

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 электроники

проф. Небольсин В.А. _____
(подпись)
_____ 2017 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

**Б1.В.ОД.4 Моделирование физических процессов в микро- и
наноэлектронике**

(наименование дисциплины по учебному плану ООП)

для направления подготовки (специальности): **11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»**
(код, наименование)

Профиль подготовки: **Приборы и устройства в микро- и наноэлектронике**
(название профиля, магистерской программы, специализации по УП)

Форма обучения **очная** Срок обучения **нормативный**

Кафедра **полупроводниковой электроники и наноэлектроники**
(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 « _____ » _____ 2017 г.

Председатель методической комиссии **Коровин Е.Н.**
(Ф.И.О)

Воронеж 2017 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)

2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**Б1.В.ОД.4 Моделирование физических процессов в микро- и
нанoeлектронике**

(наименование дисциплины по учебному плану ООП)

Закреплена за кафедрой: полупроводниковой электроники и нанoeлектроники

Направления подготовки (специальности): 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
(код, наименование)

Профиль подготовки, магистерской программы:

Приборы и устройства в микро- и нанoeлектронике

(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 интерактивные формы (ИФ) обучения по УП: 6

Часов на интерактивные формы (ИФ) обучения по РПД: 6

Часов на самостоятельную работу по УП: 90 (50%);

Часов на самостоятельную работу по РПД: 90 (50%)

Общая трудоемкость в ЗЕТ: 5;

Виды контроля в семестрах (на курсах): Экзамены - 2; Зачеты – 0; Курсовые проекты - 0;
Курсовые работы - 2.

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		Итого	
	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД
Лекции			18	18					18	18
Лабораторные			36	36					36	36
Практические										
Ауд. занятия			36	36					54	54
Сам. работа			90	90					90	90
Итого			180	180					180	180

Сведения о ФГОС ВО, в соответствии с которым разработана рабочая программа дисциплины (модуля) – 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника» квалификация «Магистр». Утвержден приказом Министерства образования Российской Федерации от 30 октября 2014 г. №1407.

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

Рецензент (ы): _____

Рабочая программа дисциплины составлена на основании учебного плана подготовки магистров по направлению 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника», магистерская программа «Приборы и устройства в микро- и наноэлектронике».

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры полупроводниковой электроники и наноэлектроники

протокол № ____ от _____ 2017 г.

Зав. кафедрой ППЭНЭ _____ С.И. Рембеза

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1	Целью преподавания дисциплины является формирование знаний о современных математических моделях физических процессов стандарта SUPREM и моделирования простейших приборов в микро- и нанoeлектронике.
1.2	Для освоения дисциплины поставлены следующие задачи:
1.2.1	– изучение математических моделей физических процессов стандарта SUPREM;
1.2.2	– моделирования простейших приборов в САПР TCAD;
1.2.3	– изучение методов расчета фундаментальной системы уравнений диффузионно-дрейфовой модели.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО

Цикл (раздел) ООП: Б1	код дисциплины в УП: Б1.В.ОД.6
2.1 Требования к предварительной подготовке обучающегося	
Для успешного освоения дисциплины студент должен освоить дисциплину:	
М1.Б.2	Методы математического моделирования
2.2 Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее	
Дисциплина завершает курс обучения в магистратуре.	

Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

ОПК-1	способностью понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения
ОПК-4	способностью самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения в своей предметной области
ПК-1	готовностью формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

3.1	Знать:
3.1.1	– основные модели физических процессов, применяющиеся в микро- и нанoeлектронике (ОПК-1);
3.1.2	– основные методы математического моделирования, изучаемые в микро- и нанoeлектронике (ОПК-1);
3.2	Уметь:
3.2.1	– самостоятельно выбрать адекватную модель изучаемой системы (ОПК-4, ПК-1);
3.2.2	– составить алгоритм расчета (ОПК-4, ПК-1);
3.2.3	– составить программу (в необходимых случаях – воспользоваться известными пакетами прикладных программ) (ОПК-4, ПК-1);
3.2.4	– произвести необходимые вычисления на компьютере (ПК-1);
3.3	Владеть:
3.3.1	– навыками определения математической модели для конкретных физических

	процессов, полупроводниковых приборов и ИМС (ПК-1, ОПК-4);
3.3.2	– навыками проведения исследования математической модели с помощью средств вычислительной техники (ПК-1, ОПК-4).

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Разделы дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Вид учебной нагрузки и её трудоемкость в часах				Итого
				Лекции	Практи- ческие занятия	Лабора- торные работы	СРС	
1	Модели технологических операций в микро- и нанoeлектронике	2	1-10	10	0	20	50	80
2	Моделирование полупроводниковых приборов в микро- и нанoeлектронике	2	11-18	8	0	16	40	64
ИТОГО				18		36	90	144

4.1 Лекции

Неделя семестра	Тема и содержание лекционного занятия	Объем часов	В том числе, в интерактивной форме (ИФ)
2 семестр			
Модели технологических операций в микро- и нанoeлектронике			
1	Модель диффузии Ферми. Двухмерная модель диффузии.	2	
3	Модель Дила — Гроува. Расширение модели. Линейная и параболическая константа скорости окисления. Зависимость толщины оксида кремния от давления, наличия кислой среды, степени легирования кремния.	2	
5	Математическая модель ионной имплантации. Гауссово распределение ионно-имплантированных примесей. Недостатки, нормирование распределения. Распределение Пирсона ионно-имплантированных примесей.	2	
7	Модель конформного осаждения. Модель химического осаждения из газовой фазы. Модель однонаправленного осаждения. Модель двунаправленного осаждения. Модель полусферического осаждения. Модель планетарного осаждения. Модель конического осаждения.	2	
9	Изотропная модель травления. Модель реактивного ионного травления. Модель плазменного травления. Модель травления, ускоренного легированием. Модели химико-механического полирования.	2	
Моделирование полупроводниковых приборов в микро- и			

нанoeлектроники			
11	Технологический маршрут создания биполярного транзистора	2	
13	Технологический маршрут создания полевого транзистора	2	
15	Особенности создания транзисторов с барьером Шоттки.	2	
17	Особенности изготовления некремниевых транзисторов.	2	

4.2 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ НЕ ПЛАНИРУЮТСЯ

4.3 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Неделя семестра	Тема и содержание практического занятия	Объем часов	В том числе, в интерактивной форме (ИФ)	Виды контроля
2 семестр		36	6	
Модели технологических операций в микро- и нанoeлектроники		20		
2	Расчет диффузии по модели легирующих примесей в поликремний.	4		
4	Численная реализация модели окисления кремния. Модель COMPRESS. Модель VISCOUS.	4		
6	Применение распределения Пирсона I – VIII.	4		
8	Расчет химического осаждения из газовой фазы.	4		
10	Изотропная модель травления.	4		
Моделирование полупроводниковых приборов в микро- и нанoeлектроники		16	6	
12	Моделирование процесса изготовления биполярного транзистора в технологическом редакторе в САПР TCAD	4	2	
14	Моделирование процесса изготовления полевого транзистора в технологическом редакторе в САПР TCAD	4	2	
16	Моделирование процесса изготовления полевого транзистора с барьером Шоттки в технологическом редакторе в САПР TCAD	4	2	
18	Моделирование процесса изготовления полевого транзистора на основе GaAs в технологическом редакторе в САПР TCAD	4		

4.4 САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТА (СРС)

Неделя семестра	Содержание СРС	Виды контроля	Объем часов
2 семестр		экзамен	90

1	Работа с конспектом лекций, с учебником	проверка конспекта	5
2	Подготовка к лабораторному занятию	допуск к лабораторной работе	2
	Работа с конспектом лекций, с учебником	проверка конспекта	3
3	Работа с конспектом лекций, с учебником	проверка конспекта	5
4	Подготовка к лабораторному занятию	допуск к лабораторной работе	2
	Работа с конспектом лекций, с учебником	проверка конспекта	3
5	Работа с конспектом лекций, с учебником	проверка конспекта	5
6	Подготовка к лабораторному занятию	допуск к лабораторной работе	2
	Работа с конспектом лекций, с учебником	проверка конспекта	3
7	Работа с конспектом лекций, с учебником	проверка конспекта	5
8	Подготовка к лабораторному занятию	допуск к лабораторной работе	2
	Работа с конспектом лекций, с учебником	проверка конспекта	3
9	Работа с конспектом лекций, с учебником	проверка конспекта	5
10	Подготовка к лабораторному занятию	допуск к лабораторной работе	2
	Работа с конспектом лекций, с учебником	проверка конспекта	3
11	Работа с конспектом лекций, с учебником	проверка конспекта	5
12	Подготовка к лабораторному занятию	допуск к лабораторной работе	2
	Работа с конспектом лекций, с учебником	проверка конспекта	3
13	Работа с конспектом лекций, с учебником	проверка конспекта	5
14	Подготовка к лабораторному занятию	допуск к лабораторной работе	2
	Работа с конспектом лекций, с учебником	проверка конспекта	3
15	Работа с конспектом лекций, с учебником	проверка конспекта	5

16	Подготовка к лабораторному занятию	допуск к лабораторной работе	2
	Работа с конспектом лекций, с учебником	проверка конспекта	3
17	Работа с конспектом лекций, с учебником	проверка конспекта	5
18	Подготовка к лабораторному занятию	допуск к лабораторной работе	2
	Работа с конспектом лекций, с учебником	проверка конспекта	3

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В рамках изучения дисциплины предусмотрены следующие образовательные технологии:

№	Технологии
5.1	
5.2	Практические занятия: а) работа в команде (ИФ);
5.4	самостоятельная работа студентов: – изучение теоретического материала, – подготовка к лабораторным работам и лекциям, – работа с учебно-методической литературой, – оформление конспектов лекций, подготовка отчетов, – подготовка к отчетным занятиям 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: – тестирование; – контрольные работы.
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.

7.1 Рекомендуемая литература				
№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид издания	Обеспеченность
7.1.1. Основная литература				
7.1.1.1	М. Н. Петров, Г. В. Гудков.	Моделирование компонентов и элементов в интегральных схемах : Учеб. Пособие - М. : Лань, 2011. - 464 с. : ил	2011 печатное	1

7.1.1.2	А. В. Арсентьев, А. В. Строгонов	Моделирование технологических процессов: Учеб. пособие /	2011 Маг. носитель	1
7.1.3 Методические разработки				
7.1.3.1	А.В. Арсентьев, Е.Ю. Плотникова	Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1-4 по дисциплине "Математическое моделирование технологических процессов и ИМС" для студентов направления 210100.62 "Электроника и микроэлектроника", профиля "Микроэлектроника и твердотельная электроника" очной формы обучения	2013 Маг. носитель	1
7.1.4 Программное обеспечение и интернет ресурсы				
7.1.4.1	Компьютерные лабораторные работы: Расчет ВАХ прибора с помощью различных методов в САПР Tcad. Моделирование диода в САПР Tcad. Моделирование вертикального биполярного транзистора в САПР Tcad. Моделирование горизонтального биполярного транзистора в САПР Tcad.			

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.	Обеспеч енность
1. Основная литература				
Л1. 1	М. Н. Петров, Г. В. Гудков.	Моделирование компонентов и элементов в интегральных схемах : Учеб. Пособие - ЭБС Лань, 2011. - 464 с. : ил	2011 электронное	1
Л1. 2	А. В. Арсентьев, А. В. Строгонов	Моделирование технологических процессов: Учеб. пособие	2011 Маг. носитель	1
3. Методические разработки				
Л3. 1	А.В. Арсентьев, Е.Ю. Плотникова	Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1-4 по дисциплине "Математическое моделирование технологических процессов и ИМС" для студентов направления 210100.62 "Электроника и нанoeлектроника", профиля "Микроэлектроника и твердотельная электроника" очной формы обучения	2013 Маг. носитель	1

Зав. кафедрой _____ / _____ /

Директор НТБ _____ / _____ /