

## 論文の内容の要旨

論文題目 有機トランジスタの大面積センサとアクチュエータへの応用

氏名 加藤 祐作

有機トランジスタは印刷技術を用いてプラスチックフィルムを基板として軽量・薄型・フレキシブル、かつ大面積に低コストで作製できることから次世代の回路素子として期待され世界中で研究が進められている。動作速度の指標である移動度は  $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  程度と単結晶無機半導体と比較し劣るものの、機械的フレキシビリティ、大面積での低コスト性などさまざまな長所を有することから、シリコン半導体にとって代わるのでは無くこれまで半導体が使われてこなかった分野へのエレクトロニクスの展開が期待されている。有機トランジスタの長所を生かし近年では一般にディスプレイの駆動回路、RFID タグへの応用が盛んに研究されている。一方われわれのグループではより新たな分野を切り開く応用例として大面積センサー・アクチュエータ応用を進めてきた。本研究ではさらに一歩進んだ新規大面積デバイスとして点字ディスプレイと大面積超音波シートの開発を行った。

### 1. 高性能なフレキシブル有機トランジスタの作製

本研究はプラスチック基板上にフレキシブルかつ高性能な有機トランジスタを作製する技術を核として研究が進められた。まず、低温硬化ポリイミドをゲート絶縁膜に用いることにより、フレキシブルで高性能な有機トランジスタの作製に成功した。さらに、特に超音波シートという応用に向けてゲート接地 AC 特性の向上を行った。これまで有機トランジスタの AC 特性については主としてソース接地（ゲートに AC 信号が入力され、高速でトランジスタのスイッチングを行う）での移動度の向上や微細化、半導体・絶縁膜界面の改善などによるカットオフ周波数の向上が注目されてきた。しかしながら超音波デバイスを始め、大面積電力伝送シートや通信シートにおける非接触位置検出システムなどのようにゲート接地（ゲートに一定電圧、ソースドレインに AC 信号が入力される）の構成での動作も非常に重要である。またこのような応用において、ディスプレイのアクティブマトリクスでの使用などと同様に、多数の素子を配する場合には高いオンオフ比が要求される。われわれは DC から 10 MHz の広い周波数領域において、ゲ

ート接地ペンタセン有機トランジスタの AC 特性を系統的に評価した。その中で、高いオンオフ比を得るためにはカットオフ周波数を向上させるとともにオフ状態の改善が非常に重要であることが理解された。特にチャンネル幅の大きい有機トランジスタにおいてはオフ状態の悪化がオンオフ比に対して支配的になる。本研究でゲート接地有機トランジスタのオフ状態はソースドレイン電極とゲート電極間のオーバーラップ面積にほぼ比例することが示された。さらにわれわれはソースドレイン電極幅を 20  $\mu\text{m}$  まで微細化することでゲート接地ペンタセン有機トランジスタにおいて 1 MHz で  $10^3$  のオンオフ比を得ることに成功した。

本研究ではこの高性能のフレキシブル有機トランジスタを作製する技術を核として 2 つの新規大面積デバイスを作製した。ひとつは大面積センサとして超音波シート、もうひとつは大面積アクチュエータとして点字ディスプレイである。以下でその概要について述べる。

## 2. 大面積超音波シート：大面積センサ

大面積エレクトロニクスにおいて圧力センサー・アクチュエーターなどに加え、人間および物体の非接触 3 次元位置計測は人間とエレクトロニクス機器のインターフェイスをよりスムーズにするためのデバイスとして非常に重要である。位置計測には光、電磁波、ミリ波も利用されることもあるが、超音波による位置計測はリアルタイム 3 次元イメージングを比較的簡便なシステムで、人体への影響なく実現することができる。超音波による位置・距離計測は一般に非破壊検査やソナー、車間距離計測、そして医療用超音波エコーに広く用いられているが、これらのアプリケーションはすべて物質内での計測例である。これに対しわれわれは空気中での 3 次元位置計測および大面積での距離計測アレイでの使用を想定しデバイスの開発を行った。そのためフレキシブル有機トランジスタとフレキシブル高分子圧電素子を 2 次元アレイ状に集積化することで大面積にフレキシブルな超音波システムを作製した。(図 1) これらの構成要素はすべて大面積に低コストで作製するのに適している。これはわれわれの知る限り世界初のシート型超音波デバイスであり、有機電界効果トランジスタアクティブマトリクスと高分子圧電素子による 2 次元超音波センサアレイの集積化によって実現された。

作製されたトランジスタの移動度は  $0.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  であり、また、ゲート接地有機トランジスタの高速動作化を進めたことで 40 kHz の信号を  $10^4$  以上のオンオフ比でスイッチングすることが可能となった。  $25 \times 25 \text{ cm}^2$  のシート中に  $8 \times 8$  個の超音波センサアレイが配置されている。作製されたデバイスは超音波の送受信ともに良好が行うことが

でき、1つの有機トランジスタと1つの超音波圧電素子からなる超音波セルはオンオフ比  $10^4$  以上得ることに成功した。さらにビットラインを共通にした  $1 \times 8$  の超音波セルアレイにおいてクロストークが十分に小さいことが確認され、オンオフ比  $10^4$  を得た。また、実際に本デバイスを用いて物体の位置測定に成功した。分解能は数 mm 程度であった。

本研究ではシート型に超音波デバイスが作製されており、空気中で用いることができ、低コストにリアルタイムで3次元イメージングが可能な素子として期待される。さらにイメージング素子としての活用以外にもロボットのボディに巻きつけるようにして用いればロボットのまわり  $360^\circ$  すべて死角なしに高精度で感知することができる接近センサとして用いることも可能である。(図1)

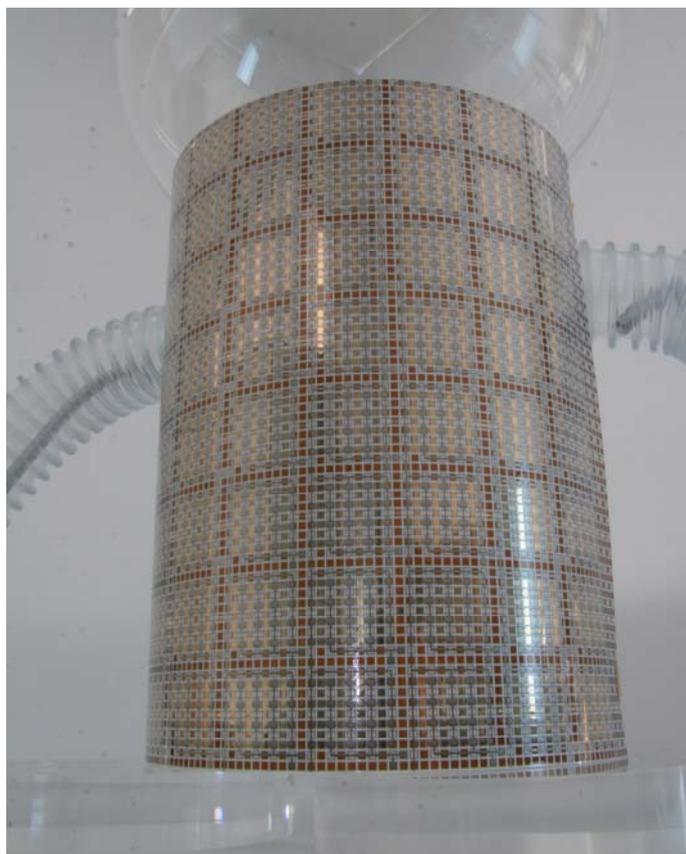


図1 大面積超音波シート

### 3. 点字ディスプレイ：大面積アクチュエータ

大面積アクチュエータとして、有機トランジスタとイオン導電性高分子アクチュエータを集積化し世界で初めてシート型点字ディスプレイを作製した。(図2) このシート型点字ディスプレイは、駆動回路として高性能の有機トランジスタアクティブマトリクス、アクチュエータとしてイオン導電性高分子アクチュエータをプラスチックフィルム上に集積化することで実現されており、軽量・薄型、耐衝撃性、機械的フレキシビリティといった特長をもつ。本研究は視覚障害者の方々に便利なコミュニケーション装置を提供したというだけでなく、触覚ディスプレイを含むプラスチックアクチュエータの新領域の開拓に貢献している。

今回作製したプロトタイプの実効的な表示面積は  $4 \times 4 \text{ cm}^2$  で、24文字(144点)を表示することができる。厚さは1 mm、重量は5.3 gと、非常に軽量・薄型である点字ディスプレイが実現された。これは、移動度  $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  という、プラスチックフィルム上に作製した高性能な有機トランジスタと、高性能なイオン導電性高分子アクチュエータで作製されており、1点を表示するのに  $V_{GS} = -30 \text{ V}$ 、 $V_{DD} = -10 \text{ V}$  のとき、0.9 sであった。4名の視覚障害者を被験者とした触読実験を行ったところ、4名全員が正しく文字を認識することができた。特性のばらつきや、発生力、寿命など、今後さらなる改善が望まれるが、本原理による点字ディスプレイが正しく動作し、満足な特性を得られていることが確認された。

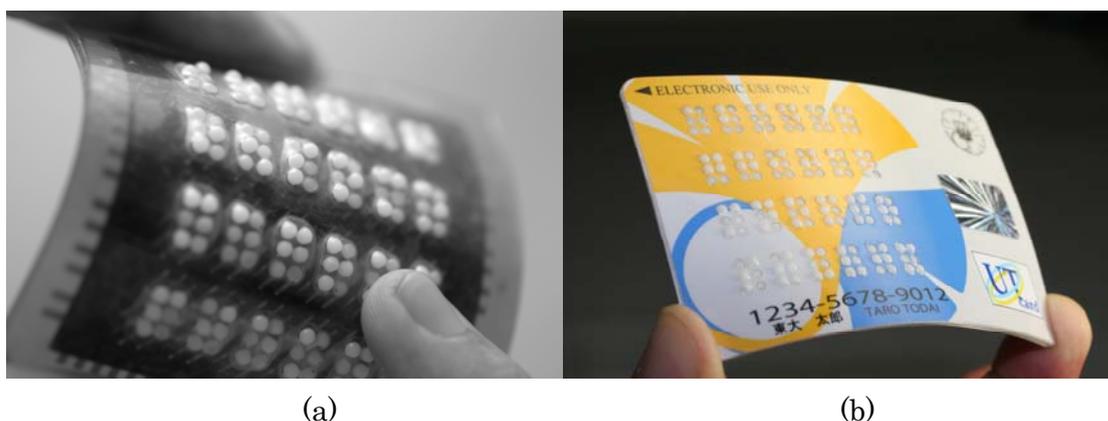


図2 (a) シート型点字ディスプレイ。軽量・薄型で機械的フレキシビリティ、耐衝撃性といった特長を併せ持つ。(b) シート型点字ディスプレイの利用例の一つとして、カードに搭載されたシート型点字ディスプレイのイメージ写真。電子マネーやプリペイドカードの残高、会員番号、など、必要に応じてさまざまな情報を表示することができる。