

完全吸収メタマテリアル太陽電池の光吸収特性と発電特性の相関

Correlation between Optical Absorption and Device Performance
of Metamaterial Perfect Absorber Solar Cells農工大¹, 理研², ○(M1)伊勢川 知久¹, 勝俣 翔平¹, 岡本 隆之², 久保 若奈¹TUAT¹, RIKEN², ○Tomohisa Isegawa¹, Shohei Katsumata¹, Takayuki Okamoto², Wakana Kubo¹

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

太陽電池は持続可能なエネルギーの1つであり、さらなるエネルギー変換効率の向上が望まれている。本研究で、太陽電池の発電効率の向上を実現するために、薄膜に光を閉じ込めることができる完全吸収メタマテリアル(Metamaterial perfect absorber (MPA)) 構造を有機薄膜太陽電池に導入した。完全吸収メタマテリアル構造は金属ナノ構造体、誘電体薄膜、金属薄膜の三層で構成される。金属ナノ構造体と金属薄膜の間に有機太陽電池の光電変換層を挿入すれば、光電変換層の光吸収が増強され、太陽電池の発電効率が向上すると期待した。これまで当研究グループが測定した反射スペクトルより、MPA 太陽電池のみかけの光吸収が増強されたことを確認した[1]。今回は実際に発電実験を行い、MPA 構造による光閉じ込め効果と有機太陽電池の発電特性との相関について調査した。

作製した MPA 太陽電池の模式図を Fig. 1(a)に示す。太陽電池は、酸化インジウム錫(ITO)、酸化亜鉛(ZnO)、光電変換層 Poly[2, 6-(4, 4-bis-(2-ethylhexyl)-4H-cyclopenta [2, 1-b; 3, 4-b'] dithiophene)-alt-4, 7(2, 1, 3-benzothiadiazole)] : [6, 6]-phenyl-C71-butyric acid methyl ester(PCPDTBT:PC₇₁BM), 酸化モリブデン(MoO₃), アルミニウム(Al)の積層構造を有する。本研究では金属ナノ構造体として銀ナノストライプ(Ag NS)を用いた(Fig. 1(b))。本研究で用いた Ag NS は幅 82 nm, ピッチ 500 nm, 高さ 20 nm である。Ag NS は偏光特性を持つ。そのため、プラズモン励起偏光とプラズモン非励起偏光下で測定した反射スペクトルの比を光吸収増強比(Enhancement ratio)と定義した。発電実験でもプラズモン励起偏光とプラズモン非励起偏光下で分光感度特性(Incident photon to current conversion efficiency (IPCE))を測定し、IPCE 比を算出し、光吸収増強比と比較した。

Figure 2(a) に光吸収増強比と IPCE 比の比較を示す。光吸収増強比は、波長 500~900 nm において上昇傾向にあり、波長 730 nm 付近にピークが見られた。この波長域において光吸収増強が生じていると推測した。一方で IPCE 比は、750 nm において光電変換効率が低下したことを示すディップが見られた。また波長 880 nm では発電増強を示すピークが見られた。つまり波長 400~800 nm においては、光吸収増強比と IPCE 比は逆相関になったと言える。

Figure 2(b)(c)に有限要素法で求めたプラズモン励起偏光下の磁場強度分布を示す。Figure 2(b)は IPCE 比が低下した 780 nm における磁場強度分布で、Ag NS の ITO 側において、プラズモンが励起していた。この波長の増強場は ITO 側に集中しており、光電変換層の吸収を減少させ、IPCE 比の減少につながったと考えられた。一方、Fig. 2(c)波長 900 nm における磁場得分布では、光電変換層に磁場の集中が見られた。光電変換材料の光吸収量を増やし、IPCE 比が上昇したと考えられた。つまり、光電変換層内で生じた磁場集中は、発電特性に寄与する可能性が示唆された。

[1] T. Isegawa, T. Okamoto, M. Kondo, S. Katsumata, and W. Kubo, submitted.

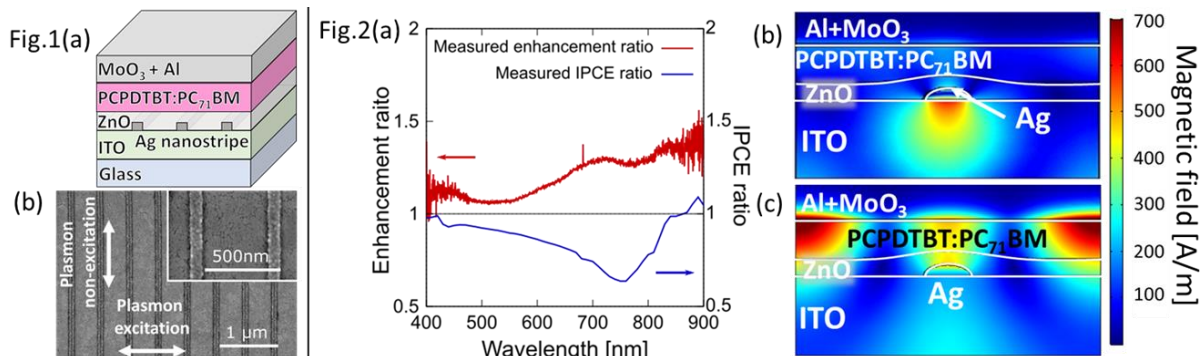


Figure 1(a) Schematic of the metamaterial perfect absorber (MPA) solar cell and (b) SEM image of Ag nanostructures. Figure 2(a) Measured enhancement ratio (red curve) and measured IPCE ratio (blue curve), and magnetic field distributions at (b) 780 and (c) 900 nm.