

完全吸収メタマテリアル太陽電池の光吸収増強

Absorption Enhancement in Solar Cells with Metamaterial Perfect Absorbers

農工大¹, 理研², 東工大³, ○(B)伊勢川 知久¹, 岡本 隆之^{2,3}, 久保 若奈¹TUAT¹, RIKEN², Tokyo Tech³, ○Tomohisa Isegawa¹, Takayuki Okamoto^{2,3}, Wakana Kubo¹

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

有機薄膜太陽電池は、次世代型太陽電池としての実用化が期待され、発電効率の向上を目指して研究が進められている。有機薄膜太陽電池の高効率化を実現するためには、光吸収量と電荷の捕捉効率がトレードオフの関係にある点に注意する必要がある。光電変換層を厚くすると、有機薄膜太陽電池の光吸収量は大きくなる。一方で、励起子の拡散長に比べて光電変換層の膜厚が大きくなるため、寿命が短い励起子の再結合レートが増加し、取り出せる電流が低下する。そのため、有機薄膜太陽電池の効率を向上させるためには、光電変換層の膜厚を変えることなく、光吸収量のみを増加させる必要がある。そこで我々は、光電変換層内に光を閉じ込める完全吸収メタマテリアル構造を有機薄膜太陽電池に導入し、光吸収量の増強を試みた。

完全吸収メタマテリアル構造は誘電体薄膜を金属ナノ構造体と金属薄膜でサンドイッチした構造からなる。完全吸収構造ではある波長において磁場共鳴モードが励起され、誘電体薄膜に光が閉じ込められる。我々は、誘電体薄膜を太陽電池の光電変換材料に変えれば、光電変換層の膜厚を変えることなく、光電変換層の光吸収のみを向上できると推測した。そこで本研究では、金属ナノ構造体と金属薄膜の間に光電変換層を挿入して完全吸収メタマテリアル太陽電池を作製し、その光吸収増強について検討を行った。

実験ではガラス基板上的透明電極(酸化インジウム錫(ITO))上に Ag ナノストライプを周期的に並べた構造体を作製した(Fig.1(a))。さらにその上に、酸化亜鉛(ZnO), poly(3-hexylthiophene): [6,6]-phenyl-C61-butyric acid methyl ester (P3HT:PC₆₁BM), 酸化モリブデン(MoO₃), アルミニウム(Al)層を積層し有機太陽電池を作製した(Fig.1(b))。これらの材料はそれぞれ、電子輸送層, 光電変換層, 正孔輸送層, 正極として機能する。Fig.1(c)に, Ag ナノストライプの周期が 500 nm の有機太陽電池の反射スペクトルから求めた消光率比及び P3HT:PC₆₁BM の吸収スペクトルの比較を示す。ただし比較対象として同じ膜厚構成の Ag ナノストライプを有しない有機太陽電池を用いた。消光率比が 1 を上回ることは、完全吸収メタマテリアル太陽電池が従来型の太陽電池より多くの光を吸収したことを示している。P3HT:PC₆₁BM 層の吸収波長(400~600 nm)における平均消光率比は 1.18 であった。つまり、P3HT:PC₆₁BM 層の光吸収量が増加し、その光吸収増加率は 18 %であることを示す結果が得られた。

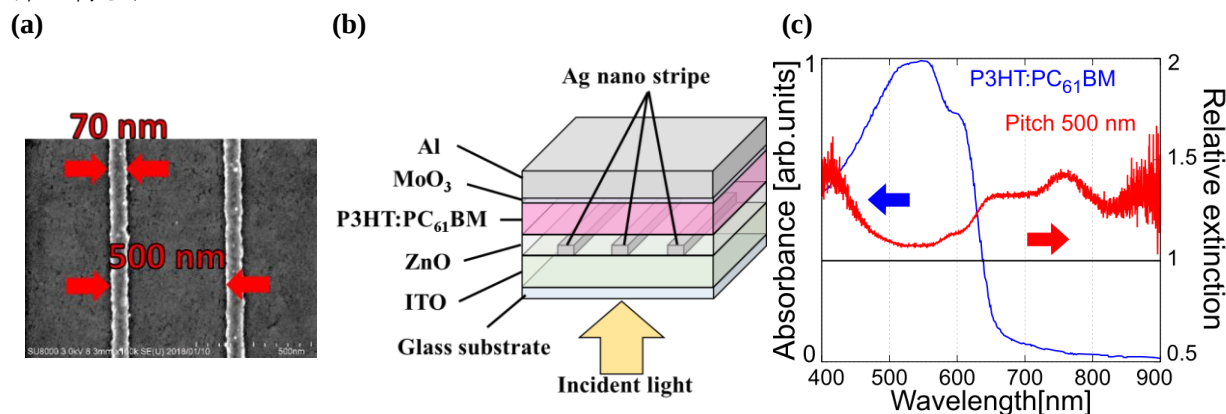


Fig.1(a) SEM image of Ag nanostripes (pitch: 500 nm), (b) schematic of the metamaterial perfect absorber solar cell, and (c) relative extinction of the metamaterial perfect absorber solar cell (pitch: 500 nm) and the absorption spectrum of P3HT:PC₆₁BM