

ソース・ドレインの不純物位置ばらつきによる電流ばらつきの解析 Study of Current variability depend on Random Dopant Fluctuation in Source and Drain Region

早大理工¹, 豊田工大², 阪大院工³ ○鈴木 晃人¹, 阿久津 梨花¹,
今井 裕也¹, 神岡 武文², 鎌倉 良成³, 渡邊 孝信¹

Waseda Univ.¹, Toyota Tech. Inst.², Osaka Univ.³, ○Akito Suzuki¹, Rika Akutsu¹,
Hiroya Imai¹, Takefumi Kamioka², Yoshinari Kamakura³, and Takanobu Watanabe¹

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、不純物位置の統計ばらつき (RDF) やランダムテレグラフノイズ (RTN) による閾値電圧ばらつきあるいは電流揺らぎによって決まると考えられており、特性ばらつきに関する様々な研究が行われている[1,2]。RDF については、チャネル内の不純物位置ばらつきに関する研究は数多く行われているが、不純物密度の高いソース・ドレイン内の RDF の影響に関する知見は十分でない。本研究では、キャリアおよび不純物イオンを古典的な粒子として扱う Ensemble Monte-Carlo/Molecular Dynamics(EMC/MD)法[3,4]を用いて Si ナノワイヤモデル中のキャリア輸送シミュレーションを行い、ソース・ドレインの不純物位置ばらつきが電流ばらつきに与える影響について調査した。

【シミュレーション手法】EMC/MD 法では、キャリア間およびキャリア - 不純物イオン間の Coulomb 相互作用を計算してキャリアに働く力を求め、分子動力学計算によりキャリアの軌跡を変化させて Coulomb 散乱を表現する。フォノン散乱の効果は、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) 構造を模した長方形の n-i-n 型 Si ナノワイヤである (図 1)。チャネルの長手方向に周期境界条件を課し、ワイヤの表面でキャリアを鏡面反射させた。キャリアとして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}cm^{-3} となるよう計 400 個の伝導電子を配置し、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。チャネルの長手方向に 140kV/cm の一様電界を印加し、不純物イオンの分布を変えながら 30 回計算を繰り返して、ソース・ドレインの RDF が電流ばらつきに与える影響を調べた。また、ソース・ドレインの RDF による電流ばらつきの大きさと RTN 振幅の大きさを比較するため、不純物分布を揃えたときの酸化膜トラップ電荷の有無の影響も調査した。トラップ電荷はゲート酸化膜界面から 0.2nm 外側に配置した。

【結果・考察】図 2 はチャネル長が 20nm, 10nm, 5nm のときの正規確率と電流ばらつきの関係である。電流値は 1ns のシミュレーション時間における平均値を示している。RDF による電流ばらつきは 5%~95% ($\pm 1.96\sigma$) の範囲で 25 μA 以上揺らぐことが分かる。また、チャネル長が短くなるほど電流ばらつきは増加している。一方、トラップ電荷の有無による平均電流の減少量 $\Delta I_{D,trap}$ は約 1.0 μA と RDF の 1/25 程度にとどまり、チャネル長を変えても大きな差はなかった。ソース・ドレインの RDF による電流値のばらつきは、RTN による電流揺らぎに比べて圧倒的に大きく、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. Ye et al., VLSI, IEEE Trans. 19.6 (2011) 987. [2] C. Riddet, et al., Elec. Dev., IEEE Trans. 58.3 (2011) 600. [3] Y. Kamakura et al., IEICE Trans. Elec., 86.3 (2003) 357. [4] C. Jacoboni et al., Rev. Mod. Phys., 55.3 (1983) 645.

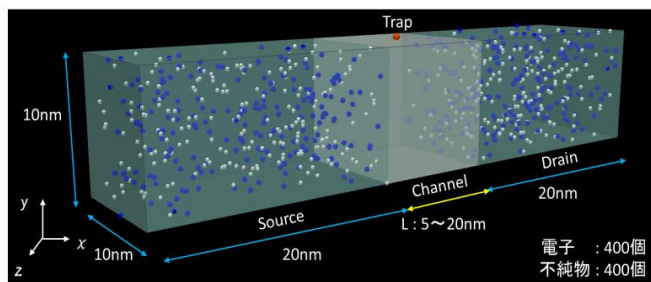


図 1. シミュレーションモデル

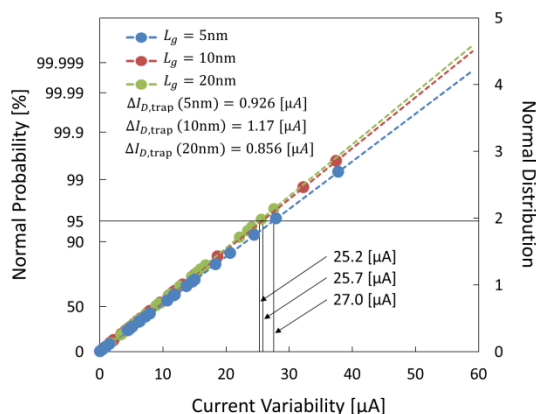


図 2. 正規確率と電流ばらつきの関係