

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. Панфилс  
« 18 » 11 2015

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ»**

Направление подготовки *27.03.04 Управление в технических системах*

Профиль подготовки *Управление и информатика в технических системах*

Уровень высшего образования *бакалавриат*

Форма обучения *очная*

Семестр	Трудоемк. зач.ед./час	Лекций, час	Практич. занятий час.	Лабор. работ час.	СРС, час.	Форма промеж. контроля (экз/зач)
3	5/180	18	18	18	126	зачет
Итого	5/180	18	18	18	126	зачет

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «**Физические основы микроэлектроники**», являются: приобретение знаний о свойствах, характеристиках и параметрах полупроводниковых приборов и устройств в дискретном и интегральном исполнении, составляющих основу современной элементной базы электронной аппаратуры; формирование способностей правильно применять полученные знания при разработке и конструировании аппаратуры систем управления, а также при изучении важнейших для бакалавра направлений подготовки «Управление в технических системах» дисциплин «Электроника и электроника», «Микроконтроллеры и устройства сопряжения с объектом», «Технические измерения и приборы».

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «**Физические основы микроэлектроники**» относится к обязательным вариативной части учебного плана, логически и содержательно-методически связана с теоретическими дисциплинами, практиками предшествующего периода обучения: физикой, высшей математикой и необходима для успешного освоения дисциплин прикладного характера «Электротехника и Электроника», «Основы микросхемотехники» и др. на старших курсах обучения. Обязательные дисциплины формируют необходимые при проектировании электронной аппаратуры способности к обобщению и анализу информации о современных научно-технических направлениях и разработках.

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

В результате освоения дисциплины «**Физические основы микроэлектроники**» у обучающегося формируется компетенция:

- способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности (ОПК-7).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

### **знать:**

- принципы действия, характеристики, параметры, области применения полупроводниковых приборов и устройств на их основе, современные тенденции развития электроники;

### **уметь:**

- собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно – техническую и справочную информацию по тематике работы или исследования;

- самостоятельно проводить эксперимент и обрабатывать полученную информацию;

### **владеть:**

- способностью использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных;

- методами решения задач анализа и расчета характеристик электрических и электронных цепей;

- основными приемами обработки и представления данных, способностью работать с измерительной аппаратурой по заданным методикам;

- информацией об отечественных и зарубежных разработках в изучаемой предметной области.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ»

Общая трудоемкость дисциплины «Физические основы микроэлектротехники» составляет 5 зачетных единиц 180 час

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Объем учебной работы, с прим.-ием интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущ. контроля успеваемости (по неделям сем-ра), форма промежуточной аттестации (по сем)
				Лекции	Консультации	Практ.зан.	Лаб. раб.	СРС	кп		
	Введение. Понятия и термины физики п/п, материалы, типы полупроводников	3	1	2							
1	Переходы. Характеристики и параметры вентильных переходов - диодов.	3	2	2		2		20		2/50%	
2	Вентильные диоды, на основе германия, кремния, диоды Шотки. Применения диодов. Дискретное и интегральное исполнение диодов	3	3-4	2		2	2	6		2/33%	
3	Светодиоды. Характеристики, параметры, виды. Применения. Фотодиоды. Режимы работы, характеристики, параметры. Применения.	3	5-6	2		2	2	4		4/66%	1р-к
4	Транзисторы биполярные. Принцип действия, транзисторный эффект. Характеристики, параметры. Схемы включения. Интегральное исполнение БПТ.	3	7-8	2		2	4	20		2/25%	
5	Транзисторы полевые. Типы. Принцип действия. Характеристики, параметры. Схемы включения. Дискретные и интегральные МОП-триоды.	3	9-10	2		2	4	20		4/50%	
6	Уравнения и параметры режима малых сигналов. Эквивалентная схема режима малых сигналов БПТ и ПТ. Представление о частотных характеристиках.	3	11-14	2		2		26		2/50%	2р-к
7	Тиристоры, динисторы, симисторы, характеристики, параметры. Применения.	3	15-17	2		2	4	10		2/25%	
8	Силовые приборы на основе полевых и б/п структур: СИТ, БСИТ, IGBT.	3	18	2		2	2	20		2/33%	3р-к
	<b>ИТОГО</b>			<b>18</b>		<b>18</b>	<b>18</b>	<b>126</b>		<b>20/37%</b>	<b>3 р-к,экз</b>

## Лекции

Понятия и термины физики полупроводников, материалы, типы полупроводников: чистые, примесные, типы проводимости.

Переходы, классификация. Характеристики и параметры вентильных переходов-диодов. Прямое и обратное смещения диодов. Потенциальные (зонные) диаграммы. Свойства переходов-диодов. Диоды на основе германия, кремния, арсенида-галлия, диоды Шоттки. Применения диодов.

Светодиоды; параметры, виды, применения; Фотодиоды. Режимы работы, характеристики, параметры, применения.

Транзисторы биполярные. Принцип действия. Характеристики параметры. Схемы включения. Нелинейная эквивалентная схема БПТ. Применения.

Транзисторы полевые. типы. Принцип действия. Характеристики ,параметры. Схемы включения. Применения ПТ

Уравнения и параметры режима малых сигналов БПТ и ПТ. Эквивалентные схемы режима усиления малых сигналов. Представление о частотных характеристиках.

Тиристоры, динисторы, симисторы. Характеристики, параметры, применения.

Силовые приборы на основе биполярных и полевых структур. ПТ типа *MOSFET*. Транзисторы со статической индукцией (СИТ), БСИТ, Биполярные транзисторы с полевым управляющим электродом (*IGBT*). Характеристики, параметры, применения.

## Практические занятия

1. Расчет каскадов на БПТ, работающих в режиме ключа. Транзисторные ключи с активной нагрузкой. 5 упражнений.
2. Транзисторные ключи со светодиодами в цепи коллектора. 4 упражнения.
3. Каскады согласования уровней на транзисторных ключах. 4 упражнения.
4. Расчет цепи управления ПТ – MOSFET, работающих в режиме ключа. 5 упражнений.
5. Графо-аналитический расчет каскада на БПТ в режиме усиления малого сигнала.
6. Графо-аналитический расчет каскада на ПТ в режиме усиления малого сигнала.

## Лабораторные работы

Лабораторная работа №1. ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИОДОВ (вентильных, Шоттки, опорных, светоизлучающих)

Лабораторная работа №2. ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИПОЛЯРНЫХ ТРИОДОВ

Лабораторная работа №3. ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕВЫХ ТРИОДОВ

Лабораторная работа №4. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНО – И ДВУХПУЛЬСНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Лекционные занятия проводятся в аудиториях, оборудованных электронными проекторами, что позволяет сочетать активные и интерактивные формы проведения занятий. Удельный вес лекционных занятий – 20%.

Удельный вес занятий в интерактивной форме 54% от общего объема часов, выделенных для дисциплины.

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

### **Тематика и вопросы к СРС**

1. Влияние температуры на параметры перехода-диода.

Прямая ветвь ВАХ перехода. Что такое температурный коэффициент напряжения (ТКН)? Есть ли разница между ТКН кремниевых и германиевых переходов? Компоненты обратного тока, диода. Какая из компонент обратного тока является основной у германиевых и кремниевых переходов? Причина теплового пробоя перехода?

2. Быстродействие вентильных диодов

Как объясняется инерционность переходных процессов в диодах? Способы увеличения быстродействия. Какая разница между  $p-n$  – переходом и переходом Шоттки? Почему диоды Шоттки отличаются малой инерционностью?

3. Природа свечения переходов, построенных на интерметаллах. От чего зависит спектр излучения перехода светодиода (СД)? Фотодиоды (ФД). Фото-э.д.с.; значения; особенности применения ФД в фотодиодном режиме.

4. Температурная стабильность ВАХ биполярных триодов (БПТ). Влияние температуры на эмиттерную и коллекторные ВАХ в различных схемах включения. Представление о стабилизации режимов работы БПТ. Нелинейные и линейные схемы замещения БПТ. Связь между параметрами нелинейных и линейных эквивалентных схем. БПТ как четырехполюсник. Быстродействие БПТ, переходные процессы.

5. Отличительные особенности ВАХ полевых триодов (ПТ) разных типов. Представление о стабилизации режимов работы ПТ. Линейная схема замещения. В чем суть эффекта Миллера? Быстродействие ПТ, переходные процессы.

6. Как построить эквивалентную схему простого линейного усилителя сигнала на примерах включения БПТ с общим эмиттером, ПТ с общим истоком? Провести расчет параметров по напряжению.

7. Отличительные особенности ВАХ тиристоров и симисторов от обычных вентильных диодов. Представление о применении этих приборов в схемах в силовых схемах преобразования энергии. Как выглядят схемы управляемых выпрямителей и регуляторов энергии?

8. Применение силовых приборов в схемах преобразования энергии. Переходные процессы и потери в транзисторах при работе в режиме ключа. Интеллектуальные транзисторы. Принципы управления силовыми транзисторами в преобразователях.

Для текущего контроля успеваемости применяется рейтинг-контроль, на 5-6, 11-12 и 18 неделях, а также проводятся защиты отчетов по выполненным лабораторным работам.

### **Вопросы к рейтинг-контролю знаний студентов**

#### **Рейтинг-контроль №1**

1. Электронно-дырочные переходы, Определение, Классификация. Поле перехода, потенциальный барьер. Принцип действия. Равновесное состояние, прямое и обратное смещение перехода.

2. ВАХ перехода. Формула ВАХ. Прямая ветвь кремниевых и германиевых переходов. ТКН, дифференциальное сопротивление. Напряжение пятки.

3. Обратная ветвь ВАХ. Компоненты обратного тока. Типы пробоя переходов: туннельный, лавинный, поверхностный, тепловой.

4. Емкости переходов. Барьерная, диффузионная. Инерционность переходов. Схема замещения.

5. Диоды. Классификация диодов. Вентильные диоды. УГО, параметры. Импульсные и универсальные диоды. Параметры. Отличия от вентильных диодов.

6. Опорные диоды (стабилитроны), УГО. Характеристики, параметры, классификация, применение.

7. Диоды Шоттки, светодиоды, фотодиоды, туннельные диоды. УГО, характеристики, параметры, применение.

8. Триоды. Биполярные триоды. УГО. Структура, потенциальная диаграмма, принцип действия. Статические характеристики

### **Рейтинг-контроль №2**

9. Коллекторные ВАХ БПТ. Области отсечки, насыщения, активная (ОО, ОН, АО). Эмиттерные ВАХ БПТ.

10. Схемы включения БПТ: с ОБ, ОЭ, ОК. Характеристики схем включения схем включения с ОБ и ОЭ.

11. Частотные характеристики БПТ.

12. Полевые триоды. УГО, классификация. МДП, МОП-триоды с индуцированным каналом. Принцип действия Характеристики, параметры.

13. Полевые триоды со встроенным каналом. Принцип действия, характеристики. Полевые триоды с управляющим переходом. Принцип действия, характеристики.

14. Схемы замещения полевых триодов, междуэлектродные емкости, инерционность, частотные свойства.

15. Параметры режима малого сигнала БПТ.

16. Параметры режима малого сигнала ПТ.

17. Линейные эквивалентные схемы БПТ и ПТ.

### **Рейтинг-контроль №3**

18. Тиристоры, симисторы, динисторы. УГО, принцип действия. ВАХ, параметры.

19. Схемы фазоуправляемых выпрямителей (одно-двухпульсные).

20. Силовые приборы на основе полевых и биполярных структур. СИТ, БСИТ, IGBT. Особенности, характеристики, параметры, применения.

21. Режимы работы силовых приборов в схемах преобразования энергии.

22. Управление БПТ режиме ключа, особенности.

23. Управление ПТ MOSFET и IGBT в режиме ключа, особенности.

### **Вопросы к экзаменационным билетам по дисциплине «Физические основы микроэлектроники» (ФОМЭ)**

1. Электронно-дырочные переходы. Классификация  $p-n$  переходов. Классификация; принцип действия; потенциальная диаграмма.

2. Условия работы  $p-n$  перехода. Связь между шириной перехода и высотой потенциального барьера.

3. ВАХ и параметры идеального и реального диода-перехода. Прямая ветвь ВАХ. Прямая ветвь ВАХ диода: дифференциальное сопротивление, напряжение «пятки», температурный коэффициент напряжения (ТКН).

4. Обратная ветвь ВАХ диода-перехода. Обратный ток диода. Температурная зависимость составляющих обратного тока.

5. Пробой перехода. Типы: лавинный, туннельный, тепловой, поверхностный. Причины пробоев.

6. Ёмкости переходов: барьерная, диффузионная; физический смысл, влияние на работу перехода-диода.
7. Процесс переключения диода-перехода (переходный процесс). Схема замещения реального диода.
8. Вентильные (выпрямительные) диоды (ВД). Условное графическое обозначение (УГО); характеристики, эксплуатационные параметры. Импульсные и универсальные диоды, эксплуатационные параметры. Применения.
9. Диоды Шоттки (ДШ), опорные диоды (ОД, стабилитроны). УГО, характеристики, параметры, применения.
10. Туннельные и обращенные диоды (ТД, ОД). УГО, принцип действия, характеристики, параметры, применения.
11. Светоизлучающие диоды (СИД). УГО, характеристики, применения. Фото – диоды (ФД). УГО, характеристики. Включения ФД. Принцип действия в разных включениях. Применение.
12. Биполярные триоды (БПТ). Общая характеристика прибора, применение (универсальный). УГО, конструкция плоскостного БП. Принцип действия на примере включения с общей базой (ОБ). Схемы включения с ОБ, ОЭ, ОК.
13. Принцип действия БПТ с использованием потенциальных диаграмм БПТ ( $p - n - p$  или  $n - p - n$  – типов).
14. Нелинейные эквивалентные схемы БПТ (на примере триода  $p - n - p$  – типа с прямой проводимостью, схема включения с ОБ). Формулы Эберса – Молла.
15. Коллекторные ВАХ идеализированного БПТ, схема эксперимента. Области отсечки (ОО), насыщения (ОН), активная (АО). Реальные коллекторные ВАХ, параметры триода:  $\alpha$ ,  $r_k^*$ ,  $P_{к.доп}$ . Эмиттерные ВАХ триода.
16. Работа БПТ в режиме усиления малого сигнала (схема включения с ОЭ).
17. Схема включения БПТ с ОЭ. Семейства коллекторных и эмиттерных ВАХ схемы включения с ОЭ. Параметры, особенности.
18. Линейные эквивалентные схемы БПТ, включения с ОБ и ОЭ. Параметры БПТ, как четырехполюсника.
19. Переходные и частотные характеристики БПТ для схем включения с ОБ и ОЭ.
20. Работа БПТ в режиме усиления импульсного сигнала (режим ключа). Схема ключа с ОЭ. Графики, параметры процесса переключения БПТ.
21. Эксплуатационные параметры БПТ в схемах включения с ОБ и ОЭ.
22. Полевые триоды (ПТ). Общая характеристика прибора, применение (универсальный). УГО, классификация. Полевой триод с изолированным затвором ПТИЗ и индуцированным каналом; структура, принцип действия, характеристики: стоковые и сток-затворные характеристики триодов с каналами  $p$  и  $n$  типов.
23. ПТИЗ с встроенным каналом ( $p$  и  $n$  – типов). Семейства стоковых и сток-затворных характеристик. ПТ с управляющим  $p - n$  – переходом и каналами  $n$  и  $p$  типа. Принцип действия, семейства стоковых и сток-затворных характеристик.
24. Схемы включения ПТ с ОИ, ОС. Линейная схема замещения ПТ на высоких и низких частотах, параметры. Работа ПТ в режиме усиления малого сигнала.
25. Эффект Миллера, представление о динамических характеристиках ПТ.
26. Тиристоры (динисторы, симисторы). УГО, назначение. Принцип действия на примере тиристора с управлением по катоду. ВАХ тиристора.
27. Способы включения и выключения тиристоров. Эксплуатационные параметры тиристоров.
28. Силовые БПТ. Работа в режиме ключа, особенности. Составной триод (схема Дарлингтона).
29. Силовые (мощные) ПТ. Работа в режиме ключа. ПТИЗ типа MOSFET: УГО, структура, схема замещения. Работа MOSFET в режиме усиления импульсного сигнала. Влияние

эффекта Миллера на процессы переключения триода. Вольт-зарядная характеристика ПТ, требования к источнику входного сигнала.

30. Мощные ПТ типа СИТ, БСИТ (СИТ – статический индукционный транзистор, БСИТ – это СИТ с характеристиками биполярного триода). Особенности управления.

31. Биполярный триод с изолированным затвором БТИЗ (IGBT). УГО, структура, принцип действия. ВАХ, особенности управления.

Для текущего контроля успеваемости применяется рейтинг-контроль, на 5-6, 11-12 и 17-18-й неделях теоретического обучения, практические занятия, а также проводятся защиты отчетов по выполненным лабораторным работам.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### *а) основная литература*

1. Общая электротехника и основы промышленной электроники [Электронный ресурс]: Учеб. пособие для вузов / Г.Г. Рекус. - М.: Абрис, 2012. -

<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785437200667.html>

2. Физические основы кремниевой наноэлектроники [Электронный ресурс] / Г.И. Зебрев. - М.: БИНОМ, 2015. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996326303.html>

3. Электроника (Электронный ресурс): Учебн. пособие/ А.С.Сигов, В.И.Нефедов, А.А.Щука; -М.: Абрис, 2012, 348с. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785437200728.html>.

4. Электроника и микросхемотехника уч. пособие/ С.Н. Чижма – М.: УМЦ ЖДТ, 2012.-359 с. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785890356499.html>.

5. Электротехника и электроника (Электронный ресурс). Учебник для вузов/ Немцов М.В.- М.: Абрис. 2012 – 560с. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785437200351.html>.

### *б) Дополнительная литература*

1. Электротехника и Электроника Подкин Ю.Г., Чикуров Т.Г., Данилов Ю.И. Серия бакалавриат. Изд. Центр Академия (библиотека ВлГУ) 2011 – 430с.

2. Физические основы микро- и нанотехнологий [Электронный ресурс]: Учеб. пособие / С.П. Бычков, В.П. Михайлов, Ю.В. Панфилов, Ю.Б. Цветков; Под ред. Ю.Б. Цветкова. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009." - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703833193.html>

3. Микро и наноэлектроника/ Драгунский В.П., Остертак Д.И. Новосибирский НГТУ 2012 – 38с. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785437200351.html>

### *в) Периодические издания*

1. Практическая силовая электроника/ Периодический научно-технический журнал Изд.111024 Москва, Андроновское шоссе д.26 Тел./факс: +7(495)987-10-16.

E-mfil:main@mmp-irbis.ru www.mmp-irbis.ru

2. Новости электроники. М.: ООО «Компэл».

### *г) Программное обеспечение и Интернет ресурсы*

1. [twirpx.com/files/equipment/periodic...elektronika/](http://twirpx.com/files/equipment/periodic...elektronika/)

2. [twirpx.com/files/equipment/periodic...elektronika/](http://twirpx.com/files/equipment/periodic...elektronika/)

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

Лабораторные работы проводятся в лаборатории «Электроника и микросхемотехника» на стендовом оборудовании, разработанном сотрудниками кафедры УИТЭС. В состав оборудования входят стенды (в количестве 8 шт.).

Лабораторные стенды обеспечены средствами измерений и качественной оценки сигналов: вольтметрами, амперметрами, осциллографами, генераторами сигналов. В лаборатории имеются 14 плакатов.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению «**Управление в технических системах**»

Рабочую программу составил



А.С.Грибакин  
доцент

Рецензент  
Зам.начальника отдела  
ЗАО «Автоматика Плюс», к.т.н.



В.М.Дерябин

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры

УИТЭС

Протокол № 10/1 от 18.11.15 года

Заведующий кафедрой



А.Б.Градусов

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления «**Управление в технических системах**»

Протокол № 8 от 18.11.15 года

Председатель комиссии



А.Б.Градусов