

単一デバイスを用いた MOSFET の寄生抵抗抽出法

A Single Device MOSFET Series Resistance Extraction Method

東大生研 °竹内潔, 水谷朋子, 更屋拓哉, 小林正治, 平本俊郎
Univ. Tokyo, °Kiyoshi Takeuchi, Tomoko Mizutani, Takuya Saraya,
Masaharu Kobayashi, and Toshiro Hiramoto

E-mail: takeuchi@nano.iis.u-tokyo.ac.jp

はじめに

MOSFET の寄生抵抗はデバイス特性に大きく影響するから、その値を正しく見積もることは MOSFET の設計やモデリングにおいて非常に重要である。そのため長年に亘って多数の寄生抵抗抽出法が提案されてきた。過去にはチャネル抵抗がチャネル長に比例すると見做しチャネル長が異なる複数デバイスから抽出する方法が広く用いられた時期もあった。しかし歪印加や Halo 注入を用いる近年のデバイスにこの方法は適用しづらく、単一の MOSFET を測定するだけで寄生抵抗が抽出できる手法が望まれる。今回この要求を満足し、かつ見通しの良い寄生抵抗抽出法[1]を考案したので報告する。

抽出方法

MOSFET の線形領域におけるドレイン電流が次式で表されると仮定する。

$$I_D = f(V_{GT,int})V_{D,int}(1 - k_{SAT}V_{D,int}) \quad (1)$$

ただし

$$V_{GT,int} \equiv V_{G,int} - V_{TH} \equiv V_G - I_D R_{SD}/2 - V_{TH} \quad (2)$$

$$V_{D,int} \equiv V_D - I_D R_{SD} \quad (3)$$

であり(図1参照)、 k_{SAT} は移動度の横方向電界依存性(弱い速度飽和)の度合いを表す定数である。仮に寄生抵抗も速度飽和も無ければ I_D/V_D 対 V_{GT} ($\equiv V_G - V_{TH}$)特性は印加する V_D によらず $y = f(x)$ で表されるユニバーサルな曲線(移動度の V_G 依存性を反映)に載るはずだが、実際には寄生抵抗による電圧降下と速度飽和の度合いが V_D に応じて変化するためこの関係は成立しない。しかし実効ドレインコンダクタンス

$$G_{D,eff} \equiv I_D / \{V_{D,int}(1 - k_{SAT}V_{D,int})\} \quad (4)$$

なる指標を定義すると、 $G_{D,eff}$ 対 $V_{GT,int}$ 特性は V_D によらないユニバーサル曲線に載るはずである。提案法はこのようなユニバーサル性(曲線群の収束)が実現するように未知数 R_{SD} と k_{SAT} を最適化アルゴリズムにより決定することで寄生抵抗 R_{SD} を抽出する(図2)。なお線形領域での移動度の V_D 依存性は意外に大きくモデル式への取り込み(k_{SAT} の導入)は必須である。

結果

本方法を3種類の TCAD デバイス(Halo ありバルク、Halo なしバルク、完全空乏 SOI)に適用したところ、「真の R_{SD} 」と良好な一致を示すことを確認した(図3)。ここで検証基準とした「真の R_{SD} 」とはシミュレーションされた内部擬フェルミレベル分布のゲートバイアス依存性から算出された寄生抵抗値である[2]。また実際の Halo ありバルク 65nm デバイスにも適用したところ、複数デバイスを用いる他の抽出方法[2]と一致する結果が得られた。ただし TCAD ではほぼ線形であった I_D/V_D 対 V_D 特性が実測では非線形であったため(1)を

$$I_D = f(V_{GT,int})V_{D,int}(1 - k_{SAT}V_{D,int})^n \quad (5)$$

と修正し $n=1.7$ として精度を改善した。本方法は曲線群の収束という手法を用いることから移動度の V_G 依存性について何らの仮定を設ける必要がない。また移動度の V_D 依存性については単純な線形または冪関数で十分な精度が得られる。よって移動度のバイアス依存性を考慮しつつ見通しのよい寄生抵抗抽出が可能である。

[1] K. Takeuchi et al., JJAP, in press, doi: 10.35848/1347-4065/ac3eb7.

[2] K. Takeuchi et al., VLSI-TSA, 2021, p.86

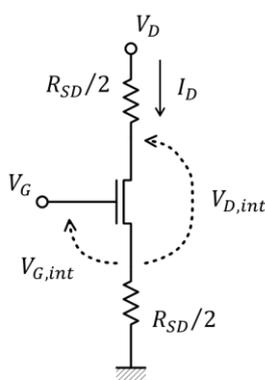


図1 内部電圧の定義

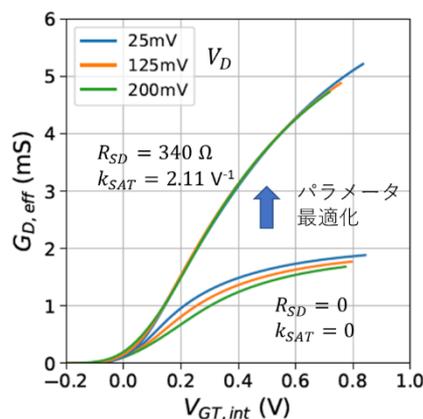


図2 曲線群収束の例

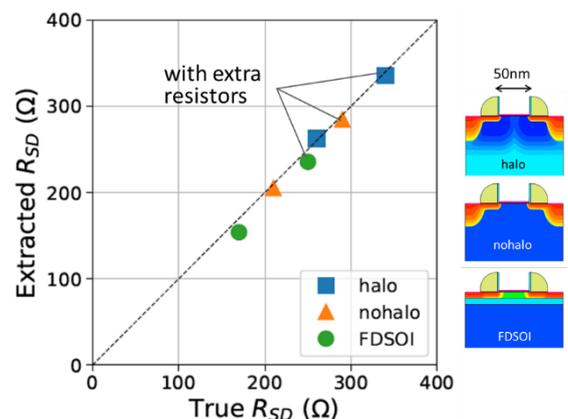


図3 TCAD デバイスでの抽出結果