

メタマテリアル熱電変換の発電特性を向上する広帯域メタマテリアル構造の作製

Broadband Metamaterial aimed for Enhancing

Metamaterial Thermoelectric Conversion

東京農工大, ○(B)濱田健太, 朝倉拓也, 久保若奈

Tokyo Univ. of Agri. Tech. (TUAT), ○Kenta Hamada, Takuya Asakura, Wakana Kubo,

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

熱電変換素子は素子内の温度勾配を電気に変換する素子である。そのため熱電変換素子は、素子両端間の温度差が消失するような、温度分布が一様な環境においては熱電発電ができない。それに対し我々は、従来の熱電変換素子が発電できない均一な温度分布の環境においても、熱電発電を可能にするメタマテリアル熱電変換を提案・実証した [1,2]。

電磁波吸収体であるメタマテリアル (MA) を熱電変換素子の一端に装着すると、MAは環境が放出する熱輻射を吸収し、MA内に局所的な熱を生成する。この熱は伝導熱伝搬によって熱電素子に伝搬して素子上に新たな温度勾配を形成するため、均一な温度分布の環境における熱電発電を可能にする。先行研究で用いたMAは銀 (Ag) およびフッ化カルシウム (CaF₂) を一層ずつ成膜した構造であり、狭帯域な吸収特性を示した。これまでの検討で、AgおよびCaF₂ディスクを複数層積層させたハイパーボリックメタマテリアル (HMM) 構造が広帯域吸収を示し (Fig. 1(a)), メタマテリアル熱電変換の出力を向上する可能性があることがわかっている。そこで本研究は電磁界計算によって最適化したHMMを実際に作製し、HMMを装着したメタマテリアル熱電変換の特性について調査、従来のMAを用いた熱電発電と比較することを目的とした。

HMMの作製では、銅電極上に塗布したレジストに電子線描画法によって直径1.85 μm、ピッチ3 μmのホール配列パターンを形成した。Ag/CaF₂をそれぞれ、60/20 nmずつ交互に計8層蒸着し、リフトオフをしてHMMを得た。Fig. 1(b)にHMMの走査電子顕微鏡(SEM)図を示す。底面ディスク径が2.06 μm、上部ディスク径が1.73 μmとなり、設計値通りの値が得られたことを確認した。積層した合計の膜厚は223 nmとなり、この値から見積もった積層角は58°であった。これは、構造における積層角の設計値である81°とは大きく異なる。積層角が変化することにより、吸収スペクトルが変化するため、HMMの赤外吸収スペクトルを有限要素法で計算した。その結果をFig. 1(c)に示す。HMMは吸収率50%以上となる波長域が7.6-8.6 μmと、広帯域性を示し、また波長8 μmにおけるHMMの吸収率は87.9%であることを確認した。また、HMMの吸収エネルギー密度は1.04 × 10⁹ W/m³となり、Ag/CaF₂をそれぞれ一層ずつ積層したMA構造の吸収エネルギー密度と比較して3.0倍になった。熱電シミュレーションによって求めたMAの発電密度が2.4 W/m³であるのに対し、HMMの発電密度は10.1 W/m³と、発電密度は4.2倍の増加となった。HMMの広帯域吸収特性によって熱輻射吸収量が増大し、熱電発電特性を向上できることが判明した。当日は、発電実験結果について報告する。

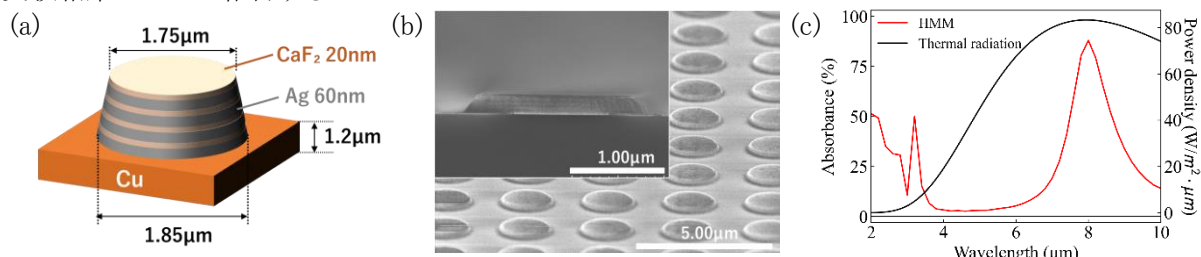


Fig. 1 (a) Schematic of HMM. (b) SEM images of HMM, and (c) comparison of the calculated absorption spectrum of HMM and the blackbody radiation spectrum calculated at 373 K.

[1] S. Katsumata, T. Tanaka, W. Kubo, “Metamaterial perfect absorber for intensifying thermal gradient across thermoelectric device”, *Optics Express*, 29, 16396 (2021)

[2] T. Asakura, T. Tanaka, W. Kubo, “Metamaterial Thermoelectric Conversion”, *arXiv: Physics*, 2204.13235 (2022)

謝辞 Bi_{0.3}Sb_{1.7}Te₃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。