ホイスラー合金を用いた薄膜トランスバース型マイクロ TEG モジュールの最適設計

Design optimization of thin-film transverse-type micro-TEG modules using Heusler alloy

◦塩津 勇作,遠藤 弘之, 熊谷 颯人,菅原 聡

°Y. Shiotsu, H. Endou, H. Kumagai, and S. Sugahara

東工大未来研, FIRST, Tokyo Inst. of Tech.

E-mail: y.shiotsu@isl.titech.ac.jp

【はじめに】100℃程度以下の低温排熱は未利用エネルギー源としてその応用が検討されている. 最近, 100℃以下の温度領域で極めて高い ZT(~6)を示すホイスラー合金(Fe₂V_{0.8}W_{0.2}Al)が報告された[1]. 我々は,構成元素の積層薄膜構造を Rapid thermal annealing (RTA)によって合金化するホイスラー合金 薄膜の形成について開発してきた[2-6]. この方法では不規則構造によるディスオーダーを抑え,極めて 規則度の高いホイスラー合金薄膜を絶縁体上に形成できる. 本方法では 1 か月程度熱処理を行ったバ ルク材料と同程度の規則度が得られる. この方法はハーフメタル(スピントロニクス材料)のホイスラー合金 薄膜の形成に提案されたものであるが,熱電材料となるホイスラー合金にも適応可能である. また,我々 は薄膜熱電材料を用いた薄膜トランスバース型 μTEG モジュールを提案・解析してきた[7,8]. 本発表では ホイスラー合金(Fe₂V_{0.8}W_{0.2}Al)薄膜を熱電材料として用いた薄膜トランスバース型μTEG モジュールの最 適設計とその性能について報告する.

【モジュール構造と設計方法】本発表に用いる薄膜トランスバース型 μ TEG は、Si 基板上に形成した絶縁体膜上に形成されたホイスラー合金薄膜を用いて構成できる.したがって、上述の RTA によるホイスラー合金薄膜の形成法が有効である.薄膜トランスバース型 μ TEG の構造を図 1(a)に示す.短冊形状のゼーベック素子が面内方向に配置され、各接合部は交互にホットプレートとコールドプレートに熱コンタクトされている.この μ TEG 部は絶縁体でアイソレーションを行う.これらは半導体微細加工技術を用いて作製ができる.この μ TEG 部は図 1(b)のようなモジュールに実装する.モジュールの面積を $D \times D$ とし、 $D_0 \times L$ の面積のゼーベック素子部は $D' \times L'$ の領域に集積化される.簡単のため、 $L=D_0$ 、 $D'=L'=D_0$ とした.ゼーベック素子集積領域外は大気(窒素)とした.また、今回は性能限界を議論するため、支持構造の影響は考慮していない.熱電材料にZT=6のホイスラー合金[1]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を用いた.外気との温度差 ΔT_0 を50K、熱流Qの上限を100mW/cm²として、モジュールの熱抵抗 $K_{\rm Air}$ で出力が最大化できるように最適化することで μ TEG モジュールの構造パラメータを決定した.構造パラメータは、ゼーベック素子の幅 γd 、熱コンタクト電極幅(1- γ)d、ゼーベック素子集積長 D_0 、ゼーベック素子の素子対数 m_0 である.この構造最適化

には我々の提案したアルゴリズムを用いた[7,8]. この 設計では D=1cm, ゼーベック素子膜厚 $t_s=50$ nm, 高さ H=5mm とし, 簡単化のため熱コンタクト電極の長さ t_c $\varepsilon(1+\gamma)d/2$ とした. また, ゼーベック素子とメタルコンタ クトとの間に生じる寄生抵抗も考慮した. K_{air} の下限は 50K/W(フィン構造のヒートシンクで実現可能値), (1- γ)dの下限は 0.5µm とした.

【設計結果と性能評価】図2に各種パラメータのDo 依存性を示す.図の横軸の各点でPoutが最大になる ように構造パラメータを最適化してある.Doを小さくし ていくと,KMを高くできるが,Kairが下限に達するため Kair,KMともに一定となる.この領域では,Doがさらに 小さくなるとydが減少し,moが増加するが,vs(ゼーベ ック素子当たりの起電力)が減少するため,Poutはピー クを持つ.したがって,Doを適切に設計することがPout の最大化に重要である. 今後,モジュールの支持構 造の影響を調べる必要があるが,最適設計されたモジ ュールを数個用いればBLE 程度の出力の無線通信 への電力供給が可能となる.

【参考文献】[1] B. Hinterleitner *et al.*, Nature **576**, 85–90, 2019. [2] Y. Takamura *et al.*, J. Appl. Phys. **103**, 07D719, 2008. [3] Y. Takamura *et al.*, J. Appl. Phys. **105**, 07B109, 2009. [4] H. Hayashi *et al.*, J. Appl. Phys. **107**, 09B1041, 2010. [5] Y. Takamura *et al.*, J. Appl. Phys. **109**, 07B768, 2011. [6] Y. Kawame *et al.*, J. Appl. Phys. **117**, 17B151, 2015. [7] T. Kondo *et al.*, IEEE Electron. Dev. Tech. and Manufact. Conf., 201–203, 2017. [8] N. Chiwaki *et al.*, J. Micromech. Microeng. **28**, 094003, 2018.

