

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

Документ подписан электронной подписью

Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820

Владелец: Троян Павел Ефимович

Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

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: **3**

Семестр: **5**

Учебный план набора 2013 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	5 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	14	14	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	3.Е

Экзамен: 5 семестр

Томск 2016

## 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 нанoeлектроника, 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.

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели дисциплины

Целью 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;
- ознакомить с методами электрофизических исследований полупроводников.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физика полупроводников» (Б1.В.ОД.7) 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
		5 семестр
Аудиторные занятия (всего)	78	78
Лекции	44	44

Практические занятия	18	18
Лабораторные занятия	16	16
Из них в интерактивной форме	14	14
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

	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
<b>5 семестр</b>			
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	

6 Оптические свойства полупроводниковых материалов. Поглощение света. Люминесценция. Фотопроводимость.	Механизмы поглощения света. Собственное поглощение. Прямые и не прямые 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 за семестр	Итого	6	
		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	Нанoeлектроника	+		+		+	+	+
3	Твердотельная электроника	+	+	+	+	+	+	+
4	Физика конденсированного состояния		+	+	+	+	+	+
Последующие дисциплины								
1	Методы анализа и контроля наноструктурированных 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
--	--------------	----------------

Компетенции	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	
ОПК-1	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Расчетная работа, Тест
ОПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Расчетная работа, Тест
ПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Расчетная работа, 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
Работа в команде	4		4
Презентации с использованием мультимедиа с обсуждением		10	10
Итого	4	10	14

### 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
<b>5 семестр</b>			
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	Исследование эффекта Пельтье в полупроводниках	4	ОПК-1, ОПК-2,

рекомбинации Холла-Шокли-Рида	Итого	4	ПК-2
6 Оптические свойства полупроводниковых материалов. Поглощение света. Люминесценция. Фотопроводимость.	Исследование фотоэлектрических явлений в полупроводниках	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	4	ПК-2
7 Поверхностные явления в полупроводниках. Эффект поля	Исследование эффекта Холла в полупроводниках	4	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2
	Итого	4	ПК-2
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
5 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	
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
5 семестр				
1 Введение, цели и задачи дисциплины	Проработка лекционного материала	0	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Тест, Контрольная работа, 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	Отчет по индивидуальному заданию, Контрольная работа, Экзамен, Тест
	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	Отчет по индивидуальному заданию, Контрольная работа, Экзамен, Тест
	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-1, ОПК-2, ПК-2	Отчет по индивидуальному заданию, Контрольная работа, Экзамен, Тест, Отчет по лабораторной работе
	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	Отчет по индивидуальному заданию, Контрольная работа, Экзамен, Тест, Отчет по лабораторной работе
	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	Отчет по индивидуальному заданию, Контрольная работа, Экзамен, Тест, Отчет по лабораторной работе
	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	Отчет по индивидуальному заданию, Контрольная работа, Экзамен, Тест, Отчет по лабораторной работе
	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		

## 10. Курсовая работа

Не предусмотрено РУП

## 11. Рейтинговая система для оценки успеваемости студентов

### 11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Балльные оценки для элементов контроля

Элементы учебной	Максимальный	Максимальный	Максимальный	Всего за
------------------	--------------	--------------	--------------	----------

деятельности	балл на 1-ую КТ с начала семестра	балл за период между 1КТ и 2КТ	балл за период между 2КТ и на конец семестра	семестр
5 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	E (посредственно)
	60 - 64	
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 нанoeлектроника» 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](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.)
3. Математический пакет MathCad или Mathematica
4. Офисные программы Microsoft Office или Open Office

## 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.

## 15. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Без рекомендаций.

**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: **3**

Семестр: **5**

Учебный план набора 2013 года

Разработчики:

– профессор кафедры ФЭ Смирнов С. В.

Экзамен: 5 семестр

Томск 2016

## 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 нанoeлектроники 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

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	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Интерактивные практические занятия;</li> <li>• Интерактивные лекции;</li> <li>• Практические занятия;</li> <li>• Лекции;</li> <li>• Самостоятельная работа;</li> <li>• Подготовка к экзамену;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Интерактивные практические занятия;</li> <li>• Практические занятия;</li> <li>• Лабораторные занятия;</li> <li>• Самостоятельная работа;</li> <li>• Подготовка к экзамену;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Интерактивные практические занятия;</li> <li>• Лабораторные занятия;</li> <li>• Самостоятельная работа;</li> </ul>
Используемые средства оценивания	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Контрольная работа;</li> <li>• Отчет по индивидуальному заданию;</li> <li>• Экзамен;</li> <li>• Выполнение практических заданий;</li> <li>• Тест;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Контрольная работа;</li> <li>• Отчет по лабораторной работе;</li> <li>• Отчет по индивидуальному заданию;</li> <li>• Экзамен;</li> <li>• Выполнение практических заданий;</li> <li>• Тест;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Отчет по лабораторной работе;</li> <li>• Отчет по индивидуальному заданию;</li> <li>• Экзамен;</li> <li>• Выполнение практических заданий;</li> </ul>

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)	<i>знает</i> современные достижения в области физики полупроводников; <i>знает</i> основные закономерности формирования конденсированного состояния; <i>знает</i> физико-химические основы взаимодей-	<i>обладает</i> диапазоном практических умений для сравнения и выбора материалов в соответствии с заданными свойствами	<i>владеет</i> навыками комплексного подхода к выбору оптимальных свойств полупроводникового материала

	ствия между основными материалами электронной техники		
Хорошо (базовый уровень)	<i>Знает</i> основные типы полупроводников, их свойства и назначение; <i>имеет</i> представление о физических явлениях и процессах в полупроводниках	<i>умеет обоснованно выбирать</i> материал с оптимальными свойствами для реализации задач электроники и наноэлектроники	<i>владеет</i> навыками комплексного подхода к выбору оптимальных свойств полупроводникового материала
Удовлетворительно (пороговый уровень)	<i>Дает</i> определения основных понятий; <i>имеет</i> представление об основных типах полупроводников, их свойствах и назначении	<i>умеет</i> решать типовые задачи выбора материала с заданными свойствами	<i>владеет</i> 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	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Интерактивные практические занятия;</li> <li>• Интерактивные лекции;</li> <li>• Практические занятия;</li> <li>• Лекции;</li> <li>• Самостоятельная работа;</li> <li>• Подготовка к экзамену;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Интерактивные практические занятия;</li> <li>• Практические занятия;</li> <li>• Лабораторные занятия;</li> <li>• Самостоятельная работа;</li> <li>• Подготовка к экзамену;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Лабораторные занятия;</li> <li>• Практические занятия</li> </ul>
Используемые средства оценивания	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Контрольная работа;</li> <li>• Отчет по индивидуальному заданию;</li> <li>• Экзамен;</li> <li>• Выполнение практических заданий;</li> <li>• Тест;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Контрольная работа;</li> <li>• Отчет по лабораторной работе;</li> <li>• Отчет по индивидуальному заданию;</li> <li>• Экзамен;</li> <li>• Выполнение практических заданий;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Отчет по лабораторной работе;</li> <li>• Выполнение практических заданий;</li> <li>• Экзамен;</li> </ul>



		• 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)	<i>Знает</i> основные электрофизические, оптические, тепловые характеристики полупроводниковых материалов; <i>аргументирует</i> выбор метода решения задачи	<i>умеет</i> применять физико-математический аппарат для расчета электрофизических, тепловых и оптических характеристик полупроводникового материала	<i>свободно</i> владеет различными методами расчета электрофизических, тепловых, оптических параметров полупроводниковых материалов
Хорошо (базовый уровень)	<i>Знает</i> основные электрофизические, оптические, тепловые характеристики полупроводниковых материалов; <i>составляет</i> план решения задачи	<i>умеет</i> оценивать и рассчитывать основные характеристики полупроводниковых материалов;	<i>применяет</i> известные методы решения задач в незнакомых ситуациях;
Удовлетворительно (пороговый уровень)	<i>знает</i> основные физические свойства полупроводниковых материалов; <i>дает</i> определения основных параметров; <i>знает</i> основные методы решения типовых задач	<i>умеет</i> пользоваться основными формулами для оценивания электрофизических параметров полупроводников	<i>способен</i> 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 нанoeлектроники 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	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Интерактивные практические занятия;</li> <li>• Интерактивные лекции;</li> <li>• Практические занятия</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Интерактивные практические занятия;</li> <li>• Практические занятия;</li> <li>• Лабораторные занятия</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Лабораторные занятия;</li> </ul>

	тия; <ul style="list-style-type: none"> <li>• Лекции;</li> <li>• Самостоятельная работа;</li> <li>• Подготовка к экзамену;</li> </ul>	тия; <ul style="list-style-type: none"> <li>• Самостоятельная работа;</li> <li>• Подготовка к экзамену;</li> </ul>	
Используемые средства оценивания	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Контрольная работа;</li> <li>• Выполнение практических заданий;</li> <li>• Отчет по индивидуальному заданию;</li> <li>• Экзамен;</li> <li>• Тест</li> <li>• Конспект самостоятельной работы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Контрольная работа;</li> <li>• Выполнение практических заданий;</li> <li>• Отчет по лабораторной работе;</li> <li>• Отчет по индивидуальному заданию;</li> <li>• Экзамен;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Отчет по лабораторной работе;</li> <li>• Экзамен;</li> </ul>

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)	<i>Знает</i> основные параметры полупроводниковых материалов; <i>Знает</i> методы исследования параметров полупроводниковых материалов; <i>Знает</i> физические принципы основных экспериментальных методов исследования полупроводниковых материалов, используемых в физике и технологии микро- и наноэлектроники	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для сравнения и выбора методов исследования параметров и свойств полупроводниковых материалов; Умеет проводить измерения параметров полупроводников; Умеет объяснить и интерпретировать полученные экспериментальные результаты	практическими навыками планирования эксперимента и методикой оценки результатов измерений
Хорошо (базовый уровень)	<i>Знает</i> основные параметры и свойства полупроводниковых материалов; <i>Знает</i> физические принципы основных методов исследования параметров и свойств полупроводниковых материалов; <i>Знает</i> методы исследования параметров полупроводниковых материалов;	Умеет выбирать методы исследования основных параметров полупроводниковых материалов; умеет проводить измерения параметров полупроводников; Умеет объяснить и интерпретировать полученные экспериментальные результаты	практическими навыками планирования и проведения эксперимента; владеет основными приемами обработки и представления экспериментальных данных

Удовлетворительн о (пороговый уровень)	Имеет представление о методах исследования параметров полупроводников	Умеет работать со справочной литературой; умеет проводить измерения параметров полупроводников;	навыками оценки результатов измерений; работает с оборудованием в стандартных ситуациях
--	--	--	---

### 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. Гальваномангнитные 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 не прямые 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  $10^{15} \text{см}^{-3}$ . Определите максимум положения уровня Ферми.

3. Найти положение уровня Ферми относительно потолка валентной зоны, если  $N_a = 5$

$10^{16} \text{ см}^{-3}$  при 400К, если  $\Delta E_g = 0,67 \text{ эВ}$ ,  $m_p^* = 0,3m_0$  и все акцепторы ионизированы.

2. Тема: Кинетические явления в полупроводниках

Контрольная работа № 2 (пример задания):

1. Имеется германий легированный медью ( $\Delta E_d = 0,26 \text{ эВ}$ ) и концентрацией  $10^{16} \text{ см}^{-3}$ , найдите время жизни неравновесных носителей заряда (для уровня инжекции  $\Delta n = 10^{14} \text{ см}^{-3}$ ), если  $\tau_n$  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  $V = 0,1 \text{ Вб/м}^2$ , а максимальное поглощение обнаружено при  $\nu = 1,4 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$ . Найдите эффективную плотность состояний в зоне проводимости.

3. Определите коэффициент поглощения света в металлическом сплаве теплопроводность которого равна  $200 \text{ Вт/мК}$ .

4. Вычислить коэффициент амбиполярной диффузии  $D$  для собственного германия, если подвижность  $\mu_n = 3800 \text{ см}^2/(\text{В/с})$ , а отношение  $\mu_n / \mu_p = 2$ .

### 3.4 Темы индивидуальных заданий

1. Собственные и примесные полупроводники

2. Неравновесные носители заряда

Пример задания:

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

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 выше; 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 p-типа.

- а) в валентной зоне;                      б) посередине 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, навыков 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 нанoeлектроника» 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](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.)

3. Математический пакет MathCad или Mathematica

4. Офисные программы Microsoft Office или Open Office

##### **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/>