

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 09.07.2023 19:47:27

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)

# Физические свойства приповерхностных слоев и методы их исследований

Закреплена за подразделением

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Направление подготовки

22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Профиль

Квалификация

Магистр-исследователь

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

4 ЗЕТ

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 1

аудиторные занятия

51

самостоятельная работа

57

часов на контроль

36

### Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр<br>(<Курс>.<Семестр на<br>курсе>) | 1 (1.1) |     | Итого |     |
|---|---------|-----|-------|-----|
|   | УП      | РП  | УП    | РП  |
| Неделя                                    | 18      |     |       |     |
| Вид занятий                               | УП      | РП  | УП    | РП  |
| Лабораторные                              | 17      | 17  | 17    | 17  |
| Практические                              | 34      | 34  | 34    | 34  |
| Итого ауд.                                | 51      | 51  | 51    | 51  |
| Контактная работа                         | 51      | 51  | 51    | 51  |
| Сам. работа                               | 57      | 57  | 57    | 57  |
| Часы на контроль                          | 36      | 36  | 36    | 36  |
| Итого                                     | 144     | 144 | 144   | 144 |

Программу составил(и):

*к.ф.-.м.н., доц., Малинкович Михаил Давыдович*

Рабочая программа

**Физические свойства приповерхностных слоев и методы их исследований**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ, 22.04.01-ММТМ-22-4.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ, , 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 А.Р. Оганов

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

|     |   |
|-----|---|
| 1.1 | Цель освоения дисциплины – формирование компетенций, в соответствие с учебным планом, дать представления о полупроводниковых приборных структурах, составляющих основу элементной базы электронной техники, их физических и функциональных характеристиках, материаловедческих и технологических задачах, решаемых при изготовлении структур. Конкретизировать знания студентов о типах и свойствах дефектов, возникающих на границе раздела металл-полупроводник, полупроводник-полупроводник, полупроводник-диэлектрик, соответствующих энергетических зонах; рассмотреть тонкопленочные структуры, в том числе многослойные и квантоворазмерные. Освоить контактные, емкостные, зондовые и оптические методы измерения параметров полупроводниковых приборных структур. Рассмотреть новые, появившиеся в последние годы типы приборных структур и технологии их изготовления, в том числе возможности и перспективы нанотехнологии, а также научить применять полученные знания в профессиональной деятельности. |
|-----|---|

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

| Блок ОП:   |   | Б1.В |
|------------|---|------|
| <b>2.1</b> | <b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>  |      |
| <b>2.2</b> | <b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b> |      |
| 2.2.1      | Дифракционные методы исследования неупорядоченных структур  |      |
| 2.2.2      | Математическое и компьютерное моделирование материалов и процессов  |      |
| 2.2.3      | Оптические элементы лазерных систем. Часть 1  |      |
| 2.2.4      | Применение лазерных систем  |      |
| 2.2.5      | Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности                  |      |
| 2.2.6      | Спектроскопические методы анализа поверхности   |      |
| 2.2.7      | Компьютерные и информационные технологии в науке и производстве   |      |
| 2.2.8      | Кристаллические компоненты акустоэлектроники  |      |
| 2.2.9      | Материалы и элементы спинтроники и спинволновой оптики  |      |
| 2.2.10     | Микросхемотехника   |      |
| 2.2.11     | Нanomатериалы в современной твердотельной электронике   |      |
| 2.2.12     | Нелинейные кристаллы  |      |
| 2.2.13     | Оптические элементы лазерных систем. Часть 2  |      |
| 2.2.14     | Оптические явления в кристаллах. Часть 2  |      |
| 2.2.15     | Солнечная энергетика  |      |
| 2.2.16     | Методы исследования материалов  |      |
| 2.2.17     | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы  |      |
| 2.2.18     | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы   |      |
| 2.2.19     | Технологии получения материалов   |      |

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

|   |
|---|
| <b>ПК-1: Способен обоснованно использовать знания о типовых технологических процессах, участвовать в разработке технологических процессов производства и обработки материалов и изделий из них</b>  |
| <b>Знать:</b>   |
| ПК-1-31 Фазовые превращения в материалах, влияние структурных характеристик на свойства материалов  |
| <b>ПК-2: Способен планировать и осуществлять экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать результаты, делать выводы, составлять и оформлять отчеты по проведенным исследованиям</b> |
| <b>Знать:</b>   |
| ПК-2-31 Основные типы полупроводниковых структур и приборов, их свойства и области применения, а также влияние технологических факторов на свойства полупроводниковых структур                      |
| <b>ПК-1: Способен обоснованно использовать знания о типовых технологических процессах, участвовать в разработке технологических процессов производства и обработки материалов и изделий из них</b>  |
| <b>Знать:</b>   |
| ПК-1-32 Основные критерии оценки технологичности и повышения эффективности применения обработки материалов и приборных структур   |
| <b>ПК-2: Способен планировать и осуществлять экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать результаты, делать выводы, составлять и оформлять отчеты по проведенным исследованиям</b> |

|  |
|--|
| <b>Знать:</b>  |
| ПК-2-32 Методы определения эксплуатационных свойств полупроводниковых материалов и структур  |
| ПК-2-33 Методы анализа структуры полупроводниковых материалов и приборов по электрофизическим измерениям   |
| <b>ОПК-5: Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в области материаловедения и технологии материалов, смежных областях</b> |
| <b>Знать:</b>  |
| ОПК-5-31 Основные типы полупроводниковых структур и приборов, их свойства и области применения, а также влияние технологических факторов на свойства полупроводниковых структур  |
| ОПК-5-32 Методы определения эксплуатационных свойств полупроводниковых материалов и структур   |
| ОПК-5-33 Методы анализа структуры полупроводниковых материалов и приборов по электрофизическим измерениям  |
| <b>ПК-2: Способен планировать и осуществлять экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать результаты, делать выводы, составлять и оформлять отчеты по проведенным исследованиям</b>  |
| <b>Уметь:</b>  |
| ПК-2-У2 Контролировать факторы технологических процессов обработки полупроводниковых материалов и приборных структур   |
| ПК-2-У1 Использовать знания фундаментальных основ, подходы и методы физики, статистики и материаловедения для анализа свойств полупроводниковых изделий и влияния ключевых операций технологических процессов                              |
| ПК-2-У4 Проводить анализ структуры полупроводниковых материалов по электрофизическим измерениям  |
| ПК-2-У3 Производить измерения показателей, характеризующих эксплуатационные свойства полупроводниковых материалов и приборных структур   |
| <b>ОПК-5: Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в области материаловедения и технологии материалов, смежных областях</b> |
| <b>Уметь:</b>  |
| ОПК-5-У1 Производить измерения показателей, характеризующих эксплуатационные свойства полупроводниковых материалов и приборных структур  |
| <b>ПК-1: Способен обоснованно использовать знания о типовых технологических процессах, участвовать в разработке технологических процессов производства и обработки материалов и изделий из них</b>   |
| <b>Уметь:</b>  |
| ПК-1-У1 Выбирать материалы для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности изделий  |
| <b>ОПК-5: Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в области материаловедения и технологии материалов, смежных областях</b> |
| <b>Уметь:</b>  |
| ОПК-5-У2 Проводить анализ структуры полупроводниковых материалов по электрофизическим измерениям   |
| <b>ПК-2: Способен планировать и осуществлять экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать результаты, делать выводы, составлять и оформлять отчеты по проведенным исследованиям</b>  |
| <b>Владеть:</b>  |
| ПК-2-В2 Проведением контроля результатов типовых режимов обработки полупроводниковых материалов и приборных структур   |
| ПК-2-В1 Современными методами анализа и определения физических, свойств перспективных материалов   |
| <b>ПК-1: Способен обоснованно использовать знания о типовых технологических процессах, участвовать в разработке технологических процессов производства и обработки материалов и изделий из них</b>   |
| <b>Владеть:</b>  |
| ПК-1-В1 Математическим аппаратом и навыками использования современных подходов и методов физики твердого тела, к анализу, теоретическому и экспериментальному исследованию полупроводниковых структур, явлений и технологических процессов |
| <b>ОПК-5: Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в области материаловедения и технологии материалов, смежных областях</b> |
| <b>Владеть:</b>  |
| ОПК-5-В2 Проведением контроля результатов типовых режимов обработки полупроводниковых материалов и приборных   |

|   |
|---|
| структур  |
| ОПК-5-В1 Современными методами анализа и определения физических, свойств перспективных материалов |

#### 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. Введение</b>   |                |       |   |                          |            |     |                    |
| 1.1         | Свойства объемных полупроводниковых материалов, эпитаксиальных пленок и приборных структур, характеристики которых необходимо знать инженеру -материаловеду. Классификация методов исследований физических свойств объема, поверхности полупроводниковых материалов, пленок и приборных структур /Пр/ | 1              | 2     | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1<br>ОПК-5-31<br>ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2 | Л1.2Л2.1<br>Л2.2<br>Э1   |            | КМ1 | Р1                 |
| 1.2         | Освоение теоретического материала раздела 1 /Ср/  | 1              | 3     | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-2-В1 ОПК-5-31 ОПК-5-32 ОПК-5-33 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2  | Л1.2Л2.1<br>Л2.2<br>Э1   |            |     |                    |
|             | <b>Раздел 2. Контакт металл-полупроводник</b>   |                |       |   |                          |            |     |                    |
| 2.1         | Контакт металл-полупроводник, барьер Шоттки. Энергетическая диаграмма, емкость, контактная разность потенциалов, вольтамперная и вольт-фарадная характеристики. Электрофизические и механические свойства контакта /Пр/   | 1              | 2     | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1 ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32 ОПК-5-33 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2        | Л1.3Л2.1<br>Л2.2<br>Э1   |            | КМ1 | Р2                 |
| 2.2         | Освоение теоретического материала раздела 2 /Ср/  | 1              | 3     | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1 ОПК-5-31 ОПК-5-32 ОПК-5-33 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2                        | Л1.3Л2.1<br>Л2.2<br>Э1   |            |     |                    |
|             | <b>Раздел 3. Поверхностные состояния</b>  |                |       |   |                          |            |     |                    |

|   |   |   |   |  |                                |  |     |    |
|---|---|---|---|--|--------------------------------|--|-----|----|
| 3.1   | Влияние поверхностных состояний. Механизмы переноса носителей заряда через контакт. Омические контакты, способы их приготовления. Контакт полупроводник - полупроводник, энергетическая диаграмма, свойства /Пр/                | 1 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1 ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32 ОПК-5-33 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2 | Л1.3Л2.1<br>Л2.2<br>Э1         |  | КМ1 | Р3 |
| 3.2   | Освоение теоретического материала раздела 3 /Ср/  | 1 | 3 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3 ПК-2-В1 ОПК-5-31 ОПК-5-32 ОПК-5-33 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2                         | Л1.3Л2.1<br>Л2.2<br>Э1         |  |     |    |
| <b>Раздел 4. Гетеропереходы и гетероструктуры</b> |   |   |   |  |                                |  |     |    |
| 4.1   | Гетеропереходы и гетероструктуры, применение многокомпонентных твердых растворов. Полевые транзисторы с гетеропереходами на полупроводниковых соединениях. МОП структуры, требования к свойствам подзатворного диэлектрика /Пр/ | 1 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1 ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32 ОПК-5-33 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2 | Л1.3Л2.1<br>Л2.2<br>Э1         |  | КМ1 | Р4 |
| 4.2   | Освоение теоретического материала раздела 4 /Ср/  | 1 | 4 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-В1 ОПК-5-31 ОПК-5-32 ОПК-5-33 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2                                 | Л1.3Л2.1<br>Л2.2<br>Э1         |  |     |    |
| <b>Раздел 5. Свойства МОП структур</b>            |   |   |   |  |                                |  |     |    |
| 5.1   | Дифференциальная квазистатическая и высокочастотная емкость МОП структур. Эффект короткого канала, насыщение дрейфовой скорости и подвижности, механизмы релаксации импульса и энергии носителей заряда /Пр/                    | 1 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1 ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32 ОПК-5-33 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2 | Л1.1<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2<br>Э1 |  | КМ1 | Р5 |

|  |  |   |   |   |   |  |     |     |
|--|--|---|---|---|---|--|-----|-----|
| 5.2  | Освоение теоретического материала раздела 5 /Ср/   | 1 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1<br>ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33<br>ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-В1<br>ОПК-5-31<br>ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2   | Л1.1<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2<br>Э1          |  |     |     |
| <b>Раздел 6. Контактные методы измерения</b> |  |   |   |   |   |  |     |     |
| 6.1  | Контактные методы измерения удельного сопротивления и его однородности: двухзондовый, четырехзондовый, двухкомбинационный четырехзондовый метод, метод Ван-дер-Пау, метод сопротивления растекания. Модель контакта зонда с поверхностью полупроводника в сферических и цилиндрических координатах, влияние геометрии образцов. /Пр/ | 1 | 3 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1<br>ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32<br>ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2<br>ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1<br>ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2                         | Л1.1<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2<br>Э1          |  | КМ1 | Р6  |
| 6.2  | Методы приготовления омических контактов; измерение температурной зависимости электропроводности четырехзондовым методом /Лаб/   | 1 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1<br>ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32<br>ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2<br>ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1<br>ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2<br>ОПК-5-В1<br>ОПК-5-В2 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 Л3.3<br>Э1 |  | КМ1 | Р15 |
| 6.3  | Измерение распределения удельного сопротивления по пластине четырехзондовым методом, влияние поправочной функции на результаты измерения удельного сопротивления /Лаб/   | 1 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1<br>ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32<br>ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2<br>ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1<br>ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2<br>ОПК-5-В1<br>ОПК-5-В2 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 Л3.3<br>Э1 |  | КМ1 | Р16 |

|  |  |   |    |   |                                |  |     |    |
|--|--|---|----|---|--------------------------------|--|-----|----|
| 6.4  | Освоение теоретического и практического материала раздела 6 /Ср/   | 1 | 10 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1<br>ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32<br>ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2<br>ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1<br>ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2 | Л1.1<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2<br>Э1 |  |     |    |
| <b>Раздел 7. Измерение характеристик эпитаксиальных структур и слоев</b> |  |   |    |   |                                |  |     |    |
| 7.1  | Измерение удельного сопротивления эпитаксиальных, диффузионных и ионно-легированных слоев. Индуктивный и емкостной методы измерения удельного сопротивления. Отклонение от закона Ома, нелинейная проводимость /Пр/  | 1 | 4  | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1<br>ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33<br>ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3<br>ПК-2-У4 ПК-2-В1 ОПК-5-31<br>ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2                 | Л1.1<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2<br>Э1 |  | КМ1 | Р7 |
| 7.2  | Освоение теоретического материала раздела 7 /Ср/   | 1 | 4  | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1<br>ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33<br>ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3<br>ПК-2-У4 ПК-2-В1 ОПК-5-31<br>ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2                 | Л1.1<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2<br>Э1 |  |     |    |
| <b>Раздел 8. Вольт-фарадные методы</b>                                   |  |   |    |   |                                |  |     |    |
| 8.1  | Параметры полупроводниковых материалов, определяемые при помощи вольт-фарадных методов: объемное генерационное время носителей заряда, распределение легирующей примеси по глубине образцов, энергетическое положение, концентрация, сечение захвата глубоких ловушек в полупроводниках /Пр/ | 1 | 4  | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1<br>ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32<br>ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2<br>ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1<br>ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2 | Л1.2<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2<br>Э1 |  | КМ1 | Р8 |



|  |  |   |   |   |   |  |     |     |
|--|--|---|---|---|---|--|-----|-----|
| 8.2  | Освоение теоретического материала раздела 8 /Ср/   | 1 | 4 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1<br>ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33<br>ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3<br>ПК-2-У4 ПК-2-В1 ОПК-5-31<br>ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2   | Л1.2<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2<br>Э1          |  |     |     |
| <b>Раздел 9. Метод DLTS и метод Кельвина</b>                         |  |   |   |   |   |  |     |     |
| 9.1  | Метод DLTS, его возможности для исследования ряда характеристик глубоких центров. Применение метода Кельвина для определения поверхностного потенциала. /Пр/ | 1 | 3 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1<br>ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32<br>ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2<br>ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1<br>ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2                         | Л1.2<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2<br>Э1          |  | КМ1 | Р9  |
| 9.2  | Измерение относительной работы выхода электронов из поверхности полупроводников методом Кельвина /Лаб/   | 1 | 3 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1<br>ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32<br>ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2<br>ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1<br>ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2<br>ОПК-5-В1<br>ОПК-5-В2 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 Л3.3<br>Э1 |  | КМ1 | Р17 |
| 9.3  | Освоение теоретического и практического материала раздела 9 /Ср/   | 1 | 6 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1<br>ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32<br>ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2<br>ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1<br>ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2                         | Л1.2<br>Л1.3Л2.1<br>Л2.2<br>Э1          |  |     |     |
| <b>Раздел 10. Определение параметров неосновных носителей заряда</b> |  |   |   |   |   |  |     |     |

|      |   |   |   |  |   |  |     |     |
|------|---|---|---|--|---|--|-----|-----|
| 10.1 | Определение времени жизни неосновных носителей заряда по стационарной фотопроводимости и по ее затуханию Измерение амбиполярной подвижности и амбиполярного коэффициента диффузии неравновесных носителей заряда методом движущегося светового луча. /Пр/ | 1 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1<br>ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32<br>ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2<br>ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1<br>ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2                    | Л1.1Л2.1<br>Л2.2<br>Э1                  |  | КМ1 | Р10 |
| 10.2 | Измерение распределения времени жизни неосновных неравновесных носителей заряда по пластине /Лаб/   | 1 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1<br>ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32<br>ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2<br>ПК-2-У3 ПК-2-В1 ПК-2-В2<br>ОПК-5-31<br>ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2<br>ОПК-5-В1<br>ОПК-5-В2 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 Л3.3<br>Э1 |  | КМ1 | Р17 |
| 10.3 | Освоение теоретического и практического материала раздела 10 /Ср/   | 1 | 5 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1<br>ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32<br>ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2<br>ПК-2-У3 ПК-2-В1 ПК-2-В2<br>ОПК-5-31<br>ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2                         | Л1.1Л2.1<br>Л2.2<br>Э1                  |  |     |     |
|      | <b>Раздел 11. Полупроводник в поле высокой напряженности</b>  |   |   |  |   |  |     |     |
| 11.1 | Полупроводник в поле высокой напряженности. Зависимость подвижности и концентрации носителей заряда от напряженности поля /Пр/  | 1 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1<br>ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32<br>ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2<br>ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1<br>ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2                    | Л1.1Л2.1<br>Л2.2<br>Э1                  |  | КМ1 | Р11 |

|      |   |   |   |   |   |  |     |     |
|------|---|---|---|---|---|--|-----|-----|
| 11.2 | Освоение теоретического материала раздела 11 /Ср/   | 1 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1<br>ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33<br>ПК-2-У1 ПК-2-В1 ОПК-5-31<br>ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2  | Л1.1Л2.1<br>Л2.2<br>Э1                  |  |     |     |
|      | <b>Раздел 12. Сканирующая зондовая микроскопия</b>  |   |   |   |   |  |     |     |
| 12.1 | Зондовые методы исследования поверхности твердых тел. Туннельная атомно-силовая микроскопия и их модификации /Пр/                                       | 1 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1<br>ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32<br>ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2<br>ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1<br>ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2                         | Л1.1Л2.1<br>Л2.2<br>Э1                  |  | КМ1 | Р12 |
| 12.2 | Исследование микроструктуры поверхностей образцов и определение электрофизических параметров при помощи метода сканирующей туннельной микроскопии /Лаб/ | 1 | 4 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1<br>ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32<br>ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2<br>ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1<br>ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2<br>ОПК-5-В1<br>ОПК-5-В2 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 Л3.3<br>Э1 |  | КМ1 | Р19 |
| 12.3 | Освоение теоретического и практического материала раздела 12 /Ср/   | 1 | 5 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1<br>ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32<br>ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2<br>ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1<br>ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32<br>ОПК-5-33<br>ОПК-5-У1<br>ОПК-5-У2                         | Л1.1Л2.1<br>Л2.2<br>Э1                  |  |     |     |
|      | <b>Раздел 13. Оптические свойства полупроводников</b>   |   |   |   |   |  |     |     |

|      |  |   |   |  |   |  |     |     |
|------|--|---|---|--|---|--|-----|-----|
| 13.1 | Оптические свойства полупроводников. Спектры поглощения/пропускания / Пр/                        | 1 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1 ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32 ОПК-5-33 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2                   | Л1.3Л2.1<br>Л2.2<br>Э1                  |  | КМ1 | Р13 |
| 13.2 | Исследование спектров пропускания полупроводниковых материалов методом Фурье-спектроскопии /Лаб/ | 1 | 4 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1 ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32 ОПК-5-33 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2 ОПК-5-В1 ОПК-5-В2 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 Л3.3<br>Э1 |  | КМ1 | Р20 |
| 13.3 | Освоение теоретического и практического материала раздела 13 /Ср/                                | 1 | 4 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1 ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32 ОПК-5-33 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2                   | Л1.3Л2.1<br>Л2.2<br>Э1                  |  |     |     |
|      | <b>Раздел 14. Силовая оптика</b>   |   |   |  |   |  |     |     |
| 14.1 | Силовая оптика /Пр/  | 1 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1 ПК-2-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-32 ОПК-5-33 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2                   | Л1.3Л2.1<br>Л2.2<br>Э1                  |  | КМ1 | Р14 |
| 14.2 | Освоение теоретического материала раздела 14 /Ср/  | 1 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-В1 ОПК-5-31 ОПК-5-32 ОПК-5-33 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2   | Л1.3Л2.1<br>Л2.2<br>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                 | ОПК-5-31;ОПК-5-32;ОПК-5-33;ОПК-5-У1;ОПК-5-У2;ОПК-5-В1;ОПК-5-В2;ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-2-33;ПК-2-У1;ПК-2-У2;ПК-2-У3;ПК-2-У4;ПК-2-В1;ПК-2-В2 | <p>Диоды Шоттки, их энергетическая диаграмма, вольт-амперная характеристика. Перенос заряда через контакт металл – полупроводник.</p> <p>Контактные и бесконтактные методы измерения удельного сопротивления. Двухзондовый метод и четырехзондовый методы и их модификации.</p> <p>Метод зеркальных изображений и его применение для оценки поправочных коэффициентов при реализации четырехзондового метода.</p> <p>Метод сопротивления растекания.</p> <p>Метод Ван-дер-Пау.</p> <p>Отклонение от закона Ома. “Теплые” и “горячие” носители заряда.</p> <p>Полупроводники в электрических полях высокой напряженности.</p> <p>Насыщение дрейфовой скорости. Электрический пробой в п/п приборах.</p> <p>Неравновесные носители заряда, характеризующие их параметры.</p> <p>Амбиполярный коэффициент диффузии и амбиполярная дрейфовая подвижность неравновесных носителей заряда.</p> <p>Методы измерения дрейфовой подвижности, коэффициента диффузии, времени жизни неравновесных носителей заряда.</p> <p>Вольт-фарадные характеристики структур металл-полупроводник и МДП структур.</p> <p>Приповерхностный объемный заряд и дифференциальная поверхностная емкость.</p> <p>Емкость МДП - структуры.</p> <p>Зависимость емкости структуры металл-полупроводник и МДП-структуры от напряжения. Частотная зависимость емкости.</p> <p>Параметры глубоких уровней, связь между коэффициентами захвата и коэффициентами теплового испускания носителей заряда.</p> <p>Заполнение глубоких уровней электронами; уравнение баланса, равновесное состояние.</p> <p>Релаксации емкости структуры металл-полупроводник или МДП-структуры.</p> <p>Термостимулированная емкость. Фотоемкость.</p> <p>С-V метод измерения распределения концентрации легирующей примеси. Определение параметров глубоких уровней методом термостимулированной емкости.</p> <p>Нестационарная спектроскопия глубоких уровней (метод DLTS).</p> <p>Фоторезистивный эффект, стационарная фотопроводимость.</p> <p>Спектральная зависимость стационарной фотопроводимости.</p> <p>Фазовая и частотная зависимости фотопроводимости.</p> <p>Измерение параметров неравновесных носителей заряда методами измерения стационарной и частотной зависимостей фотопроводимости.</p> <p>ИК – Фурье спектроскопические методы исследования приповерхностных слоев полупроводников.</p> <p>Физические основы сканирующей туннельной и атомно-силовой микроскопии.</p> <p>Методы сканирующей зондовой микроскопии.</p> <p>Представления об оптической стойкости полупроводниковых и диэлектрических материалов.</p> <p>Лазерный пробой под действием непрерывного и импульсного излучения.</p> <p>Методы измерения оптической стойкости.</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  | Практическое занятие 1  | ОПК-5-31;ОПК-5-32;ОПК-5-33;ОПК-5-У1;ОПК-5-У2;ОПК-5-В1;ОПК-5-В2;ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1   | Свойства объемных полупроводниковых материалов, эпитаксиальных пленок и приборных структур, характеристики которых необходимо знать инженеру-материаловеду. Классификация методов исследований физических свойств объема, поверхности полупроводниковых материалов, пленок и приборных структур                                 |
| P2  | Практическое занятие 2  | ОПК-5-У1;ОПК-5-32;ОПК-5-33;ОПК-5-31;ОПК-5-У2;ОПК-5-В1;ОПК-5-В2;ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-2-33;ПК-2-У1;ПК-2-У2;ПК-2-У3;ПК-2-У4;ПК-2-В1;ПК-2-В2 | Контакт металл- полупроводник, барьер Шоттки. Энергетическая диаграмма, емкость, контактная разность потенциалов, вольтамперная и вольт-фарадная характеристики. Электрофизические и механические свойства контакта   |
| P3  | Практическое занятие 3  | ОПК-5-31   | Влияние поверхностных состояний. Механизмы переноса носителей заряда через контакт. Омические контакты, способы их приготовления. Контакт полупроводник - полупроводник, энергетическая диаграмма, свойства   |
| P4  | Практическое занятие 4  | ОПК-5-31   | Гетеропереходы и гетероструктуры, применение многокомпонентных твердых растворов. Полевые транзисторы с гетеропереходами на полупроводниковых соединениях. МОП структуры, требования к свойствам подзатворного диэлектрика  |
| P5  | Практическое занятие 5  | ОПК-5-31   | Дифференциальная квазистатическая и высокочастотная емкость МОП структур. Эффект короткого канала, насыщение дрейфовой скорости и подвижности, механизмы релаксации импульса и энергии носителей заряда   |
| P6  | Практическое занятие 6  | ОПК-5-31   | Контактные методы измерения удельного сопротивления и его однородности: двухзондовый, четырехзондовый, двухкомбинационный четырехзондовый метод, метод Ван-дер-Пау, метод сопротивления растекания. Модель контакта зонда с поверхностью полупроводника в сферических и цилиндрических координатах, влияние геометрии образцов. |
| P7  | Практическое занятие 7  | ОПК-5-31   | Измерение удельного сопротивления эпитаксиальных, диффузионных и ионно- легированных слоев. Индуктивный и емкостной методы измерения удельного сопротивления. Отклонение от закона Ома, нелинейная проводимость   |
| P8  | Практическое занятие 8  | ОПК-5-31   | Параметры полупроводниковых материалов, определяемые при помощи вольт-фарадных методов: объемное генерационное время носителей заряда, распределение легирующей примеси по глубине образцов, энергетическое положение, концентрация, сечение захвата глубоких ловушек в полупроводниках   |
| P9  | Практическое занятие 9  | ОПК-5-31   | Метод DLTS, его возможности для исследования ряда характеристик глубоких центров. Применение метода Кельвина для определения поверхностного потенциала  |
| P10 | Практическое занятие 10 | ОПК-5-31   | Определение времени жизни неосновных носителей заряда по стационарной фотопроводимости и по ее затуханию Измерение амбиполярной подвижности и амбиполярного коэффициента диффузии неравновесных носителей заряда методом движущегося светового луча   |
| P11 | Практическое занятие 11 | ОПК-5-31   | Полупроводник в поле высокой напряженности. Зависимость подвижности и концентрации носителей заряда от напряженности поля   |
| P12 | Практическое занятие 12 | ОПК-5-31   | Зондовые методы исследования поверхности твердых тел. Туннельная атомно-силовая микроскопия и их модификации  |
| P13 | Практическое занятие 13 | ОПК-5-31   | Оптические свойства полупроводников. Спектры поглощения/пропускания   |
| P14 | Практическое занятие 14 | ОПК-5-31   | Силовая оптика  |
| P15 | Лабораторная работа 1   | ОПК-5-31   | Методы приготовления омических контактов; измерение температурной зависимости электропроводности четырехзондовым методом  |

|     |                       |  |  |
|-----|-----------------------|--|--|
| P16 | Лабораторная работа 2 | ОПК-5-31;ОПК-5-32;ОПК-5-33;ОПК-5-У1;ОПК-5-У2;ОПК-5-В1;ОПК-5-В2;ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-2-33;ПК-2-У1;ПК-2-У2;ПК-2-У3;ПК-2-В1;ПК-2-У4;ПК-2-В2 | Измерение распределения удельного сопротивления по пластине четырехзондовым методом, влияние поправочной функции на результаты измерения удельного сопротивления |
| P17 | Лабораторная работа 3 | ОПК-5-31;ОПК-5-32;ОПК-5-33;ОПК-5-У1;ОПК-5-У2;ОПК-5-В1;ОПК-5-В2;ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1;ПК-2-31;ПК-2-33;ПК-2-32;ПК-2-У1;ПК-2-У2;ПК-2-У3;ПК-2-У4;ПК-2-В1;ПК-2-В2 | Измерение относительной работы выхода электронов из поверхности полупроводников методом Кельвина   |
| P18 | Лабораторная работа 4 | ОПК-5-33;ОПК-5-32;ОПК-5-31;ОПК-5-У1;ОПК-5-У2;ОПК-5-В1;ОПК-5-В2;ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-2-33;ПК-2-У1;ПК-2-У2;ПК-2-У3;ПК-2-У4;ПК-2-В1;ПК-2-В2 | Измерение распределения времени жизни неосновных неравновесных носителей заряда по пластине  |
| P19 | Лабораторная работа 5 | ОПК-5-31;ОПК-5-32;ОПК-5-33;ОПК-5-У1;ОПК-5-У2;ОПК-5-В1;ОПК-5-В2;ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-2-33;ПК-2-У1;ПК-2-У2;ПК-2-У3;ПК-2-У4;ПК-2-В1;ПК-2-В2 | Исследование микроструктуры поверхностей образцов и определение электрофизических параметров при помощи метода сканирующей туннельной микроскопии                |
| P20 | Лабораторная работа 6 | ОПК-5-31;ОПК-5-33;ОПК-5-32;ОПК-5-У1;ОПК-5-У2;ОПК-5-В1;ОПК-5-В2;ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-2-33;ПК-2-У1;ПК-2-У2;ПК-2-У3                         | Исследование спектров пропускания полупроводниковых материалов методом Фурье- спектроскопии  |

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

В конце учебной программы предусмотрен экзамен.

Экзаменационный билет состоит из 2-х вопросов. Типовые вопросы экзамена приведены в вопросах самоподготовки.

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

Шкала оценивания знаний обучающихся на экзамене:

Оценка «отлично» - студент показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, способен применить полученные знания на практике, грамотно и логически излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, умеет самостоятельно подбирать и использовать литературу по соответствующим областям науки.

Оценка «хорошо» - студент показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал.

Оценка «удовлетворительно» - студент показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но способен исправиться после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике;

Оценка «неудовлетворительно» - студент допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

Оценка «не явка» – студент на экзамен не явился.

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

|      | Авторы, составители                  | Заглавие   | Библиотека       | Издательство, год   |
|------|--------------------------------------|--|------------------|---------------------|
| Л1.1 | Павлов Л. П.                         | Методы определения основных параметров полупроводниковых материалов: учеб. пособие для студ. вузов спец. 'Полупроводниковые приборы' | Библиотека МИСиС | М.: Высш. шк., 1975 |
| Л1.2 | Цапенко Е. Ф., Черкашин Н. В.        | Полупроводниковые приборы и устройства: учеб. пособие по курсу "Электротехника и основы электроники"                                 | Библиотека МИСиС | М.: МГИ, 1983       |
| Л1.3 | Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. | Физика полупроводников: учеб. пособие для физ. спец. вузов   | Библиотека МИСиС | М.: Наука, 1977     |

**6.1.2. Дополнительная литература**

|      | Авторы, составители | Заглавие  | Библиотека       | Издательство, год         |
|------|---------------------|---|------------------|---------------------------|
| Л2.1 | Киреев П. С.        | Физика полупроводников: Учеб. пособие для втузов  | Библиотека МИСиС | М.: Высш. шк., 1975       |
| Л2.2 | Шалимова К. В.      | Физика полупроводников: Учебник для вузов по спец. 'Полупроводниковые и микроэлектрон. приборы' | Библиотека МИСиС | М.: Энергоатомиздат, 1985 |

**6.1.3. Методические разработки**

|      | Авторы, составители  | Заглавие   | Библиотека       | Издательство, год |
|------|--|--|------------------|-------------------|
| Л3.1 | Полистанский Ю. Г., Евсеев В. А., Кожитов Л. В., др., Крапухин В. В.         | Технология полупроводниковых материалов и элементов микроэлектроники: лаб. практикум для студ. спец. 0643, 0604, 0629  | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 1981   |
| Л3.2 | Ладыгин Е. А., Курносков А. И., Савков Г. Н., Мельников А. Л., Ладыгин Е. А. | Технология полупроводниковых приборов и интегральных схем: Разд.: Основные процессы планарной технологии полупроводниковых приборов и интегральных схем: лаб. практикум для студ. спец. 20.02, 20.03 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 1989   |



|      | Авторы, составители   | Заглавие   | Библиотека       | Издательство, год |
|------|---|--|------------------|-------------------|
| Л3.3 | Ладыгин Е. А.,<br>Курносов А. И.,<br>Савков Г. Н.,<br>Мельников А. Л.,<br>Ладыгин Е. А. | Технология полупроводниковых приборов и интегральных схем: Разд.: Методы радиационной технологии, омические контакты и конструкции корпусов в производстве полупроводниковых приборов и интегральных схем: лаб. практикум для студ. спец. 20.02, 20.03 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 1989   |

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

|    |  |  |
|----|--|--|
| Э1 | scopus.com<br>science.gov<br>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   |
|-------|---|---|
| К-403 | Лаборатория   | лаборатория сканирующая зондовая Ntegra   |
| 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-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-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   |

|                                |  |   |
|--------------------------------|--|---|
| Любой корпус<br>Мультимедийная | Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий: | комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus |
| Читальный зал №3 (Б)           |  | комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.    |

### 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.

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

По курсу предусмотрен экзамен.

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