

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)

31.08.2022

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.04 Твердотельная электроника

1. Код и наименование направления подготовки/специальности: **11.03.04**
Электроника и наноэлектроника

2. Профиль подготовки: Интегральная электроника и наноэлектроника

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 14.06.2022

8. Учебный год: **2024-2025** Семестр: **6,7**

9. Цели и задачи учебной дисциплины: Целями освоения дисциплины «Твердотельная электроника» является формирование специальных знаний о принципах работы, параметрах и области применения полупроводниковых приборов.

В задачи дисциплины входят:

- изучение номенклатуры приборов твердотельной электроники;
- изучение физических явлений, лежащих в основе работы приборов твердотельной электроники;
- приобретение умений и навыков работы с приборами твердотельной электроники.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- основные физические эффекты в твердых телах, используемые для работы приборов твердотельной электроники;
- назначение, конструкцию и параметры элементов твердотельной электроники;
- основные физические модели приборов твердотельной электроники;
- основные методы моделирования и экспериментального исследования параметров элементов твердотельной электроники;

уметь:

- применять методы расчета параметров приборов и устройств твердотельной электроники;
- проводить моделирование приборов и устройств твердотельной электроники и наноэлектроники;

владеть:

- навыками экспериментальных исследований параметров приборов и устройств твердотельной электроники и наноэлектроники, современными программными средствами схемотехнического моделирования и проектирования электронных устройств.

Данная дисциплина является предшествующей для таких дисциплин как «Интегральная схемотехника», «Топологическое проектирование интегральных схем», «Физика МДП-систем». Знания, полученные при освоении дисциплины «Твердотельная электроника», необходимы при выполнении бакалаврской выпускной квалификационной работы в области микро- и наноэлектроники.

10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП: Дисциплина включена в число дисциплин части, формируемой участниками образовательных отношений, блока Б1 по направлению подготовки **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**.

Для ее усвоения требуются знания, формируемые при освоении ОПОП бакалавриата в рамках курсов математики, физики, компьютерного моделирования.

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки профессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудовых функций профессионального стандарта 40.035 «Инженер-конструктор аналоговых сложно-функциональных блоков (СФ-блоков)».

Знания, полученные при освоении дисциплины «Твердотельная электроника», необходимы при выполнении научно-исследовательских работ, учебной и производственных проектно-конструкторских практик написания выпускной квалификационной работы в области микро- и наноэлектроники.

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 выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с	ПК-1.1	Проводит сравнительный анализ существующих способов реализации цифровых и аналоговых СФ-блоков и на его основе разрабатывает общую архитектуру проектируемых	Знать: - параметры полупроводниковых диодов, биполярных и МОП-транзисторов, приборов СВЧ-электроники, приборов оптоэлектроники и акустоэлектроники. Уметь: - рассчитывать малосигнальные параметры полупроводниковых приборов по результатам схемотехнического моделирования; - интерпретировать результаты моде-

	техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования		СФ-блоков	лирования в соответствии с поставленной задачей
		ПК-1.2	Определяет численные значения основных технических характеристик цифровых и аналоговых СФ-блоков	Знать: - принципы построения и функционирования аналоговых устройств - схем однокаскадных усилителей на биполярных и МОП-транзисторах; - принципов согласования усилительных каскадов; - базовых схем применения операционных усилителей; - базовых схем включения фотоприемных приборов;
ПК-2	Способен выполнять моделирование схем отдельных аналоговых блоков и принимать решения об уточнении первичного схемотехнического описания на основе результатов анализа и верификации результатов моделирования	ПК-2.1	Применяет средства САПР для реализации основных методов схемотехнического моделирования	Знать: - методы расчета по постоянному току, в том числе, при вариации параметров цепи; - методы анализа переходных процессов; - метод анализа в частотной области. Уметь: - строить с применением САПР входные, выходные, переходные ВАХ полупроводниковых приборов; - строить с применением САПР амплитудно-частотные характеристики простейших электрических схем; - выбирать тип схемотехнического моделирования в соответствии с поставленной задачей
		ПК-2.2	Анализирует результаты схемотехнического моделирования и формирует отчеты о временных, частотных и мощностных характеристиках цифровых и аналоговых СФ-блоков	Знать: - правила формирования отчетов о временных, частотных и мощностных характеристиках цифровых и аналоговых СФ-блоков Уметь: - анализировать результаты схемотехнического моделирования
		ПК-2.3	Разрабатывает на основании результатов схемотехнического моделирования предложения о смене электрической схемы СФ-блока и коррекции первичного технического задания	Уметь: - разрабатывать на основании результатов схемотехнического моделирования предложения о корректировке первичного технического задания

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах — 7 / 252.

Форма промежуточной аттестации – зачет, курсовая работа, экзамен

13. Виды учебной работы:

Вид учебной работы		Трудоемкость (часы)		
		Всего	По семестрам	
			6 сем.	7 сем.
Аудиторные занятия,		116	68	48
в том числе:	лекции	58	34	24
	лабораторные	58	34	24
Самостоятельная работа		100	40	60
Форма промежуточной аттестации: экзамен		36	зачет	36
Итого:		252	108	144

13.1. Содержание дисциплины:

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

		p-n-переходом.
1.4	Мощные СВЧ-транзисторы	Материалы СВЧ-электроники: GaAs, AlGaAs, GaN, SiC, SiGe. Гетеропереходы. HBT-транзисторы: зонная диаграмма, конструкция, параметры. Мет-транзисторы: принцип работы, переходная и выходная ВАХ нормально открытых и нормально закрытых транзисторов, пороговое напряжение, логические элементы на Мет-транзисторах, технологические способы повышения быстродействия. ГМет-транзисторы: двумерный электронный газ, особенности конструкции, особенности ВАХ. LDMOS-транзисторы: конструкция, способы повышения быстродействия и порогового напряжения. Области применения мощных СВЧ-приборов.
1.5	Интегральные схемы	Биполярные интегральные схемы. Биполярный транзистор в интегральном исполнении. Способы межэлементной изоляции. Подложковый и горизонтальный p-n-p транзисторы. Многоэмиттерный и многоколлекторный транзисторы. Топология активных элементов. Пассивные элементы биполярных ИС: диффузионные резисторы, резисторы на основе ионного легирования, диффузионные конденсаторы, МДП-конденсаторы. Топология пассивных элементов. Транзисторно-транзисторная логика. 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. Номенклатура интегральных схем: линейные и импульсные регуляторы напряжения, операционные усилители, усилители мощности, драйверы для низкоомной нагрузки, цифровые интегральные схемы серии 74xx.
1.6	Приборы функциональной микроэлектроники	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. Основы акустоэлектроники. Поверхностные акустические волны: распространение, способы генерации и детектирования. Приборы акустоэлектроники: линии задержки, фильтры, фазовращатели.
2. Лабораторные занятия		
2.1	Диодные структуры	Лабораторная работа №1. Измерение барьерной емкости p-n перехода диода. Лабораторная работа №2. Изучение однополупериодного и двухполупериодного выпрямителя. Лабораторная работа №3. Стабилизация напряжения при помощи стабилитрона.
2.2	Биполярные транзисторы	Лабораторная работа №4. Измерение малосигнальных параметров биполярного транзистора. Лабораторная работа №5. Изучение параметров однокаскадных усилителей на биполярном транзисторе.
2.3	МДП-транзисторы	Лабораторная работа №6. Измерение малосигнальных параметров МОП-транзистора. Лабораторная работа №7. Изучение параметров однокаскадных

		усилителей на МОП-транзисторе.
2.4	Мощные СВЧ-транзисторы	
2.5	Интегральные схемы	Лабораторная работа № 8. Изучение интегральных стабилизаторов напряжения серий 78xx и 79xx. Лабораторная работа № 9. Инвертирующий и неинвертирующий усилители на ОУ МСР6002. Лабораторная работа № 10. Разработка и изучение параметров активного фильтра. Лабораторная работа № 11. Разработка устройства регистрации биопотенциалов.
2.6	Приборы функциональной микроэлектроники	Лабораторная работа № 12. Разработка цифрового характеристического графа для исследования ВАХ светодиода. Лабораторная работа № 13. Управление семисегментными индикаторами с использованием сдвиговых регистров Лабораторная работа № 14. Разработка пульта дистанционного управления на основе ИК-приемника TSOP1738. Лабораторная работа № 15. Управление двустрочным ЖК-индикатором. Лабораторная работа № 16. Управление тиристором при помощи тиристорной оптопары.

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)			
		Лекции	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Диодные структуры	10	12	10	32
2	Биполярные транзисторы	8	8	10	26
3	МДП-транзисторы	8	8	10	26
4	Мощные СВЧ-транзисторы	8	-	24	32
5	Интегральные схемы	16	16	24	56
6	Приборы функциональной микроэлектроники	8	14	22	44
	Итого:	58	58	100	216
	Экзамен				36
	Итого по курсу				252

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

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

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 углубить понимание как нового, так и уже изученного материала благодаря установлению взаимосвязей между отдельными частями курса.

Хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему лекции;
- понимать значение и важность ее в данном курсе;
- четко представлять план лекции;
- 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.

Важной составляющей курса являются лабораторные работы, которые позволяют приобрести навыки работы с реальными приборами твердотельной электроники, а также измерительной аппаратурой. Выполнение лабораторной работы требует тщательной предварительной подготовки. Необходимо заранее ознакомиться с теоретическим введением к предстоящей лабораторной работе для того, чтобы выполнение работы в аудитории было полностью осмысленным. Также необходимо помнить, что составление отчета о выполнении лабораторной работы является не только ключевым этапом в систематизации и осознании полученных данных, но и необходимым умением в будущей профессиональной деятельности, предполагающей регулярное составление подобных отчетов.

Наряду с теоретическим курсом и лабораторными работами важной составляющей обучения является самостоятельная работа. Она предназначена как для формирования навыков самостоятельной работы вообще, так и для развития способностей принимать на себя ответственность, находить конструктивные решения и выход из кризисной ситуации.

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

Таким образом, самостоятельная работа формирует черты характера, играющие существенную роль в структуре личности современного специалиста.

Преподаватель организует, направляет самостоятельную работу обучающихся и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность обучающихся должна превышать объем контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для профессиональной деятельности в избранной сфере.

Получение образования предполагает не только обучение решению задач определенной сферы деятельности, но и формирование особого профессионального стиля мышления. Профессиональный стиль мышления означает готовность к поиску решения любой задачи в ходе практической деятельности, даже такой, которая не была затронута в ходе обучения.

Результат обучения и самостоятельной работы обучающегося 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 обучающихся при изучении курса «Твердотельная электроника» включает в себя: работу с теоретической частью курса, оформление отчетов о выполнении лабораторных работ и подготовку к выполнению лабораторных работ, работу над курсовым проектом, подготовку к экзамену.

Рекомендуемое распределение нагрузки между компонентами самостоятельной работы:

изучение теоретической части курса	- 28 часов
подготовка к лабораторным занятиям	- 28 часов
работа над курсовым проектом	- 36 часов
подготовка к зачету	- 8 часов
итого - 100 часа	

Подготовка к экзамену – 36 часов

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

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Легостаев Н.С. Твердотельная электроника / Н.С. Легостаев ; Четвергов К. В. — Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012 .— 244 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : http://biblioclub.ru
2	Дьяконов В.П. Сверхскоростная твердотельная электроника / В.П. Дьяконов .— Москва : ДМК Пресс, 2013 .— 600 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : http://biblioclub.ru

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Легостаев Н.С. Твердотельная электроника. Методические указания по изучению дисциплины / Н.С. Легостаев ; Четвергов К. В. — Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012 .— 51 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : http://biblioclub.ru
4	Троян П.Е. Твердотельная электроника / П.Е. Троян .— Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2006 .— 330 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : http://biblioclub.ru
5	Давыдов, В. Н. Твердотельная электроника : учебное пособие / В. Н. Давыдов ; Томский Государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР). — Томск : ТУСУР, 2013. — 175 с. : ил., схем. — Режим доступа: по подписке. — URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480529 — Библиогр. в кн. — Текст : электронный.
6	Драгунов, В. П. Микро- и наноэлектроника : учебное пособие : [16+] / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2012. — 38 с. — Режим доступа: по подписке. — URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228941 — ISBN 978-5-7782-2095-9. — Текст : электронный.
7	Кушнер, Д. А. Основы промышленной электроники : учебное пособие / Д. А. Кушнер. — Минск : РИПО, 2020. — 273 с. : ил., табл., схем., граф. — Режим доступа: по подписке. — URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=599748 (дата обращения: 14.12.2021). — Библиогр.: с. 261. — ISBN 978-985-503-975-5. — Текст : электронный.
8	Гуртов В. А.. Твердотельная электроника : учебное пособие для студ. вузов, обуч.

	по направлению подготовки бакалавров, магистров 010700 "Физика" и специальности 010701 "Физика" / В. Гуртов .— 2-е изд., доп. — М. : Техносфера, 2007 .— 406 с.
9	Водовозов, А. М. Основы электроники : учебное пособие / А. М. Водовозов. – 2-е изд. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 141 с. : ил., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=564844 (дата обращения: 14.12.2021). – Библиогр.: с. 137. – ISBN 978-5-9729-0346-7. – Текст : электронный.
10	Пасынков В. В. Полупроводниковые приборы : учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению подготовки бакалавров и магистров "Электроника и микроэлектроника" и по направлению подготовки дипломир. специалистов "Электроника и микроэлектроника" / В.В. Пасынков, Г.К. Чиркин .— Изд. 8-е, испр. — СПб. : Лань, 2006 .— 478 с.
11	Игнатов А. Н.. Оптоэлектроника и нанофотоника : [учебное пособие для студентов, обучающихся по направлениям подготовки "Электроника и наноэлектроника" и "Телекоммуникации"] / А.Н. Игнатов .— Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2011 .— 538 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
12	http://www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
13	The BSIM Group <URL: http://www-device.eecs.berkeley.edu/bsim/ >
14	Linear Technology Design Support <URL: http://www.linear.com/designtools/software/ >
15	The International Technology Roadmap for Semiconductors <URL: http://www.itrs.net/ >

16. Учебно-методическое обеспечение для организации самостоятельной работы:

№ п/п	Источник
1	Лабораторный практикум по оптоэлектронике : учебно-методическое пособие. Ч. 1 / сост. : Е. В. Богатиков, А. Н. Шебанов .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018 .— 40 с.
2	Элементы оптоэлектроники : учебное пособие / сост. : Е.В. Богатиков, Т.Г. Меньшикова .— Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2010 .— 30 с.
3	Электрические параметры биполярных и полевых структур : пособие для студентов : 014100 / Воронежский государственный университет, Каф. физики полупроводников, Физ. фак.; Сост. : Б.К. Петров, В.В. Воробьев .— Воронеж, 2004 .— 47 с.

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины:

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции; лабораторные занятия; индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Дисциплина может реализовываться с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа - мультимедийный кабинет кафедры ФППиМЭ: стационарный мультимедийный проектор Acer X125N – 1 шт.,

ноутбук emachines e510 – 1 шт.; Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019

Учебная лаборатория микропроцессорных систем: компьютеры Lenovo V520-15IKL - 8 шт., цифровые осциллографы UTD2025CL - 3 шт., функциональные генераторы UTG2025A - 3 шт., источники питания QJ1503C – 3 шт., мультиметры цифровые UT39B – 3 шт., платы Arduino Uno с комплектом элементов оптоэлектроники – 6 шт., комплект лабораторного оборудования СХТ1-С-Р «Схемотехника» - 3 шт. комплект радиодеталей, телевизор LED 48” – 1 шт.; Microsoft Windows 10, договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019, открытое ПО Arduino IDE

Аудитория для самостоятельной работы студентов: Сервер на базе 2-х процессоров Xeon E5-2620 v3. – 1 шт., компьютеры HP ProDesk 400 G6 SFF – 9 шт., компьютеры Pentium Dual Core - 2 шт. , подключенные к сети Интернет и с обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ВГУ; Microsoft Windows 7, договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019

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-2	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3	Тесты, вопросы
2	Биполярные транзисторы	ПК-1, ПК-2	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3	Тесты, вопросы
3	МДП-транзисторы	ПК-1, ПК-2	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3	Тесты, вопросы
4	Мощные СВЧ-транзисторы	ПК-1, ПК-2	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3	Тесты, вопросы
5	Интегральные схемы	ПК-1, ПК-2	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3	Тесты, вопросы
6	Приборы функциональной микроэлектроники	ПК-1, ПК-2	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3	Тесты, Вопросы, лабораторные работы
Промежуточная аттестация: форма контроля – зачет, экзамен				Комплект КИМ Курсовая работа

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: тестовые задания, отчеты о выполнении лабораторных работ, ответы на вопросы

Тестовые задания

Вопрос 1. Типичная предельная рабочая частота фоторезистора:

- a) 1 Гц;
- b) 1 кГц;
- c) 1 МГц;
- d) 1 ГГц.

Вопрос 2. При измерении освещенности фоторезистором достаточно иметь:

- a) вольтметр и фоторезистор;
- b) амперметр и фоторезистор.

Вопрос 3. Выберите верное утверждение:

- a) Выходной сигнал TSOP-сенсора пропорционален его освещенности в ИК-диапазоне;
- b) TSOP-сенсор не реагирует на изменение уровня ИК-излучения;
- c) TSOP-сенсор используется для детектирования ультрафиолетового излучения.

Вопрос 4. Найдите ошибку в скетче Arduino:

```
void setup() {  
  pinMode(A0, INPUT);  
}  
void loop() {  
  val = analogRead(A0);  
  Serial.println(val);  
  delay(1000);  
}
```

Вопрос 5. Изобразите входную и выходную ВАХ тиристорной и симисторной оптопар.

Вопрос 6. Выберите одно верное утверждение:

- a) фоторезистор – прибор, требующий подключения источника питания;
- b) фоторезистор – прибор, требующий подключения источника питания правильной полярности;
- c) фоторезистор – прибор, не требующий подключения источника питания.

Вопрос 7. Типичное значение фототока для освещенного фотодиода может быть равным:

- a) 10 пА;
- b) 10 нА;
- c) 10 мкА;
- d) 10 мА.

Вопрос 8. Какие обязательные функции должны быть в скетче Arduino?

- a) main;
- b) setup;
- c) loop;
- d) ISR.

Вопрос 9. Найдите ошибку в скетче Arduino, реализующем мигание светодиода:

```

int ledPin = 13;
void setup() {
  pinMode(ledPin, INPUT);
}
void loop() {
  digitalWrite(ledPin, HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(ledPin, LOW);
  delay(1000);
}

```

Вопрос 10. Нарисуйте типичную схему применения тиристорной оптопары.

Вопрос 11. Типичное темновое сопротивление фоторезистора лежит в диапазоне:

- a) 1..10 Ом;
- b) 1..10 кОм;
- c) 1..10 МОм;
- d) 1..10 ГОм.

Вопрос 12. Типичный материал чувствительного слоя фоторезистора, предназначенного для регистрации видимого света:

- a) Кремний
- b) Германий
- c) Селенид кадмия
- d) Антимонид индия

Вопрос 13. В фотодиодном режиме работы по отношению к внешней цепи фотодиод является:

- a) источником тока;
- b) источником напряжения;
- c) резистором.

Вопрос 14. Найдите ошибку (или ошибки) в скетче Arduino, реализующем мигание светодиода с различной частотой:

```

int ledPin = 13;
int switchPin = 7;
void setup(){
  pinMode(ledPin, INPUT);
  pinMode(switchPin, INPUT);
}
void loop(){
  if(digitalRead(switchPin) == LOW) {
    flashLed(100);
  } else {
    flashLed(500);
  }
}
void flashLed(int delayPeriod){
  analogWrite(ledPin, HIGH);
  delay(delayPeriod);
  digitalWrite(ledPin, LOW);
  delay(delayPeriod);
}

```

Вопрос 15. Что такое сдвиговый регистр и как он может быть использован при управлении семисегментным индикатором?

Вопрос 16. Выберите верные утверждения

- a) При небольших напряжениях и световых потоках ВАХ фоторезистора практически линейна;
- b) В области больших световых потоков с ростом напряжения питания может возрастать сопротивление фоторезистора;
- c) Световая характеристика фоторезистора линейна в области больших освещенностей благодаря рекомбинации фотоносителей.

Вопрос 17. Типичное сопротивление освещенного фоторезистора может быть равно:

- a) 10 Ом;
- b) 10 кОм;
- c) 10 МОм;
- d) 10 ГОм.

Вопрос 18. Контакты с каким назначением присутствуют в Arduino Uno?

- a) цифровые входы/выходы;
- b) входы 16-битного АЦП;
- c) выходы ЦАП;
- d) выходы с функцией широтно-импульсной модуляции.

Вопрос 19. Опишите назначение скетча Arduino:

```
int temp = 0;
int temp2 = 1;
void setup() {
  pinMode(9, OUTPUT);
}
void loop() {
  analogWrite(9, temp);
  temp = temp + temp2;
  if (temp == 0 || temp == 255) {
    temp2 = -temp2;
  }
  delay(100)
}
}
```

Вопрос 20. Какая составляющая тока является паразитной в фотодиоде?

Перечень лабораторных работ

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

Лабораторная работа №2. Изучение однополупериодного и двухполупериодного выпрямителя.

Лабораторная работа №3. Стабилизация напряжения при помощи стабилитрона.

Лабораторная работа №4. Измерение малосигнальных параметров биполярного транзистора.

Лабораторная работа №5. Изучение параметров однокаскадных усилителей на биполярном транзисторе.

Лабораторная работа №6. Измерение малосигнальных параметров МОП-транзистора.

Лабораторная работа №7. Изучение параметров однокаскадных усилителей на МОП-транзисторе.

Лабораторная работа № 8. Изучение интегральных стабилизаторов напряжения серий 78xx и 79xx.

Лабораторная работа № 9. Инвертирующий и неинвертирующий усилители на ОУ МСР6002.

Лабораторная работа № 10. Разработка и изучение параметров активного фильтра.
 Лабораторная работа № 11. Разработка устройства регистрации биопотенциалов.
 Лабораторная работа № 12. Разработка цифрового характеристикографа для исследования ВАХ светодиода.
 Лабораторная работа № 13. Управление семисегментными индикаторами с использованием сдвиговых регистров
 Лабораторная работа № 14. Разработка пульта дистанционного управления на основе ИК-приемника TSOP1738.
 Лабораторная работа № 15. Управление двустрочным ЖК-индикатором.
 Лабораторная работа № 16. Управление тиристором при помощи тиристорной оптопары.

Примерный перечень вопросов для текущего контроля успеваемости

1. Можно ли полностью устранить потенциальный барьер р-п 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 р-п 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 р-п 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?
48. Для чего в p-i-n-фотодиодах используется i-область?

Критерии оценивания текущей успеваемости

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала предварительных оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для выполнения тестов решения практических задач при выполнении лабораторных работ	Повышенный уровень	<i>Отлично</i>
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), допускает незначительные ошибки при выполнении тестов и лабораторных задач	Базовый уровень	<i>Хорошо</i>
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен проходить тестирование и выполнять лабораторные задания	Пороговый уровень	<i>Удовлетворительно</i>
Неудовлетворительное выполнение тестовых заданий. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при выполнении практических задач лабораторных работ	–	<i>Неудовлетворительно</i>

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Комплект КИМ

Контрольно-измерительный материал № 1

1. Технологии получения р-п перехода.
2. Малосигнальные параметры биполярного транзистора.

Контрольно-измерительный материал № 2

1. Образование физического р-п перехода. Контактная разность потенциалов.
2. Принцип работы МОП-транзистора.

Контрольно-измерительный материал № 3

1. Распределение поля в р-п переходе. Ширина р-п перехода.
2. Переходная и выходная ВАХ МОП-транзистора.

Контрольно-измерительный материал № 4

1. р-п переход при наличии смещения.
2. Малосигнальные параметры МОПТ.

Контрольно-измерительный материал № 5

1. Диффузионная и барьерная емкость р-п перехода. Варикапы.
2. Температурная зависимость параметров МОПТ.

Контрольно-измерительный материал № 6

1. Механизмы токопрохождения через р-п переход при прямом смещении.
2. Особенности конструкции субмикронных МОПТ.

Контрольно-измерительный материал № 7

1. Механизмы токопрохождения через р-п переход при обратном смещении.
2. Основные короткоканальные эффекты в МОПТ.

Контрольно-измерительный материал № 8

1. ВАХ диода.
2. Пороговое напряжение МОПТ.

Контрольно-измерительный материал № 9

1. Пробой р-п перехода. Стабилитроны.
2. Частотные свойства биполярных транзисторов.

Контрольно-измерительный материал № 10

1. Принцип и режимы работы биполярного транзистора.
2. Диоды с контактом металл-полупроводник: принцип работы.

Контрольно-измерительный материал № 11

1. ВАХ биполярного транзистора. Выбор рабочей точки.
2. Диоды с контактом металл-полупроводник: статические характеристики.

Контрольно-измерительный материал № 12

1. Диффузионная и барьерная емкость р-п перехода. Варикапы.

2. Температурная зависимость параметров биполярного транзистора.

Контрольно-измерительный материал № 13

1. ВАХ биполярного транзистора. Выбор рабочей точки.
2. Механизмы токопрохождения через р-п переход при прямом смещении.

Контрольно-измерительный материал № 14

1. Пробой р-п перехода. Стабилитроны.
2. Полевые транзисторы с управляющим р-п-переходом.

Контрольно-измерительный материал № 15

1. Малосигнальные параметры МОПТ.
2. Образование физического р-п перехода. Контактная разность потенциалов.

Контрольно-измерительный материал № 16

1. ВАХ диода.
2. Переходная и выходная ВАХ МОП-транзистора.

Контрольно-измерительный материал № 17

1. Принцип и режимы работы биполярного транзистора.
2. Частотные свойства МОПТ.

Контрольно-измерительный материал № 18

1. SPICE-модели биполярных транзисторов: модель Гуммеля-Пуна.
2. Особенности биполярного транзистора в интегральном исполнении.

Контрольно-измерительный материал № 19

1. SPICE-модели биполярных транзисторов: модель Эберса-Молла.
2. БикМОП-технология.

Контрольно-измерительный материал № 20

1. SPICE-модели МОПТ: модель BSIM3.
2. Интегральные микросхемы: основы теории надежности.

Контрольно-измерительный материал № 21

1. SPICE-модели МОПТ: модель Шихмана-Ходжеса.
2. Индуктивность в интегральном исполнении.

Контрольно-измерительный материал № 22

1. Основные виды SPICE-моделирования электрических схем.
2. Классификация и номенклатура интегральных схем.

Контрольно-измерительный материал № 23

1. Технологические особенности металлизации в СБИС.
2. MeП-транзисторы.

Контрольно-измерительный материал № 24

1. Эквивалентные схемы металлизации в СБИС: распределенная RC-модель.
2. LDMOS транзисторы.

Контрольно-измерительный материал № 25

1. Эквивалентные схемы металлизации в СБИС: распределенная RLC-модель.
2. HEMT транзисторы.

Контрольно-измерительный материал № 26

1. Разновидности интегральных резисторов в биполярной технологии.
2. MeП-транзисторы.

Контрольно-измерительный материал № 27

1. Проектирование топологии интегральных резисторов.
2. Интегральный p-n-p транзистор. Составные интегральные транзисторы.

Контрольно-измерительный материал № 28

1. Интегральные конденсаторы в биполярной технологии.
2. LDMOS транзисторы.

Контрольно-измерительный материал № 29

1. Интегральный биполярный транзистор с барьером Шоттки.
2. КМОП-технология.

Контрольно-измерительный материал № 30

1. ТТЛ-логика.
2. SPICE-описание элементов электрических схем.

Контрольно-измерительный материал № 31

1. Логические элементы в КМОП-технологии.
2. HEMT транзисторы.

Контрольно-измерительный материал № 32

1. Туннельный диод: принцип работы, вольтамперная характеристика.
2. Поглощение света полупроводниками.

Контрольно-измерительный материал № 33

1. Туннельный транзистор на графене.
2. Фотодиод: принцип работы, вольтамперная характеристика.

Контрольно-измерительный материал № 34

1. Лавинно-пролетный диод: принцип работы, основные параметры.
2. Светоизлучающие диоды.

Контрольно-измерительный материал № 35

1. Диод Ганна: принцип работы, основные параметры
2. Полупроводниковые лазеры.

Перечень тем курсовых работ

1. Распределение напряженности электрического поля и распределение потенциала в резком p-n-переходе без учёта носителей заряда.

2. Распределение напряженности электрического поля и распределение потенциала в плавном р-п-переходе с линейным распределением легированной примеси без учёта носителей заряда.
3. Распределение напряженности электрического поля и распределение потенциала в плавном р-п-переходе с гауссовым распределением легированной примеси без учёта носителей заряда.
4. Распределение потенциала в резком р-п-переходе с учётом носителей заряда.
5. Распределение потенциала в плавном р-п-переходе с линейным распределением легированной примеси с учётом носителей заряда.
6. Распределение потенциала в плавном р-п-переходе с гауссовым распределением легированной примеси с учётом носителей заряда.
7. Распределение неосновных носителей заряда в базе диода при прямом смещении.
8. Частотная зависимость активного сопротивления диода.
9. Частотная зависимость диффузионной ёмкости диода.
10. Распределение носителей заряда в бездрейфовом биполярном транзисторе в активном режиме.
11. Распределение носителей заряда в дрейфовом биполярном транзисторе в активном режиме.
12. Распределение потенциала и распределение зарядов в приповерхностном слое полупроводника в режиме обогащения.
13. Распределение потенциала и распределение зарядов в приповерхностном слое полупроводника в режиме обеднения.
14. Распределение потенциала и распределение зарядов в приповерхностном слое полупроводника в режиме слабой инверсии.
15. Распределение потенциала и распределение зарядов в приповерхностном слое полупроводника в режиме сильной инверсии.
16. Эффект шнурования тока на неоднородностях примеси.
17. Эффект вытеснения тока эмиттера.

Описание технологии проведения промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация по дисциплине – экзамен. В приложение к диплому вносится оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно*.

Оценка уровня освоения дисциплины «Твердотельная электроника» осуществляется по следующим показателям:

- качество и своевременность выполнения лабораторных работ;
- качество и своевременность выполнения курсовых работ;
- полнота ответов на вопросы контрольно-измерительного материала;
- полнота ответов на дополнительные вопросы.

Критерии оценки освоения дисциплины «Твердотельная электроника»: (или таблица)

– оценка *отлично* выставляется при полном соответствии работы студента всем вышеуказанным показателям. Соответствует высокому (углубленному) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически, в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей повышенный (продвинутый) уровень;

– оценка *хорошо* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует одному из перечисленных показателей или в случае предоставления курсовых работ и отчетов по лабораторным работам позже установленного срока. Соответствует повышенному (продвинутому) уровню сформированности компетенций: компетенции в целом сформированы, но проявляются и используются фрагментарно, не в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей пороговый (базовый) уровень;

– оценка *удовлетворительно* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует любым двум из перечисленных показателей. Соответствует пороговому (базовому) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы в общих чертах, проявляются и используются ситуативно, частично. Данный уровень обязателен для всех осваивающих основную образовательную программу;

– оценка *неудовлетворительно* выставляется в случае несоответствия работы студента всем показателям, его неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении лабораторных работ, предусмотренных программой дисциплины.

Факт невыполнения требований, предъявляемых к студенту при освоении дисциплины «Твердотельная электроника» и отраженных в вышеперечисленных критериях, фиксируется в ведомости оценкой *неудовлетворительно*.

Если студент не осваивает дисциплину в установленном программой объеме и в сроки, определенные графиком учебного процесса, он не допускается к промежуточной аттестации по данному виду учебной работы.

Описание шкалы, показателей и критериев оценивания компетенций (результатов обучения)

Компетенция	Показатель сформированности компетенции	Шкала и критерии оценивания уровня освоения компетенции			
		<i>отлично</i>	<i>хорошо</i>	<i>удовлетворительно</i>	<i>неудовлетворительно</i>
ПК-1 - Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования различного функционального назначения	Знание: - параметров полупроводниковых диодов, биполярных и МОП-транзисторов, приборов СВЧ-электроники, приборов оптоэлектроники и акустоэлектроники. - схем однокаскадных усилителей на биполярных и МОП-транзисторах; - принципов согласования усилительных каскадов; - базовых схем применения операционных усилителей; - базовых схем включения фотоприемных приборов;	Сформированы знания	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы в знаниях	Неполные знания	Фрагментарные знания или отсутствие знаний
ПК-2 Способен выполнять моделирование схем отдельных аналоговых блоков и принимать решения об уточнении первичного схемотехнического описания на основе	Знание: - метода расчета по постоянному току, в том числе, при вариации параметров цепи; - метода анализа переходных процессов; - метод анализа в частотной области.	Сформированы знания	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы в знаниях	Неполные знания	Фрагментарные знания или отсутствие знаний

результатов анализа и верификации результатов моделирования	Умение: - строить с применением САПР входные, выходные, переходные ВАХ полупроводниковых приборов; - строить с применением САПР амплитудно-частотные характеристики простейших электрических схем; - рассчитывать малосигнальные параметры полупроводниковых приборов по результатам схемотехнического моделирования	Сформированное умение	Успешное, но содержащее отдельные пробелы умение	Успешное, но не системное умение	Фрагментарные умения или отсутствие умений
---	---	-----------------------	--	----------------------------------	--