

## 研究成果報告書

所属機関 九州大学 稲盛フロンティア研究センター 職名 教授 氏名 安田 琢磨

### 研究テーマ

精密分子設計に基づく高効率有機光電変換材料・デバイスの開発

### 研究報告

#### 1. 研究の背景と目的

近年、世界規模でのエネルギー需要が逼迫し、既存のエネルギーの有効的利用とともに新しいエネルギー源の開拓が必要不可欠となっている。これらのエネルギー問題および資源の枯渇と併せて、折しも地球環境問題も顕在化しており、クリーンエネルギーへの期待がますます高まってきている状況である。地球温暖化は、地球規模での経済発展に伴う化石燃料の燃焼によるCO<sub>2</sub>排出量の増加が原因であることは疑いないところである。世界的な規模での協調した排出抑制策が議論される中、我が国では2020年までに1990年比で25%の削減目標を掲げている。しかし、その達成のためには更に高い水準のエネルギー技術革新が必須である。燃料電池や水素エネルギーなどの研究開発は大変重要な課題であるが、地表に燦燦と降り注ぐクリーンで尽きることのない太陽光エネルギーを利用した効率的な太陽光発電システムの開発に大きな期待が寄せられている。我々が収集可能な太陽光エネルギー量は、風力や波力、地熱などの他の再生可能エネルギー源の収集可能量と比較すると遥かに大きいものである。しかしながら、シリコン系太陽電池は生産コストの高さやプロセスの煩雑さなどの課題を抱えており、より簡便かつ安価に作製可能な有機太陽電池に大きな期待が集まっている。

本研究では、安価でクリーンな有機半導体色素材料を活用して、環境低負荷かつ簡便なプロセスで作製できる高効率な有機太陽電池の開発を目指す。有機太陽電池は、薄膜化による柔軟性・軽量性・意匠性の付与が可能という従来のシリコン系太陽電池には無い優れた特徴を有する次世代の太陽電池であり、新しいクリーンエネルギーデバイスとして位置づけることができる。低コストの有機半導体色素材料を用いて高性能な有機太陽電池を実現するための研究開発は極めて重要かつ挑戦的な課題であり、本研究は大きな社会的意義を有している。有機太陽電池は、塗布や印刷プロセスによる素子作製が可能であり、シリコン太陽電池と比較して製造コスト・モジュールコストを大幅に削減することが可能である。

#### 2. 研究成果及び考察

更なる光電変換の高効率化を目指し、量子化学計算を活用してより高い可視光吸収特性と最適なエネルギー準位、高い電荷輸送特性を有する狭バンドギャップの有機半導体色素を新たに設計、合成した(図1)。そして、太陽電池素子中の約100 nm膜厚の活性層薄膜の内部において、合成した有機半導体色素(ドナー分子)とフラーレン誘導体(アクセプター分子)が数10 nmスケールの相分離界面を自発的に形成し、表面エネルギーの小さいドナー分子がアノード側活性層表面に偏

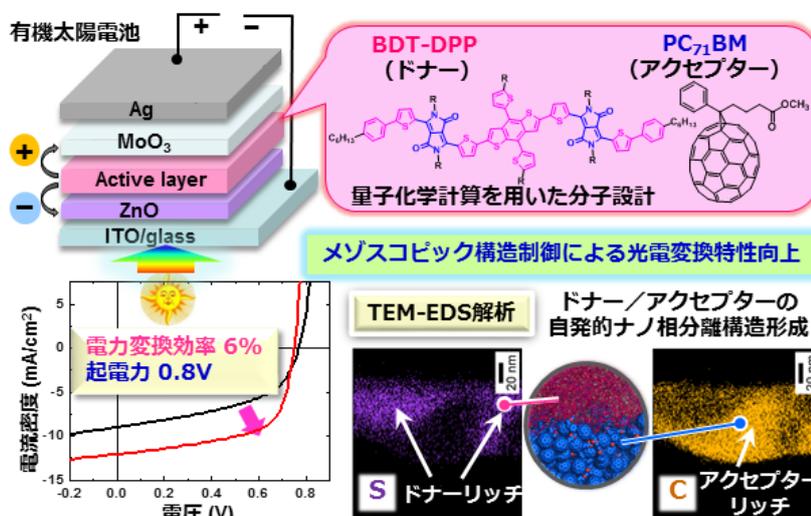


図1 相分離を用いたメソスコピック超構造形成による高効率な塗布型有機太陽電池の構築

析することを透過型電子顕微鏡およびエネルギー分散型 X 線分析により明らかにした。このようなメゾスケールでの明確な相分離構造を単純なスピコート製膜により実現することにより、6%の電力変換効率を達成した。

また、量子化学計算を駆使した精密分子設計により、単セルにおいて開放端電圧が 1 V を超える高起電力有機太陽電池の開発にも成功した。

以上のように、有機半導体色素が有するユニークな特徴、即ち三次元的自己組織能、ナノ相分離、界面形成を能動的に活用して、分子を高度に集積・配列制御するボトムアップ型材料構築法により、有機太陽電池の高効率化に成功した。本研究は、従来のシリコンを中心とした高エネルギー消費型デバイス・システムとは一線を画し、有機半導体色素の自己組織化を活用した省エネルギープロセス・材料設計により、エネルギー高効率利用に資する次世代のクリーンエネルギーデバイスの創出に繋がるものと期待できる。

### 3. 将来展望

自己組織性を有する狭バンドギャップオリゴマーを用いた光電変換デバイスに関しては、太陽電池だけではなく、特に室内等における環境発電（エナジーハーベスティング）デバイスとしての特性に大いなる期待が持てることから、次世代センサーネットワーク等に適用できる自立型フレキシブル発電素子としての今後の展開に期待がもたれる。

### 4. 研究発表

- (1) Hideaki Komiyama, Chihaya Adachi, and Takuma Yasuda, “Star-Shaped and Linear  $\pi$ -Conjugated Oligomers Consisting of a Tetrathienoanthracene Core and Multiple Diketopyrrolopyrrole Arms for Organic Solar Cells”, 2016, submitted.
- (2) Seiichi Furukawa, Hideaki Komiyama, and Takuma Yasuda, “Controlling Open-Circuit Voltage of Organic Solar Cells by Employing Terminally Fluorinated Narrow-Bandgap  $\pi$ -Conjugated Molecules”, 2016, submitted.
- (3) Mikiya Fujii, Woong Shin, Takuma Yasuda, and Koichi Yamashita, “Photon-Absorbing Charge-Bridging States in Organic Bulk Heterojunctions Consisting of Diketopyrrolopyrrole Derivatives and PCBM”, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2016, 18, 9514-9523.
- (4) 安田 琢磨, “有機半導体分子集積を基軸とした有機エレクトロニクスデバイスの開拓”, 日本学術振興会「先端ナノデバイス・材料テクノロジー第151委員会」平成27年度第1回研究会, 招待講演, 早稲田大学, 2015年7月.
- (5) Takuma Yasuda, Yu Hidaka, Woong Shin, “ $\pi$ -Extended Narrow-Bandgap Oligomers for Solution-Processed Organic Photovoltaic Devices”, 16th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA16), Madrid, Spain, July 2015.
- (6) 安田 琢磨, “有機半導体の精密分子設計・制御が拓く有機光エレクトロニクス”, 平成27年度第3回光エネルギーセミナー, 招待講演, 近畿大学, 2015年7月.
- (7) Takuma Yasuda, “Self-Organizing Organic Semiconductors for Electronics Devices”, Japan-Korea Joint Symposium 2015 (JKJS 2015), Invited talk, Fukuoka, October 2015.
- (8) Seiichi Furukawa, Hideaki Komiyama, and Takuma Yasuda, “Terminal Functionalized Diketopyrrolopyrrole-Based Small Molecules for Organic Photovoltaic Devices”, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015 (Pacifichem 2015), Honolulu, December 2015.
- (9) Yu Hidaka, Woong Shin, and Takuma Yasuda, “Development of Organic Solar Cells Based on Low-Bandgap  $\pi$ -Conjugated Molecules”, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015 (Pacifichem 2015), Honolulu, December 2015.
- (10) Takuma Yasuda, “Luminescent Fusion Materials for Optoelectronic Devices”, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015 (Pacifichem 2015), Invited talk, Honolulu, December 2015.
- (11) 古川 晴一, 込山 英秋, 安田 琢磨, “フッ素含有基導入による有機薄膜太陽電池の開放電圧制御”, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 東京工業大学, 2016年3月.
- (12) Hideaki Komiyama, Seiichi Furukawa, Yu Hidaka, Takahiro To, Chihaya Adachi, and Takuma Yasuda, “ $\pi$ -Extended Narrow-Bandgap Oligomers for Solution-Processed Organic Solar Cells”, 2016 MRS Spring Meeting, Phoenix, Arizona, March 2016.