

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра микроэлектроники

***МОЩНЫЕ И СВЧ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ***

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

по дисциплине «Физика активных элементов интегральных схем.

Мощные и СВЧ полупроводниковые приборы»

для студентов специальности 41 01 02

«Микро- и нанoeлектронные технологии и системы»

заочной и дистанционной форм обучения

Минск 2003

УДК 621.382.8.049.77 (075.8)
ББК 32.844.1 я 73
М 54

С о с т а в и т е л и :
Б.С. Колосницын, А.В. Короткевич

Мощные и СВЧ полупроводниковые приборы: Метод. указания и М 54 контрольные задания по дисциплине «Физика активных элементов интегральных схем. Мощные и СВЧ полупроводниковые приборы» для студ. спец. 41 01 02 «Микро- и нанoeлектронные технологии и системы» заочной и дистанционной форм обучения / Сост. Б.С. Колосницын, А.В. Короткевич. – Мн.: БГУИР, 2003. – 16 с.

Курс «Мощные и СВЧ полупроводниковые приборы» включает семь тем. К каждой теме прилагаются основная и дополнительная литература, подробные методические указания и вопросы для самопроверки. Приведены задачи и вопросы, входящие в индивидуальное контрольное задание.

УДК 621.382.8.049.77 (075.8)
ББК 32.844.1 я 73

© Колосницын Б.С., Короткевич А.В.,
составление, 2003
© БГУИР, 2003

Содержание

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Тема 1. СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВ ПРИ ВЫСОКИХ
КОНЦЕНТРАЦИЯХ НОСИТЕЛЕЙ ТОКА

Тема 2. ЛАВИННЫЙ ПРОБОЙ. ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ
ПРОБОЯ

Тема 3. МОЩНЫЕ БИПОЛЯРНЫЕ И ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Тема 4. СВЧ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

Тема 5. МОЩНЫЕ СВЧ-ТРАНЗИСТОРЫ

Тема 6. ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ С ЗАТВОРОМ ШОТТКИ

Тема 7. ТИРИСТОРЫ

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Библиотека БГУИР

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Изучение дисциплины «Мощные и СВЧ полупроводниковые приборы» следует вести последовательно по темам. После ознакомления с темой и методическими указаниями необходимо подобрать литературу и законспектировать основные положения темы. При возникновении вопросов следует обратиться на кафедру (устно или письменно).

Программа дисциплины соответствует учебному плану в объеме 34 лекционных часов.

В процессе изучения студент выполняет одну контрольную работу. К экзамену студент допускается только после зачета по контрольной работе.

Распределение дисциплины по темам

| Наименование темы | Количество лекционных часов |
|--|-----------------------------|
| Введение | 2 |
| 1. Свойства полупроводников при высоких концентрациях носителей тока | 2 |
| 2. Лавинный пробой. Пути увеличения напряжения пробоя | 4 |
| 3. Мощные биполярные и полевые транзисторы | 6 |
| 4. СВЧ-полупроводниковые диоды | 6 |
| 5. Мощные СВЧ-транзисторы | 6 |
| 6. Полевые транзисторы с затвором Шоттки | 4 |
| 7. Тиристоры | 4 |

Литература

Основная

1. Блихер А. Физика силовых биполярных и полевых транзисторов. – Л.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2 т. – М.: Мир, 1984.

Дополнительная

1. Проектирование и технология производства мощных СВЧ-транзисторов / В.И. Никишин, Б.К. Петров, В.Ф. Сыпоров и др. – М.: Радио и связь, 1989.

2. Родерик Э.Х. Контакты металл – полупроводник. – М.: Радио и связь, 1982.
3. Шовеков В.И. Омические и выпрямляющие контакты в ИС. – М.: МГИЭТ, 1999.
4. Ржевкин К.С. Физические принципы действия полупроводниковых приборов. – М.: МГУ, 1986.
5. Заваржнов Ю.В. Мощные ВЧ биполярные транзисторы. – М.: Радио и связь, 1985.
6. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. – М.: Высш. шк., 2002.
7. Колосницын Б.С. Элементы интегральных схем. Физические основы. – Мн.: БГУИР, 2001.

Тема 1. СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВ ПРИ ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ НОСИТЕЛЕЙ ТОКА

Амбиполярная диффузия и коэффициент диффузии. Подвижности как функции концентрации примеси. Время жизни носителей при высоких уровнях инжекции. Влияние концентрации носителей на ширину запрещенной зоны в кремнии. Собственная концентрация носителей при высоких уровнях легирования.

Литература

Основная

[1, с. 22–29].

Методические указания

Изучение работы мощных полупроводниковых приборов необходимо начинать с выявления особенностей свойств полупроводников при высоких концентрациях носителей тока, что особенно характерно для мощных приборов.

При изучении этой темы необходимо выяснить воздействие высокой концентрации носителей тока на такие основные электрофизические параметры полупроводников, как подвижность, коэффициент диффузии и время жизни.

Необходимо уяснить, что высокий уровень легирования приводит к уменьшению ширины запрещенной зоны, это, в свою очередь, приводит к увеличению концентрации собственных носителей заряда, в результате чего изменяются величины некоторых важных электрических параметров транзисторов.

Вопросы для самопроверки

1. Почему появляется понятие «амбиполярная подвижность»?

2. Как влияет высокая концентрация тока на величины подвижности и время жизни? Почему?

3. Из-за чего происходит сужение ширины запрещенной зоны полупроводника при высоком уровне легирования?

4. Как влияет сужение ширины запрещенной зоны полупроводника на электрические параметры транзистора, изготовленного из этого материала?

Тема 2. ЛАВИННЫЙ ПРОБОЙ. ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПРОБОЯ

Пробой планарного р-п-перехода. Полевая обкладка. Диффузионное охранное кольцо. Эквипотенциальное кольцо и канальный ограничитель. Резистивная полевая обкладка. Полевое ограничительное кольцо.

Напряжение пробоя перехода коллектор – база мощного биполярного транзистора. Температура перехода. Вторичный пробой. Защита от вторичного пробоя. Область надежной работы мощного биполярного транзистора.

Литература

Основная

[1, с. 29–50, 135–153].

Дополнительная

[5, с. 32–41].

Методические указания

В мощных кремниевых транзисторных структурах лавинный пробой и последующий тепловой часто являются причинами неустойчивой работы приборов.

Начинать эту тему нужно с повторения физики лавинного пробоя, известного из дисциплины «Физика активных элементов интегральных схем». Далее необходимо уяснить отличия пробоя планарного одномерного перехода от реального (сферического и цилиндрического).

Рассматривая способы увеличения пробоя (полевая обкладка, диффузионное охранное кольцо и т.д.), необходимо понять влияние заряда поверхностных состояний и толщины оксида на протекание тока, как на поверхности, так и в объеме полупроводника.

Необходимо уяснить, что температура р-п-перехода связана с рассеиванием мощности в транзисторе и, следовательно, с тепловым сопротивлением переход – корпус и корпус – радиатор. Обратить внимание на причины, приво-

дящие к появлению вторичного пробоя. Изучая вопросы, связанные со способами защиты от вторичного пробоя, уделить внимание особенностям защиты в транзисторах с гребенчатой структурой.

Вопросы для самопроверки

1. Как влияют знак и величина заряда поверхностных состояний на условия пробоя p-n-перехода?
2. Как зависит величина напряжения пробоя от радиуса кривизны и концентрации примеси?
3. Почему рекомендуется применять полевую обкладку в комплекте с эквипотенциальным кольцом?
4. Почему применение резистивной полевой обкладки расширяет область надежной работы транзистора?
5. В чем причина появления вторичного пробоя?
6. Почему использование гребенчатых или полосковых структур увеличивает надежность работы транзистора?

Тема 3. МОЩНЫЕ БИПОЛЯРНЫЕ И ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Структура мощных биполярных транзисторов. Зависимость эффективности эмиттера от концентрации примеси в нем. Эффект Кирка в $p^+ - n - p^+$ и $n^+ - p - n^+$ -транзисторных структурах. Падение коэффициента усиления по току при больших плотностях тока. Методы увеличения коэффициента усиления по току.

Область квазинасыщения ВАХ мощных биполярных транзисторов. Частотная характеристика мощного биполярного транзистора.

Мощный полевой транзистор с затвором в виде p-n-перехода с V-образной канавкой. МОП-транзистор как усилитель мощности и ключевой элемент. Геометрия мощного МОП-транзистора. Влияние температуры на характеристики МОП-транзистора.

Литература

[1, с. 74–77, 98–129, 172–177, 208–220, 234–238].

Методические указания

Начинать изучение этой темы необходимо с повторения понятий «коэффициент усиления по току» и «эффективность эмиттера», с которыми вы встречались при изучении дисциплины «Физика активных элементов интегральных

схем». Поскольку при высоких концентрациях примеси в эмиттере изменяется ширина запрещенной зоны и, следовательно, увеличивается n_i , то постарайтесь уяснить, что увеличение отношения $N_{dЭ}/N_{aБ}$ не приводит к однозначному увеличению α и β .

Эффект расширения нейтральной ширины базы при больших плотностях тока (эффект Кирка) рассматривайте на транзисторной структуре $n^+ - p - n^+$.

Обратите внимание на то, что при расчете величины f_T для мощных биполярных транзисторов необходимо учитывать приращение электронейтральной базы и пользоваться коэффициентом 4 при расчете τ_3 . Проанализируйте методы увеличения β , обращая особое внимание на использование схемы Дарлингтона и транзистора с широкозонным эмиттером.

Рассмотрите возможные геометрии мощных полевых транзисторов, обращая внимание на то, как решены вопросы повышения величины тока и напряжения пробоя.

Вопросы для самопроверки

1. Почему в биполярных транзисторах с высоколегированным эмиттером нарушается строгая пропорция зависимости величины α от отношения $N_{dЭ}/N_{aБ}$?
2. Чем объясняется относительное уменьшение β_N в биполярном транзисторе в высоколегированном эмиттере?
3. Как повысить величину β в мощных биполярных транзисторах?
4. Как изменяется выражение для f_T в мощных биполярных транзисторах?
5. Как увеличить напряжение пробоя в мощных полевых транзисторах?
6. Чем обеспечивается большая величина тока стока в мощных полевых транзисторах?

Тема 4. СВЧ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

Принцип действия и аналитическое выражение для ВАХ диода Шоттки. Частотные ограничения диода Шоттки. Диод Шоттки в ИС. Параметрический диод: принцип действия, параметры и их зависимость от частоты.

Конструкции лавинно-пролетных диодов (ЛПД). Статические и динамические параметры ЛПД.

Энергетические зонные диаграммы, поясняющие работу туннельного диода. Зависимость туннельного тока от температуры. Частотные свойства туннельного диода. Обращенные диоды.

Литература

Основная

[2, с. 94–121, 150–203].

Дополнительная

[2, с. 91–137; 171–180; 3, с. 10–35; 4, с. 102–116].

Методические указания

Начиная изучение этой темы, необходимо уяснить, что принцип действия всех рассматриваемых СВЧ-диодов основан на физических процессах, происходящих в р-п переходах или в ОПЗ контакта металл-полупроводник.

Анализируя энергетическую зонную диаграмму диода Шоттки, показать, что он может работать в СВЧ-диапазоне. Определить, чем вызваны частотные ограничения диода Шоттки и его использование в ТТЛШ.

Уяснить принцип работы параметрического диода (варикапа) и обратить внимание на зависимость его добротности от частоты.

ВАХ туннельного диода удобно объяснять для температуры $T = 0$ К. Используя участок отрицательного дифференциального сопротивления (ОДС) на прямой ветви ВАХ, показать, как осуществляется усиление в туннельном диоде.

Уяснить из-за чего возникает участок ОДС на ВАХ лавинно-пролетного диода, и проанализировать его шумовые и мощностные параметры.

Вопросы для самопроверки

1. Почему диод Шоттки может работать в СВЧ-диапазоне?
2. Какое свойство диода Шоттки используется при создании интегрального транзистора Шоттки?
3. Какие процессы ограничивают частотный диапазон диода Шоттки?
4. Почему пиковый ток туннельного диода слабо зависит от температуры?
5. Почему зависимость добротности варикапа от частоты имеет колоколообразный характер?
6. На какой угол должны быть сдвинуты ток и напряжение в ЛПД для достижения максимального усиления?

Тема 5. МОЩНЫЕ СВЧ-ТРАНЗИСТОРЫ

Параметры и физическая эквивалентная схема мощного биполярного СВЧ-транзистора. Электрофизические характеристики различных областей транзисторной биполярной структуры. Разновидности структур мощных биполярных СВЧ-транзисторов. Тепловые параметры мощных биполярных СВЧ-транзисторов. Проектирование активных областей мощных биполярных СВЧ-транзисторов.

Физическая эквивалентная схема мощного СВЧ МОП-транзистора в режиме малого сигнала. Общий подход к выбору конструкции и проектированию топологии структуры мощного кремниевого СВЧ МДП-транзистора.

Литература

[1, с. 5–11, 61–88, 119–139; 5, с. 6–41].

Методические указания

Обратить внимание на то, что в физической эквивалентной схеме биполярного СВЧ-транзистора необходимо учитывать индуктивности выводов и емкости контактных площадок. При анализе различных структур мощных биполярных СВЧ-транзисторов особое внимание уделить проблемам борьбы с эффектом оттеснения тока эмиттера на край эмиттера и снижением паразитных емкостей.

Обратить внимание на теплоотвод и тепловое сопротивление в мощных СВЧ-транзисторах. Расчет активных областей целесообразно начать с анализа задаваемых мощностных и геометрических параметров, определяющих частотный диапазон работы прибора.

При анализе физической эквивалентной схемы мощного МДП-транзистора отметить элементы, введенные в известную схему маломощного НЧ МДП-транзистора. Проанализировать приближенный расчет мощных СВЧ МДП-транзисторов.

Вопросы для самопроверки

1. Какие паразитные емкости необходимо учитывать при анализе физической эквивалентной схемы мощного биполярного СВЧ-транзистора?
2. Как влияют времена жизни неосновных носителей в коллекторной и базовой областях на работу мощного биполярного СВЧ-транзистора?
3. Как уменьшить влияние эффекта оттеснения тока эмиттера на край эмиттера?
4. Какие меры принимаются для улучшения теплоотвода в мощных биполярных СВЧ-транзисторах?
5. Какие компромиссы допустимы при проектировании активных областей мощных биполярных СВЧ-транзисторов?
6. Какими элементами отличаются физические эквивалентные схемы мощных НЧ и СВЧ МДП-транзисторов?

Тема 6. ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ С ЗАТВОРОМ ШОТТКИ

Аналитическое выражение вольт-амперной характеристики полевого транзистора с затвором Шоттки. Выходная характеристика прибора. Физическая эквивалентная схема прибора. Частотные свойства.

Литература

Основная

[2, с. 336–368].

Дополнительная

[7, с. 96–101].

Методические указания

Изучение этой темы начните с анализа принципа усиления в полевых канальных транзисторах (КТ). Уясните определение «нормально открытый полевой КТ» и «нормально закрытый полевой КТ». Проанализируйте условия, при которых выводится аналитическое выражение ВАХ полевого КТ. Объясните выходную ВАХ n-канального полевого КТ с затвором Шоттки. Уясните причины, определяющие частотные свойства полевых КТ с затвором Шоттки.

Вопросы для самопроверки

1. Почему технологически целесообразно полевые транзисторы с затвором Шоттки создавать на основе GaAs?
2. Как осуществляется усиление в полевых канальных транзисторах?
3. Какими параметрами определяется величина f_T полевого транзистора с затвором Шоттки?
4. Чем отличаются сток-затворные характеристики n-канальных нормально открытых и нормально закрытых полевых транзисторов с затвором Шоттки?

Тема 7. ТИРИСТОРЫ

Принцип действия и энергетические зонные диаграммы тиристоров в выключенном и включенном состояниях. ВАХ тиристора. Условие переключения в проводящее состояние. Представление тиристора в виде двух транзисторов с шунтированным эмиттерным р-n-переходом. Принцип действия и ВАХ трини-

стора. Принцип действия и ВАХ симистора. Переходные процессы в тиристоре. Способы включения и выключения тиристорov.

Литература

Основная

[2, с. 252–367].

Дополнительная

[6, с. 187–190].

Методические указания

Анализируя энергетические зонные диаграммы для режимов «выключен» и «включен», объяснить физическую модель переключения динистора из выключенного во включенное состояние. Показать причину появления участка ОДС на прямой ветви ВАХ. Обратитъ внимание на то, что динистор и тринистор можно представить как соединение двух транзисторов n-p-n- и p-n-p- типов, причем выводы анода и катода динистора и тринистора являются эмиттерами транзисторов. Объяснить график зависимости $I_A = f(I_{\text{вкл}})$ тринистора. Разобраться со способами включения и выключения слабо- и сильноточных тиристорov. Объяснить ВАХ симистора.

Вопросы для самопроверки

1. Почему у тиристорov на прямой ветви ВАХ имеется участок ОДС?
2. Для чего у тиристора один из эмиттерных p-n-переходов шунтируется резистором?
3. Почему тиристор можно представить в виде двух транзисторов?
4. В какой момент происходит включение тиристора?
5. Почему два крайних p-n-перехода называются эмиттерными, а средний – коллекторным?
6. Каковы области применения тиристорov?

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Каждый студент выполняет вариант контрольного задания, номер которого соответствует порядковому номеру фамилии студента в зачетной ведомости.

Номера вопросов и задач, составляющих контрольное задание для каждого варианта, указаны в таблице.

| Номер варианта | Номера вопросов и задач | Номер варианта | Номера вопросов и задач | Номер варианта | Номера вопросов и задач |
|----------------|-------------------------|----------------|-------------------------|----------------|-------------------------|
| 1 | 1, 28 | 11 | 11, 32 | 21 | 21, 40 |
| 2 | 2, 23 | 12 | 12, 33 | 22 | 5, 41 |
| 3 | 3, 24 | 13 | 13, 34 | 23 | 6, 22 |
| 4 | 4, 25 | 14 | 14, 35 | 24 | 7, 23 |
| 5 | 5, 26 | 15 | 15, 36 | 25 | 8, 24 |
| 6 | 6, 27 | 16 | 16, 37 | 26 | 9, 25 |
| 7 | 7, 23 | 17 | 17, 38 | 27 | 10, 26 |
| 8 | 8, 29 | 18 | 18, 41 | 28 | 11, 27 |
| 9 | 9, 30 | 19 | 19, 29 | 29 | 12, 28 |
| 10 | 10, 31 | 20 | 20, 39 | 30 | 13, 29 |

Вопросы и задачи

1. Какие электрофизические параметры полупроводника изменяются при высоких концентрациях носителей тока и как?
2. Из-за чего происходит изменение ширины запрещенной зоны полупроводника при высоких концентрациях носителей тока и как?
3. Почему напряжение лавинного пробоя плоскостного р-перехода больше, чем цилиндрического и сферического?
4. Как влияет заряд поверхностных состояний на условия лавинного пробоя и величину обратного тока?
5. Из каких соображений полевую обкладку чаще всего применяют совместно с эквипотенциальным кольцом?
6. Каким образом диффузионное охранное кольцо и резистивная полевая обкладка увеличивают напряжение лавинного пробоя?
7. Почему в биполярных транзисторах с высоколегированным эмиттером нарушается строгая пропорция зависимости величины α_N от отношения N_{aB}/N_{dE} ?
8. Чем объясняется относительное уменьшение величины β_N в биполярном транзисторе?
9. Почему происходит увеличение электронейтральной области базы в мощных биполярных транзисторах со структурами $n^+ - p - v - n^+$ и $n^+ - p - n^+$?
10. Как повысить величину β_N в мощных биполярных транзисторах?

11. Как увеличить напряжение пробоя в мощных полевых транзисторах?
12. Почему диод Шоттки может работать в СВЧ-диапазоне?
13. Какое свойство диода Шоттки используется в транзисторах Шоттки и в мощных диодах Шоттки, используемых в блоках питания?
14. Почему пиковый ток туннельного диода слабо зависит от температуры?
15. Почему зависимость величины добротности варикапа от частоты имеет колоколообразный характер?
16. Какими способами уменьшают эффект оттеснения тока эмиттера на край эмиттера в мощных СВЧ-транзисторах?
17. На какие компромиссы следует идти при проектировании активных областей мощных биполярных СВЧ-транзисторов?
18. Какими параметрами и почему определяется величина частоты отсечки в полевом транзисторе с затвором Шоттки?
19. Какие методы используются для уменьшения коэффициента передачи тока транзисторных структур, составляющих тиристор?
20. Почему на прямой ветви ВАХ тиристора наблюдается участок отрицательного дифференциального сопротивления?
21. Анизотипный p-n-гетеропереход: эмиттер – арсенид галлия, база – германий. Полагая, что величины концентраций примесей, коэффициентов диффузии, диффузионных длин, эффективных плотностей разрешенных состояний в валентных зонах и зонах проводимости в эмиттере и базе равны и их геометрические размеры одинаковы, определить коэффициент инжекции. Температура $T = 300 \text{ K}$.
22. Кремниевый n^+ -p-переход: концентрация фосфора в эмиттере $N_d = 5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, концентрация бора в базе около эмиттера $N_a = 10^{18} \text{ см}^{-3}$; толщины электронейтральных областей эмиттера и базы $W_{\text{Э}} = W_{\text{Б}} = 5 \text{ мкм}$; времена жизни неосновных носителей $\tau_{\text{pЭ}} = 10^{-8} \text{ с}$, $\tau_{\text{nЭ}} = 10^{-7} \text{ с}$. Температура $T = 300 \text{ K}$. Определить коэффициент инжекции с учетом эффектов высокого уровня легирования.
23. Кремниевый p^+ -n-переход: концентрация бора в эмиттере $N_a = 10^{18} \text{ см}^{-3}$, концентрация фосфора в базе $N_d = 10^{16} \text{ см}^{-3}$; толщина слоя оксида кремния $d = 1 \text{ мкм}$. Температура $T = 300 \text{ K}$. Определить напряжение пробоя перехода с полевой обкладкой.
24. Транзисторная n^+ -p-n $^-$ -n $^+$ -кремниевая структура: величина концентрации доноров в n-области $N_d = 10^{16} \text{ см}^{-3}$, ширина электронейтральной области базы $W_{\text{Б}} = 10 \text{ мкм}$. Определить «наведенный» коллекторным током участок базы $W_{\text{КБ}}$, полагая, что величина коллекторного тока на 10% превышает величину тока критического $I_{\text{кр}}$.
25. Низковольтный мощный кремниевый n^+ -p-n $^+$ -транзистор: концентрация акцепторной примеси в базе $N_a = 10^{17} \text{ см}^{-3}$; величина напряжения $U_{\text{КБ}} = 30 \text{ В}$. Определить величину приращения толщины базы, полагая, что величина тока коллектора на 15% превышает величину критического тока коллектора.
26. Мощный биполярный кремниевый транзистор с гребенчатой структурой: электронейтральная ширина базы $W_{\text{Б}} = 5 \text{ мкм}$, коэффициент эффективно-

сти эмиттера $\gamma = 0,99$, концентрация акцепторной примеси в базе $N_{aB} = 10^{18} \text{ см}^{-3}$; время жизни неосновных носителей в базе $\tau_{nB} = 10^{-7} \text{ с}$. Температура $T = 300 \text{ К}$. Определить эффективную полуширину эмиттерной полосы.

27. N-p-n-транзистор с гетеропереходом в эмиттере: эмиттер – арсенид галлия, база – германий; концентрация примесей в эмиттере и базе $N_{dЭ} = N_{aБ} = 10^{16} \text{ см}^{-3}$; время жизни неосновных носителей дырок в эмиттере $\tau_{pЭ} = 10^{-6} \text{ с}$; ширина электронейтральной области базы $W_B = 3 \text{ мкм}$. Температура $T = 300 \text{ К}$. Определить эффективность эмиттера γ . Необходимые для расчета величины подвижностей взять табличные.

28. Мощный кремниевый $n^+ \text{-p-v-n}^+$ -транзистор: ширина электронейтральной области базы $W_B = 8 \text{ мкм}$; концентрация примесей в базе $N_a = 10^{18} \text{ см}^{-3}$; концентрация примесей в v-области $N_d = 10^{-16} \text{ см}^{-3}$; ширина v-области $W_v = 10 \text{ мкм}$; плотность коллекторного тока на 12% превышает плотность тока критического. Определить время пролета через базу, учитывая время пролета через наведенную базу.

29. Мощный кремниевый $n^+ \text{-p-n}^+$ -транзистор: концентрация примесей в базе $N_a = 10^{18} \text{ см}^{-3}$; напряжение коллектор – база $U_{КБ} = 20 \text{ В}$; плотность тока коллектора на 10% превышает плотность критического тока. Температура $T = 300 \text{ К}$. Определить время пролета носителей через базу с учетом эффекта Кирка.

30. Мощный кремниевый $n^+ \text{-p-v-n}^+$ -транзистор: величина барьерной концентрации примесей в базе $N_a = 10^{18} \text{ см}^{-3}$; концентрация примесей в v-области $N_v = 10^{16} \text{ см}^{-3}$; ширина электронейтральных областей базы и v-области $W_B = 8 \text{ мкм}$ и $W_v = 10 \text{ мкм}$ соответственно; последовательное сопротивление коллектора $R_K = 900 \text{ Ом}$, коэффициент передачи эмиттерного тока $\gamma_N = 0,9$; плотность коллекторного тока на 10% превышает плотность критического тока. Температура $T = 300 \text{ К}$. Определить величину частоты отсечки f_T , учитывая время пролета через наведенную базу.

31. Мощный кремниевый $n^+ \text{-p-n}^+$ -транзистор: величина барьерной емкости эмиттера $C_{Эбар} = 15 \text{ пФ}$; концентрация примесей в базе $N_a = 10^{18} \text{ см}^{-3}$; сопротивление базы $R_B = 180 \text{ Ом}$; коэффициент передачи эмиттерного тока $\gamma_N = 0,9$; плотность коллекторного тока на 12% превышает плотность критического тока. Температура $T = 300 \text{ К}$. Определить величину граничной частоты f_T с учетом эффекта Кирка.

32. Мощный n-канальный МОП-транзистор с поликремниевым затвором, работающий в режиме обогащения: толщина подзатворного окисла $d = 40 \text{ нм}$; концентрация примесей в подложке $N_n = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$; плотность поверхностных состояний $N_{SS} = 10^{10} \text{ см}^{-2}$; длина канала $L = 4 \text{ мкм}$; поликремний n-типа. Температура $T = 300 \text{ К}$. Определить величину частоты отсечки f_T при напряжении на затворе $U_{зи} = 2U_{пор}$.

33. Концентрация примесей в p- и n-областях кремниевого варикапа $N_a = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и $N_d = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ соответственно. Температура $T = 300 \text{ К}$. Опреде-

лить коэффициент перекрытия по емкости, считая, что C_{\max} определяется при $U = 0$ В.

34. Кремниевый мощный n-канальный МДП-транзистор с вертикальным каналом: напряжение источника питания цепи стока $E_C = 25$ В, напряжение сток – исток в рабочем режиме $U_{СИ} = 15$ В. Определить оптимальный уровень легирования p-слоя.

35. Кремниевый биполярный СВЧ-транзистор: критическая плотность коллекторного тока $j_{кр} = 2,3 \cdot 10^4$ А/см²; глубина залегания коллекторного p-n-перехода $X_{К0} = 1$ мкм; дрейфовая скорость электронов $v_{se} = 5 \cdot 10^6$ см/с. Определить величину напряжения коллекторного p-n-перехода, считая его цилиндрическим.

36. Кремниевый мощный биполярный СВЧ-транзистор; концентрация доноров в высокоомном коллекторном слое $N_{дк} = 5 \cdot 10^{15}$ см⁻³; площадь активной области коллекторного p-n-перехода $S = 10^{-3}$ см²; коэффициент полезного действия коллекторной цепи $\eta_k = 0,55$; величина напряжения источника коллекторной цепи $E_K = 28$ В; дрейфовая скорость насыщения электронов $v_{se} = 10^7$ см/с. Определить выходную мощность $P_{вых}$.

37. Кремниевый мощный биполярный СВЧ-транзистор: постоянная составляющая коллекторного тока $I_{К0} = 3,0$ А; площадь активной области коллекторного p-n-перехода $S = 10^{-2}$ см²; глубина залегания коллекторного p-n-перехода $X_{К0} = 0,9$ мкм; толщина слоя автолегирования $\Delta X_a = 1,0$ мкм. Определить толщину высокоомного эпитаксиального слоя.

38. Кремниевый мощный биполярный СВЧ-транзистор: концентрация доноров в высокоомном коллекторном слое $N_{дк} = 10^{15}$ см⁻³; площадь активной области коллекторного перехода 10^{-3} см²; величина напряжения источника коллекторной цепи $E_K = 10$ В, тепловое сопротивление переход – корпус $R_{Т п-к} = 28,5$ К/Вт. Температура корпуса $T_k = 300$ К. Определить температуру коллекторного p-n-перехода, считая, что скорость электронов равна скорости насыщения.

39. Кремниевый мощный биполярный СВЧ-транзистор с многоэмиттерной полосковой структурой: постоянная составляющая коллекторного тока $I_{К0} = 0,5$ А; напряжение коллекторного источника питания $E_K = 10$ В; ширина и длина эмиттерной полоски $L_{Э} = 2$ мкм и $Z_{Э} = 20$ мкм соответственно; число эмиттерных полосок $N = 10$. Скорость движения электронов $v_{se} = 5 \cdot 10^6$ см/с. Определить величину емкости коллекторного p-n-перехода $C_K(E_K)$.

40. Кремниевый мощный n-канальный МДП-транзистор с вертикальным каналом и с алюминиевым затвором: концентрация примеси в подложке $N_a = 3 \cdot 10^{16}$ см⁻³; толщина подзатворного окисла $d = 1,2 \cdot 10^{-5}$ см; плотность поверхностных состояний $N_{SS} = 10^{10}$ см⁻². Температура $T = 300$ К. Определить величину порогового напряжения.

41. Кремниевый мощный n-канальный МДП-транзистор с вертикальным каналом и с алюминиевым затвором: концентрация примеси в подложке $N_a = 2 \cdot 10^{16}$ см⁻³; плотность поверхностных состояний $N_{SS} = 10^{10}$ см⁻². Определить величину $U_{СИ\text{ нас}}$ при $U_{ЗИ} = 4$ В.

Учебное издание

**МОЩНЫЕ И СВЧ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ**

Методические указания и контрольные задания
по дисциплине «Физика активных элементов интегральных схем.
Мощные и СВЧ полупроводниковые приборы»
для студентов специальности 41 01 02
«Микро- и нанoeлектронные технологии и системы»
заочной и дистанционной форм обучения

С о с т а в и т е л и :
Колосницын Борис Сергеевич,
Короткевич Александр Васильевич

Редактор Т.А. Лейко
Корректор Е.Н. Батурчик

Подписано в печать 10.12.2003.
Печать ризографическая.
Уч.-изд. л. 1,0.

Формат 68x84 1/16.
Гарнитура «Таймс».
Тираж 50 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 1,05.
Заказ 481.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
Лицензия ЛП № 156 от 30.12.2002.
Лицензия ЛВ № 509 от 03.08.2001.
220013, Минск, П. Бровки, 6