

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»
Программа повышение конкурентоспособности ННГУ им. Н.И. Лобачевского
Стратегическая инициатива 7 «Достижение лидирующих позиций в области суперкомпьютерных технологий и высокопроизводительных вычислений»

Радиофизический факультет
Кафедра электроники
Кафедра радиотехники

УТВЕРЖДАЮ
Декан радиофизического факультета

_____ В.В.Матросов
« » _____ 2014 г.

Рабочая программа дисциплины

« Технология изготовления и проектирование
твердотельных приборов с использованием высокопроизводительных вычислений »

Направление подготовки - 011800 – «Радиофизика»

Профиль подготовки (специализация)

Общий профиль
Профессиональный
Вариативная часть

Квалификация (степень) выпускника - бакалавр

Форма обучения - очная

Нижний Новгород

2014 год

1. Цели освоения дисциплины

Цель курса состоит в изучении методов изготовления полупроводниковых микро- и наноструктур, а также способов контроля их параметров, ознакомлении студентов с особенностями компьютерного моделирования полупроводниковых приборов, подготовки и проведения расчетов параметров приборов, приемам физического моделирования процессов переноса электронов в полупроводниковых структурах приборов.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина даёт студентам представление о технологиях изготовления и проектирования полупроводниковых приборов. Приобретение знаний и умений обеспечиваются в соответствии с государственным образовательным стандартом, содействует формированию профессионального воззрения на уровень и тенденции развития информационных технологий и приобретения навыков системного подхода к решению сложных алгоритмических задач, связанных с созданием. Дисциплина изучается в 6 семестре. Программа лекционного курса опирается на знания, которые студенты должны иметь в результате изучения содержания модулей «Общая физика» (дисциплин «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика») и «Математика» (дисциплин «Математический анализ», «Дифференциальные и интегральные уравнения», «Аналитическая геометрия», «Линейная алгебра», «Векторный и тензорный анализ») из базовой части математического и естественно-научного цикла, а также дисциплин «Статистическая физика», «Квантовая физика», из базовой части профессионального цикла.

Для освоения дисциплины студент **должен обладать способностями:** *работать самостоятельно и в коллективе (ОК-6), овладеть базовыми знаниями в областях математики и естественных наук, а также использовать их в профессиональной деятельности в учебном процессе (ОК-8), самостоятельно приобретать новые знания, применяя современные информационные технологии (ОК-10).*

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Учебной задачей курса является освоение студентами ряда важных вопросов технологии полупроводниковых материалов:

- гомо- и гетероэпитаксиальный рост кристаллов;
- методы эпитаксиального роста (вакуумные, газофазные и др.);

- атомно-молекулярные процессы кристаллизации;
- гетерогенные реакции, диффузионные и кинетические режимы роста;
- методы анализа полупроводниковых микроструктур (аналитические, электрофизические, оптические).

В процессе изучения дисциплины студенты должны приобрести знания по теоретическим основам методов моделирования полупроводниковых приборов. От студентов требуется умение делать несложные расчеты применительно к реальным полупроводниковым приборам.

В результате изучения данной дисциплины студенты наряду с фундаментальной подготовкой должны приобретать специальные знания, необходимые для работы в специальных и отраслевых НИИ, соответствующего профиля.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы (72 часа). Процесс обучения включает в себя два вида учебной работы, экзамен и зачёт в качестве вида итогового контроля (Таблица 1).

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
Общая трудоёмкость дисциплины	54	6
Аудиторные занятия	34	34
Лекции	34	34
Практические занятия (ПЗ)	–	–
Семинары (С)	–	–
Лабораторные работы (ЛР)	–	–
Другие виды аудиторных занятий	–	–
Самостоятельная работа	20	20
Курсовой проект (работа)	–	–
Расчетно-графическая работа	–	–
Реферат	–	–
Другие виды самостоятельной работы	–	–
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	зачет	зачет

Разделы дисциплины и виды занятий (Таблица 2)

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ (или С)	ЛР
1.	Границы раздела полупроводниковых гетероструктур	1		
2.	Физико-химические процессы в технологии микроэлектроники	1		
3.	Вакуумные и газофазные методы эпитаксии	1		
4.	Ионная имплантация	1		
5.	Методы литографии	1		
6.	Контроль параметров полупроводниковых структур	1		
7.	Аналитические методы исследования тонких пленок и полупроводниковых структур	1		
8.	Оптические методы диагностики полупроводниковых структур	1		
9.	Метод эквивалентной схемы и его применение для расчета параметров полупроводниковых диодов, транзисторов и интегральных схем	1		
10.	Фундаментальная система переноса электронов в полупроводниковых структурах и методы ее численного решения	1		
11.	Методы параллельных вычислений и их применение для анализа полупроводниковых приборов	2		
12.	Особенности использования гидродинамического приближения для моделирования СВЧ и КВЧ полупроводниковых диодов и генераторов на их основе с использованием параллельных вычислений	2		
13.	Использование метода Монте-Карло для анализа переноса электронов в полупроводниковых структурах диодов и транзисторов с использованием параллельных вычислений	2		

5.2. Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Границы раздела полупроводниковых гетероструктур

Характерные пространственные масштабы в физике полупроводниковых структур. Границы раздела полупроводниковых гетероструктур. Зонные диаграммы.

Раздел 2. Физико-химические процессы в технологии микроэлектроники

Классификация методов микроэлектроники (сплавные, диффузионные, ионно-лучевые и др.). Эпитаксия полупроводников и способы её осуществления. Методы твердофазной, жидко- и газофазной эпитаксии.

Раздел 3. Вакуумные и газофазные методы эпитаксии

Характеристика газофазных методов эпитаксии. Вакуумные методы эпитаксии. Способы реализации. Основные представления о методе молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ). Аппаратура МПЭ. Источники и молекулярные пучки. Модельные представления о росте в условиях МПЭ. Контроль пучков и скорости роста. Дифракция быстрых электронов (*in situ*).([1,2,12]).

Раздел 4. Ионная имплантация

Физические процессы при внедрении быстрых ионов в полупроводниковые структуры. Методы ионной имплантации. Термический отжиг

Раздел 5. Методы литографии

Нанесение и химическая обработка фоторезиста. Оптическая, электронная и рентгеновская литография. Самосовмещение и «взрывная» литография.

Раздел 6. Контроль параметров полупроводниковых структур

Определение толщины слоев и скорости роста. Измерение профиля распределения примеси C-V методом. Холловская концентрация и подвижность носителей тока.

Раздел 7. Аналитические методы исследования тонких пленок и полупроводниковых структур

Электронная микроскопия. Рентгеновский микроанализ. Электронная Оже-спектроскопия. Масс-спектроскопия вторичных ионов. Сканирующая туннельная микроскопия. ([5,6,8]).

Раздел 8. Оптические методы диагностики полупроводниковых структур

Фотолюминесценция полупроводников и полупроводниковых структур с квантовыми ямами. Экситоны. Фотопроводимость. ([2,9,11]).

Раздел 9. Метод эквивалентной схемы и его применение для расчета параметров полупроводниковых диодов и транзисторов.

Особенности эквивалентной схемы диодов и транзисторов для расчета их низкочастотных и высокочастотных параметров. Пример расчета эквивалентной схемы диода на основе р-п перехода. Пример расчета эквивалентной схемы транзистора с затвором Шоттки. Пример расчета высокочастотных характеристик усилителя на полевом транзисторе Шоттки.

Раздел 10. Фундаментальная система переноса электронов в полупроводниковых структурах и методы ее численного решения

Физический смысл уравнений и основные нелинейные зависимости параметров системы. Методы численного решения системы уравнений в локально-полевом и квазигидродинамическом приближении. Особенности граничных условий при моделировании процессов в полупроводниковых диодах и транзисторах. Пример расчета вольт-амперной характеристики гетерополевого транзистора (HEMT).

Раздел 11. Методы параллельных вычислений и их применение для анализа полупроводниковых приборов

Цели и задачи методов параллельных вычислений. Подходы к проведению моделирования и особенности программной реализации. Пример моделирования процесса ионной имплантации и определения основных параметров полупроводниковой структуры и приборов на ее основе.

Раздел 12. Особенности использования гидродинамического приближения для моделирования СВЧ и КВЧ полупроводниковых диодов и генераторов на их основе с использованием параллельных вычислений

Методы учета внешней схемы при проведении моделирования колебательных процессов в генераторных диодах. Особенности проведения расчета параметров СВЧ и КВЧ генераторов на основе диодов Ганна и ЛПД.

Раздел 13. Использование метода Монте-Карло для анализа переноса электронов в

полупроводниковых структурах диодов и транзисторов с использованием параллельных вычислений

Особенности метода Монте-Карло при вычислении параметров полупроводниковых структур. Пример расчета эффекта всплеска скорости в GaAs полупроводниковых структурах с характерными длинами 50...200 нм.

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

Контрольные вопросы:

1. Каковы характерные пространственные масштабы в физике полупроводниковых структур?
2. Что такое зонная диаграмма?
3. Каковы методы эпитаксия полупроводников и способы её осуществления?
4. В чем отличие газофазных и вакуумных методов эпитаксии?
5. Что такое молекулярно-пучковая эпитаксия?
6. Как осуществляется контроль пучков и скорости роста в МПЭ?
7. Какие физические процессы протекают при внедрении быстрых ионов в полупроводниковые структуры?
8. Каковы методы ионной имплантации?
9. Что такое литография? Какие бывают типы литографии?
10. Каковы методы определения толщины слоев и их уровня легирования?
11. В чем отличие процесса анализа профиля распределения примеси C-V методом и с помощью эффекта Холла?
12. Какие бывают виды микроскопии?
13. В чем отличие электронного и рентгеновского микроанализа?
14. Что такое электронная Оже-спектроскопия и масс-спектроскопия вторичных ионов?
15. Что такое сканирующая туннельная микроскопия?
16. Особенности применения метода эквивалентной схемы для расчета параметров p-n перехода и транзистора Шоттки.
17. Физический смысл фундаментальной системы уравнений, описывающей перенос электронов в полупроводниковых структурах.
18. Особенности использования гидродинамического приближения для моделирования СВЧ и КВЧ полупроводниковых диодов и генераторов на их основе

19. Возможности метода Монте-Карло при проведении анализа процессов переноса электронов в полупроводниковых структурах диодов и транзисторов
20. Особенности моделирования физических процессов при ионной имплантации легирующей примеси в полупроводниковые материалы.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Рекомендуемая литература :

1. Молекулярно-пучковая эпитаксия и гетероструктуры, под ред. Ж.И. Алфёрова, Ю. В. Шмарцева. М: Мир, 1989.
2. М. Херман. Полупроводниковые сверхрешётки. М: Мир, 1989.
3. В. В. Крапухин, И. А. Соколов, Г. Д. Кузнецов. Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов. М: Металлургия, 1982.
4. М. Шур. Современные приборы на основе арсенида галлия. М : Мир, 1991.
5. В. В. Батавин, Ю. А. Концевой, Ю. В. Федорович. Измерение параметров полупроводниковых материалов и структур. М: Радио и связь, 1985.
6. Д. Вудраф, Т. Делчар. Современные методы исследования поверхности. М: Мир, 1989.
7. Актуальные проблемы материаловедения, под ред. Э. Калдиса, вып. 2. М: Мир, 1983.
8. Анализ поверхности методами Оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. М: Мир, 1987.
9. Кремлев В.Я. "Физико-топологическое моделирование структур элементов БИС" Высшая школа, М., 1990
10. Хокни Р., Иствуд Дж. Численное моделирование методом частиц М.:Мир, 1987 -640с.
11. Степаненко И.П. "Основы теории транзисторов и транзисторных схем" Энергия. М. 1977
12. Шур М. Современные приборы на основе арсенида галлия. – М.: Мир, 1991. - 632 с.
13. Зи С. "Физика полупроводниковых приборов" т. 1, т. 2, Мир. М., 1984
14. Пожела Ю., Юцене В. "Физика сверхбыстродействующих транзисторов" Моклас, Вильнюс, 1985
15. Боресков А.В., Харламов А.А. Основы работы с технологией CUDA. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 232 с.
16. Сандерс Д., Кэндрот Э. Технология CUDA в примерах: введение в программирование графических процессоров. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 232 Боресков А.В., Харламов А.А., Марковский А.А., Микушин Д.Н., Мортиков Е.В., Мыльцев А.А., Сахарных Н.А., Фролов В.А. Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA. – М.: МГУ, 2012. – 336 с.

17. Воеводин В.В. Вычислительная математика и структура алгоритмов. – М.: МГУ, 2010. – 168 с.
18. Гергель В.П. Высокопроизводительные вычисления для многопроцессорных многоядерных систем. – М.: МГУ, 2010. – 544 с.
19. Корняков К.В., Кустикова В.Д., Мееров И.Б., Сиднев А.А., Сысоев А.В., Шишков А.В. Инструменты параллельного программирования в системах с общей памятью. – М.: МГУ, 2010. – 272 с.
20. Линева А.В., Боголепов Д.К., Бахраков С.И. Технологии параллельного программирования для процессоров новых архитектур – М.: МГУ, 2010. – 160 с.
21. Боресков А.В., Харламов А.А. Основы работы с технологией CUDA. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 232 с.
22. Сандерс Дж., Кэндрот Э. Технология CUDA в примерах: Введение в программирование графических процессоров. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 232 с.
23. Гречников Е.А., Михайлов С.В., Нестеренко Ю.В., Поповян И.А. Вычислительно сложные задачи теории чисел. – М.: МГУ, 2012. – 312 с.
24. Боресков А.В., Харламов А.А., Марковский Н.Д., Микушин Д.Н., Мортиков Е.В., Мильцев А.А., Сахарных Н.А., Фролов В.А. Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA. – М.: МГУ, 2012. – 336 с.
25. Гергель В.П. Современные языки и технологии параллельного программирования. – М.: МГУ, 2012. – 408 с.
26. Антонов А.С. Технологии параллельного программирования MPI и OpenMP. – М.: МГУ, 2012. – 344 с.
27. Лыкосов В.Н., Глазунов А.В., Кулямин Д.В., Мортиков Е.В., Степаненко В.М. Суперкомпьютерное моделирование в физике климатической системы. – М.: МГУ, 2012. – 408 с.
28. Яковлевский М.В. Введение в параллельные методы решения задач. – М.: МГУ, 2013. – 328 с.
29. Стронгин Р.Г., Гергель В.П., Гришагин В.А., Баркалов К.А. Параллельные вычисления в задачах глобальной оптимизации – М.: МГУ, 2013. – 280 с.
30. Рутм Г., Фатика М. CUDA Fortran для ученых и инженеров. – М.: Пресс, 2014. – 364 с.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Не предусмотрено.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению 011800 «Радиофизика»

Автор _____ С.В.Оболенский

Рецензент _____

Заведующий кафедрой _____ С.В. Оболенский

Программа одобрена на заседании кафедры от _____ 2014 года, протокол № _____

Программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом по направлению 011800 «Радиофизика».

Автор программы _____ Оболенский С.В.

Программа рассмотрена на заседании кафедры от 06.04.11 г. протокол № 4

Заведующий кафедрой _____ Гапонов С.В.

Программа одобрена методической комиссией факультета _____ протокол № _____

Председатель методической комиссии _____ Мануилов В.Н.