

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета В.А. Небольсин  
«30» августа 2017 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины  
«Практикум по физике твердого тела»

Направление подготовки 16.03.01 ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Профиль Физическая электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2017

Автор программы Лянц / Янченко Л.И. /

Заведующий кафедрой  
Физики твердого тела Калинин / Калинин Ю.Е. /

Руководитель ОПОП Калинин / Калинин Ю.Е. /

Воронеж 2017

# 1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

## 1.1. Цели дисциплины

Целью изучения дисциплины является – формирование у студентов систематических знаний фундаментальных принципов, определяющих структуру твердых тел, и в первую очередь – кристаллов, а также в изучении явлений и процессов в твердых телах, используемых при разработке приборов твердотельной электроники.

Курс является той основой, которая необходима специалисту в области материаловедения для более или менее свободного ориентирования при выборе металлических, диэлектрических и полупроводниковых материалов с набором нужных параметров для прикладных целей, а также при создании новых материалов с прогнозируемыми свойствами..

## 1.2. Задачи освоения дисциплины

формирование научной основы для осознанного и целенаправленного использования свойств твердого тела при создании объектов и систем в различных областях нанотехнологии и микросистемной техники;

изучение фундаментальных результатов физики конденсированного состояния и способов практического использования свойств конденсированных сред;

практическое овладение методами теоретического описания и основными теоретическими моделями конденсированного состояния, навыками постановки физического эксперимента по изучению свойств конденсированных сред и основными экспериментальными методиками;

освоение основных физических теорий, позволяющих описать явления в природе, и пределов применимости этих теорий для решения современных и перспективных профессиональных задач;

овладение фундаментальными принципами и методами решения научно-технических задач;

умение ориентироваться в научно-технической информации;

формирование навыков по применению положений фундаментальной теории к грамотному научному анализу ситуаций, с которыми бакалавру придется сталкиваться при создании или использовании новой техники и новых технологий;

умение использовать физические принципы и законы, а также результаты экспериментальных открытий в тех областях техники, в которых они будут трудиться.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Практикум по физике твердого тела» относится к дисциплинам по выбору вариативной части блока Б.1 учебного плана.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Практикум по физике твердого тела» направлен на формирование следующих компетенций:

ДПК-5 - Способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок физической электроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования.

ОПК-1 - способностью использовать фундаментальные законы природы и основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции  |
|-------------|--|
| ОПК-1       | <p>знать основные свойства и характеристики наиболее часто используемых полупроводников и диэлектриков, физические процессы, происходящие в полупроводниках и диэлектриках, и теорию этих процессов; современные направления развития физики полупроводников и диэлектриков; основные понятия и законы физики твердого тела.</p>   |
|             | <p>уметь собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по различным разделам физики твёрдого тела. Использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии в области выбранного профиля технической физики. Оценивать области возможного применения устройств физической электроники; пользоваться теоретическими знаниями при расчетах физических процессов и применять их при анализе явлений в полупроводниках и диэлектриках; пользоваться теоретическими знаниями при анализе разнообразных явлений в твердых телах; определять тип материала по физическим характеристикам; определять значения основных параметров полупроводниковых материалов; истолковывать смысл физических величин и понятий; объяснить основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальных физических взаимодействий;</p> |
|             | <p>владеть навыками теоретически грамотного применения полученных знаний для дальнейшего изучения специальной литературы и освоения информации об основных научно-технических проблемах и перспективах развития физической электроники; методами определения электропроводности и концентрации носителей заряда в твердом теле, ширины запрещенной зоны в полупроводнике; представлениями о границах применимости основных представлений и законов современной физики твердого тела;</p>   |
| ДПК-5       | <p>знать основные методы испытаний полупроводников и диэлектриков, а также методики определения соответствующих параметров и уметь ими пользоваться;</p>   |
|             | <p>уметь использовать методы адекватного физического и математического моделирования, а также применять методы физико-математического анализа к решению конкретных естественнонаучных и технических проблем;</p>   |
|             | <p>владеть навыками применения основных методов физико-математического анализа для решения естественнонаучных задач.</p>   |

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Практикум по физике твердого тела» составляет 4 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

### Очная форма обучения

| Вид учебной работы                             | Всего часов | Семестры |     |  |  |
|--|-------------|----------|-----|--|--|
|  |             | 6        |     |  |  |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>              | 72          | 72       |     |  |  |
| В том числе:                                   |             |          |     |  |  |
| Лекции   |             |          |     |  |  |
| Практические занятия (ПЗ)                      | 72          | 72       |     |  |  |
| Лабораторные работы (ЛР)                       | -           | -        |     |  |  |
| <b>Самостоятельная работа</b>                  | 72          | 72       |     |  |  |
|  |             |          |     |  |  |
| Курсовой проект                                | +           | +        |     |  |  |
| Контрольная работа                             |             |          |     |  |  |
| Вид промежуточной аттестации – зачет с оценкой | +           | +        |     |  |  |
| Общая трудоемкость                             | час         | 144      | 144 |  |  |
|  | зач. ед.    | 4        | 4   |  |  |

### Заочная форма обучения

Не предусмотрена

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1. Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

#### очная форма обучения

| № п/п        | Наименование темы                           | Содержание раздела   | Лекц | Прак зан. | Лаб. зан. | СРС       | Всего, час |
|--------------|---|--|------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1            | Часть 1. Физика полупроводников             | Генерация и рекомбинация неравновесных носителей<br>Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда<br>Рассеяние носителей заряда<br>Поверхностные явления в полупроводниках |      | 36        |           | 36        | 72         |
| 2            | Часть 2. Явления переноса в полупроводниках | Эффект Холла. Термомагнитные явления. Термоэлектрические явления. Сильные электрические поля. Фотоэлектрические явления.   |      | 36        |           | 36        | 72         |
| <b>Итого</b> |   |  |      | <b>72</b> |           | <b>72</b> | <b>144</b> |

#### Практические занятия

#### Часть 1

| № | Тема практики | Объ- |
|---|---------------|------|
|---|---------------|------|

| п/п |   | ем<br>ча-<br>сов |
|-----|---|------------------|
| 1   | Генерация и рекомбинация неравновесных носителей<br>Основные механизмы рекомбинации носителей заряда. Классификация механизмов рекомбинации по типам электронных переходов и по виду выделяемой энергии.  | 1                |
| 2   | Межзонная рекомбинация, рекомбинация через локальные центры, межпримесная рекомбинация, экситонная рекомбинация. Уровни прилипания. Излучательная и безизлучательная рекомбинация.  | 1                |
| 3   | Основные механизмы генерации неравновесных носителей заряда в полупроводниках. Классификация механизмов генерации по типам электронных переходов: собственная и примесная. Термический, фотоэлектрический и радиационный механизм генерации.  | 2                |
| 4   | Максвелловское время релаксации. Локализация областей возникновения и исчезновения объемного заряда в примесном полупроводнике.   | 1                |
| 5   | Частные случаи релаксации избыточной концентрации, определяемой важнейшими механизмами рекомбинации. Случай малого уровня биполярного возбуждения (линейная рекомбинация). Случай большого уровня возбуждения (квадратичная рекомбинация).  | 1                |
| 6   | Рекомбинация носителей заряда через ловушки. Модель Холла-Шокли-Рида. Установление зависимости времени жизни электронно-дырочных пар от положения уровня Ферми.   | 2                |
| 7   | Анализ четырех характерных областей на зависимости $\ln \tau$ от $F$ . Область сильно легированного полупроводника n-типа, слабо легированного полупроводника n-типа, слабо легированного полупроводника p-типа, сильно легированного полупроводника p-типа. Случай большого уровня возбуждения избыточных носителей зарядов. | 1                |
| 8   | Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда<br>Уравнение непрерывности для электронов и дырок. Выражение для потоков носителей заряда (одномерный, трехмерный случай, стационарные условия).  | 1                |
| 9   | Диффузионный и дрейфовый токи. Коэффициенты диффузии электронов и дырок. Выражение для полного тока. Соотношение Эйнштейна. Связь коэффициента диффузии носителей заряда, подчиняющихся статистике Больцмана, и их подвижности в условиях термодинамического равновесия.  | 2                |
| 10  | Условие применимости соотношения Эйнштейна к неравновесным носителям заряда.  | 1                |
| 11  | Диффузия и дрейф неравновесных носителей зарядов в случае монополярной проводимости. Длина экранирования или дебаевский радиус. Эффективное время установления диффузионно-дрейфового равновесия.   | 1                |
| 12  | Диффузия и дрейф неосновных носителей зарядов в примесном полупроводнике. Длина затягивания, диффузионная длина.  | 2                |
| 13  | Инжекция неравновесных носителей заряда. Эксклюзия носителей заряда. Экстракция и аккумуляция неравновесных носителей заряда.   | 1                |
| 14  | Диффузия и дрейф неравновесных носителей зарядов с проводимостью, близкой к собственной. Эффективная (биполярная) дрейфовая подвижность, эффективный (биполярный) коэффициент диффузии.   | 1                |
| 13  | Рассеяние носителей зарядов.<br>Нарушение периодичности кристаллической структуры (динамические, статические).  | 2                |
| 14  | Понятие эффективного сечения рассеяния. Зависимость подвижности носителей зарядов от температуры.   | 1                |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| 15          | Эффективное время релаксации. Механизмы рассеяния (на акустических фонах, на ионах, на нейтральных атомах, на дислокациях)  | 1  |
| 16          | Работа выхода. Истинная и термодинамическая работа выхода. Выражение для тока термоэлектронной эмиссии..  | 2  |
| 17          | Расчет работы выхода для собственного, донорного и акцепторного полупроводников.  | 1  |
| 18          | Поверхностные явления в полупроводниках. Влияние поверхности на свойства полупроводника. Учет ограниченности объема кристалла. Условия Борна-Кармана.                 | 1  |
| 19          | Дискретность энергетического спектра. Поверхностные состояния или уровни Тамма. Поверхностные состояния, образованные за счет дефектов.                               | 2  |
| 20          | .Связанный поверхностный заряд. Изгиб энергетических зон вблизи поверхности. Возникновение двойного электрического слоя.  | 1  |
| 21          | Изменение проводимости в приповерхностном слое полупроводника под действием электрического поля перпендикулярного его поверхности (эффект поля).                      | 1  |
| 22          | Эффективная подвижность в приповерхностном слое. Время захвата носителей заряда. Медленные и быстрые поверхностные состояния.   | 1  |
| 23          | Поверхностная рекомбинация в рамках теории Холла-Шокли-Рида для рекомбинации через локальные центры.  | 1  |
| 24          | Поверхностная рекомбинация. Использование модели Холло-Шокли-Рида (рекомбинация через поверхностные уровни) для расчета величины скорости поверхностной рекомбинации. | 1  |
| 25          | Колоколообразный вид кривой зависимости скорости поверхностной рекомбинации от величины изгиба зоны у поверхности.  | 1  |
| 26          | Влияние поверхностных состояний на работу полупроводниковых приборов.   | 1  |
| 27          | Снижение величины напряжения пробоя, нестабильность коллекторного тока перехода, увеличение уровня шумов, образование поверхностных каналов.                          | 1  |
| Итого часов |   | 36 |

## Часть 2

| № пп | Тема практики   | Объем часов |
|------|---|-------------|
| 1    | Явления переноса в полупроводниках (кинетические явления в полупроводниках)<br>Классификация кинетических явлений. Температурная зависимость удельного электрического сопротивления полупроводников. Характерные участки на графике. Определение постоянных полупроводника по тангенсу угла наклона графической зависимости.                  | 2           |
| 2    | Эффект Холла. Определение гальваномагнитных эффектов. Эффект Холла для случая слабого и сильного магнитного поля. Положение эквипотенциальных поверхностей в образце полупроводника. Возникновение поля Холла, угол Холла. Определение знака и концентрации носителей заряда в полупроводнике по значению постоянной Холла.                   | 2           |
| 3    | Эффект Холла в полупроводнике с двумя типами носителей заряда. Направление силы Лоренца для электронов и дырок. Возникновение поперечного холловского поля. Холл-фактор, холловская подвижность. Зависимость коэффициента Холла от температуры. Физические величины, характеристики полупроводника, определяемые по измерениям эффекта Холла. | 2           |

|    |  |    |
|----|--|----|
| 4  | Магнито-резистивный эффект. Эффект магнитосопротивления или магниторезистивный эффект. Количественное выражение эффекта. Физические причины эффекта. Распределение электронов по скоростям. Эффективная длина свободного пробега. Продольное и поперечное магнитосопротивление. Определение подвижности по измерениям сопротивления полупроводника в магнитном поле при известном механизме рассеяния. | 2  |
| 5  | Термомагнитные явления. Физическая основа эффектов. Поперечный эффект Нернста-Эттингсгаузена. Обоснование того, что знак эффекта Нернста-Эттингсгаузена не зависит от знака носителей, а только от механизма их рассеяния.<br>Продольный эффект Нернста-Эттингсгаузена. Дифференциальная термоЭДС, кинетический коэффициент продольного эффекта Нернста-Эттингсгаузена. Физическая природа эффекта.    | 2  |
| 6  | Эффект Риги-Ледюка. Тепловой аналог эффекта Холла. Механизм возникновения эффекта. Знак кинетического коэффициента Риги-Ледюка для электронного и дырочного полупроводника.  | 2  |
| 7  | Эффект Маджи-Риги-Ледюка. Изменение эффективной длины свободного пробега вдоль теплового потока. Использование гальваномагнитных явлений для исследования механизмов рассеяния носителей заряда в полупроводнике.  | 2  |
| 8  | Термоэлектрические явления. Эффект Зеебека. Условие возникновения термоэдс. Определение типа примесной проводимости по знаку термоэдс. Температурная зависимость коэффициента термоэдс. Отношение подвижностей носителей заряда. Численная оценка значений коэффициента термоэдс в полупроводниках и металлах.   | 2  |
| 9  | Эффект Пельтье. Физическая сущность эффекта, его объяснение, формула для расчета коэффициента Пельтье.   | 2  |
| 10 | Эффект Томсона. Физическая сущность эффекта, его объяснение, формула для расчета коэффициента Томсона. Связь между термоэлектрическими коэффициентами.   | 2  |
| 11 | Явления переноса в сильных электрических полях. Величина критического поля. Причины нарушения закона Ома в сильных электрических полях. Изменение подвижности и концентрации носителей заряда.   | 2  |
| 12 | Эффект разогрева электронно-дырочного газа. Соотношение между скоростью дрейфа и тепловой скоростью. Горячие носители. Вид ВАХ в сильных полях. Убегание носителей заряда.   | 2  |
| 13 | Эффект Ганна. Многодолинные полупроводники. Объяснение существования на ВАХ падающего участка (пульсации электрического тока). Формирование электрического домена, его движение по образцу.  | 2  |
| 14 | Ударная ионизация. Коэффициент ударной ионизации. Диффузионное приближение. Дрейфовая функция распределения.   | 2  |
| 15 | Туннельный эффект (эффект Зинера). Наклон энергетических зон. Эффективная ширина барьера. Вероятность перехода носителей.  | 2  |
| 16 | Термоэлектронная ионизация. Уменьшение энергии ионизации донорной примеси в сильном поле. Объяснение зависимости эффекта от температуры.   | 2  |
| 17 | Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Фоторезистивный эффект фотопроводимости.  | 2  |
| 18 | Эффект Дембера. ЭДС Дембера.<br>Фотовольтаический эффект. Вентильная фотоэдс.  | 2  |
|    |  | 36 |

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Не предусмотрено учебным планом.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

### 7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции  | Критерии оценивания  | Аттестован  | Не аттестован   |
|-------------|--|--|---|---|
| ОПК-1       | знать основные свойства и характеристики наиболее часто используемых полупроводников и диэлектриков, физические процессы, происходящие в полупроводниках и диэлектриках, и теорию этих процессов;<br>современные направления развития физики полупроводников и диэлектриков;<br>основные понятия и законы физики твердого тела.  | Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при зачете | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | уметь собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по различным разделам физики твёрдого тела. Использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии в области выбранного профиля технической физики. Оценивать области возможного применения устройств физической электроники;<br>пользоваться теоретическими знаниями при расчетах физических процессов и применять их при анализе явлений в полупроводниках и диэлектриках;<br>пользоваться теоретическими знаниями при анализе разнообразных явлений в | Решение стандартных практических задач, написание тестовых заданий                     | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |

|       |  |  |   |   |
|-------|--|--|---|---|
|       | <p>твердых телах;<br/> определять тип материала по физическим характеристикам;<br/> определять значения основных параметров полупроводниковых материалов;<br/> истолковывать смысл физических величин и понятий;<br/> объяснить основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальных физических взаимодействий</p>   |  |   |   |
|       | <p>владеть навыками теоретически грамотного применения полученных знаний для дальнейшего изучения специальной литературы и освоения информации об основных научно-технических проблемах и перспективах развития физической электроники;<br/> методами определения электропроводности и концентрации носителей заряда в твердом теле, ширины запрещенной зоны в полупроводнике;<br/> представлениями о границах применимости основных представлений и законов современной физики твердого тела;</p> | Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение плана самостоятельных работ | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| ДПК-5 | <p>знать основные методы испытаний полупроводников и диэлектриков, а также методики определения соответствующих параметров и уметь ими пользоваться;</p>   | Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при зачете           | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|       | <p>уметь использовать методы адекватного физического и математического моделирования, а также применять методы физико-математического анализа к решению конкретных естественнонаучных и технических проблем</p>  | Решение стандартных практических задач, написание тестовых заданий                               | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|       | <p>владеть навыками применения основных методов физико-математического анализа для решения естественнонаучных задач.</p>   | Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение плана самостоятельных работ | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 6 семестре для очной формы обучения по системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно»

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции   | Критерии оценивания | Отлично                     | Хорошо                     | Удовл                      | Неудовл                              |
|-------------|---|---------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| ОПК-1       | знать основные свойства и характеристики наиболее часто используемых полупроводников и диэлектриков, физические процессы, происходящие в полупроводниках и диэлектриках, и теорию этих процессов; современные направления развития физики полупроводников и диэлектриков;<br>основные понятия и законы физики твердого тела   | Тест                | Выполнение теста на 90-100% | Выполнение теста на 80-90% | Выполнение теста на 70-80% | В тесте менее 70% правильных ответов |
|             | уметь собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по различным разделам физики твёрдого тела. Использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии в области выбранного профиля технической физики. Оценивать области возможного применения устройств физической электроники;<br>пользоваться теоретическими знаниями при расчетах физических процессов и применять их при анализе явлений в полупроводниках и диэлектриках;<br>пользоваться теоретическими знаниями при анализе разнообразных явлений в твердых телах;<br>определять тип материала по физическим характеристикам;<br>определять значения основных параметров полупроводниковых материалов;<br>истолковывать смысл физических величин и понятий;<br>объяснить основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальных физических взаимодействий; | Тест                | Выполнение теста на 90-100% | Выполнение теста на 80-90% | Выполнение теста на 70-80% | В тесте менее 70% правильных ответов |
|             | владеть навыками теоретически грамотного применения полученных знаний для дальнейшего изучения специальной литературы и освоения информации об основных научно-технических пробле-  | Тест                | Выполнение теста на 90-100% | Выполнение теста на 80-90% | Выполнение теста на 70-80% | В тесте менее 70% пра-               |

|       |  |      |                             |                            |                            |                                 |
|-------|--|------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|
|       | мах и перспективах развития физической электроники;<br>методами определения электропроводности и концентрации носителей заряда в твердом теле, ширины запрещенной зоны в полупроводнике;<br>представлениями о границах применимости основных представлений и законов современной физики твердого тела; |      |                             |                            |                            | вильных ответов                 |
| ДПК-5 | знать основные методы испытаний полупроводников и диэлектриков, а также методики определения соответствующих параметров и уметь ими пользоваться;  | Тест | Выполнение теста на 90-100% | Выполнение теста на 80-90% | Выполнение теста на 70-80% | В тесте менее 70% прав. Отв.    |
|       | уметь использовать методы адекватного физического и математического моделирования, а также применять методы физико-математического анализа к решению конкретных естественнонаучных и технических проблем   | Тест | Выполнение теста на 90-100% | Выполнение теста на 80-90% | Выполнение теста на 70-80% | В тесте менее 70% прав. ответов |
|       | владеть навыками применения основных методов физико-математического анализа для решения естественнонаучных задач   | Тест | Выполнение теста на 90-100% | Выполнение теста на 80-90% | Выполнение теста на 70-80% | В тесте менее 70% прав. ответов |

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда

1. Уравнения непрерывности описывают скорость изменения неравновесной концентрации носителей заряда, происходящую в результате следующих процессов:

- а) диффузия;
- б) работа выхода;
- в) генерация;
- г) рекомбинация;
- д) термоэлектронная эмиссия;
- е) дрейф;
- ж) квантово-механическое туннелирование.

2. Полный ток в неоднородном полупроводнике, находящемся во внешнем электрическом поле складывается их:

- а) туннельного;
- б) диффузионного;
- в) дрейфового;
- г) теплового.

3. Соотношения Эйнштейна устанавливают связь между:

- а) диффузионным и дрейфовым током;
- б) концентрацией электронов и дырок;
- в) подвижностью носителей заряда и коэффициентом диффузии.

4. Дебаевский радиус экранирования или длина экранирования характеризует:

- а) уменьшение по экспоненциальному закону концентрации избыточных носителей заряда в неосвещенной части образца, по мере удаления от освещенной области в случае монополярной проводимости;
- б) уменьшение по линейному закону концентрации избыточных носителей заряда в неосвещенной части образца, по мере удаления от освещенной области в случае монополярной проводимости;
- в) увеличение концентрации избыточных носителей заряда в неосвещенной части образца, по мере удаления от освещенной области в случае монополярной проводимости.

5. График зависимости концентрации неосновных носителей полупроводника по обе стороны от освещенной части образца симметричен и определяется диффузионной длиной для случая:

- а)  $\varepsilon = 0$ ;
- б)  $\varepsilon > 0$ ;
- в)  $\varepsilon < 0$ .

6. Процесс обогащения полупроводника n- типа неосновными носителями при приложении  $\varepsilon > 0$  называют:

- а) экстракция;
- б) эксклюзия;
- в) инжекция;
- г) аккумуляция.

7. При приложении внешнего поля к собственному полупроводнику:

- а) возникает пространственное распределение зарядов;
- б) необходимо учитывать эффективный коэффициент диффузии;
- в) пространственное распределение зарядов не изменяется.

8. Эффективное сечение рассеяния характеризует:

- а) диффузионно-дрейфовое равновесие;
- б) несовершенства в кристалле;
- в) генерацию и рекомбинацию носителей.

9. Наибольшая величина эффективного сечения рассеяния при комнатной температуре для:

- а) незаряженного точечного дефекта;
- б) теплового колебания решетки;

в) ионизированной примеси.

10. Подвижность носителей заряда в полупроводнике изменяется от температуры по:

- а) степенному закону;
- б) логарифмическому закону;
- в) экспоненциальному закону.

Явления переноса в полупроводниках

1. График температурной зависимости концентрации основных носителей в полупроводниках содержит:

- а) три участка;
- б) максимум;
- в) минимум.

2. Эффект Холла относится к:

- а) термоэлектрическим эффектам;
- б) гальваномагнитным эффектам;
- в) термомагнитным эффектам.

3. Знак коэффициента Холла обусловлен:

- а) геометрией образца;
- б) механизмом рассеяния;
- в) типом проводимости.

4. В каком случае при нагревании коэффициент Холла меняет знак:

- а) полупроводник p - типа;
- б) полупроводник n – типа;
- в) собственный полупроводник.

5. При магниторезистивном эффекте сопротивление полупроводника:

- а) уменьшается;
- б) увеличивается;
- в) не изменяется.

6. Знак эффекта Нернста - Эттинсгаузена:

- а) не зависит от знака носителей;
- б) не зависит от механизма рассеяния;
- в) не зависит от коэффициента Холла.

7. Для возникновения эффекта Риги - Ледюка необходимо:

- а) градиент температуры перпендикулярный магнитному полю;
- б) электрическое поле перпендикулярное магнитному полю;
- в) градиент температуры параллельно магнитному полю.

8. Эффект Маджи – Риги – Ледюка это:

- а) возникновение поперечного градиента температуры;
- б) изменение электронной теплопроводности в направлении градиента температуры;
- в) изменение электронной теплопроводности перпендикулярно градиенту температуры.

9. Величина термоэдс:

- а) у металлов больше, чем у полупроводников;
- б) одинакова для металлов и полупроводников;
- в) у металлов меньше, чем у полупроводников.

10. При прохождении электрического тока через полупроводник тепло всегда только выделяется в эффекте:

- а) Пельтье;
- б) Джоуля;
- в) Томсона.

#### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей  
 Равновесные и неравновесные носители зарядов  
 Основные механизмы рекомбинации носителей заряда  
 Основные механизмы генерации неравновесных носителей заряда в полупроводниках  
 Максвелловское время релаксации  
 Частный случай релаксации избыточной концентрации, определяемой важнейшими механизмами рекомбинации  
 Рекомбинация носителей заряда через ловушки. Модель Холла-Шокли-Рида
2. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда  
 Уравнение непрерывности  
 Диффузионный и дрейфовый токи  
 Соотношение Эйнштейна  
 Диффузия и дрейф неравновесных носителей зарядов в случае монополярной проводимости  
 Диффузия и дрейф неосновных носителей зарядов в примесном полупроводнике  
 Диффузия и дрейф неравновесных носителей зарядов с проводимостью, близкой к собственной
3. Рассеяние носителей зарядов  
 Зависимость подвижности носителей зарядов от температуры
4. Контактные явления в полупроводниках  
 Контактная разность потенциалов  
 Явления на контакте металл-полупроводник  
 Выпрямление на контакте металл-полупроводник  
 Теории выпрямления  
 Электронно-дырочный переход в полупроводниках (р-п переход)  
 ВАХ р-п перехода  
 Другие виды контактов. Гетеропереходы.
5. Поверхностные явления в полупроводниках  
 Поверхностная рекомбинация
6. Явления переноса в полупроводниках  
 Эффект Холла

Эффект Холла в полупроводнике с двумя типами носителей заряда  
 Магнито-резистивный эффект  
 Термомагнитные явления  
 Поперечный эффект Нернста-Эттингсгаузена  
 Продольный эффект Нернста-Эттингсгаузена  
 Эффект Риги-Ледюка  
 Эффект Маджи-Риги-Ледюка  
 Термоэлектрические явления  
 Эффект Зеебека  
 Эффект Пельтье  
 Эффект Томсона  
 Явления переноса в сильных электрических полях  
 Эффект разогрева электронно-дырочного газа  
 Эффект Ганна  
 Ударная ионизация  
 Туннельный эффект (эффект Зинера)  
 Термоэлектронная ионизация  
 Фотоэлектрические явления в полупроводниках  
 Эффект Дембера  
 Фотовольтаический эффект

### 7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом

### 7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет с оценкой проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов, 10 стандартных задач и 10 прикладных задач. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 30.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 16 баллов.
2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 16 до 20 баллов.
3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 21 до 25 баллов.
4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 26 до 30 баллов.

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины | Код контролируемой компетенции (или ее части) | Наименование оценочного средства |
|-------|--|---|----------------------------------|
| 1     | Часть 1. Физика полупроводников          | ОПК-1, ДПК-5                                  | Тест, зачет,                     |

|   |  |              |                           |
|---|--|--------------|---------------------------|
|   | Генерация и рекомбинация неравновесных носителей<br>Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда<br>Рассеяние носителей заряда<br>Поверхностные явления в полупроводниках |              | устный опрос              |
| 2 | Часть 2. Явления переноса в полупроводниках<br>Эффект Холла. Термомагнитные явления. Термоэлектрические явления. Сильные электрические поля. Фотоэлектрические явления       | ОПК-1, ДПК-5 | Тест, зачет, устный опрос |

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Коротков Л.Н., Стогней О.В., Сысоев О.И. Физика твердого тела. Части I, II. (Уч. пособие. электр). Изд. ВГТУ, Воронеж, 2010 г., 174 с
2. Гриднев С.А. Техническая физика. Физика полярных диэлектриков: учеб пособ Воронеж. ВГТУ 2004, 263 с.
3. Калгин А. В., Коротков Л. Н., Стогней О. В., Янченко Л.И. Методические указания к выполнению практических работ по дисциплине «Физика твердого тела» для студентов направлений 16.03.01 «Техническая физика» (профиль «Физическая электроника»),

22.03.01 «Материаловедение и технология материалов» (профиль «Конструирование и производство изделий из композиционных материалов») очной формы обучения ВГТУ, Воронеж, 2014, 124 -2014, 27 с.

4. Янченко Л.И. Методические указания для практических и семинарских занятий по дисциплине «Практикум по физике твердого тела» для студентов направления 16.03.01 «Техническая физика» (профиль «Физическая электроника») очной формы обучения Эл. ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; Воронеж, 2016. № 13-2016.28 с.

## **8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем**

Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer.

Автоматизированный измерительный комплекс сбора и предварительной обработки экспериментальных данных.

Графическая обработка экспериментальных данных Origin 8.0.

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

Для проведения лекционных занятий необходима аудитория, оснащенная плакатами и пособиями по профилю.

1. Лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой.
2. Учебно-научная лаборатория «Нанотехнологии и наноматериалы».
3. Учебно-научная лаборатория «Технология материалов электронной техники».
4. Учебно-научная лаборатория «Физических методов исследования».
5. Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для проведения лабораторного практикума

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Практикум по физике твердого тела» проводятся практические занятия, выполняются самостоятельные работы.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков в области физики конденсированного состояния, умение использовать знания явлений и эффектов физики твердого тела для объяснения экспериментальных результатов. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию о всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой тестовых заданий, защитой курсового проекта. Освоение дисциплины оценивается на зачете.

| Вид учебных занятий                     | Деятельность студента   |
|---|---|
| Практические занятия                    | Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму. |
| Подготовка к дифференцированному зачету | При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и решение задач на практических занятиях.  |