



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Физический факультет

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

Кафедра экспериментальной физики

Образовательная программа
11.04.04- Электроника и наноэлектроника

Профиль подготовки:
Физика полупроводников и диэлектриков

Уровень высшего образования
Магистратура

Форма обучения:
Очная

Статус дисциплины:
Базовая

Махачкала 2015


Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.04.04- Электроника и нанoeлектроника, профиль подготовки: физика полупроводников и диэлектриков (уровень: магистратуры) – Приказ Минобрнауки России от 30.10.2014 № 1407.

Разработчик (и): кафедра экспериментальной физики, Садыков С.А., д.ф.-м.н., профессор

Рабочая программа дисциплины одобрена: на заседании кафедры экспериментальной физики от «25» ноября 2015г., протокол № 4

Зав. кафедрой _____  _____ Садыков С.А.

на заседании Методической комиссии физического факультета от « 27» ноября 2015г., протокол № 3.

Председатель _____  _____ Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением

«3» декабря 2015г. _____  _____ Гасангаджиева А.Г.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|-----------------------------------|---|
| Аннотация рабочей программы | 4 |
|-----------------------------------|---|

| | |
|---|----|
| 1. Цели освоения дисциплины..... | 5 |
| 2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры..... | 5 |
| 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины..... | 6 |
| 4. Объем, структура и содержание дисциплины..... | 10 |
| 5. Образовательные технологии..... | 15 |
| 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов..... | 15 |
| 7. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины..... | 16 |
| 7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы..... | 17 |
| 7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания..... | 19 |
| 7.3. Типовые контрольные задания..... | 24 |
| 7.3.1. Экзаменационные вопросы..... | 24 |
| 7.3.2. Контрольные вопросы к самостоятельной работе..... | 25 |
| 7.3.3. Примеры текстовых заданий для промежуточного контроля..... | 28 |
| 7.4. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций..... | 33 |
| 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины..... | 34 |
| 9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины..... | 34 |
| 10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины..... | 35 |
| 11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем..... | 36 |
| 12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине..... | 36 |

Дисциплина **Физика полупроводников и диэлектриков** входит в базовую часть образовательной программы магистратуры по направлению (специальности) 11.04.04 – Электроника и наноэлектроника. Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой экспериментальной физики.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с теоретическими основами физики полупроводников и диэлектриков и их свойствами.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника:

общекультурных: способностью использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом (ОК-2);

общепрофессиональных: способностью понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения (ОПК-1); готовностью оформлять, представлять, докладывать и аргументированно защищать результаты выполненной работы (ОПК-5);

профессиональных: готовностью формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач (ПК-1);

способностью делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения (ПК-5);

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: *лекции, практические занятия, лабораторные занятия, самостоятельная работа.*

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме: индивидуальное собеседование, тестирование, письменные контрольные задания и промежуточный контроль в форме экзамена.

Объем дисциплины 6 зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

| Се- местр | Учебные занятия | | | | | | СРС, в том числе экза- мен | Форма проме- жуточной атте- стации (зачет, дифференциро- ванный зачет, экзамен |
|--------------|--|------------------------------|------------------------------|-----|-------------------|--|--|---|
| | в том числе | | | | | | | |
| | Контактная работа обучающихся с преподавателем | | | | | | | |
| | Все го | из них | | | | | | |
| Лек- ции | | Лабора- торные занятия | Практи- ческие занятия | КСР | консуль- тации | | | |
| 10 | 216 | 14 | 22 | 20 | 36 | | 124 | экзамен |

1. Цели освоения дисциплины

Цель изучения дисциплины «Физика полупроводников и диэлектриков» состоит в формировании систематических знаний фундаментальных принципов, определяющих физические процессы в полупроводниках и диэлектриках, а также в изучении явлений и процессов в твердых телах, использующихся при разработке приборов твердотельной микро и наноэлектроники.

Задачами дисциплины является изучение основных принципов и законов физики полупроводников и диэлектриков, а также методов их физических исследований. Магистр должен владеть основами теоретических знаний для решения практических задач как в области физики полупроводников и диэлектриков, так и на междисциплинарных границах физики с другими областями знаний; владеть соответствующим математическим аппаратом для освоения основных положений теории и решения практических задач.

В результате изучения курса магистры должны:

- понимать физическую сущность процессов, протекающих в полупроводниковых и диэлектрических материалах и в структурах, созданных на основе этих материалов, в том числе и при воздействии внешних полей и изменении температуры;
- иметь опыт проведения количественных оценок величины эффектов и характеристических параметров с учётом особенностей кристаллической структуры, электронного и фононного спектров, типа и концентрации легирующих примесей.
- понимать современные тенденции в развитии физики полупроводников и диэлектриков, приборов и устройств на их основе;
- быть готовыми к самостоятельному освоению и грамотному использованию результатов новых экспериментальных и теоретических исследований в области физики полупроводников и диэлектриков, к самостоятельному выбору методов и объектов исследования.

Основные разделы программы курса: основы зонной теории полупроводников и диэлектриков. статистика электронов и дырок в полупроводниках, генерация и рекомбинация электронов и дырок, кинетические явления в полупроводниках, явления переноса в полупроводниках, оптические и фотоэлектрические явления, полупроводниковые структуры пониженной размерности, поляризация и электропроводность диэлектриков, диэлектрические потери, активные диэлектрики.

2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры

Дисциплина «Физика полупроводников и диэлектриков» в структуре ООП ВПО находится в цикле профессиональных дисциплин (базовая часть). Для освоения дисциплины требуются знания и умения, приобретенные обучающимися в результате освоения ряда предшествующих дисциплин (разделов дисциплин), таких как:

- Квантовая механика
- Термодинамика и статфизика
- Физика конденсированного состояния
- Физические основы электроники

и знания в области математики.

Для освоения данной дисциплины магистр должен иметь основополагающие представления об основных подходах к описанию реальных физических процессов и явлений, как на классическом, так и на квантовом уровне; иметь знания о методах решения практических задач физики конденсированного состояния на основе современных математических моделей описания физических объектов; владеть фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики конденсированного состояния, а также методами физического исследования. Магистры должны обладать навыками, необходимыми для решения конкретных физических проблем с использованием приёмов и методов математической физики; для описания разнообразных физических процессов и состояний в полупроводниках и диэлектриках.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения) .

| Компетенции | Формулировка компетенции из ФГОС ВО | Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) |
|-------------|---|--|
| ОК-2 | способностью использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом | <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • базовые понятия, используемые в экспериментальных исследованиях применительно к физике полупроводников и диэлектриков; • современные методы научно-исследовательской работы; • принципы работы современного инновационного оборудования, используемого при выполнении физического практикума <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • организовать научно-исследовательские и научно-производственные работы, проявлять навыки в управлении исследовательским коллективом; • использовать в научных исследованиях информационные справочники и поисковые системы; • формулировать и решать задачи, возникающие в ходе научно-исследовательской деятельности; • выбирать необходимые методы исследования, модифицировать существующие и разрабатывать новые методы исходя из задач конкретного исследования <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основами научно-исследовательской работы, методами (инструментарием) научного анализа и научного проектирования в научных исследованиях; • компьютерной техникой и информационными технологиями в учебном процессе и научных исследованиях; |
| ОПК-1 | способностью понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения | <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основы зонной теории полупроводников и диэлектриков, зонную структуру основных полупроводников; • основные подходы к описанию реальных физических процессов и явлений в полупроводниках и диэлектриках, как на классическом, так и на квантовом уровне; • современные тенденции развития материаловедения, твердотельной электроники, измерительной и вычислительной техники, |

| | | |
|-------|---|--|
| | | <p>информационных технологий;</p> <ul style="list-style-type: none"> • методы вычислительной физики и математического моделирования для описания физических процессов и явлений в полупроводниках и диэлектриках. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • создавать и анализировать теоретические модели физических процессов и явлений в полупроводниках и диэлектриках; • выбирать методы и средства решения конкретных задач, использовать для их решения физические измерительные приборы и приемы. • анализировать, систематизировать и обобщать научно-техническую информацию в области современного материаловедения; • самостоятельно изучать и понимать специальную научную и методическую литературу, связанную с проблемами физики полупроводников и диэлектриков, физики систем пониженной размерности; <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основами теоретических знаний для решения практических задач как в области физики полупроводников и диэлектриков, так и на междисциплинарных границах физики микро- и нанoeлектроники; • методологией теоретических и экспериментальных исследований в области физики полупроводников и диэлектриков; • методами количественного формулирования и решения практических задач по физике полупроводников и диэлектриков. |
| ОПК-5 | <p>готовностью оформлять, представлять, докладывать и аргументированно защищать результаты выполненной работы</p> | <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • требования к оформлению результатов выполненной работы; • методы статистической обработки и определения погрешности измерений физических величин; • пакеты программ по графическому представлению результатов выполненной работы. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • описывать, качественно и количественно объяснять результаты выполненной исследовательской работы по физике полупроводников и диэлектриков; • применять методы моделирования физические процессы в полупроводниках и диэлектриках с использованием методов вычислительной физики; |

| | | |
|------|---|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы; аргументированно защищать результаты выполненной работы <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> навыками оформления полученных данных в виде таблиц, рисунков и т.д. навыками представления итогов в виде отчетов, оформленных в соответствии с имеющимися требованиями; навыками подготовки презентаций по результатам выполненной работы. |
| ПК-1 | <p>готовностью формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач</p> | <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> основные направления и тенденции развития современной микро- и нанoeлектроники; материаловедческие проблемы электроники и нанoeлектроники; современные диэлектрические материалы, перспективы их применения в связи с развитием многоуровневой твердотельной электроники; технологические возможности перспективных методов получения структур на основе полупроводников и диэлектриков; <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> использовать информационные источники для получения новых знаний о свойствах и области применения полупроводников и диэлектриков в электронике и нанoeлектронике; формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития твердотельной электроники и нанoeлектроники; выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач; формировать план исследования, модифицировать существующие и разрабатывать новые методы, исходя из задач конкретных исследований. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> опытом выявления сути материаловедческих проблем твердотельной электроники, конкретизации целей и задач исследований объектов; методами экспериментальных исследований свойств полупроводников и диэлектриков на современном инновационном оборудовании; навыками анализа и обработки результа- |

| | | |
|------|--|---|
| | | тов исследований на основе теоретических представлений в области физики полупроводников и диэлектриков; |
| ПК-5 | способностью делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения | <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные закономерности формирования свойств полупроводников и диэлектриков с точки зрения зонной теории; • методы теоретических подходов в описании и изучении явлений в физике полупроводников и диэлектриков; • электрические, оптические и фотоэлектрические свойства полупроводников и диэлектриков; механизмы протекания тока; • особенности электронных свойств неупорядоченных и аморфных полупроводников; • квантоворазмерные эффекты и физические свойства систем пониженной размерности; • квантовые основы современной наноинженерии; <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • использовать специализированные знания в области физики конденсированного состояния вещества для обеспечения технологической реализации материалов и элементов электронной техники в приборах и устройствах электроники и нанoeлектроники; • применять модели и приближения физики конденсированного состояния вещества для описания основных физических свойств фононных и электронных состояний в полупроводниках и диэлектриках; • оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в элементах нанoeлектроники; • по результатам теоретических и экспериментальных исследований материалов формулировать рекомендации по совершенствованию устройств и систем электроники и нанoeлектроники. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками представления итогов работы в виде научных публикаций, тезисов докладов, оформления заявок на изобретения и др.; • опытом использования результатов исследований для оформления научных проектов, грантов, участия в различных молодежных конкурсах; • опытом внедрения результатов исследова- |

ний на практике.

4. Объем, структура и содержание дисциплины.4.1. Объем дисциплины составляет **6** зачетных единиц, **216** академических часов.

4.2. Структура дисциплины.

| № п/п | Разделы и темы дисциплины | Семестр | Неделя семестра | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах) | | | | Самостоятельная работа | Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам) |
|------------------|--|---------|-----------------|--|----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|---|
| | | | | Лекции | Практические занятия | Лабораторные занятия | Контроль самост. раб. | | |
| Модуль 1. | | | | | | | | | |
| 1 | Основы зонной теории полупроводников и диэлектриков. | 10 | | 2 | 2 | | 4 | 16 | (ДЗ), (С), (КСР) |
| 2 | Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках | | | 2 | 2 | 4 | 6 | 14 | (ЛР), (ДЗ), (С), (КСР) |
| | Итого по модулю 1: | | | 4 | 4 | | 10 | 30 | |
| Модуль 2 | | | | | | | | | |
| 3 | Кинетические явления в полупроводниках. | | | 2 | 2 | 8 | 4 | 14 | (ЛР), (ДЗ), (С), (КСР) |
| 4 | Генерация и рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках | | | 2 | 4 | | 6 | 12 | (ДЗ), (С), (КСР) |
| | Итого по модулю 2: | | | 4 | 6 | | 10 | 34 | |
| Модуль 3. | | | | | | | | | |
| 5 | Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках | | | 2 | 4 | 4 | 4 | 18 | (ЛР), (ДЗ), (С), (КСР) |
| 6 | Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки | | | 2 | 2 | | 4 | 12 | (ДЗ), (С), (КСР) |
| | Итого по модулю 3: | | | 4 | 6 | | 8 | 30 | |
| Модуль 4. | | | | | | | | | |
| 7 | Поляризация и электропроводность диэлектриков. Диэлектрические потери. | | | 2 | 2 | 6 | 4 | 16 | (ЛР), (ДЗ), (С), (КСР) |
| 8 | Активные диэлектрики и их применение | | | | 2 | | 4 | 14 | (ДЗ), (С), (КСР) |

| | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|--|--|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|--|
| | Итого по модулю 4: | | | 2 | 4 | | 8 | 30 | |
| | ИТОГО: 216 | | | 14 | 20 | 22 | 36 | 124 | |

4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

Модуль 1

Тема 1. Основы зонной теории полупроводников и диэлектриков

Основные приближения зонной теории. Волновая функция электрона в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха. Зона Бриллюэна. Энергетические зоны. Расчеты энергетического спектра: метод сильно связанных электронов. Законы дисперсии для важнейших полупроводников. Изоэнергетические поверхности. Тензор обратной эффективной массы.

Уравнения движения электронов и дырок во внешних полях. Метод эффективной массы. Искривление энергетических зон в электрическом поле. Движение электронов и дырок в магнитном поле. Определение эффективных масс из циклотронного (диамагнитного) резонанса. Определение параметров зонного спектра из оптических свойств.

Водородоподобные примесные центры в полупроводниках. Мелкие и глубокие уровни.

Элементарные возбуждения: электроны, дырки, поляроны, экситоны.

Тема 2. Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках

Плотность состояний и функция распределения электронов. Концентрации электронов и дырок в зонах, эффективная плотность состояний. Невырожденный и вырожденный электронный (дырочный) газ. Концентрации электронов и дырок на локальных уровнях. Факторы вырождения примесных состояний.

Вычисление положения уровня Ферми и равновесных концентраций электронов и дырок в собственном и примесном (некомпенсированном и компенсированном) полупроводнике. Многозарядные примесные центры. Определение ширины запрещенной зоны и энергетического положения примесных уровней из температурной зависимости электропроводности.

Модуль 2

Тема 3. Кинетические явления в полупроводниках.

Кинетические коэффициенты - проводимость, постоянная Холла, термо-ЭДС и эффект Пельтье; принципиальные схемы опытов. Дрейфовая скорость, дрейфовая и холловская подвижности, фактор Холла. Дрейфовый и диффузионный токи. Соотношение Эйнштейна. Биполярные проводимость и постоянная Холла.

Элементы кинетической теории явлений переноса. Кинетическое уравнение. Интеграл столкновений в случае упругого рассеяния и для изотропных изоэнергетических поверхностей. Время релаксации импульса. Механизмы рассеяния носителей заряда в неидеальной решетке. Оптические и акустические фононы. Взаимодействие носителей заряда с акустическими, оптическими, пьезоэлектрическими фононами. Рассеяние носителей на заряженных и нейтральных примесях. Одновременное действие нескольких механизмов рассеяния. Подвижность, фактор Холла и термо-ЭДС при разных механизмах рассеяния.

Тема 4. Генерация и рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках

Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Квазиравновесие, квазиуровни Ферми. Кинетика рекомбинации. Времена жизни. Фотопроводимость.

Статистика рекомбинации электронов и дырок. Механизмы рекомбинации. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через уровни примесей и дефектов. Роль прилипания. Коэффициенты и сечения захвата носителей.

Амбиполярная диффузия и амбиполярный дрейф. Эффект Дембера. Длины диффузии и дрейфа неравновесных носителей заряда.

Модуль 3

Тема 5. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках и диэлектриках

Оптические параметры и феноменологические соотношения между ними. Механизмы оптических переходов в полупроводниках. Межзонные переходы. Исследование зонной структуры по спектрам поглощения и отражения, дифференциальная спектроскопия. Поглощение и излучение вблизи края запрещенной зоны. Коэффициент поглощения для прямых и непрямых оптических переходов. Экситонное поглощение и излучение. Спонтанное и вынужденное излучение.

Поглощение света на свободных носителях заряда. Плазменное отражение, плазменная частота. Поглощение света на колебаниях решетки. Однофононный резонанс. Спектры решеточного отражения. Рассеяние света на оптических и акустических фонах.

Влияние примесей на оптические свойства. Водородоподобные примеси, исследование их спектра по оптическому поглощению в далекой ИК-области. Примесное поглощение вблизи края запрещенной зоны в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Межпримесная излучательная рекомбинация. Внутрицентровые многофононные переходы. Связанные экситоны. Электрооптические явления.

Фотоэлектрическая спектроскопия полупроводниковых структур.

Тема 6. Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки

Квантово-размерные эффекты в полупроводниках. Многоквантовые ямы и сверхрешетки. Типы сверхрешеток. Спектры поглощения и излучения в квантовых ямах и сверхрешетках.

Поглощение света и транспорт электронов в легированных и композиционных полупроводниковых сверхрешетках. Локализация Ванье-Штарка.

Модуль 4

Тема 7. Поляризация и электропроводность диэлектриков.

Диэлектрические потери.

Векторы электрического поля, индукции и поляризации. Тензор диэлектрической проницаемости. Механизмы электрической поляризации. Особенности ионной поляризации. Взаимодействие электромагнитных волн с кристаллами.

Основные особенности электропроводности диэлектриков. Нелинейная электронная проводимость в условиях инжекции носителей заряда. Ионная электропроводность диэлектриков. Частотная зависимость проводимости.

Тема 8. Активные диэлектрики и их применение

Основные определения. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект. Современные пьезоэлектрические и электрострикционные материалы.

Определение пироэлектрического эффекта. Пироэлектрические сенсорные материалы и элементы. Термопьезоэлектричество. Физические свойства электретов.

Физические основы сегнетоэлектричества. Фазовые переходы в сегнетоэлектриках. Применение сегнетоэлектриков в электронике.

4.3.1. Содержание лекционных занятий

| мо- дуль | Содержание темы |
|-------------|--|
| 1. | <p><u>Лекция 1. Основы зонной теории полупроводников и диэлектриков.</u> Уравнение Шредингера для кристалла. Волновые функции Блоха. Зона Бриллюэна. Волновой вектор, импульс, скорость и эффективная масса электрона. Свойства энергетического спектра электронов, энергетические зоны.</p> <p><u>Лекция 2. Статистика электронов и дырок в полупроводниках.</u> Плотность квантовых состояний. Собственные полупроводники, собственная концентрация свободных носителей заряда. уровень Ферми и температурная зависимость концентраций электронов и дырок в собственном полупроводнике. Статистика заполнения локальных уровней.</p> |
| 2. | <p><u>Лекция 3. Кинетические явления в полупроводниках.</u> Уравнение электронейтральности. Электропроводность. Основные механизмы рассеяния. Эффект Холла, магнитосопротивление.</p> <p><u>Лекция 4. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда.</u> Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Механизмы рекомбинации. Уравнение непрерывности. Диффузия и дрейф носителей. Соотношение Эйнштейна.</p> |
| 3. | <p><u>Лекция 5. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках и диэлектриках</u> Поглощение света полупроводниками. Люминесценция. Механизмы излучательной рекомбинации. Фотоэлектрические эффекты. Фотопроводимость.</p> <p><u>Лекция 6. Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки.</u> Квантово-размерные эффекты в полупроводниках. Многоквантовые ямы и сверхрешетки.</p> |
| 4. | <p><u>Лекция 7. Физические основы поляризации диэлектриков. Электропроводность.</u> Поляризация диэлектриков. Основные механизмы поляризации диэлектриков. Комплексная диэлектрическая проницаемость, механизмы диэлектрических потерь. Механизмы электропроводности диэлектриков.</p> |

4.3.2. Темы семинарских и практических занятий

1. Основные приближения зонной теории.
2. Уравнения движения электронов и дырок во внешних полях. Искривление энергетических зон в электрическом поле.
3. Расчет температурной зависимости положения уровня Ферми и концентрации свободных носителей заряда в полупроводниках.

4. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника.
5. Элементы кинетической теории явлений переноса. Кинетическое уравнение. Механизмы рассеяния носителей заряда в неидеальной решетке.
6. Расчет коэффициента диффузии, длины свободного пробега и времени жизни неосновных носителей заряда.
7. Механизмы рекомбинации. Излучательная и безызлучательная рекомбинация.
8. Механизмы оптических переходов в полупроводниках.
9. Примесное поглощение вблизи края запрещенной зоны в прямозонных и непрямозонных полупроводниках.
10. Исследование спектров люминесценции полупроводников.
11. Диэлектрические потери и диэлектрическая спектроскопия.
12. Пьезоэлектрический эффект. Пироэлектрики и электреты.

4.3.3. Темы самостоятельной работы

1. Основные приближения зонной теории.
2. Уравнения движения электронов и дырок во внешних полях. Искривление энергетических зон в электрическом поле.
3. Элементарные возбуждения: электроны, дырки, поляроны, экситоны.
4. Концентрации электронов и дырок в зонах. Концентрации электронов и дырок на локальных уровнях.
5. Вычисление положения уровня Ферми и равновесных концентраций электронов и дырок в собственном и примесном полупроводнике.
6. Элементы кинетической теории явлений переноса. Кинетическое уравнение. Механизмы рассеяния носителей заряда в неидеальной решетке.
7. Дрейфовая скорость, дрейфовая и холловская подвижности, фактор Холла. Дрейфовый и диффузионный токи.
8. Отрицательная дифференциальная проводимость. Электрические неустойчивости; электрические домены и токовые шнуры.
9. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Фотопроводимость.
10. Механизмы рекомбинации. Излучательная и безызлучательная рекомбинация.
11. Механизмы оптических переходов в полупроводниках.
12. Примесное поглощение вблизи края запрещенной зоны в прямозонных и непрямозонных полупроводниках.
13. Квантово-размерные эффекты. Многоквантовые ямы и сверхрешетки. Типы сверхрешеток. Спектры поглощения и излучения в квантовых ямах и сверхрешетках.
14. Физические основы поляризации диэлектриков. Электропроводность.
15. Диэлектрические потери и диэлектрическая спектроскопия.
16. Пьезоэлектрический эффект. Пироэлектрики и электреты. Сегнетоэлектрики.

4.3.4. Темы лабораторных работ

1. Исследование температурной зависимости электропроводности полупроводников.
2. Исследование электрических свойств полупроводниковых материалов.
3. Исследование свойств полупроводниковых материалов методом Холла.
4. Исследование собственного оптического поглощения в полупроводниках.
5. Исследование сегнетоэлектриков
6. Исследование электропроводности твердых диэлектриков.
7. Исследование диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь в твердых диэлектриках.
8. Исследование электрической прочности диэлектриков.

5. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий с применением, как правило, компьютерных и технических средств, учебного и научного оборудования являются:

- Информационные технологии.
- Проблемное обучение.
- Индивидуальное обучение.
- Междисциплинарное обучение.
- Опережающая самостоятельная работа.

Для достижения определенных компетенций используются следующие формы организации учебного процесса: лекция (информационная, проблемная, лекция-визуализация, лекция-консультация и др.), практическое занятие, лабораторные занятия, семинарские занятия, самостоятельная работа, консультация. Допускаются комбинированные формы проведения занятий, такие как лекционно-практические занятия.

Преподаватель самостоятельно выбирают наиболее подходящие методы и формы проведения занятий из числа рекомендованных и согласуют выбор с кафедрой.

Реализация компетентного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий и организации внеаудиторной работы (компьютерных симуляций, деловых и ролевых игр, разбора конкретных ситуаций, психологических и иных тренингов) с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. Интерактивное обучение – метод, в котором реализуется постоянный мониторинг освоения образовательной программы, целенаправленный текущий контроль и взаимодействие (интерактивность) преподавателя и студента в течение всего процесса обучения.

Самостоятельная работа организована в соответствии с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей.

Основные аспекты применяемой технологии проблемного обучения:

- постановка проблемных задач отвечает целям освоения дисциплины «Физика конденсированного состояния» и формирует необходимые компетенции;
- решаемые проблемные задачи стимулируют познавательную деятельность и научно-исследовательскую активность студентов.

По лекционному материалу подготовлено учебное пособие, конспекты лекций в электронной форме и на бумажном носителе, большая часть теоретического материала излагается с применением слайдов (презентаций) в программе **Power Point**, а также с использованием интерактивных досок.

Обучающие и контролируемые модули внедрены в учебный процесс и размещены на Образовательном сервере Даггосуниверситета (<http://edu.icc.dgu.ru>), к которым студенты имеют свободный доступ.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Промежуточный контроль.

В течение семестра студенты выполняют:

- домашние задания, выполнение которых контролируется и при необходимости обсуждается на практических занятиях;
- промежуточные контрольные работы во время практических занятий для выявления степени усвоения пройденного материала;
- выполнение итоговой контрольной работы по решению задач, охватывающих базовые вопросы курса: в конце семестра.

Итоговый контроль.

Зачет в конце 7 семестра, включающий проверку теоретических знаний и умение решения по всему пройденному материалу.

Изучать дисциплину рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе учебной дисциплины. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об изучаемых вопросах, а также отметить трудные и неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения, математические зависимости и выводы. Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее формулировки законов и основных понятий, новые незнакомые термины и названия, формулы, уравнения, математические зависимости и их выводы, так как при записи материал значительно лучше усваивается и запоминается.

7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Фонды оценочных средств (контрольные вопросы и типовые задания для практических занятий, зачета; тесты и компьютерные тестирующие программы, примерную тематику рефератов и т.п., а также иные формы контроля, позволяющие оценить степень сформированности компетенций обучающихся) для проведения текущего, промежуточного и итогового контроля успеваемости и промежуточной аттестации имеются на кафедре. Они также размещены на образовательном сервере Даггосуниверситета (по адресу: <http://edu.dgu.ru>), а также представлены в управление качества образования ДГУ.

Методические рекомендации преподавателям по разработке системы оценочных средств и технологий для проведения текущего контроля успеваемости по дисциплинам (модулям) ООП (тематики докладов, рефератов и т.п.), а также для проведения промежуточной аттестации по дисциплинам (модулям) ООП (в форме зачетов, экзаменов, курсовых работ / проектов и т.п.) и практикам представлены в Положении «О модульно-рейтинговой системе обучения студентов Дагестанского государственного университета», утвержденном ученым Советом Даггосуниверситета.

Уровень освоения учебных дисциплин обучающимися определяется следующими оценками: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценки "**отлично**" заслуживает обучающийся, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение свободно выполнять практические задания, предусмотренные программой, усвоивший основную литературу и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой.

Оценки "**хорошо**" заслуживает обучающийся, обнаруживший полное знание учебного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе практические задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе.

Оценки "**удовлетворительно**" заслуживает обучающийся, обнаруживший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением практических заданий, предусмотренных программой, знакомых с основной литературой, рекомендованной программой.

Оценка "**неудовлетворительно**" выставляется обучающемуся, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой практических заданий.

7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования приведен в описании образовательной программы.

| Компетенция | Знания, умения, навыки | Процедура освоения |
|------------------------|---|--------------------|
| ОК-2 ОПК-5 | Знать: <ul style="list-style-type: none"> • современные методы научно-исследовательской работы; • требования к оформлению результатов выполненной работы; • методы статистической обработки и определения погрешности измерений физических величин; • программы по графическому представлению результатов выполненной работы; | Устный опрос |
| ОПК-1 ПК-1 | Знать: <ul style="list-style-type: none"> • современные тенденции развития материаловедения, твердотельной электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий; • материаловедческие проблемы электроники и нанoeлектроники; • современные диэлектрические материалы, перспективы их применения в связи с развитием многоуровневой твердотельной электроники | Устный опрос |
| ОПК-1 ПК-5 | Знать: <ul style="list-style-type: none"> • основные закономерности формирования свойств полупроводников и диэлектриков с точки зрения зонной теории; • методы вычислительной физики и математического моделирования для описания физических процессов и явлений в полупроводниках и диэлектриках. | Устный опрос |
| ОК-2 ОПК-1 ОПК-5 | Уметь: <ul style="list-style-type: none"> • формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития твердотельной электроники и нанoeлектроники; • выбирать необходимые методы исследования, модифицировать существующие и разрабатывать новые методы исходя из задач конкретного исследования; • выбирать методы и средства решения | Устный опрос |

| | | |
|--|--|---|
| <p>ОПК-1 ОПК-5 ПК-1 ПК-5</p> | <p>конкретных задач, использовать для их решения физических измерительных приборов и приемов.</p> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • анализировать, систематизировать и обобщать научно-техническую информацию в области современного материаловедения; • применять модели и приближения физики конденсированного состояния вещества для описания основных физических свойств фононных и электронных состояний в полупроводниках и диэлектриках; • по результатам теоретических и экспериментальных исследований материалов формулировать рекомендации по совершенствованию устройств и систем электроники и нанoeлектроники. | <p>Устный опрос</p> |
| <p>ОК-2 ОПК-1 ОПК-5</p> <p>ОПК-1 ОПК-5 ПК-1 ПК-5</p> | <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • методами экспериментальных исследований свойств полупроводников и диэлектриков на современном инновационном оборудовании; • методами (инструментарием) научного анализа и научного проектирования в научных исследованиях; • навыками представления итогов работы в виде научных публикаций, тезисов докладов, оформления заявок на изобретения и др.; <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основами теоретических знаний для решения практических задач; • опытом выявления сути материаловедческих проблем твердотельной электроники, конкретизации целей и задач исследований объектов; • навыками анализа и обработки результатов исследований на основе теоретических представлений физики полупроводников и диэлектриков; • опытом внедрения результатов исследований на практике. | <p>Устный опрос, письменный опрос, выступление на семинарах, мини-конференция.</p> <p>Устный опрос, письменный опрос, выступление на семинарах, мини-конференция.</p> |

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания.

Схема оценки уровня формирования компетенции

ОК-2 - способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом

| Уровень | Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать) | Оценочная шкала | | |
|-------------|---|--|--|--|
| | | Удовлетворительно | Хорошо | Отлично |
| Пороговый | Представление о современных методах научно-исследовательской работы и принципах работы инновационного оборудования | Знаком с современными методами научно-исследовательской работы и принципами работы инновационного оборудования | Показывает знания современных методов организации научно-исследовательской работы и принципов работы инновационного оборудования | Демонстрирует четкие знания методов организации научно-исследовательской работы, показывает готовность к изучению современных инновационных методов и инструментария |
| Базовый | Умение организовать научно-исследовательские и научно-производственные работы, формулировать и решать задачи, выбирать необходимые методы исследования | Знаком с методами организации научно-исследовательских и научно-производственных работ, может выбирать необходимые методы исследования | Демонстрирует знание методов организации научно-исследовательских и научно-производственных работ, умение выбирать необходимые методы исследования | Показывает знание методов организации научно-исследовательских и научно-производственных работ, умение выбирать методы исследования, формулировать и решать задачи |
| Продвинутый | Представление о методах научного анализа и научного проектирования в научных исследованиях, знаком с компьютерной техникой и информационными технологиями | Знаком с методами научного анализа и научного проектирования в научных исследованиях, компьютерной техникой и информационными технологиями | Демонстрирует знания методов научного анализа и научного проектирования в научных исследованиях, компьютерной техники и информационных технологий | Показывает углубленные знания методов научного анализа и научного проектирования в научных исследованиях, компьютерной техники и информационных технологий |

ОПК-1 - способность понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения

| Уровень | Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать) | Оценочная шкала | | |
|-------------|---|---|---|---|
| | | Удовлетворительно | Хорошо | Отлично |
| Пороговый | Представление о современных тенденциях развития материаловедения, понимание основных проблем в области физики полупроводников и диэлектриков | Знаком с современными тенденциями развития материаловедения, понимает основные проблемы в области физики полупроводников и диэлектриков | Показывает знания современных тенденций развития материаловедения, понимает основные проблемы в области физики полупроводников и диэлектриков | Демонстрирует знания современных тенденций развития материаловедения, показывает готовность к углубленному анализу проблем в области физики полупроводников и диэлектриков |
| Базовый | Умение создавать и анализировать теоретические модели физических процессов и явлений в полупроводниках и диэлектриках; выбирать методы и средства решения конкретных задач | Участвует в анализе теоретических моделей физических процессов и явлений в полупроводниках и диэлектриках; умеет выбирать методы и средства решения конкретных задач | Демонстрирует умение создавать и анализировать теоретические модели физических процессов и явлений в полупроводниках и диэлектриках; выбирать методы и средства решения конкретных задач | Способен создавать и анализировать теоретические модели физических процессов и явлений в полупроводниках и диэлектриках; самостоятельно изучать специальную научную литературу, выбирать методы и средства решения конкретных задач |
| Продвинутый | Знания теоретических основ физики полупроводников и диэлектриков, методологий теоретических и экспериментальных исследований; методов количественного формулирования и решения практических задач | Знаком с теоретическими основами физики полупроводников и диэлектриков, методологией теоретических и экспериментальных исследований; методами количественного формулирования и решения практических задач | Демонстрирует знания теоретических основ физики полупроводников и диэлектриков, методологий теоретических и экспериментальных исследований; методов количественного формулирования и решения практических задач | Показывает углубленные знания теоретических основ физики полупроводников и диэлектриков, методологий теоретических и экспериментальных исследований; умение самостоятельно формулировать и решать практические задачи |

ОПК-5 - готовность оформлять, представлять, докладывать и аргументированно защищать результаты выполненной работы

| Уровень | Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать) | Оценочная шкала | | |
|-------------|--|--|---|---|
| | | Удовлетворительно | Хорошо | Отлично |
| Пороговый | Знание требований к оформлению результатов выполненной работы, методов обработки и представления результатов измерений | Знаком с требованиями оформления результатов выполненной работы, методами обработки и представления результатов измерений | Показывает знания требований к оформлению результатов выполненной работы, методов обработки и представления результатов измерений | Демонстрирует умение выполнять требования при оформлении результатов выполненной работы, применять методы обработки и представления результатов измерений |
| Базовый | Умение создавать и анализировать теоретические модели физических процессов и явлений в полупроводниках и диэлектриках; выбирать методы и средства решения конкретных задач | Участвует в анализе теоретических моделей физических процессов и явлений в полупроводниках и диэлектриках; умеет выбирать методы и средства решения конкретных задач | Демонстрирует умение создавать и анализировать теоретические модели физических процессов и явлений в полупроводниках и диэлектриках; выбирать методы и средства решения конкретных задач | Способен создавать и анализировать теоретические модели физических процессов и явлений в полупроводниках и диэлектриках; самостоятельно изучать специальную научную литературу, выбирать методы и средства решения конкретных задач |
| Продвинутый | Владеть навыками оформления и представления итогов в виде отчетов, подготовки презентаций, докладывать и аргументированно защищать результаты выполненной работы | Показывает владение навыками оформления и представления итогов в виде отчетов, подготовки презентаций, видит возможности аргументированно защищать результаты работы | Демонстрирует готовность оформлять и представлять итоги выполненной работы в виде отчетов в соответствии с требованиями, подготовить презентации, умение аргументированно защищать результаты работы. | Способен оформлять и представлять итоги выполненной работы в виде отчетов и презентаций, докладывать и аргументированно защищать результаты выполненной работы |

ПК-1 - готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач

| Уровень | Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать) | Оценочная шкала | | |
|-------------|---|--|--|--|
| | | Удовлетворительно | Хорошо | Отлично |
| Пороговый | Знание основных направлений и тенденций развития современной микро- и наноэлектроники, умение формулировать цели и задачи научных исследований | Знаком с основными направлениями и тенденциями развития современной микро- и наноэлектроники, способен формулировать цели и задачи научных исследований | Демонстрирует знания основных направлений и тенденций развития современной микро- и наноэлектроники, способен формулировать цели и задачи научных исследований | Показывает знания основных направлений и тенденций развития современной микро- и наноэлектроники, умеет формулировать цели и задачи научных исследований |
| Базовый | Готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития твердотельной электроники и наноэлектроники; выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач | Участвует в определении целей и задач научных исследований, в выборе теоретических и экспериментальных методов и средств решения сформулированных задач | Демонстрирует умение формулировать цели и задачи научных исследований, выбирать теоретические и экспериментальные методы решения конкретных задач | Способен самостоятельно изучить тенденции развития электроники и наноэлектроники, формулировать цели и задачи научных исследований, выбирать теоретические и экспериментальные методы решения конкретных задач |
| Продвинутый | Умение формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач | Показывает владение навыками конкретизации целей и задач научных исследований, находит дополнительный материал для формулировки и выбора методов решения новых задач | Демонстрирует готовность формулировать цели и задачи научных исследований, способность обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач | Способен формулировать цели и задачи научных исследований, выбирать эффективные теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач |

ПК-5 - способность делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения

| Уровень | Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать) | Оценочная шкала | | |
|-------------|---|--|--|---|
| | | Удовлетворительно | Хорошо | Отлично |
| Пороговый | Знание основных закономерностей формирования и свойств полупроводников и диэлектриков с точки зрения классической и квантовой теорий | Знаком с основными закономерностями формирования свойств и методами теоретических подходов в описании и изучении явлений в физике полупроводников и диэлектриков | Способен демонстрировать знания основных закономерностей формирования свойств и умение выбирать теоретические подходы в описании и изучении явлений в полупроводниках и диэлектриках | Показывает умение использовать знания основных закономерностей формирования свойств полупроводников и диэлектриков для анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований |
| Базовый | Умение формулировать рекомендации по совершенствованию устройств и систем электроники и нанoeлектроники на основе изучения основных физических свойств и явлений в полупроводниках и диэлектриках | Может описать особенности физических свойств полупроводников и диэлектриков, делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований | Способен формулировать рекомендации по совершенствованию устройств и систем электроники и нанoeлектроники на основе изучения основных физических свойств полупроводников и диэлектриков | Показывает умение эффективного применить знания в области изучаемого предмета для формулировки рекомендации по совершенствованию устройств и систем электроники и нанoeлектроники |
| Продвинутый | Умение делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, формулировать рекомендации по совершенствованию устройств и систем электроники и нанoeлектроники, готовить научные публикации и заявки на изобретения | Показывает владение навыками делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, формулировать рекомендации по совершенствованию устройств и систем электроники и нанoeлектроники | Демонстрирует готовность формулировать рекомендации по совершенствованию устройств и систем электроники и нанoeлектроники, умение готовить научные публикации и заявки на изобретения по результатам теоретических и экспериментальных исследований, | Показывает умение делать обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, формулировать рекомендации по совершенствованию устройств и систем электроники и нанoeлектроники, готовить научные публикации и заявки на изобретения |

7.3. Типовые контрольные задания

7.3.1. Экзаменационные вопросы

1. В чем сущность адиабатического и одноэлектронного приближений при решении уравнения Шредингера.
2. Сущность приближений почти свободных и почти связанных электронов.
3. Что такое зона Бриллюэна. Правило построения зон Бриллюэна.
4. Закон дисперсии. Основные свойства закона дисперсии для электрона в кристалле.
5. Каковы различия в зонной структуре металлов, полупроводников и диэлектриков.
6. Эффективная масса электрона в кристалле. Ее физический смысл.
7. Связь эффективной массы с кривизной изоэнергетической поверхности, скоростью и квазиимпульсом.
8. Водородоподобные примесные центры в полупроводниках. Мелкие и глубокие уровни.
9. Каковы определения дефектов-доноров и дефектов-акцепторов.
10. Чем отличается распределение носителей заряда по состояниям в разрешенных зонах и на примесных уровнях.
11. Основные закономерности зонной структуры реальных полупроводников
12. Плотность квантовых состояний и функция распределения электронов по энергиям.
13. Статистика равновесных носителей в собственном полупроводнике.
14. Статистика равновесных носителей в полупроводнике n -типа.
15. Статистика равновесных носителей в полупроводнике p -типа.
16. Рассеяние носителей заряда на колебаниях атомов кристаллической решетки.
17. Рассеяние носителей заряда на ионизированных атомах примеси.
18. Дрейфовая подвижность носителей и ее зависимость от температуры;
19. Электропроводность собственных и примесных полупроводников.
20. Эффект Холла.
21. Изменение сопротивления в магнитном поле.
22. Неравновесные носители заряда. Уравнение непрерывности.
23. Биполярная световая генерация.
24. Монополярная световая генерация.
25. Межзонная рекомбинация неравновесных носителей.
26. Межзонная ударная рекомбинация неравновесных носителей.
27. Рекомбинация через локальные центры.
28. Поглощение света. Фундаментальные (собственные) поглощения.
29. Примесные и экситонные поглощения. Поглощение свободными носителями и решеточное.
30. Фотопроводимость.
31. Эффект Дембера и фотоэлектромагнитный эффект.
32. Квантово-размерные эффекты в тонких слоях.
33. Многоквантовые ямы и сверхрешетки.
34. Общие понятия о поляризации диэлектриков. Векторы поляризации и электрического смещения.
35. Поляризация неполярных диэлектриков
36. Дипольно-релаксационная и ионно-релаксационная поляризация диэлектриков.
37. Понятие о диэлектрических потерях. Потери сквозной проводимости.
38. Диэлектрические релаксационные потери.
39. Пьезоэлектрический эффект.
40. Пироэлектрики и электреты. Сегнетоэлектрики.

7.3.2. Контрольные вопросы к самостоятельной работе

Тема 1. Основы зонной теории полупроводников и диэлектриков

- В чем сущность адиабатического и одноэлектронного приближений при решении уравнения Шредингера.
- Как идеальная решетка воздействует на движение электрона по кристаллу.
- Сущность приближений почти свободных и почти связанных электронов. Какие основные выводы можно сделать из решения уравнения Шредингера этими методами.
- Что такое зона Бриллюэна. Правило построения зон Бриллюэна.
- Закон дисперсии. Основные свойства закона дисперсии для электрона в кристалле. Геометрическое представление закона дисперсии.
- Чем отличается энергетический спектр электронов в кристалле от спектра в изолированном атоме.
- Что такое квазиимпульс электрона.
- Каковы различия в зонной структуре металлов, полупроводников и диэлектриков.
- Эффективная масса электрона в кристалле. Ее физический смысл.
- Связь эффективной массы с кривизной изоэнергетической поверхности, скоростью и квазиимпульсом.
- Приведите и объясните эксперименты, подтверждающие существование энергетических зон в твердых телах.
- Каким экспериментом можно определить эффективные массы носителей заряда.
- Что такое водородоподобная модель примесных состояний.
- Каковы определения дефектов-доноров и дефектов-акцепторов.
- Чем отличается распределение носителей заряда по состояниям в разрешенных зонах и на примесных уровнях.
- Основные закономерности зонной структуры реальных полупроводников.

Тема 2. Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках

- Какая связь между функциями $f_n(E, T)$ и $f_p(E, T)$. Найдите их вид для вырожденного и невырожденного полупроводника.
- Какие носители заряда в полупроводниках называются равновесными.
- Понятие о собственном и примесном полупроводниках.
- Дайте определение функции плотности состояний для электронов и дырок. Чему она равна в k -пространстве.
- Дайте графическую иллюстрацию выражений для концентраций электронов и дырок в случае вырожденного и невырожденного полупроводника n - и p -типа.
- Где в энергетическом спектре собственного полупроводника расположен уровень Ферми. В чем отличие уровня Ферми в полупроводниках от энергии Ферми в металлах.
- Что собой представляет энергетический спектр электронов в полупроводнике.
- В какой из половин запрещенной зоны находится уровень Ферми в полупроводниках n - и p -типов.
- Как подсчитать эффективное число состояний в зонах.
- Приведите формулу для концентрации носителей заряда в собственном полупроводнике для невырожденного и вырожденного полупроводника.
- Покажите, что в сильно вырожденном полупроводнике концентрация электронов не зависит от температуры.
- Как экспериментально найти ширину запрещенной зоны в невырожденном полупроводнике.
- Как зависит ширина запрещенной зоны от внешних факторов.
- Покажите графически температурную зависимость уровня Ферми собственного и невырожденного донорного полупроводника.

- В чем проявляется закон действующих масс в полупроводнике.
- Понятие о плотности состояний и зависимости ее от энергии для разрешенных зон и примесных уровней.
- Концентрация носителей, выраженная через уровень Ферми.
- Запишите и поясните условие электронейтральности в общем случае.
- Что учитывает фактор вырождения в функции распределения.
- Иллюстрируйте графическую температурную зависимость концентрации носителей заряда в собственном полупроводнике и в полупроводника с одним типом примеси.
- Может ли примесный полупроводник обладать собственной проводимостью.
- Каково условие вырождения полупроводника при введении в него примесей. В какой из полупроводников InAs или Ge нужно ввести большую концентрацию примеси для достижения вырождения.

Тема 3. Кинетические явления в полупроводниках.

- Понятие о подвижности носителей. Электропроводность полупроводника.
- Что такое энергия активации проводимости.
- Каков механизм действия фононов на электропроводность.
- Зависимость подвижности и электропроводности от температуры.
- Рассеяние носителей заряда в полупроводниках. Основные механизмы рассеяния.
- В чем заключается эффект Холла в твердых телах. Как отклоняются электроны и дырки.
- Что такое магнетосопротивление.
- Какую информацию можно получить из измерений эффекта Холла.
- Какие явления и эффекты приводят к повышению концентрации носителей заряда в полупроводниках в сильных электрических полях.
- Какие явления и эффекты связаны с увеличением подвижности носителей заряда в полупроводниках в сильных электрических полях.
- Что такое ударная ионизация, электростатическая ионизация, эффект Зинера.

Тема 4. Генерация и рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках

- Какое состояние носителей заряда называется неравновесным. Как можно его описать. Что такое квазиуровни Ферми.
- Каковы основные механизмы рекомбинации носителей заряда в полупроводниках.
- Какие способы генерации носителей заряда в полупроводнике вы можете назвать.
- Что такое максвелловское время релаксации и каков порядок его величины.
- Запишите уравнение непрерывности в общем виде и поясните смысл входящих в него членов.
- Какие законы рекомбинации вы знаете. Каким механизмам рекомбинации они соответствуют.
- Что такое Оже-рекомбинация.
- Что характеризует время жизни носителей заряда. Что характеризует сечение рассеяния.
- Как влияет положение уровня Ферми на время жизни носителей заряда.
- Каково влияние явления прилипания носителей на время жизни.
- Как рассчитать пространственное распределение концентрации избыточных носителей заряда в стационарных условиях.
- Как экспериментально найти энергетическое положение рекомбинационного уровня.
- Что характеризует диффузионная длина неосновных носителей заряда и как ее экспериментально найти.

- В чем состоят явления инжекции, эксклюзии, экстракции и аккумуляции носителей заряда и в чем их причина.
- Какие процессы протекают при локальном введении в полупроводник неравновесных неосновных носителей.
- Какие процессы протекают при локальном введении в полупроводник неравновесных основных носителей.
- Чем определяется направление и скорость движения пакета неравновесных носителей заряда.
- Соотношение Эйнштейна.
- Как экспериментально определить дрейфовую подвижность неосновных носителей.
- Как экспериментально определить время жизни неосновных носителей.

Тема 5. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках и диэлектриках

- Что такое фотопроводимость и от каких параметров она зависит.
- Что такое собственная и примесная фотопроводимость.
- В результате каких видов поглощения может возникнуть фотопроводимость.
- Как фотопроводимость зависит от интенсивности освещения.
- Что такое фоточувствительность и зачем вводится это понятие.
- Какие энергетические параметры полупроводника можно определить из спектральной зависимости фотопроводимости.
- Какие макроскопические параметры характеризуют взаимодействие электромагнитного излучения с веществом.
- Как связаны коэффициенты пропускания света, его поглощения и отражения.
- В чем состоит закон Бугера-Ламберта.
- Что такое спектр поглощения.
- Каков физический смысл коэффициента поглощения.
- Виды оптического поглощения в полупроводниках.
- Как проявляют себя фононы в явлении поглощения света твердыми телами.
- В чем состоит физический смысл прямозонных и непрямозонных электронных переходов в энергетическом спектре полупроводников.
- Форма края собственного поглощения при прямых переходах.
- Что такое экситон.
- Форма края собственного поглощения при непрямых переходах.
- Какую информацию можно получить из исследований спектров собственного поглощения.
- Какую информацию можно получить из исследований спектров примесного поглощения.
- Что такое люминесценция. Какие механизмы излучательной рекомбинации вы знаете.

Тема 6. Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки.

- Квантовое ограничение. Квантовые ямы (колодцы), проволоки и точки.
- Сверхрешетки.
- Туннелирование сквозь потенциальный барьер.
- Баллистический транспорт носителей заряда.
- Спиновые эффекты.
- Электронно-оптические эффекты.
- Квантовые наноструктуры.

Тема 7. Поляризация и электропроводность диэлектриков.

Диэлектрические потери.

- Что такое поляризация диэлектрика. Механизмы поляризации.
- В чем заключается электронная, ионная и ориентационная механизмы поляризации.
- В каких диэлектриках имеет место ориентационная поляризация.
- Формула Клазиуса-Мосотти.
- Что такое угол диэлектрических потерь.
- Понятие о комплексной диэлектрической проницаемости.
- В чем заключается основная роль применения эквивалентных схем.
- Характеристика тепловых видов поляризации.
- В чем состоит физическая сущность диэлектрических потерь.
- Какие явления называют прямым и обратным пьезоэффектом.
- Дайте определение пирозффекта. Какие кристаллы относятся к пирозэффектам.
- Чем отличаются сегнетоэлектрики от линейных пирозэффектов.
- Объясните механизм пирозффекта в простой модели однородного полярного кристалла.
- Чем обусловлены первичный и вторичный пирозэффекты.
- Назовите отличительные особенности сегнетоэлектриков.
- Объясните механизм формирования петель гистерезиса. Какие параметры сегнетоэлектрика по ней можно определить.
- Доменная структура сегнетоэлектриков.
- Что такое электреты.

7.3.3. Примеры текстовых заданий для промежуточного контроля

1. **Какое из приведенных выражений соответствует функции распределения Ферми- Дирака для электронов (μ - химический потенциал)**

$$1) f = \frac{e^{\frac{\mu - E}{k_0T}}}{1 + e^{\frac{\mu - E}{k_0T}}} \quad 2) f = \frac{e^{\frac{E - \mu}{k_0T}}}{1 + e^{\frac{E - \mu}{k_0T}}} \quad 3) f = A e^{\frac{E - \mu}{k_0T}} \quad 4) f = \frac{e^{\frac{E - \mu}{k_0T}}}{1 + e^{\frac{E - \mu}{k_0T}}}$$

2. **Вероятность заполнения электронами при комнатной температуре энергетического уровня, лежащего на 0.1 эВ выше уровня Ферми, равна:**

$$1) 0,1 \quad 2) 1,8 \cdot 10^{-2} \quad 3) 1,5 \cdot 10^{-3} \quad 4) 0,5 \cdot 10^{-4} \quad 5) 0,8 \cdot 10^{-5}.$$

3. **Какое из следующих выражений является наиболее общим решением одно-электронного уравнения Шредингера с периодическим потенциалом:**

$$1) \psi_k(r) = C e^{ikr}, \text{ где } C - \text{ постоянная} \quad 2) \varepsilon(k) = \frac{\int \psi_k^* \hat{H} \psi_k dr}{\int \psi_k^* \psi_k dr} \quad 3) \varepsilon_k = \frac{\hbar^2}{2m} k^2$$

$$4) \psi_k(r) = u_k(r) e^{ikr} \quad 5) \varepsilon_F = \frac{\hbar^2}{2m} (3\pi^2 n)^{\frac{2}{3}}$$

4. **Для электронов, располагающихся вблизи максимумов энергетической зоны, эффективная масса:**

- 1) обращается в нуль
- 2) положительна
- 3) обращается в бесконечность
- 4) отрицательна
- 5) равна массе свободного электрона.

5. **В соответствии с зонной теорией твердые тела относятся к полупроводникам, если:**
- 1) последняя зона, в которой есть электроны, заполнена частично
 - 2) валентная зона заполнена электронами полностью, но она перекрывается со следующей разрешенной зоной, не занятой электронами
 - 3) валентная зона заполнена электронами полностью и отделена от следующей за ней свободной зоны широкой ($> 5-6$ эВ) запрещенной зоной
 - 4) валентная зона заполнена электронами полностью и отделена от следующей за ней свободной зоны широкой ($> 2-3$ эВ) запрещенной зоной
 - 5) валентная зона заполнена электронами полностью и отделена от следующей за ней свободной зоны узкой ($< 2-3$ эВ) запрещенной зоной
6. **Эффективные массы носителей заряда можно определить из экспериментов по:**
- 1) циклотронному резонансу
 - 2) температурной зависимости электропроводности
 - 3) температурной зависимости подвижности
 - 4) эффекту Холла
 - 5) термомагнитным явлениям.
7. **Область значений волнового вектора k , в пределах которой энергия $E(k)$ электрона испытывает полный цикл своего изменения, называют:**
- 1) зоной Бриллюэна
 - 2) запрещенной зоной
 - 3) валентной зоной
 - 4) зоной проводимости
 - 5) энергетической щелью.
8. **Согласно приближению сильно связанных электронов, причиной расщепления атомных уровней в энергетические зоны при сближении атомов является:**
- 1) дифракция валентных электронов на границах зон Бриллюэна
 - 2) перекрытие атомных волновых функций
 - 3) эффективное электрон-фонон-электронное взаимодействие, приводящее к образованию связанных электронных пар
 - 4) рассеяние электронов на фононах и дефектах кристаллической решетки
 - 5) принцип запрета Паули.
9. **Знание компонент m_{ij}^* тензора эффективной массы позволяет описать движение электрона в кристалле как движение свободной частицы с массой m_{ij}^* :**
- 1) только во внешних электрических полях
 - 2) только во внешних магнитных полях
 - 3) в одном только электрическом поле решетки
 - 4) во внешних электрических и магнитных полях
 - 5) во внешних полях при одновременном действии периодического поля решетки
10. **Какое из следующих утверждений верно:**
- А) вырождение примесного полупроводника наступает тем раньше, чем больше концентрация свободных носителей заряда.
 - В) вырождение примесного полупроводника наступает тем раньше, чем ниже температура (при данной концентрации) и чем меньше эффективная масса носи-

телей заряда.

- 1) верно только А
- 2) верно только В
- 3) верны оба утверждения
- 4) оба утверждения неверны.

11. Концентрация электронов и дырок в собственном полупроводнике:

- 1) зависит от положения уровня Ферми и растет с ростом температуры по экспоненциальному закону
- 2) не зависит от положения уровня Ферми и растет с ростом температуры по экспоненциальному закону
- 3) зависит от положения уровня Ферми и уменьшается с ростом температуры по экспоненциальному закону
- 4) не зависит от положения уровня Ферми и уменьшается с ростом температуры по экспоненциальному закону
- 5) не зависит от положения уровня Ферми и растет с ростом температуры по линейному закону

12. Удельное сопротивление монокристалла кремния p-типа при комнатной температуре (300 К) составляет $9 \cdot 10^{-4}$ Ом.м. Определите коэффициент Холла, если подвижность дырок $0,04 \text{ м}^2/(\text{В.с})$.

- 1) $3,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{Кл}$
- 2) $2,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{Кл}$
- 3) $3,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{Кл}$
- 4) $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{Кл}$
- 5) $7,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{Кл}$

13. Явление, заключающееся в возникновении в полупроводнике при приложении сильного постоянного электрического поля колебаний тока с частотой порядка 10^{10} Гц, называют:

- 1) эффектом Холла
- 2) фотоэлектрическим эффектом
- 3) эффектом Ганна
- 4) эффектом Пельтье
- 5) циклотронным резонансом

14. Дырочный полупроводник невырожден, если:

- 1) уровень Ферми лежит в валентной зоне ниже потолка валентной зоны на 5 кТ
- 2) уровень Ферми расположен в зоне проводимости выше дна зоны проводимости по крайней мере на 5 кТ
- 3) уровень Ферми лежит в запрещенной зоне ниже дна зоны проводимости не менее чем на кТ
- 4) уровень Ферми лежит в запрещенной зоне выше потолка валентной зоны не менее чем на кТ
- 5) уровень Ферми лежит в середине запрещенной зоны.

15. Основным методом измерения концентрации носителей и определении их знака в случае примесной проводимости является:

- 1) эффект Холла
- 2) измерение термо эдс
- 3) измерения проводимости и подвижности носителей
- 4) измерения температурной зависимости примесной проводимости
- 5) измерения красной границы фотопроводимости

16. Какое из следующих утверждений верно:

- А. вырождение примесного полупроводника наступает тем раньше, чем больше концентрация свободных носителей заряда.
- В. вырождение примесного полупроводника наступает тем раньше, чем ниже температура (при данной концентрации) и чем меньше эффективная масса носителей заряда.

- 1) Верны оба утверждения 2) Оба утверждения неверны
 3) Верно только А 4) Верно только В

17. Рекомбинация носителей заряда в полупроводниках называется экситонной, если электрон:

- 1) переходит непосредственно из зоны проводимости в валентную зону
- 2) прежде захватывается некоторым локальным центром, затем переходит в валентную зону и рекомбинирует с дыркой
- 3) и дырка захватываются соответствующими рекомбинационными центрами, а затем происходит рекомбинация посредством перехода электрона на локальный уровень дырки
- 4) переходит из зоны проводимости на мелкий уровень донора и нейтрализует ионизованный донор
- 5) образующий с дыркой связанную квазичастицу с нулевым спином, рекомбинирует с дыркой.

18. Подвижность дырок в монокристалле кремния при комнатной температуре (300 К) равна 0,04 м²/(В.с). Коэффициент диффузии дырок при этой температуре:

- 1) 41,4 · 10⁻² м²/с 2) 4,4 · 10⁻² м²/с 3) 10,3 · 10⁻² м²/с 4) 10,3 · 10⁻⁴ м²/с
- 5) 41,4 · 10⁻⁴ м²/с

19. Эффектом Дембера называют:

- 1) явление возникновения в освещенном полупроводнике вследствие различия в коэффициентах диффузии электронов и дырок объемной ЭДС
- 2) процесс эмиссии электронов из полупроводника под действием излучения
- 3) явление, заключающееся в возникновении в полупроводнике при приложении сильного постоянного электрического поля колебаний тока с частотой порядка 10¹⁰ Гц
- 4) изменение электрического сопротивления полупроводника под действием излучения
- 5) явление возникновения в полупроводнике с текущим по нему током поперечного электрического поля под действием магнитного поля.

20. Рекомбинацией называется любой процесс, приводящий к переходу электрона:

- 1) в зону проводимости
- 2) из зоны проводимости в состояние, локализованное вблизи примеси или дефекта
- 3) с примесного уровня в незанятое электронами состояние в валентной зоне
- 4) на более высокие уровни энергии (в зону проводимости или запрещенную зону)
- 5) из зоны проводимости в валентную зону с заполнением какого-либо дырочного состояния, в результате чего происходит исчезновение электрона и дырки

21. Эффектом поля называют:

- 1) явление разогрева электронно-дырочного газа в сильных электрических полях
- 2) явление ударной ионизации в сильном электрическом поле, в результате чего возникают электронно-дырочные пары.
- 3) явление наклона энергетических зон у полупроводника, находящегося во внешнем электрическом поле

- 4) явление увеличения концентрации свободных носителей заряда вследствие уменьшения энергии ионизации атомов донорной примеси в сильном электрическом поле
 5) явление изменения проводимости полупроводника под действием электрического поля, нормального к его поверхности.

22. Какое из следующих выражений является уравнением непрерывности для электронов в полупроводнике.

$$1) \frac{\mu_n}{D_n} = \frac{e}{kT} \quad 2) \frac{\partial n}{\partial t} = G - \frac{\partial f_n}{\partial x} - \frac{n - n_0}{\tau_n} \quad 3) J_n = e n \mu_n E + e D_n \frac{dn}{dx}$$

$$4) n = N_e \exp \left(-\frac{E_c - E_F}{kT} \right) \quad 5) n_i = (N_c N_v)^{1/2} \exp \left(-\frac{E_c - E_v}{2kT} \right)$$

23. Что такое демаркационный уровень?

- 1) энергетический уровень ловушки, для которого вероятность рекомбинации выше, чем для теплового освобождения носителя заряда
- 2) энергетический уровень ловушки, для которого вероятность теплового освобождения носителя заряда выше, чем вероятность рекомбинации
- 3) энергетический уровень ловушки, для которого вероятность рекомбинации и теплового освобождения носителя заряда одинакова
- 4) центр рекомбинации
- 5) уровень прилипания

24. Вычислить диффузионную длину электронов в невырожденном Ge при 300 K, если время жизни электронов составляет $\tau_n = 10^{-4}$ с, $\mu_n = 3800$ см²/Вс. ($k_0 = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К).

- 1) 0,2 см 2) 0,01 см 3) 0,02 см 4) 0,2 см 5) 0,1 см

25. Люминесценция отличается от других видов неравновесного излучения только:

- 1) спектральным составом 2) интенсивностью 3) поляризацией
- 4) когерентностью 5) длительностью послесвечения.

26. Систему из электрона и дырки, связанных друг с другом благодаря взаимному кулоновскому притяжению, называют:

- 1) донорно-акцепторной парой 2) экситоном 3) поляроном
- 4) куперовской парой 5) электрическим доменом.

7.4. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля – 60 % и промежуточного контроля – 40 %.

Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий - 10 баллов,
- участие на практических занятиях - 15 баллов,
- выполнение лабораторных заданий – 25 баллов,
- выполнение домашних (аудиторных) контрольных работ - 10 баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

- устный опрос - 5 баллов,
- письменная контрольная работа - 15 баллов,
- тестирование - 20 баллов.

Критерии оценок на курсовых экзаменах

В экзаменационный билет рекомендуется включать не менее 3 вопросов, охватывающих весь пройденный материал, также в билетах могут быть задачи и примеры.

Ответы на все вопросы оцениваются максимум **100 баллами**.

Критерии оценок следующие:

- **100 баллов** – студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности.

- **90 баллов** - студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности, но допускает отдельные неточности.

- **80 баллов** - студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности, но допускает некоторые ошибки общего характера.

- **70 баллов** - студент хорошо понимает пройденный материал, но не может теоретически обосновывать некоторые выводы.

- **60 баллов** – студент отвечает в основном правильно, но чувствуется механическое заучивание материала.

- **50 баллов** – в ответе студента имеются существенные недостатки, материал охвачен «половинчато», в рассуждениях допускаются ошибки.

- **40 баллов** – ответ студента правилен лишь частично, при разъяснении материала допускаются серьезные ошибки.

- **20-30 баллов** - студент имеет общее представление о теме, но не умеет логически обосновать свои мысли.

- **10 баллов** - студент имеет лишь частичное представление о теме.

- **0 баллов** – нет ответа.

Эти критерии носят в основном ориентировочный характер. Если в билете имеются задачи, они могут быть более четкими.

Шкала диапазона для перевода рейтингового балла в «5»-бальную систему:

«0 – 50» баллов – неудовлетворительно

«51 – 65» баллов – удовлетворительно

«66 - 85» баллов – хорошо

«86 - 100» баллов – отлично

«51 и выше» баллов – зачет

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

Основная

1. Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. Физика полупроводников. М., Наука 2-е издание. 1990 г, 688 с.
2. Ансельм. А.И. Введение в теорию полупроводников. М.: Лань, 2008.-624 с.
3. Шалимова К. В. Физика полупроводников. М.: Лань, 2010.
4. Зегря Г.Г., Перель В.И. Основы физики полупроводников. М.: Физматлит, 2009.
5. Кардона П. Ю. Введение в физику полупроводников. - М.: Физматлит, 2002.
6. Смит Р. Полупроводники. М., Мир, 2-е изд., 1982 г., 558 с.
7. Зеегер К. Физика полупроводников. М., мир, 1977 г., 615 с.

8. Поплавко И.С., Рез Ю.М. Диэлектрики. Основные свойства и применения в электронике. М.: Радио и связь, 1989.
9. Поплавко И.С., Переверзева Л.П., Раевсий И.П. Физика активных диэлектриков. Изд-во ЮФУ, Ростов-на –Дону, 2009. 478 с.

Дополнительная

10. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. Учеб. для вузов. М.: "Высшая школа", 2001. 573 с.
11. Херман М. Полупроводниковые сверхрешетки. М., Мир, 1989 г., 239 с.
12. Юнович А.Э. Оптические явления в полупроводниках. М., Изд. МГУ, ч.1, 1988 г., 122 с.; ч.II, 1991 г., 88 с.
13. Гуртов В.А., Твердотельная электроника. Изд-во « Техносфера», 2005., 406 с.
14. Желудев И.С. Физика кристаллических диэлектриков. М.: Наука, 1968.
15. Лайнс М., Глас А. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. М.: Мир, 1981.
16. Бонч-Бруевич В.Л., Звягин И.П., Миронов А. Г., Карпенко И.В. Сборник задач по физике полупроводников. М., Наука, 1987 г., 143 с.
17. Садыков С.А. Физика твердого тела. Электронная структура кристаллов. (Учебное пособие). ИПЦ ДГУ, 2007.

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

1. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>
2. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
3. Теоретические сведения по физике и подробные решения демонстрационных вариантов тестовых заданий, представленных на сайте Росаккредагентства (www.fepo.ru).
4. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
5. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета <http://edu.icc.dgu.ru>
6. www.biblioclub.ru - Электронная библиотечная система «Университетская библиотека - online».
7. www.iqlib.ru - Интернет-библиотека образовательных изданий, в который собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия
8. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета <http://elib.dgu.ru> (доступ через платформу Научной электронной библиотеки elibrary.ru).
9. www.affp.mics.msu.su

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Студент в процессе обучения должен не только освоить учебную программу, но и приобрести навыки самостоятельной работы. Студент должен уметь планировать и выполнять свою работу. Удельный вес самостоятельной работы составляет по времени 30% от всего времени изучаемого цикла. Это отражено в учебных планах и графиках учебного процесса, с которым каждый студент может ознакомиться у преподавателя дисциплины.

Главное в период обучения своей специальности - это научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтра. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

| <i>Вид учебных занятий</i> | <i>Организация деятельности студента</i> |
|-----------------------------|--|
| <i>Лекция</i> | <i>Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практических работах.</i> |
| <i>Практические занятия</i> | <i>Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины. Конспектирование источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы, работа с текстом. Решение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму и др.</i> |
| <i>Реферат</i> | <i>Поиск литературы и составление библиографии, использование от 3 до 5 научных работ, изложение мнения авторов и своего суждения по выбранному вопросу; изложение основных аспектов проблемы. Кроме того, приветствуется поиск информации по теме реферата в Интернете, но с обязательной ссылкой на источник, и подразумевается не простая компиляция материала, а самостоятельная, творческая, аналитическая работа, с выражением собственного мнения по рассматриваемой теме и грамотно сделанными выводами и заключением. Ознакомиться со структурой и оформлением реферата.</i> |
| <i>Подготовка к зачету</i> | <i>При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и др.</i> |

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

Чтение лекций с использованием мультимедийных презентаций. Использование анимированных интерактивных компьютерных демонстраций и практикумов-тренингов по ряду разделов дисциплины.

12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Материально – техническая база кафедры экспериментальной физики, которая осуществляет подготовку по направлению 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»,

позволяет готовить магистров, отвечающих требованиям ФГОС. На кафедре имеются 3 учебных и 5 научных лабораторий, оснащенных современной технологической, измерительной и диагностической аппаратурой; в том числе функционирует проблемная НИЛ «Твердотельная электроника». Функционируют специализированные учебные и научные лаборатории: Физика и технология керамических материалов для твердотельной электроники, Физика и технология тонкопленочных структур, Электрически активные диэлектрики в электронике, Физическая химия полупроводников и диэлектриков.

Лекционные занятия проводятся в аудитории, оснащенной мультимедийным проекционным оборудованием и интерактивной доской.