

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

УТВЕРЖДАЮ

Проректор  
по учебно-методической работе

А.А. Панфилов

«11» декабря 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 проме- жуточного кон- троля (экс/зачёт)
4	2/72	18		18	36	зачёт
<b>Итого:</b>	2/72	18		18	36	зачёт

Владимир 2015

Настер 2015

Handwritten mark or signature.

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

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

- формирование у студентов знаний о фундаментальных 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 4-м семестре. Необходимые для освоения дисциплины знания, умения и готовности обучающегося приобретаются в результате изучения физики, математики, теоретических основ электротехники, физических основ материаловедения, введения в физику полупроводников. Освоение данной дисциплины необходимо для изучения курсов «Схемотехника аналоговых и аналогово-цифровых электронных средств», «Компоненты электронных средств», «Физика радиационных воздействий и радиационная стойкость 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 нанoeлектроники.
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 нанoeлектроники

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зачётных единицы, 72 часа.

№ 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		
1	Основы физики полупроводников	4	1, 2	2		2		2		2/50	
2	Физические явления в контакте металла с полупроводником	4	3, 4	2		2		4		1/25	
3	Физические явления в p-n переходе	4	5, 6	2		2		4		1/25	Рейтинг-контроль №1
4	Физические принципы работы полупроводниковых диодов с электронно-дырочным переходом	4	7, 8	2		4		6		3/50	
5	Физические процессы в интегральных	4	9,10	2		4		6		2/33	

	биполярных транзисторах										
6	Физические процессы в структуре металл-диэлектрик-полупроводник	4	11, 12	2		2		4		1/25	Рейтинг-контроль №2
7	Полевые транзисторы	4	13, 14	2		2		2		1/25	
8	Функциональная электроника	4	15, 16	2				4		0,5/25	
9	Физические принципы нанoeлектроники	4	17, 18	2				4		0,5/25	Рейтинг-контроль №3
Всего:		4	18	18		18		36		12/33	зачёт

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

##### 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.

##### Тема 1. Основы физики полупроводников

Особенности поведения электронов в твердом теле Эффективная масса электрона. Законы дисперсии. Изоэнергетические поверхности. Зонные диаграммы полупроводников. Плотность состояний в разрешенных зонах. Носители заряда в полупроводниках Концентрация носителей заряда. Закон действующих масс. Дрейфовая скорость. Подвижность носителей заряда. Удельная электропроводность. Диффузия. Законы диффузии. Соотношение Эйнштейна. Диффузионная и дрейфовая плотности Уравнение непрерывности. Время жизни неравновесных носителей заряда. Механизмы рекомбинации

##### Тема 2. 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. 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.

##### Тема 4. 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.

да Виды пробоя  $p$ - $n$  перехода: лавинный, туннельный, тепловой. Переходные процессы в полупроводниковых диодах. Силовые диоды. Стабилитроны. Туннельный и обращенный диоды.

#### **Тема 5. Физические процессы в интегральных 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. Физика работы транзистора на малом переменном сигнале. Эквивалентная схема. Частотные и импульсные свойства биполярных интегральных транзисторов.

#### **Тема 6. 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 7. 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

#### **Тема 8. Функциональная электроника**

Акустоэлектроника. Магнитоэлектроника. Молекулярная электроника. Оптоэлектроника. 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.

#### **Тема 9. Физические принципы нанoeлектроники**

Энергетический спектр частиц в системах с пониженной размерностью. 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. Спинтроника. 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 приобретение навыков анализа физических процессов в полупроводниковых структурах, исследования и мо-

делирования их характеристик.

#### ***Перечень лабораторных работ***

1. Моделирование вольт-амперных характеристик полупроводниковых диодов
2. Исследование характеристик полупроводниковых диодов на постоянном и переменном токах.
3. Испытание р-п переходов биполярного транзистора и снятие его выходных характеристик с помощью осциллографа
4. Физико-технологические основы полупроводниковых структур интегральных микросхем.

### **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Предусматривается использование активных и интерактивных форм обучения при проведении лекционных и лабораторных занятий. На практических занятиях также используется проблемно-ориентированный подход, стимулирование активности путём привлечения к обсуждению проблем, возникающих в процессе выполнения заданий, на лабораторных занятиях применяются мультимедиа технологии (видеофильмы, презентации электронные альбомы и др.). Занятия проводятся в аудиториях 331-3, оборудованных техническими средствами для использования мультимедиа технологий (видеоматериалы, слайды) и 324-3, оборудованной компьютерной техникой и средствами для использования мультимедиа технологий. В процессе подготовки к занятиям студенты имеют возможность работать в Интернете, пользуясь ресурсами компьютерных классов кафедры (а.330-3, 503-3).

### **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***

##### **Рейтинг-контроль № 1**

#### **Тема 1. Основы физики полупроводников**

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.

#### **Тема 2. Физические явления в контакте металла с полупроводником.**

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.

### **Тема 3. Физические явления в p-n переходе**

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.

### **Рейтинг-контроль №2**

### **Тема 4. Физические принципы работы полупроводниковых диодов с электронно-дырочным переходом**

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. Влияние генерации неравновесных носителей в ОПЗ p-n перехода на обратный ток диода.
7. Влияние рекомбинации неравновесных носителей в ОПЗ p-n перехода на прямой ток диода
8. Виды пробоя в электронно-дырочном переходе.
9. Переходные процессы в полупроводниковых диодах.
10. Инерционные свойства перехода.

### **Тема 5. Физические процессы в интегральных биполярных транзисторах**

1. Структура интегрального биполярного транзистора.
2. Режимы работы биполярного транзистора.
3. Виды потоков носителей заряда.
4. Уравнение для токов и напряжений биполярного транзистора.
5. Схемы включения биполярного транзистора.
6. Дрейфовый транзистор.
7. Распределение концентрации инжектированных носителей в базе.
8. Дрейфовый транзистор.
9. Статические характеристики транзистора.
10. Модель Эберса – Молла.
11. Частотные и импульсные свойства биполярных интегральных транзисторов.

### **Тема 6. Физические процессы в структуре металл-диэлектрик-полупроводник**

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.

### Рейтинг-контроль №3

#### Тема 7. Полевые транзисторы

1. Полевые транзисторы с изолированным затвором ( МДП – транзисторы).
2. Физические процессы в идеальной структуре.
3. Режимы работы МДП – транзисторов, параметры, вольт–амперные характеристики.
4. Энергетические диаграммы и электрические характеристики МДП – транзисторов.
5. МДП-транзисторы с встроенным и индуцированным каналами.
6. Полевые транзисторы с управляющим *p-n* переходом.
7. Физические процессы в структуре транзистора с управляющим *p-n* переходом и электрические характеристики.
8. Режимы работы, параметры, вольт – амперные характеристики полевых транзисторов с управляющим *p-n* переходом.
9. Биполярные транзисторы с изолированным затвором.
10. Микроминиатюризация МДП-транзисторов.

#### Тема 8. Функциональная электроника

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.

#### Тема 9. Физические принципы нанoeлектроники

1. Энергетический спектр частиц в системах с пониженной размерностью.
2. Элементы и приборы нанoeлектроники.
3. Нанотранзисторные структуры (кремниевые транзисторы, гетеротранзисторы, нанотранзисторы на основе углеродных нанотрубок, кремниевых нанопроводах, на основе графена).
4. Одноэлектроника. Приборы политроники: органические транзисторы, светоизлучающие светодиоды. Полимерные наноструктуры для гибких экранов. Спинтроника.



5. Полупроводниковые гетероструктуры с квантовыми ямами и сверхрешетками. Гетероструктуры с квантовыми проволоками и квантовыми точками.
6. Приборы квантовой электроники: лазеры и фотоприемники на структурах с квантовыми точками.
7. Нанозлектронные запоминающие устройства.

### **Зачёт**

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

### **Вопросы к зачёту**

1. Современное состояние и проблемы микроэлектроники. Тенденции и перспективы развития микро – и нанозлектроники.
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 нанoeлектроники.
36. Нанотранзисторные структуры (кремниевые транзисторы, гетеротранзисторы, нанотранзисторы на основе углеродных нанотрубок, кремниевых нанопроводах, на основе графена).
37. Приборы политроники: органические транзисторы, светоизлучающие ветодиоды. 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. Нанозлектронные запоминающие устройства.

### Самостоятельная работа студентов

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

1. Особенности поведения электронов в твердом теле.
2. Зонные диаграммы полупроводников.
3. Носители заряда в полупроводниках
4. Удельная электропроводность полупроводников.
5. Диффузионная и дрейфовая плотности токов.
6. Уравнение непрерывности.
7. Время жизни неравновесных носителей заряда.
8. Механизмы рекомбинации носителей заряда.
9. Типы контактов металла с полупроводником и их зонные модели.
10. Омический контакт.
11. Барьер Шоттки.
12. Вольт-амперная характеристика диода Шоттки.
13. Электронно-дырочный переход ( $p-n$  переход).
14. Контактная разность потенциалов.
15. Зонная модель  $p-n$  перехода при прямом и обратном смещении.
16. Виды токов через  $p-n$  переход.
17. Вольт-амперная характеристика (ВАХ)  $p-n$  перехода.
18. Физические явления в гетеропереходах.
19. Характеристики идеального диода на основе  $p-n$  перехода.
20. Характеристики реального диода на основе  $p-n$  перехода.
21. Виды пробоя  $p-n$  перехода.
22. Структура биполярного транзистора и основные режимы работы.
23. Схемы включения биполярного транзистора.
24. Принцип действия биполярного транзистора в качестве усилителя.
25. Дрейфовый транзистор.
26. Статические характеристики биполярного транзистора
27. Входные и выходные характеристики биполярного транзистора для включения с общей базой и общим эмиттером.
28. Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структуры).
29. Вольт-фарадная характеристика МДП-структуры.
30. Полевые транзисторы с изолированным затвором (МДП – транзисторы).
31. Физические процессы в идеальной и реальной структурах.
32. Режимы работы МДП-структур, энергетические диаграммы и электрические характеристики.
33. МДП-транзисторы с встроенным и индуцированным каналами.
34. Полевые транзисторы с управляющим  $p-n$  переходом.
35. Биполярные транзисторы с изолированным затвором.
36. Основные направления функциональной электроники.
37. Полупроводниковые излучатели.
38. Полупроводниковые фотоприёмники.
39. Основные направления развития фотоники.
40. Элементы и приборы нанозлектроники.

41. Нанотранзисторные структуры.
42. Одноэлектроника.
43. Приборы политроники.
44. Полимерные наноструктуры для гибких экранов.
45. Полупроводниковые гетероструктуры с квантовыми ямами и сверхрешетками.
46. Гетероструктуры с квантовыми проволоками и квантовыми точками.
47. Приборы квантовой электроники.
48. Нанозлектронные запоминающие устройства.

Виды контроля СРС предполагают:

- *текущий* контроль на лекциях и лабораторных занятиях;
- *текущий* контроль, 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 лекциях 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***

Целью выполнения расчётно-графической работы является освоение методики расчета параметров полупроводниковых структур. 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 нанозлектроники [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>.

### б) дополнительная литература

4. Барыбин, А.А. Физико-технологические основы макро-, микро - и нанозлектроники : учебное пособие для вузов по направлениям 210100 "Электроника и нанозлектроника", 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>.
5. Игнатов, А.Н. Нанозлектроника. 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>.
6. Шишкин, Г.Г. Нанозлектроника. 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>.
7. 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>.

8. 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>.

9. 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>.

10. 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>.

в) интернет - ресурсы

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

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

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

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

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

16. <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 направления 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 \_\_\_\_\_