

高密度集積化マイクロ熱電発電モジュールの設計法

Design of micro thermoelectric generators with a high degree of device integration

○近藤 剛¹、高村 陽太²、菅原 聡¹

○T. Kondo¹, Y. Takamura², S. Sugahara

1. 東工大像情報、2. 東工大電子物理

1.Imaging Sci. and Eng. Lab., Tokyo Inst. Tech., 2.Dept. of Physical Electronics, Tokyo Inst. Tech.

E-mail: tsuyoshi.k@isl.titech.ac.jp

【はじめに】 マイクロ熱電発電モジュール(μ TEG)はスマートウォッチやスマートグラスなどのウェアラブルデバイスやセンサーノードに活用できる環境発電素子として期待されている。従来の熱電発電モジュールは機械加工により切断した熱電材料のペレットを多数接合し構成することが多い。このため、接合数を大きくとることが難しく、通常は多くても 100 個程度の集積密度で用いられる。原理的にはさらに多くの集積化は可能であるが、加工される熱電材料の形状・寸法的な制約があり、モジュールの熱および電気特性を最適化することが容易ではない。そこで、熱電材料薄膜に半導体集積回路に用いられるマイクロデバイスプロセスを応用して μ TEG を実現するための設計法を開発した。本設計法を用いれば、集積されるゼーベック素子数と素子寸法の大きな自由度を用いて、所望の特性を有する μ TEG を設計できる。熱電材料には集積回路の作製プロセスで頻繁に使用される Rapid thermal annealing (RTA)技術によって、容易に高品質薄膜の得られるホイスラー合金を想定した[1][2]。

【設計方法】 μ TEG に要求される出力電圧と最大出力電力（または内部抵抗）を実現するためには、トレードオフの関係にあるゼーベック素子の熱抵抗と電気抵抗（内部抵抗）の設計が重要になる。本提案では、リソグラフィに基づく微細加工により使用できるゼーベック素子数は多くとることができる。この条件は従来と大きく異なる。一般に、ゼーベック素子の内部抵抗を下げると、熱抵抗も下がってしまうため、ゼーベック素子 1 つ当たりの起電力が小さくなってしまふ。提案の設計法ではゼーベック素子 1 つ当たりの起電力が減少しても、接続する素子数を増大させることで、低い内部抵抗を実現しつつ、必要な起電力を実現することが可能となる。すなわち、多くのゼーベック素子が利用できるという条件下では、必要となる出力電圧と内部インピーダンスを実現する最適化法が可能になる。与えられたモジュール面積に対するゼーベック素子の占有率をトレードオフパラメータとした最適化法を開発した。

【設計パラメータ】 図 1 に μ TEG モジュールの構造を示す。各ゼーベック素子への熱コンタクトには Cu の熱浴層の表面に電気的な絶縁のために薄いアルミナを蒸着した構造を用いた。図中に示した各設計パラメータは、 $D = 2 \text{ cm}$, $L = 1 \text{ }\mu\text{m}$, $L_C, L_H = 1 \text{ mm}$, $L_{Cu} = 10 \text{ }\mu\text{m}$, $L_{Al_2O_3} = 1 \text{ }\mu\text{m}$ とした。また、モジュールに与える条件として、温度差 ΔT と出力電圧 V_{out} はそれぞれ $\Delta T = 1 \text{ K}$, $V_{out} = 50 \text{ mV}$, 100 mV , 500 mV とした。モジュールの全面積に対する熱電素子の占有率を γ^2 とし、出力電力 P_{out} 等の γ 依存性から設計を行った。また、熱電材料の物性値は、 Fe_2VAl 系フルホイスラー合金の報告値を用いた。

【計算結果】 図 2 に集積されるゼーベック素子対数 n_0 、各ゼーベック素子の一辺長さ γd 、モジュールの内部抵抗と出力電力の γ 依存性を示す。出力電力を最大にする（または内部インピーダンスを最少にする）最適なトレードオフパラメータ γ から、素子数と素子寸法を決定できる。

【参考文献】 [1]Y. Takamura *et al.*, J. Appl. Phys. **103**, 07D719 (2008). [2]Y. Takamura *et al.*, J. Appl. Phys. **105**, 07B109 (2009).

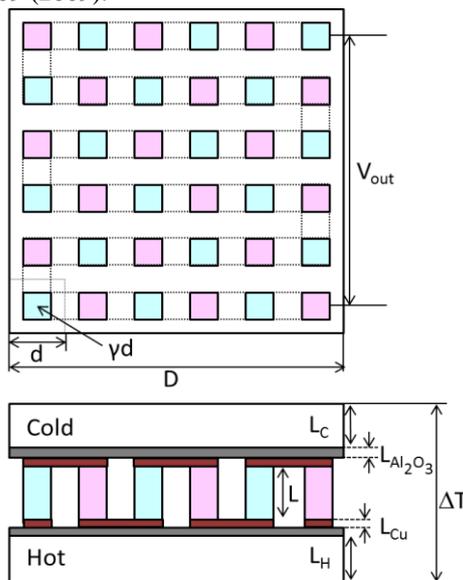


図 1. μ TEG のデバイス構造

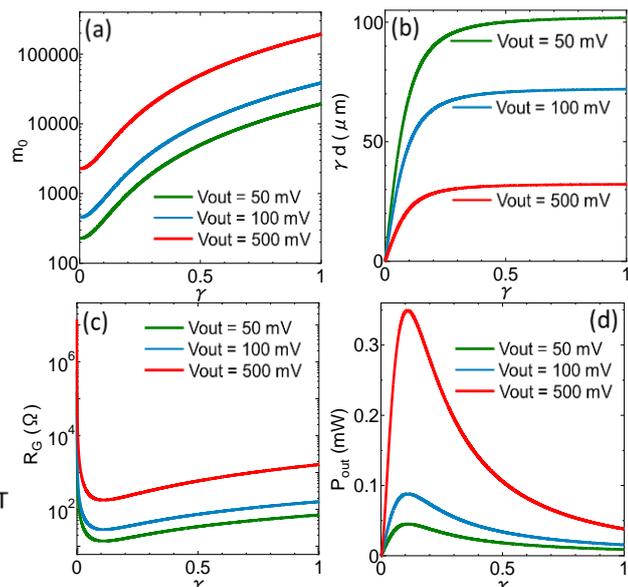


図 2. (a)集積化されるゼーベック素子対数, (b)各素子の一辺の長さ, (c)内部抵抗, (d)出力電力の γ 依存性