

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) 有機半導体単結晶のホール効果測定
- b) 超バルクヘテロ接合有機単結晶太陽電池の開発

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 有機単結晶にドーピングしてpn制御し，ホール効果測定によって，キャリアタイプ，キャリア移動度，キャリア濃度を決定することに，世界で初めて，成功した。具体的には，ルブレ単結晶表面上に，ルブレを超低速蒸着（0.003 nm/s）すると，六角形の結晶の方位が揃ってホモエピ成長し，アクセプター（FeCl₃）ドーピングにも成功した。この，アクセプタードーブルブレ単結晶において，変調磁場に同期して変化するHall起電圧を観測できた。キャリアタイプはホールで，100 ppmまでのキャリア濃度増大（約1000倍）と，それ以上の濃度での，散乱による移動度低下を観測した。以上の結果は，有機単結晶エレクトロニクス分野を開拓する基礎となる成果である。
- b) 人工的に設計可能な，有機単結晶多層膜の作成技術を確立し，光電流を横方向（膜面方向）に取り出すタイプの，超バルクヘテロ接合セルの作製に成功した。これまで，有機太陽電池は，ドナー性とアクセプター性の有機半導体を混合した，バルクヘテロ接合が用いられてきたが，光生成したホールと電子を取り出す膜厚方向のルート形成が困難で，人工的設計が不可能であった。今回，膜面方向に10 cm²/Vsの超高速ホール，電子移動度を示す，有機単結晶膜を組み合わせることで，ミリメートルオーダーの膜面方向長距離キャリア輸送に成功し，超バルクヘテロ接合セルが，高性能の光電変換能力を示すことを実証した。超バルクヘテロ接合は，有機太陽電池分野で，これまでにない新しいセル設計コンセプトで，効率を大幅に向上できるポテンシャルを秘めている。

B-1) 学術論文

Y. YAMASHINA, Y. SHINMURA, N. ISHIYAMA, T. KAJI and M. HIRAMOTO, "Mapping of Band-Bending for Organic pn-Homojunctions," *J. Appl. Phys.* **117**, 125501 (5 pages) (2015).

M. KIKUCHI, Y. SHINMURA, T. KAJI, T. KONO, Y. YOSHIDA and M. HIRAMOTO, "Doping Induced Photocurrent Enhancement in Organic Solar Cells Using High Photovoltage Organic Semiconductor," *Jpn. J. Appl. Phys.* **54**, 111601 (5 pages) (2015).

C. OHASHI, Y. SHINMURA, M. KUBO and M. HIRAMOTO, "ppm-Doping Effects in the Simplest n⁺p-Homojunction Organic Photovoltaic Cells," *Org. Electron.* **27**, 151–154 (2015).

F. BUSSOLOTTI, J. YANG, M. HIRAMOTO, T. KAJI, S. KERA and N. UENO, "Direct Detection of Density of Gap States in C₆₀ Single Crystals by Photoemission Spectroscopy," *Phys. Rev. B* **92**, 115102 (6 pages) (2015).

B-3) 総説, 著書

平本昌宏, 新村祐介, 「有機半導体のpn制御と有機薄膜太陽電池」*日本真空学会誌*, **58**, pp. 91–96 (2014).

平本昌宏, 「有機半導体のドーピングによるpn制御」*「粉体・微粒子分野における分析事例集」* 技術情報協会(株)編, 11月刊 (2015).

平本昌宏, 「有機半導体のセブンナイン(99.99999%, 7N)超高純度化」*「粉体・微粒子分野における分析事例集」* 技術情報協会(株)編, 11月刊 (2015).

平本昌宏, 「第3分子導入による共蒸着膜の結晶化相分離」*「粉体・微粒子分野における分析事例集」* 技術情報協会(株)編, 11月刊 (2015).

B-4) 招待講演

M. HIRAMOTO, “Bandgap Science for Organic Solar Cells,” EMN (Energy Materials Nanotechnology) Meeting on Photovoltaics, Orlando (U.S.A.), January 2015.

M. HIRAMOTO, “Bandgap Science for Organic Solar Cells,” JSPS-DST, Asian Academic Seminar and School 2015, “Spectroscopy, Theoretical Chemistry and Chemistry of Materials,” Indian Association for the Cultivation of Science, Kolkata (India), March 2015.

M. HIRAMOTO, “Bandgap Science for Organic Solar Cells,” Invited Lecture; Department of Materials, Imperial College, London (U.K.), May 2015.

M. HIRAMOTO, “Bandgap Science for Organic Solar Cells,” 2015 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), C-1 Organic and Perovskite Photovoltaics, Sapporo (Japan), September 2015.

M. HIRAMOTO, “Bandgap Science for Organic Solar Cells,” 3rd Workshop on Physics in Organic Optoelectronics, JSPS-NSFC Bilateral Program, Okazaki Conference Center, Okazaki (Japan), December 2015.

平本昌宏, 「有機半導体のpn制御と太陽電池応用」*有機デバイス・材料研究討論会*, 主催: 電子情報通信学会, エレクトロニクスソサエティ, 協賛: 電気学会, 自然科学研究機構岡崎コンファレンスセンター, 2015年1月.

平本昌宏, 「有機太陽電池のためのバンドギャップサイエンス」*CREST「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」研究領域第3回公開シンポジウム*, 豊田工業大学, 名古屋, 2015年1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」*第5回PHOENICS国際シンポジウム*, 熊本大学百周年記念館, 熊本, 2015年2月.

平本昌宏, 「分子デバイス展開1」(有機半導体のpn制御と有機太陽電池応用) 所長招聘研究会「分子導体研究の展開」井口先生, 丸山先生を偲んで, 分子科学研究所, 岡崎, 2015年4月.

平本昌宏, 「有機太陽電池のためのバンドギャップサイエンス」*異分野融合ワークショップ「有機太陽電池の現状と展望」* 奈良先端大学院大学, 生駒, 2015年11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 (2009–2014).

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).

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).

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).

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

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).

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，大阪大学中之島センター，「有機太陽電池(I)(II)」
2015年1月6日.

B-9) 学位授与

新村祐介，「Effects of Doping in Photovoltaic Organic Semiconductor Films」2015年3月，博士(理学)(論文博士)

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 (2006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自の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).

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).

B-11) 産学連携

日本化薬(株) NEDO エネ環プロジェクトにおいて共同研究, 平本昌宏 (2015年).

C) 研究活動の課題と展望

NEDO 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」(代表: 平本, 分担: 伊崎(豊橋技科大), 内藤(大阪府大), 池田(日本化薬(株)))の遂行のために, 研究員4名(新村, 菊池, 廣田, 久保(~ 6/30))を雇用している。また, 博士課程学生2名(大橋(D2), 新宅(D1)), タイ国マヒドール大, Thidarat Kunawong (D2, 2015.11–2016.3)が在籍している。

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」が, 2015.3 に終了し, 評価A+であった。この成果を海外学会で積極的に発表した。

NEDO プロジェクトでは, 先のCREST プロジェクトによって開拓した, 有機pn 制御技術を, キャリアハイウェー構造を持ち, $100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ に達する超高速移動度を示す, 有機単結晶膜の形成技術と結合して, 超パルクヘテロ接合セルなど, 超高性能有機太陽電池へのブレイクスルーを起すことを目指している。最終目標は, 有機単結晶エレクトロニクス分野を確立することである。

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。CREST-NEDO 研究員の新村が, 論文博士学位を取得した。Kunawong 氏が加わったため, 報告会を英語で行なうようになった。研究員, 研究室の国際化をさらに進める。