

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»


УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета радиотехники
и электроники
_____/В.А. Небольсин/

2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины (модуля)**

«Спецглавы физики»

наименование дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом)

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

код и наименование направления подготовки/специальности

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

название профиля/программы

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Очная/очно-заочная/заочная (при наличии)

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2017

Автор программы _____

должность и подпись

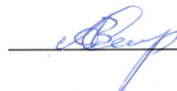


/ С.А. Акулинин /

Инициалы, фамилия

**Заведующий кафедрой
полупроводниковой электроники
и наноэлектроники**

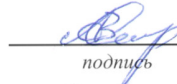
наименование кафедры, реализующей дисциплину



/ С.И. Рембеза /

Инициалы, фамилия

Руководитель ОПОП _____


подпись

/ С.И. Рембеза /

Воронеж 2017

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины: углубление фундаментальной подготовки в области физики твердого тела, позволяющей будущим специалистам использовать физические принципы и законы, а также результаты физических открытий для создания новых твердотельных приборов и устройств.

1.2. Задачи освоения дисциплины:

- владение фундаментальными принципами и методами решения научно-технических задач;
- освоение основных положений квантовой механики, квантовой статистики, характеризующих свойства твердых тел;
- формирование навыков применения теорий к грамотному анализу экспериментальных и теоретических результатов, с которыми бакалавру придется сталкиваться при решении перспективных и практических задач создания новых приборов и устройств.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Спецглавы физики» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1 учебного плана. Индекс дисциплины Б1.В.ОД.1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Спецглавы физики» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1: способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики;

ОПК-2: способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;

ОПК-5: способностью использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных;

ОПК-6: способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий;

ПК-2: способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	знать основные положения квантовой теории твердых тел (спектр колебаний атомов кристаллической решетки, зонная теория, движение электронов в твердых телах эффективная масса); основные положения квантовой статистики
	уметь применять методы квантовой статистики для расчета концентрации свободных носителей и электропроводности твердых тел
	владеть навыками применения основных методов физико-математического анализа для решения естественно-научных задач.
ОПК-2	знать особенности и параметры зонной структуры основных полупроводников;
	уметь решать задачи расчета температурной зависимости концентрации носителей заряда;
	владеть способами определения энергии активации примесей и ширины запрещенной зоны в полупроводниках.
ОПК-5	знать сущность физических явлений и процессов в твердых телах;
	уметь делать количественные оценки параметров физических процессов;
	владеть навыками использования физико-математического моделирования в практической деятельности.
ОПК-6	знать технические и программные средства реализации информационных технологий, основы работы в локальных и глобальных сетях, типовые численные методы решения математических задач и алгоритмы их реализации, один из языков программирования высокого уровня;
	уметь использовать численные методы для решения математических задач, использовать языки и системы программирования для решения профессиональных задач, работать с программными средствами общего назначения;
	владеть методами поиска и обмена информацией в глобальных и локальных компьютерных сетях.
ПК-2	знать сущность квантовой теории электропроводности в твердых телах;
	уметь применять методы и средства измерения физических величин;
	владеть навыками проведения экспериментальных исследований, обработки и интерпретации результатов эксперимента.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Спецглавы физики» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		4
Аудиторные занятия (всего)	36	36
В том числе:		
Лекции	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
Самостоятельная работа	72	72
Вид промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость	час	108
	зач. ед.	3

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	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Общие сведения о квантовых статистиках	Фазовое пространство. Число состояний. Квантовые системы из одинаковых частиц Принцип тождественности одинаковых микрочастиц. Симметричные и несимметричные состояния. Вырожденные и невырожденные системы частиц	2	2	8	12
2	Функции распределения в квантовой статистике	Функции распределения Ферми-Дирака и Бозе-Энштейна. Бозоны и фермионы. Плотность числа квантовых состояний. Энергия Ферми	2	2	10	14
3	Нормальные колебания решетки	Акустические и оптические колебания атомов кристаллической решетки. Понятие о фононах. Температура Дебая. Теплоемкость кристалла при низких и высоких температурах.	2	2	8	12
4	Квантовая теория свободных электронов в металлах.	Распределение Ферми-Дирака для вырожденного электронного газа в металлах. Теплоемкость электронного газа..	2	2	10	14
5	Элементы зонной теории твердых тел.	Волновая функция электрона в пространственно периодическом поле. (приближение слабой связи) Энергетические зоны в кристаллах. Зонные модели металлов, диэлектриков, полупроводников. Квазичастицы электроны и дырки.	4	4	10	18
6	Понятие о квантовой теории электропроводности металлов.	Электропроводность металлов. Эффективная масса. Подвижность носителей заряда. Сверхпроводимость, Эффект Мейснера. Высокотемпературная сверхпроводимость. Эффект Джозефсона.	2	2	10	14
7	Собственные полупроводники	Равновесная концентрация электронов и дырок в собственном полупроводнике. Уровень Ферми в собственных Зависимость электропроводности собственного полупроводника от температуры.	2	2	8	12
8	Примесные полупроводники	Донорные и акцепторные примеси и уровни. Основные и неосновные носители заряда. Равновесные концентрации электронов и дырок в примесных полупроводниках. Уровень Ферми в собственных и примесных полупроводниках.	2	2	8	12
Итого			18	18	72	108

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Определение энергии активации примеси в полупроводнике
2. Изучение механизма излучения в полупроводниках
3. Изучение фотопроводимости полупроводников
4. Измерение концентрации и подвижности носителей заряда в полупроводниках методом эффекта Холла.

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Спецглавы физики» не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) и контрольной работы в 4 семестре.

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 положения квантовой теории твердых тел (спектр колебаний атомов кристаллической решетки, зонная теория, движение электронов в твердых телах эффективная масса); основные положения квантовой статистики	Успешное выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять методы квантовой статистики для расчета концентрации свободных носителей и электропроводности твердых тел	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками применения основных методов физико-математического анализа для решения естественно-научных задач.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-2	знать особенности и параметры зонной структуры основных полупроводников;	Успешное выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	уметь решать задачи расчета температурной зависимости концентрации носителей заряда;	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть способами определения энергии активации примесей и ширины запрещенной зоны в полупроводниках.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-5	знать сущность физических явлений и процессов в твердых телах;	Успешное выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь делать количественные оценки параметров физических процессов;	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками использования физико-математического моделирования в практической деятельности.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-6	знать технические и программные средства реализации информационных технологий, основы работы в локальных и глобальных сетях, типовые численные методы решения математических задач и алгоритмы их реализации, один из языков программирования высокого уровня;	Успешное выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь использовать численные методы для решения математических задач, использовать языки и системы программирования для решения профессиональных задач, работать с программными средствами общего назначения;	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами поиска и обмена информацией в глобальных и локальных компьютерных сетях.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-2	знать сущность квантовой теории электропроводности в твердых телах;	Успешное выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять методы и средства измерения физических величин;	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками проведения экспериментальных исследований, обработки и интерпретации результатов эксперимента.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	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 4 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ОПК-1	знать основные положения квантовой теории твердых тел (спектр колебаний атомов кристаллической решетки, зонная теория, движение электронов в твердых телах эффективная масса); основные положения квантовой статистики	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь применять методы квантовой статистики для расчета концентрации свободных носителей и электропроводности твердых тел	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками применения основных методов физико-математического анализа для решения естественно-научных задач.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-2	знать особенности и параметры зонной структуры основных полупроводников;	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь решать задачи расчета температурной зависимости концентрации носителей заряда;	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть способами определения энергии активации примесей и ширины запрещенной зоны в полупроводниках.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-5	знать сущность физических явлений и процессов в твердых телах;	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь делать количественные оценки параметров физических процессов;	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками использования физико-математического моделирования в практической деятельности.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-6	знать технические и программные средства реализации информационных технологий, основы работы в локальных и глобальных сетях, типовые численные методы решения математических задач и алгоритмы их реализации, один из языков программирования высокого уровня;	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь использовать численные методы для решения математических задач, использовать языки и системы программирования для решения профессиональных задач, работать с программными средствами общего назначения;	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть методами поиска и обмена информацией в глобальных и локальных компьютерных сетях.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

ПК-2	знать сущность квантовой теории электропроводности в твердых телах;	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь применять методы и средства измерения физических величин;	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками проведения экспериментальных исследований, обработки и интерпретации результатов эксперимента.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

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

1	На рисунке изображены зависимости логарифмов удельной электропроводности собственных полупроводников от обратной температуры. Какой из графиков соответствует полупроводнику с наибольшей шириной запрещенной зоны?	
2	Донорный уровень расположен на энергетическом расстоянии 0,05 эВ от дна зоны проводимости примесного полупроводника <i>n</i>- типа. При какой наименьшей энергии фотонов в нем возможен внутренний фотоэффект? 1) 0,05 эВ; 2) 0,10 эВ; 3) 0,025 эВ. 4) 0,15 эВ.	
3	Определите значение удельного электросопротивления собственного полупроводника, если концентрация носителей тока $n = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$, а подвижности электронов и дырок равны соответственно $\mu_e = 0,36 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, $\mu_z = 0,14 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ 1) 0,25 Ом·м; 2) 0,50 Ом·м; 3) $0,50 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{м}$; 4) $0,25 \cdot 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Модуль заряда электронов и дырок $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.	
4	На рисунке изображена зависимость логарифма электропроводности примесного полупроводника от обратной температуры. На каком участке графика проводимость полупроводника является собственной? 1) ab; 2) bc; 3) cd.	

5	Во сколько раз длина волны красной границы внутреннего фотоэффекта в собственном полупроводнике с шириной зоны E_g отличается от ее значения в собственном полупроводнике с шириной зоны $4E_g$? 1) в 4 раза больше; 2) в 4 раза меньше; 3) в 16 раз больше; 4) в 2 раза меньше.	
6	Чему равна ширина запрещенной зоны собственного полупроводника, если логарифм отношения его электропроводности σ_1 при $T_1 = 100$ К к его электропроводности σ_2 при $T_2 = 200$ К равен $-3(\ln \sigma_1 / \sigma_2 = -3)$? 1) $16,56 \cdot 10^{-21}$ Дж; 2) $8,28 \cdot 10^{-19}$ Дж; 3) $16,56 \cdot 10^{-23}$ Дж; 4) $8,28 \cdot 10^{-21}$ Дж. Постоянная Больцмана $K_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.	
7	На рисунке изображены зависимости логарифмов удельного сопротивления собственных полупроводников от обратной температуры. Какой из графиков соответствует полупроводнику с наименьшей шириной запрещенной зоны?	
8	На рисунке приведены вольт-амперные характеристики полупроводникового диода. Укажите номер графика, соответствующего характеристике диода, находящегося при самой низкой температуре.	
9	Укажите значение концентрации носителей тока в собственном полупроводнике, если его удельное сопротивление $\rho = 0,50$ Ом см, а подвижность электронов и дырок равны соответственно $\mu_e = 0,36$ м²/В·с, $\mu_p = 0,14$ м²/В·с 1) $2,5 \cdot 10^{19}$ м⁻³; 2) $5 \cdot 10^{20}$ м⁻³; 3) $2,5 \cdot 10^{15}$ м⁻³; 4) $8,5 \cdot 10^{25}$ м⁻³. Модуль заряда электронов и дырок $\langle e \rangle = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.	
10	Чему равна ширина запрещенной зоны собственного полупроводника, если красная граница внутреннего фотоэффекта для данного полупроводника соответствует длине волны $\lambda_{кр} = 2 \cdot 10^{-6}$ м? 1) $0,99 \cdot 10^{-19}$ Дж; 2) $0,993 \cdot 10^{-19}$ Дж; 3) $1,986 \cdot 10^{-20}$ Дж; 4) $0,099 \cdot 10^{-23}$ Дж. Постоянная Планка $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. Скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.	

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1	Напишите формулу для электропроводимости твердых тел. Объясните физический смысл входящих в нее параметров.
2	Представьте на графике зависимость удельного сопротивления металлов от температуры. Объясните характер температурной зависимости удельного сопротивления.
3	Укажите диапазон значений удельного сопротивления для различных твердых тел: 1. Металлы а) $> 10^{10}$ Ом.см. 2. Полупроводники б) $10^{-6} - 10^{-4}$ Ом.см. 3. Диэлектрики в) $10^{-4} - 10^{10}$ Ом.см.
4	Нарисуйте график температурной зависимости концентрации свободных носителей в полупроводнике. Какие из формул (1 – 3) применимы; а) во всем диапазоне температур б) в области частичной ионизации примесей в) в области собственной проводимости г) в области полной ионизации примесей $n = (N_c N_v) \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{E_c - E_v}{kT}\right), (1) \quad n = (\beta N_c N_d) \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{E_d}{2kT}\right) (2)$ $n = \frac{2N_d}{1 + \sqrt{1 + \frac{4N_d}{\beta N_c} \exp(\varepsilon_d)}} (3)$
5	Назовите, какие из нижеприведенных определений времени жизни являются правильными: а) время жизни – среднее время между двумя соседними столкновениями; б) время жизни – время, в течение которого неравновесная концентрация носителей уменьшается в «е» раз; в) время жизни – время нахождения носителей заряда в свободном состоянии, электрона в зоне проводимости, а дырки в валентной зоне.
6	Известны следующие механизмы оптического поглощения: а) поглощение на свободных носителях; б) примесное поглощение; в) собственное или фундаментальное поглощение. Укажите, каким механизмам поглощения соответствуют формулы (1 – 3): $\alpha = A(h\nu - E_g)^{1/2} (1), \quad \alpha = A'(h\nu - E_g)^{3/2} (2), \quad \alpha = \frac{e^2 n \lambda^2}{4\pi^2 c^3 \varepsilon_0 m_n(\tau) \bar{n}} (3).$
7	На рис.1а представлена энергетическая диаграмм р-п перехода в равновесии, при прямом и обратном смещении. Какие параметры полупроводников определяют высоту потенциального барьера в

	состоянии равновесия: а) концентрации примесей акцепторов и доноров в p и n областях полупроводников; б) диффузионная длина электронов и дырок в полупроводниках; в) время жизни неосновных носителей заряда.
8	Какое смещения приложено к p - n переходу на рис 1б и 1в. а) прямое смещение; б) обратное смещение.
9	Как изменится высота потенциального барьера при прямом смещении: а) увеличится; б) уменьшится; в) останется без изменений.
10	Как изменится высота потенциального барьера при обратном смещении: а) увеличится; б) уменьшится; в) останется без изменений.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1	Образец кремния n -типа, находящийся в состоянии термодинамического равновесия при температуре 300 К, характеризуется следующими параметрами: удельное сопротивление 5 Ом·см; подвижность электронов 1600 см ² /В·с; подвижность дырок 600 см ² /В·с; собственная концентрация носителей $1,4 \cdot 10^{10}$ см ⁻³ ; эффективная плотность уровней в зоне проводимости 10^{19} см ⁻³ . Известно, что $E_c - E_d = 50$ мэВ. Определите: а) концентрацию электронов и дырок; б) положение уровня Ферми; в) вероятность событий, состоящих в том, что донорный уровень занят и свободен.
2	Процесс инжекции носителей приводит к разделению квазиуровней Ферми, относящихся к электронам и дыркам. Покажите, что при нарушении термодинамического равновесия произведение концентраций носителей остается тем же, что и в равновесном состоянии, если вместо ширины запрещенной зоны E_g использовать параметр $E_g - (E_{Fn} - E_{Fp})$.
3	Пусть градиент потенциала в образце кремния собственной проводимости оставляет 400 В/м, а подвижность электронов и дырок равны 0,12 и 0,025 м ² /В·с соответственно. Определите для этого образца: а) скорости дрейфа электронов и дырок; б) удельное сопротивление кремния собственной проводимости, полагая, что концентрация собственных носителей тока $2,5 \cdot 10^{16}$ м ⁻³ ; в) полный дрейфовый ток, если площадь поперечного сечения образца равна $3 \cdot 10^{-6}$ м ² .
4	Покажите, что проводимости материала n - и p -типа определяются приближенными выражениями $\sigma_n = eN_d\mu_n \quad \text{и} \quad \sigma_p = eN_a\mu_p,$ где N_d и N_a – концентрации доноров и акцепторов (м ⁻³).
5	Имеется образец кремния p -типа длиной 5 мм, шириной 2 мм и толщиной 1 мм. Вычислите концентрацию примеси в образце, если электрическое сопротивление образца 100 Ом. Подвижность электронов и дырок равны 0,12 и 0,025 м ² /В·с, а концентра-

	ция собственных носителей $2,5 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$. Определите отношение электронной проводимости к дырочной.
6	Чистый кристаллический германий содержит $4,5 \cdot 10^{28}$ атомов/ м^3 . При температуре 300 К один атом из каждых $2 \cdot 10^9$ атомов ионизирован. Подвижность электронов и дырок при этой температуре равны 0,4 и 0,2 $\text{м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. Определите проводимость чистого германия. Определите проводимость при 300 К германия, легированного элементом III группы, причем на каждые 10^7 атомов германия приходится 1 примесный атом.
7	Пластина из германия <i>n</i> -типа имеет удельное сопротивление $\rho = 0,1 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ и ширину $d = 10^{-2} \text{ см}$. К пластине приложена разность потенциалов $U = 1 \text{ В}$. Вычислите: а) плотность тока; б) время, которое потребуется для того, чтобы носитель заряда пересек пластину; в) отношение плотностей токов дырок и электронов. Положите, что $\mu_n = 3900 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$; $\mu_p = 1900 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$; $n_i = 2,4 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$.
8	Имеется <i>p-n</i> -переход, в котором концентрация примеси в дырочной области больше концентрации примеси в электронной области; <i>p</i> -область перехода имеет удельное сопротивление 0,013 Ом·см; <i>n</i> -область – 44,5 Ом·см. Подвижность дырок $\mu_p = 480 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, электронов – 1400 $\text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. Концентрация собственных носителей составляет $1,6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$. Найдите контактную разность потенциалов.
9	Определите толщину германиевого электронно-дырочного перехода, сформированного методом сплавления акцепторной примеси в полупроводник <i>n</i> -типа с концентрацией доноров 10^{15} см^{-3} . Обратное напряжение на переходе – 100 В; относительная диэлектрическая проницаемость германия – 16. Концентрация акцепторов в рекристаллизованной области – 10^{19} см^{-3} .
10	Какая часть резкого электронно-дырочного перехода расположена в базе диода, если концентрации примесей в прилегающих областях различаются на 4 порядка?

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Фазовое пространство. Число состояний.
2. Квантовые системы из одинаковых частиц
3. Принцип тождественности одинаковых микрочастиц.
4. Симметричные и несимметричные состояния.
5. Вырожденные и невырожденные системы частиц
6. Плотность числа квантовых состояний. Энергия Ферми
7. Нормальные колебания решетки
8. Акустические и оптические колебания атомов кристаллической решетке.
9. Функции распределения в квантовой статистике
10. Функции распределения Ферми-Дирака и Бозе-Энштейна.
11. Температура Дебая. Теплоемкость кристалла при низких и высоких температурах.
12. Квантовая теория свободных электронов в металлах.
13. Распределение Ферми-Дирака для вырожденного электронного газа в металлах.
14. Теплоемкость электронного газа.
15. Бозоны и фермионы.
16. Классическая теория электропроводности.

17. Модель свободных электронов.
18. Тепловая и дрейфовая скорости.
19. Понятие времени релаксации и подвижности носителей заряда. Ограничение модели.
20. Вырождение электронной теплоемкости.
21. Модель Зоммерфельда. Недостатки модели.
22. Квантовая теория полупроводников.
23. Электроны в идеальном кристалле.
24. Уравнение Шредингера.
25. Собственные функции и собственные значения энергии.
26. Квантовая теория полупроводников. Адиабатическое приближение.
27. Квантовая теория полупроводников. Одноэлектронное приближение.
28. Приближение свободных электронов.
29. Приближение сильной связи.
30. Модель Кронига-Пенни.
31. Зонная структура полупроводников.
32. Зависимость энергии электрона от волнового вектора.
33. Понятие Зоны Бриллюэна.
34. Энергетическая структура кремния.
35. Энергетическая структура германия.
36. Движение электронов в кристаллической решетке.
37. Понятие эффективная масса
38. Акустические и оптические колебания атомов кристаллической решетки.
39. Теплоемкость кристалла при низких и высоких температурах
40. Статистика электронов и дырок в полупроводниках.
41. Плотность состояний в пространстве импульсов и в энергетическом пространстве.
42. Функция распределения Ферми-Дирака.
43. Расчет концентрации свободных носителей.
44. Вырожденные и невырожденные системы частиц. Интеграл Ферми.
45. Собственный полупроводник. Температурная зависимость концентрации свободных носителей и уровня Ферми. Невырожденный случай.
46. Примесный полупроводник. Температурная зависимость концентрации свободных носителей и уровня Ферми. Невырожденный случай.
47. Компенсированный полупроводник. Температурная зависимость концентрации свободных носителей и уровня Ферми. Невырожденный случай.
48. Сильнолегированные полупроводники и полуметаллы. Температурная зависимость концентрации свободных носителей и уровня Ферми.
49. Контактные явления в полупроводниках. P-n переход.
50. Энергетическая диаграмма в равновесии, при прямом и обратном смещении. ВАХ p-n перехода.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом.

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится по тестам и билетам, каждый из которых содержит 5 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 5 баллов. Максимальное количество набранных баллов – 10.

1. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 8 баллов.

2. Оценка «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал от 8 до 10 баллов.

При получении оценки «Зачтено» требуемые в рабочей программе знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на промежуточном этапе считаются достигнутыми.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Общие сведения о квантовых статистиках	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ОПК-6, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос
2	Функции распределения в квантовой статистике	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ОПК-6, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос
3	Нормальные колебания решетки	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ОПК-6, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос
4	Квантовая теория свободных электронов в металлах.	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ОПК-6, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос
5	Элементы зонной теории твердых тел	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ОПК-6, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос
6	Понятие о квантовой теории электропроводности металлов	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ОПК-6, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос
7	Собственные полупроводники	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ОПК-6, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос
8	Примесные полупроводники	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ОПК-6, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ, 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 преподавателем 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 провер-

ка решения задач преподавателем 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 преподавателем и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Савельев И.В. Курс общей физики : в 4 т. Т. 3 Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела, физика атомного ядра и элементарных частиц: учеб. пособие / И.В. Савельев. – М.: КНОРУС, 2009 – 368 с.

2. Иродов И. Е. Волновые процессы. Основные законы / И.Е. Иродов. – 5-е изд., испр. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 263 с.

3. Иродов И. Е. Квантовая физика. Основные законы : учеб, пособие для вузов / И.Е. Иродов. – 3-е изд., стереотип. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 256 с.

4. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т.И. Трофимова. – 11-е изд., стереотип. – М.: Изд. центр «Академия», 2006. – 560 с.

5. Трофимова Т.И. Курс физики. Задачи и решения: учеб. пособие для учреждений высш. проф. образования / Т.И. Трофимова, А.В. Фирсов. – 4 е изд., испр. – М. : Изд. центр «Академия», 2011 – 592 с.

6. Чертов А.Г. Задачник по физике: учеб. пособие для втузов / А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Физматлит, 2001. – 640 с.

7. Елифанов Г.И. Физические основы микроэлектроники / Г.И. Елифанов – М.: Книга по Требованию, 2012 – 190 с.

8. Детлаф А.А. Курс физики: учеб. пособие для вузов / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. – 4-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2002. – 718 с.

9. Яворский Б.М. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф, А.К. Лебедев. – 8-е изд., перераб. и испр. – М.: ОНИКС, 2006. – 1056 с.

10. Рембеза С.И. Физика твердого тела: учеб. пособие. Ч. 1. - Воронеж: ВГТУ, 2007. – 207 с.

11. Рембеза С.И. Физика твердого тела: учеб. пособие. Ч. 2. - Воронеж: ВГТУ, 2007. – 137 с.

12. Шалимова К.В. Физика полупроводников; учебник для вузов. - СПб.: Лань. 2014. - 400 с.

13. Павлов, П. В. Хохлов А.Ф. Физика твердого тела : учеб. пособие. - М.: Высш. шк., 2000. - 494с.
14. Энциклопедия технологии полупроводниковых материалов / пер. с англ. Э.П. Домашевской. Т.1: Электронная структура и свойства полупроводников / под ред. К.А. Джексона, В. Шретера. - Воронеж: Водолей, 2004. – 967 с.
15. Москаленко А.Г. Общий курс физики. Квантовая физика. Основы квантовой статистики и физики твердого тела: учеб. пособие / А.Г. Москаленко и др. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2008. – 207 с.
16. Рембеза Е.С. Квантовая, атомная и ядерная физика: курс лекций: учеб. пособие / Е.С. Рембеза, В.С. Железный, Е.А. Косякова. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2011. 135 с. [Электронный ресурс]
17. Евсюков В.А. Практика решения задач по физике. Ч.5. Квантовая физика: учеб. пособие / В.А. Евсюков, Е.П. Татьяна. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2013 [Электронный ресурс].
18. Москаленко А.Г., Груздев А.Д., Татьяна Е.П., Хабарова О.С. Методические указания к лабораторному практикуму по квантовой физике / А.Г. Москаленко и др. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2010.
19. Москаленко А.Г. Квантовая физика. Квантовая механика. Основы квантовой статистики и физики твердого тела: методические указания / А.Г. Москаленко, М.Н. Гаршина. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2000.
20. Гаршина М.Н. Контрольные задания для зачета по лабораторным работам «Квантовая оптика. Квантовая механика. Физика атома»: методические указания / М.Н. Гаршина, Е.П. Татьяна, А.Г. Москаленко. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2012 [Электронный ресурс].

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

Методические указания к выполнению лабораторных работ представлены на сайте: <http://vorstu.ru/kafedrry/ftf/kaf/frp/uchpl/>.

Системные программные средства: Microsoft Windows, Microsoft Vista.

Прикладные программные средства: Microsoft Office.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой.
2. Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для выполнения расчетов, и рабочими местами для самостоятельной подготовки обучающихся с выходом в «Интернет».

3. Лабораторное оборудование кафедры полупроводниковой электроники и наноэлектроники.

10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Спецглавы физики» читаются лекции, проводятся лабораторные занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

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 осуществляется тестированием. Освоение дисциплины оценивается на зачете.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олим-

	пиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1		31.08.2018	
2		31.08.2019	
3		31.08.2020	