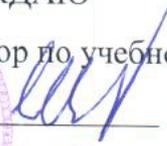


Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Беспалов Владимир Александрович  
Должность: Ректор МИЭТ  
Дата подписания: 01.09.2023 15:02:20  
Уникальный программный ключ:  
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f756d76e6f8bea882b8d602

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет  
«Московский институт электронной техники»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
  
И.Г. Игнатова  
«14» декабря 2020 г.  


## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Моделирование элементов твердотельной электроники»

Направление подготовки - 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»  
Направленность (профиль) – «Интегральная электроника и наноэлектроника»

## 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

**Компетенция ПК-1. Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования**

**Подкомпетенция ПК-1.МЭТТЭ** Способен строить простейшие физические и математические модели полупроводниковых приборов

**сформулирована на основе профессионального стандарта 40.040 "Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков"**

**Обобщенная трудовая функция А «Разработка электрических схем и характеристика стандартных ячеек библиотеки»**

**Трудовая функция А/01.6:** Разработка электрических схем стандартных ячеек библиотеки

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения компетенций/подкомпетенций
ПК-1.МЭТТЭ Способен строить простейшие физические и математические модели полупроводниковых приборов	Математическое моделирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования	<b>Знает:</b> основные уравнения и модели подвижности, собственной концентрации и рекомбинации, используемые в приборном моделировании <b>Умеет:</b> строить зависимости основных моделей приборного моделирования от температуры и концентрации примеси <b>Опыт деятельности:</b> рассчитывает основные характеристики полупроводниковых приборов средствами приборного моделирования

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений, Блока ФТД «Факультативы» образовательной программы.

Входные требования к дисциплине – компетенции, формируемы в дисциплинах физические основы электроники, твердотельная электроника.

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
3	6	3	108	16	32	-	60	3а

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия		
1 Расчет параметров однородно легированного полупроводника	4	-	8	15	Выполнение и защита лабораторных работ
2 Расчет параметров р-п-переходов	6	-	8	15	Выполнение и защита лабораторных работ
3 Расчет параметров МОПТ	4	-	8	15	Выполнение и защита лабораторных работ
4 Расчет параметров биполярных транзисторов	2	-	8	15	Выполнение и защита лабораторной работы. Контроль выполнения практического задания

#### 4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Особенности приборного моделирования электрических характеристик однородно- легированного полупроводника в равновесном состоянии
	2	2	Особенности приборного моделирования характеристик полупроводника в неравновесном состоянии
2	3	2	Особенности приборного моделирования характеристик р-п-перехода в равновесном и обратном включении
	4	2	Особенности приборного моделирования р-п-перехода при прямом и обратном включениях
	5	2	Особенности приборного моделирования р-п-перехода в прямом включении
3	6	2	Особенности приборного моделирования МОП-структуры
	7	2	Особенности приборного моделирования характеристик МОП-транзистора
4	8	2	Особенности приборного моделирования характеристик биполярного транзистора

#### 4.2. Практические занятия

Не предусмотрены.

#### 4.3. Лабораторные работы

№ модуля дисциплины	лабораторной	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	4	Исследование электрических характеристик однородно- легированного полупроводника в равновесном состоянии
	2	4	Исследование электрических характеристик полупроводника в неравновесном состоянии
2	3	4	Исследование характеристик р-п-перехода в равновесном и обратном включении
	4	4	Расчет распределения концентраций неосновных носителей в р-п-переходе при прямом и обратном включениях
	5	4	Исследование характеристик р-п-перехода в прямом включении
3	6	4	Исследование характеристик МОП-структуры
	7	4	Исследование характеристик МОП-транзистора
4	8	4	Исследование характеристик биполярного транзистора. Выполнение практического задания

#### 4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	15	Освоение теоретического материала. Подготовка к лабораторной работе.
2	15	Освоение теоретического материала. Подготовка к лабораторной работе.
3	15	Освоение теоретического материала. Подготовка к лабораторной работе.
4	15	Освоение теоретического материала. Подготовка к лабораторной работе. Подготовка к выполнению комплексного задания

#### 4.5. Примерная тематика курсовых проектов

Не предусмотрены.

### 5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>):

Методические указания студентам по изучению дисциплины «Моделирование элементов твердотельной электроники».

#### **Модуль 1 «Расчет параметров однородно легированного полупроводника»**

- ✓ Задания к лабораторным занятиям (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)
- ✓ Материалы для подготовки к контрольному мероприятию

#### **Модуль 2 «Расчет параметров р-п-переходов»**

- ✓ Задания к лабораторным занятиям (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)
- ✓ Материалы для подготовки к контрольному мероприятию

#### **Модуль 3 «Расчет параметров МОПТ»**

- ✓ Задания к лабораторным занятиям (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)
- ✓ Материалы для подготовки к контрольному мероприятию

#### **Модуль 3 «Расчет параметров биполярных транзисторов»**

- ✓ Задания к лабораторным занятиям (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)
- ✓ Материалы для подготовки к контрольному мероприятию

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Литература

1. Лабораторный практикум по курсу "Моделирование в среде TCAD". Ч. 2 : Приборно-технологическое моделирование элементов интегральных схем / Е.А. Артамонова, А.Г. Балашов, А.С. Ключников [и др.]; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ"; Под ред. Т.Ю. Крупкиной. - М. : МИЭТ, 2012. - 140 с.
2. Лабораторный практикум по курсу "Моделирование в среде TCAD". Ч. 1 : Введение в приборно-технологическое моделирование / Е.А. Артамонова, А.Г. Балашов, А.С. Ключников [и др.]; М-во образования и науки РФ, Федеральное агентство по образованию, МГИЭТ(ТУ); Под ред. Т.Ю. Крупкиной. - М. : МИЭТ, 2009. - 172 с.
3. Красюков А. Ю. Учебно-методическое пособие для самостоятельной работы студентов по дисциплине "Элементы твердотельной наноэлектроники" / А. Ю. Красюков, И. Н. Титова; Министерство образования и науки РФ, Московский государственный институт электронной техники (ТУ). - Москва : МИЭТ, 2011. - 124 с.
4. Методические указания по выполнению курсового проекта по курсу "Маршруты БИС" / А.Г. Балашов, А.В. Козлов, А.Ю. Красюков, С.А. Поломошнов; М-во образования и науки РФ, МГИЭТ(ТУ); Под ред. Т.Ю. Крупкиной. - М. : МИЭТ, 2010. - 48 с.
5. Королев М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем : Учеб. пособие: В 2-х ч. Ч. 1 : Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / М.А. Королев, Т.Ю. Крупкина, М.А. Ревелева; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : Бинوم. Лаборатория знаний, 2007. - 397 с. - ISBN 978-5-94774-337-1
6. Королев М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем : Учеб. пособие: В 2-х ч. Ч. 2 : Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования / М.А. Королев, [и др.]; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : Бинوم. Лаборатория знаний, 2009. - 422 с. - ISBN 978-5-94774-583-2

### Периодические издания

1. RUSSIAN MICROELECTRONICS. - : Springer, [2000] - . - URL: <http://link.springer.com/journal/11180> (дата обращения: 30.09.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
2. Известия вузов. Электроника : Научно-технический журнал / М-во образования и науки РФ; МИЭТ; Гл. ред. Ю.А. Чаплыгин. - М. : МИЭТ, 1996 - .
3. IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES. - USA : IEEE, [б.г.]. - URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=16> (дата обращения: 30.09.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. eLIBRARY.RU : Научная электронная библиотека : сайт. - Москва, 2000 - . - URL:

<https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 30.09.2020). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей

2. SCOPUS : Библиографическая и реферативная база данных научной периодики : сайт. –URL: [www.scopus.com/](http://www.scopus.com/) (дата обращения: 30.09.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе реализации обучения используются смешанное обучение, сочетающее традиционные формы аудиторных занятий и взаимодействие в электронной образовательной среде.

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС (<http://orioks.miet.ru>).

Применяются следующие дистанционные образовательные технологии: онлайн лекции, онлайн консультации, использование внешних электронных ресурсов. Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: разделс ОРИОКС «Новости», «Домашние задания», электронная почта.

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Помещение для самостоятельной работы	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional Plus или Open Office, браузер (Firefox, Google Chrome); Acrobat reader DC
Учебная аудитория	Мультимедийное оборудование	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional Plus
Компьютерный класс	Компьютеры, сервер, сетевой принтер.	Операционные системы ОС LINUX, Open Office; программное обеспечение TCAD Synopsys

## 10. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по компетенции/подкомпетенции ПК-1.МЭТТЭ Способен строить простейшие физические и математические модели полупроводниковых приборов.

Фонд оценочных средств представлен отдельным документом и размещен в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

## 11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

### 11.1. Особенности организации процесса обучения

На лекциях дается теоретический материал об основных моделях, используемых в программах приборного моделирования, для расчета параметров полупроводниковых приборов.

На лабораторных работах с помощью программы приборного моделирования рассчитываются характеристики основных полупроводниковых приборов. Выполнение и защита лабораторных работ проводятся в индивидуальном порядке. Вариант задания уточняется преподавателем. На защиту необходимо предоставить отчет с результатами выполнения работы, оформленный в соответствии с требованиями к отчету.

Во время самостоятельной работы студенты готовятся к выполнению и защите лабораторных работ. Учебно-методические материалы по дисциплине размещены в корпоративной информационно-технологической платформе ОРИОКС.

Консультации студентов проводятся в очной и онлайн формах в часы консультаций.

### 11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется балльная накопительная система.

Баллами оцениваются: выполнение и защита лабораторных работ (до 80 баллов) и выполнение и защита комплексного задания (до 20 баллов).

По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий приведен в ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/> ).

**Разработчик:**

Доцент, к.т.н. \_\_\_\_\_  / А.Ю. Красюков /

Рабочая программа дисциплины «Моделирование элементов твердотельной электроники» по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и микроэлектроника» по направленности (профилю) «Интегральная электроника и микроэлектроника» разработана на кафедре ИЭМС и утверждена на заседании кафедры 26.11 2020 года, протокол № 5

Заведующий кафедрой  / Ю.А. Чаплыгин /

### ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК  / И.М. Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки  / Т.П. Филиппова /