

メタマテリアル熱電発電による薄膜型熱電変換素子の発電特性向上

Enhancement of Thin-Film Thermoelectric Conversion Device Using Metamaterials

東京農工大, [○](B) 爲廣英純, 久保若奈

Tokyo Univ. of Agri. Technol. (TUAT), (B)[○]Hidezumi Tamehiro, Wakana Kubo

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

近年, 自然環境や健康状態などをデータとして読み取り, 記録するためのセンシングデバイスの需要が高まっている. デバイスを人体に装着して使用する場合は装着感の低減のため, デバイスおよび電源の薄膜化・軽量化が求められる. そのため, 物体の温度差を起電力に変換する熱電変換素子は, 温度差さえあれば恒久的に発電可能な薄膜型電源になり得ることから, センシングデバイスの電源としての活用が期待される. ただ, 既存の熱電変換素子を薄膜化すると, 膜厚方向の熱拡散が速いため, 温度差の維持が難しく, 出力が低下する傾向にあることは否めない. そこで本研究は, 物体が放出する熱輻射を吸収して発熱するメタマテリアルを利用して熱電素子の膜厚方向の温度差を維持し, より高い出力を示す薄膜型メタマテリアル熱電変換素子を提案し, その実現を目的とした.

ガラス基板上に直径 $3.5 \mu\text{m}$, 周期 $4.0 \mu\text{m}$, 厚さ 150 nm の円盤型銀 (Ag) ディスクアレイを作製し, その上にフッ化カルシウム (CaF_2) 薄膜, および加熱端電極となる Ag 薄膜を成膜した, メタマテリアル吸収 (MA) 構造を形成した (Fig. 1(a)). CaF_2 薄膜および Ag 薄膜の厚さは 150 nm とした. Ag 薄膜上に熱電材料としてフラーレン (C_{60}) を真空蒸着法で 300 nm 積層し, C_{60} 上に冷却端となる Ag 電極を形成した (Fig. 1(b)). 成膜した C_{60} の実測ゼーベック係数は $233.9 \pm 26.12 \mu\text{V/K}$ であった. MA 構造は熱源が放射する熱輻射を吸収し, 局所的な熱に変換する. その局所的な熱は伝導熱伝搬によって加熱端電極を介して C_{60} に伝搬することから, 熱源から素子に与えられた温度勾配に加え, 熱輻射吸収により MA 構造が生成した局所熱による追加の温度勾配が C_{60} に加わり, C_{60} にはより大きな温度勾配が形成され, 出力向上が期待できる.

Fig. 1(c) に有限要素法によって計算した MA 構造の吸収スペクトルを示す. $36 \text{ }^\circ\text{C}$ における黒体輻射スペクトルと比較すると, 熱輻射スペクトルのピークである $10 \mu\text{m}$ 付近に MA の吸収ピークが現れ, 設計した MA が, $36 \text{ }^\circ\text{C}$ の熱輻射の一部を吸収し, 局所熱を生成すると推測した. $36 \text{ }^\circ\text{C}$ の熱源に接触した MA 構造が発生する局所熱の温度と, 外気温 $23 \text{ }^\circ\text{C}$ との間に発生する温度差を計算的に求めたところ, $0.35 \text{ }^\circ\text{C}$ となった. よって, メタマテリアルを薄膜熱電変換素子に導入することで, $20.4 \mu\text{V/mm}^2$ の追加電圧を得ることができると推察した.

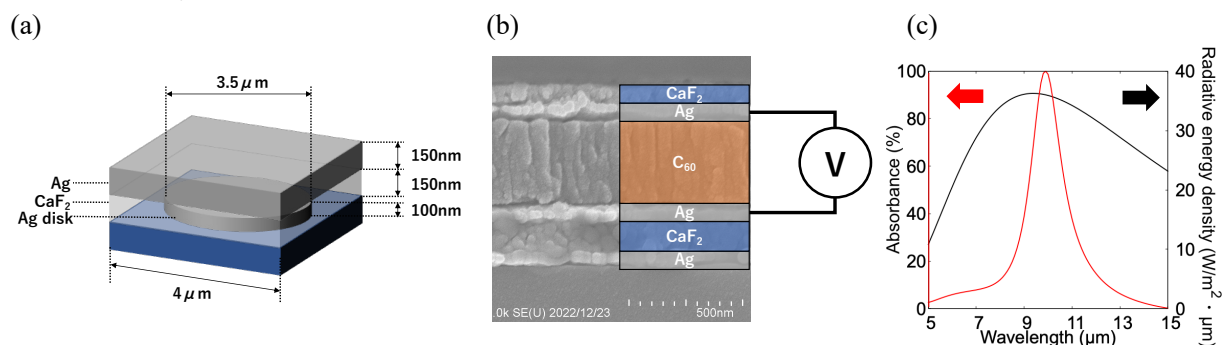


Fig. 1 (a) Schematic of MA, (b) cross-sectional SEM image of the metamaterial thermoelectric conversion device, and (c) comparison of the blackbody radiation spectrum (black line) calculated at $36 \text{ }^\circ\text{C}$ and the calculated absorption spectrum of MA (red line).