発熱体としてのメタマテリアル完全吸収構造 Metamaterial Perfect Absorber as Heat Generator 東京農工大、 0^(M)堀川 万泰、久保 若奈 Tokyo University of Agriculture and Technology (TUAT), 0(M) Mahiro Horikawa, Wakana Kubo E-mail: w-kubo@cc.tuat.ac.jp

局在表面プラズモン共鳴 (Localized Surface Plasmon Resonance: LSPR)によって 発生するプラズモン局所熱は, ナノ領域の有 用なエネルギー源として注目されている.当 研究室では、光エネルギーをLSPRによって発 生するプラズモン局所熱と熱電変換によって 電気に変換することで、フォトディテクタと して機能するプラズモニック光熱電変換素子 (Fig. 1(a))を開発, 実証した. プラズモニック 光熱電変換素子の出力は,発生するプラズモ ン局所熱が素子の熱電変換層に与えた温度に 比例するため,変換効率の向上にはより高温 の局所熱を発生させる受光部構造が必要とな る. そこで我々は, 金属ナノ構造, 誘電体薄膜, 金属薄膜の 3 層により構成されるメタマテリ アル完全吸収構造 (Metamaterial Perfect Absorber; MPA) (Fig. 1(b))をプラズモニック 光熱電変換素子の受光部として利用すること を考えた.



Fig. 1(a) Schematic of the plasmonic photothermo electric device and **(b)** Crosssectional schematic of MPA configuration.

MPA では、共鳴光照射時に金属ナノ構造側 で励起する LSPR の電場振動に金属薄膜の自 由電子が結合して振動する. このとき誘電体 層に強い磁場共鳴を発生することで光を閉じ 込め,100%に近い消光率を実現する.実際に, 素子の受光部として用いていた銀ナノロッド アレイ構造 (Ag NRs)に替えて MPA を光熱電 変換素子に実装すると, Ag NRs を用いた素子 に比べ消光率は 2.9 倍,外部量子効率 (External Quantum Efficiency; EQE)は 2.7 倍 に向上した (Fig. 2)[1]. つまり, 良好な吸収 体である MPA は消光率が 40%程度である Ag NRs に比べより大きなプラズモン局所熱を発 生すると推測される. しかし, MPA が優れた 発熱体であることを実験的に証明した報告は ない. そこで本研究は, MPA の発熱能を検証 するため, Ag NRs および MPA において発生 した局所熱温度を実験的,計算的手法により 見積もり, 比較した.

実験的局所熱計算では,実験から得られた



Fig. 2 Comparison of absorption spectra and EQE spectra of Ag NRs (blue) and MPA (red).

波長 638 nm, 出力 15 mW の光照射時の光電 流と素子のゼーベック係数を入力し, 受光部 で発生した局所熱温度を見積もった.この結 果, 見積もられた温度は Ag NRs では 8.83 K, MPA では 22.8 K であった. 計算的な局所熱算 出では,有限要素法を用いた電磁界シミュレ ーションに基づき発生温度を計算した. 受光 部のナノ構造におけるプラズモン局所熱の発 生量は金属中の電場強度に比例する.その結 果,実験と同様の光照射条件において,Ag NRs では 8.87 K, MPA では 19.3 K の温度が発生す ると見積もられた.同時に, Ag NRs および MPA における電磁場分布を確認すると, MPA では Ag NR に比べ広範囲により強い電場が誘 電体層中で確認されたことから, MPA におけ る光閉じ込め効果が大きな局所熱の発生に寄 与していると考えられた (Fig. 3). 実験的局所 熱計算で得た温度に対する計算的に得た局所 熱値の誤差は Ag NRs で 0.4%, MPA で 17.9% であった. この結果から, MPA によって実現 された変換効率の向上は理論的に計算される 発生局所熱量の増加に対し妥当なものである と結論した.



Fig. 3 Enhanced electric field distributions in (a)Ag NR and (b)MPA.

Reference

[1] M. Horikawa, X. Fang, and W. Kubo, *Appl. Phys. Express* **13**, 082006 (2020).