

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет радиотехники и электроники

“УТВЕРЖДАЮ”

Декан РЭФ

профессор, д.т.н. Хрусталева
Владимир Александрович

“ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Компьютерное моделирование технологических процессов

ООП: специальность 210108.65 Микросистемная техника

Шифр по учебному плану: ОПД.В.1.2

Факультет: радиотехники и электроники очная форма обучения

Курс: 4, семестр: 7

Лекции: 54

Практические работы: - Лабораторные работы: 36

Курсовой проект: - Курсовая работа: - РГЗ: 7

Самостоятельная работа: 12

Экзамен: - Зачет: 7

Всего: 150

Новосибирск

2011

Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению (специальности): 210100 Электроника и микроэлектроника.(№ 737 тех/сп от 18.01.2006)

ОПД.В.1.2, дисциплины по выбору студента

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры Полупроводниковых приборов и микроэлектроники протокол № 4 от 24.05.2011

Программу разработал

доцент,

Калинин Сергей Васильевич

Заведующий кафедрой

, д.ф.м.н.

Гайслер Владимир Анатольевич

Ответственный за основную образовательную программу

, д.ф.м.н.

Гайслер Владимир Анатольевич

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Шифр дисциплины	Содержание учебной дисциплины	Часы
ОПД.В.1.2	Концептуальная записка по специальности 210108.65 Шифр курса ОПД.В.1.2. Компьютерное моделирование технологических процессов Современные TCAD-системы моделирования Компьютерное моделирование технологических процессов изготовления полупроводниковой элементной базы Компьютерное моделирование технологических маршрутов изготовления ИМС Особенности численных методов решения краевых задач	150

2. Особенности (принципы) построения дисциплины

Таблица 2.1

Особенности (принципы) построения дисциплины

Особенность (принцип)	Содержание
Основания для введения дисциплины в учебный план по направлению или специальности	Курс включен в число дисциплин учебного плана подготовки инженеров по специальности 210108 по решению Ученого совета факультета РЭФ протокол №5 от 23 мая 2007
Адресат курса	Студенты 4 курса факультета РЭФ по специальности 210108 "Микросистемная техника"
Основная цель (цели) дисциплины	Дать знания и практические навыки использования методов компьютерного моделирования технологических маршрутов изготовления ИМС при дальнейшем обучении и в практической деятельности бакалавра.
Ядро дисциплины	Методы построения и использования математических моделей приборно-технологического направления для элементной базы ИМС
Связи с другими учебными дисциплинами основной образовательной программы	Материал дисциплин бакалаврской подготовки: Методы математического моделирования, Уравнения математической физики, Физика полупроводниковых приборов, Проектирование заказных БИС, Физика конденсированного состояния, Линейная алгебра, Математический анализ, Спец. главы математики, Информатика, Физика, Химия в предусмотренном стандартом и учебным планом объеме
Требования к первоначальному уровню подготовки обучающихся	Материал дисциплин бакалаврской подготовки: Методы математического моделирования, Уравнения математической физики, Физика полупроводниковых приборов, Проектирование заказных БИС, Физика конденсированного состояния, Линейная алгебра, Математический анализ, Спец. главы

	математики, Информатика, Физика, Химия в предусмотренном стандартом и учебным планом объем
Особенности организации учебного процесса по дисциплине	Организационно дисциплина имеет существенную практическую направленность. Лекции и лабораторные работы основываются на современных компьютерных системах приборно-технологического проектирования и расчета многомерных полупроводниковых наноструктур.

3. Цели учебной дисциплины

Таблица 3.1

После изучения дисциплины студент будет

знать	
1	общую методику работы в САПР класса TCAD
2	математические модели техпроцессов различной размерности и физико-технологической точности, используемых в микро- и нанoeлектронике
3	-основные технологические маршруты, используемые в производстве микро- и наноструктур
уметь	
4	проектировать новые технологические процессы для микро- и нанoeлектроники
5	моделировать полупроводниковые структуры элементной базы микро и нанoeлектроники различной степени сложности (одномерные, двумерные, трехмерные) на основе средств TCAD
6	конструировать современные технологические маршруты изготовления СБИС
иметь опыт (владеть)	
7	обеспечивающие тесную взаимосвязь между технологическими и электрофизическими параметрами проектируемой элементной базы в рамках среды TCAD
8	разработки уточненных моделей технологических процессов
9	навыки анализа технологических библиотек в рамках направления работ по принципу "кремниевая мастерская"

4. Содержание и структура учебной дисциплины

Лекционные занятия

Таблица 4.1

(Модуль), дидактическая единица, тема	Часы	Ссылки на цели
Семестр: 7		
Модуль: Современные TCAD-системы моделирования		
Дидактическая единица: Современные TCAD-системы моделирования		
Общие понятия о технологическом проектировании и моделировании элементной базы микро и нанoeлектроники Характеристики технологического моделирования и место в общей структуре TCAD. Вход и выход технологических моделей. Размерность моделей и их технологическая точность. Два основных направления развития современной полупроводниковой индустрии: кремниевые технологии и технологии гетероструктурной электроники. Их основные перспективы развития..	4	1, 2, 3, 4, 5

Российский САПР TCAD "ФАКТ"	4	6, 7, 8, 9
Общая характеристика пакета. Основные возможности и модели. Методики моделирования технологических процессов и режимов. Проектирование структуры МОП и биполярного транзисторов.		
Среда технологического проектирования SenTaurus компании SYNOPSYS	8	1, 2, 5
Общая характеристика и состав среды. Подсистемы Taurus-Tsuprem4, DIOS и SenTaurus process. Способы работы в технологических подсистемах.		
Модуль: Компьютерное моделирование технологических процессов изготовления полупроводниковой эле-ментной базы		
Дидактическая единица: Компьютерное моделирование технологических процессов изготовления полупроводниковой эле-ментной базы		
Модели термических кремниевых процессов	8	3, 6, 7, 9
Модели термического окисления кремния. Модели внедрения легирующей примеси в кремний: имплантация. Диффузионные модели. легирующих примесей и дефектов. Модели отжига, в том числе быстрого термического.		
Математические модели процессов фотолитографии	4	2, 5, 8
Моделирование процессов засветки масочного изображения в фоторезисте. Моделирование процессов появления фоторезиста.		
Математические модели процессов травления и нанесения в крем-ниевой технологии	4	2, 5, 8
Модели эпитаксии. Модели нанесения структурных слоев. Модели травле-ния структурных слоев.		
Модуль: Компьютерное моделирование технологических маршрутов изготовления ИМС		
Дидактическая единица: Компьютерное моделирование технологических маршрутов изготовления ИМС		
Проектирование КМОП маршрутов изготовления элементной базы микро- и нанoeлектроники.	6	3, 4, 8, 9
Общее понятие о маршруте. Основные особенности и характеристики КМОП маршрутов. Способы их моделирования в среде SenTaurus.		
Проектирование маршрутов изготовления гетероструктур	4	3, 6, 7
Гетероструктурная элементная база. Общее понятие о технологическом маршруте для гетероструктур.		

Основные особенности и характеристики		
Модуль: Особенности численных методов решения краевых задач		
Дидактическая единица: Особенности численных методов решения краевых задач		
Численные методы решения краевых задач математической физики: Разностные методы, проекционные методы, методы Монте-Карло	8	2, 5, 9
Дидактическая единица: Компьютерное моделирование технологических маршрутов изготовления ИМС		
Проектирование БиКМОП маршрутов изготовления элементной базы микро- и нанoeлектроники. Элементная база БиКМОП. Основные особенности и характеристики БиК-МОП маршрутов. Способы их моделирования в среде SenTaurus.	4	3, 4, 8, 9

Практические занятия

Таблица 4.2

(Модуль), дидактическая единица, тема	Учебная деятельность	Часы	Ссылки на цели
Семестр: 7			
Проектирование структуры биполярного транзистора в среде ФАКТ		2	
Проектирование структуры МОП транзистора в среде ФАКТ		2	
Моделирование тех. процессов в среде DIOS		2	
Моделирование тех. процессов в среде SenTaurus process		2	
Модели термических кремниевых процессов		6	
Математические модели процессов фотолитографии		4	
Моделирование техпроцессов для гетероструктурной электроники		4	
Проектирование БиКМОП маршрутов в среде SenTaurus		2	
Проектирование маршрутов изготовления гетероструктур в среде SenTaurus		2	
Защиты тем		8	

Лабораторная работа

Таблица 4.3

(Модуль), дидактическая единица, тема	Учебная деятельность	Часы	Ссылки на цели
Семестр: 7			
Модуль: Современные TCAD-системы моделирования			
Дидактическая единица: Современные TCAD-системы моделирования			
Проектирование структуры биполярного транзистора в среде ФАКТ	Лабораторная работа выполняется под руководством преподавателя	2	1, 2, 3, 4
Дидактическая единица: Компьютерное моделирование технологических процессов изготовления полупроводниковой элементной базы			
Моделирование тех. процессов в среде DIOS	Лабораторная работа выполняется под руководством преподавателя	4	1, 3, 5, 7
Модуль: Компьютерное моделирование технологических процессов изготовления полупроводниковой элементной базы			
Дидактическая единица: Компьютерное моделирование технологических процессов изготовления полупроводниковой элементной базы			
Проектирование структуры МОП транзистора в среде ФАКТ	Лабораторная работа выполняется под руководством преподавателя	4	5, 6, 7, 8, 9
Модели термических кремниевых процессов	Лабораторная работа выполняется под руководством преподавателя	4	4, 5, 7, 8, 9
Математические модели процессов диффузии	Лабораторная работа выполняется под руководством преподавателя	4	5, 6, 7
Дидактическая единица: Компьютерное моделирование технологических маршрутов изготовления ИМС			
Моделирование тех. процессов в среде SenTaurus process	Лабораторная работа выполняется под руководством преподавателя	4	5, 6, 7, 9
Модуль: Компьютерное			

моделирование технологических маршрутов изготовления ИМС			
Дидактическая единица: Компьютерное моделирование технологических маршрутов изготовления ИМС			
Проектирование БиКМОП маршрутов в среде SenTaurus	Лабораторная работа выполняется под руководством преподавателя	4	6, 7, 8
Проектирование маршрутов изготовления гетероструктур в среде SenTaurus	Лабораторная работа выполняется под руководством преподавателя	4	6, 7, 8, 9
Модуль: Особенности численных методов решения краевых задач			
Дидактическая единица: Особенности численных методов решения краевых задач			
Численные методы решения краевых задач математической физики: Разностные методы, проекционные методы, методы Монте-Карло	Лабораторная работа выполняется под руководством преподавателя	6	3, 4, 5

5. Самостоятельная работа студентов

Семестр- 7, Подготовка к зачету

Подготовка ответов на вопросы к зачету

3 часа

Семестр- 7, Контрольные работы

Решение задач по моделям процессов

2 часа

Семестр- 7, РГЗ

Создание и описание модели технологического процесса

3 часа

Семестр- 7, Индив. работа

Консультации с преподавателем

48 часов

Семестр- 7, Подготовка к занятиям

Работа с материалами лекций 4 часа.

6. Правила аттестации студентов по учебной дисциплине

Модульно-рейтинговая система

Учебная деятельность	Срок сдачи, защиты	Мин. балл	Макс. балл	Комментарий
Лабораторные работы	по расписанию	4	10	за каждую лабораторную работу
Индивидуальное задание	15 нед.	10	25	
Премия		0	15	за индивидуальные успехи
Итоговый контроль - зачет		10	20	
Всего			100	

Допуск к итоговому контролю:

Набравшие менее **50** баллов - к итоговому контролю (зачету) не допускаются до тех пор, пока не наберут это количество баллов в режиме индивидуальной работы с преподавателем. Также не допускаются к зачету студенты, не выполнившие индивидуальное задание (до его выполнения и защиты).

Студенты, набравшие **60** и более баллов, могут быть освобождены от практической части зачета на компьютерах (по своему усмотрению). Студенты, набравшие **70** и более баллов, могут быть получить зачет автоматически. Студенты, набравшие более **60** или **70** баллов после 16-ой недели, лишаются права на эти освобождения

7. Список литературы

7.1 Основная литература

В печатном виде

1. Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2008. - 354, [1] с. : ил.
2. Бубенников А. Н. Физико-технологическое проектирование биполярных элементов кремниевых БИС / А. Н. Бубенников, А. Д. Садовников. - М., 1991. - 287 с. : ил.

В электронном виде

1. Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2008. - 354, [1] с. : ил. - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2008/dragunov.pdf>. - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".

7.2 Дополнительная литература

В печатном виде

1. Горячкин Ю. В. Физико-топологическое моделирование в САПР TCAD : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника» / Ю. В. Горячкин, С. А. Нестеров, Б. П. Сурин. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2006 (Саранск : Тип. изд-ва Мордов. ун-та). – 123, [1] с. – (Учебники Мордовского университета).
2. Моделирование полевых полупроводниковых приборов в САПР ISE TCAD [Электронный ресурс] : учеб. пособие для вузов / Воронеж. гос. ун-та ; сост.: В. В. Ассессоров, Г. В. Быкадорова, А. Ю. Ткачев. – Воронеж , 2007. – 27 с. – Режим доступа: <http://www.ict.edu.ru/ft/005937/may07094.pdf>. – Загл с экрана.

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

В печатном виде

1. Макаров Е. А. Приборно-технологическое моделирование с помощью пакета Sentaurus TCAD : учебно-методическое пособие / Е. А. Макаров, А. М. Мясников ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2008. - 115, [1] с. : ил.

В электронном виде

1. Макаров Е. А. Приборно-технологическое моделирование с помощью пакета Sentaurus TCAD : учебно-методическое пособие / Е. А. Макаров, А. М. Мясников ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2008. - 115, [1] с. : ил. - Режим доступа: <http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2008/makar.rar>

9. Контролирующие материалы для аттестации студентов по дисциплине Образцы карточек модульного контроля

Компьютерное моделирование технологических процессов 2011
Теоретический минимум. Модуль2. Карточка №1

1. Поясните назначение и основные области использования TCAD SenTaurus.
2. Дайте определение напряженного кремния
3. Поясните, каким образом линейные уравнения в частных производных второго порядка классифицируются на гиперболические, параболические и эллиптические и приведите конкретные примеры таких уравнений для всех трех случаев.
4. Перечислите основные классы моделей имплантационных профилей и поясните назначение команды `implant tables=Default`.
5. Перечислите, какие химические газы можно перемешивать при создании окислительной атмосферы в SProcess и приведите пример команды, это реализующей.

Теоретический минимум. Модуль2. Карточка №3

1. Перечислите технологические подсистемы-приложения TCAD SenTaurus и дайте им краткие характеристики.
2. Поясните, каким образом изменяется структура зоны проводимости в напряженном кремнии и за счет каких факторов изменяется при этом подвижность электронов?
3. Предположим, что некоторое векторное поле в сплошной среде состоит из следующих компонент: $(2x+y; x+y+z; 0)$. Вычислите дивергенцию этого поля в точке $(1; 1; 1)$.
4. Приведите один из основных типов формата команды `implant` и поясните физический смысл ее параметров с указанием их единиц измерения по умолчанию.
5. Поясните, каким образом в командном файле для расчета n-МОПТ сохраняются данные о графических результатах моделирования технологических операций и каким образом можно визуализировать эти данные в оболочке Tecplot_SV?