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 УР
_____Сенченко П.В.
«22» _____02_____ 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**
Направленность (профиль) / специализация: **Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Факультет электронной техники (ФЭТ)**
Кафедра: **Кафедра физической электроники (ФЭ)**
Курс: **2**
Семестр: **4**
Учебный план набора 2023 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Виды учебной деятельности	4 семестр	Всего	Единицы
Лекционные занятия	36	36	часов
Практические занятия	18	18	часов
в т.ч. в форме практической подготовки	10	10	часов
Лабораторные занятия	16	16	часов
в т.ч. в форме практической подготовки	16	16	часов
Самостоятельная работа	74	74	часов
Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию)	180	180	часов
	5	5	з.е.

Формы промежуточной аттестация	Семестр
Экзамен	4

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Сенченко П.В.
Должность: Проректор по УР
Дата подписания: 22.02.2023
Уникальный программный ключ:
a1119608-cdff-4455-b54e-5235117c185c

Томск

Согласована на портале № 68951

1. Общие положения

1.1. Цели дисциплины

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

1.2. Задачи дисциплины

1. Приобретение навыков математического описания физических процессов, протекающих в полупроводниках.
2. Приобретение базовых знаний по физике полупроводников, необходимых как для понимания физических процессов и явлений, протекающих в 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.02.05.
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		
-	-	-
Профессиональные компетенции		
ПК-2. Готов проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	ПК-2.1. Знает методы синтеза наноматериалов и компонентов	Знает методы синтеза полупроводниковых материалов
	ПК-2.2. Умеет выбрать и применить метод анализа материалов и компонентов микрои наносистемной техники	Умеет реализовывать на практике эффективный метод анализа полупроводниковых материалов
	ПК-2.3. Владеет основными методиками постановки и проведения экспериментальных исследований	Владеет методиками постановки и проведения экспериментальных исследований по определению параметров и характеристик полупроводниковых материалов

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 5 зачетных единиц, 180 академических часов.
Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 4.1.
Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

Согласована на портале № 68951

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		4 семестр
Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	70	70
Лекционные занятия	36	36
Практические занятия	18	18
Лабораторные занятия	16	16
Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	74	74
Подготовка к контрольной работе	20	20
Подготовка к тестированию	16	16
Написание отчета по практическому занятию (семинару)	22	22
Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	16	16
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость (в часах)	180	180
Общая трудоемкость (в з.е.)	5	5

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
4 семестр						
1 Статистика электронов и дырок в полупроводниках	6	6	-	12	24	ПК-2
2 Рассеяние электронов и дырок в полупроводниках	2	-	-	6	8	ПК-2
3 Кинетические явления в полупроводниках	6	2	12	18	38	ПК-2
4 Неравновесные носители заряда	8	4	-	9	21	ПК-2
5 Поверхностные явления в полупроводниках	2	-	-	2	4	ПК-2
6 Оптические свойства полупроводников	6	2	-	9	17	ПК-2
7 Фотоэлектрические явления в полупроводниках	3	4	4	16	27	ПК-2
8 Люминесценция полупроводников	3	-	-	2	5	ПК-2
Итого за семестр	36	18	16	74	144	
Итого	36	18	16	74	144	

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

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

Согласована на портале № 68951

4 семестр			
1 Статистика электронов и дырок в полупроводниках	Введение, цели и задачи дисциплины. 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.	6	ПК-2
	Итого	6	
2 Рассеяние электронов и дырок в полупроводниках	Механизмы рассеяния электронов и дырок. Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации. Рассеяние на ионах примеси. Рассеяние на тепловых колебаниях решетки.	2	ПК-2
	Итого	2	
3 Кинетические явления в полупроводниках	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.	6	ПК-2
	Итого	6	

Согласована на портале № 68951

4 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.	8	ПК-2
	Итого	8	
5 Поверхностные явления в полупроводниках	Природа поверхностных уровней. Теория слоя пространственного заряда. Эффект поля. Скорость поверхностной рекомбинации. Влияние поверхностной рекомбинации на время жизни носителей заряда в образцах конечных размеров.	2	ПК-2
	Итого	2	
6 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.	6	ПК-2
	Итого	6	

Согласована на портале № 68951

7 Фотоэлектрические явления в полупроводниках	Внутренний фотоэффект. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости. Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации и диффузии носителей заряда. Эффект Дембера. Фотоэлектромагнитный эффект. Внешний фотоэффект.	3	ПК-2
	Итого	3	
8 Люминесценция полупроводников	Типы люминесценции. Мономолекулярное свечение твердых тел. Рекомбинационное излучение полупроводников при фундаментальных переходах. Рекомбинационное излучение при переходах между зоной и примесными уровнями. Релаксация люминесценции полупроводников. Температурное тушение люминесценции полупроводников. Спонтанное и вынужденное излучение атома. Стимулированное излучение полупроводников	3	ПК-2
	Итого	3	
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
4 семестр			
1 Статистика электронов и дырок в полупроводниках	Статистика электронов и дырок в собственных полупроводниках. Параметры полупроводников.	2	ПК-2
	Расчет температур на зонной диаграмме полупроводника.	2	ПК-2
	Расчет и построение температурных зависимостей концентрации, электропроводности и положения уровня Ферми.	2	ПК-2
	Итого	6	
3 Кинетические явления в полупроводниках	Расчет концентрации носителей заряда методом термо-ЭДС, Холла и Зеебека.	2	ПК-2
	Итого	2	
4 Неравновесные носители заряда	Расчет избыточной концентрации неравновесных носителей заряда.	2	ПК-2
	Расчет диффузионного и дрейфового токов неравновесных носителей заряда.	2	ПК-2
	Итого	4	

Согласована на портале № 68951

6 Оптические свойства полупроводников	Расчет оптических коэффициентов полупроводников.	2	ПК-2
	Итого	2	
7 Фотоэлектрические явления в полупроводниках	Расчет ЭДС и напряжения Дембера.	2	ПК-2
	Расчет фотоэлектромагнитного напряжения и тока короткого замыкания.	2	ПК-2
	Итого	4	
Итого за семестр		18	
Итого		18	

5.4. Лабораторные занятия

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Наименование лабораторных работ

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
4 семестр			
3 Кинетические явления в полупроводниках	Измерение концентрации носителей заряда в полупроводниках методом термо-ЭДС.	4	ПК-2
	Измерение концентрации и подвижности носителей заряда методом Холла.	4	ПК-2
	Изучение эффекта Пельтье в полупроводниках.	4	ПК-2
	Итого	12	
7 Фотоэлектрические явления в полупроводниках	Изучение фото-ЭДС в полупроводниках.	4	ПК-2
	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
4 семестр				

Согласована на портале № 68951

1 Статистика электронов и дырок в полупроводниках	Подготовка к контрольной работе	4	ПК-2	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	2	ПК-2	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	6	ПК-2	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Итого	12		
2 Рассеяние электронов и дырок в полупроводниках	Подготовка к контрольной работе	4	ПК-2	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	2	ПК-2	Тестирование
	Итого	6		
3 Кинетические явления в полупроводниках	Подготовка к контрольной работе	4	ПК-2	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	2	ПК-2	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	4	ПК-2	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	8	ПК-2	Лабораторная работа
	Итого	18		
4 Неравновесные носители заряда	Подготовка к контрольной работе	4	ПК-2	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	1	ПК-2	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	4	ПК-2	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Итого	9		
5 Поверхностные явления в полупроводниках	Подготовка к тестированию	2	ПК-2	Тестирование
	Итого	2		
6 Оптические свойства полупроводников	Подготовка к контрольной работе	4	ПК-2	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	1	ПК-2	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	4	ПК-2	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Итого	9		

Согласована на портале № 68951

7 Фотоэлектрические явления в полупроводниках	Подготовка к тестированию	4	ПК-2	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	4	ПК-2	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	8	ПК-2	Лабораторная работа
	Итого	16		
8 Люминесценция полупроводников	Подготовка к тестированию	2	ПК-2	Тестирование
	Итого	2		
Итого за семестр		74		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		110		

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.	
ПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Лабораторная работа, Отчет по практическому занятию (семинару), Тестирование, Экзамен

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
4 семестр				
Контрольная работа	0	5	5	10
Лабораторная работа	0	10	10	20
Тестирование	4	3	3	10
Отчет по практическому занятию (семинару)	15	10	5	30
Экзамен				30
Итого максимум за период	19	28	23	100

Согласована на портале № 68951

Нарастающим итогом	19	47	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. Физика полупроводников [Электронный ресурс] : учебник / К. В. Шалимова. - 4-е изд., стер. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : Лань, 2021. - on-line : рис., схемы. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Предм. указ.: с. 383-387. - ISBN 978-5-8114-0922-8 : Б. ц. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://reader.lanbook.com/book/167840#1.

7.2. Дополнительная литература

1. Смирнов С.В. Физика твердого тела: учебное пособие. – Томск, ТГУ, 2003. – 276 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 24 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 - 58 экз.).

3. Епифанов, Г. И. Физика твердого тела : учебное пособие / Г. И. Епифанов. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 288 с. — ISBN 978-5-8114-1001-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://reader.lanbook.com/book/210671#1.

7.3. Учебно-методические пособия

7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. 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» / Е. В. Саврук, В. В. Каранский, С. В. Смирнов - 2016. 37 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/6278.

Согласована на портале № 68951

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.).

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-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.);

Согласована на портале № 68951

- 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, 209 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;
- 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

Согласована на портале № 68951

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 Статистика электронов и дырок в полупроводниках	ПК-2	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 Рассеяние электронов и дырок в полупроводниках	ПК-2	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

Согласована на портале № 68951

3 Кинетические явления в полупроводниках	ПК-2	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 Неравновесные носители заряда	ПК-2	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
5 Поверхностные явления в полупроводниках	ПК-2	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
6 Оптические свойства полупроводников	ПК-2	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 Фотоэлектрические явления в полупроводниках	ПК-2	Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
		Отчет по практическому занятию (семинару)	Темы практических занятий

Согласована на портале № 68951

8 Люминесценция полупроводников	ПК-2	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

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.

Согласована на портале № 68951

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.
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. 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.
2. Теплопроводность, обусловленная переносом тепла за счет тепловых колебаний атомов кристаллической решетки, называется…
   1. фононная;
   2. электронная (дырочная);
   3. биполярная;
   4. фотонная;
   5. экситонная.
3. Теплопроводность за счет переноса тепла излучением называется….
   1. фононная;
   2. электронная (дырочная);
   3. биполярная;
   4. фотонная;
   5. экситонная.
4. 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.
5. 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;
6. 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.
7. Впервые свой эффект Ганна наблюдал в…
   1. фосфиде индия;
   2. фосфиде галлия;
   3. кремнии;
   4. арсениде галлия.
8. При увеличении напряженности поля наступает пробой в том случае, если…
   1. генерация компенсируется рекомбинацией;
   2. генерация не компенсируется рекомбинацией;
   3. рекомбинация компенсируется генерацией;

Согласована на портале № 68951

4. рекомбинация не компенсируется генерацией.

9. Уменьшение энергии ионизации донора увеличивает вероятность термического возбуждения согласно статистике…
   1. Бозе-Эйнштейна;
   2. Ферми-Дирака;
   3. Максвелла-Больцмана;
   4. Больцмана.
10. При электростатической ионизации концентрация оказывается…
   1. линейной функцией;
   2. логарифмической функцией;
   3. параболической функцией;
   4. 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…
   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;
   3. собственным;
   4. экситонным.
16. В слабых полях зависимость плотности тока от приложенного поля…
   1. параболическая;
   2. кубическая;
   3. линейная;
   4. гиперболическая.
17. 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.
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

Согласована на портале № 68951

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.

9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов

1. Статистика электронов и дырок в собственных, примесных и компенсированных полупроводниках.
2. Температурная зависимость положения уровня Ферми в собственных и примесных полупроводниках.
3. Примесные полупроводники при очень низких температурах.
4. Сильнолегированные полупроводники. Критерий сильного легирования.
5. Механизмы рассеяния электронов и дырок.
6. Кинетическое уравнение Больцмана.
7. Время релаксации.
8. Температурная зависимость подвижности носителей заряда.
9. Гальваномагнитные явления. Эффект Холла.
10. Гальваномагнитные явления. Магниторезистивный эффект.
11. Термоэлектрические явления. Термо-ЭДС.
12. Термоэлектрические явления. Эффект Зеебека.
13. Термоэлектрические явления. Эффект Пельтье.
14. Термоэлектрические явления. Эффект Томсона.
15. Эффекты в сильных электрических полях. Электропроводность в сильном электрическом поле.
16. Эффекты в сильных электрических полях. Разогрев носителей заряда.
17. Эффекты в сильных электрических полях. Эффект Зинера.
18. Эффекты в сильных электрических полях. Эффект Ганна.
19. Эффекты в сильных электрических полях. Эффект Френкеля.
20. Равновесные и неравновесные носители заряда.
21. Биполярная и монополярная оптическая генерация.
22. Максвелловское время релаксации.
23. Механизмы рекомбинации.
24. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида.
25. Температурная зависимость времени жизни носителей заряда.
26. Уравнение непрерывности.
27. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда. Соотношения Эйнштейна.
28. Природа поверхностных уровней.
29. Эффект поля.
30. Влияние поверхностной рекомбинации на время жизни носителей заряда.
31. Оптические коэффициенты.
32. Механизмы поглощения света в полупроводниках.
33. Внутренний и внешний фотоэффект.
34. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости.
35. Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации и диффузии носителей заряда.
36. Эффект Дембера.
37. Фотоэлектромагнитный эффект.
38. Люминесценция. Типы люминесценции.
39. Температурное тушение люминесценции полупроводников.
40. Спонтанное и вынужденное излучение света.

Согласована на портале № 68951

9.1.3. Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ

Пример контрольной работы №1

1. Найти 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.

2. Образец кремния, находящийся в состоянии термодинамического равновесия при 300 К, характеризуется следующими параметрами: удельное сопротивление 5 Ом см, μ_n =1600см^{2}В$^{-1}$с$^{-1}$, μ_p =600 см^{2}В$^{-1}$с$^{-1}$. Определите концентрацию электронов и дырок. Помните, что $np=n_i^2$

3. Определите смещение уровня E_F относительно середины запрещенной зоны для германия при комнатной температуре для $m^*_n=1{,}1m$; $m^*_p=0{,}56m$.

4. Примесный уровень в арсениде галлия истощился при 100 К. Определите тип и концентрацию примеси, если температура T_i в нем равна 200 К.

5. Определить концентрацию носителей и удельное сопротивление кремния, легированного фосфором при 300 К, если $N_д=10^{17}$ см$^{-3}$, а μ_n=500 см^2/Вс.

Пример контрольной работы №2

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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. Статистика электронов и дырок в собственных полупроводниках. Параметры полупроводников.

Согласована на портале № 68951

2. Расчет температур на зонной диаграмме полупроводника.
3. Расчет и построение температурных зависимостей концентрации, электропроводности и положения уровня Ферми.
4. Расчет концентрации носителей заряда методом термо-ЭДС, Холла и Зеебека.
5. Расчет избыточной концентрации неравновесных носителей заряда.
6. Расчет диффузионного и дрейфового токов неравновесных носителей заряда.
7. Расчет оптических коэффициентов полупроводников.
8. Расчет ЭДС и напряжения Дембера.
9. Расчет фотоэлектромагнитного напряжения и тока короткого замыкания.

9.1.5. Темы лабораторных работ

1. Измерение концентрации носителей заряда в полупроводниках методом термо-ЭДС.
2. Измерение концентрации и подвижности носителей заряда методом Холла.
3. Изучение эффекта Пельтье в полупроводниках.
4. Изучение фото-ЭДС в полупроводниках.

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 9.4.

Таблица 9.4 – 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

Согласована на портале № 68951

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

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 № 68951

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ
протокол № 140 от «31» 1 2023 г.

СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820
Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820
Начальник учебного управления	И.А. Лариошина	Согласовано, c3195437-a02f-4972-a7c6-ab6ee1f21e73

ЭКСПЕРТЫ:

Доцент, каф. ФЭ	В.В. Каранский	Согласовано, c2e55ae8-0332-4ed9-a65a-afbb92539ee8
Заведующий кафедрой, каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820

РАЗРАБОТАНО:

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

Согласована на портале № 68951