

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 образовательной деятельности

А.А.Панфилов

« 31 » 08 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ В НАНОТЕХНОЛОГИЯХ**  
(наименование дисциплины)

Направление подготовки 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль/программа подготовки Нанотехнологии и микросистемная техника

Уровень высшего образования бакалавриат

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточной аттестации (экзамен/зачет/зачет с оценкой)
6	8/288	36	36	18	162	Экзамен (36ч.), КР
Итого	8/288	36	36	18	162	Экзамен (36ч.), КР

Владимир 2020

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Целью** освоения дисциплины является изучение базовых принципов для моделирования процессов в наносистемах, а также способов их конструирования с помощью средств автоматизированного проектирования.

### Задачи дисциплины:

- изучение способов модельного представления и визуализации наноструктур, процессов их формирования и систем на их основе;
- знакомство со способами проектирования устройств и компонентов систем в нанотехнологии.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Моделирование и проектирование в нанотехнологиях» относится к обязательным дисциплинам учебного плана подготовки бакалавров по направлению «Нанотехнологии и микросистемная техника».

Пререквизиты дисциплины: «Физика», «Математика», «Основы кристаллографии», «Материаловедение наноструктурированных материалов», «Введение в нанотехнологию», «Квантовая и статистическая физика».

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)
1	2	3
ПК-1	частичное освоение	<b>Знать:</b> физические и математические законы и модели физических процессов, лежащих в основе принципов действия объектов нанотехнологии и микросистемной техники. <b>Уметь:</b> решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники. <b>Владеть:</b> математическим аппаратом и методами компьютерных технологий для моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники.
ПК-3	частичное освоение	<b>Знать:</b> методы анализа и систематизации результатов исследований. <b>Уметь:</b> представлять результаты исследований в виде научных отчетов, публикаций, презентаций. <b>Владеть:</b> навыками обработки результатов измерений и оценки их достоверности.
ПК-4	частичное освоение	<b>Знать:</b> базовое контрольно-измерительное оборудование для метрологического обеспечения исследований и промышленного производства наноматериалов и компонентов. <b>Уметь:</b> осуществлять диагностику неполадок и частичный ремонт измерительного, диагностического, технологического оборудования. <b>Владеть:</b> навыками мониторинга диагностического, технологического оборудования.

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоёмкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц, 288 часов

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)				Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС		
1	Моделирующие программы и средства.	6	1-13	30	30	30	72	10/11	Рейтинг-контроль №1, Рейтинг-контроль №2
2	Проектирование систем на основе наноструктур.	6	14-18	6	6	6	90	4/22	Рейтинг-контроль №3
Всего за 6 семестр:		6	18	36	36	18	162	14/13	Экзамен (36ч.)
Наличие в дисциплине КП/КР				+	+	+	+		+
Итого по дисциплине		6	18	36	36	18	162	14/13	Экзамен (36ч.), КР

#### Содержание лекционных занятий по дисциплине

##### Раздел 1. Моделирующие программы и средства.

1.1. Вычислительный эксперимент как основа компьютерного моделирования. Математические модели и их классификация. (2ч.)

1.2. Краевые задачи математической физики как математическая основа компьютерного моделирования. (2ч.)

1.3. Понятие о численных методах решения краевых задач. Понятие о методе Монте-Карло. (2ч.)

1.4. Фундаментальная система уравнений физики полупроводника и различные системы моделей на ее основе. Диффузионно-дрейфовое и квазигидродинамическое приближения. (4ч.)

1.5. Граничные условия в численном моделировании полупроводниковых структур. Полупроводниковые низкоразмерные структуры. (2ч.)

1.6. Основные методы решения конечно-разностных уравнений полупроводниковых структур: метод Ньютона и схема Гуммеля. (4ч.)

1.7. Метод конечных элементов как основной математический аппарат системы приборно-технологического САПР SenTaurus. (2ч.)

1.1. Численные методы квантовой химии. Метод функционала плотности. (2ч.)

1.2. Методы моделирования роста наноструктур. (2ч.)

1.3. Метод дискретного моделирования разбиений и упаковок. (4ч.)

1.4. Методы моделирования квазикристаллов и фрактальных наноструктур. (2ч.)

1.5. Основные понятия теории роста квантовых точек. Визуализация процесса роста (1ч.)

1.6. Компьютерный «наноскоп»: моделирование роста диэлектриков (S) и полупроводниковых нанокластеров (C<sub>14</sub>H<sub>10</sub>). (2ч.)

##### Раздел 2. Проектирование систем на основе наноструктур

2.1. Проектирование радиотехнических наноэлементов и наносистем. (2ч.)

2.2. Проектирование неперiodических сверхрешеток. (2ч.)

2.3. Электродинамическое моделирование и проектирование фрактальных антенных систем. (1ч.)

## Содержание практических занятий по дисциплине

- Тема 1. Приборно-технологическое моделирование. (2ч.)  
Тема 2. Решение задач методом Монте-Карло. (4ч.)  
Тема 3. Кинетическое уравнение, метод молекулярной динамики, уравнения квантовой динамики (2ч.)  
Тема 4. Граничные условия в численном моделировании полупроводниковых структур  
Полупроводниковые низкоразмерные структуры.(2ч.)  
Тема 5. Примеры применения метода Ньютона и схемы Гуммеля (2ч.)  
Тема 6. Метод конечных элементов. (4ч.)  
Тема 7. Метод функционала плотности. (4ч.)  
Тема 8. . Критерий существования упаковки. Выбор дискретного пространства в моделировании роста структур (2ч.)  
Тема 9. Метод дискретного моделирования разбиений и упаковок (двумерный случай) (2ч.)  
Тема 10. Метод дискретного моделирования разбиений и упаковок (трехмерный случай) (2ч.)  
Тема 11. Методы моделирования квазикристаллов и фрактальных наноструктур (4ч.)  
Тема 12. Расчет компонентов радиотехнических микро- и наносхем (4ч.)  
Тема 13. Конструирование сверхрешеток на основе квантовых точек. (2ч.)

## Содержание лабораторных занятий по дисциплине

1. Методы молекулярной динамики (4ч.)
2. Метод конечных элементов. (4ч.)
3. Метод функционала плотности. (4ч.)
4. Метод дискретного моделирования (структурообразование органических полупроводников). (4ч.)
5. Метод дискретного моделирования (структурообразование диэлектриков на примере серы). (4ч.)
6. Получение разбиения на молекулярные полиэдры, кластеризация твердотельных структур в методе дискретного моделирование. (4ч.)
7. Получение диаграмм направленности антенн фрактального типа методами САПР. (4ч.)
8. Сборка гетероструктур и сверхрешеток методами САПР. (4ч.)

### 5.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины «Моделирование и проектирование в нанотехнологиях» используются разнообразные образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивные методы обучения:

- Групповая дискуссия (все практические занятия);
- Разбор конкретных ситуаций (все лекционные и практические занятия).

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

Текущий контроль успеваемости студентов

### Примерный список вопросов к рейтинг-контролю №1

1. Математические модели и их классификации.
2. Краевые задачи математической физики.
3. Численные методы. Метод Монте-Карло.

### Примерный список вопросов к рейтинг-контролю №2

1. Диффузионно-дрейфовое и квазигидродинамическое приближения.

2. Численное моделирование полупроводниковых структур.
3. Метод Ньютона и схема Гуммеля.

### Примерный список вопросов к рейтинг-контролю №3

1. Метод конечных элементов.
2. Метод функционала плотности.
3. Метод дискретного моделирования

### Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (экзамен).

#### Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Математические модели и их классификации.
2. Краевые задачи математической физики.
3. Численные методы. Метод Монте-Карло.
4. Диффузионно-дрейфовое и квазигидродинамическое приближения.
5. Граничные условия в численном моделировании полупроводниковых структур.
6. Конечно-разностные уравнения полупроводниковых структур. Метод Ньютона и схема Гуммеля.
7. Метод конечных элементов.
8. Метод функционала плотности.
9. Метод дискретного моделирования.
10. Получение разбиения на молекулярные полиэдры, кластеризация твердотельных структур.
11. Диаграммы направленности антенн фрактального типа.
12. Сборка гетероструктур и сверхрешеток методами САПР.

#### Примерные темы курсовых работ

1. Физико-математические модели радиоэлектронных компонентов: резисторы, конденсаторы, индуктивности, диоды, транзисторы, трансформаторы, коммутационные линии.
2. Физико-технологические и топологические модели элементной базы интегральных микросхем: моделирование базовых технологических операций, аналитическое описание фрагментов базовых биполярных и униполярных структур, эффекты масштабирования.
3. Методика расчета эквивалентных механических параметров мембран сложной топологии для элементов микросистемной техники.
4. Проектирование сенсорных и актюаторных элементов.

#### Вопросы для контроля самостоятельной работы:

1. Получение разбиения на молекулярные полиэдры, кластеризация твердотельных структур.
  2. Диаграммы направленности антенн фрактального типа.
  3. Сборка гетероструктур и сверхрешеток методами САПР.
- Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ	
		Количество экземпляров изданий в библиотеке ВлГУ в соответствии с ФГОС ВО	Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
1	2	3	4
Основная литература*			
1. Введение в фемтонанофотонику. Фундаментальные основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов: учебное пособие/ С.М. Аракелян и др.— Электрон.	2015		<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987048122.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987048122.html</a>

текстовые данные.— М.: Логос, 2015.— 744 с.			
2. Дзержинский Р.И. Уравнения математической физики: курс лекций/ Дзержинский Р.И., Логинов В.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Московская государственная академия водного транспорта, 2015.— 66 с.	2015		<a href="http://www.iprbookshop.ru/46875.html">http://www.iprbookshop.ru/46875.html</a>
Дополнительная литература			
1. Аверченков В.И., Основы математического моделирования технических систем / В.И. Аверченков, В.П. Федоров, М.Л. Хейфец - М. : ФЛИНТА, 2016. - 271 с.	2016		<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785976512788.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785976512788.html</a>
2. Методы математической физики: учебное пособие/ Ю.В. Гриняев [и др.]— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Эль Контент, 2012.— 148 с.	2012		<a href="http://www.iprbookshop.ru/13862.html">http://www.iprbookshop.ru/13862.html</a>


### 7.3. 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)
3. Ведение в теорию функционала плотности// Режим доступа: <http://kodommo.fbb.msu.ru/~golovin/pdf/15.pdf>

## 8. 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 (ауд. 100-3, ауд. 106-3, ауд. 122б-3, ауд. 511б,г-3,

Перечень используемого лицензионного программного обеспечения MS Word, Matlab., «Компьютерный наноскоп»

Рабочую программу составил Кучерик А.О.   
(ФИО, подпись)

Рецензент  
(представитель работодателя) Ген.директор ООО «ВладИнТех» Осипов А.В.   
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры \_\_\_\_\_ ФиПМ \_\_\_\_\_

Протокол № 1 от 31.08.2020 года  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Аракелян С.М.  
(ФИО, подпись)

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

Протокол № 1 от 31.08.2020 года  
Председатель комиссии \_\_\_\_\_ Аракелян С.М.  
(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 \_\_\_\_\_

---