

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



Проректор  
по учебно-методической работе

А.А. Панфилов

2015 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

« Физические основы микро – и наноэлектроники «

Направление подготовки: 11.03.03 "Конструирование и технология электронных средств"

Профиль подготовки - "Проектирование и технология электронных средств"

Уровень высшего образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

Семестр	Трудоёмкость зач. ед./час	Лекций, час.	Практ. занятий, час.	Лабор. работ, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экс/зачёт)
3	4/144	18		36	63	экзамен (27час.)
4	4/144	36		18	90	зачёт
<b>Итого:</b>	<b>8/288</b>	<b>54</b>		<b>54</b>	<b>153</b>	<b>экзамен (27час.), зачёт</b>

Владимир 2015

*Handwritten mark*

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Физические основы микро – и нанoeлектроники» являются:

- формирование у студентов знаний о физических процессах, лежащих в основе функционирования полупроводниковых структур современной твердотельной микроэлектроники, физической природе эффектов и явлений в наноструктурах и принципах нанoeлектроники;
- приобретение студентами навыков расчёта параметров полупроводниковых материалов и элементов микросхем, анализа характеристик полупроводниковых приборов
- формирование представлений о перспективных направлениях развития микро - и нанoeлектроники.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Физические основы микро - и нанoeлектроники» относится к базовой части ОПОП ВО (код Б1.Б14) и изучается в 3 и 4 семестрах. Необходимые для освоения дисциплины знания, умения и готовности обучающегося приобретаются в результате изучения физики, высшей математики, теоретических основ электротехники, основ электроники. Освоение данной дисциплины необходимо для изучения курсов «Аналоговая и цифровая электроника», «Компоненты электронных средств», «Конструирование электронных средств».

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<i>Коды компетенций по ФГОС</i>	<i>Компетенции</i>	<i>Планируемые результаты обучения</i>
ОПК-1	способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики	<b>Знать:</b> физические процессы, протекающие в полупроводниковых структурах, используемых в приборах современной твердотельной микроэлектроники и являющиеся основой их принципа действия; физические основы и принципы нанoeлектроники <b>Уметь:</b> рассчитывать основные параметры, характеризующие физические процессы в полупроводниках и полупроводниковых устройствах <b>Владеть:</b> навыками теоретического анализа физических процессов в полупроводниках и полупроводниковых устройствах
ОПК-5	способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных	<b>Уметь:</b> использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных об основных параметрах и характеристиках полупроводниковых устройств.

ОПК-6	способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий	<b>Уметь:</b> осуществлять поиск и использование источников информации для анализа электрофизических процессов в микроструктурах интегральных микросхем, полупроводниковых приборов и структурах наноэлектроники.
ПК-2	готовностью проводить эксперименты по заданной методике, анализировать результаты, составлять обзоры, отчеты	<b>Уметь:</b> анализировать результаты экспериментов по исследованию основных параметров, характеризующих физические процессы в полупроводниках и полупроводниковых устройствах и составлять отчеты.
ПК-3	готовностью формировать презентации, научно-технические отчеты по результатам выполненной работы, оформлять результаты исследований в виде статей и докладов на научно-технических конференциях	<b>Уметь:</b> формировать презентации по результатам исследований в области перспективных направлений развития микро - и наноэлектроники

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 8 зачётных единиц, 288 часов.

№ 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	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС			КП / КР
3 семестр											
1	Основы квантовой теории полупроводников	3	1-6	6		10		18		5/31	Рейтинг-контроль №1
2	Электропроводность полупроводников	3	7-12	6		12		20		5/28	Рейтинг-контроль №2
3	Контактные явления в полупроводниках	3	13-18	6		14		25		6/30	Рейтинг-контроль №3
	Итого:	3	18	18		36		63		16/30	Экзамен (27час.)

4 семестр											
4	Полупроводниковые структуры с электронно-дырочным переходом	4	1-5	10		8		30		5/30	Рейтинг-контроль №1
5	Полупроводниковые элементы на структурах металл-диэлектрик-полупроводник	4	6-10	10		4		26		4/29	
6	Физико-технологические особенности структур полупроводниковых интегральных микросхем	4	11, 12	4		6		10		3,5/35	Рейтинг-контроль №2
7	Функциональная электроника	4	13-15	6				12		2/33	
8	Нанoeлектроника		16-18	6				12		1,5/25	Рейтинг-контроль №3
Итого:		4	18	36		18		90		16/30	Зачёт
Всего:		3,4	36	54		54		153		32/30	Экзамен (27час.), зачёт

#### 4.1 Теоретический курс: содержание разделов и тем дисциплины

##### 3 семестр

##### Введение

История развития твердотельной электроники. Значение полупроводниковых приборов и интегральных микросхем для развития электронных средств. Современное состояние и проблемы микроэлектроники. Тенденции и перспективы развития микро – и нанoeлектроники.

##### Раздел 1. Основы квантовой теории полупроводников

##### 1.1. Элементы квантовой механики

Микрочастица в потенциальной яме. Уравнение Шредингера. Энергетические уровни микрочастицы в потенциальной яме. Микрочастица в периодическом силовом поле кристаллической решетки. Образование зонной энергетической структуры. Число состояний в разрешенной зоне. Квазиимпульс электрона. Закон дисперсии. Изоэнергетические поверхности. Локализованные состояния. Зонная структура некоторых полупроводников.

##### 1.2. Статистика носителей заряда в собственном полупроводнике

Зонная энергетическая структура собственного полупроводника. Функция распределения плотности состояний в зонах. Эффективная плотность состояний в зоне проводимости. Эффективная плотность состояний в валентной зоне. Функция распределения электронов по энергетическим состояниям (функции Ферми-Дирака, Больцмана). Собственный полупроводник: концентрация носителей заряда, положение уровня Ферми в собственном полупроводнике. Закон действующих масс.

##### 1.3. Статистика носителей заряда в примесных полупроводниках

Концентрация электронов в полупроводнике, содержащем донорную примесь. Концентрация дырок в полупроводнике, содержащем акцепторную примесь. Уравнение электронейтральности. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в невырожденных

примесных полупроводниках (примесь одного вида). Полупроводник, содержащий акцепторную и донорную примесь, – компенсированный полупроводник. Вырожденный полупроводник.

## **Раздел 2. Электропроводность полупроводников**

### **2.1. Механизмы рассеяния носителей заряда**

Рассеяние носителей заряда. Вероятность рассеяния. Связь времени релаксации с эффективным сечением. Время и длина свободного пробега. Типы центров рассеяния. Эффективные сечения рассеяния и длины свободного пробега носителей заряда для различных типов центров рассеяния. Рассеяние на ионах примеси. Рассеяние на нейтральных центрах. Рассеяние на тепловых колебаниях решетки.

### **2.2. Генерация и рекомбинация носителей заряда**

Равновесные и неравновесные носители заряда. Скорость генерации и рекомбинации носителей заряда. Биполярная генерация носителей заряда. Монополярная генерация носителей заряда. Виды рекомбинации. Межзонная излучательная рекомбинация. Межзонная ударная рекомбинация. Рекомбинация носителей заряда через центры захвата. Время жизни носителей заряда. Зависимость времени жизни носителей заряда от положения уровня Ферми. Центры прилипания и центры рекомбинации. Поверхностная рекомбинация. Рекомбинация по Шокли-Риду.

### **2.3. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда**

Изменение числа носителей заряда при наличии процессов диффузии и дрейфа. Уравнение непрерывности. Диффузионный и дрейфовый токи при наличии градиента концентрации носителей заряда. Коэффициент диффузии электронов и дырок. Соотношение Эйнштейна. Движение неосновных носителей заряда. Диффузионная длина для неосновных носителей. Инжекция и экстракция носителей заряда.

## **Раздел 3. Контактные явления в полупроводниках**

### **Тема 3.1. Физические явления в контакте металла с полупроводником**

Работа выхода и контактная разность потенциалов. Типы контактов металла с полупроводником и их зонные модели. Обогащенный и обедненный приконтактные слои в полупроводниках. Омический контакт Барьер Шоттки. Толщина области пространственного заряда контакта и ее зависимость от внешнего приложенного напряжения. Виды токов через контакт. Вольт-амперная характеристика диода Шоттки.

### **Тема 3.2. Физические явления в $p-n$ переходе**

Электронно-дырочный переход ( $p-n$  переход). Возникновение потенциального барьера. Контактная разность потенциалов. Зонная модель  $p-n$  перехода при прямом и обратном смещении. Зависимость толщины области пространственного заряда  $p-n$  перехода от внешнего приложенного напряжения. Барьерная емкость  $p-n$ -перехода. Виды токов через  $p-n$  переход. Вольт-амперная характеристика (ВАХ)  $p-n$  перехода. Диффузионная емкость. Принципы формирования и характеристики различных типов  $p-n$ -переходов. Физические явления в гетеропереходах.

4 семестр

## **Раздел 4. Физические принципы работы полупроводниковых структур с электронно-дырочным переходом**

### **Тема 4.1. Физические принципы работы полупроводниковых диодов с электронно-дырочным переходом**

Характеристики идеального диода на основе  $p-n$  перехода. Влияние генерации, рекомбинации и объемного сопротивления базы на характеристики реальных диодов. Влияние генерации неравновесных носителей в ОПЗ  $p-n$  перехода на обратный ток диода. Влияние рекомбинации неравновесных носителей в ОПЗ  $p-n$  перехода на прямой ток диода. Виды пробоя  $p-n$  перехода: лавинный, туннельный, тепловой. Переходные процессы в

полупроводниковых диодах. Силовые диоды. Стабилитроны. Туннельный и обращенный диоды.

#### ***Тема 4.2. Физические процессы в биполярных транзисторах***

Структура и основные режимы работы. Взаимодействие двух  $p-n$  переходов. Схемы включения. Виды потоков носителей заряда. Принцип действия биполярного транзистора в качестве усилителя. Распределение концентрации инжектированных носителей в базе. Дрейфовый транзистор. Эффекты, связанные высоким уровнем инжекции, рекомбинацией дырок на поверхности базы, лавинным пробоем БТ. Статические характеристики. Входные и выходные характеристики для включения с общей базой и общим эмиттером. Модель Эберса-Молла.

### **Раздел 5. Полупроводниковые элементы на структурах металл-диэлектрик-полупроводник**

#### ***Тема 5.1. Физические процессы в структуре металл-диэлектрик-полупроводник***

Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структуры). Идеальная МДП-структура. Режимы обогащения, обеднения, инверсии и глубокого обеднения в приповерхностном слое полупроводника. Вольт-фарадная характеристика МДП-структуры. Зависимость емкости МДП-структуры от напряжения в режиме обеднения.

#### ***Тема 5.2. Полевые транзисторы***

Полевые транзисторы с изолированным затвором (МДП – транзисторы). Физические процессы в идеальной и реальной структурах. Режимы работы МДП-структур, энергетические диаграммы и электрические характеристики. МДП-транзисторы с встроенным и индуцированным каналами. Факторы, определяющие быстродействие МДП-транзисторов. Полевые транзисторы с управляющим  $p-n$  переходом. Физические процессы в структуре и электрические характеристики. Режимы работы, параметры, вольт-амперные характеристики. Биполярные транзисторы с изолированным затвором.

### **Раздел 6. Физико-технологические особенности структур полупроводниковых интегральных микросхем**

#### ***Тема 6.1. Конструкции и топология элементов полупроводниковых интегральных микросхем***

Классификация микросхем по конструктивно - техническому исполнению. Степень интеграции микросхем. Конструктивно-технологические особенности и варианты интегральных биполярных и МПД – транзисторов, диодов, резисторов, конденсаторов. Биполярно – полевые структуры. Вертикальная структура интегрального биполярного транзистора. Горизонтальная структура биполярного транзистора. Многоэмиттерные транзисторы. Функционально интегрированные элементы. МДП – элементы полупроводниковых запоминающих устройств.

#### ***Тема 6.2. Принципы технологии производства полупроводниковых микросхем.***

Основные технологические операции в производстве микросхем. Методы формирования  $p-n$  переходов в полупроводниках. Литография. Планарно-эпитаксиальная технология изготовления биполярной ИС. Изопланарный процесс. МДП – технология. Особенности КМДП технологии.

### **Раздел 7. Функциональная электроника**

#### ***Тема 7.1. Основные направления функциональной электроники.***

Ограничения в схемотехнической интегральной электронике по физическим и технологическим факторам. Статистические и динамические неоднородности. Типы носителей информационного сигнала. Физические поля и процессы, обеспечивающие возникновение, продвижение и взаимодействие динамических неоднородностей в континуальной среде. Акустоэлектроника. Магнитоэлектроника. Молекулярная электроника. Оптоэлектроника.

### ***Тема 7.2. Физические основы оптоэлектроники.***

Люминесценция, виды, способы возбуждения. Полупроводниковые излучатели. Светодиоды, лазеры. Основные процессы, параметры и характеристики. Фоторезистивный эффект. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости. Вентильная фотоэлектродвижущая сила. Фотодетекторы. Фотодиоды, фототранзисторы. Спектрально-энергетические характеристики фоточувствительности. Основные направления развития фотоники.

## **Раздел 8. Нанoeлектроника**

### ***Тема 8.1. Физические принципы нанoeлектроники***

Энергетический спектр частиц в системах с пониженной размерностью. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов. Структуры с двумерным электронным газом (одномерной потенциальной ямой). Низкоразмерные структуры с одномерным электронным газом (квантовые нити). Низкоразмерные структуры с нульмерным электронным газом (квантовые точки).

### ***Тема 8.1. Элементы и приборы нанoeлектроники.***

Нанотранзисторные структуры (кремниевые транзисторы, гетеротранзисторы, нанотранзисторы на основе углеродных нанотрубок, кремниевых нанопроводах, на основе графена). Одноэлектроника. Приборы политроники: органические транзисторы, светоизлучающие светодиоды. Полимерные наноструктуры для гибких экранов. Полупроводниковые гетероструктуры с квантовыми ямами и сверхрешетками. Гетероструктуры с квантовыми проволоками и квантовыми точками. Приборы квантовой электроники: лазеры и фотоприемники на структурах с квантовыми точками. Нанoeлектронные запоминающие устройства.

## **4.2. Лабораторные занятия**

Лабораторные занятия, являясь формой индивидуально-группового обучения, имеют целью углубление и закрепление знаний, полученных в процессе самостоятельной работы, а также способствуют выявлению преподавателем уровня подготовки каждого студента и его возможностей. Целью лабораторных занятий является освоение методов

### ***Перечень лабораторных работ***

#### **3 семестр**

1. Статистика носителей заряда в собственном полупроводнике.
2. Статистика носителей заряда в примесных полупроводниках
3. Электропроводность полупроводников.
4. Моделирование вольт-амперных характеристик полупроводниковых диодов.
5. Исследование характеристик полупроводниковых диодов на постоянном и переменном токах.
6. Оптическое поглощение и фотопроводимость полупроводников.
7. Экспериментальное снятие вольтамперной характеристики светодиода.

#### **4 семестр**

8. Испытание p-n переходов биполярного транзистора и снятие его выходных характеристик с помощью осциллографа
9. Снятие статических характеристик полевого транзистора с изолированным затвором и индуцированным каналом.
10. Конструкции и топология элементов полупроводниковых интегральных микросхем.
11. Физико-технологические основы полупроводниковых структур интегральных микросхем.

Отчеты по лабораторным работам индивидуальные и должны соответствовать требованиям стандартов. Защита выполненных лабораторных работ проводится во время лаборатор-

ных занятий. Студенты допускаются к выполнению следующей лабораторной работы после защиты выполненной работы.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки предусматривается использование активных и интерактивных форм обучения при проведении лекционных, лабораторных занятий. На лекционных занятиях используется проблемно-ориентированный подход, стимулирование активности путём привлечения к обсуждению проблем, на занятиях применяются мультимедиа технологии (видеофильмы, презентации электронные альбомы и др.).

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

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости:

- а) устный опрос студентов на лекциях по изучаемому материалу;
- б) оценка выполнения и защиты лабораторных работ;
- в) оценка выполнения расчётно - графической работы;
- г) проведение рейтинг – контроля.

### *Перечень вопросов для рейтинг – контроля*

3 семестр

#### *Рейтинг-контроль № 1*

1. Микрочастица в потенциальной яме.
2. Понятие состояния. Число возможных состояний.
3. Зонная структура полупроводников.
4. Статистика электронов в беспримесных полупроводниках.
5. Статистика электронов в примесных полупроводниках.
6. Распределение носителей заряда в полупроводниках по энергиям.
7. Генерационно – рекомбинационные процессы в полупроводниках.
8. Эффективное время жизни носителей заряда в полупроводниках.
9. Электропроводность полупроводников.

#### *Рейтинг-контроль №2*

1. Контакт металл–полупроводник. Контактная разность потенциалов.
2. Свойства контакта металл – полупроводник с  $A_m > A_p$ .
3. Свойства контакта металл – полупроводник с  $A_m < A_p$ .
4. Контакт металл – электронный полупроводник. Свойства.
5. Контакт металл – дырочный полупроводник. Свойства.
6. Свойства контактов металл-полупроводник при различных соотношениях термодинамических работ выхода.
7. Омический и выпрямляющий контакты. Зонные диаграммы.
8. Влияние внешнего электрического поля на зонную диаграмму контакта металл – полупроводник.
9. Виды токов через контакт металл – полупроводник.
10. Вольтамперная характеристика барьера Шоттки.

#### *Рейтинг-контроль №3*

1. Принципы формирования  $p$ - $n$  переходов в полупроводнике.
2. Контактная разность потенциалов.
3. Диаграмма энергетических уровней электронно–дырочного перехода
4. Зонная модель  $p$ - $n$  перехода при прямом внешнем напряжении.



5. Зонная модель  $p-n$  перехода при обратном внешнем напряжении.
6. Барьерная емкость  $p-n$  перехода.
7. Диффузионная емкость  $p-n$  перехода.
8. Зависимость толщины области пространственного заряда  $p-n$  перехода от внешнего приложенного напряжения.
9. Вольт-амперная характеристика идеального  $p-n$  перехода.
10. Физические явления в гетеропереходах.

4 семестр

#### *Рейтинг-контроль №1*

1. Виды токов через  $p-n$  переход.
2. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) идеального диода на основе  $p-n$  перехода.
3. Влияние температуры, концентрации примесей и ширины запрещенной зоны на вольт-амперную характеристику.
4. Физические явления, вызывающие отклонения от идеализированной модели  $p-n$  перехода.
5. Вольт-амперная характеристика реального  $p-n$  перехода.
6. Виды пробоя в электронно-дырочном переходе.
7. Переходные процессы в полупроводниковых диодах.
8. Инерционные свойства перехода.
9. Структура интегрального биполярного транзистора.
10. Режимы работы биполярного транзистора.
11. Виды потоков носителей заряда.
12. Уравнение для токов и напряжений биполярного транзистора.
13. Схемы включения биполярного транзистора.
14. Дрейфовый транзистор.
15. Распределение концентрации инжектированных носителей в базе.
16. Дрейфовый транзистор.
17. Статические характеристики транзистора.
18. Модель Эберса – Молла.

#### *Рейтинг-контроль №2*

1. Сущность эффекта поля.
2. Зонная диаграмма приповерхностной области полупроводника в равновесных условиях
3. Зонная диаграмма приповерхностной области полупроводника  $n$ -типа в состоянии обогащения
4. Зонная диаграмма приповерхностной области полупроводника  $n$ -типа в состоянии обеднения
5. Зонная диаграмма приповерхностной области полупроводника  $n$ -типа в состоянии слабой инверсии
6. Зонная диаграмма приповерхностной области полупроводника  $n$ -типа в состоянии сильной инверсии
7. Система металл – диэлектрик – полупроводник (МДП-структура).
8. Зонная диаграмма идеальной МДП структуры.
9. Вольт-фарадная характеристика МДП-структуры
10. Зависимость емкости МДП-структуры от напряжения в режиме обеднения.
11. Полевые транзисторы с изолированным затвором ( МДП – транзисторы).
12. Физические процессы в идеальной структуре.
13. Режимы работы МДП – транзисторов, параметры, вольт – амперные характеристики.
14. Энергетические диаграммы и электрические характеристики МДП – транзисторов.
15. МДП-транзисторы с встроенным и индуцированным каналами.

16. Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом.
17. Физические процессы в структуре транзистора с управляющим р-п переходом и электрические характеристики.
18. Режимы работы, параметры, вольт – амперные характеристики полевых транзисторов с управляющим р-п переходом.
19. Биполярные транзисторы с изолированным затвором

### *Рейтинг-контроль №3*

1. Основные направления функциональной электроники.
2. Акустоэлектроника.
3. Диэлектрическая электроника.
4. Магнитоэлектроника.
5. Молекулярная электроника.
6. Оптоэлектроника. Люминесценция, виды, способы возбуждения.
7. Полупроводниковые излучатели. Светодиоды, лазеры, основные процессы, параметры и характеристики.
8. Механизмы генерации и рекомбинации фотоносителей в примесных и беспримесных полупроводниках.
9. Фоторезистивный эффект. Фотопроводимость.
10. Релаксация фотопроводимости. Вентильная фотоэлектродвижущая сила.
11. Фотодетекторы. Фотодиоды, фототранзисторы. Спектрально – энергетические характеристики фоточувствительности.
12. Основные направления развития фотоники.
13. Энергетический спектр частиц в системах с пониженной размерностью.
14. Элементы и приборы нанoeлектроники.
15. Нанотранзисторные структуры (кремниевые транзисторы, гетеротранзисторы, нанотранзисторы на основе углеродных нанотрубок, кремниевых нанопроводах, на основе графена).
16. Одноэлектроника. Приборы политроники: органические транзисторы, светоизлучающие светодиоды. Полимерные наноструктуры для гибких экранов.. Спинтроника.
17. Полупроводниковые гетероструктуры с квантовыми ямами и сверхрешетками. Гетероструктуры с квантовыми проволоками и квантовыми точками.
18. Нанoeлектронные запоминающие устройства.

### **Экзамен**

3 семестр

Экзамен проводится по билетам. Студент должен продемонстрировать знание основ квантовой теории твердого тела, физическую сущность электрических, фотоэлектрических, термоэлектрических, гальваномагнитных оптических, контактных явлений в полупроводниках; уметь выполнять типовые расчеты электрофизических параметров полупроводников. Студент должен знать перспективы использования полупроводников в соответствии с основными направлениями развития микро - и нанoeлектроники.

### *Вопросы к экзамену*

1. Уравнение Шредингера. Волны де – Бройля. Микрочастица в потенциальной яме.
2. Волновая функция в одномерной и трехмерной структуре.
3. Понятие состояния. Число возможных состояний. Вырождение.
4. Состояние электронов в периодическом силовом поле.
5. Соотношения между энергиями и импульсами частицы в периодическом силовом поле кристаллической решетки.
6. Понятие энергетических зон в твердом теле.
7. Энергетические зонные диаграммы металлов, диэлектриков, полупроводников.

8. Структура энергетических зон в прямозонных и непрямозонных полупроводниках.
9. Энергетическая зонная диаграмма полупроводника с электронным типом проводимости.
10. Энергетическая зонная диаграмма полупроводника с дырочным типом проводимости.
11. Функции распределения частиц по энергиям. Функция Ферми-Дирака. Зависимость функции распределения от температуры.
12. Невырожденная система электронов в полупроводниках. Распределение Максвелла-Больцмана.
13. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми в собственном полупроводнике.
14. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми в электронном полупроводнике. Закон действующих масс.
15. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми в акцепторном полупроводнике.
16. Взаимная компенсация доноров и акцепторов. Компенсированные полупроводники.
17. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми в сильнолегированном полупроводнике.
18. Равновесные и неравновесные носители заряда. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда.
19. Время жизни носителей заряда. Механизмы рекомбинации носителей заряда.
20. Электронная и дырочная компоненты удельной электрической проводимости полупроводников.
21. Механизмы рассеяния и подвижность свободных носителей заряда.
22. Температурная зависимость подвижности носителей заряда.
23. Температурная зависимость электропроводимости полупроводников.
24. Диффузионная и дрейфовая компоненты плотности тока и полупроводнике.
25. Уравнения непрерывности для свободных носителей заряда в полупроводниках.
26. Теплопроводность полупроводников.
27. Термоэлектрический эффект (эффект Зеебека).
28. Эффекты Гомсона и Пельтье.
29. Механизмы поглощения света в полупроводниках.
30. Фотоэлектрические эффекты в полупроводниках.
31. Механизмы оптической генерации носителей заряда в полупроводниках.
32. Эффект Холла и магниторезистивный эффект в полупроводниках.
33. Анализ и энергетическая зонная диаграмма контакта электронного полупроводника и металла в равновесном состоянии.
34. Анализ и энергетическая зонная диаграмма контакта дырочного полупроводника и металла в равновесном состоянии.
35. Анализ и энергетическая зонная диаграмма выпрямляющего контакта металла с полупроводником при приложении внешнего прямого напряжения.
36. Анализ и энергетическая зонная диаграмма выпрямляющего контакта металла с полупроводником при приложении внешнего обратного напряжения.
37. Анализ и энергетическая зонная диаграмма невыпрямляющего (омического) контакта металла с полупроводником.
38. Анализ и энергетическая зонная диаграмма электронно-дырочного перехода в равновесном состоянии.
39. Анализ и энергетическая зонная диаграмма  $p-n$  перехода при внешнем обратном напряжении.
40. Анализ и энергетическая зонная диаграмма  $p-n$  перехода при внешнем прямом напряжении.

## Зачёт

4 семестр

Студент должен продемонстрировать знание физических процессов, лежащих в основе функционирования полупроводниковых структур современной твердотельной микроэлектроники, принципов наноэлектроники. Студент должен уметь оценивать основные параметры элементов полупроводниковых микросхем, анализировать характеристики полупроводниковых приборов. Студент должен знать перспективные направления развития микро- и наноэлектроники.

### Вопросы к зачёту

1. Современное состояние и проблемы микроэлектроники. Тенденции и перспективы развития микро – и наноэлектроники.
2. Микрочастица в потенциальной яме. Волновая функция, квантование энергии. Энергетические уровни микрочастицы в потенциальной яме. Прохождение частицы через потенциальный барьер.
3. Понятие об энергетических зонах. Зонная структура полупроводников. Закон дисперсии. Эффективная масса носителей заряда. Изоэнергетические поверхности. Локализованные состояния.
4. Концентрация носителей заряда в собственном и примесных полупроводниках. Эффективная плотность состояний в валентной зоне. Концентрация дырок в полупроводнике, содержащем акцепторную примесь.
5. Классическая теория электропроводности твердого тела. Связь электропроводности с концентрацией носителей заряда и их подвижностью.
6. Механизмы рассеяния носителей заряда. Температурная зависимость подвижности носителей.
7. Процессы рекомбинации в полупроводниках. Равновесные и неравновесные носители заряда. Различные типы процессов рекомбинации.
8. Диффузионная и дрейфовая составляющие тока. Уравнение непрерывности и уравнение диффузии. Уравнение непрерывности с учетом дрейфового тока, генерации и рекомбинации носителей заряда.
9. Контакт металла с полупроводником Работа выхода, сродство к электрону и контактная разность потенциалов.
10. Типы контактов металла с полупроводником и их энергетические зонные модели. Обогащенный и обедненный приконтактные слои в полупроводниках.
11. Невыпрямляющие (омические) контакты. Энергетические диаграммы в равновесном и неравновесном состояниях. Распределение заряда, потенциала и напряженности электрического поля в обогащенном приконтактном слое полупроводника. Особенности вольт-амперной характеристики (ВАХ) омического контакта.
12. Барьер Шоттки. Толщина области пространственного заряда контакта и ее зависимость от внешнего приложенного напряжения. Энергетические диаграммы в равновесном и неравновесном состояниях. Виды токов через контакт. Вольт-амперная характеристика диода Шоттки.
13. Электронно-дырочный переход ( $p-n$  – переход). Возникновение потенциального барьера. Контактная разность потенциалов.
14. Энергетические диаграммы  $p-n$  перехода в равновесном и неравновесном состояниях.
15. Резкий  $p-n$  переход Ширина обедненного слоя, ее зависимость от прямого и обратного смещения. Инжекция и экстракция неосновных носителей.
16. Виды токов через  $p-n$ -переход. Вольт-амперная характеристика (ВАХ)  $p-n$ -перехода. Барьерная и диффузионная емкости  $p-n$  перехода.
17. Влияние генерации, рекомбинации и объемного сопротивления базы на характеристики реальных диодов Особенности реального диода при прямом и обратном смещении.

18. Пробой  $p$ - $n$  перехода и его механизмы. Туннельный пробой. Лавинный пробой. Тепловой пробой.
19. Переходные процессы в полупроводниковых диодах.
20. Физика транзисторов Биполярный транзистор (БТ). Принцип действия, структура и энергетическая диаграмма БТ в равновесном состоянии.
21. Режимы работы БТ, энергетическая диаграмма БТ в активном режиме.
22. Схемы включения БТ, коэффициент усиления по току. Эффективность эмиттера и коллектора, Коэффициент переноса неосновных носителей через базу.
23. Вольт-амперные характеристики БТ при включении по схемам с общей базой и общим эмиттером. Модель Эберса-Молла.
24. Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структуры). Идеальная МДП-структура. Режимы обогащения, обеднения, инверсии и глубокого обеднения в приповерхностном слое полупроводника.
25. Вольт-фарадная характеристика МДП-структуры. Зависимость емкости МДП-структуры от напряжения в режиме обеднения.
26. Полевые транзисторы с изолированным затвором (МДП-транзисторы). Физические процессы в идеальной и реальной структурах.
27. Режимы работы МДП - структур, энергетические диаграммы и электрические характеристики. МДП-транзисторы с встроенным и индуцированным каналами.
28. Частотные свойства МДП-транзисторов. Факторы, определяющие быстродействие МДП-транзисторов.
29. Полевые транзисторы с управляющим  $p$ - $n$  переходом. Физические процессы в структуре и электрические характеристики. Режимы работы, параметры, вольт-амперные характеристики.
30. Биполярные транзисторы с изолированным затвором Физические процессы в структуре и электрические характеристики.
31. Функциональная электроника. Акустоэлектроника. Диэлектрическая электроника. Магнитоэлектроника. Молекулярная электроника.
32. Оптоэлектроника. Люминесценция, виды, способы возбуждения. Полупроводниковые излучатели. Светодиоды, лазеры. основные процессы, параметры и характеристики.
33. Фоторезистивный эффект. Квантовый выход фотоэффекта. Удельная фотопроводимость. Ток, обусловленный фотопроводимостью. Релаксация фотопроводимости. Вентильная фотоэлектродвижущая сила.
34. Фотодетекторы. Фотодиоды, фототранзисторы. Спектрально-энергетические характеристики фоточувствительности. Солнечные батареи. Основные направления развития фотоники.
35. Энергетический спектр частиц в системах с пониженной размерностью. Элементы и приборы наноэлектроники.
36. Нанотранзисторные структуры (кремниевые транзисторы, гетеротранзисторы, нанотранзисторы на основе углеродных нанотрубок, кремниевых нанопроводах, на основе графена).
37. Приборы политроники: органические транзисторы, светоизлучающие ветоидоды. Полимерные наноструктуры для гибких экранов. Спинтроника.
38. Полупроводниковые гетероструктуры с квантовыми ямами и сверхрешетками. Гетероструктуры с квантовыми проволоками и квантовыми точками.
39. Приборы квантовой электроники: лазеры и фотоприемники на структурах с квантовыми точками. Устройства на фотонных кристаллах.
40. Наноэлектронные запоминающие устройства.

### **Самостоятельная работа студентов**

Самостоятельная работа студентов включает закрепление теоретического материала, подготовку к выполнению и защите лабораторных работ, выполнение расчётно - гра-

фической работы, решение задач. Основа самостоятельной работы - изучение литературы и работа с конспектом лекций, работа со справочно-информационной литературой.

**Вопросы для проведения контроля самостоятельной работы  
по отдельным разделам дисциплины.**

3 семестр

1. Энергетические уровни микрочастицы в потенциальной яме.
2. Микрочастица в периодическом силовом поле кристаллической решетки.
3. Образование зонной энергетической структуры.
4. Зонная энергетическая структура собственного полупроводника
5. Функция распределения плотности состояний в зонах.
6. Функция распределения электронов по энергетическим состояниям (функции Ферми-Дирака, Больцмана).
7. Собственный полупроводник: концентрация носителей заряда, положение уровня Ферми в собственном полупроводнике.
8. Концентрация электронов в полупроводнике, содержащем донорную примесь.
9. Концентрация дырок в полупроводнике, содержащем акцепторную примесь.
10. Уравнение электронейтральности.
11. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в невырожденных примесных полупроводниках (примесь одного вида).
12. Компенсированный полупроводник.
13. Вырожденный полупроводник.
14. Рассеяние носителей заряда.
15. Время и длина свободного пробега.
16. Типы центров рассеяния.
17. Равновесные и неравновесные носители заряда.
18. Скорость генерации и рекомбинации носителей заряда.
19. Виды рекомбинации.
20. Время жизни носителей заряда.
21. Уравнение непрерывности.
22. Диффузионный и дрейфовый токи.
23. Соотношение Эйнштейна.
24. Диффузионная длина для неосновных носителей.
25. Инжекция и экстракция носителей заряда.
26. Полупроводник во внешнем электрическом поле.
27. Работа выхода электрона.
28. Контакт металл-полупроводник.
29. Электрический ток через контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки.
30. Вольт-амперная характеристика диода Шоттки.
31. Электронно-дырочный переход ( $p-n$  переход).
32. Контактная разность потенциалов.
33. Зонная модель  $p-n$  перехода при прямом и обратном смещении.
34. Виды токов через  $p-n$  переход.
35. Вольт-амперная характеристика (ВАХ)  $p-n$  перехода.
36. Физические явления в гетеропереходах.

4 семестр

1. Характеристики идеального диода на основе  $p-n$  перехода.
2. Характеристики реального диода на основе  $p-n$  перехода.
3. Виды пробоя  $p-n$  перехода.
4. Структура биполярного транзистора и основные режимы работы.
5. Схемы включения биполярного транзистора.
6. Принцип действия биполярного транзистора в качестве усилителя.
7. Дрейфовый транзистор.

8. Статические характеристики биполярного транзистора
9. Входные и выходные характеристики биполярного транзистора для включения с общей базой и общим эмиттером.
10. Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структуры).
11. Вольт-фарадная характеристика МДП-структуры.
12. Полевые транзисторы с изолированным затвором (МДП – транзисторы).
13. Физические процессы в идеальной и реальной структурах.
14. Режимы работы МДП-структур, энергетические диаграммы и электрические характеристики.
15. МДП-транзисторы с встроенным и индуцированным каналами.
16. Полевые транзисторы с управляющим *p-n* переходом.
17. Биполярные транзисторы с изолированным затвором.
18. Основные направления функциональной электроники.
19. Теплопроводность полупроводников.
20. Термоэлектрические явления в полупроводниках.
21. Тензорезистивный эффект.
22. Поглощение света полупроводниками.
23. Спектр поглощения.
24. Типы поглощений света в полупроводниках.
25. Собственное поглощение света: прямые и непрямые переходы.
26. Фоторезистивный эффект.
27. Квантовый выход фотоэффекта.
28. Фотопроводимость полупроводников.
29. Вентильная фотоэлектродвижущая сила.
30. Полупроводниковые излучатели.
31. Полупроводниковые фотоприёмники.
32. Основные направления развития фотоники.
33. Элементы и приборы наноэлектроники.
34. Нанотранзисторные структуры.
35. Одноэлектроника.
36. Приборы политроники.
37. Полимерные наноструктуры для гибких экранов.
38. Полупроводниковые гетероструктуры с квантовыми ямами и сверхрешетками.
39. Гетероструктуры с квантовыми проволоками и квантовыми точками.
40. Приборы квантовой электроники.
41. Наноэлектронные запоминающие устройства.

Виды контроля СРС предполагают:

- *текущий* контроль на лекциях и лабораторных занятиях;
- *текущий*, который предполагает учет объема, своевременности и качества выполнения СРС по дисциплине при проведении рейтинг - контроля. Результаты СРС оцениваются в баллах рейтинга, входящих в структуру общей оценки.

В качестве форм контроля СРС могут быть использованы: экспресс - опрос на лекции и лабораторных занятиях; текущий устный выборочный опрос на лабораторных занятиях; индивидуальное собеседование. Формы отчета студента о результатах выполнения самостоятельной работы: конспекты, расчётно-графическая работа, обзоры информации, графическое представление изученного учебного материала.

### ***Расчётно-графическая работа***

3 семестр

Целью выполнения расчетно - графической работы является освоение методики расчета параметров, характеризующих электрофизические процессы в полупроводниках. Работа оформляется на листах формата А4 (MS WORD, Times New Roman, кегль 14; 1,5 интервала).

Целью выполнения расчётно - графической работы является освоение методики расчёта параметров  $p$ - $n$  перехода полупроводниковых структур. Графическая часть должна содержать изображения энергетических зонных диаграмм. Работа оформляется на листах формата А4 (MS WORD, Times New Roman, кегль 14; 1,5 интервала).

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### а) основная литература

1. 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. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922113793.html>.
2. Зебрев, Г.И. Физические основы кремниевой нанoeлектроники [Электронный ресурс] / Г.И. Зебрев. - М.: БИНОМ, 2015. - 240 с. :ил. - (Нанотехнологии). ISBN978-5-9963-2630-3. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996326303.html>.
3. Соколов, С.В. Электроника [Электронный ресурс]: Учебное пособие для вузов / Соколов С.В., Титов Е.В. - М.: Горячая линия - Телеком, 2013. - 204 с.: ил. - ISBN 978-5-9912-0344-9. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991203449.html>.
4. Гуртов, В.А. Физика твёрдого тела для инженеров [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Гуртов В.А., Осауленко Р.Н. - Издание 2-е, доп. - М. : Техносфера, 2012. - 560 с. - ISBN 978-5-94836-327-1.  
Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948363271.html>.

### б) дополнительная литература

5. Байков, Ю.А. Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов. - 3-е изд. (эл.). - М.: БИНОМ, 2015. - 296 с. (Учебник для высшей школы). - ISBN 978-5-9963-2960-1.  
Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996329601.html>.
6. Зегря, Г.Г. Основы физики полупроводников [Электронный ресурс] / Зегря Г.Г., Перель В.И. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 336 с. - ISBN 978-5-9221-1005-1. (Библиотека ВлГУ).  
Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922110051.html>.
7. Грундман, Мариус. Основы физики полупроводников. Нанofизика и технические приложения: пер. с англ. / М. Грундман ; перевод под ред. В.А. Гергеля . - 2-е изд. - М.: Физматлит, 2012. — 771 с., .— ISBN 978-5-9221-1394-6.  
Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922110051.htm>.
8. Лебедев, А.И. Физика полупроводниковых приборов. [Электронный ресурс] / Лебедев А.И. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 488 с. - ISBN 978-5-9221-0995-6.  
Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922109956.html>.
9. Игумнов, Д.В. Основы полупроводниковой электроники [Электронный ресурс]: Учебное пособие для вузов / Игумнов Д.В., Костюнина Г.П. - 2-е изд., дополн.- М.: Горячая линия - Телеком, 2011. - 394 с: ил. - ISBN 978-5-9912-0180-3.  
Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991201803.html>
10. Барыбин, А.А. Физико-технологические основы макро-, микро - и нанoeлектроники : учебное пособие для вузов по направлениям 210100 "Электроника и нанoeлектроника", 211000 "Конструирование и технология электронных средств", 222900 "Нанотехнологии и микросистемная техника" / А. А. Барыбин, В. И. Томилин, В. И. Шаповалов ; под общ. ред. А. А. Барыбина .— Москва : Физматлит, 2011 .— 782 с. : ил., табл. — Библиогр.: с. 771-772 .— Предм. указ.: с. 773-782 .— ISBN 978-5-9221-1321-2. (Библиотека ВлГУ).  
Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922113212.html>.
11. Игнатов, А.Н. Нанoeлектроника. Состояние и перспективы развития [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Игнатов А.Н. - М. : ФЛИНТА, 2012. -- 360 с. - ISBN 978-5-9765-1619-9. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785976516199.html>.



12. Шишкин, Г.Г. Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства [Электронный ресурс] / Г.Г. Шишкин, И.М. Агеев. - М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2015. - 411 с.

Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996326525.html>.

13. Сигов, А.С. Электроника [Электронный ресурс]: Учеб. Пособие / А.С. Сигов, В.И. Нефедов, А.А. Щука; Под ред. А.С. Сигова. - М.: Абрис, 2012. – 348 с.- ISBN978-5-4372-0072-8. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785437200728.html>.

в) интернет-ресурсы

21. <http://www.studentlibrary.ru/>.

19. <http://elibrary.ru/>.

20. <http://www.liveinternet.ru/>.

21. <http://www.100books.ru/>.

22. <http://window.edu.ru/>.

23. <https://ru.wikipedia.org/>.

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

Лекционные занятия проводятся в аудиториях 324-3, 331-3, оборудованных техническими средствами для использования мультимедиа технологий (видеоматериалы, слайды); лабораторные занятия – в аудитории 330-3, оборудованной компьютерной техникой и средствами для использования мультимедиа технологий. При выполнении лабораторных занятий используется комплект лабораторного оборудования «Физические основы электроники» (а.328-3). В процессе подготовки к занятиям студенты имеют возможность работать в Интернете, пользуясь ресурсами компьютерного класса кафедры (а.330-3). Материально-техническое обеспечение дисциплины поддерживается мультимедийными аудиториями, компьютерным классом и средствами программного обеспечения для компьютерного моделирования электрофизических процессов в микроструктурах.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 11.03.03 "Конструирование и технология электронных средств"

Рабочую программу составил доцент Фролова Т.Н. Фролова

Рецензент

зам. главного инженера по подготовке  
производства – главный технолог ОАО

"Владимирский завод Электроприбор" Зайцев М.К. Зайцев

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

Протокол № 4 от 10.12 2015 года

Заведующий кафедрой Сушкова Л.Т. Сушкова

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии на-  
правления 11.03.03 "Конструирование и технология электронных средств"

Протокол № 4 от 10.12. 2015 года

Председатель комиссии Сушкова Л. Т. Сушкова

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

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

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

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

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

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

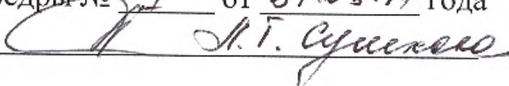
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

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

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

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 2017/18 учебный год  
Протокол заседания кафедры № 1 от 31.08.17 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 \_\_\_\_\_

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 \_\_\_\_\_