

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель председателя
Приемной комиссии,
проректор по учебной работе

_____ М.В. Румянцев

ПРОГРАММА
вступительного испытания в аспирантуру
по направлению 11.06.01 Электроника, радиотехника
и системы связи
программа (профиль) 05.27.01 Твердотельная электроника,
радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника,
приборы на квантовых эффектах

Красноярск 2017

Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: физика полупроводников и полупроводниковых приборов; технология полупроводниковых приборов и интегральных схем; микросхемотехника.

1. Физика полупроводников и полупроводниковых приборов

Общие свойства полупроводников. Структура кристаллов. Свойства основных монокристаллических материалов микроэлектроники: Si, GaAs и др. Поликристаллические и аморфные полупроводники.

Зонная теория твердого тела. Энергетические спектры электронов в металлах, полупроводниках, диэлектриках. Зона проводимости и валентная зона. Электроны и дырки. Собственные и примесные полупроводники. Донорные и акцепторные примеси.

Основы статистической физики. Функция распределения Ферми-Дирака. Концентрация электронов и дырок в зонах и их температурные зависимости. Распределение Максвелла-Больцмана.

Рекомбинация носителей заряда.

Электропроводность полупроводников. Носители заряда в слабом электрическом поле. Подвижность электронов и дырок. Диффузия и дрейф носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Носители заряда в сильном электрическом поле. Лавинное умножение в полупроводниках. Электрические домены и токовые шнуры. Эффект Ганна.

Уравнение для плотности электрического тока в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона.

Электронно-дырочный ($p-n$) переход. Вольт-амперная характеристика $p-n$ перехода. Токи носителей заряда в $p-n$ переходе, квазиуровни Ферми. Генерация и рекомбинация носителей в $p-n$ переходе. Барьерная и диффузионная емкость. Пробой $p-n$ перехода: тепловой, лавинный, туннельный.

Транзисторный эффект. Зонная диаграмма полупроводниковой структуры с двумя близко расположенными $p-n$ переходами. Коэффициент инжекции. Коэффициент переноса носителей через базу. Коэффициент усиления транзистора.

Контакт металл-полупроводник. Теория Шоттки. Вольт-амперная характеристика. Омический контакт. Сопоставление с $p-n$ переходом.

Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Зонная диаграмма и ее изменение при приложении напряжения. Роль поверхностных состояний, подвижных и неподвижных зарядов в диэлектрике.

Гетероструктуры. Зонная диаграмма гетеро- $p-n$ перехода. Коэффициент инжекции. Суперинжекция. Одинарные и двойные гетероструктуры. Варизонные структуры.

Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Поглощение излучения: собственное и примесное, экситонное и на свободных носителях. Фотопроводимость. Спектральная характеристика. Фотовольтаический эффект в $p-n$ переходе.

Термоэлектрические явления. Термо- и гальваноманнитные эффекты. Эффект Холла. Электро-, магнито-, акустооптические эффекты. Поверхностные акустические волны.

2. Приборы твердотельной электроники и микроэлектроники

Полупроводниковые диоды. Устройство и основные параметры. Выпрямительные и импульсные диоды. Варикапы. Стабилитроны и защитные диоды. Туннельные диоды. Диоды СВЧ: детекторные и смесительные, диоды Шоттки, pin - диоды, умножительные и параметрические, лавинно-пролетные, диоды Ганна.

Биполярные транзисторы. Принцип действия, основные параметры, их зависимость от температуры. Частотные и импульсные характеристики.

Тиристоры и их разновидности. Основные параметры.

Полевые транзисторы, принцип действия, основные параметры. Полевые транзисторы с p - n переходом, с барьером Шоттки. МДП-транзисторы с индуцированным и встроенным каналами p - и n - типов.

Полупроводниковые интегральные схемы. Транзисторы, диоды и другие элементы в интегральном исполнении. Межэлементная изоляция. ИС, БИС, СБИС. Классификация микросхем по конструктивно-технологическому принципу: МОП- и КМОП-ИС, биполярные (ТТЛ-, ЭСЛ-, И Л-ИС); Би-КМОП; «кремний-на-изоляторе» («кремний-на-сапфире»)-ИС; GaAs-ИС на полевых транзисторах с барьером Шоттки (ПТШ).

Фотоприемники: фото- резисторы, -диоды, -транзисторы, -матрицы. Основные параметры и характеристики. Фотоприемники ИК-диапазона, тепловизоры. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. Солнечные батареи: на монокристаллическом и аморфном кремнии, на поликристаллических пленках, с гетероструктурами.

Полупроводниковые лазеры (общее представление).

Светодиоды, параметры и характеристики. Светодиодные дисплеи.

Оптроны и оптоэлектронные ИС.

Магнитоэлектроника, криоэлектроника, твердотельные датчики.

3. Технология микроэлектроники и твердотельных приборов

Планарная технология - общая схема техпроцесса. Групповая обработка. Минимальный топологический размер (МТР) - основной показатель уровня технологии. Степень интеграции ИС. Динамика МТР и степени интеграции, закон Мура.

Изготовление полупроводниковых пластин. Определение кристаллографической ориентации монокристаллов полупроводников. Ориентированная резка, шлифовка, полировка пластин.

Химическое травление и химическая полировка кремния и арсенида галлия. Химико-механическая полировка. Финишная очистка пластин. Методы контроля качества очистки.

Эпитаксия. Методы эпитаксиального выращивания кремния.

Создание диэлектрических покрытий на кремнии.

Электронно-ионная технология. Методы получения электронных и ионных пучков. Ионное легирование. Имплантация ионов. Плазмохимические и ионно-плазменные методы обработки полупроводниковых, диэлектрических и металлических слоев.

Металлизация. Получение тонких пленок термическим испарением в вакууме. Ионно-плазменное распыление. Химическое осаждение из газовой фазы. Оборудование для получения тонких пленок. Материалы тонкопленочной технологии.

Литография. Фотолитография. Основные типы оборудования для фотолитографии. Проекционная фотолитография, электроннолучевая литография и рентгенолитография. Фотошаблоны и их изготовление.

Структуры элементов полупроводниковых ИС. Методы изоляции элементов. Технология структур «кремний-на-изоляторе». Структура и свойства элементов ИС.

Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Корпуса полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Методы герметизации. Бескорпусные приборы. Методы отвода тепла в мощных полупроводниковых приборах.

Список рекомендованных источников

Основная литература

1. Шалимова К. В. Физика полупроводников. – СПб.: Лань, 2010. - 400 с.
2. Драгунов В. П., Неизвестный И. Г., Гридчин В. А. Основы нанoeлектроники: Учеб.пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. - 496 с.
3. Пасынков В. В., Чиркин Л. К. Полупроводниковые приборы. - СПб.: Лань, 2006. -480 с.
4. Рамбиди Н. Г. Нанотехнологии и молекулярные компьютеры. – М.: Физматлит, 2007.-256 с.
5. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2004.-488 с.
6. Барыбин А. А., Сидоров В. Г. Физико-технологические основы электроники. – СПб.: Лань, 2001.-272 с.
7. Барыбин А. А., Томилин В. И., Шаповалов В. И. Физико-технологические основы макро-, микро-, и нанoeлектроники. – М.: Физматлит, 2011. - 784 с.
8. Щука А. А. Электроника. Учебное пособие / Под ред. Проф. А. С. Сигова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. - 800 с.
9. Щука А. А. Нанoeлектроника. – М.: Физматкнига, 2007. - 464 с.
10. Алексенко А. Г. Основы микросхемотехники. – М.:Физматлит, 2002.
11. Шик А. Я., Бакуева Л. Г., Мусихин С. Ф., Рыков С. А. Физика низкоразмерных систем/ под ред. А. Я. Шика. – СПб.: Наука, 2001.
12. Бауместер Д., Экерт А., Цайлингер А. Физика квантовой информа-

ции. – М.: По-стмаркет, 2002.

13. Нанотехнология: физика, процессы, диагностика, приборы / Под ред. Лучинина В. В., Таирова Ю. М. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 552 с.

14. Нанотехнологии в электронике / Под ред. Ю. А. Чаплыгина. – М.: Техносфера, 2005.-448 с.

15. Нанотехнологии в полупроводниковой электронике / Отв. редактор А. Л. Асеев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. - 368 с.

16. Неволин В. К. Зондовые нанотехнологии в электронике. – М.: Техносфера, 2005.-152 с.

17. Валиев К. А., Кокин А. А. Квантовые компьютеры: надежды и реальность. – М.: РХД, 2001.

18. Булычев А. Л. и др. Электронные приборы. – М.: Лайт Лтд., 2000.

19. Прянишников В. А. Электроника. – СПб.: КОРОНА принт, 2000.

20. Наноматериалы. Нанотехнологии. Наносистемная техника. Мировые достижения за 2005 год / Под ред. Мальцева П. П. – М.: Техносфера, 2006. - 152 с.

21. Абрамов И. И., Новик Е. Г. Численное моделирование металлических одноэлектронных транзисторов. – Минск: БЕСТПРИНТ, 2000. - 164 с.

Дополнительная литература

1. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. – М.: Наука, 1977.

2. Зи СМ. Физика полупроводниковых приборов. В 2 кн. – М.: Мир, 1984.

3. Пожела Ю.К. Физика быстродействующих транзисторов. – Вильнюс: Можлас, 1989.

4. Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника / Под ред. Н.Д. Федорова. – М.: Радио и связь, 1998.

5. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Радио и связь, 1990.

6. Тилл У., Лаксон Дж. Интегральные схемы, материалы, приборы и их изготовление. – М.: Мир, 1985.

7. Емельянов В.А. Быстродействующие цифровые КМОП БИС. – Минск: Полифакт, 1998.

8. Фотоприемники видимого и ИК диапазонов / Под ред. В.И. Стафеева. – М.: Радио и связь, 1985.

9. Тришенков М.А. Фотоприемные устройства и ПЗС. – М.: Радио и связь, 1992.

10. Коледов Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок. – М.: Радио и связь, 1989.

11. Валиев К.А. Физические основы субмикронной фотолитографии. – М.: Наука, 1990.

12. Броддай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии. – М.: Мир, 1985.

13. Моделирование полупроводниковых приборов и технологических

процессов / Под ред. Д. Миллера. – М.: Радио и связь, 1989.

14. Бубенников А.Н. Моделирование интегральных микротехнологий, приборов и схем. – М.: Высшая школа, 1989.

15. Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы. – М.: Мир, 1988.

16. Базовые матричные кристаллы и матричные БИС / В.Г. Домрачев, П.П. Мальцев, И.В. Новаченко, С.Н. Пономарев. – М.: Энергоатомиздат, 1992.

17. Рычина Т.А., Зеленский А.В. Устройства функциональной электроники и электрорадиоэлементы. – М.: Радио и связь, 1989.

18. Арсенид галлия в микроэлектронике / Под ред. В.Н. Мордковича. – М.: Мир, 1988.

19. Фистуль В. И. Введение в физику полупроводников. – М.: Высш.шк., 1984. -352 с.

20. Мухин Ю.А. Приборы и устройства полупроводниковой оптоэлектроники: Учеб. пособие под ред. В. Н. Бодрова, Г. И. Обидина. – М.: Изд-во МЭИ, 1996.

21. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. В 2-х кн. – М.: Мир, 1984.

22. Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника: Уч.пособие для вузов/ Ю. Л. Бобровский, С. А. Корнилов, И. А. Кратиров и др.; Под ред. Н.Д.Федорова. – М.: Радио и связь, 1998.

Составители программы:

Т. Н. Патрушева, д-р техн. наук, профессор,

А. А. Левицкий, канд. физ.-мат. наук, доцент.

Программа соответствует паспорту номенклатуры специальностей научных работников.