

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета радиотехники и электроники
Небольсин В.А.
«31» августа 2020 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«Моделирование физических процессов
в микро- и наноэлектронике»

Направление подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника

Профиль Интегральные системы и устройства в микро- и наноэлектронике

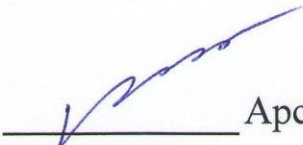
Квалификация выпускника магистр

Нормативный период обучения 2 года/2 года 3 месяца

Форма обучения очная/заочная

Год начала подготовки 2020

Автор программы


Арсентьев А.В.

Заведующий кафедрой
полупроводниковой электроники
и наноэлектроники


Рембеза С.И.

Руководитель ОПОП


Рембеза С.И.

Воронеж 2020

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины – формирование знаний о современных математических моделях физических процессов стандарта SUPREM и моделирования простейших приборов в микро- и наноэлектронике.

1.2. Задачи освоения дисциплины:

– изучение математических моделей физических процессов стандарта SUPREM;

– моделирования простейших приборов в технологическом САПР.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.В.03 «Моделирование физических процессов в микро- и наноэлектронике» относится к дисциплинам части блока Б1 учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Моделирование физических процессов в микро- и наноэлектронике» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-2: готовность осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени;

ПК-3: способность к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов;

ПК-8: способность самостоятельно разрабатывать новые материалы, элементы, приборы и устройства микро- и наноэлектроники, работающие на новых физических принципах.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-2	знать средства автоматизации эксперимента;
	уметь применять средства автоматизации эксперимента;
	владеть навыками измерений в реальном времени.
ПК-3	знать современные средства проведения экспериментальных исследований;
	уметь выбрать адекватные средства и методы для экспериментальных исследований;
	владеть методами проведения экспериментальных исследований.
ПК-8	знать современное состояние предмета;
	уметь выбрать теоретические и экспериментальные методы решения задач;

	владеть знаниями о в области электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники.
--	--

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Моделирование физических процессов в микро- и нанoeлектронике» составляет 5 зачетных единиц.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		2
Аудиторные занятия (всего)	50	50
В том числе:		
Лекции	16	16
Лабораторные работы (ЛР)	34	34
Самостоятельная работа	94	94
Курсовая работа	+	+
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость академические часы	180	180
з.е.	5	5

заочная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		2
Аудиторные занятия (всего)	12	12
В том числе:		
Лекции	4	4
Лабораторные работы (ЛР)	8	8
Самостоятельная работа	159	159
Курсовая работа	+	+
Часы на контроль	9	9
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость академические часы	180	180
з.е.	5	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	Модели технологических операций в микро- и нанoeлек-	Модель диффузии Ферми. Двухмерная модель диффузии. Модель Дила – Гроува. Расширение модели. Линейная и параболическая константа скорости окисления. Зависимость толщины оксида кремния от давления, наличия кислой среды, степени легирования крем-	8	18	47	73

	тронике	ния. Математическая модель ионной имплантации. Гауссово распределение ионно-имплантированных примесей. Недостатки, нормирование распределения. Распределение Пирсона ионно-имплантированных примесей. Модель конформного осаждения. Модель химического осаждения из газовой фазы. 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 нанoeлектронике	Технологический маршрут создания биполярного транзистора. Технологический маршрут создания полевого транзистора. Особенности создания транзисторов с барьером Шоттки. Особенности изготовления некремниевых транзисторов.	8	16	47	71
Всего			16	34	94	144
Контроль						36
Итого						180

заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Модели технологических операций в микро- и нанoeлектронике	Модель диффузии Ферми. Двухмерная модель диффузии. Модель Дила – Гроува. Расширение модели. Линейная и параболическая константа скорости окисления. Зависимость толщины оксида кремния от давления, наличия кислой среды, степени легирования кремния. Математическая модель ионной имплантации. Гауссово распределение ионно-имплантированных примесей. Недостатки, нормирование распределения. Распределение Пирсона ионно-имплантированных примесей. Модель конформного осаждения. Модель химического осаждения из газовой фазы. Изотропная модель травления. Модель реактивного ионного травления. Модель плазменного травления. Модель травления, ускоренного легированием. Модели химико-механического полирования.	2	4	80	86
2	Моделирование полупроводниковых приборов в микро- и нанoeлектронике	Технологический маршрут создания биполярного транзистора. Технологический маршрут создания полевого транзистора. Особенности создания транзисторов с барьером Шоттки. Особенности изготовления некремниевых транзисторов.	2	4	79	85
Всего			4	8	159	171
Контроль						9
Итого						180

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Расчет диффузии по модели легирующих примесей в поликремний.
2. Численная реализация модели окисления кремния. Модель COMPRESS. Модель VISCOUS.
3. Применение распределения Пирсона I – VIII.
4. Расчет химического осаждения из газовой фазы.
5. Изотропная модель травления.
6. Моделирование процесса изготовления биполярного транзистора в технологическом редакторе в САПР TCAD
7. Моделирование процесса изготовления полевого транзистора в технологическом редакторе в САПР TCAD
8. Моделирование процесса изготовления полевого транзистора с барьером Шоттки в технологическом редакторе в САПР TCAD
9. Моделирование процесса изготовления полевого транзистора на основе GaAs в технологическом редакторе в САПР TCAD

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Моделирование физических процессов в микро- и нанoeлектронике» предусматривает выполнение курсовой работы во 2 семестре для очной формы обучения, во 2 семестре для заочной формы обучения.

Примерная тематика курсовой работы: «Расчет и проектирование элементов интегральных схем».

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы:

- выбор технологии создания элементов;
- моделирование структуры элементов ИС и их технологического маршрута;
- расчет электрических характеристик элементов ИС.

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

Учебным планом по дисциплине «Моделирование физических процессов в микро- и нанoeлектронике» 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-2	знать средства автоматизации эксперимента;	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять средства автоматизации эксперимента;	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками измерений в реальном времени.	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-3	знать современные средства проведения экспериментальных исследований;	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь выбрать адекватные средства и методы для экспериментальных исследований;	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами проведения экспериментальных исследований;	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	ний.	ракторных работ	в рабочих программах	программах
ПК-8	знать современное состояние предмета;	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь выбрать теоретические и экспериментальные методы решения задач;	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть знаниями о в области электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники.	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 во 2 семестре для очной формы обучения, во 2 семестре для заочной формы обучения по четырех-балльной системе:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл
ПК-2	знать средства автоматизации эксперимента;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь применять средства автоматизации эксперимента;	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 измерений в реальном времени.	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-3	знать современные средства проведения экспериментальных исследований;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь выбрать адекватные средства и методы для экспериментальных исследований;	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 методами проведения экспериментальных исследований.	Решение прикладных задач в конкретной предметной	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

		области				
ПК-8	знать современное состояние предмета;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь выбрать теоретические и экспериментальные методы решения задач;	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 знаниями о в области электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники.	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. Для процесса ионной имплантации наиболее важным является учет:
 1. электронного торможения;
 2. упругих столкновений с ядрами атомов;
 3. неупругих столкновений с ядрами атомов;
 4. электронного и ядерного упругого торможений;
 5. всех видов ядерного торможения.

2. В модели связанной диффузии предполагается участие в диффузионном процессе следующих составляющих:
 1. междоузлий и атомов примеси в междоузельном состоянии;
 2. атомов примеси в замещающем состоянии, междоузлий, вакансий;
 3. вакансий и междоузлий;
 4. вакансий, междоузлий, атомов примеси в замещающем и междоузельном состоянии.

3. В модели связанной диффузии используются допущения:
 1. реакции ионизации являются неравновесными;
 2. реакции ионизации являются равновесными, зарядовые состояния изменяются в диапазоне от -2 до $+2$;
 3. комплексы разных типов не взаимодействуют друг с другом;
 4. реакции ионизации являются неравновесными, зарядовые состояния изменяются в диапазоне от -1 до $+1$.

4. К возможным проявлениям TED-эффекта относится:
 1. взаимное влияние примесей в процессе диффузии;
 2. уменьшение глубины мелкозалегающих p-n переходов при увеличении температуры отжига;
 3. рекристаллизация слоев аморфизированного кремния;
 4. сегрегация примеси на границе кремний/SiO₂;
 5. формирование преципитатов.

5. Взаимодействие примесей в процессе диффузии приводит к следующим эффектам:
1. присутствие бора замедляет диффузию фосфора и не влияет на диффузию мышьяка;
 2. диффузия бора замедляется в хвосте распределения фосфора и ускоряется в хвосте распределения мышьяка;
 3. присутствие мышьяка ускоряет диффузию бора и не влияет на диффузию фосфора;
 4. донорные примеси при совместной диффузии диффундируют быстрее, но не влияют на диффузию мышьяка;
 5. диффузия бора ускоряется в хвосте распределения фосфора и замедляется в хвосте распределения мышьяка.
6. При моделировании структуры прибора в САПР технологического уровня обязательно задается сетка структуры (mesh), состоящая из треугольников (полигонов). Это делается для того, чтобы указать программе, что считать значения электрического параметра нужно:
1. в центре каждого полигона;
 2. в вершинах полигона;
 3. на гранях полигона;
 4. на ребрах полигона.
7. При моделировании ионной имплантации в САПР технологического уровня указывают:
1. название внедряемой примеси, дозу, энергию, угол наклона ионного луча, вращение пластины;
 2. тип внедряемой примеси, дозу, температуру, угол наклона ионного луча, вращение пластины;
 3. название внедряемой примеси, количество внедряемых атомов, напряженность разгоняющего поля, угол внедрения всегда 90° для наилучшего внедрения, вращение пластины;
 4. тип внедряемой примеси, концентрацию, энергию, угол наклона ионного луча, вращать пластину не обязательно.
8. При моделировании в САПР технологического уровня расчет электрических параметров по умолчанию производится методом Ньютона. Особенностью этого метода является:
1. малая точность;
 2. плохая сходимость;
 3. малая скорость;
 4. необходимость начального приближения.
9. При моделировании в САПР технологического уровня, а также в некоторых иных математических пакетах команда выполнения расчета имеет имя:
1. determine;
 2. count;
 3. solve;
 4. decide.
10. Моделирование в САПР технологического уровня позволяет рассчитывать:
1. только уже известные структуры приборов;
 2. только типовые структуры приборов с вариациями параметров;
 3. структуры приборов только с изученными эффектами;
 4. структуры приборов с еще неизученными эффектами, можно сделать открытие.

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

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. Понятие о моделях отдельных процессов и приборов. Их классификация, история развития.
2. Роль математического моделирования технологических процессов и полупроводниковых приборов в микроэлектронике.
3. Обзор пакетов прикладных программ моделирования технологических процессов и полупроводниковых приборов.

4. Классификация уравнений и граничных условий для моделирования полупроводниковых приборов и технологических процессов.
5. Метод конечных разностей. Основные понятия метода.
6. Построение сетки, построение разностных операторов методом полиномов.
7. Построение разностных операторов разложением в ряд Тейлора.
8. Построение системы линейных алгебраических уравнений.
9. Решение системы линейных алгебраических уравнений, метод прогонки.
10. Устойчивость разностных схем. Анализ погрешности аппроксимации.
11. Моделирование термического окисления кремния. Модель Дила – Гроува.
12. Модель Дила – Гроува. Расширение модели Дила – Гроува, рост тонких и толстых слоев окисла.
13. Математическое моделирование диффузии. Постановка задачи, типы граничных условий. Численные методы решения уравнений диффузии.
14. Консервативные схемы. Неявные схемы. Коэффициент диффузии.
15. Многокомпонентная диффузия. Неравновесные процессы при диффузии.
16. Численные методы расчетов диффузионных моделей. Явный метод Эйлера
17. Численные методы расчетов диффузионных моделей. Неявный метод Эйлера
18. Численные методы расчетов диффузионных моделей. Метод Дюфора-Френкеля.
19. Численные методы расчетов диффузионных моделей. Метод Кранка-Никольсона.
20. Моделирование процесса ионного легирования.

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)	Код контролируе-	Наименование
-------	-------------------------------	------------------	--------------

	дисциплины	мой компетенции (или ее части)	оценочного средства
1	Модели технологических операций в микро- и нанoeлектронике	ПК-2, ПК-3, ПК-8	Тест, защита лабораторных работ, защита курсовой работы
2	Моделирование полупроводниковых приборов в микро- и нанoeлектронике	ПК-2, ПК-3, ПК-8	Тест, защита лабораторных работ, защита курсовой работы

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 экзаменатором и выставляется оценка согласно методики 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 экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики 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 экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики 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

1. Петров М.Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем: учеб. пособие / М.Н. Петров, Г.В. Гудков. – СПб.: Лань, 2011. – 462 с.

2. Арсентьев А.В. Моделирование технологических процессов: учеб. пособие / А.В. Арсентьев, А.В. Строгонов, Д.С. Шацких. – Воронеж: ГОУВПО «ВГТУ», 2011 [Электронный ресурс].

3. Самарский А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры: монография / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2005. – 320 с.

4. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: в 2 ч. Ч. 1: Технологические процессы изготовления кремниевых

интегральных схем и их моделирование / М.А. Королёв, Т.Ю. Крупкина, М.А. Ревелева; под общей ред. Ю. А. Чаплыгина. – 3-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 397 с.

5. Бордаков Е.В. Математическое моделирование технологических процессов, полупроводниковых приборов и элементов интегральных схем: конспект лекций / Е.В. Бордаков, А.И. Прокопьев. – Воронеж: ВГТУ, 1996. – 53с.

6. Горячкин Ю.В. Физико-топологическое моделирование в САПР TCAD: учебное пособие для вузов / Ю.В. Горячкин, С.А. Нестеров, Б.П. Сурин. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2006. – 124 с.

7. Бубенников А.Н. Моделирование интегральных микротехнологий, приборов и схем: учеб. пособие / А.Н. Бубенников. – М.: Высш. шк., 1989. – 320с.

8. Мулярчик С.Г. Численное моделирование микроэлектронных структур: монография / С.Г. Мулярчик. – Мн.: Университетское, 1989. – 368 с.

9. Абрамов И.И. Численное моделирование элементов интегральных схем: учеб. пособие / И.И. Абрамов, В.В. Харитонов; под ред. А.Г. Шашкова. – Мн.: Вышэйш. шк., 1990. – 224 с.

10. Абрамов И.И. Моделирование элементов интегральных схем: курс лекций: учеб. пособие для вузов / И.И. Абрамов. – Мн.: Изд-во БГУ, 1999. – 94 с.

11. Моделирование полупроводниковых приборов и технологических процессов: Последние достижения: сб. ст. / под ред. Д. Миллера; пер. с англ. М.С. Обрехта; под ред. Г.В. Гадияка. – М. : Радио и связь, 1989. – 278 с.

12. Зыков Д.Д. Проектирование и технология электронной компонентной базы. Основы САПР Synopsys TCAD: учеб. пособие / Д.Д. Зыков. – Томск: ТУСУР, 2012. – 76 с. [Электронный ресурс].

13. Арсентьев А.В. Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1 – 4 по дисциплине «Математическое моделирование технологических процессов и ИМС» / А.В. Арсентьев, Е.Ю. Плотникова. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2013 (№ 298-2013).

14. 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, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Методические указания к выполнению лабораторных работ представлены на сайте: <http://cchgeu.ru/>.

Образовательный портал ВГТУ: <https://old.education.cchgeu.ru>

Системные программные средства: Microsoft Windows.

Прикладные программные средства: Инструменты Microsoft DreamSpark, FireFox, симулятор SUPREM.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ

ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой.

2. Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для выполнения расчетов, и рабочими местами для проведения лабораторных работ и самостоятельной подготовки обучающихся с выходом в «Интернет».

10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Моделирование физических процессов в микро- и нанoeлектронике» 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 компьютерах в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

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

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

Контроль усвоения материала дисциплины производится путем тестирования, проверкой выполнения и защитой лабораторных работ, проверкой 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; пометить 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 удастся 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.

<p>Самостоятельная работа</p>	<p>Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоения учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:</p> <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.
<p>Подготовка к промежуточной аттестации</p>	<p>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.</p>

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата вне- сения из- менений	Подпись заведую- щего кафедрой, от- ветственной за реа- лизацию ОПОП
1			
2			
3			
4			
5			