

シリコンナノワイヤを用いたトランスバース型マイクロ TEG モジュールのモデリング

Modeling of transverse-type Si-nanowire micro-TEG modules

東工大未来研 °熊谷 颯人, 塩津 勇作, 遠藤 弘之, 菅原 聡

°H. Kumagai, Y. Shiotsu, H. Endou, and S. Sugahara, FIRST, Tokyo Inst. of Tech.

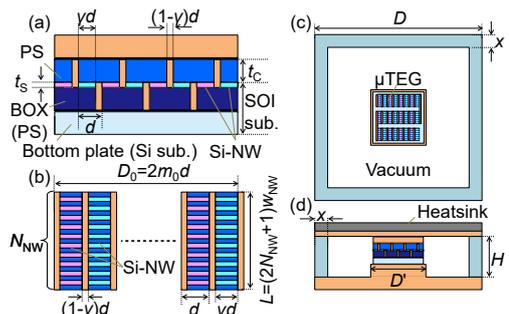
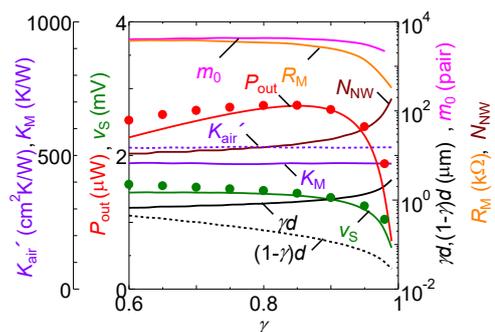
E-mail: h.kumagai@isl.titech.ac.jp

【はじめに】ウェアラブルデバイス(WD)は医療・介護・ヘルスケアを対象とした Internet of Humans (IoH)における Man-Machine Interface として期待されている。我々は、WD の電源への応用が期待できる薄膜熱電材料を用いた薄膜トランスバース型 μ TEG モジュールの検討を進め、モジュールの構造最適化アルゴリズムなどを開発している[2-4]。このアルゴリズムでは計算量が膨大なため、 μ TEG モジュールに関する高精度の分布定数回路モデルを用いることができず、高速計算可能な集中定数回路モデルが必要となる。BiTe 系材料を熱電材料に用いた薄膜トランスバース型 μ TEG モジュールでは、熱絶縁層に広がり抵抗を導入した集中定数熱回路モデルを用いることで分布定数回路モデルに対する出力誤差を比較的に低く抑えることができる[5]。シリコンナノワイヤ(Si-NW)を用いた薄膜トランスバース型 μ TEG モジュールについてもこの集中定数回路モデルを用いて構造最適化を行ってきた[6]。今回は Si-NW を用いた薄膜トランスバース型 μ TEG モジュールにおける集中定数回路モデルの再検討を行った。

【モジュール構造と熱抵抗モデル図】図 1(a)および(b)に Si-NW を用いたトランスバース型 μ TEG とモジュールの構造を示す。 μ TEG 部のサイズは $D_0 \times L$ である(μ TEG 部の長辺 D_0 が長いときは、図 1(c)のように適当に折り曲げて集積化する)。この μ TEG チップを真空/絶縁体ハイブリッドアイソレーションとなるモジュールにマウントする(図 1(c)および(d))。大気中への放熱を確保するためのモジュールの表面積が $D \times D$ である。最適化する構造パラメータは $D_0, x, H, (1-\gamma)d, \gamma d, m_0, N_{NW}, t_c$ である(図 1 参照)。各パラメータはそれぞれ、 μ TEG 部の長辺、外壁支持構造(高降伏強度絶縁材料)の幅と高さ、引き出し電極の幅、Si-NW の長さ、直列数、並列数、引き出し電極の長さである。構造最適化には Si-NW と引き出し電極との間に生じるコンタクト抵抗も考慮した[3]。 μ TEG チップ内の熱的・電氣的絶縁にはポーラスシリカ(PS)を用いた。モジュールサイズは $D=1\text{cm}$ とし、体温と外気との温度差は $\Delta T_0=10\text{K}$ とした。系にはヒトの産熱限界を考慮した恒温動物モデルを用いた[3,4]。分布定数回路モデルでは μ TEG 部の周期構造に着目して周期的境界条件を課し計算量を抑えた[3]。

【設計結果と性能評価】分布定数回路モデルを用いた詳細な熱流の解析から、Si-NW と引き出し電極の接合部ではコンタクト抵抗に起因して PS を介した熱流の回り込みが生じていることがわかった。この効果は従来の集中定数回路モデルのみでは表現することができない。そこで、コンタクト抵抗と引き出し電極の熱抵抗にフィティングパラメータを導入し、その値を分布定数回路モデルの結果を再現できるように決定した。図 2 に改良した集中定数回路モデルと分布定数回路モデルを用いて解析した出力電力 P_{out} のトレードオフパラメータ γ 依存性を示す。フィティングパラメータを導入して改良した集中定数回路モデル(図中の曲線)によって分布定数回路モデルの解析結果(図中の点)を広い γ の範囲で再現できた。したがって、この改良モデルを用いることで高精度の構造最適化が可能になる。このモデルを用いてモジュールの構造最適化すると、 $\gamma=0.85$ で P_{out} が最大化され、分布定数回路モデルの解析結果との誤差は 0.1% となった。

【参考文献】[1] S.R. Islam *et al.*, IEEE Access **3**, 678–708, 2015. [2] T. Kondo *et al.*, 2017 IEEE Electron. Dev. Tech. and Manufact. Conf., 201–203. [3] Y. Shiotsu *et al.*, IEEE Trans. on Electron Devices **67**, 3834–3842, 2020. [4] N. Chiwaki *et al.*, J. Micromech. Microeng. **28**, 094003, 2018. [5] Y. Shiotsu *et al.*, in preparation. [6] 熊谷他, 第 81 回応用物理学会秋季学術講演会, 8p-Z18-2, 2020.

図 1. 薄膜トランスバース型 μ TEG モジュール図 2. 各種パラメータの γ 依存性