

## 熱輻射吸収メタマテリアルによる熱電発電の出力向上 Improvement in Thermoelectric Power via Thermal Radiation Absorption induced by Metamaterial

東京農工大, <sup>○</sup>(M2)勝俣 翔平, 久保 若奈

Tokyo Univ. of Agri. Technol. (TUAT), <sup>○</sup>Shohei Katsumata and Wakana Kubo

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

熱電変換は熱エネルギーを直接電気に変換する技術であり、省エネルギー化を実現し、廃熱回収を可能にする有望なツールになると期待されている。熱電変換素子の出力は素子に与えられる温度勾配に依存するため、高効率に発電する実用的な素子の実現には、温度勾配を拡大する素子形態や構成が必要である<sup>[1]</sup>。そこで我々は、熱電変換素子上に熱輻射を吸収して発熱するメタマテリアルを形成することで、輻射吸収熱を熱電変換素子に与えて素子内の温度勾配を拡大し、出力を向上する着想に至った。それを検証する為に本研究では、熱輻射を吸収するメタマテリアルを設計した。そしてそのメタマテリアルが発生する熱と、得られる熱電変換出力について、シミュレーションによって検証した。

シミュレーションで用いた素子は、熱電変換材料であるビスマステルル ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) 上に、完全吸収メタマテリアル構造を構成する銀フィルム (Ag film), フッ化カルシウム ( $\text{CaF}_2$ ) 層を積層し、その上に、銀ナノディスク (Ag ND) を有する。素子の模式図を Fig. 1 に示す。この

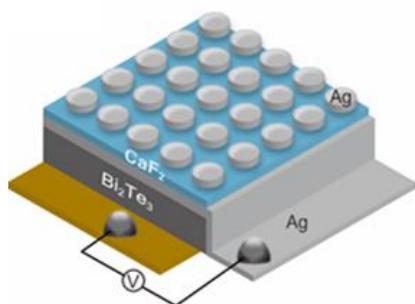


Fig. 1 Schematic of thermoelectric device with metamaterials which absorb thermal radiation.

素子上のメタマテリアルは、熱輻射を吸収して磁場共鳴を励起する。その結果、磁場共鳴の損失の一部が熱となる。発生した熱は Ag film を介して下部の  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  に伝搬し、 $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  膜内で温度勾配が発生することで起電力が生じる。Ag ND の直径、配列周期、 $\text{CaF}_2$  層の厚さを最適化し、メタマテリアルの吸収ピークが 500 K の黒体の熱輻射スペクトルピークと一致するように設計した。Ag ND の直径と周期がそれぞれ  $1.75 \mu\text{m}$  と  $2 \mu\text{m}$ 、 $\text{CaF}_2$  層の厚さ  $60 \text{ nm}$  であるとき、メタマテリアルの吸収スペクトルは、 $6.08 \mu\text{m}$  で反射率が  $0.07\%$  となるピークを示し、500

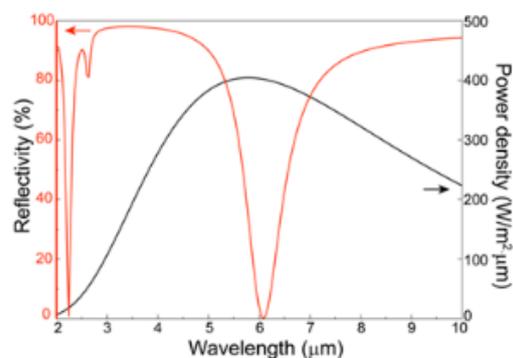


Fig. 2 Reflection spectrum of the metamaterial on a  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  film (red curve), and blackbody radiation spectrum at 500 K (black curve).

K の黒体の熱輻射の一部を吸収することを確認した。(Fig. 2)

次に 500 K の黒体輻射を吸収した際にメタマテリアルが生成する局所熱量と、その局所熱量によって発生する熱電起電力と出力を計算した<sup>[2]</sup>。熱電デバイスの出力電力計算は、COMSOL 熱電シミュレーションを使って行った。シミュレーションで使用した  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  の電気伝導率、熱伝導率、熱容量、密度およびゼーベック係数は、それぞれ  $1.1 \times 10^5 \text{ S/m}$ ,  $1.636 \text{ W/mK}$ ,  $154 \text{ J/kgK}$ ,  $7.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,  $2.1 \times 10^{-4} \text{ V/K}$  であった<sup>[3]</sup>。波長  $2\text{-}10 \mu\text{m}$  の範囲において、求めた局所熱量は  $0.714 \text{ K/cm}^2$  であった。さらに局所熱量から計算した熱電起電力および出力はそれぞれ  $150 \mu\text{V}$ ,  $6.06 \mu\text{W/cm}^2$  であった。

つまり、500 K の熱源に接触させた熱電変換素子の表面に熱輻射を吸収するメタマテリアルを適用すると、メタマテリアルの共鳴損失によって  $0.714 \text{ K}$  の追加の温度勾配を熱電変換素子に与えることができ、メタマテリアルを含まない熱電変換素子よりも  $6.06 \mu\text{W/cm}^2$  大きい熱電出力が得られることが明らかになった<sup>[4]</sup>。

[1] Ioannis Petsagkourakisa, Sci. Technol. Adv. Mater. (2018) **19**, 836-862.

[2] Y. Ishimori, T. Ishizaki, T. Ohtomo and A. Fuwa, J. Japan Inst. Metals (2004) **68**, 406-411.

[3] E. E. Antonova, and D. C. Looman, in ICT 2005. 24th International Conference on Thermoelectrics (2005) 215-218.

[4] S. Katsumata, T. Takuo, and W. Kubo, under review