

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Беспалов Владимир Александрович

Должность: Ректор МИЭТ

Дата подписания: 01.09.2023 15:20:14

Уникальный программный ключ:

ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736d7168ceab82eb1601

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

И.Г. Игнатова

«14» декабря 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Твердотельная электроника»

Направление подготовки - 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Направленность (профиль) – «Автоматизация проектирования изделий нанoeлектроники»

2020 г.

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

Компетенция ПК-1 «Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования»

сформулирована на основе профессионального стандарта 40.035 «Инженер-конструктор аналоговых сложно-функциональных блоков»

Обобщенная трудовая функция А «Разработка принципиальных электрических схем отдельных аналоговых блоков и всего аналогового СФ-блока»

Трудовая функция А/01.6 «Определение возможных конструктивных вариантов реализации отдельных аналоговых блоков и всего СФ-блока»

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения компетенций/подкомпетенций
ПК-1.ТЭ «Способен строить простейшие физические и математические модели полупроводниковых приборов, используемых в электронике и нанoeлектронике»	- анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования; – участие в планировании и проведении экспериментов по заданной методике, обработка результатов с применением современных информационных технологий и технических средств;	Знания: основ полупроводниковой элементной базы для построения современных изделий нанoeлектроники Умения: определять параметры полупроводниковых приборов Опыт деятельности: построение моделей полупроводниковых приборов

Компетенция ПК-2 «Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения»

сформулирована на основе профессионального стандарта 40.035 «Инженер-конструктор аналоговых сложно-функциональных блоков»

Обобщенная трудовая функция А. Разработка принципиальных электрических схем отдельных аналоговых блоков и всего аналогового СФ-блока

Трудовая функция А/01.6 Определение возможных конструктивных вариантов реализации отдельных аналоговых блоков и всего СФ-блока

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения компетенций/подкомпетенций
--	--------------------------------------	--

ПК-2.ТЭ Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик элементов твердотельной электроники	Экспериментальное исследование параметров и характеристик элементов твердотельной электроники	Знание физических принципов работы основных элементов твердотельной электроники Умение использовать методику экспериментального исследования параметров и характеристик полупроводниковых приборов Опыт по экспериментальному исследованию параметров и характеристик полупроводниковых приборов
--	---	---

2.МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы (является элективной).

Входные требования к дисциплине -компетенции, формируемые в дисциплинах математика, физика, электротехника. Для успешного усвоения дисциплины наиболее важными являются следующие разделы этих дисциплин: решение систем уравнений (математика), вольтамперные характеристики компонентов схем (физика, электротехника), экспериментальное исследование электрических схем (электротехника).

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
3	5	4	144	16	16	16	60	Экз(36)

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы		
1. Электронно-дырочный переход и диоды на его основе	4	6	4	12	Опрос
					Контрольная работа 1
					Выполнение и защита лабораторной работы
2. Биполярные транзисторы	4	4	4	12	Опрос
					Выполнение и защита лабораторной работы
					Тест (рубежный контроль)
3. МДП-структуры	2	2	4	12	Опрос
					Выполнение и защита лабораторной работы
4. МДП-транзисторы	4	4	4	16	Опрос
					Контрольная работа 2
					Выполнение и защита лабораторной работы
					Контроль выполнения практического задания.
5. Приборы с зарядовой связью	2			8	Опрос

4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Полупроводниковые диоды. Вольт - амперная характеристика (ВАХ) идеализированного р-п перехода. Распределение токов в переходе. Коэффициент инжекции.
	2	2	ВАХ реального полупроводникового диода. Токи генерации-рекомбинации в переходе. Влияние толщины и сопротивления базы. Влияние высокого уровня инжекции. Переход p+-п. Омический

			контакт. Пробой перехода. Стабилитроны. Механизмы инерционности диода. Диффузионная и барьерная емкости диода. Сравнение с диодами Шоттки.
2	3	2	Структура и принцип действия биполярного транзистора. Схемы включения и режимы работы. Дрейфовые и диффузионные транзисторы. Распределение носителей заряда в различных режимах работы. Распределение токов в транзисторе. Эффект Эрли.
	4	2	Модель Эберса-Молла. Статические ВАХ транзистора при включении с общей базой. Основные параметры транзистора. Статические ВАХ при включении с ОЭ. Частотные свойства транзистора при включении с ОБ и ОЭ. Моделирование биполярных транзисторов. Эквивалентные схемы транзистора для постоянной составляющей и для малого переменного сигнала, низкой и высокой частоты.
3	5	2	Структура металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структура). Эффект поля в структуре МДП. Поверхностный потенциал. Эффективный поверхностный заряд в диэлектрике. Обогащение, обеднение, инверсия. Вольтфарадные характеристики идеальной и реальной МДП-структуры. Напряжение плоских зон. Пороговое напряжение.
4	6	2	Полевые транзисторы. Классификация. МДП-транзисторы. Устройство и принцип действия. Качественный анализ выходной и передаточной ВАХ. Статические ВАХ МДП-транзистора с длинным каналом.
	7	2	Пороговое напряжение и влияние потенциала подложки. Основные параметры. Короткоканальные эффекты. Предельная частота. Управление пороговым напряжением. КМОП-транзисторы.
5	8	2	Приборы с зарядовой связью. Структура и принцип действия ПЗС. Разновидности. Параметры и применение. Принцип действия и характеристики. Способы управления.

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1	2	Расчет параметров р-п переходов с различными примесными профилями (ступенчатый, линейный, диффузионный).
	2	2	Неравновесное состояние р-п перехода. Граничные условия. ВАХ идеализированного диода. Расчет тепловых токов. Барьерная емкость.
	3	2	ВАХ реального диода. Влияние токов рекомбинации-генерации. Высокий уровень инжекции. Пробой р-п перехода.

2	4	2	Биполярный транзистор. Режимы работы. Распределение токов. Модель Эберса-Молла. Статические характеристики идеализированного транзистора.
	5	2	Особенности ВАХ реального транзистора. Сопротивления базы и тела коллектора. Эффект Эрли и его следствия. Параметры эквивалентной схемы.
3	6	2	Эффект поля. Вольтфарадные характеристики идеальной МДП-структуры.
4	7	2	Идеализированная модель МДП-транзистора. Пороговое напряжение, способы его регулировки. Влияние потенциала подложки.
	8	2	Подпороговый ток. Эффекты короткого канала. ВАХ реального МДП-транзистора. Контрольная работа.

4.3.Лабораторные работы

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Наименование работы
1	2	4	Лабораторная работа № 1. Изучение вольт-амперных характеристик полупроводниковых диодов.
2	3	4	Лабораторная работа № 7. Исследование статических характеристик биполярных транзисторов
3	1	4	Лабораторная работа № 4. Изучение электрофизических параметров диодов Шоттки
4	4	4	Лабораторная работа № 8. Исследование статических характеристик МДП-транзисторов

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	6	Освоение теоретического материала. Подготовка к опросам.
	3	Подготовка к лабораторной работе.
	3	Подготовка к контрольной работе № 1
2	6	Освоение теоретического материала. Подготовка к опросам.
	3	Подготовка к лабораторной работе.

	3	Подготовка к рубежному тестированию.
3	8	Освоение теоретического материала. Подготовка к опросам.
	4	Подготовка к лабораторной работе.
4	4	Освоение теоретического материала. Подготовка к опросам.
	4	Подготовка к лабораторной работе
	8	Подготовка к контрольной работе № 2.
5	8	Освоение теоретического материала. Подготовка к опросам. Подготовка к выполнению практического задания

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрены

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>):

✓ Методические указания для самостоятельной работы студентов(ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)

Модуль 1 «Электронно-дырочный переход и диоды на его основе»

✓ Материалы для подготовки к лабораторной работе, к контрольной работе №1, контрольные вопросы к лекциям, лабораторной работе, примеры решения задач.

Модуль 2 «Биполярные транзисторы»

✓ Материалы для подготовки к лабораторной работе, к рубежному контролю, контрольные вопросы к лекциям, лабораторным работам, примеры решения задач.

Модуль 3 «МДП-структуры»

✓ Материалы для подготовки к лабораторной работе, контрольные вопросы к лекциям, лабораторным работам, примеры решения задач.

Модуль 4 «МДП-транзисторы»

✓ Материалы для подготовки к лабораторной работе, к контрольной работе №2, контрольные вопросы к лекциям, лабораторным работам, примеры решения задач.

Модуль 5 «Приборы с зарядовой связью»

✓ Контрольные вопросы к лекциям

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : Учеб. пособие / В.И. Старосельский; Национальный исследовательский университет "МИЭТ"; [Под ред. Ю.А. Парменова]. - М. :Юрайт, 2019. - 463 с.

Дополнительная литература

1. Титова И.Н. Физика полупроводниковых приборов: теория и практика: Учеб. пособие / И.Н. Титова; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М. : МИЭТ, 2011. - 172 с.
2. Твердотельная электроника: Лабораторный практикум. Ч. 1: Универсальный лабораторный стенд. Диоды / Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ"; Под ред. Ю.А. Парменова, И.Н. Титовой. - М. : МИЭТ, 2014. - 108 с.
3. Твердотельная электроника: Лабораторный практикум. Ч. 2: Диоды Шоттки. Транзисторы / Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ"; Под ред. Ю.А. Парменова, И.Н. Титовой. - М. : МИЭТ, 2014. - 96 с.
4. Парменов Ю.А. Физика полупроводников : Учеб. пособие / Ю.А. Парменов; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - 2-е изд., доп. и испр. - М. : МИЭТ, 2017. - 136 с.
5. Зи С. Физика полупроводниковых приборов [Текст] = Physics of semiconductor devices / S.M. Sze - Second edition - Bell laboratories, incorporated murray Hill, New Jersey: В 2-х кн.: Пер. сангл. Кн. 2 / С. Зи. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Мир, 1984. - 456 с.
6. Нанотехнологии в электронике. [Вып. 2] / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : Техносфера, 2013. - 688 с.

Периодические издания

1. RUSSIAN MICROELECTRONICS. - : Springer, [2000] - . - URL: <http://link.springer.com/journal/11180> (дата обращения: 30.09.2019). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
2. Известия вузов. Электроника : Научно-технический журнал / М-во образования и науки РФ; МИЭТ; Гл. ред. Ю.А. Чаплыгин. - М. : МИЭТ, 1996 - .
3. IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES. - USA : IEEE, [б.г.]. - URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=16> (дата обращения: 30.09.2019). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. eLIBRARY.RU : Научная электронная библиотека : сайт. - Москва, 2000 - . - URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 30.09.2019). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей
2. SCOPUS : Библиографическая и реферативная база данных научной периодики : сайт. - URL: www.scopus.com/ (дата обращения: 30.09.2019). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Дисциплина реализуется путем проведения групповых практических занятий, потоковых лекционных занятий, лабораторных работ в аудиториях вуза и/или дистанционно по расписанию, внеаудиторной самостоятельной работы.

В ходе реализации обучения используется **смешанное обучение**, основанное на интеграции технологий традиционного и электронного обучения, замещении части традиционных учебных форм занятий формами и видами взаимодействия в электронной образовательной среде.

Обучение может реализовываться в полном объеме с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС.

Применяется расширенная виртуальная **модель обучения**, которая предполагает обязательное присутствие студентов на очных или дистанционных учебных занятиях с последующим самостоятельным выполнением индивидуального задания. Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: диалог в видеоконференции в Zoom, раздел ОРИОКС «Домашние задания», электронная почта телефон.

В процессе обучения при проведении занятий и для самостоятельной работы используются **внутренние электронные ресурсы** в формах корпоративной информационно-технологической платформы ОРИОКС (<http://orioks.miet.ru>): текстовых материалов лекций, внутренних онлайн-курсов, тестирования.

При проведении занятий и для самостоятельной работы используются **внешние электронные ресурсы** в формах внешнего онлайн-курса МФТИ [Физика твердого тела, внешний онлайн-курс](https://lectoriy.mipt.ru/course/Physics-Solidstate-13L) (<https://lectoriy.mipt.ru/course/Physics-Solidstate-13L>, Дата публикации: 26.03.2020 18:51 , дата изменения: 13.09.2020 08:54). Внешний онлайн-курс МФТИ может **частично** заместить ряд лекций дисциплины.

Они могут также использоваться для углубленного изучения дисциплины и при подготовке к промежуточной аттестации.

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы*	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Учебная аудитория	Мультимедийное оборудование	Операционная система Windows, Microsoft Office
Учебная лаборатория физики полупроводниковых приборов Ауд. 4235	Генератор сигналов произвольной формы типа Tektronix AWG5012, модульный генератор импульсов Tektronix DTG 5274, мультиметр типа Agilent 34411A, осциллограф смешанного сигнала типа Tektronix MSO4104, прецизионный мультиметр типа Agilent 3458 A, универсальный генератор стандартных сигналов типа TEKTRONIX AFG3252, цифровой запоминающий осциллограф типа Tektronix DPO4104, вольтметр универсальный В7-21А, источник питания типа Agilent E3648А, мультиметр Agilent 34411А, осциллограф C1-93, осциллограф смешанного сигнала типа Tektronix MSO44101, универсальный генератор стандартных сигналов типа TEKTRONIX AFG3252, характериограф ТР-4805/3	Не требуется
Помещение для самостоятельной работы	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в ОРИОКС	ОС: Windows. Microsoft Office, браузер

10. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по компетенции/подкомпетенции **ПК-1.ТЭ** Способен строить простейшие физические и математические модели полупроводниковых приборов, используемых в электронике и нанoeлектронике

ФОС по компетенции/подкомпетенции **ПК-2.ТЭ** Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик элементов твердотельной электроники

Фонды оценочных средств представлены отдельными документами и размещены в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

11.1. Особенности организации процесса обучения

Студенты, изучающие дисциплину, обязаны освоить материал модулей (освоение материала подтверждается выполнением всех заданий практических и лабораторных занятий, сдачей теста рубежного контроля по дисциплине), принять активное участие при проведении устного опроса на семинарах, обсуждении на лекциях и лабораторных работах.

Лекции проводятся в мультимедийной аудитории в виде презентаций. Преподаватель выдает студентам конспекты лекций в формате ppt в электронном виде, а на каждой лекции студент должен вести личный конспект лекции в виде заметок к ним.

Очевидно, что максимальная эффективность от работы на лекциях достигается при предварительной подготовке к ней – студент должен ознакомиться с предстоящей темой лекции и основными ее тезисами, найденных в рекомендуемой основной литературе, подготовить вопросы к лектору по заинтересовавшим его вопросам.

Практические занятия (семинары) проводятся под руководством преподавателя. Важной формой обучения, а также этапом подготовки к практическим занятиям является самопроверка знаний. В ходе самопроверки студент должен ответить на вопросы, рекомендованные для подготовки к практическому занятию, а также составить план-конспект развернутых ответов. Это поможет глубже усвоить пройденный материал и прочно закрепить его в памяти. Вопросы, указанные в плане практического занятия, являются наиболее существенными. Если при самопроверке окажется, что ответы на некоторые вопросы неясны, то надо вновь обратиться к первоисточникам, учебному пособию и восполнить пробел.

Одной из форм обучения, подготовки к практическому занятию является консультация у преподавателя. Обращаться к помощи преподавателя следует в любом случае, когда студенту не ясно изложение какого-либо вопроса в учебной литературе или он не может найти необходимую литературу.

11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система (НБС). Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре (в сумме до 43 баллов), активность в семестре (в сумме до 7 баллов) и сдача экзамена (до 50 баллов). По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий доступен в ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>

Мониторинг успеваемости студентов проводится в течение семестра трижды: по итогам 1-8 учебных недель, 9 – 12 учебных недель, 13 – 18 учебных недель.

Разработчик:

Доцент, к.ф.-м.н.

/Е.А. Фетисов/

Рабочая программа дисциплины «Твердотельная электроника» по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника», направленности (профилю) «Автоматизация проектирования изделий нанoeлектроники» разработана на кафедре ИЭМС и утверждена на заседании кафедры 26.11 2020 года, протокол № 5

Заведующий кафедрой ИЭМС  /Ю.А. Чаплыгин/

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой ПКИМС

Заведующий кафедрой ПКИМС  /С.В. Гаврилов /

Рабочая программа согласована с центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК  /И.М. Никулина/

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки  /Т.П. Филиппова/