

## 有機トランジスタと有機光センサーの集積化 —シート型スキャナーへの応用—

伊庭信吾<sup>†</sup> 加藤祐作<sup>†</sup> 関谷毅<sup>†</sup> 川口博<sup>†</sup> 桜井貴康<sup>†</sup> 染谷隆夫<sup>†\*</sup>

<sup>†</sup> 東京大学工学系研究科量子相エレクトロニクス研究センター 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

<sup>†</sup> 東京大学国際・産学共同研究センター 〒153-8904 東京都目黒区駒場 4-6-1

\*E-mail: someya@ap.t.u-tokyo.ac.jp

あらまし 有機トランジスタマトリックスと有機光センサーを集積化することにより、世界ではじめてシート型イメージスキャナーの作製に成功した。このイメージスキャナーデバイスは、可動部や光学部品を必要としない。またプラスチック・フィルム上に作製されており、薄くて軽く、耐衝撃性に優れたスキャナーを実現できた。そのためモバイル用途に最適のスキャナーであり、ポケットに丸めて持ち運ぶこともできる。今後、大面積かつ低コストなエレクトロニクスへの応用が期待されている。

キーワード 有機トランジスタ、有機光センサー、有機 p-n 接合ダイオード、イメージスキャナー

## Integration of organic transistors and organic photodiodes —Applications to sheet image scanners—

Shingo IBA<sup>†</sup> Yusaku KATO<sup>†</sup> Tsuyoshi SEKITANI<sup>†</sup> Hiroshi KAWAGUCHI<sup>‡</sup>, Takayasu SAKURAI<sup>‡</sup>  
and Takao SOMEYA<sup>†\*</sup>

<sup>†</sup> Quantum-Phase Electronics Center, University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

<sup>‡</sup> Center of Collaborative Research, University of Tokyo, 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8904, Japan

\*E-mail: someya@ap.t.u-tokyo.ac.jp

**Abstract** We have manufactured a large-area, flexible, and lightweight sheet image scanner on plastic films, for the first time, integrating high-quality organic transistors and organic photodetectors. The present image-capturing device with organic transistors are shock-resistant and potentially very inexpensive since they requires no optics or moving parts, and therefore suitable for mobile electronics.

**Keyword** Organic transistor, Organic photodetector, Organic p-n junction diode, Image scanner

### 1. はじめに

有機トランジスタや有機ダイオードなどの有機半導体素子は、シリコンを中心とした従来の無機材料素子とは異なり、低温プロセスでプラスチック・フィルム上に形成できるため、軽くて、さらに曲げることができる。また、面積の大きなものを作る場合の製造コストは、シリコンに比べて格段に安いと考えられている。この特徴を利用して、有機トランジスタは、無線タグや電子ペーパーの駆動回路などへの応用が期待されている。一方、筆者らは、有機トランジスタを大面積センサーに応用する研究に取り組み、昨年はロボット用電子人工皮膚を実現するなど有機トランジスタの新しい応用例を示してきた (1-3)。

今回は、大面積エレクトロニクスの新たな展開として、有機トランジスタで超薄型スキャナーを実現した (4,5)。試作したスキャナーの 1 セルの大きさは、

700x700 $\mu\text{m}^2$  で、これは、36dpi (1 インチあたりの画素数) に相当する。画像取り込み面積は 5x5 $\text{cm}^2$ 、厚さは 0.4mm、重さは 1g 以下である。有機トランジスタのチャネル層はペンタセンで出来ており、チャネル長は 18 $\mu\text{m}$ 、移動度は 0.7 $\text{cm}^2/\text{Vs}$  である。

このスキャナーは、光センサーと電気回路が同時にプラスチック・フィルム上に集積されて、はじめて原理実験に成功した。従来のスキャナーは、光センサーが一直線上に並んだ二次元アレイを機械的に上から下に動かして、文字や絵などの画像データをコンピュータに読み込んでいた。それに対して、今回は、有機ダイオードからなる光センサーを二次元状に並べ、機械的に掃引するかわりに、有機トランジスタで電子的にスキャンして画像を取り込む方式を採用した。有機トランジスタを使ったことで、機械的に動かす部品やレンズなどの光学部品を用いることなく画像のスキャ

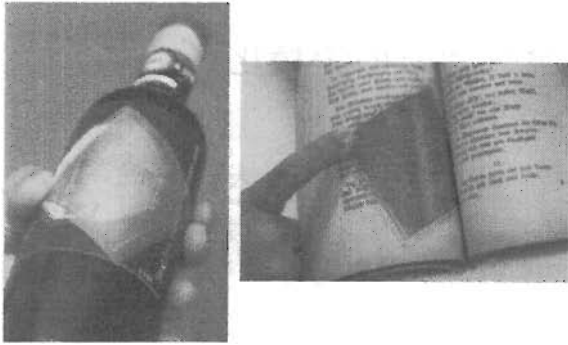


図 1. ワインボトルのラベルや本などの曲面スキャン。

ン取り込みができるようになった。その結果、薄くて軽いスキャナーを実現できた。また、プラスチック・フィルム上に作製されており、曲げることができる。このため、モバイル用途に最適のスキャナーであり、ポケットに丸めて持ち運ぶこともできる。今までスキャンがむずかしかった本の曲がったページにもぴったりフィットして画像スキャンができる。ワインのラベルも剥がさずにボトルについたまま画像スキャンができるなどユニークな使用法が広がりそうだ(図 1)。本稿では、このシート型スキャナーの製造技術・回路技術について述べる。

## 2. デバイスの構造と作製法

スキャナーの構造模式図と各層の化学構造式、デバイスの顕微鏡写真を図 2 に示す。有機トランジスタ・マトリックスと有機ダイオード・マトリックス(光センサー)は、それぞれ別のプラスチック・フィルム上に製造される。2枚のフィルムの端子同士がパターンニングされた銀ペーストで貼り合わされている。全体写真と回路図を図 3 に示す。

### 2.1 有機トランジスタ

72x72 (~5,184) のアクティブ・マトリックスは、ペンタセンをチャンネル層にしたトップ・コンタクト型(脚注: 有機トランジスタの構造の一種で、有機半導体層を形成した後にソース・ドレイン電極を形成したもの。逆に、ソース・ドレイン電極を形成した後に有機半導体層を形成したものをボトム・コンタクト型と呼ぶ。トップ・コンタクト型のデバイスの方が、安定して優れたトランジスタ特性を示す。)の有機トランジスタで構成されている。有機半導体層と電極層は真空蒸着法で形成され、メタルマスク(脚注: アテネ株式会社提供)でパターンニングが施されている。

基材として、厚み 125 mm のポリエチレンナフタレート(PEN)を用いている。基材の表面に、厚み 5nm のクロム密着層と厚み 150nm の金属を蒸着装置で成膜する。次に、ポリイミド前駆体をスピコートで塗布

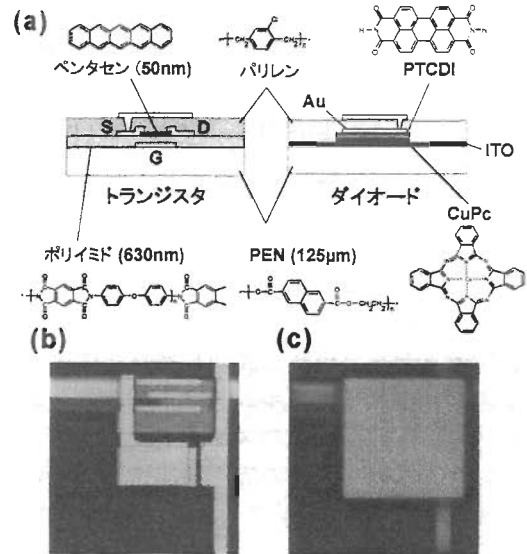


図 2. (a) スキャナーの構造模式図と各層の化学構造式. (b) トランジスタおよび(c) 光センサー(ダイオード)の顕微鏡写真(写真サイズは  $700 \times 700 \mu\text{m}^2$ ).

し、クリーンオープンにて  $180^\circ\text{C}$  で硬化して、厚み 630nm のゲート絶縁膜層を得る。

さらに、高純度に精製されたペンタセンを真空昇華法で成膜し、50nm 厚のチャンネル層を得る。最後に、メタルマスクを介して厚み 50nm の金属を真空蒸着し、トランジスタのソース電極とドレイン電極を形成する。チャンネル長  $L$  は  $18 \mu\text{m}$ 、幅  $W$  は  $400 \mu\text{m}$  である。センサーセルの周期は  $700 \mu\text{m}$  で、これは解像度 36dpi に相当する。トランジスタは p 型の伝導を示し、移動度は  $0.7 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  である。歩留まりは、ゲート絶縁膜の厚みに大いに依存しており、厚み 630nm の時に 99% 以上である。(脚注: デバイスの不具合は、すべてゲート絶縁膜のリークである。)

### 2.2 有機ダイオード

有機ダイオードは、抵抗率  $95 \Omega/\square$  の ITO をコートした PEN フィルムを基材としている。まず、p 型半導体として厚さ 30nm の銅フタロシアニン(CuPc, 脚注: 青色の顔料として広く用いられている。有機エレクトロニクスでも有機太陽電池などに利用される。)を真空昇華法で成膜し、n 型半導体として厚さ 50nm のペリレン誘導体(3,4,9,10-perylene-tetracarboxylic-diimide、PTCDI)を成膜する。次に、厚み 150nm の金属をカソード電極として成膜する。トランジスタと集積化された有機ダイオードのカソード電極は  $450 \times 450 \mu\text{m}^2$  の寸法である。

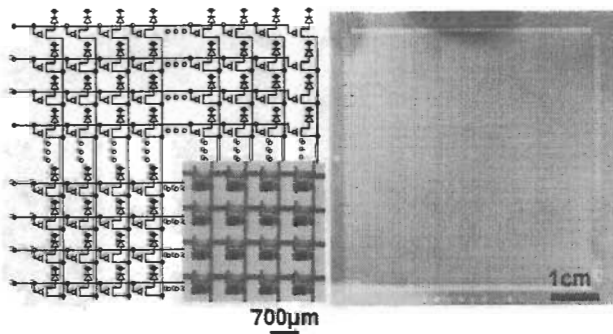


図3.イメージスキャナーの回路図(左)と全体写真(右)

この有機ダイオードに $-4V$ の逆バイアスを印加した状態で光を照射して光電流を測定した。光電流は光強度に比例して増加し、光強度  $90mW/cm^2$  で光電流  $30mA/cm^2$  に達した。光強度をさらに強くすると、光電流も徐々に増えるが、線形性が悪くなり、やがて飽和する。

### 2.3 トランジスタとダイオードの集積化

有機トランジスタとダイオードを別々に製造した2枚のプラスチック・フィルムは、製造直後に大気暴露することなく真空チャンバーに搬送され、そこで厚さ  $2\mu m$  のパリレン膜を全面にコーティングされる。このパリレン膜は、酸素や水成分など有機デバイスを劣化させるガス成分が透過しにくいいため、デバイスの寿命と信頼性を向上するのに有用である。また、2枚のフィルムを貼り合わせる際に、有機デバイスを保護する役割がある。

パリレン膜をコーティングしてから、電極上のパリレン膜をレーザー加工装置で除去し、電気的な導通をとる。その後、マイクロディスペンサーでパターンニングされた銀ペーストを用いて、2枚のフィルムの端子同士を貼り合わせる。

### 3. シート型スキャナーの原理と動作

ここで、シート型スキャナーが、どのようにして白と黒を判別しているか説明したい(図4参照)。白い部分と黒い部分がある紙の上に、格子状に光センサーを並べたシートを置いて見よう。実は、ただ光センサーを並べただけでは、直接光センサーに入射してくる光のために、どちらのセンサーにも電気信号が発生し、黒と白を判別できない。そこで、我々は、「遮光層」を導入して、この問題を解決した。光センサーの真上に反射ミラーを載せて、直接光がセンサーに届かないように工夫した。

遮光層のない部分は透明で、光はシートを透過して、紙に到達する。入射した光の約半分が紙に到達するよ

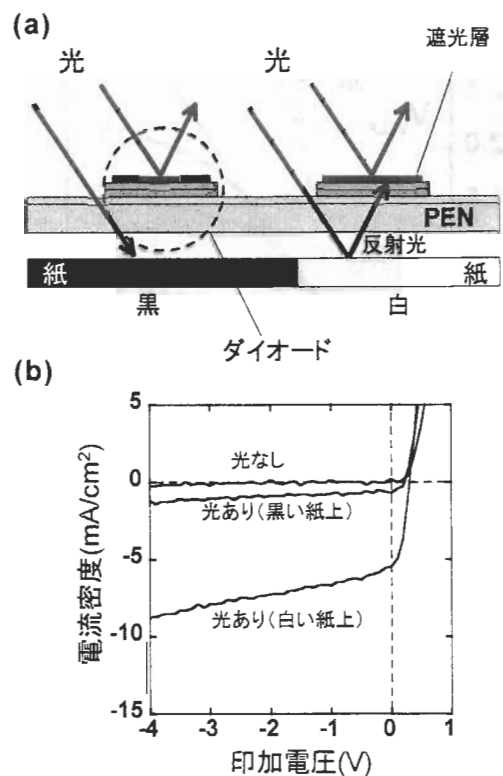


図4. (a) 光センサーシートによるイメージスキャナーの原理概念図。  
(b) 白色と黒色の紙上におけるダイオード単体の光応答特性。

うに設計されている。紙に到達した光は、白い部分では反射されて光センサーに到達し、電気信号を発生する。一方で、黒い部分では、光は反射されないため、センサーは電気信号を発生しない。このようにして、シート型スキャナーは黒と白を区別している。

実際に、遮光層を有する光センサーを用いて、反射の配置で実験を行った。紙の黒い部分と白い部分のそれぞれの上に光センサーシートを載せ、光は一樣に正面から照射した。黒い部分は、通常のレーザープリンタで黒のトナーを印刷したところである。下地が白と黒の場合に応じて、光電流の大きさが異なり、 $-4V$ の逆バイアス印加時に、8:1のコントラスト比が得られた。

シート状の光センサー・アレイでも黒と白が判別できることが分かったが、電気信号を外部に読み出すためには、トランジスタが必要となる。次に、有機トランジスタと光センサーを集積化したセルの電流・電圧特性を測定した(図5)。用いられたデバイスは、 $700\mu m$ 間隔で並べられたセンサーセル(36dpi相当)である。

ここで、シート上に配列された光センサーによって、反射型の配置で本当にイメージが取れるかどうか原理実験を行った。用いられたデバイスは、 $100\mu m$ 間隔

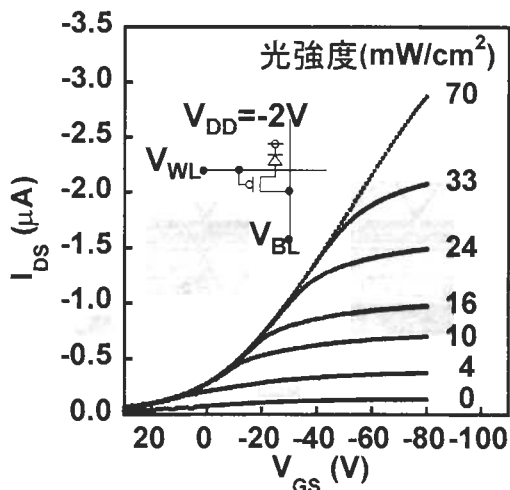


図5. 有機トランジスタと有機光センサーを集積化したセルの電流・電圧特性。  
 $V_{DD}$ 、 $V_{WL}$ 、 $V_{BL}$  はそれぞれ電源電圧、ワードライン、ビットライン。

(250dpi 相当) で 8x8 の格子状に並べられたダイオードのアレイで、有機トランジスタは集積されていない。ダイオードのカソード電極の寸法は  $50 \times 50 \mu\text{m}^2$  である。このシートデバイスを紙に通常のレーザープリンタで印刷された白い「T」の文字の上に重ねて、光を照射した ( $80 \text{ mW/cm}^2$ )。ターゲットとした「T」の顕微鏡写真、光センサーシートによる「T」のイメージング結果とその光電流分布を図6に示した。「T」の文字に対応した分布が得られている様子が示されており、原理の正しさを立証している。

#### 4. 謝辞

本研究を推進するにあたって貴重な助言を賜った荒川泰彦教授、榊裕之教授、五神真教授、小林正氏に感謝する。本研究の一部は、特別推進 COE (12CE2004)、文科省 IT プログラム、21 世紀 COE「強相関物理工学」、NEDO の助成を受けて進められた。

#### 文 献

- [1] T. Someya, T. Sekitani, S. Iba, Y. Kato, H. Kawaguchi, and T. Sakurai, "A large-area, flexible pressure sensor matrix with organic field-effect transistors for artificial skin applications", Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Volume 101, Issue 27, pp. 9966-9970 (July 6, 2004).
- [2] T. Someya, H. Kawaguchi, and T. Sakurai, "Cut-and-Paste Organic FET Customized ICs for Application to Artificial Skin", 2004 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC 2004), #16.2, Technical Digest, pp. 288-289, San Francisco Marriott, San Francisco, CA, February 14-19, 2004.
- [3] T. Someya and T. Sakurai, "Integration of Organic Field-Effect Transistors and Rubbery Pressure Sensors for Artificial Skin Applications", 2003 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), #8.4, Technical Digest, pp. 203-206, Washington DC, December 8 -10, 2003.
- [4] H. Kawaguchi, S. Iba, Y. Kato, T. Sekitani, T. Someya, and T. Sakurai, "A Sheet-Type Scanner Based on a 3D-Stacked Organic-Transistor Circuit Using Double Word-Line and Bit-Line Structure", 2005 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC 2005), #32.3, San Francisco Marriott, San Francisco, CA, (February 6-10, 2005).
- [5] T. Someya, S. Iba, Y. Kato, T. Sekitani, Y. Noguchi, Y. Murase, H. Kawaguchi, and T. Sakurai, "A Large-Area, Flexible, and Lightweight Sheet Image Scanner", 2004 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), #15.1, Hilton San Francisco and Towers, San Francisco, CA, December 13-15, 2004.

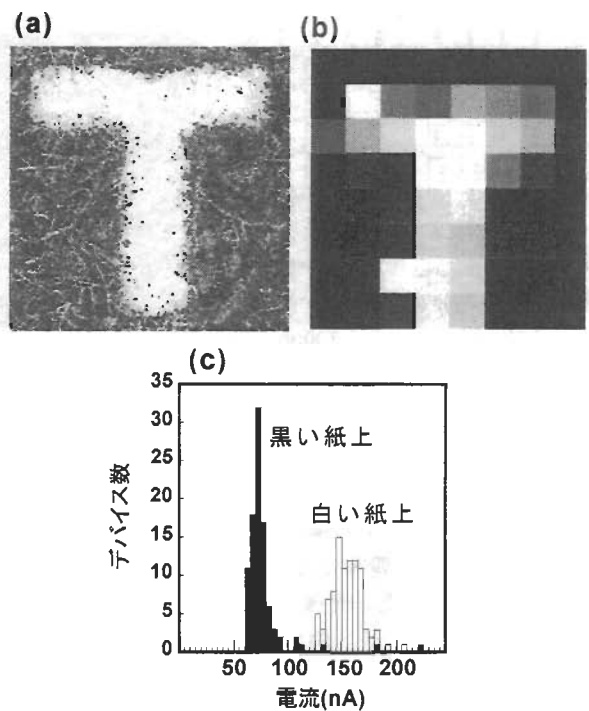


図6. (a) レーザープリンタで印刷された白い文字「T」の顕微鏡写真と(b)光センサーシートによるイメージング結果。照射光は  $80 \text{ mW/cm}^2$ 。写真イメージサイズは  $0.8 \times 0.8 \text{ mm}^2$ 。(c) 光センサーシートの光電流分布。