

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по ОД  
А.А. Панфилов

« 03 » 09 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
Материаловедение наноструктурированных материалов  
(наименование дисциплины)

Направление подготовки 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Программа подготовки

Уровень высшего образования бакалавриат  
(бакалавр, магистр, дипломированный специалист)

Форма обучения очная  
(очная, очно-заочная, заочная, сокращенная)

Семестр	Трудоём- кость зач. ед, час.	Лек- ции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
5	4/144	36	18	18	45	экзамен (27)
<b>Итого</b>	4/144	36	18	18	45	экзамен (27)

Владимир 2018 г.

## 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины «Материаловедение наноструктурированных материалов» студентами направления подготовки «Нанотехнологии и микросистемная техника» предполагает получение систематизированного представления о закономерностях атомного строения твердых тел, изучение феноменологических теорий для анализа эффектов в твердых телах, знакомство с математическими моделями и формализмом для выполнения расчетов при решении конкретных технических задач, связанных с практическим применением наноматериалов.

**Целью** освоения дисциплины является формирование представлений о процессах и явлениях, протекающих в наноструктурах и материалах, выполненных на их основе, при разных видах воздействий.

### **Задачи дисциплины:**

- изучение особенностей атомной и электронной структуры наноматериалов;
- знакомство с низкоразмерными структурами, технологиями и материалами на их основе;
- получение представлений о современных методах диагностики наноматериалов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Материаловедение наноструктурированных материалов» относится к обязательным дисциплинам вариативной части ОПОП подготовки бакалавров по направлению «Нанотехнологии и микросистемная техника».

Изучение дисциплины предполагает наличие фундаментальных знаний, которые формируются у студентов при изучении предшествующих дисциплин базовой части: «Физика», «Математика», а также дисциплин вариативной части: «Введение в нанотехнологию», «Квантовая и статистическая физика»

Знания, полученные в рамках изучения данной дисциплины, могут быть применены при изучении других специальных дисциплин по направлению подготовки, а также при выполнении выпускной квалификационной работы.

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие профессиональные компетенции:

- 1) способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2).
- 2) готовностью проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники (ПК-2)

В результате освоения дисциплины обучающийся должен продемонстрировать следующие результаты образования:

1) **Знать:** фундаментальные основы высшей математики, включая алгебру, геометрию, математический анализ, теорию вероятностей и основы математической статистики (ОПК-2); классификацию металлов, сплавов, пассивных и активных диэлектрических и магнитных материалов, полупроводников и их соединений; физические механизмы переноса и рассеяния носителей заряда в полупроводниках; физические процессы в полупроводниковых приборах, являющихся элементами микросхем (ПК-2).

2) **Уметь:** самостоятельно использовать математический аппарат, содержащийся в литературе по строительным наукам, расширять свои математические познания (ОПК-2); проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники (ПК-2).

3) **Владеть:** - первичными навыками и основными методами решения математических задач из общеинженерных и специальных дисциплин профилизации (ОПК-2); оборудован

нем применяемым в производстве материалов, компонентов нано- и микросистемной техники; основными приемами обработки и представления экспериментальных данных способностью составлять описания проводимых исследований и разрабатываемых проектов, подготовить данные для составления отчетов, обзоров и другой технической документации (ПК-2).

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 час.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)							Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Семинары	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС	КП / КР		
1	Атомная и электронная структуры твердых тел.	5	1-7	14	-	6	6	-	21	-	16/62%	Рейтинг-контроль №1
2	Наносистемы и наноматериалы.	5	8-11	8	-	6	6	-	12	-	6/30%	Рейтинг-контроль №2
3	Свойства наноматериалов.	5	12-18	14	-	6	6	-	12	-	10/38%	Рейтинг-контроль №3
Всего		5	18	36	-	18	18	-	45	-	32/44%	Экзамен, 27ч

#### СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ЛЕКЦИИ

##### Раздел 1. Атомная и электронная структуры твердых тел.

1. Атомно-кристаллическое строение твердых тел.
2. Зонная структура и статистика полупроводников.
3. Квантово-размерные эффекты в наноструктурах. Плотность состояний.
4. Полупроводниковые низкоразмерные структуры.
5. Электроны в периодических структурах. Блоховские волны.
6. Дисперсионные кривые. Зоны Бриллюэна.
7. Волновой вектор. Эффективная масса.

##### Раздел 2. Наносистемы и наноматериалы.

1. Квазичастицы в наноматериалах.
2. Экситоны и экситонные поляритоны.
3. Гетероструктуры и сверхрешетки.
4. Фотонные кристаллы. Квантовые микрорезонаторы.

##### Раздел 3. Свойства наноматериалов.

1. Рассеяние в наноструктурах. Релеевское рассеяние.
2. Рассеяние Мандельштама-Бриллюэна. Рамановское рассеяние.
3. Тепловые свойства кристаллической решетки. Модель фононного взаимодействия.
4. Сверхпроводимость кристаллических тел.
5. Магнитные свойства кристаллических материалов.
6. Нелинейные эффекты в наноматериалах.

## 7. Дефекты в кристаллах. Дефекты Шоттки и Френкеля.

### ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Тема 1. Элементы зонной теории. Собственная и примесная проводимость. 2ч.

Тема 2. Локализация электронов в простейших наноструктурах. Размерное квантование. 2ч.

Тема 3. Собственная функция одноэлектронного гамильтониана для поля с периодическим потенциалом. Осцилляции Блоха. 2ч.

Тема 4. Потенциальные барьеры и ямы в наноструктурах. 2ч.

Тема 5. Гетероструктуры и гетеропереходы. 2ч.

Тема 6. Рассеяние в наноструктурах. Расчет параметров рассеяния. 2ч.

Тема 7. Нелинейные эффекты в наноматериалах. 2ч.

Тема 8. Генерация второй гармоники и условие фазового синхронизма. 2ч.

Тема 9. Дефекты в наноструктурированных материалах. 2ч.

### ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

1. Основы зондовой сканирующей микроскопии. 4ч.
2. Растровая электронная микроскопия. 2ч.
3. Спектроскопические методы анализа наноматериалов (Оже, ядерный магнитный резонанс, Мёссбауэр). 4ч.
4. Рентгенодифракционные методы исследования структуры наноматериалов. 4ч.
5. Работа с международными банками структурных данных. 4ч.

### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В рамках лекционного курса:

#### 5.1. Активные и интерактивные формы обучения

С целью формирования и развития профессиональных навыков студентов в учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой: (контрольные аудиторские работы, индивидуальные домашние работы).

#### 5.2. Самостоятельная работа студентов

Самостоятельная (внеаудиторная) работа студентов включает закрепление теоретического материала при подготовке к выполнению индивидуальной домашней работы, к практическим занятиям. Основа самостоятельной работы - изучение литературы по рекомендованным источникам и конспекту лекций.

#### 5.3. Мультимедийные технологии обучения

Некоторые из лекционных и практических занятий проводятся в виде презентаций в мультимедийной аудитории с использованием компьютерного проектора. Студентам предоставляется компьютерный курс лекций.

### 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

#### 6.1. Экзаменационные вопросы

1. Зонная теория проводимости. Собственные и примесные полупроводники.
2. Размерные эффекты в наноструктурах. Плотность состояний. Низкоразмерные структуры.
3. Электрон в поле с периодическим потенциалом. Теорема Блоха.
4. Дисперсионные кривые. Зоны Бриллюэна. Эффективная масса.
5. Квазичастицы в наноматериалах.

6. Экситонные поляритоны и технологии на их основе.
7. Гетероструктуры с квантовыми ямами и сверхрешетки.
8. Фотонные кристаллы.
9. Релеевское рассеяние. Рассеяние Манделштама-Бриллюэна.
10. Рамановское рассеяние. Рассеяние Ми.
11. Фононная модель тепловых колебаний.
12. Сверхпроводимость материалов. Бозе-конденсация.
13. Магнитные свойства наноматериалов.
14. Нелинейные эффекты в наноматериалах.
15. Дефекты в наноструктурированных материалах.
16. Зондовая сканирующая микроскопия.
17. Растровая электронная микроскопия для диагностики наноматериалов.
18. Спектроскопические методы анализа наноматериалов.
19. Рентгенодифракционные методы исследования структуры наноматериалов.

## **6.2. Вопросы рейтинг-контроля**

### **Рейтинг-контроля №1**

1. Зонная теория проводимости.
2. Донорные и акцепторные полупроводники.
3. Квантово-размерные эффекты в наноструктурах.
4. Плотность состояний.
5. Низкоразмерные структуры.
6. Дисперсионные уравнения и кривые.
7. Теорема Блоха.
8. Зоны Бриллюэна.
9. Волновой вектор. Эффективная масса.

### **Рейтинг-контроля №2**

1. Квазичастицы в наноматериалах.
2. Экситоны, трионы и экситонные поляритоны.
3. Потенциальные барьеры. Туннельный эффект и надбарьерное отражение.
4. Гетероструктуры и гетеропереходы.
5. Сверхрешетки
6. Фотонные кристаллы.
7. Микрорезонаторы.
8. Зондовая сканирующая микроскопия.

### **Рейтинг-контроля №3**

1. Рассеяние в наноматериалах.
2. Тепловые свойства наноструктур. Фононная модель.
3. Сверхпроводимость. Бозе-конденсат.
4. Нелинейные эффекты в наноструктурированных материалах.
5. Генерация второй гармоники и условие фазового синхронизма.
6. Магнитные эффекты в наноматериалах.
7. Дефекты в наноструктурированных материалах.
8. Спектральные методы исследования.
9. Рентгенодифракционные методы исследования.

## **6.3. Вопросы для контроля самостоятельной работы:**

1. Особенности физических взаимодействий на наномасштабах.
2. Описание движения наночастиц. Уравнение Шредингера.
3. Гамильтониан. Собственные функции и собственные значения.
4. Туннельный эффект и надбарьерное отражение.
5. Квантовые микрорезонаторы.
6. Модель Дебая. Фононная теплоемкость в модели Дебая.
7. Масс-спектрографический метод исследования наноматериалов.
8. Диффузия в кристаллических телах.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература:**

1. Введение в фемтонанопонику. Фундаментальные основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов: учебное пособие/ С.М. Аракелян и др.— Электрон. текстовые данные.— М.: Логос, 2015.— 744 с.
2. Основы современного материаловедения: учебник / О.С.Сироткин - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 364 с.—ISBN 978-5-16-009335-2.
3. Методы исследования микроэлектронных и нанозлектронных материалов и структур. Часть II/ВеличкоА.А., ФилимоноваН.И. - Новосиб.: НГТУ, 2014. - 227 с.— ISBN 978-5-7782-2534-3.

### **Дополнительная литература:**

1. Томилин, В. И. Физическое материаловедение. Ч. 1. Пассивные диэлектрики: учеб. пособие в 2 ч. / В. И. Томилин, Н. П. Томилина, В. А. Бахтина. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. - 280 с. — ISBN 978-5-7638-2510-7.
2. Физическое материаловедение. Часть 1. Физика твердого тела: учебное пособие/ Федотов А.К.— Электрон. текстовые данные.— Минск: Вышэйшая школа, 2010.— 400 с.
3. Физикохимия наноструктурированных материалов/ИлюшинВ.А. - Новосиб.: НГТУ, 2013. - 107 с.: ISBN 978-5-7782-2215-1

### **Интернет-ресурсы:**

1. Кристаллографическая и кристаллохимическая база данных для минералов и их структурных аналогов «МИНКРИСТ»// Режим доступа: <http://database.iem.ac.ru/mincryst/rus/>
2. Кембриджский банк структурных данных// Режим доступа: [http://webcsd.ccdc.cam.ac.uk/client\\_log\\_in.php?first\\_attempt=1](http://webcsd.ccdc.cam.ac.uk/client_log_in.php?first_attempt=1)

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Лекционные аудитории, оснащённые доской и переносным проектором для проведения занятий с применением компьютерных презентаций и демонстрационных роликов. Аудитории для проведения практических и лабораторных занятий, оснащённые современными персональными компьютерами, объединёнными в локальную вычислительную сеть и укомплектованными необходимым системным и прикладным программным обеспечением.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника.

Рабочую программу составил профессор каф. ФиПМ Рау В.Г.

(ФИО, подпись)

Рецензент

(представитель работодателя) Нач.НИИКО-2 ФКП-«ГЛП Радуга» Антипов А.А.

(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ

Протокол №1 от 03.09.2018 года

Заведующий кафедрой

С.М. Аракелян

(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Протокол №1 от 03.09.2018 года

Заведующий кафедрой

С.М. Аракелян

(ФИО, подпись)

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_