

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего**  
**образования**  
**«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ**  
**УНИВЕРСИТЕТ»**

Структурное подразделение «Радиоэлектроники и телекоммуникационных систем»

**УТВЕРЖДЕНА:**  
на заседании кафедры  
Протокол №13 от 02 июня 2025 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**«ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ»**

Направление: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Компоненты микро- и наносистемной техники

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой  
электронной подписью  
Составитель программы:  
Строкин Николай  
Александрович  
Дата подписания: 01.07.2025

Документ подписан простой  
электронной подписью  
Утвердил: Ченский Александр  
Геннадьевич  
Дата подписания: 05.07.2025

Документ подписан простой  
электронной подписью  
Согласовал: Ниндакова Лидия  
Очировна  
Дата подписания: 01.07.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

# 1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

## 1.1 Дисциплина «Физические основы электроники» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

| Код, наименование компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Код индикатора компетенции |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| ОПК ОС-6 Способность участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью на основе применения стандартов, норм и правил                                                                                                                                                | ОПК ОС-6.5                 |
| ПКО-1 Способность к систематическому изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, анализу научных проблем по тематике проводимых исследований и разработок в области нанотехнологий и объектов нано- и микросистемной техники и умение представлять материалы в требуемом формате | ПКО-1.2                    |

## 1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

| Код индикатора | Содержание индикатора                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Результат обучения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК ОС-6.5     | Использует научную, специальную, справочную и нормативную литературу при разработке, конструировании радиотехнических и электронных средств, предназначенных для научных исследований как экспериментальных, так и теоретических                                                                                                                                                                                              | <b>Знать</b> научную, специальную, справочную и нормативную литературу при разработке, конструировании радиотехнических и электронных средств.<br><b>Уметь</b> использовать полученную информацию для решения практических задач.<br><b>Владеть</b> навыками представления соответствующей информации для научных исследований.                                                                                                                                                                      |
| ПКО-1.2        | Самостоятельно собирает, анализирует и систематизирует отечественную и зарубежную научно-техническую информацию по тематике исследования в области электроники и нанoeлектроники, оптоэлектроники. Выбирает и реализует на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения | <b>Знать</b> зонную теорию твердых тел; физические процессы, происходящие в материалах и обеспечивающие их характерные свойства и особенности; электронно-дырочный переход и происходящие в нем процессы.<br><b>Уметь</b> использовать основные физические и химические законы для описания поведения электронных приборов при различных условиях; дать качественную и количественную характеристику их основных свойств.<br><b>Владеть</b> навыками сбора, анализа и систематизации отечественную и |

|  |  |                                                                                                              |
|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  | зару-бежную научно-техническую ин-формацию по тематике исследования в области электроники и наноэлектроники. |
|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## 2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Физические основы электроники» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Физика», «Физика наносистем», «Химические и фазовые равновесия»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Твердотельная электроника», «Микрооптика и фотоника», «Физические основы оптоэлектроники», «Физические основы электронной техники»

## 3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 4 ЗЕТ

| Вид учебной работы                                              | Трудоемкость в академических часах<br>(Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа) |             |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|                                                                 | Всего                                                                                                         | Семестр № 4 |
| Общая трудоемкость дисциплины                                   | 144                                                                                                           | 144         |
| Аудиторные занятия, в том числе:                                | 64                                                                                                            | 64          |
| лекции                                                          | 32                                                                                                            | 32          |
| лабораторные работы                                             | 16                                                                                                            | 16          |
| практические/семинарские занятия                                | 16                                                                                                            | 16          |
| Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)         | 44                                                                                                            | 44          |
| Трудоемкость промежуточной аттестации                           | 36                                                                                                            | 36          |
| Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине) | Экзамен                                                                                                       | Экзамен     |

## 4 Структура и содержание дисциплины

### 4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

#### Семестр № 4

| №<br>п/п | Наименование<br>раздела и темы<br>дисциплины                                  | Виды контактной работы |              |    |              |         |              | СРС |              | Форма<br>текущего<br>контроля |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------|----|--------------|---------|--------------|-----|--------------|-------------------------------|
|          |                                                                               | Лекции                 |              | ЛР |              | ПЗ(СЕМ) |              |     |              |                               |
|          |                                                                               | №                      | Кол.<br>Час. | №  | Кол.<br>Час. | №       | Кол.<br>Час. | №   | Кол.<br>Час. |                               |
| 1        | 2                                                                             | 3                      | 4            | 5  | 6            | 7       | 8            | 9   | 10           | 11                            |
| 1        | Классификация<br>электротехническ<br>их материалов.<br>Магнитные<br>материалы | 1                      | 1            |    |              |         |              |     |              | Устный<br>опрос               |
| 2        | Твердое тело:<br>структура; виды<br>химической связи                          | 2                      | 1            |    |              | 1       | 2            |     |              | Тест                          |
| 2        | Твердое тело:                                                                 |                        |              |    |              |         |              |     |              | Тест                          |

|    |                                                                                      |    |   |   |   |      |   |   |    |              |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------|----|---|---|---|------|---|---|----|--------------|
|    | структура; виды химической связи.                                                    |    |   |   |   |      |   |   |    |              |
| 3  | Влияние агрегатного состояния на электрические свойства веществ                      | 3  | 2 | 1 | 3 |      |   | 5 | 10 | Тест         |
| 3  | Влияние агрегатного состояния на электрические свойства веществ.                     |    |   |   |   |      |   |   |    | Тест         |
| 4  | Структуры; решетки твердых тел                                                       | 4  | 1 |   |   |      |   |   |    | Устный опрос |
| 4  | Структуры; решетки твердых тел.                                                      |    |   |   |   |      |   |   |    | Устный опрос |
| 5  | Представления зонной теории твердого тела                                            |    |   |   |   |      |   | 1 |    | Тест         |
| 5  | Представления зонной теории твердого тела                                            |    |   |   |   |      |   | 1 |    | Тест         |
| 5  | Представления зонной теории твердого тела                                            | 5  | 2 | 3 | 3 | 2, 3 | 5 | 1 | 8  | Тест         |
| 6  | Электрические свойства металлических сплавов и тонких пленок                         | 6  | 2 |   |   |      |   |   |    | Тест         |
| 7  | Явление сверхпроводимости                                                            | 7  | 2 |   |   |      |   |   |    | Тест         |
| 8  | Поляризация диэлектриков. Влияние внешних факторов на диэлектрическую проницаемость  | 8  | 2 |   |   |      |   |   |    | Тест         |
| 8  | Поляризация диэлектриков. Влияние внешних факторов на диэлектрическую проницаемость. |    |   |   |   |      |   |   |    | Тест         |
| 9  | Пробой диэлектриков. Понятие об электрической прочности                              | 9  | 2 |   |   |      |   |   |    | Тест         |
| 10 | Активные диэлектрики и элементы функциональной электроники                           | 10 | 2 |   |   |      |   |   |    | Тест         |
| 11 | Пироэффект и пироэлектрические материалы.                                            |    |   |   |   |      |   |   |    | Тест         |

|    |                                                                                         |    |   |         |    |   |   |   |    |      |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|---|---------|----|---|---|---|----|------|
|    | Тепловые приемники излучения                                                            |    |   |         |    |   |   |   |    |      |
| 11 | Пирозэффект и пирозэлектрические материалы. Тепловые приемники излучения                |    |   |         |    |   |   |   |    | Тест |
| 11 | Пирозэффект и пирозэлектрические материалы. Тепловые приемники излучения                | 11 | 2 |         |    |   |   |   |    | Тест |
| 12 | Полупроводниковые материалы: классификация по составу, внутреннему строению и свойствам | 12 | 2 |         |    |   |   |   |    | Тест |
| 12 | Полупроводниковые материалы: классификация по составу, внутреннему строению и свойствам |    |   |         |    |   |   |   |    | Тест |
| 13 | Полупроводники: проводимость; температурная зависимость проводимости                    |    |   |         |    |   |   | 2 |    | Тест |
| 13 | Полупроводники: проводимость; температурная зависимость проводимости                    |    |   |         |    |   |   | 2 |    | Тест |
| 13 | Полупроводники: проводимость; температурная зависимость проводимости                    | 13 | 2 | 2, 4, 5 | 10 | 4 | 3 | 2 | 10 | Тест |
| 14 | Электрические переходы в полупроводнике                                                 |    |   |         |    |   |   | 4 |    | Тест |
| 14 | Электрические переходы в полупроводнике                                                 | 14 | 2 |         |    | 6 | 2 | 4 | 10 | Тест |
| 14 | Электрические переходы в полупроводнике                                                 |    |   |         |    |   |   | 4 |    | Тест |
| 15 | Физическая природа магнитных эффектов. Процессы при намагничивании ферромагнетиков      |    |   |         |    |   |   |   |    | Тест |
| 15 | Физическая природа                                                                      |    |   |         |    |   |   |   |    | Тест |

|    |                                                                                    |    |    |  |    |   |    |   |    |         |
|----|------------------------------------------------------------------------------------|----|----|--|----|---|----|---|----|---------|
|    | магнитных эффектов. Процессы при намагничивании ферромагнетиков                    |    |    |  |    |   |    |   |    |         |
| 15 | Физическая природа магнитных эффектов. Процессы при намагничивании ферромагнетиков | 15 | 2  |  |    |   |    |   |    | Тест    |
| 16 | Доменные структуры в тонких магнитных пленках. Цилиндрические магнитные домены     |    |    |  |    |   |    |   |    | Тест    |
| 16 | Доменные структуры в тонких магнитных пленках. Цилиндрические магнитные домены     |    |    |  |    |   |    |   |    | Тест    |
| 16 | Доменные структуры в тонких магнитных пленках. Цилиндрические магнитные домены     | 16 | 1  |  |    | 5 | 2  |   |    | Тест    |
| 17 | Спинтроника                                                                        | 17 | 2  |  |    |   |    |   |    | Тест    |
| 18 | Методы измерения физических параметров элементов электронной техники               |    |    |  |    |   |    | 3 |    | Тест    |
| 18 | Методы измерения физических параметров элементов электронной техники               |    |    |  |    |   |    |   |    | Тест    |
| 18 | Методы измерения физических параметров элементов электронной техники               | 18 | 2  |  |    | 7 | 2  | 3 | 6  | Тест    |
|    | Промежуточная аттестация                                                           |    |    |  |    |   |    |   | 36 | Экзамен |
|    | Всего                                                                              |    | 32 |  | 16 |   | 16 |   | 80 |         |

#### 4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

##### Семестр № 4

| № | Тема                                                             | Краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Классификация электротехнических материалов. Магнитные материалы | Классификация по электрическим свойствам: проводники, полупроводники, диэлектрики. Активные и пассивные материалы. Зависимость удельной электропроводности от температуры. Классификация материалов по магнитным свойствам: диамагнетик, парамагнетик, ферромагнетик, антиферромагнетик; аморфные материалы, стекла. Процесс намагничивания ферромагнетиков.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 2 | Твердое тело: структура; виды химической связи                   | Шесть видов химических связей: металлическая связь; ковалентная связь; ионная связь; Ван-дер-Ваальсова связь; водородная связь; двухэлектронная трёхцентровая химическая связь. Внутримолекулярные связи; межмолекулярные связи. Обменный механизм образования связи. Доноры, акцепторы. Полярная, неполярная связи. Энергия сродства атома к электрону. Физические свойства, определяемые металлической химической связью.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 2 | Твердое тело: структура; виды химической связи.                  | 6 видов химических связей: металлическая связь; ковалентная связь; ионная связь; Ван-дер-Ваальсова связь; водородная связь; двухэлектронная трёхцентровая химическая связь. Внутримолекулярные связи; межмолекулярные связи. Обменный механизм образования связи. Доноры, акцепторы. Полярная, неполярная связи. Энергия сродства атома к электрону. Физические свойства, определяемые металлической химической связью.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 3 | Влияние агрегатного состояния на электрические свойства веществ  | Диаграммы состояния. Критические явления при фазовых переходах. Электрический ток в жидкостях: проводниках, ди-электриках и полупроводниках. Законы Фарадея электролиза. Зависимости удельной электропроводности от концентрации электролита. Электрический ток в газах; самостоятельный, несамоостоятельный газовый разряд. Плотность электрического тока; подвижность носителей заряда. Вольт-амперная характеристика разряда. Электрический ток в вакууме. Термоэлек-тронная эмиссия. Электрический ток в плазме. Закон Ома для плазмы; влияние внешнего магнитного поля. Общие вопросы физики жидких кристаллов: текучесть - анизотропия; изменение цвета под воздействием температуры; ориентационный переход Фредерикса; дисплей. Электрический ток в металлах: классическая электронная теория; |

|   |                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                                  | <p>работа выхода; упорядоченное движение электронов; закон Ома; закон Джоуля-Ленца. Зависимость общего сопротивления проводника от составляющих, обусловленных рассеянием электронов проводимости на тепловых колебаниях решетки и примесями и дефектами кристалла. Влияние агрегатного состояния вещества на его диэлектрические свойства.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 3 | Влияние агрегатного состояния на электрические свойства веществ. | <p>Диаграммы состояния. Критические явления при фазовых переходах. Электрический ток в жидкостях: проводниках, диэлектриках и полупроводниках. Законы Фарадея электролиза. Зависимости удельной электропроводности от концентрации электролита. Электрический ток в газах; самостоятельный, несамостоятельный газовый разряд. Плотность электрического тока; подвижность носителей заряда. Вольт-амперная характеристика разряда. Электрический ток в вакууме. Термоэлектронная эмиссия. Электрический ток в плазме. Закон Ома для плазмы; влияние внешнего магнитного поля. Общие вопросы физики жидких кристаллов: текучесть - анизотропия; изменение цвета под воздействием температуры; ориентационный переход Фредерикса; дисплей. Электрический ток в металлах: классическая электронная теория; работа выхода; упорядоченное движение электронов; закон Ома; закон Джоуля-Ленца. Зависимость общего сопротивления проводника от составляющих, обусловленных рассеянием электронов проводимости на тепловых колебаниях решетки и примесями и дефектами кристалла. Влияние агрегатного состояния вещества на его диэлектрические свойства.</p> |
| 4 | Структуры; решетки твердых тел                                   | <p>Упорядоченное расположение и стабильность окружающих данный атом ближайших его соседей – ближний порядок; упорядоченное расположение и стабильность атомов, находящихся от него на значительных расстояниях вплоть до границ зерен - дальний порядок. Типы кристаллических решеток. Кристаллографические направления и плоскости. Равновесное расположение частиц в кристалле. Полная и потенциальная энергии атомов. Классификация кристаллов в зависимости от вида внутркристаллической связи.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 4 | Структуры; решетки твердых тел.                                  | <p>Упорядоченное расположение и стабильность окружающих данный атом ближайших его соседей - ближний порядок; упорядоченное расположение и стабильность атомов, находящихся от него на значительных расстояниях вплоть до границ зерен - дальний порядок. Типы кристаллических</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |



|   |                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                              | решеток. Кристаллографические направления и плоскости. Равновесное расположение частиц в кристалле. Полная и потенциальная энергии атомов. Классификация кристаллов в зависимости от вида внутрикристаллической связи.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 5 | Представления зонной теории твердого тела                    | Зонная теория твердого тела и пределы ее применимости. Электронные зоны в идеальном кристалле: зона Бриллюэна, ячейка Вигнера-Зейтца. Заполнение зон в идеальном кристалле. Электроны и дырки, примесные уровни. Функция Ферми.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 5 | Представления зонной теории твердого тела                    | Зонная теория твердого тела и пределы ее применимости. Электронные зоны в идеальном кристалле: зона Бриллюэна, ячейка Вигнера-Зейтца. Заполнение зон в идеальном кристалле. Электроны и дырки, примесные уровни. Функция Ферми.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 5 | Представления зонной теории твердого тела                    | Зонная теория твердого тела и пределы ее применимости. Электронные зоны в идеальном кристалле: зона Бриллюэна, ячейка Вигнера-Зейтца. Заполнение зон в идеальном кристалле. Электроны и дырки, примесные уровни. Функция Ферми.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 6 | Электрические свойства металлических сплавов и тонких пленок | Полное сопротивление сплава. Связь удельного сопротивления сплава с его температурным коэффициентом сопротивления. Сопротивление тонких металлических пленок. Размерные эффекты; зависимость удельного сопротивления и температурного коэффициента от толщины пленки. Роль поверхностных процессов по сравнению с объемными. Сопротивление проводников на высоких частотах; скин эффект; уравнение, описывающее скин-эффект. Контактные явления и термо-ЭДС; два закона Вольта. Контактные явления в полупроводниках; эффект Зеебека; эффект Пельтье.         |
| 7 | Явление сверхпроводимости                                    | Зависимость удельного сопротивления металлического проводника от температуры в широком диапазоне температур. Остаточное сопротивление. Идеальная электропроводность, идеальный диамагнетизм - сверхпроводимость. Механизм появления сверхпроводимости - электрон-фононное взаимодействие; куперовские пары. Критическая температура. Фазовый переход. Эффект Мейснера. Критическое магнитное поле. Сверхпроводники I и II рода. Вихри. Техника сверхпроводимости. Эффект Джозефсона; СКВИД. ВТСП - азотный барьер - комнатно-температурная сверхпроводимость. |
| 8 | Поляризация диэлектриков. Влияние                            | Агрегатные состояния диэлектриков. Линейные, нелинейные диэлектрики. Пассивные, активные                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|    |                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | внешних факторов на диэлектрическую проницаемость                                    | диэлектрики. Полярные, неполярные диэлектрики; ионные соединения. Поляризованность. Уравнение Клаузиуса-Мосотти. Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости. Характер изменения поляризованности и диэлектрической проницаемости от напряженности поля. Виды поляризации: быстрые, замедленные. Спонтанная поляризация. Электропроводность диэлектриков, токи абсорбции, смещения. Зависимость проводимости от температуры.                                                                                                                                                                           |
| 8  | Поляризация диэлектриков. Влияние внешних факторов на диэлектрическую проницаемость. | Агрегатные состояния диэлектриков. Линейные, нелинейные диэлектрики. Пассивные, активные диэлектрики. Полярные, неполярные диэлектрики; ионные соединения. Поляризованность. Уравнение Клаузиуса-Мосотти. Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости. Характер изменения поляризованности и диэлектрической проницаемости от напряженности поля. Виды поляризации: быстрые, замедленные. Спонтанная поляризация. Электропроводность диэлектриков, токи абсорбции, смещения. Зависимость проводимости от температуры.                                                                                  |
| 9  | Пробой диэлектриков. Понятие об электрической прочности                              | Предпробойное состояние диэлектрика. Пробой диэлектрика - потеря изоляционных свойств материала при его нахождении в электрическом поле. Виды пробоев. Кривая жизни электрической изоляции. Зависимость электрической прочности от внутреннего строения диэлектрика, температуры, частоты приложенного напряжения, геометрических размеров образца. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от температуры. Тепловой пробой. Электрохимический пробой. Механизмы пробоя газов, жидкостей и твердых диэлектриков. Электрическая прочность тонких пленок. Закон Пашена. Радиационные свойства диэлектриков. |
| 10 | Активные диэлектрики и элементы функциональной электроники                           | Классификация активных диэлектриков и элементов на их основе. Фазовые переходы. Сегнетоэлектрики, особенности строения, диэлектрический гистерезис, природа спонтанной поляризации. Домены. Температурная зависимость спонтанной поляризованности. Сегнетоэлектрический туннельный переход. Пьезоэффект и пьезоэлектрические материалы. Электромеханические эффекты. Характер зависимости деформации диэлектрика от напряженности электрического поля. Пьезоэлектрические трансформаторы; элементы акустоэлектроники. Пьезорезонанс.                                                                               |
| 11 | Пироэффект и                                                                         | Пироэлектрики – спонтанно поляризованные                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|    |                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | пироэлектрические материалы. Тепловые приемники излучения                               | диэлектрики. Модельный механизм пироэлектрического эффекта. Пиро-электрический коэффициент. Пироэлектрический эффект – электро-калорический эффект. Электреты. Время релаксации поляризации. Основные механизмы получения остаточной поляризации электретов. Термо-электреты. Электро-электреты. Термооптические и электрооптические эффекты. Эффект Керра. Применение электретных преобразователей. Диэлектрики для твердотельных лазеров. Жидкие кристаллы, особенности их строения, классификация по типу мезофазы. Эффект Фредерикса. Суперионные проводники.                                          |
| 11 | Пироэффект и пироэлектрические материалы. Тепловые приемники излучения                  | Пироэлектрики - спонтанно поляризованные диэлектрики. Модельный механизм пироэлектрического эффекта. Пироэлектрический коэффициент. Пироэлектрический эффект - электро-калорический эффект. Электреты. Время релаксации поляризации. Основные механизмы получения остаточной поляризации электретов. Термо-электреты. Электро-электреты. Термооптические и электрооптические эффекты. Эффект Керра. Применение электретных преобразователей. Диэлектрики для твердотельных лазеров. Жидкие кристаллы, особенности их строения, классификация по типу мезофазы. Эффект Фредерикса. Суперионные проводники.  |
| 11 | Пироэффект и пироэлектрические материалы. Тепловые приемники излучения                  | Пироэлектрики – спонтанно поляризованные диэлектрики. Модельный механизм пироэлектрического эффекта. Пиро-электрический коэффициент. Пироэлектрический эффект – электро-калорический эффект. Электреты. Время релаксации поляризации. Основные механизмы получения остаточной поляризации электретов. Термо-электреты. Электро-электреты. Термооптические и электрооптические эффекты. Эффект Керра. Применение электретных преобразователей. Диэлектрики для твердотельных лазеров. Жидкие кристаллы, особенности их строения, классификация по типу мезофазы. Эффект Фредерикса. Суперионные проводники. |
| 12 | Полупроводниковые материалы: классификация по составу, внутреннему строению и свойствам | Зонная структура изоляторов, полупроводников и проводников. Дырки. Процессы генерации и рекомбинации электронно-дырочных пар. Собственные полупроводники. Проводимость; подвижность носителей; длина свободного пробега. Функции распределения Ферми-Дирака и Максвелла-Больцмана. Примесные уровни –                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|    |                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                                         | донорные, акцепторные. Механизмы рассеяния и подвижность носителей. Концентрация носителей и уровень Ферми в полупроводниках. Положение уровня Ферми в собственных полупроводниках. Зависимость концентрации носителей заряда и уровня Ферми от температуры.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 12 | Полупроводниковые материалы: классификация по составу, внутреннему строению и свойствам | Зонная структура изоляторов, полупроводников и проводников. Дырки. Процессы генерации и рекомбинации электронно-дырочных пар. Собственные полупроводники. Проводимость; подвижность носителей; длина свободного пробега. Функции распределения Ферми-Дирака и Максвелла-Больцмана. Примесные уровни - донорные, акцепторные. Механизмы рассеяния и подвижность носителей. Концентрация носителей и уровень Ферми в полупроводниках. Положение уровня Ферми в собственных полупроводниках. Зависимость концентрации носителей заряда и уровня Ферми от температуры.                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 13 | Полупроводники: проводимость; температурная зависимость проводимости                    | Собственная электропроводность. Температурная зависимость электропроводности полупроводника: собственный полупроводник; примесный полупроводник. Неравновесные состояния в полупроводниках; механизмы и параметры рекомбинации. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей. Время жизни. Рекомбинация через локальные уровни. Сильно легированные полупроводники. Поверхностная рекомбинация. Оптические и фотоэлектрические свойства полупроводников. Собственное поглощение. Примесное поглощение. Экситонное поглощение. Решеточное поглощение. Поглощение свободными носителями. Оптические переходы в полупроводниках. Фоторезистивный эффект. Полупроводники в сильном электрическом поле. Эффект Френкеля. Ударная ионизация. Электростатическая ионизация. Эффект Холла. Термоэлектрические явления в полупроводниках. Термовольтаический эффект. Варистор. |
| 13 | Полупроводники: проводимость; температурная зависимость проводимости                    | Собственная электропроводность. Температурная зависимость электропроводности полупроводника: собственный полупроводник; примесный полупроводник. Неравновесные состояния в полупроводниках; механизмы и параметры рекомбинации. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей. Время жизни. Рекомбинация через локальные уровни. Сильно легированные полупроводники. Поверхностная рекомбинация. Оптические и фотоэлектрические свойства полупроводников. Собственное                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|    |                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                      | <p>поглощение. Примесное поглощение. Экситонное поглощение. Решеточное поглощение.</p> <p>Поглощение свободными носителями. Оптические переходы в полупроводниках. Фоторезистивный эффект. Полупроводники в сильном электрическом поле. Эффект Френкеля. Ударная ионизация. Электростатическая ионизация. Эффект Холла. Термоэлектрические явления в полупроводниках. Термовольтаический эффект. Варистор.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 13 | Полупроводники: проводимость; температурная зависимость проводимости | <p>Собственная электропроводность. Температурная зависимость электропроводности полупроводника: собственный полупроводник; примесный полупроводник. Неравновесные состояния в полупроводниках; механизмы и параметры рекомбинации. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей. Время жизни. Рекомбинация через локальные уровни. Сильно легированные полупроводники. Поверхностная рекомбинация. Оптические и фотоэлектрические свойства полупроводников. Собственное поглощение. Примесное поглощение. Экситонное поглощение. Решеточное поглощение. Поглощение свободными носителями. Оптические переходы в полупроводниках. Фоторезистивный эффект. Полупроводники в сильном электрическом поле. Эффект Френкеля. Ударная ионизация. Электростатическая ионизация. Эффект Холла. Термоэлектрические явления в полупроводниках. Термовольтаический эффект. Варистор.</p> |
| 14 | Электрические переходы в полупроводнике                              | <p>Виды электрических переходов. Электронно-дырочный переход: образование р-п-перехода; контактная разность потенциалов; запирающий слой; динамическое равновесие; зонная диаграмма р-п-перехода. Вентильные свойства р-п-перехода. Вольт-амперная характеристика р-п-перехода. Виды пробоев р-п-перехода: лавинный; туннельный; тепловой; поверхностный. Емкость р-п-перехода. Контакт «металл – полупроводник» - переход Шоттки. Работа выхода электрона. Контакт между полупроводниками одного типа проводимости. Гетеропереходы. Омические переходы.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 14 | Электрические переходы в полупроводнике                              | <p>Виды электрических переходов. Электронно-дырочный переход: образование р-п-перехода; контактная разность потенциалов; запирающий слой; динамическое равновесие; зонная диаграмма р-п-перехода. Вентильные свойства р-п-перехода. Вольт-амперная характеристика р-п-перехода. Виды пробоев р-п-перехода: лавинный;</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

|    |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                                    | туннельный; тепловой; поверхностный. Емкость р-п-перехода. Контакт «металл – полупроводник» - переход Шоттки. Работа выхода электрона. Контакт между полупроводниками одного типа проводимости. Гетеропереходы. Омические переходы.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 14 | Электрические переходы в полупроводнике                                            | Виды электрических переходов. Электронно-дырочный переход: образование р-п-перехода; контактная разность потенциалов; запирающий слой; динамическое равновесие; зонная диаграмма р-п-перехода. Вентильные свойства р-п-перехода. Вольт-амперная характеристика р-п-перехода. Виды пробоев р-п-перехода: лавинный; туннельный; тепловой; поверхностный. Емкость р-п-перехода. Контакт «металл – полупроводник» - переход Шоттки. Работа выхода электрона. Контакт между полупроводниками одного типа проводимости. Гетеропереходы. Омические переходы.                                                                                                                                             |
| 15 | Физическая природа магнитных эффектов. Процессы при намагничивании ферромагнетиков | Магнитные кристаллы и поликристаллы со спиновым и орбитальным упорядочением элементарных магнитных моментов. Степень намагниченности кристалла. Различные типы магнитных структур. Ферромагнетизм: критическая температура и намагниченность насыщения ферромагнетиков; физическая природа ферромагнетизма; электростатическое квантовое обменное взаимодействие электронов; кривая намагничивания. Ферриты, постоянные магниты на основе редкоземельных элементов. Гигантская магнитострикция. Температурная зависимость магнитной проницаемости. Температурная зависимость спонтанной намагниченности. Лоренцевский магнито-резистивный эффект. Гигантское и колоссальное магнитосопротивление. |
| 15 | Физическая природа магнитных эффектов. Процессы при намагничивании ферромагнетиков | Магнитные кристаллы и поликристаллы со спиновым и орбитальным упорядочением элементарных магнитных моментов. Степень намагниченности кристалла. Различные типы магнитных структур. Ферромагнетизм: критическая температура и намагниченность насыщения ферромагнетиков; физическая природа ферромагнетизма; электростатическое квантовое обменное взаимодействие электронов; кривая намагничивания. Ферриты, постоянные магниты на основе редкоземельных элементов. Гигантская магнитострикция. Температурная зависимость магнитной проницаемости. Температурная зависимость спонтанной намагниченности. Лоренцевский магниторезистивный эффект.                                                  |

|    |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                                    | Гигантское и колоссальное магнитосопротивление.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 15 | Физическая природа магнитных эффектов. Процессы при намагничивании ферромагнетиков | Магнитные кристаллы и поликристаллы со спиновым и орбитальным упорядочением элементарных магнитных моментов. Степень намагниченности кристалла. Различные типы магнитных структур. Ферромагнетизм: критическая температура и намагниченность насыщения ферромагнетиков; физическая природа ферромагнетизма; электростатическое квантовое обменное взаимодействие электронов; кривая намагничивания. Ферриты, постоянные магниты на основе редкоземельных элементов. Гигантская магнитострикция. Температурная зависимость магнитной проницаемости. Температурная зависимость спонтанной намагниченности. Лоренцевский магнито-резистивный эффект. Гигантское и колоссальное магнитосопротивление.                                                 |
| 16 | Доменные структуры в тонких магнитных пленках. Цилиндрические магнитные домены     | Магнитная тонкая плёнка, поли- или монокристаллический слой ферромагнитного металла, сплава или магнитного окисла (феррита) толщиной от долей нанометра до 10 мкм. Толщины пленок сравнимы с равновесными размерами магнитных доменов. Малая толщина магнитных плёнок препятствует возникновению в них при перемагничивании значительных токов индукции (вихревых токов). Ось лёгкого намагничивания. Инверсия населённостей магнитных ядерных уровней. Эффект Giant Magnetoresistance наблюдается в многослойных тонкопленочных структурах. Туннельное магнитосопротивление. Магнитные ленты, диски для записи и хранения информации. Технологии записи. Магнитные материалы с прямоугольной петлей гистерезиса. Ферромагниты для устройств СВЧ. |
| 16 | Доменные структуры в тонких магнитных пленках. Цилиндрические магнитные домены     | Магнитная тонкая плёнка, поли- или монокристаллический слой ферромагнитного металла, сплава или магнитного окисла (феррита) толщиной от долей нанометра до 10 мкм. Толщины пленок сравнимы с равновесными размерами магнитных доменов. Малая толщина магнитных плёнок препятствует возникновению в них при перемагничивании значительных токов индукции (вихревых токов). Ось лёгкого намагничивания. Инверсия населённостей магнитных ядерных уровней. Эффект Giant Magnetoresistance наблюдается в многослойных тонкопленочных структурах. Туннельное магнитосопротивление. Магнитные ленты, диски для записи и хранения информации. Технологии                                                                                                 |

|    |                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                                   | записи. Магнитные материалы с прямоугольной петлей гистерезиса. Ферромагниты для устройств СВЧ.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 16 | Доменные структуры в тонких магнитных пленках.<br>Цилиндрические магнитные домены | Магнитная тонкая плёнка, поли- или монокристаллический слой ферромагнитного металла, сплава или магнитного окисла (феррита) толщиной от долей нанометра до 10 мкм. Толщины пленок сравнимы с равновесными размерами магнитных доменов. Малая толщина магнитных плёнок препятствует возникновению в них при перемагничивании значительных токов индукции (вихревых токов). Ось лёгкого намагничивания. Инверсия населённостей магнитных ядерных уровней. Эффект Giant Magnetoresistance наблюдается в многослойных тонкопленочных структурах. Туннельное магнитосопротивление. Магнитные ленты, диски для записи и хранения информации. Технологии записи. Магнитные материалы с прямоугольной петлей гистерезиса. Ферромагниты для устройств СВЧ.                                                                                                           |
| 17 | Спинтроника                                                                       | Магнитные полупроводники. Зона проводимости возникает в результате гибридизации частично заполненных и полностью пустых состояний оболочек катионов. Валентная же зона формируется при гибридизации d- или f-оболочек катионов и внешних оболочек анионов. Спин - собственный (внутренний) момент количества движения (импульса) элементарных частиц. Два типа запрещенных зон в магнитном полупроводнике. Физический параметр, который используется для записи информации, - собственный магнитный момент электрона $\mu_B$ . Магнитные структуры и спиновые волны. Спин-поляризованный ток. Спиновые эффекты Холла, Зеебека, Пельтье. Ферромагнетик-пьезоэлектрик. Комбинация пьезоэффекта и магнитострикции. Датчик магнитного поля; магнитная память с произвольным доступом; спиновый наногенератор СВЧ-диапазона; спиновый голографический процессор. |
| 18 | Методы измерения физических параметров элементов электронной техники              | Основные параметры полупроводникового материала, определяющие его свойства по отношению к электромагнитным полям. Двухзондовой, четырехзондовой методы измерения объемного удельного электрического сопротивления. Компенсация термо-ЭДС. Метод вихревых токов измерения объемного удельного электрического сопротивления. Измерение времени жизни носителя заряда. Измерение концентрации и подвижности носителей заряда в                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |



|    |                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                      | полупроводниках методом эффекта Холла. Оптическая микроскопия в режиме интерференционного контраста. Мостовые и резонансные методы измерения ди-электрической проницаемости и диэлектрических потерь. Определение магнитных характеристик наночастиц.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 18 | Методы измерения физических параметров элементов электронной техники | Основные параметры полупроводникового материала, определяющие его свойства по отношению к электромагнитным полям. Двухзондовой, четырехзондовой методы измерения объемного удельного электрического сопротивления. Компенсация термо-ЭДС. Метод вихревых токов измерения объемного удельного электрического сопротивления. Измерение времени жизни носителя заряда. Измерение концентрации и подвижности носителей заряда в полупроводниках методом эффекта Холла. Оптическая микроскопия в режиме интерференционного контраста. Мостовые и резонансные методы измерения диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь. Определение магнитных характеристик наночастиц.  |
| 18 | Методы измерения физических параметров элементов электронной техники | Основные параметры полупроводникового материала, определяющие его свойства по отношению к электромагнитным полям. Двухзондовой, четырехзондовой методы измерения объемного удельного электрического сопротивления. Компенсация термо-ЭДС. Метод вихревых токов измерения объемного удельного электрического сопротивления. Измерение времени жизни носителя заряда. Измерение концентрации и подвижности носителей заряда в полупроводниках методом эффекта Холла. Оптическая микроскопия в режиме интерференционного контраста. Мостовые и резонансные методы измерения ди-электрической проницаемости и диэлектрических потерь. Определение магнитных характеристик наночастиц. |

#### 4.3 Перечень лабораторных работ

##### Семестр № 4

| № | Наименование лабораторной работы                                                                                      | Кол-во академических часов |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 1 | Исследование проводниковых материалов. Зависимость сопротивления медного и константанового проводников от температуры | 3                          |
| 2 | Исследование свойств полупроводников                                                                                  | 3                          |

|   |                                                                                         |   |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------|---|
|   | методом эффекта Холла                                                                   |   |
| 3 | Определение потенциала Ферми с помощью коэффициента термо-ЭДС                           | 3 |
| 4 | Определение удельного сопротивления полупроводников                                     | 3 |
| 5 | Исследование температурной зависимости подвижности электронов и дырок в полупроводниках | 4 |

#### 4.4 Перечень практических занятий

##### Семестр № 4

| № | Темы практических (семинарских) занятий                                                                                           | Кол-во академических часов |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 1 | Определение параметров кристаллических решеток                                                                                    | 2                          |
| 2 | Связь скорости электрона и длины волны электрона. Вычисление вероятности нахождения электрона в заданном энергетическом состоянии | 2                          |
| 3 | Зонная теория; энергия Ферми                                                                                                      | 3                          |
| 4 | Легированные полупроводники: концентрации примесей, электрические параметры                                                       | 3                          |
| 5 | Ток через тонкие пленки                                                                                                           | 2                          |
| 6 | Контактная разность потенциалов                                                                                                   | 2                          |
| 7 | ЭДС Холла                                                                                                                         | 2                          |

#### 4.5 Самостоятельная работа

##### Семестр № 4

| № | Вид СРС                                                   | Кол-во академических часов |
|---|-----------------------------------------------------------|----------------------------|
| 1 | Выполнение тренировочных и обучающих тестов               | 8                          |
| 2 | Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам | 10                         |
| 3 | Подготовка к зачёту                                       | 6                          |
| 4 | Подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам) | 10                         |
| 5 | Проработка разделов теоретического материала              | 10                         |

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: Интерактивная лекция; компьютерная симуляция; семинар–дискуссия; разбор конкретных ситуаций.

#### 5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

##### 5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

##### 5.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Основной задачей практических занятий студентов является закрепление теоретических знаний, полученных на лекциях. Цель работы – научиться ориентироваться в теоретическом материале, получить навыки решения задач и применения прикладной специализированной компьютерной программы PTC\_MathCAD15.

При выполнении задания для практических занятий рекомендуется начать с изучения лекционного материала по рассматриваемой теме. При возникновении неясностей или затруднений в понимании материала следует обратиться к литературе, рекомендованной преподавателем.

Примеры задач

1. Определить длину волны излучения атома водорода при переходе электрона с энергетического уровня с главным квантовым числом  $n = 3$  в основное состояние.
2. Образец германия содержит  $10^{20}$  м–<sup>3</sup> донорных атомов и  $7 \cdot 10^{19}$  м–<sup>3</sup> акцепторных примесных атомов. При данной температуре собственное удельное сопротивление германия равно  $0,5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . Определить равновесные концентрации электронов и дырок и плотность дрейфового тока, который будет проходить по образцу под действием электрического поля напряженностью  $200 \text{ В/м}$ . Подвижности электронов и дырок соответственно равны  $0,39$  и  $0,19 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ .
3. Определить положение уровня Ферми при температуре  $T = 300 \text{ К}$  в арсениде галлия, легированном теллуром до концентрации  $10^{23} \text{ м–}^3$ , если эффективная масса электронов  $0,067m_0$ .
4. В собственном германии при  $300 \text{ К}$  концентрация атомов  $4,4 \cdot 10^{28} \text{ м–}^3$ , а концентрация электронов проводимости  $2,1 \cdot 10^{19} \text{ м–}^3$ . Чему равна концентрация дырок при этой температуре в примесном германии, содержащем один атом донорных примесей на  $10^6$  атомов основного вещества?
5. В кремниевом резком p-n-переходе n-область имеет удельное сопротивление  $5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , время жизни неосновных носителей заряда в ней  $1 \text{ мкс}$ ; для p-области: удельное сопротивление  $0,1 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ; время жизни неосновных носителей заряда  $5 \text{ мкс}$ . Определить плотность тока, протекающего через переход при прямом напряжении  $0,3 \text{ В}$ . Подвижности электронов и дырок соответственно равны  $0,14 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$  и  $0,05 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ , собственная концентрация носителей  $1,4 \cdot 10^{16} \text{ м–}^3$ .

Рекомендуемая литература

1. Афанасьев Н.В. Физические основы электроники. Физика полупроводников [Текст]: учеб. пособие / Н.В. Афанасьев, Л.В. Мухаева, 2006. – 95 с.
2. Пионкевич В.А. Физические основы электроники: учебное пособие / В.А. Пионкевич, 2017. – 289 с.

### 5.1.2 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

Предназначены для оказания помощи студентам по выполнению лабораторных работ. Содержание лабораторных работ: тема; цель и задачи работы; рекомендуемая литература; краткие сведения по теории; схема выполнения лабораторной работы; задания; контрольные вопросы.

Перечень лабораторных работ

1. Исследование проводниковых материалов. Зависимость сопротивления медного и константанового проводников от температуры
2. Исследование свойств полупроводников методом эффекта Холла
3. Определение потенциала Ферми с помощью коэффициента термо-ЭДС
4. Определение удельного сопротивления полупроводников
5. Исследование температурной зависимости подвижности электронов и дырок в полупроводниках

Методические указания и задания к лабораторным работам получают студентами у преподавателя перед их выполнением.

### 5.1.3 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Самостоятельная работа студентом проводится с целью:

- подготовки к конкретным видам занятий;
- для углубления знаний по учебной дисциплине;
- для расширения кругозора.

Самостоятельная подготовка к конкретным видам занятий включает:

- подготовку к очередной лекции;
- подготовку к лабораторным работам;
- подготовку к практическим работам.

Подготовка к очередной лекции имеет целью освежить в памяти материал предыдущей лекции. При этом также выполняются задания, которые были предложены преподавателем для СРС по теме лекции. Для выяснения всех возникших вопросов используется рекомендованная литература или любая другая литература по теме дисциплины.

Углубление знаний по учебным и смежным с ними вопросам проводится при выполнении заданий преподавателя по самостоятельному изучению отдельных положений предмета. При этом используется основная литература. В конспект вносятся необходимые уточнения и исправления, а также (на полях) дописываются новые сведения.

Расширение кругозора реализуется вследствие личной заинтересованности студента и его стремления самостоятельно получить новые знания сверх учебной программы при выполнении конкретных технических заданий, в результате участия в научно-исследовательской работе кафедры, студенческом научно-методическом семинаре, при выполнении курсовых и дипломных проектов. Для расширения кругозора должна использоваться дополнительная литература и научно-технические периодические издания. При этом не следует ограничиваться конечным объемом знаний, изучаемым на лекциях. Следует искать взаимосвязи с другими техническими дисциплинами в рамках своей специальности и смежными специальностями. Поля конспекта – это место конспектирования дополнительного материала по данной теме.

При самостоятельной подготовке по учебной дисциплине «Электроника и схемотехника» необходимо использовать учебники и конспекты лекций по математике (дифференциальное и интегральное исчисление), а также учебники и конспекты лекций по учебным дисциплинам «Физика», «Электротехника». Для правильной организации самостоятельной работы студента большое значение имеют:

- выработка навыков планирования своего учебного и внеучебного времени;
- выбор приоритетов;
- своевременное и правильное составление конспектов лекций по изучаемым дисциплинам.

Планирование времени включает распределение временных затрат по видам учебной деятельности. При этом, независимо от учебного плана, первоначально студентом должно быть принято правило: 1 час самостоятельной работы на 1 час затрат учебного времени по расписанию.

Приоритеты следует определять, руководствуясь объемом учебной дисциплины в часах. Доступность и относительная простота учебной дисциплины для конкретного студента не должна быть критерием расстановки приоритетов. В основу должна быть положена

систематичность изучения, поиск ответов на все непонятные вопросы. Следует придерживаться правила: чем больше потрачено времени на учебную дисциплину в начале изучения, тем больше будет экономия времени при отчетности.

## **6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине**

### **6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля**

#### **6.1.1 семестр 4 | Тест**

##### **Описание процедуры.**

Критерии оценки: способность вспомнить основные теоретические положения в процессе диалогического обсуждения.

Является основанием для корректировки содержания вводных лекций дисциплины «Физические основы электроники».

##### **6.1.2 Тестирование**

##### **1. Тема (раздел): Пробой диэлектриков. Понятие об электрической прочности**

Пробой диэлектриков. Понятие об электрической прочности    Да    Нет

1    Пробой по границе раздела фаз называют поверхностным

2    Электрический пробой – это разрушение диэлектрика, обусловленное ударной ионизацией электронами    происходит за время  $10^{-1} - 10^{-2}$  с.

3    Электрическая прочность тонкопленочных материалов существенно ниже, чем объемных диэлектриков той же природы и достигает величины порядка  $10^9$  В/см.

Описание процедуры: каждому студенту выдается раздаточный материал – карточ-ки с тестовыми заданиями.

Критерии оценки: зачтено – если процент правильных ответов превышает 50% (50% и менее – не зачет).

##### **2. Тема (раздел): Электрические переходы в полупроводнике**

Электрические переходы в полупроводнике    Да    Нет

1    Различают следующие виды электрических переходов:

– электронно-дырочный (р-п-) переход между двумя областями полу-проводника, имеющими одинаковый тип электропроводности;

– переходы между двумя областями, если одна из них является металлом, а другая полупроводником р- или n-типа (переход металл – полу-проводник);

– переходы между двумя областями с одним типом электропроводности, отличающиеся значением концентрации примесей;

– переходы между двумя полупроводниковыми материалами с одинако-вой шириной запрещенной зоны (гетеропереходы).

2    На ширине р-п-перехода образуется потенциальный барьер: ,

где  $W$  – энергетический барьер,  $q$  – заряд носителей

3    Переходный слой, в котором существует контактное электрическое поле при контакте «металл–полупроводник», называется переходом Шоттки

Описание процедуры: каждому студенту выдается раздаточный материал – карточ-ки с тестовыми заданиями.

Критерии оценки: зачтено – если процент правильных ответов превышает 50% (50% и менее – не зачет).

### 3. Тема (раздел): Спинтроника

Спинтроника Да Нет

1 Магнетизм обусловлен значительными кулоновскими (обменными) силами; пренебречь пространственными и спиновыми корреляциями между электронами нельзя.

2 Частицы с целым спином подчиняются статистике Ферми-Дирака (являются фермионами; .

3 В спинтронике физическим параметром, который используется для записи информации, является собственный магнитный момент электрона  $\mu_B$ .

Описание процедуры: каждому студенту выдается раздаточный материал – карточки с тестовыми заданиями.

Критерии оценки: зачтено – если процент правильных ответов превышает 50% (50% и менее – не зачет).

#### 6.1.3 Устный опрос

1. Тема (раздел): Классификация электротехнических материалов. Магнитные материалы  
Описание процедуры – пример вопроса для контроля: назовите ширины запрещенных зон для проводника, полупроводника и диэлектрика.

Критерии оценки: зачтено – если ответ однозначно правильный или выявляется способность к анализу сути вопроса, высказывания альтернативных вариантов.

2. Тема (раздел): Структуры; решетки твердых тел.

Описание процедуры – пример вопроса для контроля: Силы притяжения между атомами – это силы химической связи: ионная, ковалентная, металлическая, молекулярная, которые становятся существенными на расстояниях, близких к расстоянию между атомами в твердом теле: где  $b$ ,  $m$  – постоянные, зависящие от вида химической связи. Например, в ионных и металлических кристаллах  $m = 1$ .

Критерии оценки: зачтено – если ответ однозначно правильный или выявляется способность к анализу сути вопроса, высказывания альтернативных вариантов.

### Критерии оценивания.

Критерии оценки: зачтено – если ответ однозначно правильный или выявляется способность к анализу сути вопроса, высказывания альтернативных вариантов.

#### 6.1.2 семестр 4 | Устный опрос

##### Описание процедуры.

1. Тема (раздел): Классификация электротехнических материалов. Магнитные материалы  
Описание процедуры – пример вопроса для контроля: назовите ширины запрещенных зон для проводника, полупроводника и диэлектрика.

### Критерии оценивания.

Критерии оценки: зачтено – если ответ однозначно правильный или выявляется способность к анализу сути вопроса, высказывания альтернативных вариантов.

## 6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

### 6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

| Индикатор достижения компетенции | Критерии оценивания                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации                                         |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК ОС-6.5                       | Умеет использовать научно-техническую информацию при разработке, конструировании радиотехнических и электронных средств.                                                                                                                                                                                                                                          | Устное собеседование на экзамене по теоретическим вопросам и выполнение практических заданий. |
| ПКО-1.2                          | Умеет собрать, систематизировать и проанализировать научно-техническую отечественную и зарубежную информацию в области электроники и нанoeлектроники. Способен выбрать эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения. | Устное собеседование на экзамене по теоретическим вопросам и выполнение практических заданий. |

### 6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

#### 6.2.2.1 Семестр 4, Типовые оценочные средства для проведения экзамена по дисциплине

##### 6.2.2.1.1 Описание процедуры

Вопросы для подготовки к экзамену:

1. Классификация материалов по отклику на воздействие электрического поля; параметры.
2. Классификация материалов по отношению к магнитному полю; параметры.
3. Металлическая связь; ионная связь: общее, различия.
4. Ковалентная связь; водородная связь: общее, различия.
5. Двухэлектронная трёхцентровая химическая связь; водородная связь: общее, различия.
6. Критические явления при фазовых переходах.
7. Электрический ток в жидкостях.

8. Электрический ток в газах.
9. Электрический ток в вакууме и плазме.
10. Электрический ток в металлах.
11. Жидкие кристаллы: термография; ориентационный переход Фредерикса.
12. Зависимость общего сопротивления проводника от составляющих, обусловленных рассеянием электронов проводимости на тепловых колебаниях решетки и примесями и дефектами кристалла.
13. Равновесное расположение частиц в кристалле.
14. Аморфные материалы.
15. Электронные зоны в идеальном кристалле. Заполнение зон.
16. Электроны и дырки, примесные уровни. Функция Ферми.
17. Сопротивление тонких металлических пленок. Размерные эффекты.
18. Сопротивление проводников на высоких частотах; скин-слой.
19. Контактная разность потенциалов; законы Вольты.
20. Термо-ЭДС; эффект Зеебека.
21. Зависимость удельного сопротивления металлического проводника от температуры; идеальная электропроводность. Критическая температура.
22. Идеальный диамагнетизм. Критическое магнитное поле. Эффект Мейснера.
23. Сверхпроводники I и II рода.
24. Фазовый переход нормальный металл – сверхпроводник; критический ток.
25. Высокотемпературная сверхпроводимость.
26. Поляризация диэлектриков. неполярные, полярные диэлектрики. Линейные, нелинейные диэлектрики. Поляризованность, диэлектрическая восприимчивость, диэлектрическая проницаемость.
27. Поляризация диэлектриков. Уравнение Клаузуиса-Мосотти. Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости. Диэлектрическая проницаемость смеси материалов.
28. Виды поляризации.
29. Электропроводность твердых кристаллических диэлектриков. Формула Френкеля.
30. Пробой диэлектриков – виды. Электрическая прочность. Кривая жизни электрической изоляции.
31. Поверхностный разряд.
32. Электрическая прочность тонких пленок.
33. Сегнетоэлектрики, особенности строения, диэлектрический гистерезис, природа спонтанной поляризации.
34. Пьезоэффект и пьезоэлектрические материалы.
35. Пироэффект и пироэлектрические материалы.
36. Электреты. Применение электретных преобразователей.
37. Электрооптический эффект Керра. Схема наблюдения.
38. Жидкие кристаллы. Переход Фредерикса.
39. Собственный полупроводник и собственная электропроводность.
40. Влияние примесей на электрические свойства полупроводников.
41. Удельное электрическое сопротивление полупроводника. Время релаксации.
42. Концентрация носителей и уровень Ферми в полупроводниках.
43. Температурная зависимость проводимости полупроводников.
44. Неравновесные состояния в полупроводниках; механизмы и параметры рекомбинации.
45. Оптические и фотоэлектрические свойства полупроводников.
46. Полупроводники в сильном электрическом поле.
47. Электронная ионизация – виды.
48. Эффект Холла.



49. Термовольтаический эффект.
50. Электронно-дырочный переход; образование; высота потенциального барьера. Вентильные свойства.
51. Вольт-амперная характеристика р-п-перехода.
52. Виды пробоев р-п-перехода.
53. Контакт «металл – полупроводник»: работа выхода; переход Шоттки.
54. Гетеропереходы; омические переходы.
55. Ферромагнетизм: физическая природа; кривая намагничивания. Температурная зависимость магнитной проницаемости.
56. Лоренцевский магниторезистивный эффект.
57. Гигантское и колоссальное магнитосопротивление.
58. Магнитная пленка; размерный эффект
59. Эффект гигантского магнитосопротивления в многослойных тонкопленочных структурах.
60. Технологии магнитной записи.
61. Магнитные полупроводники: два типа запрещенных зон; физические эффекты, обусловленные спинами отдельных электронов и спин-поляризованными токами.
62. Поверхностные акустические волны; спин-поляризованный ток.
63. Измерение удельного электрического сопротивления материала: мостовые методы.
64. Измерение удельного электрического сопротивления материала: зондовые методы.
65. Измерение удельного электрического сопротивления материала: метод вихревых токов.
66. Измерение времени жизни носителя заряда.
67. Измерение концентрации и подвижности носителей заряда в полупроводниках методом эффекта Холла.

Пример задания:

Образец экзаменационного билета

Иркутский национальный исследовательский технический университет  
Институт высоких технологий  
Кафедра радиоэлектроники и телекоммуникационных систем

Дисциплина: «Физические основы электроники»

Экзаменационный билет № 19

1. Оптические и фотоэлектрические свойства полупроводников.
2. Измерение удельного электрического сопротивления материала: метод вихревых токов.

Билет составил профессор кафедры РЭиТС  
\_\_\_\_\_  
Строкин Н.А.

РЭиТС  
11 ноября 2025 г.

Утверждаю:  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_  
Ченский

## 6.2.2.1.2 Критерии оценивания

| Отлично                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Хорошо                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Удовлетворительн<br>о                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Неудовлетворительно                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Излагает признаки материалов, определяющие их поведение в электромагнитных полях; физические законы, описывающие химические связи в твердом теле; постулаты зонной теории твердых тел; размерные эффекты в тонких пленках; зависимость удельного сопротивления проводников в широком диапазоне температур; виды и механизмы пробоев диэлектриков; виды активных диэлектриков и механизмы генерации электрических полей в них; виды полупроводников и типы проводимости в них; магнитные эффекты, в том числе в тонких пленках; основные положения теории магнитных полупроводников; методы измерения удельной проводимости, концентрации носителей и времени жизни</p> | <p>Излагает признаки материалов, определяющие их поведение в электромагнитных полях; физические законы, описывающие химические связи в твердом теле; постулаты зонной теории твердых тел; размерные эффекты в тонких пленках; зависимость удельного сопротивления проводников в широком диапазоне температур; виды и механизмы пробоев диэлектриков; виды активных диэлектриков и механизмы генерации электрических полей в них; виды полупроводников и типы проводимости в них; магнитные эффекты, в том числе в тонких пленках; основные положения теории магнитных полупроводников; методы измерения удельной проводимости, концентрации носителей и времени жизни</p> | <p>Допускает существенные ошибки при изложении признаков материалов, определяющих их поведение в электромагнитных полях; физических законов, описывающих химические связи в твердом теле; постулатов зонной теории твердых тел; размерных эффектов в тонких пленках; зависимости удельного сопротивления проводников в широком диапазоне температур; видов и механизмов пробоев диэлектриков; видов активных диэлектриков и механизмов генерации электрических полей в них; видов полупроводников и типов проводимости в них; магнитных эффектов, в том числе в тонких пленках; основных положений теории магнитных полупроводников; методов измерения удельной проводимости,</p> | <p>Допускает принципиальные ошибки при изложении признаков материалов, определяющих их поведение в электромагнитных полях; физических законов, описывающих химические связи в твердом теле; постулатов зонной теории твердых тел; размерных эффектов в тонких пленках; зависимости удельного сопротивления проводников в широком диапазоне температур; видов и механизмов пробоев диэлектриков; видов активных диэлектриков и механизмов генерации электрических полей в них; видов полупроводников и типов проводимости в них; магнитных эффектов, в том числе в тонких пленках; основных положений теории магнитных полупроводников; методов измерения удельной проводимости, концентрации носителей и времени жизни носителей или демонстрирует</p> |

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                     |                                                 |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| носителей. | <p>носителей.<br/> Допускает<br/> незна-чительные<br/> ошибки при<br/> изложении<br/> признаков матери-<br/> алов, определяю-<br/> щих их поведение<br/> в электромагнит-<br/> ных полях; физи-<br/> ческих законов,<br/> описывающих<br/> химические связи<br/> в твердом теле;<br/> постулатов зонной<br/> теории твердых<br/> тел; размерных<br/> эффектов в тонких<br/> пленках; зависи-<br/> мости удельного<br/> сопротивления<br/> проводников в<br/> широком диапа-<br/> зоне температур;<br/> видов и механиз-<br/> мов пробоев ди-<br/> электриков; видов<br/> активных диэлек-<br/> триков и механиз-<br/> мов генерации<br/> электрических<br/> полей в них; видов<br/> полупроводников<br/> и типов<br/> проводимости в<br/> них; магнитных<br/> эффектов, в том<br/> числе в тонких<br/> пленках;<br/> основных<br/> положений теории<br/> магнитных полу-<br/> проводников; ме-<br/> тодов измерения<br/> удельной прово-<br/> димости, концен-<br/> трации носителей<br/> и времени жизни<br/> носителей.<br/> Допускает<br/> существен-ные</p> | <p>концен-трации<br/> носителей и времени<br/> жизни носителей.</p> | <p>незнание ответов на<br/> вопросы билета.</p> |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|  | <p>ошибки при из-<br/>ложении<br/>признаков ма-<br/>териалов,<br/>определяющих их<br/>поведение в<br/>электро-<br/>магнитных полях;<br/>физи-ческих<br/>законов, описы-<br/>вающих<br/>химические связи<br/>в твердом теле;<br/>постулатов зонной<br/>теории твердых<br/>тел; размерных<br/>эффектов в тонких<br/>пленках;<br/>зависимости<br/>удельного<br/>сопротивления<br/>про-водников в<br/>широком<br/>диапазоне<br/>температур; видов<br/>и механизмов<br/>пробоев<br/>диэлектриков;<br/>видов активных<br/>диэлектриков и<br/>механизмов<br/>генерации<br/>электрических<br/>полей в них; видов<br/>полу-проводников<br/>и типов<br/>проводимости в<br/>них; магнитных<br/>эффектов, в том<br/>числе в тонких<br/>пленках;<br/>основных<br/>положений теории<br/>магнитных<br/>полупроводников;<br/>методов<br/>измерения<br/>удельной<br/>проводимости,<br/>концен-трации<br/>носителей и</p> |  |  |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|  | <p>времени жизни носителей.</p> <p>Допускает принципиальные ошибки при изложении признаков материалов, определяющих их поведение в электромагнитных полях; физических законов, описывающих химические связи в твердом теле; постулатов зонной теории твердых тел; размерных эффектов в тонких пленках; зависимости удельного сопротивления проводников в широком диапазоне температур; видов и механизмов пробоев диэлектриков; видов активных диэлектриков и механизмов генерации электрических полей в них; видов полупроводников и типов проводимости в них; магнитных эффектов, в том числе в тонких пленках; основных положений теории магнитных полупроводников; методов измерения</p> |  |  |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|

|  |                                                                                                                               |  |  |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|  | удельной проводимости, концентрации носителей и времени жизни носителей или демонстрирует незнание ответов на вопросы билета. |  |  |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|

## 7 Основная учебная литература

1. Афанасьев Н.В. Физические основы электроники. Физика полупроводников [Текст]: учеб. пособие / Н.В. Афанасьев, Л.В. Мухаева, 2006. – 95 с.
2. Дунаев М.П. Физические основы электроники [Электронный ресурс]: конспект лекций по специальности 140000 – Энергетика, энергетическое машиностроение и электротехника / М.П. Дунаев, 2008. – 67 с.
3. Смирнов Ю.А. Физические основы электроники: учебное пособие / Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов, 2013. – 559 с.
4. Пионкевич В.А. Физические основы электроники: учебное пособие / В.А. Пионкевич, 2017. – 289 с.

## 8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Бобылев Ю.Н. Физические основы электроники: учеб. пособие для вузов по специальности «Электропривод и автоматика пром. установок и технол. комплексов» / Ю.Н. Бобылев, 1999. – 289 с.
2. Гайдук В.И. Физические основы электроники сверхвысоких частот / В.И. Гайдук, К.И. Палатов, Д.М. Петров, 1971. – 600 с.
3. Физические основы электроники: методические указания по выполнению лабораторных работ / Иркут. гос. техн. ун-т, 2012. – 21 с.
4. Толмачев В.В. Физические основы электроники: учебное пособие для вузов / В.В. Толмачев, Ф.В. Скрипник, 2011. – 495 с.

## 9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

## 10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

#### **11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем**

1. Лицензионное программное обеспечение Системное программное обеспечение
2. Лицензионное программное обеспечение Пакет прикладных офисных программ
3. Лицензионное программное обеспечение Интернет-браузер

#### **12 Материально-техническое обеспечение дисциплины**

1. Учебная аудитория для проведения лекционных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Оснащение: комплект учебной мебели, рабочее место преподавателя, доска. Мультимедийное оборудование (в том числе переносное): мультимедийный проектор, экран, акустическая система, компьютер с выходом в интернет.
2. Учебная аудитория для проведения лабораторных/практических (семинарских) занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Оснащение: комплект учебной мебели, рабочее место преподавателя, доска. Мультимедийное оборудование (в том числе переносное): мультимедийный проектор, экран, акустическая система, компьютер с выходом в интернет.