

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

---

Направление подготовки/специальность: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Твердотельная микро- и нанoeлектроника

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ**


<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.Ч.09.02.02
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	3 семестр - 5;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	180 часов
<b>Лекции</b>	3 семестр - 16 часов;
<b>Практические занятия</b>	3 семестр - 32 часа;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	3 семестр - 2 часа;
<b>Самостоятельная работа</b>	3 семестр - 129,5 часа;
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b> Контрольная работа Расчетно-графическая работа	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	3 семестр - 0,5 часа;

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	<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)

**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:** Изучение методов моделирования характеристик современных полупроводников и приборов на их основе.

### Задачи дисциплины

- Освоение информации о физических основах транспорта носителей заряда в полупроводниках;
- Развитие способности аргументированно выбирать информацию о методах исследования свойств носителей заряда в полупроводниках.

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 и / или интегральных схем	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов в соответствующих областях электроники	знать: - физико-математические модели силовых приборов; - принцип работы силовых полупроводниковых приборов; - методы определения параметров, характеризующих физику работы силовых приборов.  уметь: - ставить задачу в соответствии со схемой исследования характеристик силовых полупроводниковых приборов; - моделировать работу силовых полупроводниковых приборов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Твердотельная микро- и наноэлектроника (далее – ОПОП), направления подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать физику полупроводников
- знать физику полупроводниковых приборов

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	Введение	6	3	2	-	-	-	-	-	-	-	4	-	<p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение лекционного материала</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Изучение литературы: [1] §2.1, §2.2 [2] с. 9-11, 17-20</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], с. 5-9</p>
1.1	Введение в дисциплину. Основные задачи полупроводниковой электроники	6		2	-	-	-	-	-	-	-	4	-	
2	Характеристики силовых полупроводниковых приборов	12		2	-	4	-	-	-	-	-	6	-	
2.1	Общая схема исследования характеристик силовых полупроводниковых приборов	12		2	-	4	-	-	-	-	-	6	-	
3	Мощные полупроводниковые приборы	28		4	-	8	-	-	-	-	-	16	-	
3.1	Физические эффекты, существенно влияющие на работу полупроводниковых приборов	28		4	-	8	-	-	-	-	-	16	-	
4	Силовые диоды и тиристоры	76		6	-	16	-	-	-	-	-	54	-	

4.1	Типы современных силовых диодов и их основные характеристики.	20	2	-	4	-	-	-	-	-	14	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение лекционного материала <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Изучение литературы [1] §6.6 [2] с. 301-307
4.2	Тиристоры	28	2	-	6	-	-	-	-	-	20	-	
4.3	Силовые полупроводниковые приборы с полевым управлением	28	2	-	6	-	-	-	-	-	20	-	
5	Силовые приборы на основе новых материалов	22	2	-	4	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Изучение литературы [3] целиком <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> <b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> Проведение расчета характеристик прибора
5.1	Силовые приборы на основе новых материалов	22	2	-	4	-	-	-	-	-	16	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>180.0</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>96</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>180.0</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>32</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>129.5</b>			

**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. Введение

1.1. Введение в дисциплину. Основные задачи полупроводниковой электроники  
Основные типы силовых приборов и их применение.

### 2. Характеристики силовых полупроводниковых приборов

2.1. Общая схема исследования характеристик силовых полупроводниковых приборов  
Фундаментальная система уравнений полупроводникового прибора. Уравнение непрерывности носителей заряда при высоком и низком уровнях инжекции в слоях структуры. Основные приближения, используемые при решении уравнения непрерывности (дрейфовое с нарушением нейтральности, дрейфовое без нарушения нейтральности, диффузионное). Понятие о квазинейтральности. Граничное условие Флетчера. Зависимость коэффициента инжекции асимметричного p+n перехода от плотности прямого тока..

### 3. Мощные полупроводниковые приборы

3.1. Физические эффекты, существенно влияющие на работу полупроводниковых приборов

Электронно-дырочное рассеяние, Оже рекомбинация, эффекты сильного легирования. Вывод уравнений переноса носителей заряда с учетом электронно-дырочного рассеяния и эффектов сильного легирования. Методы определения параметров, характеризующих электронно-дырочное рассеяние, сужение ширины запрещенной зоны, Оже рекомбинацию. Количественные оценки, подтверждающие необходимость учета рассматриваемых эффектов в силовых полупроводниковых приборах..

### 4. Силовые диоды и тиристоры

4.1. Типы современных силовых диодов и их основные характеристики.

Стационарная ВАХ силового диода в области больших плотностей тока. Лавинный пробой силового кремниевого диода. Фаска и методы ее расчета. Охранные кольца. Тепловой пробой силового диода. Понятие о тепловом сопротивлении диодной структуры (контактное тепловое сопротивление, собственное тепловое сопротивление). Ударный ток силового диода. Методы определения ударного тока..

4.2. Тиристоры

Принцип действия тиристора. Понятие критического заряда включения тиристора. Статические характеристики в выключенном и включенном состояниях. Шунтировка катодного эмиттерного перехода. Зависимость критического заряда включения от шунтировки эмиттерного перехода. Методы включения тиристора (управление по аноду, управление по управляющему электроду, реверсивный метод включения, метод  $dU/dt$ ). Эффект  $dI/dt$ . Полевой и диффузионный механизмы распространения включенного состояния. Разветвленный управляющий электрод тиристора. Типы современных силовых тиристоров и их основные характеристики. Структура мощного n<sup>+</sup>-p-n<sup>+</sup> транзистора. Ключевой режим работы мощного транзистора. Характеристики мощного транзистора в состоянии насыщения. Особенности процесса выключения мощного биполярного транзистора..

4.3. Силовые полупроводниковые приборы с полевым управлением

Типы силовых приборов с полевым управлением (IGBT, SIT, SITh, MCT). Основные характеристики приборов типа IGBT и SITh. Сравнение параметров этих приборов с параметрами обычных силовых приборов..

### 5. Силовые приборы на основе новых материалов

#### 5.1. Силовые приборы на основе новых материалов

Фундаментальные физические явления, ограничивающие совершенствование характеристик силовых приборов на основе кремния. Использование широкозонных материалов для развития силовой полупроводниковой электроники. Основные электрофизические параметры GaAs GaN и SiC. Преимущества силовых приборов на основе широкозонных материалов по сравнению с кремниевыми приборами..

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Физические эффекты, существенно влияющие на работу полупроводниковых приборов;
2. Силовые приборы на основе новых материалов;
3. Силовые полупроводниковые приборы с полевым управлением;
4. Тиристоры;
5. Типы современных силовых диодов и их основные характеристики;
6. Общая схема исследования характеристик силовых полупроводниковых приборов.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

#### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Консультации по разделу
2. Консультации по разделу
3. Консультации по разделу
4. Консультации по разделу, консультации по РГР
5. Консультации проводятся по разделу "Силовые приборы на основе новых материалов"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Силовые приборы на основе новых материалов"

#### Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на пояснение типовых ошибок в контрольных мероприятиях
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Силовые приборы на основе новых материалов"

### **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 определения параметров, характеризующих физику работы силовых приборов	ИД-1ПК-1	+	+				Контрольная работа/Контрольная работа № 1
принцип работы силовых полупроводниковых приборов	ИД-1ПК-1				+	+	Контрольная работа/Контрольная работа № 4
физико-математические модели силовых приборов	ИД-1ПК-1			+			Контрольная работа/Контрольная работа № 2
<b>Уметь:</b>							
моделировать работу силовых полупроводниковых приборов	ИД-1ПК-1				+		Контрольная работа/Контрольная работа № 3
ставить задачу в соответствии со схемой исследования характеристик силовых полупроводниковых приборов	ИД-1ПК-1				+		Расчетно-графическая работа/Расчетно-графическая работа



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

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

**3 семестр**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Контрольная работа № 1 (Контрольная работа)
2. Контрольная работа № 2 (Контрольная работа)
3. Контрольная работа № 3 (Контрольная работа)
4. Контрольная работа № 4 (Контрольная работа)

Форма реализации: Выполнение задания

1. Расчетно-графическая работа (Расчетно-графическая работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

Экзамен (Семестр №3)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе (БАРС) для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

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

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

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

1. Воронков, Э. Н. Твердотельная электроника. Практикум : учебное пособие для вузов по направлению "Электроника и микроэлектроника" / Э. Н. Воронков . – М. : АКАДЕМИЯ, 2010 . – 128 с. – (Высшее профессиональное образование) . - ISBN 978-5-7695-4218-3 .;
2. Пасынков, В. В. Полупроводниковые приборы : учебное пособие для вузов по направлению "Электроника и микроэлектроника" / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин . – 9-е изд., стер . – СПб. : Лань-Пресс, 2009 . – 480 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература) . - ISBN 978-5-8114-0368-4 .;
3. Пасынков В. В., Чиркин Л. К.- "Полупроводниковые приборы", (9-е изд.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2009 - (480 с.)  
[https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=300](https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=300).

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Python;
4. SmathStudio.

### **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
	отсутствует	

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Моделирование полупроводниковых приборов

(название дисциплины)

#### 3 семестр

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

- КМ-1 Контрольная работа № 1 (Контрольная работа)
- КМ-2 Контрольная работа № 2 (Контрольная работа)
- КМ-3 Контрольная работа № 3 (Контрольная работа)
- КМ-4 Контрольная работа № 4 (Контрольная работа)
- КМ-5 Расчетно-графическая работа (Расчетно-графическая работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	8	10	12	14
1	Введение						
1.1	Введение в дисциплину. Основные задачи полупроводниковой электроники		+				
2	Характеристики силовых полупроводниковых приборов						
2.1	Общая схема исследования характеристик силовых полупроводниковых приборов		+				
3	Мощные полупроводниковые приборы						
3.1	Физические эффекты, существенно влияющие на работу полупроводниковых приборов			+			
4	Силовые диоды и тиристоры						
4.1	Типы современных силовых диодов и их основные характеристики.					+	
4.2	Тиристоры				+	+	
4.3	Силовые полупроводниковые приборы с полевым управлением					+	+
5	Силовые приборы на основе новых материалов						
5.1	Силовые приборы на основе новых материалов					+	
Вес КМ, %:			15	15	15	15	40