

1. 氏名	松久 直司
2. 所属機関	東京大学生産技術研究所
3. 研究題目	伸縮性エレクトロクロミックディスプレイマトリクス

4. 研究の目的:

医療資源の枯渇が、Covid-19 などの感染症や後期高齢化の進行によって深刻化している。その中で、医療従事者の負担を増やさずに高度な予防医療や遠隔医療を可能にする次世代ウェアラブルデバイスの実現がますます重要となっている。これまでに商用化された Apple watch などは、物理的に小さく堅いため、手首など装着できる部位に限られ、取得・表示できる生体情報は脈拍数と活動量などに限定されてしまっていた。

薄いゴムシートのような柔らかい電子デバイスは、皮膚などの自由曲面に湿布やタイツのように高い追従性を示すため、体全体に長時間装着しても違和感なく詳細な生体情報を取得・表示できる次世代ウェアラブルデバイスとしての応用が期待されている。本研究では、特に伸縮性エレクトロクロミックディスプレイ(ECD)素子の材料とデバイス技術、さらにこれを高密度でアレイ化する技術を開発する。



図 1. 本研究の最終型となる伸縮性 ECD マトリクスのイメージ図。

5. 研究の内容(手法、経過、評価など。書ききれない場合には、同一様式のページを追加してください。):

本研究で開発に取り組んだのは、以下の3点である。

A. 伸縮性導電性高分子とその高解像度パターンニング技術

伸縮性 ECD の構造図を図 2 に示す。導電性高分子を改質して得られる伸縮性導電膜2層でイオン電解質を挟み込んだ構造をとる。上下の導電膜に 2 V 程度の低電圧を印加することで導電性高分子の色が変わりディスプレイとして機能する。ECD の高解像度マトリクスを実現するために、伸縮性導電性高分子材料の開発と、この材料のパターンニング技術の開発に取り組んだ。

伸縮性基材
伸縮性導電膜
イオン電解質
伸縮性導電膜
伸縮性基材

図 2. 伸縮性 ECD の構造

B. 超薄膜高分子電解質による超薄膜伸縮性 ECD

デバイスの皮膚への追従性は材料のヤング率と厚みの 3 乗に比例することが知られている。本伸縮性デバイスを超薄膜化することで、皮膚への高い追従性を示す伸縮性ディスプレイの開発に取り組んだ。特に図 2 に示す構造の中でもイオン電解質の厚みがこれまでは 20 μm 程度であったものを 1 μm 程にまで低減しても安定したディスプレイ動作を確認することができた。

C. 新規応用探索: 義手用脈波表示デバイスとしての応用

さらに開発した伸縮性ディスプレイの応用探索を立命館大学の村尾研究室と共同で取り組んだ。その中で、伸縮性ディスプレイに対して脈波に模した信号を与えることで、義手表面でも我々の脈動のような色変化を実現することができ、実際にウェアラブルデバイスを装着しても脈波として認識させることができることを実証した。

6. 研究の成果と結論、今後の課題:

・研究の成果

本研究ではまず、伸縮性ディスプレイマトリクスの実現に必要な、高解像度でパターンニングできる導電性高分子材料の開発をおこなった。本材料は導電性高分子の一種である PEDOT:PSS に塩の一種である LiBETI を添加した材料を熱可塑性ポリウレタン基材に成膜することで実現された。最も重要な発見として、熱可塑性ポリウレタン基材を用いることで大きく伸長性を改善できることがわかった(図1)。これは LiBETI を添加した PEDOT:PSS と熱可塑性ポリウレタン基材が同様の機械特性を持つことが原因であることを突き止めた。さらに本材料は UV レーザーアブレーション法を用いることで 10 μm を切る高解像度でパターンニングできた(図 2)。

次に、伸縮性ディスプレイで高い皮膚への追従性を実現するために、全体の膜厚を極限まで小さくすることを進めた。まずイオン電解質層の薄膜化に取り組み、厚みを 1 μm 以下にまで低減してもディスプレイは安定して動作することを明らかにした。さらに基材などの厚みも低減することで、全体の厚みが約 5 μm の伸縮性ディスプレイを実現することに成功した(図 5)。過去に報告されてきた伸縮性ディスプレイの中でも最も薄いものとなった。

さらに、伸縮性ディスプレイの新しい応用探索をおこなった。その中で、伸縮性ディスプレイに対して脈波に模した信号を与えることで、義手表面でも我々の脈動のような色変化を実現することができ、実際にウェアラブルデバイスを装着しても脈波として認識させることができることを実証した(図 6)。

・結論

本研究により、伸縮性電子材料の高解像度パターンニング技術と、超薄膜伸縮性デバイスの作製技術を確立することができた。

・今後の課題

本研究により、伸縮性電子材料の高解像度パターンニング技術と超薄膜伸縮性ディスプレイ素子を開発することに成功したが、これらの技術を組み合わせた多点ディスプレイの実現には至らなかった。多点のディスプレイの駆動回路や回路への接合技術などの開発が今後必要である。また、皮膚に貼り付けた状態で耐久性や安定性などの評価も進めていく必要がある。

PEDOT:PSS+イオン系添加物 (100 nm)
伸縮性基板TPU or SEBS (~100 μm)

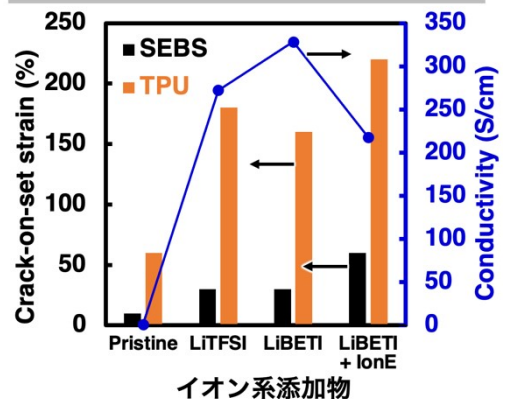


図 3. 高い導電性と伸長性を示す伸縮性導電性高分子。

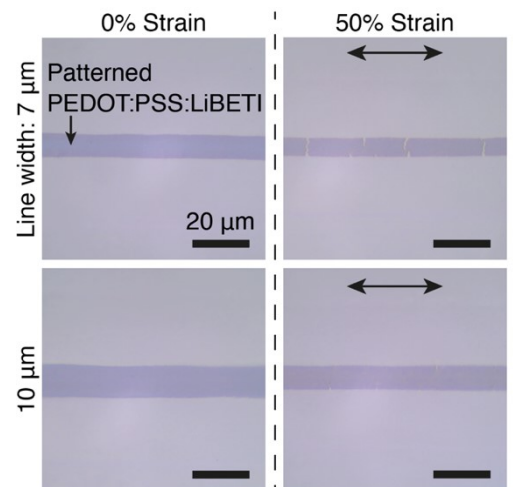


図 4. 伸縮性 PEDOT:PSS の高解像度パターンニング

SEBS (1 μm~)
PEDOT:PSS + LiBETI (100 nm)
TPU:EMIMTFSI (< 1 μm)
PEDOT:PSS + LiBETI (100 nm)
TPU/SEBS (2 μm~)

全体膜厚 5 μm



図 5. 極薄伸縮性 ECD。(左)構造。(右)動作している様子。



図 6. 義手用脈波表示デバイスとしての応用

7. 成果の価値

7.1_学術的価値:

本研究で開発した伸縮性導電性高分子に関する技術では、成膜基板を変えるだけという非常に簡便な方法で伸長性を大幅に改善できることを示すことに成功した。本来どのような添加物を導入することが重要かに焦点を当てられていたのに対し、全く異なった視点を提示できた。また、開発した極薄イオン電解質は先行研究と比較して20分の1以下の薄さとなり、そのような厚みでも機械的に非常にロバストであることを示せたのは非常に重要である。また、開発した合計膜厚5 μmのディスプレイはその元々の低いヤング率と合わせて世界で最も高い皮膚追従性を示すことが期待される。エレクトロクロミックディスプレイは発光型のディスプレイ素子と比較して視認性が低いためこれまであまり開発されてこなかったが、本研究によりその価値を再提示することができた。

7.2_社会的価値:

2021年にApple watchのアクティブユーザーは1億人を超え、今後ウェアラブルデバイスがどんどん当たり前になっていくことが予測されている。本研究で開発した超薄膜伸縮性ディスプレイは皮膚に対して非常に高い追従性を示すので、次世代のウェアラブルデバイスに搭載することで、ウェアラブルデバイスでも多くの情報提示ができるようになる。さらに、本研究により、義手でもディスプレイを生体信号を表示するデバイスとして用いることができることがわかったので、義手や義足の方でもそうでない人たちと変わらないツールを使ったり、サービスを受けられるようにすることができる道を示すことができた。

7.3_研究成果:

・「研究論文(原著)」

Taizo Tominaga, Tokihiko Shimura, Shun Sato, Shuma Abe, Naoji Matsuhisa, “An ultrathin stretchable electrochromic display with exceptional skin conformability” *in preparation*.

・「国際会議発表」

Atsuhiko Fujii, Kazuya Muraio, Naoji Matsuhisa, “disp2ppg: Pulse Wave Generation to PPG Sensor using Display” ISWC '21, September 21-26, Virtual (USA), (2021).

・「特許」

特になし

・「受賞」

特になし