

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 03.10.2023 10:10:22

Уникальный идентификатор:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Методы математического моделирования

Закреплена за подразделением

Кафедра ППЭ и ФПП

Направление подготовки

11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Квалификация

Магистр

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

5 ЗЕТ

Часов по учебному плану

180

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 1

аудиторные занятия

68

курсовая работа 1

самостоятельная работа

58

часов на контроль

54

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	1 (1.1)		Итого	
	УП	РП	УП	РП
Неделя	18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Лабораторные	17	17	17	17
Практические	34	34	34	34
Итого ауд.	68	68	68	68
Контактная работа	68	68	68	68
Сам. работа	58	58	58	58
Часы на контроль	54	54	54	54
Итого	180	180	180	180

Программу составил(и):

кфмн, доцент, Юрчук Сергей Юрьевич

Рабочая программа

Методы математического моделирования

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 05.03.2020 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.04.04 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ, 11.04.04-МЭН-23-2.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.04.04 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра ШЭ и ФШ

Протокол от 21.06.2022 г., №11

Руководитель подразделения Диденко С.И.

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	Обучить анализу процессов и устройств нанoeлектроники для построения математических моделей и методам математического моделирования нанотехнологий и нанообъектов.
1.2	Научить поиску оптимальных решений при создании продукции на основе моделирования и с учетом требований качества, надежности; использовать программные средства полупроводниковых наноструктур.

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.В
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	
2.2.1	Компьютерные технологии в научных исследованиях	
2.2.2	Микросхемотехника	
2.2.3	Планирование научной деятельности	
2.2.4	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.2.5	Технология наногетероструктур	
2.2.6	Оборудование для производства наногетероструктурных солнечных элементов	
2.2.7	Основы надежности элементной базы электроники в условиях ионизирующего излучения космического пространства	
2.2.8	Основы научно-технического перевода с иностранных языков	
2.2.9	Перспективная фотовольтаика	
2.2.10	Проектирование и технология электронной компонентной базы	
2.2.11	Радиационно-технологические процессы в электронике	
2.2.12	Физика СВЧ полупроводниковых приборов	
2.2.13	Электронные и оптические свойства широкозонных соединений A2B6	
2.2.14	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.15	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ОПК-3: Способен приобретать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач	
Знать:	
ОПК-3-31 Объекты и процессы нанoeлектроники	
ОПК-3-32 Методы поиска, систематизации и анализа новой информации для решения задач нанoeлектроники	
ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций	
Знать:	
ПК-2-31 Основные технологические операции нанoeлектроники	
ОПК-2: Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения сложных задач в профессиональной области	
Знать:	
ОПК-2-31 Современные методы исследования наноструктур и нанотехнологий.	
ОПК-2-32 Методы компьютерного исследования нанообъектов.	
ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций	
Уметь:	
ПК-2-У1 Анализировать технологические процессы нанoeлектроники с целью их оптимизации для достижения поставленных задач	
ОПК-3: Способен приобретать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач	
Уметь:	
ОПК-3-У1 Использовать новую информацию о процессах и объектах нанoeлектроники для подготовки математических	

моделей
ОПК-2: Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения сложных задач в профессиональной области
Уметь:
ОПК-2-У1 Ставить задачи по проведению исследований наноструктур и нанотехнологий.
ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций
Владеть:
ПК-2-В1 Методами оптимизации технологических процессов на основе математического моделирования
ОПК-2: Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения сложных задач в профессиональной области
Владеть:
ОПК-2-В1 Методами проведения компьютерного эксперимента.
ОПК-3: Способен приобретать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач
Владеть:
ОПК-3-В1 Методами разработки новых моделей для решения поставленных задач нанoeлектроники

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	Раздел 1. Физико-топологическое моделирование полупроводниковых структур							
1.1	Физико-топологическое моделирование полупроводниковых структур /Лек/	1	4	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-3-31 ПК-2-31	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.6 Л2.1Л3.1 Э1 Э2			
1.2	Подготовка к практическому занятию. Вывод коэффициентов для решения уравнения Пуассона. Поиск данных о материале заданной структуры и информации для расчета граничных условий /Ср/	1	3	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-3-31 ОПК-3-У1	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.6 Л2.1Л3.1 Э1 Э2			
1.3	Разработка алгоритма решения уравнения Пуассона /Пр/	1	6	ОПК-2-32 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.6 Л2.1Л3.1 Э1 Э2			
1.4	Разработка программы для решения уравнения Пуассона. /Ср/	1	3	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ОПК-3-В1	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.6 Л2.1Л3.1 Э1 Э2			
1.5	Решение уравнения Пуассона для заданной структуры. Расчеты распределения потенциала и напряженности электрического поля /Лаб/	1	4	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-В1 ОПК-3-31	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.6 Л2.1Л3.1 Э1 Э2	Занятие проводится в компьютерном классе к-420		

1.6	Подготовка к практическому заданию. Вывод коэффициентов для решения уравнения непрерывности. Поиск данных для расчетов оптической генерации. /Ср/	1	3	ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ОПК-3-У1	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.6 Л2.11Л3.1 Э1 Э2			
1.7	Разработка алгоритма решения уравнения непрерывности. /Пр/	1	6	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.6 Л2.11Л3.1 Э1 Э2			
1.8	Разработка программы для решения уравнения непрерывности. /Ср/	1	3	ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.6 Л2.11Л3.1 Э1 Э2			
1.9	Решение уравнения непрерывности для заданной структуры. Расчеты распределения подвижных носителей заряда. Расчет фототока /Лаб/	1	2	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-В1 ОПК-3-31	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.6 Л2.11Л3.1 Э1 Э2	Занятие проводится в компьютерном классе к-420		
1.10	Подготовка к защите лабораторных работ. Подготовка отчетов. /Ср/	1	3	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-В1 ОПК-3-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.6 Л2.11Л3.1 Э1 Э2		КМ2,КМ3	Р1,Р2,Р3,Р4
	Раздел 2. Математическое моделирование фотолитографических процессов при создании субмикронных структур и нанометровым размеров							
2.1	Оптическая литография. Проекционная литография. Формирование изображения. Использование метода Фурье для моделирования изображения. /Лек/	1	2	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-3-31 ПК-2-31	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.3 Л2.13 Э1 Э2			
2.2	Подготовка к практическому занятию. Разработка алгоритма расчета распределения интенсивности оптического излучения на поверхности фоторезиста. /Ср/	1	3	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ОПК-3-У1 ПК-2-31	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.3 Л2.6 Л2.13 Э1 Э2			
2.3	Расчеты распределения интенсивности оптического излучения на поверхности фоторезиста. /Пр/	1	6	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-В1 ОПК-3-31	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.3 Л2.6 Л2.13 Э1 Э2		КМ4	Р5
2.4	Моделирование формирования изображения в фоторезисте. Моделирование процесса травления фоторезиста. /Лек/	1	2	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-3-31 ПК-2-31	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.3 Л2.6 Л2.13 Э1 Э2			
2.5	Подготовка к лабораторной работе. Разработка алгоритмов экспонирования и травления фоторезиста. /Ср/	1	3	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1 ПК-2-31	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.3 Л2.6 Л2.13 Э1 Э2			

2.6	Расчеты процессов экспонирования и травления фоторезиста. /Лаб/	1	4	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-В1 ОПК-3-31 ПК-2-31	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.3 Л2.6 Л2.13 Э1 Э2	Занятие проводится в компьютерном классе к-420		
2.7	Подготовка к защите лабораторной работы. Подготовка отчета /Ср/	1	3	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-В1 ОПК-3-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.3 Л2.6 Л2.13			
Раздел 3. Математическое моделирование процессов электронной литографии								
3.1	Моделирование процесса электронной литографии. Теория электронной эмиссии. Моделирование эффекта близости при электронной литографии. /Лек/	1	2	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-3-31 ПК-2-31	Л1.1 Л1.1Л2.3 Л2.5 Л2.13 Э1 Э2			
3.2	Подготовка к практическому занятию. Разработка алгоритма моделирования рассеяния электронов. /Ср/	1	3	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ОПК-3-У1 ПК-2-31	Л1.1 Л1.1Л2.3 Л2.5 Л2.6 Л2.13 Э1 Э2			
3.3	Моделирование рассеяния электронов в твердом теле. /Пр/	1	6	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-В1 ОПК-3-31 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.1Л2.3 Л2.5 Л2.6 Л2.13 Э1 Э2	Занятие проводится в компьютерном классе к-420	КМ6	Р7
Раздел 4. Атомистическое моделирование процессов осаждения								
4.1	Использование метода Монте-Карло при моделировании процессов осаждения. Алгоритм Метрополиса. /Лек/	1	2	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-3-31 ПК-2-31	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.5 Л2.6 Л2.10 Л2.12 Э1 Э2			
4.2	Подготовка к практическому занятию. Разработка алгоритма моделирования эпитаксиального роста кинетическим методом Монте-Карло. /Ср/	1	3	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1 ПК-2-31	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.5 Л2.10 Л2.12 Э1 Э2			
4.3	Моделирование эпитаксиального роста кинетическим методом Монте-Карло. /Пр/	1	6	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-В1 ОПК-3-31 ПК-2-31	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.5 Л2.6 Л2.10 Л2.12 Э1 Э2	Занятие проводится в компьютерном классе к-420	КМ7	Р8
4.4	Моделирование наносистем методами молекулярной динамики. Алгоритм Бимона. /Лек/	1	3	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-В1 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ПК-2-31	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.1 Л2.3 Л2.5 Л2.6 Л2.10 Л2.12 Э1 Э2			

4.5	Подготовка алгоритма моделирования наносистем методами молекулярной динамики. /Ср/	1	3	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1 ПК-2-31	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.1 Л2.3 Л2.5 Л2.6 Л2.10 Л2.12 Э1 Э2				
4.6	Моделирование процесса эпитаксиального роста методами молекулярной динамики. /Лаб/	1	4	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-В1 ОПК-3-31 ПК-2-31	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.1 Л2.3 Л2.5 Л2.6 Л2.10 Л2.12 Э1 Э2	Занятие проводится в компьютерном классе к-420			
4.7	Подготовка к защите лабораторной и практической работ. /Ср/	1	3	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-В1 ОПК-3-31 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.5 Л2.6 Л2.10 Л2.12 Э1 Э2		КМ8	Р9	
Раздел 5. Моделирование кремниевых приборных структур с учётом квантовых эффектов									
5.1	Физика полупроводников с пониженной размерностью. Уравнение Шредингера. Структуры с двумерным электронным газом. /Лек/	1	2	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ПК-2-31	Л1.1Л2.4 Л2.5 Л1.1 Л1.1 Л3.1				
5.2	Подготовка к лабораторной работе. Разработка алгоритма решения уравнения Шредингера. /Ср/	1	2	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1 ПК-2-31	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.2 Л2.4 Л2.5 Л2.6				
5.3	Численное решение уравнения Шредингера. /Лаб/	1	3	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-В1 ОПК-3-31 ПК-2-31	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.4 Л2.5 Л2.6	Занятие проводится в компьютерном классе к-420	КМ9	Р10	
5.4	Моделирование совместного решения уравнения Пуассона и уравнения Шредингера /Пр/	1	4	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1	Л2.5 Л2.11 Л3.1Л1.1 Л1.1		КМ11	Р12	
5.5	Подготовка к защите лабораторной работы и индивидуального задания к практическому занятию /Ср/	1	3	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-В1 ОПК-3-31 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.4 Л2.5 Л2.6				
Раздел 6. Курсовая работа Моделирование технологических процессов и структур нанoeлектроники									

6.1	Выполнение курсовой работы в соответствии с индивидуальным заданием /Ср/	1	17	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13Л3.1 Э1 Э2		КМ10	Р11
-----	--	---	----	---	--	--	------	-----

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Экзамен	ОПК-3-31;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ПК-2-31;ОПК-2-В1;ПК-2-В1	<p>Параметры и характеристики приборов и процессов наноэлектроники:</p> <p>Полупроводниковые структуры наноэлектроники. Методы моделирования их характеристик.</p> <p>Основные литографические процессы электроники. Их характеристики.</p> <p>Технологический процесс фотолитографии. Основные этапы процесса фотолитографии их характеристики.</p> <p>Основные характеристики фотолитографической установки.</p> <p>Технологический процесс электронной литографии. Его характеристики.</p> <p>Технологический процесс молекулярно-лучевой эпитаксии. Его основные характеристики.</p> <p>Плазмохимическое осаждение, моделирование роста покрытий в условиях бомбардировки высокоскоростными атомами.</p> <p>Двумерные квантовые полупроводниковые структуры и их основные характеристики двумерных полупроводниковых структур.</p> <p>Гетеропереходы с модулированным легированием.</p> <p>Структуры полевых МОП-транзисторов (MOSFET). Основные характеристики.</p> <p>Модуляционно-легированные полевые транзисторы (MODFET).</p> <p>Одноэлектронные транзисторы. Принцип работы и основные характеристики.</p> <p>Фундаментальная система уравнений для моделирования полупроводниковых структур.</p> <p>Влияние дифракции оптического излучения на процесс формирования изображения.</p> <p>Распределение интенсивности излучения в фоторезисте при экспонировании.</p> <p>Теория электронной эмиссии. Формирование пучка электронов.</p> <p>Модели рассеяния электронов в твердых телах.</p> <p>Эффект близости и факторы, влияющие на это явление.</p> <p>Термостат Нозе-Хувера (метод расширенной системы).</p> <p>Термостат Ланжевена.</p> <p>Динамика классических взаимодействующих частиц.</p> <p>Модели взаимодействия частиц в системе. Потенциал межчастичного взаимодействия Ленарда-Джонса.</p> <p>Прямоугольная потенциальная яма конечной глубины. Основные характеристики.</p> <p>Параболическая и треугольная квантовые ямы. Основные характеристики.</p> <p>Квантовые проволоки. Методы получения. Основные характеристики.</p> <p>Квантовые точки. Методы получения. Основные характеристики.</p> <p>Зонная структура в квантовых ямах.</p> <p>Экранирование электрического поля в структурах пониженной размерности. Приповерхностная область пространственного заряда.</p>

		<p>Поверхностное квантование.</p> <p>Ставить задачи по проведению исследований наноструктур и нанотехнологий:</p> <p>Основные задачи решаемые при моделировании полупроводниковых структур.</p> <p>Задачи, решаемые при моделировании оптической литографии.</p> <p>Определение критических характеристик процесса фотолитографии, влияющих разрешающую способность процесса фотолитографии.</p> <p>Основные задачи, решаемые при моделировании процесса электронной литографии. Подходы к их решению.</p> <p>Задачи, решаемые методом молекулярной динамики. Основные подходы к их решению.</p> <p>Задачи, решаемые при проведении процесса молекулярно-лучевой эпитаксии, и подходы к их моделированию.</p> <p>Влияние параметров моделирования на результаты моделирования процесса молекулярно-лучевой эпитаксии.</p> <p>Основные задачи, решаемые при моделировании эффектов квантования полупроводниковых структур.</p> <p>Современные методы исследования наноструктур и нанотехнологий:</p> <p>Моделирование формирования изображения на поверхности при оптической литографии.</p> <p>Моделирование формирования профиля изображения в фоторезисте при экспонировании.</p> <p>Ограничения оптической литографии. Компьютерное изучения влияния ограничений на результаты проведения процесса.</p> <p>Моделирование рассеяния электронов в твердых телах методом Монте Карло.</p> <p>Метод Монте-Карло. Генерация случайных чисел. Области применения.</p> <p>МД-моделирование систем в контакте с тепловой ванной–термостатом.</p> <p>Методы решения стационарного уравнения Шредингера.</p> <p>Методы решения нестационарного уравнения Шредингера.</p> <p>Методы компьютерного исследования нанообъектов:</p> <p>Конструирование полупроводниковых структур с заданными характеристиками методами моделирования.</p> <p>Компьютерное исследования профиля изображения после проведения процесса фотолитографии.</p> <p>Коррекция изображения при электронной литографии.</p> <p>Компьютерное исследование.</p> <p>Численное решение алгебраических уравнений и интегрирование методом Монте-Карло.</p> <p>Применение метода Монте Карло к неравновесным системам.</p> <p>Уравнение Ланжевена.</p> <p>Методы моделирования систем взаимодействующих частиц.</p> <p>Принципы моделирования систем методами молекулярной динамики.</p> <p>Уравнение Шредингера. Методы его решения.</p> <p>Влияние электрического поля на свойства квантоворазмерных наноструктур. Методы моделирования.</p> <p>Методы математического решения задач наноэлектроники:</p> <p>Методы решения фундаментальной системы уравнений полупроводниковых структур. Уравнение Пуассона.</p> <p>Методы решения фундаментальной системы уравнений полупроводниковых структур. Уравнение непрерывности.</p> <p>Методы решения фундаментальной системы двумерных уравнений полупроводниковых структур. Уравнение Пуассона.</p> <p>Методы решения фундаментальной системы двумерных уравнений полупроводниковых структур. Уравнение непрерывности.</p> <p>Метод прогонки для решения одномерных уравнений Пуассона и непрерывности.</p> <p>Метод прогонки для решения двумерных уравнений Пуассона и</p>
--	--	---

			<p>непрерывности.</p> <p>Моделирование формирования изображения на поверхности при оптической литографии.</p> <p>Моделирование изображения с помощью формирования ряда Фурье.</p> <p>Моделирование процесса экспонирования оптической литографии.</p> <p>Моделирование процесса травления фоторезиста. Метод струны.</p> <p>Интегрирование уравнений движения Ньютона. Его использование при моделировании методом молекулярной динамики.</p> <p>Интегрирование уравнений движения Ньютона. Метод Верле.</p> <p>Алгоритм моделирования процесса молекулярно-лучевой эпитаксии.</p>
КМ2	Защита задания к ПР1 и ЛР1. Разработка алгоритма решения уравнения Пуассона	ОПК-3-31;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-В1;ПК-2-У1;ПК-2-В1	<p>Какие данные могут быть получены из решения уравнения Пуассона?</p> <p>Приближение Шокли для распределения потенциала в рп-перехода. Что такое квазиуровни Ферми электронов и дырок? Чем они отличаются от уровня Ферми?</p> <p>Что такое квазипотенциалы Ферми электронов и дырок?</p> <p>Какие граничные условия задаются для решения уравнения Пуассона?</p> <p>Методики численного решения уравнения Пуассона?</p> <p>Напишите уравнения Пуассона в разностной форме?</p> <p>Метод прогонки.</p> <p>Методика определения прогоночных коэффициентов для решения уравнения Пуассона.</p> <p>Опишите алгоритм решения уравнения Пуассона методом прогонки.</p> <p>Нарисуйте блок-схему решения уравнения Пуассона методом прогонки.</p> <p>Опишите методику задания начального приближения потенциала.</p> <p>Преимущества и недостатки.</p> <p>Опишите методику достижения заданной точности решения уравнения Пуассона.</p> <p>Опишите методику визуализации результатов расчетов.</p> <p>Методика расчета распределения напряженности электрического поля.</p> <p>Опишите блок программы, обеспечивающий решение уравнение Пуассона методом прогонки.</p> <p>Основные подходы к оптимизации структуры с целью получения заданного распределения напряженности электрического поля.</p> <p>Опишите результаты моделирования и оцените их правильность.</p>

КМ3	Защита задания к ПР2 и ЛР2. Решение уравнения непрерывности для заданной структуры.	ОПК-3-31;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-В1;ПК-2-У1;ПК-2-В1	<p>Уравнение непрерывности, его физический смысл. Процессы, приводящие к изменению концентрации подвижных носителей заряда в локальной области. Стационарное и нестационарное уравнения непрерывности. Напишите стационарное уравнение непрерывности для электронов и дырок. Какие данные могут быть получены из решения уравнения непрерывности? Основные процессы генерации и рекомбинации подвижных носителей заряда полупроводниках. Какие граничные условия задаются для решения уравнения непрерывности? Методика численного решения уравнения непрерывности? Напишите уравнения непрерывности в разностной форме? Методика определения прогоночных коэффициентов для решения уравнения непрерывности. Опишите алгоритм решения уравнения непрерывности методом прогонки. Нарисуйте блок-схему решения уравнения непрерывности методом прогонки. Моделирование распределения скорости генерации. Моделирование скорости рекомбинации при решении уравнения непрерывности. Опишите методику задания начального приближения распределения подвижных носителей заряда. Опишите методику достижения заданной точности решения стационарного уравнения непрерывности. Отличия задания точности и способов ее достижения для стационарного и нестационарного уравнений непрерывности. Опишите методику визуализации результатов расчетов. Опишите основные блоки программы решения уравнения непрерывности. Опишите блок программы, обеспечивающий решение уравнение непрерывности методом прогонки. Опишите факторы, влияющие на распределение подвижных носителей заряда в полупроводниковой структуры. Опишите методику расчета фототока после получения результатов решения уравнения непрерывности.</p>
КМ4	Защита задания к ПР3. Расчеты распределения интенсивности оптического излучения на поверхности фоторезиста.	ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-В1;ОПК-3-31	<p>Фотолитография. Технологические принципы проведения процесса. Основные этапы моделирования процесса фотолитографии. Оптическая схема фотолитографической установки. Схема формирования изображения при проекционной литографии. Основные характеристики фотолитографической установки. Типичная дифракционная картина при разных способах литографии. Распределение дифракционных пиков при проекционной литографии. Моделирование изображения с помощью ряда Фурье. Опишите алгоритм моделирования распределения интенсивности оптического излучения.</p>
КМ5	Защита задания к ЛР3. Расчеты процессов экспонирования и травления фоторезиста.	ОПК-3-31;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-В1;ПК-2-У1;ПК-2-В1	<p>Основные задачи, решаемые при экспонировании фоторезиста. Негативные и позитивные фоторезисты. Что такое фоточувствительность фоторезиста? Физические принципы распределение оптического излучения в фоторезисте. Расчеты относительной концентрации ингибитора. Уравнения для расчета концентрации ингибитора. Параметры уравнений. Методы решения. Функция скорости травления фоторезиста. Моделирование процесса травления с помощью метода струны. Способы графического описания результатов моделирования. Опишите основные блоки программ моделирования экспонирования и травления фоторезиста.</p>

КМ6	Защита задания к ПР4. Моделирование рассеяния электронов в твердом теле.	ОПК-3-31;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-В1;ПК-2-31;ПК-2-У1;ПК-2-В1	Преимущества электронной литографии. Схема электронно-лучевой литографической установки. Физические принципы формирования изображения при электронно-лучевой литографии. Моделирование процесса рассеяния электронов с помощью формулы Резерфорда. Основные этапы моделирования процессов рассеяния электронов по методу Монте-Карло. Практическое использование результатов моделирования пробегов ионов для формирования изображения.
КМ7	Защита задания к ПР5. Моделирование эпитаксиального роста кинетическим методом Монте - Карло.	ОПК-3-31;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-В1;ПК-2-31	Основные принципы использования метода Монте-Карло для решения процессов газодинамики. Распределение Больцмана. Кинетическое уравнение Больцмана для изучения переноса тепла и электрического заряда в жидкостях и газах. Интеграл столкновений. Алгоритм Метрополиса. Кинетический метод Монте-Карло. Алгоритм проведения моделирования и интегрирование результатов.
КМ8	Защита ЛР4. Моделирование процесса эпитаксиального роста методами молекулярной динамики.	ОПК-3-31;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-В1;ПК-2-31;ПК-2-У1;ПК-2-В1	Основы метода молекулярной динамики. Задачи, решаемы методом молекулярной динамики. Ньютоновские уравнения движения частиц. Модели взаимодействия частиц. Потенциал Леннарда-Джонса. Начальные условия для моделирования методом молекулярной динамики. Схема метода молекулярной динамики. Интегрирование уравнения движения Ньютона. Метод Верле. Условие периодичности при моделировании пространственного распределения частиц. Алгоритм Бимона. Основные физико-химические процессы эпитаксии. Схематическое представление механизмов роста эпитаксиальной пленки. Блок-схема алгоритма моделирования процесса МЛЭ. Опишите основные блоки программы моделирования. Опишите полученные результаты.
КМ9	Защита задания ЛР5. Численное решение уравнения Шредингера.	ОПК-3-31;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-В1;ПК-2-31	Приведите примеры квантоворазмерных структур. Напишите стационарное и нестационарное уравнение Шредингера и опишите входящие в него параметры. Что такое волновая функция. Потенциальная яма и её описание. Собственные значения энергии для решения уравнения непрерывности. Аналитическое решение уравнения Шредингера для прямоугольной квантовой ямы. Граничные условия для решения уравнения Шредингера. Напишите уравнение Шредингера в разностной форме. Опишите методику численного решения уравнения Шредингера. Опишите основные блоки программы решения уравнения Шредингера. Опишите результаты моделирования, полученные при решении уравнения Шредингера.

КМ10	Защита Курсовой работы. Моделирование технологических процессов и структур наноэлектроники	ОПК-3-31;ОПК-3-32;ОПК-3-У1;ОПК-3-В1;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;ПК-2-31;ПК-2-У1;ПК-2-В1	Контрольные вопросы к защите Курсовой работы определяются заданием на моделирования определенного технологического процесса или структуры. Обобщенные вопросы: Задачи, поставленные для моделирования процесса или структуры. Опишите технологический процесс (структуру) представленной для моделирования. Опишите основные физико-химические принципы технологического процесса или физические принципы функционирования структуры. Опишите основные этапы подготовки модели для моделирования. Опишите блок-схему программы моделирования. Опишите основные блоки программы моделирования процесса или структуры. Опишите методику проведения численного эксперимента для оптимизации режимов технологического процесса или топологии структуры. Опишите результаты моделирования технологического процесса или структуры наноэлектроники. Покажите практическую значимость полученных результатов.
КМ11	Защита задания к ПЗ6. Моделирование совместного решения уравнения Пуассона и уравнения Шредингера	ОПК-3-31;ОПК-3-32;ОПК-3-У1;ОПК-3-В1;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-У1	Уравнение Шредингера в приближении эффективной массы БенДаниэла-Дюка Методы решения дифференциальных уравнений с трехдиагональной матрицей Концентрация подвижных носителей заряда из расчета интеграла Ферми Численное решение уравнения электронейтральности Итерационная схема решения уравнения Шредингера Граничные условия Дирихле для уравнения Шредингера Распределение концентрации носителей заряда в квантовой яме с учетом волновой функции Расчет вольт-фарадной характеристики методом квазистатического расчета

5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)

Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
Р1	Разработка алгоритма решения уравнения Пуассона (ПЗ1)	ОПК-3-31;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-В1;ПК-2-У1;ПК-2-В1	Вывод коэффициентов для решения уравнения Пуассона. Поиск данных о материале заданной структуры и информации для расчета граничных условий
Р2	Решение уравнения Пуассона для заданной структуры (ЛР1)	ОПК-3-31;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-В1;ПК-2-У1;ПК-2-В1	Разработка программы для решения уравнения Пуассона. Расчеты распределения потенциала и напряженности электрического поля.
Р3	Разработка алгоритма решения уравнения непрерывности (ПЗ2)	ОПК-3-31;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-В1;ПК-2-У1;ПК-2-В1	Вывод коэффициентов для решения уравнения непрерывности. Поиск данных для расчетов оптической генерации.
Р4	Решение уравнения непрерывности для заданной структуры (ЛР2)	ОПК-3-31;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-В1;ПК-2-У1;ПК-2-В1	Разработка программы для решения уравнения непрерывности. Расчеты распределения подвижных носителей заряда. Расчет фототока.
Р5	Расчеты распределения интенсивности оптического излучения на поверхности фоторезиста. (ПЗ3)	ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-В1;ОПК-3-31	Подготовка к практическому занятию. Разработка алгоритма расчета распределения интенсивности оптического излучения на поверхности фоторезиста.
Р6	Расчеты процессов экспонирования и травления фоторезиста (ЛР3)	ОПК-3-31;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-В1;ПК-2-У1;ПК-2-В1	Разработка алгоритмов экспонирования и травления фоторезиста. Проведение расчетов.

P7	Моделирование рассеяния электронов в твердом теле (ПЗ4)	ОПК-3-31;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-В1;ПК-2-31;ПК-2-У1;ПК-2-В1	Разработка алгоритма моделирования рассеяния электронов. Проведение расчетов.
P8	Моделирование эпитаксиального роста кинетическим методом Монте - Карло. (ПЗ5)	ОПК-3-31;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-В1;ПК-2-31	Разработка алгоритма моделирования эпитаксиального роста кинетическим методом Монте - Карло. Проведение расчетов.
P9	Моделирование процесса эпитаксиального роста методами молекулярной динамики. (ЛР4)	ОПК-3-31;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-В1;ПК-2-31;ПК-2-У1;ПК-2-В1	Подготовка алгоритма моделирования наносистем методами молекулярной динамики. Проведение расчетов.
P10	Численное решение уравнения Шредингера. (ЛР5)	ОПК-3-31;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-В1;ПК-2-31	Разработка алгоритма решения уравнения Шредингера. Подготовка программы. Проведение расчетов.
P11	Проведение моделирования приборов или процессов наноэлектроники в соответствии с заданием (Курсовая работа)	ОПК-3-31;ОПК-3-32;ОПК-3-У1;ОПК-3-В1;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;ПК-2-31;ПК-2-У1;ПК-2-В1	Подготовка модели прибора или процесса наноэлектроники. Разработка алгоритма решения задачи. Подготовка программы решения. Проведение расчетов.
P12	Разработка программы совместного решения уравнений Пуассона и Шредингера	ОПК-3-31;ОПК-3-32;ОПК-3-У1;ОПК-3-В1;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-У1	Подготовка к практическому занятию. Разработка алгоритма расчета концентрации носителей заряда в квантовых ямах.

5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Экзаменационный билет состоит из трех теоретических вопросов из различных разделов дисциплины. Комплект билетов хранится на кафедре.

5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

К экзамену студент допускается при условии выполнения всех контрольных мероприятий в семестре (практические и лабораторные работы, домашнее задание) и получении положительной оценки при защите.

Оценка за экзамен рассчитывается как среднеарифметическая по трем вопросам билета, при условии, что все вопросы написаны на положительную оценку.

По дисциплине предполагается следующая шкала оценок:

- а) «отлично» – студент показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу;
- б) «хорошо» – студент показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал;
- в) «удовлетворительно» – студент показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике;
- г) «неудовлетворительно» – студент допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы;

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
---------------------	----------	------------	-------------------

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Кунос А. И., Юдин В. В.	Технология производства полупроводниковых приборов: для вузов по спец. 'Полупроводники и диэлектрики' и 'Полупроводниковые приборы'	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1979
6.1.2. Дополнительная литература				
	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Кручинин Н. Ю.	Метод молекулярной динамики при изучении структуры и конформационной динамики макромолекул на поверхностях твердых адсорбентов и в нанокластерах: учебное пособие	Электронная библиотека	Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2016
Л2.2	Соболь И. М., Пирогова Г. Я.	Численные методы Монте-Карло	Электронная библиотека	Москва: Наука, 1973
Л2.3	Королёв М. А., Крупкина Т. Ю., Ревелева М. А., Чаплыгин Ю. А.	Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем	Электронная библиотека	Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015
Л2.4	Щука А. А., Сигов А. А.	Нанoeлектроника: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015
Л2.5	Зебрев Г. И.	Физические основы кремниевой нанoeлектроники: учебное пособие для вузов	Электронная библиотека	Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015
Л2.6	Юрчук С. Ю., Орлова М. Н.	Основы математического моделирования: учеб. пособие	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2009
Л2.7	Степаненко И. П.	Основы микроэлектроники: Учеб. пособие для вузов по спец. 'Полупроводники и диэлектрики' и 'Полупроводниковые и микроэлектронные приборы'	Библиотека МИСиС	М.: Сов.радио, 1980
Л2.8	Тихонов А. Н., Самарский А. А.	Уравнения математической физики: учеб. пособие для вузов	Библиотека МИСиС	М.: Наука, 1977
Л2.9	Зи С. М., Трутко А. Ф.	Физика полупроводниковых приборов: пер. с англ.	Библиотека МИСиС	М.: Энергия, 1973
Л2.10	Полистанский Ю. Г., Александрова Е. А.	Физическая химия и технология полупроводниковых материалов и элементов микроэлектроники: Метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию для студ. спец. 0643, 0604	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1986
Л2.11	Юрчук С. Ю., Мурашев В. Н.	Моделирование полупроводниковых приборов: Курс лекций для студ. спец. 200100- Микроэлектроника и твердотельная электроника	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2001

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.12	Юрчук С. Ю.	Компьютерное моделирование нанотехнологий, наноматериалов и наноструктур. Моделирование наносистем методами молекулярной динамики: курс лекций	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2013
Л2.13	Юрчук С. Ю.	Компьютерное моделирование нанотехнологий, наноматериалов и наноструктур. Математическое моделирование фотолитографических процессов и процессов электронной литографии при создании субмикронных структур с нанометровыми размерами: курс лекций	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2013

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Юрчук С. Ю.	Методы математического моделирования (N 2938): учеб. пособие	Электронная библиотека	М.: [МИСиС], 2018

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Электронная библиотека МИСиС	http://elibrary.misis.ru/browse.php
Э2	Электронная библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/

6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Win Pro 10 32-bit/64-bit
П.2	Microsoft Visual Studio 2015

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
К-420	Аудитория для самостоятельной работы	стационарные компьютеры - 10 шт., пакет лицензионных программ MS Office, доска аудиторная меловая/маркерная, комплект учебной мебели
К-420	Аудитория для самостоятельной работы	стационарные компьютеры - 10 шт., пакет лицензионных программ MS Office, доска аудиторная меловая/маркерная, комплект учебной мебели
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Читальный зал №3 (Б)		комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.

Читальный зал №4 (Б)		комплект учебной мебели на 20 рабочих мест, компьютеры с подключением к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета
Читальный зал электронных ресурсов		комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Дисциплина «Методы математического моделирования» основана на предварительно прослушанных дисциплинах бакалавриата. Дисциплина оканчивается экзаменом и выполнением курсовой работы. Дисциплина включает лекции, практические занятия и лабораторные работы. Все основные методические материалы дисциплины могут быть получены студентом через информационный ресурс LMS Canvas. Кроме того, на лекциях преподаватель рекомендует дополнительную литературу для выполнения заданий к практическим занятиям и лабораторным работам. Через LMS Canvas осуществляется и оперативное взаимодействие студентов и преподавателя. Ссылка курс в LMS Canvas сообщается студентам на первом занятии.

На лекциях преподаватель сообщает студентам информацию об основных моделях технологических процессов и структур нанозлектроники и подходах к моделированию, сообщает ссылки на материалы в LMS Canvas для подготовки к практическим занятиям и лабораторным работам. Представляются задачи моделирования и подходы к их решению.

Решение представленных задач, рассматриваемых на практических занятиях и лабораторных работах дает возможность закрепить лекционный материал и оценить реальную топологию изготавливаемых приборов и режимы технологических процессов. Рассматриваются основные режимы проведения процессов и характеристики полупроводниковых структур. Студенты получают сведения о современных моделях параметров, используемых при решении задач, и подходах к моделированию процессов и структур.

Индивидуальные задания для выполнения задач лабораторных работ и практических занятий размещаются в LMS Canvas.

При подготовке к практическим занятиям студенты изучают материалы лекции, дополнительные вопросы, рекомендованные преподавателем и разрабатывают алгоритмы решения. На практическом занятии студенты имеют возможность задать вопросы, возникающие при разработке алгоритма, и уточнить задачу моделирования. На практических занятиях проводится численное решение по теме занятия с проверкой результатов. По результатам практического занятия студенты готовят отчет с описанием процесса или структуры, методикой и результатами моделирования.

На лабораторных работах студенты решают задачи моделирования с помощью составленных программ. Для проведения численных расчетов студенты используют язык программирования высокого уровня Visual Basic. Перед началом лабораторной работы студенты разрабатывают алгоритм решения технологических задач, предварительно сообщенных преподавателем. На лабораторных занятиях студенты проводят отладку программ и проводят требуемые расчеты. Студенты имеют возможность задавать вопросы преподавателю по вопросам программирования. По итогам лабораторной работы составляется отчет. Каждая лабораторная работа д.б. защищена.

В начале семестра студентам выдается индивидуальное задание на выполнение курсовой работы по моделированию технологического процесса или структуры нанозлектроники. По согласованию с научным руководителем студента задание на моделирование выдается в соответствии с темой диссертационной работы. По желанию студента курсовая работа, по согласованию с преподавателем, может выполняться на других языках программирования. Выполненная работа защищается.

Допуск к экзамену осуществляется при условии выполнения всех заданий по практическим занятиям и лабораторным работам в семестре

Оценка за экзамен формируется как среднеарифметическая из оценок за ответы на каждый вопрос экзаменационного билета.