

## 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 モジュールの完全最適設計とその性能

Fully optimized design and performance of transverse-type micro-TEG modules using Si-nanowires

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】**近年, 医療・介護・ヘルスケアを対象とした Internet of Humans (IoH)が注目を集めている[1]. IoH において, ウェアラブルデバイス(WD)は重要な Man-Machine Interface として期待されている. 我々は, このような WD に応用できるヒトの体温を用いた熱電発電の検討を進めている[2-4]. 前回の発表では, 熱電材料としてシリコンナノワイヤ(Si-NW)を用いたトランスバース型 $\mu$ TEG モジュールについて報告した[5]. 今回はこの $\mu$ TEG モジュールの完全最適設計とその性能について報告する.

**【モジュール構造】**図 1 に Si-NW を用いたトランスバース型 $\mu$ TEG とモジュールの構造を示す.  $\mu$ TEG 部は Si-on-insulator(SOI)基板の超薄膜 Si 層を微細加工して Si-NW 列を作製する(図 1(a)および(b)).  $\mu$ TEG 部のサイズは  $D_0 \times L$  である( $\mu$ 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 $\mu$ TEG チップを真空/絶縁体ハイブリッドアイソレーションの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に必要となる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,  $\mu$ TEG 部の長辺, 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 とメタルコンタクトとの間に生じる熱的・電気的寄生抵抗も考慮した[3]. また,  $\mu$ TEG チップ内の熱的・電気的絶縁にポーラスシリカ(PS)を用いた. 最適設計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]. モジュールサイズを  $D=1\text{cm}$  とし, 体温と外気との温度差は  $\Delta T_0=10\text{K}$  とした.

**【設計結果と性能評価】**前回報告したように  $t_c$  が  $\gamma d$  程度の場合,  $(1-\gamma)d$  を固定し, 簡略化した設計アルゴリズムを用いても十分に最適設計が可能である[5].  $t_c$  を伸ばすことはモジュールの出力電力  $P_{out}$  の増大に効果的であるが, この場合, この簡略アルゴリズムの適応には限界がある. そこで, モジュールの構造を完全に最適化できるアルゴリズムを用いて  $t_c$  の効果を詳細に調べた. 図 2 に各種構造パラメータと  $P_{out}$  の  $t_c$  依存性を示す. この図の横軸の各点で  $P_{out}$  が最大になるように各構造パラメータを最適化してある.  $t_c$  の増加とともに各構造パラメータが変化し,  $P_{out}$  が増加する. Si-NW を用いたトランスバース型 $\mu$ TEG モジュールの高出力化には  $t_c$  の増加が重要であるが, このとき TEG 部の最適構造(ナノワイヤの長さ, 直列数, 並列数, および引き出し電極幅)は  $t_c$  に強く依存して変化する.

**【参考文献】**[1] A.M. Ionescu, 63rd IEEE Int. Electron. Dev. Meeting, p 1.2, 2017. [2] T. Kondo *et al.*, 2017 IEEE Electron. Dev. Tech. and Manufact. Conf. pp 201-203. [3] 清野他, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 18p-G203-3, 2018. [4] N. Chiwaki *et al.*, J. Micromech. Microeng. **28**, 094003, 2018. [5] 熊谷他, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 19a-E307-2, 2019.

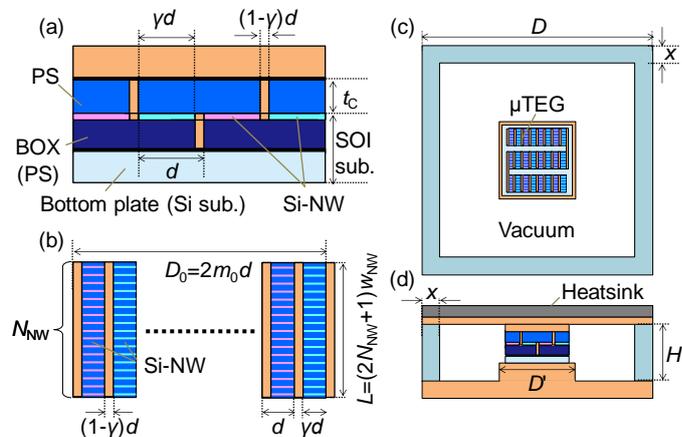


図 1. 薄膜トランスバース型 $\mu$ TEG とモジュール構造

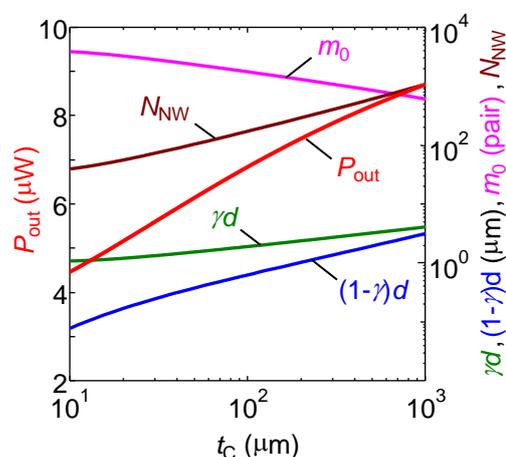


図 2. 各種パラメータの  $t_c$  依存性