



丸文学術賞
受賞者

横田 知之

東京大学 工学系研究科総合研究機構 准教授

生体に密着した撮像素子など 超柔軟有機半導体センサシステムの開拓 超柔軟有機センサが切り開く次世代のウェアラブルセンサ

研究の背景

ウィズコロナ／アフターコロナの社会や高齢化社会では、日常生活における健康状態のモニタリングへの重要性が増しており、ウェアラブルデバイスのような新技術を用いることによる生体情報や健康状態のモニタリングへの期待が高まっている。従来のウェアラブルエレクトロニクスでは、脈拍や活動量などを計測できるデバイスが報告されているものの、体温や血圧、血中酸素濃度といったバイタルサインを正確かつ連続的にモニタリングできるデバイスは報告されていなかった。新型コロナウイルスをはじめとする感染症は、感染拡大の可能性があるので、医師が直接患者を診断することが困難である。また、患者の容態が急変することが報告されており、バイタルサインを連続的かつ正確に計測することが患者の症状悪化の早期発見に有用であると考えられている。バイタルサインなどの生体信号は非常に小さく、人間の動きによる影響を受けることで信号の質が悪化してしまい、正確に計測できない。そのため、バイタルサインを正確に計測するためには、センサと

生体間の高い密着性を実現することが非常に重要である。

研究の成果

我々は、フレキシブルなセンサの基板を皮膚の1/10以下の厚さまで薄膜化することで、皮膚の表面形状に追従し、かつ密着するデバイスを実現することに成功した^[1]。この技術を用いることで、総厚さが3 μm以下の皮膚に貼り付け可能な有機発光素子^[2, 3]、厚さが15 μmのフレキシブル有機イメージセンサ^[4]を開発することに成功した。以下に、それぞれの成果についてより詳しく述べる。

1. 極薄基板上の有機発光素子

極薄の基板は、熱による影響を大きく受けるために、従来の高特性能デバイス作製に用いられてきた高エネルギープロセスを用いることができないという課題があった。我々は、薄型基板上に熱膨張係数の低い高分子膜の成膜を行うことで、薄膜基板へのプロセスダメージを低減する技術を開発することで、超薄型フィルム基板上への有

機エレクトロニクスの作製と高性能化の両立を実現した^[2]。図1に作製した有機発光デバイスを示す。作製したデバイスは、封止膜を含めて総厚さが3 μmであるため、皮膚に非常によく密着していることがわかる。作製した有機発光素子は、外部量子効率10%以上、100%以上の伸縮性、1週間以上の動作確認という、高い性能と環境安定性を有していた。また、作製した赤と緑の有機発光素子と有機受光素子を集積化することで、フレキシブル有機血中酸素濃度計を実現した(図2)。作製したデバイスは非常にフレキシブルであるために、指に巻きつけることが可能であり、光電式容積脈波から血中酸素濃度を推定することに成功した。さらに、動物実験を行っている共同研究者と共にこの極薄有機発光素子を用いることで、MRIの中で動物の神経に光刺激を行うことにも成功した^[3]。

2. フレキシブル有機イメージセンサ

我々の開発したフレキシブル有機イメージセンサのデバイス写真を図3に示す。フレキシブル有機イメージセンサは、近赤外光に高感度を有する有機受光素子と低温ポリシリコン(LTPS)薄膜トランジスタを集積化している。フレキシブル有機イメージセンサは、508 dpiという高解像度と、41 fpsという高速撮像を同時に実現している。フレキシブル有機イメージセンサに光が照射されると、有機半導体層が光を吸収することで、光電変換により光電流が発生し、電荷が各セルのセンサ素子のキャパシタに蓄積される。この蓄積された電荷量を信号として読み出すことで、イメージングを行うことができる。この読み出し・信号処理を行う回路部分は、フレキシブルケーブル上に実装を行っているために、フレキシブ

ル有機イメージセンサのシステム全体が高いフレキシブル性を有している^[4]。

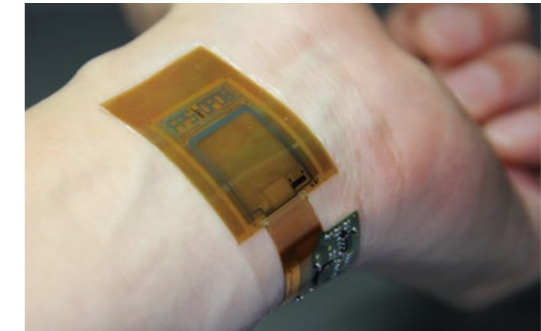
開発したフレキシブル有機イメージセンサの特徴として、光学系を用いずに、皮膚に直接イメージセンサを接触させるだけで、指紋を撮像することができる点がある。実際に、有機イメージセンサを用いて指紋を撮像した結果を図4に示す。撮像した指紋の画像は、隆線の数、分岐点、端点といった特徴点のみならず、汗腺の位置まで検出できており、生体認証を行ううえで重要な指紋情報が撮像できている。光学系を用いずに高精細な指紋像を撮像できるため、システム全体を容易に小型化かつフレキシブル化することが可能である。さらに、フレキシブル有機イメージセンサと光学レンズを組みあわせることで、静脈を撮像することに成功した。図5にフレキシブル有機イメージセンサを用いて、指の静脈像を撮像した結果を示す。静脈を撮像するために、指の上部から近赤外のLEDを用いて光を照射し、指を透過した光をレンズで集光することで、静脈の撮像を行った。今回撮像した静脈像は、静脈認証を行う上で一般的に用いられる、静脈の分岐点や分岐角度、本数などの特徴的な情報が明確に取得できている。

さらに、今回開発したフレキシブル有機イメージセンサの特徴の1つとして高速撮像があげられる。そのため、指紋や静脈といった静的な生体情報を撮像できるのみならず、脈拍などの動的な生体情報を同時に計測することができるという特徴も有している。

将来の展望

我々の開発した極薄基板上の有機光デバイスやフレキシブル有機イメージセンサは、軽量かつ薄型で、曲げることができる。そのため、ウェアラブル医療機器に容易に組み込むことができる。ウェアラブル医療機器にイメージセンサを組み込みことができれば、ユーザの生体認証を行いながら、同時に健康状態を測定することが可能となるため、近い将来、セルフケアにおけるなりすましの防止や病院における患者の取り換え防止が可能になると期待される。

図3 フレキシブル有機イメージセンサのデバイス写真



シリコン薄膜(LTPS)トランジスタ

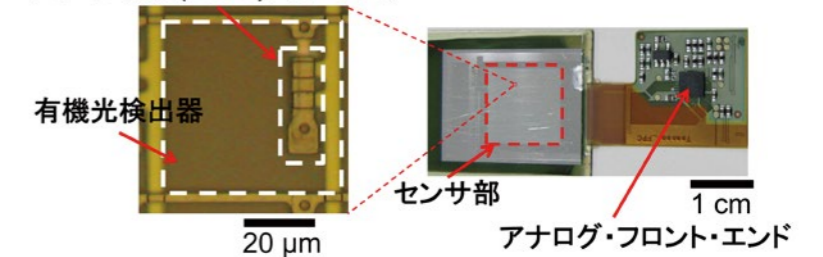


図4 フレキシブル有機イメージセンサで撮像した指紋

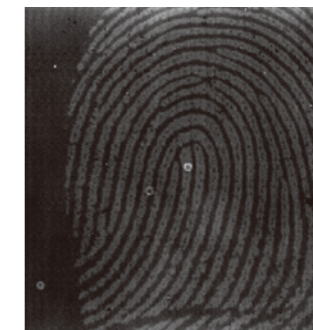
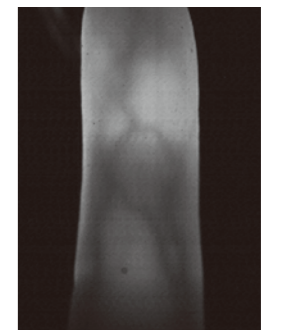


図5 フレキシブル有機イメージセンサで撮像した静脈



謝辞

本研究は多くの方々のご支援・ご協力のもとに行われました。学生時代からご指導をいただいている東京大学の染谷隆夫教授、

大阪大学の関谷毅教授をはじめ、全ての研究室メンバー、国内外の共同研究者の先生方・企業の皆様に深く御礼申し上げます。

References (参考文献)

- [1] Martin Kaltenbrunner, Tsuyoshi Sekitani, Jonathan Reeder, Tomoyuki Yokota, Kazunori Kuribara, Takeyoshi Tokuhara, Michael Drack, Reinhard Schwödiauer, Ingrid Graz, Simona Bauer-Gogonea, Siegfried Bauer, Takao Someya, Nature, 499, 458-463 (2013).
- [2] Tomoyuki Yokota, Peter Zalar, Martin Kaltenbrunner, Hiroaki Jinno, Naoji Matsuhisa, Hiroki Kitano, Yutaro Tachibana, Wakako Yukita, Mari Koizumi, and Takao Someya, Science Advances, 2, e1501856 (2016).
- [3] Dongmin Kim, Tomoyuki Yokota, Toshiaki Suzuki, Sunghoon Lee, Taeseong Woo, Wakako Yukita, Mari Koizumi, Yutaro Tachibana, Hiromu Yawo, Hiroshi Onodera, Masaki Sekino, Takao Someya, Proceedings of the National Academy of Sciences, 117, 21138-21146 (2020).
- [4] Tomoyuki Yokota, Takashi Nakamura, Hirofumi Kato, Marina Mochizuki, Masahiro Tada, Makoto Uchida, Sunghoon Lee, Mari Koizumi, Wakako Yukita, Akio Takimoto, Takao Someya, Nature Electronics, 3, 113-121 (2020).

図1 極薄基板上に作製した有機発光素子

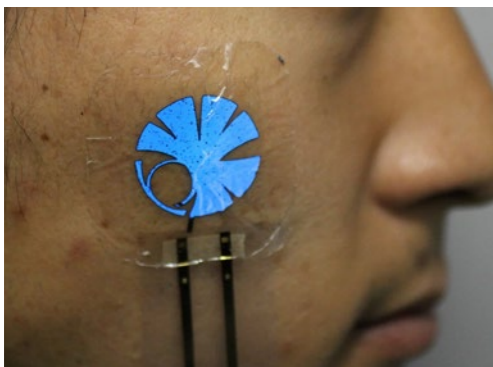


図2 フレキシブル血中酸素濃度計

