

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)

Институт прикладной математики, физики и информатики  
(Наименование института)

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института

\_\_\_\_\_ К.С. Хорьков



«30» августа 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

(наименование дисциплины)

**направление подготовки / специальность**

28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

\_\_\_\_\_ (код и наименование направления подготовки (специальности))

**направленность (профиль) подготовки**

Нанотехнологии и микросистемная техника

\_\_\_\_\_ (направленность (профиль) подготовки))

г. Владимир  
2021

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Материаловедение наноструктурированных материалов» является формирование представлений о структуре и свойствах наносистем и материалов на их основе и о процессах и явлениях, протекающих в них при разных видах воздействий.

Задачи:

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

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Материаловедение наноструктурированных материалов» относится к дисциплинам обязательной части учебного плана.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ОПК-1. Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и инженерных знаний, методов математического анализа и моделирования	ОПК-1.1. Знает основные законы естественных наук, методы математического анализа и моделирования, основные законы и методы инженерных дисциплин. ОПК-1.2. Умеет использовать физические законы и принципы в своей профессиональной деятельности, проводить эксперименты по определению физико-химических свойств неорганических и органических веществ, проводить измерение основных электрических величин, определять параметры и характеристик электрических и электронных устройств. ОПК-1.3. Владеет математическим аппаратом для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования и моделирования физических и химических систем, явлений и процессов, использования в обучении и профессиональной деятельности	Знает законы и принципы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования.  Умеет: • использовать физические законы и принципы в своей профессиональной деятельности; • проводить эксперименты по определению физико-химических свойств неорганических и органических веществ; • проводить измерение основных электрических величин, определять параметры и характеристик электрических и электронных устройств; • использовать прикладные программы и средства автоматизированного проектирования при решении инженерных задач.  Владеет математическим аппаратом для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования и моделирования физических и химических систем, явлений и процессов, использования в обучении и	Отчеты по лабораторным работам  Контрольные вопросы к лабораторным работам  Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации

		профессиональной деятельности.	
ОПК-7. Способен проектировать и сопровождать производство технических объектов, систем и процессов в области нанотехнологий и микросистемной техники	ОПК-7.1. Знает прикладные программы и средства автоматизированного проектирования, используемые при решении инженерных задач. ОПК-7.2. Умеет проектировать и сопровождать производство технических объектов, систем и процессов. ОПК-7.3. Владеет методиками организации работы персонала, соблюдения технологической и трудовой дисциплины.	Знает прикладные программы и средства автоматизированного проектирования, используемые при решении инженерных задач.  Умеет проектировать и сопровождать производство технических объектов, систем и процессов.  Владеет методиками организации работы персонала, соблюдения технологической и трудовой дисциплины.	Отчеты по лабораторным работам  Контрольные вопросы к лабораторным работам  Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации
ПК-2. Способен проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов nano- и микросистемной техники	ПК-2.1. Знает основные физико-химические модели в области нанотехнологий и микросистемной техники, методы проведения экспериментов и наблюдений, структуру, свойства и назначение наноматериалов и наноструктур. ПК-2.2. Умеет применять методы проведения экспериментов для анализа работы и синтеза микроэлектромеханических устройств, материалов и компонентов nano- и микросистемной техники. ПК-2.3. Владеет навыками проведения экспериментов, наблюдений и измерений, анализа мультифизических взаимодействий, процессов и явлений в области нанотехнологий и микросистемной техники.	Знает основные методики экспериментальных исследований синтеза и анализа материалов и компонентов nano- и микросистемной техники.  Умеет планировать и проводить исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов nano- и микросистемной техники.  Владеет навыками выбора оптимальных методов исследований материалов и компонентов nano- и микросистемной техники.	Отчеты по лабораторным работам  Контрольные вопросы к лабораторным работам  Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации
ПК-4. Способен совершенствовать процессы измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур	ПК-4.1. Знает основные методы измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур, а также назначение, устройство и принцип действия используемого для этого оборудования. ПК-4.2. Умеет работать на измерительном и технологическом оборудовании в соответствии с инструкциями по эксплуатации и технической документацией. ПК-4.3. Владеет навыками внедрения и контроля качества новых методов измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур.	Знает базовое контрольно-измерительное оборудование для метрологического обеспечения исследований и промышленного производства наноматериалов и компонентов.  Умеет осуществлять диагностику неполадок и частичный ремонт измерительного, диагностического, технологического оборудования.  Владеет навыками мониторинга диагностического, технологического оборудования.	Отчеты по лабораторным работам  Контрольные вопросы к лабораторным работам  Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов

#### Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки		
1	Атомная и электронная структуры твердых тел.	5	1-7	14	6	6	12	27	Рейтинг-контроль № 1
2	Наносистемы и наноматериалы.	5	8-11	8	6	6	12	27	Рейтинг-контроль № 2
3	Свойства наноматериалов.	5	12-18	14	6	6	12	27	Рейтинг-контроль № 3
Всего за 5 семестр:		5	1-18	36	18	18	-	81	Экзамен, 27 ч.
Наличие в дисциплине КП/КР		-	-	-	-	-	-	-	-
Итого по дисциплине		-	-	36	18	18	-	81	Экзамен, 27 ч.

#### Содержание лекционных занятий по дисциплине

##### 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.

#### Содержание практических занятий по дисциплине

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

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

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

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

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

Тема 1. Потенциальные барьеры и ямы в наноструктурах.

Тема 2. Гетероструктуры и гетеропереходы.

### **Раздел 3. Свойства наноматериалов.**

Тема 1. Рассеяние в наноструктурах. Расчет параметров рассеяния.

Тема 2. Нелинейные эффекты в наноматериалах.

Тема 3. Генерация второй гармоники и условие фазового синхронизма

Тема 4. Дефекты в наноструктурированных материалах.

### **Содержание лабораторных занятий по дисциплине**

Тема 1. Основы зондовой сканирующей микроскопии (4 часа).

Тема 2. Растровая электронная микроскопия (4 часа).

Тема 3. Спектроскопические методы анализа наноматериалов (Оже, ядерный магнитный резонанс, Мёссбауэр) (4 часа).

Тема 4. Рентгенодифракционные методы исследования структуры наноматериалов (4 часа).

Тема 5. Работа с международными банками структурных данных (2 часа).

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

### **5.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **Примерный список вопросов к рейтинг-контролю №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.

#### **Примерный список вопросов к рейтинг-контролю №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.

#### **Примерный список вопросов к рейтинг-контролю №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.

## 5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины

### 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 Мандельштама-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.

## 5.3. Самостоятельная работа обучающегося.

Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине «Материаловедение наноструктурированных материалов» включает в себя следующие виды деятельности:

- 1) проработку учебного материала по конспектам лекций, учебной и научной литературе;
- 2) подготовку к практическим и лабораторным занятиям;
- 3) подготовку по всем видам контрольных мероприятий, в том числе к текущему контролю знаний и промежуточной аттестации.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронном каталоге ЭБС
Основная литература		
1. Аракелян С.М., Кучерик А.О., Прокошев В.Г., Рау В.Г., Сергеев А.Г. Введение в фемтонофотонику: фундаментальные	2017	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN97859870481">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN97859870481</a>

основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов: учебное пособие. М.: Логос.		22.html
2. Донских С.А., Семина В.Н., Белоконова С.С. Основы современного материаловедения: тесты. Саратов: Ай Пи Эр Медиа.	2018	<a href="http://www.iprbookshop.ru/71573.html">http://www.iprbookshop.ru/71573.html</a>
Дополнительная литература		
1. Величко А.А., Методы исследования микроэлектронных и нанозлектронных материалов и структур : учеб. пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ.	2014	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778225343.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778225343.html</a>
2. Филимонова Н.И., Кольцов Б.Б. Методы исследования микроэлектронных и нанозлектронных материалов и структур. Сканирующая зондовая микроскопия. Часть I: учебное пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ.	2013	<a href="http://www.iprbookshop.ru/45104.html">http://www.iprbookshop.ru/45104.html</a>
3. Величко А.А., Филимонова Н.И. Методы исследования микроэлектронных и нанозлектронных материалов и структур. Часть II: учебное пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ.	2014	<a href="http://www.iprbookshop.ru/45105.html">http://www.iprbookshop.ru/45105.html</a>

## 6.2. Периодические издания

1. Российские нанотехнологии (научно-технический журнал).  
<https://sciencejournals.ru/journal/nano/>
2. Наносистемы: физика, химия, математика (научно-технический журнал).  
<http://nanojournal.ifmo.ru>
3. Наноиндустрия (научно-технический журнал).  
<https://www.nanoindustry.su/>

## 6.3. 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)

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий практического/лабораторного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы. Практические/лабораторные работы проводятся в 106-3, 107-3, 105-3.

Перечень используемого оборудования:

- 1) Порошковый дифрактометр D8 ADVANCE.
- 2) Анализатор азота и кислорода в металлах и сплавах МЕТАВАК-АК
- 3) Зондовая станция Интегра-SpectaUprightmax.
- 4) Рентгеновский дифрактометр SAXESS.
- 5) Сканирующая зондовая лаборатория NtegraAura.

Перечень используемого лицензионного программного обеспечения: MS Word, MS Excel, Matlab.

Рабочую программу составил доц. каф. ФиПМ Абрамов Д.В.

(должность, ФИО, подпись)

Рецензент

Генеральный директор ООО «ВладИнТех»

А.В. Осипов

(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ

Протокол №1 от 30.08.2021 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 30.08.2021 года

Председатель комиссии

С.М. Аракелян

(ФИО, должность, подпись)

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на 20 22 / 20 23 учебный года

Протокол заседания кафедры № 1 от 30.08.2021 года

Заведующий кафедрой

С.М. Абрамов

Рабочая программа одобрена на 20 \_\_\_\_ / 20 \_\_\_\_ учебный года

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

Заведующий кафедрой

Рабочая программа одобрена на 20 \_\_\_\_ / 20 \_\_\_\_ учебный года

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

Заведующий кафедрой