

**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)**



**Проректор по образовательной  
 деятельности**  
 \_\_\_\_\_  
**А.А. Панфилов**

« 31 » 08 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Проектирование микро- и наносистем»**  
 (наименование дисциплины)

**Направление подготовки:** 28.04.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»

**Профиль/программа подготовки:** «Инженерно-физические технологии в  
 наноиндустрии»

**Уровень высшего образования:** магистратура

**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)
3	7/252	18	36	-	162	Экзамен (36)
Итого	7/252	18	36	-	162	Экзамен (36)

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Проектирование микро- и наносистем» являются приобретение студентами теоретических и практических знаний и навыков использования методов компьютерного моделирования при расчете и проектировании микро- и наносистем в дальнейшем обучении и в практической деятельности магистра.

Задачи:

– теоретическая подготовка в области проектирования и моделирования различных моделей с возможностью применения в полупроводниковых микро- и наносистемах ;

– познакомить с видами САПР микро- и наносистем, их структурой, программным обеспечением комплексов;

– выработка приемов и навыков решений конкретных задач в области физики нано структур, помогающих студентам в дальнейшем решать инженерные задачи;

– ознакомление студентов с современной научной аппаратурой и выработка у них начальных навыков проведения экспериментальных научных исследований физических явлений в области нано технологий.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Проектирование микро- и наносистем» относится к обязательной части ОПОП. Программа предназначена для подготовки магистров по направлению 28.04.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника». Курс читается в 3 семестре.

Пререквизиты дисциплины: Материаловедение наноструктурированных материалов, Физические основы микро- и нано-системной техники, Микроэлектромеханические системы, Проектирование электронных средств в наноэлектронике.

## 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
УК-1	частичное освоение	Знать: – виды и уровни абстракции математических моделей микросистем и их компонентов; Уметь: – понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения; Владеть: – прикладными программами и средствами автоматизированного проектирования при решении инженерных задач;
УК-2	частичное освоение	Знать: – способы представления механических систем в виде электрических аналогий; Уметь: – формулировать цели и задачи научных исследований в области нанотехнологии и микросистемной техники; – обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные

		<p>методы и средства решения сформулированных задач;</p> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследований;</li> </ul>
<b>УК-3</b>	<i>частичное освоение</i>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– принципы физического моделирования микросистемных объектов;</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– готовностью разрабатывать методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники;</li> <li>– анализировать результаты измерений;</li> </ul>
<b>УК-6</b>	<i>частичное освоение</i>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– принципы работы основных классов микросистем;</li> <li>– основы технологии изготовления микросистем;</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– применять методы физической химии наносистем для синтеза, анализа структуры компонентов нано- и микросистем;</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– математическим аппаратом для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования и моделирования процессов синтеза, диагностики и функционирования материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;</li> </ul>
<b>ОПК-5</b>	<i>частичное освоение</i>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– принципы построения и функционирования изделий нанотехнологии и микросистемной техники;</li> <li>– мировые достижения в области разработки микро- и наноразмерных электромеханических систем;</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– рассчитывать режимы работы изделий нанотехнологии и микросистемной техники;</li> <li>– формулировать и решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы для анализа, синтеза и компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники;</li> </ul>
<b>ОПК-7</b>	<i>частичное освоение</i>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– принципы физико-химического подхода для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования и моделирования процессов синтеза, диагностики и функционирования материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– описывать, анализировать, теоретически и экспериментально исследовать и моделировать процессы синтеза, диагностики и функционирования материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками работы с отдельными компонентами микро- и наносистемной техники;</li> <li>– навыками применения компонентов микро- и наносистемной техники при создании технических систем различного функционального назначения;</li> </ul>
<b>ПК-3</b>	<i>частичное освоение</i>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные подходы к проектированию микроэлектромеханических систем;</li> <li>– основные конструкции СВЧ микроэлектромеханического</li> </ul>

		переключателя; Уметь: – разрабатывать технологические маршруты формирования кремниевых датчиков; Владеть: – навыками по разработке базовых технологических процессов микро- и наносистем;
--	--	---

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц, 252 часов.

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем 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, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС		
1	Введение. Моделируемые свойства величины. Методы моделирования	и 3	1-6	4	8	-	52	4/20%	Рейтинг-контроль №1
2	Структура, виды обеспечения САПР микросистем	3	6-10	4	12	-	39	8/50%	Рейтинг-контроль №2
3	Наносистемы: термины определения	и 3	11-14	2	8	-	26	5/50%	Рейтинг-контроль №3
4	Типовые технологические процессы формирования изделий микросистемной техники. Проектирование топологии микросистем	3	15-18	8	8	-	45	8/50%	
Наличие в дисциплине КП/КР		3	18	+	+	+	+	-	
Итого по дисциплине			18	18	36	-	162	25/46%	Экзамен (36), КР

Содержание лекционных занятий по дисциплине

**Раздел 1. Введение. Моделируемые свойства и величины. Методы моделирования:**

Тема 1. «Основные стадии и этапы проектирования».

Тема 2. «Основные этапы проектирования по содержанию их задач».

Тема 3. «Методы описания процесса для анализа и стандартизации».

Тема 4. «Физико-математические модели базовых компонентов оптических систем».

Тема 5. «Понятие о математических моделях и их классификация».

Тема 6. «Физико-математические модели радиоэлектронных компонентов».

**Раздел 2. Структура, виды обеспечения САПР микросистем:**

Тема 1. «Применение ЭВМ для автоматизации задач проектирования. Состав САПР».

Тема 1. «Принципы построения САПР».

Тема 2. «Понятие о техническом обеспечении САПР».

Тема 3. «Понятие о математическом обеспечении САПР».

Тема 4. «Понятие о лингвистическом обеспечении САПР».

Тема 5. «Понятие о программном обеспечении САПР».

Тема 6. «Понятие о прикладном обеспечении САПР. Понятие об информационном обеспечении САПР».

Тема 7. «Способы организации размещения данных».

Тема 8. «Способы структурирования данных. Понятие о СУБД».

**Раздел 3. Наносистемы: термины и определения:**

Тема 1. «Основные виды и свойства микро- нанообъектов, наноматериалов, приборов и устройств на их основе».

Тема 2. «Сенсоры, электромеханические системы».

Тема 3. «Вычислительная техника на кристаллах нанометровых технологий».

**Раздел 4. Типовые технологические процессы формирования изделий микросистемной техники. Проектирование топологии микросистем:**

Тема 1. «Методика расчета эквивалентных механических параметров мембран сложной топологии для элементов микросистемной техники».

Тема 2. «Типовые технологические процессы их получения, элементная база, типовое оборудование».

Тема 3. «Микро- и нанолитография».

Тема 4. «LIGA процесс, бондинг процесс».

**Содержание практических занятий по дисциплине**

Тема 1. «Гармонический анализ микромеханической балки».

Тема 2. «Создание микромеханических элементов».

Тема 3. «Разработать геометрическую и сеточную модели П-образного актюатора в программе ANSYS».

Тема 4. «Расчет паразитных связей в гибридных микросхемах».

Тема 5. «Расчет биполярного транзистора и интегрального резистора полупроводниковой микросхемы».

**5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

В преподавании дисциплины «Проектирование микро- и наносистем» используются разнообразные образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивные методы обучения:

- *Интерактивная лекция (Раздел 1. Тема №2-5);*
- *Групповая дискуссия (Раздел 3. Тема №1);*
- *Ролевые игры (Раздел 3. Тема №2);*
- *Тренинг (Раздел 1. Тема №5);*
- *Анализ ситуаций (Раздел 2. Тема №7);*
- *Применение имитационных моделей (Раздел 4. Тема № 2);*
- *Разбор конкретных ситуаций (Раздел 3. Тема №2);*
- *Другое.*

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

### **а) Вопросы для экзамена**

1. Что такое процессно-функциональная диаграмма?
2. Приведите пример объектно-событийное описания.
3. Как Вы понимаете размерные эффекты, масштабирование в микромеханике?
4. Какова роль краевых задач в проектировании устройств микромеханики?
5. Опишите физико-топологическую модель в методике расчёта оптического тракта устройства интегральной оптики.
6. Что такое размерный фактор?
7. Уровни описания и параметры проектируемых объектов, классификация проектных процедур.
8. Основные методы описания объектов и процессов.
9. Физико-математические модели базовых компонентов оптических систем.
10. Опишите типовой набор компонент САПР.
11. Что представляет собой математическое обеспечение САПР?
12. Для чего нужны СУБД?
13. Типовые технологические процессы формирования изделий микросистемной техники. Технологические ограничения.
14. Опишите классификацию материалов в микросистемной технике. Какие свойства материалов имеют значение?
15. Перечислите основные виды и свойства нанобъектов, наноматериалов.
16. Приведите пример топологии мембраны для микросистемной техники.
17. Какова роль мембранных элементов и область применения?
18. Как рассчитываются параметры мембран?
19. Структура систем автоматизированного проектирования, виды обеспечения САПР.
20. Типовые технологические процессы формирования изделий микросистемной техники. Технологические ограничения. Механические модели в электромеханике.

### **б) Вопросы рейтинг-контроля**

#### **Вопросы рейтинг-контроля №1:**

1. Расчёты дефектов
2. Расчёты поверхностей
3. Кулоновское взаимодействие
4. Дисперсионное взаимодействие

5. Двухчастичное короткодействующее взаимодействие
6. Поляризуемость.
7. Радиальное взаимодействие.
8. Много частичные взаимодействия
9. Основы квантово-механического расчета

**Вопросы рейтинг-контроля №2:**

1. Основы молекулярно механического расчета.
2. Области применения молекулярной механики
3. Этапы проектирования микро - и наносистем
4. Приведите примеры задач расчета микро - и наносистем
5. Приведите примеры задач анализа микро - и наносистем
6. Что такое способы проектирования?
7. Приведите примеры синтеза микро - и наносистем
8. Приведите примеры оптимизации микро - и наносистем
9. Что такое процессно-функциональная диаграмма?

**Вопросы рейтинг-контроля №3:**

1. Для чего нужны уравнение баланса динамических величин и уравнение движения?
2. Перечислите базовые компоненты оптических систем.
3. Опишите типовой набор компонент САПР.
4. Что представляет собой математическое обеспечение САПР?
5. Для чего нужны СУБД?
6. Типовые технологические процессы формирования изделий микросистемной техники.
7. Технологические ограничения.
8. Механические модели в электромеханике.

**в) Вопросы к самостоятельной работе студента**

1. Конструкция и расчет элементов гибридных микросхем.
2. Проектирование топологии гибридных микросхем.
3. Конструкция и расчет элементов полупроводниковых микросхем.
4. Изоляция элементов в полупроводниковых микросхемах.
5. Проектирование топологии полупроводниковых микросхем
6. Конструкция элементов микро- и наносистем.

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
<b>Основная литература*</b>			
Гусев, А.И. Наноматериалы, нанотехнологии / А. И. Гусев. исправленное. – М.: Физматлит, 2009г.	наноструктуры, Изда-ние 2-е, - 416 с.	2014	
Афонский, А.А. Электронные нанотехнологиях и микроэлектронике	измерения в / Афонский А.А.	2011	<a href="https://www.iprbookshop.ru/63585.htm">https://www.iprbookshop.ru/63585.htm</a>

Дьяконов В.П., ДМК Пресс, 2011, 688 с.			1
Рамбиди, Н.Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Рамбиди Н.Г. Берёзкин А.В., Физматлит, 2009, 456 с.	2009		
Абрамов, И.И. Моделирование физических процессов в элементах кремниевых интегральных микросхем. – Минск, БГУ, 1999. – 189 с.	1999		
Королев, М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем / Королев, М.А., Крупкина Т.Ю., Ревелева М.А. –М., Бином. Лаборатория знаний, 2007.- 397 с.	2007		<a href="https://www.iprbookshop.ru/12272.html">https://www.iprbookshop.ru/12272.html</a>
<b>Дополнительная литература</b>			
Моделирование полупроводниковых приборов и технологических процессов/ Под ред. Г.В. Гадияка – М.: Радио и связь, 1989.	1989		
Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий: методы и применение, под ред. У. Жу, Ж. Л. Уанга ; пер. с англ. Бином. Лаборатория знаний 2013 г. - 582 с.	2013		<a href="https://www.iprbookshop.ru/88490.html">https://www.iprbookshop.ru/88490.html</a>
Рамбиди Н.Г.. Нанотехнология и молекулярные компьютеры - "Физматлит", 2007 - 256 с.	2007		
Frenkel D., Smit B., Understanding molecular simulation: from algorithms to applications. Academic Press, 2001. 600p.	2001		

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Лекционные занятия по данной дисциплине проводятся в специальных аудиториях, оснащённых доской (в том числе интерактивной), экраном для проекционных систем, проектором и ноутбуком.

Для обеспечения проведения практических работ имеются компьютерные классы кафедры ФиПМ.

Рабочую программу составил \_\_\_\_\_

(ФИО, подпись)

Рецензент

(председатель работодателя) \_\_\_\_\_

(место работы, должность, ФИО, подпись)

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

ФиПМ

Протокол №1 от 31.08.2020 года

Заведующий кафедрой

С.М. Аракелян

(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления \_\_\_\_\_

28.04.01

Протокол №1 от 31.08.2020 года

Председатель комиссии

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 \_\_\_\_\_

---