

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。

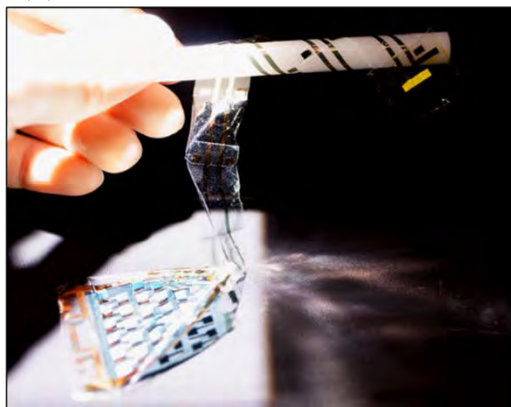
(2) 2021年度成果と今後の研究計画(中長期計画2025年度まで)

成果1: 接着剤いらずの超柔軟導電接合

電子素子を薄膜化することで、人間の皮膚などの複雑な曲面に対して密着する次世代ウェアラブルデバイスが開発できます。その実用化には、複数の電子素子を集積化できる配線技術・実装技術が重要です。しかし、従来のフレキシブル電子素子同士の配線方法は、導電性接着剤層を介する必要性があり、その接着層の厚みによって接合部の剛性が増加するという課題がありました。

2 μm 厚の高分子材料パリレン基板上に蒸着した金電極同士を接着剤無しで接合する技術、「水蒸気プラズマ接合 (WVPAB: Water Vapor Plasma-assisted Bonding)」を開発しました。金表面に水蒸気プラズマを照射し、大気中で金電極同士を接触させることで、金属結合が生じ、境界面がなくなるほどの強固な結合が実現できます。WVPABを用いて接合した薄膜サンプルの最小曲率半径は0.5 mm未満で、優れた柔軟性を実現しました。曲げ半径2.5 mmで1万回繰り返し曲げた後でも、接合した電極の電気抵抗変化は1%未満でした。大気中、100°Cで500時間加熱しても電気抵抗の上昇は観察されませんでした。厚さ約3 μm の超薄型有機太陽電池と超薄型有機LED、複数の超薄型配線をWVPABにより相互接続し、劣化なく集積化デバイスを実現可能なことを実証しました。

(a)



(b)

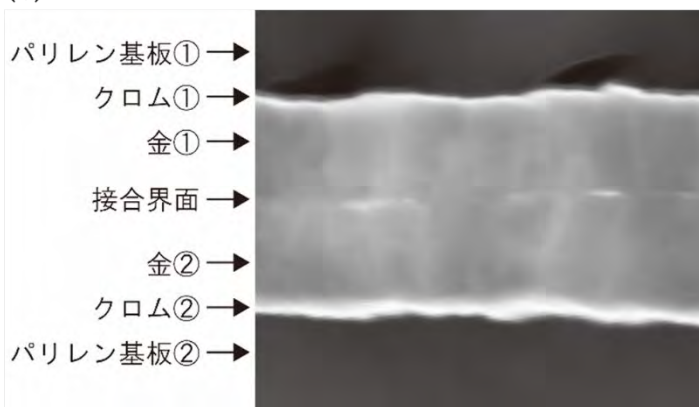


図1:(a) WVPABにより構築した超薄型の有機太陽電池と有機LEDの超薄型エレクトロニクスシステム。(b) WVPABを用いて接合した金電極の断面のSTEM画像

成果2: 新規電子輸送材料による高効率・高安定超薄型有機太陽電池

高効率を実現する発電層材料の開発により、有機太陽電池のエネルギー変換効率(PCE)は近年劇的に向上しています。しかし、空气中で十分な長期熱(85°C以上)と動作安定性(1日未満)を同時に達成できる高効率の極薄OPV(PCE>15%)は報告されていません。最先端の発電材料は大気安定性に乏しく、ガスバリア性が不十分な超薄型フィルムの使用で効率が著しく劣化するためです。

新規電子輸送材料PEI-Znと最先端発電材料PM6:Y6を組み合わせることで、超薄型有機太陽電池の世界最高PCE15.8%と連続駆動安定性を同時に達成しました。暗所大気中での1574時間の保管で初期効率の89.6%を維持し、85°Cで172時間のアニーリング後、初期効率の92.4%を維持しました。疑似太陽光下での連続駆動において、初期効率80%を維持時間(T_{80})が約1100 hでした。これは従来のZnOを電子輸送材料に用いた場合に比べ、7倍以上駆動安定性が改善されています。動的二次イオン質量分析(D-SIMS)を使用して、電子輸送層(ZnO)から活性層の界面への亜鉛の拡散が初めて性能低下の原因として特定されました。亜鉛の拡散を抑制する新規電子輸送材料のイオンキレート界面層が、超薄型フレキシブルOPVの性能、環境安定性、および機械的耐久性を同時に向上させることを実証しました。

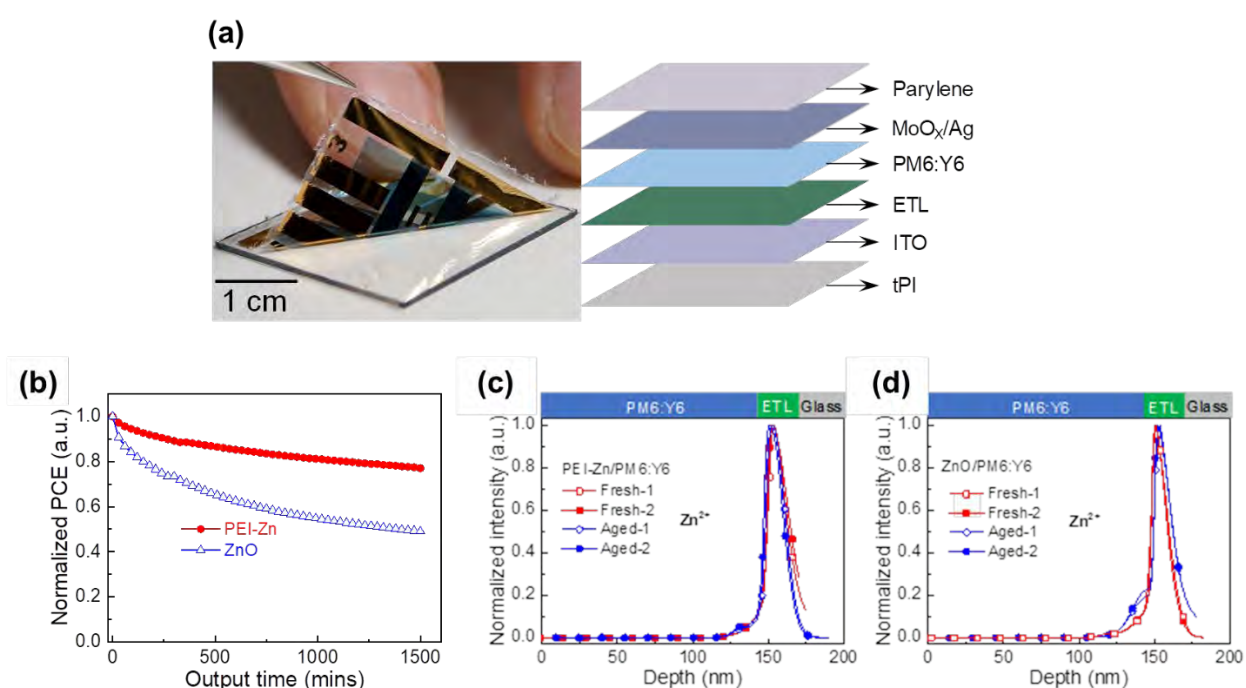


図2: (a) 超薄型有機太陽電池の写真と構造。(b) 疑似太陽光下での長時間連続駆動安定性。(c) PEI-Znと、(d)ZnOを使用した素子の加熱前後でのD-SIMS結果。

今後の研究計画

超薄型有機太陽電池の高効率化・高安定化に関する成果だけでなく、複数の電子デバイスを集積化させるための技術確立が進んでいます。個別素子の性能向上だけでなく、集積化デバイス作製に関する課題に関してより注力した研究活動を今後は進めていく予定です。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とで、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

(2021年度)

(主任研究員)

染谷隆夫

(専任研究員)

福田憲二郎

(特別研究員)

Steven Rich, Lulu Sun

(研修生)

(4) 発表論文等

1. Jiachen Wang, Kenjiro Fukuda, Daishi Inoue, Daisuke Hashizume, Lulu Sun, Sixing Xiong, Tomoyuki Yokota, and Takao Someya, "Solution-Processed Electron-Transport Layer-free Organic Photovoltaics with Liquid Metal Cathodes", *ACS Applied Materials & Interfaces*, **14**, 14165–14173 (2022).
2. Sixing Xiong, Kenjiro Fukuda, Shinyoung Lee, Kyohei Nakano, Xinyun Dong, Tomoyuki Yokota, Keisuke Tajima, Yinhua Zhou, Takao Someya, "Ultrathin and Efficient Organic Photovoltaics with Enhanced Air Stability by Suppression of Zinc Element Diffusion", *Advanced Science*, **9**, 2105288 (2022).
3. Masahito Takakuwa, Kenjiro Fukuda, Tomoyuki Yokota, Daishi Inoue, Daisuke Hashizume, Shinjiro Umezumi, Takao Someya, "Direct gold bonding for flexible integrated electronics", *Science Advances*, **7**, eabl6228 (2021).
4. Junwen Zhong, Zhaoyang Li, Masahito Takakuwa, Daishi Inoue, Daisuke Hashizume, Zhi Jiang, Yujun Shi, Lexiang Ou, Md Osman Goni Nayeem, Shinjiro Umezumi, Kenjiro Fukuda, Takao Someya, "Smart Face Mask Based on an Ultrathin Pressure Sensor for Wireless Monitoring of Breath Conditions", *Advanced Materials*, **34**, 2107758 (2022).
5. Steven I. Rich, Shinyoung Lee, Kenjiro Fukuda, Takao Someya, "Developing the Nondevelopable: Creating Curved-Surface Electronics from Nonstretchable Devices", *Advanced Materials*, **34**, 2106683 (2022).



Laboratory Homepage

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

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