

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 16.11.2023 16:38:20

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)

### Физика полупроводников

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<br>(<Курс>.<Семестр на<br>курсе>) | 7 (4.1)      |     | Итого |     |
|---|--------------|-----|-------|-----|
|   | Неделя<br>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, Малинкович Михаил Давыдович; кфмн, доцент, Подгорный Дмитрий Андреевич; ктн, доцент, Быков Александр Сергеевич*

Рабочая программа

### **Физика полупроводников**

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 28.06.2021 г., №07/21

Руководитель подразделения Оганов А.Р.

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

|     |   |
|-----|---|
| 1.1 | Цель освоения дисциплины – формирование компетенций, в соответствие с учебным планом, сформировать знания о физических процессах происходящих в полупроводниковых материалах и приборных структурах |
|-----|---|

## 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     | Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук  |

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

**А-3: Способность проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по заданной тематике и оформлять их результаты**

**Знать:**

А-3-31 Знать номенклатуру, физическую интерпретацию, физические и технологические ограничения применения методов теоретических и экспериментальных исследований в области физики конденсированного состояния

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

**Знать:**

|  |
|--|
| А-2-31 Знать номенклатуру, физическую интерпретацию, физические и технологические ограничения применения методов теоретических и экспериментальных исследований в области физики конденсированного состояния                 |
| <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 Теоретические основы разработки полупроводниковых материалов, их композиций и технологических процессов для создания функциональных материалов и полупроводниковых структур с заданными свойствами и характеристиками |
| <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 Демонстрировать глубокие знания в области применения методологии теоретических и экспериментальных исследований в области физики полупроводников  |
| <b>А-2: Способность проводить научный эксперимент и анализ его результата</b>  |
| <b>Уметь:</b>  |
| А-2-У1 Применять знания в области физики полупроводников для развития теоретических и экспериментальных методик исследования физических параметров и свойств материалов  |
| <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>А-3: Способность проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по заданной тематике и оформлять их результаты</b>  |
| <b>Владеть:</b>  |
| А-3-В1 Методологией выбора методов исследования в области физики полупроводников   |
| <b>А-2: Способность проводить научный эксперимент и анализ его результата</b>  |
| <b>Владеть:</b>  |
| А-2-В1 Методологией выбора методов исследования в области физики полупроводников   |
| <b>А-1: Способность к научному поиску и применению результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок при самостоятельных исследованиях</b>  |
| <b>Владеть:</b>  |
| А-1-В1 Методологией выбора методов исследования в области физики полупроводников   |

#### 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. Основы технологии полупроводников и методы определения их параметров</b> |                |       |  |                          |            |     |                    |
| 1.1         | Методы выращивания объемных монокристаллов и эпитаксиальных пленок /Лек/              | 7              | 2     | А-1-31 А-1-У1<br>А-2-31 А-2-У1<br>А-3-31 А-3-У1                            | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4   |            | КМ1 | Р1                 |
| 1.2         | Дефекты и методы легирования полупроводниковых материалов /Пр/                        | 7              | 2     | А-1-31 А-1-У1<br>А-1-В1 А-2-31<br>А-2-У1 А-2-В1<br>А-3-31 А-3-У1<br>А-3-В1 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4   |            | КМ1 | Р1                 |
| 1.3         | Освоение теоретического материала раздела /Ср/  | 7              | 4     | А-1-31 А-1-У1<br>А-2-31 А-2-У1<br>А-3-31 А-3-У1                            | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4   |            |     |                    |
|             | <b>Раздел 2. Основы зонной теории полупроводников</b>                                 |                |       |  |                          |            |     |                    |

|     |   |   |   |  |                        |  |     |    |
|-----|---|---|---|--|------------------------|--|-----|----|
| 2.1 | Основные приближения зонной теории /Лек/                                      | 7 | 2 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-2-31 A-2-Y1<br>A-3-31 A-3-Y1                            | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  | КМ1 | Р1 |
| 2.2 | Движение электронов и дырок во внешних полях /Пр/                             | 7 | 2 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-1-B1 A-2-31<br>A-2-Y1 A-2-B1<br>A-3-31 A-3-Y1<br>A-3-B1 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  | КМ1 | Р1 |
| 2.3 | Освоение теоретического материала раздела /Ср/                                | 7 | 4 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-2-31 A-2-Y1<br>A-3-31 A-3-Y1                            | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  |     |    |
|     | <b>Раздел 3. Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках</b>  |   |   |  |                        |  |     |    |
| 3.1 | Функция распределения электронов /Лек/  | 7 | 1 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-2-31 A-2-Y1<br>A-3-31 A-3-Y1                            | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  |     |    |
| 3.2 | Уровень Ферми и способы управления его положением /Пр/                        | 7 | 1 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-1-B1 A-2-31<br>A-2-Y1 A-2-B1<br>A-3-31 A-3-Y1<br>A-3-B1 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  |     |    |
| 3.3 | Освоение теоретического материала раздела /Ср/                                | 7 | 6 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-2-31 A-2-Y1<br>A-3-31 A-3-Y1                            | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  |     |    |
|     | <b>Раздел 4. Кинетические явления в полупроводниках</b>                       |   |   |  |                        |  |     |    |
| 4.1 | Кинетические коэффициенты - проводимость, постоянная Холла и термо-ЭДС /Лек/  | 7 | 2 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-2-31 A-2-Y1<br>A-3-31 A-3-Y1                            | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  | КМ1 | Р1 |
| 4.2 | Механизмы рассеяния носителей заряда в неидеальной решетке /Пр/               | 7 | 2 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-1-B1 A-2-31<br>A-2-Y1 A-2-B1<br>A-3-31 A-3-Y1<br>A-3-B1 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  | КМ1 | Р1 |
| 4.3 | Освоение теоретического материала раздела /Ср/                                | 7 | 4 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-2-31 A-2-Y1<br>A-3-31 A-3-Y1                            | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  |     |    |
|     | <b>Раздел 5. Рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках</b>            |   |   |  |                        |  |     |    |
| 5.1 | Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда /Лек/                 | 7 | 2 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-2-31 A-2-Y1<br>A-3-31 A-3-Y1                            | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  | КМ1 | Р1 |
| 5.2 | Диффузия носителей заряда /Пр/  | 7 | 2 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-1-B1 A-2-31<br>A-2-Y1 A-2-B1<br>A-3-31 A-3-Y1<br>A-3-B1 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  | КМ1 | Р1 |
| 5.3 | Освоение теоретического материала раздела /Ср/                                | 7 | 4 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-2-31 A-2-Y1<br>A-3-31 A-3-Y1                            | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  |     |    |
|     | <b>Раздел 6. Контактные явления в полупроводниках</b>                         |   |   |  |                        |  |     |    |
| 6.1 | Схемы энергетических зон контактов металл-полупроводник и р-п переходов /Лек/ | 7 | 2 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-2-31 A-2-Y1<br>A-3-31 A-3-Y1                            | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  | КМ1 | Р1 |

|   |  |   |   |  |                        |  |     |    |
|---|--|---|---|--|------------------------|--|-----|----|
| 6.2   | Поверхностные состояния и поверхностные зоны /Пр/            | 7 | 2 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-1-B1 A-2-31<br>A-2-Y1 A-2-B1<br>A-3-31 A-3-Y1<br>A-3-B1 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  | КМ1 | Р1 |
| 6.3   | Освоение теоретического материала раздела /Ср/               | 7 | 4 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-2-31 A-2-Y1<br>A-3-31 A-3-Y1                            | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  |     |    |
| <b>Раздел 7. Оптические явления в полупроводниках</b>         |  |   |   |  |                        |  |     |    |
| 7.1   | Взаимодействие света и полупроводника /Лек/                  | 7 | 2 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-2-31 A-2-Y1<br>A-3-31 A-3-Y1                            | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  | КМ1 | Р1 |
| 7.2   | Оптические явления во внешних полях /Пр/                     | 7 | 2 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-1-B1 A-2-31<br>A-2-Y1 A-2-B1<br>A-3-31 A-3-Y1<br>A-3-B1 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  | КМ1 | Р1 |
| 7.3   | Освоение теоретического материала раздела /Ср/               | 7 | 4 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-2-31 A-2-Y1<br>A-3-31 A-3-Y1                            | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  |     |    |
| <b>Раздел 8. Структура полупроводников</b>                    |  |   |   |  |                        |  |     |    |
| 8.1   | Кристаллические полупроводники, химическая связь /Лек/       | 7 | 2 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-2-31 A-2-Y1<br>A-3-31 A-3-Y1                            | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  | КМ1 | Р1 |
| 8.2   | Аморфные и стеклообразные полупроводники /Пр/                | 7 | 2 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-1-B1 A-2-31<br>A-2-Y1 A-2-B1<br>A-3-31 A-3-Y1<br>A-3-B1 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  | КМ1 | Р1 |
| 8.3   | Освоение теоретического материала раздела /Ср/               | 7 | 4 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-2-31 A-2-Y1<br>A-3-31 A-3-Y1                            | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  |     |    |
| <b>Раздел 9. Принципы действия полупроводниковых приборов</b> |  |   |   |  |                        |  |     |    |
| 9.1   | Приборы с использованием р-п переходов /Лек/                 | 7 | 2 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-2-31 A-2-Y1<br>A-3-31 A-3-Y1                            | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  | КМ1 | Р1 |
| 9.2   | Использование наноструктур в полупроводниковых приборах /Пр/ | 7 | 2 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-1-B1 A-2-31<br>A-2-Y1 A-2-B1<br>A-3-31 A-3-Y1<br>A-3-B1 | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  | КМ1 | Р1 |
| 9.3   | Освоение теоретического материала раздела /Ср/               | 7 | 4 | A-1-31 A-1-Y1<br>A-2-31 A-2-Y1<br>A-3-31 A-3-Y1                            | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4 |  |     |    |

### 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-3-B1;A-2-31;A-2-Y1;A-2-B1;A-1-31;A-1-Y1;A-1-B1 | Вопросы для самостоятельной подготовки к занятиям:<br>1. Химическая связь и атомная структура полупроводников<br><br>Электронная конфигурация внешних оболочек атомов и типы сил связи в твердых телах. Ван-дер-Ваальсова, ионная и ковалентная |



|  |  |   |
|--|--|---|
|  |  | <p>связь.<br/> Структуры важнейших полупроводников – элементов AIV, AVI и соединений типов AПВV, AПВVI, AIVBVI.<br/> Симметрия кристаллов. Трансляционная симметрия кристаллов. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Примитивная ячейка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.<br/> Примеси и структурные дефекты в кристаллических и аморфных полупроводниках. Химическая природа и электронные свойства примесей. Точечные, линейные и двумерные дефекты.</p> <p>2. Основы технологии полупроводников и методы определения их параметров</p> <p>Методы выращивания объемных монокристаллов из жидкой и газовой фаз.<br/> Методы выращивания эпитаксиальных пленок (эпитаксия из жидкой и газовой фазы).<br/> Молекулярно-лучевая эпитаксия. Металлоорганическая эпитаксия. Методы легирования полупроводников.<br/> Основные методы определения параметров полупроводников: ширины запрещенной зоны, подвижности и концентрации свободных носителей, времени жизни неосновных носителей, концентрации и глубины залегания уровней примесей и дефектов.</p> <p>3. Основы зонной теории полупроводников</p> <p>Основные приближения зонной теории. Волновая функция электрона в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха. Зона Бриллюэна. Энергетические зоны.<br/> Законы дисперсии для важнейших полупроводников.<br/> Изоэнергетические поверхности. Тензор обратной эффективной массы. Плотность состояний. Особенности Ван-Хова.<br/> Уравнения движения электронов и дырок во внешних полях. Метод эффективной массы. Искривление энергетических зон в электрическом поле. Движение электронов и дырок в магнитном поле. Определение эффективных масс из циклотронного (диамагнитного) резонанса. Связь зонной структуры с оптическими свойствами полупроводника.<br/> Уровни энергии, создаваемые примесными центрами в полупроводниках. Доноры и акцепторы. Мелкие и глубокие уровни. Водородоподобные примесные центры.</p> <p>4. Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках</p> <p>Функция распределения электронов. Концентрация электронов и дырок в зонах, эффективная плотность состояний. Невырожденный и вырожденный электронный (дырочный) газ. Концентрации электронов и дырок на локальных уровнях. Факторы вырождения примесных состояний.<br/> Положение уровня Ферми и равновесная концентрация электронов и дырок и собственных и примесных (некомпенсированных и компенсированных) полупроводниках. Многозарядные примесные центры.</p> <p>5. Кинетические явления в полупроводниках</p> <p>Кинетические коэффициенты – проводимость, постоянная Холла и термо-ЭДС. Дрейфовая скорость, дрейфовая и холловская подвижности, фактор Холла. Дрейфовый и диффузионный ток. Соотношение Эйнштейна.<br/> Механизмы рассеяния носителей заряда в неидеальной решетке. Взаимодействие носителей заряда с акустическими и оптическими фононами. Рассеяние носителей заряда на заряженных и нейтральных примесях. Горячие электроны. Отрицательная дифференциальная проводимость. Электрические неустойчивости; электрические домены и токовые шнуры.</p> |
|--|--|---|

#### 6. Рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках

Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Квазиравновесие, квазиуровни Ферми. Уравнение кинетики рекомбинации. Времена жизни. Фотопроводимость. Механизмы рекомбинации. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через уровни примесей и дефектов. Центры прилипания. Оже-рекомбинация. Пространственно неоднородные неравновесные распределения носителей заряда. Амбиполярная диффузия. Эффект Дембера. Длина диффузии неравновесных носителей заряда.

#### 7. Контактные явления в полупроводниках

Схема энергетических зон в контакте металл-полупроводник. Обогащенные, обедненные и инверсионные слои пространственного заряда вблизи контакта. Вольтамперная характеристика барьера Шоттки. Энергетическая диаграмма p-n перехода. Инжекция неосновных носителей заряда в p-n переходе. Гетеропереходы. Энергетические диаграммы гетеропереходов. Варизонные полупроводники.

#### 8. Свойства поверхности полупроводников

Поверхностные состояния и поверхностные зоны. Искривление зон, распределение заряда и потенциала вблизи поверхности. Поверхностная рекомбинация. Эффект поля. Таммовские уровни. Скорость поверхностной рекомбинации.

#### 9. Оптические явления в полупроводниках

Комплексная диэлектрическая проницаемость, показатель преломления, коэффициент отражения, коэффициент поглощения. Связь между ними и соотношения Крамерса-Кронига. Межзонные переходы. Край собственного поглощения в случае прямых и непрямых, разрешенных и запрещенных переходов. Экситонное поглощение и излучение. Спонтанное и вынужденное излучение. Поглощение света на свободных носителях заряда. Поглощение света на колебаниях решетки. Рассеяние света колебаниями решетки, комбинационное рассеяние на оптических фононах (Рамана – Ландсберга), рассеяние на акустических фононах (Бриллюэна – Мандельштама). Влияние примесей на оптические свойства. Примесная структура оптических спектров вблизи края собственного поглощения в прямозонных и непрямоzonных полупроводниках. Межпримесная излучательная рекомбинация. Экситоны, связанные на примесных центрах. Оптические явления во внешних полях. Эффект Франца-Келдыша. Эффект Поккельса. Эффект Бурштейна-Мосса. Эффекты Фарадея и Фойгта.

#### 10. Фотоэлектрические явления

Примесная и собственная фотопроводимость. Влияние прилипания неравновесных носителей заряда на фотопроводимость. Оптическая перезарядка локальных уровней и связанные с ней эффекты. Термостимулированная проводимость. Фоторазогрев носителей заряда. Фотоэлектромагнитный эффект.

#### 11. Некристаллические полупроводники

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  |  |  | <p>Аморфные и стеклообразные полупроводники. Структура атомной матрицы некристаллических полупроводников. Идеальное стекло. Гидрированные аморфные полупроводники.</p> <p>Особенности электронного энергетического спектра неупорядоченных полупроводников. Плотность состояний. Локализация электронных состояний. Щель подвижности. Легирование некристаллических полупроводников. Механизмы переноса носителей заряда. Прыжковая проводимость. Закон Мотта.</p> <p>Спектры оптического поглощения некристаллических материалов. Правило Урбаха.</p> <p>Нестационарные процессы. Определение дрейфовой подвижности по измерениям времени пролета. Дисперсионный перенос. Влияние внешних воздействий на свойства некристаллических полупроводников. Метастабильные состояния.</p> <p>12. Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки</p> <p>Размерное квантование. Двумерные и квазидвумерные электронные системы и структуры, в которых они реализуются. Контра- и ковариантные композиционные сверхрешетки, легированные сверхрешетки легирования. Квантовые нити. Квантовые точки. Энергетический спектр электронов и плотность состояний в этих системах.</p> <p>Оптические явления в структурах с квантовыми ямами, правила отбора для межзонных и внутризонных (межподзонных) переходов. Межзонное поглощение и излучательная рекомбинация в этих структурах. Экситоны в квантовых ямах, квантово - размерный эффект Штарка.</p> <p>Электрические и гальваномагнитные явления в двумерных структурах. Эффект Шубникова-де Гааза. Общее представление о квантовом эффекте Холла.</p> <p>13. Принципы действия полупроводниковых приборов</p> <p>Вольтамперная характеристика p-n перехода. Приборы с использованием p-n переходов.</p> <p>Туннельный диод. Диод Ганна. Биполярный транзистор. Тиристор. Энергетическая диаграмма структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Полевые транзисторы на МДП-структурах. Приборы с зарядовой связью.</p> <p>Шумы в полупроводниковых приборах.</p> <p>Фотоэлементы и фотодиоды. Спектральная чувствительность и обнаружительная способность. Полупроводниковые детекторы ядерных излучений. Фотоэлектрические преобразователи, КПД преобразования.</p> <p>Светодиоды и полупроводниковые лазеры. Инжекционные лазеры на основе двойной гетероструктуры.</p> <p>Использование наноструктур в полупроводниковых приборах. Гетеротранзистор с двумерным электронным газом (НЕМТ). Гетеролазеры на основе структур с квантовыми ямами и квантовыми точками. Резонансное туннелирование в двухбарьерной гетероструктуре и резонансно-туннельный диод. Оптический модулятор на основе квантово-размерного эффекта Штарка.</p> |
|--|--|--|--|

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

| Код работы | Название работы | Проверяемые индикаторы компетенций                             | Содержание работы  |
|------------|-----------------|--|--|
| P1         | Реферат         | A-3-31;A-3-У1;A-3-B1;A-2-31;A-2-У1;A-2-B1;A-1-31;A-1-У1;A-1-B1 | 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.<br>Типовые вопросы: |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | <p>1. Химическая связь и атомная структура полупроводников</p> <p>Электронная конфигурация внешних оболочек атомов и типы сил связи в твердых телах. Ван-дер-Ваальсова, ионная и ковалентная связь.</p> <p>Структуры важнейших полупроводников – элементов AIV, AVI и соединений типов AIII BV, AII BVI, AIV BVI.</p> <p>Симметрия кристаллов. Трансляционная симметрия кристаллов. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Примитивная ячейка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.</p> <p>Примеси и структурные дефекты в кристаллических и аморфных полупроводниках. Химическая природа и электронные свойства примесей. Точечные, линейные и двумерные дефекты.</p> <p>2. Основы технологии полупроводников и методы определения их параметров</p> <p>Методы выращивания объемных монокристаллов из жидкой и газовой фаз.</p> <p>Методы выращивания эпитаксиальных пленок (эпитаксия из жидкой и газовой фазы).</p> <p>Молекулярно-лучевая эпитаксия. Металлоорганическая эпитаксия. Методы легирования полупроводников.</p> <p>Основные методы определения параметров полупроводников: ширины запрещенной зоны, подвижности и концентрации свободных носителей, времени жизни неосновных носителей, концентрации и глубины залегания уровней примесей и дефектов.</p> <p>3. Основы зонной теории полупроводников</p> <p>Основные приближения зонной теории. Волновая функция электрона в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха. Зона Бриллюэна. Энергетические зоны.</p> <p>Законы дисперсии для важнейших полупроводников. Изоэнергетические поверхности. Тензор обратной эффективной массы. Плотность состояний. Особенности Ван-Хова.</p> <p>Уравнения движения электронов и дырок во внешних полях. Метод эффективной массы. Искривление энергетических зон в электрическом поле. Движение электронов и дырок в магнитном поле. Определение эффективных масс из циклотронного (диаманитного) резонанса. Связь зонной структуры с оптическими свойствами полупроводника.</p> <p>Уровни энергии, создаваемые примесными центрами в полупроводниках. Доноры и акцепторы. Мелкие и глубокие уровни. Водородоподобные примесные центры.</p> <p>4. Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках</p> <p>Функция распределения электронов. Концентрация электронов и дырок в зонах, эффективная плотность состояний. Невырожденный и вырожденный электронный (дырочный) газ. Концентрации электронов и дырок на локальных уровнях. Факторы вырождения примесных состояний.</p> <p>Положение уровня Ферми и равновесная концентрация электронов и дырок и собственных и примесных (некомпенсированных и компенсированных) полупроводниках. Многочарядные примесные центры.</p> <p>5. Кинетические явления в полупроводниках</p> <p>Кинетические коэффициенты – проводимость, постоянная Холла и термо-ЭДС. Дрейфовая скорость, дрейфовая и холловская подвижности, фактор Холла. Дрейфовый и диффузионный ток. Соотношение Эйнштейна.</p> <p>Механизмы рассеяния носителей заряда в неидеальной решетке.</p> |
|--|--|--|

|  |  |   |
|--|--|---|
|  |  | <p>Взаимодействие носителей заряда с акустическими и оптическими фононами. Рассеяние носителей заряда на заряженных и нейтральных примесях. Горячие электроны. Отрицательная дифференциальная проводимость. Электрические неустойчивости; электрические домены и токовые шнуры.</p> <p>6. Рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках</p> <p>Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Квазиравновесие, квазиуровни Ферми. Уравнение кинетики рекомбинации. Времена жизни. Фотопроводимость. Механизмы рекомбинации. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через уровни примесей и дефектов. Центры прилипания. Оже-рекомбинация.</p> <p>Пространственно неоднородные неравновесные распределения носителей заряда. Амбиполярная диффузия. Эффект Дембера. Длина диффузии неравновесных носителей заряда.</p> <p>7. Контактные явления в полупроводниках</p> <p>Схема энергетических зон в контакте металл-полупроводник. Обогащенные, обедненные и инверсионные слои пространственного заряда вблизи контакта. Вольтамперная характеристика барьера Шоттки.</p> <p>Энергетическая диаграмма p-n перехода. Инжекция неосновных носителей заряда в p-n переходе.</p> <p>Гетеропереходы. Энергетические диаграммы гетеропереходов. Варизонные полупроводники.</p> <p>8. Свойства поверхности полупроводников</p> <p>Поверхностные состояния и поверхностные зоны. Искривление зон, распределение заряда и потенциала вблизи поверхности. Поверхностная рекомбинация.</p> <p>Эффект поля.</p> <p>Таммовские уровни. Скорость поверхностной рекомбинации.</p> <p>9. Оптические явления в полупроводниках</p> <p>Комплексная диэлектрическая проницаемость, показатель преломления, коэффициент отражения, коэффициент поглощения. Связь между ними и соотношения Крамерса-Кронига.</p> <p>Межзонные переходы. Край собственного поглощения в случае прямых и непрямых, разрешенных и запрещенных переходов. Экситонное поглощение и излучение. Спонтанное и вынужденное излучение.</p> <p>Поглощение света на свободных носителях заряда.</p> <p>Поглощение света на колебаниях решетки. Рассеяние света колебаниями решетки, комбинационное рассеяние на оптических фононах (Рамана – Ландсберга), рассеяние на акустических фононах (Бриллюэна – Мандельштама).</p> <p>Влияние примесей на оптические свойства. Примесная структура оптических спектров вблизи края собственного поглощения в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Межпримесная излучательная рекомбинация. Экситоны, связанные на примесных центрах.</p> <p>Оптические явления во внешних полях. Эффект Франца-Келдыша.</p> <p>Эффект Поккельса.</p> <p>Эффект Бурштейна-Мосса.</p> <p>Эффекты Фарадея и Фойгта.</p> <p>10. Фотоэлектрические явления</p> <p>Примесная и собственная фотопроводимость. Влияние прилипания неравновесных носителей заряда на фотопроводимость.</p> <p>Оптическая перезарядка локальных уровней и связанные с ней эффекты. Термостимулированная проводимость.</p> |
|--|--|---|

|  |  |  |   |
|--|--|--|---|
|  |  |  | <p>Фоторазогрев носителей заряда.<br/>Фотоэлектромагнитный эффект.</p> <p>11. Некристаллические полупроводники</p> <p>Аморфные и стеклообразные полупроводники. Структура атомной матрицы некристаллических полупроводников. Идеальное стекло. Гидрированные аморфные полупроводники. Особенности электронного энергетического спектра неупорядоченных полупроводников. Плотность состояний. Локализация электронных состояний. Щель подвижности. Легирование некристаллических полупроводников. Механизмы переноса носителей заряда. Прыжковая проводимость. Закон Мотта. Спектры оптического поглощения некристаллических материалов. Правило Урбаха. Нестационарные процессы. Определение дрейфовой подвижности по измерениям времени пролета. Дисперсионный перенос. Влияние внешних воздействий на свойства некристаллических полупроводников. Метастабильные состояния.</p> <p>12. Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки</p> <p>Размерное квантование. Двумерные и квазидвумерные электронные системы и структуры, в которых они реализуются. Контра- и ковариантные композиционные сверхрешетки, легированные сверхрешетки легирования. Квантовые нити. Квантовые точки. Энергетический спектр электронов и плотность состояний в этих системах. Оптические явления в структурах с квантовыми ямами, правила отбора для межзонных и внутризонных (межподзонных) переходов. Межзонное поглощение и излучательная рекомбинация в этих структурах. Экситоны в квантовых ямах, квантово-размерный эффект Штарка. Электрические и гальваномагнитные явления в двумерных структурах. Эффект Шубникова-де Гааза. Общее представление о квантовом эффекте Холла.</p> <p>13. Принципы действия полупроводниковых приборов</p> <p>Вольтамперная характеристика p-n перехода. Приборы с использованием p-n переходов. Туннельный диод. Диод Ганна. Биполярный транзистор. Тиристор. Энергетическая диаграмма структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Полевые транзисторы на МДП-структурах. Приборы с зарядовой связью. Шумы в полупроводниковых приборах. Фотоэлементы и фотодиоды. Спектральная чувствительность и обнаружительная способность. Полупроводниковые детекторы ядерных излучений. Фотоэлектрические преобразователи, КПД преобразования. Светодиоды и полупроводниковые лазеры. Инжекционные лазеры на основе двойной гетероструктуры. Использование наноструктур в полупроводниковых приборах. Гетеротранзистор с двумерным электронным газом (НЕМТ). Гетеролазеры на основе структур с квантовыми ямами и квантовыми точками. Резонансное туннелирование в двухбарьерной гетероструктуре и резонансно-туннельный диод. Оптический модулятор на основе квантово-размерного эффекта Штарка.</p> |
|--|--|--|---|

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

В конце учебной программы предусмотрен экзамен.

Типовые вопросы экзамена приведены в вопросах самоподготовки.

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

По дисциплине предполагается следующая шкала оценок:

1. "Отлично"- студент показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответах на три вопроса экзаменационного билета, при незначительных ошибках в четвертом.
2. "Хорошо"- студент показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении двух из заданных вопросов, четко излагает материал в двух других вопросах .
3. "Удовлетворительно"- студент показывает знания в объеме пройденной программы, использует методы и правила, необходимые для решения конкретной поставленной задачи, отвечает с ошибками в трех вопросах, только на один отвечает без замечаний.
4. "Неудовлетворительно" студент допускает грубые ошибки в ответах на все четыре вопроса билета, не ориентируется в тематике курса, не понимает сущности излагаемого вопроса

**6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ****6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

|      | Авторы, составители                     | Заглавие  | Библиотека       | Издательство, год         |
|------|---|---|------------------|---------------------------|
| Л1.1 | Киреев П. С.                            | Физика полупроводников:<br>Учеб. пособие для вузов  | Библиотека МИСиС | М.: Высш. шк., 1975       |
| Л1.2 | Бонч-Бруевич В. Л.,<br>Калашников С. Г. | Физика полупроводников:<br>Учеб. пособие для студ. физ.<br>спец. вузов                                    | Библиотека МИСиС | М.: Наука, 1990           |
| Л1.3 | Шалимова К. В.                          | Физика полупроводников:<br>Учебник для вузов по спец.<br>'Полупроводниковые и<br>микрорелектрон. приборы' | Библиотека МИСиС | М.: Энергоатомиздат, 1985 |
| Л1.4 | Зи С. М., Трутко А.<br>Ф.               | Физика полупроводниковых<br>приборов: пер. с англ.  | Библиотека МИСиС | М.: Энергия, 1973         |

**6.3 Перечень программного обеспечения**

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

**6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных****7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

| Ауд.  | Назначение        | Оснащение   |
|-------|-------------------|---|
| К-405 | Учебная аудитория | микроскоп оптический Метап 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-521 | Учебная аудитория   | набор демонстрационного оборудования в том числе: мультимедийный проектор, ПК, экран проекционный, коллекция моделей кристаллических многогранников и кристаллических структур, комплект учебной мебели, пакет лицензионных программ MS Office  |
| К-404 | Научно-исследовательская лаборатория рентгеновской дифрактометрии | рентгеновский дифрактометр D8 Discover Bruker   |
| К-403 | Лаборатория   | лаборатория сканирующая зондовая Ntegra   |
| 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   |
| 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 же-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; +EBSD; +Lythography); электронный же-спектрометр PHI-680 Physical electronics; просвечивающий электронный микроскоп JEOL JEM-2100F (+EDS)   |
| Б-016 | Международная школа микроскопии:                                  | просвечивающий электронный микроскоп JEOL JEM-1400 (STEM conf.); сканирующий электронный микроскоп JEOL JSM-IT500LA (+JEOL EDS); атомно-силовой микроскоп AIST-NT SmartSPM-1000 (AFM, MFM, SPM); комплекс пробоподготовки в составе: JEOL IonSlicer-9100IS; Struers Tenupol-5 с криостатом; Struers Lectropol-5 с криостатом. Зал на 11 рабочих мест, оборудованных персональными компьютерами с подключением сети "Интернет" и электронной информационно-образовательной среде университета, пакет лицензионных программ MS Office, комплект учебной мебели, проектор (2 шт), интерактивная доска, экран |

### 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 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.

Подготовка к контрольным работам проводится в часы самостоятельной работы и, при необходимости, в часы консультаций лектора.

По курсу предусмотрен зачет с оценкой.

Материалы курса (презентации лекций, рекомендуемая литература, видеоматериалы и др.) приводятся в системе LMS Canvas по мере освоения дисциплины.