

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)

«УТВЕРЖДАЮ»
Председатель Ученого совета
факультета радиотехники и электроники
проф. Небольсин В.А. _____
(подпись)
_____ 2016 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

**Математическое моделирование технологических процессов
и интегральных схем**

(наименование дисциплины по учебному плану ООП)

для направления подготовки: **11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**
(код, наименование)

Профиль подготовки: **Микроэлектроника и твердотельная электроника**
(название профиля, магистерской программы, специализации по УП)

Форма обучения **очная**

Срок обучения **нормативный**

Кафедра **полупроводниковой электроники и нанoeлектроники**
(наименование кафедры-разработчика УМКД)

УМКД разработал: **Арсентьев А.В., к.т.н.**
(Ф.И.О., ученая степень авторов разработки)

Рассмотрено и одобрено на заседании методической комиссии **ФРТЭ**

Протокол № _____ от «_____» _____ 2016 г.

Председатель методической комиссии _____
(Ф.И.О.)

Воронеж 2016 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)

«УТВЕРЖДАЮ»
Председатель Ученого совета
факультета радиотехники и электроники
проф. Небольсин В.А. _____
(подпись)
_____ 2016 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Математическое моделирование технологических процессов и интегральных схем

(наименование дисциплины по учебному плану ООП)

для направления подготовки: **11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**
(код, наименование)

Профиль подготовки: Микроэлектроника и твердотельная электроника
(название профиля, магистерской программы, специализации по УП)

Часов по УП: 180 Часов по РПД: 180;

Часов по УП (без учета часов на экзамены): 144; Часов по РПД: 144;

Часов на самостоятельную работу по УП: 24 (17%);

Часов на самостоятельную работу по РПД: 24 (17%)

Общая трудоемкость в ЗЕТ: 5;

Виды контроля в семестрах (на курсах): Экзамены - 8; Зачеты - 0; Зачеты (с оценкой) – 0;
Курсовые проекты - 0; Курсовые работы - 0.

Форма обучения: очная;

Срок обучения: нормативный.

Распределение часов дисциплины по семестрам

Вид занятий	№ семестров, число учебных недель в семестрах																	
	1 / 18		2 / 18		3 / 18		4 / 18		5 / 18		6 / 18		7 / 18		8 / 12		Итого	
	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД
Лекции															48	48	48	48
Лабораторные															72	72	72	72
Практические															-	-	-	-
Ауд. занятия															120	120	120	120
Сам. работа															24	24	24	24
Итого															144	144	144	144

Сведения о ФГОС, в соответствии с которым разработана рабочая программа дисциплины (модуля) – 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника». Утвержден приказом Министерства образования Российской Федерации от 12 марта 2015 г. № 218.

Программу составил: к.т.н., Арсентьев А.В.
(подпись, ученая степень, ФИО)

Рецензент(ы): Коваленко П.Ю., к.т.н., зам. гл. инженера АО «ВЗПП-С»

Рабочая программа дисциплины составлена на основании учебного плана подготовки бакалавров по направлению 11.03.04 “Электроника и нанoeлектроника”, профиль “Микроэлектроника и твердотельная электроника”.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры полупроводниковой электроники и нанoeлектроники

протокол № ____ от _____ 2016 г.

Зав. кафедрой ППЭНЭ _____ С.И. Рембеза

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1	Цели и задачи дисциплины: овладеть современными знаниями в области построения и использования математических моделей (ММ) технологических процессов создания полупроводниковых приборов и интегральных микросхем (ИМС), ММ полупроводниковых приборов и элементов ИМС, используемых для изучения физических процессов в полупроводниковых структурах, расчета их основных характеристик и параметров, ММ полупроводниковых приборов и элементов ИМС для схемотехнических расчетов и анализа электронных схем в дискретном и интегральном исполнении.
1.2	Для достижения цели ставятся задачи:
1.2.1	изучение приближенно-аналитических методов математического моделирования;
1.2.2	изучение уравнений математической физики в частных производных;
1.2.3	изучение численных методов математического моделирования;
1.2.4	описание и математическое моделирование в объектно-ориентированных языках программирования и математических пакетах.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО

Цикл (раздел) ООП: Б1		код дисциплины в УП: Б1.В.ОД.7
2.1 Требования к предварительной подготовке обучающегося		
Для успешного освоения дисциплины студент должен иметь базовую подготовку по дисциплинам		
Б1.Б.15	Физика конденсированного состояния	
Б1.Б.19	Основы технологии электронной компонентной базы	
Б1.В.ОД.6	Методы математической физики	
Б1.В.ОД.20	Технология СБИС	
Б1.В.ДВ.4.1	Физика полупроводников	
2.2 Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее		
Дисциплина завершает курс бакалавриата.		

КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

ОПК-2	способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат
ОПК-7	способностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности
ПКВ-1	способностью владеть современными методами расчета и проектирования микроэлектронных приборов и устройств твердотельной электроники, способностью к восприятию, разработке и критической оценке новых способов их проектирования
ПКВ-4	способностью разрабатывать модели исследуемых процессов, материалов, элементов, приборов, устройств твердотельной электроники и микроэлектронной техники

3. В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ОБУЧАЮЩИЙСЯ ДОЛЖЕН

3.1	Знать:
3.1.1	о месте и роли математических моделей технологических процессов, полупроводниковых приборов и ИМС в области разработки и производства современных изделий электронной техники (ОПК-2);
3.1.2	об основных тенденциях в области создания новых ММ для приборов и элементов ИМС малых размеров (ОПК-7, ПКВ-1);
3.1.3	о границах применения моделей (ОПК-7);
3.1.4	о проблемах создания ММ, позволяющих осуществлять высокоэффективное автоматизированное проектирование и производство полупроводниковых приборов и ИМС (ПКВ-4)
3.2	Уметь:
3.2.1	использовать основные математические модели технологических процессов создания полупроводниковых структур, интегральных микросхем и дискретных полупроводниковых приборов (ПКВ-1);
3.2.2	использовать основные ММ, необходимые для анализа физических процессов в полупроводниках, позволяющие осуществлять физико-технологическое моделирование полупроводниковых приборов и элементов ИМС (ПКВ-1);
3.2.3	использовать основные ММ для схмотехнического анализа электронных схем на основе полупроводниковых приборов и ИМС (ПКВ-1);
3.2.4.	использовать пакеты прикладных программ моделирования технологических процессов и полупроводниковых приборов (ПКВ-4)
3.3	Владеть:
3.3.1	навыками создания ММ для конкретных технологических процессов, полупроводниковых приборов и ИМС (ПКВ-4);
3.3.2	навыками проведения исследования ММ с помощью средств вычислительной техники (ПКВ-1)

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ П./п	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Вид учебной нагрузки и их трудоемкость в часах				
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные. работы	СРС	Всего часов
1	Понятие о математическом моделировании, моделях процессов и приборов.	8	1	4	-	-	4	8
2	Численные методы моделирования.	8	2-3	8	-	16	16	44
3	Моделирование отдельных технологических операций.	8	4-7	16	-	20	30	70
4	Математическое моделирование полупроводниковых приборов.	8	8-12	20	-	36	38	98
Итого				48	-	72	24	144

4.1 ЛЕКЦИИ

Неделя семестра	Тема и содержание лекции	Объем часов	В том числе, в интерактивной форме (ИФ)
8 семестр		48	
1. Понятие о математическом моделировании, моделях процессов и приборов.		4	
1	Роль математического моделирования технологических процессов и полупроводниковых приборов в микроэлектронике. Иерархические уровни моделирования. Экономичность и универсальность моделей. Их классификация, история развития.	2	
1	Понятие о моделях отдельных процессов и приборов. Обзор пакетов прикладных программ моделирования технологических процессов и полупроводниковых приборов.	2	
2. Численные методы моделирования.		8	
2	Классификация уравнений и граничных условий для моделирования полупроводниковых приборов и технологических процессов. Классификация и сравнительная характеристика численных методов, используемых для построения моделей.	2	
2	Метод конечных разностей. Основные понятия метода. Построение сетки. Построение разностных операторов разложением в ряд Тейлора. Трехточечный шаблон, пятиточечный шаблон, трехточечный шаблон с переменным шагом.	2	
3	Построение разностных операторов методом полиномов. Трехточечный шаблон, пятиточечный шаблон, трехточечный шаблон с переменным шагом. Решение дифференциального уравнения численным методом. Пример. Построение системы линейных алгебраических уравнений. Трехдиагональная матрица.	2	
3	Решение системы линейных алгебраических уравнений методом прогонки. Прямая прогонка, обратная прогонка. Пример. Реализация алгоритма на языке программирования C++.	2	
3. Моделирование отдельных технологических операций.		16	
4	Математическое описание диффузии примесей. Диффузия легирующих примесей. Общие уравнения. Модель диффузии Ферми. Модель сегрегации примесей. Модель диффузии связанных пар примесей-дефект.	2	
4	Численные методы расчетов диффузионных моделей. Явный метод Эйлера, анализ устойчивости. Неявный метод Эйлера, анализ устойчивости. Пример. Метод Дюфора-Френкеля, анализ устойчивости. Метод Кранка-Никольсона, анализ устойчивости.	2	
5	Модели ионной имплантации. Аналитические модели имплантации. Гауссово распределение ионно-имплантированных примесей.	2	
5	Распределение Пирсона ионно-имплантированных примесей. Моделирование имплантации методом Монте-Карло.	2	
6	Математическое описание процесса окисления кремния.	2	

	Численная реализация модели окисления кремния. Модель Дила-Гроува. Роль точечных дефектов в кремнии при окислении.		
6	Линейная константа скорости окисления. Ориентационная зависимость. Зависимость толщины оксида кремния от давления. Зависимость толщины оксида кремния от содержания хлора. Зависимость толщины оксида кремния от степени легирования	2	
7	Параболическая константа скорости окисления. Зависимость толщины оксида кремния от давления. Зависимость толщины оксида кремния от содержания хлора.	2	
7	Моделирование эпитаксии. Перераспределение примеси на границе при эпитаксии	2	
4. Математическое моделирование полупроводниковых приборов		20	
8	Постановка задач, типы граничных условий. Обзор основных моделей и границы их применимости. Фундаментальная система уравнений диффузионно-дрейфового моделирования. Понятие базиса.	2	
8	Решение отдельных уравнений системы. Методы решения уравнения Пуассона. Анализ устойчивости решения.	2	
9	Решение стационарного уравнения непрерывности. Неконсервативная аппроксимация.	2	
9	Решение стационарного уравнения непрерывности. Консервативная аппроксимация.	2	
10	Решение стационарного уравнения непрерывности. Интегральная консервативная аппроксимация.	2	
10	Методы решения ФСУ. Алгоритм Гуммеля. Метод Сейдмана-Чу.	2	
11	Методы решения ФСУ. Метод Филатова-Мнацаканова. Метод Ньютона.	2	
11	САПР Tcad. Стандарт SUPREM. Редакторы САПР. САПР Tcad. Редактор Atlas, моделирование приборов. Синтаксис. САПР Tcad. Редактор Athena, моделирование процессов. Синтаксис.	2	
12	САПР Tcad. Расчет ВАХ. Вывод результатов графопостроителем Tonyplot.	2	
12	Моделирование диода в САПР Tcad.	2	
Итого часов		48	

4.2 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ НЕ ПЛАНИРУЮТСЯ

4.3 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Неделя семестра	Наименование лабораторной работы	Объем часов	В том числе в интерактивной форме (ИФ)	Виды контроля
8 семестр				
2. Численные методы моделирования.		16		
2	Вывод конечно разностного шаблона по индивидуальному заданию.	4		
2	Анализ погрешности конечноразностных шаблонов в математическом пакете.	4		
3	Моделирование уравнения Пуассона.	4		
3	Отчетное занятие	4		отчет
3. Моделирование отдельных технологических операций.		20		
4	Расчет процесса окисления по модели Дилла-Гроува в математическом пакете.	4		
4	Расчет процесса ионной имплантации по модели Пирсона.	4		
5	Расчет диффузии аналитическим и явным методом Эйлера в математическом пакете.	4		
6	Моделирование диффузии неявным методом Эйлера на языке C++.	4		
7	Отчетное занятие	4		отчет
4. Математическое моделирование полупроводниковых приборов.		36		
8	Задание геометрических областей прибора в САПР Tcad.	4		
8	Создание областей прибора с заданной концентрацией в САПР Tcad.	4		
9	Отчетное занятие	2		отчет
9	Расчет ВАХ прибора с помощью различных методов в САПР Tcad.	4		
10	Вывод графиков и структур в графопостроителе Tounplot.	4		
10	Отчетное занятие	2		отчет
10	Моделирование диода в САПР Tcad.	4		
11	Моделирование вертикального биполярного транзистора в САПР Tcad.	4		
11	Моделирование горизонтального биполярного транзистора в САПР Tcad.	4		
12	Отчетное занятие	4		отчет
Итого часов		72		

4.4 САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТА (СРС)

Неделя семестра	Содержание СРС	Виды контроля	Объем часов
8 семестр		Экзамен	24
1	Работа с конспектом лекций, с учебником		1

	Подготовка к выполнению лаб. работы	допуск к выполнению	1
2	Работа с конспектом лекций, с учебником		1
	Подготовка к выполнению лаб. работы	допуск к выполнению	0,5
	Подготовка конспекта по теме для самостоятельного изучения	проверка конспекта	0,5
3	Работа с конспектом лекций, с учебником		1
	Подготовка к выполнению лаб. работы	допуск к выполнению	0,5
	Подготовка к защите лаб. работ	отчет, защита	0,5
4	Работа с конспектом лекций, с учебником		1
	Подготовка к выполнению лаб. работы	допуск к выполнению	0,5
	Подготовка конспекта по теме для самостоятельного изучения	проверка конспекта	0,5
5	Работа с конспектом лекций, с учебником		1
	Подготовка к выполнению лаб. работы	допуск к выполнению	0,5
	Подготовка к защите лаб. работ	отчет, защита	0,5
6	Работа с конспектом лекций, с учебником		1
	Подготовка к выполнению лаб. работы	допуск к выполнению	0,5
	Подготовка к контрольной работе	контр. раб.	0,5
7	Работа с конспектом лекций, с учебником		1
	Подготовка к выполнению лаб. работы	допуск к выполнению	0,5
	Подготовка к защите лаб. работ	отчет, защита	0,5
8	Работа с конспектом лекций, с учебником		1
	Подготовка к выполнению лаб. работы	допуск к выполнению	0,5
	Подготовка конспекта по теме для самостоятельного изучения	проверка конспекта	0,5
9	Работа с конспектом лекций, с учебником		1
	Подготовка к выполнению лаб. работы	допуск к выполнению	0,5
	Подготовка к защите лаб. работ	отчет, защита	0,5
10	Работа с конспектом лекций, с учебником		1
	Подготовка к выполнению лаб. работы	допуск к выполнению	0,5
	Подготовка конспекта по теме для самостоятельного изучения	проверка конспекта	0,5
11	Работа с конспектом лекций, с учебником		1
	Подготовка к выполнению лаб. работы	допуск к выполнению	0,5
	Подготовка конспекта по теме для самостоятельного изучения	проверка конспекта	0,5
12	Работа с конспектом лекций, с учебником		1
	Подготовка к защите лаб. работ	отчет, защита	0,5
	Подготовка к контрольной работе	контр. раб.	0,5

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

	В рамках изучения дисциплины предусмотрены следующие образовательные технологии:
5.1	Информационные лекции;
5.3	лабораторные работы: – защита выполненных работ;
5.4	самостоятельная работа студентов: – изучение теоретического материала, – подготовка к лекциям и лабораторным работам,

	– работа с учебно-методической литературой, – оформление конспектов лекций, подготовка отчетов, – подготовка к текущему контролю успеваемости, к экзамену;
5.5	консультации по всем вопросам учебной программы.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

6.1	Контрольные вопросы и задания
6.1.1	Используемые формы текущего контроля: -контрольные работы; -отчет и защита выполненных лабораторных работ.
6.1.2	Рабочая программа дисциплины обеспечена фондом оценочных средств для проведения входного, текущего контроля и промежуточной аттестации. Фонд включает примерные варианты контрольных работ, вопросы к экзамену. Фонд оценочных средств представлен в учебно-методическом комплексе дисциплины.
6.2	Темы письменных работ
8 семестр	
6.2.1	Контрольная работа по теме «Вывод конечно разностных шаблонов для решения дифференциальных уравнений математической физики»
6.2.2	Контрольная работа по теме «Расчет основных технологических процессов по аналитическим формулам»

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

7.1 Рекомендуемая литература				
№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид издания	Обеспеченность
7.1.1. Основная литература				
7.1.1.1				0,5
7.1.1.2				0,6
7.1.2. Дополнительная литература				
7.1.2.1				0,6
7.1.2.2				0,3
7.1.3 Методические разработки				
7.1.3.1				1
7.1.3.2				1
7.1.4 Программное обеспечение и интернет ресурсы				
7.1.4.1	Методические указания к выполнению лабораторных работ представлены на сайте:			
7.1.4.2	Компьютерные практические работы:			
7.1.4.3	Мультимедийные видеоклипы:			
7.1.4.4	Мультимедийные лекционные демонстрации:			

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

8.1	Специализированная лекционная аудитория , оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой
8.2	Учебные лаборатории:
8.3	Дисплейный класс , оснащенный компьютерными программами для проведения лабораторного практикума
8.4	Кабинеты , оборудованные проекторами и интерактивными досками
8.5	Натурные лекционные демонстрации:

Карта обеспеченности рекомендуемой литературой

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Год издания. Вид издания.	Обеспеченность
1. Основная литература				
ЛП.1				
ЛП.2				
2. Дополнительная литература				
ЛД.1				
ЛД.2				
3. Методические разработки				
ЛМ.1				
ЛМ.2				

Зав. кафедрой _____ /С.И. Рембеза/

Директор НТБ _____ /Т.И. Буковшина/

«УТВЕРЖДАЮ»
Председатель Ученого совета факультета радиотехники и электроники

(подпись) Небольсин В.А.
_____ 201__ г.

Лист регистрации изменений (дополнений) УМКД

Математическое моделирование технологических процессов и интегральных схем

В УМКД вносятся следующие изменения (дополнения):

Изменения (дополнения) в УМКД обсуждены на заседании кафедры полупроводниковой электроники и нанoeлектроники

Протокол № _____ от «__» _____ 20__ г.

Зав. кафедрой ППЭНЭ

С.И. Рембеза

Изменения (дополнения) рассмотрены и одобрены методической комиссией ФРТЭ

Председатель методической комиссии ФРТЭ

А.Г. Москаленко

«Согласовано»

С.И. Рембеза

Лист регистрации изменений

Порядковый номер изменения	Раздел, пункт	Вид изменения (заменить, аннулировать, добавить)	Номер и дата приказа об изменении	Фамилия и инициалы, подпись лица, внесшего изменение	Дата внесения изменения