

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)



УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

физики полупроводников и микроэлектроники

(Е.Н.Бормонтов) (Е.Н.Бормонтов)

31.08.2021

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.04.02 Физика полупроводниковых приборов

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

03.03.03 Радиофизика

2. Профиль подготовки: радиофизика и электроника

3. Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

4. Форма образования: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

физики полупроводников и микроэлектроники

6. Составители программы: Богатиков Евгений Васильевич

кандидат физико-математических наук,

7. Рекомендована: НМС физического факультета протокол №6 от 26.06.2021

8. Учебный год: 2024-2025 Семестр: 7

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Цели:

- формирование комплекса знаний о взаимосвязи конструктивно-технологических и электрических параметров полупроводниковых приборов;
- формирование комплекса знаний и навыков, направленных на оптимизацию параметров полупроводниковых приборов при их проектировании.

Задачи:

- формирование навыков применения знаний о физике полупроводников при разработке устройств полупроводниковой электроники;

- изучение физики работы, параметров и компактных моделей полупроводниковых диодов, биполярных и МОП-транзисторов;
- использование знаний о параметрах полупроводниковых приборов при схемотехническом моделировании;
- изучение особенностей приборов СВЧ-электроники, использующих низкоразмерные эффекты;
- изучение светоизлучающих и фотоприемных устройств;
- формирование навыков применения контрольно-измерительного оборудования для тестирования полупроводниковых приборов.

10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП: дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений (вариативная) блока Б1, дисциплины по выбору. Для ее усвоения требуются знания, формируемые при освоении ОПОП в рамках курса Б.О.25 Физика полупроводников.

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки общепрофессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудовых действий ТД.2 «Сбор, обработка, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований» и ТД.3 «Сбор, обработка, анализ и обобщение результатов экспериментов и исследований в соответствующей области знаний» трудовой функции А/01.5 «Осуществление проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований» профессионального стандарта 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам».

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Компетенции		Индикаторы		Планируемые результаты обучения
Код	Наименование компетенции	Код(ы)	Наименование индикатора(ов)	
ПК-1	Способен проводить сбор, анализ и обработку научно-технической информации, необходимой для решения профессиональных задач	ПК-1.1	Применяет знания о методах исследований, методах структурирования естественно-научной информации, современных концепциях в области физики и радиофизики при решении профессиональных задач	<p><i>Знать:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - основные виды полупроводниковых приборов и области их применения; - перспективные направления развития полупроводниковой электроники; <p><i>Уметь:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - выбирать соответствующие задаче полупроводниковые приборы при разработке радиоэлектронных устройств.
ПК-4	Способен принимать участие в разработке и исследованиях, а также эксплуатировать радиоэлектронные	ПК-4.1	Владеет фундаментальными знаниями физических основ и принципов функционирования радиоэлектронных	<p><i>Знать:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - принцип работы, эквивалентные схемы и основные параметры диодных полупроводниковых структур; - принцип работы, эквивалентные схемы и основные

	приборы и системы различного назначения		приборов и систем	параметры биполярных и МОП транзисторов; - принцип работы, эквивалентные схемы и основные параметры мощных СВЧ-транзисторов.
		ПК-4.13	Понимает принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной аппаратуры и оборудования	Знать: - основные методы испытания полупроводниковых приборов и используемое при испытаниях контрольно-измерительное оборудование; Уметь: - проводить измерение параметров полупроводниковых приборов с использованием современного контрольно-измерительного оборудования.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах — 2 / 72.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

13. Виды учебной работы:

Вид учебной работы		Трудоемкость (часы)	
		Всего	По семестрам 6 сем.
Аудиторные занятия,		50	50
в том числе:	лекции	34	34
	лабораторные работы	16	16
Самостоятельная работа		22	22
Итого:		72	72

13.1. Содержание дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
Лекции		
1.1	Диодные структуры	Образование и зонная диаграмма p-n перехода, контактная разность потенциалов. Фундаментальная система уравнений полупроводника. Диффузионно-дрейфовое приближение. Уравнение Пуассона ступенчатого, полностью обедненного p-n перехода. Распределение потенциала и напряженности электрического поля внутри p-n перехода. Ширина p-n перехода. P-n переход при наличии смещения, квазиуровни Ферми. Механизмы прохождения тока через p-n переход. Барьерная и диффузионная емкость p-n перехода. Вольт-амперная характеристика диода. Виды пробоя p-n перехода. Виды диодов с p-n-переходом: выпрямительные, импульсные, стабилитроны, варикапы. Диоды с контактом металл-полупроводник.
1.2	Биполярные транзисторы	Структура дискретного биполярного транзистора. Зонная диаграмма биполярного транзистора. Режимы работы

		<p>биполярного транзистора: нормальный активный режим, режим двойной инжекции, режим отсечки. Модели Эберса-Молла и Гуммеля-Пуна. Входная, переходная и выходная ВАХ биполярного транзистора. Эффект Эрли. Малосигнальные параметры биполярного транзистора. Типовые схемы включения биполярного транзистора: с общим эмиттером, с общим коллектором, с общей базой. Задание рабочей точки. Повышение стабильности рабочей точки. Эффект Миллера. Пробивные напряжения транзистора.</p>
1.3	МДП-транзисторы	<p>Принцип действия и конструкции МДП-транзисторов с индуцированным каналом. Режимы работы МОП-транзистора: режим отсечки, линейный, режим насыщения. Переходная и выходная ВАХ МОП-транзистора. Пороговое напряжение. Модуляция длины канала. Модель Шихмана-Ходжеса. Малосигнальные схемы замещения. Малосигнальные параметры: крутизна, выходное сопротивление. Типовые схемы включения и их передаточные характеристики: с общим истоком, с общим стоком, с общим затвором, каскодная. МДП-транзисторы с управляющим р-п-переходом.</p>
1.4	Мощные СВЧ-транзисторы	<p>Материалы СВЧ-электроники: GaAs, AlGaAs, GaN, SiC, SiGe. Гетеропереходы. HBT-транзисторы: зонная диаграмма, конструкция, параметры. MeП-транзисторы: принцип работы, переходная и выходная ВАХ нормально открытых и нормально закрытых транзисторов, пороговое напряжение, логические элементы на MeП-транзисторах, технологические способы повышения быстродействия. ГMeП-транзисторы: двумерный электронный газ, особенности конструкции, особенности ВАХ. LDMOS-транзисторы: конструкция, способы повышения быстродействия и порогового напряжения. Области применения мощных СВЧ-приборов.</p>
1.5	Интегральные схемы	<p>КМОП-технология. Схемотехника логических элементов в КМОП-технологии. Физические и топологические слои КМОП-технологии. Правила проектирования топологии Мида-Конвей. Пассивные элементы в КМОП-технологии. Межэлементная изоляция в КМОП-технологии. Особенности технологии глубоко-субмикронных МОП-транзисторов, короткоканальные эффекты. FinFET-транзисторы: структура и принцип работы, особенности топологического проектирования. БИКМОП-технология.</p>
1.6	Приборы функциональной микроэлектроники	<p>Приборы оптоэлектроники. Светоизлучающие диоды. Полупроводниковые лазеры. Индикаторы. Элементы интегральной оптики. Принцип работы и типовые схемы включения фотоприемных устройств (фоторезисторов, фотодиодов, фототранзисторов). Применение оптронов для гальванической развязки. Приборы с отрицательной дифференциальной проводимостью и отрицательным дифференциальным сопротивлением: туннельный диод, диод Ганна, однопереходный транзистор.</p>
Лабораторные работы		
2.1	Диодные структуры	<p>Лабораторная работа №1. Измерение барьерной емкости р-п перехода диода.</p>
2.2	Биполярные транзисторы	<p>Лабораторная работа №2. Измерение малосигнальных параметров биполярного транзистора. Лабораторная работа №3. Изучение параметров однокаскадных усилителей на биполярном транзисторе.</p>

2.3	МДП-транзисторы	Лабораторная работа №4. Измерение малосигнальных параметров МОП-транзистора. Лабораторная работа №5. Изучение параметров однокаскадных усилителей на МОП-транзисторе.
2.4	Мощные СВЧ-транзисторы	Лабораторная работа №6. Измерение малосигнальных параметров LDMOS транзистора.
2.5	Интегральные схемы	Лабораторная работа № 7. Проектирование топологии логических вентилях в КМОП-технологии.
2.6	Приборы функциональной микроэлектроники	Лабораторная работа № 8. Разработка фотоприемника на основе фотодиода.

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)			
		Лекции	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Диодные структуры	6	2	4	12
2	Биполярные транзисторы	6	4	4	14
3	МДП-транзисторы	6	4	4	14
4	Мощные СВЧ-транзисторы	6	2	4	12
5	Интегральные схемы	6	2	4	12
6	Приборы функциональной микроэлектроники	4	2	2	8
	Итого:	34	16	22	72
	Итого по курсу				72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Изучение дисциплины «Физика полупроводниковых приборов» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

Метод преподавания – проблемный, форма обучения – групповая, форма общения – интерактивная. Обязательное посещение лабораторных занятий и текущих аттестаций.

Подготовка к лекциям является одним из видов самостоятельной работы студентов. Студентам, чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы. Перед началом лекционных занятий надо просмотреть все, что было сделано в предыдущий раз. Это позволит сосредоточить внимание и восстановить в памяти уже имеющиеся знания по данному предмету. Кроме того, такой метод поможет лучше запомнить как старое, так и новое, углубит понимание того и другого, так как при этом устанавливаются связи нового со старым, что является не только обязательным, но и основным условием глубокого овладения материалом. Чем детальнее изучаемое ассоциируется с известным ранее, тем прочнее сохраняется в памяти и быстрее вспомнится, когда требуется.

Следует помнить, что через лекцию передается не только систематизированный теоретический материал, но и постигается методика научного исследования и умение самостоятельно работать, анализировать различного рода явления.

Записывать на лекции необходимо главное, не стремясь зафиксировать все слово в слово. Выбрать же главное без понимания предмета невозможно. Наличие

собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятые во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и расширены с помощью учебной литературы. Записи являются пособиями для повторения, дают возможность охватить содержание лекции и всего курса в целом.

При этом хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему;
- понимать значение и важность ее в данном курсе;
- четко представлять план;
- уметь выделить основное, главное;
- усвоить значение примеров и иллюстраций;
- связать вновь полученные сведения о предмете или явлении с уже имеющимися;
- представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.

Существует несколько общих правил работы на лекции:

- лекции по каждому предмету записывать удобнее в отдельных тетрадях, оставляя широкие поля для пометок;
- к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;
- лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;
- так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и незнакомое, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;
- записывать надо сжато;
- во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

Самостоятельная работа студентов наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью. Самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работы как вообще, так и в учебной, научной деятельности. Она обеспечивает формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или практической работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа студента позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развивают творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа студентов, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу студентов и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность студентов должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной

деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности студента по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных студентом знаний. Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда.

Результат обучения и самостоятельной работы студента предполагает наличие следующих составляющих: понимание методологических основ построения изучаемых знаний; выделение главных структур учебного курса; формирование средств выражения в данной области; построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

Самостоятельная работа студента при изучении курса «Физика полупроводниковых приборов» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, подготовку отчетов о выполнении лабораторных работ, подготовку к зачету.

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Физика полупроводниковых приборов» включает в себя:

изучение теоретической части курса	- 6 часов;
подготовка отчетов	- 6 часов;
подготовка к зачету	- 10 часов;
	Итого - 22 часа.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Пасынков В. В. Полупроводниковые приборы : Учебник для вузов / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. – 6-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2002. – 478 с.
2	Сечи Ф. Мощные твердотельные СВЧ-усилители: монография / Ф. Сечи, М. Буджатти; под ред. А.А. Борисов; пер. с англ. В.О. Султанов. – Москва: Техносфера, 2016. – 416 с.
3	Степаненко И. П. Основы микроэлектроники: учебное пособие для вузов / И.П. Степаненко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 488 с.
4	Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника: [учебное пособие] / Е.П. Угрюмов. – 3-е изд. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2010. – 797 с.
5	Щука А. А. Нанозлектроника: учебное пособие / А.А. Щука; МФТИ; под общ. ред. Ю.В. Гуляева. – М. : Физматкнига, 2007. – 463 с.
6	Красников Г. Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов / Г. Красников. – изд. 2-е, испр. – Москва: Техносфера, 2011. – 799 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
7	Попов В. Д. Физические основы проектирования кремниевых цифровых интегральных микросхем в монолитном и гибридном исполнении: учебное пособие / В.Д. Попов, Г.Ф. Белова. – Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2013. – 207 с.

8	Денисенко, В. В. Компактные модели МОП-транзисторов для SPICE в микро-и нано-электронике : монография / В. В. Денисенко. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 408 с. — ISBN 978-5-9221-1200-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/2136
9	Петров, М. Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем : учебное пособие / М. Н. Петров, Г. В. Гудков. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 464 с. — ISBN 978-5-8114-1075-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/209609
10	Зебрев, Г. И. Физические основы кремниевой наноэлектроники : учебное пособие / Г. И. Зебрев. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 243 с. — ISBN 978-5-00101-830-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/135537

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
11	Open Circuit Design <URL: http://opencircuitdesign.com/ >
12	Peardrop Design Systems <URL: https://peardrop.co.uk/ >
13	SkyWater SKY130 PDK <URL: https://skywater-pdk.readthedocs.io/en/main/ >

16. Учебно-методическое обеспечение для организации самостоятельной работы:

№ п/п	Источник
1	Введение в системы автоматизированного проектирования интегральных микросхем: учебно-методическое пособие. Ч. 1 / сост. : А.В. Тучин, Е.Н. Бормонтов, К.Г. Пономарев. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2017. – 110 с.
2	Введение в системы автоматизированного проектирования интегральных микросхем : учебно-методическое пособие. Ч. 2 / сост.: А. В. Тучин, А. Н. Шебанов, Е. Н. Бормонтов. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2018. – 37 с.

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебного процесса по дисциплине:

№ п/п	Источник
1	http://www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
2	Федеральный портал «Российское образование» http://www.edu.ru

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа - мультимедийный кабинет кафедры ФППиМЭ: ноутбук emachines e510, проектор Panasonic PT-LC55E, экран.

Лаборатория спецпрактикумов кафедры ФППиМЭ: Цифровые осциллографы АКИП 4115/4А - 6 шт., функциональные генераторы Rigol DG1022 - 6 шт., лабораторный стенд для исследования полупроводниковых свойств твердых тел - 1 шт., лабораторный стенд для исследования биполярных структур - 1 шт.; лабораторный стенд для исследования униполярных структур - 1 шт.; лабораторный стенд для исследования вольт-фарадных характеристик - 1 шт.; измерители RLC E7-12 - 2 шт., компьютеры Pentium Dual Core - 5 шт.

Аудитория для самостоятельной работы: компьютерный класс с доступом к сети Интернет: компьютеры (мониторы, системные блоки) – Pentium Dual Core (10 шт.)

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
1	Диодные структуры	ПК-1 ПК-4	ПК-1.1 ПК-4.1 ПК-4.13	Лабораторная работа № 1, перечень вопросов
2	Биполярные транзисторы	ПК-1 ПК-4	ПК-1.1 ПК-4.1 ПК-4.13	Лабораторные работы № 2,3, перечень вопросов
3	МДП-транзисторы	ПК-1 ПК-4	ПК-1.1 ПК-4.1 ПК-4.13	Лабораторные работы № 4,5, перечень вопросов
4	Мощные СВЧ-транзисторы	ПК-1 ПК-4	ПК-1.1 ПК-4.1 ПК-4.13	Лабораторная работа № 6, перечень вопросов
5	Интегральные схемы	ПК-1 ПК-4	ПК-1.1 ПК-1.1 ПК-4.13	Лабораторная работа № 7, перечень вопросов
6	Приборы функциональной микроэлектроники	ПК-1 ПК-4	ПК-1.1 ПК-4.1 ПК-4.13	Лабораторная работа № 8, перечень вопросов
Промежуточная аттестация: форма контроля – зачет				Вопросы к зачету

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью результатов выполнения лабораторных работ.

Перечень лабораторных работ

Лабораторная работа № 1. Измерение барьерной емкости р-n перехода диода.

Лабораторная работа № 2. Измерение малосигнальных параметров биполярного транзистора.

Лабораторная работа №3. Изучение параметров однокаскадных усилителей на биполярном транзисторе.

Лабораторная работа №4. Измерение малосигнальных параметров МОП-транзистора.

Лабораторная работа №5. Изучение параметров однокаскадных усилителей на МОП-транзисторе.

Лабораторная работа №6. Измерение малосигнальных параметров LDMOS транзистора.

Лабораторная работа № 7. Проектирование топологии логических вентилях в КМОП-технологии.

Лабораторная работа № 8. Разработка фотоприемника на основе фотодиода.

Примерный перечень вопросов для текущего контроля успеваемости

1. Можно ли полностью устранить потенциальный барьер p-n перехода при приложении прямого смещения?
2. Нарисуйте зонную диаграмму полупроводникового диода при больших токах (ВАХ диода отклоняется от экспоненциальной зависимости).
3. В чем заключается отличие ВАХ кремниевого и германиевого диодов?
4. Как по виду ВАХ определить тип p-n перехода диода (резкий, плавный)?
5. Какие параметры формулы ВАХ диода определяются шириной запрещенной зоны полупроводника?
6. Какой тип пробоя преобладает в стабилитроне, рассчитанном на напряжение стабилизации 3.3 В?
7. Нарисуйте схему, согласно которой по ГОСТ 18986.4-73 может быть измерена емкость полупроводникового диода.
8. Какая область выходной ВАХ биполярного транзистора является рабочей?
9. Как по семейству выходных ВАХ определить оптимальное нагрузочное сопротивление в схеме с общим эмиттером?
10. Эффективно ли параллельное включение биполярных транзисторов?
11. В чем заключается эффект шнурования тока в биполярном транзисторе?
12. Для чего создают слабо легированную область коллектора вблизи p-n перехода база-коллектор?
13. Какими соображениями необходимо пользоваться при выборе толщины базы и степени легирования базы?
14. Почему для МОП-транзистора не используется входная ВАХ?
15. При каком напряжении происходит переход от линейной области выходной ВАХ МОПТ к области насыщения?
16. Что такое отсечка канала в МОП-транзисторе?
17. Можно ли по выходной ВАХ МОПТ определить его пороговое напряжение?
18. Что такое крутизна МОПТ и какими параметрами транзистора она определяется?
19. В чем заключаются недостатки инвертора на одном МОП-транзисторе?
20. Чем является инвертор с точки зрения аналоговой схемотехники?
21. Можно ли МОПТ включать параллельно?
22. Что такое подпороговая проводимость МОП-транзистора?
23. В чем заключаются преимущества арсенида галлия как материала СВЧ электроники?
24. Что такое полуизолирующая подложка арсенида галлия?
25. В чем заключаются различия между нормально открытым и нормально закрытым MeП-транзисторами?
26. Какие разновидности конструкции MeП-транзисторов вы знаете?
27. Что вызывает уменьшение крутизны MeП-транзистора при увеличении расстояния между границей затвора и стоком/истоком?
28. Почему у ГMeП транзисторов резко возрастает быстродействие с понижением температуры?
29. Что такое напряженный слой SiGe на Si?
30. Перечислите основные типы структур HBT-транзисторов.
31. В чем заключаются основные отличия LDMOS-транзистора от обычного МОП-транзистора?

32. Приведите синтаксис SPICE-описания МОП транзистора.
33. Перечислите основные параметры и их назначение в модели Шихмана-Ходжеса
34. Назовите основные SPICE-модели для короткоканальных транзисторов.
35. В чем заключается отличие моделей Эберса-Молла и Гуммеля-Пуна для биполярных транзисторов?
36. Перечислите основные виды современных интегральных технологий.
37. Каким образом в КМОП-технологии на одной подложке реализуются транзисторы с каналом разной проводимости?
38. Что означает термин «сопротивление квадрата»?
39. Из каких соображений выбирается минимальная ширина при проектировании интегрального резистора?
40. В чем заключается отличие отрицательного дифференциального сопротивления от отрицательной дифференциальной проводимости?
41. Какой вид ВАХ имеет туннельный диод?
42. В каких устройствах используют туннельные диоды?
43. Что такое «тяжелые» и «легкие» электроны?
44. Что такое междолинный перенос электронов?
45. Для чего применяются диоды Ганна?
46. В чем заключается различие между светоизлучающими диодами и полупроводниковыми лазерами?
47. Можно ли фоторезисторы использовать в СВЧ-устройствах?
Для чего в р-і-n-фотодиодах используется і-область?

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине – *зачет*. Оценка за освоение дисциплины определяется ведущим дисциплину преподавателем как экспертом.

Перечень вопросов к зачету

1. Технологии получения р-n перехода.
2. Малосигнальные параметры биполярного транзистора.
3. Образование физического р-n перехода. Контактная разность потенциалов.
4. Принцип работы МОП-транзистора.
5. Распределение поля в р-n переходе. Ширина р-n перехода.
6. Переходная и выходная ВАХ МОП-транзистора для модели Шихмана-Ходжеса.
7. р-n переход при наличии смещения.
8. Малосигнальные параметры МОПТ.
9. Диффузионная и барьерная емкость р-n перехода. Варикапы.
10. Температурная зависимость параметров МОПТ.
11. Механизмы токопрохождения через р-n переход при прямом смещении.
12. Особенности конструкции субмикронных МОПТ.
13. Механизмы токопрохождения через р-n переход при обратном смещении.
14. Основные короткоканальные эффекты в МОПТ.
15. ВАХ диода.
16. Пороговое напряжение МОПТ.
17. Пробой р-n перехода. Стабилитроны.
18. Частотные свойства биполярных транзисторов.
19. Принцип и режимы работы биполярного транзистора.
20. Диоды с контактом металл-полупроводник: принцип работы.
21. ВАХ биполярного транзистора. Выбор рабочей точки.
22. Диоды с контактом металл-полупроводник: статические характеристики.

23. Температурная зависимость параметров биполярного транзистора.
24. Полевые транзисторы с управляющим р-п-переходом.
25. Частотные свойства МОПТ.
26. Модели биполярных транзисторов: модель Гуммеля-Пуна.
27. Особенности биполярного транзистора в интегральном исполнении.

28. Модели биполярных транзисторов: модель Эберса-Молла.
29. БикМОП-технология.
30. MeП-транзисторы.
31. LDMOS транзисторы.
32. НЕМТ транзисторы.
33. Проектирование топологии интегральных резисторов.
34. Интегральный р-п-р транзистор. Составные интегральные транзисторы.
35. Интегральные конденсаторы в КМОП технологии.
36. КМОП-технология.
37. Логические элементы в КМОП-технологии.
38. Туннельный диод: принцип работы, вольтамперная характеристика.
39. Поглощение света полупроводниками.
40. Фотодиод: принцип работы, вольтамперная характеристика.
41. Лавинно-пролетный диод: принцип работы, основные параметры.
42. Светоизлучающие диоды.
43. Диод Ганна: принцип работы, основные параметры
44. Полупроводниковые лазеры.

Для текущего контроля успеваемости используется устный опрос, отчеты о ходе выполнения практических работ.

Каждому обучающемуся задаются вопросы по всем разделам спецкурса.

Оценка освоения компетенций обучающимися во время прохождения спецкурса осуществляется по следующим критериям:

- уровень профессиональной подготовки;
- ответы на контрольные вопросы.

Уровень профессионализма (профессиональные знания, умения, навыки и компетенции) оценивается по следующим показателям:

- умение формулировать цели исследований;
- адекватное применение физико-математического аппарата для решения поставленных задач;
- адекватная рефлексия выполняемой научно-практической деятельности.

На основании выполнения обучающимся программы спецкурса и с учетом критериев оценки итогов освоения спецкурса выставляется: «зачтено»/«не зачтено».

Критерии оценки работы обучающихся, которые соотносятся с уровнями сформированности компетенций:

- оценка «зачтено» выставляется при полном соответствии работы обучающихся всем вышеуказанным показателям: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически и в полном объеме. Данный уровень обязателен для всех осваивающих ООП;
- оценка «не зачтено» выставляется в случае несоответствия работы обучающегося всем требуемым показателям, неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении заданий, предусмотренных программой спецкурса.