

JL-FETs におけるランダム不純物のポテンシャルゆらぎに伴った動作限界

Operation Limit Imposed by Potential Fluctuations due to Random Dopant in JL-FETs

筑波大電物 ○井上 和総, 吉田 勝尚, 佐野 伸行

Inst. Appl. Phys, Univ. of Tsukuba ○Kazusa Inoue, Katsuhisa Yoshida, Nobuyuki Sano

E-mail: inoue@hermes.esys.tsukuba.ac.jp

【はじめに】半導体デバイスの微細化と立体化に伴って、デバイスサイズは今やナノスケールに至っている。特に、デバイス構造と生成プロセスの単純な JL-FET が注目を集めている。しかしながら、十分なオン電流を得るためには基盤を高濃度にドーピングすることが不可避である。加えて、優れたオフ特性を得るためには 10 nm 程度のチャンネル長が微細化限界と考えられる[1]。一方、デバイス特性ばらつきを誘起するポテンシャルゆらぎの長距離成分は、高濃度領域では Thomas-Fermi の遮蔽長程度 (~2-3 nm) であることから、10 nm 程度のチャンネル長を有する微細 JL-FET では、離散不純物ばらつき (RDF) がデバイス特性に大きな影響を及ぼすことが懸念される。そこで、本報告では JL-FET における RDF に伴ったチャンネル微細化に対する動作限界をデバイスシミュレーションで検討する。

【計算手法】基盤ドナー不純物濃度が 10^{19}cm^{-3} の Gate-All-Around (GAA)型 JL-FET 構造に対して、ドリフト拡散シミュレーションを用いて不純物のランダム分布に対するデバイス特性を様々なチャンネル長について評価した (図 1)。離散不純物は濃度に応じて Si 基盤内にランダム分布させ、クーロンポテンシャルの長距離成分のみ抽出した本グループの不純物モデルを用いた[2]。他の離散化不純物モデルと異なり、当該不純物モデルを用いることで基盤濃度、局所電界、飽和速度などを考慮した通常最適化された移動度モデルを用いたデバイス動作特性の評価が可能となる[2]。

【計算結果と考察】離散不純物をランダム分布させたときのチャンネル方向の電子に対するポテンシャルエネルギー分布を図 2 に示す。灰色で示した曲線群が不純物分布を変えて得られたポテンシャル形状 (20 パターン) であり、破線は不純物を連続体とみなしたときのものである。チャンネル長は 10 nm、基盤断面積は $10 \times 10 \text{ nm}^2$ としたため、基盤内に含まれる不純物数は 10 個程度と見積られる。その結果、不純物の存在する位置によってソース近傍のポテンシャルが不純物の長距離ポテンシャル成分によって大きく変調されることがわかる。これがしきい値電圧の大きなシフトに繋がる。一方、チャンネル長が長い場合は、高い基盤濃度のために含まれる不純物数が大きくなり、ポテンシャルゆらぎが平均化される。その結果、しきい値電圧の平均値

の相対ばらつきは通常の反転型 FET に比べて大きく抑制される。従って、JL-FET におけるチャンネル長の微細化限界は RDF にも大きく依存する可能性がある。加えて、スイッチング動作などの過渡特性の評価ではシミュレーションで用いられる移動度モデルが本質的に重要となる。最適化されていない移動度を用いた場合は、過渡特性で大きな誤差が生じることがわかった。

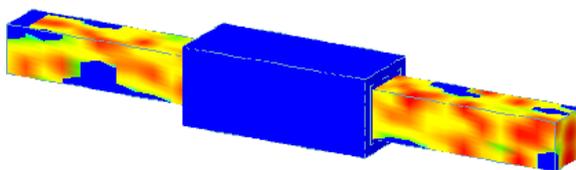


Fig. 1. GAA-JL-FET structure used in the present Drift-Diffusion simulations. Potential fluctuations associated with discrete random impurities are shown with color scale.

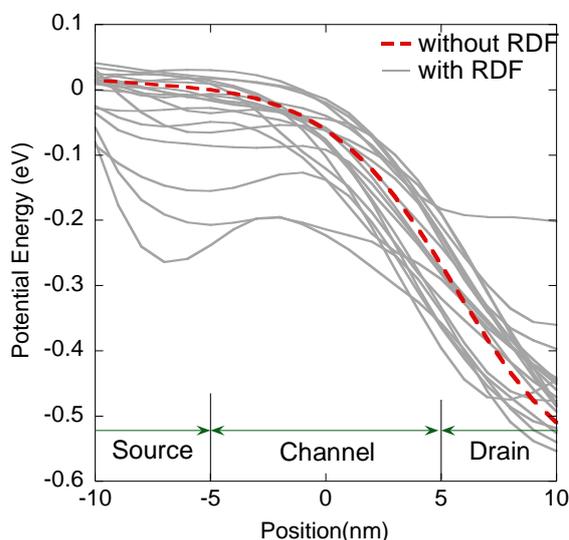


Fig. 2. Potential profiles along the channel direction obtained from 20 different patterns of discrete dopant distributions in GAA JL-FETs. The bias condition is $V_d = 0.6\text{V}$, $V_g = 0.75\text{V}$. The dashed curve represents the profile under jelly (continuous) impurity.

[1] S. Wang, et al., IEEE ED 60, 2186 (2013); K. Yoshida, T. Shibamiya, N. Sano, Appl. Phys. Lett. in press.

[2] N. Sano, et al., IEDM Tech. Digest, p.275 (2000).