

сы расчета и проектирования полосковых линий и элементов гибридных интегральных схем; особенности полупроводниковых ИС СВЧ; реальные неоднородности и элементы пассивных элементов и узлов; основные методы и приемы технологического исполнения полосковых устройств; главные активные устройства СВЧ и вопросы их расчета и конструирования.

В завершении учебного пособия приведены тестовые задания для самоподготовки студентов с таблицей правильных ответов и библиографическим списком.

Учебное пособие предназначено для магистров направления 210100.68 «Электроника и наноэлектроника», программа подготовки «Электронные микроволновые и квантовые приборы и устройства» и содержит все необходимые сведения, позволяющие разрабатывать микроволновые устройства на различных линиях передачи.

Курс изучается во втором и третьем семестрах и содержит вопросы проектирования и технологии производства микроэлектронной компонентной базы устройств СВЧ в гибридном и интегральном исполнении на полосковых линиях передачи. Рассматриваются как принципы работы устройств для систем радиотехнической электроники, радиолокации, навигации и ретрансляции сигналов, так и вопросы анализа и синтеза устройств таких систем на основе различных полупроводниковых приборов и линий передач.

Учебное пособие ориентировано на изучения соответствующих разделов курса и для выполнения курсовых и выпускных квалификационных работ и проектов бакалаврами, специалистами и магистрами.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ РАЗДЕЛЫ ФИЗИКИ (учебное пособие)

Червяков Г.Г., Лебедев В.К.

*Южный федеральный университет,
Ростов-на Дону, e-mail: gcheryakov@srfedu.ru*

Учебное пособие «Специальные разделы физики» предназначено для практических занятий студентов 2 курса направления «Электроника и наноэлектроника» и содержит теоретический материал по основам квантовой механики, физики твердого тела и задачи по основным разделам курса.

Опыт изучения данного курса и результаты выполнения индивидуальных заданий показал, что студенты испытывают серьезные трудности, обусловленные отсутствием опыта решения прикладных задач, постановка и разбор которых и послужили основной целью данного учебного пособия.

Поэтому в первом разделе пособия рассмотрены не только волновые свойства микрочастиц и уравнение Шрёдингера, но и туннельный эффект, поведение частицы в прямоугольной

потенциальной яме и квантовый осциллятор, электроны в атомах и их излучение, энергетика электрона в кристалле и зоны Бриллюэна.

Во втором разделе на основании анализа поведения носителей заряда в полупроводниках рассмотрены функция распределения Ферми-Дирака и связь концентрации носителей заряда с положением уровня Ферми, концентрация носителей заряда в области собственной электропроводности, кристаллическая решетка, структура кристаллов и особенности химических связей в полупроводниках, дана классификация дефектов полупроводников.

В третьем и четвертом разделах рассмотрены статистика электронов, функции их распределения и механизмы рассеяния носителей заряда, приведены кинетическое уравнение Больцмана, основные кинетические эффекты в полупроводниках и металлах, отдельные вопросы оптического поглощения света (поглощение на свободных носителях заряда, внутризонные переходы, поглощение с участием примесей в полупроводниках), генерационно-рекомбинационные процессы, явления фотопроводимости и фотомагнитных эффектов.

Пятый раздел посвящен процессам генерации и рекомбинации основных и неосновных носителей заряда в полупроводниках. Здесь выведено уравнение непрерывности, определяющее динамику изменения концентрации носителей заряда, рассмотрены некоторые особенности межзонной рекомбинации и рекомбинация через уровень в запрещенной зоне.

В шестом разделе кроме фотопроводимости и фотоэлектромагнитного эффекта рассмотрены особенности процессов диффузии носителей заряда при однородном, сильном и слабом фотовозбуждении, для оценки влияния как диффузионных, так и дрейфовых процессов. Полученные основные уравнения, описывающие процессы в полупроводниковых приборах, позволяют в одномерном случае перейти к анализу поведения как стационарного, так и смещенного электронно-дырочного перехода и выяснить его основные характеристики. Выведено уравнение Шокли и обоснована математическая модель диода. Рассмотрен диод Шоттки с особенностями его свойств и вопросы построения диодных солнечных элементов.

В седьмом разделе рассматриваются физические принципы работы полевых транзисторов. Выполненный здесь анализ идеального и реального МОП-конденсатора позволяет детально обсудить процессы, как в идеальном, так и реальном МОП-транзисторе. Рассмотренные диаграммы энергетических уровней и распределения зарядов (в режимах обеднения, обогащения и инверсии) позволяют определить как вольт-фарадные характеристики, так и пороговое напряжение, что упрощает отображение физических явлений не только в линейной,

но и в областях насыщения и пробоя полевого транзистора.

Биполярный транзистор, которому посвящен восьмой раздел, достаточно подробно рассматривается в основном лекционном курсе, а здесь приведены лишь его схемы включения, даны параметры и частотные свойства, статическая модель и модель Эберса-Молла, зарядовая модель биполярного транзистора, что позволяет расширить круг проблем, возникающих при реальном анализе процессов в приборе.

Значительная часть шестого – восьмого разделов пособия посвящена решению задач, связанных с теорией и практикой диодных и транзисторных структур, их свойств и зависимости параметров от внешних условий.

Все восемь разделов содержит основные теоретические положения, типовые примеры с указаниями и в ряде случаев контрольные вопросы. Знание ответов на контрольные вопросы совершенно необходимо при защите индивидуальных работ и при прохождении тестирования.

В теоретической и расчетной частях индивидуальных заданий, предлагаемых студентам, требуется применять теоретические положения к конкретному полупроводниковому материалу (Ge, Si, GaAs, GaP, JnSb, SiC, CdTe и др.). Несмотря на многообразие тем индивидуальных за-

даний при выполнении расчетной части практически любой из них студенту придется решать в первую очередь задачу по статистике электронов и различным кинетическим явлениям.

В индивидуальных заданиях студентам предлагается рассчитать динамические параметры транзисторов, коэффициенты, характеризующие то или иное явление в заданном диапазоне изменения определяющего его фактора (температуры, уровня возбуждения, значения магнитной индукции, механической нагрузки), различные режимы работы неоднородных систем при различных внешних воздействиях. Типовые примеры и указания составлены так, что исключают механическое копирование их при выполнении расчетной части индивидуальных заданий, они лишь указывают метод решения любой конкретной задачи расчетной части.

Учебное пособие поможет студентам в освоении курса «Специальные разделы физики», который является базой для ряда других специальных курсов по технологии, испытаниям и практическому использованию полупроводников. Оно будет полезным как изучающим соответствующие разделы курса, так и для выполнения курсовых и выпускных квалификационных работ и проектов бакалаврами, специалистами и магистрами.