

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 26 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630137

研究課題名(和文)印刷プロセスによるアクティブマトリックス近赤外光センサシステムの試作

研究課題名(英文)Active matrix near-infrared sensing system using printing technologies

研究代表者

関谷 毅 (Sekitani, Tsuyoshi)

大阪大学・産業科学研究所・教授

研究者番号：80372407

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、印刷技術によりアクティブマトリックス近赤外光センサシステムを試作し、その有用性を検証することを目的に取り組んできた。本システムは、薄膜のプラスチックフィルム上に、印刷で作製した有機トランジスタアクティブマトリックス(LEDおよび光センサの駆動回路)、有機LED、有機光センサの3層で構成した。スクリーン印刷を用いた有機トランジスタ作製では、目標とした移動度 $0.5\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上の高移動度を実現し、さらに面内において特性ばらつきの小さい駆動回路を作製することができた。凹凸の大きな印刷電極上に、優れたLED、光センサを作製可能なプロセスを開発し、これを用いて目標を超える性能を実現できた。

研究成果の概要(英文)：We have successfully demonstrated to manufacture active matrix near-infrared spectroscopy sensing system in the combination of all-printed transistors, organic light-emitting diodes (LEDs), and organic photo-detectors. The organic transistors manufactured using screen printing technologies exhibited mobility greater than  $0.5\text{cm}^2/\text{Vs}$ . Furthermore, we have developed the new process technique that can make rough surface of printed electrodes smooth, whose surface roughness is smaller than 5nm after the process. This process technique led to high performance of printed organic LEDs and photodetectors even on the screen-printed electrodes. Taking advantages of the above technologies including process, materials, and device physics and structures, we have successfully realized to show the feasibility of the sheet-type active matrix sensing system.

研究分野：有機エレクトロニクス

キーワード：有機トランジスタ フレキシブルエレクトロニクス 有機集積回路

### 1. 研究開始当初の背景

アンビエント(環境)エレクトロニクスとは、人間が意識しない階層にエレクトロニクスが溶け込み、環境観測、災害監視、医療、ヘルスケアなど社会にある課題をエレクトロニクスインターフェース、情報処理技術から解決し、安全安心社会を支える次世代技術である。近年では、モノのインターネット(Internet of Things: IoT)として知られ、電子機器同士が連携することで新たな価値を生み出すことから注目を集めている。実空間の情報を的確に捉えるためには、大面積かつコスト効率の高いエレクトロニクスが求められている。このような大面積かつ無数のセンサ素子を低環境負荷で効率よく作製し、かつヒトなど動きのある対象物を的確にセンシングする技術が求められている。

### 2. 研究の目的

関谷らは、有機トランジスタの大面積性、軽量性、可とう性に着目し、アンビエントエレクトロニクスに必要な大面積のセンサやアクチュエータに応用するという独自の研究を世界に先駆けて展開してきた。この中で、印刷作製した大面積有機発光素子アレイにより赤外線照射し、有機光センサアレイにより反射してくる赤外線をセンシングすることによって、アンビエントエレクトロニクスに必要な大面積シート型近赤外領域光センサシステムを実現できるという着想に至った。

本研究は、環境(アンビエント)エレクトロニクスに整合する大面積かつフレキシブルなシート型のアクティブマトリックス近赤外領域光センサシステムを印刷技術で実現することを目的として取り組んできた。この近赤外光センサシートは印刷により作製した大面積有機トランジスタ駆動回路、バルクヘテロ接合型有機PN接合(フォトディテクタ)アレイ、有機発光ダイオード(LED)アレイにより構成した。デバイスは、50×50 cm<sup>2</sup>のプラスチックシート上に独自の低コスト印刷技術で作製し、近赤外領域の応用により人、物などの動きをリアルタイムで検出することを目標とし、取り組んできた。

### 3. 研究の方法

初年度(平成25年度)は、実効面積50×50 cm<sup>2</sup>のプラスチックシート上に64×64の赤外領域光センサシステムを印刷技術で試作して、原理実験を行ってきた。特に、静止している対象物に対して、面センサの最大の特長である「対象物の3次元情報の取得」を目標とした。25年度の研究をさらに発展させる形で、26年度はシステム全体の動作を精密に

評価し、高性能化を進めてきた。具体的には、  
1. センサの応答速度(フレームレート)、  
2. センサの応答距離(検出限界距離)、  
3. 空間分解能、の三つのテーマを中心に性能の向上を押し進めた。

### 4. 研究成果

大面積、フレキシブル赤外領域光センサシステムの試作(25年度)

#### 【概要とねらい】

実効面積50×50 cm<sup>2</sup>のプラスチックシート上に64×64の赤外領域光センサシステムを印刷技術で試作して、原理実験を行う。特に、静止している対象物に対して、面センサの最大の特長である「対象物の3次元情報の取得」の実証実験を目標とし取り組んだ。特に初年度は、有機トランジスタのチャンネル長を実績のある50ミクロンで作製し、駆動電圧を60V以下、応答速度1kHz、応答距離0.5m、空間分解能10cmを数値目標に有機半導体材料の選定、構造の最適化を進めた。なお、既に有機トランジスタ集積回路を製造するために必要な印刷技術と設備を有していたが、今回の補助金を得て新規に高精細用途のインクジェットヘッド部品を購入し、有機トランジスタの微細化を進めた。

《印刷技術で作るアクティブマトリックス近赤外LEDアレイ、およびアクティブマトリックス近赤外フォトディテクタアレイ》  
大面積デバイスを作製するには、従来のリソグラフィ技術では実現が困難である。本研究では、印刷技術(インクジェットとスクリーン印刷)とフィルム加工技術を駆使して、LED駆動用の2トランジスタ1キャパシタ構成の有機トランジスタアクティブマトリックスを作製し、塗布型LED発光素子と集積化することでアクティブマトリックス近赤外LEDアレイを実現した。

一方、フォトディテクタ読み出し用の1トランジスタ構成の有機トランジスタアクティブマトリックスを作製し、塗布型フォトディテクタ素子と集積化することでアクティブマトリックス近赤外フォトディテクタアレイを実現した。

関谷らは、既に印刷で有機トランジスタアクティブマトリックスを試作して、駆動電圧100Vの予備実験に成功するなど、計画の推進に必要な足掛かりを着実なものとした。

2) システムの精密評価と高性能化(26年度)

#### 【概要とねらい】

25年度の研究をさらに発展させ、システム全体の動作を精密に評価し、高性能化を進めた。具体的には、  
1. センサの応答速度(フレームレート)、  
2. センサの応答距離(検出限界距離)、  
3. 空間分解能、の三つのテーマ

を中心に性能の向上を推し進めた。有機トランジスタのチャネル長を 10 ミクロン以下まで微細化することで、高性能化を行う取り組みを行った。

《アトリットルインクジェット技術を用いたセンサ応答速度の向上》  
近赤外 LED の輝度を決めるのは有機トランジスタから流せる電流量である。一方、近赤外フォトディテクタの応答速度（読み出し速度）を決めるのは有機トランジスタの浮遊容量であり、いずれも有機トランジスタのチャネル長を微細化することで指数関数的に向上させることが出来る。本研究では、この技術を導入し、1 ミクロンまでの微細化を行うことで、有機トランジスタのカットオフ周波数 1 MHz、システム全体としての応答速度 10 kHz を実現した。

これらの取り組みで特に重要な成果は、特性バラツキ補償回路によるセンサの応答距離（検出限界距離）の向上である。センサの検出限界距離を伸ばすためには、信号/ノイズ（S/N）比を高く保つ必要があり、主なノイズ源となるセンサ素子間の特性バラツキを抑制することが重要になる。本研究では、フローティングゲート構造を駆動用有機トランジスタに導入することで、トランジスタの閾値を動的に制御し、特性バラツキを 5% 以内で低減することに成功した。

本研究提案である「大面積、フレキシブル赤外領域光センサシステム」は、独自の印刷技術による有機トランジスタアクティブマトリックス（アドレス回路および読み出し回路）有機 LED アレイ（近赤外光源）、有機フォトディテクタアレイ（近赤外受光部）で構成される。まず、印刷された有機 LED アレイより近赤外光を照射し、対象物にあたり反射してきた光をフォトディテクタにより検出する。2 次元面に展開したフォトディテクタアレイで検出することで、対象物の 3 次元データを得ることが出来る点がこのデバイスの斬新な点である。

大面積の赤外領域光センサシステムの用途は、動きのあるヒトやモノのセンシングだけではない。大面積かつ軽量であるため、自動車やロボットの表面に張り巡らせれば、死角のない近接センサとして用いることが出来る。従来の「点センサ」ではなく、本提案は「面センサ」であることから 3 次元的情報を取得できるため、対象物までの距離を従来より高い精度で検出できる。大面積、軽量、フレキシブルの近接センサを実現することで、動くものを的確にセンシングすることが可能になることから、社会基盤への大きな波及効果が期待できる。

## 5 . 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 3 件)

An Imperceptible Plastic Electronic Wrap  
Michael Drack, Ingrid Graz, Tsuyoshi Sekitani, Takao Someya, Martin Kaltenbrunner, Siegfried Bauer  
Advanced Materials, 27, 34-40 (2015).

Imperceptible magnetoelectronics  
Michael Melzer, Martin Kaltenbrunner, Denys Makarov, Dmitriy Karnaushenko, Daniil Karnaushenko, Tsuyoshi Sekitani, Takao Someya & Oliver G. Schmidt, Nature Communications 6, 6080 (2015)

1 $\mu$ m-thickness 64-channel surface electromyogram measurement sheet with 2V organic transistors for prosthetic hand control  
Hiroshi Fuketa, Kazuaki Yoshioka, Yasuhiro Shinozuka, Koichi Ishida, Tomoyuki Yokota, Naoji Matsuhisa, Yusuke Inoue, Masaki Sekino, Tsuyoshi Sekitani, Makoto Takamiya, Takao Someya, Takayasu Sakurai,  
IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems, Vol. , No. , ISSN. 0193-6530 , DOI: 10.1109/ISSCC.2013.6487656 , 2014.

〔学会発表〕(計 1 件)

Ultra-flexible Organic LEDs and Electronic Systems for Imperceptible Medical Sensors  
Tsuyoshi Sekitani  
OLEDs World Summit2014, The Claremont Hotel Club and Spa, Berkeley, CA, September 16-18, 2014

〔図書〕(計 1 件)

超薄膜の有機エレクトロニクス  
関谷毅、染谷隆夫  
応用物理 第 83 巻 第 6 号 p.464 (2014).

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)  
取得状況 (計 0 件)  
成果を取り纏めており、出願を検討中

〔その他〕

ホームページ等  
<http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/aed/index.html>

## 6 . 研究組織

(1) 研究代表者  
関谷毅 (SEKITANI Tsuyoshi)

大阪大学・産業科学研究所・教授  
研究者番号：80372407

(2)研究分担者  
なし

(3)連携研究者  
なし