

円筒系 GAA-MOSFET におけるソース・ドレイン間トンネル電流の 解析コンパクトモデル

Analytic Compact Model of Source-Drain Tunneling Current in Cylindrical Gate-All-Around MOSFET

名大院工¹, 立命大院工², JST CREST³ 程賀^{1,3}, 宇野重康^{2,3}, 中里和郎¹

Nagoya Univ.¹, Ritsumeikan Univ.², JST CREST³ He Cheng^{1,3}, Shigeyasu Uno^{2,3}, Kazuo Nakazato¹

E-mail: cheng.he@c.mbox.nagoya-u.jp

背景: MOSFET におけるチャネル長が十数ナノメートルに減少するのに伴い、非ドープシリコンチャネルの Gate-All-Around (GAA) MOSFET が、短チャネル効果(SCEs)を抑制するための最も有望なデバイスの一つとして期待されている。しかし、チャネル長が 10 ナノメートル以下に減少すると、ドレイン誘起障壁低下 (DIBL) の影響が顕著に表れるとともに、7nm 以下ではソース・ドレイン間のトンネル電流も考慮する必要がある^[1]。我々はすでに DIBL 効果を取りいれた GAA-MOSFET のコンパクトモデルを提案し、サブスレッショルド領域におけるエネルギーポテンシャル分布とサブスレッショルド電流を精度よく解析的に表せることを示した^[2]。本研究では、ソース・ドレイン間トンネル電流を WKB 近似法に基づいて計算する解析コンパクトモデルを提案し、TCAD の計算結果と比較する。

近似手法: 円筒形 GAA-MOSFET のチャネルにおける閉じ込め面内の静電ポテンシャル分布が二次関数であると仮定し、未定パラメータ ΔU_G の関係式で表す^[3]。DIBL 効果を考慮するとき、 ΔU_G のチャネル長依存性を考え、チャネル内の静電ポテンシャル分布 $w(r,z)$ は半径方向とチャネル方向の関数で表すことができる。また、サブスレッショルド領域では、チャネル内の電荷密度が非常に小さいため電荷密度をゼロとして近似した。そのため、チャネル内の $w(r,z)$ をラプラス方程式により計算することができ^[4]、 $\partial w(r,z)/\partial z=0$ という条件からチャネル内の中心軸における静電ポテンシャル分布のボトルネックの位置 z_{MAX} を計算することもできる。さらに、チャネル中心軸におけるエネルギーポテンシャル分布 $E_{0,1}(0,z)$ は $E_{0,1}(0,0)$ と $E_{0,1}(0, z_{MAX})$ を通した二次関数を利用し、近似的に表すことができる。最後に、二次関数で近似したポテンシャル分布を WKB 法による透過率の式に代入し、トンネル電流を解析式により表した。

結果: Fig.1 に示すように、二次関数で解析的に得られた基底サブバンドのプロファイルは SILVACO TCAD による非平衡グリーン関数法 (NEGF) による数値計算結果と良く一致することが分かった。また、Fig.2 に示すように、サブスレッショルド領域でのトンネル電流を表した解析コンパクトモデルの I_{DS} - V_{GS} 特性は、数

値コンパクトモデルによるものと良く一致した。

- [1] R. Hosseini, et al., *International Journal of the Physical Sciences*, 7 (28), 19, 2012.
[2] H. Cheng, et al., *TechConnect World 2014 Conference*. “Analytic Compact Model of Ballistic and Quasi-ballistic Cylindrical Gate-All-Around MOSFET Incorporating Drain-Induced Barrier Lowering Effect”.
[3] H. Cheng, et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* 52, 04CN03, 2013.
[4] B. C. Paul, et al., *IEEE Trans. Electron Devices*, 54, 7, 2007.

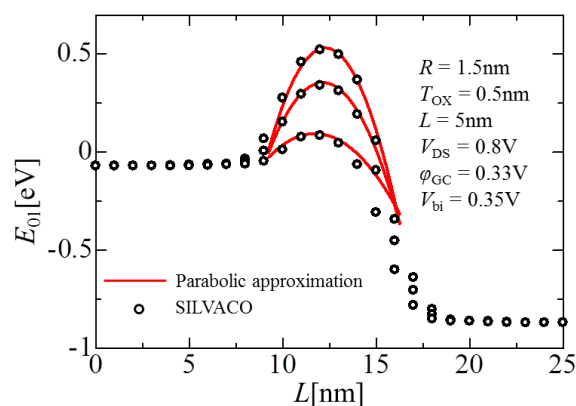


Fig.1. Comparison results of the lowest subband profile plot between the analytic model and NEGF simulation under different gate bias conditions.

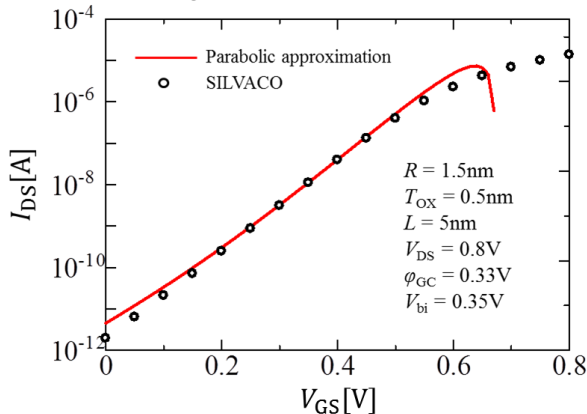


Fig.2. Current characteristics in the subthreshold region from SILVACO NEGF and analytic compact model calculation.