真空アイソレーションを用いた薄膜π型ナノ熱電発電モジュールの性能限界

Performance limits of π -type thin-film nano-TEG modules with vacuum isolation

[°]山下涼音¹, 清野稔仁¹, 千脇 那菜^{1,2}, 菅原 聡¹ [°]S. Yamashita¹, T. Seino¹, N. Chiwaki^{1,2}, S. Sugahara¹

1.東工大未来研,2東工大電気電子系

1. Laboratory for Future Interdisciplinary Research of Science and Technology (FIRST), Tokyo Inst. of Tech.

2. Department of Electrical and Electronic Engineering, Tokyo Inst. of Tech.

E-mail:s.yamashita@isl.titech.ac.jp

【はじめに】熱電発電モジュールは Internet of humans (IoH)におけるキーデバイスであるウェアラブルデバイス の電源として有望である. 我々は, 集積回路技術を用いて薄膜熱電材料に適した熱電発電モジュールとその 設計方法を提案した[1,2]. 一般に, 薄膜に不向きと考えられているπ型モジュールであっても, サブミクロン以 下のサイズとなるゼーベック素子を高密度に大規模集積化することで、ウェアラブルデバイスへ応用可能な高 い出力を得ることができる. 今回は, 薄膜π型ナノ TEG モジュールにおける素子間の熱的・電気的絶縁に真空 を用いて、このモジュールの性能限界について報告する.

【モジュール構造と設計方法】図1(a), (b)に薄膜π型ナノTEGの構造を示す. モジュールの全面積 D×D のうち 面積 L×L をナノ TEG が占める. ゼーベック素子間と, モジュールのナノ TEG の存在しない領域は真空によっ て熱的・電気的絶縁をとる. 設計ではトレードオフの関係にあるモジュールの熱抵抗 K_M および内部(電気)抵 抗R_Mを最適化するため,これらをトレードオフパラメータ y で表現して,この y を用いて出力電力 P_{out}の最適設 計を行った.設計における重要な構造パラメータは、ゼーベック素子幅 yd、ゼーベック素子の領域長 L、ゼー ベック素子の素子対数 m₀ である(図 1 参照). 今回の設計では, D = 1 cm, 皮膚表面と外気との温度差 ΔT_s = 10 K とした. 引き出し電極の膜厚 te はゼーベック素子幅との関係から、今回は te=yd とした. ただし、これらの値 の最小値は10nmとした. 熱電材料にはBiTe(膜厚 $t_0 = 100$ nm)を用い,その物性値には報告値を用いた[3]. また,金属電極には銅を,系の設定にはヒトの代謝による熱流の制限を考慮した恒温動物モデルを用いた.

【設計結果と性能評価】図 2(a), (b), (c)に, L=1cm (=D), m₀=8.3×10^s における yd, (1-y)d, m₀, R_M, K_M, 起電力 Vs, 出力電力 Pout, のy 依存性を示す. γを小さくすることで, 熱抵抗および内部抵抗は増大し, ゼーベック素子 幅を10nm 程度まで縮小することで、Pout がピークを持つ. すなわち、γを用いて Pout が最適化できることがわか る(K_Mによる V_Sと P_{out}の増大と, R_M増大による P_{out}の減少の最適化). 図 2(b)に L=D における出力 P_{out}の m₀ 依存性を示す. 実線は $\gamma d \ge 10$ nmの制限をかけたとき, 点線は制限をかけなかったときの結果である. P_{out} は γd の減少とともに増大し、yd≧10nm の制限をかけたときでは、yd =10nm になった点で Pout はピークを持つ. 図 2(c)に P_{out} のL依存性を示す.ここで、各Lの値(図の横軸)で γ は最適化され、 $\gamma d \ge 10$ nmの制約の中で最適 なm₀およびK_M, R_Mが決まり, Pout はこの状況における最大値となる. Lが数 10µm から 1mm の広い範囲でPout はほぼ一定の最大値を取る. 図 2(d)に L=1cm, 5mm, 1mm, 100μm における Poutの加工寸法依存性を示す. L を小さくすることで、Poutを最大化できる最少加工寸法が大きくなることがわかる.ここで得られた薄膜π型ナノ TEGをリストバンド型(100cm²)に実装することで3mW程度の出力が得られる.これは短距離通信を含むウェア ラブルデバイスに応用可能な値である.

【参考文献】[1]近藤他, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 21p-W323-11, (2016). [2]近藤他, 第 13 回日 本熱電学会学術講演会, S2B6, (2016). [3]O. Yamashita et al., Jpn. J. Appl. Phys. 42, pp. 492-500, (2003).



図 1.薄膜π型ナノ TEG の構造

図 2. γd, (1-γ)d, m₀, V_S, R_M, K_M, P_{out}の(a)γ依存性(L=D),(b)m0依存性 (L=D),(c)L 依存性, (d)L=1cm, 5mm, 1mm, 100µm における Pout の最少加工寸法依存性