

**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**  
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ**

<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.01.15</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>8 семестр - 5;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>180 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>8 семестр - 70 часов;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>8 семестр - 109,7 часов;</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>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>8 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2023**

## 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:** состоит в углублённом изучении физических основ и разновидностей полупроводниковых приборов и компонентов интегральных схем, их принципа действия, основных параметров и характеристик, области применения

### Задачи дисциплины

- развитие способности учитывать физические основы работы полупроводниковых приборов и интегральных схем, применяемых в приборах и устройствах электроники и нанoeлектроники, современные тенденции развития электроники;
- освоение способности строить простейшие физические и математические модели 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.  уметь: - оптимизировать конструкцию полевых транзисторов для достижения требуемых параметров.
ПК-2 Способен участвовать в проектировании интегральных схем	ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Использует средства автоматизации схемотехнического проектирования	знать: - методы оптимизации параметров полупроводниковых интегральных схем.  уметь: - экстрагировать параметры моделей из эксперимента.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Микроэлектроника 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	Фундаментальные уравнения физических процессов в объёме полупроводниковой структуры	35.7	8	-	-	14	-	-	-	-	-	21.7	-	<p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> [1], с. 133-190, 410-428</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], с. 133-190, 410-428</p>		
1.1	Фундаментальные уравнения физических процессов в объёме полупроводниковой структуры	35.7		-	-	14	-	-	-	-	-	-	21.7		-	
2	Модели полевых элементов ИС	36		-	-	16	-	-	-	-	-	-	20		-	<p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> [1], с. 301-367 [2], с. 2-26</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], с. 301-367 [2], с. 2-26 [4], с. 2-26</p>
2.1	Модели полевых элементов ИС	36		-	-	16	-	-	-	-	-	-	20		-	
3	Модели короткоканальных полевых ИС	36		-	-	16	-	-	-	-	-	-	20		-	<p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> [1], с. 301-367</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], с. 191-249 [3], с. 25-36, 223-233</p>
3.1	Модели короткоканальных полевых ИС	36		-	-	16	-	-	-	-	-	-	20		-	
4	Транзисторы на основе широкозонных полупроводников и гетеропереходов. Особенности	36		-	-	12	-	-	-	-	-	-	24		-	<p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> [1], с. 191-249 [3], с. 25-36, 223-233</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], с. 301-367</p>

	функционально ориентированных ИС												
4.1	Транзисторы на основе широкозонных полупроводников и гетеропереходов. Особенности функционально ориентированных ИС	36	-	-	12	-	-	-	-	-	24	-	
5	Перспективные транзисторы	36	-	-	12	-	-	-	-	-	24	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> [3], с. 25–36, 223–233 <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], с. 25–36, 223–233
5.1	Перспективные транзисторы	36	-	-	12	-	-	-	-	-	24	-	
	Зачет с оценкой	0.3	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>180.0</b>	-	-	<b>70</b>	-	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>109.7</b>	-	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>180.0</b>	-	-	<b>70</b>	-	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>109.7</b>	-	

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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. Фундаментальные уравнения физических процессов в объёме полупроводниковой структуры

1.1. Фундаментальные уравнения физических процессов в объёме полупроводниковой структуры

Классификация интегральных схем по элементной базе, полупроводниковому материалу, технологии и схемо-топологическим решениям. Основные базовые элементы и компоненты полупроводниковых интегральных схем. Общие положения математической формулировки задач моделирования физических процессов в элементах интегральных схем. Фундаментальные уравнения физических процессов в объёме полупроводниковой структуры. Кинетическое уравнение Больцмана, основные приближения и допущения в моделях элементов ИС. Представление о физико-топологическом и схмотехническом уровнях моделирования ИС..

### 2. Модели полевых элементов ИС

2.1. Модели полевых элементов ИС

ИС на основе полевых транзисторов с управляющим р-n 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..

### 3. Модели короткоканальных полевых ИС

3.1. Модели короткоканальных полевых ИС

МОС-структура с протяженными областями. Короткоканальные полевые транзисторы для МОП ИС. Подпороговые характеристики короткоканальных 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. Баллистический режим..

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

4.1. 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)..

### 5. Перспективные транзисторы

5.1. Перспективные транзисторы

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. Методы экспериментального исследования элементов ИС на стадии разработки и производства.;
2. Основные базовые элементы и компоненты полупроводниковых интегральных схем.;
3. Модель полевого транзистора с произвольным профилем легирования канала.;
4. Инжекционная пробой. Эффект «защёлки» (тиристорный эффект) в КМОП ИС, методы его подавления.;
5. Классификация интегральных схем по элементной базе, полупроводниковому материалу, технологии и схемо-топологическим решениям.;
6. Подпороговые характеристики МДП транзисторов.;
7. Общие положения математической формулировки задач моделирования физических процессов в элементах интегральных схем.;
8. Фундаментальные уравнения физических процессов в объёме полупроводниковой структуры.;
9. Кинетическое уравнение Больцмана, основные приближения и допущения в моделях элементов ИС.;
10. Представление о физико-топологическом и схемотехническом уровнях моделирования ИС.;
11. Особенности полевых транзисторов на основе широкозонных полупроводников (GaAs, SiC, AlGaN) по сравнению с транзисторами на основе кремния (Si).;
12. ИС на основе полевых транзисторов с управляющим р-п переходом. .;
13. Эффекты горячих носителей в короткоканальных МДП приборах и методы подавления этих эффектов.;
14. Баллистический режим. Биполярные интегральные схемы на основе гетеропереходов.;
15. Умножение носителей и зарядка окисла в МДП транзисторах.;
16. МОС-структура с протяженными областями.;
17. Короткоканальные полевые транзисторы для МОП ИС.;
18. Подпороговые характеристики короткоканальных МДП транзисторов.;
19. Короткоканальные эффекты в МДП транзисторах.;
20. Подпороговые токи, эффект модуляции барьера истока стоковым напряжением, изменение порогового напряжения.;
21. Элементы ИС с МОП - структурой. Полевые транзисторы для МОП ИС. Модель МДП транзистора.;
22. Принципы и приёмы разработки тестовых структур элементов, узлов и микросистем. Представления об автоматизированных системах экспериментальных исследований элементов тестовых структур.;
23. Проблемы элементной базы аналоговых ИС, интегральных схем ЦАП-АЦП..

### **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>							
методы оптимизации параметров полупроводниковых полевых транзисторов	ИД-1ПК-1	+					Контрольная работа/Опрос № 1
методы оптимизации параметров полупроводниковых интегральных схем	ИД-1ПК-2		+				Контрольная работа/Опрос № 2
<b>Уметь:</b>							
оптимизировать конструкцию полевых транзисторов для достижения требуемых параметров	ИД-1ПК-1			+			Контрольная работа/Опрос № 3
экстрагировать параметры моделей из эксперимента	ИД-1ПК-2				+	+	Контрольная работа/Опрос № 4

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

##### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**8 семестр**

Форма реализации: Защита задания

1. Опрос № 4 (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Опрос № 1 (Контрольная работа)
2. Опрос № 2 (Контрольная работа)
3. Опрос № 3 (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

##### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Зачет с оценкой (Семестр №8)*

Оценка выставляется по результатам текущего контроля в соответствии с БАРС

В диплом выставляется оценка за 8 семестр.

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

#### **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. 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 .;
2. 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 .;
3. 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 .;
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. Office / Российский пакет офисных программ;
2. ОС Linux.

##### **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. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>

#### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	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-105/1, Компьютерный класс	стол, стол для оргтехники, стол компьютерный, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный, кондиционер
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

### Проектирование элементов интегральных схем

(название дисциплины)

#### 8 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

КМ-1 Опрос № 1 (Контрольная работа)

КМ-2 Опрос № 2 (Контрольная работа)

КМ-3 Опрос № 3 (Контрольная работа)

КМ-4 Опрос № 4 (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	2	8	12	16
1	Фундаментальные уравнения физических процессов в объёме полупроводниковой структуры					
1.1	Фундаментальные уравнения физических процессов в объёме полупроводниковой структуры		+			
2	Модели полевых элементов ИС					
2.1	Модели полевых элементов ИС			+		
3	Модели короткоканальных полевых ИС					
3.1	Модели короткоканальных полевых ИС				+	
4	Транзисторы на основе широкозонных полупроводников и гетеропереходов. Особенности функционально ориентированных ИС					
4.1	Транзисторы на основе широкозонных полупроводников и гетеропереходов. Особенности функционально ориентированных ИС					+
5	Перспективные транзисторы					
5.1	Перспективные транзисторы					+
Вес КМ, %:			10	20	20	50