

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 03.10.2023 10:10:23

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Силовые полупроводниковые приборы

Закреплена за подразделением

Кафедра ППЭ и ФПП

Направление подготовки

11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Квалификация

Магистр

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

4 ЗЕТ

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 2

аудиторные занятия

51

самостоятельная работа

57

часов на контроль

36

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр ( <b>&lt;Курс&gt;.&lt;Семестр на курсе&gt;</b> )	<b>2 (1.2)</b>		Итого	
Неделя	18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Практические	34	34	34	34
Итого ауд.	51	51	51	51
Контактная работа	51	51	51	51
Сам. работа	57	57	57	57
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

*ктн, доцент, Коновалов Михаил Павлович*

Рабочая программа

**Силовые полупроводниковые приборы**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 05.03.2020 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.04.04 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ, 11.04.04-МЭН-23-2.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.04.04 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра ППЭ и ФПП**

Протокол от 21.06.2022 г., №11

Руководитель подразделения Диденко Сергей Иванович

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Сформировать общепрофессиональные знания в области силовых полупроводниковых приборов
-----	---

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.03
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники	
2.1.2	История и методология науки и техники в области электроники	
2.1.3	Методы характеристики полупроводниковых материалов и структур	
2.1.4	Перспективные технологии и материалы для поиска новых физических эффектов	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Оборудование для производства наногетероструктурных солнечных элементов	
2.2.2	Основы надежности элементной базы электроники в условиях ионизирующего излучения космического пространства	
2.2.3	Перспективная фотовольтаика	
2.2.4	Проектирование и технология электронной компонентной базы	
2.2.5	Радиационно-технологические процессы в электронике	
2.2.6	Физика СВЧ полупроводниковых приборов	
2.2.7	Электронные и оптические свойства широкозонных соединений A2B6	
2.2.8	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.9	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	

**3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**

<b>ПК-1: Способность разрабатывать технологические процессы и внедрение их в производство</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-1-31 Основные технологические процессы при производстве силовых полупроводниковых приборов	
<b>ПК-4: Способность анализировать и выбирать перспективные материалы, технологические процессы и оборудование производства изделий микроэлектроники</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-4-31 Базовые и перспективные материалы для создания силовых полупроводниковых приборов и их свойства	
ПК-4-32 Мировой опыт развития технологических процессов изготовления силовых полупроводниковых приборов	
<b>ОПК-1: Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора, применять в профессиональной деятельности глубокие знания фундаментальных наук, знания в междисциплинарных областях</b>	
<b>Знать:</b>	
ОПК-1-31 Физические принципы работы основных силовых полупроводниковых приборов	
<b>Уметь:</b>	
ОПК-1-У1 Применять методы расчета параметров и характеристик силовых полупроводниковых приборов	
<b>Владеть:</b>	
ОПК-1-В1 Навыками расчета характеристик силовых полупроводниковых приборов	

**4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ**

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	<b>Раздел 1. Силовая электроника</b>							
1.1	Классификация силовых полупроводниковых приборов /Лек/	2	1	ОПК-1-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	нет		

1.2	Проработка лекционного материала. Самостоятельное изучение литературы /Ср/	2	2	ОПК-1-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	нет		
	<b>Раздел 2. Силовые тиристоры</b>							
2.1	Тиристоры (принцип действия, ВАХ, основные электрические параметры, потери мощности в тиристоре, классификация тиристоров) /Лек/	2	3	ПК-1-31 ОПК-1-31 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	нет		
2.2	Расчет силового тиристора /Пр/	2	8	ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3	нет		
2.3	Проработка лекционного материала. Самостоятельное изучение литературы /Ср/	2	15	ПК-1-31 ОПК-1-31 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	нет		
	<b>Раздел 3. Силовые транзисторы</b>							
3.1	Биполярные транзисторы (физика работы, структура, вольт-амперные характеристики, переходные процессы, области безопасной работы (ОБР)) /Лек/	2	4	ПК-1-31 ОПК-1-31 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	нет		
3.2	Полевые транзисторы (принцип работы, основные характеристики, структуры, влияние температуры на характеристики, параллельное включение) /Лек/	2	4	ПК-1-31 ОПК-1-31 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	нет		
3.3	Биполярные транзисторы с изолированным затвором (физика работы, основные характеристики, базовые структуры, перспективы развития) /Лек/	2	2	ПК-1-31 ОПК-1-31 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	нет		
3.4	Расчет характеристик силового биполярного транзистора /Пр/	2	8	ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3	нет		
3.5	Расчет характеристик силового полевого транзистора /Пр/	2	8	ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л3.1 Э1 Э2 Э3	нет		
3.6	Проработка лекционного материала /Ср/	2	30	ПК-1-31 ОПК-1-31 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	нет		
	<b>Раздел 4. Силовые диоды</b>							
4.1	Принцип действия диода. Основные электрические характеристики силовых диодов. Потери мощности в диоде. Конструкция корпусов. Охлаждающие устройства. Классификация силовых диодов. /Лек/	2	3	ПК-1-31 ОПК-1-31 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	нет		
4.2	Расчет характеристик силового диода /Пр/	2	10	ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3	нет		

4.3	Проработка лекционного материала. Самостоятельное изучение литературы /Ср/	2	10	ПК-1-31 ОПК-1-31 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	нет		
-----	---	---	----	----------------------------------	------------------------------	-----	--	--

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Контрольная работа № 1	ОПК-1-У1;ОПК-1-В1	<p>Примерный вариант</p> <p>Силовой кремниевый диод изготовлен на основе p+n перехода площадью 45 мм<sup>2</sup>. Напряжение пробоя диода - 600 В, толщина дрейфового слоя - 45 мкм. Рассчитать уровень легирования дрейфового слоя и падение напряжения на диоде при прохождении прямого тока 10 А.</p> <p>Рассчитать величину электрического поля, при котором происходит пробой кремниевого p+n диода. База диода изготовлена на основе кремния марки КЭФ10.</p> <p>Силовой кремниевый диод изготовлен на основе p+n перехода. Удельные сопротивления p- и n-областей равны 1 и 15 Ом*см соответственно. Барьерная емкость диода при обратном напряжении 10 В равна 230 пФ. Определить площадь p-n перехода.</p>
КМ2	Контрольная работа № 2	ОПК-1-У1;ОПК-1-В1	<p>Примерный вариант</p> <p>Кремниевый n-p-n транзистор имеет следующие параметры. Время жизни электронов в базе - 1,0 мкс, ток коллектора – 10 А, коэффициент усиления <math>h_{21E} = 25</math>, коэффициент эффективности эмиттера равен 0,972. Рассчитать ток базы, дырочную составляющую тока эмиттера, толщину квазинейтральной базы. Рассчитать время задержки на перезарядку барьерной емкости эмиттера силового Si n-p-n биполярного транзистора. Концентрация примеси в эмиттере – <math>5E+17</math> см<sup>-3</sup>, в базе – <math>1E+16</math> см<sup>-3</sup>. Ток коллектора равен 7 А, коэффициент передачи по току в схеме с общим эмиттером равен 25, прямое напряжение на эмиттере – 0,30 В. Площадь эмиттера – <math>1E-5</math> см<sup>2</sup>. Рассчитать барьерную емкость пассивного коллектора в кремниевом n-p-n биполярном транзисторе при приложении к коллекторному переходу внешнего обратного напряжения – 6 В. Напряжение пробоя перехода коллектор-база составляет 700 В. Удельное сопротивление базовой области транзистора – 1 Ом*см. Площадь коллектора – <math>1E-3</math> см<sup>2</sup>, площадь эмиттера</p>

КМЗ	Экзамен	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;ПК-1-31;ПК-4-31;ПК-4-32	<p>Силовая электроника. Классификация силовых полупроводниковых приборов.</p> <p>Принцип действия силового диода. Особенности силовых диодов.</p> <p>Основные электрические характеристики силовых диодов.</p> <p>Потери мощности в диоде. Статические и коммутационные потери.</p> <p>Конструкция корпусов силовых диодов.</p> <p>Охлаждающие устройства.</p> <p>Классификация силовых диодов.</p> <p>Применение силовых диодов и рекомендации по их выбору.</p> <p>Силовые биполярные транзисторы. Основные параметры.</p> <p>Структура силового биполярного транзистора. Особенности силовых БТ.</p> <p>Физика работы силового биполярного транзистора.</p> <p>Вольт-амперные характеристики силовых биполярных транзисторов.</p> <p>Переходные процессы в силовом биполярном транзисторе.</p> <p>Основные структуры МОП ПТ.</p> <p>Физические принципы работы МОП ПТ.</p> <p>Основные параметры МОП ПТ.</p> <p>Вольт-амперные характеристики МОП ПТ.</p> <p>Динамические характеристики МОП ПТ.</p> <p>Влияние температуры на характеристики МОП ПТ.</p> <p>Принцип действия силового тиристора.</p> <p>Вольт-амперная характеристика тиристора.</p> <p>Основные электрические характеристики силовых тиристоров.</p> <p>Цепь управления тиристором.</p> <p>Процессы коммутации тиристора.</p> <p>Рассеяние мощности в тиристоре (потери мощности).</p> <p>Классификация тиристоров.</p> <p>Конструкции корпусов силовых тиристоров.</p> <p>МОП БТ. Общие сведения. Сравнение с МОП ПТ.</p> <p>Структуры МОП БТ.</p> <p>Вольт-амперные характеристики МОП БТ.</p> <p>Физика работы МОП БТ.</p> <p>Динамические характеристики МОП БТ.</p> <p>Состояние, тенденции и перспективы развития МОП БТ для устройств силовой электроники.</p>
-----	---------	--	--

**5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)**

Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	Контрольная работа № 1	ОПК-1-У1;ОПК-1-В1	<p>Примерный вариант</p> <p>Силовой кремниевый диод изготовлен на основе р+n перехода площадью 45 мм<sup>2</sup>. Напряжение пробоя диода - 600 В, толщина дрейфового слоя - 45 мкм. Рассчитать уровень легирования дрейфового слоя и падение напряжения на диоде при прохождении прямого тока 10 А.</p> <p>Рассчитать величину электрического поля, при котором происходит пробой кремниевого р+n диода. База диода изготовлена на основе кремния марки КЭФ10.</p> <p>Силовой кремниевый диод изготовлен на основе р+n перехода. Удельные сопротивления р- и n-областей равны 1 и 15 Ом*см соответственно. Барьерная емкость диода при обратном напряжении 10 В равна 230 пФ. Определить площадь р-n перехода.</p>

P2	Контрольная работа № 2	ОПК-1-У1;ОПК-1-В1	<p>Примерный вариант</p> <p>Кремниевый n-p-n транзистор имеет следующие параметры. Время жизни электронов в базе - 1,0 мкс, ток коллектора – 10 А, коэффициент усиления <math>h_{21E} = 25</math>, коэффициент эффективности эмиттера равен 0,972. Рассчитать ток базы, дырочную составляющую тока эмиттера, толщину квазинейтральной базы. Рассчитать время задержки на перезарядку барьерной емкости эмиттера силового Si n-p-n биполярного транзистора. Концентрация примеси в эмиттере – <math>5E+17</math> см<sup>-3</sup>, в базе – <math>1E+16</math> см<sup>-3</sup>. Ток коллектора равен 7 А, коэффициент передачи по току в схеме с общим эмиттером равен 25, прямое напряжение на эмиттере – 0,30 В. Площадь эмиттера – <math>1E-5</math> см<sup>2</sup>. Рассчитать барьерную емкость пассивного коллектора в кремниевом n-p-n биполярном транзисторе при приложении к коллекторному переходу внешнего обратного напряжения – 6 В. Напряжение пробоя перехода коллектор-база составляет 700 В. Удельное сопротивление базовой области транзистора – 1 Ом*см. Площадь коллектора – <math>1E-3</math> см<sup>2</sup>, площадь эмиттера</p>
----	------------------------	-------------------	---

### 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Экзамен по дисциплине проходит в устной форме в виде ответа студентом на вопросы из билета и дополнительные вопросы, задаваемые преподавателем.

Экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов и одной задачи. Экзаменационные билеты хранятся на кафедре.

### 5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

По дисциплине предполагается следующая шкала оценок:

а) «отлично» – студент показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу;

б) «хорошо» – студент показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал;

в) «удовлетворительно» – студент показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике;

г) «неудовлетворительно» – студент допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

#### 6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Забродин Ю. С.	Промышленная электроника: учебник для студ. энергетических и электромех. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1982
Л1.2	Зи С. М., Трутко А. Ф.	Физика полупроводниковых приборов: пер. с англ.	Библиотека МИСиС	М.: Энергия, 1973

#### 6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Белоус А. И., Ефименко С. А., Турцевич А. С.	Полупроводниковая силовая электроника	Электронная библиотека	Москва: Техносфера, 2013

#### 6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Кольцов Г. И., Горюнов Н. Н., Ладыгин Е. А.	Физика полупроводниковых приборов и элементов интегральных схем: учеб. пособие по практ. занятиям для студ. спец. 0629, 0604, 0643	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1986

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
ЛЗ.2	Кольцов Г. И., Диденко С. И., Орлова М. Н.	Физика полупроводниковых приборов. Расчет параметров биполярных приборов: сб. задач	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2012

### 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Электронная библиотека МИСиС	<a href="http://elibrary.misis.ru">http://elibrary.misis.ru</a>
Э2	ЭБС "Лань"	<a href="https://e.lanbook.com">https://e.lanbook.com</a>
Э3	Курс "Силовые полупроводниковые приборы" на платформе LMS Canvas	<a href="https://lms.misis.ru">https://lms.misis.ru</a>

### 6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	LMS Canvas
П.2	Python
П.3	MATLAB
П.4	MATCAD

### 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

И.1	eLIBRARY.RU: <a href="http://elibrary.ru/">http://elibrary.ru/</a>
И.2	Электронная библиотека МИСиС <a href="http://elibrary.misis.ru">http://elibrary.misis.ru</a>
И.3	Единое окно доступа к образовательным ресурсам <a href="http://window.edu.ru">window.edu.ru</a>
И.4	ЭБС "Лань" <a href="https://e.lanbook.com">https://e.lanbook.com</a>
И.5	Курс "Силовые полупроводниковые приборы" на платформе LMS Canvas
И.6	<a href="https://lms.misis.ru">https://lms.misis.ru</a>

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Читальный зал электронных ресурсов		комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.
К-509	Лаборатория	измеритель параметров пп Л2-31; анализатор импульсов АИ-1024-95; измеритель мощности МЗ-22А; измеритель RCL Е7-21; автоматизированный лабораторный стенд МЭ - ВФ; междисциплинарная лабораторная платформа с комплектом ПО NI ELVIS II+ (4 шт.); платы для изучения аналоговых элементов информационно-измерительной техники (5шт.); плата "Аналоговая электроника"; плата "Силовая электроника"(2 шт.); ноутбуки с ПО для проведения лабораторных работ 4 шт.; ПК; пакет лицензионных программ MS Office, комплект учебной мебели
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Дисциплина «Силовые полупроводниковые приборы» требует значительного объема самостоятельной работы студента. Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку и контролируются посредством текущей аттестации. При этом организуются групповые и индивидуальные консультации. Качественное освоение дисциплины возможно только при систематической самостоятельной работе, что поддерживается системой текущей и рубежной аттестации.

Подготовка к лабораторным занятиям предусматривает проработку теоретического материала по теме предстоящей



лабораторной работы, блок-схемы измерительной установки, программы исследования и методических указаний по выполнению лабораторной работы. Результатом подготовки к лабораторной работе является домашняя заготовка отчета.