

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Микроэлектроника и твердотельная электроника

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ФИЗИКА МДП-СТРУКТУР

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.01.11
Трудоемкость в зачетных единицах:	7 семестр - 5;
Часов (всего) по учебному плану:	180 часов
Лекции	7 семестр - 32 часа;
Практические занятия	7 семестр - 48 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	7 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	7 семестр - 97,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Контрольная работа Расчетно-графическая работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	7 семестр - 0,5 часа;

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Зезин Д.А.
	Идентификатор	Re7522a00-ZezinDA-ba8dbd73

(подпись)

Д.А. Зезин

(расшифровка
подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

(должность, ученая степень, ученое
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Баринов А.Д.
	Идентификатор	Ra98e1318-BarinovAD-f138ec4f

(подпись)

А.Д. Баринов

(расшифровка подписи)

Заведующий
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мирошникова И.Н.
	Идентификатор	Rd1db27a5-MiroshnikovaIN-70caf8c

(подпись)

И.Н.

Мирошникова

(расшифровка подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Углублённое изучение физических основ и принципов работы полевых полупроводниковых приборов и компонентов интегральных схем, основных параметров и характеристик, области применения

Задачи дисциплины

- развитие способности учитывать физические основы работы полевых полупроводниковых приборов и интегральных схем, применяемых в приборах и устройствах электроники и нанoeлектроники;
- освоение способности строить простейшие физические и математические модели полевых полупроводниковых приборов и интегральных схем, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования;;
- развитие способности аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик полупроводниковых приборов и интегральных схем;;
- развитие готовности анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчётов.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен участвовать в проектировании полупроводниковых приборов	ИД-1 _{ПК-1} Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов	знать: - методы оптимизации параметров полупроводниковых полевых транзисторов; - основные физические процессы, определяющие параметры и математические модели полевых транзисторов. уметь: - оценивать параметры моделей полупроводниковых приборов; - создавать модели полевых полупроводниковых приборов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Микрoeлектроника и твердотельная электроника (далее – ОПОП), направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Основные понятия.	12	7	4	-	4	-	-	-	-	-	4	-	<u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> [1] с. 45-132 <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], с. 45-132	
1.1	Основные понятия.	12		4	-	4	-	-	-	-	-	4	-		
2	Простейшие полевые приборы	12		4	-	4	-	-	-	-	-	4	-		<u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> [1] с. 254-300 <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], с. 254-300 [4], с. 25–36
2.1	Простейшие полевые приборы	12		4	-	4	-	-	-	-	-	4	-		
3	Модели полевых ИС	50		10	-	16	-	-	-	-	-	-	24		-
3.1	Модели полевых ИС	50	10	-	16	-	-	-	-	-	-	24	-		
4	ИС на основе полевых транзисторов	50	10	-	16	-	-	-	-	-	-	24	-	<u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> [1], с. 133-190, 410-428 <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], с. 133-190, 410-428	
4.1	ИС на основе полевых транзисторов	50	10	-	16	-	-	-	-	-	-	24	-		
5	Транзисторы на основе широкозонных полупроводников и гетеропереходов. Особенности функционально	20	4	-	8	-	-	-	-	-	-	8	-	<u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> [3], с. 223–233 <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], с. 223–233	

	ориентированных ИС												
5.1	Транзисторы на основе широкозонных полупроводников и гетеропереходов. Особенности функционально ориентированных ИС	20	4	-	8	-	-	-	-	-	8	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	180.0	32	-	48	-	2	-	-	0.5	64	33.5	
	Итого за семестр	180.0	32	-	48		2		-	0.5		97.5	

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Основные понятия.

1.1. Основные понятия.

Суть полупроводниковой электроники – управление сопротивлением слоёв полупроводниковых структур. Два способа управления – токовый и полевой и типы приборов, реализующие эти два способа. Характерные длины и времена в физике полупроводников и полупроводниковых приборов. Понятие о квазинейтральности. Условие возникновения рп-перехода и его свойства (потенциальный барьер, электрическое поле рп-перехода, ёмкость рп-перехода, ВАХ рп-перехода). Генерация и рекомбинация в области пространственного заряда рп-перехода. Зонная диаграмма контакта металл-полупроводник. Выпрямительные свойства контакта металл-полупроводник. Силы изображения и эффект Шоттки. Статическая ВАХ диода Шоттки. Омические контакты. Структура омических контактов и их особенности..

2. Простейшие полевые приборы

2.1. Простейшие полевые приборы

Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом (JFET). СИТ - транзисторы. Полевые транзисторы с управляющим барьером Шоттки (MESFET). Полевые транзисторы с управляющей МОП структурой (MOSFET). Биполярные транзисторы, управляемые с помощью МОП структур (IGBT). Тепловые свойства полупроводниковых приборов. Понятие об области безопасной работы полупроводниковых приборов..

3. Модели полевых ИС

3.1. Модели полевых ИС

Элементы ИС, структурные и топологические варианты реализации элементов. Физические процессы в транзисторных структурах. Электрические модели биполярного транзистора. Физические процессы, конструкции и модели. Паразитные явления в пассивных элементах ИС. Модели элементов и представления о методах идентификации параметров..

4. ИС на основе полевых транзисторов

4.1. ИС на основе полевых транзисторов

ИС на основе полевых транзисторов с управляющим р-п переходом. Модель полевого транзистора с произвольным профилем легирования канала. Элементы ИС с МОП - структурой. Полевые транзисторы для МОП ИС. Модель МДП транзистора. Подпороговые характеристики МДП транзисторов. Эффекты сильного поля в канале МДП транзисторов. Короткоканальные эффекты в МДП транзисторах. Подпороговые токи, эффект модуляции барьера истока стоковым напряжением, изменение порогового напряжения. Умножение носителей и зарядка окисла в МДП транзисторах. Инжекционный пробой. Эффект «защёлки» (тиристорный эффект) в КМОП ИС, методы его подавления. Масштабная миниатюризация в МДП ИС и её пределы. Эффекты горячих носителей в короткоканальных МДП приборах и методы подавления этих эффектов..

5. Транзисторы на основе широкозонных полупроводников и гетеропереходов. Особенности функционально ориентированных ИС

5.1. Транзисторы на основе широкозонных полупроводников и гетеропереходов.
Особенности функционально ориентированных ИС

Биполярные интегральные схемы на основе гетеропереходов. Особенности ИС на основе GaAs. Барьер Шоттки. Инжекция неосновных носителей. Полевые транзисторы с гетеропереходами. Основные типы конструкций. Нелинейные резисторы в ИС на основе GaAs. Особенности полевых транзисторов на основе широкозонных полупроводников (GaAs, SiC, AlGaN) по сравнению с транзисторами на основе кремния (Si). Модель двух областей, модель с полностью насыщенной скоростью. Полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов Приборы с зарядовой связью, физические основы работы. Основные характеристики, верхняя и нижняя рабочие частоты, эффективность переноса. Физика элементов статической памяти на основе структур металл-диэлектрик-(диэлектрик)-полупроводник. Элементы памяти с лавинной инжекцией заряда. Элементы памяти с двухслойным диэлектриком. Проблемы элементной базы аналоговых ИС, интегральных схем ЦАП-АЦП. Методы экспериментального исследования элементов ИС на стадии разработки и производства. Принципы и приёмы разработки тестовых структур элементов, узлов и микросистем. Представления об автоматизированных системах экспериментальных исследований элементов тестовых структур..

3.3. Темы практических занятий

1. 1. Качественное описание работы МДП-транзистора.;
2. 2. Интегральные схемы на основе полевых транзисторов.;
3. 3. Модели полевых элементов и представления о методах идентификации параметров.;
4. 4. Диффузионно-дрейфовое приближение, пределы применимости.;
5. 5. Кинетическое уравнение Больцмана, основные приближения и допущения в моделях элементов ИС.;
6. 6. Фундаментальные уравнения физических процессов в объёме полупроводниковой структуры.;
7. 7. МДП-транзисторы; расчёт выходных ВАХ.;
8. 8. Контакты металл-полупроводник.;
9. 9. Тиристоры.;
10. 10. Частотные свойства транзистора.;
11. 11. Полевые транзисторы с гетеропереходами.;
12. 12. Полевые транзисторы с управляющим рп-переходом (JFET).;
13. 13. Приборы с зарядовой связью. Элементы статической памяти на основе структур металл-диэлектрик1- диэлектрик2-полупроводник..

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)					Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	
Знать:							
основные физические процессы, определяющие параметры и математические модели полевых транзисторов	ИД-1ПК-1		+				Контрольная работа/КМ-2
методы оптимизации параметров полупроводниковых полевых транзисторов	ИД-1ПК-1	+					Контрольная работа/КМ-1
Уметь:							
создавать модели полевых полупроводниковых приборов	ИД-1ПК-1				+	+	Расчетно-графическая работа/КМ-4
оценивать параметры моделей полупроводниковых приборов	ИД-1ПК-1			+			Контрольная работа/КМ-3

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

7 семестр

Форма реализации: Выполнение задания

1. КМ-2 (Контрольная работа)

Форма реализации: Защита задания

1. КМ-4 (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. КМ-1 (Контрольная работа)
2. КМ-3 (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №7)

Оценка выставляется по результатам экзамена с учётом системы БАРС.

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Старосельский, В. И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : учебное пособие для вузов по направлению 210100 "Электроника и микроэлектроника" / В. И. Старосельский . – М. : Юрайт, 2014 . – 463 с. – (Основы наук) . - ISBN 978-5-9916-0808-4 .;
2. Твердотельная электроника : учебное пособие для вузов по направлению "Электроника и микроэлектроника" / Э. Н. Воронков, [и др.] . – М. : АКАДЕМИЯ, 2009 . – 320 с. – (Высшее профессиональное образование) . - ISBN 978-5-7695-4618-1 .;
3. Шалимова, К. В. Физика полупроводников : учебник / К. В. Шалимова . – 4-е изд., стер . – М. : Лань-Пресс, 2010 . – 400 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература) . - ISBN 978-5-8114-0922-8 .;
4. Шалимова К. В.- "Физика полупроводников", (4-е изд., стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2021 - (384 с.)
<https://e.lanbook.com/book/167840>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. SmathStudio;
2. Libre Office;
3. ОС Linux;
4. GNU Octave.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	К-102а, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
	К-105/1, Компьютерный класс	стол, стол для оргтехники, стол компьютерный, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	К-105/1, Компьютерный класс	стол, стол для оргтехники, стол компьютерный, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	К-102а, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-302, Читальный зал отдела обслуживания учебной литературой	стул, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
Помещения для консультирования	К-109/2, Кабинет сотрудников каф. "ЭиН"	стол, стул, шкаф для документов, шкаф для хранения инвентаря, стол письменный, дипломные и курсовые работы студентов
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	К-115, Склад каф. "ЭиН"	стеллаж, инвентарь учебный

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Физика МДП-структур

(название дисциплины)

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 КМ-1 (Контрольная работа)
 КМ-2 КМ-2 (Контрольная работа)
 КМ-3 КМ-3 (Контрольная работа)
 КМ-4 КМ-4 (Расчетно-графическая работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Основные понятия.					
1.1	Основные понятия.		+			
2	Простейшие полевые приборы					
2.1	Простейшие полевые приборы			+		
3	Модели полевых ИС					
3.1	Модели полевых ИС				+	
4	ИС на основе полевых транзисторов					
4.1	ИС на основе полевых транзисторов					+
5	Транзисторы на основе широкозонных полупроводников и гетеропереходов. Особенности функционально ориентированных ИС					
5.1	Транзисторы на основе широкозонных полупроводников и гетеропереходов. Особенности функционально ориентированных ИС					+
Вес КМ, %:			10	20	20	50