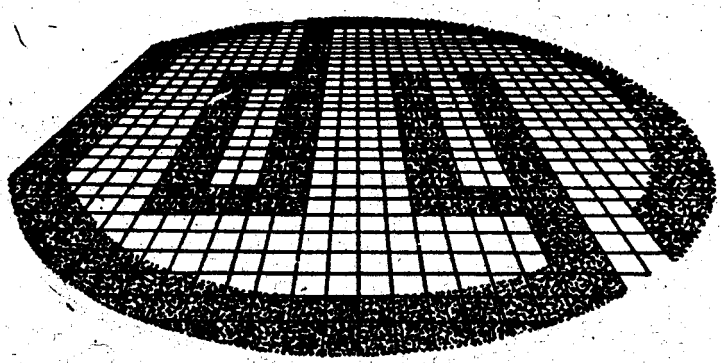
POLITECHNIKA WARSZAWSKA

ITE CEMI

II SYMPOZJUM

DIAGNOSTYKA A UZYSK W PRODUKCJI UKŁADÓW SCALONYCH

REFERATY I KOMUNIKATY



Rozalin, 18 - 20 października 1989

Bogdan Maciej Wilamowski
Instytut Technologii Elektronicznej
Politechniki Gdańskiej
80-952 Gdańsk, Majakowskiego 11/12

PORÓWNANIE METOD NAJGORSZEGO PRZYPADKU I MONTE CARLO W ANALIZIE WRAŻLIWOŚCI I UZYSKU PRODUKCYJNEGO STRUKTUR PÓŁPRZEWODNIKOWYCH

W procesie symulacji uzysku produkcyjnego najlepsze wyniki daje zwykle metoda Monte Carlo, w której przypadkowo losowane parametry odpowiadają zwykle rzeczywistym fluktuacjom parametrów w rzeczywistym procesie produkcyjnym. Metoda ta jednak wymaga bardzo czasochłonnych obliczeń. W niniejszej pracy zmodyfikowano metodę najgorszego przypadku, a uzyskane wyniki przy ponad 100-krotnie krótszym czasie obliczeń są zbliżone do uzyskanych metodą Monte Carlo.

Praktyczne programy wykorzystujące metodę Monte Carlo i metodę najgorszego przypadku napisane zostały w języku TURBO PASCAL 5.0. Porównania dokonano przy analizie uzysku i wrażliwości napięcia progowego tranzystorów MOS z krótkim kanałem [1]. Jako parametry wejściowe w analizie przyjęto: grubość tlenku bramki, ładunek stanów powierzchniowych, koncentracje domieszek w podłożu, dozę implantowanych domieszek w kanale, długość kanału, szerokość kanału oraz głębokość źródła i drenu. W procesie obliczeń wykorzystywano podaną przez Akersa [2][3] zależność na napięcie progowe tranzystora z krótkim kanałem:

$$V_T = V_{FB} + 2\phi_F + \frac{qN_AW_C}{C_{ox}} \{ 1 - [(1 + \frac{2W_C}{r_j}) - 1]^{1/2} * $$

$$* [\frac{r_j}{L} + \frac{2W_C r_j}{WL}] + \frac{2W_C}{W}] . \qquad (1)$$

W metodzie Monte Carlo równomierne rozkłady otrzymane ze standardowego generatora liczb przypadkowych języka TURBO PASCAL przetwarzano na rozkłady o charakterze normalnym. W tym celu wykorzystywana była zależność:

$$X = X_s + 0.5 * X_d * \sqrt{-2 \ln(\alpha)} * \cos(2\pi\beta), \qquad (2)$$

gdzie α i β liczby przypadkowe z przedziału (0,1).

W eksperymentach przyjęto liczność próbek losowych równą 1000. Wrażliwość dla badanego parametru wejściowego określano jako stosunek standardowej dewiacji rozkładu parametru wyjściowego uzyskanego dla przypadku zmian tylko tego jednego parametru do standardowej dewiacji rozkładu parametru wyjściowego uzyskanego przy jednoczesnych zmianach wszystkich parametrów wejściowych. Standardową dewiację obliczano korzystając z zależności:

$$SD = \sqrt{\frac{\Sigma V_T^2 - \frac{(\Sigma V_T)^2}{N}}{N}}. \qquad (3)$$

Uzysk określano jako stosunek liczby losowań, w których parametr wyjściowy zawierał się w określonym przedziale, do liczby wszystkich losowań. Metoda Monte Carlo dała dokładne wyniki przy odpowiednio dużej liczbie losowań. Metoda ta faktycznie oddaje mechanizm fluktuacji parametrów produkcyjnych, ale jest bardzo czasochłonna obliczeniowo. Przykładowo przy 7 parametrach wejściowych i przy założeniu liczności próbek losowych równej 1000 analiza wrażliwościowa wymaga 8000 cykli obliczeniowych. Jeżeli dodatkowo bada się wpływ zmian parametrów procesu na uzysk lub wrażliwość, to liczbę tę należy wielokrotnie wymnożyć.

W celu przyspieszenia obliczeń wykorzystano zmodyfikowaną metodę najgorszego przypadku. W ten sposób, że zamiast 1000 losowanych próbek, przeprowadzano obliczenia jedynie dla dwóch: parametru średniego pomniejszonego i powiększonego o wartość standardowej dewiacji rozkładu wejściowego. Jest to jedna z modyfikacji metody najgorszego przypadku. W ten sposób dla każdego z parametrów wejściowych otrzymywano "rozrzut" prametru wyjściowego. Wrażliwość określano jako stosunek

"rozrzutu" uzyskanego dla jednego parametru do średniokwadratowej sumy wszystkich rozrzutów. Porównanie wyników uzyskanych obiema metodami zestawione jest w Tablicy 1.

Tablica 1. Wrażliwość napięcia progowego V_T na rozrzut podstawowych parametrów technologicznych dla 3 długości kanału L

L (μm)		1,0	2,0	3.0
$S(t_{ox})$	WST	0,3201	0,3474	0,3539
	MC	0,3194	0,3484	0,3551
$S(Q_{SS})$	WST	0,4608	0,4673	0,4674
	MC	0,4599	0,4687	0,4675
$S(N_A)$	WST	0,7939	0,8109	0,8106
	MC	0,7997	0,8213	0,8212
S(L)	WST	0,2337	0,0565	0,0249
	MC	0,2503	0,0587	0,0266
S(W) and $S(r_j)$	WST	≈0	≈0	≈0
	MC	≈0	≈0	≈0

Porównując obydwie metody stwierdzono, że uzyskane wyniki w analizie wrażliwościowej były identyczne z dokładnością do drugiego miejsca po przecinku. Natomiast czasy obliczeń w metodzie najgorszego przypadku były o blisko trzy rzędy wielkości krótsze. Tylko nieco gorszą zbieżność wyników uzyskano przy analizie uzysku.

Literatura

1. B.M.Wilamowski, Honglin Zhao: Sensitivity and yield simulation for threshold voltage of short channel MOSFETs , Electronics and Telecommunication Letters (w druku)
2. L.A.Akers: An analitical expresion for the threshold voltage of a small geometry MOSFET , Solid State Electronics, vol. 24, pp.621-627, 1981.
3. D.G.Ong: Modern MOS Technology - process, device and design , Chap.6 ·1984.