


Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

**УТВЕРЖДЕНО**  
решением Ученого совета ИФФВТ  
от « 24 » мая 2023 г., протокол № 10

Председатель \_\_\_\_\_ /В.В. Рыбин/  
(подпись)  
« 24 » мая 2023 г.



### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Дисциплина:	«Материаловедение наноматериалов и наносистем»
Факультет	Инженерно-физический факультет высоких технологий (ИФФВТ)
Кафедра	Кафедра Физического материаловедения (ФМ)
Курс	3

Направление (специальность): **28.03.02 «Наноинженерия»**  
*код направления (специальности), полное наименование*

Направленность  
(профиль/специализация) **Нанотехнологии и наноматериалы**  
*полное наименование*

Форма обучения **очная**  
*очная, заочная, очно-заочная (указать только те, которые реализуются)*

Дата введения в учебный процесс УлГУ: «01» сентября 2023 г.

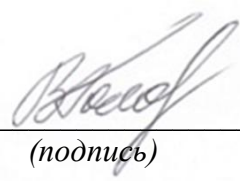
Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.


Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Сведения о разработчиках:

ФИО	Кафедра	Должность, ученая степень, звание
Махмуд-Ахунов М.Ю.	ФМ	Доцент, к.ф.-м.н.

<b>СОГЛАСОВАНО</b>
<b>Заведующий выпускающей кафедрой Физического материаловедения</b>
 _____ /В.Н. Голованов/ (подпись) (ФИО)
« 19 » мая _____ 2023 г.

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

## ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ


**В рабочую программу дисциплины «Материаловедение наноматериалов и наносистем»**

Направление (специальность): **28.03.02 Наноинженерия (бакалавриат)**

Направленность (профиль/специализация): **Нанотехнологии и наноматериалы**

Форма обучения: **очная**

№ п/п	Содержание изменения или ссылка на прилагаемый текст изменения	ФИО заведующего кафедрой, реализующей дисциплину/ выпускающей кафедрой	Подпись	Дата

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цели освоения дисциплины:

- формирование у студентов систематизированных знаний и практических навыков в области общего материаловедения;
- формирование систематизированных знаний по физическим принципам получения наноматериалов, анализу их свойств и практическому применению;
- формирование у студентов навыков проведения научно-практических экспериментов;
- формирование комплексных профессиональных и общекультурных компетенций в сфере профессиональной и научно-исследовательской деятельности.

### Задачи освоения дисциплины:

- познакомить студентов с основными особенностями кристаллической структуры и дефектами строения твердых тел, энергетическими условиями процесса кристаллизации и анализа фазовых превращений, а также их влияние на механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов;
- познакомить студентов с основными размерными эффектами, особенностями кристаллической структуры наноматериалов, с физической и химической сущностью процессов и явлений, протекающих в микро- и наносистемах;
- освоение студентами основных теоретических представлений о физических процессах, определяющих закономерности поведения наноматериалов и наносистем в различных условиях эксплуатации;
- приобретение практических навыков по анализу свойств наноматериалов современными методами и технологиями, а также использованию теоретических положений для решения практических задач в профессиональной деятельности.


## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Материаловедение наноматериалов и наносистем» относится к базовой части Блока 1 цикла подготовки бакалавров по направлению **28.03.02. «Наноинженерия»**, в котором изучаются физические основы общего материаловедения, а также физико-химические процессы получения наноматериалов и систем на их основе.

В разделе изучаются основы кристаллического строения твердого тела, дефекты, а также фазовые равновесия и структурообразование при кристаллизации. Рассматриваются размерные эффекты наноматериалов, фазовые превращения, происходящих в наноструктурированных и нанодисперсных материалах, и их влияния на физические (механические, электрические, магнитные, каталитические и др.) и технологические свойства.

Освоение дисциплины базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин:

- Аналитическая геометрия и линейная алгебра
- Дифференциальные уравнения и дискретная математика
- Информатика
- История развития технологий
- Математический анализ
- материаловедение
- Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы)

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

- Ознакомительная практика
- Основы надежности технических систем
- Основы нанотехнологий и наноматериалов
- Прикладная механика
- Проектная деятельность
- Теория вероятностей и математическая статистика
- Физика
- Химия
- Экология


Результаты освоения дисциплины будут необходимы для дальнейшего процесса обучения в рамках поэтапного формирования компетенций при изучении следующих специальных дисциплин:

- Диагностика полупроводниковых структур
- Композиционные материалы. Металломатричные, с полимерной матрицей
- Методы диагностики в нанотехнологиях
- Механика материалов и основы конструирования
- Получение и обработка металлов и соединений
- Преддипломная практика
- Применение ЭВМ в инженерных расчетах
- Программные статистические комплексы
- Системы управления технологическими процессами
- Сопротивление материалов
- Структура и свойства металлических наноматериалов
- Технологическая (проектно-технологическая) практика
- Технологические системы в нанотехнологиях
- Физико-химические основы нанотехнологий
- Ядерная физика
- Высоковакуумные технологические процессы в микроинженерии
- Наноэлектроника


а также для прохождения учебной, производственной и преддипломной практик, государственной итоговой аттестации.

### **3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

<b>Код и наименование реализуемой компетенции</b>	<b>Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций</b>
ОПК-1 Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общеин-	Знать: основы постановки эксперимента, сбора данных и методики их обработки.  Уметь: экспериментально оценивать физические свойства нано- и

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

женерных знаний, методов математического анализа и моделирования	<p>микросистем на различных уровнях масштабирования.</p> <p>Владеть: методами обработки и анализа полученных результатов эксперимента, а также опытом оформления отчетов по проведенным исследованиям.</p>
ПК-2 Освоение конструктивных особенностей и режимов работы оборудования по производству наноматериалов и наноструктур	<p>Знать: Технологические особенности получения различных наноматериалов</p> <p>Уметь: подбирать наноструктуры и методы их производства для реализации нанообъектов с заданными характеристиками под конкретные требования преобразования сигналов различной природы (электромагнитные, оптические, тепловые, механические и др.)</p> <p>Владеть: принципами и закономерностями строения и свойств кристаллических твердых тел, а также их изменений при рассмотрении нанообъектов и систем на их основе.</p>
ПК-3 Использование методик комплексного анализа структуры и физико-химических свойств наноматериалов и наноструктур	<p>Знать: основные виды и свойства наноматериалов, приборов и устройств на их основе</p> <p>Уметь: правильно использовать материаловедческие закономерности для реализации потенциальных возможностей материалов при проектировании и создании микро- и наносистем;</p> <p>Владеть: методами экспериментального исследования параметров и характеристик наноматериалов и наносистем, методами контроля качества нанообъектов.</p>
ПК-5 Проведение работ по модернизации оборудования и модификации свойств наноматериалов и наноструктур	<p>Знать:  типовые технологические процессы получения наноматериалов.</p> <p>Уметь: применять методы теоретического и экспериментального исследования</p> <p>Владеть: методами контроля качества нанообъектов.</p>

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

#### 4. ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ


4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах (всего) – 5 ЗЕ.

4.2. По видам учебной работы (в часах):

Вид учебной работы	Количество часов (форма обучения – очная)		
	Всего по плану	в т.ч. по семестрам	
		1-4	5
Контактная работа обучающихся с преподавателем в соответствии с УП	72/72	-	72/72
Аудиторные занятия:			
• Лекции (в т.ч. 0 ПрП)*	18/18	-	18/18
• практические и семинарские занятия (в т.ч. 0 ПрП)*	18/18	-	18/18
• лабораторные работы, практикумы (в т.ч. 0 ПрП)*	36/36	-	36/36
Самостоятельная работа	72/72	-	72/72
Форма текущего контроля знаний и контроля самостоятельной работы: тестирование, контр. работа, коллоквиум, реферат и др.(не менее 2 видов)	Устный опрос, тестирование, решение задач	-	Устный опрос, тестирование, решение задач
Курсовая работа	-	-	-
Виды промежуточной аттестации (экзамен, зачет)	36/36	-	36/36
<b>Всего часов по дисциплине</b>	<b>180/180</b>	<b>-</b>	<b>180/180</b>

\* В случае необходимости использования в учебном процессе частично/ исключительно дистанционных образовательных технологий в таблице через слеш указывается количество часов работы ППС с обучающимися для проведения занятий в дистанционном формате с применением электронного обучения.

\*часы ПрП по дисциплине указываются в соответствии с УП, в случае, если дисциплиной предусмотрено выполнение отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью обучающихся.

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

### 4.3. Содержание дисциплины (модуля). Распределение часов по темам и видам учебной работы:

Название разделов и тем	Всего	Виды учебных занятий				
		Аудиторные занятия			Занятия в интерактивной форме (в т.ч.)	Самостоятельная работа
		лекции	практические занятия, семинары	лабораторные работы		
1. Кристаллическое строение твердого тела	18	1	1	8	-	8
2. Дефекты в твердых телах	12	2	2	-	-	8
3. Механические свойства твердых тел	20	2	2	8	8	8
4. Диаграммы состояния	12	2	2	-	-	8
5. Углеродистые и легированные стали. Маркировка сталей.	12	2	2	-	-	8
6. Структура наноматериалов и размерные эффекты	16	3	3	-	8	10
7. Производство порошковых и объемных наноматериалов	24	3	3	8	8	10
8. Технология тонких пленок	30	3	3	12	12	12
<i>Экзамен по дисциплине</i>	36	-	-	-	-	-
<b>ИТОГО:</b>	<b>180</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>72</b>

## 5. СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

### СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

#### Раздел 1. Кристаллическое строение твердого тела

Тема 1. Аморфные и кристаллические тела. Структура кристаллов и пространственная решетка. Индексирование направлений, плоскостей (три способа).

Тема 2. Решетки Браве. Примеры простых кристаллографических структур.


#### Раздел 2. Дефекты в твердых телах

Тема 3. Классификация дефектов. Тепловые точечные дефекты (по Френкелю и Шоттки). Равновесная концентрация точечных дефектов.

Тема 4. Радиационные дефекты. Дислокации. Контур и вектор Бюргерса.

Тема 5. Напряжения, необходимые для образования дислокации в совершенном кристалле. Движение дислокаций. Напряжения, связанные с дислокациями. Энергия дислокации. Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами.

Тема 6. Источники дислокаций. Механизм Франка-Рида и Бардина-Херинга. Дефекты упаковки и частичные дислокации. Границы зерен.

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

### **Раздел 3. Механические свойства твердых тел**

Тема 7. Механические напряжения и деформация. Закон Гука для изотропных твердых тел.

Тема 8. Пластические свойства кристаллических твердых тел. Механизмы пластической деформации (двойникование, скольжение, дислокационный). Фактор Шмидта. Механизмы хрупкого разрушения. Теория Гриффитса и Орована.

Тема 9. Диаграмма напряжение-деформация. Характеристики упругости, пластичности и прочности. Критерий неустойчивости Консидера.

### **Раздел 4. Диаграммы состояния**

Тема 10. Формирование структуры металла при кристаллизации. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование. Строение металлического слитка. Полиморфные превращения.

Тема 11. Строение свойства сплавов. Виды сплавов: механическая смесь, химическое соединение и твердый раствор. Классификация твердых растворов: внедрения, замещения, вычитания.

Тема 12. Методы построения диаграмм состояния. Химический потенциал. Правило фаз. Диаграммы состояния двойных систем при неограниченной растворимости компонентов в твердом состоянии. Правило рычага. Темп кристаллизации.

Тема 13. Диаграммы состояния двойных систем при ограниченной растворимости компонентов в твердом состоянии (эвтектического и перитектического типа, химическое соединение).

Тема 14. Диаграмма состояния железо-углерод. Стабильная и метастабильная диаграмма. Структурные составляющие сплавов железа с углеродом. Критические точки. Структурные превращения в доэвтектоидных сталях. Структурные превращения в заэвтектоидных сталях.

### **Раздел 5. Углеродистые и легированные стали. Маркировка сталей.**

Тема 15. Углеродистые стали. Классификация по типу раскисления, по структуре, по качеству.

Тема 16. Легированные стали. Основные легирующие элементы. Маркировка легированных сталей.

### **Раздел 6. Структура наноматериалов и размерные эффекты**

Тема 17. Классификация наноматериалов. Особенности структуры наноматериалов. Закон Холла-Петча. Термодинамическая модель кластера. Понижение температуры плавления кластеров.

Тема 18. Характеристика дисперсности наноматериалов. Поверхность, границы, морфология наноматериалов.


Тема 19. Электрические, магнитные, тепловые свойства наноматериалов.

### **Раздел 7. Производство порошковых и объемных наноматериалов**

Тема 20. Основные методы получения консолидированных наноматериалов. Получение порошковых наночастиц. Физические методы.

Тема 21. Механические методы получения порошковых частиц. Мельницы. Ударно-волновой синтез, кавитационный. Консолидация объемных наноматериалов.



Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

Тема 22. Получение нанокристаллических материалов. Интенсивная пластическая деформация. Аморфные металлические сплавы (АМС). Методы получения АМС.

Тема 23. Химические методы получения наночастиц и материалов: осаждения, золь-гель метод, газофазные реакции.

Тема 24. Основные разновидности углерода. Углеродные нанотрубки (УНТ), фуллерен, графен. Методы получения, свойства, применение.

### **Раздел 8. Технология тонких пленок**

Тема 25. Тонкие пленки. Термовакuumное напыление тонких пленок. Ионно-плазменные методы получения тонких пленок.

Тема 26. Эпитаксия. Гомо- и гетероэпитаксия. Газофазная, жидкостная и молекулярно-лучевая эпитаксия.

Тема 27. Пленки Ленгмюр-Блоджетт. Фазовая диаграмма. Методика получения. Применение.

Тема 28. Анодные оксидные пленки. Технология получения. Режимы анодного воздействия (потенцио- и гальваностатический). Анодное окисление алюминия. Механизмы роста пористого анодного оксида алюминия (ПАОА). Получение высокоупорядоченного ПАОА. Формирование сотовой структуры ПАОА. Применение ПАОА.

Тема 29. Анодное окисление титана. Механизмы роста пористого оксида титана. Получение нанотрубчатого оксида титана. Применение.

Тема 30. Анодное растворение полупроводников. Механизм роста макро- и нанопористого кремния. Применение.

Тема 31. Катодное осаждение в технологии микро и наноструктур. Физико-химические основы катодного осаждения. Осаждение металлов и сплавов, матричное осаждение.

Тема 32. Литография. Фотолитография, электроннолучевая, рентгеновская, лазерная. Наноманипуляция и нанолитография. Мягкая литография.

## **6. ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ И СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ**

### **Раздел 1. Кристаллическое строение твердого тела**

**Тема 1.** Аморфные и кристаллические тела. Индексирование направлений, плоскостей в кристалле (дискуссия).


**Вопросы по темам раздела (для обсуждения на занятии, для самостоятельного изучения)**

1. Индексирование плоскостей в кристалле тремя методами: метод отрезков, по символам атомных рядов, по координатам трех узлов кристаллической решетки (КР).
2. Решетки Браве. Сингонии, элементы симметрии.
3. Особенности индексирования гексагональных КР

### **Раздел 2. Дефекты в твердых телах**

**Тема 3.** Классификация дефектов. Тепловые точечные дефекты (по Френкелю и Шоттки). Равновесная концентрация точечных дефектов по Шоттки.

**Тема 6.** Источники дислокаций. Механизм Франка-Рида. Дефекты упаковки и

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

частичные дислокации. Границы зерен.

**Вопросы по темам раздела (для обсуждения на занятии, для самостоятельного изучения)**

1. Аналитический вывод зависимости концентрации тепловых точечных дефектов от температуры.
2. Описание работы источника дислокаций по механизму скольжения и переползания.
3. Механизм возникновения дефектов упаковки и границ зерен.

### **Раздел 3. Механические свойства твердых тел**

**Тема 8.** Пластические свойства кристаллических твердых тел. Механизмы пластической деформации (двойникование, скольжение, дислокационный). Фактор Шмидта.

**Вопросы по темам раздела (для обсуждения на занятии, для самостоятельного изучения)**

1. Количественные характеристики пластических свойств материалов.
2. Механизмы хрупкого разрушения. Теория Гриффитса и Орована.

### **Раздел 4. Диаграммы состояния**

**Тема 11.** Строение свойства сплавов. Виды сплавов: механическая смесь, химическое соединение и твердый раствор. Классификация твердых растворов: внедрения, замещения, вычитания.

**Тема 13.** Диаграммы состояния двойных систем при ограниченной растворимости компонентов в твердом состоянии (эвтектического типа).

**Вопросы по темам раздела (для обсуждения на занятии, для самостоятельного изучения)**

1. Метод построения диаграмм фазового состояния.
2. Количественное описание изменения состава и концентрации сплавов по диаграмме состояния.

### **Раздел 5. Углеродистые и легированные стали. Маркировка сталей**

**Тема 15.** Углеродистые стали. Классификация по типу раскисления, по структуре, по качеству.

**Тема 16.** Легированные стали. Основные легирующие элементы. Маркировка легированных сталей.

**Вопросы по темам раздела (для обсуждения на занятии, для самостоятельного изучения)**

1. Классификация сталей, области применения.
2. Расшифровка марок сталей.


### **Раздел 6. Структура наноматериалов и размерные эффекты**

**Тема 17.** Классификация наноматериалов. Особенности структуры наноматериалов. Закон Холла-Петча. Термодинамическая модель кластера. Понижение температуры плавления кластеров.

**Тема 18.** Характеристика дисперсности наноматериалов. Поверхность, границы, морфология наноматериалов.

**Вопросы по темам раздела (для обсуждения на занятии, для самостоятельного изучения)**

1. Вывод соотношения для температуры плавления нанокластера.

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

2. Удельная поверхность. Распределение по размерам.

### **Раздел 7. Производство порошковых и объемных наноматериалов.**

**Тема 21.** Механические методы получения порошковых частиц. Мельницы. Консолидация объемных наноматериалов.

**Вопросы по темам раздела (для обсуждения на занятии, для самостоятельного изучения)**

1. Технологические особенности мельниц для получения наночастиц.
2. Методики синтеза дисперсных наноматериалов.

### **Раздел 8. Технология тонких пленок**

**Тема 26.** Эпитаксия. Гомо- и гетероэпитаксия. Газофазная, жидкостная и молекулярно-лучевая эпитаксия.

**Тема 28.** Анодные оксидные пленки. Технология получения. Режимы анодного воздействия (потенцио- и гальваностатический). Анодное окисление алюминия. Механизмы роста пористого анодного оксида алюминия (ПАОА). Получение высокоупорядоченного ПАОА. Формирование сотовой структуры ПАОА. Применение ПАОА.

**Вопросы по темам раздела (для обсуждения на занятии, для самостоятельного изучения)**

1. Механизм роста эпитаксиальных пленок. Технологические особенности реализации.
2. Электрохимические методы формирования пористых наноструктур. Механизмы порообразования. Возможность получения тонких композитных пленок.

## **7. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ (ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ)**

### **Раздел 3. Механические свойства твердых тел**

**Тема 7.** Механические напряжения и деформация. Закон Гука для изотропных твердых тел.

**Тема 8.** Пластические свойства кристаллических твердых тел. Механизмы пластической деформации (двойникование, скольжение, дислокационный). Фактор Шмидта. Механизмы хрупкого разрушения. Теория Гриффитса и Орована.

**Тема 9.** Диаграмма напряжение-деформация. Характеристики упругости, пластичности и прочности. Критерий неустойчивости Консидера.


**Лабораторная работа №1.** Определение параметров упругости, пластичности и прочности материалов по диаграмме растяжения.

**Цель работы:** изучение поведения конструкционных материалов при испытании на растяжение; ознакомление со стандартными методиками определения характеристик упругости, прочности и пластичности.

**Результаты лабораторной работы:** освоение основ работы на машине растяжения, получение и обработка экспериментальных данных, оценка основных характеристик упругости, прочности и пластичности.

### **Раздел 4. Диаграммы состояния**

**Тема 10.** Формирование структуры металла при кристаллизации. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование. Строение металлического слитка. Полиморфные превращения.

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

**Лабораторная работа №2.** Применение термоэлектрического эффекта для измерения температуры.

**Цель работы:** изучение основных свойств термопар и возможностей их использования при решении различных научных и технологических задач; изготовление и градуировка термопар.

**Результаты лабораторной работы:** построение градуировочной кривой для данной термопар абсолютным методом с помощью системы точек фиксируемых температур, определяемых фазовыми переходами различных веществ; определение типа термопары.

## **Раздел 7. Производство порошковых и объемных наноматериалов**

**Тема 23.** Химические методы получения наночастиц и материалов: осаждения, золь-гель метод, газофазные реакции.

**Лабораторная работа №3.** Получение и спектрофотометрические исследования наночастиц металлов.

**Цель работы:** познакомиться с методами химического получения коллоидных наночастиц.

**Результаты лабораторной работы:** освоение химического способа получения коллоидных наночастиц методом осаждения и анализ размера спектрофотометрическим способом.

## **Раздел 8. Технология тонких пленок**

**Тема 25.** Тонкие пленки. Термовакuumное напыление тонких пленок. Ионно-плазменные методы получения тонких пленок.

**Лабораторная работа №4.** Измерение толщин окисных и металлических пленок.

**Цель работы:** познакомиться с методами контроля толщины окисных и металлических пленок.

**Результаты лабораторной работы:** освоение методики контроля толщины окисных пленок (оксид кремния) цветовым методом; измерение толщин металлических пленок интерференционным методом.

**Тема 28.** Анодные оксидные пленки. Технология получения. Режимы анодного воздействия (потенцио- и гальваностатический). Анодное окисление алюминия. Механизмы роста пористого анодного оксида алюминия (ПАОА). Получение высокоупорядоченного ПАОА. Формирование сотовой структуры ПАОА. Применение ПАОА.


**Лабораторная работа №5, 6.** Физико-химические основы процесса получения оксида алюминия методом анодного окисления. Анализ полученных структур методами сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ)

**Цель работы:** изучение принципов получения двумерных структур оксида алюминия методом анодного окисления, изучение физико-химических основ анодного окисления вещества; изучение принципа работы СЗМ.

**Результаты лабораторной работы:** освоение методики анодного самоформирования оксидных наноструктур; исследование топологии поверхности методами СЗМ; исследование влияния режимов анодного травления и состава электролита на параметры формируемых наноструктур.

## **8. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ, КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ, РЕФЕРАТОВ**

Для выполнения курсового проектирования студенты закрепляются за преподавателями кафедры, имеющими соответствующую ученую степень/звание. Тематика курсовых работ определяется в соответствии с научными интересами руководителя. Оценивание курсовых работ осуществляется на заседании кафедры после публичного доклада студентов и коллегиального обсуждения результатов работы.

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

### Примерная тематика курсовых работ:

- Исследование изменения поверхностной энергии на границе раздела жидкость-твердое тело в электрическом поле (эффект электросмачивания)

**Цель:** изучение физических основ возникновения явления электросмачивания на диэлектрике и технологических особенностей понижения рабочего напряжения.

**Задачи:**

  - Отработка технологии реализации и наблюдения эффекта электросмачивания на простых системах.
  - Отработка технологии синтеза диэлектрических пленок на различных материалах.
  - Построение зависимостей краевого угла смачивания от напряжения.
- Синтез композиционных материалов методом электрохимического катодного осаждения из растворов в пористые анодные оксидные матрицы вентильных металлов (Al, Ti).

**Цель:** создание композиционных материалов на основе тонких наноструктурированных пленок оксидов металлов.

**Задачи:**

  - Отработка технологии синтеза пористых пленок оксидов алюминия (титана).
  - Отработка технологии осаждения частиц металлов в сформированные поры.
  - Анализ полученных пленок методами СЗМ.
- Формирование проводящих слоев оксида олова методом электрохимической анодной обработки.

**Цель:** создание тонких прозрачных проводящих пленок на основе оксидов олово/индий.

**Задачи:**

  - Отработка технологии синтеза тонких пленок олово/индий.
  - Отработка технологии анодного окисления, подбор режимов.
  - Анализ электрических свойств полученных пленок.
- Исследование влияния упорядоченных поверхностных неоднородностей на поверхности металлов на значение поверхностной энергии.

**Цель:** формирование гидрофобных и гидрофильных поверхностей.

**Задачи:**


  - Отработка технологии создания поверхностных неровностей различными методами: анодное окисление, лазерная абляция, селективное травление и др.
  - Измерение краевых углов смачивания, проведение корреляции с параметрами полученных неровностей.
- Синтез пористых анодных оксидных пленок на титане методов плазменно-электролитического оксидирования в растворах без фторид-ионов

**Цель:** Формирование пористого оксида титана в электролитной плазме.

**Задачи:**

  - Отработка технологии плазменно-электролитической обработки материалов, снятие ВАХ.
  - Анализ поверхности методами СЗМ.
  - Оценка влияние плазмы на формирование пористой структуры.
- Исследование поверхностного упрочнения металлов под действием плазменно-электролитической обработки в растворах электролитов.

**Цель:** Формирование поверхностно-упрочненного слоя металла методами электролит-

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		


но-плазменной обработки.

**Задачи:**


- Отработка технологии плазменно-электролитической обработки материалов, снятие ВАХ.
- Оценка механических свойств путем испытания на твердость, растяжение.
- Описание механизмов изменения механических свойств.

**9. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ**

1. Аморфные и кристаллические тела. Структура кристаллов и пространственная решетка. Индексирование направлений, плоскостей (три способа).
2. Решетки Бравэ. Примеры простых кристаллографических структур.
3. Дефекты в твердых телах. Классификация дефектов. Тепловые точечные дефекты (по Френкелю и Шоттки). Равновесная концентрация точечных дефектов.
4. Радиационные дефекты. Дислокации. Контур и вектор Бюргерса.
5. Напряжения, необходимые для образования дислокации в совершенном кристалле. Движение дислокаций. Напряжения, связанные с дислокациями. Энергия дислокации. Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами.
6. Источники дислокаций. Механизм Франка-Рида и Бардина-Херинга. Дефекты упаковки и частичные дислокации. Границы зерен.
7. Механические свойства твердых тел. Механические напряжения и деформация. Закон Гука для изотропных твердых тел.
8. Пластические свойства кристаллических твердых тел. Механизмы пластической деформации (двойникование, скольжение, дислокационный). Фактор Шмидта. Хрупкое разрушение.
9. Диаграмма напряжение-деформация. Характеристики упругости, пластичности и прочности. Критерий неустойчивости Консидера.
10. Формирование структуры металла при кристаллизации. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование. Строение металлического слитка. Полиморфные превращения.
11. Строение свойства сплавов. Виды сплавов: механическая смесь, химическое соединение и твердый раствор. Классификация твердых растворов: внедрения, замещения, вычитания.
12. Методы построения диаграмм состояния. Химический потенциал. Правило фаз. Диаграммы состояния двойных систем при неограниченной растворимости компонентов в твердом состоянии. Правило рычага. Темп кристаллизации.
13. Диаграммы состояния двойных систем при ограниченной растворимости компонентов в твердом состоянии (эвтектического и перитектического типа, химическое соединение).
14. Диаграмма состояния железо-углерод. Стабильная и метастабильная диаграмма. Структурные составляющие сплавов железа с углеродом. Критические точки. Структурные превращения в доэвтектоидных сталях. Структурные превращения в заэвтектоидных сталях.
15. Углеродистые стали. Классификация по типу раскисления, по структуре, по качеству. Легированные стали. Основные легирующие элементы. Классификация по структуре, по количеству легирующих элементов, по назначению. Маркировка легированных сталей.
16. Особенности структуры наноматериалов. Закон Холла-Петча. Термодинамическая модель кластера. Понижение температуры плавления кластеров.

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

17. Характеристика дисперсности наноматериалов. Поверхность, границы, морфология наноматериалов. Электрические, магнитные, тепловые свойства наноматериалов.
18. Основные методы получения консолидированных наноматериалов. Получение порошковых наночастиц. Физические методы.
19. Механические методы получения порошковых частиц. Мельницы. Ударно-волновой синтез, кавитационный. Консолидация объемных наноматериалов.
20. Получение нанокристаллических материалов. Интенсивная пластическая деформация. Аморфные металлические сплавы (АМС). Методы получения АМС.
21. Химические методы получения наночастиц и материалов: осаждения, золь-гель метод, газофазные реакции.
22. Основные разновидности углерода. Углеродные нанотрубки (УНТ), фуллерен, графен. Методы получения, свойства, применение
23. Тонкие пленки. Термовакuumное напыление тонких пленок. Ионно-плазменные методы получения тонких пленок.
24. Эпитаксия. Гомо- и гетероэпитаксия. Газофазная, жидкостная и молекулярно-лучевая эпитаксия.
25. Пленки Ленгмюр-Блоджетт. Фазовая диаграмма. Методика получения. Применение.
26. Анодные оксидные пленки. Технология получения. Режимы анодного воздействия (потенцио- и гальваностатический). Анодное окисление алюминия. Механизмы роста пористого анодного оксида алюминия (ПАОА). Получение высокоупорядоченного ПАОА. Формирование сотовой структуры ПАОА. Применение ПАОА.
27. Анодное окисление титана. Механизмы роста пористого оксида титана. Получение нанотрубчатого оксида титана. Применение.
28. Анодное растворение полупроводников. Механизм роста макро- и нанопористого кремния. Применение.
29. Катодное осаждение в технологии микро и наноструктур. Физико-химические основы катодного осаждения. Осаждение металлов и сплавов, матричное осаждение.
30. Литография. Фотолитография, электроннолучевая, рентгеновская, лазерная. Наноманипуляция и нанолитография. Мягкая литография.


Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

## 10. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

Форма обучения **очная**

Название разделов и тем	Вид самостоятельной работы ( <i>проработка учебного материала, решение задач, реферат, доклад, контрольная работа, подготовка к сдаче зачета, экзамена и др.</i> )	Объем в часах	Форма контроля ( <i>проверка решения задач, реферата и др.</i> )
<b>Раздел 1. Кристаллическое строение твердого тела</b>	Проработка учебного материала, решение задач, подготовка к сдаче экзамена	8	Устный опрос, тестирование, решение задач
<b>Раздел 2. Дефекты в твердых телах</b>	Проработка учебного материала, решение задач, подготовка к сдаче экзамена	8	Устный опрос, тестирование, решение задач
<b>Раздел 3. Механические свойства твердых тел</b>	Проработка учебного материала, решение задач, подготовка к сдаче экзамена	8	Устный опрос, тестирование, решение задач
<b>Раздел 4. Диаграммы состояния</b>	Проработка учебного материала, решение задач, подготовка к сдаче экзамена	8	Устный опрос, тестирование, решение задач
<b>Раздел 5. Углеродистые и легированные стали. Маркировка сталей.</b>	Проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена	8	Устный опрос, тестирование, решение задач
<b>Раздел 6. Структура наноматериалов и размерные эффекты</b>	Проработка учебного материала, решение задач, подготовка к сдаче экзамена	10	Устный опрос, тестирование, решение задач
<b>Раздел 7. Производство порошковых и объемных наноматериалов</b>	Проработка учебного материала, решение задач, подготовка к сдаче экзамена	10	Устный опрос, тестирование, решение задач
<b>Раздел 8. Технология тонких пленок</b>	Проработка учебного материала, решение задач, подготовка к сдаче экзамена	12	Устный опрос, тестирование, решение задач



Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

## 11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### а) Список рекомендуемой литературы

#### Основная:

1. Рогов, В. А. Технология конструкционных материалов. Нанотехнологии : учебник для вузов / В. А. Рогов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 190 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-00528-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/512822>
2. Глущенко, А. Г. Наноматериалы и нанотехнологии : учебное пособие / А. Г. Глущенко, Е. П. Глущенко. — Самара : Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2017. — 269 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/75388.html>

#### Дополнительная:


1. Нажипкызы, М. Физико-химические основы нанотехнологий и наноматериалов : учебное пособие / М. Нажипкызы, Р. Е. Бейсенов, З. А. Мансуров. — Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2018. — 196 с. — ISBN 978-5-4486-0164-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/73346.html>
2. Филяк, М. М. Получение и исследование анодного оксида алюминия : практикум / М. М. Филяк, О. Н. Каныгина. — Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. — 104 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/33650.html>
3. Наноструктурные материалы : учебное пособие / под редакцией Р. Ханнинк. — Москва : Техносфера, 2009. — 488 с. — ISBN 978-5-94836-221-2. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/12730.html>
4. Бондаренко, Г. Г. материаловедение : учебник для вузов / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова, В. В. Рыбалко ; под редакцией Г. Г. Бондаренко. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 327 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-07090-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/510746>
5. Тарасова, Н. В. Оптические методы исследований наноматериалов и наносистем : методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Материаловедение наноматериалов и наносистем» / Н. В. Тарасова. — Липецк : Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2017. — 23 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/74408.html>

#### Учебно-методическая:

1. Методические указания по выполнению лабораторных работ по технологии наноматериалов для студентов бакалавриата, специалитета и магистратуры всех форм обучения / М. Ю. Махмуд-Ахунов, А. А. Соловьев, В. В. Рыбин, Т. М. Василевская; УлГУ, ИФФВТ. - Ульяновск : УлГУ, 2019. – Режим доступа: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/6000>
2. Махмуд-Ахунов М. Ю. Методические указания для самостоятельной работы студентов по дисциплине «Материаловедение наноматериалов и наносистем» для студентов бакалавриата всех форм обучения / М. Ю. Махмуд-Ахунов; УлГУ, ИФФВТ. - Ульяновск : УлГУ, 2019. – Режим доступа: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/6411>

Согласовано:

Ведущий специалист ООП \_\_\_\_\_ / Чамеева А.Ф. / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ 2023 г.  
(Должность работника научной библиотеки) (ФИО) (подпись) (дата)

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

## б) Программное обеспечение

1. ОС Microsoft Windows
2. Microsoft OfficeStd 2016 RUS
3. «МойОфис Стандартный»

## в) Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

### 1. Электронно-библиотечные системы:

1.1. Цифровой образовательный ресурс IPRsmart : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа». - Саратов, [2023]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.2. Образовательная платформа ЮРАЙТ : образовательный ресурс, электронная библиотека : сайт / ООО Электронное издательство «ЮРАЙТ». – Москва, [2023]. - URL: <https://urait.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.3. База данных «Электронная библиотека технического ВУЗа (ЭБС «Консультант студента») : электронно-библиотечная система : сайт / ООО «Политехресурс». – Москва, [2023]. – URL: <https://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.4. Консультант врача. Электронная медицинская библиотека : база данных : сайт / ООО «Высшая школа организации и управления здравоохранением-Комплексный медицинский консалтинг». – Москва, [2023]. – URL: <https://www.rosmedlib.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.5. Большая медицинская библиотека : электронно-библиотечная система : сайт / ООО «Букап». – Томск, [2023]. – URL: <https://www.books-up.ru/ru/library/>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.6. ЭБС Лань : электронно-библиотечная система : сайт / ООО ЭБС «Лань». – Санкт-Петербург, [2023]. – URL: <https://e.lanbook.com>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.7. ЭБС **Znanium.com** : электронно-библиотечная система : сайт / ООО «Знаниум». - Москва, [2023]. - URL: <http://znanium.com> . – Режим доступа : для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.


**2. КонсультантПлюс** [Электронный ресурс]: справочная правовая система. / ООО «Консультант Плюс» - Электрон.дан. - Москва :КонсультантПлюс, [2023].

### 3. Базы данных периодических изданий:

3.1. eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека : сайт / ООО «Научная Электронная Библиотека». – Москва, [2023]. – URL: <http://elibrary.ru>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный

3.2. Электронная библиотека «Издательского дома «Гребенников» (Grebinnikon) : электронная библиотека / ООО ИД «Гребенников». – Москва, [2023]. – URL: <https://id2.action-media.ru/Personal/Products>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.

**4. Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека»:** электронная библиотека : сайт / ФГБУ РГБ. – Москва, [2023].

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

– URL: <https://нэб.рф>. – Режим доступа : для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.

**5. Российское образование:** федеральный портал / учредитель ФГАУ «ФИЦТО». – URL: <http://www.edu.ru>. – Текст : электронный.

**6. Электронная библиотечная система УлГУ :** модуль «Электронная библиотека» АБИС Мега-ПРО / ООО «Дата Экспресс». – URL: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Web>. – Режим доступа : для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.

Согласовано:

Инженер ведущий / Щуренко Ю.В. /  / \_\_\_\_\_  
Должность сотрудника УИИТ ФИО подпись дата

## 12. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Аудитории для проведения лекций, семинарских занятий, для выполнения лабораторных работ и практикумов, для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации, курсового проектирования, групповых и индивидуальных консультаций.

Аудитории укомплектованы специализированной мебелью, учебной доской. Аудитории для проведения лекций оборудованы мультимедийным оборудованием для предоставления информации большой аудитории.


Перечень оборудования, используемого в учебном процессе:

1. Сканирующий туннельный микроскоп СТМ «УМКА»
2. Мини-анализатор размеров частиц «PhotocorMini»
3. Модуль синтеза наноразмерных частиц.
4. Микроинтерферометр МИИ-4.
5. Атомно-силовой микроскоп NanoEducator
6. Пресс для горячей запрессовки PRESSLAM 1.1.
7. Машина испытательная универсальная электромеханическая Lab Test 6.10.1.10.
8. Станок отрезной CUTLAM 1.1
9. Станок шлифовально-полировальный MASTERLAM 3.0.
10. Вакуумный универсальный пост ВУП-5.
11. Стационарный универсальный твердомер МЕТОЛАБ 701.
12. Микроинтерферометр МИИ-4.
13. Микроскоп МБС-10.
14. Спектрофотометр СФ-2000.

## 13. СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) могут предлагаться одни из следующих вариантов восприятия информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей:

– для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в

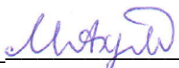
Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации;

– для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации;

– для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

В случае необходимости использования в учебном процессе частично/ исключительно дистанционных образовательных технологий, организация работы ППС с обучающимися с ОВЗ и инвалидами предусматривается в электронной информационно-образовательной среде с учетом их индивидуальных психофизических особенностей

Разработчик  доцент, Махмуд-Ахунов Марат Юсупович  
подпись должность, ФИО