

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

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета радиотехники и электроники В.А. Небольсин
« 1 » июня 2018 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 2018

Автор программы _____ *Л.И. Янченко* / Янченко Л.И. /

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

Руководитель ОПОП _____ *Л.И. Янченко* / Янченко Л.И. /

Воронеж 2018

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			
Аудиторные занятия (всего)	72	72			
В том числе:					
Лекции					
Практические занятия (ПЗ)	72	72			
Лабораторные работы (ЛР)	-	-			
Самостоятельная работа	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 Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда Рассеяние носителей заряда 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
Итого				72		72	144

Практические занятия

Часть 1

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

п/п		ем ча- сов
1	Генерация и рекомбинация неравновесных носителей 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 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. 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) 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. 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. 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; современные направления развития физики полупроводников и диэлектриков; 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; 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	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; 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>	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; 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; 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;	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; 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;					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 из:

- 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 Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда Рассеяние носителей заряда Поверхностные явления в полупроводниках		устный опрос
2	Часть 2. Явления переноса в полупроводниках 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 методики 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 методики 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 методики 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. Шалимова К.В. Физика полупроводников М.: Энергоатомиздат, 1985. 392 с.
3. В.В. Горбачев, Л.Г. Спицина Физика полупроводников и металлов М.: Металлургия, 1982. - 336 с.
4. Г.И. Епифанов Физика твердого тела Учеб. пособие СПб.: Лань, 2010. — 288 с.
5. В. А. Гуртов Физика твердого тела для инженеров Учеб. пособие М. : Техносфера, 2007. — 518 с.

6. П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов Физика твердого тела Уч. М.: 2000. 494 с.
7. Смит Р. Полупроводники М.: Мир, 1982. 560 с.
8. 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.
9. 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 экспери-

ментальных 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.

АННОТАЦИЯ
к рабочей программе дисциплины
«Практикум по физике твердого тела»

Направление подготовки (специальность) 16.03.01 – Техническая физика

Профиль (специализация) Физическая электроника

Квалификация выпускника Бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения Очная

Год начала подготовки 2018 г.

Цель и задачи изучения дисциплины: обеспечение фундаментальных знаний и навыков в области физики твёрдого тела.

Перечень формируемых компетенций:


ДПК 5 - способностью 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

Общая трудоемкость дисциплины ЗЕТ: 4 з.е.

Форма итогового контроля по дисциплине: _____ зачет с оценкой _____
(зачет, зачет с оценкой, экзамен)

6 Лист регистрации изменений

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2019	
2	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2020	