インピーダンス分光による有機薄膜太陽電池バルクヘテロ層の電荷輸送特性評価

Determination of carrier transport properties of a bulk heterojunction layer in working organic photovoltaics using impedance spectroscopy

大阪府立大 [1]，大阪府立大分子エレクトロニックデバイス研 [2]
°高田 誠 [1]，布引 達也 [1]，小林 隆史 [1, 2]，永瀬 隆 [1, 2]，内藤 裕義 [1, 2]
Osaka Pref. Univ.[1], RIMED[2], °M. Takada[1], T. Nunobiki[1], T. Kobayashi[1, 2], T. Nagase[1, 2], H. Naito[1, 2]
E-mail: m-takada@pe.osakafu-u.ac.jp

1. はじめに　有機薄膜太陽電池 (OPV)における電荷輸送特性 (電荷移動度、再結合定数、トラップ分布)評価は、OPVの高効率化において重要である。本研究では、インピーダンス分光により、動作しているOPVから電子、正孔移動度、局在準位分布および二分子再結合定数の同時評価を行う。実際に動作するデバイスからバルクヘテロ層の電荷輸送特性を直接評価できることを示す。

2. 実験および結果　Al 添加 ZnO (AZO)/poly(ethyleneimine):poly(3-hexylthiophene):[6,6]-pheynl-C_{61}-butyric acid methyl ester (P3HT:PCBM) (110 nm)/MoO_3 (10 nm)/Al (50 nm)なる構造の逆構造 OPV を用いた (電力変換効率 2.7 %)。インピーダンス分光測定には、Solartron Modulab XM を用いた。

作製した OPV の静電容量-周波数特性から算出した電子、正孔移動度 (μ_n, μ_p)の温度依存性を Fig. 1 に示す。移動度は$-\Delta B$ 法により決定し[1]、光誘導吸収測定により評価した正孔移動度から電荷の同定を行った[2]。300 K におけるμ_n, μ_p はそれぞれ 10^{-4}、10^{-6} $cm^2V^{-1}s^{-1}$ であり、光誘導吸収および変調光電流測定から評価した移動度と同程度の値を示している。

局在準位分布は、μ_n, μ_p の温度依存性から求められる活性化エネルギーE_a の電界依存性から決定した[3]。P3HT:PCBM 層の局在準位分布を Fig. 2 に示す。得られた局在準位分布は、零電界における移動度の温度依存性から得られるエネルギー幅σのガウス型状態密度分布（Fig. 1 の横軸を $1/T^2$ とし、correlated disorder model により解析して得られる[4]）とほぼ一致している。

二分子再結合定数βは、複注入状態における複素インピーダンスの表式[5]から導出され、$\beta = 2\pi f_{max}/3n$ で求められる。ここで、f_{max} は複素インピーダンス虚部スペクトルに現れるピークの周波数、n は電荷密度である。300 K において、得られたβは、10^{-13} ~10^{-12} cm^3/s であり、開放起電力減衰より見積もったβと同程度の値が得られた。この値は Fig. 1 で示すμ_n, μ_p から求めたランジュバン再結合定数γ_L の 1/100~1/10 倍である。βがγ_L より小さくなるのは、Fig. 2で決定した局在準位分布に起因すると考えられる。

謝辞　本研究の一部は、科研費 (17H01265)の助成を受けた。また、本研究で用いた poly(ethyleneimine)を提供して頂いた株式会社日本触媒に深く感謝いたします。

参考文献　[1] H. C. F. Martens, *et al.*, Phys. Rev. B **60**, R8489 (1999). [2] L. J. A. Koster *et al.*, Appl. Phys. Lett. **88**, 052104 (2006). [3] J. M. Marshall, *et al.*, Philos. Mag. B **56**, 641 (1987). [4] S.D. Baranovskii, Phys. Status Solidi B **251**, 487 (2014). [5] M. Takata *et al.*, J. Nanosci. Nanotechnol., **16**, 3322 (2016).

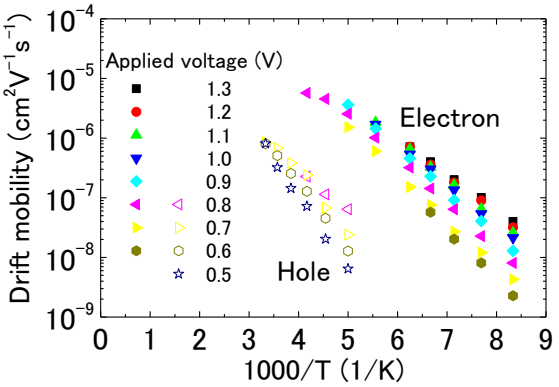

Fig. 1 Plots of electron and hole drift mobilities versus temperature of different electric field in the P3HT:PCBM layer.

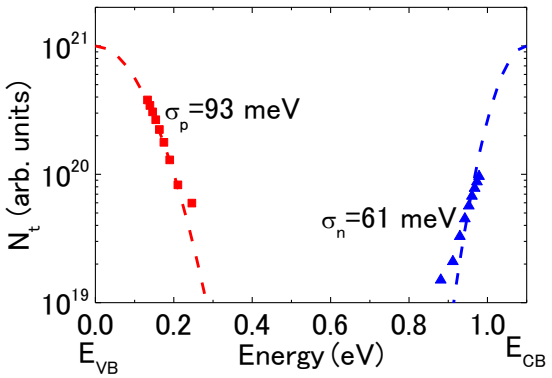

Fig. 2 Localized-state distributions within the energy gap of the P3HT:PCBM layer.