

**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 информационных технологий и радиоэлектроники**

УТВЕРЖДАЮ

Директор



А.А. Галкин

2019

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Физические основы микро – и наноэлектроники»**

Направление подготовки 12.03.04 "Биотехнические системы и технологии"

Профиль подготовки: «Биомедицинская инженерия»

г. Владимир  
2019

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины – формирование у студентов знаний о физических процессах, лежащих в основе функционирования полупроводниковых структур современной твердотельной микроэлектроники, физической основе функциональной электроники, принципах наноэлектроники.

Задачи:

- формирование у студентов базовых знаний в области физических процессов твердотельной микроэлектроники;
- приобретение студентами навыков расчёта параметров полупроводниковых материалов, анализа характеристик полупроводниковых приборов;
- формирование представлений о физической основе функциональной электроники;
- формирование представлений о перспективных направлениях развития микро - и наноэлектроники.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Физические основы микро – и наноэлектроники» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений. Пререквизиты дисциплины: «Физика», «Высшая математика».

## 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	
ПК-3. Способность к анализу, расчету, проектированию и конструированию в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов медицинских изделий и биотехнических систем на схематическом и элементном уровнях, в том числе с	ПК-1.1. Знает физические основы микроэлектронной компонентной базы биотехнических систем.	<b>Знает</b> физические закономерности процессов в полупроводниках и полупроводниковых структурах микроэлектроники.	Задания рейтинг - контроля. Отчеты по лабораторным работам. Отчёт по практической подготовке.
	ПК-1.2. Рассчитывает основные параметры полупроводниковых структур микроэлектронной компонентной базы биотехнических систем.	<b>Умеет</b> рассчитывать основные параметры полупроводниковых структур микроэлектронной компонентной базы.	
	ПК-1.3. Способен анализировать основные характеристики полупроводниковых компонентов при конструировании медицинских изделий и биотехнических систем на элементном уровне.	<b>Владет</b> навыками применения полученных знаний и умений для анализа основных характеристик полупроводниковых устройств микроэлектронной компонентной базы	

использованием систем автоматизированного проектирования.		биотехнических систем.	
ПК-5 Способность к созданию интегрированных биотехнических систем и медицинских систем и комплексов для решения сложных задач диагностики, лечения, мониторинга здоровья человека.	<p>ПК-1.1. Знает физические основы функциональной и нанoeлектроники и возможности их применение для решения сложных задач диагностики, лечения, мониторинга здоровья человека.</p> <p>ПК-1.2. Анализирует основные характеристики устройств функциональной электроники в биотехнических системах.</p> <p>ПК-1.3. Способен анализировать информацию о возможностях нанoeлектроники в создании комплексов для решения сложных задач диагностики, лечения, мониторинга здоровья человека.</p>	<p><b>Знает</b> физические принципы и возможности функциональной нанoeлектроники в создании интегрированных биотехнических и медицинских систем.</p> <p><b>Умеет</b> анализировать основные характеристики, определяющие возможности функциональной электроники в создании интегрированных биотехнических и медицинских систем.</p> <p><b>Владеет</b> навыками анализа информации о возможностях нанoeлектроники для решения сложных задач диагностики, лечения, мониторинга здоровья человека.</p>	<p>Задания рейтинг - контроля. Отчеты по лабораторным работам. реферат Отчёт по практической подготовке.</p>

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.

**Тематический план  
форма обучения – очная**

№ п/п	Наименование разделов и 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		
<b>1</b>	<b>Электропроводность полупроводников</b>	<b>4</b>	<b>1-5</b>	<b>6</b>		<b>8</b>	<b>4</b>	<b>28</b>	
	Тема 1. Общие сведения о полупроводниках.		1	2				4	
	Тема 2. Статистика носителей заряда в полупроводниках.		3	2		4	2	8	
	Тема 3. Подвижность носителей заряда в полупроводниках		5	2		4	2	8	Рейтинг - контроль №1
<b>2</b>	<b>Физические принципы работы полупроводниковых структур</b>	<b>4</b>	<b>7-13</b>	<b>8</b>		<b>6</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	
	Тема 1. Физические принципы работы полупроводниковых диодов с электронно-дырочным переходом		7	2		6	3	14	
	Тема 2. Физические процессы в биполярных транзисторах		9	2				6	
	Тема 3. Полупроводниковые элементы на структурах металл-диэлектрик-полупроводник		11	2				8	Рейтинг - контроль №2
	Тема 4. Физико-технологические особенности структур полупроводниковых интегральных микросхем		13	2				30	
<b>3</b>	<b>Основы функциональной и наноэлектроники</b>	<b>4</b>	<b>15-17</b>	<b>4</b>		<b>4</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	
	Тема 1. Основные направления функциональной электроники		15	2		4	2	12	
	Тема 2. Физические основы наноэлектроники		17	2				12	Рейтинг - контроль №3

Всего за семестр:	4	18	18		18		72	Экзамен(36)
Наличие в дисциплине КП/КР				-				-
Итого по дисциплине:	4	18	18	-	18		72	Экзамен (36)

## Содержание лекционных занятий по дисциплине

### Раздел 1 Электропроводность полупроводников

#### *Тема 1. Общие сведения о полупроводниках*

Энергетическая зонная модель металлов, диэлектриков, полупроводников. Полупроводники с собственной проводимостью. Примесные полупроводники с электронной и дырочной проводимостью. Зонная энергетическая структура собственного полупроводника. Зонная энергетическая структура примесного полупроводника.

#### *Тема 2. Статистика носителей заряда в полупроводниках*

Функция распределения плотности состояний в зонах собственного полупроводника. Функция распределения электронов по энергетическим состояниям. Концентрация носителей заряда, положение уровня Ферми в собственном полупроводнике. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в невырожденных примесных полупроводниках (примесь одного вида).

#### *Тема 3. Подвижность носителей заряда в полупроводниках*

Механизмы рассеяния носителей заряда. Подвижность носителей заряда. Температурная зависимость подвижности. Зависимость электропроводности полупроводников от температуры. Диффузионный и дрейфовый токи в полупроводниках. Равновесные и неравновесные носители заряда.

### Раздел 2. Физические принципы работы полупроводниковых структур

#### *Тема 1. Физические принципы работы полупроводниковых диодов с электронно-дырочным переходом*

Электронно-дырочный переход (р-п переход). Возникновение потенциального барьера. Контактная разность потенциалов. Зонная модель р-п перехода в равновесном состоянии. Зонная модель р-п перехода при прямом и обратном смещениях. Вольт-амперная характеристика идеального диода на основе р-п перехода. Влияние генерации, рекомбинации и объемного сопротивления базы на характеристики реальных диодов.

#### *Тема 2. Физические процессы в биполярных транзисторах*

Структура и принцип действия биполярного транзистора. Основные режимы работы. Физические процессы в бездрейфовом биполярном транзисторе в активном режиме. Схемы включения биполярного транзистора. Входные и выходные характеристики для включения с общей базой и общим эмиттером.

#### *Тема 3. Полупроводниковые элементы на структурах металл-диэлектрик-полупроводник*

Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структуры). Полевые транзисторы с изолированным затвором (МДП – транзисторы). Режимы работы МДП-структур, электрические характеристики. МДП-транзисторы с встроенным и индуцированным каналами. Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом.

#### *Тема 4. Физико-технологические особенности структур полупроводниковых интегральных микросхем*

Классификация микросхем по конструктивно - техническому исполнению. Степень интеграции микросхем. Конструктивно-технологические особенности интегральных биполярных и МПД – транзисторов. Принципы технологии производства

полупроводниковых микросхем. Технологические проблемы интегральной микроэлектроники,

### **Раздел 3. Основы функциональной и наноэлектроники**

#### ***Тема 1. Основные направления функциональной электроники***

Ограничения в схмотехнической интегральной электронике по физическим и технологическим факторам. Направления функциональной электроники. Физические основы оптоэлектроники. Полупроводниковые излучатели. Фотоприёмники. Основные направления развития фотоники. Основные направления развития магнитоэлектроники. Акустоэлектроника.

#### ***Тема 2. Физические основы наноэлектроники***

Ограничения развития микроэлектроники. Материалы и структуры наноэлектроники. Элементы и устройства одноэлектроники. Элементы молекулярной электроники. Функциональная наноэлектроника. Нанотехнологии в области запоминающих устройств.

## **Содержание лабораторных занятий по дисциплине**

### **Раздел 1. Электропроводность полупроводников**

#### ***Тема 1. Статистика носителей заряда в полупроводниках***

Лабораторная работа « Статистика носителей заряда в примесных полупроводниках» Изучение зонной энергетической структуры примесных полупроводников. Расчёт концентрации электронов в полупроводнике, содержащем донорную примесь. Расчёт концентрации дырок в полупроводнике, содержащем акцепторную примесь. Определение положения уровня Ферми в невырожденных примесных полупроводниках.

#### ***Тема 2. Подвижность носителей заряда в полупроводниках***

Лабораторная работа « Электропроводности полупроводников» Изучение механизмов рассеяния носителей заряда в полупроводниках. Расчет электропроводности полупроводников. Температурная зависимость подвижности. Изучение зависимости электропроводности полупроводников от температуры.

### **Раздел 2. Физические принципы работы полупроводниковых структур**

#### **Тема 1. Физические принципы работы полупроводниковых диодов с электронно-дырочным переходом**

Лабораторная работа « Свойства полупроводникового электронно-дырочного перехода» Анализ зонной модели электронно-дырочного перехода ( $p-n$  перехода) в равновесном состоянии. Расчёт контактной разности потенциалов. Влияние электрофизических характеристик электронно-дырочного перехода и температуры на контактную разность потенциалов.

#### ***Тема 2. Физические принципы работы полупроводниковых диодов с электронно-дырочным переходом***

Лабораторная работа « Исследование характеристик полупроводниковых диодов на постоянном и переменном токах». Изучение методики экспериментального исследования характеристик полупроводниковых диодов на постоянном и переменном токах. Влияние генерации, рекомбинации и объемного сопротивления базы на характеристики реальных диодов.

### **Раздел 3. Основы функциональной и наноэлектроники**

#### ***Тема 1. Основные направления функциональной электроники***

Лабораторная работа « Исследование вольтамперной характеристики светодиода » Изучение методики экспериментального снятия вольтамперной характеристики светодиода Основные физические процессы, параметры и характеристики светодиодов.

## 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

(рейтинг-контроль 1, рейтинг-контроль 2, рейтинг-контроль 3)

#### Контрольные вопросы

##### Рейтинг - контроль №1

1. Энергетическая зонная модель металлов, диэлектриков, полупроводников.
2. Собственные и примесные полупроводники.
3. Зонная энергетическая структура собственного полупроводника.
4. Зонная энергетическая структура примесного полупроводника.
5. Функция распределения электронов по энергетическим состояниям (функции Ферми-Дирака, Больцмана).
6. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми в собственном полупроводнике.
7. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми в электронном полупроводнике.
8. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми в дырочном полупроводнике.
9. Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках.
10. Температурная зависимость подвижности носителей заряда.
11. Зависимость электропроводности полупроводников от температуры.
12. Диффузионный и дрейфовый токи в полупроводниках.

##### Рейтинг - контроль №2

1. Электронно–дырочный переход ( $p - n$  переход) в полупроводнике. Контактная разность потенциалов.
2. Зонная модель  $p-n$  перехода в равновесном состоянии.
3. Зонная модель  $p-n$  перехода при прямом внешнем напряжении.
4. Зонная модель  $p-n$  перехода при обратном внешнем напряжении.
5. Барьерная и диффузионная емкости  $p-n$  перехода.
6. Теоретическая вольт-амперная характеристика  $p-n$  перехода
7. Структура и основные режимы работы биполярного транзистора.
8. Схемы включения биполярного транзистора.
9. Входные и выходные характеристики биполярного транзистора для включения с общей базой и общим эмиттером.
10. Сущность эффекта поля. Режимы обогащения, обеднения, инверсии и глубокого обеднения в приповерхностном слое полупроводника.
11. Режимы работы полевых транзисторов с изолированным затвором (МДП – транзисторов), параметры, вольт – амперные характеристики.
12. МДП-транзисторы с встроенным и индуцированным каналами.
13. Физические процессы в транзисторе с управляющим  $p-n$  переходом и электрические характеристики.

##### Рейтинг-контроль №3

1. Классификация микросхем по конструктивно - техническому исполнению.
2. Основные направления функциональной электроники.
3. Светодиоды. Основные физические процессы и параметры.
4. Фотодиоды, фототранзисторы. Основные физические процессы и параметры.

5. Основные направления развития магнитоэлектроники.
6. Ограничения развития микроэлектроники. Классификация низкоразмерных структур.
7. Материалы и структуры наноэлектроники.
8. Элементы и устройства одноэлектроники.
9. Элементы молекулярной электроники.
10. Нанотехнологии в области запоминающих устройств.
11. Устройства магнитонаноэлектроники.

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

### *Вопросы для подготовки к экзамену*

1. Понятие энергетических зон в твёрдом теле. Энергетические зонные диаграммы металлов, диэлектриков, полупроводников.
2. Собственные и примесные полупроводники. Донорные и акцепторные примеси в кремнии.
3. Зонная энергетическая структура полупроводника с собственной проводимостью. Эффективная плотность состояний в зоне проводимости и валентной зоне полупроводника. Функции распределения электронов по энергетическим состояниям (функции Ферми-Дирака, Максвелла-Больцмана).
4. Концентрация носителей заряда, положение уровня Ферми полупроводника с собственной проводимостью.
5. Энергетическая зонная диаграмма полупроводника с электронным типом проводимости. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в невырожденном электронном полупроводнике.
6. Энергетическая зонная диаграмма полупроводника с дырочным типом проводимости. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в невырожденном дырочном полупроводнике.
7. Подвижность свободных носителей заряда в полупроводниках. Температурная зависимость подвижности носителей заряда.
8. Связь электропроводности с концентрацией носителей заряда и их подвижностью. Температурная зависимость электропроводности полупроводников.
9. Диффузионная и дрейфовая компоненты плотности тока и полупроводнике.
10. Равновесные и неравновесные носители заряда. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда.
11. Электронно-дырочный переход (*p-n* – переход). Возникновение потенциального барьера. Контактная разность потенциалов.
12. Анализ энергетической зонной диаграммы электронно-дырочного перехода в равновесном состоянии.
13. Анализ энергетической зонной диаграммы электронно-дырочного перехода в неравновесном состоянии при прямом смещении.
14. Анализ энергетической зонной диаграммы электронно-дырочного перехода в неравновесном состоянии при обратном смещении.
15. Виды токов через электронно-дырочный переход. Вольтамперная характеристика (ВАХ) идеального *p-n*-перехода. Особенности вольт-амперной характеристики реального диода при прямом и обратном смещениях.
16. Пробой *p-n* перехода и его механизмы. Виды пробоя *p-n* перехода: лавинный, туннельный, тепловой.
17. Биполярный транзистор. Принцип действия, структура. Основные физические процессы в биполярных транзисторах. Режимы работы биполярного транзистора.
18. Схемы включения биполярного транзистора, Отличительные особенности, применение.
19. Биполярный транзистор в схеме с общей базой. Основные параметры. Вольт-



- амперные характеристики биполярного транзистора в активном режиме при включении по схеме с общей базой.
20. Биполярный транзистор в схеме с общим эмиттером. Основные параметры. Вольт-амперные характеристики биполярного транзистора в активном режиме при включении по схеме с общим эмиттером.
  21. Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структуры). Режимы обогащения, обеднения, инверсии и глубокого обеднения в приповерхностном слое полупроводника.
  22. Полевые транзисторы с изолированным затвором (МДП-транзисторы). Режимы работы МДП – структур, электрические характеристики. МДП-транзисторы с встроенным и индуцированным каналами.
  23. Полевые транзисторы с управляющим  $p-n$  переходом. Физические процессы в транзисторах. Режимы работы, параметры, вольт-амперные характеристики.
  24. Классификация микросхем по конструктивно - техническому исполнению. Степень интеграции микросхем. Принципы технологии полупроводниковых микросхем.
  25. Типы носителей информационного сигнала в функциональной электронике. Основные направления функциональной электроники.
  26. Оптоэлектроника. Люминесценция, виды, способы возбуждения. Полупроводниковые излучатели. Основные процессы, параметры и характеристики.
  27. Фоторезистивный эффект. Фотодетекторы. Фотодиоды, фототранзисторы. Основные процессы, параметры и характеристики.
  28. Физические основы магнитоэлектроники. Основные направления развития магнитоэлектроники.
  29. Ограничения развития микроэлектроники. Классификация низкоразмерных структур. Материалы и структуры нанозлектроники.
  30. Физические основы, элементы и устройства одноэлектроники.
  31. Физические основы и элементы молекулярной электроники.
  32. Нанотехнологии в области запоминающих устройств.
  33. Приборы квантовой электроники: лазеры и фотоприемники на структурах с квантовыми точками.
  34. Тенденции и перспективы развития микро – и нанозлектроники.

### **5.3 Самостоятельная работа студентов**

Самостоятельная работа студентов включает изучение теоретического материала, подготовку к защите лабораторных работ, выполнение реферата, подготовку к рейтинг - контролю. Текущий контроль освоения материала проводится на лабораторных занятиях в процессе обсуждения изучаемых вопросов, путём экспресс-опроса на занятиях, проведения рейтинг - контроля, индивидуальных собеседований. Формы отчета студента перед преподавателем о результатах выполнения самостоятельной работы: конспект, реферат, обзоры информации, графическое представление изученного учебного материала,

#### ***Вопросы для самостоятельной работы***

##### **Раздел 1. Электропроводность полупроводников**

[основная литература: 1-3; дополнительная литература:1]

1. Энергетическая зонная модель металлов, диэлектриков, полупроводников.
2. Энергетическая зонная структура полупроводника с собственной проводимостью.
3. Функция распределения плотности состояний в зонах.
4. Распределение электронов по энергетическим состояниям (функции Ферми-Дирака, Максвелла-Больцмана).

5. Зависимость функции распределения электронов по энергетическим состояниям от температуры.
6. Концентрация носителей заряда в собственном полупроводнике.
7. Энергетическая зонная структура примесного полупроводника.
8. Концентрация носителей заряда в невырожденных примесных полупроводниках.
9. Подвижность носителей заряда.
10. Температурная зависимость подвижности.
11. Электропроводность полупроводников.
12. Зависимость электропроводности полупроводников от температуры.
13. Диффузионный и дрейфовый токи в полупроводниках.
14. Равновесные и неравновесные носители заряда.

## **Раздел 2. Физические принципы работы полупроводниковых структур**

[основная литература: 1-3; дополнительная литература:1,2]

1. Электронно-дырочный переход в полупроводнике. Контактная разность потенциалов.
2. Энергетическая зонная диаграмма электронно-дырочного перехода в равновесном состоянии.
3. Зонная модель электронно-дырочного перехода при прямом и обратном смещении.
4. Барьерная и диффузионная емкости электронно-дырочного перехода.
5. Вольт-амперная характеристика идеального диода на основе  $p-n$  перехода. Влияние генерации, рекомбинации и объемного сопротивления базы на характеристики реальных диодов.
6. Пробой  $p-n$  перехода и его механизмы. Виды пробоя  $p-n$  перехода: лавинный, туннельный, тепловой.
7. Принцип действия, структура, основные физические процессы в биполярных транзисторах.
8. Режимы работы биполярного транзистора.
9. Схемы включения биполярного транзистора, Отличительные особенности, применение.
10. Биполярный транзистор в схеме с общей базой. Основные параметры. Входные и выходные характеристики транзистора в активном режиме.
11. Биполярный транзистор в схеме с общим эмиттером. Основные параметры. Входные и выходные характеристики транзистора в активном режиме.
12. Физические процессы в полевых транзисторах с изолированным затвором.
13. Режимы работы МДП - структур и электрические характеристики.
14. МДП-транзисторы с встроенным и индуцированным каналами.
15. Полевые транзисторы с управляющим  $p-n$  переходом. Режимы работы, параметры, вольт-амперные характеристики.
16. Классификация микросхем по конструктивно - технологическому исполнению.

## **Раздел 3. Основы функциональной и наноэлектроники**

[основная литература: 2,4,5; дополнительная литература:3,4,5]

1. Физические принципы функциональной электроники.
2. Основные направления функциональной электроники.
3. Физические основы оптоэлектроники.
4. Полупроводниковые излучатели. Основные процессы, параметры и характеристики.
5. Полупроводниковые фотоприёмники. Основные процессы, параметры и характеристики.
6. Основные направления развития фотоники.
7. Физические основы магнитоэлектроники.
8. Материалы и структуры наноэлектроники.
9. Физические основы, элементы и устройства одноэлектроники.

10. Физические основы и элементы молекулярной электроники.
11. Нанотехнологии в области запоминающих устройств.
12. Физико-технологические принципы структур и устройства магнитонаноэлектроники.
13. Тенденции и перспективы развития микро – и наноэлектроники.

### *Реферат*

Структура реферата: титульный лист; содержание; текст реферативной работы, состоящий из введения, основной части и заключения; список использованной литературы; приложение. Во введении обосновывается актуальность темы, определяются цели и задачи реферативной работы. В основной части студент анализирует проблему, формулирует основные положения темы. Название и расположение глав основной части должно соответствовать содержанию реферата. Главы, параграфы должны заканчиваться логическими выводами, подводящими итоги соответствующего этапа выполненной работы. Заключение содержит выводы по работе. Рекомендуемый объём реферата – 15...20 листов формата А4 (MS WORD, Times New Roman, кегль 14, 1,5 интервала).

### *Темы рефератов*

1. Современное состояние и проблемы микроэлектроники.
2. Устройства оптоэлектроники в биотехнических системах.
3. Устройства магнитоэлектроники в биотехнических системах.
4. Устройства акустоэлектроники в биотехнических системах.
5. Перспективы создания быстродействующих нанотранзисторов.
6. Наносенсоры на основе одноэлектронных транзисторов.
7. Химически чувствительные полевые транзисторы и биосенсоры на их основе.
8. Приборы политроники в биотехнических системах.
9. Полимерные наноструктуры для гибких экранов.
10. Приборы квантовой электроники на структурах с квантовыми точками.
11. Устройства на фотонных кристаллах.
12. Устройства магнитонаноэлектроники.
13. Основные направления криоэлектроники.
14. Перспективы развития спинтроники.
15. Биозлектроника в создании интегрированных биотехнических и медицинских систем.
16. Базовые логические элементы из бактерий и ДНК.
17. Молекулярная электроника в создании интегрированных биотехнических и медицинских систем.
18. Основные направления функциональной наноэлектроники.
19. Элементы и устройства одноэлектроники.
20. По выбору студента

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 электронной библиотеке ВлГУ
1	2	3
Основная литература		
1. Старосельский, В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники. Учебное пособие для вузов/ В.И. Старосельский М.: Издательство Юрайт, 2015. - 467 с	2015	<a href="https://bookree.org/reader?file=716104">https://bookree.org/reader?file=716104</a>
2. Физика. Введение в твердотельную электронику [Электронный ресурс]: учебное пособие/ А.Г. Захаров [и др.].— Электрон. текстовые данные.— Ростов-на-Дону, Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018.— 107 с.	2018	<a href="https://inep.sfedu.ru/wp-content/uploads/2015/04/24/">https://inep.sfedu.ru/wp-content/uploads/2015/04/24/</a>  <a href="https://avidreaders.ru/read-book/fizika-vvedenie-v-tverdotelnuyu-elektroniku.html">https://avidreaders.ru/read-book/fizika-vvedenie-v-tverdotelnuyu-elektroniku.html</a>
3. Бурбаева, Н.В. Основы полупроводниковой электроники [Электронный ресурс] / Бурбаева Н.В., Днепровская Т.С. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 312 с. - ISBN 978-5-9221-1379-3	2012	<a href="https://www.studentlibrary.ru/ru/doc/ISBN9785922113793-SCN0000/000.html">https://www.studentlibrary.ru/ru/doc/ISBN9785922113793-SCN0000/000.html</a>
4. Зебрев Г.И. Физические основы кремниевой наноэлектроники [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ Зебрев Г.И.— Электрон. текстовые данные.— Москва: Лаборатория знаний, 2019.— 241 с	2019	<a href="https://obuchalka.org/2017102597034/fizicheskie-osnovi-kremnievoi-nanoelektroniki-zebrev-g-i-2011.html">https://obuchalka.org/2017102597034/fizicheskie-osnovi-kremnievoi-nanoelektroniki-zebrev-g-i-2011.html</a>  <a href="https://bookree.org/reader?file=1427836">https://bookree.org/reader?file=1427836</a>
5. Основы нано - и функциональной электроники/ Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов, — М.: Лань, 2013. — 320 с. - ISBN: 978-5-8114-1378-2	2013	<a href="https://knigifb2.org/obychenie/7174-yua-smirnov-i-dr-osnovy-nano-i-funkcionalnoy-elektroniki-2013-pdf.html">https://knigifb2.org/obychenie/7174-yua-smirnov-i-dr-osnovy-nano-i-funkcionalnoy-elektroniki-2013-pdf.html</a>

Дополнительная литература		
1. Авдеев С.П. Краткий обзор теории полупроводниковых структур [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Авдеев С.П.— Электрон. текстовые данные.— Ростов-на-Дону, Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018.— 118 с.	2018	<a href="https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785927527212.html">https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785927527212.html</a>
2. Воротынцев В.М., Базовые технологии микро - и нанoeлектроники / Воротынцев В. М., Скупов В. Д. - М.: Проспект, 2017. - 520 с. - ISBN 978-5-392-25297-8. -	2017	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785976519633.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785976519633.html</a> .
3 Кондрашин А.А., Современные технологии изготовления трехмерных электронных устройств: Учеб. пособие / Кондрашин А.А., Лямин А.Н., Слепцов В.В. Изд-е 2-е, испр. и доп. - М.: Техносфера, 2019. - 210 с. - ISBN 978-5-94836-504-6.	2019	<a href="https://www.technosphaera.ru/files/book_pdf/0/book_536_155.pdf">https://www.technosphaera.ru/files/book_pdf/0/book_536_155.pdf</a>
4. Игнатов, А.Н. Нанoeлектроника. Состояние и перспективы развития: учеб. пособие / А.Н. Игнатов. — 2-е изд., стер. — Москва: ФЛИНТА, 2017. — 360 с. - ISBN 978-5-9765-1619-9.	2017	<a href="http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=462120">http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=462120</a>

### 6.2. Периодические издания

1. Журнал «Известия вузов: электроника»
2. Журнал «Нано - и микросистемная техника»
3. Журнал «Микроэлектроника».
4. Журнал «Физика и техника полупроводников».
5. Журнал «Журнал технической физики»

### 6.3. Интернет-ресурсы

1. <https://vlsu.bibliotech.ru>
2. [www.bibliorossica.com](http://www.bibliorossica.com)
3. [www.studentlibrary.ru](http://www.studentlibrary.ru)
4. [www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com)
5. [www.ZNANIUM.COM](http://www.ZNANIUM.COM)
6. [www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru) Современная профессиональная база данных.
7. [www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru) Современная профессиональная база данных.
8. [www.normacs.ru](http://www.normacs.ru) Информационная справочная система.

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

Для реализации дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий практического типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Лабораторные работы проводятся в компьютерном классе 330-3 и лаборатории 328-3, оборудованной стендами для выполнения экспериментальных работ.

Перечень используемого лицензионного программного обеспечения: MS Office.

Рабочую программу составила доцент Фролова Т.Н. Фролова

Рецензент,  
начальник отдела медицинской физики,  
информатики и дозиметрии ГБУЗ ВО "ОКОД"  
к.т.н., Чирков К. В. Чирков

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры "Биомедицинские и  
электронные системы и технологии"  
Протокол № 1 от 30.08. 2019 года

Заведующий кафедрой Сушкова Л.Т. Сушкова

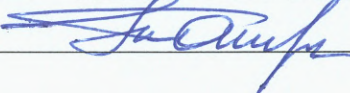
Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической  
комиссии направления 12.03.04 "Биотехнические системы и технологии"  
Протокол № 1 от 30.08. 2019 года

Председатель комиссии Сушкова Л.Т. Сушкова

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ  
«Физические основы микро - и наноэлектроники»**

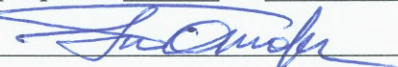
Рабочая программа одобрена на 2020/2021 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 31.08.20 года

Заведующий кафедрой  И.В. Матышевский

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 \_\_\_\_\_



**ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ**  
в рабочую программу дисциплины  
«Физические основы микро - и наноэлектроники»  
образовательной программы направления подготовки  
11.04.03 "Конструирование и технология электронных средств",  
направленность: бакалавриат

Номер изменения	Внесены изменения в части/разделы рабочей программы	Исполнитель ФИО	Основание (номер и дата распорядительного документа о внесении изменения)
1			
2			

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры "Биомедицинские и электронные системы и технологии", протокол №\_\_ от \_\_. \_\_. 202\_\_ г.  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

*Подпись*

*ФИО*