

インピーダンス分光による有機半導体デバイスの 二分子再結合定数評価法の提案

Determination of bimolecular recombination coefficient in organic semiconductor devices in terms of 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, 永瀬 隆^{1, 2}, 小林 隆史^{1, 2}, 内藤 裕義^{1, 2}

Osaka Pref. Univ.¹, RIMED², °M. Takada¹, T. Nagase^{1, 2}, T. Kobayashi^{1, 2}, H. Naito^{1, 2}

E-mail: m-takada@pe.osakafu-u.ac.jp

1. はじめに 有機発光ダイオード (OLED) の発光層や有機太陽電池 (OPV) の活性層における二分子再結合定数は、OLED や OPV の電荷輸送機構を明らかにするうえで、重要な物理量である[1, 2]。これまでにモンテカルロシミュレーションや photo-CELIV 法により評価されている[1, 3]。本報告では、インピーダンススペクトルにおいて低周波数領域で観測される誘導成分 (負の静電容量) に着目し、動作している OLED や OPV のインピーダンス分光 (IS) 測定から、二分子再結合定数を簡便かつ短時間で評価する手法を提案する。

2. 解析及び結果 OLED や OPV の IS 測定において、電子、正孔が注入されている複注入状態における複素インピーダンス Z は次式で表される[4]。

$$Z = 3R_0 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k+3} \frac{(-j\omega\Theta)^k (2+j\omega/\beta n)^{k+1}}{(3+j\omega/\beta n)(3+j\omega/\beta n+1)\cdots(3+j\omega/\beta n+k)} \quad (1)$$

ここで、 R_0 : 直流電圧に対する抵抗、 C_0 : デバイスの幾何容量、 $\Theta = 3R_0C_0/2$ 、 ω : 微小交流電圧の角周波数、 β : 再結合定数、 n : 電荷密度である。誘導成分が観測される低周波数域 ($\omega\Theta \ll 1$) では、Eq. 1 は $k=0$ の項のみで Z を表現できる。この際、 Z の虚数成分 ($\text{Im}[Z]$) は次式で表される。

$$\text{Im}[Z] = R_0 \frac{\omega/\beta n}{9 + \omega^2/\beta^2 n^2} \quad (2)$$

Eq. 2 より、 β と $\text{Im}[Z]$ のピーク時における角周波数 ω_{\max} の関係は次式で表され、 ω_{\max} から β を見積もることができる。

$$\beta = \omega_{\max} / 3n \quad (3)$$

β をランジュバン再結合定数 (γ_L) の $10^{-6} \sim 10^{-2}$ 倍まで変化させたときにおける Eq. 1 の数値計算結果として、 $\text{Im}[Z]$ の周波数 ($\text{Im}[Z]-f$) 特性を Fig. 1 に示す。Fig. 1 において観測されるピーク周波数から Eq. 3 を用いて評価した β と入力した β の関係を Fig. 2 に示す。Eq. 3 より評価した β は、入力値とよく一致していることがわかる。また、発光層に poly(9,9-dioctylfluorene-alt-benzothiadiazole) (F8BT) を用いた OLED の IS 測定から F8BT の β は、 $10^{-13} \sim 10^{-12} \text{ cm}^3/\text{s}$ と評価でき、 γ_L よりも 1/1000~1/100 倍小さい結果が得られた。当日は、デバイスシミュレータ (Atlas, Silvaco) を用いて、本評価手法の妥当性についても議論する予定である。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金 (17H01265) および村田学術振興財団の助成を受けた。また本研究で用いた F8BT を提供して頂いた住友化学株式会社に深く感謝いたします。

参考文献 [1] C. Groves *et al.*, Phys. Rev. B **78**, 155205 (2008). [2] L. J. A. Koster *et al.*, Appl. Phys. Lett. **88**, 052104 (2006). [3] C. Deibel *et al.*, Appl. Phys. Lett. **93**, 163303 (2008). [4] M. Takata *et al.*, J. Nanosci. Nanotechnol. **16**, 3322 (2016).

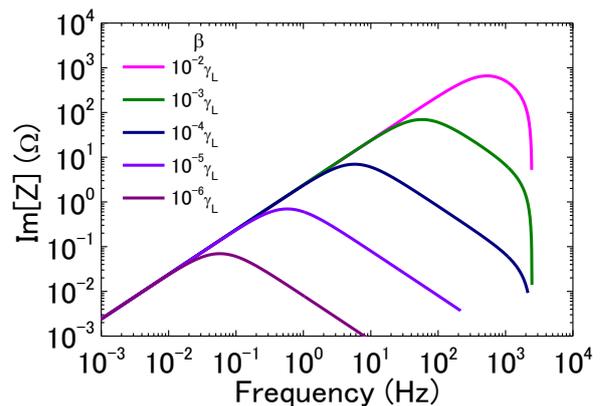


Fig. 1 $\text{Im}[Z]-f$ characteristics calculated with different recombination coefficients of Eq. (1).

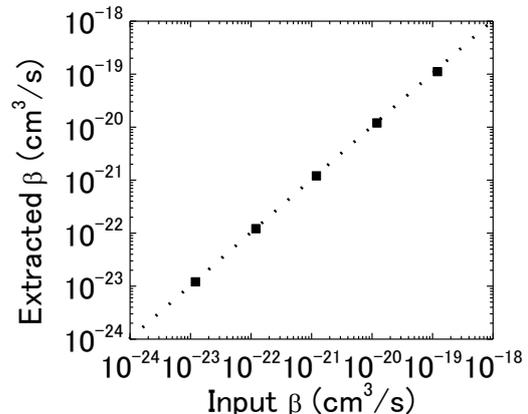


Fig. 2 Plots of β determined from Eq. (3) versus input β .