

分子機能研究部門

平 本 昌 宏 (教授) (2008年4月1日～2023年3月31日)*)

伊澤 誠一郎 (助教)
足立 和宏 (研究員 (派遣))
藪谷 和樹 (研究員 (派遣))
小倉 康子 (事務支援員 (派遣))

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) ドナー／アクセプター接合を利用したフォトンアップコンバージョンと低電圧駆動有機 EL
- b) ドーピング有機単結晶基板の開発
- c) タンデム水平接合有機太陽電池

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) フォトンアップコンバージョン (UC) は長波長の光を短波長に変換する技術で，低エネルギー光の有効利用や近赤外イメージングなどへの応用が期待されている。今回，有機半導体ドナー (D) /アクセプター (A) 界面で有機太陽電池の電荷分離・再結合原理を応用した新原理の UC を実現した。発光体としては三重項消滅材料として知られるルブレン，感光体としては近赤外光を吸収するノンフラーレンアクセプタを用い，積層して D/A 界面をもつ 2 層膜を形成した。目に見えない近赤外 LED 光 (太陽光強度の 1/10 程度) を，2% 程度の量子効率で，目視可能な黄色の高輝度発光に変換するフレキシブル薄膜を実現できた。原理は，まず吸収した近赤外光を D/A 界面で HOMO オフセットを利用し電荷分離して，スピニングランダムな自由電荷を生成する。それらが再結合する際に界面で電荷移動 (CT) 状態を経て，三重項励起子を生成する。その後，三重項消滅を経てルブレンからの S1 発光が観測される。本手法は，全固体であり，重原子効果による項間交差が必要ないため希少金属，有害元素が不必要，という利点を持つ。このアップコンバージョン過程を有機 EL に応用し，その効率を向上させた結果，乾電池 1 本分の電圧でディスプレイ並みの明るさで赤色発光できる，世界最小電圧で駆動する有機 EL の開発に成功した。さらに最近，この UC 発光を，新たな材料系に展開し，超低電圧駆動の青色有機 EL を開発した。用いた材料系は，青色発光体・ドナー材料はアントラセン誘導体，アクセプター材料はナフタレンジイミド誘導体，蛍光ドーパントはペリレン誘導体である。この青色 UC-OLED は 462 nm (2.68 eV) にピーク波長をもつ EL 発光を示した。このデバイスは，光エネルギーに相当する電圧の約半分程度である 1.26 V から発光が開始し，1 cd/m² には 1.47 V，100 cd/m² には 1.97 V で到達するという超低電圧での青色発光を示した。その結果，1.5 V の乾電池を 1 本つなぐだけで青色発光が観測できるデバイスの開発に成功した。
- b) 熱拡散法によって，ルブレン単結晶へアクセプター (F4-TCNQ) をドーピングする初の試みを行った。単結晶表面に F4-TCNQ を 2 nm または 20 nm 蒸着し，真空中 60 °C で加熱すると加熱時間 30 分以内で拡散が完了し，ルブレン単結晶の厚さ (c 軸) 方向の比伝導度は，1 × 10⁻⁷ から 2 × 10⁻² Scm⁻¹ に 10 万倍以上増大し，60 Acm⁻² に達する非常に大きな電流を流すことができた。これはホール濃度が 10¹⁰ cm⁻³ から 10¹⁸ cm⁻³ まで増大したためである。ドーピン

グ効率は最大 55% が得られた。今後、この低抵抗ドーピング有機単結晶基板の上に、太陽電池、トランジスタなどの有機デバイスを作製することを考えている。

- c) 最近、我々は、電子とホールを基板に対して水平方向に取り出す「水平交互接合」という、有機太陽電池のための新しい接合構造を提案した。今回、高速移動度を示す、C8-BTBT（ホール移動度：43 cm²/Vs）と PTCDI-C8（電子移動度：1.7 cm²/Vs）を積層した 2 層セルを作製し、1.8 cm という驚異的な水平接合距離で太陽電池動作できた。トラップが無輻射再結合を引き起こすことによって、可能な水平距離を決めていることが分かった。さらに、水平接合ではマルチタンデム化によって光電流が増大していくことを実証し、タンデム水平セルによって入射光全てを吸収利用できることを証明した。また、ドーピングによるセル特性の向上にも成功した。

B-1) 学術論文

S. IZAWA, M. MORIMOTO, S. NAKA and M. HIRAMOTO, “Spatial Distribution of Triplet Exciton Forming from Charge Transfer State at Donor/Acceptor Interface,” *J. Mater. Chem. A* **10(37)**, 19935–19940 (2022). DOI: 10.1039/d2ta02068h

H. UENO, D. KITABATAKE, H. LIN, Y. MA, I. JEON, S. IZAWA, M. HIRAMOTO, F. MISAIZU, S. MARUYAMA and Y. MATSUO, “Synthesis of Neutral Li-Endohedral PCBM: An n-Dopant for Fullerene Derivatives,” *Chem. Commun.* **58(73)**, 10190–10193 (2022). DOI: 10.1039/d2cc03678a

Y. SAKAMOTO, S. IZAWA, H. OHKITA, M. HIRAMOTO and Y. TAMAI, “Triplet Sensitization via Charge Recombination at Organic Heterojunction for Efficient Near-Infrared to Visible Solid-State Photon Upconversion,” *Commun. Mater.* **3(1)**, 76 (2022). DOI: 10.1038/s43246-022-00300-z

B-3) 総説、著書

M. HIRAMOTO, “Organic Photocurrent Multiplication,” *Series; Electronic Materials: Science & Technology*, Springer Nature, 225 pages (2023).

伊澤誠一郎, 森本勝大, 「世界最小電圧で発光する有機ELの開発」, *クリーンエネルギー*, **5**, 33 (2022).

伊澤誠一郎, 森本勝大, 「乾電池 1 本で高輝度発光する有機ELの開発」, *月刊機能材料*, **8**, 28–35 (2022).

B-4) 招待講演

平本昌宏, 「新しいフェーズに入った有機太陽電池」, 有機太陽電池研究コンソーシアム定例研究会「次世代太陽電池と有機太陽電池の可能性」, 京都, 2022年11月.

平本昌宏, 「新しいフェーズに入った有機太陽電池」, 高分子学会有機エレクトロニクス研究会「カーボンニュートラル実現に向けた有機薄膜太陽電池の新展開」, 広島, 2022年12月.

平本昌宏, 「新しいフェーズに入った有機太陽電池」, 電子情報通信学会有機エレクトロニクス研究会 (OME), 日間賀島, 南知多町 (愛知), 2023年1月.

平本昌宏, 「有機半導体光電変換デバイスの発展と未来」, 応用物理学会 2023年春季学術講演会シンポジウム「有機半導体デバイスの現在・過去・未来：光電変換を中心として」, 東京, 2023年3月.

伊澤誠一郎, 「有機半導体界面を利用した光機能・デバイスの創出」, *Material Science Seminar 2022*, 仙台, 2022年5月.

伊澤誠一郎, 「有機半導体界面を舞台にした高効率光エネルギー変換」, *InterOpto2022*, 東京, 2022年6月.

伊澤誠一郎,「有機半導体界面での電荷移動状態を利用した光アップコンバージョン」,第24回分子性固体オンラインセミナー,オンライン開催,2022年8月.

M. HIRAMOTO,“Carrier generation in high-mobility organic semiconductors,” 13th International Conference on Nano-Molecular Electronics (ICNME2022), Tokyo (Japan), December 2022.

S. IZAWA,“Efficient Interfacial Upconversion Emission in Organic Semiconductor Devices,” 12th International Symposium on Organic Molecular Electronics, Tokyo, May 2022.

S. IZAWA,“Efficient Solid-State Photon Upconversion Enabled by Triplet Formation at Organic Semiconductor Interface,” 241st Meeting of the Electrochemical Society, Vancouver (Canada), May 2022.

B-5) 特許出願

PCT/JP2022/016598,「有機EL素子」,伊澤誠一郎,平本昌宏,森本勝大,中 茂樹(自然科学研究機構,富山大学),2022年.

B-6) 受賞,表彰

S. IZAWA, *Journal of Materials Chemistry A*, Emerging Investigators (2022).

伊澤誠一郎,自然科学研究機構若手研究者賞(2022).

伊澤誠一郎,分子科学研究奨励森野基金(2022).

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等

応用物理学会有機分子・バイオエレクトロニクス分科会常任幹事 編集・企画担当(2020-). (伊澤誠一郎)

応用物理学会 Multidisciplinary Young Researcher Chapter 副代表(2020-). (伊澤誠一郎)

学会の組織委員等

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

学会誌編集委員

Organic Solar Cells Energetic and Nanostructural Design, Springer Editor (2020–2021).

Organic Solar Cells Energetic and Nanostructural Design, Springer Editor (2020–2021). (伊澤誠一郎)

Special Issue “Organic Solar Cell and Optoelectronic Functional Materials,” *Materials* Co-Guest Editor (2020-). (伊澤誠一郎)

競争的資金等の領域長等

NEDO 先導研究プログラム/エネルギー・環境新技術先導研究プログラム「高効率シースルー有機薄膜太陽電池を用いた革新的発電窓の研究開発」研究開発推進委員会委員長(2021.4–2023).

B-10) 競争的資金

科研費学術変革領域研究(A)(公募研究),「動的エキシトンを利用した新原理フォトンアップコンバージョン」,伊澤誠一郎(2021年度–2022年度).

科研費若手研究,「有機半導体界面でのスピン反転機構を利用した光機能の創出」,伊澤 誠一郎(2022年度-2023年度).
科学技術振興機構さきがけ研究,「界面アップコンバージョンが可能とする革新的光変換」,伊澤誠一郎(2021年度-2022年度).

科研費基盤研究(C)(一般),「優れたn型半導体特性を実現するフレキシブルグラフェンナノリボンの開発」(代表:高橋雅樹),平本昌宏(研究分担者),伊澤誠一郎(研究分担者)(2021年度-2023年度).

C) 研究活動の課題と展望

平本は, 研究員1名を雇用し, 「有機単結晶エレクトロニクス」, 「水平接合有機太陽電池の開発」の研究を推進している。伊澤助教は, 「有機薄膜によるフォトンアップコンバージョンと低電圧駆動有機ELデバイスに関する研究」を推進し, 研究室の柱になっている。静岡大, 富山大, 東京理科大, 等と共同研究し, 多くの論文が掲載されている。多数の受賞, JST さきがけ研究者への選出, *Nature Photonics* への論文掲載など, 着実に独立した研究者への道を歩み, 2023年1月1日付けで, 東京工業大学フロンティア材料研究所の准教授として転出した。平本は, *Springer Nature* に, “Organic Photocurrent Multiplication” のタイトルで英語本の執筆を完了しており, 今年中に出版予定である。平本は2023.3.31付けで定年退職となるため, 平本グループの装置類を, 主に, 伊澤助教の転出先である東工大に移設し, 3月初めに全ての装置類の譲渡, 廃棄が完了した。

*) 2023年3月31日定年退職