

C-518

並列接続MOSFETを用いたしきい値電圧標準偏差の測定評価

Measurement of Standard Deviation for Threshold Voltage
Using Parallel-Connected MOSFETs

寺田和夫¹⁾、最上徹²⁾

Kazuo Terada¹⁾, Toru Mogami²⁾

広島市立大学 情報科学部¹⁾、日本電気(株) マイクロエレクトロニクス研究所²⁾

Hiroshima City University¹⁾, NEC Corporation²⁾

1. はじめに

MOSLSIの高集積化が進むに従い、MOSFET特性の標準偏差を簡単に評価する方法が重要になっている。本研究では、同一構造MOSFETを並列接続したものを1つのMOSFETのように取り扱うことによって、簡単にしきい値電圧の標準偏差を測定する方法を提案し、その実現可能性を調べる。

2. 測定原理

MOSFETのしきい値電圧の測定値はドレイン電流 I_{DS} の測定値から抽出される。そのような抽出測定値として次の2つを考える。 V_{TH2} : 線形領域の電流電圧の関係を用い、 $I_{DS} = I_{V_{TH2}} \cdot (W/L)$ となる点に接続を引き、それを外挿して求めた値。 V_{TH3} : 与えられたサブスレッシユ

ホールド領域のドレイン電流が $I_{V_{TH3}} \cdot (W/L)$ となる時のゲート電圧の値。なお、ここで W はチャネル幅、 L はチャネル長を示す。

大量の同一構造 n チャンネルMOSFETを考え、それらの理論しきい値電圧 V_{TH} が平均値 m を中心に標準偏差 σ でガウス分布していると仮定する。この場合、MOSFETを多数並列に接続した回路のドレイン電流をMOSFETの数で割った値

$P I_{DS}$ は、単一のMOSFETのドレイン電流に分布関数 $(1/\sqrt{2\pi}\sigma) \cdot \exp\{(V_{TH}-m)^2/2\sigma^2\}$ を掛けて積分することによって近似できる。この積分を線形領域のドレイン電流に対して行くと、 $P I_{DS} = I_{DS}$ となる。一方、サブスレッシユ領域のドレイン電流は $I_{DS} = (KW/L) \exp\{q(V_G - V_{TH})/nkT\}$ と近似される。ここで、 K は移動度などを含む定数、 V_G はゲート電圧、その他は通常使われている定数である。この場合、 $P I_{DS} \approx (KW/L) \cdot \exp\{q(V_G - m + q\sigma^2/2nkT)/nkT\}$ となる。すなわち、MOSFETを多数並列に接続した回路を1つのMOSFETと見なして、そのドレイン電流から V_{TH} を抽出した場合、 $P V_{TH2} \approx V_{TH2} \dots (1)$ 、 $P V_{TH3} \approx V_{TH3} - q\sigma^2/2nkT \dots (2)$ 、となる。ここで V_{TH2} 、 V_{TH3} は個々のMOSFETから抽出したしきい値電圧の平均値である。このことを利用すると、もし $\Delta_{32} = V_{TH3} - V_{TH2}$ が求まっている場合、 $P V_{TH2}$ と $P V_{TH3}$ の測定値から σ を計算することができる。

3. 測定結果とまとめ

単体MOSFETを用いて、上で述べた測定方法の精度を調べた。10個の同一構造MOSFETの電流電圧特性を測定し、それらの電流の総和から抽出したしきい値電圧 $P V_{THi}$ と、個々のMOSFETから抽出したしきい値電圧の平均値 V_{THi} を表1に示す。 V_{TH2} では両者はほぼ一致し、 V_{TH3} では $P V_{TH3}$ の方が低くなっている。この表には、 $\Delta_{32} = V_{TH3} - V_{TH2}$ として上記の方法で求めた標準偏差 $P s_3$ と、個々のMOSFETから抽出したしきい値電圧から計算した標準偏差も示してある。両者はほぼ一致している。ここで提案した方法は、 Δ_{32} を別途測定しておく必要がある、 σ が小さい場合の測定感度が低いなどの欠点を持つが、簡便なしきい値電圧の標準偏差の測定方法と言える。

表1 「しきい値電圧の測定値」 (単位 mV)

素子	V_{TH2}	V_{TH3}	$P V_{TH2}$	$P V_{TH3}$
# 1 W/L= 10/0.4	608.8	396.2	608.4	388.7
	17.6	28.7		(23.3)
# 2 W/L= 10/0.45	662.6	497.6	662.5	495.8
	6.9	11.2		(11.4)
# 3 W/L= 10/0.5	689.9	549.2	689.7	548.1
	7.8	9.2		(8.3)

上段は平均値、下段は標準偏差、 $P V_{TH3}$ の列のカッコ内の数値は(1)(2)式を用いて計算した $P s_3$ の値である。測定に使用した n MOSFETのゲート酸化膜厚 10nm、 $W=10\mu\text{m}$ 。
 $I_{V_{TH2}}=1\mu\text{A}$ 、 $I_{V_{TH3}}=10\text{nA}$ 、測定時のドレイン電圧は 0.05V と 1V、基板電圧 0V である。