**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

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

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# Физика полупроводников

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**
Направленность (профиль) / специализация: **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

Распределение рабочего времени

| № | Виды учебной деятельности | 4 семестр | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Лекции | 44 | 44 | часов |
| 2 | Практические занятия | 18 | 18 | часов |
| 3 | Лабораторные работы | 16 | 16 | часов |
| 4 | Всего аудиторных занятий | 78 | 78 | часов |
| 5 | Из них в интерактивной форме | 8 | 8 | часов |
| 6 | Самостоятельная работа | 102 | 102 | часов |
| 7 | Всего (без экзамена) | 180 | 180 | часов |
| 8 | Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 | часов |
| 9 | Общая трудоемкость | 216 | 216 | часов |
| | | 6.0 | 6.0 | З.Е. |

Экзамен: 4 семестр

Томск 2018

Согласована на портале № 36102

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 91 от «19» 4 2018 г.

# ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, утвержденного 06.03.2015 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчики:

| | | |
|---|---|---|
| д.т.н., профессор каф. ФЭ | _____ | С. В. Смирнов |
| ассистент каф. ФЭ | _____ | В. В. Каранский |

| | | |
|---|---|---|
| Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ | _____ | П. Е. Троян |

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

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

Эксперты:

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

Согласована на портале № 36102

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели дисциплины

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

### 1.2. Задачи дисциплины

– приобретение навыков математического описания физических процессов, протекающих в полупроводниках;

– приобретение базовых знаний по физике полупроводников, необходимых как для понимания физических процессов и явлений, протекающих в полупроводниках.

–

–

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

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

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

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

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

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

– ПК-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 обучающийся должен:

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

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

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

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6.0 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 работы | 16 | 16 |
| Из них в интерактивной форме | 8 | 8 |
| Самостоятельная работа (всего) | 102 | 102 |
| Подготовка к контрольным работам | 58 | 58 |

Согласована на портале № 36102

| | | |
|---|---|---|
| Оформление отчетов по лабораторным работам | 16 | 16 |
| Проработка лекционного материала | 14 | 14 |
| Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 14 | 14 |
| Всего (без экзамена) | 180 | 180 |
| Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 |
| Общая трудоемкость, ч | 216 | 216 |
| Зачетные Единицы | 6.0 | 6.0 |

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

| Названия разделов дисциплины | Лек., ч | Прак. зан., ч | Лаб. раб., ч | Сам. раб., ч | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 семестр | | | | | | |
| 1 Статистика электронов и дырок в полупроводниках | 8 | 6 | 0 | 11 | 25 | ОПК-2, ПК-9 |
| 2 Рассеяние электронов и дырок в полупроводниках | 2 | 0 | 0 | 9 | 11 | ОПК-2, ПК-9 |
| 3 Кинетические явления в полупроводниках | 6 | 2 | 12 | 25 | 45 | ОПК-2, ПК-9 |
| 4 Неравновесные носители заряда | 8 | 4 | 0 | 14 | 26 | ОПК-2, ПК-9 |
| 5 Поверхностные явления в полупроводниках | 4 | 0 | 0 | 8 | 12 | ОПК-2, ПК-9 |
| 6 Оптические свойства полупроводников | 6 | 2 | 0 | 11 | 19 | ОПК-2, ПК-9 |
| 7 Фотоэлектрические явления в полупроводниках | 5 | 4 | 4 | 16 | 29 | ОПК-2, ПК-9 |
| 8 Люминесценция полупроводников | 5 | 0 | 0 | 8 | 13 | ОПК-2, ПК-9 |
| Итого за семестр | 44 | 18 | 16 | 102 | 180 | |
| Итого | 44 | 18 | 16 | 102 | 180 | |

### 5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

| Названия разделов | Содержание разделов дисциплины (по лекциям) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 4 семестр | | | |
| 1 Статистика | Введение, цели и задачи дисциплины. Плотность | 8 | ОПК-2, |

Согласована на портале № 36102

| | | | |
|---|---|---|---|
| электронов и дырок в полупроводниках | квантовых состояний. Функция распределения Ферми — Дирака. Степень заполнения примесных уровней. Концентрации электронов и дырок в зонах. Примесный полупроводник. Собственный полупроводник. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника. Зависимость уровня Ферми от температуры для невырожденного полупроводника с частично компенсированной примесью. Примесные полупроводники при очень низких температурах. Критерий сильного легирования. Свойства сильнолегированных полупроводников. | | ПК-9 |
| | Итого | 8 | |
| 2 Рассеяние электронов и дырок в полупроводниках | Механизмы рассеяния электронов и дырок. Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации. Рассеяние на ионах примеси. Рассеяние на тепловых колебаниях решетки. | 2 | ОПК-2, ПК-9 |
| | Итого | 2 | |
| 3 Кинетические явления в полупроводниках | Зависимость подвижности носителей заряда от температуры. Эффект Холла. Эффект Холла в полупроводниках с двумя типами носителей заряда. Магниторезистивный эффект. Термоэлектрические явления: термо-ЭДС, эффект Зеебека, эффект Пельтье и Томсона. Электропроводность полупроводников в сильном электрическом поле. Разогрев носителей заряда.Эффект Ганна. Эффект Зинера. Эффект Френкеля. | 6 | ОПК-2, ПК-9 |
| | Итого | 6 | |
| 4 Неравновесные носители заряда | Равновесные и неравновесные носители заряда. Биполярная оптическая генерация носителей заряда. Монополярная оптическая генерация носителей заряда. Максвелловское время релаксации. Механизмы рекомбинации. Межзонная излучательная рекомбинация. Межзонная ударная рекомбинация. Рекомбинация носителей заряда через ловушки. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида. Температурная зависимость времени жизни носителей заряда при рекомбинации через ловушки. Центры захвата и рекомбинационные ловушки. Уравнение непрерывности. Диффузионный и дрейфовый токи. Соотношение Эйнштейна. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в случае монополярной проводимости. Диффузия и дрейф неосновных избыточных носителей заряда в примесном полупроводнике. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в полупроводнике с проводимостью, близкой к собственной. | 8 | ОПК-2, ПК-9 |
| | Итого | 8 | |
| 5 Поверхностные явления в | Природа поверхностных уровней. Теория слоя пространственного заряда. Эффект поля. Скорость | 4 | ОПК-2, ПК-9 |

Согласована на портале № 36102

| | | | |
|---|---|---|---|
| полупроводниках | поверхностной рекомбинации. Влияние поверхностной рекомбинации на время жизни носителей заряда в образцах конечных размеров. | | |
| | Итого | 4 | |
| 6 Оптические свойства полупроводников | Оптические коэффициенты. Основные механизмы поглощения света в полупроводниках. Собственное поглощение. Форма края собственного поглощения в полупроводниках. Определение ширины запрещенной зоны по краю собственного поглощения. Экситонное поглощение. Учет электронно-дырочного взаимодействия в области края собственного поглощения. Оптическое поглощение с участием примесей. Примесное и межпримесное поглощение. Поглощение свободными носителями заряда. Плазменное поглощение. Фононное поглощение. | 6 | ОПК-2, ПК-9 |
| | Итого | 6 | |
| 7 Фотоэлектрические явления в полупроводниках | Внутренний фотоэффект. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости. Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации и диффузии носителей заряда. Эффект Дембера. Фотоэлектромагнитный эффект. Внешний фотоэффект. | 5 | ОПК-2, ПК-9 |
| | Итого | 5 | |
| 8 Люминесценция полупроводников | Типы люминесценции. Мономолекулярное свечение твердых тел. Рекомбинационное излучение полупроводников при фундаментальных переходах. Рекомбинационное излучение при переходах между зоной и примесными уровнями. Релаксация люминесценции полупроводников. Температурное тушение люминесценции полупроводников. Спонтанное и вынужденное излучение атома. Стимулированное излучение полупроводников | 5 | ОПК-2, ПК-9 |
| | Итого | 5 | |
| 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 | 8 |
| Предшествующие дисциплины | | | | | | | | |
| 1 Материалы электронной техники | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 2 Физика конденсированного состояния | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Последующие дисциплины | | | | | | | | |

Согласована на портале № 36102

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 Методы анализа и контроля наноструктурированнных материалов и систем | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 2 Твердотельная электроника | + | + | + | + | + | + | + | + |

### 5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

| Компетенции | Виды занятий | | | | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|---|
| | Лек. | Прак. зан. | Лаб. раб. | Сам. раб. | |
| ОПК-2 | + | + | + | + | Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест, Отчет по практическому занятию |
| ПК-9 | + | + | + | + | Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест, Отчет по практическому занятию |

## 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

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

Таблица 6.1 – Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий

| Методы | Интерактивные практические занятия, ч | Интерактивные лекции, ч | Всего, ч |
|---|---|---|---|
| 4 семестр | | | |
| Мозговой штурм | 4 | | 4 |
| Презентации с использованием раздаточных материалов с обсуждением | | 4 | 4 |
| Итого за семестр: | 4 | 4 | 8 |
| Итого | 4 | 4 | 8 |

## 7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Наименование лабораторных работ

| Названия разделов | Наименование лабораторных работ | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 4 семестр | | | |
| 3 Кинетические явления в полупроводниках | Измерение концентрации носителей заряда в полупроводниках методом термо-ЭДС. | 4 | ОПК-2, ПК-9 |

Согласована на портале № 36102

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Измерение концентрации и подвижности носителей заряда методом Холла. | 4 | |
| | Изучение эффекта Пельтье в полупроводниках | 4 | |
| | Итого | 12 | |
| 7 Фотоэлектрические явления в полупроводниках | Изучение фото-ЭДС в полупроводниках | 4 | ОПК-2, ПК-9 |
| | Итого | 4 | |
| Итого за семестр | | 16 | |

## 8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

| Названия разделов | Наименование практических занятий (семинаров) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 4 семестр | | | |
| 1 Статистика электронов и дырок в полупроводниках | Расчет температур на зонной диаграмме полупроводника. | 2 | ОПК-2, ПК-9 |
| | Расчет и построение температурных зависимостей концентрации и электропроводности. | 2 | |
| | Расчет и построение температурной зависимости положения уровня Ферми. | 2 | |
| | Итого | 6 | |
| 3 Кинетические явления в полупроводниках | Расчет концентрации носителей заряда методом термо-ЭДС, Холла и Зеебека. | 2 | ОПК-2, ПК-9 |
| | Итого | 2 | |
| 4 Неравновесные носители заряда | Расчет избыточной концентрации неравновесных носителей заряда. | 2 | ОПК-2, ПК-9 |
| | Расчет диффузионного и дрейфового токов неравновесных носителей заряда. | 2 | |
| | Итого | 4 | |
| 6 Оптические свойства полупроводников | Расчет оптических коэффициентов полупроводников. | 2 | ОПК-2, ПК-9 |
| | Итого | 2 | |
| 7 Фотоэлектрические явления в полупроводниках | Расчет ЭДС и напряжения Дембера. | 2 | ОПК-2, ПК-9 |
| | Расчет фотоэлектромагнитного напряжения и тока короткого замыкания. | 2 | |
| | Итого | 4 | |
| Итого за семестр | | 18 | |

## 9. Самостоятельная работа

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

Согласована на портале № 36102

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

| Названия разделов | Виды самостоятельной работы | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|
| 4 семестр | | | | |
| 1 Статистика электронов и дырок в полупроводниках | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 2 | ОПК-2, ПК-9 | Контрольная работа, Отчет по практическому занятию, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 2 | | |
| | Подготовка к контрольным работам | 7 | | |
| | Итого | 11 | | |
| 2 Рассеяние электронов и дырок в полупроводниках | Проработка лекционного материала | 2 | ОПК-2, ПК-9 | Контрольная работа, Опрос на занятиях, Тест |
| | Подготовка к контрольным работам | 7 | | |
| | Итого | 9 | | |
| 3 Кинетические явления в полупроводниках | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 2 | ОПК-2, ПК-9 | Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 2 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 12 | | |
| | Подготовка к контрольным работам | 7 | | |
| | Подготовка к контрольным работам | 2 | | |
| | Итого | 25 | | |
| 4 Неравновесные носители заряда | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 4 | ОПК-2, ПК-9 | Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по практическому занятию, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 3 | | |
| | Подготовка к контрольным работам | 7 | | |
| | Итого | 14 | | |
| 5 Поверхностные явления в полупроводниках | Проработка лекционного материала | 1 | ОПК-2, ПК-9 | Контрольная работа, Опрос на занятиях, Тест |
| | Подготовка к контрольным работам | 7 | | |
| | Итого | 8 | | |

Согласована на портале № 36102

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 6 Оптические свойства полупроводников | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 2 | ОПК-2, ПК-9 | Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по практическому занятию, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 2 | | |
| | Подготовка к контрольным работам | 7 | | |
| | Итого | 11 | | |
| 7 Фотоэлектрические явления в полупроводниках | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 4 | ОПК-2, ПК-9 | Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Подготовка к контрольным работам | 7 | | |
| | Итого | 16 | | |
| 8 Люминесценция полупроводников | Проработка лекционного материала | 1 | ОПК-2, ПК-9 | Контрольная работа, Опрос на занятиях, Тест |
| | Подготовка к контрольным работам | 7 | | |
| | Итого | 8 | | |
| Итого за семестр | | 102 | | |
| | Подготовка и сдача экзамена | 36 | | Экзамен |
| Итого | | 138 | | |

## 10. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено РУП.

## 11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

### 11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Балльные оценки для элементов контроля

| Элементы учебной деятельности | Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра | Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ | Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра | Всего за семестр |
|---|---|---|---|---|
| 4 семестр | | | | |
| Контрольная работа | | 5 | 10 | 15 |
| Отчет по лабораторной работе | | 10 | 10 | 20 |
| Отчет по практическому занятию | 5 | 10 | 10 | 25 |
| Тест | 5 | 5 | | 10 |
| Итого максимум за пери- | 10 | 30 | 30 | 70 |

Согласована на портале № 36102

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| од | | | | |
| Экзамен | | | | 30 |
| Нарастающим итогом | 10 | 40 | 70 | 100 |

### 11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Пересчет баллов в оценки за контрольные точки представлен в таблице 11.2.

Таблица 11.2 – Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

| Баллы на дату контрольной точки | Оценка |
|---|---|
| ≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 5 |
| От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 4 |
| От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 3 |
| < 60% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 2 |

### 11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 11.3.

Таблица 11.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

| Оценка (ГОС) | Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен | Оценка (ECTS) |
|---|---|---|
| 5 (отлично) (зачтено) | 90 - 100 | A (отлично) |
| 4 (хорошо) (зачтено) | 85 - 89 | B (очень хорошо) |
| | 75 - 84 | C (хорошо) |
| | 70 - 74 | D (удовлетворительно) |
| 3 (удовлетворительно) (зачтено) | 65 - 69 | |
| | 60 - 64 | E (посредственно) |
| 2 (неудовлетворительно) (не зачтено) | Ниже 60 баллов | F (неудовлетворительно) |

## 12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 12.1. Основная литература

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

#### 12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Смирнов С.В., Зариковская Н.В. Физика конденсированного состояния. Физика полупроводников: Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе по дисциплинам «Физика конденсированного состояния» и «Физика полупроводников» для студентов направлений подготовки 210100 «Электроника и наноэлектроника» и 222900 «Нанотехнология и микросистемная техника». – Томск: Томский государственный университет систем управления и ра-диоэлектроники, 2011. – 35 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks

Согласована на портале № 36102

%20disciplin/Smirnov/Smirnov_FKS_UMP.pdf (дата обращения: 05.07.2018).

2. Физика полупроводников: Учебно-методическое пособие по лабораторным работам для студентов направлений подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника», 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника», профиль «Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике» / Саврук Е. В., Каранский В. В., Смирнов С. В. - 2016. 37 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/6278 (дата обращения: 05.07.2018).

### 12.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

**Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

### 12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. 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 и требуемое программное обеспечение

### 13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины

#### 13.1.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

#### 13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Лаборатория физики конденсированного состояния и материалов электронной техники

учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ), помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 119 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Лабораторные макеты: «Температурные свойства ферромагнитных материалов», «Темпе-

Согласована на портале № 36102

ратурные свойства проводящих материалов», «Объемное и поверхностное сопротивление изоляционных материалов», «Пробой тонкопленочных конденсаторов (ТПК)», «Температурная зависимость проводимости диэлектриков», «Фотоэлектрические свойства полупроводниковых материалов», «Определение ширины запрещенной зоны полупроводников», «Определение термо-ЭДС полупроводников», «Эффект Холла», «Эффект Пельтье».

- Лабораторное оборудование и приборы: измеритель Е7-8 (2 шт.), вольтметр В7-22А (5 шт.), амперметр Ф-195, М-253 (2 шт.), источник постоянного тока Б5-47, электрометр В7Э-42, мультиметр В7-22А (2 шт.), измеритель иммитанса Е7-20, тераомметр Е6-13, печь лабораторная (2 шт.), прибор для исследования пробоя ТПК, лабораторный стенд СФП-5 (2 шт.), вольтметр В7-26, вольтметр цифровой Ф4214, вольтметр Ф238,

источник постоянного тока Б5-47, измеритель иммитанса Е7-20;

- Компьютерные лабораторные работы (4 шт.);
- ПК (4 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

– LibreOffice
– Microsoft Visual Studio 2010
– PDF-XChange Viewer
– PTC Mathcad13, 14
– Windows XP

**13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ**

Лаборатория физики конденсированного состояния и материалов электронной техники

учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ), помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 119 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Лабораторные макеты: «Температурные свойства ферромагнитных материалов», «Температурные свойства проводящих материалов», «Объемное и поверхностное сопротивление изоляционных материалов», «Пробой тонкопленочных конденсаторов (ТПК)», «Температурная зависимость проводимости диэлектриков», «Фотоэлектрические свойства полупроводниковых материалов», «Определение ширины запрещенной зоны полупроводников», «Определение термо-ЭДС полупроводников», «Эффект Холла», «Эффект Пельтье».

- Лабораторное оборудование и приборы: измеритель Е7-8 (2 шт.), вольтметр В7-22А (5 шт.), амперметр Ф-195, М-253 (2 шт.), источник постоянного тока Б5-47, электрометр В7Э-42, мультиметр В7-22А (2 шт.), измеритель иммитанса Е7-20, тераомметр Е6-13, печь лабораторная (2 шт.), прибор для исследования пробоя ТПК, лабораторный стенд СФП-5 (2 шт.), вольтметр В7-26, вольтметр цифровой Ф4214, вольтметр Ф238,

источник постоянного тока Б5-47, измеритель иммитанса Е7-20;

- Компьютерные лабораторные работы (4 шт.);
- ПК (4 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

– LibreOffice
– Microsoft Visual Studio 2010
– PDF-XChange Viewer
– PTC Mathcad13, 14
– Windows XP

Согласована на портале № 36102

### 13.1.4. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

## 13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

## 14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

### 14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

#### 14.1.1. Тестовые задания

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

а) 1;
б) -1;
в) 0;
г) 1/2.

Согласована на портале № 36102

2. Теплопроводность, обусловленная переносом тепла за счет тепловых колебаний атомов кристаллической решетки, называется…

а) фононная;
б) электронная (дырочная);
в) биполярная;
г) фотонная;
д) экситонная.

3. Теплопроводность за счет переноса тепла излучением называется….

а) фононная;
б) электронная (дырочная);
в) биполярная;
г) фотонная;
д) экситонная.

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

1. эффектом Зинера;
2. эффектом Ганна;
3. ударной ионизацией;
4. эффектом Холла.

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

1. становится сравнимой с тепловой скоростью;
2. много больше тепловой скорости;
3. много меньше тепловой скорости;
4. становится сравнимой с фазовой скоростью;

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

1. когда электронная температура сравнима с температурой кристалла;
2. когда электронная температура много меньше температуры кристалла;
3. когда электронная температура много больше температуры кристалла.

7. Впервые свой эффект Ганна наблюдал в…

1. фосфиде индия;
2. фосфиде галлия;
3. кремнии;
4. арсениде галлия.

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

1. генерация компенсируется рекомбинацией;
2. генерация не компенсируется рекомбинацией;
3. рекомбинация компенсируется генерацией;
4. рекомбинация не компенсируется генерацией.

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

1. Бозе-Эйнштейна;
2. Ферми-Дирака;
3. Максвелла-Больцмана;
4. Больцмана.

10. При электростатической ионизации концентрация оказывается…

1. линейной функцией;

Согласована на портале № 36102

2. логарифмической функцией;
3. параболической функцией;
4. экспоненциальной функцией.

11. Рекомбинация, при которой электрон прежде, чем рекомбинировать с дыркой, захватывается некоторым локальным центром, имеющим уровень энергии в запрещенной зоне, а затем переходит в валентную зону и рекомбинирует с дыркой, называется…
1. примесной рекомбинацией;
2. рекомбинацией через локальные состояния;
3. межпримесной рекомбинацией;
4. экситонной рекомбинацией.

12. В межзонной излучательной рекомбинации могут участвовать…
1. только фотоны;
2. только фотоны и электроны;
3. только электроны и дырки;
4. только фотоны и дырки.

13. Для характеристики рекомбинационных процессов в полупроводнике вводится понятие…
1. время жизни неосновных носителей заряда;
2. время жизни основных носителей заряда;
3. концентрации неосновных носителей заряда;
4. концентрации основных носителей заряда.

14. Модель, в которой описано выявление зависимости времени жизни электронно-дырочных пар от положения уровня Ферми, носит название…
1. Холла-Шокли-Рида;
2. Больцмана;
3. Оже;
4. Бозе-Эйнштейна.

15. Поглощение света полупроводником, связанное с возбуждением колебаний кристаллической решетки, называют … поглощением.
1. решеточным;
2. примесным;
3. собственным;
4. экситонным.

16. В слабых полях зависимость плотности тока от приложенного поля…
1. параболическая;
2. кубическая;
3. линейная;
4. гиперболическая.

17. Какие эффекты сильного поля приводят к изменению подвижности носителей заряда?
1. эффект Ганна и ударная ионизация;
2. эффект Ганна и эффект разогрева электронно-дырочного газа;
3. ударная ионизация и эффект Зинера;
4. электростатическая ионизация и эффект Зинера.

18. Какой процесс рекомбинации описывает теория Холла – Шокли – Рида?
1. межзонную излучательную;
2. межзонную безызлучательную;

Согласована на портале № 36102

3. рекомбинацию через ловушки;
4. Оже-рекомбинацию.

19. Обрыв периодичности кристаллического потенциала на поверхности приводит к появлению локализованных состояний, энергетические уровни которых располагаются в запрещенной зоне. Эти состояния называют состояниями …
1. Холла-Шокли-Рида;
2. Борна-Кармана;
3. Тамма;
4. Ферми-Дирака.

20. Коэффициент поглощения характеризует интенсивность света:
1. прошедшего через образец;
2. поглощенного в образце с единичной толщиной;
3. поглощенного в образце в единицу времени;
4. вошедшего в образец.

### 14.1.2. Экзаменационные вопросы

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

Согласована на портале № 36102

35. Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации и диффузии носителей заряда.
36. Эффект Дембера.
37. Фотоэлектромагнитный эффект.
38. Люминесценция. Типы люминесценции.
39. Температурное тушение люминесценции полупроводников.
40. Спонтанное и вынужденное излучение света.

#### 14.1.3. Темы контрольных работ

1. Расчет концентрации носителей заряда в полупроводниках. Гальваномагнитные и термоэлектрические явления.
2. Неравновесные носители заряда. Фотоэлектрические эффекты.

#### 14.1.4. Темы опросов на занятиях

1. Зонная диаграмма собственного, примесного и компенсированного полупроводника.
2. Температурная зависимость концентрации и электропроводности собственных и примесных полупроводников.
3. Температурная зависимость положения уровня Ферми в собственных и примесных полупроводниках.
4. Гальваномагнитные явления: эффект Холла и магниторезистивный эффект.
5. Термоэлектрические явления: термо-ЭДС, эффект Зеебека, Пельтье и Томсона.
6. Неравновесные носители заряда.
7. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда.
8. Оптические свойства полупроводников.
9. Фотоэлектрические явления в полупроводниках.
10. Люминесценция.

#### 14.1.5. Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам

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

#### 14.1.6. Темы лабораторных работ

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

### 14.2. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 14.

Таблица 14 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

| Категории обучающихся | Виды дополнительных оценочных материалов | Формы контроля и оценки результатов обучения |
|---|---|---|
| С нарушениями слуха | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы | Преимущественно письменная проверка |
| С нарушениями | Собеседование по вопросам к зачету, | Преимущественно устная проверка |

Согласована на портале № 36102

| | | |
|---|---|---|
| зрения | опрос по терминам | (индивидуально) |
| С нарушениями опорно-двигательного аппарата | Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету | Преимущественно дистанционными методами |
| С ограничениями по общемедицинским показаниям | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы | Преимущественно проверка методами исходя из состояния обучающегося на момент проверки |

### 14.3. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 36102