

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"
Институт физики



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Д.А. Гаюрский

ДЕПАРТАМЕНТ
ОБРАЗОВАНИЯ
(ДО КФУ)

» _____ 20__ г.

подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины

Квантовые электронные свойства наносистем Б1.В.ДВ.8

Направление подготовки: 28.03.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль подготовки: не предусмотрено

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Автор(ы):

Парфенов В.В.

Рецензент(ы):

Деминов Р.Г.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Воронина Е. В.

Протокол заседания кафедры No ____ от " ____ " _____ 201__ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No ____ от " ____ " _____ 201__ г

Регистрационный No 6186018

Казань
2018

Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (доцент) Парфенов В.В. Кафедра физики твердого тела Отделение физики, Viktor.Parfenov@kpfu.ru

1. Цели освоения дисциплины

ознакомление студентов с физическими основами наноэлектроники и нанотехнологий.

2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.В.ДВ.8 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 4 курсе, 7, 8 семестры.

является дисциплиной по выбору профессионального цикла (блок Б3.ДВ) дисциплин подготовки студентов по направлению подготовки "Нанотехнологии и микросистемная техника".

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-2 (профессиональные компетенции)	готовность проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники
ПК-3 (профессиональные компетенции)	готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций
ПК-4 (профессиональные компетенции)	способность проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектов
ПК-5 (профессиональные компетенции)	готовность рассчитывать и проектировать компоненты нано- и микросистемной техники
ПК-6 (профессиональные компетенции)	готовность рассчитывать и проектировать основные параметры наноструктурных материалов различного функционального назначения

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

- физические процессы, происходящие в структурах, имеющих размеры 10-100 нм;
- технологические особенности синтеза новых полупроводниковых материалов и построения на их основе наноразмерных структур для электроники;
- физические основы наноэлектроники - условия возникновения размерного квантования электронного газа в полупроводниковых структурах, специфические эффекты, возникающими вследствие такого квантования;
- механизмы переноса носителей заряда в низкоразмерных системах и полупроводниковых приборах на основе таких систем;
- фотоэлектрические, оптические и люминесцентные явления в гетероструктурах;
- применение наноразмерных структур в электронной технике.

2. должен уметь:

измерять на современном оборудовании физические параметры полупроводниковых приборов на основе гетероструктур.

3. должен владеть:

проведением экспериментальных исследований по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;
 описанием проводимых исследований, анализом результатов, подготовкой данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций

4. должен демонстрировать способность и готовность:

- системного научного анализа проблем (как природных, так и профессиональных) различного уровня сложности.

4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных(ые) единиц(ы) 180 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен в 7 семестре; зачет в 8 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Полупроводниковые структуры с двумерным электронным газом	7	1	2	2	0	
2.	Тема 2. Получение совершенных гетероструктур	7	2	1	2	0	
3.	Тема 3. Графен - двумерный кристалл	7	3	2	2	0	
4.	Тема 4. Методы исследование наноразмерных объектов	7	4	2	2	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
5.	Тема 5. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов	7	5	2	2	0	
6.	Тема 6. Электрон в потенциальных ямах	7	6	2	2	0	
7.	Тема 7. Туннелирование электронов через потенциальные барьеры наноразмеров	7	7	1	2	0	
8.	Тема 8. Перенос электронов в двухбарьерной квантовой структуре (ДБКС)	7	8	1	2	0	
9.	Тема 9. Проблема достижения высокой подвижности носителей	7	9	1	2	0	
10.	Тема 10. Уменьшение рассеяния электронов на ионизированных примесях	7	10	2	2	0	
11.	Тема 11. Сверхрешетки. Размерное квантование фононного спектра в сверхрешетках	7	11	2	2	0	
12.	Тема 12. Баллистический транспорт в наноструктурах	7	12	2	2	0	Контрольная работа
13.	Тема 13. Целочисленный квантовый эффект Холла	7	13	2	2	0	
14.	Тема 14. Дробный квантовый эффект Холла	7	14	2	2	0	
15.	Тема 15. Транзисторные наноструктуры	7	15	2	2	0	
16.	Тема 16. Применение наноразмерных структур в оптоэлектронных приборах	7	16	2	2	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
17.	Тема 17. Одноэлектроника.	7	17	1	2	0	
18.	Тема 18. Магнитные наноструктуры	7	18	1	2	0	
20.	Тема 20. Лаб. работа "Спектры плазмонного резонанса наночастиц серебра"	8	1-2	0	0	6	
21.	Тема 21. Лаб. работа "Спектры светодиодов на гетероструктурах"	8	3-4	0	0	6	
22.	Тема 22. Лаб. работа "Туннельный диод"	8	5-6	0	0	6	
	Тема . Итоговая форма контроля	7		0	0	0	Экзамен
	Тема . Итоговая форма контроля	8		0	0	0	Зачет
	Итого			30	36	18	

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Полупроводниковые структуры с двумерным электронным газом

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Физические свойства основных материалов для формирования гетероструктур полупроводниковых соединений A3B5, A2B6, A4B6. Гетероструктуры 1 и 2 типов. Разрыв потенциальной энергии электронов в точке контакта - "крюк" и "стенка".

практическое занятие (2 часа(ов)):

Двумерный электронный газ в точке контакта полупроводников.

Тема 2. Получение совершенных гетероструктур

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Некоторые вопросы технологии получения совершенных гетероструктур. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Метод магнетронного и ионно-плазменного напыления тонких пленок. Получение гетероструктур методом МОГФЭ.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Ионная имплантация как метод модификации физических свойств. Ионно-лучевой синтез.

Тема 3. Графен - двумерный кристалл

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Графен - двумерный кристалл. Зонная структура. Электроны с "нулевой" массой и высокой подвижностью. Перспективы применения в электронике. Графеноподобные двумерные кристаллы.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Графеноподобные двумерные кристаллы.

Тема 4. Методы исследование наноразмерных объектов

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Методы элементного анализа. Исследование поверхности методами электронной спектроскопии.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Сканирующая зондовая, сканирующая силовая и магнитно-силовая микроскопия.

Тема 5. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Размерное квантование электронного газа. Двумерный, одномерный (квантовые нити) и нуль-мерный (квантовые точки) электронный газ. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов (КРЭ).

практическое занятие (2 часа(ов)):

Связь условий наблюдения КРЭ с линейными размерами наноструктур, температурой, подвижностью носителей заряда.

Тема 6. Электрон в потенциальных ямах

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Решение уравнения Шредингера для прямоугольной и треугольной потенциальных ям. Волновые функции и энергии электрона в ямах.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Особенности образования потенциальных ям в МОП и гетероструктурах.

Тема 7. Туннелирование электронов через потенциальные барьеры наноразмеров

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Туннелирование электрона через потенциальные барьеры различной формы. Условия, необходимые для наблюдения туннелирования.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Надбарьерный перенос электронов через потенциальные барьеры наноразмеров.

Тема 8. Перенос электронов в двухбарьерной квантовой структуре (ДБКС)

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Перенос электронов в двухбарьерной квантовой структуре (ДБКС). Резонансное туннелирование.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Коэффициент прозрачности ДБКС и способы управления им.

Тема 9. Проблема достижения высокой подвижности носителей

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Проблема достижения высокой подвижности носителей. Междолинный перенос в арсениде галлия и твердых растворах на его основе.

практическое занятие (2 часа(ов)):

"Убегание" электронов.

Тема 10. Уменьшение рассеяния электронов на ионизированных примесях

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Уменьшение рассеяния электронов на ионизированных примесях. Пространственное разделение подвижных носителей и ионизированных примесей.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Спейсер и Дельта-легирование.

Тема 11. Сверхрешетки. Размерное квантование фононного спектра в сверхрешетках

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Сверхрешетки. Размерное квантование фононного спектра в сверхрешетках.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Рассеяние электронов на оптических фононах в сверхрешетках

Тема 12. Баллистический транспорт в наноструктурах

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Баллистический транспорт в наноструктурах. Временной и пространственный overshoot. Условия реализации и наблюдения.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Комбинированный overshoot

Тема 13. Целочисленный квантовый эффект Холла

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Низкоразмерный электронный газ в квантующем магнитном поле. Целочисленный квантовый эффект Холла.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Продольное сопротивление и магнитосопротивление в геометрии КЭХ.

Тема 14. Дробный квантовый эффект Холла

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Дробный квантовый эффект Холла. Коллективные электронные возбуждения квазичастицы с дробным зарядом и тета-статистикой.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Модель Лафлина

Тема 15. Транзисторные наноструктуры

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Транзисторные наноструктуры: полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов (HEMT), транзисторы с резонансным туннелированием через квантовую точку (RHET) и др. Устройство и принцип действия. Рабочий диапазон частот.

практическое занятие (2 часа(ов)):

ПТОС - полевые транзисторы с отрицательным дифференциальным сопротивлением.

Тема 16. Применение наноразмерных структур в оптоэлектронных приборах

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Применение наноразмерных структур в оптоэлектронных приборах. Инжекционные лазеры на гетероструктурах. Лазеры на квантовых точках.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Лавинные фотодиоды на сверхрешетках.

Тема 17. Одноэлектроника.

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Одноэлектроника. Условия наблюдения одноэлектронного туннелирования. Кулоновская лестница?

практическое занятие (2 часа(ов)):

Принципы построения логических элементов на одноэлектронных ячейках

Тема 18. Магнитные наноструктуры

лекционное занятие (1 часа(ов)):

Магнитные свойства наноструктур. Краткий обзор магнетизма макроскопических систем. Магнитные вихревые структуры, эффекты близости, спиновые клапаны.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Гигантское магнетосопротивление. Понятие о спинтронике

Тема 20. Лаб. работа "Спектры плазмонного резонанса наночастиц серебра"

лабораторная работа (6 часа(ов)):

Измерение спектров плазмонного резонанса наночастиц серебра в диэлектрической матрице. Расчет размеров наночастиц.

Тема 21. Лаб. работа "Спектры светодиодов на гетероструктурах"

лабораторная работа (6 часа(ов)):

Измерение спектров светодиодов на гетероструктурах. Построение спектральных зависимостей. Анализ результатов.

Тема 22. Лаб. работа "Туннельный диод"

лабораторная работа (6 часа(ов)):

Измерение ВАХ туннельного диода. Анализ результатов.

4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)

№	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоёмкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Полупроводниковые структуры с двумерным электронным газом	7	1	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
2.	Тема 2. Получение совершенных гетероструктур	7	2	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
3.	Тема 3. Графен - двумерный кристалл	7	3	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
4.	Тема 4. Методы исследования наноразмерных объектов	7	4	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
5.	Тема 5. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов	7	5	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
6.	Тема 6. Электрон в потенциальных ямах	7	6	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
7.	Тема 7. Туннелирование электронов через потенциальные барьеры наноразмеров	7	7	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
8.	Тема 8. Перенос электронов в двухбарьерной квантовой структуре (ДБКС)	7	8	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
9.	Тема 9. Проблема достижения высокой подвижности носителей	7	9	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
10.	Тема 10. Уменьшение рассеяния электронов на ионизированных примесях	7	10	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
11.	Тема 11. Сверхрешетки. Размерное квантование фононного спектра в сверхрешетках	7	11	подготовка к устному опросу	2	устный опрос

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
12.	Тема 12. Баллистический транспорт в наноструктурах	7	12	подготовка к контрольной работе	6	Контрольная работа
13.	Тема 13. Целочисленный квантовый эффект Холла	7	13	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
14.	Тема 14. Дробный квантовый эффект Холла	7	14	подготовка к устному опросу	3	устный опрос
15.	Тема 15. Транзисторные наноструктуры	7	15	подготовка к устному опросу	3	устный опрос
16.	Тема 16. Применение наноразмерных структур в оптоэлектронных приборах	7	16	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
17.	Тема 17. Одноэлектроника.	7	17	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
18.	Тема 18. Магнитные наноструктуры	7	18	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
20.	Тема 20. Лаб. работа "Спектры плазмонного резонанса наночастиц серебра"	8	1-2	подготовка к устному опросу	6	устный опрос
21.	Тема 21. Лаб. работа "Спектры светодиодов на гетероструктурах"	8	3-4	подготовка к устному опросу	6	устный опрос
22.	Тема 22. Лаб. работа "Туннельный диод"	8	5-6	подготовка к устному опросу	6	устный опрос
	Итого				60	

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

лекции, лабораторные и практические занятия, интерактивные методы работы постоянное взаимодействие между преподавателем и студентом в процессе обучения, самостоятельная работа студента (выполнение индивидуальных домашних заданий), консультации.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Тема 1. Полупроводниковые структуры с двумерным электронным газом

устный опрос, примерные вопросы:

Физические свойства полупроводниковых соединений A₃B₅, A₂B₆, A₄B₆. Физические явления при контакте двух полупроводников с разной шириной запрещенной зоны. Гетероструктуры 1 и 2 типа.

Тема 2. Получение совершенных гетероструктур

устный опрос , примерные вопросы:

Молекулярно-лучевая эпитаксия. Метод магнетронного и ионно-плазменного напыления тонких пленок. Ионная имплантация как метод модификации физических свойств. Ионно-лучевой синтез.

Тема 3. Графен - двумерный кристалл

устный опрос , примерные вопросы:

Графен - двумерный кристалл. Зонная структура. Электроны с ?нулевой? массой и высокой подвижностью. Перспективы применения в электронике.

Тема 4. Методы исследование наноразмерных объектов

устный опрос , примерные вопросы:

Методы элементного анализа. Исследование поверхности методами электронной спектроскопии. Сканирующая зондовая, сканирующая силовая и магнитно-силовая микроскопия.

Тема 5. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов

устный опрос , примерные вопросы:

Размерное квантование электронного газа. Двумерный, одномерный (квантовые нити) и нуль-мерный (квантовые точки) электронный газ. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов.

Тема 6. Электрон в потенциальных ямах

устный опрос , примерные вопросы:

Решение уравнения Шредингера для электрона в прямоугольной и треугольной потенциальных ямах. Особенности образования треугольной потенциальной ямы в МОП-структурах и гетероструктурах.

Тема 7. Туннелирование электронов через потенциальные барьеры наноразмеров

устный опрос , примерные вопросы:

Туннелирование электрона через потенциальные барьеры различной формы. Надбарьерный перенос электронов через потенциальные барьеры наноразмеров.

Тема 8. Перенос электронов в двухбарьерной квантовой структуре (ДБКС)

устный опрос , примерные вопросы:

Перенос электронов в двухбарьерной квантовой структуре (ДБКС). Пути управления коэффициентом прозрачности ДБКС.

Тема 9. Проблема достижения высокой подвижности носителей

устный опрос , примерные вопросы:

Проблема достижения высокой подвижности носителей. Междолинный перенос в арсениде галлия и твердых растворах на его основе.

Тема 10. Уменьшение рассеяния электронов на ионизированных примесях

устный опрос , примерные вопросы:

Рассеяние электронов на ионизированных примесях. Пространственное разделение подвижных носителей и ионизированных примесей. Дельта-легирование.

Тема 11. Сверхрешетки. Размерное квантование фононного спектра в сверхрешетках

устный опрос , примерные вопросы:

Сверхрешетки. Размерное квантование фононного спектра в сверхрешетках. Рассеяние электронов на оптических фононах в сверхрешетках.

Тема 12. Баллистический транспорт в наноструктурах

Контрольная работа , примерные вопросы:

1. Физические свойства полупроводниковых соединений A3B5, A2B6, A4B6. 2. Физические явления при контакте двух полупроводников с разной шириной запрещенной зоны. 3. Размерное квантование электронного газа. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов. 4. Решение уравнения Шредингера для электрона в прямоугольной потенциальной яме. Особенности образования треугольной потенциальной ямы в МОП-структурах и гетероструктурах. 5. Туннелирование электрона через потенциальные барьеры различной формы. 6. Транспортные явления в низкоразмерных системах. Междолинный перебор в арсениде галлия и твердых растворах на его основе. 7. Рассеяние электронов на ионизированных примесях. Технологические приемы, уменьшающие это рассеяние. 8. Размерное квантование фононного спектра в сверхрешетках. Рассеяние электронов на оптических фононах в сверхрешетках. 9. Баллистический транспорт в наноструктурах. Временной и пространственный overshoot. Условия реализации и наблюдения.

Тема 13. Целочисленный квантовый эффект Холла

устный опрос , примерные вопросы:

Низкоразмерный электронный газ в квантующем магнитном поле. Целочисленный квантовый эффект Холла.

Тема 14. Дробный квантовый эффект Холла

устный опрос , примерные вопросы:

Дробный квантовый эффект Холла. Коллективные электронные возбуждения квазичастицы с дробным зарядом и тета-статистикой.

Тема 15. Транзисторные наноструктуры

устный опрос , примерные вопросы:

Транзисторные наноструктуры: полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов (HEMT), транзисторы с резонансным туннелированием через квантовую точку (RHET) и др. Устройство и принцип действия. Рабочий диапазон частот.

Тема 16. Применение наноразмерных структур в оптоэлектронных приборах

устный опрос , примерные вопросы:

Применение наноразмерных структур в оптоэлектронных приборах. Инжекционные лазеры на гетероструктурах. Лазеры на квантовых точках. Лавинные фотодиоды на сверхрешетках.

Тема 17. Одноэлектроника.

устный опрос , примерные вопросы:

Одноэлектроника. Условия наблюдения одноэлектронного туннелирования. Кулоновская лестница?

Тема 18. Магнитные наноструктуры

устный опрос , примерные вопросы:

Принципы построения логических элементов с использованием одноэлектронных приборов.

Тема 20. Лаб. работа "Спектры плазмонного резонанса наночастиц серебра"

устный опрос , примерные вопросы:

1. Ионная имплантация в полупроводники. Принципиальная схема ускорителя ионов. 2. Параметры ионно-легированного слоя: средняя проекционная длина свободного пробега, полуширина распределения. От чего они зависят? 3. Зависимость вида и размеров структур, полученных методом ИИ от дозы облучения.

Тема 21. Лаб. работа "Спектры светодиодов на гетероструктурах"

устный опрос , примерные вопросы:

1. Оптические свойства металлов. Плазменная частота. Где она будет находиться для окрашенных металлов: золота, меди? 2. Полупроводниковые гетероструктуры. Какие требования предъявляются к полупроводникам - компонентам гетероструктуры? 3. Какой должна быть зонная структура полупроводника для реализации рекомбинации по излучательному каналу? 4. Как реализовать неселективный ("белый") спектр излучения светодиодов?

Тема 22. Лаб. работа "Туннельный диод"

устный опрос , примерные вопросы:

1. Решения уравнения Шредингера для электрона в прямоугольной потенциальной яме. 2. То же для треугольной потенциальной ямы. 3. Причина появления избыточного тока на ВАХ туннельных диодов. 4. Как зависит плотность тока от напряжения на обратной ветви ВАХ туннельного диода?

Итоговая форма контроля

зачет и экзамен (в 7 семестре)

Итоговая форма контроля

зачет и экзамен (в 8 семестре)

Примерные вопросы к :

Экзаменационный билет ♦ _1_

1. Физические свойства основных материалов для формирования гетероструктур полупроводниковых соединений А3В5, А2В6, А4В6
2. Проблема достижения высокой подвижности носителей. Междолинный перенос в арсениде галлия и твердых растворах на его основе

Экзаменационный билет ♦ _2_

1. Размерное квантование электронного газа. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов
2. Туннелирование электрона через потенциальные барьеры различной формы

Экзаменационный билет ♦ _3_

1. Технологии получения гетероструктур: молекулярно-лучевая эпитаксия
2. Надбарьерный перенос электронов через потенциальные барьеры наноразмеров

Экзаменационный билет ♦ _4_

1. Технологии получения гетероструктур: металл-органическая газофазная эпитаксия
2. Размерное квантование фононного спектра в сверхрешетках. Рассеяние электронов на оптических фононах в сверхрешетках

Экзаменационный билет ♦ _5_

1. Ионная имплантация и ионно-лучевой синтез
2. Рассеяние электронов на ионизированных примесях. Пространственное разделение подвижных носителей и ионизированных примесей

Экзаменационный билет ♦ _6_

1. Исследование поверхности методами электронной спектроскопии
2. Решение уравнения Шредингера для электрона в прямоугольной и треугольной потенциальных ямах

Экзаменационный билет ♦ _7_

1. Сканирующая зондовая, сканирующая силовая и магнитно-силовая микроскопия
2. Гетероструктуры I и II типов. Особенности образования треугольной потенциальной ямы в МОП-структурах и гетероструктурах

Экзаменационный билет ♦ _8_

1. Баллистический транспорт в наноструктурах. Временной и пространственный overshoot. Условия реализации и наблюдения
2. Лавинные фотодиоды на сверхрешетках

Экзаменационный билет ♦ _9_

1. Низкоразмерный электронный газ в квантующем магнитном поле. Целочисленный квантовый эффект Холла
2. Инжекционные лазеры на гетероструктурах. Лазеры на квантовых точках

Экзаменационный билет ♦ _10_

1. Дробный квантовый эффект Холла. Квазичастицы с дробным зарядом и тета-статистикой
2. Принципы построения логических элементов с использованием одноэлектронных приборов

Экзаменационный билет ♦ _11_

1. Перенос электронов в двухбарьерной квантовой структуре (ДБКС)
2. Графен - двумерный кристалл. Зонная структура. Перспективы применения в электронике.

Экзаменационный билет ♦ _12_

1. Транзисторные наноструктуры: полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов (НЕМТ), транзисторы с резонансным туннелированием через квантовую точку (RHET) и др.
2. Условия наблюдения одноэлектронного туннелирования. Кулоновская ?лестница?

Вопросы к зачету.

1. Ионная имплантация в полупроводники. Принципиальная схема ускорителя ионов.
2. Параметры ионно-легированного слоя: средняя проекционная длина свободного пробега, полуширина распределения. От чего они зависят?
3. Зависимость вида и размеров структур, полученных методом ИИ от дозы облучения.
4. Оптические свойства металлов. Плазменная частота. Где она будет находиться для окрашенных металлов: золота, меди?
5. Полупроводниковые гетероструктуры. Какие требования предъявляются к полупроводникам - компонентам гетероструктуры?
6. Какой должна быть зонная структура полупроводника для реализации рекомбинации по излучательному каналу?
7. Как реализовать неселективный ("белый") спектр излучения светодиодов?
8. Решения уравнения Шредингера для электрона в прямоугольной потенциальной яме.
9. То же для треугольной потенциальной ямы.
10. Причина появления избыточного тока на ВАХ туннельных диодов.
11. Как зависит плотность тока от напряжения на обратной ветви ВАХ туннельного диода?

7.1. Основная литература:

1. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - М. : Физматлит, 2009. - 416 с.
- Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2173>. - Загл. с экрана.
2. Головин, Ю.И. Основы нанотехнологий. [Электронный ресурс] - Электрон. дан. - М. : Машиностроение, 2012. - 656 с.
- Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/5793> -Загл. с экрана.
3. Барыбин, А.А. Физико-технологические основы макро-, микро- и наноэлектроники [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.А. Барыбин, В.И. Томилин, В.И. Шаповалов. ? Электрон. дан. ? Москва : Физматлит, 2011. ? 784 с. ? Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5258>. ? Загл. с экрана.

7.2. Дополнительная литература:

1. Игнатов, А.Н. Микросхемотехника и наноэлектроника. [Электронный ресурс],- Электрон. дан. - СПб. : Лань, 2011. - 528 с.
- Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2035>. - Загл. с экрана.
2. Канева, И.И. Технология микро-и наноэлектроники. Технология материалов магнитоэлектроники. [Электронный ресурс] / И.И. Канева, С.В. Подгорная,

В.Г. Андреев. - Электрон. дан. - М. : МИСИС, 2011. - 161 с. - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/47459>. - Загл. с экрана.

7.3. Интернет-ресурсы:

гетероструктуры - http://femto.com.ua/articles/part_1/0743.html

гетероструктуры на основе AlN, GaN - http://www.kit-e.ru/articles/svch/2008_2_138.php

графен и его применения - <http://ru.wikipedia.org/wiki/%C3%F0%E0%F4%E5%ED>

квантовый эффект холла -

http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/3462/%D0%9A%D0%92%D0%90%D0%9D%D0%A2%D0%9E

лазер на квантовых точках - <http://www.nanometer.ru/2009/03/22/12377431214279.html>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Квантовые электронные свойства наносистем" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и с учетом рекомендаций ПрООП ВПО по направлению и профилю подготовки Нанотехнологии и микросистемная техника.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 28.03.01 "Нанотехнологии и микросистемная техника" и профилю подготовки не предусмотрено .

Автор(ы):

Парфенов В.В. _____

"__" _____ 201__ г.

Рецензент(ы):

Деминов Р.Г. _____

"__" _____ 201__ г.