

**МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Южный федеральный университет»  
Инженерно-технологическая академия  
*Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения*

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИНЭП

Федотов А.А..

2017 г.



**ПРОГРАММА**

**вступительных испытаний для поступающих в магистратуру  
по направлению подготовки  
11.04.04 - “Электроника и нанoeлектроника”, программа  
«Электронные микроволновые и квантовые  
приборы и устройства»**

## Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: физика полупроводников и полупроводниковых приборов; технология полупроводниковых приборов и интегральных схем; микросхемотехника; радиокомпоненты, а также обзорно-обобщающие работы по новым достижениям в области оптоэлектроники, акустоэлектроники, наноэлектроники и приборов на квантовых эффектах.

### 1. Физика полупроводников и полупроводниковых приборов

Общие свойства полупроводников. Природа химической связи. Дефекты в кристаллах. Свойства основных монокристаллических материалов микроэлектроники: Si, GaAs и др.

Зонная теория твердого тела. Энергетические спектры электронов в металлах, полупроводниках, диэлектриках. Зона проводимости и валентная зона. Электроны и дырки. Эффективная масса электрона. Экситоны. Собственные и примесные полупроводники. Донорные и акцепторные примеси. Концентрация электронов и дырок в зонах и их температурные зависимости. Распределение Максвелла-Больцмана. Критерий вырождения электронного газа. Вырожденные и невырожденные полупроводники.

Рекомбинация носителей заряда. Диффузионная длина и время жизни носителей. Поверхностная рекомбинация. Электропроводность полупроводников. Подвижность электронов и дырок. Диффузия и дрейф носителей заряда. Уравнение для плотности электрического тока в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона.

Электронно-дырочный ( $p-n$ ) переход. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная характеристика  $p-n$  перехода. Токи носителей заряда в  $p-n$  переходе. Генерация и рекомбинация носителей в  $p-n$ -переходе. Барьерная и диффузионная емкость. Частотные и импульсные свойства. Пробой  $p-n$  перехода: тепловой, лавинный, туннельный.

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

Контакт металл-полупроводник. Вольт-амперная характеристика. Омический контакт. Гетероструктуры. Зонная диаграмма гетеро-  $p-n$  перехода. Коэффициент инжекции. 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.

Излучение полупроводников. Спектры излучения. Квантовый выход. Лазерный эффект в полупроводниках. Индуцированное (стимулированное) излучение. Оптический резонатор, усиление и генерация света.

Термоэлектрические явления. Термо- и гальваномагнитные эффекты. Эффект Холла. Электро-, магнито-, акустооптические эффекты.



## 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, *p-i-n*-диоды, умножительные и параметрические, лавинно-пролетные, диоды Ганна. Полупроводниковые датчики ядерных излучений.

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

Фотоприемники: фото- резисторы, -диоды, -транзисторы, -матрицы. Основные параметры и характеристики. Фотоприемники ИК-диапазона, тепловизоры. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. Полупроводниковые лазеры (общее представление).

Светодиоды, параметры и характеристики. Суперяркие светодиоды. ИК-излучатели. Светодиодные дисплеи. Полимерные светодиоды (общее представление).

## 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. Ориентированная резка, шлифовка, полировка пластин. Химическое травление и химическая полировка кремния и арсенида галлия. Химико-механическая полировка. Финишная очистка пластин.

Эпитаксия. Методы эпитаксиального выращивания кремния. Распределение примесей в эпитаксиальных слоях. Дефекты эпитаксиальных пленок. Получение эпитаксиальных гетеропереходов. Выращивание эпитаксиальных пленок  $A^3B^5$ .

Создание диэлектрических покрытий на кремнии. Формирование диэлектрических пленок методами осаждения из металлоорганических соединений.

Диффузия в полупроводниках. Физические основы процесса диффузии. Методы проведения диффузионных процессов. Структурные схемы диффузионных печей. Особенности диффузии в соединения  $A^3B^5$ .

Электронно-ионная технология. 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.



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.

#### **4. Радиоэлектронные компоненты**

Физические явления, определяющие электропроводность толсто пленочных резистивных материалов. Толсто пленочные резисторы. Основные типы постоянных и переменных резисторов.

Физические явления, определяющие емкостные свойства конденсаторов. Типы, параметры и конструкции конденсаторов постоянной и переменной емкости.

Полупроводниковые термо- и фототранзисторы, позисторы, варисторы, болометры (общее представление).

#### **5. Физические эффекты в малоразмерных твердотельных структурах, специфические приборы нанoeлектроники и методы их изготовления**

Примеры структур с размерно-квантованным энергетическим спектром: квантовые ямы, квантовые нити и квантовые точки. Сверхрешетки. Туннелирование на одиночном барьере. Двухбарьерная структура. Резонансно-туннельные диод и транзистор. Эффект Джозефсона.

Транспортные явления в малоразмерных полупроводниковых структурах. Модулированное легирование. Полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов (НЕМТ). Гетеропереходный биполярный транзистор.

Квантовый эффект Холла. Энергетический спектр носителей заряда в магнитном поле. Квантование холловского сопротивления двумерного электронного газа в магнитном поле. Дробный квантовый эффект Холла.

Одноэлектроника. Квантование кулоновской энергии в мезоскопических системах. Явление кулоновской блокады при туннелировании через переходы с малой емкостью. Одноэлектронные транзисторы и схемы на их основе.

Представления об элементной базе квантовых компьютерах – кубитах. Представление о принципах квантовой связи на одиночных фотонах.

#### **Литература**

1. Червяков Г.Г. Горбина Л.А. Микроволновая электроника (уч.пособие) Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009, – 282 с. 100 экз.

2. Червяков Г.Г., Прохоров С.Г., Шиндор О.В. Электронные приборы (уч.пособие, Гриф УМО ИТМО) Казань: Изд-во Казан гос.техн.ун-т, 2009, – 270 с. 100 экз.

3. Червяков Г.Г., Гочияев Б.Р. Материаловедение и технология конструкционных материалов (уч.пособ.) Москва: УМИИЦ «Учебная литература», 2009, - 260 с. 500 экз
4. Червяков Г.Г., Прохоров С.Г., Шиндор О.В. Электронные приборы (уч.пособие, Гриф УМО ИТМО) Ростов н/Д: Феникс, 2012, – 333 с. – (Высшее образование) 3000 экз.
5. Осадчий Е.Н., Червяков Г.Г. Основы полупроводниковой оптоэлектроники (учебное пособие) Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2012, – 200 с. 100 экз.
8. Епифанов Г.И., Мома Ю.А. Твердотельная электроника. – М.: Высш. шк., 1986.
9. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов. В 2 кн. – М.: Мир, 1984.
10. Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника / Под ред. Н.Д. Федорова. – М.: Радио и связь, 1998.
11. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. – М.: Радио и связь, 1998.
12. Фотоприемники видимого и ИК диапазонов / Под ред. В.И. Стафеева. – М.: Радио и связь, 1985.
13. Носов Ю.Р., Шилин В.А. Основы физики приборов с зарядовой связью. – М.: Наука, 1986
14. Рычина Т.А., Зеленский А.В. Устройства функциональной электроники и электрорадиоэлементы. М.: Радио и связь, 1989.
15. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы нанозлектроники. Новосибирск: НГТУ, 2000.
16. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. – СПб: «Лань», 2002.
17. Малышев В.А., Червяков Г.Г., Лабынцев В.А. Основы электродинамики и микроволновой техники. Уч.пособие. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. – 596 с.

*Руководитель образовательной  
программы по направлению  
11.04.04.*



*М. С. Сидоров*