

**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**

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

**Москва 2021**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	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)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	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)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	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 <sub>ПК-1</sub> 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 Микроелектроника 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	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> [1] с. 45-132 <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], с. 45-132	
1.1	Основные понятия.	12		4	-	4	-	-	-	-	-	4	-		
2	Простейшие полевые приборы	12		4	-	4	-	-	-	-	-	4	-		<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> [1] с. 254-300 <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [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	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> [1], с. 133-190, 410-428 <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [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	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> [3], с. 223–233 <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [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	
<b>Знать:</b>							
основные физические процессы, определяющие параметры и математические модели полевых транзисторов	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>		+				Контрольная работа/КМ-2
методы оптимизации параметров полупроводниковых полевых транзисторов	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>	+					Контрольная работа/КМ-1
<b>Уметь:</b>							
создавать модели полевых полупроводниковых приборов	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>				+	+	Расчетно-графическая работа/КМ-4
оценивать параметры моделей полупроводниковых приборов	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>			+			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](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
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