

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) 有機太陽電池の開放端電圧の決定機構の解明とドーピングによる制御
- b) 有機単結晶ドーピング機構の解明とドーピング有機単結晶太陽電池の作製

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) フタロシアニン (H_2Pc) / フラーレン (C_{60}) からなる 2 層型セルについて，開放端電圧 (V_{oc}) の温度依存性，光強度依存性などを評価し， $\text{C}_{60}/\text{H}_2\text{Pc}$ 界面のキャリア再結合が V_{oc} 減少の主要原因であり，直接再結合機構によって 0.55 V，トラップを介した再結合機構によって 0.32 V の開放端電圧減少を生じることを定量的に示した。 V_{oc} 増大には， $\text{C}_{60}/\text{H}_2\text{Pc}$ 界面を結晶化して浅いトラップの濃度を減少させる方法が有効と考えている。
さらに，同じ $\text{C}_{60}/\text{H}_2\text{Pc}$ セルについて，ドーピング効果を検証した。界面近傍の H_2Pc 側への n 型ドーピングによって，界面のエネルギー接続を操作し，意図的に V_{oc} 増大できることを証明した。
- b) 表面ドーピングしたルブレ単結晶において，Hall 効果測定によるキャリア濃度の温度依存性から，ドーピングキャリア生成の活性化エネルギー 5.7 meV を観測し，室温ではほぼ 100% の効率でキャリア生成できることを示した。これは，シリコン並みのドーピング効率実現の可能性を示唆している。
ドーピングしたルブレ単結晶太陽電池を試作した。p 型ドーピングしたルブレ層を通して，2 mm × 1 mm の巨視的面積の pn ホモ接合で光生成したキャリアを，ほぼ 100% の効率で収集できた。ルブレ単結晶は 2.7 μm の非常に長い励起子拡散距離を持つため，46% の効率で励起子を pn ホモ接合に収集できた。この結果は，バルクヘテロ接合の不必要な新構造有機太陽電池が実現できることを示唆している。

B-1) 学術論文

N. SHINTAKU, M. HIRAMOTO and S. IZAWA, “Effect of Trap-Assisted Recombination on Open-Circuit Voltage Loss in Phthalocyanine/Fullerene Solar Cells,” *Org. Electron.* **55**, 69–74 (2018).
N. SHINTAKU, M. HIRAMOTO and S. IZAWA, “Controlling Open-Circuit Voltage in Organic Solar Cells by Impurity Doping,” *J. Phys. Chem. C* **122**, 5248–5253 (2018).
S. IZAWA, N. SHINTAKU and M. HIRAMOTO, “Effect of Band Bending and Energy Level Alignment at the Donor/Acceptor Interface on Open-Circuit Voltage in Organic Solar Cells,” *J. Phys. Chem. Lett.* **9**, 2914–2918 (2018).
M. HIRAMOTO, M. KIKUCHI and S. IZAWA, “Parts-per-Million-Level Doping Effects in Organic Semiconductor Films and Organic Single Crystals,” *Adv. Mater.* **30**, 1801236 (15 pages) (2018). (*Invited Progress Report*)

B-3) 総説，著書

M. HIRAMOTO, “Dawn of Organic Single Crystal Electronics—Hall Effect in Doped Organic Single Crystals,” *Eng. Technol. Open Acc.* **1(2)**, 555558 (2018). published March, ETOAJ.MS.ID.555558 (Invited Mini Review)

M. HIRAMOTO and M. KIKUCHI, “Single Crystal Organic Photovoltaic Cells,” *Adv. Civil. Eng. Tech.* **1(2)**, ACET.000507 (2018). (Invited Mini Review)

B-4) 招待講演 (* 基調講演)

M. HIRAMOTO, “Hall Effect in Bulk-doped Organic Single Crystals,” 24th World Nano Conference, Rome (Italy), May 2018.* (Keynote Speaker)

M. HIRAMOTO, “Hall Effect in Bulk-doped Organic Single Crystals,” Innovative Material Science & Nanotechnology Conference, Valencia (Spain), July 2018.

M. HIRAMOTO, “Hall Effect in Bulk-Doped Organic Single Crystals,” Thin Films 2018, The 9th International Conference on Technological Advances of Thin Films & Surface Coatings, Shenzhen (China), July 2018.

平本昌宏, 「量子解放電子—有機単結晶におけるキャリア生成と再結合」, 第79回応用物理学会秋季学術講演会, シンポジウム「深化する有機半導体結晶: 量子解放の分子科学に向けて」, 20a-231C-1, 名古屋国際会議場, 名古屋, 2018年9月.

伊澤誠一郎, 新宅直人, 菊地 満, 平本昌宏, 「バンド伝導材料による有機太陽電池の開放端電圧ロスの抑制」, 第79回応用物理学会秋季学術講演会, シンポジウム「深化する有機半導体結晶: 量子解放の分子科学に向けて」, 20a-231C-1, 名古屋国際会議場, 名古屋, 2018年9月.

B-6) 受賞, 表彰

平本昌宏, 応用物理学会第11回フェロー表彰 (2017).

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 (2009–2014).

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

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

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

27th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-27), Shiga, Japan, 12–17 Nov., Area: Organic and Dye-sensitized Solar Cells, Area Chair (2017).

第79回応用物理学会秋季学術講演会(名古屋国際会議場, 名古屋, 9/20)「深化する有機半導体結晶：量子解放の分子科学に向けて」シンポジウムオーガナイザー (2018).

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 (2017–2018). (伊澤誠一郎)

応用物理学会若手チャプター幹事 (2018年). (伊澤誠一郎)

第79回応用物理学会秋季学術講演会(名古屋国際会議場, 名古屋, 9/20)「深化する有機半導体結晶：量子解放の分子科学に向けて」シンポジウム世話人 (2018). (伊澤誠一郎)

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).

ERATO (戦略的創造研究推進事業) 追跡評価評価委員(評価委員長：阿知波首都大学東京名誉教授)(中村活性炭素クラスタープロジェクト(2004–2009) 追跡評価) (2015.7–10).

NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構)「次世代材料評価基盤技術開発／有機薄膜太陽電池材料の評価基盤技術開発」研究評価委員会(分科会) 委員(中間評価) (2015.8.19–11.4).

NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構)「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発」中間評価分科会分科会長代理 (2017.8–2018.3).

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).

Japanese Journal of Applied Physics (JJAP) 誌PVSEC27特集号 (vol. 57) ゲストエディター (2018).

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 (2009–2017).

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 (2012–2018).

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-8) 大学での講義、客員

大阪大学ナノ高度学際教育研究訓練プログラムナノ社会人教育夜間講義(平成30年度), 大阪大学中之島センター, 「有機太陽電池(I)(II)」, 2018年1月16日.

B-9) 学位授与

新宅直人, 「Effects of Charge Carrier Behavior on Device Performance of Organic Solar Cells」, 2018年3月, 博士(理学).

B-10) 競争的資金

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–2009年).

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–2009年).

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–2016年).

NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構), エネルギー・環境新技術先導プログラム「pn制御有機半導体単結晶太陽電池の開発」, 平本昌宏(2015年–2016年).

科研費基盤研究(B)(一般), 「有機単結晶エレクトロニクス」, 平本昌宏(2017年–2020年).

科研費挑戦的研究(萌芽), 「超バルクヘテロ接合有機太陽電池の開発」, 平本昌宏(2017年–2019年).

科研費研究活動スタート支援, 「混合膜中の界面構造制御による有機薄膜太陽電池の高効率化」, 伊澤誠一郎(2016年–2017年).

科研費若手研究, 「超高移動度分子を用いた有機太陽電池」, 伊澤誠一郎(2018年–2021年).

マツダ財団研究助成, 「理論限界に迫る有機太陽電池の実現」, 伊澤誠一郎(2018年–2020年).

中部科学技術センター学術・みらい助成, 「有機太陽電池の理論限界効率への挑戦」, 伊澤誠一郎(2018年–2019年).

C) 研究活動の課題と展望

平本は, 研究員1名(菊地)を雇用し, 今年度, 有機単結晶太陽電池の試作に成功し, 科研費「有機単結晶エレクトロニクス」を推進している。伊澤助教は, 有機太陽電池の開放端電圧の決定要因に関する研究を強力に推進し, 常に学生1名を指導し, 着任後2年半ですでに3報の論文が掲載され, さらに2報投稿中で, 研究室の柱になっている。なお, *Advanced Materials* のInvited Progress Reportに, 有機半導体ppmドーピングに関する総説が, 平本・菊地・伊澤の連名で掲載された。

また, 博士課程学生2名(新宅(D3)(2018.3卒), イジヒョン(D1)(2018.10入学)), 国際インターンシップ生, Chimie ParisTech大Armand Perrot(M1, 2017.4–2017.8), タイ国チュラロンコン大Sureerat Makmuang(M2, 2017.11–2018.4)が在籍した。これら2名の研究成果は, 半年の滞在であったにもかかわらず, 国際誌に1報が掲載され, 1報が投稿中である。なお, 1ヶ月間滞在したインド人学生Jaseela P.I.(B3, 2018.4)が, 総研大受験予定。学生は海外主体となり, 来年度は, 研究員を2名雇用してマンパワーを強化し, 研究室のアクティビティーをさらに向上させる。