

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

УТВЕРЖДАЮ  
Декан радиофизического факультета

\_\_\_\_\_ В.В.Матросов  
«    » \_\_\_\_\_ 2014 г.

### **Рабочая программа дисциплины**

« Моделирование полупроводниковых приборов  
с использованием параллельных  
вычислений»

Направление подготовки - 011800 – «Радиофизика»

Профиль подготовки (специализация)

**Общий профиль**  
**Профессиональный**  
**Вариативная часть**

Квалификация (степень) выпускника - магистр

Форма обучения - очная

Нижний Новгород

2014 год

## 1. Цели освоения дисциплины

Цель курса состоит в изучении высокопроизводительных методов компьютерного моделирования полупроводниковых приборов, подготовки и проведения расчетов параметров приборов, приемам моделирования процессов переноса электронов в полупроводниковых структурах приборов.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина даёт студентам представление о современных высокопроизводительных методах моделирования 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 моделирования физических процессов и расчета параметров полупроводниковых материалов и приборов.

В процессе изучения дисциплины студенты должны приобрести знания по теоретическим основам методов моделирования полупроводниковых приборов. От студентов требуется умение проводить расчеты применительно к современным и перспективным 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
<b>Общая трудоёмкость дисциплины</b>	<b>54</b>	<b>10</b>
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.	Особенности моделирования транспорта электронов на границах раздела полупроводниковых гетероструктур диодов и транзисторов	2		
2.	Использование компьютерного моделирования для обработки результатов измерений параметров полупроводниковых структур и приборов	2		
3.	Метод эквивалентной схемы и его применение для расчета параметров полупроводниковых диодов, транзисторов и интегральных схем. Особенности использования высокопроизводительных вычислений	2		
4.	Фундаментальная система переноса электронов в полупроводниковых структурах и методы ее численного решения с использованием высокопроизводительных вычислений для решения задач с учетом тепловых эффектов	2		
5.	Гидродинамическое приближение для моделирования СВЧ и КВЧ полупроводниковых диодов и генераторов на их основе. Необходимость применения методов параллельных вычислений для моделирования квазибаллистических эффектов переноса электронов	2		
6.	Использование метода Монте-Карло и применение высокопроизводительных вычислений для анализа переноса электронов в полупроводниковых структурах диодов и транзисторов	2		
7.	Применение методов параллельных вычислений для оптимизации параметров радиационно-стойких полупроводниковых приборов	2		

## 5.2. Содержание разделов дисциплины

## **Раздел 1. Особенности моделирования транспорта электронов на границах раздела полупроводниковых гетероструктур диодов и транзисторов**

Характерные пространственные масштабы в физике полупроводниковых структур и приборов. Границы раздела полупроводниковых гетероструктур. Зонные диаграммы. Система уравнений для описания движения электронов в локально-полевым приближении и возможности ее аналитического решения. Обоснование необходимости высокопроизводительных численных моделей для анализа перспективных полупроводниковых приборов.

## **Раздел 2. Использование компьютерного моделирования для обработки результатов измерений параметров полупроводниковых структур и приборов**

Классификация методов изготовления и измерения параметров полупроводниковых приборов. Особенности процедуры обработки результатов измерений. Особенности применения методов компьютерного моделирования для анализа результатов измерений. Причины применения высокопроизводительных методов вычислений для указанных решения задач.

## **Раздел 3. Метод эквивалентной схемы и его применение для расчета параметров полупроводниковых диодов, транзисторов и интегральных схем. Особенности использования высокопроизводительных вычислений**

Виды эквивалентных схем современных полупроводниковых приборов и особенности применения метода для описания процессов в гетероструктурных диодах и транзисторах СВЧ и КВЧ диапазонов частот. Пример расчета эквивалентной схемы диода на основе p-n перехода. Пример расчета эквивалентной схемы транзистора с затвором Шоттки. Пример расчета высокочастотных характеристик усилителя на полевом транзисторе Шоттки. Особенности моделирования интегральных схем высокой степени интеграции. Оптимизация параметров интегральных схем с использованием методов высокопроизводительных вычислений.

## **Раздел 4. Фундаментальная система переноса электронов в полупроводниковых структурах и методы ее численного решения с использованием высокопроизводительных вычислений для решения задач с учетом тепловых эффектов**

Физический смысл уравнений и основные нелинейные зависимости параметров системы. Методы численного решения системы уравнений в квазигидродинамическом при-

ближении и их сопоставление с рассмотренным ранее локально-полевым приближением. Особенности граничных условий при моделировании процессов в полупроводниковых диодах и транзисторах. Пример расчета вольт-амперной характеристики гетерополевого транзистора (HEMT). Тепловые эффекты в мощных транзисторах и диодах. Необходимость применения высокопроизводительных вычислений для моделирование полупроводниковых приборов с учетом тепловых эффектов

#### **Раздел 5. Гидродинамическое приближение для моделирования СВЧ и КВЧ полупроводниковых диодов и генераторов на их основе. Необходимость применения методов параллельных вычислений для моделирования квазибаллистических эффектов переноса электронов**

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. Необходимость применения методов параллельных вычислений для моделирования квазибаллистических эффектов переноса электронов при решении задач оптимизации параметров диодов и транзисторов.

#### **Раздел 6. Использование метода Монте-Карло и применение высокопроизводительных вычислений для анализа переноса электронов в полупроводниковых структурах диодов и транзисторов**

Особенности применения метода Монте-Карло для вычисления параметров многослойных полупроводниковых гетероструктур. Пример расчета эффекта всплеска скорости в GaAs полупроводниковых структурах с характерными длинами 20...200 нм. Применение высокопроизводительных вычислений для анализа переноса электронов и оптимизации параметров полупроводниковых структур диодов и транзисторов.

#### **Раздел 7. Применение методов параллельных вычислений для оптимизации параметров радиационно-стойких полупроводниковых приборов**

Цели и задачи методов параллельных вычислений. Подходы к проведению моделирования и особенности программной реализации. Особенности проектирования радиационно-стойких полупроводниковых приборов – резкое увеличение числа базовых параметров полупроводниковых структур. Пример оптимизации параметров радиационно-стойких полупроводниковых приборов

## **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? Каковы особенности системы дифференциальных уравнений для описания процессов переноса электронов в современных полупроводниковых приборах? В чем причины необходимости использования высокопроизводительных вычислений для проектирования современных полупроводниковых приборов?
2. Физический смысл фундаментальной системы уравнений в квазигидродинамическом приближении? Каковы тепловые эффекты в квазибаллистических полупроводниковых приборах? Каковы особенности применения высокопроизводительных вычислений для анализа тепловых эффектов и оптимизации параметров приборов?
3. Каковы возможности метода Монте-Карло при проведении анализа процессов переноса электронов в полупроводниковых структурах диодов и транзисторов? Каковы возможности использования параллельных вычислений при решении задач методом Монте-Карло?
4. Каковы особенности моделирования физических процессов при радиационном облучении полупроводниковых материалов и приборов? Поясните на примерах возможности высокопроизводительных вычислений для проектирования радиационно-стойких диодов и транзисторов.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

Рекомендуемая литература

а) основная литература:

1. М. Шур. Современные приборы на основе арсенида галлия. М : Мир, 1991.
2. В. В. Батавин, Ю. А. Концевой, Ю. В. Федорович. Измерение параметров полупроводниковых материалов и структур. М: Радио и связь, 1985.
3. Актуальные проблемы материаловедения, под ред. Э. Калдиса, вып. 2. М: Мир, 1983.
4. Кремлев В.Я. "Физико-топологическое моделирование структур элементов БИС" Высшая школа, М., 1990
5. Хокни Р., Иствуд Дж. Численное моделирование методом частиц М. Мир, 1987 -640с.
6. Степаненко И.П. "Основы теории транзисторов и транзисторных схем" Энергия. М. 1977
7. Зи С. "Физика полупроводниковых приборов" т. 1, т. 2, Мир. М., 1984

8. Пожела Ю., Юцене В. "Физика сверхбыстродействующих транзисторов" Мокслас, Вильнюс, 1985
9. Боресков А.В., Харламов А.А. Основы работы с технологией CUDA. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 232 с.
10. 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.
11. Воеводин В.В. Вычислительная математика и структура алгоритмов. – М.: МГУ, 2010. – 168 с.
12. Гергель В.П. Высокопроизводительные вычисления для многопроцессорных много-ядерных систем. – М.: МГУ, 2010. – 544 с.
13. 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.
14. Линев А.В., Боголепов Д.К., Бастраков С.И. Технологии параллельного программирования для процессоров новых архитектур – М.: МГУ, 2010. – 160 с.
15. Боресков А.В., Харламов А.А. Основы работы с технологией CUDA. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 232 с.
16. Сандерс Дж., Кэндрот Э. Технология CUDA в примерах: Введение в программирование графических процессоров. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 232 с.
17. Гречников Е.А., Михайлов С.В., Нестеренко Ю.В., Поповян И.А. Вычислительно сложные задачи теории чисел. – М.: МГУ, 2012. – 312 с.
18. Боресков А.В., Харламов А.А. Марковский Н.Д., 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.
19. Гергель В.П. Современные языки и технологии параллельного программирования. – М.: МГУ, 2012. – 408 с.
20. Антонов А.С. Технологии параллельного программирования MPI и OpenMP. – М.: МГУ, 2012. – 344 с.
21. 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.
22. Якобовский М.В. Введение в параллельные методы решения задач. – М.: МГУ, 2013. – 328 с.

23. Стронгин Р.Г., Гергель В.П., Гришагин В.А., Баркалов К.А. Параллельные вычисления в задачах глобальной оптимизации – М.: МГУ, 2013. – 280 с.

24. Рутм Г., Фатика М. CUDA Fortran для ученых и инженеров. – М.: ДМК 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 \_\_\_\_\_ В.К.Киселев

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».