

有機薄膜太陽電池での二分子再結合定数の評価 Determination of bimolecular recombination coefficients in bulk-heterojunction solar cells

○中嶋 悠翔¹, 永瀬 隆^{1, 2}, 小林 隆史^{1, 2}, 内藤 裕義^{1, 2}

(1. 大阪府立大, 2. 大阪府立大分子エレクトロニックデバイス研)

○Y. Nakajima¹, T. Nagase^{1, 2}, T. Kobayashi^{1, 2}, H. Naito^{1, 2}

(1. Osaka Pref. Univ., 2. RIMED)

E-mail : yuto.nakajima.oe@pe.osakafu-u.ac.jp

1. はじめに 有機薄膜太陽電池 (OPV)の電力変換効率 (PCE)向上は目覚ましく、最近では15%を超える OPV が報告されている[1]。しかし、PCE の更なる向上のためには電荷輸送過程の解明を通じた OPV の設計が不可欠である。

本研究では、電荷輸送過程解明の一環として OPV の二分子再結合定数を、開放光起電力減衰 (OCPVD) 法、インピーダンス分光 (IS) 法、および、電流密度-電圧 (J - V) 特性から求められることを示し、各手法の得失について明らかにする。

2. 実験 典型的な OPV として ITO/ZnO/thieno [3, 4-b]thiophene and benzodithiophene (PTB7) : [6,6]-phenyl-C₇₁butyric acid methyl ester (PC₇₁BM)/MoO₃/Al および AZO/polyethylenimine/PTB7:PC₇₁BM/MoO₃/Al なる逆構造 OPV を作製した。作製した素子はそれぞれ、 J_{sc} =9.86mA/cm², V_{oc} =0.73V, FF=0.67, PCE=4.8%、および、 J_{sc} =11.35mA/cm², V_{oc} =0.75V, FF=0.53, PCE=4.5%であった。OCPVD 法は、波長 635nm の赤色レーザーを励起光源とし、開放光起電力をデジタルシンクロスコープ (Teledyne LeCroy Wave Runner 6050A)で測定した。IS 測定には Solartron 1260 型インピーダンスアナライザおよび 1296 型誘電測定インターフェイスを用い、暗状態で測定した。 J - V 測定はソーラーシミュレータ (Wacom, WXS-155S-10)を用いて光強度 100mW/cm² (AM1.5G)の光照射下で行った。

3. 結果 OCPVD 法は、OPV をレーザー光により励起し、その開放起電力の初期減衰

$$\tau = -\frac{kT}{q} / \left(\frac{dV_{oc}}{dt} \right) \Big|_{t=0} \quad (1)$$

から OPV のキャリア寿命 τ を評価する測定法である。 τ と二分子再結合定数 γ との関係式である

$$\gamma = \frac{1}{4G\tau^2} \quad (2)$$

より、 τ から γ が求められる。ここで、 G は単位時間、単位体積当たりの電荷生成数であり、

OPV への逆バイアス印加時の J - V 特性の飽和領域から算出した[2]。

IS 法は、入力微小正弦波電圧信号とその応答電流信号から複素インピーダンスの周波数特性を測定することで様々な物理量を評価することが出来る[3]。複注入モデルにおける複素インピーダンス Z の周波数特性の解析解は

$$Z = 3R_0 \left(2 + \frac{j\omega}{\gamma n} \right) \times \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k+3} \frac{(-j\omega\theta)^k \left(2 + \frac{j\omega}{\gamma n} \right)^k}{\left(3 + \frac{j\omega}{\gamma n} \right) \left(3 + \frac{j\omega}{\gamma n} + 1 \right) \dots \left(3 + \frac{j\omega}{\gamma n} + k \right)} \quad (3)$$

であり[4]、解析解から導出される γ と複素インピーダンスの虚数成分のピーク周波数 f_{max} との関係式である

$$\gamma = \frac{2\pi}{3n} f_{max} \quad (4)$$

より、 γ が求められる。

複注入モデルの J - V 特性の解析解は

$$J = \left(\frac{9\pi}{8} \right)^{\frac{1}{2}} \varepsilon \left(\frac{2q\mu_p\mu_n(\mu_p+\mu_n)}{\varepsilon\gamma} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{V^2}{L^3} \quad (5)$$

であり[5]、

$$\gamma = \frac{9\pi}{4} \varepsilon \frac{q\mu_p\mu_n(\mu_p+\mu_n)V^4}{L^6 J^2} \quad (6)$$

より、 γ が求められる。この際に必要となる電子、正孔移動度は IS 法により測定した。

これらの方法で求めた γ は、ほぼ同程度で、それぞれ、 8.7×10^{-12} cm³/s、 1.2×10^{-12} cm³/s、 7.4×10^{-12} cm³/s であった。当日は、各手法の得失、他の OPV の γ についても議論する。

4. 謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金 (JP17H01265)の助成を受けた。

5. 参考文献 [1] X. Che *et al.*, Nature Energy., **3**, 422 (2018). [2] P. W. M. Blom *et al.*, Adv. Mater., **19**, 1551 (2007). [3] 高田他: 第 64 回春応物 17p-G202-9 (2018). [4] M. Takata *et al.*, Nanosci. Nanotechnol., **16**, 3322 (2016). [5] M. A. Lampert *et al.*, Current Injection in Solids (Academic, NewYork, 1970).