薄膜トランスバース型マイクロ TEG モジュールの高精度モデリング

High-accuracy modeling of transverse-type thin-film micro-TEG modules 東工大未来研。遠藤 弘之, 塩津 勇作, 熊谷 颯人, 菅原 聡 °H. Endou, Y. Shiotsu, H. Kumagai and S. Sugahara, FIRST, Tokyo Inst. of Tech. E-mail: endou.h.ac@m.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薄膜熱電発電モジュール(μ TEG)の検討を進めてい る[2-4]. これまでに, μ TEG の高出力に有効なモジュール構造や, 出力を最大化する構造最適化アルゴ リズムなどを提案してきた[3]. この最適化アルゴリズムは計算時間が膨大となるため高速計算が可能な集 中定数モデルを用いる必要がある. 薄膜 π 型 μ TEG では, 集中定数回路(LCC)モデルと分布定数回路 (DCC)モデルの出力の誤差が~5%と小さい[3]. しかし, トランスバース型 μ TEG では, 層間絶縁膜の熱抵 抗に広がり抵抗モデルを用いることで誤差を~15%にまで抑えられるものの, π 型ほど精度が高くない. 今 回の報告ではトランスバース型 μ TEG の集中定数回路モデルに簡単な補正係数を導入するだけで, 分 布定数回路モデルの結果をより正確に再現できる高精度モデリングについて発表する.

【モジュール構造とモデリング】図 1(a)に薄膜トランスバース型 μTEG の構造を示す. 短冊形状のゼーベック素子が面内方向で接続され, 各接合部は交互に高温側プレートと低温側プレートに熱コンタクトされている. この μTEG 部は図 1(b)のようなモジュールに真空実装される[3]. ゼーベック素子には ZT=1 程度のBiTe 系材料を用い, ゼーベック素子領域の絶縁材料にはポーラスシリカ(PS)を用いた[2-4]. 図2に

μTEG 部の集中定数熱抵抗ネットワークモデルを示す. ゼーベック 素子とコンタクト電極の熱抵抗をそれぞれ K_s, K_c とし, これらの間に 生じる寄生抵抗 K_{Pc} も考慮した[3]. また, 層間絶縁材料の熱抵抗 K_{Ps}には広がり抵抗モデルを用い, これに残留抵抗 K_{res}を加えて ある. これらの熱抵抗に対する補正係数(図2の各 a)を適切に決 定することで,分布定数回路モデルの結果を高精度に再現でき る集中回路モデルを構築できる. 各 a は分布定数回路モデルか らの偏差によって決定した. a_{res}はゼーベック素子の素子対数 m₀ に対し指数関数的に増加するが,これを指数関数で近似すると 他の a の線形性が失われフィッティングが困難となる. a_{res}を一 次関数または折れ線でフィッティングすることで,全ての a を 一次関数で近似できるようになり,高精度 LCC モデルを容易に 構築できる.

【設計結果と性能評価】この高精度 LCC モデルを用いて、薄膜ト ランスバース型 μTEG モジュールの構造最適化を行った. μTEG モジュールの構造は,熱抵抗と電気抵抗を,トレードオフパラメータッ を用いて表現し, y によって出力を最大化することで最適化を行った [2-4]. 系にはヒトの産熱能力を考慮した恒温動物モデルを用いた [3,4]. 設計に用いた固定パラメータは, D=1cm, ゼーベック素子の膜 厚 ts=1µm, 真空封じ壁の厚さ x=0.5mm と高さ H=5mm である. また, ヒトの体と外気との温度差 ⊿T₀=10K とした. 設計における重要な構 造パラメータは、ゼーベック素子の幅 yd, 熱コンタクト電極幅(1-y)d, ゼーベック素子の奥行 L,素子対数 mo である. 図 3 に高精度 LCC モデルで最適設計された各種パラメータの y 依存性を示す. 横軸の 各点で出力 Pout が最大になるように設計パラメータを最適化してあ る. 図には DCC の結果も丸で示してある. また, 従来の LCC モデル の Poutを破線で示してある.高精度 LCC モデルは DCC モデルの挙 動を正確に再現できている. Poutの最大値での誤差は従来モデルを 用いた場合の15%から,高精度モデルでは2%にまで低減できた. 【参考文献】[1] S.R. Islam et al., IEEE Access 3, 678-708, 2015. [2] T. Kondo et al., 2017 IEEE EDTM, 201-203. [3] Y. Shiotsu et al., IEEE T-ED 67, 3834-3842, 2020. [4] N. Chiwaki et al., J. Micromech. Microeng. 28, 094003, 2018.



図 1. (a)薄膜トランスバース型 µTEG(b)モジュール構造



図 2. μTEG の集中定数熱抵抗 ネットワーク

