

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета радиотехники
и электроники
/ В.А. Небольсин /
31 августа 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины**

«Математическое моделирование технологических процессов и ИС»

Направление подготовки 28.03.02 Наноинженерия

Профиль Инженерные нанотехнологии в приборостроении

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года


Форма обучения очная

Год начала подготовки 2021

Автор программы


_____ А.В. Арсентьев

И.о. заведующего кафедрой
полупроводниковой электроники
и нанoeлектроники


_____ А.В. Строгонов

Руководитель ОПОП


_____ А.А. Винокуров

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины: овладеть современными знаниями в области построения и использования математических моделей (ММ) технологических процессов создания полупроводниковых приборов и интегральных микросхем (ИМС), необходимыми будущим специалистам для успешной работы технологами и разработчиками на производстве.

1.2. Задачи освоения дисциплины: формирование у студентов теоретических и практических знаний о математических моделях 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.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.В.19 «Математическое моделирование технологических процессов и интегральных схем» относится к дисциплинам части блока Б1 учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Математическое моделирование технологических процессов и интегральных схем» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-3: способен применять методы и компьютерные системы моделирования и анализа компонентов микросистемной техники;

ПК-5: способен пользоваться встроенными средствами программирования и отладки системы автоматизированного проектирования;

ПК-6: способен анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материал в виде научных отчетов, публикаций, презентаций;

ПК-8: способен моделировать технологические модули и процессы производства изделий МСТ.

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции |
|-------------|---|
| ПК-3 | знать математические основы компьютерного моделирования и типовые САПР; |
| | уметь составить задачу для решения автоматизированными средствами; |
| | владеть навыками систематизации результатов моделирования. |

| | |
|------|--|
| ПК-5 | знать основы программирования и синтаксис команд САПР; |
| | уметь пользоваться средствами отладки САПР; |
| | владеть навыками оценки результатов работы САПР. |
| ПК-6 | знать формы научных отчетов; |
| | уметь систематизировать информацию, представлять в виде текста и графиков; |
| | владеть редактором презентаций типа PowerPoint. |
| ПК-8 | знать о месте и роли математического моделирования технологических процессов в производстве изделий МСТ; |
| | уметь использовать основные методы математического моделирования технологических процессов производства изделий МСТ; |
| | владеть навыками математического моделирования конкретных технологических процессов производства изделий МСТ. |

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Математическое моделирование технологических процессов и интегральных схем» составляет 5 зачетных единиц.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

| Вид учебной работы | Всего часов | Семестры |
|--|-------------|----------|
| | | 8 |
| Аудиторные занятия (всего) | 50 | 50 |
| В том числе: | | |
| Лекции | 30 | 30 |
| Лабораторные работы (ЛР) | 20 | 20 |
| Самостоятельная работа | 103 | 103 |
| Курсовая работа | + | + |
| Часы на контроль | 27 | 27 |
| Вид промежуточной аттестации - экзамен | + | + |
| Общая трудоемкость | час | 180 |
| | зач. ед. | 5 |
| | | 180 |
| | | 5 |

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

| № п/п | Наименование темы | Содержание раздела | Лекц | Лаб. зан. | СРС | Всего час |
|-------|--------------------------------|--|------|-----------|-----|-----------|
| 1 | Понятие о математическом моде- | Роль математического моделирования технологических процессов и полупроводниковых приборов в микроэлектронике. Иерархические уровни моделирования. Экономичность и универсальность моделей. Их классификация, | 2 | 2 | 10 | 14 |

| | | | | | | |
|-----------------|---|---|-----------|-----------|------------|------------|
| | лирование, моделях процессов и приборов. | история развития. Понятие о моделях отдельных процессов и приборов. Обзор пакетов прикладных программ моделирования технологических процессов и полупроводниковых приборов. | | | | |
| 2 | Численные методы моделирования | Классификация уравнений и граничных условий для моделирования полупроводниковых приборов и технологических процессов. Классификация и сравнительная характеристика численных методов, используемых для построения моделей. Метод конечных разностей. Основные понятия метода. Построение сетки. Построение разностных операторов разложением в ряд Тейлора. Решение системы линейных алгебраических уравнений методом прогонки. Прямая прогонка, обратная прогонка. Пример. Реализация алгоритма на языке программирования C++. | 6 | 4 | 20 | 30 |
| 3 | Моделирование отдельных технологических операций | Математическое описание диффузии примесей. Диффузия легирующих примесей. Общие уравнения. Модель диффузии Ферми. Модель сегрегации примесей. Модель диффузии связанных пар примесь-дефект. Численные методы расчетов диффузионных моделей. Явный метод Эйлера, анализ устойчивости. Неявный метод Эйлера, анализ устойчивости. Модели ионной имплантации. Аналитические модели имплантации. Гауссово распределение ионно-имплантированных примесей. Распределение Пирсона ионно-имплантированных примесей. Моделирование имплантации методом Монте-Карло. Математическое описание процесса окисления кремния. Численная реализация модели окисления кремния. Модель Дила-Гроува. Роль точечных дефектов в кремнии при окислении. Ориентационная зависимость. Зависимость толщины оксида кремния от давления. Зависимость толщины оксида кремния от содержания хлора. Зависимость толщины оксида кремния от степени легирования. Моделирование эпитаксии. Перераспределение примеси на границе при эпитаксии. Моделирование осаждения. | 12 | 8 | 43 | 63 |
| 4 | Математическое моделирование полупроводниковых приборов | САПР TCAD. Стандарт SUPREM. Обязательные команды и синтаксис. Настройка режимов расчета токов и напряжений. Вывод результатов моделирования. Разрезы структуры, графики токов и напряжений. | 10 | 6 | 30 | 46 |
| Всего | | | 30 | 20 | 103 | 153 |
| Контроль | | | | | | 27 |
| Итого | | | | | | 180 |

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Вывод конечно-разностного шаблона по индивидуальному заданию.
2. Расчет процесса окисления по модели Дилла-Гроува в математическом пакете.
3. Расчет процесса ионной имплантации по модели Пирсона.
4. Расчет диффузии аналитическим и явным методом Эйлера в математическом пакете.
5. Моделирование диффузии неявным методом Эйлера на языке C++.
6. Задание геометрических областей прибора в САПР TCAD. Создание областей прибора с заданной концентрацией в САПР TCAD.
7. Расчет ВАХ прибора с помощью различных методов в САПР TCAD. Вывод графиков и структур в графопостроителе.
8. Моделирование диода в САПР TCAD.
9. Моделирование вертикального биполярного транзистора в САПР TCAD.
10. Моделирование горизонтального биполярного транзистора в САПР TCAD.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Математическое моделирование технологических процессов и интегральных схем» предусматривает выполнение курсовой работы в 8 семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсовой работы: «Разработка технологического маршрута изготовления полупроводникового прибора (по вариантам)».

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

- разработать технологический маршрут изготовления полупроводникового прибора;
- сформировать структуру полупроводникового прибора;
- задать режим моделирования электрических характеристик.

Курсовая работа включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

Учебным планом по дисциплине «Математическое моделирование технологических процессов и интегральных схем» не предусмотрено выполнение контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции | Критерии оценивания | Аттестован | Не аттестован |
|-------------|---|--|---|---|
| ПК-3 | знать математические основы компьютерного моделирования и типовые САПР; | Выполнение и защита лабораторных работ | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| | уметь составить задачу для решения автоматизированными средствами; | Выполнение и защита лабораторных работ | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| | владеть навыками систематизации результатов моделирования. | Выполнение и защита лабораторных работ | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| ПК-5 | знать основы программирования и синтаксис команд САПР; | Выполнение и защита лабораторных работ | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| | уметь пользоваться средствами отладки САПР; | Выполнение и защита лабораторных работ | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| | владеть навыками оценки ре- | Выполнение и | Выполнение работ в | Невыполнение работ в |

| | | | | |
|------|--|--|---|---|
| | зультатов работы САПР. | защита лабораторных работ | срок, предусмотренный в рабочих программах | срок, предусмотренный в рабочих программах |
| ПК-6 | знать формы научных отчетов; | Выполнение и защита лабораторных работ | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| | уметь систематизировать информацию, представлять в виде текста и графиков; | Выполнение и защита лабораторных работ | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| | владеть редактором презентаций типа PowerPoint. | Выполнение и защита лабораторных работ | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| ПК-8 | знать о месте и роли математического моделирования технологических процессов в производстве изделий МСТ; | Выполнение и защита лабораторных работ | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| | уметь использовать основные методы математического моделирования технологических процессов производства изделий МСТ; | Выполнение и защита лабораторных работ | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| | владеть навыками математического моделирования конкретных технологических процессов производства изделий МСТ. | Выполнение и защита лабораторных работ | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 8 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно»

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции | Критерии оценивания | Отлично | Хорошо | Удовл | Неудовл |
|-------------|---|--|--|---|--|---------------------------------------|
| ПК-3 | знать математические основы компьютерного моделирования и типовые САПР; | Тест | Выполнение теста на 90 – 100 % | Выполнение теста на 80 – 90 % | Выполнение теста на 70 – 80 % | В тесте менее 70 % правильных ответов |
| | уметь составить задачу для решения автоматизированными средствами; | Решение стандартных практических задач | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены |
| | владеть навыками систематизации результатов моделирования. | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены |
| ПК-5 | знать основы программирования и синтаксис команд САПР; | Тест | Выполнение теста на 90 – 100 % | Выполнение теста на 80 – 90 % | Выполнение теста на 70 – 80 % | В тесте менее 70 % правильных ответов |

| | | | | | | |
|------|---|--|--|---|--|---------------------------------------|
| | уметь пользоваться средствами отладки САПР; | Решение стандартных практических задач | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены |
| | владеть навыками оценки результатов работы САПР. | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены |
| ПК-6 | знать формы научных отчетов; | Тест | Выполнение теста на 90 – 100 % | Выполнение теста на 80 – 90 % | Выполнение теста на 70 – 80 % | В тесте менее 70 % правильных ответов |
| | уметь систематизировать информацию, представлять в виде текста и графиков; | Решение стандартных практических задач | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены |
| | владеть редактором презентаций типа PowerPoint. | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены |
| ПК-8 | знать о месте и роли математического моделирования технологических процессов в производстве изделий МСТ; | Тест | Выполнение теста на 90 – 100 % | Выполнение теста на 80 – 90 % | Выполнение теста на 70 – 80 % | В тесте менее 70 % правильных ответов |
| | уметь использовать основные методы математического моделирования технологических процессов производства изделий МСТ; | Решение стандартных практических задач | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены |
| | владеть навыками математического моделирования конкретных технологических процессов производства изделий МСТ. | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены |

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Модель объекта – это:

1. предмет, похожий на объект моделирования;
2. объект-заместитель, который учитывает свойства объекта, необходимые для достижения цели;
3. копия объекта;
4. шаблон, по которому можно произвести точную копию объекта.

2. Основная функция модели:

1. получить информацию о моделируемом объекте;
2. отобразить некоторые характеристические признаки объекта;
3. получить информацию о моделируемом объекте или отобразить некоторые характеристические признаки объекта;
4. воспроизвести физическую форму объекта.

3. Математические модели относятся к классу:

1. изобразительных;
2. прагматических;
3. познавательных;
4. символических.

4. Математической моделью объекта называют:

1. описание объекта математическими средствами, позволяющее выводить суждение о некоторых его свойствах при помощи формальных процедур;
2. любую символическую модель, содержащую математические символы;
3. представление свойств объекта только в числовом виде;
4. любую формализованную модель.

5. Методами математического моделирования являются:

1. аналитический;
2. числовой;
3. аксиоматический и конструктивный;
4. имитационный.

6. Какая форма математической модели отображает предписание последовательности некоторой системы операций над исходными данными с целью получения результата?

1. аналитическая;
2. графическая;
3. цифровая;
4. алгоритмическая.

7. Объект, состоящий из вершин и ребер, которые находятся в некотором отношении между собой, называют:

1. системой;
2. чертежом;
3. структурой объекта;
4. графом.

8. Эффективность математической модели определяется:

1. оценкой точности модели;
2. функцией эффективности модели;
3. соотношением цены и качества;
4. простотой модели.

9. Адекватность математической модели и объекта – это:

1. правильность отображения в модели свойств объекта в той мере, которая необходима для достижения цели моделирования;
2. полнота отображения объекта моделирования;
3. количество информации об объекте, получаемое в процессе моделирования;

4. объективность результата моделирования.

10. Состояние объекта определяется:

1. количеством информации, полученной в фиксированный момент времени;
2. множеством свойств, характеризующим объект в фиксированный момент времени относительно заданной цели;
3. только физическими данными об объекте;
4. параметрами окружающей среды.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

Решить задачу Коши методом Эйлера, модифицированным методом Эйлера и методом Рунге-Кутты, на заданном отрезке:

| | | | |
|----|-------------------|-------------|-------------------------|
| 1 | $y' = 7 - xy$ | $y(-2) = 0$ | $x \in [-2;0] h = 0,5$ |
| 2 | $y' = 2x + y$ | $y(2) = 2$ | $x \in [-2;0] h = 0,5$ |
| 3 | $y' = 5 + x - y$ | $y(2) = 1$ | $x \in [2;4] h = 0,5$ |
| 4 | $y' = y + 5x - 1$ | $y(0) = 2$ | $x \in [0;3,2] h = 0,8$ |
| 5 | $y' = y - 5x + 1$ | $y(0) = 2$ | $x \in [0;3,2] h = 0,8$ |
| 6 | $y' = 1 - x + y$ | $y(0) = 1$ | $x \in [0;2,5] h = 0,5$ |
| 7 | $y' = y - 5x$ | $y(-1) = 1$ | $x \in [-1;1] h = 0,4$ |
| 8 | $y' = x + 2y$ | $y(0) = -1$ | $x \in [0;2] h = 0,4$ |
| 9 | $y' = x + y + 2$ | $y(1) = 1$ | $x \in [1;3] h = 0,5$ |
| 10 | $y' = 3x + 4y$ | $y(2) = 1$ | $x \in [2;5] h = 0,5$ |

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

Используя метод конечных разностей, найти решение краевой задачи с шагом $h = 0,1$:

| | | | |
|----|---------------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | $y'' + y'/x + 2y = x$ | $y'(0,7) = 0,5$ | $y'(1) = 1,2$ |
| 2 | $y'' - xy' + 2y = x + 1$ | $y'(0,9) = 2$ | $y'(1,2) = 1$ |
| 3 | $y'' + xy' + y = x + 1$ | $y'(0,5) = 1$ | $y'(0,8) = 1,2$ |
| 4 | $y'' + 2y' - y/x = 3$ | $y'(0,2) = 2$ | $y'(0,5) = 1$ |
| 5 | $y'' + 1,5y' - xy = 0,5$ | $y'(1,3) = 1$ | $y'(1,6) = 3$ |
| 6 | $y'' + 2xy' - y = 0,4$ | $y'(0,3) = 1$ | $y'(0,6) = 2$ |
| 7 | $y'' - 0,5xy' + y = 2$ | $y'(0,4) = 1,2$ | $y'(0,7) = 1,4$ |
| 8 | $y'' + 2y' - xy = x^2$ | $y'(0,6) = 0,7$ | $y'(0,9) = 1$ |
| 9 | $y'' - 3y' + y/x = 1$ | $y'(0,4) = 2$ | $y'(0,7) = 0,7$ |
| 10 | $y'' - 3y' - y/x = x + 1$ | $y'(1,2) = 1$ | $y'(1,5) = 0,5$ |

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. В чем заключаются преимущества от использования моделирования в проектировании интегральных схем?
2. Как можно классифицировать типы моделей технологических операций?
3. По каким признакам можно различить физические и геометрические модели?
4. Приведите примеры моделей различного типа.
5. Что такое функциональный состав модели операции?
6. Перечислите возможные виды изменений, происходящих в структуре при выполнении технологической операции.
7. Приведите примеры моделей операций, различающихся по функциональному составу
8. Опишите основные механизмы торможения ионов при ионной имплантации.
9. Что такое тормозная способность?
10. Как выглядит на графике энергетическая зависимость электронного и ядерного торможения?
11. Как в теории ЛШШ определяется величина ядерной тормозной способности?
12. Как зависит от энергии иона электронная тормозная способность?
13. Чему равна полная средняя длина пробега иона в мишени?
14. Как рассчитывается проекция пробега иона в диффузионной модели Бирсака?
15. Какой механизм определяет торможение ионов при каналировании?
16. Что такое критический угол каналирования?
17. Почему при проведении ионной имплантации подложку обычно поворачивают на 7° относительно направления ионного пучка?
18. Что означает принцип суперпозиции применительно к моделированию ионной имплантации?
19. Как осуществляется процесс моделирования ионной имплантации при использовании метода Монте – Карло?
20. Запишите основные уравнения для процесса диффузии в присутствии электрического поля.
21. Что такое TED-эффект?
22. Поясните вклад процесса кластеризации междоузлий в характеристики TED-эффекта.
23. Какие допущения используются при моделировании диффузии в поликристаллическом кремнии?
24. Какие допущения лежат в основе модели Дила – Гроува?
25. От чего зависят константы линейного и параболического роста окисла?
26. Перечислите основные процессы, учитываемые при численном моделировании окисления.
27. Дайте сравнительную характеристику модели Дила – Гроува и модели Масуда.
28. Запишите уравнение диффузии в присутствии движущихся границ.

29. Чем различаются с точки зрения моделирования процессы окисления и силицидации?
30. Какие граничные условия устанавливаются при моделировании диффузии кремния в силициде?

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.
2. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.
3. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов
4. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

При получении оценок «Отлично», «Хорошо» и «Удовлетворительно» требуемые в рабочей программе знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на промежуточном этапе считаются достигнутыми.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины | Код контролируемой компетенции (или ее части) | Наименование оценочного средства |
|-------|---|---|---|
| 1 | Понятие о математическом моделировании, моделях процессов и приборов. | ПК-3, ПК-5, ПК-6, ПК-8 | Тест, защита лабораторных работ, проверка конспекта |
| 2 | Численные методы моделирования | ПК-3, ПК-5, ПК-6, ПК-8 | Тест, защита лабораторных работ, проверка конспекта |
| 3 | Моделирование отдельных технологических операций | ПК-3, ПК-5, ПК-6, ПК-8 | Тест, защита лабораторных работ, проверка конспекта |
| 4 | Математическое моделирование полупроводниковых приборов | ПК-3, ПК-5, ПК-6, ПК-8 | Тест, защита лабораторных работ, проверка конспекта |

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста пре-

подавателем и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература

1. **Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем:** учеб. пособие: рекомендовано УМО. Ч. 2: Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования / под общ. ред. Ю.А. Чаплыгина. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 422 с. -Библиогр.: с. 416-422. - ISBN 978-5-94774-585-6 (Ч. 2). - ISBN 978-5-94774-583-2

2. **Петров М.Н.** Моделирование компонентов и элементов в интегральных схемах: учеб. пособие / М.Н. Петров, Г.В. Гудков. - М. :Лань, 2011. - 464 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1075-0.

3. **Петров М.Н.** Моделирование компонентов и элементов интегральных схем [Электронный ресурс]: учеб. пособие / М.Н. Петров, Г.В. Гудков. - 2-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2021. - 464 с. - ISBN 978-5-8114-8371-6. URL: <https://e.lanbook.com/book/175507>

4. **Арсентьев А.В.** Моделирование технологических процессов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.В. Арсентьев, А.В. Строгонов, Д.С. Шацких. - Электрон. текстовые, граф. дан. (9,3 Мб). - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2011.

5. **Самарский А.А.** Математическое моделирование [Электронный ресурс] / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – М.: Физматлит, 2005. - 160 с. - ISBN 978-5-9221-0120-2. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68976>

Дополнительная литература

6. **Абрамов И.И.** Моделирование физических процессов в элементах кремниевых интегральных микросхем / И. И. Абрамов. – Мн.: БГУ, 1999. - 189 с. - ISBN 985-445-148-8

7. **Бордаков Е.В.** Математическое моделирование технологических процессов, полупроводниковых приборов и элементов интегральных схем : конспект лекций / Е.В. Бордаков, А.И. Прокопьев; ВГТУ. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 1996. - 53 с.

8. **Бубенников А.Н.** Моделирование интегральных микротехнологий, приборов и схем: учеб. пособие для спец. «Физика и технология материалов и компонентов электронной техники». – М.: Высш. шк., 1989. - 320 с.

9. **Мулярчик С.Г.** Численное моделирование микроэлектронных структур / С.Г. Мулярчик. – Мн.: Университетское, 1989. - 368 с. - ISBN 5-7855-0045-0

10. **Плотникова Е.Ю.** Моделирование технологических процессов и интегральных микросхем: лабораторный практикум / Е.Ю. Плотникова, А.В. Арсентьев, А.А. Винокуров. - Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2020. – 95 с. - ISBN 978-5-7731-0866-5

11. **Арсентьев А.В.** Математическое моделирование технологических процессов и интегральных схем [Электронный ресурс]: лабораторный практикум: учеб. пособие / А.В. Арсентьев, Е.Ю. Плотникова. – Электрон. текстовые, граф. дан. (2,3 Мб). – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГТУ», 2016. – 138 с.

12. **Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1 - 4 по дисциплине «Математическое моделирование технологических процессов и ИМС» для студентов направления 210100.62 «Электроника и наноэлектроника», профиля «Микроэлектроника и твердотельная электроника» очной формы обучения [Электронный ресурс] / Каф. полупроводниковой электроники и наноэлектроники; Сост.: А.В. Арсентьев, Е.Ю. Плотникова. - Электрон. текстовые, граф. дан. (2.14 Мб). - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013. (№ 298-2013)**

13. ГОСТ 2.105-2019. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2019. – 35 с.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:

- Операционные системы семейства MSWindows;
- Пакет офисных программ LibreOffice;
- Программа просмотра файлов WinDjview;
- Программа просмотра файлов формата pdf Adobe Acrobat Reader;
- Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome;
- Математический пакет MathCad Express, Smath Studio;
- Среда разработки Python;
- Система управления курсами Moodle;
- Симулятор SUPREM3.

Используемые электронные библиотечные системы:

- Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL»:
<http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/>;
- Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru/>;
- ЭБС Издательства «ЛАНЬ», в том числе к коллекциям «Инженерно-технические науки», «Физика»: <http://e.lanbook.com/>;
- ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/>;
- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>.

Информационные справочные системы:

- портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования: <http://fgosvo.ru>;
- единое окно доступа к образовательным ресурсам: <http://window.edu.ru/>;
- открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ: <http://online.mephi.ru/>;
- открытое образование: <https://openedu.ru/>;
- физический информационный портал: <http://phys-portal.ru/index.html>
- Профессиональные справочные системы «Техэксперт»: <https://cntd.ru>
- Электронная информационная образовательная среда ВГТУ: <https://old.education.cchgeu.ru>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Лекционная аудитория 205/4, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций: мультимедиа-проектором, стационарным экраном, наборами демонстрационного оборудования (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 22 человека.
проектор BenQ MP515 DLP;
экран ScreenMedia настенный.
огнетушитель.

2. Лаборатория автоматизации технологических процессов для проведения лабораторных занятий и самостоятельной работы студентов, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, ауд. 216/4 (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179), а также необходимым оборудованием:

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 15 человек.
компьютер в составе: системный блок iRU Ergo Corp 1294, клавиатура, мышь, монитор 19"LCD – 10 шт.
огнетушитель.

10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

По дисциплине «Математическое моделирование технологических процессов и интегральных схем» читаются лекции, проводятся лабораторные занятия, выполняется курсовая работа.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Лабораторные работы выполняются на персональных компьютерах в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию обо всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Методика выполнения курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы студенты должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины осуществляется тестированием и защитой курсовой работы. Освоение дисциплины оценивается на экзамене.

| Вид учебных занятий | Деятельность студента |
|---------------------------------------|--|
| Лекция | Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удается разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии. |
| Лабораторная работа | Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции, при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных, для подготовки к ним необходимо: разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания. |
| Самостоятельная работа | Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации. |
| Курсовая работа | При выполнении курсовой работы студенты должны научиться правильно и творчески использовать знания, полученные ими на лекциях и лабораторных занятиях. Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы: <ul style="list-style-type: none"> - осуществить поиск необходимой информации по теме работы; - систематизировать найденную информацию; - осуществить обзор литературных источников по заданной теме; - выработать умения решать прикладные задачи |
| Подготовка к промежуточной аттестации | Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала. |

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

| № п/п | Перечень вносимых изменений | Дата внесения изменений | Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП |
|----------|-----------------------------|-------------------------------|--|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |