

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

"УТВЕРЖДАЮ"

Проректор \_\_\_\_\_ В.С.Бухмин

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
Квантовые размерные эффекты в гетероструктурах

Цикл ДС

ГСЭ - общие гуманитарные и социально-экономические дисциплины; ЕН - общие математические и естественнонаучные дисциплины; ОПД - общепрофессиональные дисциплины; ДС - дисциплины специализации; ФТД - факультативы.

Специальность: 010400 — Физика  
(Номер специальности) (Название специальности)

Принята на заседании кафедры физики твёрдого тела  
(Название кафедры)

(протокол № 7 от "17" сентября 2009 г.)

Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ (Л.Р.Тагиров)

Утверждена Учебно-методической комиссией физического факультета  
(Название факультета)

КГУ

(протокол №     от "   " \_\_\_\_\_ 200    г.)

Председатель комиссии  
\_\_\_\_\_ (Д.А. Таюрский)

## Методические указания (пояснительная записка)

Рабочая программа дисциплины

"Квантовые размерные эффекты в гетероструктурах"

Предназначена для студентов 5 курса,

по специальности: 010400

(Номер специальности)

–

Физика

(Название специальности)

АВТОР: В.В. Парфенов

### КРАТКАЯ АННОТАЦИЯ:

Лекционный курс «Квантовые размерные эффекты в гетероструктурах» является дисциплиной специализации «Физика твердого тела». Задачей курса является ознакомление студентов с физическими основами наноэлектроники - размерным квантованием электронного газа в полупроводниковых низкоразмерных структурах, специфическими эффектами, возникающими вследствие такого квантования, применением наноразмерных структур в электронной технике. Лекционный курс связан с общим лекционным курсом «Физика конденсированного состояния вещества» и спецкурсами «Физика магнитных материалов и полупроводников», «Магнитные наноструктуры и материалы»

1. Требования к уровню подготовки студента, завершившего изучение дисциплины «Квантовые размерные эффекты в гетероструктурах»

(Наименование дисциплины)

Студенты, завершившие изучение данной дисциплины должны:

- понимать физические процессы, связанные с размерным квантованием в полупроводниковых гетероструктурах;
- обладать теоретическими знаниями о механизмах переноса носителей заряда в низкоразмерных системах и полупроводниковых приборах на основе таких систем; о фотоэлектрических, оптических и люминесцентных явлениях в гетероструктурах;
- представлять проблемы, стоящие в настоящее время перед материаловедением, физикой и техникой полупроводниковой наноэлектроники, а также возможные пути разрешения этих проблем.

2. Объем дисциплины и виды учебной работы (в часах)

Форма обучения очная

очная, заочная, вечерняя

Количество семестров 1

Форма контроля: 9 семестр зачет

зачет, экзамен

| №<br>п/п | Виды учебных занятий                                     | Количество часов |  |
|----------|--|------------------|--|
|          |  | 9<br>семестр     |  |
| 1        | Всего часов по дисциплине                                | 60               |  |
| 2        | Самостоятельная работа                                   | 24               |  |
| 3        | Аудиторных занятий                                       | 36               |  |
|          | в том числе: лекций                                      | 36               |  |
|          | семинарских (или<br>лабораторно-практических)<br>занятий |                  |  |

## Содержание дисциплины

### ТРЕБОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА К ОБЯЗАТЕЛЬНОМУ МИНИМУМУ СОДЕРЖАНИЯ ПРОГРАММЫ

| Индекс | Наименование дисциплины и ее основные<br>разделы | Всего часов |
|--------|--|-------------|
| ДС     | -  |             |

Примечание: если дисциплина устанавливается вузом самостоятельно, то в данной таблице ставится прочерк.

### СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

| №<br>п/п | Название темы и ее содержание   | Количество часов |                          |
|----------|---|------------------|--------------------------|
|          |   | лекции           | (лаб.-практ.)<br>занятия |
| 1        | Физические свойства основных материалов для формирования гетероструктур – полупроводниковых соединений $A^3B^5$ , $A^2B^6$ , $A^4B^6$ .   | 2                |                          |
| 2        | Некоторые вопросы технологии получения совершенных гетероструктур. Физические явления при контакте двух полупроводников с разной шириной запрещенной зоны.                              | 2                |                          |
| 3        | Размерное квантование электронного газа. Двумерный, одномерный (квантовые нити) и нуль-мерный (квантовые точки) электронный газ. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов.       | 3                |                          |
| 4        | Решение уравнения Шредингера для электрона в прямоугольной и треугольной потенциальных ямах. Особенности образования треугольной потенциальной ямы в МОП-структурах и гетероструктурах. | 3                |                          |

| №<br>п/п | Название темы и ее содержание   | Количество часов |                          |
|----------|---|------------------|--------------------------|
|          |   | лекции           | (лаб.-практ.)<br>занятия |
| 5        | Туннелирование электрона через потенциальные барьеры различной формы. Надбарьерный перенос электронов через потенциальные барьеры наноразмеров.   | 2                |                          |
| 6        | Транспортные явления в низкоразмерных системах. Проблема достижения высокой подвижности носителей. Междолинный переброс в арсениде галлия и твердых растворах на его основе.  | 3                |                          |
| 7        | Рассеяние электронов на ионизированных примесях. Физические основы и технологические приемы, уменьшающие это рассеяние.   | 2                |                          |
| 8        | Фононный спектр низкоразмерных систем. Размерное квантование фононного спектра в сверхрешетках. Рассеяние электронов на оптических фононах в сверхрешетках.   | 2                |                          |
| 9        | Баллистический транспорт в наноструктурах. Временной и пространственный <i>overshoot</i> . Условия реализации и наблюдения.   | 2                |                          |
| 10       | Низкоразмерный электронный газ в квантующем магнитном поле. Целочисленный квантовый эффект Холла.   | 2                |                          |
| 11       | Дробный квантовый эффект Холла. Коллективные электронные возбуждения – квазичастицы с дробным зарядом и $\theta$ -статистикой.  | 2                |                          |
| 12       | Перенос электронов в двухбарьерной квантовой структуре (ДБКС). Коэффициент прозрачности ДБКС. Пути управления коэффициентом прозрачности.   | 2                |                          |
| 13       | Транзисторные наноструктуры: полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов (НЕМТ), транзисторы с резонансным туннелированием через квантовую точку (РНЕТ) и др. Устройство и принцип действия. Рабочий диапазон частот. | 3                |                          |

| №<br>п/п | Название темы и ее содержание  | Количество часов |                          |
|----------|--|------------------|--------------------------|
|          |  | лекции           | (лаб.-практ.)<br>занятия |
| 14       | Применение наноразмерных структур в оптоэлектронных приборах. Инжекционные лазеры на гетероструктурах. Лазеры на квантовых точках. Лавинные фотодиоды на сверхрешетках.  | 3                | 2                        |
| 15       | Одноэлектроника. Условия наблюдения одноэлектронного туннелирования. Кулоновская блокада туннелирования. Кулоновская «лестница». Принципы построения логических элементов с использованием одноэлектронных приборов. | 3                |                          |
|          | Итого часов:   | 36               | 2 *                      |

\* Спецпрактикума, связанного с данным лекционным курсом, в программе не предусмотрено. Отдельные работы по применению квантово-размерных структур в электронике включены в состав спецпрактикума «Полупроводниковые материалы».

#### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники, СПб, 2003.
2. Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. М., 2000.
3. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники, Новосибирск, 2004.
4. Лозовский В.И., Константинова Г.С., Лозовский С.В. Нанотехнология в электронике. М., Лань, 2008.

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Парфенов В.В. Квантово-размерные структуры в электронике: оптоэлектроника, КГУ, 2007.
2. Парфенов В.В. Квантово-размерные структуры в электронике: транзисторные структуры и клеточные автоматы, КГУ, 2007.

**Приложение**  
к программе дисциплины  
Квантовые размерные эффекты в гетероструктурах  
(Наименование дисциплины)

**ВОПРОСЫ К ЗАЧЁТУ**

1. Физические свойства полупроводниковых соединений  $A^3B^5$ ,  $A^2B^6$ ,  $A^4B^6$ .
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 переброс 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.
10. Низкоразмерный электронный газ в квантующем магнитном поле. Целочисленный квантовый эффект Холла.
11. Дробный квантовый эффект Холла. Коллективные электронные возбуждения – квазичастицы с дробным зарядом и  $\theta$ -статистикой.
12. Перенос электронов в двухбарьерной квантовой структуре (ДБКС). Коэффициент прозрачности ДБКС.
13. Транзисторные наноструктуры Устройство и принцип действия. Рабочий диапазон частот.
14. Применение наноразмерных структур в оптоэлектронных приборах.