

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 福田 憲二郎

本研究においては、有機トランジスタの低消費電力化と高速動作を同時に達成するため、自己組織化単分子膜(SAM)をゲート絶縁膜に活用した有機トランジスタを作製した。さらに、集積回路を試作して点字ディスプレイ応用を行うことによって、そのフィージビリティを示している。

まず、前半では、SAMをゲート絶縁膜に活用した有機トランジスタの性能向上、信頼性向上、物性評価について述べられている。SAMは金属酸化膜上に自己組織的に形成され、厚さ2 nm程度の非常に薄く、かつ均一な膜を形成することが可能である。本研究ではSAM絶縁膜としてホスホン酸系分子を用い、アルキル鎖長を変化させ、トランジスタの絶縁膜用途としての最適化実験を行った。またSAM絶縁膜、ペントセン半導体層を用いた有機トランジスタの熱安定性、DCバイアスストレス安定性についても詳細に測定が行われている。特に、SAM絶縁膜、ペントセン半導体を用いた低電圧駆動トランジスタの熱安定性を測定したところ、封止膜有りのトランジスタは160 °Cの加熱後までバルク相が現れないことがXRDの測定により明らかになるなどの重要知見を得ている。また、SAM絶縁膜を用いたトランジスタにおいて、加熱処理がDCバイアスストレス効果の低減に効果的であることが示されている。

後半は、SAM絶縁膜を用いたトランジスタを複数集積化させて回路を作製し、その応用可能性を検討している。擬CMOS回路とはHuangらによって近年新しく提唱された、P型もしくはN型のどちらか1種類のチャンネルでCMOSのような動作をする回路のことである。大気安定なN型の開発が難しい有機半導体分野や、逆に高移動度のP型作製が困難な酸化物半導体分野への応用が期待されている。本研究では、アルキル鎖長14のホスホン酸をSAM絶縁膜に、半導体にはDNNTを用いたデプレッション型擬CMOSインバータ回路を作製した。その結果、2 V駆動においてゲインが400を達成するインバータ回路が実現された。この値は従来のPMOS有機インバータ回路と比べると最高の利得特性であり、CMOS有機インバータ回路と比較しても非常に高性能である。また駆動電圧0.5 Vでもインバータ特性を示した。このインバータを5段繋げることによってリングオシレータを作製したところ、駆動電圧2 Vにおいて発振周波数は4.27 kHzであった。この結果から求められる1段あたりのシグナルディレイは23 μ sと見積もられた。この値は5 V以下の有機トランジスタを用いた回路としては世界高速度を達成している。

SAM絶縁膜を用いた有機トランジスタのアプリケーション応用の可能性を実証するため、カーボンナノチューブ(CNT)アクチュエータとの集積化し、シート型点字ディスプレイの試作を行った。このシート型ディスプレイは大電流駆動制御トランジスタ、低電圧駆動・高速動作有機SRAMの回路技術を用いている。

低電圧駆動有機SRAMの実現にもアルキル鎖長14のSAMと、DNNTを用いた。作製されたSRAMの駆動電圧は2 Vという非常に低電圧でありながら、その書き込み速度は1.5 msという非常に高速な動作が実現された。従来のポリイミド絶縁膜を用いた有機SRAMでは駆動電圧40 V、書き込み速度40 msであったのに対し、SAM絶縁膜を用いることで駆動電圧、書き込み速度共に1桁程度改善された。

これらの技術を応用させ、複数の回路・素子を集積化し、実用可能なアプリケーションを創出することを目的として、低電圧駆動点字ディスプレイの試作を行った。点字表示に用いる素子としてカーボンナノチューブアクチュエータを用い、大電流駆動有機トランジスタ及び低電圧駆動有機SRAMの集積化を行い、アクチュエータの動作特性を測定した。6×4文字の点字ディスプレイ全体の表示に必要な時間が3 s以下にまで低減できることが示された。

以上、要するに、本研究においては、低電圧駆動実現のためにSAM絶縁膜を利用することで、低電圧かつ高移動度のトランジスタが作製可能であり、高速動作の回路応用も実現可能であることが示された。また他の素子との応用も容易に行えることが実証された。本研究における技術は将来的な低電圧駆動点字ディスプレイの応用に十分可能な性能を有していることを示すと共に、有機トランジスタが将来の「フレキシブル・アンビエントエレクトロニクス」の創出に応用可能であるということを示す結果である。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。