

単結晶を用いた有機太陽電池

太陽光発電工学研究センター
革新デバイスチーム

宮寺 哲彦

背景

有機薄膜太陽電池

変換効率到達目標: **15%** (PV2030+)

現状: 8.3% (低分子), 8~10% (高分子)

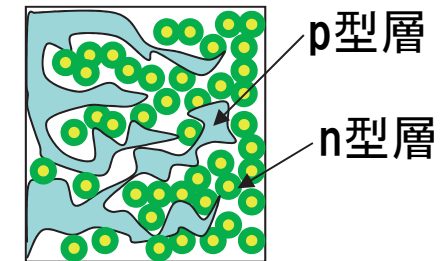
問題点: 励起子拡散長 (L_D) が短い

⇒バルクヘテロジャンクション (BHJ) 構造で対処
BHJでは構造制御が困難

Beyond BHJ

有機単結晶を用いた太陽電池
励起子拡散長自体を増大し高効率化

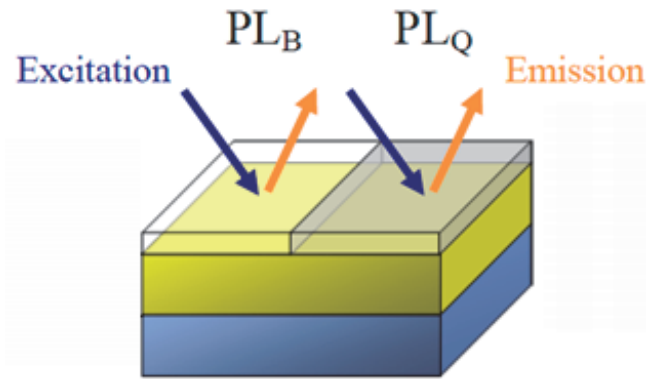
BHJ構造



昇華法 (トレインサブレーション)
により得られた単結晶薄片を使用。

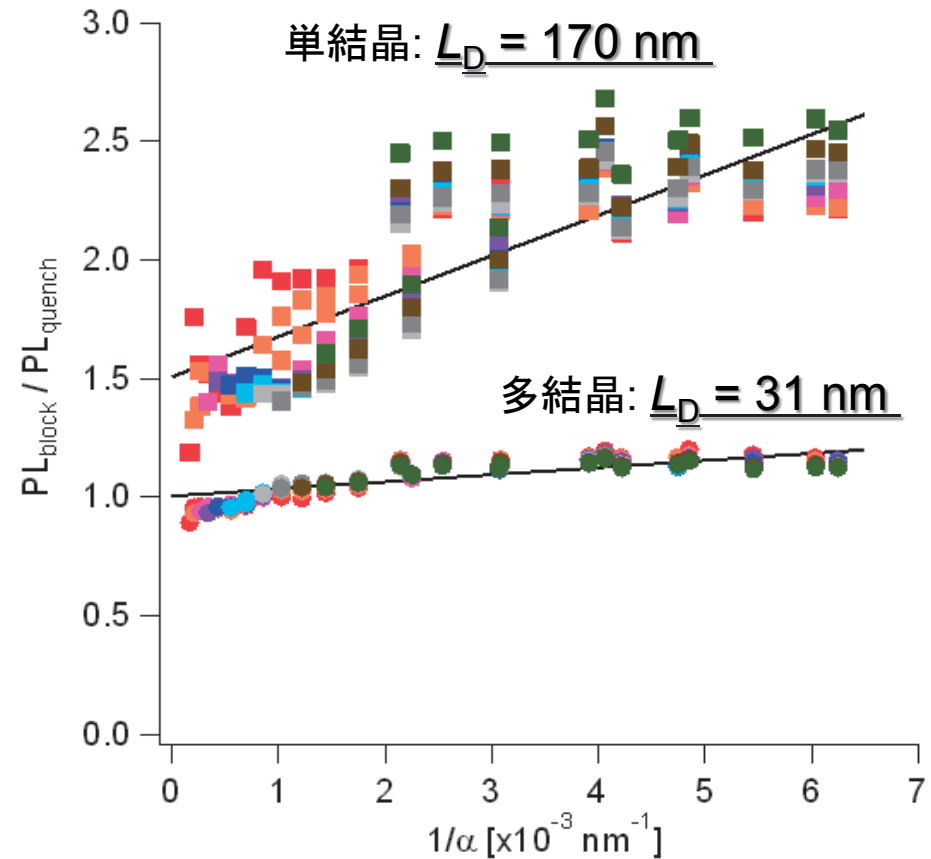
励起子拡散長 (L_D) の解析

Photoluminescence (PL)



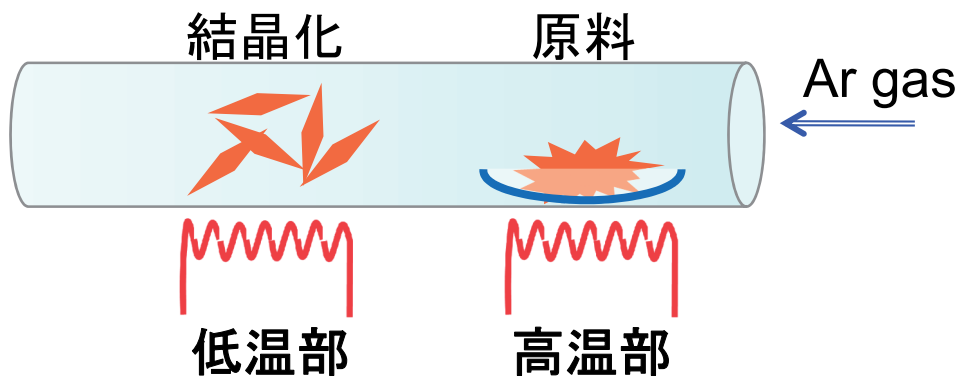
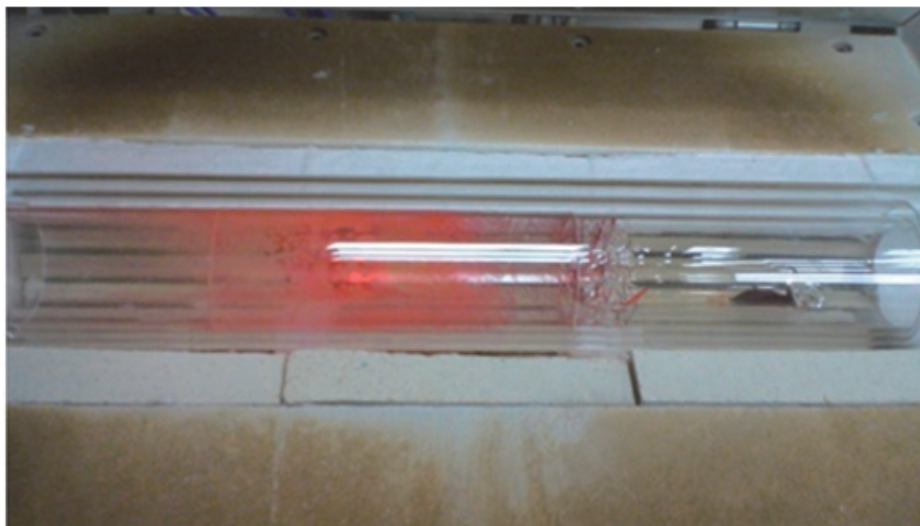
$$\eta(\alpha) = \frac{PL_B(\alpha)}{PL_Q(\alpha)}$$

$$= \frac{\alpha(\lambda)L_D}{\cos(\theta_\lambda)} + 1 = \alpha'(\lambda)L_D + 1.$$

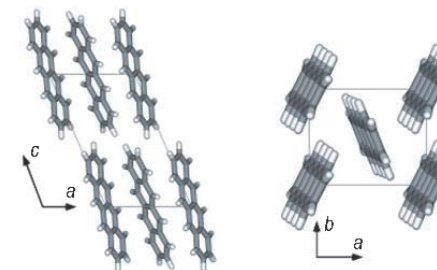


有機単結晶の作製

トレインサブレーション法



テトラセン結晶

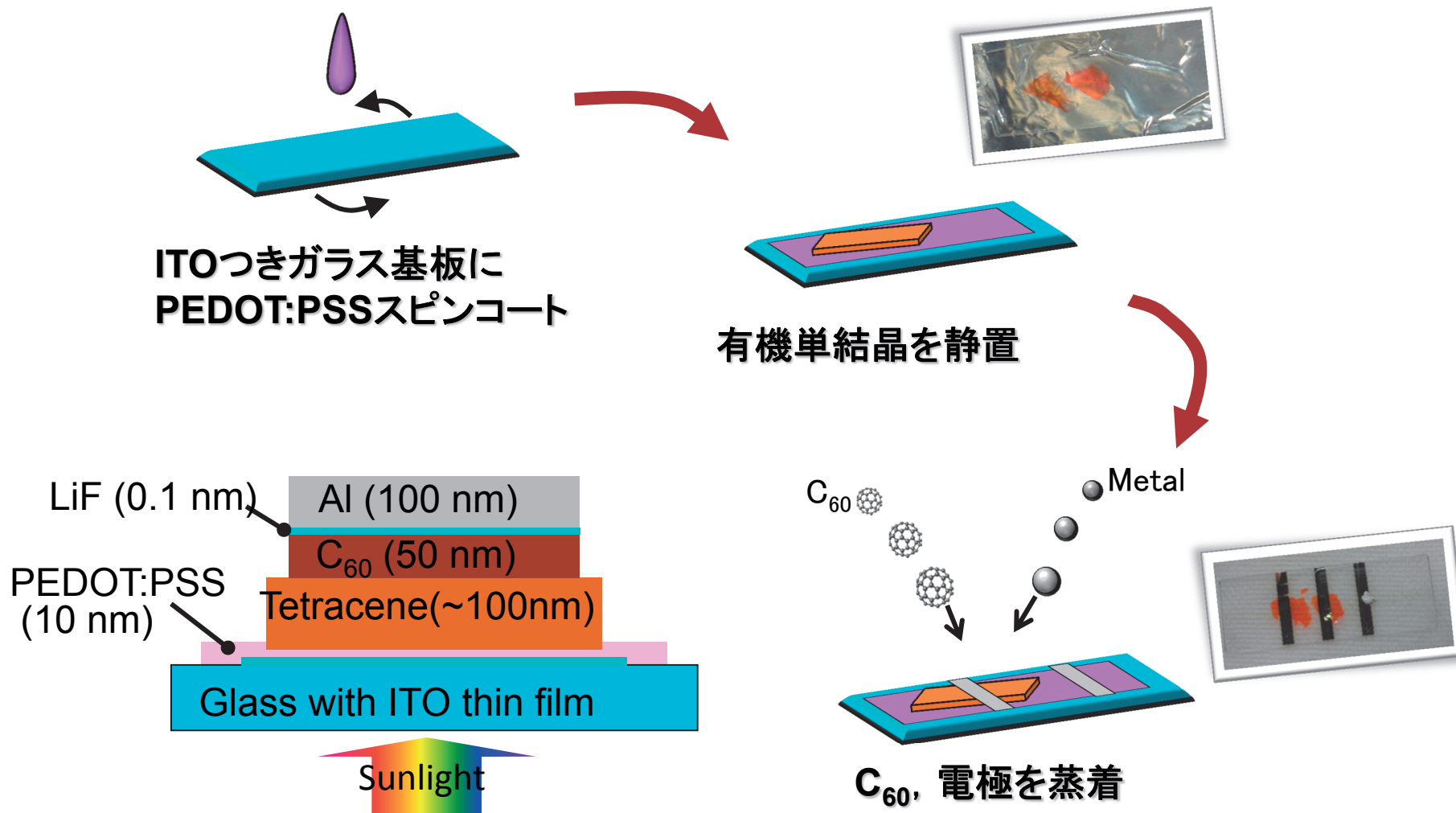


厚さ: 100 nm ~ μm

幅: 数mm角

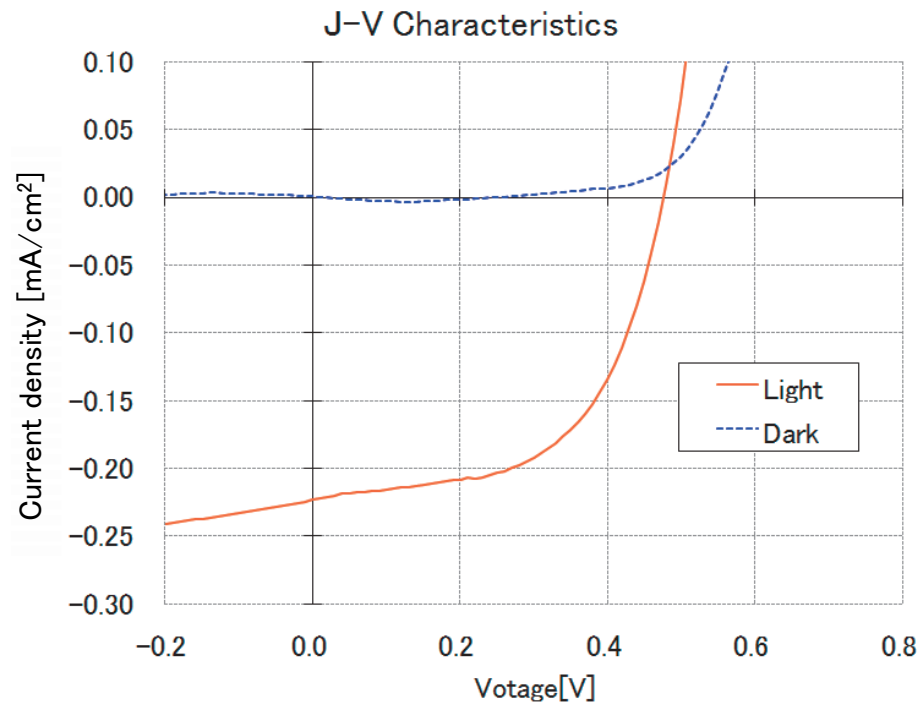
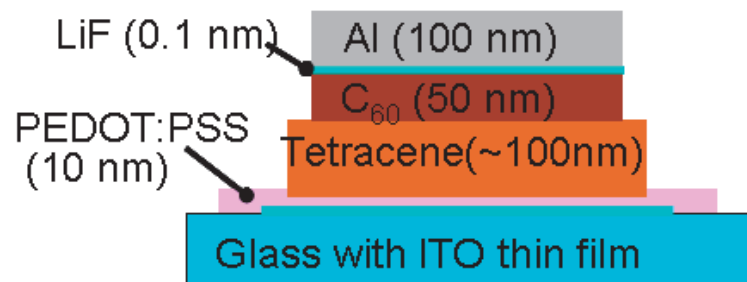
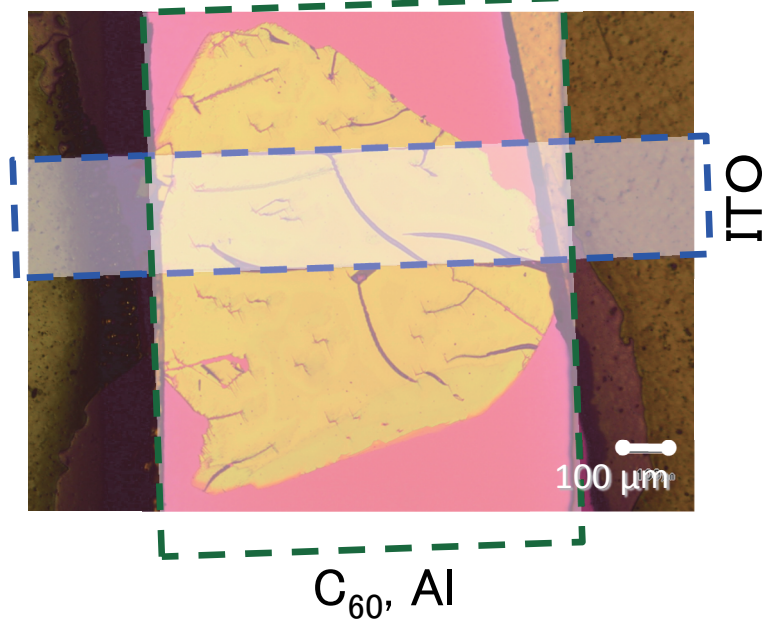
偏光顕微鏡を用いて単結晶であることを確認

素子作製プロセス



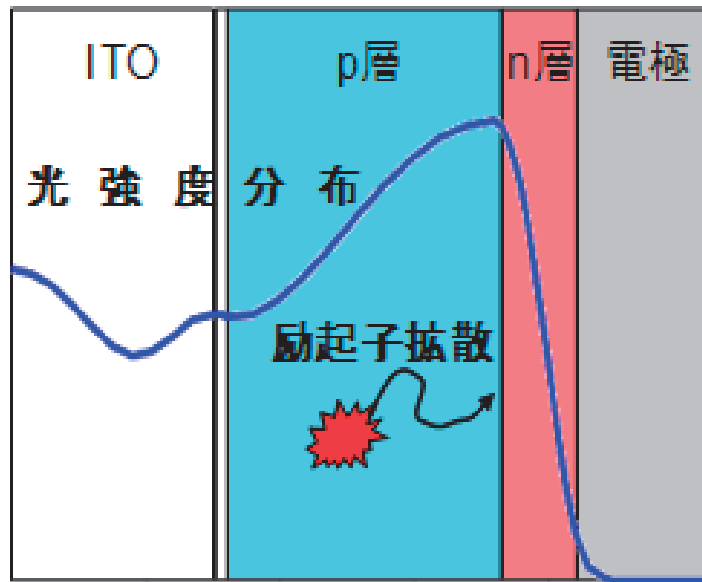
テトラセン単結晶素子特性

テトラセン膜厚: 150 nm



| | |
|----------|-------------------------|
| J_{sc} | 0.22 mA/cm ² |
| V_{oc} | 0.48 V |
| PCE | 0.060 % |
| FF | 0.56 |

特性シミュレーション



光強度分布

$$\begin{pmatrix} E_{j+1}^+ \\ E_{j+1}^- \end{pmatrix} = \frac{\tilde{n}_j + \tilde{n}_{j+1}}{2\tilde{n}_j} \begin{pmatrix} 1 & r_{j,j+1} \\ r_{j,j+1} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_j^+ \\ E_j^- \end{pmatrix}$$

$$\tilde{n}_j = \eta + i\kappa \quad r_{jk} = (\tilde{n}_j - \tilde{n}_k) / (\tilde{n}_j + \tilde{n}_k)$$

励起子拡散

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} - \frac{n}{\tau} + \frac{\theta}{2h\nu} c \varepsilon_0 \alpha \eta |E(x)|^2$$

短絡電流 (J_{sc}): 励起子拡散モデルを用いて計算

テトラセン単結晶素子のIPCE

IPCEのピークの帰属
非線形最小自乗Fit

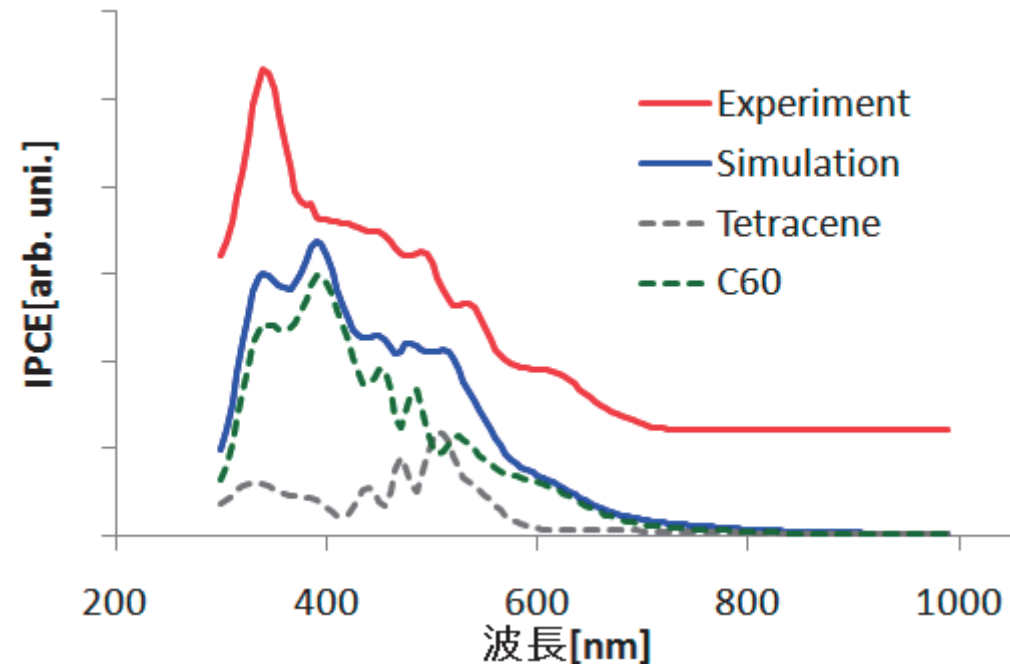
$$L_{\text{Tetracene}} = 176 \text{ nm}$$

$$L_{\text{C60}} = 9.9 \text{ nm}$$

$$\theta_{\text{Tetracene/C60}} = 0.06$$

$$\theta_{\text{C60/Tetracene}} = 0.06$$

$$\theta_{\text{C60/Al}} = 0.21$$

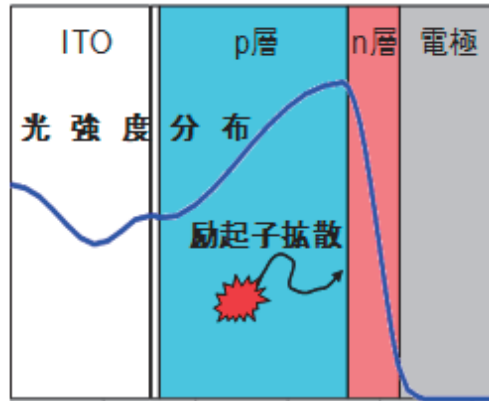


($\theta_{a/b}$: a / b界面発生したキャリアが回路外部に取りだされる確率)

テトラセン単結晶において励起子拡散長176nmを観測

c.f. $L_{\text{Tetracene}} = 200 \text{ nm}$ (N. Geacintov et. al., JCP **45**, 2639 (1966))

シミュレーションによる特性予測



光強度分布

$$\begin{pmatrix} E_{j+1}^+ \\ E_{j+1}^- \end{pmatrix} = \frac{\tilde{n}_j + \tilde{n}_{j+1}}{2\tilde{n}_j} \begin{pmatrix} 1 & r_{j,j+1} \\ r_{j,j+1} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_j^+ \\ E_j^- \end{pmatrix}$$

励起子拡散

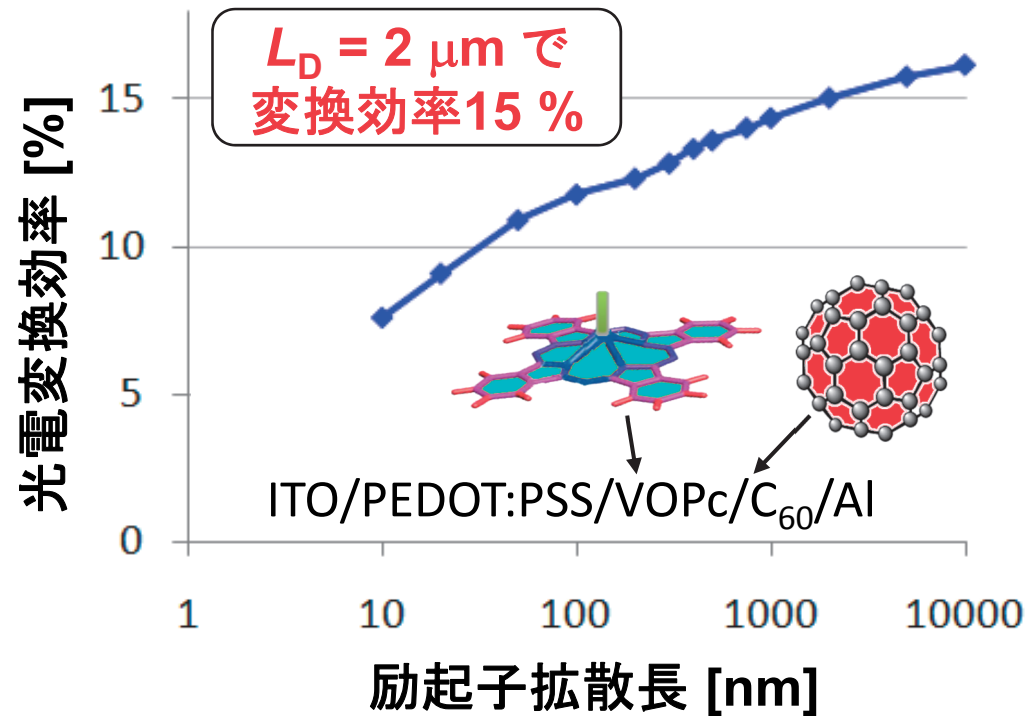
$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} - \frac{n}{\tau} + \frac{\theta}{2h\nu} c \epsilon_0 \alpha \eta |E(x)|^2$$

開放電圧 (V_{oc})

材料HOMO-LUMO準位から計算

形状因子 (FF)

膜厚に依存せず0.8とした



まとめ

- 有機単結晶の励起子拡散長 (L_D)
Photoluminescence (テトラセン $L_D=170$ nm)
- 有機単結晶太陽電池作製
太陽電池動作を確認
分光感度特性を用いた励起子拡散解析
- 特性シミュレーション
単結晶太陽電池の変換効率予測