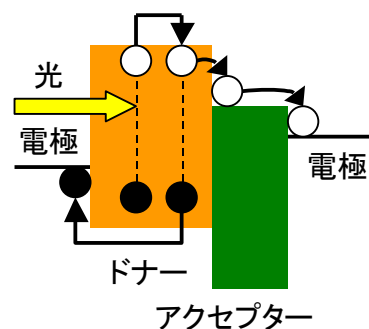


ディビジョン番号	13
ディビジョン名	高分子

大項目	3. 高分子の機能
中項目	3-1. 電子・光機能
小項目	3-1-2. 光電変換

概要（200字以内）

導電性高分子や高分子半導体を用いた光電変換素子は、低コスト太陽電池として期待されている。光電変換は光を吸収することにより生成した励起子から電荷分離した電子と正孔を電極から取り出すプロセスである。開発当初の平面ヘテロ接合型の構造では、光電変換効率が1%程度と小さかった。近年、ドナー性の共役系高分子とアクセプター性のフルーレン誘導体のブレンド物が形成するバルクヘテロ接合を含んだ素子が提案され、5%程度の光電変換効率が得られている。



- ・低コスト有機薄膜太陽電池
- ・バルクヘテロ構造による高効率化

現状と最前線

高分子薄膜の光電変換機能を利用した有機薄膜太陽電池は、低コストでフレキシブル太陽電池としての実用化が期待されている。ウエットプロセスの適用によってロール・ツー・ロール化が可能、大面積化が容易など、シリコン系に比べて大幅なコストダウンが期待できるからである。固体型の有機太陽電池はp - n接合の光起電力効果を原理としている。無機の半導体と異なり有機化合物では、光照射により直接キャリアは生成せず、正孔と電子がペアとなり結合している励起子が生成する。この励起子が接合面まで拡散し、自由なキャリアに解離し、対極までドリフト移動する。光電変換の効率は、光吸収効率、励起子拡散効率、電荷移動効率および電荷収集効率の積で決まる。有機薄膜太陽電池では、有機半導体で形成されるp - n接合の光電変換層の厚みが数ナノメートル程度しかないので、従来型の平面ヘテロ接合型の構造では、光の利用効率が悪く、大きな光電流を取り出すことができなかった。このため有機薄膜太陽電池のエネルギー変換効率を向上させるには、光電変換層の拡大による光の利用効率の改善が鍵とされていた。

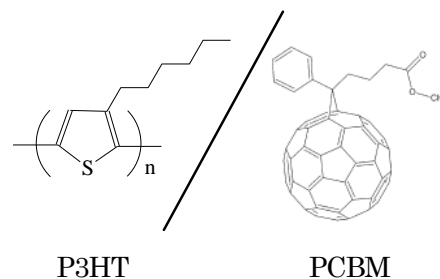


図1 バルクヘテロ構造素子を与える材料

そのブレークスルーとなったのがバルクヘテロ接合を含んだ素子である。成功を収めた系として図1に示すようなポリ(3-ヘキシルチオフェン) (P3HT)とフラーレン誘導体 (PCBM) のブレンド物（前者がドナー、後者がアクセプターとして働く）があり、3.6%の効率が達成されている。これらのブレンドフィルムの形態と高効率の特性との関連は興味深い。P3HT と PCBM は固体状態では非相溶であり、励起子の正孔電子への解離はそれぞれのドメインの界面で起こると考えられている。大きな界面と小さなドメインサイズは励起子の解離に対して有利に働く。一方、相互に連結した共連続構造により、界面で生成した正孔及び電子が再結合することなくそれぞれの電極にたどり着くことができる。このネットワーク構造のスケールは、励起子の拡散距離（通常 10 nm 程度）以下になることが望ましい。製膜時の溶媒の揮発性や溶解性により活性層の相構造が影響を受け、素子の特性も変わる。製膜後の熱処理によっても P3HT のパッキング状態が変わり、移動度が向上すると言われている。

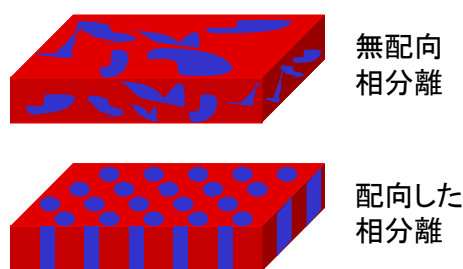


図2 相分離構造の種類

Forrest らはバルクヘテロ接合のタンデム化を図ることで光吸収効率を上げ、光電変換効率 5.7% という高い値を達成した。さらなる高い光電変換効率を実現するためには、材料の最適化（バンドギャップの小さい共役系化合物の開発、ドナー／アクセプターの組み合わせなど）もさることながら、バルクヘテロ接合のナノレベルでの構造制御が重要となると思われる。通常のパーコレーションによる共連続構造は、それぞれのドメインは無配向であるが、例えば図2の下に示したようにシリンダードメインを膜面に対して垂直に配向させることができれば、電荷の収集効率を大幅に向上させることができる。

光電変換効率のさらなる向上、材料の経時安定性の確認、低コストでの大面積デバイス化手法の確立により、低コスト太陽電池としての実用化が十分に見込まれる。

（参考文献） 齊藤和裕ら、応用物理、第 73 巻、第 12 号、p. 1525-1530 (2004)
有機薄膜太陽電池の最新技術 上原赫 吉川暹監修 シーエムシー出版(2005)

将来予測と方向性

- ・ 5 年後までに解決・実現が望まれる課題
よりバンドギャップの小さい共役系化合物の開発
相分離の高次な構造制御による更なる高効率化
- ・ 10 年後までに解決・実現が望まれる課題
ウェットプロセスによる低コスト作製技術の熟成
素子（材料）の信頼性の確保

キーワード

pn 接合、バルクヘテロ接合、共役系高分子、フラーレン誘導体、太陽電池

（執筆者：荻野 賢司）