

インピーダンス分光を用いた有機半導体デバイスの新規キャリア寿命評価法

A new method to determine deep trapping lifetime in organic semiconductor devices

using impedance spectroscopy

○高木 謙一郎¹, 永瀬 隆^{1,2}, 小林 隆史^{1,2}, 内藤 裕義^{1,2}

(1. 大阪府大院工, 2. 大阪府大 分子エレクトロニックデバイス研)

○Kenichiro Takagi¹, Takashi Nagase^{1,2}, Takashi Kobayashi^{1,2}, Hiroyoshi Naito^{1,2}

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

E-mail: takagi@pe.osakafu-u.ac.jp

【はじめに】これまでに半導体デバイスにおけるキャリア寿命 (deep trapping lifetime) を評価する手法として, time of flight 法, transient photocurrent 法, transient grating 法など様々な方法が提案されてきた. しかし, これらの方法では典型的な半導体膜厚が 100 nm 程度と薄い有機太陽電池や有機発光ダイオードなどの有機デバイスを評価することができない. 本研究では, インピーダンス分光 (IS) を用いた, 有機デバイスに適用可能な新規キャリア寿命評価法を提案し, その妥当性を数値計算により検討した.

【解析】電子あるいは正孔のいずれか一方のみが電極から注入されるダイオード素子を想定した. 半導体が局在準位を有する場合, ダイオード素子の複素インピーダンスは以下のように表される [1].

$$Z = 6\psi R_i \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k+3} \frac{\Gamma(\psi+1)}{\Gamma(\psi+k+2)} \left(\frac{\psi}{\delta}\right)^k (-j\Omega)^k \quad (1)$$

ここで, Γ はガンマ関数, $\Omega (= \omega t_t)$ は走行角, t_t は局在準位が存在しない場合の走行時間, R_i は微分抵抗である. δ および ψ は局在準位に関する量であり, それぞれ次式で与えられる.

$$\delta = \left[1 + \int_{E_v}^{E_c} \frac{\gamma_t(E)}{\gamma_c(E)} dE \right]^{-1} \quad (2)$$

$$\psi = \left[1 + \int_{E_v}^{E_c} \frac{\gamma_t(E)}{\gamma_c(E) + j\omega} dE \right] \delta \quad (3)$$

$\gamma_t(E)$, $\gamma_c(E)$ はそれぞれエネルギー E の局在準位における放出率, 捕獲率である.

【結果】式(1)の無限級数を初項から第3項までの和で近似した式に, インピーダンススペクトルから得られる各物理量を代入して得られる方程式を数値的に解くことで, キャリア寿命 $\tau (= 1/\gamma_c)$ が得られると予想した. その妥

当性を検証するために, 提案した手法を式(1)により得られたインピーダンススペクトルに適用し, キャリア寿命の解析を行った. 式(1)を用いたインピーダンススペクトルの計算においては, まず局在準位として単一の離散準位を仮定した.

本手法を用いて得られたキャリア寿命を, キャリア寿命の設定値に対してプロットしたものを図1に示す. キャリア寿命が走行時間よりも長いときに走行時間効果が観測される [2]. 図1は走行時間効果が観測される場合において, キャリア寿命が正しく求められることを示しており, 本手法の妥当性が示された. また, 有機半導体の局在準位分布としてより一般的な指数関数分布を想定した場合においても, 本手法の妥当性を明らかにした. 当日は有機感光体, 有機太陽電池などへ適用した例についても報告する.

参考文献 [1] D. Dascalu, Int. J. Electron. 21, 183 (1966). [2] 高木他, 第75回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, 17a-PA1-1 (2014). **謝辞** 本研究の一部は, 科学研究費補助金及び新学術領域研究「元素ブロック高分子材料の創出」の助成を受けた.

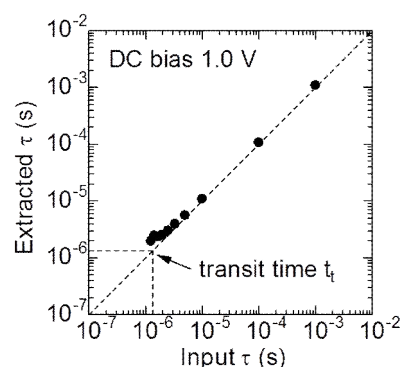


Fig. 1. Extracted τ vs input τ in the case of a single discrete deep trapping states.