

分子機能研究部門

平本 昌宏 (教授) (2008年4月1日着任)

A-1) 専門領域：有機半導体，有機太陽電池，有機エレクトロニクスデバイス

A-2) 研究課題：

- a) ドーピングイオン化率増感
- b) 1 ppm 極微量ドーピングによる有機太陽電池の性能向上

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 有機半導体に不純物を極微量加えるドーピングの効率を 100% にすることに成功した。シリコンに代表される無機半導体のドーピング効率は 100% であることが知られているが、これまで有機半導体のドーピング効率は 10% 以下で、仮に不純物を 10 個加えても、そのうちの 1 個にしか電子を発生させることができなかった。

今回、2 種の有機半導体を混合した共蒸着膜においてドーピング効率が 100% に達することを発見し、本現象を「ドーピング増感効果」と命名した（論文 5）。これは、有機半導体においても、加えた不純物 10 個のすべてが電子を発生し、無機半導体と同じ効率 100% でドーピングができるようになったことを意味している。詳細な機構として、電荷分離超格子モデルと直接カスケードイオン化モデルを提出した。ドーピング増感効果は、高性能の有機太陽電池や有機デバイス作製の基盤となる技術である。

- b) ppm 極微量ドーピングによって、有機太陽電池の性能向上できることを証明した。

光電変換層への直接ドーピングによって、初めて、多数キャリアと少数キャリアの概念を有機太陽電池に導入した。1 ppm の極微量ドーピングで、多数キャリア濃度の増大による、セル抵抗低下効果と再結合抑止効果で、曲線因子が大きく向上した。1 から 10 ppm にドーピング濃度を大きくすると、空乏層形成のため、光電流が系統的に向上した。ドーピング濃度が 100 ppm 以上になると、ドーパント不純物散乱のために、少数キャリア拡散距離が減少し、光電流量が逆に減少した。

1-10 ppm 極微量のドーピングによる多数キャリア濃度増大が光電流増大を引き起こす結果は、有機太陽電池において、世界初の観測である。

B-1) 学術論文

M. HIRAMOTO, M. KUBO, Y. SHINMURA, N. ISHIYAMA, T. KAJI, K. SAKAI, T. OHNO and M. IZAKI, "Bandgap Science for Organic Solar Cells," *Electronics* **3**, 351–380 (2014).

Y. SHINMURA, T. YOSHIOKA, T. KAJI and M. HIRAMOTO, "Mapping of Band Bending for Doped C₆₀ Films," *Appl. Phys. Express* **7**, 071601 (4 pages) (2014).

K. HARAFUJI, H. SATO, T. MATSUURA, Y. OMOTO, T. KAJI and M. HIRAMOTO, "Degradation in Organic Solar Cells under Illumination and Electrical Stresses in Air," *Jpn. J. Appl. Phys.* **53**, 122303 (9 pages) (2014).

S. KATSUBE, T. HARADA, T. UMECKY, T. TAKAMUKU, T. KAJI, M. HIRAMOTO, Y. KATSUMOTO and K. NISHIYAMA, "Structures of Naphthol-AOT Self-Assembly Organogels and their Applications to Dispersing Media of Rare-Earth Complexes," *Chem. Lett.* **43**, 1861–1863 (2014).

Y. SHINMURA, Y. YAMASHINA, T. KAJI and M. HIRAMOTO, "Ionization Sensitization of Doping in Co-Deposited Organic Semiconductor Films," *Appl. Phys. Lett.* **105**, 183306 (5 pages) (2014).

B-3) 総説, 著書

平本昌宏, 「有機半導体のpn制御と太陽電池応用」 *Molecular Electronics & Bioelectronics* **25**, 81–86 (2014).

B-4) 招待講演

M. HIRAMOTO, "Bandgap Science for Organic Thin-Film Solar Cells," MANA (International Center for Materials Nanoarchitectonics) International Symposium, Tsukuba (Japan), March 2014.

平本昌宏, 「イントロダクトリー」第6回有機薄膜太陽電池サテライトミーティング, 理化学研究所和光キャンパス鈴木梅太郎ホール, 和光, 2014年3月.

平本昌宏, 「有機半導体のpn制御と太陽電池応用」M&BE研究会「有機分子・バイオエレクトロニクスが拓く新しい世界」キャンパスプラザ京都, 京都, 2014年6月.

平本昌宏, 「有機太陽電池のバンドギャップサイエンス」第25回東海地区光電気化学研究会, 豊橋技術科学大学駅前サテライトオフィス, 豊橋, 2014年8月.

平本昌宏, 「有機半導体のpn制御と有機太陽電池への応用」有機エレクトロニクス研究会——有機系太陽電池の研究最前線, JR 博多シティ会議室9F 会議室3, 福岡, 2014年12月.

B-6) 受賞, 表彰

嘉治寿彦, 応用物理学会有機分子・バイオエレクトロニクス分科会奨励賞 (2013).

嘉治寿彦, 第31回(2011年秋季)応用物理学会講演奨励賞 (2011).

平本昌宏, 国立大学法人大阪大学教育・研究貢献賞 (2006).

平本昌宏, 応用物理学会有機分子・バイオエレクトロニクス分科会論文賞 (2006).

平本昌宏, JJAP(Japanese Journal of Applied Physics) 編集貢献賞 (2004).

平本昌宏, 電子写真学会研究奨励賞 (1996).

B-7) 学会および社会的活動

学会の組織委員等

応用物理学会有機分子・バイオエレクトロニクス分科会幹事 (1997–1998, 2001–2002).

応用物理学会有機分子・バイオエレクトロニクス分科会年会講演プログラム委員 (2002–2003).

Korea-Japan Joint Forum (KJF)—Organic Materials for Electronics and Photonics, Organization Committee Member (2003–).

「有機固体における伝導性・光伝導性および関連する現象」に関する日中合同シンポジウム組織委員 (2007–).

応用物理学会有機分子・バイオエレクトロニクス分科会年会講演プログラム委員長 (2008–2009).

Fifth International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE5)(Miyazaki), Organization Committee Member (2009).

東京大学物性研究所2011年度後期短期研究会「エネルギー変換の物性科学」オーガナイザーメンバー (2011).

有機薄膜太陽電池サテライトミーティング世話人代表 (2009-).

The 37th International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS2010), Programm Committee Member of the Session “Organic Semiconductor Materials and Devices,” 31 May–4 June 2010, Takamatsu Kagawa, Japan (2010).

The 40th International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS 2013), Program Committee Member, “Organic Semiconductors and Flexible Materials,” Kobe Convention Center, Kobe, Japan, May 19–23 (2013).

The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6), Program Committee Member and Chairman, Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan, Nov. 23–27 (2014).

応用物理学会有機分子・バイオエレクトロニクス分科会幹事 (2012–2013). (嘉治寿彦)

応用物理学会有機分子・バイオエレクトロニクス分科会プログラム編集委員 (2014–2015). (嘉治寿彦)

文部科学省, 学術振興会, 大学共同利用機関等の委員等

科学技術交流財団(財)「有機半導体の基礎科学と有機太陽電池への応用に関する研究会」座長 (2009–2011).

京都大学化学研究所全国共同利用・共同研究拠点連携基盤専門小委員会委員 (2011–2012).

学会誌編集委員

Japanese Journal of Applied Physics (JJAP) 誌編集委員 (2001–2002, 2004–2007).

Japanese Journal of Applied Physics (JJAP) 誌ゲストエディター (2005).

競争的資金等の領域長等

東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究「有機半導体デバイスの基礎と応用」研究代表者 (2003–2005).

さきがけ「太陽光と光電変換」研究領域 領域アドバイザー (2009-).

戦略的創造研究推進研究(CREST)「低エネルギー, 低環境負荷で持続可能なものづくりのための先導的な物質変換技術の創出(ACT-C)」研究領域 領域アドバイザー (2012-).

その他

岡崎ビジネス大賞評価委員 (2012).

岡崎ものづくり協議会学識委員 (2011-).

B-9) 学位授与

久保雅之, 「pn-Homojunction Organic Solar Cells」2014年9月, 博士(理学)

B-10) 競争的資金

科研費基盤研究(C)(2), 「高効率有機3層接合型固体太陽電池の開発」平本昌宏 (2006年–2007年).

科研費基盤研究(C)(2), 「垂直接合型有機固体太陽電池の開発」平本昌宏 (2004年–2005年).

科学技術振興機構シーズ育成試験, 「p-i-n 接合型有機固体太陽電池」平本昌宏 (2005年).

科学技術振興機構産学共同シーズイノベーション化事業顕在化ステージ, 「高効率有機固体太陽電池の実用化試験」平本昌宏 (2006年–2007年).

科学技術戦略推進機構アカデミアショーケース研究助成, 「p-i-n 有機太陽電池の開発」平本昌宏 (2006年).

(財)関西エネルギー研究基金(KRF) 助成, 「有機半導体のpn制御とp-i-n 有機固体太陽電池の開発」平本昌宏 (2008年).

NEDO「太陽光発電システム未来技術研究開発」超階層ナノ構造を有する高効率有機薄膜太陽電池の研究開発」平本昌宏(分担)(2006年度–2009年度).

科学技術振興機構CREST 研究,「二酸化炭素排出抑制に資する革新的技術の創出」,「有機薄膜太陽電池の高効率化に関する研究」平本昌宏(分担)(2008年度-2009年度).

科研費基盤研究(B)(2),「有機半導体のイレブンナイン超高純度化による10%効率有機薄膜太陽電池の開発」平本昌宏(2009年-2012年).

科研費挑戦的萌芽研究,「直立超格子ナノ構造を組み込んだ高効率有機太陽電池」平本昌宏(2009年-2010年).

科研費挑戦的萌芽研究,「クロスドーピングによる有機薄膜太陽電池」平本昌宏(2012年-2013年).

科学技術振興機構CREST 研究,「太陽光を利用した独創的クリーンエネルギー生成技術の創出研究領域」,「有機太陽電池のためのバンドギャップサイエンス」平本昌宏(2009年-2015年).

科学技術振興機構先端的低炭素化技術開発(ALCA)「有機薄膜太陽電池の結晶性理想構造の共蒸発分子誘起結晶化法による実現と高効率化」嘉治寿彦(2012年-2018年).

科研費基盤研究(B),「共蒸着膜のpn制御による15%効率有機タンデム太陽電池の開発」平本昌宏(2013年-2015年).

科研費若手研究(B),「共蒸発分子誘起結晶化法の異種材料展開と原理探求」嘉治寿彦(2013年-2014年).

C) 研究活動の課題と展望

CREST プロジェクト「有機太陽電池のためのバンドギャップサイエンス」(研究代表者:平本)の遂行のために 研究員4名(久保,新村,菊池,山品(～8/31))を雇用している。また,博士後期課程学生である,大橋が4月より加わった。2014年は,嘉治助教,片山(ALCA 雇用研究員(4/11～1/31)),中尾研究員,杉原(秘書)と私の5名とあわせ,10名のグループで研究を行った。(2014/12/31現在7名)

12/1付けで嘉治助教が東京農工大准教授として転出した。

上記プロジェクトにより,有機半導体の単独,共蒸着膜のpn制御技術を完成し,ppm 極微量ドーピングによる有機太陽電池の効率向上ができることを実験的に証明できた。分子研着任後6年間で,最初の研究目標「有機半導体のpn制御」を達成できたと考えている。これをReview(論文1)にまとめた。なお,ドーピングイオン化率増感は,励起子を解離するために平本が1991年に提案した混合接合(バルクヘテロ接合)コンセプトのドーピング版に相当する。

来年度より,次の目標として,「有機単結晶pn制御」を考えている。pn制御の威力をさらに示すために,移動度が高い単結晶薄膜にドーピングし,より本質的なドーピング機構の解明と本質的な有機太陽電池の効率向上,有機デバイスへの展開を目指す。

2015.3に上記CREST プロジェクトが終了する。今年度は,次の段階の国プロにつなげる努力を集中して行った。

2週に1度,1日かけて研究報告とディスカッションを強力に行っている。研究員,学生に論文を積極的に執筆させている。CREST 研究員の久保は,今年度,論文博士学位を取得した。新村は,来年度,論文博士取得手続き中である。来年度より,博士課程学生がさらに1名加わり,学生が2名になる予定。研究室の国際化も視野に入れる。