

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 野口 儀晃

本研究では印刷技術を利用した大面積応用可能な有機トランジスタマトリックスの試作とアトリッターインクジェット装置を用いた実用レベルの2 V、48 kHzで動作する有機トランジスタの開発を行った。

第1章において研究の背景とこの研究での目標を提示している。有機トランジスタは、既存のトランジスタではSiやGaAsなどで形成されるチャネル層に有機半導体を用いることで軽量、薄型、可とう性を有することが期待できる。さらに有機物を溶媒に溶かすことで印刷などの溶液プロセスにより大面積に低コストで作製することが可能である。この有機トランジスタの特長を十分に生かすことが可能な応用例として有機トランジスタとさまざまなセンサと組み合わせた大面積センサ応用が提案されている。大面積でのセンシングデバイスの実現には印刷技術を用いた有機トランジスタ作製が必要であるが素子の高速化、低電圧化と有機トランジスタを作製するために用いる印刷技術の選定が問題となってくる。本研究ではこれら2点の問題をについて解決を試みた。大面積に有機トランジスタを作製するために異なる長所を持つ2種類の印刷技術を使用した。印刷デバイスの高速化、低電圧化の目標を動作周波数10 kHz以上で2 V駆動とし、アトリッターの液滴を吐出するインクジェット装置と自己組織化単分子膜を用いて有機トランジスタを作製した。

第2章では本研究で作製した有機トランジスタの構造と動作原理について述べた後に本研究で用いた印刷技術についての説明を行っている。本研究ではスクリーン印刷とインクジェット印刷という2種類の異なった印刷技術を用いて有機トランジスタを作製した。インクジェット印刷装置は描画面積が大きいピコリッターインクジェット装置と描画面積は小さいが非常に微細なラインを描画できるアトリッターインクジェット装置を用いた。

第3章では大面積有機トランジスタマトリックスの作製と大面積センサへの集積化実験を行った。作製には1 μm 以上の厚膜の作製を得意とするスクリーン印刷と1 μm 以下の薄膜作製に有効なインクジェット印刷の2種類の印刷技術を用いた。これら2つの印刷プロセスを上手に組み合わせることでこれまでの真空プロセスのみでは数cm角が限界であったデバイスサイズを25 cm角の大面積にまで拡大することができる。この大面積有機トランジスタマトリックスを圧力センサである導電性感圧ゴムシートと集積化し、16×16の圧力イメージングを得ることに成功した。

第4章ではトランジスタ単体の電極の微細化による動作速度と絶縁膜層の薄膜化による駆動電圧の低減を目指している。厚み2 nmの自己組織化単分子膜を厚み3 nmのアルミ酸化膜の表面に成膜し、絶縁層とすることで有機トランジスタ素子のゲートリーク電流を1 nA以下に抑えつつ駆動電圧を2 Vまで低減した。電極層はアトリッターの液滴を制御するインクジェット印刷を用いて微細化を行った。低温で焼成する銀ナノ粒子インクをサブ μm の精度で有機半導体上に塗布することで線幅をこれまでの限界値である50 μm から2 μm まで微細化し、チャネル長が2.1 μm の有機トランジスタを作製した。作製した有機トランジスタは2 V駆動で電界効果移動度0.06 cm^2/Vs という良好な値を示した。

第5章では回路としての動作速度を評価するために電圧利得遮断周波数の測定と実際に有機ト

ランジスタを用いて作製したCMOSリングオシレータの発振周波数の測定を行った。電圧利得遮断周波数は2 V駆動で48 kHzとなり、大面積センサディスプレイに応用可能な動作速度を持つ有機トランジスタが実現できた。P型半導体にペンタセン、N型半導体にF₁₆CuPcを用いたリングオシレータは40 V駆動で発振周波数4.35 kHzという値を示した。印刷による電極幅の微細化の結果、リングオシレータの発振周波数は真空蒸着法を用いて電極を作製していたものに比べて1桁以上高くなった。信号遅延は動作電圧20 Vで150 ps(インバータ素子1つの速度では13 kHzに相当)となり、印刷で作製したCMOSリングオシレータとしては世界最高速度を示した。

以上、要するに、本研究において印刷技術を利用することで大面積のプラスチックフィルムシート上に有機トランジスタをマトリックス状に作製し、圧力センサへ集積化することを実現した。さらに特性面での課題の解決のために有機トランジスタの駆動電圧の低減と動作速度の高速化が達成された。これらの研究成果は有機トランジスタの応用デバイスの実現に向けて印刷技術を用いた作製プロセスの可能性を示唆したもので、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。