

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.



Программа аспирантуры

Направление 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

Направленность (специальность) 05.27.01 Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Особенности технологии наноструктурированных полупроводниковых приборов»

Индекс дисциплины по учебному плану Б1.В.ДВ.2.2

Всего: 108 часов

Семестр 3, 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 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 876, и паспорта специальности 05.27.01 Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах, номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является формирование углубленного профессионального образования по технологии электронной компонентной базы для последующего применения полученных знаний при совершенствовании полупроводниковых приборов на основе наноструктур.

Задачи дисциплины являются

- освоение технологических процессов при создании электронной компонентной базы на основе наноструктурированных полупроводниковых приборов;
- освоение методов исследования и моделирования технологии изготовления структуры и свойств различных классов наноструктурированных полупроводников, а также методов управления свойствами этих материалов.

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 к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);

– способность анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-1);

– готовностью обеспечивать технологичность изделий электронной техники и процессов их изготовления (ПК-5).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- новейшие методологию определения качества и надежности наноструктурированных полупроводниковых приборов (УК-1);

- новые методы исследования и их применение в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области наноструктурированных полупроводниковых приборов (ОПК-3);

- классификацию наноструктурированных полупроводниковых приборов и современные достижения в данной области с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников, информационных технологий (ПК-1);

- критерии технологичности изделий электронной техники и процессов их изготовления (ПК-5).

уметь:

- критически анализировать и оценивать современные научные достижения в области наноструктурированных полупроводниковых приборов (УК-1);
- обеспечивать технологичность наноструктурированных полупроводниковых приборов и процессов их изготовления (ПК-5);
- анализировать состояние научной проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-1);

владеть:

- навыками работы с информационными базами данных и поиска информации о свойствах наноструктурированных полупроводниковых приборов (ПК-1).
- приемами и методами обеспечения технологичности изделий электронной техники и процессов их изготовления (ПК-5);

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Масштабирование и предельные возможности получения сверхбольших интегральных схем на кремнии

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. $Ni\delta$ -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: 3 семестр – дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета

1. МОП-транзисторы. Конструкции. Характеристики. Короткоканальные эффекты. Роль степени легирования области канала.
2. Перспективы развития биполярных и МОП ИС.
3. От микро МОП- транзисторов к нано МОП-транзисторам
4. Экономические аспекты развития нанoeлектроники.
5. Системы памяти.
6. Основные пути развития кремниевой элементной базы. Физические ограничения. Закон Мура.
7. Инжекционные лазеры. Физика работы и переход от приборов с *pn*-переходом к приборам с гетеропереходом.
8. Инжекционные лазеры с оптическим и электронным разделением.
9. Лазерные усилительные диоды.
10. Лазерные модуляторы
11. Требования к выбору материалов гетеропереходов.

12. Технология получения квантовых ям и квантовых сверхрешеток. Методы получения квантовых проволок и квантовых боксов.
 13. Молекулярно-лучевая эпитаксия.
 14. Физические особенности теории нано-приборов.
 15. Физика наноструктур. Гетероструктура. Гетеропереходы. Зонная диаграмма двух различных полупроводниковых материалов. ΔE_c и ΔE_v
 16. Квантовые ямы. Энергетический спектр квантово-размерной структуры. Волновые функции частицы в потенциальной яме. Плотность вероятности нахождения частицы для различных квантовых состояний.
 17. Квантовые состояния в треугольной квантовой яме.
 18. Инверсионные слои в кремниевых структурах. Волновые функции частицы.
 19. Квантовые точки и сверхрешетки. Зонная диаграмма сверхрешетки. Методы получения. Волновые функции.
 20. Плотность квантовых состояний. Трехмерный случай. Двумерный случай. Одномерный случай.
 21. Применение квантово-размерных структур в приборах микро- и наноэлектроники. Оптические свойства квантоворазмерных структур.
 22. Фоторезисторы на квантовых ямах и точках.
 23. Квантовые точки в солнечных элементах. Лавинные фотодиоды.
 24. Резонансно-туннельные диоды и транзисторы. ВАХ РТД.
 25. Баллистическая проводимость нитей.
 26. Кулоновская блокада. Одноэлектронный транзистор.
 27. Транзисторы с высокой подвижностью носителей.
 28. Спинтроника. Магниторезистивные считывающие головки.
- Элементы памяти
29. 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. Зебрев Г.И. Физические основы кремниевой наноэлектроники: Учебное пособие. — М.: МИФИ, 2008. — 288 с. ISBN 978-5-7262-0954-8 5 шт. http://library.mephi.ru/Data-IRBIS/book-mephi/Zebrev_Fizicheskie_osnovy_kremnievoj_2008.pdf в свободном доступе
3. Щука, А. А. Электроника : учебное пособие для вузов по направлению 654100 "Электроника и микроэлектроника" /А. А. Щука ; Ред. А. С. Сигов . – СПб. : БХВ-Петербург, 2006 . – 800 с. – (Учебное пособие) . - ISBN 5-941574-61-4
4. 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.
5. Наноэлектроника: теория и практика: учебник/ В.Е. Борисенко, А.И. Воробьева, А.Л. Данилюк, Е.А. Уткина. – 2-ое изд., перераб., и доп. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013 . – 366 с.:ил. – (Учебник для высшей школы).
http://www.vixri.com/d3/Borisenko%20V.I.%20%20_NANOELEKTRONIKA%20teorija%20i%20praktika.pdf в свободном доступе
6. Ткалич, В.Л. Физические основы наноэлектроники./ Ткалич В.Л., Макеева А.В., Оборина Е.Е. // Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 83с. <http://books.ifmo.ru/file/pdf/821.pdf> в свободном доступе.
7. Драгунов, В.П. Основы наноэлектроники:/ Драгунов, В.П., Неизвестный И. Г., Гридчин В. А.//Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 496 с. ISBN 5-9870405-4-X

8. Шишкин, Г.Г. Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства: учеб. пособ. / Г.Г. Шишкин, И.М. Агеев. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 408 с. ISBN 978-5-9963-0638-1.

Дополнительная литература:

9. Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам/ Сборник Под ред. П.П. Мальцева. М.: Техносфера, 2005. 592 с. ISBN: 5-948360-63-6.
10. Уорден, К. Новые интеллектуальные материалы и конструкции М.: Техносфера, 2006. 224 с. ISBN 5-948360-65-2.
11. Щука, А.А. Нанoeлектроника: учебное пособие для вузов по направлению "Прикладные математика и физика" / А. А. Щука ; Ред. А. С. Сигов . – 2-е изд . – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012 . – 342 с. – (Нанотехнологии) . - ISBN 978-5-9963-0735-7.
12. Гересименко, Н. Н. Кремний – материал нанoeлектроники / Н.Н. Гересименко, Ю.Н. Пархоменко. – М. : Техносфера, 2007. – 352 с.

Интернет-ресурсы:

1. <http://www.portalnano.ru>
2. <http://www.nanometer.ru>
3. <http://www.nano-obr.ru>
4. <http://www.ntmdt.ru>
5. <http://www.nanotech.ru>
6. <http://window.edu.ru/window/library>
7. <http://www.nano.gov> – Нанотехнологическая инициатива США
8. <http://www.sani.org.za> – Нанотехнологическая инициатива ЮАР
9. <http://www.nasa.gov> – Аэрокосмическое агентство США (NASA)
10. <http://www.crnano.org> – Центр Ответственных Нанотехнологий (CRN)
11. <http://www.darpa.mil> – Агентство перспективных военных разработок США (DARPA)