

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.



Программа аспирантуры

Направление 16.06.01 Физико-технические науки и технологии

Направленность (специальность) 01.04.10 Физика полупроводников

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Физика полупроводниковых структур пониженной размерности и  
сверхрешеток»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.1.2

Всего: 108 часов

Семестр 1, в том числе

6 часов – контактная работа,  
84 часа – самостоятельная работа,  
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 16.06.01 Физико-технологические науки и технологии, утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 882, и паспорта специальности 01.04.10 Физика полупроводников, номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

### **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью** изучения дисциплины является формирование научной основы для осознанного и целенаправленного использования полученных знаний при создании приборов современной электроники и наноэлектроники

**Задачами** дисциплины являются

- освоение способности учитывать физические основы структур пониженной размерности в полупроводниковых приборах современной электроники и наноэлектроники;
- развитие способности аргументированно выбирать информацию о физических основах структур пониженной размерности и их влияние на характеристики основных полупроводниковых приборов современной электроники и наноэлектроники.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность самостоятельно выполнять физико-технические научные исследования для оптимизации параметров объектов и процессов с

- использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств (ОПК-3);
- способность анализировать состояние научной проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-2);
  - способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики полупроводников и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК-3).

### **ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

**знать:**

- классификацию полупроводниковых структур пониженной размерности и сверхрешеток с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК- 3);
- особенности полупроводниковых структур пониженной размерности и сверхрешеток и современные достижения в данной области путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-2).

**уметь:**

- критически анализировать и оценивать современные научные достижения в области полупроводниковых структур пониженной размерности и сверхрешеток (УК-1);
- анализировать состояние научной проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-2);

- применять методы расчета и моделирования полупроводниковых структур пониженной размерности и сверхрешеток (ПК- 3);
- собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по полупроводниковым структурам пониженной размерности (ПК-3).

#### **Владеть:**

- приемами и методами оценки параметров и характеристик полупроводниковых структур пониженной размерности и сверхрешеток с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств (ОПК-3);
- навыками работы с информационными базами данных и поиска информации о свойствах полупроводниковых структур пониженной размерности и сверхрешеток (ПК-2).

### **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### *1. Вопросы масштабирования и предельные возможности получения сверхбольших интегральных схем на кремнии*

Повышение интеграции и уменьшение размеров элементов интегральных схем (ИС). Преимущественное использование МДП транзисторов и взаимосвязанность масштабирования их размеров и параметров. Коротко канальные МДП транзисторы на кремнии и особенности физики их работы. Физические ограничения пределов масштабирования.

#### *2. Квантово - размерные структуры*

Размерное квантование. Двумерные и квазидвумерные электронные системы и структуры, в которых они реализуются. Квантово-размерные структуры на основе гетеропереходов. Физические свойства квантовых ям, квантовых решеток, квантовых проволок и квантовых боксов. Энергетическое строение и плотности квантовых состояний. Типы

композиционных сверхрешеток. Контра- и ковариантные композиционные сверхрешетки, легированные сверхрешетки легирования.  $NiP_i$ -сверхрешетки. Квантовые нити. Квантовые точки. Энергетический спектр электронов и плотность состояний в этих системах.

Физика резонансного туннелирования в КРС. Выбор материалов для создания квантово-размерных структур (КРС).

Электрические и гальваномагнитные явления в двумерных структурах. Эффект Шубникова-де Гааза. Общее представление о квантовом эффекте Холла.

### *3. Будущее транзисторов*

Транзисторы на горячих электронах (НЕМТ-транзисторы). Сравнение с транзисторами на арсениде галлия с барьером Шоттки. Предельные возможности. Вопросы баллистического переноса в транзисторах с туннелированием горячих электронов (Tunnelling Hot Electron Transfer Amplifiers –ТНЭТА). Квантовые боксы и одноэлектронные транзисторы.

### *4. Оптоэлектронные приборы на основе КРС*

Оптические явления в структурах с квантовыми ямами, правила отбора для межзонных и внутризонных (межподзонных) переходов. Межзонное поглощение и излучательная рекомбинация в этих структурах. Экситоны в квантовых ямах, квантово-размерный эффект Штарка.

Инжекционные лазеры. Физика работы и переход от приборов с  $p-n$  переходом к приборам с гетеропереходом и приборам на квантовых ямах, квантовых проволоках и квантовых боксах. Оптимизация конструкции и параметров. Лазеры с градиентным изменением коэффициента преломления материала в областях электронного и оптического ограничения. Лазерные диоды с распределенным брегговским отражателем. Фотоприемники на основе КРС. Лавинные фотодиоды. Фотодиоды на резонансном туннелировании, твердотельные фотоумножители. Лазерные усилительные диоды и модуляторы оптического излучения на КРС.

## 5. Спинтроника

Магниторезисторы и датчики считывания с магнитных дисков.  
Элементы памяти на слоистых магнитных наноструктурах.

## 6. Молекулярная электроника

Электропроводность и передача информации в молекулах.  
Молекулярные кристаллы и полимеры. Молекулярные выпрямители и переключатели. Молекулярные проволоки. Молекулярные транзисторы и интегральные схемы.

### **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 1 семестр – дифференцированный зачет.

#### **Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета**

1. Экономические аспекты развития наноэлектроники.
2. Основные пути развития кремниевой элементной базы. Физические ограничения. Закон Мура.
3. Физические особенности теории нано-приборов.
4. Физика наноструктур. Гетероструктура. Гетеропереходы. Зонная диаграмма двух различных полупроводниковых материалов.  $\Delta E_c$  и  $\Delta E_v$
5. Квантовые ямы. Энергетический спектр квантово-размерной структуры. Волновые функции частицы в потенциальной яме. Плотность вероятности нахождения частицы для различных квантовых состояний.
6. Квантовые состояния в треугольной квантовой яме.
7. Инверсионные слои в кремниевых структурах. Волновые функции частицы.
8. Квантовые точки и сверхрешетки. Зонная диаграмма сверхрешетки. Методы получения. Волновые функции.

9. Фуллерены, нанотрубки и графен. Кристаллическая структура. Графан.
10. Плотность квантовых состояний. Трехмерный случай. Двумерный случай. Одномерный случай.
11. Классический эффект Холла. Целочисленный квантовый эффект Холла.
12. Эффекты локализации и их роль в КЭХ.
13. Дробный квантовый эффект Холла.
14. Применение квантово-размерных структур в приборах микро- и нанoeлектроники. Оптические свойства квантоворазмерных структур.
15. МОП-транзисторы. Конструкции. Характеристики. Короткоканальные эффекты. Роль степени легирования области канала.
16. Перспективы развития биполярных и МОП ИС.
17. От микро МОП-транзисторов к нано МОП-транзисторам
18. Системы памяти.
19. Инжекционные лазеры. Физика работы и переход от приборов с *pn*-переходом к приборам с гетеропереходом.
20. Инжекционные лазеры с оптическим и электронным разделением.
21. Лазерные усилительные диоды.
22. Лазерные модуляторы
23. Требования к выбору материалов гетеропереходов.
24. Типы композиционных сверхрешеток, *nipi*-сверхрешетки.
25. Фоторезисторы на квантовых ямах и точках.
26. Квантовые точки в солнечных элементах. Лавинные фотодиоды.
27. Резонансно-туннельные диоды и транзисторы. ВАХ РТД.
28. Баллистическая проводимость нитей.
29. Кулоновская блокада. Одноэлектронный транзистор.
30. Транзисторы с высокой подвижностью носителей.

31. Спинтроника. Магниторезистивные считывающие головки.  
Элементы памяти

32. Молекулярная электроника

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в  
Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

## **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **Основная литература:**

1. Шалимова К.В. /Физика полупроводников. СПб.: издательство Лань. 2010. 384 с. ISBN 978-5-8114-09228-8.

2. Нанoeлектроника: учебное пособие / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, Е. А. Уткина. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009 г. ISBN 978-5-947749-14-4.

3. Старостин В.В. Материалы и методы нанотехнологии: учебное пособие; под общ. ред. Л.Н. Патрикеева. – М.: Бином. Лаборатория знаний. 2008. – 431 с. ISBN 978-5-94774-727-0.

### **Дополнительная литература:**

4. Зебрев Г.И. Физические основы кремниевой нанoeлектроники: Учебное пособие. — М.: МИФИ, 2008. — 288 с. ISBN 978-5-7262-0954-8

5. Драгунов, В.П. Основы нанoeлектроники:/ Драгунов, В.П., Неизвестный И. Г., Гридчин В. А.//Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 496 с.