

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 加藤 祐作

有機トランジスタは大面積での低コスト性、機械的フレキシビリティなど無機トランジスタにはない特徴を持っており、これまで無機半導体が使用されてこなかった分野への応用が期待されている。これまでに有機トランジスタの長所を生かしたアプリケーションとして、フレキシブルディスプレイ、RFID、電子ペーパー、センサなどが提案されている。本研究では有機トランジスタを大面積センサ・アクチュエータのアクティブマトリクスとして応用することを目的とし、高性能フレキシブル有機トランジスタの作製、およびセンサ・アクチュエータで要求されるトランジスタ特性の実現を研究した。さらに応用例として大面積センサとして超音波イメージングシートを、大面積アクチュエータとしてシート型点字ディスプレイを作製した。

本研究の大面積センサ・アクチュエータは高性能かつフレキシブルな有機トランジスタを比較的簡易で低コストであるプロセスで作製する技術が確立されたことによって実現された。本研究では超音波デバイスや点字ディスプレイといった最終的な応用デバイスを実現することを目指し、そこで必要とされる性能をめざし改善を行った。例を挙げると、点字ディスプレイに向けてはアクチュエータを駆動するために大電流を流す必要があり、また人が直接接触れるデバイスであるので低電圧で駆動できなければならない。超音波イメージングデバイスにおいては  $1 \text{ mV}_{\text{pp}}$  程度と出力が非常に小さな高周波信号の出力を制御しなければならない。さらにこれらのアプリケーションの長所を最大限生かすためにフレキシブルな基板上へ低コストで大面積での作製に適合するプロセスで高性能な有機トランジスタを作製しなければならない。

本研究ではプラスチックフィルムを基板として低温硬化ポリイミドをゲート絶縁膜に用いることでフレキシブルかつ高性能な有機トランジスタを作製した。作製したトランジスタは飽和領域移動度  $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 、オンオフ比  $10^6$  以上と良好な特性を示した。さらに、DC から  $10 \text{ MHz}$  の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。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。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トランジスタのオフ状態の悪化がオンオフ比に対して支配的になる。ソース・ドレイン電極幅を  $20 \text{ }\mu\text{m}$  まで微細化することでオフ状態の周波数特性を改善しゲート接地ペンタセン有機トランジスタにおいて  $1 \text{ MHz}$  で  $10^3$  のオンオフ比を得ることに成功した。

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することで、世界で初めて、シート型点字ディスプレイを作製した。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。

大面積・フレキシブル・シート型の超音波 3D イメージングシステムを作製した。これは有機トランジスタと高分子圧電素子の集積化によって実現されている。有機トランジスタは DC 測定において飽和領域移動度  $0.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  を示すだけでなく線形領域においても良好な特性を示し、またゲート接地 AC 測定においても 1 MHz の信号に対してオンオフ比  $10^3$  と非常に良好な動作を示した。 $8 \times 8$  の超音波セルからなる  $25 \times 25 \text{ cm}^2$  のイメージングシートが作製された。作製した超音波セルは送信、受信ともに 40 kHz で  $10^4$  のオンオフ比が得られ、また  $1 \times 8$  の超音波セルアレイにおいてクロストークは十分に小さくオンオフ比  $10^4$  が得られた。作製した  $1 \times 8$  超音波セルリニアアレイで 2D イメージングを行ったところ良好なイメージを得ることに成功した。この超音波イメージングシートは布の向こう側を見ることができ、また、フレキシブルであるのでロボットの胴体などに容易に貼ることができることから  $360^\circ$  死角のない接近センサとして用いることもできる。

以上、要するに、本研究においては、シート型点字ディスプレイとシート型超音波イメージングシステムという 2 つの新規大面積デバイスが実現された。そしてそれらの実現に向けて、フレキシブル基板上に高性能の有機トランジスタを作製する技術について研究を行った。特に超音波イメージングシートのような高周波をセンシングするアクティブマトリクス実現に向けて有機トランジスタのゲート接地 AC 特性が改善された。これらの研究成果は有機トランジスタの新応用として大面積センサ・アクチュエータの可能性を明らかにしたもので、物理工学における貢献は大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格であると認められる。