

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 レウベニー アミール (Reuveny Amir)

有機デバイスは、高分子フィルムの上に低温プロセスで容易に形成できるため、曲げに強い大面積回路を製造できるという優れた特長を有する。この特長を利用して、これまで曲がるディスプレイや曲がる無線タグへの応用が活発に進められてきた。一方で、薄型フィルムに形成された有機デバイスを複雑な形状をした三次元曲面に貼り付けるとことによって、表面に電子機能を付与することができる。このような素材の機械的特性を生かして生体信号計測に応用するためには、生体組織に最適化された柔軟性と、微細な信号検出回路の設計が重要である。この視点から、これまでに厚さ  $1\ \mu\text{m}$  の高分子基材に有機トランジスタを形成するための研究が活発に行われてきたか、これらのトランジスタはいずれもチャネル長が大きいと、周波数応答が十分に良くなかった。そのため、生体情報計測などウェアラブルエレクトロニクス用途に応用するためには、極薄高分子上に製造されたトランジスタにおいて、チャネル長を微細化するための技術の開発が急務である。また、そのトランジスタを生体情報計測向けの増幅回路に応用するためには、素子の均一性の向上、熱的安定性の向上、耐環境安定性の向上も必要である。

本研究では、極薄高分子フィルム上に、高周波特性に優れる有機トランジスタとその集積回路を製造するための手法を確立することを目的としている。とくに、高均質で、機械的安定性かつ耐環境性に優れるトランジスタの実現を目指している。より具体的には、低電圧駆動のトランジスタの周波数帯域を広げるため、ボトムコンタクト型デバイスで短チャネルの有機トランジスタを極薄フィルム上に作製することを目指している。さらに、ウェアラブルエレクトロニクスやインプラントエレクトロニクスへの応用に向けて、さまざまな形状の曲面に貼り付けることのできる高性能な増幅回路を実現するための研究を推進した。

まず、第1章は背景の説明、第2章は有機トランジスタの原理、第3章は本研究で使用了材料についての記述となっている。続いて、第4章にて、 $1\ \mu\text{m}$  厚のパリレン (dix-SR) を基板として、dinaphtho[2,3-b:2'-3'-f]thieno[3,2-b]thiophene (DNTT) を有機半導体のチャネル層にしたトランジスタを作製した。トランジスタの特性を向上するため、電極に pentafluorobenzenethiol (PFBT) による表面処理を施した。その結果、リソグラフィーで形成されたチャネル長  $2\ \mu\text{m}$  のトランジスタで、移動度  $0.2\text{cm}^2/\text{Vs}$  を達成した。このデバイスにおけるコンタクト抵抗は、 $5.5\ \text{k}\Omega\cdot\text{cm}$  であった。電極線幅を微細化した結果、電極間のオーバーラップによる容量が  $0.5\text{pF}$  まで低減された。パリレンゲート絶縁膜を

100nm まで薄膜化した結果、駆動電圧を 8V まで低減されており、on/off 比も  $10^7$  を得ている。

次に、第 5 章にて、極薄フィルム上に作製されたトランジスタの機械的な特性を評価した。その結果、曲げ半径  $600\text{ }\mu\text{m}$  までつぶしても、くしゃくしゃに丸めても、移動度の変化は 10%以下に留まることが示された。次に、第 6 章にて、熱的な安定性を評価した。その結果、トランジスタはボトムコンタクト型であるにも関わらず、窒素雰囲気下で  $170^{\circ}\text{C}$  まで、大気雰囲気下で  $150^{\circ}\text{C}$  までの熱耐性があることが示された。また、 $170^{\circ}\text{C}$  で熱処理後も、カットオフ周波数 100kHz 以上を維持できることが示された。

さらに、第 7 章にて、この超薄型で、優れた熱的安定性と機械的安定性を示す高性能な有機トランジスタを用いて、集積回路とアクティブマトリックスを試作した。まず擬 CMOS インバーターを試作し、ゲイン 30dB を示すことを確かめた。この増幅回路は、 $150^{\circ}\text{C}$  でアニール処理を施すことによって、ゲインが 150% 増強された。また、有機増幅回路は、3dB 減衰する周波数をカットオフ周波数と定義すると 25kHz であった。アルミ酸化物容量によるキャパシタ  $500\text{nF}/\text{cm}^2$  と集積化することによって、増幅回路として必要な実効面積を  $30\text{mm}^2$  にまで微細化することに成功した。これは、増幅回路アレイによって空間解像度を上げるために重要な要素技術である。さらに、第 8 章にて、面内での均一性を向上した結果、面積  $6\times 6\text{ cm}^2$  に製造されたトランジスタの  $12\times 12$  (144) アレイにおいて、歩留まり 98.6%、平均移動度  $0.12\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 、ばらつき  $0.019\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  を達成した。第 9 章はまとめとなっている。

以上を要するに、本研究では、厚さ  $1\text{ }\mu\text{m}$  の高分子基材の上に、短チャネルのボトムコンタクト型有機トランジスタを製造する手法を確立し、機械的に曲げ特性に優れかつ高周波特性に優れる増幅回路を実現し、有機トランジスタの新しい可能性を示して、かつより高度な増幅回路をはじめとするフレキシブル集積回路への応用可能性を明らかにしたもので、電子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。