

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 中村 卓

近年のエレクトロニクスの発展により、携帯電話やスマートフォンをはじめとする持ち運び可能な電子機器が普及している。これらのエレクトロニクス用いられる電子デバイスとし、小さく高速なトランジスタを集積化したプロセッサなどのシリコン半導体チップと、映像を提供する液晶表示装置が重要となっている。しかしながら、従来用いられている金属/酸化膜/シリコン電界効果トランジスタ(MOSFET)は高価な結晶シリコン基板上にしか作れない制約があった。これらを解決する手法の1つとして、低温で成膜が可能な多結晶シリコン(ポリシリコン)技術が注目を集めている。本論文は、「低温ポリシリコンを用いた液晶表示装置への機能集積化の研究」と題し、低温ポリシリコンの特徴を活かした機能集積化に関してセンサーの機能などの付与に関する検討・実証研究を行うことで、「小型化」、「操作性改善」、「低消費電力化」及び「画質向上」の4つの期待に応える道筋を示したものである。日本語で記述された全7章により構成されている。

以下、各章の構成と概要を示す。

第1章では研究の背景として、ディスプレイや携帯電話をはじめとしたエレクトロニクスの基盤技術の1つであるトランジスタの発展の背景と応用について記した。さらに、トランジスタの1つである低温ポリシリコン薄膜トランジスタ(LTPS TFT)の発展の歴史についてまとめた。これらの研究背景を踏まえ、本論文の目的を記した。

第2章ではLTPS TFT及び、LTPS TFT-液晶ディスプレイ(LCD)に関する動作原理や構造をはじめとした基礎知識について記した。さらに、TFT-LCDの液晶としてよく用いられるTN液晶とIPS液晶や、代表的な回路ブロック図について説明する。

第3章ではデジタル/アナログ変換機能の集積化について記した。2001年頃からの3G携帯電話向けLCDの小型化の期待を背景に、ドライバICを削減することが求められるようになった。そのため、従来のドライバICが担っていたデジタル画像データをアナログ電圧に変換して出力を行う機能の集積化が必要後なった。先行研究では、駆動電圧が10Vと高いため、実用化を行ううえで消費電力が高いことが課題となっていた。本研究では、インバータ型のアナログバッファを初めて導入し、LCDのコモン反転駆動と組み合わせることで、低電圧化(5V)することで消費電力を4mWまで低減することに成功し、デバイスの小型化への道筋を示した。

第4章では光センサー機能の集積化について記した。従来のLTPSにおける光センサーの先行研究について記し、これまでの特性や課題についてまとめた。本章では、TFTの作製工程を改良し、n-ノンドープ構造と呼ばれる横型p-i-nセンサーを提案した。この新規構造では、i型領域の長さを $20\mu\text{m}$ と長くすることで光電流を増大させることに成功した。その結果、照度1000ルクスのときの電流と暗電流の比を30程度まで向上させることに成功し、周囲光の明るさを検出するのに必要な性能を確保することに成功した。さらに、シールド付きn-ノンドープ構造について記した。

第 5 章では静電容量センサー機能の集積化について記した。スマートフォンなどの登場により、タッチパネル化が必要となり LCD の上部に静電容量センサーが搭載されるようになった。本件空では、静電容量センサーを LTPS TFT を用いて LCD に集積化することで、デバイスの総厚さを改善し小型化への期待に貢献することができた。さらに、集積化の際に n 型領域を形成するためのイオン注入プロセスを用いずに、PMOS TFT のみを用いて実現することで、低コスト化への期待にも応えることができた。

第 6 章では、低周波数駆動の機能の集積化について記した。本研究では、従来のチャネル幅を $2.5\mu\text{m}$ から $1.5\mu\text{m}$ へ微細化し、リーク電流を低減する方策をとることを目指した。その際に、poly-si の加工工程で用いるフォトレジストと呼ばれる保護膜をばらつきの小さいものにするこゝで、加工ばらつきを抑えることに成功した。その結果、LCD のフレーム周波数を従来の 60Hz から 30Hz に低減することで、駆動電力を 30% 低減することに成功した。

第 7 章では、本論文のまとめと今後の課題・展望について記した。本論文のまとめでは、主に実験結果である第 3 章から第 6 章に関して記した。これらを踏まえ、今後の課題・展望として、従来のディスプレイ応用以外の、次世代のエレクトロニクスへの LTPS バックプレーンの期待と展望について記した。

以上を要するに、本研究では、低温ポリシリコン薄膜トランジスタ(LTPS TFT)の低消費電力化、高精細化、小型化を行うことで、これまでにはなかった機能を液晶ディスプレイに付与することに成功し、LTPS の液晶ディスプレイの機能集積化に新しい可能性を示したのもので、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。