

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования

**СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЗАОЧНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра технологии и дизайна радиоэлектронной техники

**ИНТЕГРАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
Часть 1**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

Факультет радиоэлектроники

Направление и специальность подготовки дипломированного специалиста:

654300 – проектирование и технология электронных средств

200800 – проектирование и технология радиоэлектронных средств

Направление подготовки бакалавра

551100 – проектирование и технология электронных средств

Санкт-Петербург
2004

Утверждено редакционно-издательским советом университета

УДК 621.38:001.18

Интегральные устройства радиоэлектроники. Ч. 1: Методические указания к выполнению лабораторных работ. – СПб.: СЗТУ, 2004.- 22 с.

Методические указания к выполнению лабораторных работ разработаны в соответствии с требованиями государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования по направлению подготовки дипломированного специалиста 654300 - «Проектирование и технология электронных средств» (специальность 200800 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств») и направлению подготовки бакалавра 551100 – «Проектирование и технология электронных средств».

Методические указания к лабораторным работам способствуют лучшему усвоению отдельных разделов дисциплины. Описание лабораторных работ включает в себя постановку задачи, раскрывает содержание и методику выполнения каждой работы.

Рассмотрено на заседании кафедры технологии и дизайна радиоэлектронной техники 28.09.2004 г., одобрено методической комиссией факультета радиоэлектроники 14.10.2004 г.

Рецензенты: кафедра технологии и дизайна радиоэлектронной техники СЗТУ (зав. кафедрой В.Н. Воронцов, д-р техн. наук, проф.); В.И. Соколов, д-р физ. - мат. наук, ст. науч. сотр. ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

Составители: Е.Е. Абрамов, канд. техн. наук, доц.;

А.И. Адер, канд. техн. наук, доц.;

А.К. Александрова, канд. техн. наук, доц.

© Северо-Западный государственный заочный технический университет, 2004.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Данные методические указания содержат описание и порядок выполнения лабораторных работ по дисциплине «Интегральные устройства радиоэлектроники».

Ч.1.

Целью лабораторных работ дисциплины «Интегральные устройства радиоэлектроники». Ч.1 является приобретение навыков измерения и исследования параметров изделий микроэлектроники, сопоставление и анализ экспериментальных и теоретических данных.

Перед выполнением лабораторных работ все студенты получают инструктаж по технике безопасности и расписываются в журнале. В лаборатории принят бригадный метод выполнения работ, причем в каждую группу должно входить не более трех человек. К выполнению лабораторной работы студенты допускаются только после положительной оценки преподавателем их готовности к выполнению данной работы.

О готовности к работе свидетельствуют знание содержания работы и основных теоретических сведений о вопросах, рассматриваемых в работе. В процессе выполнения работы каждый студент должен вести записи, которые затем необходимо оформить в виде отчета. Отчеты должны быть составлены технически грамотно, аккуратно, с соблюдением соответствующих ГОСТов на обозначение величин и элементов схем, с указанием фамилии, инициалов и шифра студента. Каждый отчет должен заканчиваться самостоятельными выводами, поскольку студент должен творчески подходить к полученным экспериментальным данным, используя свои практические и теоретические знания. Все схемы, включаемые в отчет, должны быть выполнены в соответствии с требованиями ГОСТ 2.730-82, ГОСТ 2.743-82, ГОСТ 2.708-81. Перед зачетом по лабораторным работам студент должен сдать оформленный отчет на проверку преподавателю.

Библиографический список

1. Аваев Н.А., Наумов Ю.Е., Фролкин В.Т. Основы микроэлектроники: Учеб. пособие. -М.: Радио и связь, 1991.
2. Ефимов И.Е. Козырь И.Я., Горбунов Ю.И. Микроэлектроника: Физические и технологические основы, надежность: Учеб. пособие. - М.: Высш. школа, 1986.
3. Ефимов И.Е., Козырь И.Я., Горбунов Ю.И. Микроэлектроника: Проектирование, виды микросхем, функциональная микроэлектроника: Учеб. пособие. - М.: Высш. школа, 1987.
4. Пономарев М.Ф., Коноплев Б.К. Конструирование и расчет микросхем и микропроцессоров.- М.: Радио и связь, 1986.

Работа 1. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ИНТЕГРАЛЬНОГО БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА В МИКРОРЕЖИМЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО ПАРАМЕТРОВ

1. Цель работы

Изучение особенностей работы интегрального биполярного транзистора (БТ) в микрорежиме в микросхеме 101КТ1 и определение его основных параметров.

2. Основные теоретические положения

В основе работы биполярных транзисторов лежит инжекция неосновных носителей, которая сопровождается компенсацией их заряда основными носителями.

В обычных транзисторных схемах выходной (управляемой) величиной является либо коллекторный, либо эмиттерный ток, а входной (управляющей) - ток базы либо ток эмиттера. Связь между выходными и входными токами

характеризуется коэффициентами усиления.

Связь между коллекторным I_{κ} и эмиттерным I_{ε} токами можно записать как

$$I_{\kappa} = \alpha \cdot I_{\varepsilon} , \quad (1)$$

где α - коэффициент усиления эмиттерного тока. У интегральных транзисторов он обычно составляет 0,99 ... 0,995. Коэффициент усиления базового тока

$$\beta = I_{\kappa} / I_{\bar{\sigma}} \quad (2)$$

или

$$\beta = \alpha / (1 - \alpha) . \quad (3)$$

Типичные значения параметра β лежат в пределах 100... 150. Он тем больше, чем ближе коэффициент α к единице. С другой стороны,

$$\alpha = \gamma \cdot \chi \quad (4)$$

где γ - коэффициент инжекции, характеризующий долю полезной электронной составляющей в общем токе эмиттера (для транзистора типа $n-p-n$); χ - коэффициент переноса, характеризующий роль инжектированных носителей, избежавших рекомбинации на пути к коллектору.

Коэффициенты γ и χ рассчитываются по формулам

$$\gamma = 1 - \frac{L_a L_D D_{p\varepsilon}}{L_{p\varepsilon}^2 D_{n\bar{\sigma}}} ; \quad (5)$$

$$\chi = 1 - (W_{\bar{\sigma}} / L_{n\bar{\sigma}})^2 \ln(N_{D\varepsilon} (h_{\varepsilon}) / N_{D\kappa}) . \quad (6)$$

В соотношении (5) L_a и L_D - диффузионные длины акцепторов и доноров соответственно; $D_{p\varepsilon}$ - коэффициент диффузии дырок в эмиттере;

$L_{pэ}$ - диффузионная длина дырок в эмиттере; $D_{nб}$ - коэффициент диффузии электронов в базе.

В формуле (6) $W_{б}$ – ширина базовой области, равная разности глубин залегания коллекторного (h_k) и эмиттерного ($h_э$) p - n -переходов:

$$W_{б} = h_э - h_k \quad ;$$

$L_{nб}$ – диффузионная длина электронов в базе; $N_{Dэ}(h_э)$ – концентрация донорной примеси у эмиттерного перехода; $N_{Dк}$ - концентрация донорной примеси у коллекторного перехода. (Обычно $h_k = 1...3$ мкм, $h_э = 0,5...2,5$ мкм, $N_{Dэ}(h_э) = 10^{17}...10^{18}$ см⁻³, $N_{Dк} = 5 \cdot 10^{15}... 1 \cdot 10^{17}$ см⁻³).

Диффузионные длины акцепторов и доноров определяются соотношениями

$$L_a = W_{б} / \ln \frac{N_{Dэ}(h_э)}{N_{Dк}} \quad ; \quad (7)$$

$$L_d = h_э / \ln \frac{N_{Dэ}(0)}{N_{Dэ}(h_э)} \quad , \quad (8)$$

где $N_{Dэ}(0)$ - концентрация донорной примеси в эмиттерной области на поверхности (обычно $N_{Dэ}(0) = 2 \cdot 10^{20}... 1 \cdot 10^{21}$ см⁻³). (Данные величины меняются в пределах $L_{nб}, L_{pэ} = 2...50$ мкм). Значения коэффициента диффузии дырок в эмиттере, $D_{pэ}$ составляют 12,0...31,1 см²/с, коэффициента диффузии электронов в базе, $D_{nб}$ 34...35 см²/с.

Коэффициент инжекции γ тем ближе к 1, чем меньше ширина базы и чем больше разница между граничными концентрациями примесей в эмиттерных и базовых слоях. Типичными для БТ являются значения $\gamma = 0,08... 0,997$. Коэффициент переноса χ тем ближе к 1, чем больше диффузионная длина и чем меньше ширина базы. С увеличением диффузионной длины ухудшаются частотные свойства транзисторов, поэтому одной из основных задач усовершенствования биполярных транзисторов является уменьшение ширины

базы.

Важными параметрами БТ являются максимальные обратные напряжения, которые рассчитываются следующим образом:

$$U_{кэ \max} = \frac{2qN_{Дк}W_b^3}{3\varepsilon_{П}\varepsilon_0L_a} - \psi_{ок}, \quad (9)$$

где $U_{кэ \max}$ - обратное напряжение на переходе коллектор-эмиттер, В; $\psi_{ок}$ - контактная разность потенциалов в коллекторном p - n -переходе, В;

$$\psi_{ок} = 2\varphi_T \ln(N_{Дк} / n_i) \quad (10)$$

где φ_T - температурный потенциал, В; $\varphi_T = 0,026$ В; n_i - концентрация носителей в собственном полупроводнике, см^{-3} ;

$$U_{кб \max} = 60 \left(\frac{3 \cdot 10^{20} L_a}{N_{Дк}} \right)^{0,4}; \quad (11)$$

$$U_{эб \max} = 60 \left(\frac{3 \cdot 10^{20} L_D}{N_{Дэ}(h_{э})(1/L_D + 1/L_a)} \right)^{0,4}. \quad (12)$$

Инерционность БТ при быстрых изменениях входных токов обусловлена временем пролета инжектированных носителей через базу $t_{Пр}$, а также перезарядом барьерных емкостей эмиттерного $C_{эб}$ и коллекторного $C_{кб}$ переходов:

$$C_{эб} = S_э \left[\frac{12(\psi_{оэ} + U_{эб})}{q \cdot N_{Дэ}(h_{э})(\varepsilon_{П} \cdot \varepsilon_0)^2 \cdot (1/L_D + 1/L_a)} \right]^{-1/3}; \quad (13)$$

$$\psi_{оэ} = 2\varphi_T \ln \frac{N_{Аэ}(h_{э})}{n_i}, \quad (14)$$

где q - заряд электрона; $\psi_{оэ}$ - контактная разность потенциалов в эмиттере, В; $S_э$ - площадь эмиттера, см^2 ; $S_э = L_э Z_э$; $L_э$ - ширина полоски металлизации, мкм, $L_э =$

6...10 мкм; Z_a - длина полоски металлизации, мкм,

$$Z_3 = 10... 15 \text{ мкм.}$$

$$C_{кб} = S_{б} \left[\frac{12L_a \cdot (\psi_{ок} + U_{кб})}{q \cdot N_{Дк} \cdot (\epsilon_{П} \cdot \epsilon_0)^2} \right]^{-1/3}, \quad (15)$$

где $S_{б}$ - площадь базы, см²; $L_{б}$ - ширина полоски металлизации, мкм, = 7...12 мкм; $Z_{б}$ - длина полоски металлизации, мкм, $Z_{б} = 12...20$ мкм; q - заряд носителей, К, $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл;

$\epsilon_{П}$ - относительная диэлектрическая проницаемость полупроводника ($\epsilon_{П} = 11,7...12$); ϵ_0 - постоянная вакуума,

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-14} \text{ Ф/см.}$$

Время пролета (время рассасывания) заряда неосновных носителей t_p , с рассчитывается по формуле

$$t_p = \frac{L_{нб}^2 \cdot L_{рк} \cdot h_{б}}{2D_{нб} \cdot (h_{б} \cdot L_{рк} / 2 + D_{рк} \cdot L_{нб}^2 / D_{нб})} \cdot \left(1 + \frac{2L_{рк}}{3h_{б}} \right), \quad (16)$$

где $L_{рк}$ - диффузионная длина дырок в коллекторе,

$$L_{рк} = 2... 50 \text{ мкм.}$$

Предельная частота БТ, f_T , может быть рассчитана как

$$f_T = D_{нб} / \left(2\pi \cdot L_a \cdot W_{б} \right). \quad (17)$$

Состояние поверхности n - p -переходов часто описывают характеристическим параметром m . Этот параметр очень удобен для оценки качества эмиттерного перехода, а вместе с тем - уровня собственных шумов, стабильности и надежности БТ.

$$m = 1 / \ln(I_{б1} / I_{б2}), \quad (18)$$

где $I_{б1}$ - ток базы при токе коллектора, $I_{к1}$, мА; $I_{б2}$ - ток базы при токе коллектора $I_{к2}$, мА.

При отсутствии рекомбинации на поверхности в объеме пространственного заряда $m=1$. При наличии рекомбинационных процессов $m=$

1...2. В случае канальной проводимости $m < 4$. При наличии широких каналов $m > 4$. Функциональной характеристикой метода m - параметра для полупроводниковых приборов является вольт-амперная характеристика (ВАХ), крутизна которой в любой точке определяется воздействующими факторами (нагрузкой) и поверхностными дефектами, т. е. информативный параметр m характеризует крутизну функциональной характеристики.

3. Методика выполнения лабораторной работы

В работе используется интегральная микросхема переключателя 101КТ1. Экспериментальный макет для снятия статических характеристик интегрального БТ собран по схеме, приведенной на рис.1. В макете предусмотрены два встроенных источника питания, в каждом из которых для регулировки напряжения есть потенциометры для грубой и точной настройки.

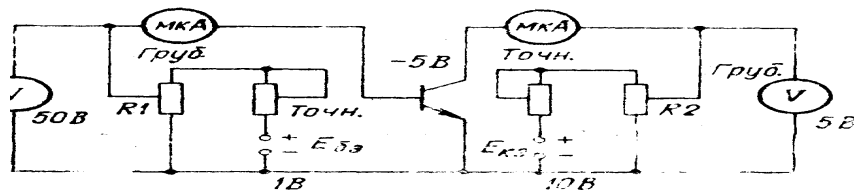


Рис. 1. Схема для снятия статических характеристик БТ

3.1. Порядок выполнения работы

- Потенциометром R_2 установить напряжение $U_{кэ} = 5$ В меньше максимально допустимого по ТУ.
- Потенциометром R_1 установить $U_{бэ} = 0,6$ В, при этом измерить $I_б$ и $I_к$.
- Увеличивая $U_{бэ}$ через 0,02 В, провести измерение токов $I_б$ и $I_к$ до $I_к = 100$ мА.
- Результаты измерений записать в таблицу по форме 1.

Форма 1

$U_{бэ}, В$	$I_к, \mu А$	$I_б, \mu А$	$\ln(I_{б2}/I_{б1})$	m	$\alpha = I_к/I_б$	$\alpha = \gamma \cdot \chi$
1	2	3	4	5	6	7

--	--	--	--	--	--	--

д) По полученным данным построить графики зависимостей $I_k = f(U_{бэ})$ и $I_{бэ} = f(U_{кбэ})$.

По приведенным выше формулам произвести расчеты:

β - коэффициента усиления базового тока, коэффициентов инжекции γ и переноса χ , значения максимальных обратных напряжений $U_{кбэ}$, $U_{эбэ}$, величины барьерных емкостей $C_{кбэ}$, $C_{эбэ}$, определить время рассасывания заряда неосновных носителей t_p и предельную частоту f_T .

Данные записать в таблицу по форме 2.

Форма 2

β	$U_{кбэ}$, В	$U_{эбэ}$, В	$C_{кбэ}$, Ф	$C_{эбэ}$, Ф	t_p , с	f_T , Гц

2. Содержание отчета

- 4.1. Цель и содержание работы.
- 4.2. Схема измерений.
- 4.3. Графики $I_{бэ} = f(U_{бэ})$ и $I_k = f(U_{кбэ})$.
- 4.4. Таблицы результатов измерений и расчетов.
- 4.5. Краткие выводы по работе.

Литература: [3], с.65 ... 70; [4], с.65 ... 70

Работа 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ТОПОЛОГИИ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИМС

1. Цель работы

Изучение конструкции, топологии и электрических параметров полупроводниковых интегральных микросхем (ПИМС), изготовленных на основе биполярных транзисторов.

2. Основные теоретические положения

ПИМС называется схема, элементы которой выполнены в объеме и на поверхности полупроводникового кристалла. Для конструкции ПИМС широко используются подложки из кремния, поскольку они позволяют изготавливать элементы с высокими электрическими параметрами достаточно простыми технологическими методами. Конструкция ПИМС определяется технологией ее изготовления. В настоящее время подавляющее большинство ПИМС выполняется по планарной технологии. Основу этой технологии составляют процессы окисления кремниевых заготовок, литографические процессы на окисленном слое, процессы эпитаксиального наращивания моно- и поликристаллических пленок кремния, а также локальная диффузия или ионная имплантация легирующих примесей в полупроводниковую подложку.

На рис.2 показана структура эпитаксиально-планарного транзистора ПИМС со скрытым n^+ слоем.

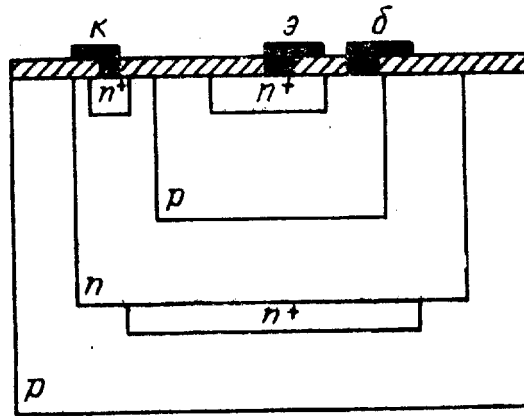


Рис.2. Структура эпитаксиально-планарного транзистора ПИМС со скрытым n^+ слоем

Интегральный биполярный транзистор является важнейшим элементом большинства ПИМС, так как определяет конструкцию, расположение и технологию изготовления остальных элементов. В составе схемы, кроме транзисторов, могут быть диоды, резисторы, конденсаторы. В качестве диодов используются транзисторы в диодном включении, это экономически выгодно и технологически удобно. Резисторы используются двух типов - в эмиттерном и базовом слоях. Как правило, диффузионный резистор создается одновременно с эмиттером или базой транзистора.

Сопротивление квадрата такого резистора составляет величину порядка 200...300 Ом ($R_{\square}=200... 300$ Ом). В современных ПИМС наиболее широко используются диффузионные резисторы в виде прямоугольной полоски и в форме гантели с квадратными концами, в которых сформированы выводы резистора. Конструкция выводов резисторов представляет собой две низкоомные квадратные диффузионные области, сильно легированные примесью одного знака с диффузионным резистивным слоем, которые располагаются с обоих его концов.

Выполнение для выводов специальной дополнительной диффузии необходимо, чтобы получить омические невыпрямляющие контакты с коммутационными алюминиевыми проводниками, напыляемыми вакуумным методом на поверхность полупроводникового кристалла.

Величина сопротивления рассматриваемых диффузионных резисторов вычисляется по формуле

$$R = R_{\square}(l/b + 2K),$$

где R - сопротивление резистора, Ом; R_{\square} - сопротивление квадрата резистивной области, Ом; l - длина диффузионной резистивной области (для прямоугольного резистора l - расстояние между диффузионными областями выводных контактов, для резисторов в форме гантели l - расстояние между квадратными концами гантели); мм; b - ширина диффузионной резистивной области, определяющей номинал резистора; мм; K - коэффициент, учитывающий дополнительное сопротивление резистора, обусловленное конструкцией выводов (для прямоугольного резистора $K = 0,07$; для резистора в форме гантели $K = 0,65$).

Полупроводниковые конденсаторы в полупроводниковых схемах образуются p - n -переходами. Величина емкости такого конденсатора зависит от типа электропроводности полупроводникового материала, площади перехода, характера распределения концентрации примеси, а также от полярности и величины смещения. Эти конденсаторы создаются одновременно с диффузионными областями транзистора.

Другим типом конденсаторов являются диффузионные МОП-конденсаторы, обладающие лучшими характеристиками. Они создаются непосредственно на полупроводниковой пластине с использованием в качестве диэлектрика слоя диоксида кремния. Electroдами служат диффузионный слой или подложка с малым удельным сопротивлением и тонкая пленка алюминия.

К числу параметров, характеризующих компоновку ПИМС, в первую очередь, относится коэффициент заполнения рабочей поверхности полупроводниковой подложки K_s

$$K_s = \frac{\sum_{i=1}^l S_{pi} + \sum_{i=1}^m S_{Ti} + \sum_{i=1}^k S_{Di} + \sum_{i=1}^r S_{ki} + \sum_{i=1}^f S_{Pi} + nS_{\kappa\Pi}}{S}, \quad (19)$$

где S - площадь рабочей поверхности подложки, мм^2 ; S_{pi} - площадь i -го диффузионного резистора, мм^2 ; S_{Ti} - площадь i -го транзистора, мм^2 ; S_{Di} - площадь i -го диода, мм^2 ; $S_{\kappa\Pi}$ - площадь, занимаемая выводной контактной площадкой, предназначенной для присоединения навесного проволочного вывода, мм^2 , S_{ki} - площадь, занимаемая i -м конденсатором, мм^2 ; n - число выводных контактных площадок; $S_{\Pi i}$ - площадь i -го проводника, мм^2 ; l, m, k, r, f - соответственно число резисторов, транзисторов, диодов, конденсаторов и проводников.

Коэффициенты заполнения площади подложки диффузионными резисторами K_{S_p} , транзисторами K_{S_r} , конденсаторами K_{S_κ} , диодами K_{S_D} и пленочными проводниками совместно с контактными площадками $K_{S_{\Pi}}$ определяются как

$$K_{S_p} = \frac{\sum_{i=1}^l S_{pi}}{S}; \quad K_{S_r} = \frac{\sum_{i=1}^m S_{Ti}}{S}; \quad K_{S_\kappa} = \frac{\sum_{i=1}^r S_{ki}}{S}; \quad (20)$$

$$K_{S_D} = \frac{\sum_{i=1}^k S_{Di}}{S};$$

$$K_{S_{\kappa\Pi}} = \frac{\sum_{i=1}^f S_{\Pi i} + nS_{\kappa\Pi}}{S}.$$

Плотность компоновки элементов на уровне кристалла

$$D_{\Pi} = \frac{l + m + K + r}{V_{\Pi}} \quad (21)$$

и на уровне корпуса

$$D_{\kappa} = \frac{l + m + K + r}{V_{\kappa}}, \quad (22)$$

где V_{Π} - объем полупроводникового кристалла (толщину кристалла следует принимать 0,25 мм), мм^3 ; V_{κ} - объем корпуса микросхемы (для корпуса 101 С1-

14 величина $V_{\kappa} = 127 \text{ мм}^3$, для корпусов 401 МС8-1 и 401 МС12-1 $V_{\kappa} = 325 \text{ мм}^3$, для корпуса 301 ПЛ 14-1 $V_{\kappa} = 450 \text{ мм}^3$).

3. Методика выполнения работы

3.1. Изучить элементы конструкции исследуемой ПИМС и установить тип корпуса.

3.2. Определить геометрические размеры активных и пассивных элементов микросхемы, а также выводных контактных площадок.

3.3. Вычертить в масштабе 200: 1 на миллиметровой бумаге эскиз топологии микросхемы.

3.4. Произвести ориентировочный расчет номиналов резисторов.

3.5. Вычислить коэффициенты, согласно формулам (19), (20), (21) и (22).

3.6. Составить по эскизу топологии принципиальную электрическую схему, указать ее назначение и привести основные параметры.

Для выполнения работы используются микроскоп типа МБС-10 с набором объективов и набор ПИМС в корпусах и со снятыми крышками.

4. Содержание отчета

4.1. Описание конструкции исследуемой ПИМС с указанием типа корпуса.

4.2. Эскиз топологии микросхемы, вычерченный карандашом на миллиметровой бумаге в масштабе 200 : 1.

4.3. Расчеты коэффициентов по формулам (19), (20), (21) и (22).

4.4. Рисунок принципиальной схемы с проставленными номиналами резисторов и описанием основных параметров и назначения исследованной интегральной схемы.

4.5. Краткие выводы по работе

Литература: [1], с. 50 ... 54; 109 ... 113.

Работа 3. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ТОПОЛОГИИ ПАССИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИБРИДНЫХ ИМС

1. Цель работы

Изучение конструкции, характеристик элементов и компоновочных характеристик тонкопленочных гибридных ИМС (ГИМС).

2. Основные теоретические положения

Основными элементами ГИМС являются: изоляционная подложка, на которую напыляются пассивные пленочные элементы (резисторы, конденсаторы, коммутационные соединения и т. д.), навесные полупроводниковые кристаллы, выполняющие функции активных элементов (диоды, транзисторы, диодные сборки и т. д.), которые устанавливаются на подложке, и герметичный корпус, обеспечивающий защиту элементов микросхемы от воздействия окружающей среды. Подложки, как правило, выполнены из стекла марок С48-1, С48-3 или ситалла марки СТ 50-1, так как указанные материалы обладают высокими электрофизическими характеристиками.

Тонкопленочные элементы ГИМС изготавливаются путем вакуумного напыления через систему сменных трафаретов. Например, для получения пленочного резистора необходимо вначале через один трафарет напылить резистивный слой, затем через другой - металлический слой с высокой электропроводностью, который является выводами резистора и одновременно служит коммутационными соединениями в микросхеме.

Отличительной особенностью современных технологических процессов изготовления интегральных микросхем являются групповые методы производства, которые предусматривают выполнение за одну технологическую операцию однотипных элементов микросхемы. Поэтому на одну подложку ми-

кросхемы напыляются одновременно все резисторы. Поскольку материал и толщины пленочных резисторов будут в этом случае одинаковы, то заданную величину сопротивления каждого резистора обеспечивают разной конфигурацией отрезков резистивного слоя. В связи с этим, определив сопротивление квадрата резистивной пленки и установив ее геометрические размеры, можно для прямоугольного резистора вычислить его номинал по следующим формулам:

$$R = R_{\square} n; \quad R_{\square} = \rho/h; \quad n = l/b,$$

где R - величина сопротивления резистора; Ом; R_{\square} - сопротивление квадрата резистивной пленки, Ом; n - число квадратов, составляющих резистивную пленку; l - длина резистивной пленки между контактными площадками, мм; b - ширина резистивной пленки, мм; ρ - удельное сопротивление резистивного материала, Ом · мм; h - толщина резистивной пленки, мм.

Если резистор имеет форму меандра, то его номинал вычисляется как сумма сопротивлений прямоугольных участков и сопротивлений изгибов:

$$R = \sum_1^m R_i + \sum_1^k R_j; \quad R_i = R_{\square} \cdot n; \quad R_j = 2,55 \cdot R_{\square},$$

где R_i - сопротивление прямоугольного участка резистора, Ом; R_j - сопротивление участка загиба, равного по площади трем квадратам, Ом; m - число прямоугольных участков резистора; k - число участков загибов.

Для изготовления тонкопленочных конденсаторов на подложку необходимо нанести три слоя: первый проводящий (нижние обкладки конденсатора), диэлектрический (диэлектрик конденсатора) и второй проводящий (верхние обкладки конденсатора). Нижние обкладки, как правило, напыляются одновременно с контактами пленочных резисторов и коммутационными соединениями в микросхеме. Таким образом, для изготовления микросхемы, содержащей тонкопленочные конденсаторы и сопротивления, достаточно последовательно нанести на подложку через разные трафареты четыре пленки: резистивную, первую проводящую (нижние обкладки конден-

саторов, контакты резисторов, коммутационные соединения), диэлектрическую и вторую проводящую (верхние обкладки конденсаторов).

Для защиты пленочных элементов от воздействия окружающей среды в процессе изготовления микросхемы часто напыляют дополнительный слой, представляющий собой пленку диэлектрика, которая покрывает все элементы микросхемы за исключением контактных площадок, предназначенных для установки навесных микродеталей и присоединения выводов от корпуса микросхемы.

Аналогично резисторам материал и толщина слоев тонкопленочных конденсаторов в одной микросхеме, как правило, одинаковы. Поэтому отличие конденсаторов друг от друга по емкости обусловлено только размерами верхних обкладок

$$C = S_B \cdot C_0; C_0 = 0,0885 \cdot \varepsilon / d,$$

где C - емкость конденсатора, пФ; S_B - площадь верхней обкладки, мм²; C_0 - удельная емкость конденсатора в микросхеме, пФ/мм²; ε - диэлектрическая проницаемость пленки диэлектрика; d - толщина пленки диэлектрика, мм.

Одной из важнейших характеристик ГИМС является коэффициент заполнения подложки по площади. Он определяется как отношение рабочей площади элементов к общей площади подложки:

$$K_S = \frac{\sum_1^n S_{R_i} + \sum_1^m S_{C_i} + \sum_1^k S_{L_i} + \sum_1^l S_{A_i} + N \cdot S_K + \sum_1^f S_{\Pi_i}}{S}, \quad (23)$$

где K_S - коэффициент заполнения подложки по площади; S_{R_i} - площадь резистивного i -го элемента, мм²; S_{C_i} - площадь емкостного i -го элемента, мм²; S - рабочая площадь подложки, мм²; S_{L_i} - площадь индуктивного i -го элемента, мм²; S_{A_i} - площадь поверхности, соприкасающейся с подложкой навесного i -го активного элемента, мм²; N - число контактных площадок для присоединения выводов корпуса и навесных микроэлементов; S_K - площадь одной контактной площадки (представляет квадрат с размером стороны не менее 500 мкм); мм²; f

- число пленочных проводников; S_{Π} - площадь i -го пленочного проводника, мм^2 ;
 n, m, k, l - соответственно число пленочных резисторов, конденсаторов,
 индуктивностей и навесных элементов в микросхеме.

Частные коэффициенты заполнения площади подложки пленочными резисторами K_{S_R} , конденсаторами K_{S_C} , индуктивностями K_{S_L} , навесными активными элементами K_{S_A} , пленочными проводниками и контактными площадками $K_{S_{\Pi\kappa}}$ рассчитываются по формулам

$$\left. \begin{aligned} K_{S_R} &= \frac{\sum_1^n S_{R_i}}{S}; & K_{S_C} &= \frac{\sum_1^m S_{C_i}}{S}; & K_{S_L} &= \frac{\sum_1^k S_{L_i}}{S}; \\ K_{S_A} &= \frac{\sum_1^l S_{A_i}}{S}; & K_{S_{\Pi\kappa}} &= \frac{\sum_1^f S_{\Pi_i} + NS_{\kappa}}{S}. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Важными компоновочными параметрами являются количество пленочных, приходящихся на единицу площади подложки

$$F = \frac{n + m + k + l}{S}, \quad (25)$$

и количество навесных активных элементов, приходящихся на единицу площади подложки

$$F_A = l / S, \quad (26)$$

3. Методика выполнения работы

3.1. Изучить конструкцию и топологию элементов ГИМС, которые исследуются.

3.2. Вычертить на миллиметровой бумаге эскиз общей топологии каждой рассматриваемой микросхемы (масштаб 20 : 1).

3.3. С помощью эталонной сетки в окуляре микроскопа произвести измерение геометрических размеров всех подложек, резисторов и конденсаторов.

3.4. На основании проведенных измерений, воспользовавшись заданными величинами R и C_o , вычислить номиналы резисторов и конденсаторов.

3.5. Определить тип ИМС и нарисовать ее принципиальную электрическую схему.

3.6. Вычислить коэффициенты по формулам (23), (24), (25), и (26).

3.7. Установить тип корпуса микросхемы, содержащей бескорпусные полупроводниковые приборы.

Для выполнения работы используются микроскоп МСБ-10 и набор ГИМС в корпусах и со снятыми крышками корпуса.

4. Содержание отчета

4.1. Описание конструкции и электрических параметров пленочных элементов и навесных компонентов всех исследованных ГИМС.

4.2. Эскизы общей топологии системы пленок, нанесенных на каждую подложку в масштабе 20: 1.

4.3. Эскизы топологии всех напыленных слоев (масштаб 20:1).

4.4. Расчет номиналов каждого резистора и каждого конденсатора.

4.5. Расчеты коэффициентов по формулам (23), (24), (25), (26).

4.6. Описание конструкции и указание типа рассматриваемого защитного корпуса ГИМС.

4.7. Принципиальная электрическая схема ГИМС.

4.8. Эскиз защитного корпуса с подложкой микросхемы с обозначением номеров выводов, выполненный в масштабе 20: 1 (вид со стороны снятой крышки).

4.9. Краткие выводы по работе.

Литература: [I], с. 42 ... 50, 113 ... 117.

Содержание

Общие указания к выполнению лабораторных работ	3
Библиографический список	4
Работа 1. Исследование работы интегрального биполярного транзистора в микрорежиме и определение его параметров .	4
Работа 2. Исследование структуры и топологии активных элементов полупроводниковых ИМС	11
Работа 3. Исследование структуры и топологии пассивных элементов гибридных ИМС	16

Редактор И.Н. Садчикова

Сводный темплан 2004 г.

Лицензия ЛР № 020308 от 14.02.97

Санитарно-эпидемиологическое заключение №78.01.07.953.П.

005641.11.03 от 21.11.2003 г.

Подписано в печать 2004. Формат 60x84 1/16.

Б. кн.-журн. П.л. .Б.л. .РТП РИО СЗТУ

Тираж 100. Заказ .

**Северо-Западный государственный заочный технический
университет**

РИО СЗТУ, член Издательско-полиграфической ассоциации вузов
России

191186 Санкт-Петербург, ул. Миллионная, д. 5