

真空/絶縁体ハイブリッドアイソレーションを用いた薄膜 π 型 μ TEG の設計と性能

Design and performance of π -type thin-film μ TEGs using vacuum/insulator-hybrid isolation module structure.

○清野 稔仁, 山下 涼音, 千脇 那菜, 菅原 聡

T. Seino, S. Yamashita, N. Chiwaki, and S. Sugahara

東工大未来研, FIRST, Tokyo Inst. of Tech.

E-mail: seino@isl.titech.ac.jp

【はじめに】 近年, Internet of Humans (IoH) と呼ばれる新しい研究分野におけるマン・マシン・インターフェイスとしてウェアラブルデバイスが注目を集めている[1-4]. IoHにおけるウェアラブルデバイスでは, スマートフォンなど通信デバイス機器が存在する状況下での使用が想定できるため, ウェアラブルデバイスには短距離通信のための数 mW 程度の電力が必要となる. 我々は, このようなウェアラブルデバイスの電源に応用可能な薄膜熱電材料を用いた熱電発電モジュール(薄膜 μ TEG)を提案している[2-4]. 薄膜 μ TEG においては, 十分なモジュールの熱抵抗を確保するために(外気温に対して熱的にマッチングをとるために), モジュール内をゼーベック素子の存在する領域と存在しない領域に分け, ゼーベック素子の存在しない領域への真空アイソレーションの導入が有効であることを報告した[2]. この真空アイソレーションを実現するためのモジュール構造(特に真空封じ構造)はモジュールの出力に大きな影響を与えることが予想される. またゼーベック素子とメタルコンタクト間の寄生抵抗は出力電力への影響が非常に大きいと考えられる. 本発表では, これらの影響を最小限に抑えることができると予想される新しいモジュール構造を提案して, この構造の設計と特性について報告する.

【モジュール構造と設計方法】 図1に提案する薄膜 π 型 μ TEGのモジュール構造を示す. 外部への放熱を確保するためのモジュールの全面積 $D \times D$ とし, $L \times L$ の面積に ゼーベック素子を集積化する. ゼーベック素子間は, 熱的・電気的な絶縁物で埋めてある. 真空構造を実現するために, コールドプレートは凸型になっており, モジュールの外周には真空封じのための支持構造(真空封じ壁)を導入してある. この支持構造の幅を x , 高さを H とする. ゼーベック素子には BiTe 系材料を用い, ゼーベック素子領域のアイソレーションにはポーラスシリカを用いた. 真空封じ壁には硬質・低熱伝導率有機材料を採用した. モジュールの設計は, トレードオフパラメータ γ を用いて, ゼーベック素子の熱抵抗とモジュールの内部抵抗を表現し, この γ によって出力を最適化することで, 最適構造を求めた[2-4]. この最適化においては, ゼーベック素子とメタルコンタクトとの間に生じるコンタクト抵抗(寄生抵抗)を考慮した. ここでは, 半導体集積回路技術で用いられる n^+ または p^+ コンタクト層やバリアメタルなどを導入することで得られる $RA=1\Omega \cdot \mu\text{m}^2$ のコンタクト抵抗を 1 つの目標値とした. 構造最適化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]. 設計には $D=1\text{cm}$, $L=100\mu\text{m}$ およびヒトの体温と外気との温度差 $\Delta T_S = 10\text{K}$ を用いた. また, BiTe 系熱電材料の膜厚は $t_0 = 1000\text{nm}$ とした. 以下, γd , $(1-\gamma)d$, m_0 , K_M , $\beta\Delta T$, P_{out} をそれぞれゼーベック素子の幅, 素子間幅, ゼーベック素子の素子対数, モジュールの熱抵抗, ゼーベック素子にかかる温度差, 出力電力とする. 出力の目標値として 1cm 角のモジュールを 100 個並べて (100cm^2 の実装面積; リストバンド程度) で 1mW 以上とした (1cm 角のモジュール 1 つで $10\mu\text{W}$ 程度以上).

【設計結果と性能評価】 図2に $H=5\text{mm}$ の場合の x 依存性を示す. また, 図3に $x=0.3\text{mm}$ の場合の H 依存性を示す. ともにゼーベック素子とコンタクトメタル間に $1\Omega \cdot \mu\text{m}^2$ のコンタクト抵抗を考慮してある. 真空封じ壁の幅と高さが, P_{out} のみならず μ TEG の最適構造に大きく影響を与えていることがわかる. x は小さいほど, H は高いほど出力が大きくなるが, モジュールの機械的強度とウェアラブルデバイスへの応用の観点も考慮して, これらのパラメータを決定する必要がある. 図4に $x=0.3\text{mm}$, $H=5\text{mm}$ とした場合のコンタクト抵抗依存性を示す. 寄生抵抗の増大により P_{out} は大幅に低下するが, コンタクト構造の工夫により $1\Omega \cdot \mu\text{m}^2$ 程度のコンタクト抵抗を実現できれば, 目標の出力を達成できる.

【参考文献】[1] V. Leonov *et al.*, *IEEE Sensors Journal* 7 pp 650-657, 2007. [2] T. Kondo *et al.*, 2017 *IEEE Electron Dev. Tech. and Manufact. Conf.* pp 201-203. [3] T. Seino *et al.*, The 17th Power MEMS, Kanazawa, Japan, PT70, 2017. [4] N. Chiwaki *et al.*, The 17th Power MEMS, Kanazawa, PW73, Japan, 2017

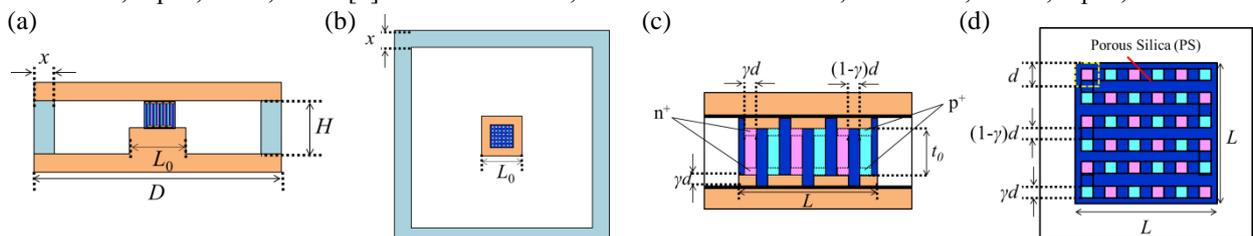


図1. 薄膜 π 型 μ TEGのモジュール構造の(a)縦断面図, (b)横断面図, ゼーベック素子領域の(c)縦断面図 (d)横断面図

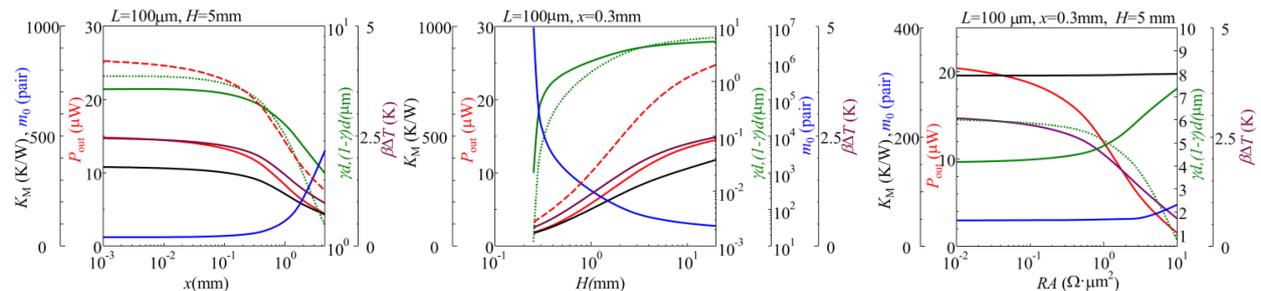


図2. P_{out} , γd , $(1-\gamma)d$, K_M , m_0 , $\beta\Delta T$ の x 依存性(点線は寄生抵抗を考慮に入れない場合の P_{out})

図3. P_{out} , γd , $(1-\gamma)d$, K_M , m_0 , $\beta\Delta T$ の H 依存性(点線は寄生抵抗を考慮に入れない場合の P_{out})

図4. P_{out} , γd , $(1-\gamma)d$, K_M , m_0 , $\beta\Delta T$ のコンタクト抵抗 RA 依存性