

極微細 FET における自己発熱効果の過渡応答シミュレーション

Simulation of Transient Characteristics of Self-Heating Effect in Small FETs

阪大工¹, 神戸大工², JST CREST³ ○ 鎌倉 良成^{1,3}, 久木田 健太郎¹, インドラ ヌル アディスシロ¹,脇村 豪¹, 木場 隼介², 土屋 英昭^{2,3}, 森 伸也^{1,3}Osaka Univ.¹, Kobe Univ.², JST CREST³ ○ Yoshinari Kamakura^{1,3}, Kentaro Kukita¹, Indra Nur Adisusilo¹,Go Wakimura¹, Shunsuke Koba², Hideaki Tsuchiya^{2,3}, and Nobuya Mori^{1,3}

E-mail: kamakura@si.eei.eng.osaka-u.ac.jp

【はじめに】極微細 FET ではチャネル半導体領域の薄膜、細線化が進むため、内部で発生するジュール熱の排出効率が悪化すると考えられている。一方で、キャリアやフォノンの平均自由行程が素子長と同程度となる状況下で、自己発熱効果がどのように素子性能や信頼性に影響するのかは、必ずしも自明でない。我々は、電子とフォノンのボルツマン輸送方程式をモンテカルロ (MC) 法で解く統合熱電輸送シミュレータを開発し、今回それを Si-MOSFET の過渡応答解析に応用したので報告する。【計算方法】ゲート長 14 nm、Si 膜厚 8 nm、EOT 0.33 nm の 2 重ゲート型 nFET を想定し、ゲートターンオン時のドレイン電流 I_d の過渡応答を計算した。電子については Jacoboni モデル [1] を、またフォノンについては音響、光学モードをそれぞれ Debye、Einstein モデルで近似した簡易的な MC シミュレータ [2] を用いた (より精度の高いフォノン輸送モデル [3] に基づく結果についても触れる予定である)。内部で発生したジュール熱は、ソース/ドレイン端部に設置した恒温領域 (300 K) を通じてのみ外部に排出されるとした。【結果と考察】Fig. 1 に I_d の過渡応答特性を示す。比較のため、自己発熱を考慮せず内部温度が常に一定 (300 K) とした際の結果も示した。自己発熱効果により I_d は低下し、数 10 ps の緩和時間を経て定常状態に達した。Fig. 2 はフォノン温度分布の時間発展である。ホットエレクトロンは主に光学フォノンを放出し、さらにその速度は遅いため、光学フォノン系の温度がまず上昇する。ただし、これが I_d へ与える影響は軽微であり、電気特性を変化させるためには、光学フォノンが音響フォノンに崩壊し (今回緩和時間 5 ps を仮定 [4]) ソース端部の音響フォノン温度が上昇する過程を待つ必要がある。この時間は、FET の真性遅延時間のオーダー (~ 0.5 ps) よりも長くなる。[1] C. Jacoboni et al., Rev. Mod. Phys. **55**, 645 (1983). [2] Y. Kamakura et al., SISPAD2010, p. 89. [3] K. Kukita et al., J. Appl. Phys. **114**, 154312 (2013). [4] J.-H. Chun et al., SISPAD2005, p. 275.

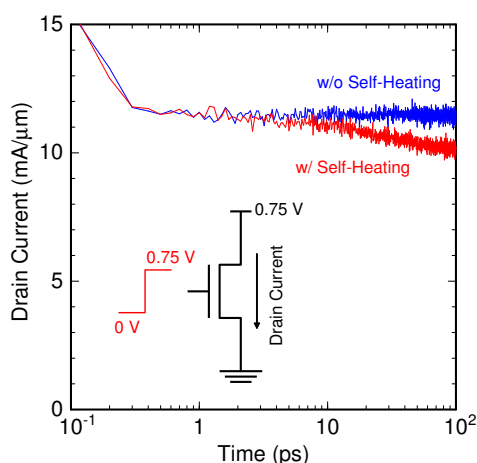


Fig. 1: Transient response of drain current after turning on the gate voltage simulated with and without the self-heating effect.

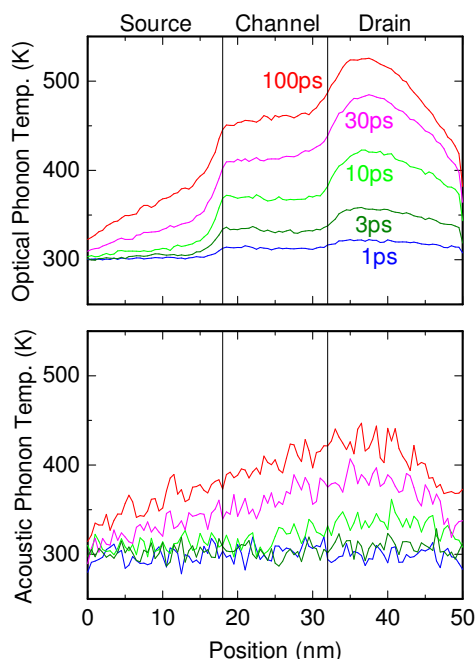


Fig. 2: Temperature distribution along the channel at various times after turning on the gate voltage.