

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 16.11.2023 17:29:18

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)

Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники

Закреплена за подразделением

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Направление подготовки

00.06.00 Аспирантура

Профиль

Квалификация

Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

3 ЗЕТ

Часов по учебному плану

108

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 7

аудиторные занятия

34

самостоятельная работа

38

часов на контроль

36

Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>) | 7 (4.1) | | Итого | |
|---|--------------|-----|-------|-----|
| | Неделя 20 | | | |
| Вид занятий | УП | РП | УП | РП |
| Лекции | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Практические | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Итого ауд. | 34 | 34 | 34 | 34 |
| Контактная работа | 34 | 34 | 34 | 34 |
| Сам. работа | 38 | 38 | 38 | 38 |
| Часы на контроль | 36 | 36 | 36 | 36 |
| Итого | 108 | 108 | 108 | 108 |

Программу составил(и):

кфмн, доцент, Подгорный Дмитрий Андреевич; кфмн, доцент, Малинкович Михаил Давыдович

Рабочая программа

Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов) (приказ от 17.03.2022 г. № 2-22)

Составлена на основании учебного плана:

- 1.3.8 Физика конденсированного состояния
- 1.3.11 Физика полупроводников
- 1.4.2 Аналитическая химия
- 2.2.3 Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники
- 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы
- 2.5.7 Технологии и машины обработки давлением
- 2.6.1 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов
- 2.6.2 Metallургия черных, цветных и редких металлов
- 2.6.3 Литейное производство
- 2.6.4 Обработка металлов давлением
- 2.6.5 Порошковая металлургия и композиционные материалы
- 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы
- 2.6.9 Технология электрохимических процессов и защита от коррозии
- 2.6.12 Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ
- 2.6.17 Материаловедение
- 2.8.3 Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр
- 2.8.6 Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика
- 2.8.7 Теоретические основы проектирования горнотехнических систем
- 2.8.8 Геотехнология, горные машины
- 2.8.9 Обогащение полезных ископаемых, АСП-22-4.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

- 1.3.8 Физика конденсированного состояния
- 1.3.11 Физика полупроводников
- 1.4.2 Аналитическая химия
- 2.2.3 Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники
- 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы
- 2.5.7 Технологии и машины обработки давлением
- 2.6.1 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов
- 2.6.2 Metallургия черных, цветных и редких металлов
- 2.6.3 Литейное производство
- 2.6.4 Обработка металлов давлением
- 2.6.5 Порошковая металлургия и композиционные материалы
- 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы
- 2.6.9 Технология электрохимических процессов и защита от коррозии
- 2.6.12 Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ
- 2.6.17 Материаловедение
- 2.8.3 Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр
- 2.8.6 Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика
- 2.8.7 Теоретические основы проектирования горнотехнических систем
- 2.8.8 Геотехнология, горные машины
- 2.8.9 Обогащение полезных ископаемых, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Протокол от г., №

Руководитель подразделения Пархоменко Ю.Н.

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

| | |
|-----|--|
| 1.1 | Цель освоения дисциплины – формирование компетенций, в соответствие с учебным планом, ознакомить с процессом разработки и исследования физико-технологических и физико-химических принципов создания новых и совершенствования традиционных материалов и приборов электронной техники, включая полупроводники, диэлектрики, металлы, технологические среды и приборы микроэлектроники и функциональной электроники |
|-----|--|

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

| Блок ОП: | | 2.1.3 |
|------------|--|-------|
| 2.1 | Требования к предварительной подготовке обучающегося: | |
| 2.1.1 | 3D-моделирование машин, агрегатов и процессов | |
| 2.1.2 | Биоматериаловедение | |
| 2.1.3 | Высокотемпературные и сверхтвердые материалы | |
| 2.1.4 | Геолого-маркшейдерское обеспечение горных работ | |
| 2.1.5 | Геотехнологии освоения месторождений полезных ископаемых | |
| 2.1.6 | Диагностика, экспертиза и коррозионный мониторинг состояния металлических материалов | |
| 2.1.7 | Инновационные конструкционные материалы | |
| 2.1.8 | Инновационные литейные технологии | |
| 2.1.9 | Инновационные технологии и конструкции оборудования для производства труб, деталей и специальных изделий | |
| 2.1.10 | Композиционные наноматериалы | |
| 2.1.11 | Компьютерное моделирование в задачах геомеханики, геоконтроля и разрушения горных пород | |
| 2.1.12 | Компьютерное моделирование в задачах геомеханики, геоконтроля и разрушения горных пород | |
| 2.1.13 | Логистика и экодизайн технологий черной металлургии | |
| 2.1.14 | Материаловедение и технологии материалов электроники | |
| 2.1.15 | Материаловедение функциональных материалов | |
| 2.1.16 | Металловедение и технологии легких сплавов | |
| 2.1.17 | Методология проектирования горных предприятий | |
| 2.1.18 | Механика подземных сооружений | |
| 2.1.19 | Обеспечение безопасного применения электроэнергии на предприятиях минерально-сырьевого комплекса | |
| 2.1.20 | Оптика и физика лазеров | |
| 2.1.21 | Организация и обеспечение качества аналитического контроля | |
| 2.1.22 | Порошковые, композиционные, аддитивные материалы и покрытия | |
| 2.1.23 | Приборы твердотельной электроники и микроэлектроники | |
| 2.1.24 | Проблемы надежности горных машин и оборудования | |
| 2.1.25 | Процессы и технологии обогащения и глубокой переработки минерального сырья | |
| 2.1.26 | Ресурсосбережение и комплексное использование сырья в металлургии цветных, редких и благородных металлов | |
| 2.1.27 | Строительная геотехнология | |
| 2.1.28 | Теоретические исследования и моделирование перспективных сталеплавильных и ферросплавных процессов | |
| 2.1.29 | Теоретические основы и средства компьютерного моделирования процессов ОМД | |
| 2.1.30 | Теория и практика решения металлургических задач | |
| 2.1.31 | Термохимия материалов и термодинамическое моделирование | |
| 2.1.32 | Технологические основы получения материалов макро-, микро- и наноэлектроники | |
| 2.1.33 | Физика конденсированного состояния | |
| 2.1.34 | Физика конденсированного состояния и квантовые технологии | |
| 2.1.35 | Физика конденсированного состояния функциональных материалов | |
| 2.1.36 | Физика наноразмерных материалов и структур | |
| 2.1.37 | Физика полупроводников и диэлектриков | |
| 2.1.38 | Физико-технологические основы получения материалов и элементов макро-, микро- и наноэлектроники | |
| 2.1.39 | Физико-химия наноматериалов | |
| 2.1.40 | Физико-химия процессов и материалов | |
| 2.1.41 | Химия и технология переработки твердых горючих ископаемых | |
| 2.1.42 | Академическое письмо | |
| 2.1.43 | Иностранный язык | |
| 2.1.44 | История и философия науки | |

| | |
|------------|---|
| 2.1.45 | Физико-химические и химические процессы обогащения и переработки полезных ископаемых и техногенного сырья |
| 2.2 | Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее: |
| 2.2.1 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.2 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.3 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.4 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.5 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.6 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.7 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.8 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.9 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.10 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.11 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.12 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.13 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.14 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.15 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.16 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.17 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.18 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.19 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.20 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.21 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.22 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.23 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.24 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.25 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.26 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.27 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.28 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.29 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.30 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.31 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.32 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.33 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.34 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.35 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.36 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.37 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.38 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.39 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.40 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.41 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |
| 2.2.42 | Государственный экзамен |
| 2.2.43 | Представление научного доклада об основных результатах научно-квалификационной работы (диссертации) |
| 2.2.44 | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук |

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

А-2: Способность проводить научный эксперимент и анализ его результата

Знать:

А-2-31 Теоретические основы разработки полупроводниковых материалов, их композиций и технологических процессов

| |
|--|
| для создания функциональных материалов и полупроводниковых структур с заданными свойствами и характеристиками |
| А-2-32 Физические принципы методов исследования материалов и приборов, теоретические основы технологических процессов получения материалов с заданными свойствами и изделий на их основе |
| А-3: Способность проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по заданной тематике и оформлять их результаты |
| Знать: |
| А-3-31 Актуальные стандарты оформления технологической документации и отчетных материалов |
| А-1: Способность к научному поиску и применению результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок при самостоятельных исследованиях |
| Знать: |
| А-1-31 Номенклатуру технологических процессов, используемых при производстве и исследовании материалов и приборов электронной техники |
| А-3: Способность проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по заданной тематике и оформлять их результаты |
| Уметь: |
| А-3-У1 Представлять информацию о проведенных исследованиях в соответствии с поставленными требованиями |
| А-2: Способность проводить научный эксперимент и анализ его результата |
| Уметь: |
| А-2-У1 Использовать знания фундаментальных основ, подходы и методы физики, статистики и материаловедения при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях |
| А-1: Способность к научному поиску и применению результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок при самостоятельных исследованиях |
| Уметь: |
| А-1-У1 Производить выбор полупроводниковых материалов, их композиций и технологических процессов для создания функциональных материалов и полупроводниковых структур с заданными свойствами и характеристиками |
| Владеть: |
| А-1-В1 Методикой балльной оценки |
| А-2: Способность проводить научный эксперимент и анализ его результата |
| Владеть: |
| А-2-В1 Методикой балльной оценки |

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. Физические и физико-химические основы электронной техники | | | | | | | |
| 1.1 | Основные разделы физики полупроводников и методы исследования свойств и параметров полупроводниковых материалов /Лек/ | 7 | 3 | А-1-31 А-1-У1 А-1-В1 А-2-31 А-2-32 А-2-У1 А-2-В1 А-3-31 А-3-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 Э1 | | КМ1 | |
| 1.2 | Термодинамика и кинетика фазообразования в полупроводниковых материалах /Пр/ | 7 | 3 | А-1-31 А-1-У1 А-1-В1 А-2-31 А-2-32 А-2-У1 А-2-В1 А-3-31 А-3-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 Э1 | | КМ1 | |
| 1.3 | Освоение теоретического материала раздела /Ср/ | 7 | 5 | А-1-31 А-1-У1 А-1-В1 А-2-31 А-2-32 А-2-У1 А-2-В1 А-3-31 А-3-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 Э1 | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|--|---|----|--|--|--|-----|--|
| | Раздел 2. Материалы электронной техники и технологии их получения | | | | | | | |
| 2.1 | Классификация полупроводниковых материалов /Лек/ | 7 | 3 | A-1-31 A-1-У1 A-1-В1 A-2-31 A-2-32 A-2-У1 A-2-В1 A-3-31 A-3-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 | | КМ1 | |
| 2.2 | Функциональные материалы микро- и нанoeлектроники и технологии их получения /Пр/ | 7 | 3 | A-1-31 A-1-У1 A-1-В1 A-2-31 A-2-32 A-2-У1 A-2-В1 A-3-31 A-3-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 | | КМ1 | |
| 2.3 | Освоение теоретического материала раздела /Ср/ | 7 | 12 | A-1-31 A-1-У1 A-1-В1 A-2-31 A-2-32 A-2-У1 A-2-В1 A-3-31 A-3-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 | | КМ1 | |
| | Раздел 3. Физические основы приборов электронной техники | | | | | | | |
| 3.1 | Явления переноса, генерационно-рекомбинационные процессы /Лек/ | 7 | 2 | A-1-31 A-1-У1 A-1-В1 A-2-31 A-2-32 A-2-У1 A-2-В1 A-3-31 A-3-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 Э1 | | | |
| 3.2 | Излучатели и приемники, приборы электроакустики и акустооптики /Пр/ | 7 | 2 | A-1-31 A-1-У1 A-1-В1 A-2-31 A-2-32 A-2-У1 A-2-В1 A-3-31 A-3-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 Э1 | | | |
| 3.3 | Освоение теоретического материала раздела /Ср/ | 7 | 5 | A-1-31 A-1-У1 A-1-В1 A-2-31 A-2-32 A-2-У1 A-2-В1 A-3-31 A-3-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 Э1 | | | |
| | Раздел 4. Технология получения структур микроэлектроники | | | | | | | |
| 4.1 | Процессы эпитаксии и пленочной технологии /Лек/ | 7 | 3 | A-1-31 A-1-У1 A-1-В1 A-2-31 A-2-32 A-2-У1 A-2-В1 A-3-31 A-3-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 Э1 | | КМ1 | |
| 4.2 | Свойства гетероструктур, гетерокомпозиций и способы их исследования /Пр/ | 7 | 3 | A-1-31 A-1-У1 A-1-В1 A-2-31 A-2-32 A-2-У1 A-2-В1 A-3-31 A-3-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 Э1 | | КМ1 | |
| 4.3 | Освоение теоретического материала раздела /Ср/ | 7 | 5 | A-1-31 A-1-У1 A-1-В1 A-2-31 A-2-32 A-2-У1 A-2-В1 A-3-31 A-3-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 Э1 | | | |
| | Раздел 5. Методы исследования материалов и элементов электронной техники | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|---|--|---|---|--|--|--|-----|--|
| 5.1 | Методы исследования структуры материалов микро- и наноэлектроники, а также приборных структур на их основе /Лек/ | 7 | 3 | A-1-31 A-1-Y1 A-1-B1 A-2-31 A-2-32 A-2-Y1 A-2-B1 A-3-31 A-3-Y1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 Э1 | | КМ1 | |
| 5.2 | Элементный и химический анализ материалов микро- и наноэлектроники /Пр/ | 7 | 3 | A-1-31 A-1-Y1 A-1-B1 A-2-31 A-2-32 A-2-Y1 A-2-B1 A-3-31 A-3-Y1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 Э1 | | КМ1 | |
| 5.3 | Освоение теоретического материала раздела /Ср/ | 7 | 5 | A-1-31 A-1-Y1 A-1-B1 A-2-31 A-2-32 A-2-Y1 A-2-B1 A-3-31 A-3-Y1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 Э1 | | | |
| Раздел 6. Технология и оборудование производства изделий электронной техники | | | | | | | | |
| 6.1 | Физические основы технологий производства изделий электронной техники /Лек/ | 7 | 3 | A-1-31 A-1-Y1 A-1-B1 A-2-31 A-2-32 A-2-Y1 A-2-B1 A-3-31 A-3-Y1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 Э1 | | КМ1 | |
| 6.2 | Оборудование для производства приборных структур /Пр/ | 7 | 3 | A-1-31 A-1-Y1 A-1-B1 A-2-31 A-2-32 A-2-Y1 A-2-B1 A-3-31 A-3-Y1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 Э1 | | КМ1 | |
| 6.3 | Освоение теоретического материала раздела /Ср/ | 7 | 6 | A-1-31 A-1-Y1 A-1-B1 A-2-31 A-2-32 A-2-Y1 A-2-B1 A-3-31 A-3-Y1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 Э1 | | | |

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 | A-3-31;A-3-Y1;A-2-31;A-2-32;A-2-Y1;A-2-B1;A-1-31;A-1-Y1;A-1-B1 | <p>1. Физические и физико-химические основы электронной техники</p> <p>1.1. Основы кристаллографии. Симметрия кристаллов и анизотропия их свойств. Атомные и ионные радиусы. Химическая связь. Соотношение ионных радиусов и структура кристаллов. Типы структур кристаллов.</p> <p>1.2. Структура и симметрия идеальных и реальных кристаллов; основные типы дефектов кристаллической структуры. Политипизм и полиморфизм. Термодинамика дефектов кристаллической решетки. Собственные и примесные дефекты в элементарном кристалле; точечные и протяженные дефекты. Температурная зависимость равновесных концентраций дефектов. Влияние дефектов на физические и химические свойства кристаллов - параметры решетки, плотность, пластичность, диффузию, электропроводность, оптические и магнитные свойства, теплопроводность, теплоемкость, коррозионную устойчивость и др.</p> <p>1.3. Дефекты, вызванные инородными примесями. Влияние</p> |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | <p>примесей на равновесие собственных дефектов. Физико-химические основы процессов легирования. Изменение валентности примесных ионов. Взаимосвязь ионной и электронной разупорядоченности в кристаллах. Взаимное влияние примесей на их растворимость в кристаллической фазе. Современные методы исследования концентрации и распределения дефектов, вызванных нарушениями стехиометрии кристалла. Взаимодействие дефектов.</p> <p>1.4. Механизмы диффузии. Элементы математического описания диффузионных процессов. Особенности, диффузии по вакансиям, дислокациям и по поверхности кристаллов. Связь между подвижностью носителей заряда и коэффициентом диффузии. Проявление зависимости: электропроводность - концентрация дефектов - давление - температура. Процессы, контролируемые дефектами при спекании кристаллов. Кинетика гетерогенных процессов и ее методы в технологии получения кристаллов с дефектами. Основные закономерности топохимических реакций. Методы определения кинетических констант.</p> <p>1.5. Дифракция в кристаллах и обратная решетка; упругие колебания в кристаллах, оптические и акустические фононы; тепловые свойства кристаллов; модель свободных электронов, основы зонной теории, классификация твердых тел, статистика электронов.</p> <p>1.6. Диэлектрические и магнитные свойства твердых тел, оптические свойства, ферромагнетизм, сегнетоэлектричество, сверхпроводимость.</p> <p>1.7. Электрические свойства металлов, диэлектриков и полупроводников. Зонная теория идеальных и реальных полупроводников. Основные определения. Зонная структура энергетического спектра носителей заряда. Распределение Ферми-Дирака. Электропроводность металлов, полупроводников и диэлектриков и их физическая природа. Собственные и примесные полупроводники. Доноры, акцепторы, глубокие центры. Диффузия и дрейф носителей, генерация и рекомбинация, электронно дырочный переход; поверхностные электронные состояния, эффект поля.</p> <p>1.8. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Поглощение и отражение света. Эффект Фарадея. Фотопроводимость. Фотоэффект. Эмиссия света из полупроводников. Межзонная излучательная, безизлучательная и ударная рекомбинация. Катодо-, фото- и электролюминесценция. Излучательная рекомбинация. Когерентное излучение. Поверхностные состояния в полупроводниках; слой обогащения, инверсии и обеднения. Полупроводники в сильном электрическом поле. Влияние сильного электрического поля на подвижность носителей заряда. Эффект Франца-Келдыша. Эффект Ганна.</p> <p>1.9. Поляризация диэлектриков и ее физическая сущность. неполярные и полярные диэлектрики. Проводимость диэлектриков и ее физическая природа. Диэлектрические потери и их природа.</p> <p>1.10. Элементарные процессы зародышеобразования и роста кристаллов. Существующие теории роста на атомногладкой и атомношероховатой поверхности, теории нормального и непрерывного роста. Теоретические основы кристаллизационных методов очистки и выращивания монокристаллов.</p> <p>1.11. Гетерогенные равновесия. Условия стабильности и равновесия фаз. Типы диаграмм фазовых равновесий двух- и многокомпонентных систем. Диаграммы как источник информации необходимой для выбора и оптимизации метода синтеза материалов с заданным составом и свойствами, определение условий их стабильного существования.</p> <p>1.12. Понятие о фазах переменного состава. Отображение явлений нестехиометрии на диаграммах состояния. Р-Т-Х - диаграмма, как источник информации для получения кристаллов с заданным отклонением от стехиометрии.</p> <p>1.13. Основные принципы термодинамики неравновесных процессов. Термодинамика неравновесных процессов в технологии материалов электронной техники. Характеристика открытых и непрерывных систем. Составление материальных и энергетических балансов. Стационарные состояния в непрерывных системах.</p> |
|--|--|--|--|

Истолкование процессов кристаллизации с позиций неравновесной термодинамики.

1.14. Основы физической химии высокодисперсных систем.

Принципы создания наноконпозиционных материалов.

Термодинамическая стабильность наноразмерных материалов.

Фазовые и структурные переходы в сверхтонких (поверхностных) системах. Теория зародышеобразования при формировании новой фазы на поверхности и в объеме твердого тела. Образование дисперсных структур на поверхности и в объеме при эпитаксии, ионной имплантации и термообработке.

1.15. Поверхность как особая область твердого тела. Идеальная и реальная поверхность твердого тела. Структурно- механические свойства поверхности: микро- и наношероховатость, микро- и нанопористость, микротрещины, краевые и винтовые дислокации, точечные дефекты; триботехнические характеристики поверхности, коэффициент трения скольжения, износостойкость, антифрикционные слои. Электрофизические свойства поверхности: зарядовые состояния, встроенный и индуцированный заряды, электростатическое взаимодействие заряженных поверхностей; поверхностно- активные вещества; термоэлектронная, электронная и ионно-полевая эмиссии; электромагнитное взаимодействие, электромагнитная индукция, токи, индуцированные электромагнитными полями, скин-эффект. Проявление размерных эффектов и эффектов масштабирования при электростатических и электромагнитных взаимодействиях.

УП: 11.06.01-АЭРиСС-20-МПид.PLX стр. 12

1.16. Основы кинетической теории газов. Распределение Максвелла-Больцмана. Средние значения скорости движения, длины свободного пробега и числа столкновений молекул. Явления переноса. Режимы течения газов. Вакуум, методы получения и измерения. Испарение. Зависимость давления насыщенных паров от температуры. Газовый разряд. Ионизация газов, ионизационный потенциал. Рекомбинация. ВАХ несамостоятельного разряда.

Тлеющий, дуговой, искровой и коронный разряды. Плазма и ее свойства. Характеристики плазмы (изотермичная, неизотермичная, равновесная, неравновесная, высоко-, низкотемпературная, идеальная, неидеальная). Ионизованный газ и плазма; элементарные процессы в плазме и на пограничных поверхностях; основные методы генерации плазмы; модели для описания свойств плазмы; типы газовых разрядов; общие свойства плазмы: явления переноса, плазма в магнитном поле, колебания, неустойчивости и эмиссионные свойства плазмы, излучение плазмы.

1.17. Физика процессов генерации плазмы в газовых разрядах: тлеющем, дуговом, высокочастотном (ВЧ) и сверхвысокочастотном (СВЧ). Разряды во внешнем магнитном поле, движение частиц в плазме. Взаимосвязь между рабочими, технологическими и конструктивными параметрами разрядных систем. Математические модели процессов и устройств, вольт-амперные характеристики разрядов.

1.18. Электронная эмиссия. Основы электронной теории твердого тела, термоэлектронная, автоэлектронная, взрывная, вторично-электронная, фотоэлектронная эмиссия. Электронный поток, его формирование и транспортировка: интенсивные и неинтенсивные, релятивистские и нерелятивистские электронные потоки.

2. Материалы электронной техники и технологии их получения

2.1. Общая классификация материалов по составу, свойствам и техническому назначению. Физическая природа электропроводности металлов, сплавов, полупроводников, диэлектриков и композиционных материалов; сверхпроводящие металлы и сплавы; характеристика проводящих и резистивных материалов во взаимосвязи с их применением в электронной технике.

2.2. Элементарные полупроводники. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Современные методы выращивания монокристаллов элементарных полупроводников.

| | | |
|--|--|--|
| | | <p>Принципы выращивания структурно-совершенных монокристаллов. Микродефекты в монокристаллах кремния. Механическая, химико-механическая, химическая обработка и очистка поверхности полупроводников.</p> <p>2.3. Полупроводниковые соединения АПВV. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Синтез и выращивание объемных монокристаллов соединений АПВV в связи с Р-Т-Х диаграммами. Методы кристаллизации и легирования. Тройные диаграммы состояния АП ВV - примесь. Компенсация и получение полуизолирующих кристаллов. Специфика подготовки подложек различных соединений АПВV. Влияние кристаллографических ориентаций. Травление жидкостное, расплавленное, газовое. Получение широкозонных материалов – нитриды галлия, алюминия, бора. Эпитаксия арсенида галлия, фосфида галлия, арсенида индия, антимонида индия и твердых растворов. Применение соединений АПВV в СВЧ-технике, оптоэлектронике, квантовой электронике.</p> <p>2.4. Полупроводниковые соединения АПВVI и АIVBVI. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Синтез и выращивание монокристаллов соединений с двумя летучими компонентами. Методы выращивания монокристаллов из газовой фазы и из расплава. Эпитаксия соединений. Методы управления стехиометрическим составом. Термообработка. Особенности получения соединений: сульфида кадмия, селенида кадмия, теллурида кадмия, сульфида свинца, твердых растворов. Области применения кристаллов: лазеры, оптические модуляторы, акустоэлектронные приборы, ИК-фотоприемники.</p> <p>2.5. Аморфные полупроводники. Аморфный кремний и сплавы на его основе. Применение аморфного кремния в фотоэлектрических преобразователях. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Понятие о физико-химических механизмах переключения памяти и оптической записи информации в халькогенидных стеклах. Особенности стеклообразования в халькогенидных системах и в оксидных системах. Синтез стеклообразных полупроводников и их свойства.</p> <p>2.6. Магнитные материалы. Металлы и сплавы, ферриты, магнитодиэлектрики, магнитные полупроводники, аморфные интерметаллические соединения. Магнитные пленки. Цилиндрические магнитные домены (ЦМД). Методы их получения и контроля. Принцип действия запоминающих устройств на ЦМД.</p> <p>2.7. Материалы вакуумной электроники. Требования к чистоте материалов и их газосодержанию. Основные требования, предъявляемые к материалам для получения вакуумплотных соединений. Особенности технологии изготовления корпусов ИС на основе металлов и стекловидных материалов: стекол, ситаллов и композиционных материалов.</p> <p>2.8. Материалы оптоэлектроники. Излучательные свойства твердых тел. Излучение света в полупроводниках. Полупроводники с прямой и непрямой запрещенной зоной. Материалы полупроводниковых светодиодов, лазеров и фотоприемников. Активные диэлектрики (LiNbO₃, LiTaO₃, КTiOPO₄), их физико-химические и оптико-физические свойства. Их применение в оптоэлектронике. Материалы для изготовления волоконных и планарных оптических волноводов.</p> <p>2.9. Материалы акустоэлектроники. Пьезоэлектрики. Пьезоэлектрические свойства монокристаллов и текстурированных материалов. Сегнетоэлектрики.</p> <p>2.10. Наноматериалы. Современные технологические методы формирования наноструктурированных материалов. Методы литографии высокого разрешения. Эпитаксиальные методы. Электрохимические методы. Золь-гель технология. Методы молекулярного наслаивания.</p> <p>2.11. Органические материалы в электронной технике. Органические полимерные диэлектрики. Методы получения полимеров реакциями полимеризации и поликонденсации. Радикальные и ионные процессы. Типы органических полимеров, их строение и свойства. Применение металлоорганических соединений (МОС) в микроэлектронике. Типы МОС, методы</p> |
|--|--|--|

| | | |
|--|--|---|
| | | <p>синтеза и разложения металлоорганических соединений. Применение металлоорганических соединений для получения чистых металлов, диэлектрических пленок, полупроводниковых соединений.</p> <p>2.12. Неорганические стекловидные диэлектрики в электронной технике и в микроэлектронике. Требования к диэлектрикам различного назначения и области их применения: подложки, материалы для бескорпусной защиты,</p> <p>УП: 11.06.01-АЭРиСС-20-МПид.PLX стр. 13 пассивации, герметизации ИС, межслойной и межкомпонентной изоляции ИС, трехмерных структур, структур КНИ, изоляции электродов газоразрядных индикаторных панелей, элементов интегральной оптики и акустоэлектроники.</p> <p>2.13. Сверхпроводящие материалы. Кристаллическая структура и изотипический эффект. Эффект Джозефсона. Высокотемпературные керамические сверхпроводники. Технология изготовления.</p> <p>2.14. Фоторезисты. Определение и классификация. Требования к фоторезистам. Разрешающая способность и химическая стойкость. Основные фототехнические характеристики фоторезистов. Позитивные и негативные фоторезисты. Фотохимические реакции в процессе фотолитографии. Материалы, используемые для производства фоторезистов и проведения процессов литографии. Электронрезисты и рентгенрезисты. Их характеристики. Технология производства.</p> <p>2.15. Исходные вещества, используемые для производства монокристаллов и пленок. Особо чистые элементы и материалы, их роль в современной технике. Понятие о чистоте вещества, методы определения и оценка чистоты Физико-химические основы глубокой очистки веществ. Понятие о коэффициенте разделения и распределения. Методы очистки. Зонная очистка. Сублимация. Ректификация. Хроматографическая очистка. Экстракция, Электролиз. Методы получения гидридов, хлоридов металлов и металлоорганических соединений.</p> <p>3. Физические основы приборов электронной техники</p> <p>3.1. Свойства p-n перехода. Кинетические явления в полупроводниках. Электро- и теплопроводность полупроводников. Рассеяние носителей заряда. Эффект Холла. Магнетосопротивление. Диффузия носителей и примесей. Невыпрямляющие контакты. Работа выхода. Эмиссия электронов. Термо -ЭДС. Эффект Пельтье.</p> <p>3.2. Физические основы работы основных типов полупроводниковых приборов: диодов, биполярных и полевых транзисторов, тиристоров, диодов Ганна.</p> <p>3.3. Явления переноса в твердых телах, контактные явления в полупроводниках, контакт металл-полупроводник и металл-диэлектрик - полупроводник (МДП), электронно-дырочный переход, изотипные и анизотипные гетеропереходы; полупроводниковые диоды, биполярные транзисторы, тиристоры, МДП-транзисторы, полевые транзисторы с управляющим переходом.</p> <p>3.4. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях; траектория движения частиц в комбинированных полях. Электровакуумные и газоразрядные приборы: приемно-усилительные лампы, приборы СВЧ, фотоумножители, лучевые приборы, электронно-оптические преобразователи, газоразрядные приборы.</p> <p>3.5. Источники излучения. Физические основы работы лазеров. Газовые и твердотельные лазеры. Полупроводниковые светодиоды и лазеры. Классификация и принцип работы. Полупроводниковые лазеры на гетеропереходах. Технология изготовления.</p> <p>3.6. Оптические волноводы. Принципы каналирования излучения. Волоконные, планарные и канальные волноводы. Основные компоненты систем оптической связи со спектральным уплотнением. Оптические усилители. Интегрально-оптические</p> |
|--|--|---|

| | | |
|--|--|---|
| | | <p>элементы.</p> <p>3.7. Способы управления оптическим излучением. Электрооптические эффекты, фотоупругий эффект, магнитооптический эффект. Принципы нелинейной оптики. Преобразование частоты оптического излучения в волноводных структурах.</p> <p>3.8. Пьезоэффект. Основные принципы акустоэлектроники. Принцип работы пьезоэлектрических резонаторов и монолитных пьезоэлектрических фильтров.</p> <p>3.9. Приборы с зарядовой связью. Физика работы. Области применения.</p> <p>3.10. Фотозлектронные приборы, Фотоприемники и солнечные батареи. Полупроводниковые фотоприемники, полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи. Принципы действия и характеристики.</p> <p>3.11. Квантово-размерные эффекты в полупроводниковых и диэлектрических нанокристаллах, их влияние на оптические свойства (люминесценция, поглощение, фононные спектры, двулучепреломление). Оптоэлектронные приборы на основе наноструктурированных полупроводников (квантовые точки и нити). Фотонные кристаллы.</p> <p>3.12. Элементы микросистемной техники. Микромеханические сенсоры. Механические конструкции: объемные, мембранные, балочные, струнные. Виды преобразователей: пьезоэлектрические, тензорезистивные, емкостные. Датчики на основе микромеханических преобразователей: давления, расхода, пульсаций, смещения, силы, ускорения, крена, микрогироскопы, микрофоны. Микромеханические приводы движения: пьезоэлектрические, емкостные, термомеханические, электромагнитные, пневматические актюаторы. Устройства микросмещения, микропозиционирования и микрозахвата. Микро- и наноманипуляторы.</p> <p>4. Технология получения структур микроэлектроники</p> <p>4.1. Методы эпитаксии кремния из газовой фазы. Легирование и автолегирование. Особенности выращивания структур со скрытыми слоями. Газофазная эпитаксия. Хлоридный, хлоридно-гидридный и МОС-гидридный методы. Жидкостная эпитаксия и области ее применения. Механизм кристаллизации из раствора в расплаве Фазовое равновесие. Равновесная и неравновесная кристаллизация. Коэффициент распределения примесей. Молекулярно-лучевая эпитаксия.</p> <p>4.2. Структуры для СВЧ- транзисторов, диодов Ганна и Шоттки. Особенности получения тонких слоев с заданной неоднородностью распределения примесей.</p> <p>4.3. Структуры со скрытыми слоями. Получение структур с диэлектрическими и поликристаллическими слоями.</p> <p>4.4. Получение структур Кремний на Изоляторе (КНИ). Методы формирования КНИ структур. Методы прямого и непрямого сращивания для формирования структур КНИ. Глубокая имплантация ионов кислорода и азота. Расчет требуемых доз и энергий. Отжиг рекристаллизации ионно-имплантированных структур. Дефекты в ионно- имплантированных структурах КНИ. Формирование КНИ-структур методом окисления пористого кремния. Технология получения гетерослоев кремния на сапфире. Особенности получения и электрофизические свойства слоев.</p> <p>4.5. Структуры полупроводник-диэлектрик. Методы получения и основные электрофизические свойства структур диэлектрик-германий. Структуры диэлектрик – антимонид индия. Технология получения структур электрохимическим окислением. Электрофизические свойства структур. Основные нестабильности и методы их уменьшения. Структуры</p> <p>УП: 11.06.01-АЭРиСС-20-МПид.PLX стр. 14 диэлектрик-арсенид галлия. Методы получения и электрофизические свойства. Основные трудности изготовления структур.</p> |
|--|--|---|

| | | |
|--|--|--|
| | | <p>4.6. Структуры оптоэлектроники. Технология получения гетероструктур для лазеров и светодиодов. Планарные и каналные оптические волноводы. Особенности получения многослойных структур. Технология получения структур для солнечных батарей.</p> <p>4.7. Процессы толстопленочной технологии. Приготовление порошков и паст для проводников и резисторов на основе палладия, серебра, золота, рутения, иридия, кадмия. Получение резисторов на основе окислов редких металлов, боридов, карбидов и нитридов. Приготовление порошков и диэлектрических паст на основе титанатов бария, кальция, висмута и др.</p> <p>4.8. Процесс ионного распыления материалов. Особенности распыления металлов и диэлектриков. Зависимость коэффициентов распыления различных факторов. Закономерности удаления материала с распыляемой поверхности и особенности их использования в технологических процессах микроэлектронного производства. Моделирование процессов распыления.</p> <p>4.9. Применение ионно-плазменных распылительных систем для нанесения и травления материалов. Физико-технологические основы процессов осаждения пленок и травления материалов. Модели процессов осаждения и травления материалов.</p> <p>4.10. Методы нанесения тонких пленок в вакууме: вакуум-термический, термоионный, электронно-лучевой, ионно-плазменный (с использованием разрядов на постоянном токе (ПТ), а также ВЧ и СВЧ разрядов), с помощью автономных ионных источников. Магнетронные распылительные системы.</p> <p>4.11. Активные индикаторы. Электронно-лучевые трубки, светоизлучающие диоды, электролюминесцентные, газоразрядные индикаторы и др. Пассивные индикаторы. Жидкокристаллические, электрохромные индикаторы, индикаторы на PLZT-керамике и др. Сравнительные характеристики активных и пассивных индикаторов. Жидкокристаллические материалы. Основные электрооптические эффекты в жидких кристаллах.</p> <p>4.12. Нанотехнология. Современные технологические методы формирования наноструктур. Процессы самоорганизации и самоформирования в технологии наноструктур. Проблемы создания упорядоченных наноструктурированных материалов на большой площади.</p> <p>5. Методы исследования материалов и элементов электронной техники</p> <p>5.1. Методы измерения электрических параметров полупроводников. Измерение подвижности, удельного сопротивления, концентрации носителей, доноров и акцепторов. Способы измерения толщины эпитаксиальных слоев. Характеристики однородности электрических свойств слоев на площади и толщине. Методы определения профиля распределения легирующих примесей. Измерение электрофизических параметров структур диэлектрик-полупроводник методом вольтфарадных характеристик.</p> <p>5.2. Методы исследования реальной структуры кристаллов, определения фазового состава, прецизионного измерения параметров решетки. Методы изучения объемных дефектов. Дифракция медленных электронов. Обратное рассеяние ионов.</p> <p>5.3. Исследование строения поверхностных слоев монокристаллов. Метод Берга-Барретта. Оценка совершенства кристаллов с помощью двухкристального спектрометра. Методы просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии и примеры ее использования.</p> <p>5.4. Оптические методы металлографических исследований. Наблюдение объектов в поляризованном свете. Топография поверхности. Наблюдение микродефектов поверхности эпитаксиальных слоев. Принципы двухлучевой и многолучевой интерферометрии и их применение. Выявление дислокаций методом травления. Механизм формирования ямок травления на дислокациях.</p> <p>5.5. Методы определения химического состава. Химические методы анализа: экстракция, хроматография, полярография,</p> |
|--|--|--|

| | | |
|--|--|---|
| | | <p>потенциометрия. Объемный анализ. Гравиметрия. Спектральный анализ. Атомно-адсорбционный анализ. Люминисцентный метод. Молекулярная спектроскопия. Электронный парамагнитный резонанс, ядерный парамагнитный резонанс. Нейтронно - активационный анализ. Метод радиоактивных индикаторов, Оже-спектроскопия, рентгено-флуоресцентный анализ, лазерная и вторично-ионная масс-спектроскопия.</p> <p>5.6. Методы определения деформаций в структурах микроэлектроники. Определение тензора деформаций с помощью двукристалльной рентгеновской дифрактометрии. Полярография. Определение деформаций по прогибу пластин.</p> <p>5.7. Методы исследования наноструктур. Электронная микроскопия. Оптика ближнего поля. Туннельная и атомно-силовая микроскопия.</p> <p>6. Технология и оборудование производства изделий электронной техники</p> <p>6.1. Современные тенденции развития технологии СБИС и УБИС. Нанотехнология. Основные требования технологии к разрабатываемому технологическому оборудованию (ТО), направления развития ТО. Методы проектирования технологического оборудования для получения субмикронных и наноразмерных структур. Системный подход к выбору оптимальных технических решений методами моделирования и формально эвристического проектирования.</p> <p>6.2. Особенности проектирования многомодульного (кластерного) оборудования. Системы контроля и управления процессами обработки в технологическом оборудовании нанесения и травления материалов.</p> <p>6.3. Проектирование транспортного и манипуляционного оборудования по критериям минимальной привносимой дефектности. Микромеханика и мехатроника в составе прецизионного оборудования электронной техники. Методы проектирования высоконадежного оборудования на основе использования не механических способов перемещения и ориентации изделий относительно источника технологического воздействия не содержащих пар трения: электрические и магнитные поля, упругие силы и др.</p> <p>6.4. Проблемы комплексной автоматизации производства на современном уровне. Технико-экономический анализ технологического и производственного процесса. Общие принципы автоматизации оборудования. Автоматические линии в</p> <p>УП: 11.06.01-АЭРиСС-20-МПид,PLX стр. 15 производстве изделий электронной техники (ИЭТ). Методы определения оптимальных параметров линий и комплексов в производстве ИЭТ. Общие сведения об управлении технологическими процессами а оборудованием. ЭВМ и информационно-управляющие комплексы. Гибкие автоматизированные системы управления технологическими процессами и производством.</p> <p>6.5. Системный подход к организации современного полупроводникового производства и разработке ТО. Математическое моделирование и системы автоматизации проектирования (САПР) как основа создания высокоэффективных технических систем. Методы математического моделирования объектов различных иерархических уровней. Геометрическое моделирование и системы компьютерной графики.</p> <p>6.6. Методология проектирования технических систем. Основные компоненты и процедурная модель проектирования. Формализация основных процедур проектирования. Оптимальное проектирование технических систем. Методы оптимизации. Поискные методы математического программирования. Общие методы многокритериальной оптимизации.</p> <p>6.7. Обеспечение и поддержание в чистых помещениях среды с заданными параметрами. Проблема привносимой дефектности при производстве СБИС. Экологические аспекты субмикронной и</p> |
|--|--|---|

| | | |
|--|--|--|
| | | <p>нанотехнологии. Модели выхода годных СБИС. Принципы организации чистых производственных помещений. Создание средств технологической экологии при производстве СБИС и УБИС. Транспортные и грузочные системы микроэлектроники (подвижные работы, тунельно-трековые системы, системы со стандартным механическим интерфейсом (СМИФ)). Кластерный принцип организации полупроводникового производства.</p> <p>6.8. Образование и распространение аэрозольных частиц в технологических объемах микроэлектроники. Механизм разрушения трущихся поверхностей и интенсивность генерации загрязняющих частиц узлами технологического оборудования. Перенос и диффузия аэрозольных частиц в среде. Моделирование теплопереноса в чистых объемах микроэлектроники. Физико-химические аспекты подлета, осаждения и удержания аэрозольных частиц на поверхности полупроводниковых пластин.</p> <p>6.9. Способы формирования электронных потоков различной интенсивности (электронные пушки и прожекторы), транспортировка электронного потока и способы ограничения его поперечных размеров. Системы регулирования параметров пучка. Управление электронными потоками. Электрические и магнитные способы управления плотностью и скоростью электронов. Квазистатические и динамические способы управления. Примеры использования в приборах вакуумной электроники и технологическом оборудовании.</p> <p>6.10. Преобразование энергии электронного потока в другие виды энергии: способы, основанные на взаимодействии с внешними электромагнитными полями, энергетический эффект взаимодействия; способы, основанные на взаимодействии с твердыми телами и структурами, эффекты взаимодействия (катодолюминисценция, катодоусиление, рентгеновское излучение, нагрев). Методы расчета и конструирования функциональных элементов и систем оборудования, использующего в технологических целях потоки заряженных частиц. Методы расчета и конструирования источников формирования электронных и ионных пучков.</p> <p>6.11. Методы очистки исходных материалов и структур; оборудование, применяемое для очистки.</p> <p>6.12. Технология и оборудование для выращивания монокристаллов. Особенности конструктивного выполнения ТО и его основных узлов и систем. Особенности выращивания из расплава элементарных полупроводников. Оптимизация равномерного распределения легирующих примесей в монокристаллах. Технология и оборудование получения полупроводникового кремния и германия. Выращивание монокристаллов германия и кремния с совершенной структурой. Особенности технологии полупроводниковых соединений. Методы контроля и стабилизации параметров процесса выращивания монокристаллов, система автоматического управления процессом.</p> <p>6.13. Технология и оборудование для получения тонких пленок в вакууме: вакуум-термическое испарение, электронно-лучевое испарения, высокочастотное распыление диэлектриков, ПТ и ВЧ магнетронное распыление, реактивное ионное распыление, Осаждение пленок в плазме из парогазовых смесей. Особенности проектирования, расчета и моделирования узлов и систем технологического оборудования нанесения пленок. Методы и оборудование осаждения пленок сложного состава, реактивное распыление материалов.</p> <p>6.14. Технология и оборудование для получения эпитаксиальных слоев. Принципиальные схемы проведения эпитаксиальных процессов. Промышленные методы эпитаксиального наращивания и виды применяемого оборудования. Эпитаксия при пониженных давлениях, молекулярно-лучевая эпитаксия. Технические требования, предъявляемые к оборудованию. Типы промышленных установок. Методы контроля и стабилизации параметров эпитаксиальных процессов. Микропроцессорное управление процессами эпитаксии. Моделирование работы эпитаксиального оборудования. Алгоритмы и программы расчета и моделирование процесса и основных элементов ТО эпитаксии.</p> |
|--|--|--|

| | | |
|--|--|--|
| | | <p>6.15. Технология и оборудование для создания р-п переходов. Методы получения р-п переходов, гетеропереходов и переходов металл-полупроводник. Диффузионные методы легирования. Ионное легирование (имплантация). Оборудование для процессов ионной имплантации.</p> <p>6.16. Основы технологии контактной, дуговой, холодной сварки и пайки. Методы получения вакуумноплотных соединений. Клеевые соединения. Методы контроля герметичности. Оборудование для создания межсоединений и герметизации готовых приборов. Пластмассовая герметизация полупроводниковых приборов, ИМС. Методы пассивации и защиты полупроводниковых приборов и ИМС. Технология и оборудование для пластмассовой герметизации ИЭТ.</p> <p>6.17. Методы и технология откачки и газозаполнения электровакуумных и газоразрядных приборов. Откачка удалением и связыванием. Криогенная откачка. Вакуумное технологическое оборудование для формирования остаточной вакуумной среды в электронных приборах.</p> <p>6.18. Термохимическое оборудование в производстве электровакуумных в полупроводниковых приборов. Принципы расчета и проектирования.</p> <p>6.19. Электротермические устройства и системы. Принципы расчета и проектирования. Оборудование для получения диффузионных и диэлектрических слоев в термопечах. Требования процессов диффузии, окисления и осаждения из паро- газовых смесей к ТО. Особенности конструкций компонентов: термопечей, элементов газо-вакуумных систем, устройств утилизации продуктов реакций и др. Основы инженерного расчета газовых систем. Автоматическое управление диффузионной печью. Моделирование процессов и устройств получения диффузионных диэлектрических слоев.</p> <p>УП: 11.06.01-АЭРиСС-20-МПид.PLX стр. 16</p> <p>6.21. Методы и оборудование травления микроструктур: ионное, реактивное ионное и плазмохимическое с использованием постоянного тока, ВЧ и СВЧ разрядов. Физика процессов, особенности проектирования и моделирования процессов, узлов и систем ТО. Системы с электронно-циклотронным резонансом. Методы анизотропного травления полупроводников (Bosh-процесс, ICP-процесс).</p> <p>6.22. Технология и оборудование электрофизических и электрохимических методов обработки. Прецизионное электроэрозионное оборудование для обработки деталей электронных приборов. Ультразвуковое оборудование для очистки поверхности и обработки хрупких материалов. Оборудование для обработки лучем лазера. Технология и оборудование электрохимической обработки.</p> <p>6.23. Основы проектирования и расчета элементов газовых систем. Элементы, используемые в газовых системах термических установок и их гидродинамические характеристики. Типы и конструкции регулирующей и контрольной аппаратуры газовых систем термического оборудования. Конструкционные материалы газовых систем. Основы инженерного расчета газовых систем.</p> <p>6.24. Контрольно-измерительное и испытательное оборудование. Современные принципы автоматизации технологических процессов измерения и контроля в процессе многооперационной обработки.</p> <p>6.25. Современное аналитическое вакуумное оборудование. Методы получения высокого вакуума. Вторично-ионные масс-спектрометры, Оже-спектрометры, оборудование, использующее рентгеновское и лазерное излучение.</p> <p>6.26. Литографические процессы в производстве полупроводниковых приборов. Анализ точности литографического процесса и определение требований к ТО. Сопоставительный анализ предельных возможностей процессов и ТО литографии, основанных на применении ультрафиолетового, лазерного и рентгеновского излучений, электронных и ионных пучков. Схемы процессов проектирования и формирования изображений на</p> |
|--|--|--|

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | <p>пластинах в производстве интегральных микросхем.</p> <p>6.27. Оборудование оптической литографии (генераторы изображений, фотоповторители, установки совмещения и экспонирования и др.). Влияние дифракции и аберраций оптических систем на качество изображения. Методы машинного расчета влияния аберраций. Прецизионные системы координатных перемещений. Алгоритмы и программы расчета оптических систем и систем координатных перемещений.</p> <p>6.28. Электронная литография. Классификация и принципиальные схемы электронно-лучевых и проекционных установок электронной литографии. Влияние различных факторов на качество изображения: аберраций, рассеяния электронов, эффектов близости и т.д. Конструкции, методы проектирования, расчета и моделирования основных узлов ТО электронной литографии: электронных пушек, систем формирования, переноса и отклонения пучков, систем совмещения, систем перемещения и позиционирования пластин. Современные проблемы и тенденции развития ТО электронной литографии.</p> <p>6.29. Основные проблемы создания и внедрения рентгеновского литографического оборудования. Состав рентгенолитографической установки. расчет и моделирование основных ее узлов и параметров процесса экспонирования. Источники рентгеновского излучения, шаблоны для рентгенолитографии.</p> <p>6.30. Ионно-лучевая литография (ИЛЛ). Направления развития ТО ИЛЛ и особенности создания систем экспонирования коллимированным ионным пучком (ИП), острое/фокусированным ИП и систем модульной ионной проекции изображения. Конструкции, сравнительные характеристики, методы расчета и моделирования основных узлов и систем ТО ИЛЛ: ионных источников, отклоняющих и сканирующих систем, систем ускорения и фокусировки.</p> <p>6.31. Основные требования технологических процессов сварки и пайки к ТО сборки монтажа микросхем. Конструктивное выполнение установок, основных узлов и систем. Принципы расчета и проектирования узлов монтажно-сборочного оборудования. Критерии подобия сварочных процессов и их применения при проектировании оборудования.</p> <p>6.32. Автоматизация монтажно-сборочного оборудования микроэлектроники. Адаптивные основы управления. Системы автоматической ориентации. Автоматизация проволочного монтажа. Автоматизированное оборудование пайки. Применение промышленных роботов в монтажно-сборочном оборудовании. Системы автоматического управления ТО монтажа и сборки микросхем.</p> <p>6.33. Основные виды контрольно-измерительных операций на различных стадиях изготовления полупроводниковых приборов и шаблонов. Контролируемые параметры, методы и приборы неразрушающего контроля.</p> <p>6.34. Технологические микросистемы. Компоненты технологических микросистем: микроклапаны, микронасосы, микродозаторы, микросмесители, микросепараторы, микротранспортеры, микрореакторы. Микро- и нано- инструмент: микросхватыватели, микроножи, микросверла, микрозонды. Кластерные технологические микросистемы: микрохимические лаборатории, участки микросборки, минифабрики.</p> |
|--|--|--|--|

5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (модулю, практике, НИР) - эссе, рефераты, практические и расчетно-графические работы, курсовые работы, проекты и др.

Для оценки результатов усвоения учебной дисциплины предусмотрено короткое эссе по 2-м вопросам из различных разделов и 3-й вопрос, который выбирается на основании научно-исследовательской деятельности обучающегося.

Типовые вопросы:

Вопросы к зачету составляются по развиваемым ЗУН (ОПК-14.1-31, ОПК-14.1 -У1, ОПК-14.1 -В1, УК-7.1 -31, УК-7.1 -У1, УК-5.1 -31, УК-5.1 -У1, ПК-1.1 -31, ПК-1.1 -У1, ОПК-5.1 -31, ОПК-5.1 -У1, ПК-1.3-31, ПК-1.3-У1) соответствующих компетенций

1. Физические и физико-химические основы электронной техники

1.1. Основы кристаллографии. Симметрия кристаллов и анизотропия их свойств. Атомные и ионные радиусы. Химическая связь. Соотношение ионных радиусов и структура кристаллов. Типы структур кристаллов.

1.2. Структура и симметрия идеальных и реальных кристаллов; основные типы дефектов кристаллической структуры. Политипизм и полиморфизм. Термодинамика дефектов кристаллической решетки. Собственные и примесные дефекты в элементарном кристалле; точечные и протяженные дефекты. Температурная зависимость равновесных концентраций дефектов. Влияние дефектов на физические и химические свойства кристаллов - параметры решетки, плотность, пластичность, диффузию, электропроводность, оптические и магнитные свойства, теплопроводность, теплоемкость, коррозионную устойчивость и др.

1.3. Дефекты, вызванные инородными примесями. Влияние примесей на равновесие собственных дефектов. Физико-химические основы процессов легирования. Изменение валентности примесных ионов. Взаимосвязь ионной и электронной разупорядоченности в кристаллах. Взаимное влияние примесей на их растворимость в кристаллической фазе. Современные методы исследования концентрации и распределения дефектов, вызванных нарушениями стехиометрии кристалла. Взаимодействие дефектов.

1.4. Механизмы диффузии. Элементы математического описания диффузионных процессов. Особенности, диффузии по вакансиям, дислокациям и по поверхности кристаллов. Связь между подвижностью носителей заряда и коэффициентом диффузии. Проявление зависимости: электропроводность - концентрация дефектов - давление - температура. Процессы, контролируемые дефектами при спекании кристаллов. Кинетика гетерогенных процессов и ее методы в технологии получения кристаллов с дефектами. Основные закономерности топохимических реакций. Методы определения кинетических констант.

1.5. Дифракция в кристаллах и обратная решетка; упругие колебания в кристаллах, оптические и акустические фононы; тепловые свойства кристаллов; модель свободных электронов, основы зонной теории, классификация твердых тел, статистика электронов.

1.6. Диэлектрические и магнитные свойства твердых тел, оптические свойства, ферромагнетизм, сегнетоэлектричество, сверхпроводимость.

1.7. Электрические свойства металлов, диэлектриков и полупроводников. Зонная теория идеальных и реальных полупроводников. Основные определения. Зонная структура энергетического спектра носителей заряда. Распределение Ферми-Дирака. Электропроводность металлов, полупроводников и диэлектриков и их физическая природа. Собственные и примесные полупроводники. Доноры, акцепторы, глубокие центры. Диффузия и дрейф носителей, генерация и рекомбинация, электронно дырочный переход; поверхностные электронные состояния, эффект поля.

1.8. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Поглощение и отражение света. Эффект Фарадея. Фотопроводимость. Фотоэффект. Эмиссия света из полупроводников. Межзонная излучательная, безизлучательная и ударная рекомбинация. Катодо-, фото- и электролюминесценция. Излучательная рекомбинация. Когерентное излучение. Поверхностные состояния в полупроводниках; слои обогащения, инверсии и обеднения. Полупроводники в сильном электрическом поле. Влияние сильного электрического поля на подвижность носителей заряда. Эффект Франца-Келдыша. Эффект Ганна.

1.9. Поляризация диэлектриков и ее физическая сущность. неполярные и полярные диэлектрики. Проводимость диэлектриков и ее физическая природа. Диэлектрические потери и их природа.

1.10. Элементарные процессы зародышеобразования и роста кристаллов. Существующие теории роста на атомногладкой и атомношероховатой поверхности, теории нормального и непрерывного роста. Теоретические основы кристаллизационных методов очистки и выращивания монокристаллов.

1.11. Гетерогенные равновесия. Условия стабильности и равновесия фаз. Типы диаграмм фазовых равновесий двух- и многокомпонентных систем. Диаграммы как источник информации необходимой для выбора и оптимизации метода синтеза материалов с заданным составом и свойствами, определение условий их стабильного существования.

1.12. Понятие о фазах переменного состава. Отображение явлений нестехиометрии на диаграммах состояния. Р-Т-Х - диаграмма, как источник информации для получения кристаллов с заданным отклонением от стехиометрии.

1.13. Основные принципы термодинамики неравновесных процессов. Термодинамика неравновесных процессов в технологии материалов электронной техники. Характеристика открытых и непрерывных систем. Составление материальных и энергетических балансов. Стационарные состояния в непрерывных системах. Истолкование процессов кристаллизации с позиций неравновесной термодинамики.

1.14. Основы физической химии высокодисперсных систем. Принципы создания наноконпозиционных материалов. Термодинамическая стабильность наноразмерных материалов. Фазовые и структурные переходы в сверхтонких (поверхностных) системах. Теория зародышеобразования при формировании новой фазы на поверхности и в объеме твердого тела. Образование дисперсных структур на поверхности и в объеме при эпитаксии, ионной имплантации и термообработке.

1.15. Поверхность как особая область твердого тела. Идеальная и реальная поверхность твердого тела. Структурно-

механические свойства поверхности: микро- и нанощероховатость, микро- и нанопористость, микротрещины, краевые и винтовые дислокации, точечные дефекты; триботехнические характеристики поверхности, коэффициент трения скольжения, износостойкость, антифрикционные слои. Электрофизические свойства поверхности: зарядовые состояния, встроенный и индуцированный заряды, электростатическое взаимодействие заряженных поверхностей; поверхностно-активные вещества; термоэлектронная, электронная и ионно-полевая эмиссии; электромагнитное взаимодействие, электромагнитная индукция, токи, индуцированные электромагнитными полями, скин-эффект. Проявление размерных эффектов и эффектов масштабирования при электростатических и электромагнитных взаимодействиях.

1.16. Основы кинетической теории газов. Распределение Максвелла-Больцмана. Средние значения скорости движения, длины свободного пробега и числа столкновений молекул. Явления переноса. Режимы течения газов. Вакуум, методы получения и измерения. Испарение. Зависимость давления насыщенных паров от температуры. Газовый разряд. Ионизация газов, ионизационный потенциал. Рекомбинация. ВАХ несамостоятельного разряда. Тлеющий, дуговой, искровой и коронный разряды. Плазма и ее свойства. Характеристики плазмы (изотермичная, неизомермичная, равновесная, неравновесная, высоко, низкотемпературная, идеальная, неидеальная). Ионизованный газ и плазма; элементарные процессы в плазме и на пограничных поверхностях; основные методы генерации плазмы; модели для описания свойств плазмы; типы газовых разрядов; общие свойства плазмы: явления переноса, плазма в магнитном поле, колебания, неустойчивости и эмиссионные свойства плазмы, излучение плазмы.

1.17. Физика процессов генерации плазмы в газовых разрядах: тлеющем, дуговом, высокочастотном (ВЧ) и сверхвысокочастотном (СВЧ). Разряды во внешнем магнитном поле, движение частиц в плазме. Взаимосвязь между рабочими, технологическими и конструктивными параметрами разрядных систем. Математические модели процессов и устройств, вольт-амперные характеристики разрядов.

1.18. Электронная эмиссия. Основы электронной теории твердого тела, термоэлектронная, автоэлектронная, взрывная, вторично-электронная, фотоэлектронная эмиссия. Электронный поток, его формирование и транспортировка: интенсивные и неинтенсивные, релятивистские и нерелятивистские электронные потоки.

2. Материалы электронной техники и технологии их получения

2.1. Общая классификация материалов по составу, свойствам и техническому назначению. Физическая природа электропроводности металлов, сплавов, полупроводников, диэлектриков и композиционных материалов; сверхпроводящие металлы и сплавы; характеристика проводящих и резистивных материалов во взаимосвязи с их применением в электронной технике.

2.2. Элементарные полупроводники. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Современные методы выращивания монокристаллов элементарных полупроводников. Принципы выращивания структурно-совершенных монокристаллов. Микродефекты в монокристаллах кремния. Механическая, химико-механическая, химическая обработка и очистка поверхности полупроводников.

2.3. Полупроводниковые соединения АПВВ. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Синтез и выращивание объемных монокристаллов соединений АПВВ в связи с Р-Т-Х диаграммами. Методы кристаллизации и легирования. Тройные диаграммы состояния АП ВV - примесь. Компенсация и получение полуизолирующих кристаллов. Специфика подготовки подложек различных соединений АПВВ. Влияние кристаллографических ориентаций. Травление жидкостное, расплавленное, газовое. Получение широкозонных материалов – нитриды галлия, алюминия, бора. Эпитаксия арсенида галлия, фосфида галлия, арсенида индия, антимонида индия и твердых растворов. Применение соединений АПВВ в СВЧ-технике, оптоэлектронике, квантовой электронике.

2.4. Полупроводниковые соединения АПВVI и АIVBVI. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Синтез и выращивание монокристаллов соединений с двумя летучими компонентами. Методы выращивания монокристаллов из газовой фазы и из расплава. Эпитаксия соединений. Методы управления стехиометрическим составом. Термообработка. Особенности получения соединений: сульфида кадмия, селенида кадмия, теллурида кадмия, сульфида свинца, твердых растворов. Области применения кристаллов: лазеры, оптические модуляторы, акустоэлектронные приборы, ИК-фотоприемники.

2.5. Аморфные полупроводники. Аморфный кремний и сплавы на его основе. Применение аморфного кремния в фотоэлектрических преобразователях. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Понятие о физико-химических механизмах переключения памяти и оптической записи информации в халькогенидных стеклах. Особенности стеклообразования в халькогенидных системах и в оксидных системах. Синтез стеклообразных полупроводников и их свойства.

2.6. Магнитные материалы. Металлы и сплавы, ферриты, магнитодиэлектрики, магнитные полупроводники, аморфные интерметаллические соединения. Магнитные пленки. Цилиндрические магнитные домены (ЦМД). Методы их получения и контроля. Принцип действия запоминающих устройств на ЦМД.

2.7. Материалы вакуумной электроники. Требования к чистоте материалов и их газосодержанию. Основные требования, предъявляемые к материалам для получения вакуумплотных соединений. Особенности технологии изготовления корпусов ИС на основе металлов и стекловидных материалов: стекол, ситаллов и композиционных материалов.

2.8. Материалы оптоэлектроники. Излучательные свойства твердых тел. Излучение света в полупроводниках. Полупроводники с прямой и непрямой запрещенной зоной. Материалы полупроводниковых светодиодов, лазеров и фотоприемников. Активные диэлектрики (LiNbO_3 , LiTaO_3 , KTiOPO_4), их физико-химические и оптико-физические свойства. Их применение в оптоэлектронике. Материалы для изготовления волоконных и планарных оптических волноводов.

2.9. Материалы акустоэлектроники. Пьезоэлектрики. Пьезоэлектрические свойства монокристаллов и текстурированных материалов. Сегнетоэлектрики.

2.10. Наноматериалы. Современные технологические методы формирования наноструктурированных материалов. Методы литографии высокого разрешения. Эпитаксиальные методы. Электрохимические методы. Золь-гель технология. Методы молекулярного наслаивания.

- 2.11. Органические материалы в электронной технике. Органические полимерные диэлектрики. Методы получения полимеров реакциями полимеризации и поликонденсации. Радикальные и ионные процессы. Типы органических полимеров, их строение и свойства. Применение металлоорганических соединений (МОС) в микроэлектронике. Типы МОС, методы синтеза и разложения металлоорганических соединений. Применение металлоорганических соединений для получения чистых металлов, диэлектрических пленок, полупроводниковых соединений.
- 2.12. Неорганические стекловидные диэлектрики в электронной технике и в микроэлектронике. Требования к диэлектрикам различного назначения и области их применения: подложки, материалы для бескорпусной защиты, пассивации, герметизации ИС, межслойной и межкомпонентной изоляции ИС, трехмерных структур, структур КНИ, изоляции электродов газоразрядных индикаторных панелей, элементов интегральной оптики и акустоэлектроники.
- 2.13. Сверхпроводящие материалы. Кристаллическая структура и изотипический эффект. Эффект Джозефсона. Высокотемпературные керамические сверхпроводники. Технология изготовления.
- 2.14. Фоторезисты. Определение и классификация. Требования к фоторезистам. Разрешающая способность и химическая стойкость. Основные фототехнические характеристики фоторезистов. Позитивные и негативные фоторезисты. Фотохимические реакции в процессе фотолитографии. Материалы, используемые для производства фоторезистов и проведения процессов литографии. Электронорезисты и рентгенорезисты. Их характеристики. Технология производства.
- 2.15. Исходные вещества, используемые для производства монокристаллов и пленок. Особо чистые элементы и материалы, их роль в современной технике. Понятие о чистоте вещества, методы определения и оценка чистоты. Физико-химические основы глубокой очистки веществ. Понятие о коэффициенте разделения и распределения. Методы очистки. Зонная очистка. Сублимация. Ректификация. Хроматографическая очистка. Экстракция, Электролиз. Методы получения гидридов, хлоридов металлов и металлорганических соединений.

3. Физические основы приборов электронной техники

- 3.1. Свойства p-n перехода. Кинетические явления в полупроводниках. Электро- и теплопроводность полупроводников. Рассеяние носителей заряда. Эффект Холла. Магнетосопротивление. Диффузия носителей и примесей. Невыпрямляющие контакты. Работа выхода. Эмиссия электронов. Термо -ЭДС. Эффект Пельтье.
- 3.2. Физические основы работы основных типов полупроводниковых приборов: диодов, биполярных и полевых транзисторов, тиристоров, диодов Ганна.
- 3.3. Явления переноса в твердых телах, контактные явления в полупроводниках, контакт металл-полупроводник и металл-диэлектрик - полупроводник (МДП), электронно-дырочный переход, изотипные и анизотипные гетеропереходы; полупроводниковые диоды, биполярные транзисторы, тиристоры, МДП-транзисторы, полевые транзисторы с управляющим переходом.
- 3.4. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях; траектория движения частиц в комбинированных полях. Электровакуумные и газоразрядные приборы: приемно-усилительные лампы, приборы СВЧ, фотоумножители, лучевые приборы, электронно-оптические преобразователи, газоразрядные приборы.
- 3.5. Источники излучения. Физические основы работы лазеров. Газовые и твердотельные лазеры. Полупроводниковые светодиоды и лазеры. Классификация и принцип работы. Полупроводниковые лазеры на гетеропереходах. Технология изготовления.
- 3.6. Оптические волноводы. Принципы каналирования излучения. Волоконные, планарные и канальные волноводы. Основные компоненты систем оптической связи со спектральным уплотнением. Оптические усилители. Интегрально-оптические элементы.
- 3.7. Способы управления оптическим излучением. Электрооптические эффекты, фотоупругий эффект, магнитооптический эффект. Принципы нелинейной оптики. Преобразование частоты оптического излучения в волноводных структурах.
- 3.8. Пьезоэффект. Основные принципы акустоэлектроники. Принцип работы пьезоэлектрических резонаторов и монолитных пьезоэлектрических фильтров.
- 3.9. Приборы с зарядовой связью. Физика работы. Области применения.
- 3.10. Фотоэлектронные приборы, Фотоприемники и солнечные батареи. Полупроводниковые фотоприемники, полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи. Принципы действия и характеристики.
- 3.11. Квантово-размерные эффекты в полупроводниковых и диэлектрических нанокристаллах, их влияние на оптические свойства (люминесценция, поглощение, фоновые спектры, двулучепреломление). Оптоэлектронные приборы на основе наноструктурированных полупроводников (квантовые точки и нити). Фотонные кристаллы.
- 3.12. Элементы микросистемной техники. Микромеханические сенсоры. Механические конструкции: объемные, мембранные, балочные, струнные. Виды преобразователей: пьезоэлектрические, тензорезистивные, емкостные. Датчики на основе микромеханических преобразователей: давления, расхода, пульсаций, смещения, силы, ускорения, крена, микрогирометры, микрофоны. Микромеханические приводы движения: пьезоэлектрические, емкостные, термомеханические, электромагнитные, пневматические актюаторы. Устройства микросмещения, микропозиционирования и микрозахвата. Микро- и наноманипуляторы.

4. Технология получения структур микроэлектроники

- 4.1. Методы эпитаксии кремния из газовой фазы. Легирование и автолегирование. Особенности выращивания структур со скрытыми слоями. Газофазная эпитаксия. Хлоридный, хлоридно-гидридный и МОС-гидридный методы. Жидкостная эпитаксия и области ее применения. Механизм кристаллизации из раствора в расплаве. Фазовое равновесие. Равновесная и неравновесная кристаллизация. Коэффициент распределения примесей. Молекулярно-лучевая эпитаксия.
- 4.2. Структуры для СВЧ- транзисторов, диодов Ганна и Шоттки. Особенности получения тонких слоев с заданной неоднородностью распределения примесей.
- 4.3. Структуры со скрытыми слоями. Получение структур с диэлектрическими и поликристаллическими слоями.
- 4.4. Получение структур Кремний на Изоляторе (КНИ). Методы формирования КНИ структур. Методы прямого и

- непрямого сращивания для формирования структур КНИ. Глубокая имплантация ионов кислорода и азота. Расчет требуемых доз и энергий. Отжиг рекристаллизации ионно-имплантированных структур. Дефекты в ионно-имплантированных структурах КНИ. Формирование КНИ-структур методом окисления пористого кремния. Технология получения гетерослоев кремния на сапфире. Особенности получения и электрофизические свойства слоев.
- 4.5. Структуры полупроводник-диэлектрик. Методы получения и основные электрофизические свойства структур диэлектрик-германий. Структуры диэлектрик – антимонид индия. Технология получения структур электрохимическим окислением. Электрофизические свойства структур. Основные нестабильности и методы их уменьшения. Структуры диэлектрик-арсенид галлия. Методы получения и электрофизические свойства. Основные трудности изготовления структур.
- 4.6. Структуры оптоэлектроники. Технология получения гетероструктур для лазеров и светодиодов. Планарные и канальные оптические волноводы. Особенности получения многослойных структур. Технология получения структур для солнечных батарей.
- 4.7. Процессы толстопленочной технологии. Приготовление порошков и паст для проводников и резисторов на основе палладия, серебра, золота, рутения, иридия, кадмия. Получение резисторов на основе окислов редких металлов, боридов, карбидов и нитридов. Приготовление порошков и диэлектрических паст на основе титанатов бария, кальция, висмута и др.
- 4.8. Процесс ионного распыления материалов. Особенности распыления металлов и диэлектриков. Зависимость коэффициентов распыления различных факторов. Закономерности удаления материала с распыляемой поверхности и особенности их использования в технологических процессах микроэлектронного производства. Моделирование процессов распыления.
- 4.9. Применение ионно-плазменных распылительных систем для нанесения и травления материалов. Физико-технологические основы процессов осаждения пленок и травления материалов. Модели процессов осаждения и травления материалов.
- 4.10. Методы нанесения тонких пленок в вакууме: вакуум-термический, термоионный, электронно-лучевой, ионно-плазменный (с использованием разрядов на постоянном токе (ПТ), а также ВЧ и СВЧ разрядов), с помощью автономных ионных источников. Магнетронные распылительные системы.
- 4.11. Активные индикаторы. Электронно-лучевые трубки, светоизлучающие диоды, электролюминесцентные, газоразрядные индикаторы и др. Пассивные индикаторы. Жидкокристаллические, электрохромные индикаторы, индикаторы на PLZT- керамике и др. Сравнительные характеристики активных и пассивных индикаторов. Жидкокристаллические материалы. Основные электрооптические эффекты в жидких кристаллах.
- 4.12. Нанотехнология. Современные технологические методы формирования наноструктур. Процессы самоорганизации и самоформирования в технологии наноструктур. Проблемы создания упорядоченных наноструктурированных материалов на большой площади.
5. Методы исследования материалов и элементов электронной техники
- 5.1. Методы измерения электрических параметров полупроводников. Измерение подвижности, удельного сопротивления, концентрации носителей, доноров и акцепторов. Способы измерения толщины эпитаксиальных слоев. Характеристики однородности электрических свойств слоев на площади и толщине. Методы определения профиля распределения легирующих примесей. Измерение электрофизических параметров структур диэлектрик-полупроводник методом вольтфарадных характеристик.
- 5.2. Методы исследования реальной структуры кристаллов, определения фазового состава, прецизионного измерения параметров решетки. Методы изучения объемных дефектов. Дифракция медленных электронов. Обратное рассеяние ионов.
- 5.3. Исследование строения поверхностных слоев монокристаллов. Метод Берга-Барретта. Оценка совершенства кристаллов с помощью двухкристального спектрометра. Методы просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии и примеры ее использования.
- 5.4. Оптические методы металлографических исследований. Наблюдение объектов в поляризованном свете. Топография поверхности. Наблюдение микродефектов поверхности эпитаксиальных слоев. Принципы двухлучевой и многолучевой интерферометрии и их применение. Выявление дислокаций методом травления. Механизм формирования ямок травления на дислокациях.
- 5.5. Методы определения химического состава. Химические методы анализа: экстракция, хроматография, полярография, потенциометрия. Объемный анализ. Гравиметрия. Спектральный анализ. Атомно-адсорбционный анализ. Люминисцентный метод. Молекулярная спектроскопия. Электронный парамагнитный резонанс, ядерный парамагнитный резонанс. Нейтронно-активационный анализ. Метод радиоактивных индикаторов, Оже-спектроскопия, рентгено-флуоресцентный анализ, лазерная и вторично-ионная масс-спектроскопия.
- 5.6. Методы определения деформаций в структурах микроэлектроники. Определение тензора деформаций с помощью двукристалльной рентгеновской дифрактометрии. Полярография. Определение деформаций по прогибу пластин.
- 5.7. Методы исследования наноструктур. Электронная микроскопия. Оптика ближнего поля. Туннельная и атомно-силовая микроскопия.
6. Технология и оборудование производства изделий электронной техники
- 6.1. Современные тенденции развития технологии СБИС и УБИС. Нанотехнология. Основные требования технологии к разрабатываемому технологическому оборудованию (ТО), направления развития ТО. Методы проектирования технологического оборудования для получения субмикронных и наноразмерных структур. Системный подход к выбору оптимальных технических решений методами моделирования и формально эвристического проектирования.
- 6.2. Особенности проектирования многомодульного (кластерного) оборудования. Системы контроля и управления процессами обработки в технологическом оборудовании нанесения и травления материалов.

- 6.3. Проектирование транспортного и манипуляционного оборудования по критериям минимальной привносимой дефектности. Микромеханика и мехатроника в составе прецизионного оборудования электронной техники. Методы проектирования высоконадежного оборудования на основе использования не механических способов перемещения и ориентации изделий относительно источника технологического воздействия не содержащих пар трения: электрические и магнитные поля, упругие силы и др.
- 6.4. Проблемы комплексной автоматизации производства на современном уровне. Техничко-экономический анализ технологического и производственного процесса. Общие принципы автоматизации оборудования. Автоматические линии в производстве изделий электронной техники (ИЭТ). Методы определения оптимальных параметров линий и комплексов в производстве ИЭТ. Общие сведения об управлении технологическими процессами а оборудованием. ЭВМ и информационно-управляющие комплексы. Гибкие автоматизированные системы управления технологическими процессами и производством.
- 6.5. Системный подход к организации современного полупроводникового производства и разработке ТО. Математическое моделирование и системы автоматизации проектирования (САПР) как основа создания высокоэффективных технических систем. Методы математического моделирования объектов различных иерархических уровней. Геометрическое моделирование и системы компьютерной графики.
- 6.6. Методология проектирования технических систем. Основные компоненты и процедурная модель проектирования. Формализация основных процедур проектирования. Оптимальное проектирование технических систем. Методы оптимизации. Поискные методы математического программирования. Общие методы многокритериальной оптимизации.
- 6.7. Обеспечение и поддержание в чистых помещениях среды с заданными параметрами. Проблема привносимой дефектности при производстве СБИС. Экологические аспекты субмикронной и нанотехнологии. Модели выхода годных СБИС. Принципы организации чистых производственных помещений. Создание средств технологической экологии при производстве СБИС и УБИС. Транспортные и загрузочные системы микроэлектроники (подвижные работы, туннельно-трековые системы, системы со стандартным механическим интерфейсом (СМИФ). Кластерный принцип организации полупроводникового производства.
- 6.8. Образование и распространение аэрозольных частиц в технологических объемах микроэлектроники. Механизм разрушения трущихся поверхностей и интенсивность генерации загрязняющих частиц узлами технологического оборудования. Перенос и диффузия аэрозольных частиц в среде. Моделирование теплопереноса в чистых объемах микроэлектроники. Физико - химические аспекты подлета, осаждения и удержания аэрозольных частиц на поверхности полупроводниковых пластин.
- 6.9. Способы формирования электронных потоков различной интенсивности (электронные пушки и прожекторы), транспортировка электронного потока и способы ограничения его поперечных размеров. Системы регулирования параметров пучка. Управление электронными потоками. Электрические и магнитные способы управления плотностью и скоростью электронов. Квазистатические и динамические способы управления. Примеры использования в приборах вакуумной электроники и технологическом оборудовании.
- 6.10. Преобразование энергии электронного потока в другие виды энергии: способы, основанные на взаимодействии с внешними электромагнитными полями, энергетический эффект взаимодействия; способы, основанные на взаимодействии с твердыми телами и структурами, эффекты взаимодействия (катодолюминисценция, катодоусиление, рентгеновское излучение, нагрев). Методы расчета и конструирования функциональных элементов и систем оборудования, использующего в технологических целях потоки заряженных частиц. Методы расчета и конструирования источников формирования электронных и ионных пучков.
- 6.11. Методы очистки исходных материалов и структур; оборудование, применяемое для очистки.
- 6.12. Технология и оборудование для выращивания монокристаллов. Особенности конструктивного выполнения ТО и его основных узлов и систем. Особенности выращивания из расплава элементарных полупроводников. Оптимизация равномерного распределения легирующих примесей в монокристаллах. Технология и оборудование получения полупроводникового кремния и германия. Выращивание монокристаллов германия и кремния с совершенной структурой. Особенности технологии полупроводниковых соединений. Методы контроля и стабилизации параметров процесса выращивания монокристаллов, система автоматического управления процессом.
- 6.13. Технология и оборудование для получения тонких пленок в вакууме: вакуум-термическое испарение, электронно-лучевое испарения, высокочастотное распыление диэлектриков, ПТ и ВЧ магнетронное распыление, реактивное ионное распыление, Осаждение пленок в плазме из парогазовых смесей. Особенности проектирования, расчета и моделирования узлов и систем технологического оборудования нанесения пленок. Методы и оборудование осаждения пленок сложного состава, реактивное распыление материалов.
- 6.14. Технология и оборудование для получения эпитаксиальных слоев. Принципиальные схемы проведения эпитаксиальных процессов. Промышленные методы эпитаксиального наращивания и виды применяемого оборудования. Эпитаксия при пониженных давлениях, молекулярно - лучевая эпитаксия. Технические требования, предъявляемые к оборудованию. Типы промышленных установок. Методы контроля и стабилизации параметров эпитаксиальных процессов. Микропроцессорное управление процессами эпитаксии. Моделирование работы эпитаксиального оборудования. Алгоритмы и программы расчета и моделирование процесса и основных элементов ТО эпитаксии.
- 6.15. Технология и оборудование для создания p-n переходов. Методы получения p-n переходов, гетеропереходов и переходов металл-полупроводник. Диффузионные методы легирования. Ионное легирование (имплантация). Оборудование для процессов ионной имплантации.
- 6.16. Основы технологии контактной, дуговой, холодной сварки и пайки. Методы получения вакуумноплотных соединений. Клеевые соединения. Методы контроля герметичности. Оборудование для создания межсоединений и герметизации готовых приборов. Пластмассовая герметизация полупроводниковых приборов, ИМС. Методы пассивации и защиты полупроводниковых приборов и ИМС. Технология и оборудование для пластмассовой герметизации ИЭТ.
- 6.17. Методы и технология откачки и газозаполнения электровакуумных и газоразрядных приборов. Откачка удалением и связыванием. Криогенная откачка. Вакуумное технологическое оборудование для формирования остаточной вакуумной среды в электронных приборах.

- 6.18. Термохимическое оборудование в производстве электровакуумных в полупроводниковых приборов. Принципы расчета и проектирования.
- 6.19. Электротермические устройства и системы. Принципы расчета и проектирования. Оборудование для получения диффузионных и диэлектрических слоев в термопечах. Требования процессов диффузии, окисления и осаждения из парогазовых смесей к ТО. Особенности конструкций компонентов: термопечей, элементов газо-вакуумных систем, устройств утилизации продуктов реакций и др. Основы инженерного расчета газовых систем. Автоматическое управление диффузионной печью. Моделирование процессов и устройств получения диффузионных диэлектрических слоев.
- 6.21. Методы и оборудование травления микроструктур: ионное, реактивное ионное и плазмохимическое с использованием постоянного тока, ВЧ и СВЧ разрядов. Физика процессов, особенности проектирования и моделирования процессов, узлов и систем ТО. Системы с электронно-циклотронным резонансом. Методы анизотропного травления полупроводников (Bosh-процесс, ICP-процесс).
- 6.22. Технология и оборудование электрофизических и электрохимических методов обработки. Прецизионное электроэрозионное оборудование для обработки деталей электронных приборов. Ультразвуковое оборудование для очистки поверхности и обработки хрупких материалов. Оборудование для обработки лучем лазера. Технология и оборудование электрохимической обработки.
- 6.23. Основы проектирования и расчета элементов газовых систем. Элементы, используемые в газовых системах термических установок и их гидродинамические характеристики. Типы и конструкции регулирующей и контрольной аппаратуры газовых систем термического оборудования. Конструкционные материалы газовых систем. Основы инженерного расчета газовых систем.
- 6.24. Контрольно-измерительное и испытательное оборудование. Современные принципы автоматизации технологических процессов измерения и контроля в процессе многооперационной обработки.
- 6.25. Современное аналитическое вакуумное оборудование. Методы получения высокого вакуума. Вторично-ионные масс-спектрометры, Оже-спектрометры, оборудование, использующее рентгеновское и лазерное излучение.
- 6.26. Литографические процессы в производстве полупроводниковых приборов. Анализ точности литографического процесса и определение требований к ТО. Сопоставительный анализ предельных возможностей процессов и ТО литографии, основанных на применении ультрафиолетового, лазерного и рентгеновского излучений, электронных и ионных пучков. Схемы процессов проектирования и формирования изображений на пластинах в производстве интегральных микросхем.
- 6.27. Оборудование оптической литографии (генераторы изображений, фотоповторители, установки совмещения и экспонирования и др.). Влияние дифракции и аберраций оптических систем на качество изображения. Методы машинного расчета влияния аберраций. Прецизионные системы координатных перемещений. Алгоритмы и программы расчета оптических систем и систем координатных перемещений.
- 6.28. Электронная литография. Классификация и принципиальные схемы электронно-лучевых и проекционных установок электронной литографии. Влияние различных факторов на качество изображения: аберраций, рассеяния электронов, эффектов близости и т.д. Конструкции, методы проектирования, расчета и моделирования основных узлов ТО электронной литографии: электронных пушек, систем формирования, переноса и отклонения пучков, систем совмещения, систем перемещения и позиционирования пластин. Современные проблемы и тенденции развития ТО электронной литографии.
- 6.29. Основные проблемы создания и внедрения рентгеновского литографического оборудования. Состав рентгенолитографической установки. расчет и моделирование основных ее узлов и параметров процесса экспонирования. Источники рентгеновского излучения, шаблоны для рентгенолитографии.
- 6.30. Ионно-лучевая литография (ИЛЛ). Направления развития ТО ИЛЛ и особенности создания систем экспонирования коллимированным ионным пучком (ИП), острое/фокусируемым ИП и систем модульной ионной проекции изображения. Конструкции, сравнительные характеристики, методы расчета и моделирования основных узлов и систем ТО ИЛЛ: ионных источников, отклоняющих и сканирующих систем, систем ускорения и фокусировки.
- 6.31. Основные требования технологических процессов сварки и пайки к ТО сборки монтажа микросхем. Конструктивное выполнение установок, основных узлов и систем. Принципы расчета и проектирования узлов монтажно-сборочного оборудования. Критерии подобия сварочных процессов и их применения при проектировании оборудования.
- 6.32. Автоматизация монтажно-сборочного оборудования микроэлектроники. Адаптивные основы управления. Системы автоматической ориентации. Автоматизация проволочного монтажа. Автоматизированное оборудование пайки. Применение промышленных роботов в монтажно-сборочном оборудовании. Системы автоматического управления ТО монтажа и сборки микросхем.
- 6.33. Основные виды контрольно-измерительных операций на различных стадиях изготовления полупроводниковых приборов и шаблонов. Контролируемые параметры, методы и приборы неразрушающего контроля.
- 6.34. Технологические микросистемы. Компоненты технологических микросистем: микроклапаны, микронасосы, микродозаторы, микросмесители, микросепараторы, микротранспортеры, микрореакторы. Микро- и нано- инструмент: микросхватыватели, микроножи, микросверла, микрозонды. Кластерные технологические микросистемы: микрохимические лаборатории, участки микросборки, минифабрики.

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

Для оценки результатов усвоения учебной дисциплины предусмотрено короткое эссе по 2-м вопросам из различных разделов и 3-й вопрос, который выбирается на основании научно-исследовательской деятельности обучающегося.

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

Комиссия оценивает доклад обучающегося и задает уточняющие вопросы. На основании этого выставляется соответствующая оценка.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---|--|------------------------|------------------------|
| Л1.1 | Кулаков В. М., Ладыгин Е. А., Шаховцов В. И., др., Ладыгин Е. А. | Действие проникающей радиации на изделия электронной техники | Библиотека МИСиС | М.: Сов.радио, 1980 |
| Л1.2 | Горелик С. С., Дашевский М. Я. | Материаловедение полупроводников и диэлектриков: учебник для студ. вузов по напр. 'Материаловедение и технология новых материалов', 'Материаловедение, технологии материалов и покрытий' | Электронная библиотека | М.: Изд-во МИСиС, 2003 |
| Л1.3 | Крапунин В. В., Соколов И. А., Кузнецов Г. Д. | Технология материалов электронной техники: Теория процессов полупроводниковой технологии: Учебник для вузов | Электронная библиотека | М.: Изд-во МИСиС, 1995 |
| Л1.4 | Курносое 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 |
| Л1.5 | Нашельский А. Я. | Технология спецматериалов электронной техники: Учеб. пособие для техникумов по спец. 2001 'Технология материалов электрон. техники' | Библиотека МИСиС | М.: Металлургия, 1993 |
| Л1.6 | Киреев П. С. | Физика полупроводников: Учеб. пособие для вузов | Библиотека МИСиС | М.: Высш. шк., 1975 |

6.1.2. Дополнительная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|--|--|------------------|------------------------|
| Л2.1 | Зи С. М., Трутко А. Ф. | Физика полупроводниковых приборов: пер. с англ. | Библиотека МИСиС | М.: Энергия, 1973 |
| Л2.2 | Таперо Константин Иванович, Диденко Сергей Иванович | Основы радиационной стойкости изделий электронной техники. Радиационные эффекты в изделиях электронной техники: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. подг. 210100 - Электроника и нанoeлектроника | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2013 |

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

| | | |
|----|--|--|
| Э1 | scopus.com science.gov sciencedirect.com | scopus.com science.gov sciencedirect.com |
|----|--|--|

6.3 Перечень программного обеспечения

| | |
|-----|--------------------------|
| П.1 | Win Pro 10 32-bit/64-bit |
|-----|--------------------------|

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

| | |
|-----|-------------------|
| И.1 | scopus.com |
| И.2 | science.gov |
| И.3 | sciencedirect.com |

| 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ | | |
|--|---|---|
| Ауд. | Назначение | Оснащение |
| Б-009 | Центр коллективного пользования "Материаловедение и металлургия": | установка фокусированного ионного пучка Strata FEI 205 , просвечивающий электронный микроскоп GEM 2100 JEOL |
| Б-011 | Центр коллективного пользования "Материаловедение и металлургия": | сканирующий электронный микроскоп JSM 6700 F JEOL, сканирующий электронный микроскоп JSM 6480 LV JEOL, электронный оже-спектрометр PHI-680 Physical electronics |
| Б-010 | Центр коллективного пользования "Материаловедение и металлургия": | сканирующий электронный микроскоп JEOL JSM-6700F; сканирующий электронный микроскоп JEOL JSM-6480 LV (+EDS; +EBS; +Lithography); электронный оже-спектрометр PHI-680 Physical electronics; просвечивающий электронный микроскоп JEOL JEM-2100F (+EDS) |
| К-405 | Учебная аудитория | микроскоп оптический Метам Р-1 с блоком питания (5 шт.), микроскоп оптический ММУ-3 с блоком питания, микротвердомер ПМТ-3, металлографический микроскоп МИР-12, образцы рентгеновских трубок и рентгеновских камер (3 шт.), набор демонстрационного оборудования в том числе: доска учебная, мультимедийный проектор, ПК, пакет лицензионных программ MS Office, экран проекционный, комплект учебной мебели |
| К-406 | Учебная аудитория | лабораторные установки для измерения: времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниках (с ПК и пакетом лицензионных прикладных программ); удельного электрического сопротивления полупроводников четырехзондовым методом (с ПК и пакетом прикладных программ); механических характеристик кристаллов; термоэлектрических свойств (с ПК и пакетом прикладных программ); удельного электрического сопротивления полупроводников двухзондовым методом (с ПК и пакетом прикладных программ); атомно-силовой и туннельный микроскоп (2 шт.) с ПК и пакетом прикладных программ; лабораторный стенд для определения ширины запрещенной зоны полупроводников и температурного коэффициента сопротивления металлов, лабораторный стенд для измерения эффекта Холла, лабораторный стенд для изучения влияния термодоноров на электропроводность полупроводников; набор демонстрационного оборудования в том числе: доска учебная, мультимедийная панель с ПК, комплект учебной мебели |
| К-415 | Лаборатория | установка для выращивания водорастворимых кристаллов с кристаллизаторами (5шт.), катетометр В-630, микроскоп, вытяжной шкаф, сушильный шкаф / лабораторные стенды для исследования: свойств сегнетоэлектриков по петле гистерезиса, температурной зависимости диэлектрической проницаемости и потерь мостовым методом, доменной структуры сегнетоэлектрических кристаллов поляризационно-оптическим методом, пьезоэлектрических свойств динамическим методом; исследования генерации оптических гармоник в нелинейных оптических кристаллах; микротвердомер Tukon с ПК и лицензионным ПО |

| | | |
|--------------------------------|--|--|
| К-416 | Лаборатория | спектрофотометр «Cary-5000» UV-VIS-NIR фирмы «Varian», с ПК и лицензионным ПО; испытательный комплекс ИК-ЭОЭ-1; инструментальный микроскоп ИМЦ 100x50A; гониометр-спектрометр ГС-2; интерферометр типа Физо ИФ-77 с ПК; микротвердомер «Aaffri DM 8» В AUTO с ПК и лицензионным ПО; микроскоп Carl Zeiss «Axio Imager» M1m с ПК и лицензионным ПО; испытательный комплекс для исследования электрофизических параметров материалов и их температурных зависимостей |
| К-419 | Учебная аудитория: | коллекция кристаллов и моделей кристаллических структур, доска |
| К-400 | Лаборатория | печь фотонного отжига ULVAC VHC-P610, электропечь муфельная ЭП-11/16 (2 шт.), сушильный шкаф Memmert |
| К-403 | Лаборатория | лаборатория сканирующая зондовая Ntegra |
| К-404 | Научно-исследовательская лаборатория рентгеновской дифрактометрии | рентгеновский дифрактометр D8 Discover Bruker |
| К-407 | Лаборатория | вторичный ионный масс-спектрометр (ВИМС) PHI-6600 SIMS System с ПК и лицензионным программным обеспечением |
| К-409 | Лаборатория | рентгеновский фотоэлектронный спектрометр PHI 5500 ESCA, рентгеновский фотоэлектронный спектрометр Versa Probe II |
| К-417 | Научно-исследовательская лаборатория получения тонких пленок методом магнетронного напыления: | комплекс оборудования для послеростовой подготовки поверхности, установка магнетронного напыления Sunpla 40TM, оптический микроскоп ZEISS, система оптических исследований пленок (эллипсометр) Альфа-SE, настольная установка магнетронного напыления Denton Vacuum |
| К-418 | Лаборатория | многофункциональный твердотельный лазерный комплекс |
| 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 |

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Проведение практических занятий осуществляется исключительно в аудиториях, обеспеченных мультимедийным оборудованием, с возможностью показа презентаций и видеофильмов.

Проведение практических занятий может производиться с использованием технологического и исследовательского оборудования соответствующих лабораторий.

Практические занятия должны быть нацелены на изучение особенностей реального технологического и исследовательского оборудования, особенностей и технологических ограничений, а также способов их преодоления.

Проведение аудиторных занятий предусматривает использование в учебном курсе активных и интерактивных технологий:

- при проведении практических занятий допускается использование проприетарного ПО, входящего в состав технологического и исследовательского оборудования.

Дисциплина относится к точным наукам и требует значительного объема самостоятельной работы. Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку. При этом организуются групповые и индивидуальные консультации.

Качественное освоение дисциплины возможно только при систематической самостоятельной работе.