МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____П.В. Сенченко
«23» _____12_____ 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Промышленная электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Факультет электронной техники (ФЭТ)**
Кафедра: **Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)**
Курс: **2**
Семестр: **3**
Учебный план набора 2021 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Виды учебной деятельности	3 семестр	Всего	Единицы
Лекционные занятия	36	36	часов
Практические занятия	18	18	часов
в т.ч. в форме практической подготовки	12	12	часов
Лабораторные занятия	16	16	часов
в т.ч. в форме практической подготовки	8	8	часов
Самостоятельная работа	38	38	часов
Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию)	144	144	часов
	4	4	з.е.

Формы промежуточной аттестация	Семестр
Экзамен	3

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Сенченко П.В.
Должность: Проректор по УР
Дата подписания: 23.12.2020
Уникальный программный ключ:
a1119608-cdff-4455-b54e-5235117c185c

Томск

Согласована на портале № 58198

1. Общие положения

1.1. Цели дисциплины

1. Освоение теоретических основ строения конденсированных материалов и их физических свойств.
2. Освоение теоретических основ строения полупроводниковых материалов, их физических свойств, и происходящих в них процессов и эффектов.

1.2. Задачи дисциплины

1. Установление зависимостей физических свойств конденсированных материалов от их химического состава и структуры.
2. Приобретение навыков математического описания процессов, протекающих в конденсированных материалах и полупроводниках.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).
Часть блока дисциплин: Часть, формируемая участниками образовательных отношений.
Модуль дисциплин: Модуль направленности (профиля) (major).
Индекс дисциплины: Б1.В.02.08.
Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 3.1):
Таблица 3.1 – Компетенции и индикаторы их достижения

Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
Универсальные компетенции		
-	-	-
Общепрофессиональные компетенции		
ОПК-1. Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК-1.1. Знает фундаментальные законы естественных наук и математики	Знает основные закономерности формирования конденсированного состояния
	ОПК-1.2. Умеет анализировать проблемы, процессы и явления в области физики, использовать на практике базовые знания и методы физических исследований, а также умеет применять методы решения математических задач в профессиональной области	Умеет применять физико-математический аппарат при решении инженерных задач
	ОПК-1.3. Владеет практическими навыками решения инженерных задач	Владеет физическим и математическим аппаратом для решения инженерных задач

Согласована на портале № 58198

ОПК-2. Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных	ОПК-2.1. Знает основные принципы проведения экспериментальных исследований и использования основных приемов обработки и представления полученных данных	Знает основные принципы проведения экспериментальных исследований по определению параметров и характеристик конденсированных веществ
	ОПК-2.2. Умеет выбирать эффективную методику экспериментальных исследований	Умеет выбирать экспериментальную методику по определению параметров конденсированных материалов
	ОПК-2.3. Владеет навыками проведения экспериментальных исследований, обработки и представления полученных данных	Владеет практическим навыком проведения экспериментальных работ по определению параметров конденсированных материалов
Профессиональные компетенции		

Согласована на портале № 58198

ПКС-10. Способен аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	ПКС-10.1. Знает эффективные методики экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	Знает методики исследования параметров и характеристик конденсированных веществ
	ПКС-10.2. Умеет ргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	Умеет на практике определять параметры конденсированных веществ
	ПКС-10.3. Владеет навыками выбора и реализации на практике эффективной методики экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	Владеет практическим навыком проведения экспериментальных исследований по определению параметров и характеристик конденсированных веществ

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		3 семестр
Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	70	70
Лекционные занятия	36	36
Практические занятия	18	18

Согласована на портале № 58198

Лабораторные занятия	16	16
Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	38	38
Подготовка к контрольной работе	8	8
Подготовка к тестированию	12	12
Написание отчета по практическому занятию (семинару)	10	10
Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	8	8
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость (в часах)	144	144
Общая трудоемкость (в з.е.)	4	4

5. Структура и содержание дисциплины

5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Структура дисциплины по разделам (темам) и видам учебной деятельности приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Названия разделов (тем) дисциплины	Лек. зан., ч	Прак. зан., ч	Лаб. раб.	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
3 семестр						
1 Электронная структура конденсированных материалов	4	3	-	3	10	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
2 Структура кристаллов и способы ее определения	2	1	-	3	6	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
3 Тепловые свойства конденсированных материалов	4	2	4	5	15	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
4 Зонная теория конденсированных материалов	2	-	-	1	3	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
5 Статистика электронов и дырок в конденсированных материалах	2	1	4	5	12	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
6 Структурные дефекты в конденсированных материалах	2	1	-	3	6	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
7 Диэлектрические свойства конденсированных материалов	2	2	-	2	6	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
8 Магнитные свойства конденсированных материалов	2	-	4	3	9	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
9 Статистика электронов и дырок в примесных полупроводниках	4	2	-	3	9	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
10 Рассеяние электронов и дырок в полупроводниках. Кинетические явления в полупроводниках	4	2	4	5	15	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
11 Неравновесные носители заряда	4	2	-	2	8	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
12 Оптические свойства полупроводников	4	2	-	3	9	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
Итого за семестр	36	18	16	38	108	
Итого	36	18	16	38	108	

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Согласована на портале № 58198

Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) приведено в таблице 5.2.
Таблица 5.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)

Названия разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)	Трудоемкость (лекционные занятия), ч	Формируемые компетенции
3 семестр			
1 Электронная структура конденсированных материалов	Цели и задачи дисциплины. Модель атома Бора. Квантово-механическое описание строения атома. Электрон как волна и как частица. Электрон и потенциальный барьер. Квантовый осциллятор. Химическая связь. Образование молекул. Обобществление электронов. Метод ЛКАО. Ионная связь. Строение молекул. Связь в твердых телах: ионная, ковалентная, силы Ван-дер-Ваальса, водородная, металлическая.	4	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	4	
2 Структура кристаллов и способы ее определения	Простые и сложные кристаллические решетки. Решетка с базисом. Индексы Миллера. Обратная решетка. Определение кристаллических структур с помощью дифракции рентгеновских лучей. Стоячие волны. Зоны Бриллюэна.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	2	
3 Тепловые свойства конденсированных материалов	Фононы. Электроны проводимости. Плазмоны. Поляроны. Экситоны. Магноны. Тепловые колебания. Амплитуды. Нормальные колебания простой одномерной решетки. Нормальные колебания одномерной решетки с базисом. Спектр нормальных колебаний решетки. Теплоёмкость твёрдых тел. Закон Дюлонга — Пти. Теория теплоёмкости Эйнштейна. Теория теплоёмкости Дебая. Вывод формулы для теплоёмкости, исходя из представления о фононах. Теплоёмкость металлов. Учет вклада свободных электронов. Тепловое расширение твёрдых тел. Теплопроводность твёрдых тел. Теплопроводность, обусловленная атомными колебаниями. Теплопроводность металлов. Учёт вклада свободных электронов. Диффузия в твердых телах.	4	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	4	

Согласована на портале № 58198

4 Зонная теория конденсированных материалов	Адиабатическое и одноэлектронное приближение. Приближение свободных электронов. Приближение сильносвязанных электронов. Приближение слабосвязанных электронов. Энергетический спектр электронов в кристалле. Эффективная масса электрона.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	2	
5 Статистика электронов и дырок в конденсированных материалах	Функция распределения электронов и дырок по состояниям. Функция плотности состояний для электронов и дырок. Вычисление концентрации электронов в зоне проводимости. Концентрация электронов и дырок в собственном полупроводнике. Температурная зависимость уровня Ферми.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	2	
6 Структурные дефекты в конденсированных материалах	Классификация дефектов. Тепловые точечные дефекты. Равновесная концентрация точечных дефектов. Тепловые дефекты в бинарных кристаллах. Радиационные дефекты. Дислокации. Контур и вектор Бюргерса. Дефекты упаковки и частичные дислокации. Границы зерен. Дефекты в нестехиометрических кристаллах.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	2	
7 Диэлектрические свойства конденсированных материалов	Поляризация конденсированных материалов. Основные характеристики. Электронная упругая поляризация. Ионная упругая поляризация. Дипольная упругая поляризация. Особенности тепловой поляризации. Ионная тепловая поляризация. Электронная тепловая поляризация. Дипольная тепловая поляризация. Связь между диэлектрической проницаемостью и поляризуемостью. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости. Диэлектрические потери.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	2	
8 Магнитные свойства конденсированных материалов	Классификация магнетиков. Природа диамагнетизма. Природа парамагнетизма. Диамагнетизм и парамагнетизм твердых тел. Ферромагнетизм. Опыт Дорфмана. Обменное взаимодействие и его роль в возникновении ферромагнетизма. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	2	

Согласована на портале № 58198

9 Статистика электронов и дырок в примесных полупроводниках	Плотность квантовых состояний. Функция распределения Ферми — Дирака. Степень заполнения примесных уровней. Концентрации электронов и дырок в зонах. Примесный полупроводник. Собственный полупроводник. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника. Зависимость уровня Ферми от температуры для невырожденного полупроводника с частично компенсированной примесью. Примесные полупроводники при очень низких температурах. Критерий сильного легирования. Свойства сильнолегированных полупроводников.	4	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	4	
10 Рассеяние электронов и дырок в полупроводниках. Кинетические явления в полупроводниках	Механизмы рассеяния электронов и дырок. Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации. Рассеяние на ионах примеси. Рассеяние на тепловых колебаниях решетки. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры. Эффект Холла. Эффект Холла в полупроводниках с двумя типами носителей заряда. Магниторезистивный эффект. Термоэлектрические явления: термо-ЭДС, эффект Зеебека, эффект Пельтье и Томсона. Электропроводность полупроводников в сильном электрическом поле. Разогрев носителей заряда.Эффект Ганна. Эффект Зинера. Эффект Френкеля.	4	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	4	

Согласована на портале № 58198

11 Неравновесные носители заряда	Равновесные и неравновесные носители заряда. Биполярная оптическая генерация носителей заряда. Монополярная оптическая генерация носителей заряда. Максвелловское время релаксации. Механизмы рекомбинации. Межзонная излучательная рекомбинация. Межзонная ударная рекомбинация. Рекомбинация носителей заряда через ловушки. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида. Температурная зависимость времени жизни носителей заряда при рекомбинации через ловушки. Центры захвата и рекомбинационные ловушки. Уравнение непрерывности. Диффузионный и дрейфовый токи. Соотношение Эйнштейна. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в случае монополярной проводимости. Диффузия и дрейф неосновных избыточных носителей заряда в примесном полупроводнике. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в полупроводнике с проводимостью, близкой к собственной.	4	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	4	
12 Оптические свойства полупроводников	Оптические коэффициенты. Основные механизмы поглощения света в полупроводниках. Собственное поглощение. Форма края собственного поглощения в полупроводниках. Определение ширины запрещенной зоны по краю собственного поглощения. Экситонное поглощение. Учет электронно-дырочного взаимодействия в области края собственного поглощения. Оптическое поглощение с участием примесей. Примесное и межпримесное поглощение. Поглощение свободными носителями заряда. Плазменное поглощение. Фононное поглощение.	4	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	4	
Итого за семестр		36	
Итого		36	

5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
3 семестр			

Согласована на портале № 58198

1 Электронная структура конденсированных материалов	Модель атома Бора.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Виды химических связей. Расчет энергии образования химической связи.	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	3	
2 Структура кристаллов и способы ее определения	Кристаллическое строение твердых тел.	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	1	
3 Тепловые свойства конденсированных материалов	Тепловые свойства конденсированных материалов.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	2	
5 Статистика электронов и дырок в конденсированных материалах	Статистика электронов и дырок в конденсированных материалов.	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	1	
6 Структурные дефекты в конденсированных материалах	Дефекты в конденсированных материалах.	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	1	
7 Диэлектрические свойства конденсированных материалов	Диэлектрические свойства конденсированных материалов. Поляризуемость.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	2	
9 Статистика электронов и дырок в примесных полупроводниках	Расчет температур на зонной диаграмме полупроводника, примесной концентрации носителей заряда.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	2	
10 Рассеяние электронов и дырок в полупроводниках. Кинетические явления в полупроводниках	Расчет концентрации носителей заряда методом термо-ЭДС, Холла и Зеебека.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	2	
11 Неравновесные носители заряда	Расчет избыточной концентрации неравновесных носителей заряда. Расчет диффузионного и дрейфового токов неравновесных носителей заряда.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	2	
12 Оптические свойства полупроводников	Расчет оптических коэффициентов полупроводников.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	2	
Итого за семестр		18	
Итого		18	

5.4. Лабораторные занятия

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 5.4.
Таблица 5.4 – Наименование лабораторных работ

Согласована на портале № 58198

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
3 семестр			
3 Тепловые свойства конденсированных материалов	Определение частоты колебаний поперечных оптических фононов в ионных кристаллах.	4	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	4	
5 Статистика электронов и дырок в конденсированных материалах	Исследование температурной зависимости электропроводности полупроводников.	4	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	4	
8 Магнитные свойства конденсированных материалов	Исследование температурной зависимости электропроводности поликристаллических ферромагнетиков.	4	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	4	
10 Рассеяние электронов и дырок в полупроводниках. Кинетические явления в полупроводниках	Измерение концентрации носителей заряда в полупроводниках методом термо-ЭДС.	4	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10
	Итого	4	
	Итого за семестр	16	
	Итого	16	

5.5. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено учебным планом

5.6. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов (тем) дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
3 семестр				
1 Электронная структура конденсированных материалов	Подготовка к контрольной работе	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Итого	3		

Согласована на портале № 58198

2 Структура кристаллов и способы ее определения	Подготовка к контрольной работе	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Итого	3		
3 Тепловые свойства конденсированных материалов	Подготовка к контрольной работе	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	2	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Лабораторная работа
	Итого	5		
4 Зонная теория конденсированных материалов	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Тестирование
	Итого	1		
5 Статистика электронов и дырок в конденсированных материалах	Подготовка к контрольной работе	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	2	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Лабораторная работа
	Итого	5		
6 Структурные дефекты в конденсированных материалах	Подготовка к контрольной работе	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Итого	3		

Согласована на портале № 58198

7 Диэлектрические свойства конденсированных материалов	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Итого	2		
8 Магнитные свойства конденсированных материалов	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Тестирование
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	2	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Лабораторная работа
	Итого	3		
9 Статистика электронов и дырок в примесных полупроводниках	Подготовка к контрольной работе	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Итого	3		
10 Рассеяние электронов и дырок в полупроводниках. Кинетические явления в полупроводниках	Подготовка к контрольной работе	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	2	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Лабораторная работа
	Итого	5		
11 Неравновесные носители заряда	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Итого	2		

Согласована на портале № 58198

12 Оптические свойства полупроводников	Подготовка к контрольной работе	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	1	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Итого	3		
Итого за семестр		38		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		74		

5.7. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности представлено в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Формируемые компетенции	Виды учебной деятельности				Формы контроля
	Лек. зан.	Прак. зан.	Лаб. раб.	Сам. раб.	
ОПК-1	+	+	+	+	Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен, Отчет по практическому занятию (семинару)
ОПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен, Отчет по практическому занятию (семинару)
ПКС-10	+	+	+	+	Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен, Отчет по практическому занятию (семинару)

6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

6.1. Балльные оценки для форм контроля

Балльные оценки для форм контроля представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Балльные оценки

Формы контроля	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
3 семестр				
Контрольная работа	0	5	5	10
Лабораторная работа	0	10	10	20
Тестирование	4	3	3	10
Отчет по практическому занятию (семинару)	10	10	10	30
Экзамен				30

Согласована на портале № 58198

Итого максимум за период	14	28	28	100
Нарастающим итогом	14	42	70	100

6.2. Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Пересчет баллов в оценки за текущий контроль представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Баллы на дату текущего контроля	Оценка
≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату ТК	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату ТК	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату ТК	3
< 60% от максимальной суммы баллов на дату ТК	2

6.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично) (зачтено)	90 – 100	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	85 – 89	B (очень хорошо)
	75 – 84	C (хорошо)
	70 – 74	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно) (зачтено)	65 – 69	
	60 – 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература

1. Байков, Ю. А. Физика конденсированного состояния : учебное пособие / Ю. А. Байков, В. М. Кузнецов. — 3-е изд. (эл.). — Москва : Лаборатория знаний, 2015. — 296 с. — ISBN 978-5-9963-2960-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/70766.

2. Шалимова, К. В. Физика полупроводников : учебник / К. В. Шалимова. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 384 с. — ISBN 978-5-8114-0922-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/167840 .

7.2. Дополнительная литература

1. Матухин, В. Л. Физика твердого тела : учебное пособие / В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 224 с. — ISBN 978-5-8114-0923-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/210305.

2. Павлов П.В. Физика твердого тела: Учебник для вузов / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. – 3-е изд., стереотип. – М.: Высшая школа, 2000. – 496 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 58 экз.).

3. Физика конденсированного состояния: учебное пособие для вузов / Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 294 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 46 экз.).

7.3. Учебно-методические пособия

7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

Согласована на портале № 58198

1. Физика конденсированного состояния: Учебно-методическое пособие по лабораторным работам для студентов направления подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», профиль «Промышленная электроника» / Е. В. Саврук, В. В. Каранский, С. В. Смирнов - 2016. 43 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/6275.

2. Физика твердого тела : Учебное методическое пособие / С. В. Смирнов, Н. В. Зариковская ; Министерство образования Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТМЦДО, 2001. - 37 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 26 экз.).

3. Кузнецов, С. И. Курс физики с примерами решения задач. «Физика конденсированного состояния» : учебное пособие / С. И. Кузнецов, Н. А. Тимченко. — Томск : ТПУ, 2011. — 47 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/10274.

7.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

Для лиц с нарушениями зрения:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. При изучении дисциплины рекомендуется обращаться к современным базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ: https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh.

8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

8.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с достаточным количеством посадочных мест для учебной группы, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются мультимедийное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

8.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Лаборатория физики конденсированного состояния и материалов электронной техники: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ), помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 119 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Лабораторные макеты: «Температурные свойства ферромагнитных материалов», «Температурные свойства проводящих материалов», «Объемное и поверхностное сопротивление изоляционных материалов», «Пробой тонкопленочных конденсаторов (ТПК)», «Температурная зависимость проводимости диэлектриков», «Фотоэлектрические свойства полупроводниковых материалов», «Определение ширины запрещенной зоны полупроводников», «Определение термо-

Согласована на портале № 58198

ЭДС полупроводников», «Эффект Холла», «Эффект Пельтье».

- Лабораторное оборудование и приборы: измеритель Е7-8 (2 шт.), вольтметр В7-22А (5 шт.), амперметр Ф-195, М-253 (2 шт.), источник постоянного тока Б5-47, электрометр В7Э-42, мультиметр В7-22А (2 шт.), измеритель иммитанса Е7-20, тераомметр Е6-13, печь лабораторная (2 шт.), прибор для исследования пробоя ТПК, лабораторный стенд СФП-5 (2 шт.), вольтметр В7-26, вольтметр цифровой Ф4214, вольтметр Ф238,

источник постоянного тока Б5-47, измеритель иммитанса Е7-20;

- Компьютерные лабораторные работы (4 шт.);
- Компьютер Intel(R) Core (TM)2 CPU (4 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

8.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Лаборатория физики конденсированного состояния и материалов электронной техники: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ), помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 119 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Лабораторные макеты: «Температурные свойства ферромагнитных материалов», «Температурные свойства проводящих материалов», «Объемное и поверхностное сопротивление изоляционных материалов», «Пробой тонкопленочных конденсаторов (ТПК)», «Температурная зависимость проводимости диэлектриков», «Фотоэлектрические свойства полупроводниковых материалов», «Определение ширины запрещенной зоны полупроводников», «Определение термо-ЭДС полупроводников», «Эффект Холла», «Эффект Пельтье».
- Лабораторное оборудование и приборы: измеритель Е7-8 (2 шт.), вольтметр В7-22А (5 шт.), амперметр Ф-195, М-253 (2 шт.), источник постоянного тока Б5-47, электрометр В7Э-42, мультиметр В7-22А (2 шт.), измеритель иммитанса Е7-20, тераомметр Е6-13, печь лабораторная (2 шт.), прибор для исследования пробоя ТПК, лабораторный стенд СФП-5 (2 шт.), вольтметр В7-26, вольтметр цифровой Ф4214, вольтметр Ф238,

источник постоянного тока Б5-47, измеритель иммитанса Е7-20;

- Компьютерные лабораторные работы (4 шт.);
- Компьютер Intel(R) Core (TM)2 CPU (4 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

8.4. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду ТУСУРа.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;

Согласована на портале № 58198

- Google Chrome.

8.5. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями зрения** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

9. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля и промежуточной аттестации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы, представленные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

Названия разделов (тем) дисциплины	Формируемые компетенции	Формы контроля	Оценочные материалы (ОМ)
1 Электронная структура конденсированных материалов	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
		Отчет по практическому занятию (семинару)	Темы практических занятий
2 Структура кристаллов и способы ее определения	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
		Отчет по практическому занятию (семинару)	Темы практических занятий

Согласована на портале № 58198

3 Тепловые свойства конденсированных материалов	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
		Отчет по практическому занятию (семинару)	Темы практических занятий
4 Зонная теория конденсированных материалов	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
5 Статистика электронов и дырок в конденсированных материалах	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
		Отчет по практическому занятию (семинару)	Темы практических занятий
6 Структурные дефекты в конденсированных материалах	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
		Отчет по практическому занятию (семинару)	Темы практических занятий
7 Диэлектрические свойства конденсированных материалов	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
		Отчет по практическому занятию (семинару)	Темы практических занятий

Согласована на портале № 58198

8 Магнитные свойства конденсированных материалов	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
9 Статистика электронов и дырок в примесных полупроводниках	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
		Отчет по практическому занятию (семинару)	Темы практических занятий
10 Рассеяние электронов и дырок в полупроводниках. Кинетические явления в полупроводниках	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
		Отчет по практическому занятию (семинару)	Темы практических занятий
11 Неравновесные носители заряда	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
		Отчет по практическому занятию (семинару)	Темы практических занятий
12 Оптические свойства полупроводников	ОПК-1, ОПК-2, ПКС-10	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
		Отчет по практическому занятию (семинару)	Темы практических занятий

Согласована на портале № 58198

Шкала оценки сформированности отдельных планируемых результатов обучения по дисциплине приведена в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

Оценка	Баллы за ОМ	Формулировка требований к степени сформированности планируемых результатов обучения		
		знать	уметь	владеть
2 (неудовлетворительно)	< 60% от максимальной суммы баллов	отсутствие знаний или фрагментарные знания	отсутствие умений или частично освоенное умение	отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков
3 (удовлетворительно)	от 60% до 69% от максимальной суммы баллов	общие, но не структурированные знания	в целом успешно, но не систематически осуществляемое умение	в целом успешное, но не систематическое применение навыков
4 (хорошо)	от 70% до 89% от максимальной суммы баллов	сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы применение навыков
5 (отлично)	≥ 90% от максимальной суммы баллов	сформированные систематические знания	сформированное умение	успешное и систематическое применение навыков

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

Оценка	Формулировка требований к степени компетенции
2 (неудовлетворительно)	Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале или Знать на уровне **ориентирования**, представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения.
3 (удовлетворительно)	Знать и уметь на **репродуктивном** уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях.
4 (хорошо)	Знать, уметь, владеть на **аналитическом** уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения.

Согласована на портале № 58198

5 (отлично)	Знать, уметь, владеть на **системном** уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины.

9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий

1. Первая теория строения атома водорода, которая успешно объясняла наиболее важные его свойства была предложена…
   1. Ньютоном;
   2. Эйнштейном;
   3. Бором;
   4. де Бройлем.
2. Тетрагональные решетки могут быть:
   1. простыми, объемо-центрированными и гранецентрированными;
   2. простыми и объемо-центрированными;
   3. простыми и базоцентрированными;
   4. простыми и гранецентрированными.
3. Для какой системы характерны следующие свойства: две кристаллические оси не перпендикулярны друг другу, но третья перпендикулярна им обеим, периоды трансляции различны во всех трех направлениях:
   1. триклинная;
   2. тетрагональная;
   3. моноклинная;
   4. гексагональная.
4. Акустические волны представляют…
   1. звуковые (одна продольная и две поперечные);
   2. звуковые (две продольные и две поперечные);
   3. звуковые (одна продольная и три поперечные);
   4. звуковые (три продольные и две поперечные).
5. Фононы, как и фотоны, подчиняются статистике…
   1. Максвелла-Больцмана;
   2. Больцмана;
   3. Ферми-Дирака;4.
   Бозе-Эйнштейна.
6. Не оказывают влияния на термодинамические свойства электронной системы…
   1. плазмоны;
   2. фононы;
   3. фотоны;
   4. магноны.
7. Поведение теплоемкость при высоких температурах корректно описывает закон…
   1. Дебая;
   2. Дюлонга-Пти;
   3. Эйнштейна;
   4. Фурье.
8. Процесс распространения тепла от более нагретых элементов тела к менее нагретым называется…
   1. теплопроводностью;
   2. тепловым расширением;
   3. тепловым сжатием;
   4. теплоемкостью.
9. В чем сущность приближения Борна-Оппенгеймера?
   1. электроны в кристалле неподвижны;
   2. электроны и ядра неподвижны;
   3. неподвижны только ядра;

Согласована на портале № 58198

4. неподвижны только электроны.

10. Что объясняет модель Кронига-Пенни?
    1. вид волновой функции электрона;
    2. форму зон Бриллюэна;
    3. существование разрешенных и запрещенных зон;
    4. наличие кристаллического поля.
11. Чему равно полное число электронных состояний в первой зоне Бриллюэна?
    1. числу фононов;
    2. числу электронов;
    3. числу атомов в кристалле;
    4. массе электронов.
12. Величину, равную отношению электрического момента диэлектрика к его объему называют:
    1. диэлектрической проницаемостью среды;
    2. относительной диэлектрической восприимчивостью;
    3. поляризуемостью;
    4. дипольным моментом.
13. Одной из основных характеристик любого магнетика является…
    1. относительная диэлектрическая восприимчивость;
    2. поляризуемость;
    3. намагниченность;
    4. диэлектрическая проницаемость среды.
14. Намагниченность с увеличением индукции магнитной поля…
    1. сначала возрастает, затем уменьшается;
    2. увеличивается;
    3. уменьшается;
    4. не изменяется.
15. Количество дислокации…
    1. не зависит от температуры;
    2. зависит от температуры по линейному закону;
    3. зависит от температуры по квадратичному закону;
    4. зависит от температуры по кубическому закону.
16. Между дислокациями существует:
    1. слабое упругое взаимодействие;
    2. слабое неупругое взаимодействие;
    3. сильное упругое взаимодействие;
    4. сильное неупругое взаимодействие.
17. Точечные дефекты, возникающие при облучении кристаллов быстрыми частицами, получили название…
    1. линейных дефектов;
    2. дефектов по Шоттки;
    3. дефектов по Френкелю;
    4. радиационных дефектов.
18. Один из возможных механизмов размножения дислокаций был предложен…
    1. Шоттки и Ридом;
    2. Франком и Ридом;
    3. Френкелем и Франком;
    4. Гиббсом и Ридом.
19. Образование дефектов по Шоттки уменьшает плотность кристалла из-за…
    1. увеличения его объема при постоянной массе;
    2. уменьшение его массы при постоянном объеме;
    3. уменьшением его объема и увеличением массы;
    4. уменьшение его массы и уменьшения объема.
20. При температуре абсолютного нуля уровень Ферми для собственного полупроводника располагается…
    1. посередине между дном зоны проводимости и потолком валентной зоны;
    2. посередине между дном зоны проводимости и уровнем донорной примеси;

Согласована на портале № 58198

3. посередине между уровнем акцепторной примеси и потолком валентной зоны;
4. находится в валентной зоне.

21. Длина свободного пробега зависит от энергии по степенному, закону, при рассеивании на акустических фононах, эта степень принимает значение:
    1. 1;
    2. -1;
    3. 0;
    4. 1/2.
22. Теплопроводность, обусловленная переносом тепла за счет тепловых колебаний атомов кристаллической решетки, называется…
    1. фононная;
    2. электронная (дырочная);
    3. биполярная;
    4. фотонная;
    5. экситонная.
23. Теплопроводность за счет переноса тепла излучением называется….
    1. фононная;
    2. электронная (дырочная);
    3. биполярная;
    4. фотонная;
    5. экситонная.
24. Эффект, связанный со сложной зонной структурой в полупроводниках и возможностью межзонного или междолинного рассеяния, называется…
    1. эффектом Зинера;
    2. эффектом Ганна;
    3. ударной ионизацией;
    4. эффектом Холла.
25. Эффект Ганна наблюдается в таких полях, при которых дрейфовая скорость …
    1. становится сравнимой с тепловой скоростью;
    2. много больше тепловой скорости;
    3. много меньше тепловой скорости;
    4. становится сравнимой с фазовой скоростью;
26. При каком условии носители заряда не находятся в тепловом равновесии с решеткой?
    1. когда электронная температура сравнима с температурой кристалла;
    2. когда электронная температура много меньше температуры кристалла;
    3. когда электронная температура много больше температуры кристалла.
27. Впервые свой эффект Ганна наблюдал в…
    1. фосфиде индия;
    2. фосфиде галлия;
    3. кремнии;
    4. арсениде галлия.
28. При увеличении напряженности поля наступает пробой в том случае, если…
    1. генерация компенсируется рекомбинацией;
    2. генерация не компенсируется рекомбинацией;
    3. рекомбинация компенсируется генерацией;
    4. рекомбинация не компенсируется генерацией.
29. Уменьшение энергии ионизации донора увеличивает вероятность термического возбуждения согласно статистике…
    1. Бозе-Эйнштейна;
    2. Ферми-Дирака;
    3. Максвелла-Больцмана;
    4. Больцмана.
30. В межзонной излучательной рекомбинации могут участвовать…
    1. только фотоны;
    2. только фотоны и электроны;
    3. только электроны и дырки;
    4. только фотоны и дырки.

Согласована на портале № 58198

31. Для характеристики рекомбинационных процессов в полупроводнике вводится понятие…
    1. время жизни неосновных носителей заряда;
    2. время жизни основных носителей заряда;
    3. концентрации неосновных носителей заряда;
    4. концентрации основных носителей заряда.
32. Поглощение света полупроводником, связанное с возбуждением колебаний кристаллической решетки, называют … поглощением.
    1. решеточным;
    2. примесным;
    3. собственным;
    4. экситонным.
33. Какие эффекты сильного поля приводят к изменению подвижности носителей заряда?
    1. эффект Ганна и ударная ионизация;
    2. эффект Ганна и эффект разогрева электронно-дырочного газа;
    3. ударная ионизация и эффект Зинера;
    4. электростатическая ионизация и эффект Зинера.
34. Какой процесс рекомбинации описывает теория Холла – Шокли – Рида?
    1. межзонную излучательную;
    2. межзонную безызлучательную;
    3. рекомбинацию через ловушки;
    4. Оже-рекомбинацию.
    4. Ферми-Дирака.
35. Коэффициент поглощения характеризует интенсивность света:
    1. прошедшего через образец;
    2. поглощенного в образце с единичной толщиной;
    3. поглощенного в образце в единицу времени;
    4. вошедшего в образец.

9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов

1. Модель атома Бора.
2. Уравнение Шредингера.
3. Квантово-механическое описание строение атома (электрон как волна и как частица, электрон и потенциальный барьер, квантовый осциллятор).
4. Точечная симметрия кристаллов.
5. Прямая решетка. 14 трансляционных решеток Бравэ.
6. Обратная решетка.
7. Методы определения атомной структуры конденсированных материалов.
8. Классификация конденсированных материалов. Типы связей. Энергия связи.
9. Молекулярные кристаллы. Ионные кристаллы. Ковалентные кристаллы. Металлы.
10. Классификация дефектов. Тепловые точечные дефекты. Равновесная концентрация точечных дефектов.
11. Радиационные дефекты.
12. Дислокации. Контур и вектор Бюргерса. Напряжения, связанные с дислокациями. Энергия дислокаций. Источники дислокаций.
13. Дефекты стехиометрии.
14. Тепловые колебания атомов. Амплитуды.
15. Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга-Пти. Теория Эйнштейна. Теория Дебая.
16. Теплоемкость металлов. Учет вклада свободных электронов.
17. Тепловое расширение конденсированных материалов.
18. Теплопроводность конденсированных материалов. Теплопроводность металлов, изоляторов и полупроводников.
19. Диффузия в конденсированных материалах.
20. Классификация конденсированных материалов по величине электропроводности.
21. Уравнение Шредингера для твердого тела.
22. Свойства волнового вектора электрона в кристалле. Зоны Бриллюэна.
23. Эффективная масса электрона.
24. Основные свойства металлов. Электропроводность металлов.

Согласована на портале № 58198

25. Собственная проводимость полупроводников.
26. Электропроводность изоляторов.
27. Поляризация конденсированных материалов. Основные характеристики.
28. Упругая поляризация. Электронная. Ионная. Дипольная.
29. Тепловая поляризация. Электронная. Ионная. Дипольная.
30. Связь между диэлектрической проницаемостью и поляризуемостью. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости.
31. Диэлектрические потери.
32. Классификация магнетиков.
33. Природа диамагнетизма, парамагнетизма и ферромагнетизма.
34. Статистика электронов и дырок в собственных, примесных и компенсированных полупроводниках.
35. Температурная зависимость положения уровня Ферми в собственных и примесных полупроводниках.
36. Примесные полупроводники при очень низких температурах.
37. Сильнолегированные полупроводники. Критерий сильного легирования.
38. Механизмы рассеяния электронов и дырок.
39. Кинетическое уравнение Больцмана.
40. Время релаксации.
41. Температурная зависимость подвижности носителей заряда.
42. Гальваномагнитные явления. Эффект Холла.
43. Гальваномагнитные явления. Магниторезистивный эффект.
44. Термоэлектрические явления. Термо-ЭДС.
45. Термоэлектрические явления. Эффект Зеебека.
46. Термоэлектрические явления. Эффект Пельтье.
47. Термоэлектрические явления. Эффект Томсона.
48. Равновесные и неравновесные носители заряда.
49. Биполярная и монополярная оптическая генерация.
50. Максвелловское время релаксации.
51. Механизмы рекомбинации.
52. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида.
53. Температурная зависимость времени жизни носителей заряда.
54. Уравнение непрерывности.
55. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда. Соотношения Эйнштейна.
56. Природа поверхностных уровней.
57. Эффект поля.
58. Влияние поверхностной рекомбинации на время жизни носителей заряда.
59. Оптические коэффициенты.
60. Механизмы поглощения света в полупроводниках.

9.1.3. Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ

1. Каково должно быть расстояние между Na и Cl, если их полная энергия равна нулю, r0 = 2,36 Å? Сколько энергии требуется на образование этой пары ионов из пары атомов?
2. Найдите углы отражения от плоскостей [100], [110], [111] кристалла марганца, соответствующие дифракционным максимумам 1 – ого порядка для характеристического рентгеновского излучения Cu.
3. Найдите энергию и скорость электрона в кристаллической решетке Al, если его волновой вектор находится во второй зоне Бриллюэна с координатами кх=π/a, ку=π/a.
4. Какова теплоемкость железа при 500 °С? Какова частота Дебая колебаний атома Fe?
5. Вычислите коэффициент линейного теплового расширения серебра, если среднее расстояние между атомами при температуре 1000 °С равно 5% от постоянной кристаллической решетки.
6. Найдите разницу энергий (в единицах кТ) между электроном, находящимся на уровне Ферми, и электронами, находящимися на уровнях, вероятности заполнения которых равны 0,20 и 0,80.
7. Электрическое сопротивление диэлектрика при нагреве от 300 до 500 К изменилось в 10 раз. Найдите энергию активации проводимости.

Согласована на портале № 58198

8. Энергия образования вакансий в катионной и анионной решетках NaCl составляет 0,8 эВ, расстояние между ближайшими соседями 2,8 А. Определите концентрацию дефектов в кристалле при 500 К.
9. Примесный уровень в арсениде галлия истощился при 100 К. Определите тип и концентрацию примеси, если температура T_i в нем равна 200 К.
10. Определить концентрацию носителей и удельное сопротивление кремния, легированного фосфором при 300 К, если $N_д=10^{17}$ см$^{-3}$, а $\mu_n=500$ см^2/Вс.
11. В эксперименте по изучению эффекта Холла, проведенном с образцом кремния получены следующие данные: l=1 см; d=0,1 см; a=0,2 см; I=5мА; B=1 Тл; U=0,245 В (в направлении тока): U_H=2мВ. Считая, что холл-фактор r_H=1,18, определите: а) тип полупроводника; б) концентрацию основных носителей; в) холловскую подвижность носителей.
12. При нагреве куска полупроводника длиной 1 см и сечением 1х1 мм в нем возник перепад температур, на одном конце 300К, а на другом 350К при этом на холодном конце появился электрический потенциал в -6 мВ, а на другом +3мВ. Найдите дифференциальную термо-эдс полупроводника. Предполагая, что это кремний, определите тип полупроводника и найдите термодинамически равновесную концентрацию носителей заряда.
13. Совершенный кристалл Ge толщиной в 1 мм освещается при 0 К фотонам с энергией 0,82 эВ (α=10 см$^{-1}$). Поток света составляет 10^{18} фотон/см^{2}с. Найти величину потока света, проходящего сквозь кристалл. Найдите коэффициент экстинкции Ge.
14. В поверхностном слое прямоугольного образца кремния p-типа, легированного бором N=10^{16}см$^{-3}$, длиной 1 мм при 300 К генерируются электроны Δp, $\tau_p=10^{-4}$с. Найдите концентрацию неравновесных носителей, если при этом в образце возникло электрическое поле напряженностью 10^{-3} В/см.

9.1.4. Темы практических занятий

1. Модель атома Бора.
2. Виды химических связей. Расчет энергии образования химической связи.
3. Кристаллическое строение твердых тел.
4. Тепловые свойства конденсированных материалов.
5. Статистика электронов и дырок в конденсированных материалов.
6. Дефекты в конденсированных материалах.
7. Диэлектрические свойства конденсированных материалов. Поляризуемость.
8. Расчет температур на зонной диаграмме полупроводника, примесной концентрации носителей заряда.
9. Расчет концентрации носителей заряда методом термо-ЭДС, Холла и Зеебека.
10. Расчет избыточной концентрации неравновесных носителей заряда. Расчет диффузионного и дрейфового токов неравновесных носителей заряда.
11. Расчет оптических коэффициентов полупроводников.

9.1.5. Темы лабораторных работ

1. Определение частоты колебаний поперечных оптических фононов в ионных кристаллах.
2. Исследование температурной зависимости электропроводности полупроводников.

Согласована на портале № 58198

3. Исследование температурной зависимости электропроводности поликристаллических ферромагнетиков.
4. Измерение концентрации носителей заряда в полупроводниках методом термо-ЭДС.

9.2. Методические рекомендации

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

– чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;

– если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;

– осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров. Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе / электронном журнале по дисциплине.

9.3. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Категории обучающихся	Виды дополнительных оценочных материалов	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами, определяющимися исходя из состояния обучающегося на момент проверки

Согласована на портале № 58198

9.4. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

– в печатной форме;

– в печатной форме с увеличенным шрифтом;

– в форме электронного документа;

– методом чтения ассистентом задания вслух;

– предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

– письменно на бумаге;

– набор ответов на компьютере;

– набор ответов с использованием услуг ассистента;

– представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 58198

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ
протокол № 114 от «19» 11 2020 г.

СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ПрЭ	С.Г. Михальченко	Согласовано, 706957f1-d2eb-4f94-b533-6139893cfd5a
Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820
Начальник учебного управления	Е.В. Саврук	Согласовано, fa63922b-1fce-4a6a-845d-9ce7670b004c

ЭКСПЕРТЫ:

Профессор, каф. ПрЭ	Н.С. Легостаев	Согласовано, 6332ca5f-c16e-4579-bbc4-ee49773dfd8d
Заведующий кафедрой, каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820

РАЗРАБОТАНО:

Старший преподаватель, каф. ФЭ	В.В. Каранский	Разработано, c2e55ae8-0332-4ed9-a65a-afbb92539ee8

Согласована на портале № 58198