

全高分子太陽電池における相分離構造と二分子再結合との関係

Correlation between Phase Separation Structure and

Bimolecular Recombination in All Polymer Solar Cells

京大院工 °キム ヒョンド, 堀内 宥也, 岩崎 慎太, 大北 英生

Kyoto Univ. °Hyung Do Kim, Yuya Horiuchi, Shinta Iwasaki, Hideo Ohkita

E-mail: hyungdokim@photo.polym.kyoto-u.ac.jp

相補的な吸収帯を有する全高分子太陽電池において、さらにエネルギー変換効率を増加させるためには、活性層の厚膜化により光捕集能を向上させる戦略が有効である。しかし、全高分子太陽電池では、活性層を厚膜化させると、活性層内で生成した電荷が電極に回収されるまでの輸送距離が長くなるため、電荷回収より電荷キャリアの二分子再結合が支配的である。その結果、電荷の回収効率を表す曲線因子 (FF) が低下する傾向を一般的に示す^[1]。そこで本研究では、その起源を明らかにするために電子ドナーに結晶性が異なる 4 種の共役高分子を、電子アクセプターにナフタレンジイミドの主鎖骨格を有する共役高分子 N2200 を用いた全高分子太陽電池に着目し、ドナー共役高分子の結晶性による相分離構造の違いが二分子再結合に及ぼす影響について議論した。

図 1 に示すように、結晶性の高い RR-P3HT 素子では、300 nm 程度の厚膜でも 0.6 程度の高い FF を保つのにに対して、それ以外の系では厚膜化にともない、FF が顕著に減少した。その起源を二分子再結合観点から検討するため、各素子に対して過渡光起電力・過渡光電流測定を行った。上記の測定により得られた電荷寿命 τ_n と電荷密度 n を用いて開放状態における二分子再結合速度定数 $k_{rec} = 1/\tau_n n$ を算出し、それを n に対してプロットしたものを図 2 に示す。一方、拡散律速の再結合を仮定した Langevin モデルによる再結合速度定数 $k_L = q\mu/\epsilon_r\epsilon_0$ も算出し、 k_{rec}/k_L で定義される再結合抑制因子 ζ を各系において求め、表 1 に示す。その結果、結晶性の高い RR-P3HT 素子では ζ が 10^{-3} 程度であるのに対して、非晶性の PTQ1 および中間の結晶性を有する PBDB-T と J51 では 10^{-1} 程度であり、ドナー性共役高分子の結晶性によって ζ が二桁以上異なることが分かった。すなわち、全高分子素子における二分子再結合は、ドナー性共役高分子の結晶性の向上により抑制されることを示唆している。これは、ドナーとアクセプター共役高分子の界面において純粋なドナー結晶相が形成され、混合相とのエネルギー準位差により電荷が非晶相からより安定な結晶相に移動し、空間的に離れることに起因すると考えられる。さらに、相分離構造の変化と二分子再結合との関係を詳細に検討するために、結晶性の高い RR-P3HT 素子に着目し、熱処理による相分離構造の変化が二分子再結合に及ぼす影響についても検討した。

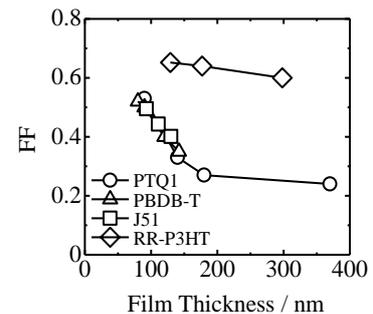
【参考文献】 1) L. Gao *et al.*, *Adv. Mater.*, **2016**, 28, 1884.

Figure 1. Thickness dependence of FF for all the polymer solar cells using different crystallinities of donor polymers.

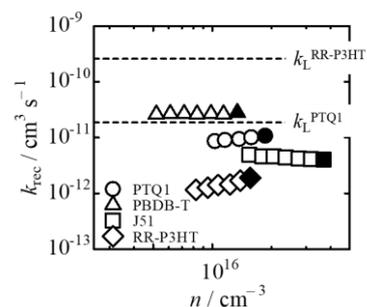


Figure 2. Double logarithmic plots of k_{rec} against n for all polymer solar cells using different donor conjugated polymers. k_L is the diffusion-limited Langevin recombination rate constant. Closed symbols indicate k_{rec} under 1 sun illumination condition.

Table 1. ζ for all polymer solar cells using different donor conjugated polymers.

	Crystallinity	ζ
PTQ1	Amorphous	0.58
PBDB-T	Low	0.23
J51	Low	0.17
RR-P3HT	High	0.0073