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 モジュールの高出力設計

Design methodology of transverse-type micro-TEG modules using Si-nanowires for high output power 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 に応用できると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μTEG モジュールにおけるデバイス 構造の完全な最適化の重要性を示した[5]. 今回はこの指針に基づき行ったμTEG モジュールの高出力 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µTEGとモジュールの構造を示す.µTEG部はSi-on-insulator(SOI)基板上の超薄膜Si層を微細加工してSi-NW列を作製する(図1(a)および(b)). µTEG部のサイズは $D_{0\times L}$ である(µTEG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µTEG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- γ)d, yd, m₀, N_{NW}, tc である(図1参照). 各パラメータはそれぞれ, µTEG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とメタルコンタクトとの間に生じる電気的・熱的寄生抵抗も考慮した[3].また, µTEG 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=1cmとし,体温と外気との温度差は ΔT_0 =10Kとした.また, tc はtc=tc1+tc2, tc1=(1+ γ)d/2 ~ydとした.

【設計結果と性能評価】図 2(a)に $t_c=t_{C1}(=-\gamma d, t_{C2}=0)$ における最適設計された各種パラメータの γ 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設計パラメータを最適化してある. $\gamma=0.99$ 付近で P_{out} がピーク値を持ち, この γ の値で出力を最大化できるが, $(1-\gamma)d$ が数 nm まで小さくなってしまい, 実現

は容易ではない. 図 2(b)に各種設計パラ メータの tc 依存性を示す. tc の増加にとも なって, Pout を最大化する γが減少し, (1-γ)dを増大できる. このとき Pout もともに 増加する. また, tc2 を増加することで, Pout は γに対してロバストな依存性を持つ ようになる. したがって, tc をプロセスで許 容される値まで伸ばし, 完全に構造を最 適化することで, 具現性が高く, 高出力の モジュールを設計できる. 例えば, tc2 を 50µm とすることで, 1cm² のモジュールー 個あたり 7µW/cm² 程度の出力が得られ, 100cm² のリストバンド型の実装を仮定す れば, 短距離通信可能な 0.7mW 程度の 出力が得られる.

【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] 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 67 回応用物理学会春季学術講演会, 13a-D511-2, 2020.



図 2. 各種パラメータの(a) 7依存性 (b) tc 依存性