

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 横田 知之

本研究においては、有機トランジスタの低消費電力化、高速動作化、特性ばらつきの低減を進め、さらに、集積回路を試作して有機増幅回路を試作することによって、その生体・医療への応用のフィージビリティを示している。

フレキシブルエレクトロニクスは、これまでの無機のデバイスとは異なり柔軟性・軽量を有しており、次世代のエレクトロニクスとして注目が集まっている。その中でも、有機トランジスタは印刷プロセスで作製が可能であるために、大面積・フレキシブルなアプリケーション応用への注目が集まっている。しかしながら、低電圧駆動する有機トランジスタで1 MHz以上の速い動作速度を実現するデバイスは作製が困難であり、アプリケーション応用の幅を狭めてしまっている。そこで、本研究では、有機トランジスタの低電圧駆動かつ高速動作を実現する取り組みとして、絶縁膜にアルミ酸化膜と自己組織化単分子膜(SAM)のハイブリッド構造を、ソース・ドレイン電極にはサブフェムトリッターインクジェット装置を用いて印刷した銀電極を利用した有機トランジスタの作製とその性能評価、応用を行った。

まず、サブフェムトリッターインクジェット装置を用いてチャンネル長が1 μm のトップコンタクト構造の短チャンネル有機トランジスタの作製を行った。絶縁膜には自己組織化単分子とアルミ酸化膜のハイブリッド絶縁膜を用いた。絶縁膜の厚さは合計で6 nmと非常に薄膜であり、3 V以下の低電圧駆動を実現できた。作製した有機トランジスタの移動度は $0.2\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 、オンオフ比は 10^7 と短チャンネルのデバイスとしては大きな値を示し、4 V駆動の際のトランズコンダクタンスの値は $760\ \mu\text{S}/\text{mm}$ と印刷プロセスを用いた有機トランジスタの中では世界最大の値を示し、この値から見積もられる遮断周波数は4 MHzと大きな値となった。さらに、この技術を応用して、Pseudo-CMOSインバータ回路を作製したところ、0.5 Vの低電圧でも動作することを確認した。また、2 V駆動の際のインバータのゲインの大きさはおよそ400と非常に大きな値を示した。

次に、有機トランジスタの閾値電圧制御に取り組んでいる。これまでに、ダブルゲート構造を用いた閾値電圧制御の報告がなされているが、トップゲート絶縁膜の薄膜化が困難であるために低電圧駆動する有機トランジスタの閾値制御には用いることができなかった。本研究では有機トランジスタにフローティングゲート構造を用いることで低電圧駆動する有機トランジスタの閾値制御を実現した。さらに、この回路を有機CMOS回路に応用することでインバータのスイッチング電圧を動作領域である0 Vから1.5 Vの間で変化させることができた。その際に、インバータのゲインの大きさは変化しておらず、スイッチング電圧のみを制御変化させることができることを確認できた。

さらに、フレキシブルデバイスの生体応用を進めるためにキーとなる有機増幅回路を、

Pseudo-CMOS回路技術を用いることで作製を行った。まず、厚さ75 μm の基板上に増幅回路の8×8のマトリックス作製を行った。作製した増幅回路は、フローティングゲートを有しており、トランジスタのアクティブマトリックスによりPseud-CMOS回路のスイッチング電圧を制御することができる。この構造を用いることで、制御前には400 mV程度あったばらつきを20 mV程度まで低減することができた。また、400程度の非常に大きなインバータのゲインは、スイッチング電圧の制御を行ったとしても変化することはなかった。このアクティブマトリックスをPVDFとつなげることで圧力センサへの応用に成功した。さらに、1.2 μm の厚さの非常に薄膜のPENフィルム基板上へ増幅回路の作製のための最適化を行った。薄膜フィルムは生体との密着性が高く、生体応用を考える上ではこのような基板上に増幅回路を作製することは非常に重要である。作製した有機トランジスタ、増幅回路は厚い基板に作製したデバイスとほぼ同等な特性を実現することができた。さらに、実際にネズミの心臓の生体信号の増幅を行い、1 mV程度の信号を100 mV程度まで増幅することに成功した。

以上、要するに、本研究においては、サブフェムトリッターインクジェット装置とSAM絶縁膜を組み合わせることで、5 V以下の低電圧駆動かつ1 MHz以上の高速動作を同時に実現することができることが実証された。さらに、フローティングゲート構造が有機トランジスタのばらつき低減に有効であることも実証することができた。また、実際に有機トランジスタを用いて作製した増幅回路による生体信号の増幅も実現することができた。これらの研究成果は、今後の有機トランジスタの新応用として生体・医療へ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。