4章 有機ELマイクロディスプレイ

木村 圭[†], 内野勝秀[†]

キーワード：マイクロディスプレイ、有機EL、EVF、ヘッドマウントディスプレイ

1. まえがき

有機EL (Organic Light Emitting Diode: OLED) 素子は、固体の自発光デバイスであることを特長とするため、LCD (Liquid Crystal Display) と比較して、高コントラスト・高速応答を実現できる。このため、高画質なディスプレイデバイスの実現に向け、テレビ向けの大型ディスプレイや、スマートフォン・タブレット端末などに向けた中小型ディスプレイへの応用を中心に注目を集めてきた。

この高コントラスト・高速応答といったOLEDの特長は、デジタルカメラのEVF (Electronic View Finder) や、ヘッドマウントディスプレイにおいても大きなメリットとなる。これらの製品においては、小型軽量化のためにディスプレイパネルとして、0.5インチクラスのマイクロディスプレイを使用するが、表示される映像はレンズを介して拡大されるため、XGA (1024 × 768) クラスの高精細化が要求され、精細度としては2,000ppi (pixel per inch) 以上となる。

図1 M-OLEDパネル外観写真 (口絵カラー参照)

[†]ソニー株式会社 RDS プラットフォーム デバイス&マテリアル研究開発本部 ディスプレイ開発部門
"OLED Micro Display" by Kei Kimura and Katsuhide Uchino (Display Development Division, Device & Material R&D Group, RDS Platform, Sony Corporation, Atsugi)

本稿では、図1に示すような高精細なOLEDマイクロディスプレイ (M-OLED) の実現方法について、パネルデバイス構造、White OLEDデバイス技術、画素を駆動する回路技術を紹介する。

2. パネルデバイス構造

AMOLED (Active Matrix OLED) を高精細化するためには、駆動基板 (バックプレーン) と、OLED素子の高精細化を同時に進める必要がある。以下では高精細化を実現するM-OLEDのデバイス構造と、パネルシステムの概要について紹介する。

2.1 M-OLEDデバイス構造

M-OLEDのデバイス構造を図2に示す。

一般に中小型や大型ディスプレイでは、バックプレーンとしてガラス上に半導体材料、配線を成膜し製造される低温ポリシリコンTFT (Thin Film Transistor) 基板や、酸化物半導体TFT基板が使用される^{1) 2)}。TFT基板は大型化が可能な一方、高精細なマイクロディスプレイに要求される微細な配線・トランジスタを形成することは困難である。

そのため、M-OLEDではバックプレーンとして、微細配線が可能で、数 μm オーダーの微細なトランジスタが形成可能な単結晶シリコンウェハを使用したCMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 基板を用いている。シリコン

図2 M-OLEDデバイス構造

ウェハは直径200 mmや300 mmであり、0.5インチクラスのマイクロディスプレイであれば、1ウェハから多数のパネルが得られる。

OLED素子は、アノード電極上に蒸着成膜することによって形成される。カラー表示を実現する場合の方式としては、RGB素子を個別にパターニングする塗り分け方式と、白色発光するWhite素子を一括蒸着し、色分離はCF (Color Filter) で行うWhite OLED+CF方式が挙げられる。塗り分け方式の場合、メタルマスクを使用し、RGB毎に他の色の電極開口部をマスキングして蒸着する必要がある。このため、メタルマスクの位置合わせ精度が画素ピッチを制限してしまい、高精細化が困難である³⁾。一方、White OLED+CF方式であれば、バックプレーン基板上にOLED素子を一括蒸着で形成することができるため、蒸着マスクはパネル単位での開口となる。これにより、精細度はバックプレーンのみに依存し、OLED素子には依存することなく高精細化が可能なので、M-OLEDではWhite OLED+CF方式を利用している。

2.2 パネルシステム構造

AMOLEDをパネルとして動作させる際には、画素回路の他に信号線を充放電する水平走査ドライバ(H Driver)、行選択を行う垂直走査ドライバ(V Driver)などの周辺駆動回路が必要となる。M-OLEDにおいては、CMOS基板を使用しているため、駆動回路をパネルと一括してバックプレーンに製造し、内蔵することが可能となる。加えてタイミングコントローラ(T-CON)、ガンマ電圧生成回路、デジタル-アナログ変換回路(DAC)も内蔵しているため、図3に示すように、パネルシステムとしてAll in One Package構造となっている。

3. White OLEDデバイス技術

OLED素子としてWhite OLEDを使用し、色分離にCFを使用する際の大きな課題として、効率・寿命と色安定性の二つが挙げられる。以下ではこれら二つの課題の詳細と、その対策について述べる。

3.1 White OLEDにおける課題

(1) 効率・寿命の課題

図4に示すように、White OLED+CF構成では、White発光がCFによって分離されてロスが発生するため、OLED素子の発光の取出し効率が約1/3となる。このため、CFなしの場合と同等の輝度を得るには、OLED素子に印加する電流として約3倍必要となる。OLED素子は印加する電流に依存して劣化していくため、White OLED素子を用いる場合、寿命が課題として挙げられる。

(2) 色安定性の課題

高画質化のためには、色再現範囲を広く取る必要があるため、図5に示すように、White OLEDの発光層(Emissive Layer:EML)としてR, G, B3層を成膜するデバイス構造

図3 M-OLEDパネルシステムブロック図

図4 White OLED発光のCFロス

図5 White OLED素子デバイス構造

を採用している。しかし、この構造では素子に印加する電流に依存して発光バランスが変化してしまう。このため、白色発光の色度が発光輝度によって変化してしまい、色安定性が悪いという課題がある。

3.2 デバイス構造による対策

これら効率・寿命・色安定性という課題を解決するため、弊社ではOLED素子のデバイス構造を検討した。まず効率・寿命改善の検討にあたり、解析の簡略化のため、OLED素子のEMLをB単層としたデバイスを用いて実験を行った。効率改善のために、キャリア移動度の高い新ETL (Electron Transport Layer) 材料を用いたデバイスを試作し、汎用的に用いられるETL材料tris (8-hydroxyquinolino) aluminium (Alq₃) を使用したデバイスと比較した。実験結果を図6に示す。外部量子効率 (External Quantum Efficiency: EQE) は改善されたが、寿命は悪化するという結果が得られた。これはOLED素子のホール・電子のキャリアバランスとして電子が過剰になった結果と考えている。長寿命化を実現するため、新ETL材料と、HTL (Hole Transport Layer) の膜厚構成を変更した実験を行った。図7に示すのは、試作したデバイス膜厚と、それぞれのEQE、寿命の測定結果である。EQEとしては、どの膜厚構成でも新ETL材料による改善が確認され、寿命としては、Type Cがもっとも良い結果となった。このことから、新ETL材料を使用するにあたってはType Cの薄HTL・厚ETL構成がキャリアバランスとして最も良くなるということがわかった。Type Cの膜厚構成におい

て、EMLをR、G、B3層のWhite OLED構造にした結果、図8に示すように、膜厚構成変更前と比較して発光スペクトルの電流密度依存性が改善された。

これらの対策によって、White OLED+CF時において高効率・長寿命・高色安定性を実現することができた⁴⁾。

4. 画素回路駆動技術

高精細なパネルを実現するにあたっては、2節にて述べたように、White OLED+CF方式を採用しているM-OLEDにおいては、バックプレーンの高精細化、つまり画素回路の小型化がポイントとなる。

4.1 OLED画素回路の課題

図9に、LCDの画素回路とOLEDの画素回路をそれぞれ示す。LCDでは各画素にトランジスタ1個、容量素子1個の1T1C構成だが、OLEDでは各画素にトランジスタ2個、

図8 薄HTL・厚ETL構造による色安定性の改善

図9 LCDとOLEDの画素回路

容量素子1個の2T1Cが最低でも必要となる。LCDは電圧駆動のため、トランジスタT1をスイッチとし、信号線電圧(Vsig)をCs容量に書込めば画素回路としての動作が完了する。これに対し、OLED素子は電流駆動のため、信号書き込みトランジスタ(WS Tr.)をスイッチとしてVsigをCs容量に書込むことに加え、EL駆動トランジスタ(DR Tr.)を電源(Vcc) - Vsigの電位差で電流制御する電流源として使用し電圧-電流変換をする必要がある。このとき、DR Tr.が制御する電流は以下の式で表される。

$$I_{el} = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} \{ (V_{cc} - V_{sig}) - V_{th} \}^2$$

ここで μ はDR Tr.の移動度、 C_{ox} はゲート絶縁膜単位容量、 L 、 W はDR Tr.の素子サイズ、 V_{th} はDR Tr.の閾値電圧である。 μ 、 V_{th} はトランジスタの特性値としてばらつきを

持つため、同じVsigを書込んでも各画素でOLED素子に印加する電流がばらつく。その結果、画素毎の輝度が異なることになり、DR Tr.の特性ばらつきが表示均一性(ユニフォミティ)不良として視認されてしまう。特性ばらつきによって発生するユニフォミティ不良としては、ムラ、スジ、ザラつきが挙げられ、これらが視認されるとパネルの商品性としては大きく悪化してしまい問題となる。LCD画素回路では、トランジスタをスイッチとして使用しているため、トランジスタ特性ばらつきがユニフォミティに影響を与えることはないが、OLED画素回路ではユニフォミティを向上させるよう、DR Tr.特性のばらつきを補正する必要がある。一方で、高精細化を実現するためには、画素回路規模の増加を避ける必要があるため、ばらつき補正を実現しつつ、2T1Cの基本回路構成からの素子数増加を極力抑えなければならない。

4.2 2T2C画素回路駆動

M-OLEDでは、2個のn型トランジスタと2個の容量素子の2T2Cで画素回路を構成することで高精細化を実現しつつ、ばらつき補正を行っている⁵⁾。図10に画素回路図と、回路駆動のタイミングチャートを示す。線順次駆動の1行走査期間(1H)ごとに補正をかけ、各画素で自動的に補正がかかる駆動としている。1H内は以下の4つのオペレーション時間で構成される。

- (1) リセット：DR Tr.のGate・Sourceノードを、電源走査パルス(DS)を立ち下げることで初期化する。
- (2) Vth補正：信号書き込み走査パルス(WS)を立ち上げ、Gateノードにばらつき補正のためのオフセット電圧(Vofs)を書込む。その後DSを立ち上げることで、DR Tr.が電流を流しはじめ、Gate-Source間電圧(Vgs)が各画素のVthになるまでSourceノードを上昇させるようにCsub容量への充電を行う。これにより、Cs容量にVthが保存されVth補正が行われる。
- (3) 信号書き込み・ μ 補正：GateノードにVsigを書込む。このとき、VgsはVthより大きくなるため、DR Tr.は電流を流す。このままVsigを書込み続けていると

図10 M-OLEDの画素回路とばらつき補正駆動

再度 V_{gs} が V_{th} になるまでSourceノードの電圧は上昇するが、 μ の大きさに応じてSourceノードの電圧が上昇する時間が変わることを利用し、 μ ばらつきが補正できるよう、WSのパルス幅を適切に設定する。これにより信号書き込みと μ 補正が同時に行われる。

(4) 発光：OLED素子に電流を流すことで、各画素の発光が開始される。

ばらつき補正なしの場合と、上記補正駆動を行った場合のシミュレーション結果を図11に示す。 V_{th} 、 μ のばらつきが補正され、DR Tr.の特性がばらついても良好なユニフォミティが得られる結果となった。

5. むすび

以上のように、M-OLEDのパネルデバイス構造、長寿命・広色域を実現するためのWhite OLEDデバイス技術、高精細・高ユニフォミティを実現するための画素回路駆動技術について紹介した。

M-OLEDの主なアプリケーションとしてEVF、ヘッドマウントディスプレイ等が挙げられるが、今後はパネルをさらに小型・高精細化するとともに、視認性向上のための高

図11 ばらつき補正駆動シミュレーション結果

輝度化、モバイルユースに向けた低消費電力化の開発がより一層重要になると考えている。

(2014年3月31日受付)

〔文 献〕

- 1) H. Oshima et al.: "High-Performance LTPS Technologies for Advanced Mobile Display Applications", SID Dig., pp.1482-1485 (2008)
- 2) N. Morosawa et al.: "A Novel Self-Aligned Top-Gate Oxide TFT for AM-OLED Displays", SID Dig., pp.479-482 (2011)
- 3) M. Lee et al.: "Development of 31-inch Full-HD AMOLED TV Using LTPS-TFT and RGB FMM", SID Dig., pp.802-804 (2009)
- 4) E. Kambe et al.: "Stable White OLED Device Structure for 3D-Compatible Head Mounted Display", SID Dig., pp.363-366 (2012)
- 5) Y. Onoyama et al.: "0.5-inch XGA Micro-OLED Display on a Silicon Backplane with High-Definition Technologies", SID Dig., pp.950-953 (2012)

木村 圭 2008年、ソニー(株)入社。半導体設計技術開発を経て2012年より有機ELディスプレイ開発に従事。

内野 勝秀 1991年、ソニー(株)入社。液晶ディスプレイ開発を経て有機ELディスプレイ開発に従事。