

# 脈波計測を指向した有機光センサの試作

三崎 雅裕\*, 安達 友紀\*\*

## Study on organic optical sensors for pulse wave monitoring

Masahiro MISAKI\* and Yuki ADACHI\*\*

In this study, organic optical sensors for pulse wave monitoring were fabricated. Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-poly(styrenesulfonate) (PEDOT:PSS) was spin-coated on an indium tin oxide (ITO) glass substrate, and then baked on a hot plate at 100 °C for 10 min. After that, the blends of poly(3-hexylthiophene) (P3HT) and [6, 6]-phenyl C<sub>61</sub>-butyric acid methyl ester (PCBM) were dissolved in chloroform (1wt%) and spin-coated on the PEDOT:PSS film. Finally, aluminum as a cathode was deposited thorough shadow mask. As a preliminary step to pulse wave measurement, we irradiated light intermittently to the organic optical sensors and succeeded in observing light-responsive signals. In the future, if a pulse wave sensor module combining organic light-emitting diodes (OLEDs) and organic optical sensors can be realized, it will be possible to attach the biometric sensor to the body for a long time without any discomfort and obtain a lot of information in the body, thus enabling a new type of health management.

*Keywords: organic optical sensors, sensor module, pulse wave monitoring, biometric sensors, health management*

### 1. 緒言

新型コロナをきっかけに不要・不急の外出自粛、遠隔授業や在宅勤務などによって精神的なストレスが増加し、メンタルヘルスの維持が喫緊の課題となっている。2015年にストレスチェックの実施が義務付けられて以来、メンタルヘルス対策に取り組む学校や企業が年々増加し、最近ではスマートウォッチで計測した脈波や心拍等のバイタルデータを可視化して、早期のメンタルケアを実現しようとする取り組みも為されている。

一般に、脈波とは血液の流入によって生じる血管などの容積変化を体表面から波形として取られたものを指す。光を使って脈波を計測する脈波センサでは、心臓からの拍動に伴って変化する血流量の変化を血液中のヘモグロビンの吸収率が高い緑の光を照射して、反射して残った光量を計測している。脈波は自律神経の影響を受けやすいため、脈拍数と同時にストレスレベルの計測も可能である。

スマートウォッチに搭載の腕時計型脈波センサでは、緑

色 LED (発光デバイス) とフォトダイオード (受光デバイス) を組み合わせ、手首の血流量を検出している。既存のデバイスでは、シリコン (Si) に代表されるような無機半導体によって構成されているが、最近では有機半導体を用いたデバイス (有機デバイス) も注目を集めている。有機デバイスの基本構造は、受光、発光のいずれのデバイスにおいても有機半導体を電極で挟み込んだサンドイッチ型構造になっている。サブミクロンオーダーの薄膜で機能するため、プラスチックフィルム上に素子形成を行うことで、薄い、軽い、曲げられるといった自由度の高いデバイスを作製することができる。将来、有機 EL と有機光センサを組み合わせた脈波センサモジュールが実現できれば、違和感なく長時間、体に生体センサを張り付けることができるようになり、生体内の多くの情報を取得できるため、新たな健康管理が可能になると期待されている。<sup>1,2)</sup>

本研究では、次世代脈波センサモジュールの実現を目指し、受光部となる有機光センサ部を試作した。今回、発光部として市販の白色 LED や有機 EL を使用した。手動でのシャッター開閉を血流量変化に伴う光強度の変化と見立てることで、試作した有機光センサの光応答特性を評価した。既存の Si フォトダイオード (リファレンス) と比較して報告する。

\* 近畿大学工業高等専門学校  
総合システム工学科 電気電子コース

\*\* 近畿大学工業高等専門学校  
生産システム工学専攻 電気電子工学

## 2. 実験方法

有機光センサの作製方法を以下に記す。まず、ホール注入層、及び、電子ブロッキング層として、一般的に使用される Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-poly(styrenesulfonate) (PEDOT:PSS) を Indium Tin Oxide (ITO) 電極上に成膜する。今回のスピコート時の条件は 500rpm で 10 秒の後、2000rpm で 60 秒とする。成膜後は、窒素雰囲気下にて 100°C で 10 分間熱処理する。p 型有機半導体の Poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) (P3HT)、n 型有機半導体の [6,6]-Phenyl C61 butyric acid methyl ester (PCBM) を 1:0.7 の混合比で混ぜた 1wt% のクロロホルム溶液を調整し、スピコート法で PEDOT:PSS 上に成膜する。スピコートは PEDOT:PSS と同一条件とする。最後に、真空蒸着装置 (真空デバイス製、VE-2030) を使用し、メタルマスク経由でアルミニウム電極を形成する (図 1, 2)。

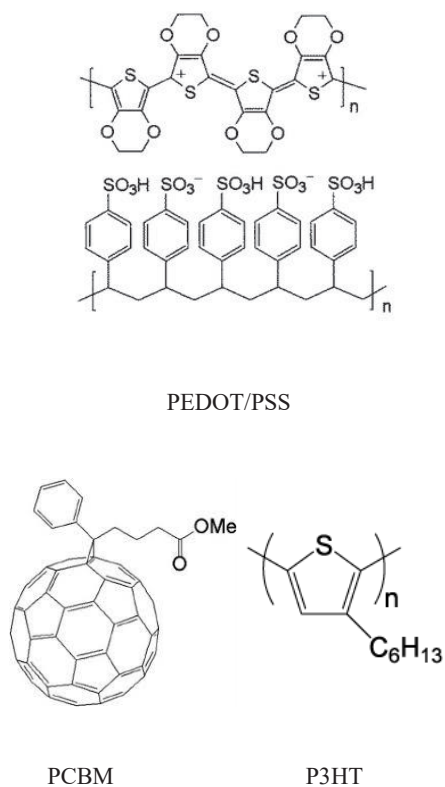


図 1 本研究で使用する材料

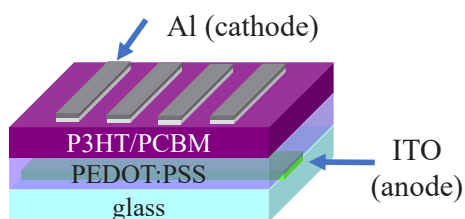


図 2 デバイス構造

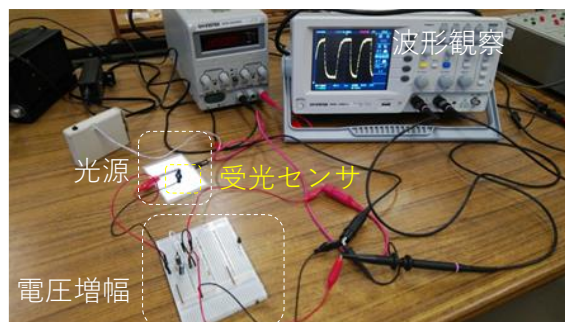


図 3 有機光センサにおける光応答の測定系

脈波計測の前段階として、有機光センサに白色光を断続的に照射して、その光応答を検証する。図 3 に示すように、白色光源 (LED 又は有機 EL) を自作の有機光センサで受光し、出力はコンデンサ (10 $\mu$ F) を通してトランジスタ (2SC1815) で電圧増幅した後、アナログ信号としてデジタルオシロスコープ (GW Instek、GDS-1052-U) に出力する。本研究では、リファレンスとして Si フォトダイオード (VIMUM SC-3012 2A) の特性も出力する。電流・電圧特性は、ソースメータ (ケースレーインズツルメンツ株製、2400) を使用して評価する。マルチチャンネル分光器 (浜松ホトニクス株製、C10544-01) を使用し、光源の発光スペクトルを計測する。デバイスの光吸収特性は、可視分光高度計 (アズワン製、ASV-S3) によって評価する。

## 3. 結果と考察

作製した素子の外観を図 4 示す。有効面積 4mm<sup>2</sup> の素子を 2mm 間隔で同一基板上に 6 素子配置した。ワイヤーボンディングにより素子を図 3 の測定系に接続した。各素子に対して、手動でのシャッター開閉により、約 2 秒間隔で光照射した。初めに光源として白色有機 EL (照度 535Lux) を使用した。市販の Si フォトダイオードでは、有機 EL のオン・オフ (図中矢印のタイミング) に応じて約 60mV の電位差が観測された (図 5 上)。立ち上がりと立ち下りに見られるサブミリオーダーのスイッチング時間は増幅回路に由来したものであることが分かった。今後、より高度なストレス解析をする際にはバックグラウンド処理によって脈波応答から切り分けて評価する必要性が判明した。



図 4 素子の外観

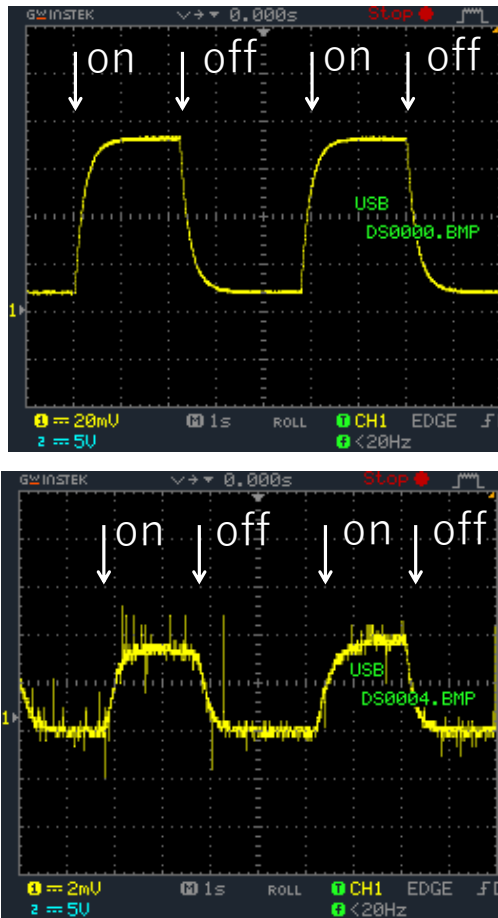


図5 光応答特性

Si フォトダイオード (上)、有機光センサ (下)

一方、試作した有機光センサでは、有機 EL のオン・オフに応じたシグナルは観測されなかった。そこで、光源を有機 EL から LED (100000Lux) に変更 (照度は約 200 倍) したところ、Si フォトダイオードと同様に外部光にตอบสนองした約 3mV の電位差を観察することに成功した (図 5 下)。ソーラーシミュレータ (朝日分光機製、HAL-C100) を用いた電流・電圧特性では、100mW/cm<sup>2</sup> の光照射時に約 30 倍の電流増幅 (光電流) が観察された。今回、微弱なシグナルではあったが、有機光センサとしての機能を実証することができた。

図 6 に、LED の発光スペクトルと有機光センサの吸収スペクトルを示す。LED は、450nm と 550nm に発光ピークを持つのに対し、有機光センサは、350nm と 500nm 付近にブロードな光吸収ピークを持つ。発光と受光のピーク位置こそ異なるものの、十分な重なりを持つことが分かる。通常、短波長側 (<400nm) の光吸収は主に PCBM に由来し、長波長側 (>500nm) の光吸収は主に P3HT に由来する。膜中では、特に P3HT のπスタッキング (0-0 振動電子遷移) や主鎖の平面性 (振動電子遷移) 等の凝集状態によっ

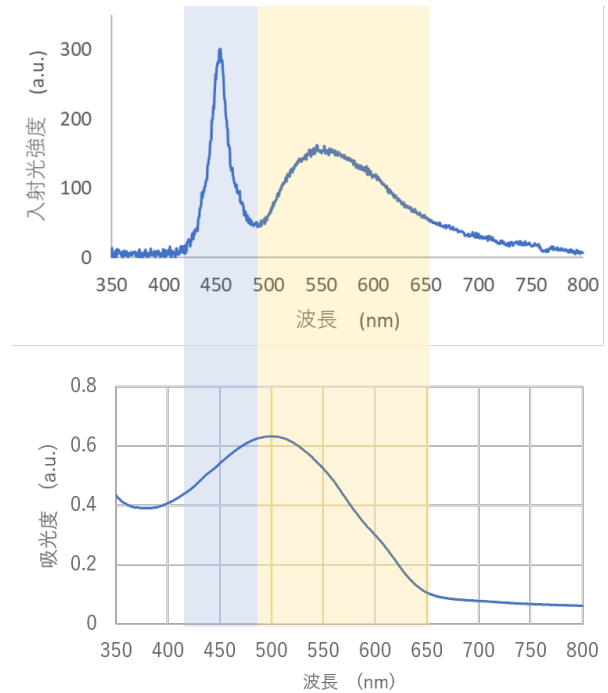


図6 LED の発光スペクトル (上) と有機光センサの光吸収スペクトル (下)

て長波長側の光吸収ピークは大きくシフトする。<sup>3,4)</sup>よって、今後、P3HT の凝集状態を制御し、発光と吸収の重なり (図 6 の色付き部分) をより大きくすることで、有機光センサの感度は更に向上することが期待される。

#### 4. 結言

本研究では、脈波センサモジュールの受光部となる有機光センサの試作を行った。発光部に有機 EL (照度 535Lux) を用いた実験では、有機光センサからの光応答は観測されなかったが、LED (100000Lux) を用いた場合には、Si フォトダイオードと同様に、外部光にตอบสนองした電圧変化のシグナルが観測された。Si フォトダイオードに比べて微弱なシグナルであったものの、有機光センサとしての機能を実証することに成功した。今後は、発光と受光のスペクトルの重なりを増やすことでセンサ感度を向上させるとともに、発光部の有機 EL と一体化したセンサモジュールの試作に取り組んでいきたい。

#### 参考文献

- 1) Yokota et. al., Sci. Adv. Vol. 2 (2016) e1501856.
- 2) Someya et. al., Nature Vol.540 (2016) 379.
- 3) Sasaki et. Al., Appl. Phys. Express. Vol.6 (2013) 041601.
- 4) Erb et. Al., Adv. Funct. Mater. Vol.15 (2015) 1193.