ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXIX, № 1, 1976 Серия технических наук

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

В. Г. АРУСТАМЯН

МНОГОКОЛЛЕКТОРНАЯ ПЛАНАРНАЯ ТРАНЗИСТОРНАЯ СТРУКТУРА

Структура многоколлекторного (МК) транзистора предложена в [1]. Однако из-за боковой передачи носителей она имеет существенные недостатки. Плоскопараллельность эмиттерных и коллекторных переходов, а также ширина активной области базы в процессе диффузии управляются плохо, в результате этого коэффициенты передачи и абсолютные значения токов получаются малыми, частота переключения — низкой, а коллекторы — неидентичными.

В другой известной структуре МК-транзистора [2] некоторые из указанных выше недостатков устранены, однако проблема идентичности коллекторов не решена, и, к тому же, вся подложка (пластина) является базовой областью, что делает структуру непригодной для реализации на ее основе монолитных интегральных схем (ИС).

В настоящей работе предложена новая структура МК-транзистора, лишенная вышеперечисленных недостатков, и дана статическая теория предложенной структуры.

На рис. 1 показана последовательность реализации структуры для случая четырех коллекторов (*а*—в плане, *б*—в разрезе) по планарной технологии с диэлектрической изоляцией.

На окисном слое поверхности прямоугольной формы (или любой другой, обладающей симметрией) диэлектрически изолированной области монокристаллического полупроводника открывается крестообразное окно *1* для проведения диффузии примесью с противополож-

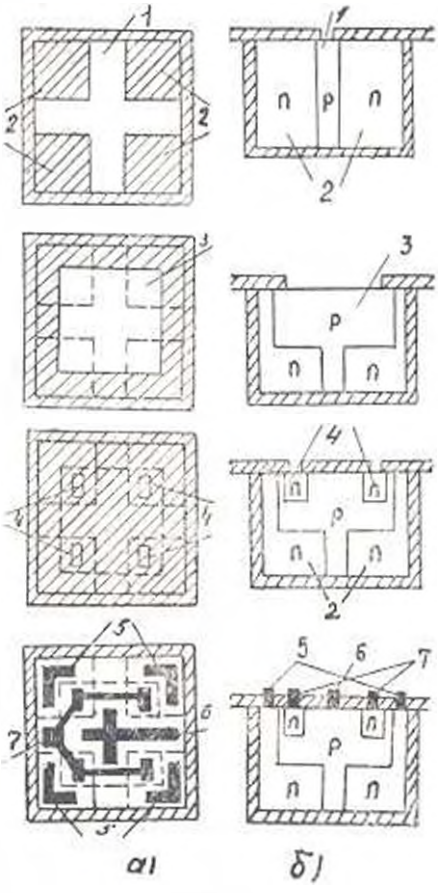

Рис. 1

ным типом проводимости. Диффузия проводится до полного разделения области на четыре идентичные (коллекторные) подобласти 2. Затем на окисном слое поверхности открывается окно прямоугольной формы 3 для проведения диффузии под базу, общую для всех коллекторов. Для обеспечения большого коэффициента передачи тока, высокой частоты переключения и идентичности коллекторов необходимо, чтобы каждый коллектор имел собственный противолежащий эмиттер и его площадь полностью покрывала бы площадь соответствующего эмиттера. С этой целью на окисном слое участков 3 открываются четыре идентичных окна 4 для проведения диффузии под эмиттеры.

Как видно из рис. 1, *б*, в процессе передачи тока эмиттера для каждого коллектора основную роль играет собственный эмиттер. При металлизации все эмиттеры объединяются и выводятся как один эмиттер, общий для всех коллекторов.

Как известно, глубина диффузии в процессе изготовления полупроводниковых структур по планарной технологии хорошо управляема [3]. В этом плане предлагаемая структура МК-транзистора не отличается от одноколлекторной планарной структуры, а по параметрам приближается к ней. В этом и заключается преимущество предложенной структуры по сравнению с известными.

Анализ процессов, происходящих в МК-структуре, требует точного решения уравнения непрерывности для многомерного случая. Однако сложные краевые и начальные условия чрезвычайно затрудняют задачу, поэтому для начального исследования структуры целесообразно использовать модифицированную систему уравнений Эберса-Молла для многопереходной структуры [4]. Правомочность такого подхода вытекает из особенности структуры, в которой каждая пара эмиттер-коллектор практически сохраняет конфигурацию одноколлекторной структуры, а влиянием других пар эмиттеров в первом приближении можно пренебречь. Во избежание громоздкости получаемых выражений, но в то же время не нарушая общности выводов, рассмотрим структуру с двумя коллекторами. Система уравнений полных токов эмиттера и коллекторов при включении структуры по схеме с общей базой имеет вид

$$\begin{bmatrix} i_э \\ i_{к1} \\ i_{к2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11}, & -A_{12}, & -A_{13} \\ -A_{21}, & A_{22}, & -A_{23} \\ -A_{31}, & -A_{32}, & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{U_э/\varphi_T} - 1 \\ e^{U_{к1}/\varphi_T} - 1 \\ e^{U_{к2}/\varphi_T} - 1 \end{bmatrix}, \qquad (1)$$

где $i_э$, $i_{к1}$, $i_{к2}$ — токи эмиттера, первого и второго коллекторов, соответственно; $\varphi_T = \dfrac{kT}{q}$ — тепловой потенциал; $U_э$, $U_{к1}$, $U_{к2}$ — напряжения эмиттера, первого и второго коллекторов, соответственно.

Из системы (1) следует, что для полного описания работы структуры необходимо знание девяти элементов матрицы A_{ij}, которые непосредственно не могут быть измерены, т. е. их нужно выразить через

такие параметры структуры, которые могут быть измерены. В качестве подобных могут служить следующие параметры:

1. Раздельные нормальные коэффициенты передачи тока эмиттера по первому и второму коллекторам:

$$\alpha_{N1} = -\left.\frac{i_{к1}}{i_э}\right|_{\substack{U_{к1}=0\\U_{к2}=0}} = \frac{A_{21}}{A_{11}}; \qquad \alpha_{N2} = -\left.\frac{i_{к2}}{i_э}\right|_{\substack{U_{к1}=0\\U_{к2}=0}} = \frac{A_{23}}{A_{11}}. \tag{2}$$

2. Раздельные инверсные коэффициенты передачи тока эмиттера по первому и второму коллекторам:

$$\alpha_{I1} = -\left.\frac{i_э}{i_{к1}}\right|_{\substack{U_э=0\\U_{к2}=0}} = \frac{A_{12}}{A_{22}}; \qquad \alpha_{I2} = -\left.\frac{i_э}{i_{к2}}\right|_{\substack{U_э=0\\U_{к1}=0}} = \frac{A_{13}}{A_{33}}. \tag{3}$$

3. Нормальный и инверсный коэффициенты передачи тока между коллекторами:

$$\alpha_{кN} = -\left.\frac{i_{к1}}{i_{к2}}\right|_{\substack{U_э=0\\U_{к1}=0}} = \frac{A_{23}}{A_{33}}; \qquad \alpha_{кI} = -\left.\frac{i_{к2}}{i_{к1}}\right|_{\substack{U_э=0\\U_{к2}=0}} = \frac{A_{32}}{A_{22}}. \tag{4}$$

4. Тепловой ток эмиттерного перехода $I_{э0}$ при отключенных коллекторах и при достаточно большом обратном напряжении эмиттерного перехода, т. е. $i_{к1}=i_{к2}=0$; $e^{U_э/\varphi_T} \ll 1$.

Эти условия позволяют из системы уравнений (1) вывести соотношение

$$I_{э0} = -A_{11} - \frac{A_{12}(A_{21}A_{33} - A_{23}A_{31}) + A_{13}(A_{21}A_{32} - A_{22}A_{31})}{A_{33}A_{22} - A_{23}A_{32}}. \tag{5}$$

5. Тепловые токи коллекторных переходов $I_{к10}$ и $I_{к20}$ при отключенном эмиттере и при достаточно больших обратных напряжениях коллекторных переходов, т. е. $i_э=0$; $e^{U_{к1}/\varphi_T} \ll 1$; $e^{U_{к2}/\varphi_T} \ll 1$.

Эти условия позволяют из системы уравнений (1) вывести соотношения:

$$\left.\begin{aligned} I_{к10} &= \frac{A_{21}A_{12} + A_{21}A_{13}}{A_{11}} - A_{12} + A_{21}; \\ I_{к20} &= \frac{A_{12}A_{31} + A_{13}A_{21}}{A_{11}} + A_{32} - A_{23}. \end{aligned}\right| \tag{6}$$

Определяемые выражениями (2) — (6) девять параметров могут быть измерены на четырех выводах двухколлекторного транзистора, и поскольку эти уравнения составляют полную систему, то она может быть решена относительно коэффициентов A_{ij}.

$$A_{11}=\frac{1}{\gamma_1}(1+\alpha_{kN}\alpha_{k1})I_{e0};$$

$$A_{12}=\frac{\alpha_{f1}}{\gamma_2}|(1-\alpha_{N2}\alpha_{f2})I_{k10}+(\alpha_{kN}+\alpha_{N1}\alpha_{f2})I_{k20}|;$$

$$A_{13}=\frac{\alpha_{f2}}{\gamma_3}|(\alpha_{k1}+\alpha_{N2}\alpha_{f1})I_{k10}+(1-\alpha_{N1}\alpha_{f1})I_{k20}|;$$

$$A_{21}=\frac{\alpha_{N1}}{\gamma_1}(1+\alpha_{kN}\alpha_{k1})I_{e0};$$

$$A_{22}=\frac{1}{\gamma_2}|(1-\alpha_{N2}\alpha_{f2})I_{k10}+(\alpha_{kN}+\alpha_{N1}\alpha_{f2})I_{k20}|;$$

$$A_{23}=\frac{\alpha_{kN}}{\gamma_3}|(\alpha_{N2}\alpha_{f1}+\alpha_{k1})I_{k10}+(1-\alpha_{N1}\alpha_{f1})I_{k20}|;$$

$$A_{31}=\frac{\alpha_{N2}}{\gamma_1}(1+\alpha_{kN}\alpha_{k1})I_{e0};$$

$$A_{32}=\frac{\alpha_{k1}}{\gamma_2}|(1-\alpha_{N2}\alpha_{f2})I_{k10}+(\alpha_{kN}+\alpha_{N1}\alpha_{f2})I_{k20}|;$$

$$A_{33}=\frac{1}{\gamma_3}|(\alpha_{N2}\alpha_{f1}+\alpha_{k1})I_{k10}+(1-\alpha_{N1}\alpha_{f1})I_{k20}|,$$

где

$$\gamma_1=-|1-(\alpha_{N1}\alpha_{f1}+\alpha_{N1}\alpha_{f2}\alpha_{k1}+\alpha_{N2}\alpha_{f2}+\alpha_{N2}\alpha_{f1}\alpha_{kN}-\alpha_{kN}\alpha_{k1})|;$$

$$\gamma_2=-|(1-\alpha_{N1}\alpha_{f1})(1-\alpha_{N2}\alpha_{f2})-(\alpha_{N2}\alpha_{f1}+\alpha_{k1})(\alpha_{N1}\alpha_{f2}+\alpha_{kN})|.$$

Подставляя значения коэффициентов A_{ij} в систему уравнений (11, получаем модель двухколлекторного транзистора в виде:

$$\begin{bmatrix} i_3 \\ i_{k1} \\ i_{k2} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 1 & -\alpha_{f1} & -\alpha_{f2} \\ -\alpha_{N1} & 1 & -\alpha_{kN} \\ -\alpha_{N2} & -\alpha_{k1} & 1 \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix} i_e \\ i'_{k1} \\ i'_{k2} \end{bmatrix}, \tag{7}$$

где

$$i_e=A_{11}(e^{U_{e1}/\varphi_T}-1);\quad i'_{k1}=A_{22}(e^{U_{k1}/\varphi_T}-1);\quad i'_{k2}=A_{33}(e^{U_{k2}/\varphi_T}-1).$$

Модель позволяет написать все вольтамперные характеристики и построить эквивалентную схему двухколлекторного транзистора для случая включения его по схеме с общей базой.

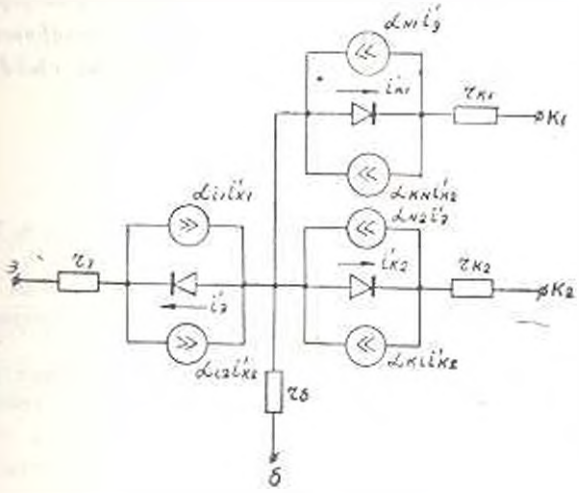

Рис. 2

Схема приведена на рис. 2, где $r_э$, $r_б$, $r_{к1}$ и $r_{к2}$ — объемные сопротивления областей эмиттера, базы и коллекторов, соответственно.

Из соотношения (7) следует, что ток одного коллектора является функцией напряжения (или тока) другого коллектора.

Это явление дает возможность управлять током коллектора при помощи еще одного (или многих — для МК-структур) дополнительного электрода-коллектора в транзисторе, что открывает широкие схемотехнические перспективы перед МК-транзисторами.

Кроме того, объединением коллекторов можно увеличить допустимый ток МК-транзистора и тем самым использовать его в силовых устройствах.

При наличии в структуре только одного коллектора $\alpha_{кN} = \alpha_{к1} = 0$; $\alpha_{N2} = 0$; $\alpha_{i2} = 0$; $I_{к20} = 0$ и тогда $A_{13} = A_{23} = A_{32} = A_{33} = 0$, а выражение (7) и эквивалентная схема рис. 2 сводятся к известным выражениям и эквивалентной схемы одноколлекторной структуры [5].

В заключение отметим, что случай включения МК-транзистора по схеме с общим эмиттером анализируется аналогичным образом.

ЕрНИИММ

Поступило 12.XI.1974

Վ. Ե. ԱՌՈՒՍՏԱՄՅԱՆ

ԲԱԶՄԱԿՈԼԵԿՏՈՐԱՅԻՆ ՊԼԱՆԱՐ ՏՐԱՆԶԻՍՏՈՐԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔ

Ամփոփում

Հոդվածում առաջարկվում է բազմակոլեկտորային պլանար տրանզիստորի նոր կառուցվածք, որն ըստ արագագործության, ուժեղացման գործակ-

ցի և կոլեկտորների միատեսակության գերազանցում է։ Հայտնի կառուցվածք-ների և հնարավորություն է ընձեռում այն օգտագործել ինտեգրալ սխեմաներում։ Բերված է բազմակոլեկտորային տրանզիստորի նախնական տեսությունը և կառուցված է նրա մոդելն ու համարժեք սխեման։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Lin H. C.* IEEE Journal of Solid-State Sircuits. vol. SC—4, № 1, T—12, p.p. 20—21, Feb. 1969.
2. Известия вузов. Радиоэлектроника. Том XIV, № 11, 1971, стр. 1321.
3. Основы технологии кремниевых ИС. Окисление, диффузия, эпитаксия. Пер. с англ. под редакцией Р. Бургера, «Мир», 1969.
4. Анализ и расчет интегральных схем. Пер. с англ. ч. I. Изд. «Мир» 1969.
5. *Агаханян Т. М.* Электронные ключи и нелинейные импульсные усилители. Изд. «Сов. Радио», 1966.