



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

ИНСТИТУТ НАУКОЁМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП

(подпись)

Голик С.С.

(Ф.И.О.)

« 21 » 01 2022 г.



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор департамента

(подпись)

Короченцев В.В.

(Ф.И.О.)

« 21 » 01 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Физика полупроводников

Направление подготовки 03.03.02 Физика

Фундаментальная и прикладная физика (совместно с НИУ ВШЭ, г. Москва)

Форма подготовки очная

курс 3 семестр 6

лекции 36 час.

практические занятия не предусмотрено

лабораторные работы 36 час

в том числе с использованием МАО лек. - / пр. - / лаб. - час.

всего часов аудиторной нагрузки 72 час.

в том числе с использованием МАО - час.

самостоятельная работа 18 час.

в том числе на подготовку к экзамену 54 час.

контрольные работы (количество) не предусмотрены

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрен

зачет не предусмотрен

экзамен 6 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 03.03.02 Физика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 07 августа 2020 г. №891.

Рабочая программа обсуждена на заседании департамента общей и экспериментальной физики

_____ протокол № 1 от « 11 » _____ 10 _____ 2021 ____ г.

Директор департамента к.х.н., доцент, Короченцев В.В.

Составитель (ли): к.ф.-м.н. доцент Голик С.С.

Владивосток

2022

Оборотная сторона титульного листа РПД

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

III. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

IV. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

Цели и задачи освоения дисциплины:

Целью изучения дисциплины является получение фундаментальных знаний в области физики полупроводников и приобретение необходимых навыков для их использования в научно-исследовательской деятельности.

Задачами дисциплины:

- овладение фундаментальными понятиями, законами и теориями физики полупроводников,
- усвоение основных методов исследования физических свойств полупроводников;
- формирование приемов и методов решения конкретных задач из различных областей физики полупроводников.

Для успешного изучения дисциплины «Физика полупроводников» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач

В результате изучения данной дисциплины у студентов формируются следующие профессиональные компетенции:

| Тип задач | Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения) | Код и наименование индикатора достижения компетенции |
|--------------------------|---|---|
| Научно-исследовательский | ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики, а также стандартные программные средства компьютерного | ПК-1.3 Применяет современные научные методы на уровне, необходимом для постановки и решения задач, основы компьютерного моделирования |

| | | |
|--|--|--|
| | моделирования для освоения профильных физических дисциплин | |
| | <p>ПК-2</p> <p>Способен применять методы научных исследований в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта</p> | <p>ПК-2.1 Применяет методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии</p> |

| Код и наименование индикатора достижения компетенции | Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине) |
|--|---|
| ПК-2.1. Применяет методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии | Знает фундаментальные понятия, законы и теории физики полупроводников |
| | Умеет пользоваться основными методами исследования физических свойств полупроводников |
| | Владеет основными приемами и методами решения конкретных задач из различных областей физики полупроводников |
| ПК-1.3 Применяет современные методы на необходимом уровне постановки и решения задач, компьютерного моделирования | Знает средства обработки, и компьютерного моделирования, используемые при проектировании приборов, схем, установок физики полупроводников физики |
| | Умеет использовать средства обработки, и компьютерного моделирования, используемые при проектировании приборов, схем, установок физики полупроводников физики |
| | Владеет средствами обработки, и компьютерного моделирования, |

| | |
|--|--|
| Код и наименование индикатора достижения компетенции | Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине) |
| | используемыми при проектировании приборов, схем, установок физики полупроводников физики |

2. Трудоёмкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 4 зачётные единицы 144 академических часа).

(1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам)

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине являются:

| Обозначение | Виды учебных занятий и работы обучающегося |
|-------------|---|
| Лек | Лекции |
| Лаб | Лабораторные работы |
| СР | Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения |
| Контроль | Самостоятельная работа обучающегося и контактная работа обучающегося с преподавателем в период промежуточной аттестации |

Структура дисциплины:

Форма обучения – очная.

| № | Наименование раздела дисциплины | Семестр | Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося | | | | | Формы промежуточной аттестации |
|---|--|---------|---|----|-----|----|----------|--------------------------------|
| | | | Лек | Пр | Лаб | СР | Контроль | |
| 1 | Раздел I. Основные свойства полупроводников | 6 | 18 | - | 18- | 18 | 54 | ПР-15 |
| 2 | Раздел II. Неравновесные процессы в полупроводниковых материалах | | 18 | | 18 | | | |
| | Итого: | | 36 | - | 36 | 18 | 54 | |

I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Лекционные занятия (36 час.)

Раздел 1. Основные свойства полупроводников (18 час)

Тема 1. Отличительные черты полупроводников (4 час)

Примеры полупроводников. Строение некоторых полупроводниковых кристаллов. Представление о запрещенной зоне в полупроводниках. Примесные центры в полупроводниках. Представление о дырках. Электронная и дырочная проводимость. Электропроводность. Эффект Холла. Изменение сопротивления в магнитном поле. Термоэдс. Фотопроводимость.

Тема 2. Основы зонной теории кристаллических твердых тел (4 час)

Основные приближения зонной теории. Уравнение Шредингера для электронов в кристалле в одноэлектронном приближении. Теорема Блоха. Квазиимпульс и зона Бриллюэна.

Тема 3. Поглощение излучения металлами и полупроводниками (4 час)

Распространение электромагнитных волн в проводящих средах. Основные уравнения оптики металлов. Скин-эффект и его свойства.

Тема 4. Кристаллы во внешних полях. Неидеальные кристаллы. (4 час)

Средняя скорость движения электрона в кристалле. Уравнение движения электрона в кристалле во внешних полях. Заполнение зон и введение дырочного описания. Метод эффективной массы. Картина плавного искривления энергетических зон. Мелкие уровни в гомеополярных кристаллах (водородоподобные примесные центры). Условия применимости водородоподобной модели. Применение метода эффективной массы для нахождения энергетического спектра полупроводниковых систем пониженной размерности. Энергетический спектр сверхрешеток. Классификация полупроводниковых сверхрешеток. Энергетический спектр мелких примесных состояний в полупроводниковых квантовых ямах.

Тема 5. Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках (2 час)

Плотность состояний и функция распределения электронов по квантовым состояниям. Концентрации электронов и дырок в зонах. Эффективные плотности состояний электронов и дырок в зонах. Невырожденный электронный (дырочный) газ. Вычисление положения уровня Ферми в собственном полупроводнике. Статистика заполнения

примесных уровней. Уровень Ферми в полупроводнике с примесями одного типа. Статистика электронов и дырок в компенсированных полупроводниках. Многозарядные примесные центры. Плотность состояний в системах пониженной размерности. Вычисление положения уровня Ферми в 2 D-системах.

Раздел 2. Неравновесные процессы в полупроводниковых материалах. (18 час)

Тема 6. Неравновесные электроны и дырки. Статистика рекомбинации электронов и дырок (6 час)

Возникновение неравновесных носителей заряда в полупроводниках. Оптическая генерация. Темпы генерации и рекомбинации; время жизни. Соотношения между временами релаксации энергии и импульса и временем жизни. Квазиравновесие и квазиуровни Ферми. Уравнение кинетики рекомбинации в пространственно однородных и неоднородных системах.

Тема 7. Спонтанное и вынужденное рассеяние света, лазерная флуоресценция (6 час)

Комбинационное, релеевское, рассеяние Мандельштама-Бриллюена. Спектроскопия комбинационного рассеяния света. Понятие стоксовой и антистоксовой части спектра комбинационного рассеяния. Приборы для регистрации спектров комбинационного рассеяния. Вынужденное рассеяние, связь стоксовой и антистоксовой волн. Обращение волнового фронта при рассеянии. Лазерно-индуцированная флуоресценция. Кинетика флуоресценции. Стоксов сдвиг. Правило зеркальной симметрии. Приборы для регистрации спектров флуоресценции. Механизмы рекомбинации. Время жизни при межзонной рекомбинации. Рекомбинация через примеси и дефекты. Коэффициент захвата на локальные уровни. Центры прилипания и центры рекомбинации. Демаркационные уровни. Времена жизни в случае рекомбинации через один глубокий примесный уровень. Статистика Шокли-Рида.

Тема 8. Явления в контактах. p-n переход (6 час)

Потенциальные барьеры. Плотность тока. Соотношение Эйнштейна. Условия равновесия контактирующих тел. Контактная разность потенциалов. Длина экранирования. Истощенный контактный слой. Обогащенный контактный слой. Экранирование электрического поля в 2 D-системах. Выпрямление в контакте металл-полупроводник. p-n переход. Статическая вольтамперная характеристика p-n перехода. Туннельный эффект в p-n переходах. Туннельный диод. Биполярный транзистор.

II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Лабораторные работы (36 час.)

Лабораторная работа 1. Влияние температуры на электропроводность полупроводников (9 час.)

Исследования влияния температуры на электропроводимость монокристаллов германия в области температур 293-500 К, экспериментальное определение ширины запрещенной зоны.

Лабораторная работа 2. Физические основы работы терморезистора. (9 час.)

Изучение физических основ работы терморезистора и областей их применения. Получение ВАХ ТР в температурном интервале 292-380 К, проводя измерения через 10-15 К. Расчет статистического и динамического сопротивления ТР от тока в указанном интервале температур.

Лабораторная работа 3. Зависимость электропроводности полупроводников от напряженности электрического поля (9 час.)

Исследование влияния сильных электрических полей на электропроводность материала варистора. Получение ВАХ варистора при комнатной температуре и температурах на 2-3 градуса выше комнатной. Расчет статического и динамического сопротивления, коэффициента нелинейности варистора в рабочей точке.

Лабораторная работа 4. Изменение проводимости полупроводника в магнитном поле. (9 час.)

Изучение эффекта магнитосопротивления. Определение подвижности носителей заряда методом магнитосопротивления.

Задания для самостоятельной работы (12 час.)

Требования: После каждой лабораторной работы обучающемуся необходимо обработать полученные результаты, построить графики зависимостей измеряемых величин, рассчитать требуемые величины и построить рассчитанные графики, объяснить их поведение и сделать

правильные выводы.

Домашние задания к практическим работам

Необходимо изучить учебно-методические пособия для соответствующей лабораторной работы, разобрать и запомнить теорию, сделать обработку результатов работ, необходимые вычисления и подготовить отчет.

III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

| № п/п | Дата/сроки выполнения | Вид самостоятельной работы | Примерные нормы времени на выполнение | Форма контроля |
|--------------|------------------------------|-----------------------------------|--|-------------------------|
| 1 | 1-4 недели семестра | Домашняя работа 1 | 3 час. | ПР-15 (рабочая тетрадь) |
| 2 | 5-6 недели семестра | Домашняя работа 2 | 3 час | ПР-15 (рабочая тетрадь) |
| 3 | 7-8 недели семестра | Домашняя работа 3 | 3 час. | ПР-15 (рабочая тетрадь) |
| 4 | 9-10 недели семестра | Домашняя работа 4 | 3 час. | ПР-15 (рабочая тетрадь) |
| 5 | 11-12 недели семестра | Домашняя работа 5 | 3 час. | ПР-15 (рабочая тетрадь) |
| 6 | 13-14 недели семестра | Домашняя работа 6 | 3 час. | ПР-15 (рабочая тетрадь) |
| 7 | 15-18 недели | Подготовка к экзамену | 54 час. | Экзамен |

| | | | | |
|--------|----------|--|---------|--|
| | семестра | | | |
| | | | | |
| Итого: | | | 72 час. | |

Рекомендации по самостоятельной работе студентов

Планирование и организация времени, отведенного на выполнение заданий самостоятельной работы.

Изучив график выполнения самостоятельных работ, следует правильно её организовать. Рекомендуется изучить структуру каждого задания, обратить внимание на график выполнения работ, отчетность по каждому заданию предоставляется в последнюю неделю согласно графику. Обратите внимание, что итоги самостоятельной работы влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной 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.

Работа с литературой.

При выполнении ряда заданий требуется работать с литературой. Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ (<http://www.dvfu.ru/library/>) и других ведущих вузов страны, а также доступных для использования научно-библиотечных систем.

Работа с конспектом лекций

В конспекте лекций необходимо кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Нужно проверять термины, понятия 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 или практических работах.

Методические рекомендации по выполнению заданий для самостоятельной работы и критерии оценки.

Работа перед практическими занятиями

Перед практическим занятием (лабораторной работой) студент должен самостоятельно изучить методические указания по его выполнению, ознакомиться с содержанием работы, прочитать необходимую учебную литературу для понимания физических процессов, изучаемых в лабораторной работе. После успешного выполнения лабораторной работы студент самостоятельно пишет и обрабатывает полученные данные и пишет отчет по практическому занятию. В методических указаниях по выполнению лабораторных работ после каждой лабораторной работы следуют контрольные вопросы. На них необходимо подготовить ответы. Кроме того, необходимо иметь базовые знания по изучаемой теме. Только после теоретической подготовки и написания отчета можно пробовать сдать отчет. Сдача отчета проводится во время практических занятий, когда студенты не работают за лабораторными установками.

Структура отчета по практическому занятию

Отчеты по лабораторным работам представляются в электронной форме, подготовленные как текстовые документы в редакторе MSWord.

Отчет по работе должен быть обобщающим документом, включать всю информацию по выполнению заданий, в том числе, построенные диаграммы, таблицы, приложения, список литературы и (или) расчеты, сопровождая необходимыми пояснениями и иллюстрациями в виде схем, экранных форм («скриншотов») и т. д.

Структурно отчет по лабораторной работе, как текстовый документ, комплектуется по следующей схеме:

- ✓ *Титульный лист* – обязательная компонента отчета, первая страница отчета, по принятой для лабораторных работ форме (титульный лист отчета должен размещаться в общем файле, где представлен текст отчета);
- ✓ *Исходные данные к выполнению заданий* – обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержат указание варианта, темы и т.д.);

- ✓ *Основная часть*– материалы выполнения заданий, разбивается по рубрикам, соответствующих заданиям работы, с иерархической структурой: разделы – подразделы – пункты – подпункты и т. д.

Рекомендуется в основной части отчета заголовки рубрик (подрубрик) давать исходя из формулировок заданий, в форме отглагольных существительных;

- ✓ *Выводы*– обязательная компонента отчета, содержит обобщающие выводы по работе (какие задачи решены, оценка результатов, что освоено при выполнении работы);
- ✓ *Список литературы*– обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит список источников, использованных при выполнении работы, включая электронные источники (список нумерованный, в соответствии с правилами описания библиографии);
- ✓ *Приложения*– необязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит дополнительные материалы к основной части отчета.

Оформление отчета по лабораторной работе

Лабораторная работа относится к категории «*письменная работа*», оформляется по правилам оформления письменных работ студентами ДВФУ.

Необходимо обратить внимание на следующие аспекты в оформлении отчетов работ:

- набор текста;
- структурирование работы;
- оформление заголовков всех видов (рубрик-подрубрик-пунктов-подпунктов, рисунков, таблиц, приложений);
- оформление перечислений (списков с нумерацией или маркировкой);
- оформление таблиц;
- оформление иллюстраций (графики, рисунки, фотографии, схемы, «скриншоты»);
- набор и оформление математических выражений (формул);
- оформление списков литературы (библиографических описаний) и ссылок на источники, цитирования.

Набор текста

Набор текста осуществляется на компьютере, в соответствии со следующими требованиями:

- ✓ печать – на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (размер 210 на 297 мм.);
- ✓ интервал межстрочный – полуторный;
- ✓ шрифт – TimesNewRoman;
- ✓ размер шрифта - 14 пт., в том числе в заголовках (в таблицах допускается 10-12 пт.);
- ✓ выравнивание текста – «по ширине»;
- ✓ поля страницы -левое – 25-30 мм., правое – 10 мм., верхнее и нижнее – 20 мм.;
- ✓ нумерация страниц – в правом нижнем углу страницы (для страниц с книжной ориентацией), сквозная, от титульного листа до последней страницы, арабскими цифрами (первой страницей считается титульный лист, на котором номер не ставится, на следующей странице проставляется цифра «2» и т. д.).
- ✓ режим автоматического переноса слов, за исключением титульного листа и заголовков всех уровней (перенос слов для отдельного абзаца блокируется средствами MSWord с помощью команды «Формат» – абзац при выборе опции «запретить автоматический перенос слов»).

Если рисунок или таблица размещены на листе формата больше А4, их следует учитывать, как одну страницу. Номер страницы в этих случаях допускается не проставлять.

Список литературы и все *приложения* включаются в общую в сквозную нумерацию страниц работы.

*Рекомендации по оформлению графического материала,
полученного с экранов в виде «скриншотов»*

Графические копии экрана («скриншоты»), отражающие графики, диаграммы моделей, схемы, экранные формы и т. п. должны отвечать требованиям визуальной наглядности представления иллюстративного материала, как по размерам графических объектов, так и разрешающей способности отображения текстов, цветовому оформлению и другим важным пользовательским параметрам.

Рекомендуется в среде программного приложения настроить «экран» на параметры масштабирования и размещения снимаемых для иллюстрации объектов. При этом необходимо убрать «лишние» окна, команды, выделения объектов и т. п.

В перенесенных в отчет «скриншотах» рекомендуется «срезать» ненужные области, путем редактирования «изображений», а при необходимости отмасштабировать их для заполнения страницы отчета «по ширине».

«Скриншоты» в отчете оформляются как рисунки, с заголовками, помещаемыми ниже области рисунков, а в тексте должны быть ссылки на указанные рисунки.

Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Выполнение самостоятельных работ оценивается при сдаче и защите отчетов по лабораторным работам. Критерии оценки индикаторов выполнения самостоятельной работы по курсу приведены в разделе VIII.

IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

| № п/п | Контролируемые модули/разделы / темы дисциплины | Код индикатора достижения компетенции | Результаты обучения | Оценочные средства – наименование | |
|--|--|--|---|-----------------------------------|--------------------------|
| | | | | текущий контроль | промежуточная аттестация |
| 1 | Раздел I. Основные свойства полупроводников | ПК-2.1. Применяет методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии | Знает методы экспериментальных и теоретических исследований взаимодействия лазерного излучения с веществом и лазерной спектроскопии, математический аппарат для описания явлений и процессов взаимодействия | ПР-15 (рабочая тетрадь) | Экзамен (вопросы 1-25) |
| Умеет применять теоретические знания к решению практических и научных задач, сформулировать и решить задачу из области физики взаимодействия лазерного излучения с веществом, определять и оценивать параметры и характеристики лазерного излучения и регистрируемых спектральных данных | | | | | |
| Владеет методами интерпретации измеряемой информации относительно определяемых параметров исследуемых сред методами лазерной спектроскопии | | | | | |
| 2 | Раздел II. Неравновесные процессы в полупроводниковых материалах | ПК-1.3 Применяет современные научные методы на уровне, необходимом для постановки и решения задач, основы | Знает средства обработки, и компьютерного моделирования, используемые при проектировании приборов, схем, установок физики полупроводников физики | ПР-15 (рабочая тетрадь) | Экзамен (вопросы 26-52) |
| Умеет использовать средства | | | | | |

| | | | | | |
|--|--|-----------------------------|---|--|--|
| | | компьютерного моделирования | обработки, и компьютерного моделирования, используемые при проектировании приборов, схем, установок физики полупроводников физики | | |
| | | | Владеет средствами обработки, и компьютерного моделирования, используемыми при проектировании приборов, схем, установок физики полупроводников физики | | |

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также качественные критерии оценивания, которые описывают уровень сформированности компетенций, представлены в разделе VIII.

V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

(электронные и печатные издания)

1. Г.Г. Зегря, В.И. Перель «Основы физики полупроводников», М.: Физматлит, 2009.
2. В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников «Физика полупроводников», М.: Наука, 1990.
3. В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин «Основы наноэлектроники», Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.
4. В.Л. Бонч-Бруевич и др. «Сборник задач по физике полупроводников», М.: Наука, 1987.
5. Д.И. Сирота «Физика твердого тела: Сборник задач с подробными решениями», М.: Книжный дом «Либроком», 2010.
6. Н. Мотт, Э. Дэвис «Электронные процессы в некристаллических веществах», Изд. 2-е, в 2-х тт., М.: Мир, 1982.

Дополнительная литература

1. П. Ю, М. Кардона «Введение в физику полупроводников», М.: Физматлит, 2002.
2. Р. Смит «Полупроводники», М.: Мир, 1982.

3. К. Зеегер «Физика полупроводников», М.: Мир, 1977.
4. А.И. Ансельм «Введение в теорию полупроводников», М.: Наука, 1962.
5. Дж. Блекмор «Статистика электронов в полупроводниках», М.: Мир, 1964.
6. А. Роуз «Основы теории фотопроводимости», М.: Мир, 1966.
7. К.В. Шалимова «Физика полупроводников», М.: Энергоатомиздат, 1985.
8. А.И. Лебедев «Физика полупроводниковых приборов», М.: Физматлит, 2008.
9. М. Херман «Полупроводниковые сверхрешетки», М.: Мир, 1989.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <http://vega.phys.msu.ru/>

Перечень информационных технологий и программного обеспечения

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются программы, позволяющие строить графики по массивам данных и выполнять простейший математический анализ данных (первые производные, сглаживание, линейный фитинг).

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. База данных Scopus <http://www.scopus.com/home.url>
2. База данных Web of Science <http://apps.webofknowledge.com/>
3. Научная электронная библиотека <http://www.elibrary.ru>

VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Планирование и организация времени, отведенного на изучение дисциплины. Приступить к освоению дисциплины следует незамедлительно в самом начале учебного семестра. Рекомендуется изучить структуру и основные положения Рабочей программы дисциплины. Обратит внимание, что кроме аудиторной работы (лекции, лабораторные занятия) планируется

самостоятельная работа, итоги которой влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины. Все задания (аудиторные и самостоятельные) необходимо выполнять и предоставлять на оценку в соответствии с графиком.

В процессе изучения материалов учебного курса предлагаются следующие формы работ: чтение лекций, лабораторные занятия, задания для самостоятельной работы.

Лекционные занятия ориентированы на освещение вводных тем в каждый раздел курса и призваны ориентировать студентов в предлагаемом материале, заложить научные и методологические основы для дальнейшей самостоятельной работы студентов. Успешное освоение дисциплины предполагает активное участие студентов на всех этапах ее освоения. Изучение дисциплины следует начинать с проработки содержания рабочей программы и методических указаний. При изучении и проработке теоретического материала студентам необходимо:

- повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;
- перед очередной лекцией просмотреть конспект предыдущего занятия;
- при самостоятельном изучении темы сделать конспект, используя рекомендованные в РПУД литературные источники.

В случае, если возникли затруднения, обратиться к преподавателю в часы консультаций или на практическом занятии.

Практические занятия акцентированы на наиболее принципиальных и проблемных вопросах курса и призваны стимулировать выработку практических умений. Основной целью проведения практических занятий является систематизация и закрепление знаний по изучаемой теме, формирование умений самостоятельно работать с дополнительными источниками информации, аргументировано высказывать и отстаивать свою точку зрения.

При подготовке к практическим занятиям студентам необходимо:

- повторить теоретический материал по заданной теме;
- продумать формулировки вопросов, выносимых на обсуждение;
- использовать не только конспект лекций, но и дополнительные источники литературы, рекомендованные преподавателем.

Особо значимой для профессиональной подготовки студентов является *самостоятельная работа* по курсу. В ходе этой работы студенты отбирают необходимый материал по изучаемому вопросу и анализируют его. Студентам необходимо ознакомиться с основными источниками, без которых невозможно полноценное понимание проблематики курса.

Освоение курса способствует развитию навыков обоснованных и самостоятельных оценок фактов и концепций. Поэтому во всех формах контроля знаний, особенно при сдаче экзамена, внимание обращается на понимание проблематики курса, на умение практически применять знания и делать выводы.

Работа с литературой. Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ и электронные библиотеки (<http://www.dvfu.ru/library/>), а также доступные для использования другие научно-библиотечные системы.

Подготовка к экзамену. К сдаче экзамена допускаются обучающиеся, выполнившие все домашние задания, предусмотренные учебной программой дисциплины, посетившие не менее 85% аудиторных занятий.

VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице.

Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

| Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы | Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы | Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа |
|---|---|--|
| 690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L 441. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации | Помещение укомплектовано специализированной учебной мебелью (посадочных мест – 15) Оборудование: ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716 CCBA – 1 шт. Доска аудиторная. | Специализированное ПО не требуется |
| 690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L 478. Лаборатория аналитической лазерной спектроскопии ДВФУ | Лазерно-искровой спектрометр, спектрометр комбинационного рассеяния, наборы оптики и опто-механики | ПО, позволяющее выполнять лабораторные работы на лабораторных установках, MS EXCEL – программное обеспечение для построения графиков, Gwyddion – свободно распространяемое программное обеспечение для |

| | | |
|--|--|------------------------------------|
| | | обработки графических изображений |
| 690922, Приморский край, г.Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корп. А (Лит. П), Этаж 10, каб. А1017. Аудитория для самостоятельной работы | Оборудование: Моноблок Lenovo C360G- i34164G500UDK – 15 шт. Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox - 1 шт. Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C – 1 шт.) | Специализированное ПО не требуется |

Для проведения учебных занятий по дисциплине, а также для организации самостоятельной работы студентам доступны лабораторное оборудование и специализированные кабинеты, соответствующие действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.

VIII. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Дальневосточный федеральный университет»

(ДВФУ)

ИНСТИТУТ НАУКОЁМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине «Физика полупроводников»

Направление подготовки 03.03.02 Физика

Фундаментальная и прикладная физика (совместно с НИУ ВШЭ, г. Москва)

Форма подготовки очная

Владивосток

2022

Для дисциплины «Физика полупроводников» используются следующие оценочные средства:

Устный опрос:

1. Домашняя работа (ПР-15) защита отчета

Письменные работы

2. Домашняя работа (ПР-15) написание отчета

Устный опрос

Устный опрос позволяет оценить знания и кругозор студента, понимание материала, самостоятельность выполнения домашних задач, умение логически построить ответ, владение монологической речью и иные коммуникативные навыки.

Обучающая функция состоит в выявлении деталей, которые по каким-то причинам оказались недостаточно осмысленными в ходе учебных занятий и при подготовке к экзамену.

Письменные работы

Письменный ответ приучает к точности, лаконичности, связности изложения мысли. Письменная проверка используется во всех видах контроля и осуществляется как в аудиторной, так и во внеаудиторной работе.

Лабораторные работы позволяют студентам непосредственно ознакомиться с научным экспериментальным оборудованием, научиться получать экспериментальные результаты, обрабатывать их, анализировать результаты и делать выводы.

Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Физика полупроводников» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной. Форма отчетности по дисциплине – экзамен (6-й, весенний семестр). Форма экзамена – два письменных вопроса, на которые студенту дается 40 мин, затем 2 произвольных устных вопроса. Допуск к экзамену возможен только после сдачи всех отчетов по домашним работам.

Методические указания по сдаче экзамена

Экзамен принимается ведущим преподавателем. При большом количестве групп у одного преподавателя или при большой численности

потока по распоряжению заведующего кафедрой (заместителя директора по учебной и воспитательной работе) допускается привлечение в помощь ведущему преподавателю других преподавателей. В первую очередь привлекаются преподаватели, которые проводили лабораторные занятия по дисциплине в группах.

В исключительных случаях, по согласованию с заместителем директора Школы по учебной и воспитательной работе, заведующий кафедрой имеет право принять экзамен в отсутствие ведущего преподавателя.

Форма проведения экзамена (устная, письменная и др.) утверждается на заседании кафедры по согласованию с руководителем в соответствии с рабочей программой дисциплины.

Во время проведения экзамена студенты могут пользоваться рабочей программой дисциплины, а также с разрешения преподавателя, проводящего зачет, справочной литературой и другими пособиями (учебниками, учебными пособиями, рекомендованной литературой и т.п.).

Время, предоставляемое студенту на подготовку к ответу на зачете, должно составлять не более 40 минут. По истечении данного времени студент должен быть готов к ответу.

Присутствие на зачете посторонних лиц (кроме лиц, осуществляющих проверку) без разрешения соответствующих лиц (ректора либо проректора по учебной и воспитательной работе, директора Школы, руководителя ОПОП или заведующего кафедрой), не допускается. Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, не имеющие возможности самостоятельного передвижения, допускаются зачет с сопровождающими.

При промежуточной аттестации обучающимся устанавливается оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». При неявке студента на экзамен в ведомости делается запись «не явился».

Вопросы к экзамену

1. Отличительные черты полупроводников. Примеры полупроводников.
2. Многозарядные примесные центры.
3. Электропроводность. Эффект Холла. Электронная и дырочная проводимость.
4. Оптические переходы в неупорядоченных полупроводниках.
5. Энергетический спектр сверхрешеток. Классификация полупроводниковых сверхрешеток.

6. Проводимость неупорядоченных полупроводников.
7. Потенциальные барьеры. Плотность тока. Соотношение Эйнштейна.
8. Качественные представления об электронном спектре в неупорядоченных полупроводниках.
9. Понятие о запрещенной зоне. Примесные атомы.
10. Общие особенности неупорядоченных систем.
11. Основные приближения зонной теории. Уравнение Шредингера для электронов в кристалле в одноэлектронном приближении.
12. Определение неупорядоченной системы. Примеры неупорядоченных твердых тел. Случайный потенциал.
13. Теорема Блоха.
14. Рекомбинация через многозарядные примеси.
15. Квазиимпульс и зона Бриллюэна. Понятие об энергетических зонах.
16. Центры прилипания и центры рекомбинации. Демаркационные уровни.
17. Основные различия между металлами, полупроводниками и диэлектриками с точки зрения зонной теории.
18. Статистика Шокли-Рида-Холла.
19. Метод сильно связанных электронов.
20. Рекомбинация через примеси и дефекты. Времена жизни в случае рекомбинации через примесный уровень.
21. Понятие об эффективной массе. Тензор обратных эффективных масс.
22. Коэффициент межзонной рекомбинации. Время жизни при межзонной рекомбинации.
23. Статистика электронов и дырок в компенсированных полупроводниках.
24. Условия равновесия контактирующих тел. Контактная разность потенциалов.
25. Примеры зонных структур полупроводников: зоны проводимости полупроводников A_3B_5V , Si, Ge.
26. Длина экранирования. Истощенный контактный слой. Обогащенный контактный слой. Экранирование электрического поля в 2 D-системах.
27. Вырождение зон и гофрировка изоэнергетических поверхностей вблизи потолка валентной зоны.
28. Плотность состояний в системах пониженной размерности. Вычисление положения уровня Ферми в 2 D-системах.
29. Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Примеры.
30. Применение метода эффективной массы для нахождения энергетического спектра полупроводниковых систем пониженной размерности.

- 31.Средняя скорость движения электрона в кристалле.
- 32.Энергетический спектр мелких примесных состояний в полупроводниковых квантовых ямах.
- 33.Уравнение движения электрона в кристалле во внешних полях.
- 34.Квазиравновесие и квазиуровни Ферми.
- 35.Заполнение зон. Дырочное описание.
- 36.Выпрямление в контакте металл-полупроводник. p-n переход. Статическая вольтамперная характеристика p-n перехода.
- 37.Метод эффективной массы.
- 38.Уравнение кинетики рекомбинации в пространственно однородных и неоднородных системах.
- 39.Мелкие уровни в гомеополярных кристаллах (водородоподобные примесные центры). Условия применимости водородоподобной модели.
- 40.Туннельный эффект в p-n переходах. Туннельный диод.
- 41.Плотность состояний и функция распределения электронов по квантовым состояниям.
- 42.Время жизни неравновесных носителей заряда.
- 43.Концентрации электронов и дырок в зонах.
- 44.Темпы генерации и рекомбинации неравновесных носителей заряда.
- 45.Концентрация носителей в случае невырожденного электронного (дырочного) газа.
- 46.Неравновесные носители заряда в полупроводниках.
- 47.Концентрация носителей в условиях сильного вырождения.
- 48.Метод слабо связанных (почти свободных) электронов. Обсуждение особенностей электронного энергетического спектра на основе метода слабо связанных электронов.
- 49.Эффективная масса плотности состояний.
- 50.Изоэнергетические поверхности. Многодолинные полупроводники.
- 51.Статистика заполнения примесных уровней. Простые центры.
- 52.Биполярный транзистор.

Критерии выставления оценки студенту на экзамене по дисциплине «Физика полупроводников»:

| Баллы (рейтинговой оценки) | Оценка экзамена (стандартная) | Требования к сформированным компетенциям |
|----------------------------|-------------------------------|---|
| 86 -100 | отлично | Оценка «отлично» выставляется студенту, если он полно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал |

| | | |
|---------|---------------------|---|
| | | монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач. |
| 76 - 85 | хорошо | Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения. |
| 61 -75 | удовлетворительно | Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при решении задач. |
| 0 -60 | неудовлетворительно | Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного «не материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет решение задач. Как правило, оценка «неудовлетворительно» «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. |

Оценочные средства для текущей аттестации

Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация проводится в форме контрольных мероприятий (защиты отчетов по лабораторным работам) по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);
- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- посещение занятий
- результаты самостоятельной работы.

Составляется календарный план контрольных мероприятий по дисциплине. Оценка посещаемости, своевременность выполнения различных видов заданий ведётся на основе журнала, который ведёт преподаватель в течение учебного семестра.

Устный опрос в сочетании с проверкой отчета по лабораторной работе

Оценивание защиты домашней работы проводится при представлении отчета в электронном или печатном виде, по двухбалльной шкале: «зачтено», «не зачтено».

Критерии оценивания отчета по лабораторной работе

| Оценка | Требования |
|--------------|---|
| «зачтено» | Студент присутствовал на лабораторной работе, самостоятельно получил необходимые экспериментальные результаты, оформил отчет в соответствии с требованиями, правильно построил графические зависимости физических величин, сделал правильные выводы, объяснил ход закономерностей, продемонстрировал глубокое знание теории изучаемых явлений, правильно ответил на контрольные вопросы |
| «не зачтено» | Студент не предоставил отчет, либо отчет не соответствует установленным требованиям по оформлению или содержанию, не содержит выводов. Студент предоставил правильно оформленный отчет, но использовал чужие данные. Студент предоставил правильно оформленный отчет, но не может ответить на контрольные вопросы. |

Аннотация рабочей программы дисциплины

«Физика полупроводников»

Рабочая программа учебной дисциплины «Физика полупроводников» разработана для студентов 3 курса очной формы обучения направления подготовки для студентов направления подготовки 03.03.02 «Физика», профиль «Фундаментальная и прикладная физика (совместно с НИУ ВШЭ, г. Москва)» в соответствии с требованиями федерального государственного стандарта высшего образования.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 з.е. (72 час.). Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (36 час.), лабораторные работы (36 час.), самостоятельная работа студента (72 час.). Дисциплина «Физика полупроводников» входит в вариативную часть образовательной программы, дисциплины по выбору, реализуется на 3 курсе в 6 семестре.

Целью изучения дисциплины является получение фундаментальных знаний в области физики полупроводников и приобретение необходимых навыков для их использования в научно-исследовательской деятельности.

Задачами дисциплины:

- овладение фундаментальными понятиями, законами и теориями физики полупроводников,
- усвоение основных методов исследования физических свойств полупроводников;
- формирование приемов и методов решения конкретных задач из различных областей физики полупроводников.

Для успешного изучения дисциплины «Физика полупроводников» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач

В результате изучения данной дисциплины у студентов формируются следующие профессиональные компетенции:

| Тип задач | Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения) | Код и наименование индикатора достижения компетенции |
|--------------------------|--|---|
| Научно-исследовательский | ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики, а также стандартные программные средства компьютерного моделирования для освоения профильных физических дисциплин | ПК-1.3 Применяет современные научные методы на уровне, необходимом для постановки и решения задач, основы компьютерного моделирования |
| | ПК-2 Способен применять методы научных исследований в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта | ПК-2.1 Применяет методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии |

| Код и наименование индикатора достижения компетенции | Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине) |
|--|--|
| ПК-2.1. Применяет методы научных экспериментальных и | Знает фундаментальные понятия, законы и теории физики полупроводников |
| | Умеет пользоваться основными методами |

| Код и наименование индикатора достижения компетенции | Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине) |
|--|---|
| теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии | исследования физических свойств полупроводников |
| | Владеет основными приемами и методами решения конкретных задач из различных областей физики полупроводников |
| ПК-1.3 Применяет современные методы на необходимом уровне постановки и решения задач, компьютерного моделирования | Знает средства обработки, и компьютерного моделирования, используемые при проектировании приборов, схем, установок физики полупроводников физики |
| | Умеет использовать средства обработки, и компьютерного моделирования, используемые при проектировании приборов, схем, установок физики полупроводников физики |
| | Владеет средствами обработки, и компьютерного моделирования, используемыми при проектировании приборов, схем, установок физики полупроводников физики |