

熱特性モデル化による回路中の FinFET 動作温度評価手法

Methodology for Evaluating Operation Temperatures of FinFETs in a Circuit

慶應大理工 電子工¹, 東工大 量子ナノ研セ²○高橋 綱己¹, 小田 俊理², 内田 建¹Dept. Electronics and Electrical Engineering¹, Keio University,QNERC², Tokyo Institute of Technology○Tsunaki Takahashi¹, Shunri Oda², and Ken Uchida¹

E-mail: takahashi@ssn.elec.keio.ac.jp, uchidak@elec.keio.ac.jp

【背景および目的】 FinFET に代表される立体構造トランジスタでは、素子から基板への熱散逸が小さいため動作時の温度が高くなってしまいう自己加熱の問題が知られている[1]。このような立体構造素子を用いた集積回路の動作温度を見積もるためには、素子単体の熱特性に加えて、配線を介した素子間の熱のやり取りを考慮しなければならない。素子と配線を含んだ系の動作温度評価のためのモデル化がこれまで行われてきた[2,3]が、パラメータが非常に多く、大規模集積回路の温度評価には適していない。本研究では、立体構造トランジスタを用いた大規模集積回路の動作温度評価に向けて、素子および配線の熱特性を可能な限り単純な形にモデル化し、デバイスシミュレーションを用いてその妥当性を検証した。

【モデル化手法】 素子および配線の熱等価回路を提案し、そのパラメータを導出することによって熱特性のモデル化を行った。素子に関しては、最高温度点から各電極への熱抵抗をパラメータ化し、14 nm 世代の FinFET におけるパラメータを Synopsys 社のデバイスシミュレータによって抽出した[4]。配線の熱等価回路は、図 1 に示す通り配線中および配線-基板間の熱流をパラメータ化し、それぞれを熱伝導方程式から解析的に導出した[4]。

【結果および考察】 2 素子からなる並列回路について考える。片方の素子のみが動作している系において、動作素子の温度上昇量 (ΔT_{L1}) をモデルとデバイスシミュレーションによって計算し、比較した。図 2 に示す通り両者はよく一致しており、提案するモデルの妥当性を確認できた。

このモデルを用いて、高い電気・熱伝導率を示す次世代の配線材料として期待されているカーボンナノチューブ (CNT) の熱的優位性を調べた。図 3 は、図 2 の系において配線/Via を Cu または CNT にした場合の ΔT_{L1} を示す。配線長 300 nm において、CNT を用いた場合は Cu に比べて温度上昇を最大 36% 低減できることがわかった。また、熱抵抗の詳細な解析によって、Via の入力熱抵抗が素子-基板間の熱抵抗より小さいとき、配線によって素子が冷却されることが明らかになった。

【結論】 素子および配線の熱特性をモデル化し、回路中の素子温度を見積もる手法を開発した。提案する手法で得た素子温度はデバイスシミュレーションによる結果と一致し、手法の妥当性が確認された。手法の適用によって 14 nm 世代において高熱伝導率配線材料の熱的優位性を示すとともに、配線によって素子が冷却される条件を明らかにした。

謝辞: 本研究は東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通し、シノプシス株式会社の協力で行われた。本研究は日本学術振興会の最先端・次世代研究開発支援プログラム、特別研究員奨励費の助成を受けている。

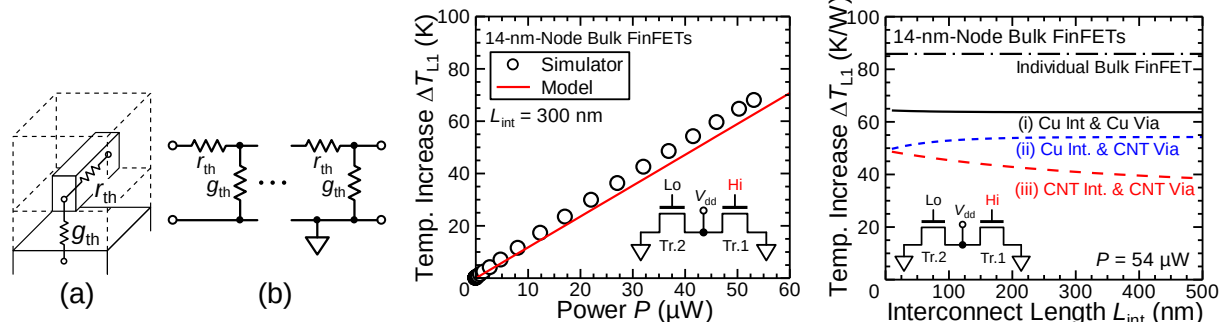
[1] T. Takahashi et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **52**, 04CC03 (2013).[2] K. Goodson and M. Flik, *IEEE Trans. Components Hybrids Manuf. Technol.*, **15**, 715 (1992).[3] M. Shrivastava et al., *IEEE Trans. Electron Devices*, **59**, 1353 (2012).[4] T. Takahashi et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **52**, 064203 (2013).

図 1: (a)単位配線長当たりの熱等価回路。(b)任意の配線長の熱等価回路。Via の場合も同様に分布定数回路の形で表される。

図 2: 14 nm 世代の Bulk FinFET 2 素子からなる並列回路で片方の素子が動作している系における、最高温度上昇 ΔT_{L1} と投入電力の関係。

図 3: 図 2 の系において、配線/Via 材料として Cu, CNT を用いた場合の ΔT_{L1} と配線長の関係。 ΔT_{L1} は開発した熱特性モデルによって得ている。