

実効チャンネル長抽出における測定誤差

寺田 和夫[†]

Measurement Errors in Effective-Channel-Length Extraction

Kazuo TERADA[†]

あらまし 実効チャンネル長の抽出方法の精度を調べるために、そこで使用される最小2乗法における誤差の振舞いを調べた。その結果、「抽出に使用するデータ数を増やすことは主に測定データ値のばらつきを抑える効果を持ち、部分的ではあるが測定誤差の低減にも効果をもつ」ことが明らかになった。次に、この結果に基づき実測データを用いた実効チャンネル長の抽出結果を考察した。使用した試料においては、短チャンネル MOSFET で設計チャンネル長と実効チャンネル長の間の線形関係のずれが大きくなる傾向が見られた。このような場合、使用する MOSFET として長短両チャンネル MOSFET を含むなるべく多くの MOSFET を使うことが好ましいことがわかった。

キーワード MOSFET, 実効チャンネル長, 測定誤差, 最小2乗法

1. ま え が き

実効チャンネル長の抽出方法が幾つか提案され、それらの測定精度が論じられている[1]。その主な論点は LDD (Lightly-Doped Drain) 構造によって引き起こされるチャンネル領域の不明りょうさにある。LDD-MOSFET では、ソースドレーンの低濃度領域部のキャリア濃度がゲート電圧で変調されることがあるため、通常の方法[2],[3]で抽出した実効チャンネル長がゲート電圧と共に変化し、不明りょうな値になることがある。この問題は、実効チャンネル長をゲート電圧に依存して変化するものと考えることによって、一応解決した[4]。ただ、MOSFET の短チャンネル効果やコンダクタンスなどの電気的な特性を議論するためには、一定値に決らないチャンネル長は不便である。そのため、ゲート電圧に依存して変化することを認めたうえで、その代表となる一定値をとるチャンネル長の定義とその抽出方法が提案されている[5],[6]。

しかし、これら従来の実効チャンネル長の抽出方法に関する議論は、ほとんどの場合、測定誤差がない理想的な場合に対してなされてきた。理由は、LDD 構造に起因するチャンネル長のあいまいさと比べて測定誤差が小さかったからと考えられる。しかし、チャンネル長が

0.1 μm オーダにおいては、実際の測定誤差は無視できる程小さいとは言えず、それを考慮した抽出方法を議論すべきである。本研究の目的は、実効チャンネル長の抽出方法における測定誤差の性質を明らかにして、測定誤差を小さく抑えるための指針を得ることである。

本論文ではまず、実効チャンネル長の抽出で使用される最小2乗法における誤差の振舞いを調べ、抽出に使用するデータ数と測定精度の関係を明らかにする。次に、この結果に基づき実測データを用いた実効チャンネル長の抽出結果を考察し、測定誤差を小さく抑えるための指針を得る。

2. 実効チャンネル長の定義と抽出法

実効チャンネル長は次のように定義される。MOSFET の抵抗 R_{TOT} をチャンネル長に依存して変化するチャンネル部分の抵抗 R_{CH} と、それ以外の一定の部分 R_{EXT} に分ける。

$$R_{TOT} = R_{CH} + R_{EXT} \tag{1}$$

このとき、次式を満たす L_{EFF} を実効チャンネル長と定義する。

$$R_{CH} = r_{CH}(V_{GT}) \cdot L_{EFF} / W_{EFF} \tag{2}$$

この式で $r_{CH}(V_{GT})$ はチャンネル部のシート抵抗、 W_{EFF} は実効的なチャンネル幅をそれぞれ表す。 V_{GT} は、ゲート電圧を V_G 、MOSFET のしきい値電圧を V_{TH} としたとき、 $V_{GT} = V_G - V_{TH}$ で定義される量である。 $r_{CH}(V_{GT})$ はゲート電圧にのみ依存し、位置には依存しな

[†] 広島市立大学情報科学部, 広島市
Faculty of Information Sciences, Hiroshima City University,
Hiroshima-shi, 731-31 Japan

い量である。

シングルドレーン構造 MOSFET のように実効チャンネル長のゲート電圧依存性がほとんどない場合、実効チャンネル長は次のようにして抽出される。まず、設計チャンネル長 L_{DES} の違う複数の MOSFET の、複数の V_{GT} に対する抵抗値 R_{TOT} を測定する。次に、 $R_{TOT}-L_{DES}$ の関係を複数の V_{GT} に対して、図1のようにグラフ化する。このとき、

$$\Delta L = L_{DES} - L_{EFF} \tag{3}$$

が各 MOSFET に対して一定ならばこれらの関係は直線になり、それらの交点の位置が R_{EXT} と ΔL を表す。この ΔL と L_{DES} から L_{EFF} を決定する[2],[3]。ここで次の事柄、「 L_{DES} の違う複数の MOSFET の間で $r_{CH}(V_{GT})$ と ΔL が一定であること」を仮定している。

図1のようなグラフ上の実測データは厳密には直線上にのらず、また各直線も1点で交わらない。実測データの中に各種の誤差が含まれているからである。従来の実効チャンネル長の抽出方法では、まずこれらの誤差を認めたくえて近似的に直線を引く。この場合、どのような近似方法を使用するかはあまり報告されていないが、一般的には最小2乗法を用いているものと考えられる。次に交点を決定するわけであるが、このときの近似方法もあまり報告されていない。だが、この場合も最小2乗法を用いることが一般的と考えられる[2]。

LDD-MOSFET の場合、 $R_{TOT}-L_{DES}$ 直線の交点は V_{GT} と共に移動すると考えられる。そのため、ある V_{GT} 近傍の2本以上の直線の交点の位置からその V_{GT} における R_{EXT} と ΔL を求める[4]。この場合にも誤差

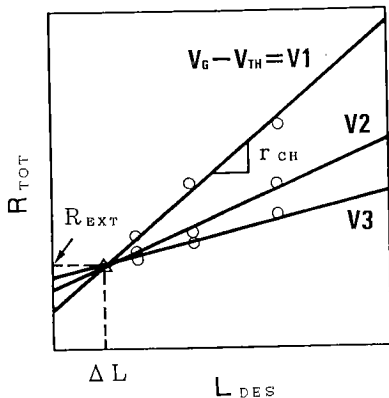


図1 $R_{TOT}-L_{DES}$ の関係
Fig.1 $R_{TOT}-L_{DES}$ relations.

の影響があるので、シングルドレーン構造 MOSFET の場合と同様に、最小2乗法を2度用いて直線と交点を求めることになる。まえがきに述べたように、ゲート電圧に依存して変化するチャンネル長の代表となる一定値をとるチャンネル長の定義が提案されている。これらも LDD-MOSFET のチャンネル長を抽出する手順を経てから、チャンネル長を抽出する。以上のことから結局、どの実効チャンネル長の抽出方法においても、その精度を調べるためには、2度の最小2乗法における誤差の振舞いを調べることが必要である。

3. 最小2乗法における誤差の見積り

本章では、直線関係にある2量 (x, y) を測定して得た N 組のデータ

$$(x_i, y_i), (i=1, \dots, N)$$

から最小2乗法を用いて直線関係

$$y = ax + b \tag{4}$$

を決定する場合の誤差の振舞いを考察する。最小2乗法を使用すると、式(4)の a, b は次式で表される。

$$a = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2} \tag{5}$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x} \tag{6}$$

ここで \bar{x}, \bar{y} はそれぞれ平均値

$$\bar{x} = \sum x_i / N,$$

$$\bar{y} = \sum y_i / N$$

を表す。

実効チャンネル長の抽出の場合、誤差には抵抗 y を測定する場合の「測定誤差」と、設計チャンネル長と実効チャンネル長の間の線形性のずれから来る「ずれの誤差」の2とおりが考えられる。ここではそれらの誤差をすべて y に含ませ、設計チャンネル長に相当する x を基準に誤差を考えることにする。次に、 y に含まれる誤差 E_y を微小量と仮定して1次微小量までとる近似をすると、 a, b に含まれる誤差 E_a, E_b は次式で表される。

$$E_a = \sum E_{yi}(x_i - \bar{x}) / \sum(x_i - \bar{x})^2 \tag{7}$$

$$E_b = -E_a\bar{x} + \sum E_{yi} / N \tag{8}$$

すなわち、 E_a は E_y と線形関係にあり、 E_b はその E_a を含む項と E_y の平均値の和で表される。

E_a と E_b の振舞いを具体的に示すために、簡単な計算をした。まず y_i の形を次のように仮定する。

$$y_i = (1 + \epsilon_i)y_{i0} + \eta_i$$

ここで、 y_{i0} は誤差がない場合に得られる正確な測定値、 ϵ_i, η_i はそれぞれ誤差を表す。すなわち誤差が測定値 y に比例する成分と定数成分からなる考えると

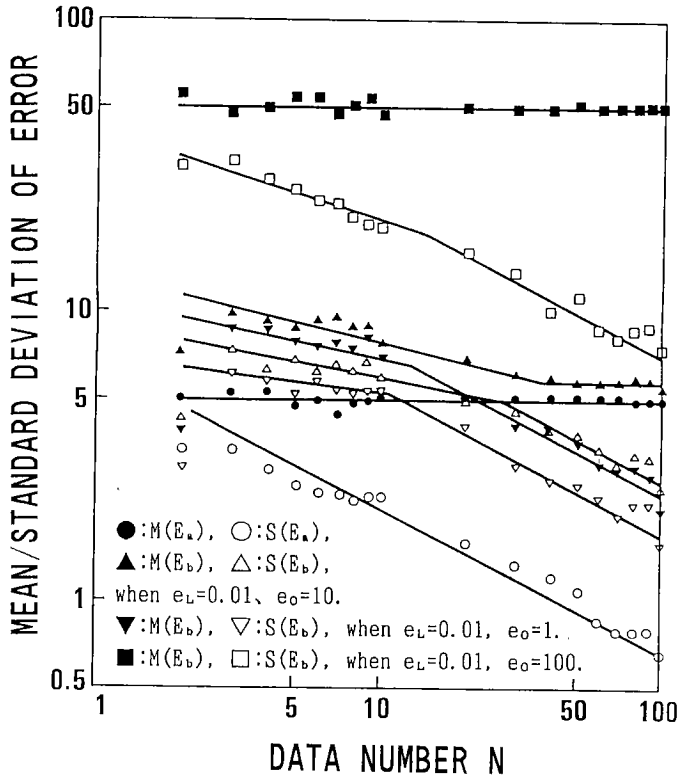


図2 データ数 N と誤差の平均値 M , 標準偏差 S の関係
 Fig. 2 Mean (M) and standard deviation (S) of the error as a function data number (N).

$$E_a = \frac{\sum(\epsilon_i y_{i0} + \eta_i)(x_i - \bar{x})}{\sum(x_i - \bar{x})^2}$$

$$E_b = -E_a \bar{x} + \frac{\sum(\epsilon_i y_{i0} + \eta_i)}{N}$$

と表すことができるので、これらの式の ϵ_i, η_i の値に乱数を代入して E_a と E_b を計算した。図2にその結果を示す。この計算では、 x として1と10とその間を $N-1$ 等分した値 (例えば $N=3$ のときは $x=1, 5.5, 10$) を用い、 $a_0=1000, b_0=100, \epsilon=e_L r, \eta=e_0 r$ を使用した。ここで、 e_L, e_0 は誤差の比例成分と定数成分を表す量、 r は0~1の間で一様分布する乱数である。なお、この計算の目的は誤差の振舞いを調べることにあるので、これらの値自体はあまり重要ではない。図には異なる乱数を用いた100回の計算結果に対する、誤差の平均値 $M(E_a), M(E_b)$ とその標準偏差 $S(E_a), S(E_b)$ をそれぞれ示す。

図2に示されるように、 E_a の平均値はデータ数 N にかかわらず一定であるが、その標準偏差は $N^{-1/2}$ に比例して小さくなる。この性質は、式(7)に見られるように、 E_a が E_b に対して線形であることから得られるものである。一方、 E_b の平均値はデータ数と共に小さくなる場合と一定の場合がある。これは、式(8)に

示されるように、 E_b がデータ数と共に小さくなるデータ値の平均値の項 ($\sum E_{yi}/N$) と上記 E_a に比例する項の和で表されることから説明される。

以上のことから、実効チャンネル長の抽出に使用する MOSFET 数 (参照 MOSFET 数と呼ぶ) と測定回数に関して次の結論が得られる。実効チャンネル長の抽出では2度最小2乗法を使用する。その1度目のデータ数は参照 MOSFET 数で決まり、2度目はゲート電圧を変えて測定する測定回数で決まる。①それらのデータ数を増やすことは主に測定データ値のばらつきを抑える効果をもつ。②それは同時に b に含まれる誤差の低減にも効果をもつが、その効果はそれほど大きくない。

4. 実測データによる実効チャンネル長の抽出

4.1 本章のねらい

本章では実際の MOSFET から得た測定データを用いて実効チャンネル長を抽出し、その結果に3.で導いた誤差に関する結論を適用した考察を行う。この考察の目的は、実測データにおける誤差の振舞いを調べる

ことと、チャンネル長の抽出をより正確にするための指針を得ることにある。

3. で述べたように、実効チャンネル長抽出に使うデータの数は参照 MOSFET 数とゲート電圧を変えて測定する測定回数で決まる。そのうち参照 MOSFET 数は、あらかじめ光学マスクに作り込んでおく必要があるため、自由に変えることができない。そのうえ、専用の面積を必要とするため多くすることもできない。

そのためまず、データ数として参照 MOSFET 数を問題とする。次に参照 MOSFET 数を限定した場合、参照 MOSFET の設計チャンネル長の組合せをどう選ぶかが問題となる。そのため本章では、その組合せを変えた場合の効果も調べることにする。

実効チャンネル長を抽出する場合、短いチャンネル長の測定精度に関心が集る。実効チャンネル長の抽出精度が、より短いチャンネルをもつ MOSFET により重大な影

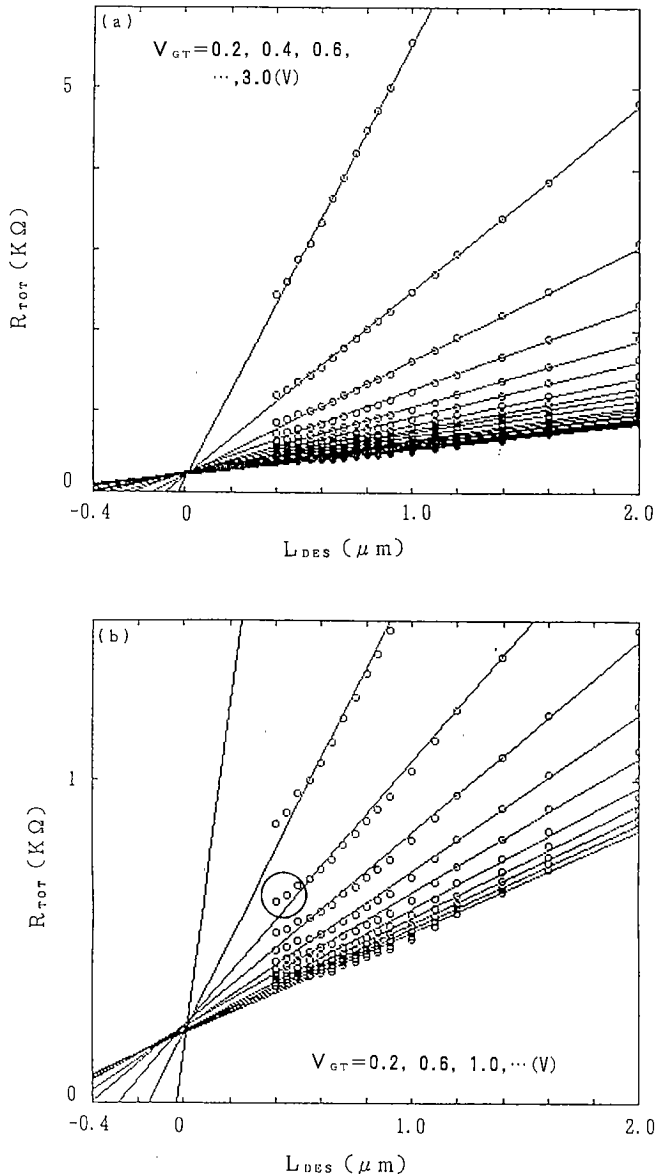


図 3 実測 $R_{rot}-L_{Des}$ の関係 (a) とその低抵抗部分を拡大したもの (b)
 Fig. 3 (a) Observed $R_{rot}-L_{Des}$ relations and (b) its enlargement.

響を与えるからである。そのため以下では、被測定 MOSFET のうち短いチャンネルをもつ MOSFET の実効チャンネル長の抽出精度を問題にする。

4.2 実効チャンネル長の抽出

図3に実際に測定した $R_{TOT}-L_{DES}$ の関係の一例を示す。この測定に使用した試料は、p形(100)基板上にシリコンゲートCMOSプロセスで形成したnチャンネル・シングルドレーン・MOSFETである。設計チャンネル幅 $10\ \mu\text{m}$ 、Pウェル濃度 $7 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-3}$ 、ゲート酸化膜厚 $10\ \text{nm}$ 、チャンネルボロン $30\ \text{keV}$ 、 $1.5 \times 10^{12}\ \text{cm}^{-2}$ 、ソースドレーン砒(ひ)素 $30\ \text{keV}$ 、 $1.5 \times 10^{15}\ \text{cm}^{-2}$ 、同活性化 900°C 、10分である。しきい値電圧 V_{TH} は $V_D = 0.1\ \text{V}$ のときにドレーン電流 $I_{DS} = 1\ \mu\text{A}/L_{EFF}$ となるゲート電圧で定義し、 L_{EFF} の抽出と V_{TH} の測定を繰り返して、抽出した L_{EFF} と V_{TH} の測定に使う L_{EFF} が互いに矛盾しないように収束させている。 R_{TOT} は $V_D = 0.1\ \text{V}$ のときのドレーン電流より計算した。測定にはHP-4145Bを使用した。

図3に見られるように、実測したデータのうち短チャンネルMOSFETのものは $R_{TOT}-L_{DES}$ 直線の上のほうにずれる傾向がある。この傾向は他の試料にも見られたが、中には $R_{TOT}-L_{DES}$ 直線の上下をうねるようなデータもあり、今回調べた1ロット内数枚のウェーハの試料のデータの範囲では、そのずれ方に明確な規則性があるとは言えなかった。

図3のデータは、設計チャンネル長が $0.4 \sim 2.0\ \mu\text{m}$ の値をもつ17個のMOSFETから得ている。このデータを用いて、参照MOSFETの数とその設計チャンネル長の組合せを変え、実効チャンネル長を抽出してみる。まず17個のMOSFETから、表1に示すようなMOSFETの組を作り、それらに名前を付ける。EQU., EXP., LONG, SHORTという名前は7個のMOSFETの選び方を、TWO4, TWO5, TWO45はという名前は2個のMOSFETの選びかたをそれぞれ示している。ALLは17個すべてのMOSFETの組であり、ALL2は後の考察で使用するものである。

表2に上記の参照MOSFETの組のデータを用いて抽出した ΔL , R_{EXT} , 相関係数 R_{XY} の値を示す。 R_{XY} は $R_{TOT}-L_{DES}$ 直線を引く各ゲート電圧ごとに得られるので、本表ではそれらのうち $V_{GT} = 1.0\ \text{V}$ と $3.0\ \text{V}$ の値を例示している。更に本表には、ALLの ΔL と他のMOSFETの組の ΔL の差 E_1 と、後の考察で使うALL2の ΔL と他のMOSFETの組の ΔL から計算した量 E_2 も示す。

表1 参照MOSFETの組
Table 1 Reference MOSFET combinations.

NAME	DESIGN CHANNEL LENGTH (μm)
ALL	.4, .45, .5, .55, .6, .65, .7, .75, .8, .85, .9, 1.0 1.1, 1.2, 1.4, 1.6, 2.0
ALL 2	.467, .492, .524, .55, .6, .65, .7, .75, .8, .85, .9 1.0, 1.1, 1.2, 1.4, 1.6, 2.0
EQU.	.4, .6, .8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6
EXP.	.4, .45, .5, .6, .8, 1.2, 2.0
LONG	.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.4, 1.6, 2.0
SHORT	.4, .45, .5, .55, .6, .65, .7
TWO 4	.4, 2.0
TWO 5	.5, 2.0
TWO 45	.4, .5

表2 参照MOSFETの組合せと抽出値の関係
Table 2 Extracted values for each reference MOSFET combinations.

NAME	ΔL (μm)	R_{EXT} (Ω)	E_1 (nm)	E_2 (nm)	R_{XY}	
					$V_{GT} = 1.0\ \text{V}$	$V_{GT} = 3.0\ \text{V}$
ALL	-0.029	222	—	19	0.9973	0.9945
ALL 2	-0.001	221	—	—	0.9990	0.9970
EQU.	-0.062	220	-33	21	0.9969	0.9937
EXP.	-0.044	230	-15	15	0.9981	0.9967
LONG	0.041	193	70	86	0.9999	0.9997
SHORT	-0.234	277	-205	189	0.9925	0.9900
TWO 4	-0.098	234	-69	30	1.0000	1.0000
TWO 5	-0.037	237	-8	12	1.0000	1.0000
TWO 45	-0.528	210	-499	453	1.0000	1.0000

$V_{GT} : 1.0 \sim 3.0\ \text{V}$ (0.2 V step)

4.3 考察 1

図3に見られるずれの絶対値は大きいものでも $0.01\ \mu\text{m}$ オーダと小さい。また、このずれには弱いチャンネル長依存性が見られるが、それも大きいものではない。そのためこのずれは、2.で述べた「 L_{DES} の違う複数のMOSFETの間で ΔL は一定である」という仮定を否定するほど大きくはないと考えられる。そこで、本節ではこの仮定が成立するとして、このずれを規則性のないずれの誤差と見なし、更にずれの誤差は3.の式(7), (8)導出に用いた近似を悪くする程大きいものではないとして考察をする。

表2から参照MOSFET数が二つの場合を除くと、

R_{XY} の値は LONG がもっとも大きく、SHORT がもっとも小さいことがわかる。このことは、測定した試料の短いほうのチャンネルの MOSFET では上記の「ずれ」の誤差が大きいことを示している。

参照 MOSFET の設計チャンネル長は短い部分で $0.05 \mu\text{m}$ 間隔であるが、図 3 のプロットが単調であることから、その違いは明確に R_{TOT} の違いとして現れている。このことから、抽出した ΔL における違いが $0.05 \mu\text{m}$ あれば、その違いは有意と考えるべきであろう。この場合、表 2 の ΔL を次の 4 グループに分けることができる。互いに近い ΔL 値をもつ ALL, EXP., EQU., TWO 5 のグループ 1, それよりも大きく負の方向に違う値をもつ SHORT と TWO 45 のグループ 2, 逆に正の方向に違う値をもつ LONG のグループ 3, そしてグループ 1 に近いのでそれに属してもよいが、ここでは一様別グループと考える TWO 4 のグループ 4 である。なお、このようなグループ分けは測定した他の試料にも見られ、同様な傾向を示した。

このようにグループに分けられた抽出結果を 3. の議論に基づいて考察する。グループ 2 は、短チャンネル MOSFET のみを使用して ΔL を抽出しているため、そのデータには大きい「ずれ」の誤差が含まれると考えられる。この場合、誤差の大きさに比例する式 (7) の E_a も式 (8) の右辺第 2 項も大きくなるため、 ΔL も大きい誤差を含んでいる。グループ 3 は、長チャンネル MOSFET のみを使用して ΔL を抽出しているため、このような ΔL を用いて正確な短チャンネル MOSFET の実効チャンネル長が求まるとは考えにくい。このことは、式 (8) 右辺第 1 項の \bar{x} が大きく、そのことが誤差の影響を大きくしていると考えられる。グループ 1 は長短両チャンネル MOSFET を使用しているため、上記両方の誤差成分の影響を受けるが、それらが平均化されていると考えられる。グループ 4 はグループ 1 と同様の参照 MOSFET の組合せであるが、データ数が二つしかなくその一つが直線からの「ずれ」の大きい $0.4 \mu\text{m}$ MOSFET のデータであるため、その影響を受けて少しグループ 1 から離れたと考えられる。ばらつきの影響を考えると、これと TWO 5 は、TWO 5 を除くグループ 1 よりも好ましいとは考えにくい。

上記の考察により、「TWO 5 を除くグループ 1 のような参照チャンネル長の組合せが好ましい」というチャンネル長の抽出をより正確にするための指針が得られる。しかしこの指針は一実測データに基づいたものであるため、一般的なものでないことに注意する必要がある。

ある。本試料に見られた「短チャンネル MOSFET のデータが $R_{TOT}-L_{DES}$ 直線からずれる傾向」は必ずしも一般的な特徴と考えることはできないからである。しかし、このような試料が存在することは確かなので、このような特徴をもつデータからでもより正確な実効チャンネル長を抽出できる指針は有用である。この指針では、「他の参照チャンネル長の組合せと比較して TWO 5 を除くグループ 1 のそれがより好ましい」ことを言えるが、正確な実効チャンネル長がわからないために、「TWO 5 を除くグループ 1 が最適である」とは言えない。後述のように、より正確な実効チャンネル長を求め、一般的な結論として証明するためには更に研究が必要である。

4.4 考察 2

4.3 では図 3 のデータに見られる「ずれ」の規則性のない「ずれ」の誤差と見なして考察をした。ところが、この「ずれ」には規則性があるのだが、それが小さいために他のばらつきに隠されて、わからなかったと考えることもできる。この場合、4.3 の考察だけでは片手落ちである。本節ではそのような場合、すなわち「短チャンネル領域で L_{DES} の違う複数の MOSFET の間で ΔL が一定ではなく、その代わりある規則的な変化をする (仮定 1)」場合について考察してみる。

この場合、前節までの実効チャンネル長の抽出原理において使用した「 L_{DES} の違う複数の MOSFET の間で ΔL が一定である」という仮定の代わりとなる別の関係を仮定する必要がある。そうでなければ、実効チャンネル長が決まらなくなるからである。そのような関係として、例えばある L_0 が存在して $L_0 < L_{DES}$ において ΔL が一定、 $L_{DES} \leq L_0$ において ΔL が変化するような「関数」を考えることができる。これは、試料のチャンネル長はポリシリコンゲート電極の加工によって決まるが、 $L_{DES} \leq L_0$ においてその加工の線形性がずれると仮定することに対応する。このようなことは、 L_{DES} がリソグラフィで使用している紫外線の波長と同程度になれば、起こり得ることである。この場合、この関数を介させた R_{TOT} と L_{DES} の間の関数関係に最小 2 乗法と同様なフィッティングを行えば、より正確な実効チャンネル長が求まる。

上記の関数は、ゲート加工技術の性質を解析するか、多数の実測データから他の誤差成分を除いて「ずれ」の誤差成分を抽出する解析をすることによって、求まるかも知れない。しかし現在はまだそこまでできていない。そこで少し粗っぽいのが、次のような方法で上記

の関数が求めたと仮定して、チャンネル長を抽出してみる。図3の測定例で明らかに直線からずれていると考えられる○印で示す3点だけを横にずらし、直線に載るようにする。このことは「 $L_{DES} \leq 0.5 \mu\text{m}$ の場合には ΔL が一定ではなく、横にずらした分だけ変化する関数形を仮定する(仮定2)」ことに対応する。このような操作をした参照MOSFETの組とそれから実効チャンネル長を抽出した結果を表1と表2のALL2に示す。更に表2には、それぞれの参照MOSFETの組に対して抽出した ΔL から短チャンネル側の三つのMOSFETの実効チャンネル長を計算し、その値とALL2の値の差の絶対値を平均したものを E_2 に示す。上記の手続きで得られた E_2 の値は、上記の二つの仮定が正しい場合、各参照MOSFETの組に対する測定誤差を表すと考えることができる。その値は、表でもみられるように E_1 と同じ傾向を示す。すなわち本考察は4.3で得られた「TWO5を除くグループ1のような参照チャンネル長の組合せが好ましい」という結論を裏付ける。

以上の考察結果は4.3で与えた結論を裏付けるものであるが、証明のない仮定を使用しているため、十分な証明を与えているとは言えない。ただ、このような考察とゲート加工技術の解析を組み合わせれば、短チャンネル領域における線形性のずれを推定することが可能になると考えられることから、この考察はその方向への第1歩と考えることができる。

5. むすび

実効チャンネル長抽出方法の精度を調べるために、最小2乗法における誤差の振舞いを調べた。その結果次のことが明らかになった。

実効チャンネル長の抽出では2度最小2乗法を使用する。その1度目のデータ数は参照MOSFET数で決まり、2度目はゲート電圧を変えて測定する測定回数で決まる。それらのデータ数を増やすことは主に測定データ値のばらつきを抑える効果をもち、部分的ではあるが誤差の低減にも効果をもつ。

次に実際のMOSFETから得た測定データを用いて実効チャンネル長を抽出し、その結果を考察した。その実測データには、「短チャンネルMOSFETのデータが $R_{TOT}-L_{DES}$ 直線の上のほうにずれる傾向がある」という特徴があった。このずれをずれの誤差と見なした場合、上記データ数と誤差に関する結論を用いて実測データの振舞いを説明することができ、「長短両チャネ

ルMOSFETを含むなるべく多くのMOSFETを参照MOSFETとすることが好ましい」というチャンネル長の抽出をより正確にするための指針を得ることができた。次に上記のずれを考慮して、非線形の $R_{TOT}-L_{DES}$ 関係を仮定した実効チャンネル長の抽出方法を提案し、更にその抽出結果を用いた考察を加えた。その結果は上記指針を裏付けるものであった。

謝辞 本研究は、筆者が日本電気株式会社において行ったものを発展させたものである。本論文では筆者が同社で行った成果を使用させて頂いている。更に、日本電気株式会社および同社マイクロエレクトロニクス研究所・竹内潔博士には、試料の提供など多大な御協力を頂いた。厚くお礼申し上げる。

文 献

- [1] K. K. Ng and J. R. Brews, "Measuring the effective channel length of MOSFETs," IEEE Circuits and Devices, pp. 33-38, Nov. 1990.
- [2] K. Terada and H. Muta, "A new method to determine effective MOSFET channel length," Jpn. J. Appl. Phys., vol. 18, no. 5, pp. 953-959, May 1979.
- [3] J. G. J. Chern, P. Chang, R. F. Motta, and N. Godinho, "A new method to determine MOSFET channel length," IEEE Electron Device Lett., vol. EDL-1, no. 9, pp. 170-173, Sept. 1980.
- [4] G. J. Hu, C. Chang, and Y. Chia, "Gate-voltage-dependent effective channel length and series resistance of LDD MOSFETs," IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-34, no. 12, pp. 2469-2475, Dec. 1987.
- [5] J. Ida, A. Kita, and F. Ichikawa, "A new extraction method for effective channel length on lightly doped drain MOSFETs," Proc. International Conference of Microelectronic Test Structures, pp. 117-122, March 1990.
- [6] K. Takeuchi, N. Kasai, and K. Terada, "A new effective channel length determination method for LDD MOSFETs," Proc. International Conference of Microelectronic Test Structures, Kyoto, Japan, pp. 215-220, March 1991.

(平成7年2月10日受付, 5月25日再受付)



寺田 和夫 (正員)

昭46早大・理工・応用物理卒。昭48京大大学院・理・物理修士課程了。同年、日本電気入社。同社中央研究所、マイクロエレクトロニクス研究所にてシリコンMOSFET、MOSFET、DRAMの研究開発に従事。平6広島市立大学・情報科学部教授、現在に至る。工博、応用物理学会、IEEE各会員。