

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

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



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

Документ подписан электронной подписью

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

Владелец: Троян Павел Ефимович

Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Физика полупроводников

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**

Направление подготовки (специальность): **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: **3**

Семестр: **5**

Учебный план набора 2014 года

Распределение рабочего времени

| № | Виды учебной деятельности | 5 семестр | Всего | Единицы |
|---|------------------------------|-----------|-------|---------|
| 1 | Лекции | 44 | 44 | часов |
| 2 | Практические занятия | 18 | 18 | часов |
| 3 | Лабораторные занятия | 16 | 16 | часов |
| 4 | Всего аудиторных занятий | 78 | 78 | часов |
| 5 | Из них в интерактивной форме | 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 | 3.Е |

Экзамен: 5 семестр

Томск 2016

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 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.2) 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 |
|----------------------------|-------------|-----------|
| | | 5 семестр |
| Аудиторные занятия (всего) | 78 | 78 |

| | | |
|---|-----|-----|
| Лекции | 44 | 44 |
| Практические занятия | 18 | 18 |
| Лабораторные занятия | 16 | 16 |
| Из них в интерактивной форме | 14 | 14 |
| Самостоятельная работа (всего) | 66 | 66 |
| Подготовка к контрольным работам | 12 | 12 |
| Выполнение индивидуальных заданий | 10 | 10 |
| Оформление отчетов по лабораторным работам | 16 | 16 |
| Проработка лекционного материала | 12 | 12 |
| Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 16 | 16 |
| Всего (без экзамена) | 144 | 144 |
| Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 |
| Общая трудоемкость час | 180 | 180 |
| Зачетные Единицы | 5.0 | 5.0 |

5. Содержание дисциплины

5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

| № | Названия разделов дисциплины | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | Самостоятельная работа | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---|--------|----------------------|---------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 1 | Введение, цели и задачи дисциплины | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | ОПК-1, ОПК-2 |
| 2 | Собственные и примесные полупроводниковые материалы. Статистика электронов в примесных полупроводниках. Сильнолегированные полупроводники. | 7 | 2 | 0 | 9 | 18 | ОПК-1, 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, ОПК-2, ПК-9 |
| 4 | Свойства полупроводников в сильных электрических полях. | 6 | 2 | 4 | 10 | 22 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-9 |
| 5 | Неравновесные носители заряда. Основные параметры. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида | 8 | 2 | 4 | 10 | 24 | ОПК-1, 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, 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 |
|---|--|-----------------|-------------------------|
| 5 семестр | | | |
| 1 Введение, цели и задачи дисциплины | Предмет дисциплины и ее задачи. Основные этапы исторического развития физики полупроводников. Связь с другими дисциплинами | 1 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 1 | |
| 2 Собственные и примесные полупроводниковые материалы. Статистика электронов в примесных полупроводниках. Сильнолегированные полупроводники. | Примесные состояния в полупроводниковых материалах. Статистика электронов. Компенсированные полупроводники. Критерии сильного легирования. Свойства сильнолегированных полупроводников | 7 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 7 | |
| 3 Кинетические явления в полупроводниках. Уравнение Больцмана. Диффузионные уравнения. Явления переноса заряда, термомагнитные и гальваномагнитные явления. | Кинетическое уравнение Больцмана. Электропроводность полупроводников. Диффузия и дрейф носителей заряда. Соотношения Эйнштейна. Термоэлектрические явления: термо-эдс, эффект Пельтье и Томсона. Гальваномагнитные явления в полупроводниках. Эффект Холла, эффект Нернста | 8 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-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, ОПК-2, 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, ОПК-2, ПК-9 |

| | | | |
|--|--|----|--------------------|
| | Итого | 8 | |
| 6 Оптические свойства полупроводниковых материалов. Поглощение света. Люминесценция. Фотопроводимость. | Механизмы поглощения света. Собственное поглощение. Прямые и непрямые переходы. Экситонное поглощение. Поглощение свободными носителями. Примесное и решеточное поглощение. Влияние внешних факторов на спектры поглощения. Фотопроводимость. Оптическая спектроскопия. Катодо- и фотолюминесценция. | 8 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-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 |
|--|------------------------------------|----------------------|-------|
| 5 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 |
|-------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------|
| 5 семестр | | | |

| | | | |
|---|---|----|--------------------------|
| 4 Свойства полупроводников в сильных электрических полях. | Исследование термоэлектрических явлений в полупроводниках | 4 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-9 |
| | Итого | 4 | |
| 5 Неравновесные носители заряда. Основные параметры. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида | Исследование эффекта Пельтье в полупроводниках | 4 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-9 |
| | Итого | 4 | |
| 6 Оптические свойства полупроводниковых материалов. Поглощение света. | Исследование фотоэлектрических явлений в полупроводниках | 4 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-9 |
| | Итого | 4 | |
| 7 Поверхностные явления в полупроводниках. Эффект поля | Исследование эффекта Холла в полупроводниках | 4 | ОПК-1, ОПК-2, 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, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|--------------------|--------------------------|
| 5 семестр | | | |
| 2 Собственные и примесные полупроводниковые материалы. Статистика электронов в примесных полупроводниках. Сильнолегированные полупроводники. | Статистика электронов в собственных полупроводниках | 2 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 2 | |
| 3 Кинетические явления в полупроводниках. Уравнение Больцмана. Диффузионные уравнения. Явления переноса заряда, термомагнитные и гальваномагнитные явления. | Статистика электронов в примесных полупроводниках | 2 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Вырожденные полупроводники | 2 | |
| | Примесные полупроводники | 2 | |
| | Итого | 6 | |
| 4 Свойства полупроводников в сильных электрических полях. | Термоэлектрические и гальваномагнитные явления | 2 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-9 |
| | Итого | 2 | |
| 5 Неравновесные носители заряда. Основные параметры. Теория рекомбинации Холла-Шокли-Рида | Неравновесные носители заряда | 2 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-9 |
| | Итого | 2 | |
| 6 Оптические свойства полупроводниковых материалов. Поглощение света. Люминесценция. Фотопроводимость. | Оптические свойства полупроводников | 2 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-9 |
| | Итого | 2 | |

| | | | |
|--|-------------------------------------|----|--------------------------|
| 7 Поверхностные явления в полупроводниках. Эффект поля | Скорость поверхностной рекомбинации | 4 | ОПК-1, ОПК-2, 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 ч | Формируемые компетенции | Формы контроля |
|---|---|----------------|-------------------------|---|
| 5 семестр | | | | |
| 1 Введение, цели и задачи дисциплины | Проработка лекционного материала | 0 | ОПК-1, 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, 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, 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, ОПК-2, | Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Тест, Экзамен |

| | | | | |
|--|---|-----|--------------------|---|
| 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 |
|----------------------------------|--|---|---|------------------|
| 5 семестр | | | | |
| Контрольная работа | | 4 | 4 | 8 |
| Отчет по индивидуальному заданию | 8 | | 8 | 16 |
| Отчет по лабораторной работе | | 10 | 10 | 20 |
| выполнение практических заданий | 6 | 6 | 6 | 18 |
| Тест | 4 | | 4 | 8 |
| Итого максимум за период | 18 | 20 | 32 | 70 |
| Экзамен | | | | 30 |
| Нарастающим итогом | 18 | 38 | 70 | 100 |

11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

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

Таблица 11. 2 – Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

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

11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

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

Таблица 11. 3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

| Оценка (ГОС) | Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен | Оценка (ECTS) |
|---------------------------------|--|-----------------------|
| 5 (отлично) (зачтено) | 90 - 100 | A (отлично) |
| 4 (хорошо) (зачтено) | 85 - 89 | B (очень хорошо) |
| | 75 - 84 | C (хорошо) |
| | 70 - 74 | D (удовлетворительно) |
| 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

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: **3**

Семестр: **5**

Учебный план набора 2014 года

Разработчики:

– профессор кафедры ФЭ Смирнов С. В.

Экзамен: 5 семестр

Томск 2016

1. Введение

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

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

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

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

| Код | Формулировка компетенции | Этапы формирования компетенций |
|-------|---|---|
| ОПК-1 | способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики | Должен знать физико-химические основы взаимодействия между основными материалами электронной техники; основные характеристики полупроводниковых материалов и их связь со структурой и составом; параметры полупроводниковых материалов и особенности их измерения; Должен уметь выбирать материал с оптимальными свойствами для реализации задач электроники; производить расчеты параметров и характеристик материала; Должен владеть методами исследования полупроводниковых материалов и методикой оценки результатов измерений; |
| ОПК-2 | способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат | |
| ПК-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"> • Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лекции; • Практические занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Подготовка к экзамену; | <ul style="list-style-type: none"> • Интерактивные практические занятия; • Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Самостоятельная работа; • Подготовка к экзамену; | <ul style="list-style-type: none"> • Интерактивные практические занятия; • Лабораторные занятия; • Самостоятельная работа; |
| Используемые средства оценивания | <ul style="list-style-type: none"> • Контрольная работа; • Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • выполнение практических заданий; • Тест; | <ul style="list-style-type: none"> • Контрольная работа; • Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • выполнение практических заданий; • Тест; | <ul style="list-style-type: none"> • Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • выполнение практических заданий; |

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

Таблица 4 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

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

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

2.2 Компетенция ОПК-2

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

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

Таблица 5 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

| Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|----------------------------------|---|--|--|
| Содержание этапов | основные характеристики полупроводниковых материалов и их связь со структурой и составом | использовать физико-математический аппарат для расчета электрофизических и оптических характеристик материала | методами расчета электрофизических, тепловых, оптических параметров полупроводниковых материалов электронной техники |
| Виды занятий | <ul style="list-style-type: none"> • Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лекции; • Практические занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Подготовка к экзамену; | <ul style="list-style-type: none"> • Интерактивные практические занятия; • Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Самостоятельная работа; • Подготовка к экзамену; | <ul style="list-style-type: none"> • Интерактивные практические занятия; • Лабораторные занятия; • Самостоятельная работа; |
| Используемые средства оценивания | <ul style="list-style-type: none"> • Контрольная работа; • Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • выполнение практических заданий; • Тест; | <ul style="list-style-type: none"> • Контрольная работа; • Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • выполнение практических заданий; • Тест; | <ul style="list-style-type: none"> • Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • выполнение практических заданий; |

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

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"> • Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лекции; • Практические занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; | <ul style="list-style-type: none"> • Интерактивные практические занятия; • Практические занятия; • Лабораторные занятия; | <ul style="list-style-type: none"> • Интерактивные практические занятия; • Лабораторные занятия; • Самостоятельная работа; |

| | | | |
|----------------------------------|--|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Подготовка к экзамену; | <ul style="list-style-type: none"> • Самостоятельная работа; • Подготовка к экзамену; | |
| Используемые средства оценивания | <ul style="list-style-type: none"> • Контрольная работа; • Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • выполнение практических заданий; • Тест; | <ul style="list-style-type: none"> • Контрольная работа; • Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • выполнение практических заданий; • Тест; | <ul style="list-style-type: none"> • Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • выполнение практических заданий; • Экзамен; |

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

| | | | |
|--|---|--|--|
| | 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 $m_n^* = 1,1m_0$; $m_p^* = 0,56m_0$. Найдите концентрацию электронов в зоне проводимости германия при 300 К.

2. Определите температуру, соответствующую максимуму положения уровня Ферми в кремнии, если концентрация фосфора равна 10^{15}см^{-3} . Определите максимум положения уровня Ферми.

3. Найти положение уровня Ферми относительно потолка валентной зоны, если $N_a = 5 \cdot 10^{16} \text{см}^{-3}$ 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}см^{-3} , найдите время жизни неравновесных носителей заряда (для уровня инжекции $\Delta n = 10^{14} \text{см}^{-3}$), если τ_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/м², 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

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/>