

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 16.11.2023 17:21:06

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
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
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
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>
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
<b>А-2-32</b> Физические принципы методов исследования материалов и приборов, теоретические основы технологических процессов получения материалов с заданными свойствами и изделий на их основе
<b>А-3: Способность проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по заданной тематике и оформлять их результаты</b>
<b>Знать:</b>
А-3-31 Актуальные стандарты оформления технологической документации и отчетных материалов
<b>А-1: Способность к научному поиску и применению результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок при самостоятельных исследованиях</b>
<b>Знать:</b>
А-1-31 Номенклатуру технологических процессов, используемых при производстве и исследовании материалов и приборов электронной техники
<b>А-3: Способность проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по заданной тематике и оформлять их результаты</b>
<b>Уметь:</b>
А-3-У1 Представлять информацию о проведенных исследованиях в соответствии с поставленными требованиями
<b>А-2: Способность проводить научный эксперимент и анализ его результата</b>
<b>Уметь:</b>
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
<b>А-1: Способность к научному поиску и применению результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок при самостоятельных исследованиях</b>
<b>Уметь:</b>
А-1-У1 Производить выбор полупроводниковых материалов, их композиций и технологических процессов для создания функциональных материалов и полупроводниковых структур с заданными свойствами и характеристиками
<b>Владеть:</b>
А-1-В1 Методикой балльной оценки
<b>А-2: Способность проводить научный эксперимент и анализ его результата</b>
<b>Владеть:</b>
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
	<b>Раздел 1. Физические и физико-химические основы электронной техники</b>							
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			

	<b>Раздел 2. Материалы электронной техники и технологии их получения</b>							
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	
	<b>Раздел 3. Физические основы приборов электронной техники</b>							
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			
	<b>Раздел 4. Технология получения структур микроэлектроники</b>							
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			
	<b>Раздел 5. Методы исследования материалов и элементов электронной техники</b>							

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			
<b>Раздел 6. Технология и оборудование производства изделий электронной техники</b>								
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; слои 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. P-T-X - 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 (LiNbO<sub>3</sub>, LiTaO<sub>3</sub>, КTiOPO<sub>4</sub>), 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 <span style="float: right;">стр. 13</span>          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, микрогирископы, 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 <span style="float: right;">стр. 14</span>  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 <span style="float: right;">стр. 15</span>  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 p-n переходов. Методы получения p-n 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.РLХ <span style="float: right;">стр. 16</span></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 регуливающей 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), острого/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, неизоэтермичная, 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 ( $\text{LiNbO}_3$ ,  $\text{LiTaO}_3$ ,  $\text{KTiOPO}_4$ ), 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 металлоорганических 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 толсто пленочной 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/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.
- 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.