

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”

ДЕКАН РЭФ

д.т.н. Хрусталеv В. А.

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Физика полупроводников**

Образовательная программа: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, профиль:  
Нанотехнология

Курс: 3, семестр : 6

Факультет радиотехники и электроники,

|    |                                                                                                      | Семестр   |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| №  | Вид деятельности                                                                                     | 6         |
| 1  | Всего зачетных единиц (кредитов)                                                                     | 5         |
| 2  | Всего часов                                                                                          | 180       |
| 3  | Всего занятий в контактной форме, час.                                                               | 100       |
| 4  | Лекции, час.                                                                                         | 54        |
| 5  | Практические занятия, час.                                                                           | 18        |
| 6  | Лабораторные занятия, час.                                                                           | 18        |
| 7  | из них в активной и интерактивной форме, час.                                                        | 18        |
| 8  | Аттестация, час.                                                                                     | 2         |
| 9  | Консультации, час.                                                                                   | 8         |
| 10 | Самостоятельная работа, час.                                                                         | 80        |
| 11 | Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе) | КР контр. |
| 12 | Вид аттестации                                                                                       | Э         |

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

ФГОС введен в действие приказом №177 от 06.03.2015 г. , дата утверждения: 31.03.2015 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, вариативная

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ППиМЭ, протокол заседания кафедры №5 от 20.06.2017

Утверждена на совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 6 от 21.06.2017

Программу разработал:

профессор, д.т.н. Величко А. А.

Заведующий кафедрой:

с.н.с., д.ф-м.н. Гайслер В. А.

Ответственный за образовательную программу:

заведующий кафедрой Гайслер В. А.

## 1. Внешние требования

Таблица 1.1

|                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Компетенция ФГОС: ОПК.1 способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики; в части следующих результатов обучения:</b>                    |  |
| 31.1. знать основные законы физики, являющиеся базовыми для решения задач профессиональной деятельности                                                                                                                                                              |  |
| 35. знать основные физические законы и явления                                                                                                                                                                                                                       |  |
| 36. знать зависимость физических свойств от степени неупорядоченности                                                                                                                                                                                                |  |
| <b>Компетенция ФГОС: ОПК.2 способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат; в части следующих результатов обучения:</b>          |  |
| 33. знать основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел, механизмы протекания тока                                                                                                                                                             |  |
| 38. Знать физико-математические модели процессов в объеме и на поверхности полупроводниковых материалов                                                                                                                                                              |  |
| <b>Компетенция ФГОС: ПК.1 способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий; в части следующих результатов обучения:</b> |  |
| 323. иметь представление о зонной структуре энергетического спектра в твердых телах                                                                                                                                                                                  |  |

## 2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

| Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)                                            | Формы организации занятий                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| <i>Физика полупроводников</i>                                                                                                              |                                                      |
| <b>ОПК.1.311 знать основные законы физики, являющиеся базовыми для решения задач профессиональной деятельности</b>                         |                                                      |
| 1.о месте и роли физических процессов в твердом теле на развитие науки и техники.                                                          | Лекции; Самостоятельная работа                       |
| 2.о новейших методах экспериментального исследования материалов и МДП структур                                                             | Лекции; Самостоятельная работа                       |
| <b>ОПК.1.35 знать основные физические законы и явления</b>                                                                                 |                                                      |
| 3.о перспективных направлениях развития микро- и нанoeлектроники                                                                           | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |
| 4.понятийный аппарат дисциплины                                                                                                            | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |
| 5.предмет курса: современные физические модели электронных и ионных процессов в твердых телах.                                             | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |
| <b>ОПК.1.36 знать зависимость физических свойств от степени неупорядоченности</b>                                                          |                                                      |
| 6.физическую сущность основных электронных процессов, являющихся основой для ра-боты приборов микро- и нанoeлектроники.                    | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |
| <b>ОПК.2.33 знать основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел, механизмы протекания тока</b>                       |                                                      |
| 7.физико-технические и экономические ограничения миниатюризации и интеграции                                                               | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |
| <b>ОПК.1.36 знать зависимость физических свойств от степени неупорядоченности</b>                                                          |                                                      |
| 8.Физические принципы работы нанoeлектронных (мезоскопических) приборов и ком-понентов твердотельной электроники и интегральных микросхем. | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |
| <b>ОПК.2.38 Знать физико-математические модели процессов в объеме и на поверхности полупроводниковых материалов</b>                        |                                                      |

|                                                                                                                           |                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 9.проводить анализ основных характеристик и параметров полупроводниковых материалов.                                      | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа                      |
| <b>ОПК.2.33 знать основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел, механизмы протекания тока</b>      |                                                                           |
| 10.моделировать основные физические явления в полупроводниках и диэлектриках                                              | Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы                         |
| <b>ОПК.1.311 знать основные законы физики, являющиеся базовыми для решения задач профессиональной деятельности</b>        |                                                                           |
| 11.Оценивать характеристики приборов микро- и нанoeлектроники на основе справочных данных о материалах.                   | Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа |
| <b>ОПК.2.38 Знать физико-математические модели процессов в объеме и на поверхности полупроводниковых материалов</b>       |                                                                           |
| 12.выбирать методики измерения параметров полупроводников.                                                                | Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа |
| <b>ОПК.2.33 знать основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел, механизмы протекания тока</b>      |                                                                           |
| 13.представлять результаты решения отдельных задач, описание расчетно-графического задания в удобной для восприятия форме | Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа |
| <b>ОПК.1.36 знать зависимость физических свойств от степени неупорядоченности</b>                                         |                                                                           |
| 14.Измерения параметров полупроводников и сравнения с расчетными данными.                                                 | Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа         |
| <b>ОПК.2.38 Знать физико-математические модели процессов в объеме и на поверхности полупроводниковых материалов</b>       |                                                                           |
| 15.работы на оборудовании, используемом в микроэлектронном производстве.                                                  | Лабораторные работы; Самостоятельная работа                               |
| <b>ПК.1.323 иметь представление о зонной структуре энергетического спектра в твердых телах</b>                            |                                                                           |
| 16.иметь представление о зонной структуре энергетического спектра в твердых телах                                         | Лекции                                                                    |

### 3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

| Темы лекций                                                                                                                                                        | Активные формы, час. | Часы | Ссылки на результаты обучения | Учебная деятельность |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------|-------------------------------|----------------------|
| <b>Семестр: 6</b>                                                                                                                                                  |                      |      |                               |                      |
| <b>Дидактическая единица: Анализ развития твердотельной опто и нанoeлектроники</b>                                                                                 |                      |      |                               |                      |
| 1. "Физика твердого тела и полупроводников" как научная дисциплина. Этапы исторического развития. Структура курса. Его связь с другими дисциплинами учебного плана | 0                    | 2    | 1, 16, 2, 3                   |                      |
| <b>Дидактическая единица: Статистика электронов и дырок в полупроводниках</b>                                                                                      |                      |      |                               |                      |
| 2. Расчет положения уровня Ферми в собственном и примесном полупроводниках                                                                                         | 0                    | 2    | 2, 5, 6                       |                      |
| 3. Расчет эффективной массы, плотности состояний, температурной зависимости проводимости                                                                           | 0                    | 2    | 10, 12, 2, 7, 9               |                      |

|                                                                                                                                                                                                                                     |   |   |                    |                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|--------------------|------------------------------------------|
| 4. Расчет температурной зависимости концентрации носителей заряда. Собственная и примесная проводимость                                                                                                                             | 0 | 2 | 2, 5, 8, 9         |                                          |
| 15. Примесные зоны                                                                                                                                                                                                                  | 0 | 4 | 16, 4, 6           |                                          |
| <b>Дидактическая единица: Неравновесные процессы в полупроводниках</b>                                                                                                                                                              |   |   |                    |                                          |
| 5. Механизмы рекомбинации. Излучательная рекомбинация. Рекомбинация с участием уровней в запрещенной зоне, модель Шокли-Рида. Оже рекомбинация. Зависимость времени жизни от уровня легирования и температуры.                      | 0 | 2 | 2, 5, 6, 9         |                                          |
| 6. Рекомбинация Шокли Рида                                                                                                                                                                                                          | 0 | 2 | 2, 6               |                                          |
| <b>Дидактическая единица: Диффузия и дрейф</b>                                                                                                                                                                                      |   |   |                    |                                          |
| 7. Диффузия и дрейф. Уравнение непрерывности. Диффузионная длина. Диффузия и дрейф при монополярной и биполярной проводимости. Влияние электрического поля на диффузионные процессы. Инжекция                                       | 6 | 4 | 10, 11, 2, 5, 6, 9 |                                          |
| <b>Дидактическая единица: Поверхностные и контактные явления</b>                                                                                                                                                                    |   |   |                    |                                          |
| 8. Уровни Тамма. Поверхностные состояния. Эффект поля. Область простран-ственного заряда Поверхностная рекомбинация. Влияние поверхности на элек-трофизические параметры приборов. Поверхностный потенциал.. Пиннинг уров-ня Ферми. | 0 | 6 | 2, 7, 8            |                                          |
| 9. Контактные явления в полупроводниках. Полупроводник во внешнем по-ле. Контакты: металл-металл; металл-полупроводник. Выпрямление на контакте М-П/п. Диодная и диффузионная теории выпрямления. Р-N -переход. Выпрямле-ние        | 0 | 4 | 11, 12, 13, 2, 9   |                                          |
| <b>Дидактическая единица: Оптические явления в полупроводниках</b>                                                                                                                                                                  |   |   |                    |                                          |
| 10. Поглощение света в полупроводниках. Собственное, примесное, решеточное, экситонное поглощение. Влияние легирования, температуры и внешних воздей-ствий на поглощение.                                                           | 0 | 8 | 11, 2, 3, 6        | Проведение самостоятельных экспериментов |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |   |   |                    |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|--------------------|--|
| 11. Поглощение света в полупроводниках. Собственное, примесное, решеточное, экситонное поглощение. Влияние легирования, температуры и внешних воздействий на поглощение.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 0 | 4 | 2, 5, 6, 9         |  |
| 12. Люминесценция. Типы люминесценции. Зависимость люминесценции от параметров п/п и внешних воздействий. Фотоэлектрические явления в п/п. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости. Влияние поверхности. Фотоэлектромагнитный эффект. Фотоэффекты в р-п-переходах, в барьерах Шоттки, гетеропереходах, сверхрешетках.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 0 | 4 | 10, 11, 2, 3, 5, 7 |  |
| <b>Дидактическая единица: Кинетические явления в полупроводниках</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |   |   |                    |  |
| 13. Кинетические явления в полупроводниках. Неравновесная функция распределения. Кинетическое уравнение Больцмана. Приближение времени релаксации. Вычисление проводимости, коэффициента Холла, термоЭДС. Основные механизмы рассеяния носителей заряда. Рассеяние на фононах и на ионизованных и нейтральных примесях. Классификация дефектов. Точечные дефекты. Собственные дефекты и примеси. Протяженные дефекты: дислокации, поверхности. Влияние точечных дефектов на электронный и колебательный спектр кристалла. Локальные состояния. Мелкие и глубокие уровни в запрещенной зоне. Приближение эффективной массы. Доноры и акцепторы в полупроводниках. | 0 | 6 | 1, 10, 11, 13, 2   |  |
| <b>Дидактическая единица: Примесные состояния</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |   |   |                    |  |
| 14. Водородноподобная модель                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0 | 2 | 6, 8               |  |

Таблица 3.2

| Темы лабораторных работ                                                       | Активные формы, час. | Часы | Ссылки на результаты обучения | Учебная деятельность |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------|-------------------------------|----------------------|
| <b>Семестр: 6</b>                                                             |                      |      |                               |                      |
| <b>Дидактическая единица: Статистика электронов и дырок в полупроводниках</b> |                      |      |                               |                      |

|                                                                                                                  |   |   |                        |                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|------------------------|--------------------------------|
| 1. Определение температурной зависимости электропроводности и вычисление ширины запрещенной зоны полупроводников | 4 | 4 | 10, 11, 12, 13, 14, 15 |                                |
| <b>Дидактическая единица: Диффузия и дрейф</b>                                                                   |   |   |                        |                                |
| 3. Исследование диффузионной длины и времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках              | 4 | 4 | 10, 11, 12, 13, 14, 15 |                                |
| <b>Дидактическая единица: Кинетические явления в полупроводниках</b>                                             |   |   |                        |                                |
| 4. Изучение эффекта Холла                                                                                        | 4 | 4 | 12, 13, 14, 15         |                                |
| <b>Дидактическая единица: Примесные состояния</b>                                                                |   |   |                        |                                |
| 4. Температурная зависимость примесной проводимости                                                              | 0 | 6 | 11, 12, 13             | Проведение лабораторной работы |

Таблица 3.3

| Темы практических занятий                                                                                                                                                   | Активные формы, час. | Часы | Ссылки на результаты обучения | Учебная деятельность                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------|-------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Семестр: 6</b>                                                                                                                                                           |                      |      |                               |                                           |
| <b>Дидактическая единица: Статистика электронов и дырок в полупроводниках</b>                                                                                               |                      |      |                               |                                           |
| 1. Функция Ферми. Расчет уровня Ферми и концентрации носителей заряда                                                                                                       | 0                    | 2    | 13, 14, 9                     | решение задач по определению уровня Ферми |
| 2. Расчет коэффициентов поглощения в п/п. Расчет параметров п/п по оптическим характеристикам.                                                                              | 0                    | 2    | 3, 4, 5, 6, 7                 |                                           |
| <b>Дидактическая единица: Неравновесные процессы в полупроводниках</b>                                                                                                      |                      |      |                               |                                           |
| 3. Анализ зависимости времени жизни от температуры, концентрации и параметров п/п.                                                                                          | 0                    | 2    | 10, 11, 12, 6, 9              |                                           |
| 4. Рекомбинация Шокли-Рида. Расчет времени жизни.                                                                                                                           | 0                    | 4    | 10, 7, 9                      |                                           |
| <b>Дидактическая единица: Диффузия и дрейф</b>                                                                                                                              |                      |      |                               |                                           |
| 5. Определение диффузионной длины, области пространственного заряда.                                                                                                        | 0                    | 2    | 11, 13, 6, 9                  |                                           |
| <b>Дидактическая единица: Поверхностные и контактные явления</b>                                                                                                            |                      |      |                               |                                           |
| 6. Расчет токов, коэффициента выпрямления, высоты барьера от параметров п/п и внешних воздействий.                                                                          | 0                    | 2    | 12, 13, 5, 8                  |                                           |
| <b>Дидактическая единица: Кинетические явления в полупроводниках</b>                                                                                                        |                      |      |                               |                                           |
| 7. Анализ времени релаксации в полупроводнике в зависимости от температуры. Расчет температурной зависимости подвижности и проводимости при различных механизмах рассеяния. | 0                    | 4    | 10, 11, 5, 6, 9               |                                           |

Таблица 3.4

| Темы для самостоятельного изучения                                     | Активные формы, час. | Часы | Ссылки на результаты обучения |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------|------|-------------------------------|
| <b>Семестр: 6</b>                                                      |                      |      |                               |
| <b>Дидактическая единица: Неравновесные процессы в полупроводниках</b> |                      |      |                               |
| 2. Измерение времени жизни неравновесных носителей заряда              | 0                    | 4    | 5, 6, 9                       |

#### 4. Самостоятельная работа обучающегося

| №                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Виды самостоятельной работы                       | Ссылки на результаты обучения | Часы на выполнение | Часы на консультации |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------|
| <b>Семестр: 6</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                   |                               |                    |                      |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Контрольные работы                                | 4, 5                          | 10                 | 0                    |
| : Каменская А. В. Технологические процессы в микроэлектронике : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская, Р. П. Дикарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005. - 43 с. : схемы,табл.. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161</a>                                                 |                                                   |                               |                    |                      |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Курсовая работа                                   | 7, 8                          | 20                 | 0                    |
| : Каменская А. В. Технологические процессы в микроэлектронике : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская, Р. П. Дикарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005. - 43 с. : схемы,табл.. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161</a>                                                 |                                                   |                               |                    |                      |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Подготовка к занятиям                             | 1, 2, 3                       | 0                  | 0                    |
| : Каменская А. В. Технологические процессы в микроэлектронике : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская, Р. П. Дикарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005. - 43 с. : схемы,табл.. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161</a>                                                 |                                                   |                               |                    |                      |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Подготовка к занятиям                             | 2, 3                          | 32                 | 0                    |
| : Каменская А. В. Технологические процессы в микроэлектронике : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская, Р. П. Дикарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005. - 43 с. : схемы,табл.. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161</a>                                                 |                                                   |                               |                    |                      |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Дополнительная учебная деятельность               | 11, 12, 13                    | 14                 | 0                    |
| : Каменская А. В. Технологические процессы в микроэлектронике : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская, Р. П. Дикарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005. - 43 с. : схемы,табл.. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161</a>                                                 |                                                   |                               |                    |                      |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Подготовка к аттестации                           | 14, 15, 6, 9                  | 0                  | 8                    |
| : Каменская А. В. Технологические процессы в микроэлектронике : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская, Р. П. Дикарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005. - 43 с. : схемы,табл.. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161</a>                                                 |                                                   |                               |                    |                      |
| 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Самостоятельное изучение теоретического материала | 5, 6, 9                       | 4                  | 0                    |
| Студент изучает темы, приведенные в таблице 3.4 : Каменская А. В. Технологические процессы в микроэлектронике : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская, Р. П. Дикарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005. - 43 с. : схемы,табл.. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161</a> |                                                   |                               |                    |                      |

#### 5. Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 5.1).

Таблица 5.1

| Деятельность   | Информационно-коммуникационные технологии |
|----------------|-------------------------------------------|
| Информирование | e-mail                                    |

|                               |             |
|-------------------------------|-------------|
| Консультирование              | e-mail      |
| Контроль                      | Портал НГТУ |
| Размещение учебных материалов | Портал НГТУ |

## 6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

| Оцениваемые виды деятельности обучающихся                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Мин. балл | Максимальный балл           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------|
| <b>Семестр: 6</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |           |                             |
| <i>Подготовка к занятиям:</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 20        | 40                          |
| <i>Контрольные работы:</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 10        | 20                          |
| Контролирующие материалы приводятся в "Каменская А. В. Технологические процессы в микроэлектронике : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская, Р. П. Дикарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005. - 43 с. : схемы,табл.. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161</a> "                   |           |                             |
| <i>Курсовая работа:</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 50        | 100 (в состав баллов за КР) |
| Контролирующие материалы приводятся в "Каменская А. В. Технологические процессы в микроэлектронике : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская, Р. П. Дикарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005. - 43 с. : схемы,табл.. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161</a> "                   |           |                             |
| <i>Экзамен:</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 20        | 40                          |
| Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Каменская А. В. Технологические процессы в микроэлектронике : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская, Р. П. Дикарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005. - 43 с. : схемы,табл.. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161</a> " |           |                             |

В таблице 6.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 6.2

| Коды компетенций ФГОС | Результаты обучения                                                                                      | Формы контроля |              |         |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------|---------|
|                       |                                                                                                          | Контр. раб.    | Защита КП/КР | Экзамен |
| ОПК.1                 | 311. знать основные законы физики, являющиеся базовыми для решения задач профессиональной деятельности   | +              | +            | +       |
|                       | 35. знать основные физические законы и явления                                                           | +              |              | +       |
|                       | 36. знать зависимость физических свойств от степени неупорядоченности                                    | +              |              | +       |
| ОПК.2                 | 33. знать основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел, механизмы протекания тока | +              |              | +       |
|                       | 38. Знать физико-математические модели процессов в объеме и на поверхности полупроводниковых материалов  | +              |              | +       |
| ПК.1                  | 323. иметь представление о зонной структуре энергетического спектра в твердых телах                      |                |              | +       |

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

## 7. Литература

### Основная литература

1. Гридчин В. А. Физика микросистем. Ч. 1 : [учебное пособие для вузов] / В. А. Гридчин, В. П. Драгунов ; [Новосиб. гос. техн. ун-т]. - Новосибирск, 2004. - 415 с. : ил. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000031699](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000031699)

#### *Дополнительная литература*

1. Киреев П. С. Физика полупроводников : Учебное пособие для вузов / П. С. Киреев. - М., 1975. - 584 с.
2. Шалимова К. В. Физика полупроводников : учебное пособие для вузов / К. В. Шалимова. - М., 1971. - 310, [1] с. : ил., табл.

#### *Интернет-ресурсы*

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znanium.com" : <http://znanium.com/>
5. :

### **8. Методическое и программное обеспечение**

#### *8.1 Методическое обеспечение*

1. Каменская А. В. Технологические процессы в микроэлектронике : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская, Р. П. Дикарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005. - 43 с. : схемы, табл. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000044161](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161)

#### *8.2 Специализированное программное обеспечение*

- 1 Microsoft Windows
- 2 Microsoft Office

### **9. Материально-техническое обеспечение**

Лабораторный стенд

| № | Наименование                                                            | Назначение                                 |
|---|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1 | Зондовый микроскоп для проведения исследований в области нанотехнологий | Используется для лабораторных исследований |

Специальное оборудование

| № | Наименование                           | Назначение                                    |
|---|----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1 | Учебная нанолaborатория NanoEducator-4 | Изучение принципа работы зондового микроскопа |



# 1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Физика полупроводников приведена в Таблице.

Таблица

| Формируемые компетенции                                                                                                                                                         | Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки) | Темы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Этапы оценки компетенций                                      |                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                 |                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.) | Промежуточная аттестация (экзамен, зачет) |
| ОПК.1 способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики | з5. знать основные физические законы и явления                   | "Физика твердого тела и полупроводников" как научная дисциплина. Этапы исторического развития. Структура курса. Его связь с другими дисциплинами учебного плана Анализ времени релаксации в полупроводнике в зависимости от температуры. Расчет температурной зависимости подвижности и проводимости при различных механизмах рассеяния. Диффузия и дрейф. Уравнение непрерывности. Диффузионная длина. Диффузия и дрейф при монополярной и биполярной проводимости. Влияние электрического поля на диффузионные процессы. Инжекция Люминесценция. Типы люминесценции. Зависимость люминесценции от параметров п/п и внешних воздействий. Фотоэлектрические явления в п/п. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости. Влияние поверхности. Фотоэлектромагнитный эффект. Фотоэффекты в р-п-переходах, в барьерах Шоттки, гетеропереходах, сверхрешетках. Механизмы рекомбинации. Излучательная рекомбинация. Рекомбинация с участием уровней в запрещенной зоне, модель Шокли-Рида. Оже рекомбинация. Зависимость времени жизни от уровня легирования и температуры. Поглощение света в полупроводниках. Собственное, примесное, решеточное, экситонное поглощение. Влияние легирования, температуры и внешних воздействий на поглощение. Примесные зоны | Контрольные работы, раздел: Явления переноса.                 | Экзамен, вопросы 1-6.                     |

|       |                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                             |                       |
|-------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
|       |                                                                       | Расчет коэффициентов поглощения в п/п. Расчет параметров п/п по оптическим характеристикам. Расчет положения уровня Ферми в собственном и примесном полупроводниках Расчет температурной зависимости концентрации носителей заряда. Собственная и примесная проводимость Расчет токов, коэффициента выпрямления, высоты барьера от параметров п/п и внешних воздействий.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                             |                       |
| ОПК.1 | зб. знать зависимость физических свойств от степени неупорядоченности | Уровни Тамма. Поверхностные состояния. Эффект поля. Область пространственного заряда Поверхностная рекомбинация. Влияние поверхности на электрофизические параметры приборов. Поверхностный потенциал.. Пиннинг уровня Ферми. Анализ времени релаксации в полупроводнике в зависимости от температуры. Расчет температурной зависимости подвижности и проводимости при различных механизмах рассеяния. Анализ зависимости времени жизни от температуры, концентрации и параметров п/п. Водородноподобная модель Диффузия и дрейф. Уравнение непрерывности. Диффузионная длина. Диффузия и дрейф при монополярной и биполярной проводимости. Влияние электрического поля на диффузионные процессы. Инжекция Изучение эффекта Холла Исследование диффузионной длины и времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках Механизмы рекомбинации. Излучательная рекомбинация. Рекомбинация с участием уровней в запрещенной зоне, модель Шокли-Рида. Оже рекомбинация. Зависимость времени жизни от уровня легирования и температуры. Определение диффузионной длины, области пространственного заряда. Определение температурной зависимости электропроводимости и вычисление ширины запрещенной зоны полупроводников Поглощение света в полупроводниках. | Контрольные работы, разделы Статистика электронов и дырок в полупроводниках | Экзамен, вопросы 7-12 |

|       |                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                          |                               |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|       |                                                                                                               | <p>Собственное, примесное, решеточное, экситонное поглощение. Влияние легирования, температуры и внешних воздействий на поглощение. Расчет коэффициентов поглощения в п/п. Расчет параметров п/п по оптическим характеристикам. Расчет положения уровня Ферми в собственном и примесном полупроводниках. Расчет температурной зависимости концентрации носителей заряда. Собственная и примесная проводимость. Расчет токов, коэффициента выпрямления, высоты барьера от параметров п/п и внешних воздействий. Рекомбинация Шокли Рида. Функция Ферми. Расчет уровня Ферми и концентрации носителей заряда.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                          |                               |
| ОПК.1 | <p>з11. знать основные законы физики, являющиеся базовыми для решения задач профессиональной деятельности</p> | <p>"Физика твердого тела и полупроводников" как научная дисциплина. Этапы исторического развития. Структура курса. Его связь с другими дисциплинами учебного плана. Уровни Тамма. Поверхностные состояния. Эффект поля. Область пространственного заряда. Поверхностная рекомбинация. Влияние поверхности на электрофизические параметры приборов. Поверхностный потенциал. Пиннинг уровня Ферми. Анализ времени релаксации в полупроводнике в зависимости от температуры. Расчет температурной зависимости подвижности и проводимости при различных механизмах рассеяния. Анализ зависимости времени жизни от температуры, концентрации и параметров п/п. Диффузия и дрейф. Уравнение непрерывности. Диффузионная длина. Диффузия и дрейф при монополярной и биполярной проводимости. Влияние электрического поля на диффузионные процессы. Инжекция. Исследование диффузионной длины и времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках. Кинетические явления в полупроводниках. Неравновесная функция</p> | <p>Контрольные работы Курсовая работа, разделы Кинетические явления.</p> | <p>Экзамен, вопросы 13-20</p> |

|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|  |  | <p>распределения. Кинетическое уравнение Больцмана. Приближение времени релаксации. Вычисление проводимости, коэффициента Холла, термоЭДС. Основные механизмы рассеяния носителей заряда. Рассеяние на фононах и на ионизованных и нейтральных примесях. Классификация дефектов. Точечные дефекты. Собственные дефекты и примеси. Протяженные дефекты: дислокации, поверхности. Влияние точечных дефектов на электронный и колебательный спектр кристалла. Локальные состояния. Мелкие и глубокие уровни в запрещенной зоне. Приближение эффективной массы. Доноры и акцепторы в полупроводниках. Контактные явления в полупроводниках. Полупроводник во внешнем поле. Контакты: металл-металл; металл-полупроводник. Выпрямление на контакте М-П/п. Диодная и диффузионная теории выпрямления. Р-N -переход. Выпрямление. Люминесценция. Типы люминесценции. Зависимость люминесценции от параметров п/п и внешних воздействий. Фотоэлектрические явления в п/п. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости. Влияние поверхности. Фотоэлектромагнитный эффект. Фотоэффекты в р-п-переходах, в барьерах Шоттки, гетеропереходах, сверхрешетках. Механизмы рекомбинации. Излучательная рекомбинация. Рекомбинация с участием уровней в запрещенной зоне, модель Шокли-Рида. Оже рекомбинация. Зависимость времени жизни от уровня легирования и температуры. Определение диффузионной длины, области пространственного заряда. Определение температурной зависимости электропроводимости и вычисление ширины запрещенной зоны полупроводников. Поглощение света в полупроводниках. Собственное, примесное, решеточное, экситонное</p> |  |  |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|

|                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                           |                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                 | <p>поглощение. Влияние легирования, температуры и внешних воздействий на поглощение. Расчет положения уровня Ферми в собственном и примесном полупроводниках Расчет температурной зависимости концентрации носителей заряда. Собственная и примесная проводимость Расчет эффективной массы, плотности состояний, температурной зависимости проводимости Рекомбинация Шокли Рида</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                           |                               |
| <p>ОПК.2 способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат</p> | <p>з3. знать основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел, механизмы протекания тока</p> | <p>Уровни Тамма. Поверхностные состояния. Эффект поля. Область пространственного заряда Поверхностная рекомбинация. Влияние поверхности на электрофизические параметры приборов. Поверхностный потенциал.. Пиннинг уровня Ферми. Анализ времени релаксации в полупроводнике в зависимости от температуры. Расчет температурной зависимости подвижности и проводимости при различных механизмах рассеяния. Анализ зависимости времени жизни от температуры, концентрации и параметров п/п. Диффузия и дрейф. Уравнение непрерывности. Диффузионная длина. Диффузия и дрейф при монополярной и биполярной проводимости. Влияние электрического поля на диффузионные процессы. Инжекция Изучение эффекта Холла Исследование диффузионной длины и времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках Кинетические явления в полупроводниках. Неравновесная функция распределения. Кинетическое уравнение Больцмана. Приближение времени релаксации. Вычисление проводимости, коэффициента Холла, термоЭДС. Основные механизмы рассеяния носителей заряда Рассеяние на фононах и на ионизованных и нейтральных примесях. Классификация дефектов. Точечные дефекты. Собственные дефекты и примеси. Протяженные дефекты: дислокации,</p> | <p>Контрольные работы, разделы Диффузия, рекомбинация</p> | <p>Экзамен, вопросы 21-32</p> |

|       |                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                       |                        |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------|
|       |                                                                                                         | <p>поверхности. Влияние точечных дефектов на электронный и колебательный спектр кристалла. Локальные состояния. Мелкие и глубокие уровни в запрещенной зоне. Приближение эффективной массы. Доноры и акцепторы в полупроводниках. Контактные явления в полупроводниках. Полупроводник во внешнем поле. Контакты: металл-металл; металл-полупроводник. Выпрямление на контакте М-П/п. Диодная и диффузионная теории выпрямления. Р-N -переход. Выпрямление</p> <p>Люминесценция. Типы люминесценции. Зависимость люминесценции от параметров п/п и внешних воздействий.</p> <p>Фотоэлектрические явления в п/п. Фотопроводимость. Релаксация</p> <p>фотопроводимости. Влияние поверхности.</p> <p>Фотоэлектромагнитный эффект. Фотоэффекты в р-п-переходах, в барьерах Шоттки, гетеропереходах, сверхрешетках. Определение диффузионной длины, области пространственного заряда. Определение температурной зависимости электропроводимости и вычисление ширины запрещенной зоны полупроводников</p> <p>Расчет коэффициентов поглощения в п/п. Расчет параметров п/п по оптическим характеристикам. Расчет токов, коэффициента выпрямления, высоты барьера от параметров п/п и внешних воздействий. Расчет эффективной массы, плотности состояний, температурной зависимости проводимости</p> <p>Рекомбинация Шокли-Рида. Расчет времени жизни. Температурная зависимость примесной проводимости</p> <p>Функция Ферми. Расчет уровня Ферми и концентрации носителей заряда</p> |                                                                       |                        |
| ОПК.2 | 38. Знать физико-математические модели процессов в объеме и на поверхности полупроводниковых материалов | <p>Анализ времени релаксации в полупроводнике в зависимости от температуры. Расчет температурной зависимости подвижности и проводимости при различных механизмах рассеяния.</p> <p>Анализ зависимости времени</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Контрольные работы, разделы Оптическое явление в полупроводниках. ... | Экзамен, вопросы 33-40 |

|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |
|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|  |  | <p>жизни от температуры, концентрации и параметров п/п. Диффузия и дрейф. Уравнение непрерывности. Диффузионная длина. Диффузия и дрейф при монополярной и биполярной проводимости. Влияние электрического поля на диффузионные процессы. Инжекция Изучение эффекта Холла Исследование диффузионной длины и времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках Контактные явления в полупроводниках. Полупроводник во внешнем по-ле. Контакты: металл-металл; металл-полупроводник. Выпрямление на контакте М-П/п. Диодная и диффузионная теории выпрямления. Р-N -переход. Выпрямле-ние Механизмы рекомбинации. Излучательная рекомбинация. Рекомбинация с участием уровней в запрещенной зоне, модель Шокли-Рида. Оже рекомбинация. Зависимость времени жизни от уровня легирования и температуры. Определение диффузионной длины, области простран-ственного заряда. Определение температурной зависимости электропроводности и вычисление ширины запрещенной зоны полупро-водников Поглощение света в полупроводниках. Собственное, примесное, решеточное, экситонное поглощение. Влияние легирования, температуры и внешних воздей-ствий на поглощение. Расчет температурной зависимости концентрации носителей заряда. Собственная и примесная проводимость Расчет токов, коэффициента выпрямления, высоты барье-ра от параметров п/п и внешних воздействий. Расчет эффективной массы, плотности состояний, темпе-ратурной зависимости проводимости Рекомбинация Шокли-Рида. Расчет времени жизни. Температурная зависимость примесной проводимости Функция Ферми. Расчет уровня Ферми и концентрации носителей заряда</p> |  |  |
|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|

|                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     |                                                                                                                                                                 |                                                                                                  |                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| ПК.1/НИ<br>способность<br>проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий | з23. иметь представление о зонной структуре энергетического спектра в твердых телах | "Физика твердого тела и полупроводников" как научная дисциплина. Этапы исторического развития. Структура курса. Его связь с другими дисциплинами учебного плана | Практические занятия Раздел Кинетические явления в полупроводниках (феноменологическое описание) | Экзамен, вопросы 1-6 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|

## 2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 6 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ОПК.1, ОПК.2, ПК.1/НИ

**Экзамен проводится в устной форме по билетам. Перечень вопросов имеется в паспорте экзамена.**

Кроме того, сформированность компетенций проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 6 семестре обязательным этапом текущей аттестации являются контрольная работа, курсовая работа. Требования к выполнению контрольной работы, курсовой работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте контрольной работы, курсовой работы.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ОПК.1, ОПК.2, ПК.1/НИ за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

### **Общая характеристика уровней освоения компетенций.**

**Ниже порогового.** Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

**Пороговый.** Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

**Базовый.** Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

**Продвинутый.** Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский государственный технический университет»  
Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

## Паспорт экзамена

по дисциплине «Физика полупроводников», 6 семестр

### 1. Методика оценки

Экзамен проводится в устной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1-20, второй вопрос из диапазона вопросов 21-40 (список вопросов приведен ниже). В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

### Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Факультет РЭФ

### Билет № 1

к экзамену по дисциплине «Физика полупроводников»

---

1. Вопрос Классификация веществ по характеру и величине электропроводности, теплопроводности и оптического поглощения.. Металлы, полупроводники, изоляторы
2. Вопрос Время релаксации, длина свободного пробега и подвижность при наличии нескольких механизмов рассеяния

Утверждаю: зав. кафедрой \_\_\_\_\_ должность, ФИО  
(подпись)  
(дата)

### 2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает принципиальные ошибки, оценка составляет *менее 20 баллов*.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает не принципиальные ошибки, например, вычислительные, оценка составляет *20-29 баллов*.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при решении задачи, оценка составляет *30-35 баллов*.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент

при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, проводит комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, способен представить количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения задачи, оценка составляет 36-40 баллов.

### **3. Шкала оценки**

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

### **4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Физика полупроводников»**

- 1 Классификация веществ по характеру и величине электропроводности, теплопроводности и оптического поглощения.. Металлы, полупроводники, изоляторы
2. Собственная и примесная проводимость. Основные и неосновные носители заряда. Время релаксации не зависящее от энергии.
- 3.Феноменологическая теория явлений переноса. Эффект Холла для одного и двух типов носителей. Холловский угол.
- 4 Феноменологическая теория явлений переноса. Магнитосопротивление. Циклотронный резонанс.
- 5.Феноменологическая теория явлений переноса. ТермоЭДС. Эффект Зеебека и Пельтье.
6. Феноменологическая теория явлений переноса. Теплопроводность металлов, диэлектриков, полупроводников. Закон Видемана-Франца.
- 7.Плотность состояний в зоне. Вычисление плотности состояний.
8. Многодолинные полупроводники. Эффективная масса плотности состояний.
9. Водородоподобная модель примесного центра.
10. Концентрация носителей заряда при невырожденной статистике.
- 11.Определение энергии Ферми и концентрации носителей в собственном п/п.
12. Определение энергии Ферми и концентрации носителей в примесном п/п
13. Кинетическое уравнение. Неравновесная функция распределения. Интеграл столкновений. Приближение времени релаксации.
- 14.Схема вычисления электропроводности из кинетического уравнения. 15.Время релаксации проводимости для невырожденного полупроводника.
- 16.Схема вычисления коэффициента Холла методом кин. ур-я Больцмана.
- 17.Схема вычисления термоЭДС методом кин. ур-я Больцмана.
- 18.Механизмы рассеяния. Время релаксации при рассеянии на ионах примеси.
- 19.Время релаксации при рассеянии на акустических фононах.
- 20.Время релаксации, длина свободного пробега и подвижность при наличии нескольких механизмов рассеяния.
- 21.Равновесные и неравновесные носители заряда. Квазиуровни Ферми.
- 22.Рекомбинация при низком уровне инжекции. Время жизни неравновесных носителей заряда.
23. Рекомбинация при высоком уровне инжекции. Мгновенное время жизни неравновесных носителей заряда.
24. Виды рекомбинации. Время жизни при излучательной рекомбинации.
25. Виды рекомбинации. Время жизни при Оже рекомбинации.

- 26.Рекомбинация через ловушки. Теория Шокли-Рида.
- 27.Теория Шокли-Рида. Зависимость времени жизни от уровня Ферми.
28. Теория Шокли-Рида. Зависимость времени жизни от концентрации носителей и температуры.
- 29.Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда. Уравнение непрерывности.
- 30.Диффузионный и дрейфовые токи. Соотношение Эйнштейна в невырожденных полупроводниках.
- 31 Диффузия и дрейф при монополярной проводимости. Длина экранирования Дебая. Максвелловское время релаксации.
32. Диффузия и дрейф в электрических полях.
- 33.Фотопроводимость полупроводников. Релаксация фотопроводимости при линейной и квадратичной рекомбинации.
- 34.Оптическое поглощение в полупроводниках. Основные механизмы поглощения.
- 35.Собственное поглощение в прямозонных полупроводниках. Определение ширины запрещенной зоны.
- 36.Влияние внешних воздействий на край собственного поглощения.
- 37.Поглощение света свободными носителями.
- 38.Фотопроводимость. Кинетика фотопроводимости.
- 39.Контакт металла и полупроводника. Изгиб зон. Обогащение, обеднение, инверсия. Поверхностная проводимость.
- 40.Поверхностные состояния. Уровни Тамма. Поверхностная рекомбинация.

## **Паспорт контрольной работы**

по дисциплине «Физика полупроводников», 6 семестр

### **1. Методика оценки**

Контрольная работа проводится по теме Статистика электронов и дырок в п/п. и включает бзаданий. Выполняется письменно.

### **2. Критерии оценки**

Каждое задание контрольной работы оценивается в соответствии с приведенными ниже критериями.

Контрольная работа считается невыполненной, если оценка составляет менее 10 баллов.

Работа выполнена на пороговом уровне, если составляет 10-14 баллов.

Работа выполнена на базовом уровне, если оценка составляет 15-17 баллов.

Работа считается выполненной на продвинутом уровне, если оценка составляет 18-20 баллов.

### **3. Шкала оценки**

В общей оценке по дисциплине баллы за контрольную работу учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

### **4. Пример варианта контрольной работы**

- 1 Плотность состояний в зоне. Вычисление плотности состояний.
- 2 Многодолинные полупроводники. Эффективная масса плотности состояний.
- 3 Водородоподобная модель примесного центра.
- 4 Концентрация носителей заряда при невырожденной статистике.
- 5 Определение энергии Ферми и концентрации носителей в собственном п/п.
- 6 Определение энергии Ферми и концентрации носителей в примесном п/п

## Паспорт курсовой работы

по дисциплине «Физика полупроводников», 6 семестр

### 1. Методика оценки.

Задание: Расчет температурной зависимости проводимости Ge при следующих условиях: в собственном Ge в диапазоне температур 100-500K

#### 1.1 Структура:

- К.Р Введение. Постановка задачи Т
- Теоретическое введение: Описание моделей кинетических явлений в п/п.
- Результаты вычисления заданных параметров

#### 1.2 Этапы выполнения и защиты:\

- Выдача заданий и проведение консультаций.
- Проверка работ в электронном виде.
- Сдача законченной курсовой работы.
- Защита

#### 1.3 Оцениваемые позиции:

- Правила оформления
- Понимание методики выбора модели и расчетных формул
- Получение результатов и проверка
- Сравнение с литературными данными.

### 2. Критерии оценки.

- работа считается **не выполненной**, если оценка составляет менее 20 баллов.
- работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если оценка составляет 20-29 баллов.
- работа считается выполненной **на базовом** уровне, если оценка составляет 30-35 баллов.
- работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если оценка составляет 36-40 баллов.

### 3. Шкала оценки.

В общей оценке по дисциплине баллы за работы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

### 4. Примерный перечень тем курсового проекта (работы).

**Расчет температурной зависимости проводимости Ge при следующих условиях:**

4.1 В собственном Ge в диапазоне температур 100-500K

4.2 Концентрация доноров  $N_d = 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ . Диапазон температур 100-300K.

4.3 Концентрация доноров  $N_d = 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ . Диапазон температур 300-500K

4.4 Концентрация доноров  $N_d = 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Диапазон температур 300-500K

4.5 Концентрация доноров  $N_d = 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Диапазон температур 100-300K

4.6 Концентрация доноров  $N_d = 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Диапазон температур 100-300K

### 5. Расчет температурной зависимости коэффициента термоЭДС в Ge при

**следующих условиях:**

- 5.1 Концентрация акцепторов  $N_d = 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ . Диапазон температур 100-300К.
- 5.2 Концентрация акцепторов  $N_d = 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ . Диапазон температур 300-500К
- 5.3 Концентрация акцепторов  $N_d = 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Диапазон температур 300-500К
- 5.4 Концентрация акцепторов  $N_d = 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Диапазон температур 100-300К
- 5.5 Концентрация акцепторов  $N_d = 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Диапазон температур 100-300К
- 5.6 Концентрация акцепторов  $N_d = 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Диапазон температур 300-500К

**Перечень вопросов к защите курсовой работы**

1. Плотность состояний в зоне. Вычисление плотности состояний.
2. Многодолинные полупроводники. Эффективная масса плотности состояний.
5. Водородоподобная модель примесного центра.
6. Концентрация носителей заряда при невырожденной статистике.
7. Определение энергии Ферми и концентрации носителей в собственном п/п.
8. Определение энергии Ферми и концентрации носителей в примесном п/п
9. Кинетическое уравнение. Неравновесная функция распределения. Интеграл столкновений. Приближение времени релаксации.
10. Схема вычисления электропроводности из кинетического уравнения.
11. Время релаксации проводимости для невырожденного полупроводника.
12. .Схема вычисления коэффициента Холла методом кин. ур-я Больцмана.
13. Схема вычисления термоЭДС методом кин. ур-я Больцмана.
14. Механизмы рассеяния. Время релаксации при рассеянии на ионах примеси.
15. Время релаксации при рассеянии на акустических фононах.
16. Время релаксации, длина свободного пробега и подвижность при наличии нескольких механизмов рассеяния.