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 полупроводников

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Микроэлектроника и твердотельная электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ФЭ, Кафедра физической электроники**
Курс: **2**
Семестр: **4**
Учебный план набора 2015 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	4 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	44	44	часов
2	Практические занятия	18	18	часов
3	Лабораторные работы	16	16	часов
4	Всего аудиторных занятий	78	78	часов
5	Из них в интерактивной форме	8	8	часов
6	Лабораторные работы	16	16	часов
7	Всего контактной работы	16	16	часов
8	Самостоятельная работа	66	66	часов
9	Всего (без экзамена)	144	144	часов
10	Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
11	Общая трудоемкость	180	180	часов
		5.0	5.0	З.Е.

Экзамен: 4 семестр

Томск 2018

Согласована на портале № 33768

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 №_____.

Разработчик:

профессор кафедры Физической Электроники (ФЭ)	_____	С. В. Смирнов
Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ	_____	П. Е. Троян

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФЭТ	_____	А. И. Воронин
Заведующий выпускающей каф. ФЭ	_____	П. Е. Троян

Эксперты:

Доцент кафедры физической электроники (ФЭ)	_____	И. А. Чистоедова
Профессор кафедры физической электроники (ФЭ)	_____	Т. И. Данилина

Согласована на портале № 33768

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

Освоение теоретических основ строения полупроводниковых материалов, их электрических, оптических и механических свойств, и происходящих в них процессов и эффектов.

1.2. Задачи дисциплины

– изучение основных представлений физики полупроводников;

– приобретение навыков математического описания физических процессов в устройствах полупроводниковой наноэлектроники;

– приобретение базовых знаний по физике полупроводников, необходимых как для понимания физических процессов, протекающих в полупроводниках, так и для понимания явлений, изучаемых в других курсах;

– ознакомление с методами электрофизических исследований полупроводниковых материалов

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физика полупроводников» (Б1.В.ОД.3) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Материалы электронной техники, Твердотельная электроника, Физика конденсированного состояния.

Последующими дисциплинами являются: Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем, Наноэлектроника.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– 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** физико-химические основы взаимодействия между основными материалами электронной техники; основные характеристики полупроводниковых материалов и их связь со структурой и составом; параметры полупроводниковых материалов и особенности их измерения

– **уметь** выбирать материал с оптимальными свойствами для реализации задач электроники; производить расчеты параметров и характеристик материала

– **владеть** методами исследования полупроводниковых материалов и методикой оценки результатов измерений

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)	78	78
Контактная работа (всего)	16	16
Лекции	44	44
Практические занятия	18	18
Лабораторные работы	16	16

Согласована на портале № 33768

Из них в интерактивной форме	8	8
Лабораторные работы	16	16
Самостоятельная работа (всего)	66	66
Подготовка к контрольным работам	11	11
Выполнение индивидуальных заданий	10	10
Оформление отчетов по лабораторным работам	16	16
Проработка лекционного материала	13	13
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	16	16
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 Введение, цели и задачи дисциплины	1	0	0	1	2	ОПК-2, ПК-2
2 Собственные и примесные полупроводниковые материалы. Статистика электронов в примесных полупроводниках. Сильнолегированные полупроводники.	7	2	0	8	17	ОПК-2, ПК-2
3 Кинетические явления в полупроводниках. Уравнение Больцмана. Диффузионные уравнения. Явления переноса заряда, термомагнитные и гальваномагнитные явления.	8	6	0	15	29	ОПК-2, ПК-2
4 Свойства полупроводников в сильных электрических полях.	6	2	4	10	22	ОПК-2, ПК-2
5 Неравновесные носители заряда. Основные параметры. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида	8	2	4	10	24	ОПК-2, ПК-2
6 Оптические свойства полупроводниковых материалов. Поглощение света. Люминесценция. Фотопроводимость.	8	2	4	10	24	ОПК-2, ПК-2
7 Поверхностные явления в полупроводниках. Эффект поля	6	4	4	12	26	ОПК-2, ПК-2
Итого за семестр	44	18	16	66	144	

Согласована на портале № 33768

Итого	44	18	16	66	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 Введение, цели и задачи дисциплины	Предмет дисциплины и ее задачи. Основные этапы исторического развития физики полупроводников. Связь с другими дисциплинами	1	ОПК-2, ПК-2
	Итого	1	
2 Собственные и примесные полупроводниковые материалы. Статистика электронов в примесных полупроводниках. Сильнолегированные полупроводники.	Примесные состояния в полупроводниковых материалах. Статистика электронов. Компенсированные полупроводники. Критерии сильного легирования. Свойства сильнолегированных полупроводников	7	ОПК-2, ПК-2
	Итого	7	
3 Кинетические явления в полупроводниках. Уравнение Больцмана. Диффузионные уравнения. Явления переноса заряда, термомагнитные и гальваномагнитные явления.	Кинетическое уравнение Больцмана. Электропроводность полупроводников. Диффузия и дрейф носителей заряда. Соотношения Эйнштейна. Термоэлектрические явления: термо-эдс, эффект Пельтье и Томсона. Гальваномагнитные явления в полупроводниках. Эффект Холла, эффект Нернста	8	ОПК-2, ПК-2
	Итого	8	
4 Свойства полупроводников в сильных электрических полях.	Электропроводность полупроводников в сильных электрических полях. Разогрев носителей заряда. Эффект Зинера. Эффект Ганна. Эффект Френкеля	6	ОПК-2, ПК-2
	Итого	6	
5 Неравновесные носители заряда. Основные параметры. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида	Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Уравнение непрерывности. Линейная и квадратичная рекомбинация. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида.	8	ОПК-2, ПК-2
	Итого	8	
6 Оптические свойства полупроводниковых материалов. Поглощение света. Люминесценция. Фотопроводимость.	Механизмы поглощения света. Собственное поглощение. Прямые и непрямые переходы. Экситонное поглощение. Поглощение свободными носителями. Примесное и решеточное поглощение. Влияние внешних факторов на спектры поглощения. Фотопроводимость. Оптическая спектроскопия. Катодо- и фотолюминесценция.	8	ОПК-2, ПК-2

Согласована на портале № 33768

	Итого	8	
7 Поверхностные явления в полупроводниках. Эффект поля	Уровни Тамма. Статистика электронов на поверхностных состояниях. Эффект поля. Скорость поверхностной рекомбинации	6	ОПК-2
	Итого	6	
Итого за семестр		44	

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
Предшествующие дисциплины							
1 Материалы электронной техники	+	+	+	+	+	+	+
2 Твердотельная электроника	+	+	+	+	+	+	+
3 Физика конденсированного состояния	+	+	+	+	+	+	+
Последующие дисциплины							
1 Методы анализа и контроля наноструктурированнных материалов и систем	+	+	+	+	+	+	+
2 Наноэлектроника	+		+		+	+	+

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.	
ОПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Тест, Отчет по практическому занятию
ПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Тест, Отчет по практическому занятию

Согласована на портале № 33768

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий

Методы	Интерактивные практические занятия, ч	Интерактивные лекции, ч	Всего, ч
4 семестр			
Работа в команде	4		4
Презентации с использованием мультимедиа с обсуждением		4	4
Итого за семестр:	4	4	8
Итого	4	4	8

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 Свойства полупроводников в сильных электрических полях.	Исследование термоэлектрических явлений в полупроводниках	4	ОПК-2, ПК-2
	Итого	4	
5 Неравновесные носители заряда. Основные параметры. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида	Исследование эффекта Пельтье в полупроводниках	4	ОПК-2, ПК-2
	Итого	4	
6 Оптические свойства полупроводниковых материалов. Поглощение света. Люминесценция. Фотопроводимость.	Исследование фотоэлектрических явлений в полупроводниках	4	ОПК-2, ПК-2
	Итого	4	
7 Поверхностные явления в полупроводниках. Эффект поля	Исследование эффекта Холла в полупроводниках	4	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 № 33768

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
4 семестр			
2 Собственные и примесные полупроводниковые материалы. Статистика электронов в примесных полупроводниках. Сильнолегированные полупроводники.	Статистика электронов в собственных полупроводниках	2	ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	
3 Кинетические явления в полупроводниках. Уравнение Больцмана. Диффузионные уравнения. Явления переноса заряда, термомагнитные и гальваномагнитные явления.	Статистика электронов в примесных полупроводниках	2	ОПК-2, ПК-2
	Вырожденные полупроводники	2	
	Примесные полупроводники	2	
	Итого	6	
4 Свойства полупроводников в сильных электрических полях.	Термоэлектрические и гальваномагнитные явления	2	ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	
5 Неравновесные носители заряда. Основные параметры. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида	Неравновесные носители заряда	2	ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	
6 Оптические свойства полупроводниковых материалов. Поглощение света. Люминесценция. Фотопроводимость.	Оптические свойства полупроводников	2	ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	
7 Поверхностные явления в полупроводниках. Эффект поля	Скорость поверхностной рекомбинации	4	ОПК-2, ПК-2
	Итого	4	
Итого за семестр		18	

9. Самостоятельная работа

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

Согласована на портале № 33768

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
4 семестр				
1 Введение, цели и задачи дисциплины	Проработка лекционного материала	1	ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Тест, Экзамен
	Итого	1		
2 Собственные и примесные полупроводниковые материалы. Статистика электронов в примесных полупроводниках. Сильнолегированные полупроводники.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	2		
	Выполнение индивидуальных заданий	3		
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	8		
3 Кинетические явления в полупроводниках. Уравнение Больцмана. Диффузионные уравнения. Явления переноса заряда, термомагнитные и гальваномагнитные явления.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Тест, Экзамен
	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2		
	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2		
	Проработка лекционного материала	2		
	Выполнение индивидуальных заданий	5		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	15		
4 Свойства полупроводников в сильных электрических полях.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	2		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Подготовка к контрольным работам	2		

Согласована на портале № 33768

	Итого	10		
5 Неравновесные носители заряда. Основные параметры. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	2		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	10		
6 Оптические свойства полупроводниковых материалов. Поглощение света. Люминесценция. Фотопроводимость.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	2		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	10		
7 Поверхностные явления в полупроводниках. Эффект поля	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	2		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Выполнение индивидуальных заданий	2		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	12		
Итого за семестр		66		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		102		

10. Курсовая работа (проект)

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	Всего за семестр

Согласована на портале № 33768

			конец семестра	
4 семестр				
Контрольная работа		4	4	8
Отчет по индивидуальному заданию	8		8	16
Отчет по лабораторной работе		10	10	20
Отчет по практическому занятию	6	6	6	18
Тест	4		4	8
Итого максимум за период	18	20	32	70
Экзамен				30
Нарастающим итогом	18	38	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	
	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. 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.)

Согласована на портале № 33768

12.2. Дополнительная литература

1. Смирнов С.В. Физика твердого тела : учебное пособие / С. В. Смирнов ; Министерство образования Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томский межвузовский центр дистанционного образования. - Томск : Издательство научно-технической литературы, 2003. - 273 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 24 экз.)
2. Физика твердого тела : Учебное пособие для втузов / С. М. Кокин [и др.] ; ред. И. К. Верещагин. - 2-е изд., испр. - М. : Высшая школа, 2001. - 238 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 14 экз.)
3. 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 - 59 экз.)

12.3. Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. 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 радиоэлектроники, 2011. – 35 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks %20disciplin/Smirnov/FKS_FP_pract.pdf (дата обращения: 23.06.2018).
2. Физика полупроводников: Учебно-методическое пособие по лабораторным работам для студентов направлений подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника», 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника», профиль «Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике» / Саврук Е. В., Каранский В. В., Смирнов С. В. - 2016. 37 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/6278 (дата обращения: 23.06.2018).

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. «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]: информационная система. – Режим доступа: http://window.edu.ru/
2. «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – Режим доступа: http://elibrary.ru
3. «Научно-образовательный портал ТУСУР» [Электронный ресурс]: научно-образовательный портал университета. – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/

Согласована на портале № 33768

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

Учебная аудитория

учебная аудитория для проведения занятий практического 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, 222 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение не требуется.

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», «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:

- PDF-XChange Viewer
- PTC Mathcad13, 14
- Windows XP

Согласована на портале № 33768

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 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. Длина свободного пробега зависит от энергии по степенному, закону, при рассеивании на акустических фононах, эта степень принимает значение:

а) 1;
б) -1;
в) 0;
г) 1/2.

2. Теплопроводность, обусловленная переносом тепла за счет тепловых колебаний атомов

Согласована на портале № 33768

кристаллической решетки, называется…

а) фононная;

б) биполярная;

в) фотонная;

г) экситонная.

3. Теплопроводность за счет переноса тепла излучением называется….

а) фононная;

б) биполярная;

в) фотонная;

г) экситонная.

4. Эффект, связанный со сложной зонной структурой в полупроводниках и возможностью межзонного или междолинного рассеяния, называется…

а) эффектом Зинера;

б) эффектом Ганна;

в) ударной ионизацией;

г) эффектом Холла.

5. Эффект Ганна наблюдается в таких полях, при которых дрейфовая скорость …

а) становится сравнимой с тепловой скоростью;

б) много больше тепловой скорости;

в) много меньше тепловой скорости;

г) становится сравнимой с фазовой скоростью;

6. При каком условии носители заряда не находятся в тепловом равновесии с решеткой?

а) когда электронная температура сравнима с температурой кристалла;

б) когда электронная температура много меньше температуры кристалла;

в) когда электронная температура много больше температуры кристалла;

г) электронная температура не влияет.

7. Впервые свой эффект Ганна наблюдал в…

а) фосфиде индия;

б) фосфиде галлия;

в) кремнии;

г) арсениде галлия.

8. При увеличении напряженности поля наступает пробой в том случае, если…

а) генерация компенсируется рекомбинацией;

б) генерация не компенсируется рекомбинацией;

в) рекомбинация компенсируется генерацией;

г) рекомбинация не компенсируется генерацией.

9. Уменьшение энергии ионизации донора увеличивает вероятность термического возбуждения согласно статистике…

а) Бозе-Эйнштейна;

б) Ферми-Дирака;

в) Максвелла-Больцмана;

г) Больцмана.

10. При электростатической ионизации концентрация оказывается…

а) линейной функцией;

б) логарифмической функцией;

в) параболической функцией;

г) экспоненциальной функцией.

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…

а) примесной рекомбинацией;

б) рекомбинацией через локальные состояния;

в) межпримесной рекомбинацией;

г) экситонной рекомбинацией.

Согласована на портале № 33768

12. В межзонной излучательной рекомбинации могут участвовать…

а) только фотоны;

б) только фотоны и электроны;

в) только электроны и дырки;

г) только фотоны и дырки.

13. Для характеристики рекомбинационных процессов в полупроводнике вводится понятие…

а) время жизни неосновных носителей заряда;

б) время жизни основных носителей заряда;

в) концентрации неосновных носителей заряда;

г) концентрации основных носителей заряда

14. Модель, в которой описано выявление зависимости времени жизни электронно-дырочных пар от положения уровня Ферми, носит название…

а) Холла-Шокли-Рида;

б) Больцмана;

в) Оже;

г) Бозе-Эйнштейна.

15. Поглощение света полупроводником, связанное с возбуждением колебаний кристаллической решетки, называют … поглощением.

а) решеточным;

б) примесным;

в) собственным;

г) экситонным.

16. В слабых полях зависимость плотности тока от приложенного поля…

а) параболическая;

б) кубическая;

в) линейная;

г) гиперболическая.

17. Какие эффекты сильного поля приводят к изменению подвижности носителей заряда?

а) эффект Ганна и ударная ионизация;

б) эффект Ганна и эффект разогрева электронно-дырочного газа;

в) ударная ионизация и эффект Зинера;

г) электростатическая ионизация и эффект Зинера.

18. Какой процесс рекомбинации описывает теория Холла – Шокли – Рида?

а) межзонную излучательную;

б) межзонную безызлучательную;

в) рекомбинацию через ловушки;

г) 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 …

а) Холла-Шокли-Рида;

б) Борна-Кармана;

в) Тамма;

г) Ферми-Дирака.

20. Коэффициент поглощения характеризует интенсивность света:

а) прошедшего через образец;

б) поглощенного в образце с единичной толщиной;

в) поглощенного в образце в единицу времени;

г) вошедшего в образец.

14.1.2. Экзаменационные вопросы

1. Уровень Ферми в примесных полупроводниках и его зависимость от температуры.

2. Уровень Ферми в собственных полупроводниках и его зависимость от температуры.

3. Кинетическое уравнение Больцмана. Физический смысл.

Согласована на портале № 33768

4. Влияние механизма рассеяния носителей на электропроводность полупроводников.
5. Донорные и акцепторные примеси в полупроводниках. Полупроводники n и p типа.
6. Диффузионные уравнения. Соотношения Эйнштейна.

7. Термоэлектрические явления в металлах и полупроводниках.
8. Эффект Зеебека. Физическая сущность. Практическое применение.
9. Гальваномагнитные явления.
10. Эффект Холла в полупроводниках и металлах. Физическая сущность эффекта Холла.
11. Эффекты сильного поля в полупроводниках и диэлектриках.
12. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей.
13. Неравновесные носители заряда в полупроводниках.
14. Уровни Тамма. Влияние поверхностного потенциала на структуру зон.
15. Поверхностный потенциал. Поверхностная проводимость.
16. Условие вырождения. Способы создания вырожденного состояния в полупроводниках.
17. Связь между уровнем легирования и теплопроводностью полупроводников.
18. Основные параметры процесса рекомбинации неравновесных носителей.
19. Поглощение света в полупроводниках. Прямые и непрямые переходы. Правило отбора.
20. Основные параметры процесса рассеяния носителей заряда.
21. Законы рекомбинации при большом и малом уровне инжекции неравновесных носителей.
22. Сильнолегированные полупроводники.
23. Люминесценция в полупроводниках.
24. Компенсация примеси в полупроводниках.
25. Уравнение непрерывности. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей.
26. Основные механизмы поглощения света в полупроводниках.
27. Фотопроводимость.
28. Внешний фотоэффект.
29. Амбиполярная диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда.
30. Нелинейные оптические явления в кристаллах.

14.1.3. Темы контрольных работ

1. Примесные полупроводники

Контрольная работа № 1 (пример задания):

1. Определите смещение уровня EF относительно середины запрещенной зоны для германия

при комнатной температуре для m*n =1,1m; m*p =0,56m. Найдите концентрацию электронов в зоне проводимости германия при 300 К.

2. Определите температуру, соответствующую максимуму положения уровня Ферми в кремнии, если концентрация фосфора равна 10^15см-3. Определите максимум положения уровня Ферми.

3. Найти положение уровня Ферми относительно потолка валентной зоны, если Nan=5 10^16 см-3 при 400К, если ΔEg=0,67 эВ, m*p=0,3m0 и все акцепторы ионизированы.

Тема: Кинетические явления в полупроводниках

Контрольная работа № 2 (пример задания):

1. Имеется германий легированный медью (ΔЕд=0,26 эВ) и концентрацией 10^16 см-3,

найдите время жизни неравновесных носителей заряда (для уровня инжекции Δn =10^14 см-3), если tn

в германии собственной проводимости при 300К равно 150 мкс, а коэффициенты рекомбинации

для легированного и не легированного полупроводника одинаковы.

2. В конкретном эксперименте по циклотронному резонансу B=0,1 Вб/м2 , а максимальное поглощение обнаружено при ν=1,4 10^10 с-1. Найдите эффективную плотность состояний в зоне проводимости.

3. Определите коэффициент поглощения света в металлическом сплаве теплопровод

ность которого равна 200 Вт/мК.

Согласована на портале № 33768

4. Вычислить коэффициент амбиполярной диффузии D для собственного германия, если подвижность m n

= 3800 см^2 /(В/с), а отношение mn / mp =2

14.1.4. Темы индивидуальных заданий

1. Собственные и примесные полупроводники
2. Неравновесные носители заряда

Пример задания:

Дано: пластина кремния с концентрацией примеси фосфор (P) (Nd = 10^16 см-3) и бор (B) (Na = 10^15 см-3).

Рассчитать:

1. Температурную зависимость удельного сопротивления в диапазоне температур от 0 до 500 К;
2. Температурную зависимость уровня Ферми в диапазоне от 0 до 100 К;
3. Температурную зависимость коэффициента Холла в диапазоне от 0 до 150 К;
4. Температурную зависимость дифференциальной термо-ЭДС от 0 до 250 К.

14.1.5. Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам

Статистика электронов в собственных полупроводниках
Статистика электронов в примесных полупроводниках
Термоэлектрические и гальваномагнитные явления
Неравновесные носители заряда
Оптические свойства полупроводников
Скорость поверхностной рекомбинации

14.1.6. Темы лабораторных работ

Исследование термоэлектрических явлений в полупроводниках
Исследование эффекта Пельтье в полупроводниках
Исследование фотоэлектрических явлений в полупроводниках
Исследование эффекта Холла в полупроводниках

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-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 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 до-

Согласована на портале № 33768

ступная 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 № 33768