2

中小型有機ELディスプレイ

鈴木雅彦[†], 木村裕之^{††}, 中村智樹[†], 軍司雅和[†]

キーワード 有機EL, 薄膜トランジスタ, 画素, 高精細

1 ま え が き

有機EL (Organic Light Emitting Diode: 以下OLED) 素子は、固体の自発光デバイスであることを特徴とする素子である。このためOLEDはLCD (Liquid Crystal Display) と比較して、

- (1) 自発光：バックライト不要の薄型化ポテンシャル、発光を完全にOFFできる高コントラスト特性。
- (2) 固体素子：曲面ディスプレイ/シートディスプレイのポテンシャルと優れた応答速度。

を実現できるディスプレイデバイスとして注目を集めてきた。近年ではスマートフォンを中心とする中小型市場において、ハイエンドを中心にマーケットに独自の位置を占めつつある。

本章では、中小型OLEDパネルの高精細化、効率改善(低消費電力化/高輝度化)、画素回路と駆動方式についての話題を中心に、その概況について述べる。

2 中小型OLEDパネルの高精細化

図1に、中小型ディスプレイ市場における高精細化のトレンドを示す。LCDにおいてはスマートフォンのハイエンド製品で4.7インチ～5.3インチの画面サイズでFull-HD (1920×1080) 製品がすでに主流であり、500ppiクラスの製品の開発も現実のものとなりつつある。また、タブレットではすでに10インチクラスでWQXGA (2560×1600) の製品が市場投入されており、4K2K (3840×2160) の登場も時間の問題といえる。このようなLCDのトレンドから、中小型OLED市場においても、同様の高解像度化が求められるのは必須といえる。

AMOLED (Active Matrix OLED) を高精細化するためには、TFT (Thin Film Transistor) 基板(バックプレーン)

図1 中小型ディスプレイの高精細化

図2 FMM方式による成膜パターンニング

とOLED素子の高精細化を同時に進める必要がある。TFTについては後述するため、ここでは現在主流である低分子OLED素子の高精細化について述べる。

2.1 FMM方式成膜パターンニング

現在主流となっている生産方式は、FMM (Fine Metal Mask) 方式によるRGB塗り分け成膜技術である。同技術は、図2に示すように、TFT基板上に孔開け加工された金属箔(蒸着マスク)でマスキングし、RGB毎に、各画素のアノード電極上にOLED素子を構成する蒸着膜を、パターンニングする方法である。この方法では、蒸着マスクの孔加工精度やTFT基板との位置合わせ精度が、ディスプレイの精細度や開口率を制限してしまう。図3にRGBの縦ストライプ構造のディスプレイにおける、開口率をパラメータとしたときの蒸着マスクの孔位置精度と精細度の関係を示す。高精細化するほど開口率を確保することは困難となる。このような課題への対応技術として、画素配置、開口形状

[†] 株式会社ジャパンディスプレイ 研究開発本部 OLED開発部

^{††} 株式会社ジャパンディスプレイ 研究開発本部 TFT-LCD開発部

"Small and Medium-sized OLED Display" by Masahiko Suzuki, Tomoki Nakamura and Masakazu Gunji (OLED R&D Department, Research & Development Division, Japan Display Inc., Tokyo), Hiroyuki Kimura (TFT-LCD R&D Department, Research & Development Division, Japan Display Inc., Chiba)

図3 パネル精細度とFMM位置精度 (RGBストライプ)

等を工夫することで、より高い精細度を実現することが検討されている。

また、FMM方式の課題の一つとして、マスクへの着膜による精度の劣化がある。このため、マスクの交換回数が多く必要で、マスク管理工程への設備投資も大きくなる。この問題点は蒸着基板サイズが大きくなるほどより顕著となる。中小型ディスプレイ向けTFT基板では、現在は第6世代(G6, 基板サイズ: 1500mm×1850mm)までの量産展開が進んでいるが、FMM方式成膜パターンニングでは、第5.5世代(G5.5, 基板サイズ: 1300mm×1500mm)を4分割したサイズ(650mm×750mm)が量産の上限であると考えられている。

2.2 白色OLED+CF

高精細パターンニングを避けて、OLED素子の高精細化を実現する手段の一つとして、白色OLED+CF(Color Filter)技術が考えられる。白色OLED+CF構成では、OLED素子をTFT基板上に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の開孔となる。このため解像度はTFT基板の解像度のみに依存し、OLED素子には依存しない。

比較的直近の高精細OLED素子形成手法は、上記2手法が主たる者であると考えられるが、OLED材料開発と連動する形で、レーザ転写法、インクジェット印刷等の検討も進められている。

3 効率改善(低消費電力化/高輝度化)

中小型ディスプレイは、モバイル用途が主と考えられるため、バッテリーの持ちに直結する消費電力の低減は重要な検討項目である。OLEDは電流駆動で使用するため、一定電流値における駆動電圧低減、高輝度化はどちらも低消費電力化につながる。

OLEDでよく使用されている発光に関する効率は、内部量子効率と外部量子効率の2種類がある。内部量子効率は、OLEDに注入された電荷に対して得られる光子の割合であり、材料に起因する効率である。外部量子効率は内部量子

図4 OLEDの発光素過程

効率に光取出し効率を加味した効率である。図4にOLED発光素過程を示す。発光層内に注入された正孔と電子が再結合することによって、有機分子が励起状態となり、励起状態から基底状態へ遷移する際に、材料毎に固有の光が放射されるという現象である。有機分子の励起状態は、電子のスピンの向きによって一重項励起状態(S1)と三重項励起状態(T1)に分かれ、S1からの発光を蛍光、T1からの発光を燐光と呼ぶ。S1とT1の生成確率は、過去の研究から25%と75%と見積もられており¹⁾、燐光を利用する場合には蛍光と比較して約4倍の発光が期待できる。

現在、蛍光材料の内部量子効率は、理論上の限界値付近に達しているため、さらなる内部量子効率改善を進めていくためには燐光材料の活用は避けられない。

赤色や緑色などの燐光ゲスト材料は、開発が進みモバイルディスプレイ等で実用化されている。一方、青色の燐光ゲスト材料は発光色や安定性の観点で開発が遅れており、更なる開発の加速が望まれる。

また、燐光ゲスト材料を利用するにあたり、重要な検討項目としてホスト材料を含む周辺材料の三重項エネルギー(E_T)がある。燐光ゲスト材料よりも周辺材料の E_T が小さい場合、周辺材料へと励起子のエネルギー移動が生じて非発光の無放射失活を起こしやすくなるため、燐光ゲスト材料の E_T に合わせた周辺材料の検討も重要な課題の一つである。

燐光ゲスト材料は、内部量子効率の点において非常に優秀であるが、イリジウムなどのレアメタルを含む錯体化合物であり、コストへの負荷が大きくなってしまふ。より安価で高効率な材料として、近年、遅延蛍光材料の開発が進められている。これは、無放射失活してしまう三重項励起子を利用して蛍光を生じる材料であり、三重項励起子の衝突から一重項励起子を生成するTTF(Triplet-Triplet-Fusion)²⁾(図5)や、一重項励起準位と三重項励起準位の差を限りなく近づけることで、三重項励起準位から一重項励起準位への励起子エネルギー移動を行うTADF(Thermally Activated

図5 TTFの発光素過程

図6 TADFの発光素過程

Delayed Fluorescence)³⁾ (図6) を利用する材料が知られている。TADFでは100%近い内部効率を実現できる⁴⁾。

三重項励起子を利用することで、蛍光の理論限界を超える内部量子効率が得られており、これからの有機材料開発のキーになると思われる。

外部量子効率の観点では、OLED内部で生じた光は、有機層、ガラス、空気を通して外部へ取出されるが、一般的な有機材料の屈折率は $n=1.8\sim 1.9$ の高屈折率材料であるため、屈折率の異なる空気 ($n=1.0$) やガラス ($n=1.5$) との界面において、特定角度以下で入射する光は全反射が起こり、大気中に取出することができない (図7)。

結果として、光取出し効率が20%程度に留るため、内部量子効率が100%であっても、外部量子効率が20%となり、80%の光がOLEDデバイス内部で消えてしまっている。そのため、低電力化における光取出しの効率には改善の余地が大きく、重要な検討項目である。光取出し効率改善としては、全反射低減を目的として有機層に近い高屈折率層を挿入し、屈折率差を低減する方法がある。高屈折率層に関しても、微細加工を行って、マイクロレンズを形成することにより発光の取出し方向を制御する方法や、発光を散乱させて光取出し効率を改善する方法も検討されている。

また、最近では新たなこころみとして、発光分子の配向を制御して光取出しを改善する方法も検討されている。こ

図7 OLED素子内に閉じ込められる光

図8 配向による発光方向の差

れは、発光分子の遷移双極子モーメントを基板面に対して平行方向に配向させることで、分子からの発光を基板面に対して垂直な方向に揃えて光取出し効率を改善する方法であり、発光分子をランダムに配向した場合と比較して、1.5倍に向上させることができる⁵⁾ (図8)。

4 OLEDとLCDの画素構造

高精細化に伴い、OLEDパネルの画素回路や駆動方式も重要な開発ポイントとなってくる。すでにLCDでは500ppiは製品化されており、651ppiについても発表されている⁶⁾。図9に示すように、一般的に、LCDでは各画素にTFT (SST) 1個。OLEDでは各画素に最低2個のTFT (SST, DRT) が必要となり、高精細化に対しては不利な部分が多い。このため、特に高精細向けには、TFT配置や開口率確保の観点から、Top-Emission構造を採用することが多い。

LCDではSSTは、画素に電荷を充電するためのスイッチとして機能しているため、多少の特性差が合っても、充分充電できれば表示ムラは発生しないが、OLEDパネルではOLEDの発光特性に合わせ、DRTにて電流制御するため、TFT特性に敏感で、ムラが発生しやすい。このため、TFT特性を補正する必要がある。TFT特性補正については、外部回路で補正をする方法もあるが、中小型ディスプレイの場合、コストや回路面積等踏まえると、画素内補正が望ましい。このため、OLEDにて高精細ディスプレイを実現するには、2.2項に説明したような、白色OLED + CF方式だけでなく、画素回路や駆動方法に工夫が必要となってくる。特に、白色OLED + CF方式にて最大限の効率を引き出すには、図10に示すように白サブ画素(W)を加え

図9 LCDとOLEDの画素回路比較

図10 RGBW画素構成

たRGBW画素構成が望ましく、画素面積はRGB画素に対して、さらに75%にシュリンクされる。例えば、5.2型FHD(423ppi)の場合、RGBW画素では、564ppi相当の画素にTFT、Cs容量、配線等を配置することが必要となる。

5 画素回路・駆動方式

このように、中小型高精細OLEDパネルを実現する上で、プロセス面の改善も必要であるが、画素回路、駆動方法の開発は非常に重要となってくる。

画素回路としては、前述の補正なしの2T1Cに対して、時分割駆動等で補正動作を行う駆動方法や、TFTを増やして補正動作を加えた構成など、いろいろなバリエーションがある。ただ、時分割駆動等にて補正動作を行う場合、複雑な制御が必要となる。高精細が進むということは、画素数も増加する方向であり、1H時間がどんどん短くなる。例えば、720HDでは約13μsecあった1H時間が、FHDでは約8.6μsecとなる。この時間をベースとして、補正動作含めた制御を行う必要がある。また、TFT数を増やして補正する場合は、画素面積縮小によるレイアウト限界に対して、プロセス面含めた対策が必要となってくる。

また、高精細化に伴い、LCD同様にCs容量確保も重要となる。DRTにて電流制御するため、SSTからのリーク電流やカップリング変動含め、ゲート電圧V_{gs}の安定度は非常に重要なファクタとなる。

画素回路・駆動方式については、上述した問題点を考慮

しながら開発を進める必要があり、非常に難易度が高い。

バックプレーンとしても、量産に適用されているLTPS(Low Temperature Poly Silicon)のほか、低温で形成できるTAOS(Transparent Amorphous Oxide Semiconductor)含め、今後開発動向を注視していく必要がある。

6 おすび

以上のように、中小型OLEDパネルの高精細化、効率改善(低消費電力化/高輝度化)、画素回路と駆動方式の技術動向について簡単に報告した。LCDの高精細化の進捗により、OLEDにも日進月歩の技術開発が要求される状況ではあるが、将来の曲面ディスプレイ、フレキシブルディスプレイの実現に向けて、さらなる挑戦が続いている。

(2013年9月13日受付)

〔文 献〕

- 1) W. Helfrich and W.G. Schneider: Phys. Rev. Lett., 14, pp.229-231 (1965)
- 2) 熊 均, 舟橋正和, 山本弘志, 藪ノ内伸浩, 福岡賢一, 細川地潮, 神戸江美子, 吉永禎彦, 福田俊広, 鬼島靖典: 有機EL討論会第7回例会, S9-1 (2008)
- 3) A. Endo, M. Ogasawara, A. Takahashi, D. Yokoyama, Y. Kato, C. Adachi: Adv. Mat., 21, pp.4802-4806 (2009)
- 4) H. Uoyama, K. Goushi, K. Shizu, H. Nomura and C. Adachi: Nature 492, pp.234-238 (Dec. 2012)
- 5) J. Frischeisen, D. Yokoyama, A. Endo, C. Adachi, W. Brütting: Org. Electron., 12, pp.809-817 (2011)
- 6) Y. Hisatake, T. Iizuka, T. Kawamura, T. Nishibe and Y. Takubo: SID12 Digest of Technical Papers, pp.1194-1197 (2012)

鈴木 雅彦 1984年、東北大学工学部電子工学科卒業。同年、(株)日立製作所に入社。TFT液晶の開発に従事。TFT量産化、IPSのパネル開発を担当。2012年より、ジャパンディスプレイ研究開発本部OLED開発部にてOLEDディスプレイの開発を担当し、現在に至る。

木村 裕之 1991年、(株)東芝入社。東芝松下ディスプレイ、東芝モバイルディスプレイを経て、2012年より、(株)ジャパンディスプレイ研究開発本部TFT・LCD開発部に所属。LTPS、OLED開発に従事、特にアレイ設計を担当し、現在に至る。

中村 智樹 1994年、電気通信大学大学院電子工学専攻博士前期課程修了。同年、(株)日立製作所入社。CDT用電子銃開発、FED電極構造開発、PDP開発、OLEDパネル開発に従事。2012年、(株)ジャパンディスプレイ発足と同時に研究開発本部OLED開発部に所属し、現在に至る。

軍司 雅和 2005年、(株)日立ディスプレイズ入社。OLED開発本部に所属し、素子設計・評価を担当。2010年、同社FPD設計本部に所属し、液晶モジュール設計を担当。2012年、(株)ジャパンディスプレイ研究開発本部に所属。OLEDの素子設計・評価を担当し、現在に至る。