

**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): **28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**

Направленность (профиль): **Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике**

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    | 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 | 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

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, утвержденного 2015-03-06 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

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: Материаловедение наноструктурированных материалов, Наноэлектроника, Твердотельная электроника, Физика конденсированного состояния, Физические основы микро- и наноэлектроники, Элементы и приборы наноэлектроники.

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-9 готовностью использовать базовое контрольно-измерительное оборудование для метрологического обеспечения исследований и промышленного производства материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;

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 технологической подготовки образцов для проведения исследований и измерения основных параметров; методами обработки 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  |
| 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<br>(без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---|--------|----------------------|---------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 1 | Введение, цели и задачи дисциплины  | 1      | 0                    | 0                   | 0                      | 1                             | ОПК-1,<br>ОПК-2         |
| 2 | Собственные и примесные полупроводниковые материалы. Статистика электронов в примесных полупроводниках. Сильнолегированные полупроводники.                | 7      | 2                    | 0                   | 9                      | 18                            | ОПК-1,<br>ОПК-2         |
| 3 | Кинетические явления в полупроводниках. Уравнение Больцмана. Диффузионные уравнения. Явления переноса заряда, термомагнитные и гальваномагнитные явления. | 8      | 6                    | 0                   | 15                     | 29                            | ОПК-1,<br>ОПК-2, ПК-9   |
| 4 | Свойства полупроводников в сильных электрических полях.   | 6      | 2                    | 4                   | 10                     | 22                            | ОПК-1,<br>ОПК-2, ПК-9   |
| 5 | Неравновесные носители заряда. Основные параметры. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида   | 8      | 2                    | 4                   | 10                     | 24                            | ОПК-1,<br>ОПК-2, ПК-9   |
| 6 | Оптические свойства полупроводни-   | 8      | 2                    | 4                   | 10                     | 24                            | ОПК-1,                  |

|   |  |    |    |    |    |     |                       |
|---|--|----|----|----|----|-----|-----------------------|
|   | ковых материалов. Поглощение света. Люминесценция. Фотопроводимость. |    |    |    |    |     | ОПК-2, ПК-9           |
| 7 | Поверхностные явления в полупроводниках. Эффект поля                 | 6  | 4  | 4  | 12 | 26  | ОПК-1,<br>ОПК-2, ПК-9 |
|   | 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>4 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,<br>ОПК-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,<br>ОПК-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,<br>ОПК-2,<br>ПК-9 |
|   | 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,<br>ОПК-2,<br>ПК-9 |
|   | 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,<br>ОПК-2,<br>ПК-9 |

|  |   |    |                    |
|--|---|----|--------------------|
|  | 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-9 |
|  | 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, ПК-9 |
|  | 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                         | Материаловедение наноструктурированных материалов                   | +   | + | + | + | + | + | + |
| 2                         | Нанoeлектроника   |   | + | + |   | + | + | + |
| 3                         | Твердотельная электроника   |   | + | + | + | + | + | + |
| 4                         | Физика конденсированного состояния                                  | +   | + | + | + | + | + | + |
| 5                         | Физические основы микро- и нанoeлектроники                          |   | + | + | + | + | + | + |
| 6                         | Элементы и приборы нанoeлектроники                                  |   | + | + | + | + | + | + |
| 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, выполнение практических заданий, Тест |
| ОПК-2       | +      | +                    | +                    | +                      | Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, выполнение практических заданий, Тест |
| ПК-9        | +      | +                    | +                    | +                      | 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         |                               |                 |                         |

|   |   |    |                          |
|---|---|----|--------------------------|
| 4 Свойства полупроводников в сильных электрических полях.                                 | Исследование термоэлектрических явлений в полупроводниках | 4  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ПК-9 |
|   | Итого   | 4  |                          |
| 5 Неравновесные носители заряда. Основные параметры. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида | Исследование эффекта Пельтье в полупроводниках            | 4  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ПК-9 |
|   | Итого   | 4  |                          |
| 6 Оптические свойства полупроводниковых материалов. Поглощение света.                     | Исследование фотоэлектрических явлений в полупроводниках  | 4  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ПК-9 |
|   | Итого   | 4  |                          |
| 7 Поверхностные явления в полупроводниках. Эффект поля                                    | Исследование эффекта Холла в полупроводниках              | 4  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ПК-9 |
|   | 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,<br>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,<br>ОПК-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,<br>ОПК-2          |
|   | Вырожденные полупроводники                          | 2                  |                          |
|   | Примесные полупроводники                            | 2                  |                          |
|   | Итого   | 6                  |                          |
| 4 Свойства полупроводников в сильных электрических полях.   | Термоэлектрические и гальваномагнитные явления      | 2                  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ПК-9 |
|   | Итого   | 2                  |                          |
| 5 Неравновесные носители заряда. Основные параметры. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида   | Неравновесные носители заряда                       | 2                  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ПК-9 |
|   | Итого   | 2                  |                          |
| 6 Оптические свойства полупроводниковых материалов. Поглощение света. Люминесценция. Фотопроводимость.  | Оптические свойства полупроводников                 | 2                  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ПК-9 |
|   | Итого   | 2                  |                          |

|  |                                     |    |                          |
|--|-------------------------------------|----|--------------------------|
| 7 Поверхностные явления в полупроводниках. Эффект поля | Скорость поверхностной рекомбинации | 4  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ПК-9 |
|  | 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<br>ч | Формируемые<br>компетенции | Формы контроля  |
|---|---|-------------------|----------------------------|---|
| 4 семестр   |   |                   |                            |   |
| 1 Введение, цели и задачи дисциплины  | Проработка лекционного материала              | 0                 | ОПК-1,<br>ОПК-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,<br>ОПК-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,<br>ОПК-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, семинарам | 2                 | ОПК-1,<br>ОПК-2,           | Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию                |

|  |   |     |                    |   |
|--|---|-----|--------------------|---|
| сильных электрических полях.   | рам   |     | ПК-9               | 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-9 | 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-9 | 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-9 | 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 |                    |   |

## 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 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) |
| 65 - 69                         |  |                       |
| 3 (удовлетворительно) (зачтено) | 60 - 64  | E (посредственно)     |

|                                      |                |                         |
|--------------------------------------|----------------|-------------------------|
| 2 (неудовлетворительно) (не зачтено) | Ниже 60 баллов | F (неудовлетворительно) |
|--------------------------------------|----------------|-------------------------|

## 12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 12.1. Основная литература

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

**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): **28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**

Направленность (профиль): **Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике**

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

## 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;<br>Должен уметь выбирать материал с оптимальными свойствами для реализации задач электроники; производить расчеты параметров и характеристик материала;<br>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-9  | готовностью использовать базовое контрольно-измерительное оборудование для метрологического обеспечения исследований и промышленного производства материалов и компонентов нано- и микросистемной техники |   |

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 ма-

тематики.

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 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>• 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) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• современные достижения в области физики полупроводников;</li> <li>• основные закономерности формирования конденсированного состояния;</li> <li>• физико-химические основы взаимодействия между основными мате-</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• обладает диапазоном практических умений для сравнения и выбора материалов в соответствии с заданными свойствами;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками комплексного подхода к выбору оптимальных свойств полупроводникового материала;</li> </ul> |

|                                       |  |  |  |
|---------------------------------------|--|--|--|
|                                       | риалами электронной техники;   |  |  |
| Хорошо (базовый уровень)              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные типы полупроводников, их свойства и назначение;</li> <li>• имеет представление о физических явлениях и процессах в полупроводниках;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• обоснованно выбрать материал с оптимальными свойствами для реализации задач электроники и нанoeлектроники;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками комплексного подхода к выбору оптимальных свойств полупроводникового материала;</li> </ul> |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• имеет представление об основных типах полупроводников, их свойствах и назначении;</li> <li>• дает определения основных понятий;</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• решать типовые задачи выбора материала с заданными свойствами;</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• терминологией в предметной области знаний;</li> </ul>   |

## 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>• 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 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>• 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 6.

Таблица 6 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

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

### 2.3 Компетенция ПК-9

ПК-9: готовностью использовать базовое контрольно-измерительное оборудование для метрологического обеспечения исследований и промышленного производства материалов и компонентов nano- и микросистемной техники.

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 | основные контролируемые параметры полупроводниковых материалов; основные виды контрольно-измерительного оборудования  | измерять основные параметры полупроводниковых материалов  | методами технологической подготовки образцов для проведения исследований и измерения основных параметров; методами обработки результатов измерений          |
| 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> </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>• Интерактивные практические занятия;</li> <li>• Лабораторные занятия;</li> <li>• Самостоятельная работа;</li> </ul> |

|                                  |  |  |  |
|----------------------------------|--|--|--|
|                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Подготовка к экзамену;</li> </ul>   | <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>• 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>• 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> <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)             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные контролируемые параметры полупроводниковых материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;</li> <li>• основные виды контрольно-измерительного оборудования;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• измерять основные параметры материалов микро- и нанoeлектроники;</li> <li>• выбирать контрольно-измерительное оборудование для проведения исследований;</li> <li>• объяснить и интерпретировать полученные экспериментальные результаты;</li> <li>• Обладает диапазоном практических умений, требуемых для сравнения и выбора методов исследования параметров и свойств полупроводниковых материалов;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• методами технологической подготовки образцов для проведения исследований и измерения основных параметров;</li> <li>• методами обработки результатов измерений;</li> <li>• практическими навыками планирования эксперимента ;</li> </ul> |
| Хорошо (базовый уровень)              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные контролируемые параметры материалов микро- и нанoeлектроники;</li> <li>• основные виды контрольно-измерительного оборудования;</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• измерять основные параметры материалов микро- и нанoeлектроники;</li> <li>• объяснить и интерпретировать полученные экспериментальные результаты;</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• методами технологической подготовки образцов для проведения исследований и измерения основных параметров;</li> <li>• методами обработки результатов измерений;</li> </ul>   |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• имеет представление об основных контролируемых параметрах материалов микро- и нанoeлектроники;</li> <li>• имеет представление</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• измерять основные параметры материалов микро- и нанoeлектроники;</li> <li>• работать со справочной литературой;</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• методами обработки результатов измерений;</li> </ul>  |

|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
|  | об основных видах контрольно-измерительного оборудования; |  |  |
|--|---|--|--|

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

3. Найти положение уровня Ферми относительно потолка валентной зоны, если  $N_a = 5 \cdot 10^{16} \text{см}^{-3}$  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 ( $\Delta E_d = 0,26$  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  $V = 0,1$  Вб/м<sup>2</sup>, 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 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.)

##### **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/>