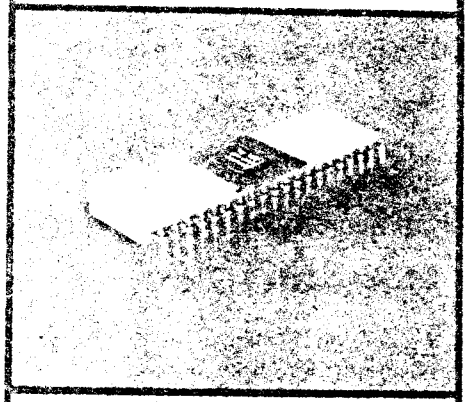
STRESZCZENIA KOMUNIKATÓW

V Naukowe Konferencje Techniczne

TORUŃ, 6–7 MAJA 1976 R.

Stowarzyszenie Elektryków Polskich
Oddział Warszawski Elektroniki i Telekomunikacji
SEKCJA ELEKTRONIKI



CENTRALNY OŚRODEK SZKOLENIA I WYDAWNICTW Stowarzyszenia Elektryków Polskich

Bogdan Wilamowski
Dariusz Lewandowski
Instytut Technologii Elektronicznej Politechniki Gdańskiej

Sposób uwzględniania efektu Earlego w modelach tranzystorów.

Metodę modelowania efektu Earlego [1] w modelach tranzystorów do komputerowego projektowania układów zaproponowali Lindholm i Hamiton [2] . Wprowadzili oni pojęcie "napięcia Earlego" V_A uzależniając wzmocnienie prądowe tranzystora β od napięcia kolektor-emiter V_{CE}

$$\beta = \beta_o \left(1 + \frac{V_{CE}}{V_A}\right) \qquad (1)$$

Inną zależność podał White [3] zaś Vander Ziel [4] próbował wykazać, że napięcie Earlego nie zależy od prądów tranzystora.

Zaproponowany sposób zamodelowania efektu Earlego w tranzystorze jest niesłuszny, nie uwzględniony jest bowiem istotny wpływ napięcia kolektor baza na charakterystyki wejściowe tranzystora. Dla poprawnego opisu tego efektu należy zarówno współczynnik wzmocnienia β jak i współczynnik a_{21} uzależnić od napięcia kolektor - emiter.

$$a_{21} = a_{210} \cdot \left(1 + a \cdot \Delta V_{CE}\right) \qquad (2)$$

$$\beta = \beta_o \cdot \left(1 + b \cdot \Delta V_{CE}\right) \qquad (3)$$

gdzie:

$$a \overset{def}{=} \frac{\frac{dJ_c}{dV_{CE}}}{I_c} \Big/ V_{EB} = const \qquad (4)$$

$$b \overset{def}{=} \frac{\frac{dI_c}{dV_{CE}}}{I_c} \Big/ I_B = const. \qquad (5)$$

Przy przyjęciu, że napięcie kolektora wpływa na zmianę szerokości bazy i zmianę efektywnego ładunku domieszek w bazie, można określić wzajemne relacje między współczynnikami a i b dla różnych typów tranzystorów w zakresie małych i średnich prądów kolektora.

$$b = \beta \left(\frac{1}{\beta_R} + \frac{1}{\beta_w} + \frac{2}{K_E \beta_r}\right) a \qquad (6)$$

gdzie:

$$K_E = \frac{1}{\beta} = \frac{1}{\beta_r} + \frac{1}{\beta_w} + \frac{1}{\beta_B} \qquad S_{W_B}^{Q_B} = \frac{dQ_B}{dW_B} \frac{W_B}{Q_B}$$

Dla tranzystorów z jednorodną bazą $K_E = 1$ zaś dla tranzystorów wykonanych metodą podwójnej dyfuzji $K_E \ll 1$.

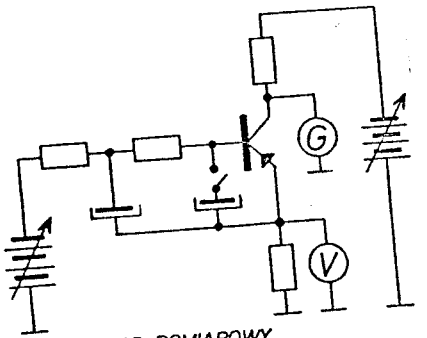
Metoda pomiaru współczynników a i b wynika z zależności (4); (5). Pomiar wartości współczynnika a w funkcji częstotliwości /rys. 1/ wykazał znaczny wzrost tego współczynnika dla małych częstotliwości i dużych prądów kolektora /rys. 2/. Wynika to z istnienia wewnętrznego sprzężenia termicznego. Wzrost napięcia kolektora powoduje kolejno wzrost wydzielonej mocy, wzrost temperatury złącza i zmianę charakterystyk wejściowych tranzystora.

Współczynnik a można

$$a = a_o + K_E I_c \ln\left(\frac{f_o}{f}\right) \qquad (7)$$

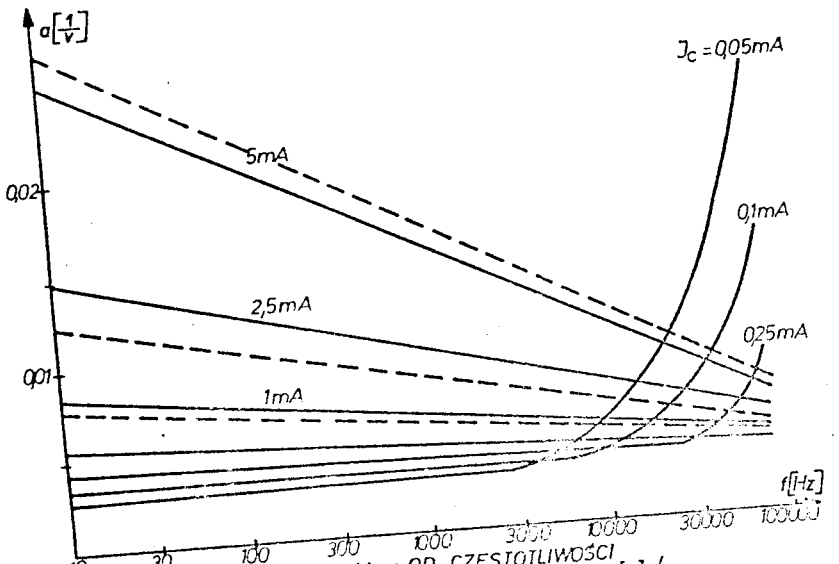
Wartość współczynnika fo zależy od bezwładności cieplnej tranzystora, zaś współczynnik k_E od jego rezystancji termicznej.

W wyniku pomiarów szeregu typów tranzystorów stwierdzono, że dla tranzystorów stopowych $b_o = 2a_o$ zaś dla planarnych $b_o = a_o$. Świadczy to o tym, że w tranzystorach stopowych o wzmocnieniu decyduje transport nośników mniejszościowych przez bazę (β_T) , natomiast w tranzystorach planarnych efekt ten jest nieistotny /patrz zał. 6 przy $K_E \ll 1$/. Pomiary efektu Earlego są więc praktycznym dowodem na to, że o wzmocnieniu tranzystora epiplanarnego decyduje sprawność wstrzykiwania emitera i powierzchniowe zjawiska rekombinacyjne.



UKŁAD POMIAROWY

Rys. 1



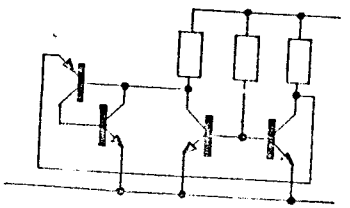
ZALEŻNOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKA a OD CZĘSTOTLIWOŚCI
/LINIA PRZERYWANA – APROKSYMACJA WG. ZALEŻNOŚCI [7] /

Rys. 2

Wprowadzone współczynniki a i b można powiązać z wartościami przewodności małosygnałowego modelu tranzystora typu hybrid. Można zauważyć, że dla małych częstotliwości przewodność kolektor baza staje się ujemna i wynosi

$$g_2 = -\frac{K_E I_c^2}{\beta} \ln\left(\frac{f_o}{f}\right) \qquad (8)$$

Efekt ten obserwowano we wszystkich mierzonych tranzystorach. Wykorzystano go w zbudowanym przykładowo generatorze przebiegu prostokątnego o zmiennej w zakresie od 0,05 do 5 Hz częstotliwości drgań. Układ generatora nie zawierał ani elementów pojemnościowych ani indukcyjnych /rys. 3/.



SCHEMAT GENERATORA

Rys. 3

Literatura

1. J. J. Ebers and J. L. Moll, Proc. IRE, vol. 42, Dec, 1954, pp. 1761 1772.
2. F. A. Lindholm and D. J. Hamilton, Proc. IEEE, vol. 59, Sept, 1971, pp. 1377-1378.
3. A. B. White, IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-7, Oct. 1972, pp. 428 - 431.
4. A. Van der Ziel, Solid-State Electron., vol. 17, Jan. 1974, pp. 103-110.

Anna Ołdziejewska
Instytut Technologii Elektronowej CEMI
Krystyna Cichomska
Instytut Badań Jądrowych

Identyfikacja boru w Si i SiO_2 metodą autoradiograficzną

Jednym z problemów związanych z dyfuzją boru do Si i SiO_2 jest oznaczenie rozmieszczenia domieszki w badanych próbkach.

W pracy przedstawiono możliwość zastosowania do tego celu metody autoradiografii. Do badań wykorzystywano strukturę tranzystora MOS z bramką krzemową. Dyfuzję boru prowadzono z BBr_3.

Płytki po dyfuzji boru poddawano działaniu termicznych neutronów, a otrzymane w wyniku reakcji jądrowej cząstki rejestrowano na odpowiedniej folii organicznej: na podstawie uzyskanych autoradiogramów można stwierdzić obecność boru w pewnych obszarach tranzystora MOS.

Piotr Płotka, Bogdan Wilamowski
Instytut Technologii Elektronicznej Politechniki Gdańskiej

Wpływ dyfuzji bocznej na wartość rezystora dyfuzyjnego

Tendencja do zwiększania skali integracji układów scalonych prowadzi do zmniejszania wymiarów występujących w nich elementów, między innymi do zmniejszania szerokości rezystorów. Przy określaniu rezystancji wąskich rezystorów /gdy szerokość okna dyfuzyjnego jest mała/ należy uwzględnić efekt dyfuzji bocznej.

Zagadnienie to analizowali M.L. Gupta i A.B. Bhattaharya [1] oraz Yanagawa [2]. Uzyskane przez nich wyniki mają jednak niewielką przydatność praktyczną.

W pracy niniejszej analizowany jest problem dyfuzji bocznej zarówno przy założeniu stałej koncentracji powierzchniowej jak również przy założeniu stałego ładunku domieszek. Proponowana metoda podejścia powoduje, że poprawka dla różnych koncentracji powierzchniowych zmienia się w niewielkim zakresie umożliwiając łatwe szacowanie efektu dyfuzji bocznej bez uwzględnienia tej poprawki, jak również w przypadku jej uwzględnienia określenie efektu dyfuzji bocznej z dużą dokładnością.

Z rys. 1 widać, że przewodność G rezystora dyfuzyjnego można wyrazić zależnością:

$$G = \frac{w - 2\gamma}{R_{\square} \cdot l} = 2\frac{1}{l}\iint_{S} \sigma\left[N(x,y)\right] dx\, dy, \qquad (1)$$

gdzie:

$R_{\square}$ – rezystancja na kwadrat warstwy w środku okna dyfuzyjnego,

l – długość rezystora

$\sigma\left[N(x,y)\right]$ – konduktywność warstwy dyfuzyjnej na brzegach rezystora,

S – obszar zakreskowany na rys. 1.

Wpływ dyfuzji bocznej na wartość rezystora dyfuzyjnego można uwzględnić w postaci poprawki $2 \Delta w = k \cdot L_B$ do szerokości okna dyfuzyjnego i obliczać rezystancję R

$$R = \frac{R_{\square} \cdot l}{W + k \cdot L_B}, \qquad (2)$$

gdzie $L_B = \sqrt{D \cdot t}$ jest drogą dyfuzji domieszek.

Na brzegu rezystora przyjęto następujące rozkłady domieszek [3]

a/ dla procesu dyfuzji ze stałą koncentracją powierzchniową:

$$N(x,y) = N_p \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{2 L_B}\right) \qquad (3)$$

b/ dla procesu dyfuzji ze stałym ładunkiem domieszek:

$$N(x, y) = N_p \cdot \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{4 L_B^2}\right] \qquad (4)$$

Można pokazać, że w przypadku a/

$$k = 2\pi \frac{\int_0^{\eta/2L_B} u \cdot \sigma\left[N_p \cdot \operatorname{erfc} /u/\right] du}{\int_0^{\eta/2L_B} \sigma\left[N_p \cdot \operatorname{erfc} /t/\right] dt} - 2\frac{\gamma}{L_B} \qquad (5)$$

oraz w przypadku b/

$$k = 2\pi \frac{\int_0^{\eta/2L_B} u \cdot \sigma\left[N_p \exp /-u^2/\right] du}{\int_0^{\eta/2L_B} \sigma\left[N_p \exp /-t^2/\right] dt} - 2\frac{\gamma}{L_B} \qquad (6)$$

Wartości współczynników k w zależności od koncentracji powierzchniowej N_p i stosunku $N_p/N_s/N_s$ - koncentracja podłoża/ dla obu przypadków ilustrują wykresy 1 i 2.

W przypadku b/ zmiana rezystancji rezystora w trakcie redyfuzji w stosunku do jego rezystancji po procesie predyfuzji jest niewielka i wynika z faktu zmiany ruchliwości nośników z koncentracją oraz z przedostawaniem się części domieszek typu p do obszaru, w którym przeważają domieszki typu n zawarte w warstwie epitaksjalnej. To drugie zjawisko może przy niewielkich stosunkach N_p/N_s doprowadzić do efektywnego zwężenia rezystora dyfuzyjnego, jak to widać na wykresie 2 dla $N_p \geqslant 10^{19}$, $N_p/N_s = 10$/wartość poprawki jest ujemna $k < 0$/.

Przeprowadzone w pracy rozważania dotyczą zarówno predyfuzji jak i redyfuzji, przy czym oba te procesy wpływają na zmianę efektywnej szerokości rezystora.

Literatura

1. M.L. Gupta, A.B. Bhattacharya, SSE, 1973 vol. 16, pp 281 - 283
2. T. Yanagawa, IEEE Trans on ED, vol. ED-19, No 11, 1972 r.
3. D.P. Kennedy, R.R. O'Brien, IBM, J.Res. Develop vol. 9, pp 179-186, May 1965.