|  |  |
| --- | --- |
| Наименованиедисциплины | **Моделирование химико-технологических процессов** |
| **Курс** | 4 | **Семестр** | 6 | **Трудоемкость** | 4 ЗЕ, 144 ч (68 ч ауд. зан.) |
| **Виды занятий** | ЛК, ПЗ  | **Формы аттестации** | зачет с оценкой |
| **Интерактивные формы обучения** | диспуты, дискуссии и др. |
| **Цели освоения дисциплины** |
| Изучение современных систем математического моделирования и оптимизации технологических процессов, позволяющих глубже понимать сущность процессов, используемых в производстве изделий твердотельной электроники, а также планирования экспериментальной работы и обработки экспериментальных данных с использованием электронно-вычислительных машин. |
| **Место дисциплины в структуре ООП** |
| Дисциплина относится к дисциплинам базовой части модуля профессиональной подготовки, базируется на результатах изучения дисциплин естественно-научного цикла и, в том числе математики, физики, информатики, а так же дисциплин профиля: «Технология материалов твердотельной электроники», «Технология тонких пленок и покрытий», «Техника высокого вакуума». |
| **Основное содержание**  |
| **Модуль 1. Математическое моделирование. Элементы регрессионного анализа и планирования эксперимента.** Моделирование технологических процессов, основные понятия и свойства технологических систем, классификация моделей; понятие о вычислительном технологическом эксперименте, регрессионный анализ при пассивном и активном факторном эксперименте, построение регрессионных моделей; оптимизация технологических процессов. Физическое моделирование. Математическое моделирование. Построение математических моделей. Алгоритмизация математических моделей. Адекватность математических моделей реальным объектам.**Модуль 2. Работа с математической системой Mathcad.**Вычисление и математический анализ, форматирование объектов, графическая визуализация, символьные вычисления, функции пользователя и рекурсивные функции, модульное программирование, работа с массивами, векторами и матрицами, векторные и матричные функции, сохранение и использование данных. Решение линейных, нелинейных уравнений и их систем. Решение дифференциальных уравнений. Методы обработки экспериментальных данных. Функции сглаживания. Интерполяция и экстраполяция. Аппроксимация экспериментальных данных. Статистическая обработка данных.**Модуль 3. Методы моделирования процесса ионной имплантации.** Ионная имплантация, механизмы торможения ионов. Теория Линдхарда-Шарффа-Шлотта, диффузионная модель Бирсака. Эффект каналирования. Системы координат при моделировании ионной имплантации. Моделирование ионной имплантации методом Монте-Карло. Аналитические аппроксимации распределения ионов. Функции Гаусса. Распределения Пирсона-IV. Аналитические аппроксимации распределения ионов, учитывающие эффект каналирования. Распределения постимплантационных дефектов. Особенности моделирования ионной имплантации в многослойных мишенях. Эффект распыления мишени. Имплантация и распыление; боковое уширение распределения ионов, диффузионные эффекты; отжиг имплантированных структур.**Модуль 4. Методы моделирования процесса диффузии примесей.** Основные механизмы диффузии примесей в кристаллической решетке. Связанная диффузия. Коэффициент диффузии, зависимость от температуры и концентрации носителей. Модель связанной диффузии, основные уравнения. Граничные и начальные условия в моделировании диффузии. Моделирование кластеризации примеси. Особенности диффузии различных типов примеси. Взаимное влияние примесей в процессе диффузии. Неравновесные эффекты при диффузии, двумерное моделирование диффузионных процессов, диффузия при низкой и высокой концентрации примеси, система моделирования диффузионных процессов методом конечных элементов.**Модуль 5.** **Методы моделирования процесса термического окисления.** Термическое окисление кремния. Модель Дила-Гроува, вывод основного уравнения. Константы линейного и параболического роста. Начальный этап процесса окисления. Основные этапы численного моделирования процесса окисления. Влияние окислительной атмосферы на процесс диффузии. Моделирование диффузии в присутствии подвижных границ. Моделирование сегрегации примеси. Моделирование двумерного окисления. **Модуль 6. Моделирование процессов травления и осаждения, фотолитографии.** Физико-химические и геометрические модели травления/осаждения слоев. Алгоритм струны. Модель баллистического осаждения. Параметры моделей травления/осаждения. Основные этапы численного моделирования литографии. Расчет изображения на поверхности фоторезиста. Расчет интенсивности освещения в пленке фоторезиста. Моделирование процесса проявления. **Модуль 7. Моделирование процессов выращивания монокристаллов из расплава.** Влияние примесей на свойства получаемых монокристаллов. Поведение примесей при выращивании кристаллов из расплава. Коэффициент распределения. Выращивание монокристаллов с равномерным распределением примеси по поперечному сечению и длине.  |
| **Формируемые компетенции** |
| * способностью и готовностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применяет методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ПК-1);
* способен составлять математические модели типовых профессиональных задач, находить способы их решений и интерпретировать профессиональный (физический) смысл полученного математического результата (ПК-8);
* готов применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программ деловой сферы деятельности; использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования (ПК-9);
* способен планировать и проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку их результатов и оценивать погрешности, математически моделировать физические и химические процессы и явления, выдвигать гипотезы и устанавливать границы их применения (ПК-21).
 |
| **Образовательные результаты** |
| **Знать:** методы идентификации математических описаний технологических процессов на основе экспериментальных данных; методы построения эмпирических (статических) и физико-химических (теоретических) моделей химико-технологических процессов; основы программирования на языке высокого уровня. **Уметь:** применять методы вычислительной математики и математической статистики для решения конкретных задач моделирования процессов химической технологии; применять полученные знания при компьютерном моделировании и экспериментальном исследовании физических процессов, лежащих в основе принципов работы приборов и устройств твердотельной электроники; проводить планирование эксперимента и обработку экспериментальных данных технически грамотно обосновать алгоритм и разработать программу управления технологическим процессом, обеспечивающим заданные параметры изделия. **Владеть:** методами математической статистики для обработки результатов активных и пассивных экспериментов, пакетами прикладных программ для моделирования химико-технологических процессов; информацией об областях применения и перспективах развития материалов твердотельной электроники и приборов на их основе; навыки работы на современных персональных ЭВМ. |
| **Взаимосвязь дисциплины с профессиональной деятельностью выпускника** |
| Освоение дисциплины обеспечивает решение выпускником задач будущей профессиональной деятельности в следующих областях: проектно-конструкторской, производственно-технологической, научно-исследовательской, организационно-управленческой, сервисно-эксплуатационной. |
| **Ответственная кафедра** |
| Кафедра технологии приборов и материалов электронной техники |
| **Составители** | **Подписи** |
| к.х.н., доцент Холодкова Н.В. |  |
| Заведующий кафедрой, д.х.н., профессор Рыбкин В.В. |  |
| **Дата** |  |