

## 分子機能研究部門

平本 昌宏 (教授) (2008年4月1日着任)

伊澤 誠一郎 (助教)

宇都 祥子 (研究員 (派遣))

足立 和宏 (研究員 (派遣))

LEE, Jihyun (大学院生)

PALASSERY ITHIKKAL, Jaseela (大学院生)

中村 由佳 (事務支援員 (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) 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て電荷分離して，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。

さらに，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。

- b) 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 cm<sup>2</sup>/Vs) と PTCDI-C8 (電子移動度：1.7 cm<sup>2</sup>/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

**M. SERA, M. YAMAMOTO, K. TOMITA, Y. YABARA, S. IZAWA, M. HIRAMOTO, T. NAKANISHI, K. YOSHIDA and K. NISHIYAMA**, “Morphology Control and Synthesis of Afterglow Materials with an SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Framework Synthesized by Surfactant-Template and Hydrothermal Method,” *Chem. Phys. Lett.* **780**, 138916 (6 pages) (2021). DOI: 10.1016/j.cplett.2021.138916

**J. PALASSERY ITHIKKAL, A. GIRAULT, M. KIKUCHI, Y. YABARA, S. IZAWA and M. HIRAMOTO**, “Photovoltaic Behavior of Centimeter-Long Lateral Organic Junctions,” *Appl. Phys. Express* **14**, 094001 (6 pages) (2021). DOI: 10.35848/1882-0786/ac17d2

**S. IZAWA, K. UCHIDA, M. NAKAMURA, K. FUJIMOTO, J. ROUDIN, J. LEE, T. INUZUKA, K. SANADA, M. SAKAMOTO, Y. NAKAMURA, M. HIRAMOTO and M. TAKAHASHI**, “Influence of N-Substituents on Photovoltaic Properties of Singly Bay-Linked Dimeric Perylene Diimides,” *Chem. –Eur. J.* **27(56)**, 14081–14091 (2021). DOI: 10.1002/chem.202102318

**S. IZAWA and M. HIRAMOTO**, “Efficient Solid-State Photon Upconversion by Spin Inversion at Organic Semiconductor Interface,” *Nat. Photonics* **15(12)**, 895–900 (2021). DOI: 10.1038/s41566-021-00904-w

**J. PALASSERY ITHIKKAL, Y. YABARA, S. UTO, S. IZAWA and M. HIRAMOTO**, “Lateral-Tandem Organic Photovoltaic Cells With Carrier Transport and Generation Layers,” *Appl. Phys. Express* **14(10)**, 101003 (4 pages) (2021). DOI: 10.35848/1882-0786/ac28e6

**S. IZAWA, M. MORIMOTO, S. NAKA and M. HIRAMOTO**, “Efficient Interfacial Upconversion Enabling Bright Emission with Extremely Low Driving Voltage in Organic Light-Emitting Diodes,” *Adv. Opt. Mater.* **10**, 2101710 (8 pages) (2022). DOI: 10.1002/adom.202101710

**K. TAKAHASHI, S. IZAWA, N. OHTSUKA, A. IZUMISEKI, R. TSURUTA, R. TAKEUCHI, Y. GUNJO, Y. NAKANISHI, K. MASE, T. KOGANEZAWA, N. MOMIYAMA, M. HIRAMOTO and Y. NAKAYAMA**, “Quasi-Homoepitaxial Junction of Organic Semiconductors: A Structurally Seamless but Electronically Abrupt Interface between Rubrene and Bis(trifluoromethyl) dimethylrubrene,” *J. Phys. Chem. Lett.* **12(46)**, 11430–11437 (2021). DOI: 10.1021/acs.jpcclett.1c03094

**J. LEE, M. HIRAMOTO and S. IZAWA**, “Simultaneous Measurement of Photocurrent and Recombination Emission in Organic Solar Cell,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **61**, 011001 (7 pages) (2022). DOI: 10.35848/1347-4065/ac4051

B-3) 総説, 著書

平本昌宏, 「一人の科学者の研究人生」, *Molecular Electronics & Bioelectronics*, **32(4)**, 180–187 (2021). (M&BE 業績賞受賞記念寄稿)

B-4) 招待講演

平本昌宏, 「M&BE の仲間と出会った頃——30年前」, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会「有機分子・バイオエレクトロニクス分科会業績賞受賞記念講演」, オンライン開催, 2021 年 9 月.

平本昌宏, 「KFM によるドーピングレベル単結晶のフェルミレベル測定」, 分子研機器センター・ブルカージャパンナノ表面計測事業部共催 AFM オンラインセミナー (第 1 回), オンライン開催, 2021 年 12 月.

S. IZAWA, "Photon upconversion at organic semiconductor interface," The 38<sup>th</sup> International Conference of Photopolymer Science and Technology, Organic and Hybrid Solar Cells–Materials, Device Physics, and Processes, Online, June 2021.

伊澤誠一郎, 「有機半導体界面の光電変換機能の開拓～有機太陽電池からフォトンアップコンバージョンまで～」, “光” 機到来! Q コロキウム, オンライン開催, 2021年6月.

S. IZAWA, "Upconversion emission at organic semiconductor interface," Asian Conference on Organic Electronics 2021, Online, September 2021.

伊澤誠一郎, 「有機半導体界面での新原理アップコンバージョン発光」, 高分子学会有機エレクトロニクス研究会「発光材料・デバイスの新展開」, オンライン開催, 2021年10月.

伊澤誠一郎, 「有機半導体界面での光エネルギー変換」, 応用物理学会新領域エネルギーハーベスティング研究グループ研究会「環境発電関連技術の最先端」, オンライン開催, 2021年11月.

伊澤誠一郎, 「動的エキシトンを利用した光アップコンバージョン」, 第7回動的エキシトン若手セミナー, オンライン開催, 2021年12月.

伊澤誠一郎, 「有機半導体界面での光波長・エネルギー変換」, 表面真空学会九州支部セミナー「表面・界面での変換」, オンライン開催, 2022年2月.

伊澤誠一郎, 「有機半導体界面を利用した光アップコンバージョン」, 物性科学連携研究体研究会「エネルギー科学の最前線：階層横断的な理解に向けて」, オンライン開催, 2022年3月.

伊澤誠一郎, 「有機半導体界面を利用した光エネルギー変換」, 神戸大学開拓プロジェクトシンポジウム, オンライン開催, 2022年3月.

#### B-5) 特許出願

特願 2021-062767, 「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), 2021年.

#### B-6) 受賞, 表彰

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業績賞(2021).

伊澤誠一郎, 有機EL 討論会第31回例会講演奨励賞(2021).

伊澤誠一郎, 2021年度エヌエフ基金研究開発奨励賞優秀賞(2021).

#### B-7) 学会および社会的活動

学会の組織委員等

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

文部科学省, 学術振興会, 大学共同利用機関等の委員等

科研費学術変革領域研究(A) (公募研究) 専門委員会委員(2021.6–9).

学会誌編集委員

応用物理学会若手チャプター幹事(2018–). (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-).

NEDO グリーンイノベーション基金事業／次世代型太陽電池の開発, 採択審査委員会委員長 (2021.11-2022.1).

その他

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

東京理科大学理工学研究科先端化学専攻, 講師 (非常勤), 2020年4月1日-2022年2月24日.

B-9) 学位授与

LEE, Ji-Hyun, 「有機太陽電池における電荷再結合の研究」, 2021年9月, 博士 (理学).

B-10) 競争的資金

科研費挑戦的研究 (萌芽), 「ドーピング有機単結晶ウェハを用いた新原理太陽電池」, 平本昌宏 (2019年-2021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-2021年).

花王科学奨励賞, 「ドナー／アクセプター界面の精密制御による有機太陽電池の高効率化」, 伊澤誠一郎 (2020年-2021年).

コニカミノルタ画像科学奨励賞, 「低エネルギー光利用のための新原理フォトンアップコンバージョン」, 伊澤誠一郎 (2021年-2022年).

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-2023年).

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-2025年).

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) (2021年-2023年).

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), 伊澤誠一郎 (研究分担者) (2021年-2023年).

C) 研究活動の課題と展望

平本は, 研究員 1 名を雇用し, 学生 1 名 (Jaseela P. I. (M2), 2019.10 入学) を指導し, 「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, 「有機太陽電池における電荷再結合抑止による電圧ロス低減」, 「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, 学生 1 名 (Ji-Hyun Lee (D3), 2018.10 入学) を指導し, 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んでおり, 次のポジションを得るため, 公募への応

募を積極的に行っている。

2021年9月に、Ji-Hyun Leeは博士(理学)学位を、Jaseela, P. I.は修士(理学)学位を取得した。その際、Ji-Hyun Lee博士は、SOKENDAI賞を授与された。なお、Jaseela, P. I.は、2022年4月より解良グループ(構造分子科学専攻)に転専攻する。

パンデミックにより、外国人研究者、学生の来日がストップし、これまでに5名の来日を断念した。来年度は、少数精鋭で成果、論文を出し続ける努力が必要不可欠である。なお、平本は、来年度末で定年となるので、研究室の装置類の譲渡、廃棄をすでに行っており、研究室終了の準備の目処がきつつある。