

メタマテリアル熱電変換素子の発電機構の分析 Numerical Analysis of Metamaterial Thermoelectric Conversion

東京農工大, [○](M)朝倉拓也, 久保若奈

Tokyo Univ. of Agri. and Technol. (TUAT), [○]Takuya Asakura, Wakana Kubo

E-mail: w-kubo@cc.tuat.ac.jp

熱を電気に変換する熱電変換素子は、温度差が得られる環境において恒久的に電力を生み出せる素子であり、エネルギーハーベスティング素子として注目されている。熱電変換素子は素子内の温度勾配がもたらすキャリアのポテンシャル差によって発電するため、発生する電圧は素子内の温度勾配に比例する。したがって素子内の温度が均一になる環境下では原理上発電できない。それに対し我々は、均一温度環境下においても熱電発電する、メタマテリアル熱電変換機構を実験的に実現した。

メタマテリアル (Metamaterial Absorber: MA)は電磁波吸収体である。周囲環境が放出する熱輻射を吸収する MA 構造を熱電変換素子の片側電極上に装着すると、MA 構造は周囲環境が放出する熱輻射を吸収する。吸収したエネルギーは構造内のキャリアの共振エネルギーに変換され、共振エネルギーはやがて局所的な熱となる。その局所的な熱は電極を介して熱電変換素子に伝搬し、素子内には新たな温度勾配が生じて、均一温度環境における発電が可能となる。これまで我々は MA 熱電変換素子による均一温度環境下での熱電出力を実験的に確かめたが [1], この熱電発電が我々の推測する駆動機構に基づいているのか、確認できていなかった。そこで本研究では、均一温度環境下での熱電発電を有限要素法によってシミュレーションし、MA 熱電変換素子の発電メカニズムを計算的に確認することを目的とした。

MA 熱電変換素子は、ビスマスアンチモンテルル ($\text{Bi}_{0.3}\text{Sb}_{1.7}\text{Te}_3$)熱電変換素子の両端に、MA 銅電極と、MA 構造を形成していない比較銅電極を装着して形成した (Fig. 1(a)). Fig. 1(b)に MA 電極, $\text{Bi}_{0.3}\text{Sb}_{1.7}\text{Te}_3$, 比較電極の吸収スペクトルと 373 K の熱輻射スペクトルの計算結果を示す。これらの吸収特性から、電極および熱電素子などの各構成要素の熱輻射吸収量を算出し、熱電シミュレーションモデルに入力した。この操作により、各要素の熱輻射吸収と発熱を考慮した上で素子の熱電特性を計算できる。373 K の均一温度環境下に素子を設置した際の出力電圧を Fig.1(c)に示す。加熱開始 3 時間後の、実験的に得られた出力電圧は $18.9 \pm 6.7 \mu\text{V}$ であったのに対して、計算で得た出力電圧は $20.7 \mu\text{V}$ であった。素子構成要素の熱輻射吸収量を考慮した熱電シミュレーションが実験結果を追従したと判断した。この計算的に得た出力電圧値より算出した電極間の温度差は 0.16 K で、この値は実験的に得た MA 電極の発熱量 0.14 K とほぼ一致した。このことから、均一温度環境下におけるメタマテリアル熱電発電は、メタマテリアルの熱輻射吸収と発熱により熱電素子に新たな温度勾配が生じて駆動する機構であることを計算的に確認した。

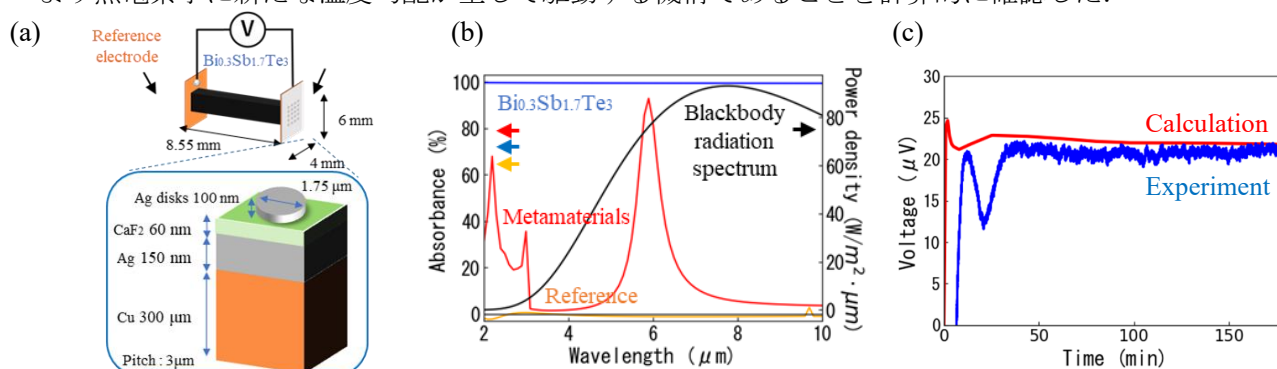


Fig. 1(a) Schematic of the $\text{Bi}_{0.3}\text{Sb}_{1.7}\text{Te}_3$ thermoelectric device loaded with the MA-fabricated electrode. (b) Absorption spectra of MA (ref), a reference electrode (yellow), and the $\text{Bi}_{0.3}\text{Sb}_{1.7}\text{Te}_3$ element (blue). The black line shows the blackbody radiation spectrum at 373 K. (c) Numerical (red line) and experimental (blue line) time dependence of Seebeck voltages generated on the MA device.

謝辞 $\text{Bi}_{0.3}\text{Sb}_{1.7}\text{Te}_3$ 素子をご提供いただきました (株) 豊島製作所に感謝申し上げます。