимость. Связь между диффузией и ионным током. Соотношение Эйнштейна. Влияние примесей на электропроводность</p>	2  1  2  1	Интерактивные лекции
2	<p>1. Периодическая решетка. Преобразование координат атомов в трехмерной периодической решетке. Трансляционные вектора. Примитивные ячейки в двухмерной и трехмерной решетках. Постоянные решетки. Основные типы решеток по Бравэ. Деформация кристаллических решеток в наноматериалах.</p> <p>2. Кубические решетки. Подрешетки и решетка кристалла хлорида натрия. Элементы симметрии решетки. Направления решетки. Индексы Миллера (h, k, l).</p> <p>3. Элементарные кристаллические структуры. Типы упаковок (гексагональная и кубическая плотноупакованные). Атомные радиусы, координационное число. Полиморфизм, изоморфизм.</p>	1  1  1	Интерактивные лекции

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
2	<p>4. Исследование структуры кристаллов. Отражение рентгеновских лучей. Источники излучения. Дифракция электронов и рентгеновских лучей. Разность хода лучей, порядок отражения. Уравнение Брэгга-Вульфа. Методы определения кристаллической структуры твердых тел (ионных и молекулярных кристаллов, аморфно-кристаллических полимеров). Ближний и дальний порядок. Структура стекол и аморфных тел. Наноразмерные включения и «квантовые точки» в стеклах</p> <p>5. Выращивание монокристаллов. Кристаллизация и рекристаллизация. Выделение новой фазы из твердого раствора и расплава. Особенности выращивания наноразмерных кристаллов.</p> <p>6. Электроны и дырки в твердом теле. Экситоны. Механизм электропроводности в металлическом кремнии, ионных солях оксидах металлов.</p> <p>7. Атомные (точечные) дефекты. Междоузельные атомы и вакансии. Комбинации дефектов. Дефекты по Френкелю и по Шоттки. Примесные атомы. Эффект Холла.</p>	<p>2</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p>	
3	<p>1. Электрические свойства металлов. Электропроводность металлов при низких и высоких температурах.</p> <p>2. Электрические свойства полупроводников и диэлектриков. Положение энергетических уровней примеси в запрещенной зоне. Число дырок и электронов и ширина запрещенной зоны. Концентрация и подвижность носителей заряда. Поляризация диэлектриков в электрическом поле. Ориентация электрического дипольного момента. Поляризованность диэлектрика, диэлектрическая восприимчивость.</p> <p>Влияние наноразмерного состояния материалов на их электрические свойства. Наноконкомпозиты с особыми электрическими характеристиками</p>	<p>1</p> <p>1</p> <p>1</p>	Интерактивные лекции

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
3	4. Сегнетоэлектрики и пьезоэлектрики, их применение. Обратимая поляризация сегнетоэлектриков. Спонтанная поляризация пьезоэлектриков (кристаллического кварца). Температура Кюри.	1	
	5. Магнитные свойства твердых тел. Виды магнетиков (диа-, парамагнетики и ферромагнетики). Ориентация магнитных моментов в ферромагнетике, антиферромагнетике и ферримагнетике. Доменная структура ферромагнетиков. Температура Кюри.	1	
	6. Влияние наноразмерного состояния материалов на их электрические свойства.	1	
4	1. Размерные эффекты в твердых телах. Основные принципы нанотехнологии.	2	Интерактивные лекции
	2 Кластеры углерода(фуллерены) и металлов и нанотрубки углерода. Строение и химические свойства.	2	
	3. Квантовые точки и плазмонные наночастицы.	2	

#### 4.4. Занятия семинарского типа.

##### 4.4.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	Квантово-химический расчет параметров молекул.	2	Анализ конкретных ситуаций
1	Расчет ширины запрещенной зоны и энергии активации примесной проводимости полупроводников	4	Анализ конкретных ситуаций
1	Расчет процессов зародышеобразования и роста нанокристаллов.	2	
2	Расчет параметров кристаллических решеток	2	Анализ конкретных ситуаций
2	Расчет концентрации носителей заряда в полупроводниках с собственным и примесным типом проводимости (n- и p-типа).	2	Анализ конкретных ситуаций
2	Расчет влияния концентрации дефектов кристаллической структуры на электрические свойства полупроводников и проводников	4	Анализ конкретных ситуаций
3	Расчет характеристик люминесценции легированных полупроводников	4	Анализ конкретных ситуаций
3	Расчет цветовых координат нанолюминофоров	4	Анализ конкретных ситуаций
4	Расчет размеров нанокристаллов по положению экситонного пика	2	Анализ конкретных ситуаций
4	Расчет размеров квантовых точек	2	
4	Расчет характеристик фрактальных структур	4	Анализ конкретных ситуаций

#### 4.4.2. Лабораторные занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Примечания
1	Исследование спектров пропускания, поглощения, зеркального и диффузного отражения. Определение веществ по характерным полосам поглощения. Определение оптической ширины запрещенной зоны	8	
2	Исследование материалов методами рентгенофазового и рентгеноструктурного анализа	4	
2	Исследование структуры материалов методом электронной микроскопии	4	
3	Исследование частотных зависимостей диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь	4	
3	Исследование вольт-амперных характеристик материалов	4	
4	Изучение эффекта магнитной левитации сверхпроводника	2	
4	Измерение спектрально-яркостных характеристик нанолюминофоров	6	

#### 4.5. Самостоятельная работа обучающихся.

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	Методы синтеза твердых веществ. Влияние технологии синтеза на свойства вещества. Особенности стехиометрии твердых веществ. Нарушения стехиометрии. Соотношения стехиометрических коэффициентов и координационных чисел. Ряды твердых соединений.	10	Выступление на семинарских занятиях с докладом

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
2	<p>Определение энергии разупорядочения (дефектообразования) кристаллической решетки на примере оксида <math>M_{1+\delta}O</math> по термодинамическим данным. Определение энергии разупорядочения по зависимости состава кристалла <math>MX_{1+\gamma}</math> (коэффициента нестехиометрии <math>\gamma</math>) от давления <math>X_2</math> и <math>T</math>. Эмпирические уравнения. Определение энергии разупорядочения по результатам измерения электропроводности и антиструктурной разупорядоченности в интерметаллидах калориметрическим методом.</p>	10	Выступление на семинарских занятиях с докладом
3	<p>Физико-механические свойства твердых веществ – прочность, твердость, пластичность, их взаимосвязь с микроскопическими свойствами (типом химической связи, кристаллическостью, фазовым составом).</p> <p>Влияние наноразмерного состояния на физико-механические свойства. Эффект нанопропрочнения.</p>	8	Выступление на семинарских занятиях с докладом
	<p>Явление сверхпроводимости. Виды сверхпроводников. Механизмы перехода материалов в сверхпроводящее состояние. Высокотемпературная сверхпроводимость.</p>	12	
4	<p>Особые свойства наноструктур с размерами менее <math>\sim 100</math> нм с точки зрения соотношения увеличения доли поверхностного слоя относительно общего объема частицы.</p>	9	Выступление на семинарских занятиях с докладом

### 5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <http://media.technolog.edu.ru>

## **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации**

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («удовлетворительно») освоения предусмотренных элементов компетенций.

Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена.

К сдаче экзамена допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля.

Текущий контроль успеваемости осуществляется в форме выступлений на семинарских занятиях с докладом на выбранную студентами тему как индивидуально, так и в составе малых групп, проверки индивидуальных заданий на практических занятиях.

Экзамен предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций.

При сдаче экзамена студент получает три вопроса из перечня вопросов, время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин.

Пример варианта вопросов на экзамене:

### **Билет № 1**

1. Общая классификация наноматериалов.
2. Кинетика процесса образования новой фазы (зародышеобразования). Критический радиус зародыша
3. Механизм электропроводности в металлическом кремнии, ионных солях и оксидах металлов. Подвижность электронов и дырок в ковалентных полупроводниках и окислах переходных металлов.

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1

Результаты освоения дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций достигнут пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

### **Примерные темы докладов**

1. Использование программных комплексов для квантово-химических расчетов молекул.
2. Сопоставление различных методов определения ширины запрещенной зоны полупроводников.
3. Прецизионное определение параметров кристаллических решеток.
4. Роль дефектов кристаллической структуры и их изучение методами РСА.
5. Расчет концентрации носителей заряда в полупроводниках с собственным и примесным типом проводимости (n- и p-типа).
6. Расчет влияния концентрации дефектов кристаллической структуры на электрические свойства полупроводников и проводников.
7. Практические трудности при измерении объемного и поверхностного электрического сопротивления полупроводников.
8. Современные области практического применения сверхпроводников.
9. Размерные эффекты в твердых телах. Практическое применение нанотехнологий для полупроводниковой промышленности.
10. Моделирование и расчеты плазмонных частиц, нанокристаллов, квантовых точек.

## 7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины.

### а) печатные издания:

1. Химическая диагностика материалов / В.Г.Корсаков [и др.]. – СПб.: изд. ПГУПС, 2010 – 225 с.
2. Производственные наукоемкие системы: учеб. пособие / Т.В.Лукашова [и др.]; СПбГТИ(ТУ). Каф. теорет. основ материаловедения . – СПб. 2010. - 152 с.
3. Материаловедение и технологии современных и перспективных материалов: лабораторный практикум / М.М.Сычев [и др.] – СПбГТИ(ТУ). Каф. теорет. основ материаловедения . – СПб. 2013. – 161 с.
4. Мякин, С.В. Получение и исследование диэлектрических полимерных пленочных покрытий: практикум / С.В.Мякин, М.М.Сычев, Е.С.Васина; СПбГТИ(ТУ). Каф. теорет. основ материаловедения. – СПб. 2015. – 16 с.
5. Мякин, С.В. Исследование спектров пропускания, поглощения, зеркального и диффузного отражения: практикум / С.В.Мякин, М.М.Сычев. СПбГТИ(ТУ). Каф. теорет. основ материаловедения . – СПб. 2015. – 34 с.
6. Изучение характеристик электрохромных устройств: практикум / С.В.Мякин [и др.] – СПбГТИ(ТУ). Каф. теорет. основ материаловедения . – СПб. 2018. – 20 с.
7. Фахльман, Б. Химия новых материалов и нанотехнологии: учебное пособие / Б.Фахльман. - Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. – 464 с.
8. Корсаков, В.Г. Физическая химия твердого тела / В.Г.Корсаков, М.М. Сычев, С.В. Мякин. – СПб: Изд-во ПГУПС, 2008. – 176 с.
9. Ежовский, Ю.К. Физико-химические основы технологии микро- и нанoeлектронных устройств: учебное пособие / Ю.К.Ежовский; СПб.: изд. СПбГТИ(ТУ), 2007. – 143 с.
10. Ежовский, Ю.К. Практикум по технологии и свойствам материалов электронной техники: учебное пособие / Ю.К.Ежовский; СПб.: изд. СПбГТИ(ТУ), 2007. – 102 с.
11. Мартинес-Дуарт, Дж. М. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники / Дж. М. Мартинес-Дуарт, Р. Дж. Мартин-Палма, Ф.Агулло-Руеда. – М.: Техносфера, 2007. – 367 с.
12. Захарова, Н.В. Определение цветовых координат люминофоров и их смесей: метод. указания / Н.В.Захарова, М.М.Сычев, В.Г.Корсаков. – СПб.: Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2006. – 23 с.
13. Пул, Ч. Нанотехнологии / Ч. Пул – М.: Техносфера, 2010. – 375 с.
14. Елисеев, А.А. Функциональные наноматериалы: Учебное пособие для вузов по спец. 020101 (011000) - Химия / А. А. Елисеев, А. В. Лукашин; под ред. Ю. Д. Третьякова. - М. : Физматлит, 2010. - 452 с.
15. Цао, Г. Наноструктуры и наноматериалы. Синтез, свойства и применение / Г. Цао, Ин Ван ; Пер. с англ. 2-го изд.: А. И. Ефимова, С. И. Каргов; Науч. ред. рус. изд. В. Б. Зайцев ; МГУ им. М. В. Ломоносова. Науч.-образоват. центр по нанотехнологиям. - М.: Научный мир, 2012. - 520 с.

### б) электронные издания:

1. Производственные наукоемкие системы: учеб. пособие / Т.В.Лукашова [и др.]; СПбГТИ(ТУ). Каф. теорет. основ материаловедения . – СПб., 2010. - 152 с.
2. Материаловедение и технологии современных и перспективных материалов: лабораторный практикум / М.М.Сычев [и др.] – СПбГТИ(ТУ). Каф. теорет. основ материаловедения . – СПб. 2013. – 161 с.

3. Мякин, С.В. Получение и исследование диэлектрических полимерных пленочных покрытий: практикум / С.В.Мякин, М.М.Сычев, Е.С.Васина; СПбГТИ(ТУ). Каф. теорет. основ материаловедения. – СПб. 2015. – 16 с.

4. Мякин, С.В. Исследование спектров пропускания, поглощения, зеркального и диффузного отражения: практикум / С.В.Мякин, М.М.Сычев. СПбГТИ(ТУ). Каф. теорет. основ материаловедения. – СПб. 2015. – 34 с.

5. Изучение характеристик электрохромных устройств: практикум / С.В.Мякин [и др.] – СПбГТИ(ТУ). Каф. теорет. основ материаловедения. – СПб. 2018. – 20 с.

6. Малыгин, А.А. Свойства и применение функциональных наноматериалов : текст лекций / А. А. Малыгин, А. А. Малков ; СПбГТИ(ТУ). Каф. хим.нанотехнологии и материалов электрон. техники. - СПб. : [б. и.], 2013. - 71 с.

7. Захарова, Н.В. Определение цветowych координат люминофоров и их смесей: метод. указания / Н.В.Захарова, М.М.Сычев, В.Г.Корсаков. – СПб.: Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2011. – 23 с.

## **8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.**

Интернет-ресурсы: проводить поиск в различных системах, таких как [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru), [www.google.ru](http://www.google.ru), [www.rambler.ru](http://www.rambler.ru), [www.yahoo.ru](http://www.yahoo.ru) и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем на лекционных занятиях.

С компьютеров института открыт доступ к:

[www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru) - eLIBRARY - научная электронная библиотека периодических изданий;

<http://e.lanbook.com> - Электронно-библиотечная система издательства «Лань», коллекции «Химия» (книги издательств «Лань», «Бином», «НОТ», «Профессия»), «Нанотехнологии» (книги издательства «Бином. Лаборатория знаний»);

[www.consultant.ru](http://www.consultant.ru) - КонсультантПлюс - база законодательных документов по РФ и Санкт-Петербургу;

[www.scopus.com](http://www.scopus.com) - База данных рефератов и цитирования Scopus издательства Elsevier;

<http://webofknowledge.com> - Универсальная реферативная база данных научных публикаций Web of Science компании Thomson Reuters;

<http://iopscience.iop.org/journals?type=archive>, <http://iopscience.iop.org/page/subjects> - Издательство IOP (Великобритания);

[www.oxfordjournals.org](http://www.oxfordjournals.org) - Архив научных журналов издательства Oxford University Press;

<http://www.sciencemag.org/> - Полнотекстовый доступ к журналу Science (The American Association for the Advancement of Science (AAAS));

<http://www.nature.com> - Доступ к журналу Nature (Nature Publishing Group);

<http://pubs.acs.org> - Доступ к коллекции журналов Core + издательства American Chemical Society;

<http://journals.cambridge.org> - Полнотекстовый доступ к коллекции журналов Cambridge University Press.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

Все виды занятий по дисциплине «Наноразмерное состояние вещества» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

СТП СПбГТИ 040-02. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ 018-2014. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 048-2009. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является:

- плановость в организации учебной работы;
- серьезное отношение к изучению материала;
- постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходить, имея знания по уже изученному материалу.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

### **10.1. Информационные технологии.**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

- чтение лекций с использованием слайд-презентаций;
- взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС.

### **10.2. Программное обеспечение.**

Для проведения занятий имеются персональные компьютеры с программным обеспечением:

- Windows,
- OpenOffice.
- средство управления базами данных для СУБД MySQL phpMyAdmin;
- среда имитационного моделирования MvStuduim 4.0;
- среда автоматизированного проектирования (CAD/CAM-система) ADEM v.8;
- программно-алгоритмический комплекс для обучения управлению процессами синтеза фуллеренов (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014662550 от 03.12.2014).

### **10.3. Базы данных и информационные справочные системы.**

1. <http://prometeus.nse.ru> – база ГПНТБ СО РАН.
2. <http://borovic.ru> - база патентов России.
3. <http://1.fips.ru/wps/portal/Register> - Федеральный институт промышленной собственности
4. <http://google.com/patent>- база патентов США.
5. <http://freepatentsonline.com>- база патентов США.
6. <http://patentmatie.com/welcome> - база патентов США.
7. [http://patika.ru/Epasenet\\_patentnie\\_poisk.html](http://patika.ru/Epasenet_patentnie_poisk.html) - европейская база патентов.
8. <http://gost-load.ru>- база ГОСТов.
9. <http://worldddofaut.ru/index.php> - база ГОСТов.
10. <http://elibrary.ru> – Российская поисковая система научных публикаций.
11. <http://springer.com> – англоязычная поисковая система научных публикаций.
12. <http://dissforall.com> – база диссертаций.
13. <http://diss.rsl.ru> – база диссертаций.
14. <http://webbook.nist.gov/chemistry> - NIST Standard Reference Database.
15. <http://riodb.ibase.aist.go.jp/riohomee.html> - база спектров химических соединений.
16. <http://markmet.ru> – марочник статей.

## **11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы.**

Для проведения занятий в интерактивной форме, чтения лекций в виде презентаций, демонстрации видео материалов используется мультимедийная техника.

Для проведения практических занятий используют компьютерный класс с персональными компьютерами.

Для проведения практических занятий используется компьютерный класс, оборудованный персональными компьютерами, объединенными в сеть.

Для проведения мастер классов и демонстрации практической исследовательской работы используется следующее оборудование:

1. Комплекс электрических измерений наноструктур (RLC метр E7-20, вольтметр универсальный электрометрический В7Э-42, комплекс измерительный К505, источник калиброванных напряжений, электрометр Keithley, генератор сигналов низкочастотный ГЗ-123, мегомметр ПС-1, источник питания постоянного тока Б5-44);

2. Комплекс спектральных измерений (Атомно-абсорбционный спектрометр МГА-915, сканирующий электронный микроскоп Tescan Vega 3 SBH, дифрактометр рентгеновский Rigaku Smartlab, спектрофотометры СФ-46, СФ-56, спектроколориметр ТКА-ВД, яркомер ФПЧ-УХЛ4, лазерный микроанализатор LMA -10, ИК-микроскоп со спектрофотометром Nicolet FT-IR, спектрофлуориметр AvaSpec-3648, исследовательский радиометр IL1700, микроскоп люминесцентный ЛЮМАМ);

3. Комплекс оптических измерений (15 металлографических микроскопов МИМ-4, МИМ-6, МИМ-8, универсальный измерительный микроскоп УИМ-21, рефрактометр ИРФ-23, 2 минералогических микроскопа МИН-8, 2 микротвердомера ПМТ-3).

## **12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебные процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014.

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации по  
дисциплине «Наноразмерное состояние вещества»**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования.**

Индекс компетенции	Содержание	Этап формирования
ПК-1	<b>Способен использовать на практике современные представления о влиянии микро- и нано- структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, энергетическими частицами и излучением.</b>	промежуточный

## 2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ПК-1.4</b> Исследования наноматериалов, опираясь на фундаментальные знания о микро- и наноматериалах.	Знает классификацию веществ и материалов по особенностям электронной структуры, кристаллографическим характеристикам и физическим (электрическим, магнитным, физико-механическим) свойствам (ЗН-1);	Ответы на вопросы №1-10 к экзамену	Знает общую классификацию веществ и материалов по особенностям электронной структуры и физическим свойствам	Способен привести конкретные примеры веществ и материалов, включая наноматериалы, иллюстрирующие их классификацию по особенностям электронной структуры и физическим свойствам.	Способен самостоятельно выбирать типы материалов для конкретных применений исходя из их классификации по особенностям электронной структуры и физическим свойствам.
	Знает физико-химические особенности наноразмерного состояния вещества (ЗН-2);	Ответы на вопросы №11-20 к экзамену	Имеет представление об основных особенностях наноразмерного состояния вещества.	Знает основные отличительные особенности наноматериалов и способен проиллюстрировать их на конкретных примерах	Способен проанализировать особенности структуры и свойств наноматериалов для применения в конкретных технологиях.
	Умеет выдавать рекомендации по оптимальному выбору наноматериалов для конкретных применений (У-1)	Ответы на вопросы №2-4, 9, 11, 14-16, 22, 33, 34 к экзамену Отчеты о выполнении заданий на практических занятиях	Имеет представление о принципах выбора наноматериалов для различных применений	Способен выбирать материалы для конкретных применений в соответствии с заданием	Способен самостоятельно формулировать цели и решать задачи по оптимальному выбору наноматериалов для конкретных применений

	Владеет методами исследования и анализа взаимосвязи между структурой, свойствами и техническими характеристиками различных классов материалов (Н-1)	Ответы на вопросы № 22-23, 31, 32 к экзамену Отчеты о выполнении лабораторных работ и заданий на практических занятиях	Имеет представление об основных подходах к установлению взаимосвязи между структурой, свойствами и техническими характеристиками материалов	Способен анализировать взаимосвязь между структурой, свойствами и техническими характеристиками материалов на конкретных примерах	Способен самостоятельно формулировать цели и решать задачи по анализу взаимосвязи между структурой, свойствами и техническими характеристиками материалов
<b>ПК-1.5</b> Опора на современные теоретические знания в своей практической деятельности	Знает основные принципы установления взаимосвязи между составом, структурой и свойствами твердых веществ; основные характеристики кристаллов, типы кристаллических решеток, типы и характеристики дефектов кристаллической структуры (ЗН-3)	Ответы на вопросы № 21-30 к экзамену	Имеет представление об основных принципах установления взаимосвязи между составом, структурой и свойствами твердых веществ, а также особенностях их кристаллической структуры	Способен самостоятельно привести или рассмотреть в соответствии с заданием конкретные примеры, наглядно иллюстрирующие взаимосвязи между составом, структурой и свойствами твердых веществ	Способен самостоятельно анализировать взаимосвязь между составом, структурой и свойствами твердых веществ, анализировать характеристики их кристаллической структуры на конкретных примерах
<b>ПК-1.6</b> Использование программных продуктов для прогнозирования и изучения свойств наноматериалов	Владеет навыками использования современного программного обеспечения для анализа характеристик материалов и взаимосвязи между их составом, структурой и свойствами (Н-2)	Ответы на вопросы № 20, 22-24, 26, 35, 36 к экзамену Отчеты о выполнении лабораторных работ и заданий на практических занятиях	Способен использовать современное программное обеспечение для анализа характеристик материалов	Способен использовать современное программное обеспечение для анализа взаимосвязи между их составом, структурой и свойствами материалов	Способен самостоятельно ставить задачи для применения программного обеспечения в области анализа взаимосвязи состава-структура-свойства материалов и делать выводы на основании результатов расчетов

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме экзамена. Критерии оценивания («удовлетворительно», «хорошо», «отлично»; приведены в таблице 2).

### 3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации

#### Вопросы для подготовки к экзамену:

1. Общая классификация твердых веществ и материалов
2. Общая классификация свойств и характеристик веществ и материалов.
3. Основные особенности структуры и свойств наноматериалов.
4. Общая классификация наноматериалов.
5. Взаимодействие между атомами (ионами). Силы отталкивания и притяжения. Потенциальная энергия взаимодействия атомов в твердом теле.
6. Электронная конфигурация атомов и ионов. Прочность ионной связи в кристаллах. Кристаллическая решетка хлористого натрия.
7. Ковалентная химическая связь. Молекула водорода. Одномерный молекулярный кристалл  $H_6$ . Электронная конфигурация атомов углерода в решетке алмаза.
8. Металлы. Время релаксации, длина свободного пробега электрона, подвижность носителей зарядов в электрическом поле.
9. Зонная теория твердого тела. Эффективная масса электрона. Зависимость энергии электрона от волнового вектора. Модель рассеяния электронов в периодическом поле кристалла. Запрещенные зоны. Закон распределения электронов по энергетическим состояниям.
10. Классификация твердых тел на основе зонной теории. Заполнение энергетических зон в металлах, диэлектриках и полупроводниках. Различия в свойствах металлов. Заполнение  $3d$ - и  $4s$ - уровней в меди и никеле. Температура Кюри.
11. Механизм электропроводности в металлическом кремнии, ионных солях и оксидах металлов. Подвижность электронов и дырок в ковалентных полупроводниках и оксидах переходных металлов.
12. Законы Фика. Коэффициент диффузии. Температурная зависимость коэффициента диффузии. Основные представления о механизме диффузии.
13. Движение ионов в электрическом поле. Заряд и подвижность ионов. Ионный ток. Ионная проводимость. Связь между диффузией и ионным током.
14. Электрические свойства металлов. Электропроводность металлов при низких и высоких температурах.
15. Электрические свойства полупроводников. Положение энергетических уровней примеси в запрещенной зоне.
16. Ионная, электронная и ориентационная поляризация диэлектриков. Полярные и неполярные молекулы. Ориентация электрического дипольного момента. Поляризованность диэлектрика, диэлектрическая восприимчивость, поле диэлектрика, диэлектрическая проницаемость.
17. Обратимая поляризация сегнетоэлектриков. Спонтанная поляризация пьезоэлектриков. Температура Кюри.
18. Экспериментальное определение энергии решетки ионного кристалла на примере хлорида натрия. Цикл Борна-Габер. Энергия ионизации атомов и средство к электрону.
19. Металлическая связь. Классическая и квантово-механическая модель металлического состояния. Плазмоны.
20. Кубические решетки. Подрешетки и решетка ионного кристалла хлорида натрия. Решетки рутила и кварца. Элементы симметрии решетки. Направления решетки. Индексы Миллера ( $h, k, l$ ).

21. Типы упаковок (гексагональная и кубические плотноупакованные. Атомные радиусы, координационное число. Полиморфизм, изоморфизм.

22. Дифракция рентгеновских лучей. Разность хода лучей, порядок отражения. Уравнение Брэгга-Вульфа и экспериментальные методы определения кристаллической структуры твердых тел.

23. Пространственное распределение электронной плотности для  $s$ -,  $p$ - и  $d$ -орбиталей. Принцип Паули. Симметричная и антисимметричная волновые функции и образование химической связи.

24. Приближение свободных электронов для металлов. Модифицированная модель Зоммерфельда. Энергия Ферми.

25. Междоузельные атомы и вакансии. Комбинации дефектов. Дефекты по Френкелю и по Шоттки. Примесные атомы. Заряженные и незаряженные дефекты. Нестехиометричность. Образование вакансий при введении примесных атомов.

26. Кинетика процесса образования новой фазы (зародышеобразования). Критический радиус зародыша

27. Оптическое поглощение, связанное с наличием дефектов. Модель центров окрашивания в кристаллах галогенидов щелочных металлов. Ассоциированные дефекты (F-центры).

28. Закон Кюри. Классическая теория парамагнетизма. Распределение магнитных моментов по направлениям. Молярная восприимчивость парамагнетика.

29. Образование пленок на поверхности твердого тела. Опыты Вагнера. Кинетика роста толстых и тонких пленок

30. Виды магнетиков. Ориентация магнитных моментов в ферромагнетике, антиферромагнетике и ферримагнетике. Доменная структура ферромагнетиков. Температура Кюри.

31. Намагниченность ферромагнетика, остаточная намагниченность, петля гистерезиса, коэрцитивная сила. Магнитные свойства ферро- и ферримагнетиков в порошкообразном состоянии.

32. Методы исследования твердых тел.

33. Методы синтеза кристаллических материалов.

34. Композиционные материалы.

35. Квантово размерный эффект и нано материалы.

36. Методы расчета характеристик наноматериалов.

К экзамену допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. При сдаче экзамена, студент получает три вопроса из перечня, приведенного выше.

Время подготовки студента к устному ответу на вопросы - до 30 мин.

#### **4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКДВ. Порядок организации и проведения зачетов и экзаменов.