

論文内容要旨 (和文)

平成24年度入学 大学院博士後期課程

有機材料工学専攻 有機デバイス分野

氏名 水上 誠



論文題目 Study on Organic Thin Film Transistors for Application to Flexible Organic Light Emitting Diode Display
(フレキシブル有機ELディスプレイへの応用に対する有機薄膜トランジスタに関する研究)

ガラス基板を用いたディスプレイに変わり、軽い、薄い、曲げられる、落としても割れない、従来にはない特長を有するフレキシブルディスプレイが提案されている。特に、バックライトを必要としない自発光型の有機ELを表示体に用いる有機ELディスプレイがフレキシブルディスプレイに最も適している。このディスプレイを駆動させるにはトランジスタを用いた画素回路を樹脂基板上に形成する必要がある。企業を中心とした研究機関ではドライプロセスとフォトリソグラフィプロセスを用い低温ポリシリコンや酸化半導体を高耐熱性ポリイミド基板上に形成し、キャリア移動度の高いトランジスタによる画素回路の開発を進めているが、これらのプロセスによる高コスト化が課題となる。一方、有機材料を用いた有機トランジスタは無機トランジスタに比べキャリア移動度は劣るものの、圧力センサー等を目指した研究開発が進められている。有機材料は分子間力が弱く、柔軟性に優れている。また、有機材料は低温形成が可能で、樹脂基板上に印刷で有機半導体を形成できるためコストを下げることができる。こうした理由により、有機材料を用いたトランジスタはフレキシブルディスプレイにとって理想的であると言える。しかし、有機トランジスタを画素回路に適用するには有機材料を高精密にパターンニングする技術開発や微細形状で高移動度を達成しなければならない。これらの課題を解決し、有機トランジスタを画素回路や周辺回路に用いることはフレキシブルエレクトロニクスにとって大きなイノベーションとなる。

本論文ではフレキシブル有機ELディスプレイを実現するために必要となる有機トランジスタ技術として、1) 全塗布型有機トランジスタ作製に向けた印刷による微細パターン形成技術の開発、2) 塗布型有機半導体を用いた有機トランジスタによるフレキシブル有機ELディスプレイの動作実証、3) ディスプレイ用ゲートドライバーに必要な基本論理回路の開発を行った。これらの内容を含めて第一章から第七章で論文を構成した。その内容について以下に述べる。

第一章 序論

テレビがCRTから液晶、有機ELへと進化し、フレキシブルディスプレイの登場までを解説した。更に、各種フレキシブルディスプレイの形態や構成に関して述べた。

第二章 フレキシブル有機ELディスプレイ

フレキシブル有機ELディスプレイを構成する有機ELと有機トランジスタの基礎を述べた。有機ELは基本構造からマルチフォトンエミッション構造、形成方法について、有機トランジスタは基本構造、有機半導体材料、キャリア伝導機構、ゲート絶縁膜、トランジスタの動作原理について述べた。

第三章 印刷による微細パターンニング技術

凸版反転印刷法を用いた画素回路用の電極、絶縁膜、層間接続の形成について述べた。凸版反転印刷は塗布、一次

転写、二次転写の3つのプロセスで構成される。これらのプロセスで重要となるスリットコート、PDMSブランケット、印刷版に関し印刷条件と印刷結果の関連性を明確化した。PDMSに接触した表面にはシロキサンが付着するが、2-propanol洗浄により除去可能であることをXPS分析により明らかにした。本印刷技術を用いることでLine/Space: $7.5\mu\text{m}/4.5\mu\text{m}$ のソース・ドレイン電極(Ag薄膜)を実現した。絶縁膜は各種材料を検討した結果、PVPが最も適し、乾燥時間を調整することで $35\times 60\mu\text{m}$ の凹パターン形成に成功した。また、コンタクトホール層の層間接続はホールの傾斜角を約 24° 程度にすることで $20\mu\text{m}$ 角のホールで導通を実現した。

第四章 フレキシブルマルチフォトンエミッション型有機ELディスプレイ用塗布型有機トランジスタバックプレーン

塗布型有機半導体を用いた有機トランジスタによる有機ELディスプレイ用のバックプレーンを開発した。ゲート絶縁膜にはCardo樹脂を用い、有機半導体のトランジスタ間分離層には撥液性を有するテフロンバンクを作製した。テフロンバンク内への有機半導体塗布はSolution-Shearing法を用いた。バックプレーン上に白色マルチフォトンエミッション型有機ELを形成し、解像度300dpiの1.8インチフレキシブル有機ELディスプレイを作製した。ディスプレイは曲げた状態でも正常に動作した。この成功は世界初である。

第五章 インクジェット印刷で形成した高移動度有機トランジスタ駆動によるフレキシブルカラー有機ELディスプレイ

インクジェット印刷で有機半導体(PS添加のDTBDT-C6)を形成した有機トランジスタにより駆動するフレキシブルカラー有機ELディスプレイを開発した。テフロンバンク内に滴下する有機半導体のインク量を最適化し、ゲート絶縁膜をCardo/Paryleneの2層構造とすることで $1.2\text{cm}^2/\text{Vs}$ の高移動度を達成した。移動度は有機半導体をインクジェット法で形成した場合、Solution-Shearing法を用いた場合より3倍以上高い値が得られた。XRDと複屈折分布解析より、有機半導体分子の配向は塗布方法に依存せず、c軸が基板に垂直方向を向くことが明らかにされた。これらの技術で構成した有機トランジスタをカラーフィルターと組み合わせ、解像度50ppiの3.2インチフレキシブルカラー有機ELディスプレイを作製した。本ディスプレイは $125\text{cd}/\text{m}^2$ の発光輝度が得られ、曲げた状態で正常な動画再生を得ることに成功した。

第六章 ゲートドライバーのための論理回路

フレキシブル有機ELディスプレイのゲートドライバーにはシフトレジスターが必要となる。シフトレジスターはInverterとNANDで構成される。p型半導体だけで構成した擬CMOS-Inverterと擬CMOS-NANDを第五章で開発した有機トランジスタと同一材料、同一プロセスで作製し、それぞれの動作を実証した。擬CMOS-Inverter回路は1KHzの高い駆動周波数で正常に動作した。これらの結果、画素回路とゲートドライバーが同一材料を用い、同じプロセスで作製可能であることが示された。

第七章

本研究の成果についてまとめた。

以上、本論文はフレキシブル有機ELディスプレイを実現するための塗布型有機トランジスタの要素技術に関して述べた。今後、これらの技術をディスプレイやトランジスタだけではなく、他の用途やアプリケーションに広く利用できるように応用開発を進めていく予定である。

論文内容要旨 (英文)

平成24年度入学 大学院博士後期課程

有機材料工学専攻 有機デバイス分野

氏 名 _____ 水上 誠 _____



論 文 題 目 Study on Organic Thin Film Transistors for Application to Flexible Organic Light Emitting Diode Display

Self-emissive organic light emitting diode (OLED) displays are the most suitable for flexible displays. To drive this display, it is necessary to form a pixel circuit using a transistor on a resin substrate. In research institutions centered on companies, low-temperature polysilicon and oxide semiconductors are formed on a highly heat-resistant polyimide substrate using the dry process and photolithography process, and the development of pixel circuits with transistors with high carrier mobility is being promoted. However, the high cost due to the high-temperature process and photolithography process is a problem. Organic materials have weak intermolecular forces and are excellent in flexibility. In addition, organic materials can be formed at a low temperature and can be dissolved in a solution, such that a semiconductor can be formed on a resin substrate by printing. However, to apply an organic thin-film transistor (OTFT) to a pixel circuit, it is necessary to develop a technology for patterning an organic material with high definition and achieve high mobility. In this study, we aim to research and develop the OTFT technology required for realizing the flexible OLED display. This paper consists of the following chapters:

Chapter 1 describes the transition of television and the form and configuration of various flexible displays.

Chapter 2 describes the basis of the OLED and OTFT, which constitute a flexible OLED display.

Chapter 3 describes a technology to achieve the electrode formation of line/space = 7.5 μm /4.5 μm , the formation of insulating layer with recess pattern of 35 μm \times 60 μm , and an interlayer connection of contact hole with 20 μm \times 20 μm using reverse-offset printing.

Chapter 4 describes the solution-processed OTFT backplane for a 1.8-inch flexible OLED display device with multiphoton emission.

Chapter 5 describes 3.2-inch flexible color OLED displays driven by inkjet-printed high mobility OTFTs.

Chapter 6 describes the operation of a pseudo CMOS inverter and a pseudo-CMOS NAND made of p-type organic semiconductor as the logic circuit for the gate driver.

Chapter 7 summarizes the achievements of this work.

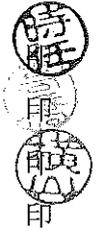
学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成30年8月2日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 時任 静士
 副査 高橋 辰宏
 副査 横山 道央
 副査
 印



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

| | | | | |
|----------|---|---------|---------------------------|------|
| 論文申請者 | 有機材料工学 専攻 有機デバイス 分野 | | 氏名 | 水上 誠 |
| 論文題目 | Study on Organic Thin Film Transistors for Application to Flexible Organic Light Emitting Diode Display (フレキシブル有機ELディスプレイへの応用に対する有機薄膜トランジスタに関する研究) | | | |
| 学位論文審査結果 | 合格 | 論文審査年月日 | 平成30年7月25日～ 平成30年7月31日 | |
| 論文公聴会 | 平成30年7月31日 | 場 所 | 工学部 11号館未来ホール (11-201) | |
| 最終試験結果 | 合格 | 最終試験年月日 | 平成30年7月31日 | |

学位論文の審査結果の要旨 (1,000字程度)

本論文はフレキシブル有機EL (OLED) ディスプレイ用のバックプレーン (BP) を塗布型有機薄膜トランジスタ (OTFT) で実現する研究に関し、計7章で構成されている。その概要と審査結果を下記に示す。

第1章では、研究背景と本論文の目的・構成を明確に述べている。

第2章では、OLEDとOTFTの構造、有機半導体材料の特徴、OTFTの動作原理について簡潔に述べている。

第3章では、凸版反転印刷法を用いBP用の画素回路電極と絶縁膜の微細化およびコンタクトホール層間接続を実現し、印刷膜の表面分析と印刷形状を解析して150dpiの全塗布型OTFTの試作に成功したことを記載している。

第4章では、塗布型OTFTを用いて300dpiのBP構造を設計し、親液性バンクとsolution-shearing法により有機半導体をOTFT間で分離することでオフ電流低減に成功できたこと、およびフレキシブルマルチフォトンエミッション型OLEDディスプレイの作製に成功したことを記載している。

第5章では、2層ゲート絶縁膜上にインクジェット法で有機半導体 (DTBDT-C6) を塗布形成した高移動度のOTFTを作製し、移動度と有機半導体膜の構造および膜厚との関係を述べている。また、この塗布型OTFTを用いたBPを駆動し、3.2インチのフレキシブルカラーOLEDディスプレイの作製に成功したことを記載している。

第6章では、ディスプレイ用ゲートドライバーの基本論理回路を擬CMOS-inverterと擬CMOS-NANDで構成し、画素回路と同一材料、同一プロセスで作製することにより静特性と周波数特性が良好であることを記載している。

第7章では、第1章から第6章までを総括するとともに、本研究がOTFTだけではなくプリンテッドエレクトロニクス全般にわたり新たな学術領域の創生に寄与することを述べ、本論文をまとめている。

以上のことから、本論文は工学における学術的探求と有機エレクトロニクスデバイスの実用化への貢献という観点から、博士(工学)の学位を授与するに十分であると判断した。また、本研究成果は学術論文(2報掲載済み)によってまとめられており、当該専攻の審査基準も満たしている。以上を総合的に判定し、研究成果及び研究内容ともに学術的貢献が十分に認められたため合格と判定した。なお本論文は、研究倫理又は利益相反等に係る学内規則に基づく手続きは必要ありません。

最終試験の結果の要旨

最終試験は55分の学位論文内容の口頭発表及び25分間の質疑応答より実施した。発表では研究の背景及び課題と目的を述べ、その後に具体的な研究内容について説明がなされた。塗布型OTFTを用いたBPの電極と絶縁膜の高密度印刷法、有機半導体の塗布法と高移動度化に向けたプロセス、そのプロセスを用いたOLEDディスプレイ応用に関して明快に説明がされた。質疑応答では有機半導体の塗布法が性能に与える影響、積層ゲート絶縁膜に関する質問があった。これに対して申請者は適切かつ具体的に回答できた。その結果、博士(工学)の学位を授与するのに十分な知識と能力を有していると判断した。以上の結果より、最終試験を合格とした。