

## 酸化膜トラップ電荷による Si ナノワイヤトランジスタの 電流ばらつきの統計的解析

Statistical Analysis of the Current Variability in Si Nanowire Transistor  
Induced by Oxide Trap Charges

早大理工<sup>1</sup>, 豊田工大<sup>2</sup>, 阪大院工<sup>3</sup> ○鈴木 晃人<sup>1</sup>, 神岡 武文<sup>2</sup>, 鎌倉 良成<sup>3</sup>, 渡邊 孝信<sup>1</sup>  
Waseda Univ.<sup>1</sup>, Toyota Tech. Inst.<sup>2</sup>, Osaka Univ.<sup>3</sup>, ○Akito Suzuki<sup>1</sup>,  
Takefumi Kamioka<sup>2</sup>, Yoshinari Kamakura<sup>3</sup>, and Takanobu Watanabe<sup>1</sup>  
E-mail: suzuki@watanabe.nano.waseda.ac.jp

**【はじめに】** Si CMOS の微細化および集積化の限界は、閾値電圧やドレイン電流のばらつきによって決まると考えられている。特性ばらつきの原因であるトラップ電荷によるランダムテレグラフノイズ (RTN) やソース・ドレインの不純物位置の統計ばらつき (RDF) に関する様々な研究が行われている。我々は、古典的なボルツマン輸送方程式に基づくキャリア輸送シミュレーションである Ensemble Monte-Carlo/Molecular Dynamics(EMC/MD)法[1,2]を用いて、Si ナノワイヤ中のキャリア輸送シミュレーションを行い、ソースおよびドレインの RDF が電流ばらつきに与える影響を調査してきた[3]。本研究では、ソース/ドレインを含む Si ナノワイヤトランジスタモデルに酸化膜トラップ電荷を導入して電流ばらつきを解析し、RDF の影響と比較した。

**【シミュレーション手法】** EMC/MD 法では、キャリアを古典的な擬似自由粒子として扱い、分子動力学アルゴリズムでキャリアの軌跡を変化させることで Coulomb 散乱を表現する。また、モンテカルロ法により確率的に運動量ベクトルを更新することでフォノン散乱を再現する。今回採用したデバイスモデルは、Gate-all-around (GAA) 構造を模した円筒形状の n-i-n 型 Si ナノワイヤである (図 1)。各種デバイスパラメータは、ITRS2011[4]に基づいて決定した。チャンネルの長手方向に周期境界条件を課し、ワイヤ全体に量子閉じ込め効果を考慮したポテンシャルを設けた[5]。チャンネル周囲に一様に電荷を配置し、ゲートの代わりとした。キャリアは伝導電子のみ取り扱った。ソース・ドレインの電子密度が  $10^{20}\text{cm}^{-3}$  となるよう伝導電子を配置し、電荷中性条件を満たすよう同数の不純物イオンをランダムに配置した。不純物分布を揃え、酸化膜トラップ電荷の位置をランダムに変えた計算を 30 回繰り返し、トラップ電荷が電流ばらつきに与える影響を調べた。トラップ電荷はゲート酸化膜界面から 0.2-1.0nm の範囲内にランダムに配置した。

**【結果・考察】** 図 2 はトラップ電荷による電流ばらつきの累積確率分布である。電流値は 1ns のシミュレーション時間における平均値をチャンネル径で規格化したものである。トラップ電荷の数は 1~4 個の間で変化させた。トラップ電荷による電流ばらつきは  $\pm 3\sigma$  の範囲で  $\pm 400 \mu\text{A}/\mu\text{m}$  程度揺らぐことが分かる。また、トラップ数が多くなるほど電流ばらつきは増加している。ただし、この RTN による電流ばらつきはソース・ドレインの RDF による電流ばらつき比べると小さいため、RDF の方が微細化限界を決める大きな要因になると考えられる。

**【謝辞】** 本研究は科学研究費補助金・基盤研究(B)の支援を受けて行われた。

**【参考文献】** [1] Y. Kamakura et al., IEICE Trans. Elec., 86.3 (2003) 357. [2] C. Jacoboni et al., Rev. Mod. Phys., 55.3 (1983) 645. [3] 鈴木他, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, (2014). [4] ITRS2011, <http://www.itrs.net/>, (2013). [5] T. Kamioka et al., IEDM Extended Abstract, 17.2.4. (2012).

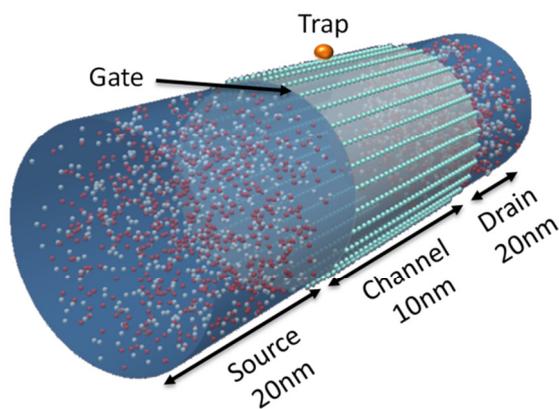


図 1. GAA 型 n-i-n 型 Si ナノワイヤモデル

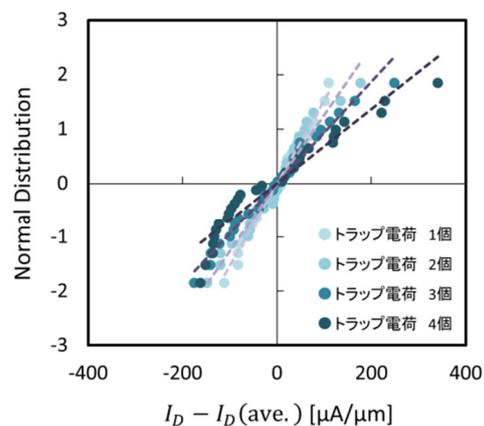


図 2. トラップ電荷の累積確率分布