

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ФТД.03 ФИЗИКА НИЗКОРАЗМЕРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР

Направление подготовки (специальность) 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Профиль подготовки (специализация)

Форма обучения очная

Год набора 2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили
Доцент, Тарасов А.С.

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель преподавания дисциплины:

Формирование знаний в области низкоразмерных полупроводниковых и магнитных структур.

1.2 Задачи изучения дисциплины:

Задачи изучения дисциплины - изучение основ квантовой полупроводниковой электроники и построения приборов на основе квантовых гетероструктур.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы высшего образования:

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
ПК-3 Способен разрабатывать и применять новые материалы, исследовать их структуру и свойства	
ПК-3.2 Анализирует перспективные материалы и их нано-, микро-, мезо- и макромасштабные свойства	Знать основы квантовой полупроводниковой электроники Уметь анализировать свойства низкоразмерных полупроводниковых структур и области их применения

Дисциплина реализуется без применения ЭО и ДОТ

2 Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Семестр
		10
Общая трудоемкость дисциплины	2 (72)	2 (72)
Контактная работа с преподавателем:	1 (36)	1 (36)
занятия лекционного типа	1 (36)	1 (36)
Самостоятельная работа обучающихся	1 (36)	1 (36)
Вид промежуточной аттестации (Зачет)		Зачёт

3 Содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Вид работ	Темы занятия	Объем часов	Семестр /курс	Часы в эл. формате
1.	Лек	Введение. Мезоскопика. Квантовый характер электронных процессов в мезоскопических структурах. Квантовая полупроводниковая электроника: история, достижения перспективы.	4	10	
2.	Лек	Контактные явления. Металлы. Полупроводники. Поверхностные состояния. Контакт металла с полупроводником. Модель Шоттки. Контакт двух полупроводников с разным типом проводимости. Полупроводниковые гетеропереходы. Анизотипные и изотипные гетеропереходы.	4	10	
3.	Лек	Основные типы квантовых полупроводниковых структур. Квантовые ямы, нити, точки. Электронные состояния в низкоразмерных полупроводниковых структурах. Простейшие квантовые модели. Прямоугольная яма. Треугольная яма. Двойная квантовая яма. Двумерный канал. Плотность электронных состояний в низкоразмерных структурах. Двумерная, одномерная и нульмерная модели. Уровень Ферми для систем с пониженной размерностью. Особенности квантования энергетического спектра электронов в гетеропереходах.	4	10	
4.	Лек	Явления переноса электронов в квантовых полупроводниковых структурах. Диффузионный перенос заряда. Явление переноса в квантованном инверсионном слое области пространственного заряда. Электроны в полупроводниковых сверхрешеточных структурах. Электропроводность сверхрешеток. Дрейфовая скорость электронов, всплеск дрейфовой скорости в коротких полупроводниковых структурах. Квазibalлистический и баллистический перенос заряда. Формула Ландауэра. Интерференция электронных волн. Локализация квантовых состояний. Явление слабой локализации. Эффект Ааронова-Бома.	6	10	
5.	Лек	Туннельные эффекты. Туннелирование через двухбарьерные структуры. Резонансное туннелирование. Квазистационарные состояния электрона в потенциальной яме. Вольт-амперная характеристика многослойных структур. Резонансно-туннельный диод. Туннельные эффекты в электрических и магнитных полях. Скорость туннелирования. Кулоновская блокада туннелирования. Туннелирование через гранулу. Формула для туннельного тока. Кондактанс туннельного контакта с затвором.	6	10	
6.	Лек	Оптические свойства квантовых структур. Взаимодействие электромагнитного поля с электронами. Внутризонные и межзонные переходы. Правила отбора. Экситонное поглощение. Многофотонное поглощение в квантовых ямах. Лазеры на структурах с квантовыми ямами.	4	10	
7.	Лек	Гальваномагнитные явления в квантовых структурах. Энергетический спектр и плотность состояний электронов в магнитном поле. Уровни Ландау. Классический эффект Холла. Целочисленный квантовый эффект Холла. Дробный квантовый эффект Холла.	4	10	
8.	Лек	Мезоскопические приборы. Квантовые интерференционные приборы. Резонансно-туннельные приборы. Одноэлектронные приборы. Электрооптические приборы. Методы практической реализации мезоскопических приборов.	4	10	
9.	Ср	Самостоятельная работа	36	10	
10.	Зачёт	Зачет		10	

4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

4.1 Печатные и электронные издания:

1. Волков Н. В., Попков С. И. Магнетизм твердых тел; диа- и парамагнетизм; магнитный порядок (физика магнитных явлений) [Электронный ресурс]:учебно-методическое пособие [для студентов программ 011200.68.02 «Физика конденсированного состояния вещества»; 011200.68.06 «Физика магнитных явлений»]. - Красноярск: СФУ, 2012. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/i-885602.pdf>.

2. Волков Н. В., Попков С. И. Обменное взаимодействие. Ферромагнетизм. Приближение молекулярного поля [Электронный ресурс]:учебно-методическое пособие [для студентов программ 011200.68.02 «Физика конденсированного состояния вещества»; 011200.68.06 «Физика магнитных явлений»]. - Красноярск: СФУ, 2012. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/i-029465.pdf>.

3. Суздалев И. П. Электрические и магнитные переходы в нанокластерах и наноструктурах:[монография]. - Москва: URSS, 2012. - 474 с..

4. Ищенко А. А., Гиричев Г. В., Тарасов Ю. И. Дифракция электронов: структура и динамика свободных молекул и конденсированного состояния вещества:монография. - Москва: Физматлит, 2012. - 616 с..

5. Бялик А. Д., Дикарева Р. П., Романова Т. С. Материалы электронной техники. Полупроводники. Проводниковые материалы. Магнитные материалы [Электронный ресурс]:учеб. пособие. - Новосибирск: НГТУ, 2017. - 99 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/118106>.

6. Кирьяшкина З. И., Биленко Д. И. Физика полупроводников и полупроводниковая электроника. Физические процессы в полупроводниках, диэлектриках и структурах на их основе:межвузовский научный сборник. - Саратов: Саратовский университет [СГУ], 1986. - 124 с..

7. Смирнов Ю. А., Соколов С. В., Титов Е. В. Основы нано- и функциональной электроники:учебное пособие. - Санкт-Петербург: Лань, 2013. - 320 с..

8. Андреев Л. А., Новиков А. В., Новикова Е. А. Физика и химия твердого тела. Металлы и полупроводники [Электронный ресурс]:практикум. - Москва: МИСИС, 2005. - 52 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/116452>.

9. Гадиев Р. М. Физика низкоразмерных систем [Электронный ресурс]:. - Уфа: БГПУ имени М. Акмуллы, 2013. - 24 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=42269.

10. Барышников В. И., Колесникова Т. А. Квантовая электроника [Электронный ресурс]:учебно-методическое пособие. - Иркутск: ИрГУПС, 2017. - 76 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/134655>.

4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):

1. Microsoft Windows Professional 10 Russian. Операционная система Windows.
2. Microsoft Office Professional Plus 2010 Russian. Офисный пакет Microsoft Office.
3. Adobe Acrobat Reader DC . Программное обеспечение для просмотра и печати файлов PDF.

4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Nature <http://www.nature.com>
2. Наука <http://www.sciencemag.org>
3. Успехи физических наук <https://ufn.ru/>
4. Сайт Института физики им. Л.В. Киренского КИЦ СО РАН www.kirensky.ru
5. Поисковая машина электронных книг. <http://www.poiskknig.ru>

6. Файловый архив для студентов. <http://www.studfiles.ru>

7. Библиотечно-издательский комплекс СФУ <https://bik.sfu-kras.ru/elib/databases>

5 Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств является приложением к рабочей программе дисциплины (модуля), хранится на кафедре, обеспечивающей преподавание данной дисциплины (модуля).

6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория для проведения лекционных, семинарских и практических занятий: Специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

помещение для самостоятельной работы обучающихся: специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, АРМ обучающихся, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

По дисциплине (модулю)/ практике

ФТД.03 Физика низкоразмерных полупроводниковых структур

Направление подготовки/специальность

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Образовательная программа

03.05.02.30 Фундаментальная и прикладная физика

1. Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения, соотнесенных с результатами обучения по дисциплине (модулю), практики и оценочными средствами

Семестр ¹	Код и содержание индикатора компетенции	Результаты обучения ²	Оценочные средства ³
ПК-3: Способен разрабатывать и применять новые материалы, исследовать их структуру и свойства			
А	ПК-3.2: Анализирует перспективные материалы и их нано-, микро-, мезо- и макромасштабные свойства	Знать основы квантовой полупроводниковой электроники	Реферат Контрольные вопросы к зачету
		Уметь анализировать свойства низкоразмерных полупроводниковых структур и области их применения	Реферат Контрольные вопросы к зачету

2. Типовые оценочные средства или иные материалы, с описанием шкал оценивания и методическими материалами, определяющими процедуру проведения и оценивания достижения результатов обучения

Темы рефератов:

1. Зонная структура полупроводников. Квантовые ямы, нити, точки.
2. Методы синтеза тонких пленок.
3. Технологии получения полупроводниковых гетероструктур.
4. Литография.
5. Контактные явления. Барьер Шоттки, р-п-переход и гетеропереходы.
6. Явления переноса, электронно-транспортные свойства, квантовые поправки к проводимости.
7. Туннельные эффекты и туннельные структуры.
8. Оптическое поглощение и электронно-оптические эффекты в полупроводниковых структурах с квантовыми ямами.
9. Эффект Холла в низкоразмерных полупроводниковых структурах.

¹ Семестры указываются по порядку, для каждого индикатора

² Указываются результаты обучения по дисциплине (модулю), практике, соотнесенные с индикатором достижения компетенции.

³ Указываются оценочные средства для каждого индикатора.

Методические рекомендации по подготовке реферата:

Написание реферата — это важный процесс, который помогает усвоить материал, развить аналитические и исследовательские навыки. Ниже приведены методические рекомендации, которые могут помочь в этом:

1. Выбор темы

- Актуальность: Выбирайте тему, которая интересует вас и имеет смысл в контексте учебного курса или современности.
- Специфика: Уточняйте и конкретизируйте тему, чтобы не охватывать слишком широкий пласт информации.

2. Сбор информации

- Источники: Используйте разнообразные источники: книги, научные статьи, интернет-ресурсы, учебники.
- Критический подход: Оценивайте достоверность и актуальность информации, обращая внимание на авторитетность источников.

3. Структура реферата

- Титульный лист: Указывайте название работы, ФИО, учебное заведение, дисциплину и дату.
- Содержание: Составьте оглавление, чтобы читатель мог легко ориентироваться в работе.
- Введение: Ознакомьте с темой, обоснуйте ее актуальность и поставьте цели и задачи.
- Основная часть: Разделите на логические главы и подразделы. Освещайте ключевые аспекты темы, приводите примеры и аргументы.
- Заключение: Подведите итоги работы, сделайте выводы и предложения по дальнейшему изучению темы.
- Список использованных источников: Перечислите все источники, на которые вы опирались при написании реферата, в соответствующем формате.

4. Стиль и язык

- Ясность и точность: Используйте простой и понятный язык, избегайте избыточной терминологии без объяснения.
- Логичность: Структурируйте мысли так, чтобы они следовали одна из другой, создавая логическую цепочку.

5. Оформление

- Реферат должен быть оформлен в соответствии с требованиями Стандарта университета «Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности» [Электронный ресурс] / Красноярск: СФУ, 2021, СТУ 7.5-07-2021, <http://www.sfu-kras.ru/node/8127>

6. Проверка и редактирование

- Корректурa: Проверьте работу на наличие грамматических, орфографических и стилистических ошибок.
- Чтение вслух: Прочитайте текст вслух — это поможет выявить неясности и трудные для восприятия места.

7. Временные рамки

- Планирование: Определите срок написания реферата и распределите задания по времени: поиск информации, написание черновика, исправление и оформление.

Реферат можно сдать по мере готовности в течение семестра. Без сдачи реферата студент не допускается к зачету.

Критерии оценки реферата:

«**Зачтено**» за реферат выставляется обучающемуся, если:

1. Содержание реферата в целом соответствует теме задания.
2. Продемонстрировано владение понятийно-терминологическим аппаратом дисциплины, отсутствуют ошибки в употреблении терминов. Показано умелое использование категорий и терминов дисциплины. Продемонстрировано умение аргументированно излагать собственную точку зрения. Изложение отчасти сопровождается адекватными иллюстрациями (примерами) из практики.
3. Реферат в достаточной степени структурирован и выстроен в заданной логике без нарушений общего смысла. Части ответа логически взаимосвязаны. Отражена логическая структура проблемы (задания): постановка проблемы – аргументация – выводы. Объем ответа незначительно превышает заданные рамки при сохранении смысла.
4. Достаточная степень самостоятельности, оригинальность в представлении материала.

«**Не зачтено**» выставляется обучающемуся, если:

1. Содержание реферата не соответствует теме задания или соответствует ему в очень малой степени. Продемонстрировано крайне низкое (отрывочное) знание фактического материала, много фактических ошибок – практически все факты (данные) либо искажены, либо неверны.
2. Продемонстрировано крайне слабое владение понятийно-терминологическим аппаратом дисциплины (неуместность употребления, неверные аббревиатуры, искаженное толкование и т.д.), присутствуют многочисленные ошибки в употреблении терминов.
3. Реферат представляет собой сплошной текст без структурирования, нарушена заданная логика. Части реферата не взаимосвязаны логически.

Контрольные вопросы к зачету:

1. Мезоскопика. Квантовый характер электронных процессов в мезоскопических структурах. Квантовая полупроводниковая электроника: история, достижения перспективы.
2. Контактные явления. Металлы. Полупроводники. Поверхностные состояния. Контакт металла с полупроводником. Модель Шоттки. Контакт двух

полупроводников с разным типом проводимости. Полупроводниковые гетеропереходы. Анизотипные и изотипные гетеропереходы.

3. Основные типы квантовых полупроводниковых структур. Квантовые ямы, нити, точки. Электронные состояния в низкоразмерных полупроводниковых структурах. Простейшие квантовые модели. Прямоугольная яма. Треугольная яма. Двойная квантовая яма. Двумерный канал. Плотность электронных состояний в низкоразмерных структурах. Двумерная, одномерная и нульмерная модели. Уровень Ферми для систем с пониженной размерностью. Особенности квантования энергетического спектра электронов в гетеропереходах.

4. Явления переноса электронов в квантовых полупроводниковых структурах. Диффузионный перенос заряда. Явление переноса в квантованном инверсионном слое области пространственного заряда. Электроны в полупроводниковых сверхрешеточных структурах. Электропроводность сверхрешеток. Дрейфовая скорость электронов, всплеск дрейфовой скорости в коротких полупроводниковых структурах. Квазibalлистический и баллистический перенос заряда. Формула Ландауэра. Интерференция электронных волн. Локализация квантовых состояний. Явление слабой локализации. Эффект Ааронова-Бома.

5. Туннельные эффекты. Туннелирование через двухбарьерные структуры. Резонансное туннелирование. Квазистационарные состояния электрона в потенциальной яме. Вольт-амперная характеристика многослойных структур. Резонансно-туннельный диод. Туннельные эффекты в электрических и магнитных полях. Скорость туннелирования. Кулоновская блокада туннелирования. Туннелирование через гранулу. Формула для туннельного тока. Контактанс туннельного контакта с затвором.

6. Оптические свойства квантовых структур. Взаимодействие электромагнитного поля с электронами. Внутризонные и межзонные переходы. Правила отбора. Экситонное поглощение. Многофотонное поглощение в квантовых ямах. Лазеры на структурах с квантовыми ямами.

7. Гальваномагнитные явления в квантовых структурах. Энергетический спектр и плотность состояний электронов в магнитном поле. Уровни Ландау. Классический эффект Холла. Целочисленный квантовый эффект Холла. Дробный квантовый эффект Холла.

8. Мезоскопические приборы. Квантовые интерференционные приборы. Резонансно-туннельные приборы. Одноэлектронные приборы. Электрооптические приборы. Методы практической реализации мезоскопических приборов.

Методические рекомендации к зачету:

Для допуска к зачету необходимо получить «зачтено» за реферат. Форма проведения зачета - устный опрос по билетам. В билет включается один теоретический вопрос из любого раздела программы.

Критерии оценивания знаний студентов на зачете

Шкала оценивания	
незачет	зачет
Студент обнаруживает существенные пробелы в знаниях основного учебного материала по дисциплине. Уровень знаний ниже минимальных требований.	Студент демонстрирует систематический характер знаний по дисциплине. При изложении материала допущено несколько несущественных погрешностей. Студент испытывает незначительные трудности в ответах на дополнительные вопросы.

Разработчик



А.С. Тарасов