МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Физика конденсированного состояния

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Квантовая и оптическая электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ЭП, Кафедра электронных приборов**
Курс: **2**
Семестр: **4**
Учебный план набора 2018 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	4 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	36	36	часов
2	Практические занятия	18	18	часов
3	Лабораторные работы	16	16	часов
4	Всего аудиторных занятий	70	70	часов
5	Самостоятельная работа	74	74	часов
6	Всего (без экзамена)	144	144	часов
7	Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
8	Общая трудоемкость	180	180	часов
		5.0	5.0	З.Е.

Экзамен: 4 семестр

Томск 2018

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шелупанов А.А.
Должность: Ректор
Дата подписания: 20.12.2017
Уникальный программный ключ:
c53e145e-8b20-45aa-9347-a5e4dbb90e8d

Согласована на портале № 33756

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 91 от «19» 4 2018 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утвержденного 12.03.2015 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчики:

д.т.н., профессор каф. ФЭ	_____	С. В. Смирнов
ассистент каф. ФЭ	_____	В. В. Каранский

Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ	_____	П. Е. Троян

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФЭТ	_____	А. И. Воронин
Заведующий выпускающей каф. ЭП	_____	С. М. Шандаров

Эксперты:

Доцент кафедры физической электроники (ФЭ)	_____	И. А. Чистоедова
Доцент кафедры электронных приборов (ЭП)	_____	А. И. Аксенов

Согласована на портале № 33756

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

Целью изучения дисциплины «Физика конденсированного состояния» является освоение теоретических основ строения конденсированных материалов и их физических свойств.

1.2. Задачи дисциплины

– Задачей изучения дисциплины «Физика конденсированного состояния» является установление зависимостей физических свойств конденсированных материалов от их химического состава и структуры.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» (Б1.Б.16) относится к блоку 1 (базовая часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Математика, Материалы электронной техники, Физика, Химия.

Последующими дисциплинами являются: Наноэлектроника, Твердотельная электроника.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

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

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

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

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** основные закономерности формирования конденсированного состояния; строение молекул и кристаллов; основные параметры и характеристики конденсированных материалов и их связь с составом и структурой; методики экспериментального исследования параметров и характеристик приборов электроники и наноэлектроники.

– **уметь** выбирать материал с оптимальными свойствами для реализации задач электроники; использовать физико-математический аппарат для расчета физических характеристик конденсированных материалов; реализовывать на практике эффективную методику определения определения характеристик приборов электроники и наноэлектроники.

– **владеть** навыками комплексного подхода к выбору материалов с оптимальными свойствами; методикой расчета физических характеристик конденсированных материалов.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		4 семестр
Аудиторные занятия (всего)	70	70
Лекции	36	36
Практические занятия	18	18
Лабораторные работы	16	16
Самостоятельная работа (всего)	74	74
Подготовка к контрольным работам	7	7

Согласована на портале № 33756

Оформление отчетов по лабораторным работам	24	24
Проработка лекционного материала	16	16
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	27	27
Всего (без экзамена)	144	144
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость, ч	180	180
Зачетные Единицы	5.0	5.0

5. Содержание дисциплины

5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

Названия разделов дисциплины	Лек., ч	Прак. зан., ч	Лаб. раб., ч	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
4 семестр						
1 Электронная структура конденсированных материалов	4	4	0	5	13	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
2 Структура кристаллов и способы ее определения	3	1	0	5	9	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
3 Концепция квазичастиц в конденсированных материалах	2	0	0	1	3	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
4 Фононный спектр (тепловые колебания в кристалле)	3	1	4	13	21	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
5 Тепловые свойства конденсированных материалов	2	2	0	6	10	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
6 Зонная теория конденсированных материалов	4	0	0	2	6	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
7 Статистика электронов и дырок в конденсированных материалах	2	2	4	13	21	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
8 Структурные дефекты в конденсированных материалах	2	2	0	6	10	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
9 Диэлектрические и магнитные свойства конденсированных материалов	4	0	4	6	14	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
10 Статистика электронов и дырок в примесных полупроводниках	2	2	0	4	8	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
11 Кинетические явления в полупроводниках	3	2	4	8	17	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
12 Неравновесные носители заряда	1	0	0	1	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
13 Оптические свойства полупроводников	4	2	0	4	10	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
Итого за семестр	36	18	16	74	144	

Согласована на портале № 33756

Итого	36	18	16	74	144	

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

Названия разделов	Содержание разделов дисциплины (по лекциям)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
4 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, ПК-2
	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.	3	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	3	
3 Концепция квазичастиц в конденсированных материалах	Фононы. Электроны проводимости. Плазмоны. Поляроны. Экситоны. Магноны.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	
4 Фононный спектр (тепловые колебания в кристалле)	Тепловые колебания. Амплитуды. Нормальные колебания простой одномерной решетки. Нормальные колебания одномерной решетки с базисом. Спектр нормальных колебаний решетки.	3	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	3	
5 Тепловые свойства конденсированных материалов	Теплоёмкость твёрдых тел. Закон Дюлонга — Пти. Теория теплоёмкости Эйнштейна. Теория теплоёмкости Дебая. 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	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	
6 Зонная теория конденсированных материалов	Адиабатическое и одноэлектронное приближение. Приближение свободных электронов. Приближение сильносвязанных электронов. Приближение слабосвязанных электронов. Энергетический	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2

Согласована на портале № 33756

	спектр электронов в кристалле. Эффективная масса электрона.		
	Итого	4	
7 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, ПК-2
	Итого	2	
8 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, ПК-2
	Итого	2	
9 Диэлектрические и магнитные 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. Классификация магнетиков. Природа диамагнетизма. Природа парамагнетизма. Ферромагнетизм.	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	4	
10 Статистика электронов и дырок в примесных полупроводниках	Степень заполнения примесных уровней. Концентрации электронов и дырок в зонах. Примесный 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.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	
11 Кинетические явления в полупроводниках	Зависимость подвижности носителей заряда от температуры. Эффект Холла. Термоэлектрические явления: термо-ЭДС, эффект Зеебека, эффект Пельтье и Томсона.	3	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	3	
12 Неравновесные	Равновесные и неравновесные носители заряда.	1	ОПК-1,

Согласована на портале № 33756

носители заряда	Механизмы рекомбинации. Межзонная излучательная рекомбинация. Межзонная ударная рекомбинация. Рекомбинация носителей заряда через ловушки. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида. Уравнение непрерывности. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда.		ОПК-2, ПК-2
	Итого	1	
13 Оптические свойства полупроводников	Оптические коэффициенты. Основные механизмы поглощения света в полупроводниках. Собственное поглощение.Экситонное поглощение. Оптическое поглощение с участием примесей. Примесное и межпримесное поглощение. Поглощение свободными носителями заряда. Плазменное поглощение. Фононное поглощение.	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	4	
Итого за семестр		36	

5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

Наименование дисциплин	№ разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Предшествующие дисциплины													
1 Математика	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2 Материалы электронной техники	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3 Физика	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4 Химия	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+
Последующие дисциплины													
1 Наноэлектроника	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2 Твердотельная электроника	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Компетенции	Виды занятий				Формы контроля
	Лек.	Прак. зан.	Лаб. раб.	Сам. раб.	

Согласована на портале № 33756

ОПК-1	+	+	+	+	Контрольная работа, Защита отчета, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест, Отчет по практическому занятию
ОПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Защита отчета, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест, Отчет по практическому занятию
ПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Защита отчета, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест, Отчет по практическому занятию

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП.

7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Наименование лабораторных работ

Названия разделов	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
4 семестр			
4 Фононный спектр (тепловые колебания в кристалле)	Определение частоты колебаний поперечных оптических фононов в ионных кристаллах	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	4	
7 Статистика электронов и дырок в конденсированных материалах	Исследование температурной зависимости электропроводности полупроводников	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	4	
9 Диэлектрические и магнитные свойства конденсированных материалов	Исследование температурной зависимости электропроводности поликристаллических ферромагнетиков	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	4	
11 Кинетические явления в полупроводниках	Измерение концентрации носителей заряда в полупроводниках методом термо-ЭДС	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	4	
Итого за семестр		16	

8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Согласована на портале № 33756

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
4 семестр			
1 Электронная структура конденсированных материалов	Модель атома Бора	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Виды химических связей. Расчет энергии образования химической связи.	2	
	Итого	4	
2 Структура кристаллов и способы ее определения	Кристаллическое строение твердых тел.	1	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	1	
4 Фононный спектр (тепловые колебания в кристалле)	Тепловые колебания. Амплитуды.	1	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	1	
5 Тепловые свойства конденсированных материалов	Тепловые свойства конденсированных материалов.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	
7 Статистика электронов и дырок в конденсированных материалах	Статистика электронов и дырок в конденсированных материалов.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	
8 Структурные дефекты в конденсированных материалах	Дефекты в конденсированных материалах.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	
10 Статистика электронов и дырок в примесных полупроводниках	Статистика электронов и дырок в примесных полупроводниках.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	
11 Кинетические явления в полупроводниках	Кинетические явления в полупроводниках.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	
13 Оптические свойства полупроводников	Оптические свойства полупроводников.	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	
Итого за семестр		18	

9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля

Согласована на портале № 33756

4 семестр				
1 Электронная структура конденсированных материалов	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	3	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	5		
2 Структура кристаллов и способы ее определения	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	3	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	5		
3 Концепция квазичастиц в конденсированных материалах	Проработка лекционного материала	1	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Опрос на занятиях, Тест
	Итого	1		
4 Фононный спектр (тепловые колебания в кристалле)	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	3	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	8		
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	13		
5 Тепловые свойства конденсированных материалов	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	3	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	6		
6 Зонная теория конденсированных материалов	Проработка лекционного материала	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Опрос на занятиях, Тест
	Итого	2		
7 Статистика электронов и дырок в конденсированных	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	3	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной ра-

Согласована на портале № 33756

материалах	Проработка лекционного материала	1		боте, Отчет по практическому занятию, Тест
	Оформление отчетов по лабораторным работам	8		
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	13		
8 Структурные дефекты в конденсированных материалах	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	3	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Защита отчета, Контрольная работа, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	2		
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	6		
9 Диэлектрические и магнитные свойства конденсированных материалов	Проработка лекционного материала	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Тест
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Итого	6		
10 Статистика электронов и дырок в примесных полупроводниках	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	3	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Итого	4		
11 Кинетические явления в полупроводниках	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	3	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Итого	8		
12 Неравновесные носители заряда	Проработка лекционного материала	1	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Опрос на занятиях, Тест
	Итого	1		
13 Оптические свойства полупроводников	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	3	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Итого	4		
Итого за семестр		74		

Согласована на портале № 33756

	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		110		

10. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено РУП.

11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Балльные оценки для элементов контроля

Элементы учебной деятельности	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
4 семестр				
Контрольная работа		10	10	20
Отчет по лабораторной работе		10	10	20
Отчет по практическому занятию	5	5	5	15
Тест	5	5	5	15
Итого максимум за период	10	30	30	70
Экзамен				30
Нарастающим итогом	10	40	70	100

11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Пересчет баллов в оценки за контрольные точки представлен в таблице 11.2.

Таблица 11.2 – Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Баллы на дату контрольной точки	Оценка
≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату КТ	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ	3
< 60% от максимальной суммы баллов на дату КТ	2

11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 11.3.

Таблица 11.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка (ГОС)	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	

Согласована на портале № 33756

	60 - 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

12.1. Основная литература

1. Байков, Ю.А. Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов. — Электрон. дан. — Москва : Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 296 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/70766 (дата обращения: 26.06.2018).

12.2. Дополнительная литература

1. Физика конденсированного состояния: учебное пособие для вузов / Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 294 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 45 экз.)
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 - 60 экз.)

12.3. Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Физика конденсированного состояния: Учебно-методическое пособие / Саврук Е. В., Каранский В. В., Смирнов С. В. - 2016. 44 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/6270 (дата обращения: 26.06.2018).
2. Смирнов С.В., Зариковская Н.В. Физика конденсированного состояния. Физика полупроводников: Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе по дисциплинам «Физика конденсированного состояния» и «Физика полупроводников» для студентов направлений подготовки 210100 «Электроника и наноэлектроника» и 222900 «Нанотехнология и микросистемная техника». – Томск: Томский государственный университет систем управления и ра-диоэлектроники, 2011. – 35 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks %20disciplin/Smirnov/Smirnov_FKS_UMP.pdf (дата обращения: 26.06.2018).

12.3.2. 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.

12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – Режим доступа: http://elibrary.ru
2. «Научно-образовательный портал ТУСУР» [Электронный ресурс]: научно-образовательный портал университета. – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/
3. «Физика твердого тела» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://journals.ioffe.ru/journals/1

Согласована на портале № 33756

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение

13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины

13.1.1. 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 количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

13.1.2. 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-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.);
- ПК (4 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- LibreOffice
- Microsoft Visual Studio 2010
- PTC Mathcad13, 14
- Windows XP

13.1.3. 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», «Темпе-

Согласована на портале № 33756

ратурные 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.);
- ПК (4 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

– Microsoft Visual Studio 2010
– PTC Mathcad13, 14
– Windows XP

13.1.4. 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.

Состав оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:

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

13.2. 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 зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста

Согласована на портале № 33756

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.

14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

14.1.1. Тестовые задания

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;

Согласована на портале № 33756

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;
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. Рекомбинация, при которой электрон прежде, чем рекомбинировать с дыркой, захватывается некоторым локальным центром, имеющим уровень энергии в запрещенной зоне, а затем переходит в валентную зону и рекомбинирует с дыркой, называется…
1. примесной рекомбинацией;
2. рекомбинацией через локальные состояния;
3. межпримесной рекомбинацией;
4. экситонной рекомбинацией.

12. В межзонной излучательной рекомбинации могут участвовать…
1. только фотоны;
2. только фотоны и электроны;
3. только электроны и дырки;
4. только фотоны и дырки.

13. 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.

14. Модель, в которой описано выявление зависимости времени жизни электронно-дырочных пар от положения уровня Ферми, носит название…
1. Холла-Шокли-Рида;
2. Больцмана;
3. Оже;
4. Бозе-Эйнштейна.

15. Поглощение света полупроводником, связанное с возбуждением колебаний кристаллической решетки, называют … поглощением.
1. решеточным;
2. примесным;

Согласована на портале № 33756

3. собственным;
4. экситонным.

16. Чьё имя носит эффект охлаждения контакта двух твердых тел, при протекании через контакт тока?
1) Джоуля-Ленца;
2) Пельтье;
3) Томсона;
4) Зеебека.

17. От каких параметров электронного полупроводника зависит α (коэффициент термо-ЭДС)?
1) от эффективной плотности состояний в зоне проводимости, концентрации электронов и типа рассеяния;
2) от концентрации и подвижности электронов, от температуры;
3) от типа рассеяния и температуры;
4) от концентрации дырок и их подвижности.

18. Какой процесс рекомбинации описывает теория Холла – Шокли – Рида?
1. межзонную излучательную;
2. межзонную безызлучательную;
3. рекомбинацию через ловушки;
4. Оже-рекомбинацию.

19. Обрыв периодичности кристаллического потенциала на поверхности приводит к появлению локализованных состояний, энергетические уровни которых располагаются в запрещенной зоне. Эти состояния называют состояниями …
1. Холла-Шокли-Рида;
2. Борна-Кармана;
3. Тамма;
4. Ферми-Дирака.

20. 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.

14.1.2. Экзаменационные вопросы

1. Модель атома Бора.

2. Квантово-механическое описание строение атома (электрон как волна и как частица, электрон и потенциальный барьер, квантовый осциллятор).

3. Виды химических связей. Механизм образования химической связи.

4. Прямая и обратная решетка. Индексы Миллера.

5. Зоны Бриллюэна.

6. Теплоемкость твердых тел. Теория Эйнштейна. Теория Дебая. Приближение Дюлонга-Пти.

7. Характеристическое рентгеновское излучение. Закон Вульфа-Брэгга.

Согласована на портале № 33756

8. Теплопроводность твердых тел (диэлектриков, металлов и полупроводников).

9. Модель свободных электронов Друде.

10. Статистика электронов и дырок в металлах и полупроводниках (распределение Ферми-Дирака и
Максвелла-Больцмана).

11. Концентрация электронов и дырок в собственных полупроводниках.

12. Температурная зависимость уровня Ферми в собственных полупроводниках.

13. Электропроводность металлов и полупроводников.

14. Дефекты в кристаллах: по Шоттки и Френкелю.

15. Равновесная статистика электронов в примесных полупроводниках.

16. Температурная зависимость концентрации носителей заряда и уровня Ферми в реальных полупроводниках.

17. Примесные полупроводники. Акцепторы и доноры.

18. Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации.

19. Термоэлектрические явления (эффект Пельтье, Зеебека и Томсона).

20. Подвижность носителей зарядов. Виды рассеивания.

21. Эффект Холла. Гальваномагнитные эффекты.

22. Эффективная масса электронов и дырок. Эффективная плотность состояний.

23. Поляризация. Виды поляризации. Виды диэлектрических потерь.

22. Виды магнитных материалов. Классификация материалов по магнитной восприимчивости. Температура Кюри.

24. Диффузия и дрейф носителей заряда.

25. Основные механизмы поглощения света в полупроводниках.

26. Оптические свойства полупроводников. Люминесценция.

27. Неравновесные носители зарядов. Рекомбинация.

14.1.3. Темы контрольных работ

1. Химическая связь. Кристаллическое строение конденсированных состояний. Тепловые свойства конденсированных материалов.

2. Концентрация электронов и дырок в металлах и полупроводниках. Дефекты в конденсированных материалах. Диэлектрические и магнитные свойства диэлектрических материалов.

14.1.4. Темы опросов на занятиях

1. Электронная структура конденсированных материалов

2. Структура кристаллов и способы ее определения

Согласована на портале № 33756

3. Концепция квазичастиц в конденсированных материалах
4. Фононный спектр (тепловые колебания в кристалле)
5. Тепловые свойства конденсированных материалов
6. Зонная теория конденсированных материалов
7. Статистика электронов и дырок в конденсированных материалах
8. Структурные дефекты в конденсированных материалах

9. Диэлектрические и магнитные свойства конденсированных материалов
10. Статистика электронов и дырок в примесных полупроводниках
11. Кинетические явления в полупроводниках
12. Неравновесные носители заряда
13. Оптические свойства полупроводников

14.1.5. Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам

1. Электронная структура конденсированных материалов

2. Структура кристаллов и способы ее определения

3. Фононный спектр (тепловые колебания в кристалле)

4. Тепловые свойства конденсированных материалов

5. Статистика электронов и дырок в конденсированных материалах

6. Структурные дефекты в конденсированных материалах

7. Статистика электронов и дырок в примесных полупроводниках

8. Кинетические явления в полупроводниках

9. Оптические свойства полупроводников

14.1.6. Темы лабораторных работ

1. Определение частоты колебаний поперечных оптических фононов в ионных кристаллах.
2. Исследование температурной зависимости электропроводности полупроводников
3. Исследование температурной зависимости электропроводности поликристаллических ферромагнетиков.
4. Измерение концентрации носителей заряда в полупроводниках методом термо-ЭДС.

14.2. 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 14.

Таблица 14 – 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-	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные	Преимущественно дистанционными методами

Согласована на портале № 33756

двигательного аппарата	самостоятельные работы, вопросы к зачету	
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами исходя из состояния обучающегося на момент проверки

14.3. 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 № 33756