

染谷薄膜素子研究室

主任研究員 染谷 隆夫 (Ph.D.)



(0) 研究分野

分科会:工学

キーワード:有機エレクトロニクス、有機太陽電池、フレキシブルエレクトロニクス、印刷技術、伸縮性導体

(1) 研究背景と研究目標

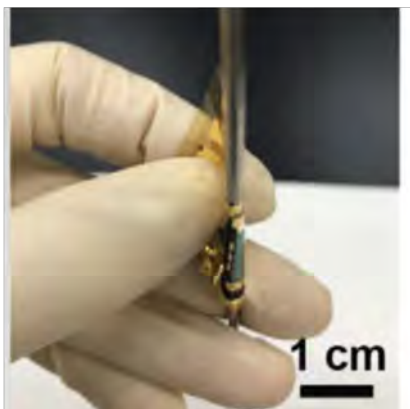
本研究室は、有機エレクトロニクスを中心とする薄膜素子の基礎研究とシステム開発を推進しています。具体的には、超薄型フィルムやゴムシートの上に機械的に柔軟な電子デバイスや光デバイスを集積化し、次世代フレキシブルデバイスを作製します。また、超低消費電力無線チップなど最先端のシリコン技術などと連動させ、フレキシブルデバイスのシステム応用を進めます。特に、生体と親和性の高いエレクトロニクスを実現して、機械と生体の融合領域を開拓し、ロボティクスやバイオ・医療への応用を進めます。さらに、デジタルファブリケーションの手法を活用したラピッドプロトタイピングによって、人間をサポートするための種々のシステム・サービスをタイムリーに提供する手法を確立し、社会のニーズとその変化に迅速かつ柔軟に対応できる新しいものづくりを実現していきます。

(2) 2020年度成果と今後の研究計画(中長期計画2025年度まで)

成果1: 柔軟かつ高効率な光充電システムの実現

フレキシブルな環境発電・蓄電集積化デバイスは次世代のウェアラブル電子機器または生物医学デバイスへの電源提供技術として期待されている。しかしながら、現在の柔軟な統合デバイスは、総エネルギー変換が低く、デバイスの厚みが大きいため、効率的で安定したセルフパワーシステムへの適用が妨げられている。本研究では、総厚さが50 μm 未滿で総効率が5.9%を示す、高効率で超薄型の光充電デバイスを実現した。厚さ3 μm の有機太陽電池と厚さ40 μm のスーパーキャパシタを積層させる構造を有している。これまでの最高値を示すデバイスに比して、デバイスの厚さが1/8に減少し、全体の効率が15%向上した。優れた動作安定性(1週間の100回の充電/放電サイクルで96%以上の効率保持)と機械的堅牢性(半径約2 mmで5000回の曲げ後の94.7%の効率保持)を示した。本集積化システムによって、柔軟でウェアラブルな電子機器のための長期的電力供給減としての利用が期待される。

(a)



(b)

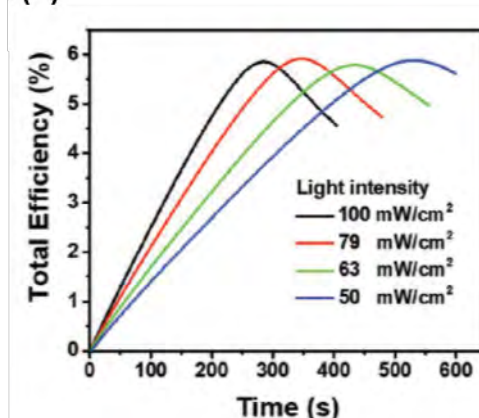


図1:(a) 超柔軟光充電システムの写真。総膜厚は50 μm 以下であり、細い棒に巻き付けても壊れることなく駆動する。(b) 異なる光量を照射時の、光充電システムの総効率。

成果2: 超柔軟有機太陽電池向けの新規電子輸送層の開発

近年の発電層を中心とした材料開発により、有機太陽電池の発電効率は飛躍的に向上し、ガラス基板上では18%を超えるエネルギー変換効率が報告されている。しかしながら、超柔軟な有機太陽電池で高い電力変換効率と優れた機械的堅牢性を実現することは、依然として困難である。これまでの酸化物系のキャリア注入層は曲げに弱いいため、柔軟性に富み、また様々な材料との適合性を持つ注入層の実現が必要である。

Zn²⁺キレート化ポリエチレンイミン (PEI-Znと表記) の電子輸送材料を新たに開発した。従来の電子輸送材料であるZnOの2倍以上の最大曲げひずみに耐えることができ、また非フラーレンアクセプタを利用した活性層を用いて高いエネルギー変換効率を達成した。1.3 μmの超薄型基板上で、PEI-Zn中間層を備えた超柔軟な非フラーレン太陽電池は、導電性高分子 (PEDOT:PSS) 透明電極で12.3%、銀ナノワイヤ (AgNWs) 透明電極で15.0%の電力変換効率を示した。45%の圧縮率で100回の連続圧縮-フラット変形サイクル中にほとんど変化しない電力変換効率を示した。PEI-Znが幅広い材料との互換性を持つ有望な材料であることが示された。フレキシブル・塗布可能な有機太陽電池用の標準的な電子輸送材料として利用されることが期待される。

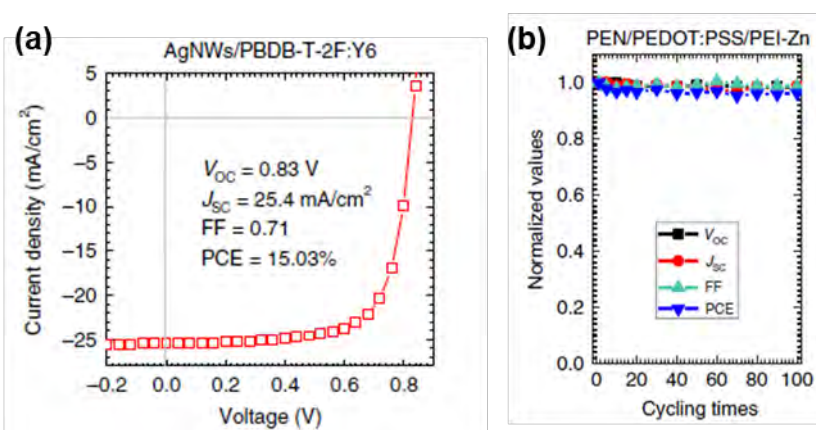


図2: (a) PEI-Znを電子輸送層に用いた有機太陽電池のJV特性。エネルギー変換効率15%を達成している。(b) 圧縮ひずみ試験。PEDOT:PSS透明電極と組み合わせることで、100回のサイクル後も95%以上の性能を保持した。

今後の研究計画

超薄型有機太陽電池に関してのさらなる効率改善につながる成果が得られている。今後は全行程を塗布プロセスで超薄型有機太陽電池を作製し、高い性能や安定性の実現を目指す。また、集積化技術を確認することで、電源からセンサまですべてのデバイスが柔軟性を維持したシステムレベルインテグレーション研究を進める。これらによって、ソフトロボット・生体センサなどの分野へ貢献を目指します。

(3) 研究室メンバー

(主任研究員)
染谷隆夫
(専任研究員)
福田憲二郎

(2020年度)
(特別研究員)
Steven Rich
(研修生)
Jiabin Wang

(4) 発表論文等

1. Ruiyuan Liu, Masahito Takakuwa, Ailong Li, Daishi Inoue, Daisuke Hashizume, Kilho Yu, Shinjiro Umezu, Kenjiro Fukuda, Takao Someya, “An Efficient Ultra - Flexible Photo - Charging System Integrating Organic Photovoltaics and Supercapacitors” , *Advanced Energy Materials*, **10**, 2000523 (2020).
2. Kenjiro Fukuda, Kilho Yu, Takao Someya, “The Future of Flexible Organic Solar Cells”, *Advanced Energy Materials*, **10**, 2000765 (2020).
3. Yan Wang, Sunghoon Lee, Tomoyuki Yokota, Haoyang Wang, Zhi Jiang, Jiabin Wang, Mari Koizumi, Takao Someya, “A durable nanomesh on-skin strain gauge for natural skin motion monitoring with minimum mechanical constraints”, *Science Advances*, **6**, eabb7043 (2020).
4. Fei Qin , Wen Wang, Lulu Sun, Xueshi Jiang, Lin Hu, Sixing Xiong, Tiefeng Liu, Xinyun Dong, Jing Li, Youyu Jiang, Jianhui Hou, Kenjiro Fukuda, Takao Someya, and Yinhu Zhou, “Robust metal ion-chelated polymer interfacial layer for ultraflexible non-fullerene organic solar cells”, *Nature Communications*, **11**, 4508 (2020).
5. Zhi Jiang, Kilho Yu, Haoyang Wang, Steven Rich, Tomoyuki Yokota, Kenjiro Fukuda, Takao Someya, “Ultraflexible Integrated Organic Electronics for Ultrasensitive Photodetection” , *Advanced Materials Technologies*, **6**, 2000956 (2021).



Laboratory Homepage

https://www.riken.jp/research/labs/chief/thin_film_device/index.html

<http://rikensomeya.riken.jp/>