

# 太陽電池講座 (第8講)

J. Jpn. Soc. Colour Mater., 97 [2], 57-60 (2024)

## 有機太陽電池の電子物性と太陽電池特性

内藤 裕義<sup>\*,†</sup>

<sup>\*</sup>大阪公立大学大学院工学研究科物質化学生命系専攻 大阪府堺市中央区学園町1-1 (〒599-8531)

<sup>†</sup> Corresponding Author, E-mail: h.naito@omu.ac.jp

(2023年8月29日受付, 2023年9月27日受理)

### 要 旨

動作中の有機太陽電池の電子物性を評価するための変調分光法について述べる。変調光電流分光法と変調光起電力分光法を用いて、有機太陽電池の電子物性（電子・正孔ドリフト移動度, 2分子再結合定数）を決定できる。これらの分光測定を、poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) (P3HT) : [6,6]-phenyl-C<sub>61</sub>-butyric acid methyl ester (PCBM) バルクヘテロ接合を用いた典型的な有機太陽電池で行った。電子物性に関する知見は、有機太陽電池の動作メカニズムの解明や光電変換特性の向上に重要である。また、本分光法によるさまざまな有機太陽電池の電子物性の蓄積は、材料設計にも有用である。

キーワード：有機太陽電池, 変調光電流分光法, 変調光起電力分光法, ドリフト移動度, 2分子再結合定数

### 1. 緒 言

有機太陽電池 (OPV) のバルクヘテロ接合 (BHJ) の電子, 正孔移動度が等しいとき (バランスしたとき), 電力変換効率 (PCE) が最大になることがデバイスシミュレーションにより示されている<sup>1)</sup>。ドナー性, アクセプター性の有機半導体によるBHJの電子物性 (電子・正孔移動度, 2分子再結合定数, 光電荷生成効率) が既知であれば, デバイスシミュレーションによりPCEを予測することができる。さらに, 電子物性を把握することにより, 順構造, 逆構造OPV (透明電極基板から光照射し, 逆構造は透明電極が陰極, 順構造は陽極となる) の動作機構を明らかにでき, あるBHJの電子物性に基づき, より高いPCEを示す構造 (逆構造OPV, あるいは, 順構造OPV) を決定することもできる。

簡便ゆえ, よく用いられている電子・正孔移動度測定法に空間電荷制限電流 (SCLC) 測定がある<sup>2)</sup>。OPVに用いるBHJにより電子オンリー素子 (EOD), 正孔オンリー素子 (HOD) を作製し, 電流 ( $J$ ) - 電圧 ( $V$ ) 特性を測定, 局在準位がない場合のSCLCの表式

$$J = \frac{9}{8} \varepsilon \mu \frac{V^2}{L^3} \dots \dots \dots (1)$$



【氏名】 ないとう ひろよし  
 【現職】 大阪公立大学大学院工学研究科物質化学生命系専攻 特任教授  
 【趣味】 機械いじり  
 【経歴】 1984年大阪府立大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。工学博士。同年大阪府立大学工学部助手。講師, 助教授を経て, 2000年大阪府立大学大学院工学研究科教授。2022年大阪府立大学名誉教授。日本画像学会, 応用物理学会フェロー。日本液晶学会論文賞, 有機EL討論会第3回業績賞, SID, The Slotow-Owaki Prize等受賞。

を用い, 移動度を評価する。ここで,  $L$ はBHJの膜厚,  $\varepsilon$ は誘電率,  $\mu$ は移動度である。当然のことながら,  $J$ - $V$ 特性に $V^2$ の依存性が観測されない限り移動度評価はできず,  $V^2$ の依存性が観測され移動度評価ができたとしてもHOD, EODを作製する際にOPVとは異なる陰極, 陽極を用いるためBHJのドナー・アクセプター半導体の凝集形態が変わり, OPVとは異なった移動度を与える可能性が否定できない。

本稿では, 実際に発電しているOPVにおいて電子物性が評価できることを示し, PCEとの関連を明らかにする。典型的なBHJであるpoly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) (P3HT) : [6,6]-phenyl-C<sub>61</sub>-butyric acid methyl ester (PCBM) において, 変調光電流分光 (MPC) 法<sup>3,4)</sup>により電子・正孔移動度, 変調光起電力分光 (MPV) 法により2分子再結合定数が決定できることを示す。

### 2. 理 論

#### 2.1 変調光電流分光

正弦波変調光照射時の電子, あるいは, 正孔に関する電流連続の式は以下のようにあらわされる (照射光はBHJで均一に吸収されると仮定する)。

$$\mu_0 F \frac{\partial n(x, t)}{\partial x} + \frac{\partial n(x, t)}{\partial t} = G_0 + G_1 \exp(i\omega t) \dots \dots \dots (2)$$

ここで $\mu_0$ は微視的移動度,  $F$ は電界,  $n(x, t)$ は電荷密度,  $G_0, G_1$ は光生成レートの定常成分と変調成分である。式(2)を小信号条件 (励起光は微弱で電界分布は均一) の下に解くことにより次式を得る。

$$J(\omega) = \frac{qG_1 L}{t_i \omega^2} [1 - i\tau_t \omega - \exp(i\tau_t \omega)] \dots \dots \dots (3)$$

ここで $q$ は素電荷,  $t_i$ は電荷の走行時間である。式(3)のMPCの虚部スペクトル中のピーク周波数 $f_{\text{peak}}$ と走行時間には

【図表について】 電子ジャーナルサイト「J-STAGE」ではカラーでご覧いただけます。 <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/shikizai/-char/ja/>