

メタマテリアル完全吸収構造によるプラズモニック光熱電変換素子の変換効率向上 Improvement in Conversion Efficiency of Plasmonic Photo-Thermoelectric Device

Realized by Metamaterial Perfect Absorber

東京農工大, ○ (B)堀川 万泰, 久保 若奈

Tokyo University of Agriculture and Technology (TUAT), ○ Mahiro Horikawa, Wakana Kubo

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

プラズモン局所熱は, 局在表面プラズモン (Localized Surface Plasmon; LSP) 励起時に発生する熱電子とフォノンの散乱過程で生成する熱である. プラズモン局所熱量は無視できるほど小さくはなく, 光熱変換に利用できる重要なエネルギー源になり得る. 我々はそのエネルギーを光電変換に活用するために, プラズモン局所熱と熱電変換を組み合わせたプラズモニック光熱電変換素子を開発, 実証した^[1]. プラズモニック光熱電変換素子は, 受光部として機能する銀ナノロッド (Ag NRs) が熱電変換層の poly (3,4-ethylenedioxythiophene) polystyrene sulfonate (PEDOT:PSS) 薄膜に埋没されたデバイス構造を有する. Ag NRs への光照射により Ag NR の LSP が励起されるとプラズモン局所熱が発生する. その結果, 熱電変換層に温度勾配が生じ, ゼーベック効果によって熱電変換層両端に電位差が発生することにより光電変換が実現される. そのため, プラズモニック光熱電変換素子の外部量子効率 (External Quantum Efficiency; EQE) は主に熱電変換材料の特性とプラズモン局所熱量に依存する. より高い EQE を得るためにはより大きなプラズモン局所熱を発生させる必要があるが, 先行研究で我々が受光部として用いた Ag NRs は光吸収量が少ないために発生する局所熱量も小さく, 素子の EQE が低いという問題があった. そこで本研究では, メタマテリアル完全吸収構造 (Metamaterial Perfect Absorber; MPA) を受光部に用いて光吸収量を増大させ, より大きなプラズモン局所熱を発生させることにより, 素子の EQE を向上することを目的とした.

実験では, ガラス基板上に電子線描画法及び真空蒸着法により Ag NRs を作製した. さらに, スピンコート法により PEDOT:PSS 薄膜を製膜した. 最後に再び真空蒸着法で基板の両端に電極, 及び MPA 構造の Ag 薄膜を形成した (Fig. 1(a), (b)).

Fig. 1(c)に, MPA 構造または Ag NRs を含む素子に対しナノロッドの短軸方向に電場振動を持つ光 (Fig. 1(a)参照) を照射した際の吸収スペクトルと EQE の比較を示す. 吸収率 (A) は, 各素子の受光部の反射率 (R) と透過率 (T) を測定し, $A=1-T-R$ から求めた. Ag NR と MPA 構造は波長 606 nm と 600 nm において吸収ピークを示し, その吸収率はそれぞれ 30% および 97% であった. 次に, MPA 構造および Ag NR 構造それぞれを含む素子について, 光照射下におけるプラズモニック光熱電変換素子の発生電流値を Fig. 1(a) に示す測定回路を用いて測定し, EQE を算出した. 波長 638 nm の光照射下における Ag NR と MPA 構造を含む素子の光吸収率および EQE をそれぞれ比較すると, Ag NRs では 30% および 0.0011% であったのに対し, MPA 構造は 89% および 0.0030% であった. つまり, 受光部の構造を MPA 構造にすることで Ag NRs に比べ波長 638 nm での光吸収率は 2.97 倍に向上したが, EQE は 2.54 倍と, 期待された増強率は得られなかった. この結果は, 実験的に求めた MPA 構造の光吸収率に Ag NRs 背面における反射や散乱などが含まれた結果, MPA 構造の吸収率が実際よりも大きく推測されている可能性を示唆する. 今後, MPA 構造のより正確な光吸収率を実験的に求め, さらに電磁界シミュレーションによって, 熱電変換機構に寄与する MPA 構造および Ag NRs 構造のプラズモン局所熱量を算出して, プラズモニック光熱電変換機構の EQE 向上に対する MPA 構造の寄与について明らかにする.

Reference

[1] W. Kubo, M. Kondo, and K. Miwa, *J. Phys. Chem. C*, **123**, 35, 21670-21675 (2019).

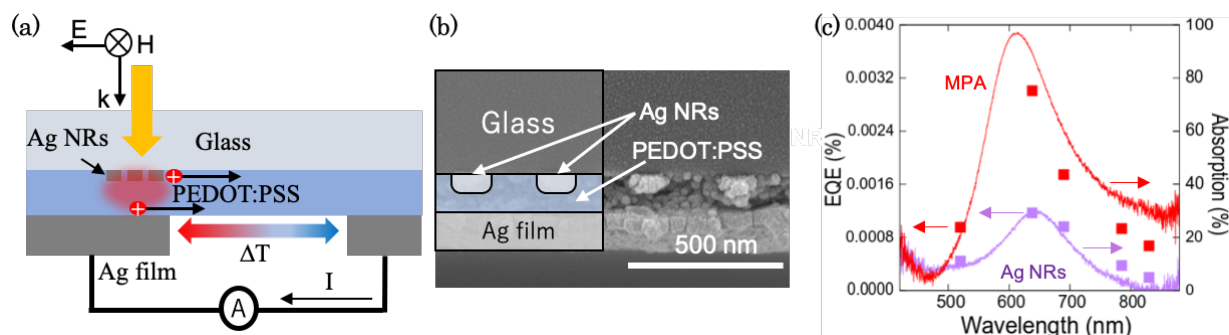


Fig. 1(a) Schematic of the plasmonic photo-thermoelectric device with MPA, **(b)** cross-sectional SEM image of MPA configuration, and **(c)** comparison of the absorption spectra with the EQEs of the devices embedding Ag NRs (red plot) and MPA (purple plot).