

## メタマテリアル熱電変換の特性向上を目的とした広帯域メタマテリアルの最適設計

### Optimization of Hyperbolic Metamaterial for Metamaterial Thermoelectric Conversion

東京農工大, <sup>○</sup>(M)川村直矢, 朝倉拓也, 久保若奈

Tokyo Univ. of Agri. Technol. (TUAT), <sup>○</sup>Naoya Kawamura, Takuya Asakura, Wakana Kubo,

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

熱電変換素子は、素子両端間の温度差を起電力に変換する素子である。その駆動機構のため、素子内の温度分布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、素子内の温度分布が一様となる均一温度環境下においても熱電発電を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 (Metamaterial Absorber: MA)を熱電変換素子の片側の電極上に装着すると、MAは周囲環境が放出する熱輻射を吸収し、吸収された熱輻射エネルギーはMA構造内で局所的な熱に変換される。その局所的な熱はMAの基板である銅電極を介して熱電変換素子に伝導伝搬する。その結果、熱電変換素子上には新たな温度勾配が生じて、均一温度環境における熱電発電が可能となる。

メタマテリアル熱電発電の出力はMAの熱輻射吸収量および発熱量に依存する。したがって広帯域吸収特性を示すように最適化したMAを用いれば、MAが吸収する熱輻射エネルギー量が増大し、メタマテリアル熱電変換の発電特性がさらに向上すると考えられる。そこで本研究では、広帯域吸収特性を示す積層型メタマテリアル (Hyperbolic Metamaterial: HMM) 構造を電磁界計算によって設計し、その吸収スペクトルおよび発熱量を調査して、メタマテリアル熱電変換の特性向上に最適なHMM構造を計算的に求めた。

Fig. 1(a)にHMM構造の模式図を示す。本研究では銀 (Ag)ディスクとフッ化カルシウム (CaF<sub>2</sub>)ディスクを積層したHMM構造を採用した。HMM構造は円錐台型を持ち、異なる径のAg/CaF<sub>2</sub>ディスク層を基板垂直方向に積層させた構造である。各層は異なる波長の電磁波と共振するため、広帯域吸収特性が得られる。ピッチ3  $\mu\text{m}$ 、底面のAgディスク径を1.85  $\mu\text{m}$ に固定して、Ag, CaF<sub>2</sub>各層の膜厚を100 nmとした時に計算的に得たHMMの吸収スペクトルを、100°Cの黒体輻射スペクトルとともにFig. 1(b)に示す。設計したHMMは広帯域吸収特性を示し、吸収ピークの半値幅 (FWHM)は2  $\mu\text{m}$ となった。Ag/CaF<sub>2</sub>単層で構成される単層HMMのFWHM 0.6  $\mu\text{m}$ と比較するとAg/CaF<sub>2</sub>の積層により広帯域吸収特性が得られたことを確認した。次にHMM構造の最適化を行うために、AgおよびCaF<sub>2</sub>の膜厚を変えた時の吸収エネルギー密度分布をFig. 1(c)に示す。Ag膜厚60 nm, CaF<sub>2</sub>膜厚20 nmのとき、HMMの吸収エネルギー密度は $1.0 \times 10^9 \text{ W/m}^3$ となり、調査した膜厚の範囲において最大の吸収エネルギー密度となった。熱電シミュレーションで求めた発電密度は $10.1 \text{ W/m}^3$ となり、発電密度は、単層のHMM構造と比較し、約4.2倍になった。

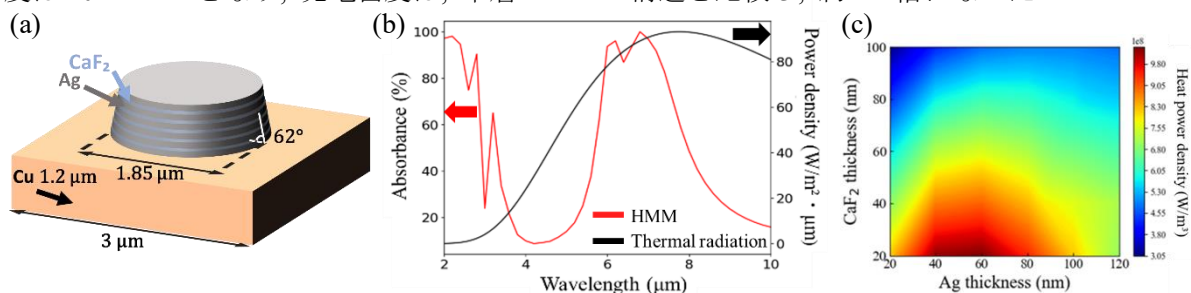


Fig. 1 (a) Schematic of HMM. (b) Comparison of the calculated absorption spectrum of HMM and a blackbody radiation spectrum calculated at 373 K. (c) Dependence of Ag and CaF<sub>2</sub> layer thicknesses on heat power density of HMM calculated at 100°C.

[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).