

有機薄膜太陽電池のトラップと発電特性

産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター¹, ミシガン大²
○布村 正太^{1,2}, X. Che², S.R. Forrest²

はじめに

- 有機太陽電池の発電効率の向上には、**活性層のトラップ**を低減し**電荷(キャリア)の輸送特性を向上**させることが重要である。
- 活性層にトラップが形成されると、トラップを介した電荷の再結合やトラップでの電荷蓄積により発電特性は低下すると考えられる。
- しかしながら、これまでに有機太陽電池のトラップと発電特性の関係を明らかにする研究は十分に進んでいない。
- そこで、今回、**太陽電池のトラップを定量評価**し、発電特性との相関を見出し、**発電効率の向上に向けた指針**を得たので報告する。

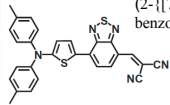
材料分子と太陽電池デバイス

~吸収スペクトル~

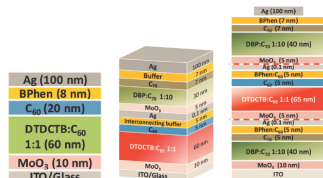
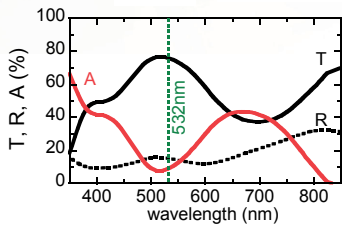
アクセプター: C_{60}
(青色領域の吸収)



ドナー: DTDCTB (近赤外光の吸収)
(2-[[7-(5-N,N-ditolylaminothiophen-2-yl)-2,1,3-benzothiadiazol-4-yl]methylene] malononitrile)

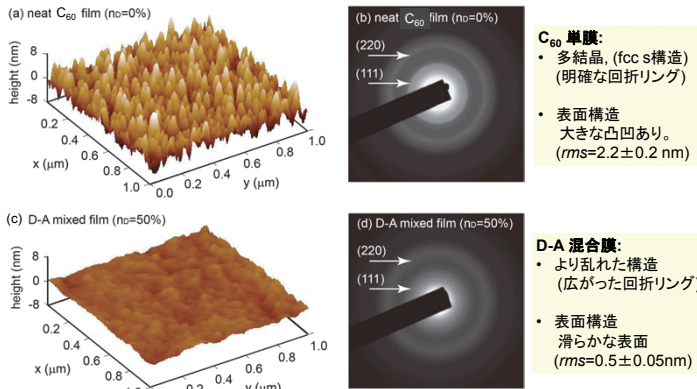


~電池の構造と発電効率~

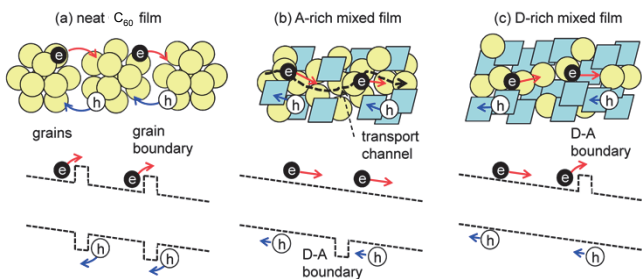


単接合 (5.1%) 二接合 (10.0%) 三接合
S. Forrest et al., Adv. Energy Mater. 1400458 (2014)

~ナノ構造解析~

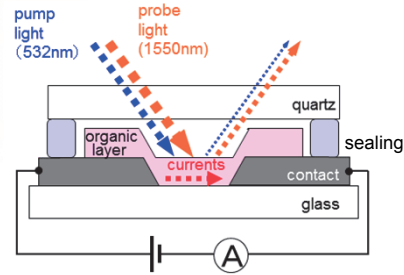


電荷輸送と捕捉



- 粒界での電荷(電子とホール)の捕捉 (a).
- 界面における電荷の捕捉。
ホールはアクセプター分子の多いDA混合膜で捕捉される。(b)
電子はドナー分子の多いDA混合膜で捕捉される。(c)
=>粒界と界面は、電荷の輸送に対し障壁となる。トラップの起源。

トラップの評価方法



光学的ポンププローブ法

- ポンプ光照射によりキャリアを励起 (532nm, 1mW)
 - プローブ光照射によりトラップ電荷を検出 (1550nm 500mW)
- サンプルの準備
- 共蒸着法によりガラス基板上に形成
 - チャンネル長: 200um
 - カバーガラスで封止

理論

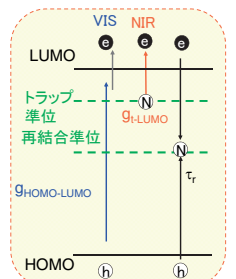
光電流 $I_{ex} = en_{ex}v_d$

粒子保存(定常状態) $n_{ex} = g\tau_r$
キャリア生成密度 寿命

キャリア生成
ポンプ光励起 $g_{HOMO \rightarrow LUMO} = \sigma_{HOMO \rightarrow LUMO} \Phi_{pump} n_{HOMO}$
光吸収断面積 フォトンフラックス (HOMOLレベル)

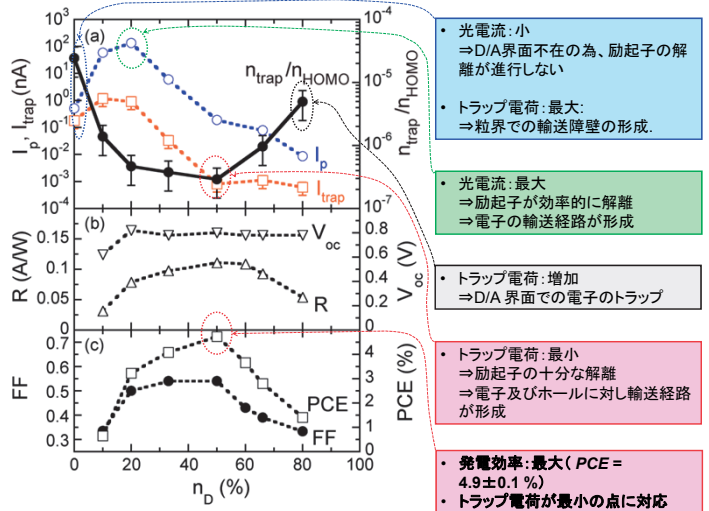
プローブ光励起 $g_{trap \rightarrow LUMO} = \sigma_{trap \rightarrow LUMO} \Phi_{probe} n_{trap}$

トラップ電荷密度 $n_{trap} = \frac{\Phi_{pump} I_p \sigma_{HOMO \rightarrow LUMO} n_{HOMO}}{\Phi_{probe} I_p \sigma_{trap \rightarrow LUMO}}$
フォトフラックス比 電流比 光吸収断面積比 電子密度 (LUMOLレベル)

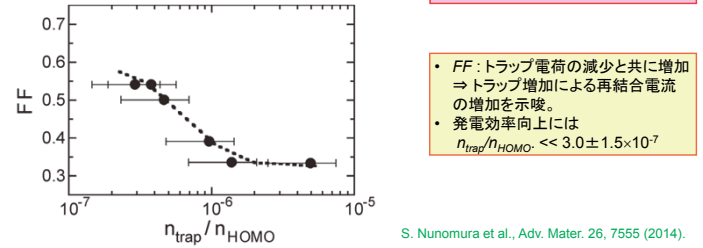


S. Nunomura et al., AIP Advances 4, 097110 (2014).

実験結果



- 光電流: 小
=> D/A界面不在の為、励起子の解離が進行しない
- トラップ電荷: 最大
=> 粒界での輸送障壁の形成。
- 光電流: 最大
=> 励起子が効率的に解離
=> 電子の輸送経路が形成
- トラップ電荷: 増加
=> D/A界面での電子のトラップ
- トラップ電荷: 最小
=> 励起子の十分な解離
=> 電子及びホールに対し輸送経路が形成
- 発電効率: 最大 (PCE = 4.9 ± 0.1%)
トラップ電荷が最小の点に対応



- FF: トラップ電荷の減少と共に増加
=> トラップ増加による再結合電流の増加を示唆。
- 発電効率向上には $n_{trap}/n_{HOMO} << 3.0 \pm 1.5 \times 10^{-7}$

S. Nunomura et al., Adv. Mater. 26, 7555 (2014).

まとめと謝辞

- 簡便・安価なトラップ評価法を開発し、有機半導体薄膜のトラップを定量評価した。
- 太陽電池の発電特性との相関を見出し発電効率の向上に向けた指針を得た。
- トラップの起源として、粒界とD-A界面であることを示した。

謝辞: 本研究は、ミシガン大Forrest研との共同研究のもと実施されました。また、科研費の助成(24540546)を受けました。関係各位に感謝致します。