

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 12.10.2023 12:49:17

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»**

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Физико-математические модели процессов наноэлектроники

Закреплена за подразделением

Кафедра ППЭ и ФПП

Направление подготовки

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Квалификация

**Инженер-исследователь**

Форма обучения

**очная**

Общая трудоемкость

**4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 7

аудиторные занятия

51

самостоятельная работа

57

часов на контроль

36

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	7 (4.1)		Итого	
	Неделя 18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Лабораторные	17	17	17	17
Практические	17	17	17	17
Итого ауд.	51	51	51	51
Контактная работа	51	51	51	51
Сам. работа	57	57	57	57
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

*кфмн, доцент, Юрчук Сергей Юрьевич*

Рабочая программа

**Физико-математические модели процессов наноэлектроники**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по направлению подготовки 11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 28.06.2023 г. № 292 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, 11.03.04-БЭН-23\_6-ПП.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра ППЭ и ФПП**

Протокол от 21.06.2023 г., №11

Руководитель подразделения Диденко С.И.

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Цели освоения дисциплины - научить использованию основных численных методов для решения задач моделирования процессов микро- и электроники и подготовка выпускников к научно-исследовательской деятельности, научить использованию основных численных методов для решения задач моделирования процессов микроэлектроники, научить применению численных методов для решения задач на ЭВМ, обучить методам построения и практического применения математических моделей, описывающих кинетику физико-химических явлений в основных технологических процессах микро- и нанoeлектроники, научить решению задач по оптимизации режимов и условий проведения процессов, научить применению численных методов для решения задач на ЭВМ, обучить методам построения и практического применения математических моделей, описывающих кинетику физико-химических явлений в основных технологических процессах микроэлектроники, научить решению задач по оптимизации режимов и условий проведения процессов
-----	--

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

	Блок ОП:	Б1.В.ДВ.04
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Биполярные полупроводниковые приборы	
2.1.2	Инженерная математика	
2.1.3	Материаловедение полупроводников и диэлектриков	
2.1.4	Технология материалов электронной техники	
2.1.5	Физика диэлектриков	
2.1.6	Физика конденсированного состояния	
2.1.7	Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники	
2.1.8	Метрология, стандартизация и технические измерения в полупроводниковой электронике	
2.1.9	Статистическая физика	
2.1.10	Физические свойства кристаллов	
2.1.11	Электроника	
2.1.12	Математическая статистика и анализ данных	
2.1.13	Методы математической физики	
2.1.14	Практическая кристаллография	
2.1.15	Физика	
2.1.16	Физическая химия	
2.1.17	Электротехника	
2.1.18	Математика	
2.1.19	Органическая химия	
2.1.20	Информатика	
2.1.21	Химия	
2.1.22	Инженерная и компьютерная графика	
2.1.23	Квантовая и оптическая электроника	
2.1.24	Физика магнитных явлений	
2.1.25	Актуальные проблемы современной электроники, нанoeлектроники и магнитоэлектроники	
2.1.26	Метрология, стандартизация и технические измерения в магнитоэлектронике	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Вакуумная и плазменная электроника	
2.2.2	Квантоворазмерные структуры в нанoeлектронике	
2.2.3	Нанoeлектроника полупроводниковых приборов и устройств	
2.2.4	Основы радиационной стойкости изделий электронной техники	
2.2.5	Основы технологии электронной компонентной базы	
2.2.6	Приборы квантовой и оптической электроники	
2.2.7	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.2.8	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.2.9	Методы характеристики полупроводниковых материалов и структур	
2.2.10	Моделирование процессов и устройств полупроводниковой электроники	
2.2.11	Силовые полупроводниковые приборы	
2.2.12	Современные методы диагностики и исследования наногетероструктур	

2.2.13	Физика наноструктур
2.2.14	Компьютерные технологии в научных исследованиях
2.2.15	Микросхемотехника
2.2.16	Планирование научной деятельности
2.2.17	Приборные структуры на некристаллических материалах
2.2.18	Приборные структуры на широкозонных полупроводниках
2.2.19	Программирование микроконтроллеров
2.2.20	Технология наногетероструктур
2.2.21	Оборудование для производства наногетероструктурных солнечных элементов
2.2.22	Основы надежности элементной базы электроники в условиях ионизирующего излучения космического пространства
2.2.23	Проектирование и технология электронной компонентной базы
2.2.24	Радиационно-технологические процессы в электронике
2.2.25	Физика СВЧ полупроводниковых приборов
2.2.26	Электронные и оптические свойства широкозонных соединений A <sub>2</sub> B <sub>6</sub>
2.2.27	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.28	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.29	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.30	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.31	Магнитные измерения
2.2.32	Математические модели технологических процессов получения магнитоэлектроники и радиокерамики
2.2.33	Моделирование технологических процессов получения материалов электронной техники
2.2.34	Оборудование производства ферритовых материалов и радиокерамики
2.2.35	Процессы вакуумной и плазменной электроники
2.2.36	Технология производства ферритовых материалов и радиокерамики
2.2.37	Физика взаимодействия частиц и излучений с веществом
2.2.38	Элементы и устройства магнитоэлектроники
2.2.39	Методы математического моделирования
2.2.40	Физика квантоворазмерных полупроводниковых композиций
2.2.41	Физико-химия и технология наноструктур
2.2.42	Высоковакуумное оборудование в наноэлектронике
2.2.43	Компьютерные технологии в исследованиях материалов электроники и наноэлектроники
2.2.44	Материалы и элементы спинтроники и спинволновой электроники
2.2.45	Мессбауэровская спектроскопия материалов магнитоэлектроники и микросистемной техники
2.2.46	Молекулярно-пучковая и МОС-гидридная технологии
2.2.47	Неразрушающие методы контроля процессов формирования гетерокомпозиций
2.2.48	Приборы и устройства магнитоэлектроники
2.2.49	Приборы и устройства на основе наносистем
2.2.50	Специальные вопросы физики магнитных явлений в конденсированных средах Часть 1
2.2.51	Конструирование светоизлучающих устройств
2.2.52	Магнитные наносистемы, наноматериалы и нанотехнологии
2.2.53	Технологии материалов для радиопоглощения и электромагнитного экранирования
2.2.54	Физика и техника магнитной записи
2.2.55	Электроника органических полупроводников (материалы, технологии, приборы)

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

**ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области**

**Знать:**

ОПК-2-32 Методы обработки экспериментальных данных и результатов математического моделирования

ОПК-2-31 Методы моделирования технологических процессов наноэлектроники

<b>ЦПК-3: Применяет программные алгоритмы обработки данных для инженерно-научных расчетов</b>
<b>Знать:</b>
ЦПК-3-31 Основные математические методы обработки данных и проведения инженерно-научных расчетов.
<b>ОПК-4: Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности, проектировать и разрабатывать продукцию, процессы и системы, соответствующие профилю подготовки, разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения</b>
<b>Знать:</b>
ОПК-4-31 Информационные технологии для решения задач моделирования процессов нанoeлектроники
<b>ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники</b>
<b>Знать:</b>
ПК-5-31 Физико-математические модели технологических процессов нанoeлектроники
<b>ОПК-4: Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности, проектировать и разрабатывать продукцию, процессы и системы, соответствующие профилю подготовки, разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения</b>
<b>Знать:</b>
ОПК-4-33 Численные методы решения основных моделей технологических процессов электроники;
ОПК-4-32 Один из языков высокого уровня
<b>ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности</b>
<b>Знать:</b>
ОПК-1-33 Основные режимы технологических процессов и их влияние на топологию полупроводниковых структур;
ОПК-1-32 Математические методы решения задач моделирования технологических процессов нанoeлектроники
ОПК-1-31 Основные физико-химические процессы изготовления приборов полупроводниковой электроники
<b>Уметь:</b>
ОПК-1-У1 Использовать данные о физико-химических процессах нанoeлектроники для подготовки математических моделей технологических процессов
<b>ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники</b>
<b>Уметь:</b>
ПК-5-У1 Подготавливать технические описания разработанных моделей нанoeлектроники
<b>ОПК-4: Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности, проектировать и разрабатывать продукцию, процессы и системы, соответствующие профилю подготовки, разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-4-У2 Анализировать и синтезировать известные физико-химические закономерности технологических процессов диффузии, окисления, ионной имплантации для формирования математических моделей;
ОПК-4-У1 Разрабатывать алгоритмы решения задач физико-топологического моделирования
<b>ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-1-У2 Разрабатывать алгоритмы решения задач физико-топологического моделирования технологических процессов нанoeлектроники
ОПК-1-У3 Составлять на ЭВМ программы моделирования технологических процессов;
<b>ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области</b>
<b>Уметь:</b>

ОПК-2-У1 Проводить моделирование технологических процессов нанoeлектроники
<b>ЦПК-3: Применяет программные алгоритмы обработки данных для инженерно-научных расчетов</b>
<b>Уметь:</b>
ЦПК-3-У1 Разрабатывать алгоритмы обработки данных и решения инженерно-научных расчетов на основе известных математических методов.
<b>ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-2-У2 Анализировать результаты моделирования и их соответствие экспериментальным данным
<b>ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники</b>
<b>Владеть:</b>
ПК-5-В1 Методами подготовки и комплексного описания моделирования технологических процессов нанoeлектроники
<b>ЦПК-3: Применяет программные алгоритмы обработки данных для инженерно-научных расчетов</b>
<b>Владеть:</b>
ЦПК-3-В1 Методами обработки данных и решения инженерно-научных расчетов с помощью разработанных алгоритмов.
<b>ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-1-В3 Методами оптимизации технологических процессов или предлагать новую технологическую схему объекта;
ОПК-1-В2 Методами разработки полупроводниковые структуры с заданной топологией;
ОПК-1-В1 Методами разработки программ моделирования технологических процессов нанoeлектроники
<b>ОПК-4: Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности, проектировать и разрабатывать продукцию, процессы и системы, соответствующие профилю подготовки, разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-4-В2 Методами решения теоретических и практических типовых и системных задач, связанных с моделированием технологических процессов;
ОПК-4-В1 Методами разработки алгоритмов и компьютерных программ для решения задач физико-топологического моделирования
<b>ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-2-В1 Методами детального исследования используемых моделей с целью коррекции

#### 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
	<b>Раздел 1. Обзор численных методов</b>							
1.1	Численное решение алгебраических уравнений. Решение системы линейных уравнений. Решение системы нелинейных уравнений. /Лек/	7	1	ОПК-4-31 ОПК-4-33 ЦПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л2.2 Л2.3 Л2.4 Э1 Э2			

1.2	Аппроксимация функций. Численное дифференцирование и интегрирование функций. /Лек/	7	1	ОПК-4-31 ОПК-4-33 ЦПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л2.2 Л2.3 Л2.4 Э1 Э2			
1.3	Разработка алгоритмов решения алгебраического уравнения и численного интегрирования функций. /Ср/	7	1	ОПК-4-31 ОПК-4-32 ОПК-4-33 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 ЦПК-3-У1	Л1.1 Л1.2Л2.2 Л2.3 Л2.4 Э1 Э2	На LMS Canvas размещается видеофайл с кратким введением MS Video Basic		
1.4	Решение алгебраических уравнений, численного дифференцирования и интегрирования функций /Лаб/	7	2	ОПК-4-31 ОПК-4-32 ОПК-4-33 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 ЦПК-3-В1	Л1.1 Л1.2Л2.2 Л2.3 Л2.4 Э1 Э2	Занятие проводится в специализированной аудитории в соответствии с разделом МТО	КМ1	Р1
1.5	Выполнение домашнего задания в части расчета коэффициента диффузии и аппроксимации параметров расчета /Ср/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33 ОПК-1-У1 ОПК-1-У3 ОПК-1-В1 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 ОПК-4-В2 ПК-5-31 ПК-5-У1 ОПК-2-У1 ЦПК-3-31 ЦПК-3-У1 ЦПК-3-В1	Л1.1 Л1.2Л2.2 Л2.3 Л2.4 Э1 Э2		КМ19	Р19
	<b>Раздел 2. Математическое моделирование процессов диффузии</b>							
2.1	Механизмы диффузии. Уравнение диффузии. Коэффициент диффузии. Факторы, определяющие коэффициент диффузии. Современные модели коэффициента диффузии различных примесей в полупроводниках. /Лек/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-33 ПК-5-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2			
2.2	Изучение моделей коэффициента диффузии в кремнии /Ср/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-32	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л3.1 Э1 Э2			
2.3	Решение задач по определению параметров моделирования процесса диффузии /Пр/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33 ОПК-1-У1 ОПК-1-В2 ОПК-4-33 ОПК-4-В2 ПК-5-31 ЦПК-3-У1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л3.1 Э1 Э2		КМ2	Р2

2.4	Способы проведения диффузионных процессов и их математическое описание. Граничные условия. Численное решение уравнения диффузии при различных условиях проведения процессов. /Лек/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-33 ОПК-4-33 ПК-5-31 ОПК-2-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2			
2.5	Разработка алгоритма решения уравнения диффузии для заданных условий /Ср/	7	4	ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-4-31 ОПК-4-33 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 ПК-5-31 ОПК-2-31 ЦПК-3-У1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2			
2.6	Численное решение одномерного уравнения диффузии для моделирование диффузионных процессов /Лаб/	7	2	ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-У3 ОПК-1-В1 ОПК-4-32 ОПК-4-33 ОПК-4-У1 ОПК-4-У2 ОПК-4-В1 ПК-5-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ЦПК-3-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Э1 Э2	Занятие проводится в специализированной аудитории в соответствии с разделом МТО	КМ3	Р3
2.7	Решение типовых задач по расчету характеристик диффузионных слоев /Ср/	7	4	ОПК-1-31 ОПК-1-33 ОПК-1-У1 ОПК-4-В2 ПК-5-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2			
2.8	Решение задач по определению характеристик диффузионных слоев /Пр/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33 ОПК-1-У1 ОПК-4-В2 ПК-5-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2		КМ4	Р4
2.9	Решение двумерного уравнения диффузии /Лаб/	7	2	ОПК-1-32 ОПК-1-У2 ОПК-1-В1 ОПК-1-В2 ОПК-4-31 ОПК-4-32 ОПК-4-33 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2	Занятие проводится в специализированной аудитории в соответствии с разделом МТО	КМ5	Р5



2.10	Выполнение домашнего задания в части моделирования процесса диффузии /Ср/	7	5	ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-У3 ОПК-1-В1 ОПК-1-В3 ОПК-4-31 ОПК-4-32 ОПК-4-33 ОПК-4-У2 ОПК-4-В1 ОПК-4-В2 ПК-5-У1 ПК-5-В1 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-У2 ОПК-2-В1 ЦПК-3-31 ЦПК-3-У1 ЦПК-3-В1 ПК-5-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2			
	<b>Раздел 3. Математическое моделирование процессов окисления</b>							
3.1	Моделирование термического окисления кремния /Лек/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-32 ПК-5-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2			
3.2	Решение типовых задач моделирования термического окисления кремния /Ср/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-33 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-4-В2 ПК-5-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2			
3.3	Расчеты толщины оксида кремния при различных режимах окисления /Пр/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-33 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-4-В2 ПК-5-31 ЦПК-3-У1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2		КМ6	Р6
3.4	Разработка алгоритма расчета толщины оксида по модели многостадийного окисления /Ср/	7	4	ОПК-1-31 ОПК-1-33 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-У3 ОПК-1-В1 ОПК-4-31 ОПК-4-32 ОПК-4-33 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 ПК-5-31 ОПК-2-31 ЦПК-3-У1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2			

3.5	Моделирование термического окисления кремния /Лаб/	7	2	ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-У3 ОПК-1-В1 ОПК-1-В2 ОПК-1-В3 ОПК-4-32 ОПК-4-33 ОПК-4-В1 ОПК-4-В2 ПК-5-31 ПК-5-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У2 ОПК-2-В1 ЦПК-3-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2	Занятие проводится в специализированной аудитории в соответствии с разделом МТО	КМ7	Р7
3.6	Моделирование характеристик оксида кремния, полученного методом термического окисления /Пр/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33 ОПК-1-У1 ОПК-4-У2 ПК-5-31 ОПК-2-У1 ЦПК-3-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2		КМ8	Р8
3.7	Моделирование двумерного окисления кремния при выполнении домашнего задания /Ср/	7	4	ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-У3 ОПК-1-В1 ОПК-1-В2 ОПК-1-В3 ОПК-4-32 ОПК-4-33 ОПК-4-У1 ОПК-4-У2 ОПК-4-В1 ОПК-4-В2 ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-У2 ОПК-2-В1 ЦПК-3-31 ЦПК-3-У1 ЦПК-3-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2		КМ19	Р19
	<b>Раздел 4. Математическое моделирование процессов ионной имплантации</b>							
4.1	Пробеги ионов в аморфных мишенях. Теория ЛШШ. Ядерное и электронное торможение. /Лек/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-33 ПК-5-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2			
4.2	Решение типовых задач расчета ядерной и электронной тормозных способностей /Ср/	7	3	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-4-У1 ОПК-4-В2 ПК-5-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2			
4.3	Моделирование процессов торможения ионов в твердых телах /Пр/	7	3	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-4-У1 ОПК-4-В2 ПК-5-31 ЦПК-3-У1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2		КМ10	Р10

4.4	Разработка алгоритма расчетов тормозных способностей в полупроводниках /Ср/	7	2	ОПК-1-32 ОПК-1-33 ОПК-1-У2 ОПК-4-31 ОПК-4-32 ОПК-4-33 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 ПК-5-31 ЦПК-3-У1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2			
4.5	Моделирование ядерной и электронной тормозных способностей в полупроводниках /Лаб/	7	3	ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-33 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-У3 ОПК-4-32 ОПК-4-У1 ОПК-4-У2 ОПК-4-В1 ПК-5-31 ПК-5-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-У2 ОПК-2-В1 ЦПК-3-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2	Занятие проводится в специализированной аудитории в соответствии с разделом МТО	КМ11	Р11
4.6	Диффузионное приближение. Решение кинетического уравнения Больцмана. Расчеты пробегов методом Монте-Карло. /Лек/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-32 ПК-5-31 ОПК-2-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2			
4.7	Решения типовых задач расчета пробегов ионов в аморфных мишенях /Ср/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33 ОПК-1-У1 ОПК-4-В2 ПК-5-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2			
4.8	Расчеты пробегов ионов в твердых телах /Пр/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33 ОПК-1-У1 ОПК-4-В2 ПК-5-31 ЦПК-3-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2		КМ12	Р12
4.9	Разработка алгоритма расчета пробегов ионов в аморфных мишенях /Ср/	7	4	ОПК-1-32 ОПК-1-33 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-У3 ОПК-1-В1 ОПК-4-31 ОПК-4-32 ОПК-4-33 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 ПК-5-31 ЦПК-3-У1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2			

4.10	Моделирование пробегов ионов в аморфных мишенях /Лаб/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-В3 ОПК-4-В2 ПК-5-31 ПК-5-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-У2 ОПК-2-В1 ЦПК-3-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2	Занятие проводится в специализированной аудитории в соответствии с разделом МТО	КМ13	Р13
4.11	Пробеги ионов в кристаллах. Каналирование. Расчеты распределения примеси в двухслойных и многослойных мишенях. Двумерное распределение ионов. /Лек/	7	3	ОПК-1-31 ОПК-1-32 ПК-5-31 ОПК-2-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2			
4.12	Решение типовых задач расчета эффекта каналирования, распределения примеси в двухслойных мишенях, дефектов в имплантированных слоях. /Ср/	7	4	ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-33 ОПК-4-В2 ПК-5-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2			
4.13	Решение задач расчета эффекта каналирования, распределения примеси в двухслойных мишенях, дефектов в имплантированных слоях. /Пр/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-33 ОПК-4-В2 ПК-5-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2		КМ14	Р14
4.14	Разработка алгоритма моделирования двумерного распределения ионов /Ср/	7	3	ОПК-1-31 ОПК-1-33 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-У3 ОПК-1-В1 ОПК-4-31 ОПК-4-32 ОПК-4-33 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 ОПК-4-В2 ПК-5-31 ЦПК-3-У1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2			
4.15	Численное моделирование двумерного процесса имплантации /Лаб/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-33 ОПК-1-У2 ОПК-1-У3 ОПК-1-В1 ОПК-1-В2 ОПК-4-32 ОПК-4-33 ОПК-4-В2 ПК-5-31 ПК-5-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-У2 ОПК-2-В1 ЦПК-3-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2	Занятие проводится в специализированной аудитории в соответствии с разделом МТО	КМ15	Р15

4.16	Моделирование процессов ионной имплантации в части выполнения домашнего задания /Ср/	7	5	ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-33 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-У3 ОПК-1-В1 ОПК-1-В2 ОПК-1-В3 ОПК-4-31 ОПК-4-32 ОПК-4-У1 ОПК-4-У2 ОПК-4-В1 ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-У2 ОПК-2-В1 ЦПК-3-31 ЦПК-3-У1 ЦПК-3-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2			
	<b>Раздел 5. Математическое моделирование процессов импульсного отжига</b>							
5.1	Моделирование температурных полей в полупроводниках при импульсном отжиге. Моделирование температуры и процессов отжига при быстром термическом отжиге /Лек/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-33 ОПК-4-31 ПК-5-31 ОПК-2-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2			
5.2	Решение типовых задач моделирования процессов импульсного отжига /Ср/	7	3	ОПК-1-31 ОПК-1-33 ОПК-1-У1 ОПК-4-В2 ПК-5-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2			
5.3	Расчеты параметров моделирования импульсных процессов. Моделирование процессов импульсного отжига /Пр/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-33 ОПК-1-У1 ОПК-4-В2 ПК-5-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2		КМ16	Р16
5.4	Разработка алгоритма расчета температурных полей при импульсном отжиге /Ср/	7	3	ОПК-1-31 ОПК-1-33 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-У3 ОПК-1-В1 ОПК-4-31 ОПК-4-32 ОПК-4-33 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 ПК-5-31 ЦПК-3-У1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л3.1Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Э1 Э2			

5.5	Моделирование температурных полей при импульсном отжиге полупроводников /Лаб/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-33 ОПК-1-В3 ОПК-4-32 ОПК-4-33 ОПК-4-В2 ПК-5-31 ПК-5-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-У2 ОПК-2-В1 ЦПК-3-В1 ПК-5-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.1 Э1 Э2	Занятие проводится в специализированной аудитории в соответствии с разделом МТО	КМ17	Р17
-----	---	---	---	--	---	---	------	-----

### 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	Защита ЛР1	ОПК-4-31;ОПК-4-32;ОПК-4-33;ОПК-4-У1;ОПК-4-В1;ЦПК-3-В1	Опишите методику численного решения алгебраических уравнений методом, заданным преподавателем. Опишите методику численного расчета производной функции в заданной точке. Опишите методику численного расчета второй производной функции в заданной точке. Опишите методику численного интегрирования функции методом, заданным преподавателем. Опишите методику решения системы алгебраических уравнений методом, заданным преподавателем.
КМ2	Решение задач ПЗ1	ОПК-4-33;ОПК-4-В2;ОПК-1-31;ОПК-1-33;ОПК-1-У1;ОПК-1-В2;ЦПК-3-У1	Опишите факторы, влияющие на коэффициент диффузии примеси в полупроводниках. Расскажите об особенностях диффузии различных примесей в кремнии. Расскажите об особенностях диффузии примеси после ионной имплантации. Опишите методы задания граничных условий при моделировании процесса диффузии.
КМ3	Защита ЛР2	ОПК-4-32;ОПК-4-33;ОПК-4-У1;ОПК-4-У2;ОПК-4-В1;ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-У3;ОПК-1-В1;ЦПК-3-В1	Опишите способы и режимы проведения диффузионных процессов. Напишите уравнение диффузии. Опишите способы задания граничных условий при решении уравнения диффузии. Опишите методы решения уравнения диффузии. Напишите уравнение диффузии в разностной форме. Опишите явный и неявный метод Эйлера, их достоинства и недостатки. Опишите методику решения уравнения диффузии методом прогонки.
КМ4	Решение задач ПЗ2	ОПК-4-В2;ОПК-1-31;ОПК-1-33;ОПК-1-У1	Опишите методику определения глубины залегания рп-перехода при заданных режимах проведения диффузионного процесса. Опишите методику определения уровня легирования полупроводника при заданных режимах проведения процесса диффузии и известной глубине залегания рп-перехода.
КМ5	Защита ЛР3	ОПК-4-31;ОПК-4-32;ОПК-4-33;ОПК-4-У1;ОПК-4-В1;ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-1-32;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2	Опишите способы локального внедрения примесей в полупроводник. Напишите двумерное уравнение диффузии. Напишите двумерное уравнение диффузии в разностной форме. Опишите методику решения уравнения диффузии методом прогонки.

КМ6	Решение задач ПЗ3	ОПК-4-В2;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-33;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ЦПК-3-У1	<p>Перечислите потоки окислителя при проведении процесса окисления.</p> <p>Напишите уравнение окисления в различных формах.</p> <p>Линейный и параболический коэффициенты диффузии, их зависимости от условий и режимов окисления.</p> <p>Опишите методику расчета толщины окисла при изменении условий окисления.</p> <p>Опишите особенности моделирования процесса окисления при окислении тонких слоев.</p> <p>Перечислите и опишите эффекты, возникающие в полупроводниковых структура при проведении процесса окисления.</p>
КМ7	Защита ЛР4	ОПК-4-32;ОПК-4-33;ОПК-4-В1;ОПК-4-В2;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-У2;ОПК-2-В1;ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-У3;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;ОПК-1-В3;ЦПК-3-В1	<p>Опишите методику расчета линейного и параболического коэффициентов диффузии, при различных условиях проведения процесса.</p> <p>Опишите методику расчета толщины окисла.</p> <p>Опишите методики расчета эффектов в полупроводниковых структурах, возникающих в процессе окисления.</p>
КМ8	Решение задач ПЗ4	ОПК-4-У2;ОПК-2-У1;ОПК-1-31;ОПК-1-33;ОПК-1-У1;ЦПК-3-В1	<p>Опишите влияние фиксированного заряда в окисле на характеристики полупроводниковых приборов.</p> <p>Опишите причины возникновения фиксированного заряда в окисле.</p> <p>Опишите математическую модель расчета фиксированного заряда в окисле.</p> <p>Опишите математическую модель возникновения дефектов упаковки в кремнии.</p> <p>Опишите причины ускорения диффузии примеси в кремнии при проведении процесса термического окисления.</p>

КМ9	Контрольная работа №1	ОПК-4-У2;ОПК-4-В2;ОПК-2-У2;ОПК-1-31;ОПК-1-33	<p>Задача 1.1. Рассчитать во сколько раз увеличится коэффициент диффузии бора в кремнии при увеличении его концентрации с <math>10^{17}</math> до <math>10^{19}</math> см<sup>-3</sup> (эффектом кластеризации пренебречь), <math>T=900^{\circ}\text{C}</math>.</p> <p>Задача 1.2. Определить ошибку расчета коэффициента диффузии бора, если не учитывать эффект кластеризации. Полная концентрация бора в кремнии <math>10^{20}</math> см<sup>-3</sup>, <math>T=800^{\circ}\text{C}</math>.</p> <p>Задача 1.3. Определить концентрацию кластеров мышьяка, если при температуре <math>900^{\circ}\text{C}</math>, концентрация мышьяка <math>10^{20}</math> см<sup>-3</sup>.</p> <p>Задача 1.4. Определить собственную концентрацию подвижных носителей заряда в кремнии при температуре <math>800^{\circ}\text{C}</math> и концентрации фосфора <math>4 \cdot 10^{20}</math> см<sup>-3</sup>.</p> <p>Задача 1.5. Оценить температуру, при которой начинается распад пар PV<sub>2</sub>-, если полная концентрация фосфора в кремнии равна <math>10^{20}</math> см<sup>-3</sup>.</p> <p>Задача 1.6 Определить полную концентрацию мышьяка в кремнии, если концентрация электронов составляет <math>10^{20}</math> см<sup>-3</sup>.</p> <p>Задача 1.7 Загонку фосфора проводили при температуре <math>1000^{\circ}\text{C}</math> в течение 15 минут в кремний p-типа с уровнем легирования <math>10^{15}</math> см<sup>-3</sup>. Определить глубину залегания p-n перехода после загонки и после разгонки примеси при <math>1000^{\circ}\text{C}</math> в течение 1 часа. Коэффициент диффузии принимается независимым от концентрации.</p> <p>Задача 1.8 Определить исходную концентрацию примеси в кремнии n-типа, если после имплантации бора с энергией 100 кэВ (<math>R_p=0,2994</math> мкм, <math>\Delta R_p=0,071</math> мкм) и дозой <math>5 \cdot 10^{14}</math> см<sup>-2</sup> и последующего отжига при температуре <math>1000^{\circ}\text{C}</math> в течение 30 минут глубина p-n перехода составила 0,8 мкм.</p> <p>Задача 1.9 При условиях имплантации предыдущей задачи определить температуру при которой после отжига в течение 30 минут концентрация в максимуме распределения уменьшится в 2 раза.</p> <p>Задача 1.10 Определить скорость окисления кремния, если коэффициент диффузии бора при температуре <math>1000^{\circ}\text{C}</math> на глубине 0,5 мкм возрос в 2 раза по сравнению с равновесным. (Участвием в процессе диффузии собственных заряженных вакансий пренебречь).</p> <p>Задача 1.11 Рассчитать суммарный поток бора через поверхность кремния, если при температуре <math>900^{\circ}\text{C}</math> концентрация примеси на поверхности <math>10^{18}</math> см<sup>-3</sup>. Отжиг проводится в вакууме.</p> <p>Задача 1.12 После загонки бора в кремний при температуре <math>800^{\circ}\text{C}</math> в течение 15 минут температура в печи резко возросла до <math>900^{\circ}\text{C}</math>. Определить поток бора через поверхность после изменения температуры.</p> <p>Задача 1.13 Определить собственную концентрацию носителей заряда в кремнии, если концентрация фосфора составляет <math>4 \cdot 10^{20}</math> см<sup>-3</sup> (<math>T=1000^{\circ}\text{C}</math>)</p> <p>Задача 1.14 Рассчитать температуру, при которой концентрация электрически активного бора будет равна концентрации бора в кластерах. Суммарная концентрация бора составляет <math>10^{20}</math> см<sup>-3</sup>.</p> <p>Задача 1.15 Определить сегрегационный поток бора через поверхность при окислении (<math>T=850^{\circ}\text{C}</math>, коэффициент массопереноса <math>V_S=1,8 \cdot 10^{-3}</math> мкм/мин, концентрация бора в кремнии <math>10^{15}</math> см<sup>-3</sup>), если скорость окисления много меньше коэффициента массопереноса).</p> <p>Задача 1.16 Определить коэффициент диффузии мышьяка после имплантации в начале отжига при температуре <math>800^{\circ}\text{C}</math> и через 1с после начала отжига. Определить время после начала отжига, за которое коэффициент диффузии снизится в 4 раза.</p>
-----	-----------------------	--	---



		<p>Задача 2.1 Во сколько раз изменится линейный коэффициент окисления кремния в сухом кислороде при возрастании концентрации примеси с 1019 до 1020 см<sup>3</sup> (T=900оС, ориентация подложки &lt;111&gt;).</p> <p>Задача 2.2 Через 1 час после начала процесса окисления в парах воды температура в реакторе возросла с 1000оС до 1100оС. Во сколько раз изменилась скорость окисления. (Ориентация подложки &lt;111&gt;, полупроводник собственный).</p> <p>Задача 2.3 Во сколько раз изменится толщина слоя оксида при окислении в сухом кислороде и парах воды при добавлении в реактор 10% HCl (P=1 атм, T=1000оС, &lt;111&gt;, t=60 мин).</p> <p>Задача 2.4 При проведении процесса окисления в парах воды через 15 минут после начала процесса давление увеличили с 1 до 2 атм. Определить толщину оксида через 30 минут после начала процесса. (T=900оС, &lt;111&gt;).</p> <p>Задача 2.5 При проведении процесса окисления в сухом кислороде начальная толщина оксида составляет 300А, определить толщину оксида через 10 минут после начала процесса. (T=900оС, &lt;111&gt;).</p> <p>Задача 2.6 Определить во сколько раз изменится скорость роста оксида в сухом кислороде через 60 минут после начала процесса. (T=1000оС, &lt;111&gt;).</p> <p>Задача 2.7 Во сколько раз изменится скорость окисления, если при толщине оксида 0,5 мкм при окислении в сухом кислороде в реактор добавили пары воды с давлением 1 атм (T=1000оС, &lt;111&gt;).</p> <p>Задача 2.8 При окислении в парах воды через 10 минут после начала процесса окисления в поток окислителя добавили 3% HCl, определить во сколько раз изменится скорость окисления в момент подачи HCl. (T=1000оС, &lt;100&gt;, P= 1 атм).</p> <p>Задача 2.9 Определить во сколько раз изменится время после окончания процесса окисления, за которое размеры дефектов упаковки уменьшатся в 2 раза, если температура отжига увеличится с 900оС до 1000оС.</p> <p>Задача 2.10 Определить скорости окисления в сухом кислороде и в парах воды в начальный момент времени при температуре 900оС. (P=1 атм, &lt;100&gt;).</p> <p>Задача 2.11 Определить плотность фиксированного заряда в оксиде, если скорость окисления при температуре 1000оС составляет 0,5 мкм/час. Ориентация кремния &lt;100&gt;, время окисления 1 час.</p> <p>Задача 2.12 Кремниевая подложка неравномерно легирована (1й слой: 0,2 мкм, Nd=1019 см-3; 2й слой: Nd=1020 см-3). Определить во сколько раз изменится скорость окисления в момент, когда 1й слой полностью окислится. (T=1000оС, H<sub>2</sub>O, P=1 атм).</p> <p>Задача 2.13 Кремниевая пластина окисляется несколько раз в процессе изготовления ИС. Найти результирующую толщину оксида кремния после каждой из следующих операций, проводимых последовательно: а) 60 мин при 1100оС в сухом кислороде и HCl (добавляется достаточное количество HCl, чтобы увеличить скорость окисления на 10% по сравнению со скоростью окисления в чистом O<sub>2</sub>); б) 2 часа при 1000оС в пирогежном водяном паре (при 1 атм); в) 6 часов при 1000оС в сухом O<sub>2</sub>.</p> <p>Задача 2.14 Кремниевая пластина покрывается слоем двуоксида кремния толщиной 200 нм. Какое дополнительное время требуется, чтобы вырастить еще 100 нм двуоксида кремния в сухом кислороде при</p>
--	--	--

			<p>1200оС. Задача 2.15 а) Сколько времени потребуется для выращивания 1 мкм двуокиси кремния в атмосфере водяного пара при 1000оС и давлении 1 атм? (Для пунктов а-г считать, что кремний ориентирован по плоскости &lt;111&gt;.) б) Сколько времени потребуется для выращивания 1 мкм двуокиси кремния в атмосфере водяного пара при 1000оС и 10 атм? в) Сколько времени потребуется для выращивания 1 мкм двуокиси кремния в атмосфере водяного пара при 800оС и 1 атм? г) Сколько времени потребуется для выращивания 1 мкм двуокиси кремния в атмосфере водяного пара при 800оС и 10 атм? Задача 2.16 В процессе LOCOS после того как был нанесен слой нитрида кремния толщиной 50 нм, в котором затем был вытравлен рисунок, проведено окисление в течение 8 часов в атмосфере водяного пара (при 1 атм и 1000оС). После окисления слой нитрида удален. Как высоко над поверхностью кремния располагается верхняя плоскость выращенного слоя окисла? (Около 24 нм нитрида кремния превращается в двуокись кремния в процессе 8-часового окисления в атмосфере водяного пара.) Задача 2.17 Рассчитать толщину слоя двуокиси кремния, полученного на поверхности слоя нитрида кремния на каждый нанометр нитрида кремния, окисленного при проведении процесса LOCOS.</p>
КМ10	Решение задач ПЗ5	ОПК-4-У1;ОПК-4-В2;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ЦПК-3-У1	<p>Опишите методику проведения процесса ионной имплантации. Дайте определения ядерной и электронной тормозных способностей. Опишите механизмы торможения ионов при ядерном и электронном торможении. Опишите процесс потери энергии при однократном взаимодействии. Опишите модель Линдхарда, Шарфа и Шиотта для ядерного торможения. Опишите модель Линдхарда для электронного торможения. Опишите модель Фирсова.</p>
КМ11	Защита ЛР5	ОПК-4-32;ОПК-4-У1;ОПК-4-У2;ОПК-4-В1;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-У1;ОПК-2-У2;ОПК-2-В1;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-33;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-У3;ЦПК-3-В1	<p>Опишите условия применимости моделей Линдхарда и Фирсова для электронной тормозной способности. Опишите методики расчета электронной и ядерной тормозных способностей. Опишите методику расчета потери энергии иона при однократном взаимодействии.</p>
КМ12	Решение задач ПЗ6	ОПК-4-В2;ОПК-1-31;ОПК-1-33;ОПК-1-У1;ЦПК-3-В1	<p>Опишите влияние условий и режимов имплантации на профили распределения примеси. Опишите модель диффузионного приближения для расчета пробегов ионов. Опишите метод Монте-Карло для моделирования профиля распределения ионов. Опишите метод решения кинетического уравнения Больцмана для моделирования распределения ионов.</p>
КМ13	Защита ЛР6	ОПК-4-В2;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-У1;ОПК-2-У2;ОПК-2-В1;ОПК-1-31;ОПК-1-33;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В3;ЦПК-3-В1	<p>Опишите методику расчета пробегов ионов с помощью модели диффузионного приближения. Опишите способы построения профиля распределения ионов методом Монте-Карло. Опишите способы построения профиля распределения ионов методом решения кинетического уравнения Больцмана.</p>

КМ14	Решение задач ПЗ7	ОПК-4-В2;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-33	<p>Опишите эффект каналирования ионов в кристаллических мишенях.</p> <p>Опишите влияние эффекта каналирования на профили распределения примесей после ионной имплантации.</p> <p>Опишите модель Кинчина и Пиза для моделирования процесса образования дефектов при ионной имплантации.</p> <p>Опишите методику построения профилей распределения ионов по модели ЛШШ для двухслойных и многослойных мишеней.</p>
КМ15	Защита ЛР7	ОПК-4-32;ОПК-4-33;ОПК-4-В2;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-У1;ОПК-2-У2;ОПК-2-В1;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-33;ОПК-1-У2;ОПК-1-У3;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;ЦПК-3-В1	<p>Опишите процесс формирования двумерных профилей при ионном легировании.</p> <p>Опишите методику построения модели для расчета двумерных профилей распределения по модели ЛШШ.</p> <p>Опишите методику расчета двумерных профилей по модели ЛШШ.</p> <p>Опишите методику построения двумерных профилей распределения методом Монте-Карло.</p> <p>Опишите методику построения двумерных профилей распределения методом решения кинетического уравнения Больцмана.</p>
КМ16	Решение задач ПЗ8	ОПК-4-В2;ОПК-1-31;ОПК-1-33;ОПК-1-У1	<p>Опишите технологический процесс импульсного отжига и его особенности.</p> <p>Напишите уравнение теплопроводности и граничные условия для его решения.</p> <p>Опишите температурные зависимости параметров, входящих в уравнение теплопроводности.</p> <p>Опишите условия применимости уравнения теплопроводности.</p> <p>Опишите технологический процесс быстрого термического отжига, методику проведения процесса.</p> <p>Опишите методику расчета изменения температуры при быстром термическом отжиге.</p> <p>Опишите методику расчета концентрации дефектов при импульсном отжиге.</p>
КМ17	Защита ЛР8	ОПК-4-32;ОПК-4-33;ОПК-4-В2;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-У1;ОПК-2-У2;ОПК-2-В1;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-33;ОПК-1-В3;ЦПК-3-В1	<p>Напишите уравнение теплопроводности в разностной форме.</p> <p>Опишите методику решения уравнения теплопроводности методом прогонки.</p> <p>Опишите методику построения температурных профилей с помощью решения уравнения теплопроводности.</p>

KM18	Контрольная работа №2	ОПК-2-32;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-33;ОПК-4-33	<p>Задача 3.1          Определить какую энергию ион бора с энергией 100кэВ передаст атому кремния, если после столкновения ион отклоняется под углом 45о от первоначального направления.</p> <p>Задача 3.2          При условиях предыдущей задачи определить угол движения атома кремния относительно начального движения иона после соударения (считать, что между ионом и атомом существует только ядерное взаимодействие).</p> <p>Задача 3.3          Определить угол на который отклонится ион мышьяка, если при ядерном взаимодействии с атомом кремния он теряет 25% своей энергии. (E=50 кэВ).</p> <p>Задача 3.4          Определить энергию, теряемую ионом бора, имеющим энергию 100 кэВ, при прохождении в кремнии расстояния 100 А</p> <p>0</p> <p>Задача 3.5          При условиях предыдущей задачи определить число атомов кремния, выбитых из своих узлов (пороговая энергия смещения атома кремния 12,9 эВ).</p> <p>Задача 3.6          Оценить расстояние между атомом кремния и ионом бора на котором потенциал взаимодействия с точностью до 5% близок к кулоновскому потенциалу.</p> <p>Задача 3.7          Определить энергию иона бора при которой он, проходя на расстоянии 1 А</p> <p>0</p> <p>от атома кремния теряет половину этой энергии на электронное рассеяние.</p> <p>Задача 3.8          Определить проецированный пробег иона бора при энергии 120 кэВ, если известно, что при энергии 100 кэВ <math>RP=0,2994</math> мкм.</p> <p>Задача 3.9          Оценить энергию иона бора, при которой не будет соблюдаться условие пропорциональности электронной тормозной способности и скорости движения иона.</p> <p>Задача 3.10          Определить энергию иона бериллия в арсениде галлия, при которой в приближении гауссовского распределения спад от максимальной концентрации до 10-3максимума происходит за 0,2 мкм.</p> <p>Задача 3.11          При имплантации бора в кремний с энергией 100 кэВ определить параметры распределения для функции двойного полугаусса (<math>RP</math>, <math>\square RP1</math>, <math>\square RP2</math>).</p> <p>Задача 3.12          Определить <math>\square RP1</math> и <math>\square RP2</math>, если <math>RP=0,656</math> мкм, <math>\square RP=0,146</math> мкм, <math>RM=0,68</math> мкм.</p> <p>Задача 3.13          Определить толщину пленки SiO<sub>2</sub>, при которой профиль распределения бериллия в GaAs при энергии 100 кэВ будет таким же как при имплантацию через Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> толщиной 0,1 мкм.</p> <p>Задача 3.14          Определить под каким углом необходимо развернуть кремниевую пластину с ориентацией &lt;111&gt; по отношению к пучку ионов бора с энергией 100 кэВ, чтобы исключить эффект каналирования.</p> <p>Задача 3.15</p>
------	-----------------------	--	---

			<p>Оценить расстояние в кремнии, пройдя которой ион фосфора с энергией 100 кэВ потеряет половину своей начальной энергии.</p> <p>Задача 3.16 Области стока и истока в полевом транзисторе из арсенида галлия изготавливаются методом ионного легирования бериллия.</p> <p>Определить максимальную энергию имплантации при уровне легирования n-подложки <math>10^{16}</math> см<sup>-3</sup> и дозе имплантации <math>10^{15}</math> см<sup>-2</sup>, если расстояние между краями окон в маске составляет 0,8 мкм, а минимальное расстояние между областями не должно превышать 0,5 мкм. (Диффузионным размытием при активационном отжиге пренебречь).</p> <p>Задача 1.2 Определить во сколько раз изменится пороговая энергия плавления, если время жизни неосновных носителей заряда увеличится в 10 раз.</p> <p>Задача 1.3 Определить время, за которое кремниевая пластина прогреется до стационарной температуры, и определить эту температуру. (Диаметр пластины 80 мм, толщина пластины 300 мкм, мощность лампы 100 Вт, коэффициент передачи энергии лампы пластине 0,6, коэффициент отражения пластины 30%).</p> <p>Задача 1.4 Исходя из условий предыдущей задачи, определить время, за которое кремниевая пластина прогреется до половины стационарной температуры.</p> <p>Задача 1.5 Определить мощность галогенной лампы для разогрева кремниевой пластины до 1000оС. (Диаметр пластины 100 мм, толщина пластины 300 мкм, коэффициент передачи энергии лампы пластине 0,6, коэффициент отражения пластины 40%).</p> <p>Задача 1.6 Определить время отжига слоя кремния, имплантированного бором, за которое коэффициент диффузии бора станет в два раза больше стационарного. Температура отжига 800оС, 900оС, 1000оС.</p> <p>Задача 1.7 Определить мощность, которая выделяется в кремнии на глубине 0,1 мкм при падении на поверхность потока квантов света <math>10^{19}</math>см<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>. Длина волны оптического излучения 0,5 мкм.</p> <p>Задача 1.8 Определить коэффициент поглощения кремния при температуре 900оС. Длина волны оптического излучения 1,08 мкм.</p> <p>Задача 1.9 Определить время отжига радиационных дефектов, образованных при ионной имплантации, за которое число дефектов уменьшится в три раза. Энергия активации отжига 1 эВ, частотный фактор <math>1,1 \cdot 10^9</math>с<sup>-1</sup>, температура отжига 700оС, 800оС, 900оС.</p>
КМ19	Домашнее задание	ОПК-4-31;ОПК-4-32;ОПК-4-33;ОПК-4-У1;ОПК-4-У2;ОПК-4-В1;ОПК-4-В2;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-У1;ОПК-2-У2;ОПК-2-В1;ОПК-1-31;ОПК-1-33;ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-У3;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;ОПК-1-В3;ЦПК-3-У1;ЦПК-3-В1;ЦПК-3-31;ПК-5-31;ПК-5-У1;ПК-5-В1	Опишите технологический процесс формирования структуры с заданной конфигурацией. Опишите методику проведения технологических процессов и режимы и условия их проведения для формирования структуры с заданной топологией. Опишите модели процессов, используемых при формировании заданной структуры. Опишите методики проведения расчетов для процессов, выбранных для формирования заданной структуры. Опишите методику моделирования, учитывающую совместное проведения различных процессов. Опишите способы оптимизации технологических процессов с целью получения заданной структуры.

KM20	Экзамен	ОПК-4-33;ОПК-4-У2;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-33	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Уравнение диффузии. Граничные условия.</li> <li>2. Частные решения уравнения диффузии при коэффициенте диффузии, не зависящем от концентрации.</li> <li>3. Особенности диффузии бора в кремнии.</li> <li>4. Особенности диффузии мышьяка в кремнии.</li> <li>5. Особенности диффузии фосфора в кремнии.</li> <li>6. Решение уравнения диффузии. Явный и неявный метод Эйлера.</li> <li>7. Решение уравнения диффузии методом прогонки.</li> <li>8. Особенности решения уравнения диффузии при эпитаксии и окислении.</li> <li>9. Потоки окислителя в процессе окисления кремния.</li> <li>10. Уравнение окисления. Линейная и параболическая константы.</li> <li>11. Влияние температуры, давления и ориентации подложки на линейную и параболическую константы окисления.</li> <li>12. Влияние концентрации примеси на линейную и параболическую константы окисления.</li> <li>13. Влияние дефектов на процесс окисления кремния.</li> <li>14. Эффекты, обусловленные влиянием дефектов при окислении кремния (рост дефектов упаковки, влияние концентрации примеси, образование фиксированного заряда в окисле).</li> <li>15. Ионная имплантация. Ядерная тормозная способность.</li> <li>16. Ионная имплантация. Электронная тормозная способность. Модель Фирсова.</li> <li>17. Аналитические модели распределения пробегов ионов.</li> <li>18. Расчет пробегов ионов методом Монте-Карло.</li> <li>19. Расчет пробегов ионов методом решения кинетического уравнения Больцмана.</li> <li>20. Образование дефектов при ионной имплантации. Модель Кинчина и Пиза.</li> <li>21. Импульсный отжиг полупроводниковых структур. Методики проведения процессов.</li> <li>22. Параметры моделирование процессов импульсного отжига.</li> <li>23. Методы решения уравнения теплопроводности.</li> <li>24. Быстрый термический отжиг. Методы проведения процесса.</li> <li>25. Методики и параметры моделирования процесса быстрого термического отжига.</li> </ol>
------	---------	--	---

**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
P1	Решение алгебраических уравнений, численного дифференцирования и интегрирования функций (ЛР1)	ОПК-4-31;ОПК-4-32;ОПК-4-33;ОПК-4-У1;ОПК-4-В1;ЦПК-3-В1	Разработка алгоритмов решения алгебраического уравнения и численного интегрирования функций. Разработка программы решения. Проведение расчетов для заданных функций.
P2	Решение задач по определению параметров моделирования процесса диффузии (ПЗ1)	ОПК-4-33;ОПК-4-В2;ОПК-1-31;ОПК-1-33;ОПК-1-У1;ОПК-1-В2;ЦПК-3-У1	Изучение моделей коэффициента диффузии в кремнии. Проведение расчетов.
P3	Численное решение одномерного уравнения диффузии для моделирование диффузионных процессов. (ЛР2)	ОПК-4-32;ОПК-4-33;ОПК-4-У1;ОПК-4-У2;ОПК-4-В1;ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-У3;ОПК-1-В1;ЦПК-3-В1	Разработка алгоритма решения уравнения диффузии для заданных условий. Разработка программы. Проведение расчетов.

P4	Решение задач по определению характеристик диффузионных слоев (ПЗ2)	ОПК-4-В2;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-33	Решение задач по расчету характеристик диффузионных слоев.
P5	Решение двумерного уравнения диффузии (ЛР3)	ОПК-4-31;ОПК-4-32;ОПК-4-33;ОПК-4-У1;ОПК-4-В1;ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-1-32;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2	Разработка алгоритма решения уравнения диффузии для заданных условий. Разработка программы. Проведение расчетов.
P6	Расчеты толщины оксида кремния при различных режимах окисления (ПЗ3).	ОПК-4-В2;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-33;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ЦПК-3-У1	Расчеты параметров окисления и толщины оксида кремния при различных режимах окисления.
P7	Моделирование термического окисления кремния (ЛР4)	ОПК-4-32;ОПК-4-33;ОПК-4-В1;ОПК-4-В2;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-У2;ОПК-2-В1;ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-У3;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;ОПК-1-В3;ЦПК-3-В1	Разработка алгоритма расчета скорости роста окисных слоев для заданных условий. Разработка программы. Проведение расчетов.
P8	Моделирование характеристик оксида кремния, полученного методом термического окисления (ПЗ4)	ОПК-4-У2;ОПК-2-У1;ОПК-1-31;ОПК-1-33;ОПК-1-У1;ЦПК-3-В1	Расчеты характеристик слоев оксида кремния в зависимости условий и режимов окисления.
P9	Контрольная работа по темам "Диффузия" и "Термическое окисление кремния" (КР1)	ОПК-4-У2;ОПК-4-В2;ОПК-2-У2;ОПК-1-31;ОПК-1-33	Контрольная работа. Решение задач.
P10	Моделирование процессов торможения ионов в твердых телах (ПЗ5)	ОПК-4-У1;ОПК-4-В2;ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ЦПК-3-У1	Решение задач расчета ядерной и электронной тормозных способностей.
P11	Моделирование ядерной и электронной тормозных способностей в полупроводниках (ЛР5)	ОПК-4-В2;ОПК-1-31;ОПК-1-33;ОПК-1-У1;ЦПК-3-В1	Разработка алгоритма, подготовка и отладка программы ЭВМ. Проведение расчетов.
P12	Расчеты пробегов ионов в твердых телах (ПЗ6)	ОПК-4-В2;ОПК-1-31;ОПК-1-33;ОПК-1-У1;ЦПК-3-В1	Решения задач расчета пробегов ионов в аморфных мишенях
P13	Моделирование пробегов ионов в аморфных мишенях (ЛР6)	ОПК-4-В2;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-У1;ОПК-2-У2;ОПК-2-В1;ОПК-1-31;ОПК-1-33;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В3;ЦПК-3-В1	Разработка алгоритма расчета пробегов ионов в аморфных мишенях, подготовка и отладка программы. Проведение расчетов

P14	Решение задач расчета эффекта каналирования, распределения примеси в двухслойных мишенях, дефектов в имплантированных слоях (ПЗ7)	ОПК-4-В2;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-33	Решение задач по теме
P15	Численное моделирование двумерного процесса имплантации (ЛР7)	ОПК-4-32;ОПК-4-33;ОПК-4-В2;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-У1;ОПК-2-У2;ОПК-2-В1;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-33;ОПК-1-У2;ОПК-1-У3;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;ЦПК-3-В1	Разработка алгоритма моделирования двумерного распределения ионов, подготовка и отладка программы ЭВМ. Проведение расчетов для заданных условий.
P16	Расчеты параметров моделирования импульсных процессов. Моделирование процессов импульсного отжига (ПЗ8)	ОПК-4-В2;ОПК-1-31;ОПК-1-33;ОПК-1-У1	Решение задач моделирования процессов импульсного отжига
P17	Моделирование температурных полей при импульсном отжиге полупроводников (ЛР8)	ОПК-4-32;ОПК-4-33;ОПК-4-В2;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-У1;ОПК-2-У2;ОПК-2-В1;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-33;ОПК-1-В3;ЦПК-3-В1	Разработка алгоритма, подготовка и отладка программы ЭВМ. Проведение расчетов для заданных условий.
P18	Контрольная работа по темам "Моделирование процесса ионной имплантации" и "Моделирование импульсного отжига" (КР2)	ОПК-4-33;ОПК-4-В2;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-33	Решение задач по указанным темам.
P19	Домашнее задание по разработке технологических режимов изготовления полупроводниковой структуры с заданной топологией.	ОПК-4-31;ОПК-4-33;ОПК-4-32;ОПК-4-У1;ОПК-4-У2;ОПК-4-В1;ОПК-4-В2;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-У1;ОПК-2-У2;ОПК-2-В1;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-33;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-У3;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;ОПК-1-В3;ЦПК-3-У1;ЦПК-3-В1;ЦПК-3-31;ПК-5-31;ПК-5-У1;ПК-5-В1	Разработка технологического маршрута. Разработка алгоритма расчета. Подготовка и отладка программы ЭВМ. Проведение расчетов и оптимизация режимов изготовления с целью получения заданной топологии.



P20	Экзамен	ОПК-4-33;ОПК-4-У2;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-33	Ответы на вопросы экзаменационного билета
-----	---------	--	---

### 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
Л1.1	Турчак Л. И., Щенников В. В.	Основы численных методов: учеб. пособие для студ. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Наука, 1987
Л1.2	Вержбицкий В. М.	Основы численных методов: учебник для вузов спец. - Прикладная математика	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 2005
Л1.3	Курносков 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	Андреева Ольга Владимировна	Информатика. Численные методы: учеб. пособие	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2014
Л2.2	Светозарова Галина Ивановна, Андреева Ольга Владимировна	Информатика: Основы программирования на языке Турбо-Бейсик и численные методы: учеб. пособие для студ. всех спец.	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2003
Л2.3	Юрчук Сергей Юрьевич, Орлова Марина Николаевна	Основы математического моделирования: учеб. пособие	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2009
Л2.4	Тихонов А. Н., Самарский А. А.	Уравнения математической физики: учеб. пособие для вузов	Библиотека МИСиС	М.: Наука, 1977

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.5	Юрчук Сергей Юрьевич	Математические модели технологических процессов, приборов и интегральных схем: Учеб. пособие для практ. занятий студ. спец. 200.200	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1999

### 6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Юрчук Сергей Юрьевич	Основы математического моделирования: учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2014

### 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Электронная библиотека МИСиС	<a href="http://elibrary.misis.ru/browse.php">http://elibrary.misis.ru/browse.php</a>
Э2	Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>

### 6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Лицензии ПО Windows Server CAL ALNG LicSAPk MVL DvcCAL, ПО WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr и PerUsr
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
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, ПКс 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, ПКс 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 «Физико-математические модели процессов наноэлектроники» основана на предварительно прослушанных дисциплинах курсах «Информатика», «Методы математической физики». Дисциплина оканчивается зачетом с оценкой. Дисциплина включает лекции, практические занятия и лабораторные работы. Во время проведения практических занятий проводятся две контрольные работы. Кроме того, студентам необходимо выполнить домашнее задание. Все материалы дисциплины могут быть получены студентом через информационный ресурс LMS Canvas. Через этот ресурс осуществляется и оперативное взаимодействие студентов и преподавателя. Ссылка курс в LMS Canvas сообщается

студентам на первом занятии.

В начале курса студенты получают углубленные и расширенные знания по численным методам и способам их применения с помощью ЭВМ. Это позволит в дальнейшем свободно выбирать численные методы для решения задач моделирования. На лекциях преподаватель сообщает студентам об основных моделях технологических процессов полупроводниковой электроники: диффузия, окисление, ионная имплантация, импульсный отжиг, сообщает ссылки на материалы в LMS Canvas для подготовки к практическим занятиям и лабораторным работам. Представлены современные модели параметров, используемых при моделировании (коэффициенты диффузии, окисления, тормозные способности и др.). Решение представленных задач дает возможность закрепить лекционный материал и оценить реальную топологию изготавливаемых приборов. Рассматриваются основные режимы проведения процессов, учитывающиеся при моделировании. Студенты получают сведения о современных моделях параметров, используемых при решении задач, и подходах к моделированию процессов.

При подготовке к практическим занятиям студенты изучают материалы лекции, дополнительные вопросы, рекомендованные преподавателем и самостоятельно решает типовые задачи к предстоящему занятию, размещенные в LMS Canvas. На практическом занятии студенты имеют возможность задать вопросы, возникающие при решении типовых задач. На практических занятиях проводится решение задач по теме занятия с проверкой результатов. Кроме того, на практических занятиях проводятся 2 контрольные работы.

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 домашней работы по разработке технологического процесса с целью создания полупроводниковой структуры с заданной топологией. По желанию студента домашнее задание, по согласованию с преподавателем, может выполняться на других языках программирования.

Выполненная работа защищается.

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 управляемыми 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;