



有機トランジスタを用いた 大面積エレクトロニクスに 関する研究

— 曲がる電子のスイッチでロボット用の電子皮膚を実現 —

染谷 隆夫

東京大学大学院 工学系研究科 助教授

はじめに

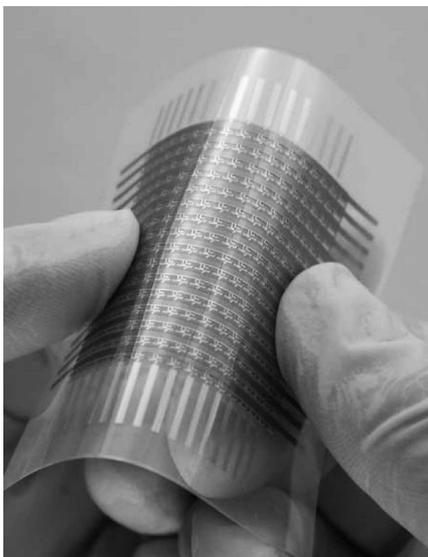
無機半導体材料を中心とする現在のエレクトロニクスを一層発展させる上で、無機材料と相補的な特徴をもつ有機材料は、様々な観点より活発に研究が進められてきました。近年、有機半導体をチャンネル層にした有機トランジスタが実現され、有機材料の可とう性、軽量性、低コスト性などを活用した新しいエレクトロニクスがいよいよ現実味を帯びてきました。このような背景のなか、私たちの研究グループは、有機エレクトロニクスが発展する鍵となる「大面積の集積回路」に的を絞り、世界ではじめて有機トランジスタを大面積センサや大面積アクチュエータへ応用しました。具体的には、ロボット用の電子人工皮膚やシート型点字ディスプレイを実現するなど、有機トランジスタの新しい用途を提案・実証しました。

研究成果

有機トランジスタは、柔らかい電子のスイッチです。キャリアが流れるチャンネル層には、炭素と水素を骨格にした有機半導体がい用いられており、通常、高分子フィルムの上に製造されます。私たちは、この有機トランジスタに関する研究に取り組み、以下の3つの成果を挙げました。

1. 有機トランジスタの新しい応用

私たちは、世界に先駆けて大面積センサ・大面積アクチュエータ応用という有機トランジスタの新しい可能性を示し、この分野に注力して研究を進めてきました。特に、ゴムで出来たシート状の圧力センサやシート状の有機温度センサを有機トランジスタと集積化する技術を開発し、伸張性がありかつ温度と圧力の分布を大面積で計測できるセンサ・フィルムを実現しました。このユニークなセンサは次世代の電子人工皮膚として有望視され、注目を集めています。ま



た、有機光検出器と有機トランジスタを集積化することによって曲がるイメージ・スキャナーを試作しました。さらに、プラスチックMEMSと有機トランジスタを融合するという新領域を世界に先駆けて創製し、実際にこの手法でシート型点字ディスプレイを試作するなど、有機トランジスタの新たな用途を開拓してきました。

2. くにやくにゃと曲がる

有機トランジスタの試作

有機半導体や高分子絶縁体など材料

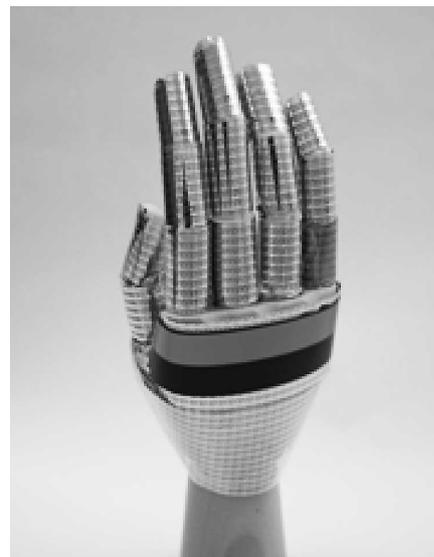
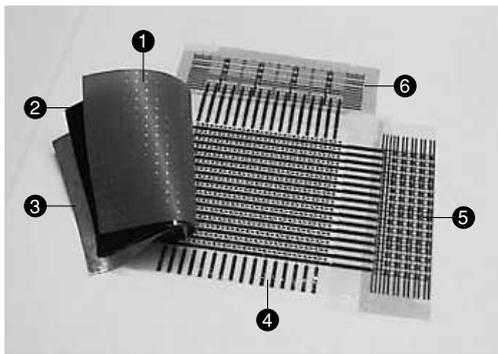


図1 有機トランジスタを用いて作製されたロボット用電子人工皮膚シート。高分子フィルムの上に製造されており、電極以外のすべての層が柔らかい材料できているため、可とう性に優れる。ロボットのほっそりした指先にも巻きつけることができる。



- ① 中間配線層
- ② 感圧導電ゴムシート
- ③ 共通電極
- ④ 有機トランジスタ・マトリクス
- ⑤ 行デコーダ
- ⑥ 列セレクタ

図2 可とう性を有する大面積圧力センサーシステムの写真。センサー・マトリクス、行デコーダ、列セレクタを別々のフィルムに作製し、貼り合せて製造される。センサー・マトリクスシートは、4枚の機能性フィルムを貼りあわせて作製される：有機トランジスタによるアクティブ・マトリクスを形成した高分子フィルム、スルーホールを有する高分子フィルム（中間配線層）、感圧導電ゴムシート、全面電極をコートした高分子フィルム（共通電極層）。

に検討を加え、くによくにやと自由に曲げることのできる有機トランジスタの作製技術を確認しました。まず、180℃という低温で硬化できるポリイミドを有機トランジスタのゲート絶縁膜に応用しました。ポリイミドの硬化温度は通常300℃程度ですが、180℃まで下げられているため、PENフィルムなど低価格でガス遮蔽性に優れた高分子フィルムが利用できました。可とう性の高い有機トランジスタが実現され、実際にこのトランジスタが曲率半径0.5mmまで折り曲げても特性が劣化しないことを実験的に示しました。また、ゲート絶縁膜の表面平坦性に注意を払い、数ミクロン寸法の大きなグレインを形成した結果、有機トランジスタの移動度が1.4cm²/Vsに達しました。高分子フィルムの上に高分子ゲート絶縁膜を用いて形成された可とう性の高いトランジスタにおいても、アモルファスシリコンの移動度（1cm²/Vs）と同程度かそれ以上に達することが示されました。

3. 有機トランジスタ集積回路の製造技術と回路技術

レーザー加工応用や貼り合わせの手法

を含む大面積センサの製造技術、さらに「切り貼り」による有機集積回路などユニークな回路技術を実現しました。本研究では、センサ・マトリクスだけでなく、そこから圧力データを読み出すために必要なセレクタやデコーダなど周辺回路も有機トランジスタで試作しました。集積回路では、階層の異なる電極間を結ぶビアと呼ばれる縦穴配線を作製し、トランジスタとトランジスタを接続します。私たちは、はじめてレーザー加工を有機トランジスタに応用し、有機トランジスタの性能を劣化させることなくビアを作製しました。

さらに、電子人工皮膚の駆動回路では、物理的に切り貼りしながら、有機集積回路を構築する新手法が用いられています。これはシリコンではなかった概念です。まず、同じパターンが繰り返されている皮膚シートを大量に製造し、それから洋服を型紙にあてて裁断するように皮膚シートを切り出し、ロボットの表面に貼り付けていきます。私たちは、このような切り貼りによる方法を考案し、実際にシステムとしての動作を確認しました。センサの配列数や形状に応じて新しくマスクをつくる必要がないので、回

路設計に要する時間を節約でき、コストの削減が可能になると期待できます。

まとめ

有機トランジスタの新しい応用として、大面積センサと大面積アクチュエータに関する研究を中心に紹介しました。特に、有機トランジスタと様々なセンサや柔らかいアクチュエータを集積化することによって、従来は作製が困難であった電子人工皮膚、曲がるスキャナー、薄型点字ディスプレイが実現できることを述べました。これらのデバイスの応用範囲は広範で、圧力センサひとつ取っても、ロボット用の電子人工皮膚にとどまらず、再生医療、新しい防犯センサーシステム、交通安全システムなどにも波及すると期待されます。有機トランジスタは、環境エレクトロニクスの実現には不可欠なデバイスであると考えられ、シリコンと相補的に利用することにより、大きな相乗効果が見込まれます。今後、素子の安定性・信頼性に関する課題が解決され、有機トランジスタが大きな分野へと成長していくこと期待しています。

References (参考文献)

- [1] 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, 203 (2003).
- [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), #16.2, 288 (2004).
- [3] T. Someya, Y. Kato, S. Iba, H. Kawaguchi, and T. Sakurai, "Integration of organic field-effect transistors with organic photodiodes for a large-area, flexible, and lightweight sheet image scanner", IEEE Transactions on Electron Devices 52, 2502 (2005).
- [4] T. Someya, Y. Kato, T. Sekitani, S. Iba, Y. Noguchi, Y. Murase, H. Kawaguchi, and T. Sakurai, "Conformable, flexible, large-area networks of pressure and thermal sensors with organic transistor active matrixes", Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 102, 12321 (2005).