МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Физика полупроводников

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки (специальность): **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль): **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, 2016 года и последующих лет.

Распределение рабочего времени

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

Экзамен: 4 семестр

Томск 2016

Согласована на портале № 4532

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 73 от « 8 » 9 2016 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утвержденного 2015-03-12 года, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры «_8__» ___сентября___ 2016_ года, протокол №_73_____.

Разработчики:

профессор кафедры ФЭ	_____	Смирнов С. В.
Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ	_____	Троян П. Е.

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами направления подготовки (специальности).

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

Эксперты:

Председатель методической комиссии кафедры ФЭ	_____	Чистоедова И. А.

Согласована на портале № 4532

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

изучения дисциплины «Физика полупроводников» является 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 следующие дисциплины: Материалы электронной техники, Наноэлектроника, Твердотельная электроника, Физика конденсированного состояния.

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

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 студент 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
Лекции	44	44

Согласована на портале № 4532

Практические занятия	18	18
Лабораторные занятия	16	16
Из них в интерактивной форме	8	8
Самостоятельная работа (всего)	66	66
Подготовка к контрольным работам	12	12
Выполнение индивидуальных заданий	10	10
Оформление отчетов по лабораторным работам	16	16
Проработка лекционного материала	12	12
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	16	16
Всего (без экзамена)	144	144
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость час	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	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
1	Введение, цели и задачи дисциплины	1	0	0	0	1	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
2	Собственные и примесные полупроводниковые материалы. Статистика электронов в примесных полупроводниках. Сильнолегированные полупроводники.	7	2	0	9	18	ОПК-1, 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-1, ОПК-2, ПК-2
4	Свойства полупроводников в сильных электрических полях.	6	2	4	10	22	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
5	Неравновесные носители заряда. Основные параметры. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида	8	2	4	10	24	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
6	Оптические свойства полупроводниковых материалов. Поглощение све-	8	2	4	10	24	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2

Согласована на портале № 4532

	та. Люминесценция. Фотопроводимость.						
7	Поверхностные явления в полупроводниках. Эффект поля	6	4	4	12	26	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	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-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-1, 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-1, 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-1, 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-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	8	

Согласована на портале № 4532

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-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	8	
7 Поверхностные явления в полупроводниках. Эффект поля	Уровни Тамма. Статистика электронов на поверхностных состояниях. Эффект поля. Скорость поверхностной рекомбинации	6	ОПК-1, 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	Наноэлектроника	+		+		+	+	+
3	Твердотельная электроника	+	+	+	+	+	+	+
4	Физика конденсированного состояния	+	+	+	+	+	+	+
Последующие дисциплины								
1	Методы анализа и контроля наноструктурированнных материалов и систем	+	+	+	+	+	+	+

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 и видов занятий, формируемых при изучении дисциплины

	Виды занятий	Формы контроля

Согласована на портале № 4532

Компетенции	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	
ОПК-1	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Выполнение практических заданий, Тест
ОПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Выполнение практических заданий, Тест
ПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Выполнение практических заданий, Тест

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

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

Таблица 6.1 – Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

Методы	Интерактивные практические занятия	Интерактивные лекции	Всего
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. Лабораторный практикум

Содержание лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7. 1 – Содержание лабораторных работ

Названия разделов	Содержание лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
4 семестр			

Согласована на портале № 4532

4 Свойства полупроводников в сильных электрических полях.	Исследование термоэлектрических явлений в полупроводниках	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	4	
5 Неравновесные носители заряда. Основные параметры. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида	Исследование эффекта Пельтье в полупроводниках	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	4	
6 Оптические свойства полупроводниковых материалов. Поглощение света. Люминесценция. Фотопроводимость.	Исследование фотоэлектрических явлений в полупроводниках	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	4	
7 Поверхностные явления в полупроводниках. Эффект поля	Исследование эффекта Холла в полупроводниках	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	4	
Итого за семестр		16	

8. Практические занятия

Содержание практических работ приведено в таблице 8.1.

Таблица 8. 1 – Содержание практических работ

Названия разделов	Содержание практических занятий	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-1, 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-1, 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-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	
5 Неравновесные носители заряда. Основные параметры. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида	Неравновесные носители заряда	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	
6 Оптические свойства полупроводниковых материалов. Поглощение света. Люминесценция. Фотопроводимость.	Оптические свойства полупроводников	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	

Согласована на портале № 4532

7 Поверхностные явления в полупроводниках. Эффект поля	Скорость поверхностной рекомбинации	4	ОПК-1, 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.

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	0	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Тест, Экзамен
	Итого	0		
2 Собственные и примесные полупроводниковые материалы. Статистика электронов в примесных полупроводниках. Сильнолегированные полупроводники.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	2		
	Выполнение индивидуальных заданий	3		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	9		
3 Кинетические явления в полупроводниках. Уравнение Больцмана. Диффузионные уравнения. Явления переноса заряда, термомагнитные и гальваномагнитные явления.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-1, 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	Подготовка к практическим занятиям, семина-	2	ОПК-1, ОПК-2,	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному

Согласована на портале № 4532

сильных электрических полях.	рам		ПК-2	заданию, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	2		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	10		
5 Неравновесные носители заряда. Основные параметры. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-1, 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-1, 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-1, 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 к экзамену	36		Экзамен
Итого		102		

Согласована на портале № 4532

10. Курсовая работа

Не предусмотрено РУП

11. Рейтинговая система для оценки успеваемости студентов

11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Бальные 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		4	4	8
Отчет по индивидуальному заданию	8		8	16
Отчет по лабораторной работе		10	10	20
Выполнение практических заданий	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)

Согласована на портале № 4532

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 - 45 экз.)

12.2. Дополнительная литература

1. Смирнов С.В. Физика твердого тела: учебное пособие. – Томск, ТГУ, 2003. – 276 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 24 экз.)
2. Физика твердого тела. Под редакцией Верещагина И.К. – М.: Высшая школа, 2001. – 238 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 14 экз.)
3. Протасов Ю.С., Чувашев С.Н. Твердотельная электроника. – Изд. МГТУ им. Баумана, 2003. – 189 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 2 экз.)
4. Гуртов В.А., Осауленко Р.Н. Физика твердого тела для инженеров: учебное пособие / ред.: Л.А. Алешина. – М.: Техносфера, 2007. – 518 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 1 экз.)
5. 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-методическое пособие и программное обеспечение

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]. - http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=239
2. Смирнов С.В. Физика твердого тела: Лабораторный практикум для студентов специальностей 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника» и 200600 «Фотоника и оптоинформатика». – Томск: ТУСУР, 2007. – 35 с (наличие в библиотеке ТУСУР - 50 экз.)

12.4. Базы данных, информационно справочные и поисковые системы

1. Образовательный портал в свободном доступе: «Физика, химия, математика студентам и школьникам. Образовательный проект А.Н. Варгина» – Режим доступа: http://www.ph4s.ru/
2. «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]: информационная система. – Режим доступа: http://window.edu.ru/
3. «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – Режим доступа: http://elibrary.ru
4. «Научно-образовательный портал ТУСУР» [Электронный ресурс]: научно-образовательный портал университета. – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Лабораторные работы проводятся в специально оборудованной лаборатории «Физики конденсированного состояния и материалов электронной техники» (ауд. 119, корп. ФЭТ).

Перечень лабораторных макетов:

13.1. Лабораторный макет для исследования термоэлектрических явлений в полупроводниках;

13.2. Лабораторный макет для исследования эффекта Пельтье в полупроводниках;

13.3. Лабораторный макет для исследования фотоэлектрических явлений в полупроводниках;

13.4. Лабораторный макет для исследования эффекта Холла в полупроводниках

14. Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств приведен в приложении 1.

Согласована на портале № 4532

15. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Без рекомендаций.

Приложение 1

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Физика полупроводников

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки (специальность): **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль): **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, 2016 года и последующих лет.

Разработчики:

- профессор кафедры ФЭ Смирнов С. В.

Экзамен: 4 семестр

Томск 2016

Согласована на портале № 4532

1. Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины (практики) и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов (типовые задачи (задания), контрольные работы, тесты и др.) и методов их использования, предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения.

ФОС по дисциплине (практике) используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной (практикой) компетенций приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенций
ОПК-1	способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики	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; Должен уметь выбирать материал с оптимальными свойствами для реализации задач электроники; производить расчеты параметров и характеристик материала; Должен владеть методами исследования полупроводниковых материалов и методикой оценки результатов измерений;
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	

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенций на всех этапах приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенций по этапам

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	Обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем	Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы
Хорошо (базовый уровень)	Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования	Берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем
Удовлетворительно (пороговый уровень)	Обладает базовыми общими знаниями	Обладает основными умениями, требуемыми для выполнения простых задач	Работает при прямом наблюдении

2 Реализация компетенций

2.1 Компетенция ОПК-1

ОПК-1: способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную

Согласована на портале № 4532

картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	современные достижения в области физики полупроводников; основные закономерности формирования конденсированного состояния; физико-химические основы взаимодействия между основными материалами электронной техники	выбирать материал с оптимальными свойствами для реализации задач электроники	навыками комплексного подхода к выбору оптимальных свойств полупроводникового материала
Виды занятий	• Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лекции; • Практические занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Подготовка к экзамену;	• Интерактивные практические занятия; • Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Самостоятельная работа; • Подготовка к экзамену;	• Интерактивные практические занятия; • Лабораторные занятия; • Самостоятельная работа;
Используемые средства оценивания	• Контрольная работа; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • Выполнение практических заданий; • Тест;	• Контрольная работа; • Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • Выполнение практических заданий; • Тест;	• Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • Выполнение практических заданий;

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	• современные достижения в области физики полупроводников; • основные закономерности формирования конденсированного состояния; • физико-химические основы взаимодействия	• обладает диапазоном практических умений для сравнения и выбора материалов в соответствии с заданными свойствами;	• навыками комплексного подхода к выбору оптимальных свойств полупроводникового материала;

Согласована на портале № 4532

	между основными материалами электронной техники;		
Хорошо (базовый уровень)	• основные типы полупроводников, их свойства и назначение; • имеет представление о физических явлениях и процессах в полупроводниках;	• обоснованно выбирать материал с оптимальными свойствами для реализации задач электроники и наноэлектроники;	• навыками комплексного подхода к выбору оптимальных свойств полупроводникового материала;
Удовлетворительно (пороговый уровень)	• имеет представление об основных типах полупроводников, их свойствах и назначени; • дает определения основных понятий;	• решать типовые задачи выбора материала с заданными свойствами;	• терминологией в предметной области знаний;

2.2 Компетенция ОПК-2

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

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	основные характеристики полупроводниковых материалов и их связь со структурой и составом	использовать физико-математический аппарат для расчета электрофизических и оптических характеристик материала	методами расчета электрофизических, тепловых, оптических параметров полупроводниковых материалов электронной техники
Виды занятий	• Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лекции; • Практические занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Подготовка к экзамену;	• Интерактивные практические занятия; • Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Самостоятельная работа; • Подготовка к экзамену;	• Интерактивные практические занятия; • Лабораторные занятия; • Самостоятельная работа;
Используемые средства оценивания	• Контрольная работа; • Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • Выполнение практических за-	• Контрольная работа; • Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • Выполнение практических за-	• Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • Выполнение практических заданий;

Согласована на портале № 4532

	даний; • Тест;	даний; • Тест;	

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	• основные электрофизические, оптические, тепловые характеристики полупроводниковых материалов; • аргументирует выбор метода решения задачи;	• применять физико-математический аппарат для расчета электрофизических, тепловых и оптических характеристик полупроводникового материала;	• свободно владеет различными методами расчета электрофизических, тепловых, оптических параметров полупроводниковых материалов;
Хорошо (базовый уровень)	• основные электрофизические, оптические, тепловые характеристики полупроводниковых материалов; • составляет план решения задачи;	• оценивать и рассчитывать основные характеристики полупроводниковых материалов;	• применяет известные методы решения задач в незнакомых ситуациях;
Удовлетворительно (пороговый уровень)	• основные физические свойства полупроводниковых материалов; • дает определения основных параметров; • основные методы решения типовых задач;	• пользоваться основными формулами для оценивания электрофизических параметров полупроводников;	• способен применять методы расчета основных параметров полупроводниковых материалов;

2.3 Компетенция ПК-2

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.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	параметры полупроводниковых материалов и особенности их измерения	корректно выбирать метод исследования отдельных параметров полупроводниковых материалов, используемых в электронной технике	практическими навыками планирования эксперимента и методикой оценки результатов измерений
Виды занятий	• Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лекции; • Практические занятия; • Лекции; • Самостоятельная ра-	• Интерактивные практические занятия; • Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Самостоятельная работа;	• Интерактивные практические занятия; • Лабораторные занятия; • Самостоятельная работа;

Согласована на портале № 4532

	бота; • Подготовка к экзамену;	• Подготовка к экзамену;	
Используемые средства оценивания	• Контрольная работа; • Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • Выполнение практических заданий; • Тест;	• Контрольная работа; • Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • Выполнение практических заданий; • Тест;	• Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • Выполнение практических заданий;

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 8.

Таблица 8 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	• физические принципы основных экспериментальных методов исследования полупроводниковых материалов, используемых в физике и технологии микро- и наноэлектроники; • основные параметры полупроводниковых материалов; • методы исследования параметров полупроводниковых материалов;	• Обладает диапазоном практических умений, требуемых для сравнения и выбора методов исследования параметров и свойств полупроводниковых материалов;; • объяснить и интерпретировать полученные экспериментальные результаты; • умеет проводить измерения параметров полупроводников;	• практическими навыками планирования эксперимента и методикой оценки результатов измерений;
Хорошо (базовый уровень)	• основные параметры и свойства полупроводниковых материало; • физические принципы основных методов исследования параметров и свойств полупроводниковых материалов; • методы исследования параметров полупроводниковых материалов;	• выбирать методы исследования основных параметров полупроводниковых материалов; • объяснить и интерпретировать полученные экспериментальные результаты; • умеет проводить измерения параметров полупроводников;	• практическими навыками планирования и проведения эксперимента; владеет основными приемами обработки и представления экспериментальных данных;
Удовлетворительно (пороговый уровень)	• Имеет представление о методах исследования параметров полупроводников;	• работать со справочной литературой; • умеет проводить измерения параметров полупроводников;	• навыками оценки результатов измерений; • работает с оборудованием в стандартных ситуациях;

Согласована на портале № 4532

3 Типовые контрольные задания

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в следующем составе.

3.1 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. 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.

3.2 Темы лабораторных работ

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

3.3 Темы контрольных работ

1. Тема: Примесные полупроводники

Контрольная работа № 1 (пример задания):

1. Определите смещение уровня E_F 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^{15}см$^{-3}$. Определите максимум положения уровня Ферми.

3. Найти положение уровня Ферми относительно потолка валентной зоны, если $N_a = 5\ 10^{16}$ см$^{-3}$ при 400К, если $\Delta E_g = 0{,}67$ эВ, $m^*_p = 0{,}3m_0$ и все акцепторы ионизированы.

2. Тема: Кинетические явления в полупроводниках

Контрольная работа № 2 (пример задания):

1. Имеется германий легированный медью ($\Delta E_д = 0{,}26$ эВ) и концентрацией 10^{16}см$^{-3}$, найдите время жизни неравновесных носителей заряда (для уровня инжекции $\Delta n = 10^{14}$см$^{-3}$), если τ_n в германии собственной проводимости при 300К равно 150 мкс, а коэффициенты ре-

Согласована на портале № 4532

комбинации для легированного и не легированного полупроводника одинаковы.

2. В конкретном эксперименте по циклотронному резонансу B=0,1 Вб/м^2, 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 теплопроводность которого равна 200 Вт/мК.

4. Вычислить коэффициент амбиполярной диффузии D для собственного германия, если подвижность μ_n = 3800 см^2/(В/с), а отношение μ_n / μ_p=2.

3.4 Темы индивидуальных заданий

1. Собственные и примесные полупроводники
2. Неравновесные носители заряда

Пример задания:

Дано: пластина *кремния* с концентрацией примеси *фосфор (P)* ($N_d = 10^{16}$ см$^{-3}$) и *бор (B)* ($N_a = 10^{15}$ 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.

3.5 Тестовые задания

Пример тестового задания:

1. К какой зоне приближается уровень Ферми в собственном полупроводнике при повышении температуры:

а)к зоне проводимости; б)к зоне валентности;

в)к зоне, где эффективная плотность состояний ниже;

г) к зоне, где эффективная плотность состояний вьше; д) к середине запрещенной зоны.

.

2. Какой формулой определяется собственная концентрация носителей в собственном полупроводнике?

а) $n_i = N_c \exp[(E_c - E_F)/kT]$; б) $n_i = N_c N_v \exp[(E_c - E_F)/kT]$;

в) $n_i = \sqrt{(N_c N_v)} \exp[-\Delta E_g/2kT]$; г) $n_i = \sqrt{N_c} \exp[-\Delta E_g/kT]$.

3. Что такое уровни Тамма:

а)локализованные состояния в запрещенной зоне, возникающие при обрыве периодичности кристаллического потенциала;

б) локализованные состояния в запрещенной зоне, возникающие при адсорбции на поверхности заряженных частиц;

в) локализованные состояния в запрещенной зоне, возникающие в результате изгиба энергетических зон;

г) локализованные поверхности кристалла молекулы.

4. Где расположен уровень Ферми в вырожденном полупроводнике р-типа.

а) в валентной зоне; б) посредине запрещенной зоны;

в) в зоне проводимости; д) на 5 кТ выше дна зоны проводимости.;

г) совпадает с акцепторным уровнем.

4 Методические материалы

Для обеспечения процесса обучения и решения задач обучения используются следующие материалы:

– методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навы-

Согласована на портале № 4532

ков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, согласно п. 12 рабочей программы.

4.1. 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 - 45 экз.)

4.2. Дополнительная литература

1. Смирнов С.В. Физика твердого тела: учебное пособие. – Томск, ТГУ, 2003. – 276 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 24 экз.)
2. Физика твердого тела. Под редакцией Верещагина И.К. – М.: Высшая школа, 2001. – 238 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 14 экз.)
3. Протасов Ю.С., Чувашев С.Н. Твердотельная электроника. – Изд. МГТУ им. Баумана, 2003. – 189 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 2 экз.)
4. Гуртов В.А., Осауленко Р.Н. Физика твердого тела для инженеров: учебное пособие / ред.: Л.А. Алешина. – М.: Техносфера, 2007. – 518 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 1 экз.)
5. 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.)

4.3. Учебно-методическое пособие и программное обеспечение

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]. - http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=239
2. Смирнов С.В. Физика твердого тела: Лабораторный практикум для студентов специальностей 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника» и 200600 «Фотоника и оптоинформатика». – Томск: ТУСУР, 2007. – 35 с (наличие в библиотеке ТУСУР - 50 экз.)

4.4. Базы данных, информационно справочные и поисковые системы

1. Образовательный портал в свободном доступе: «Физика, химия, математика студентам и школьникам. Образовательный проект А.Н. Варгина» – Режим доступа: http://www.ph4s.ru/
2. «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]: информационная система. – Режим доступа: http://window.edu.ru/
3. «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – Режим доступа: http://elibrary.ru
4. «Научно-образовательный портал ТУСУР» [Электронный ресурс]: научно-образовательный портал университета. – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/

Согласована на портале № 4532