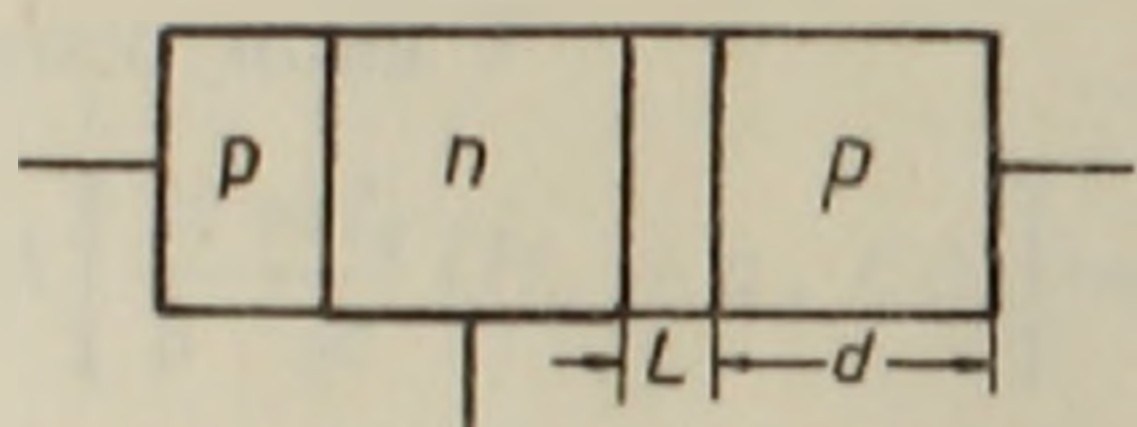


Г. М. Авакьянц, чл.-корр. АН Армянской ССР, Ю. А. Абрамян,
 И. Р. Альтман и Ц. М. Альтман

Вольтамперная характеристика дрейфового транзистора (Р-П-Р)

(Представлено 12/XII 1966)

В дрейфовых транзисторах, в отличие от сплавных, при малых напряжениях на коллекторном переходе (единицы вольт) и больших токах ~ 10 ков. а/см² наблюдается зависимость выходного тока от величины напряжения коллектор—база. В этой же области напряжений



Фиг. 1. Схематическое изображение структуры дрейфового транзистора.

в транзисторе наблюдается избыточное накопление заряда, ухудшающее его импульсные характеристики.

Обычно такое поведение транзисторов связывается с режимом насыщения, характеризующимся инверсионным смещением коллекторного перехода.

Для реального случая транзисторов, выпускаемых промышленностью с $N_a \sim 10^{14}$ см⁻³ в исходном материале можно показать, что режим насыщения не является единственной возможностью, приводящей к наблюдаемой выходной вольтамперной характеристике.

Рассмотрим диффузионную структуру, представленную на фиг. 1. Будем считать коллекторный переход плавным, имеющим ширину L (в дальнейшем не учитываем изменения L с напряжением и для простоты берем среднюю напряженность поля в области объемного заряда $\frac{V_k}{L} = E'$). Ширину толщи коллектора обозначим через d . В общем случае дырочный ток через коллекторный переход запишется в виде:

$$j_{kp} = q e \mu_p(E') \frac{V_k}{L}, \quad (1)$$

где $\mu_p(E') = \mu_p\left(\frac{V_k}{L}\right)$ учитывает зависимость μ от E .

Рекомбинацией и диффузией в области перехода пренебрегаем. Уравнения, описывающие распределения поля и концентрации избыточных носителей в толще коллектора, запишутся в виде:

$$j_p = e\mu_p pE - eD_p \frac{dp}{dx}$$

$$j_n = e\mu_n nE + eD_n \frac{dn}{dx}$$

$$E = \frac{j}{e\mu_n n + e\mu_p p} - \frac{D_n \frac{dn}{dx} - D_p \frac{dp}{dx}}{\mu_n n + \mu_p p} \quad (2)$$

Условие нейтральности толщи коллектора:

$$n - p + N_a = 0.$$

Из (2) имеем:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 n}{dx^2} + \frac{jN_a}{eD_p [(b+1)n + N_a] [2n + N_a]} \cdot \frac{dn}{dx} - \\ - \frac{(b-1)N_a}{[(b+1)n + N_a] (2n + N_a)} \cdot \frac{d^2 n}{dx^2} - \frac{n - n_p}{L_n^2} = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Мы ставим целью выяснить поведение толщи коллектора при разных токах и напряжениях V_k . Для этого введем упрощающее

предположение о том, что $b = \frac{\mu_n}{\mu_p} = 1$. По-видимому, вклад в паде-

ние напряжения на толще в реальном случае будет еще меньше, поскольку $b > 1$. Уравнение (3) с учетом $b = 1$ сведется к

$$\frac{d^2 n}{dx^2} + \frac{jN_a}{eD_p (2n + N_a)^2} \frac{dn}{dx} = 0. \quad (4)$$

(считаем, что L_n -диффузионная длина неравновесных носителей в P -область. $\gg d$ и рекомбинацией пренебрегаем).

Решением (4) с граничным условием (1) и $n(a) = n_p$ (омический тыловой контакт) является выражение:

$$n - \frac{2jN_a}{eD_p 8C} \ln \left[\frac{2jN_a}{eD_p} + 4N_a C + 8nC \right] = Cx + B, \quad (5)$$

где

$$B = \frac{j}{e\mu_p \left[\frac{V_k}{L} \right] \frac{V_k}{L}} - \frac{jN_a}{4eD_p C} \ln \left[\frac{2jN_a}{eD_p} + 4N_a C + \frac{8j}{e\mu_p \left[\frac{V_k}{L} \right] \frac{V_k}{L}} \right]. \quad (6)$$

Численные оценки показывают, что в (5) в широком диапазоне токов ($10 \text{ а/см}^2 < j < 500 \text{ а/см}^2$) и $N_a \approx 10^{14} \text{ см}^{-3}$, можно пренебречь величиной n в (5) и считать под знаком логарифма $C = \text{const}$, независимой от тока. Численные расчеты показывают, что в указанном интервале токов „ C “ изменяется от $5 \cdot 10^{17}$ — $5 \cdot 10^{18}$.

Исходя из этого и воспользовавшись граничным условием при $x = d$, из (5) можно найти при $n(0) \sim N_a$

$$C = -\left(\frac{j}{6eD_p} + \frac{N_a}{d}\right).$$

Из (5), с учетом оценок, можно получить выражение для плотности электронов в толще коллектора

$$\frac{\frac{2jN_a}{eD_p} + 4N_aC + 8NC}{\frac{2jN_a}{eD_p} + 4N_aC + \frac{8j}{e\mu_p \left[\frac{V_k}{L} \right] \frac{V_k}{L}}} = e^{-\frac{4C^2eD_p}{jN_a}x}. \quad (6)$$

Для поля в толще коллектора имеем:

$$E = \frac{j}{e\mu_n(2n + N_a)}. \quad (7)$$

Из (7) с учетом (6) можно найти падение напряжения в толще коллектора:

$$V = -\int_0^d Edx = -\frac{j}{e\mu_p \alpha^0 (N_a + 2A)} \{-\alpha^0 d - \ln |2(Be^{-\alpha^0 x} + A) + N_a|\}, \quad (8)$$

$$\alpha^0 = \frac{4C^2eD_p}{jN_a},$$

$$B = \frac{1}{8C} \left(\frac{2jN_a}{eD_p} + 4N_aC + \frac{8Cj}{e\mu_p \left[\frac{V_k}{L} \right] \frac{V_k}{L}} C \right), \quad (9)$$

$$A = -\frac{1}{8C} \left(\frac{2jN_a}{eD_p} + 4N_aC \right),$$

$$C = -\left(\frac{j}{6eD_p} + \frac{N_a}{d}\right).$$

Из (8) при

$$N_a > \frac{j}{e\mu_p \left[\frac{V_k}{L} \right] \frac{V_k}{L}}, \quad (10)$$

следует, что

$$V = \frac{jd}{e\mu_p N_a}. \quad (11)$$

При условии, что (10) не соблюдается, из (8) следует:

$$V = \frac{j}{e\mu_p \alpha (N_a + 2A)} \left(-\alpha d - \ln \frac{N_a}{N_a + n(0)} \right) \approx$$

$$\approx \frac{j d}{6e\mu_p N_a} + \frac{3}{2} \frac{kT}{e} \ln \left| \left(\frac{2,5 - \frac{n(0)}{N_a}}{\frac{n(0)}{N_a} - 1} \right) \right|. \quad (12)$$

Из (12) ясно видно, что падение напряжения при $n(0) \lesssim N_a$ меньше, чем омическое, и вольтамперная характеристика толщи подчиняется закону

$$j \sim V. \quad (13)$$

Из (12) и (11) следует, что переход от высокого уровня инжекции ($n(0) > N_a$) к низкому ($N_a > n(0)$) сменяется переходом в падении напряжения на толще коллектора от $\frac{1}{6}$ части до чисто омического, обусловленного проводимостью исходного материала. Следовательно, с ростом напряжения на коллекторном переходе ослабляется модуляция толщи коллектора, что приводит к росту напряжения на ней.

Из (6) и (7) можно получить следующее значение тока электронов на границе толщи и объемного заряда коллектора

$$j_n = \frac{j^2}{e\mu_p \left[\frac{V_k}{L} \right] \frac{V_k}{L} [2n(0) + N_a]} - eD_n \left\{ \frac{jN_a}{eD_n (4N_a + 8n(0))} + C \right\}. \quad (14)$$

Из (14) при $N_a \sim n(0)$ следует, что существует добавочная утечка электронов в толщу коллектора, убывающая с ростом напряжения на коллекторном переходе.

В случае же малых токов ($n(0) < N_a$) точное решение (3) дает для электронной утечки выражение

$$j_n = \frac{j^2}{e\mu_n N_a \frac{V_k}{L}}, \quad (15)$$

где μ_n зависит от E .

В ы в о д ы. Модуляция толщи коллектора может являться одной из причин аномального поведения выходной вольтамперной характеристики дрейфовых транзисторов, поскольку наличие зависящей от напряжения электронной утечки тока в базу из толщи коллектора приводит к зависимости α (коэффициент усиления по току) от напряжения.

Из расчетов ясно, что с ростом выходного напряжения утечка ослабляется. При условии $\mu E = \text{const}$ наблюдается независимость утечки от напряжения и выход транзистора в активный режим.

Գ. Մ. ԱՎԱԳՅԱՆՑ, Հայկական ՍՍՀ ԳԱ քզրակից-անդամ, Ֆու. Ա. ԱՐՐԱՀԱՄՅԱՆ,
Ի. Ռ. ԱՆՏՄԱՆ և Ց. Մ. ԱՆՏՄԱՆ

Դրեյֆոդ տրանզիտորների վոլտ-ամպերային բնութագիրը

Աշխատանքում նախած են դրեյֆային տրանզիտորի վոլտ-ամպերային բնութագրի անոմալ վարքագիծը: Ցույց է տրված, որ կոլեկտորային հաստությունը կարող է առաջին վարքագծի պատճառներից մեկը հանդիսանալ:

Հավելային հոսանքը բաղադրում ընկնում է կլբային ելման աճի հետ: Տրանզիտորի կլբը ահաիվ սեփմում որոշվում է $\mu E = \text{const}$ պայմանից: