

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) 2019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: 高効率な超薄型有機太陽電池の寿命が従来の15倍に

柔軟性の高い太陽電池は、ウェアラブルセンサーおよび電子デバイスを実現するための電源として大きな期待を集めている。しかし、超薄型有機太陽電池は基板や封止膜に薄い高分子フィルムを使用しているため、十分なガスバリア性の確保が難しく、また安定的に駆動するための発電層や電荷注入層の界面を制御する手法がなかったため、エネルギー変換効率と長期保管安定性の両立は依然として不十分でした。

新規発電層とポストアニール処理の組み合わせにより、高い効率と保管安定性を有する超薄型有機太陽電池を実現しました。熱安定性の高い発電層と、ポストアニール処理によって、発電層の性能を劣化させることなく電荷の注入効率を改善することに成功しました。13%の高いエネルギー変換効率と、大気中保管3,000時間で劣化5%以下という長期保管安定性を両立する、超薄型有機太陽電池(厚さ3マイクロメートル)を実現しました。これは過去の最高値と比較して、エネルギー変換効率は約1.2倍向上し、長期保管安定性は15倍改善したことになります。

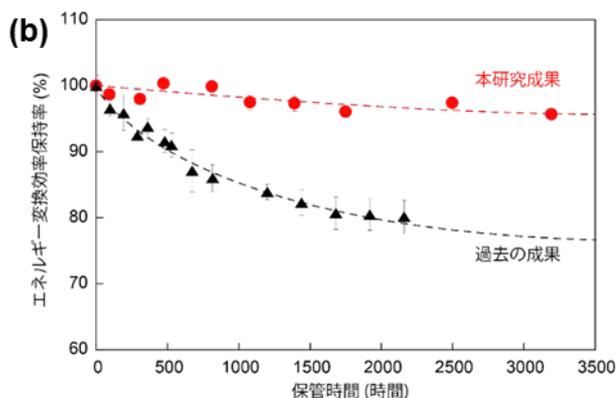
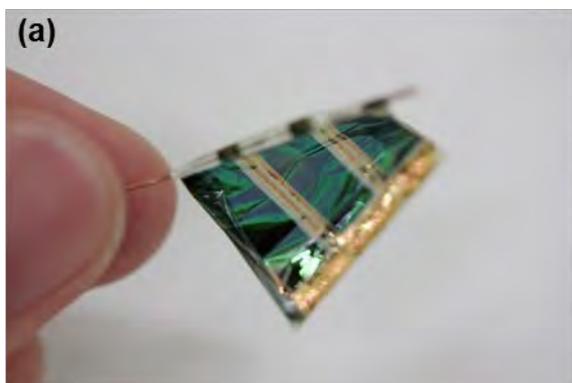


図1:(a) 高いエネルギー変換効率と長期保管安定性を両立した超薄型有機太陽電池、(b) 長期保管安定性の改善

成果2: 銀ナノメッシュ・高分子ナノファイバー複合材料による伸縮性の高い導電性フィルム

肌への侵襲を最小限に抑えたウェアラブルエレクトロニクスを実現するために、肌に密着した電子機器には、導電性、多孔性、伸縮性のある素材が必要です。しかしながら、多孔性弾性ポリマーと導電性金属ネットワークとの間の良好な接着のための適切な設計の欠如により、高い導電性、良好な伸縮性、および耐久性を同時に達成する多孔性弾性導体はこれまで困難でした。

高導電の銀ナノワイヤー (Ag NW) と高伸縮性の高分子ナノファイバー(NF) の組み合わせ材料を利用して、多孔質ナノメッシュタイプの伸縮性導体の簡単な製造方法を実現しました。Ag NWとポリウレタン (PU) NFで構成される準備済みの導体は、高導電性 (9190 S cm⁻¹)、高伸縮性 (310%)、および優れた耐久性 (1000サイクルの変形後に抵抗増加2倍以上) を同時に実現しました。導電性の高いAg NWと伸縮性に優れたPU NFという異種材料を化学的に接着させる技術により、NFによって伸縮性をサポートされた導電体が得られました。皮膚に直接貼り付けてひずみセンサや配線として使用可能であることが実証されました。

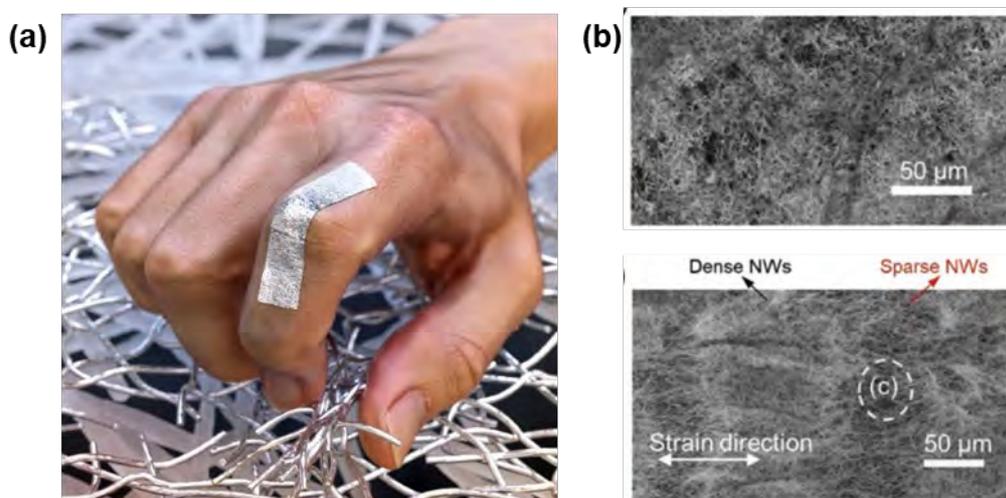


図2: (a) 通気性のある印刷型伸縮性導体。(b) ひずみ印加前(上)と、100%引張時(下)の導体のSEM像。

今後の研究計画

超薄型有機太陽電池および伸縮性導体に関する基礎的研究成果が得られたので、今後は蓄電デバイスと太陽電池の集積化に関する研究へと展開します。柔軟性・軽量性を有した環境発電・蓄電システムを構築したのち、印刷プロセス等を利用して、電子デバイスの高スループット作製技術確立に向けて着手を行います。その後、センサ等を含めたシステムレベルインテグレーション研究を進め、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

(特別研究員)

Steven Rich

(2019年度)

(大学院生リサーチ・アソシエイト)

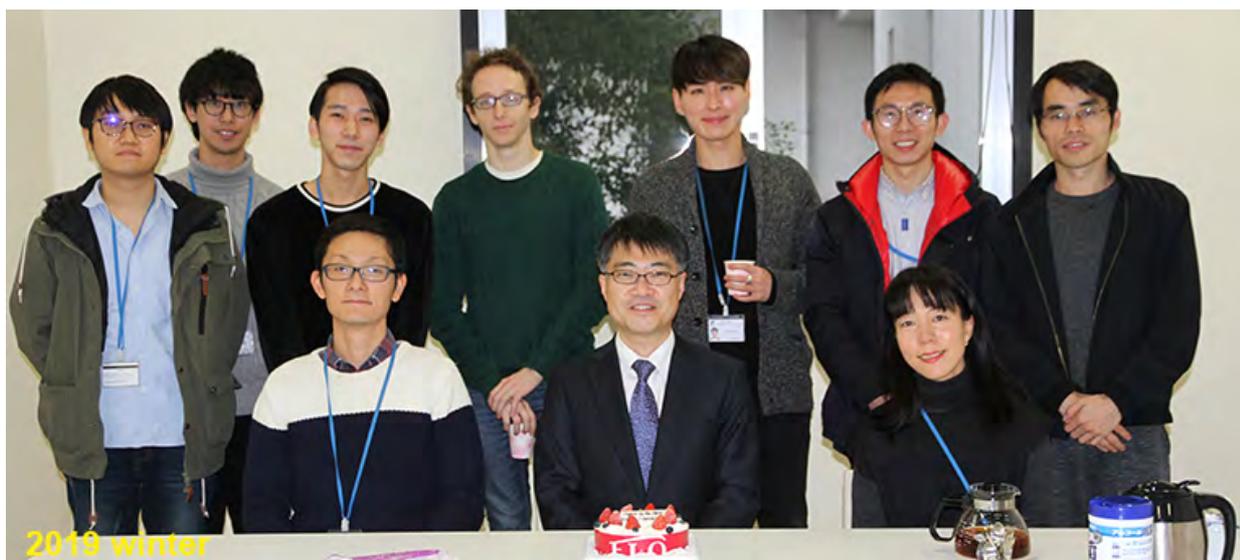
Zhi Jiang

(研修生)

Jiabin Wang

(4) 発表論文等

1. Highly Stretchable Metallic Nanowire Networks Reinforced by the Underlying Randomly Distributed Elastic Polymer Nanofibers via Interfacial Adhesion Improvement”, Zhi Jiang, Md Osman Goni Nayeem, Kenjiro Fukuda, Su Ding, Hanbit Jin, Tomoyuki Yokota, Daishi Inoue, Daisuke Hashizume, Takao Someya, , *Advanced Materials*, 31, 1903446 (2019).
2. “Organic Photovoltaics: Toward Self-Powered Wearable Electronics”, Kilho Yu, Steven Rich, Sunghoon Lee, Kenjiro Fukuda, Tomoyuki Yokota, and Takao Someya, *Proceedings of the IEEE*, 107, 2137-2154 (2019).
3. “Ultrathin Organic Electrochemical Transistor with Nonvolatile and Thin Gel Electrolyte for Long - Term Electrophysiological Monitoring”, Hyunjae Lee, Sunghoon Lee, Wonryung Lee, Tomoyuki Yokota, Kenjiro Fukuda, Takao Someya, *Advanced Functional Materials*, 29, 1906982 (2019).
4. “Efficient and Mechanically Robust Ultraflexible Organic Solar Cells Based on Mixed Acceptors”, Wenchao Huang, Zhi Jiang, Kenjiro Fukuda, Xuechen Jiao, Christopher R. McNeill, Tomoyuki Yokota, Takao Someya, *Joule*, 4, 128-141 (2020).
5. “Highly efficient organic photovoltaics with enhanced stability through the formation of doping-induced stable interfaces”, Zhi Jiang, Fanji Wang, Kenjiro Fukuda, Akchheta Karki, Wenchao Huang, Kilho Yu, Tomoyuki Yokota, Keisuke Tajima, Thuc-Quyen Nguyen, and Takao Someya, , *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117, 6391-6397 (2020).



Laboratory Homepage

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

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