

フレキシブルOLEDディスプレイ

Flexible OLED Display

二星 学*¹ 塚本 優人*¹ 菊池 克浩*¹ 三ツ井 精一*¹

Manabu Niboshi Yuto Tsukamoto Katsuhiro Kikuchi Seiichi Mitsui

池田 寿雄*² 瀬尾 哲史*² 平形 吉晴*² 山崎 舜平*²

Hisao Ikeda Satoshi Seo Yoshiharu Hirakata Shunpei Yamazaki

我々は高精細、高信頼性を持つ3.4型フレキシブルOLEDディスプレイを開発した。OLEDデバイスは、白色カラーフィルタ方式で上部光取り出し（Top-Emission）を採用しており、白色デバイスの積層構造の中の発光領域を制御することによって輝度劣化を抑制し、長寿命なデバイスを実現した。またフレキシブル化には剥離転置法を用いる事で高い特性のTFTを作製し、フレキシブル基板上に高精細なOLEDディスプレイを実現した。

本稿では、この高精細、高信頼性を実現したフレキシブルOLED技術について紹介する。

We have developed a high-resolution 3.4-inch flexible top emitting OLED display. A long lifetime and color-shift-free OLED device has been realized by the newly developed light emitting layers in the tandem structure. The high-performance TFTs fabricated on a flexible substrate by the transfer technology contribute to realizing a high-resolution flexible OLED. This paper describes our flexible OLED technologies.

1. はじめに

自発光であるOLEDディスプレイの特徴を活かしたフレキシブルOLEDディスプレイの開発が各社で進んでいる。当社は半導体エネルギー研究所との共同開発の結果、3.4型高精細フレキシブルディスプレイを作製することに成功した（図1）。

本フレキシブルディスプレイを実現するための重要な要素技術としては、

- (1) 高信頼性OLED素子技術
- (2) フレキシブル化技術

の2つが大きな構成技術となっている。

もちろん他にもOLEDディスプレイを駆動するTFT基板に関するプロセス、駆動技術およびOLEDの信頼性を確保する耐湿封止技術など数多くの構成技術が盛り込まれているが、本稿では、上記2つの特長要素技術について、具体的には、(1)に関してはより色ズレ、輝度劣化の小さい素子開発の成果を、(2)に関しては、これまでのガラス基板での作製プロセスの利点を最大限に活かした“剥離転置方式”について述べる。

2. 高精細OLED素子作製技術

2.1 白色カラーフィルタ、上部光取り出し方式

OLEDディスプレイを実現するうえで、発光層をRGB毎に形成する塗り分け方式と白色で発光するOLEDに

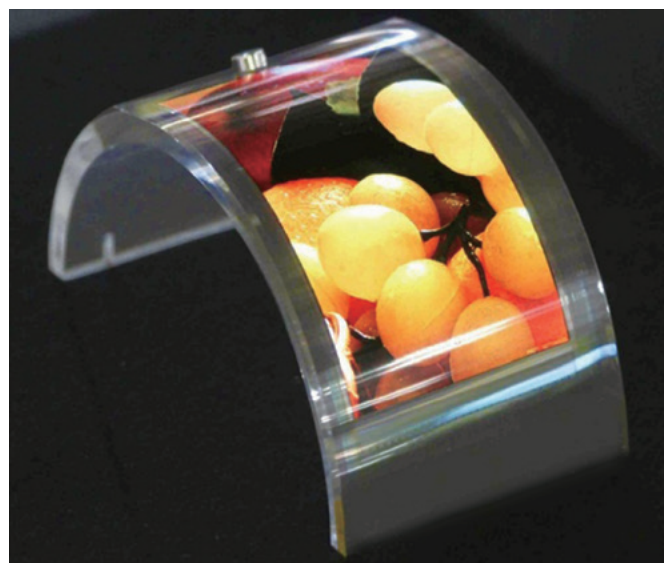


図1 3.4型フレキシブルOLEDディスプレイの写真
Fig.1 Photograph of 3.4 inch flexible OLED display.

*¹ ディ스플레이デバイス開発本部 新規事業開発センター

*² 株式会社半導体エネルギー研究所

表1 3.4型フレキシブルOLEDディスプレイの仕様
Table 1 Specification of 3.4 inch flexible OLED display.

Specifications	
Screen Diagonal	3.4-inch
Driving Method	Active Matrix
Resolution	540 × RGB × 960 (QHD)
Pixel Density	326 ppi
Aperture Ratio	57%
Data Driver	Integrated
Source Driver	Integrated
Emission type	Top Emission
Bendability	R = 10mm
Thickness	70 μm
Weight	2g
Power consumption	418.4mW
NTSC	93%

カラーフィルタを用いて色を表現する白色カラーフィルタ方式がある。

塗り分け方式は、絵素の大きさに相当する蒸着マスクを用いて、RGBをそれぞれ形成する。従って、精細度が向上するに従い、小開口、高精度なファイン蒸着マスクが必要となり、蒸着装置内でも基板と高精度なアライメント制御が要求され、プロセス上の大きな技術課題がある。一方で、白色カラーフィルタ方式は、RGB毎にOLED層を塗り分ける必要がない為に、ファイン蒸着マスクを必要とせず、高精細化に有利である事から、我々は、白色カラーフィルタ方式を選択して開発を推進している。

またOLEDは発光をTFT素子の上側から採光する方式（Top Emission：以下TE方式）と、TFT素子を通して下側から採光する方式（Bottom Emission：以下BE方式）の2種類に大別される。TE方式の場合はTFTの配線、サイズによらず画素面積（発光面積）を最大化できる長所があり高精細が要求されるモバイル用途に適している事から、我々は、白色カラーフィルタ方式でTE構造を採用した。

TE方式では、一般的に、OLEDの上部電極が半透明な透過性材料で構成され、下部電極（TFT基板側）が反射性材料で構成される為、上下の電極間で光干渉効果が発現される為に、特定波長の光の取り出し効果を向上させる事ができ、RGB毎に上下電極間の光学長を最適化する事で、高色純度、高効率なディスプレイを可能にできる¹⁾。

2.2 高信頼性 OLED 素子開発

2.2.1 従来の素子構造の問題点

我々が作製した白色OLED素子は、図2に示すように、GとRはリン光発光材料、Bは蛍光発光材料を用いておりB発光層とGR発光層が中間層を介して積層するタン

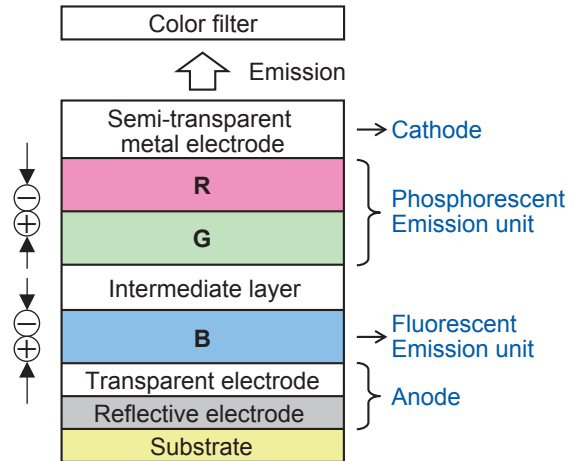


図2 白色OLEDデバイス構造模式図
Fig.2 White-emission OLED structure (Conventional B\GR structure).

DEM構造を用いている²⁾⁻⁵⁾。また、上述した光の干渉効果を発現させる為に、RGB毎で反射電極上にOLEDの陽極として形成している透明電極の厚みを最適化しており、更には、光学長の関係から波長の最も短い青発光層を反射電極に近い側に積層し、順に緑、赤と積層している。これにより、RGB絵素それぞれで青、緑、赤の発光を強調した光が取り出され、更には、色純度の足りない部分をカラーフィルタで補っている。

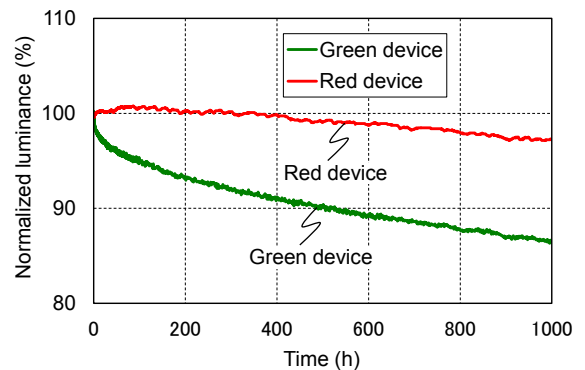


図3 従来B\GR素子の輝度劣化(緑、赤画素用素子)
Fig.3 Luminance decay of OLED devices with conventional B\GR.

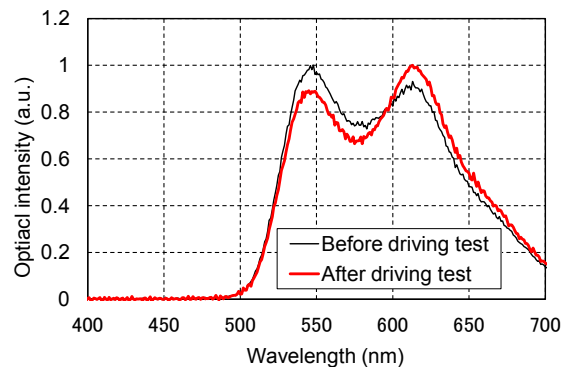


図4 GRデバイスの輝度劣化試験前後のスペクトル比較
Fig.4 GR-emission device Spectrum comparison between before and after driving test.

OLEDの発光特性の時間変化（寿命曲線）が、RGB毎に異なると、ディスプレイにおいては、使用時間と共に色度が変化してしまう（色ズレが発生する）事から、RGBの寿命曲線は一致しているのが理想的な状態と言える。寿命曲線は使用する材料、デバイスの構造に大きく影響されるが、これまでの材料、構造では、**図3**に示す通り、R、Gの寿命曲線に大きな差があり、実使用上“色ズレ”の要因となっていた。**図4**は従来構造における光学的な干渉効果が発現しないRG積層素子の駆動試験前後の発光スペクトル比較であるが、駆動（発光）後はG成分の強度が低下し、R成分が増していることが確認された。この結果から、**図5**のモデルに示すように、発光開始時はR発光層とG発光層のほぼ中間領域で正孔と電子の再結合が起こっていたが、経時変化で再結合領域がR側へシフトしたと考えられる。R素子で駆動試験直後に輝度が増加しているのも同様にこの現象が原因と考える事が出来る。本現象を改善するための素子改善を次に示す。

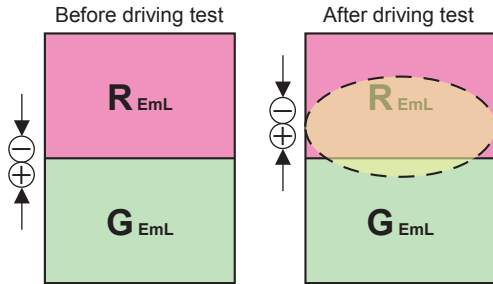


図5 GR発光領域の正孔-電子再結合領域の変化
Fig.5 Shift of emission area in GR unit.

2.2.2 新規改善構造

上述した課題を解決する為に、**図6**に示すように、これまでのB/GRのタンデム構造をB/GRGタンデム構造への変更を試みた。光学設計上、GR発光層とGRG発光層は膜厚を等しくして、従来の構造と同等の発光スペクトルが得られるように層全体の光学調整を行い、また、新しく付け加えたG層（G2層）が有効に機能をするためにR層にホール輸送材料を加えてキャリアバランスの改善も加えた。その結果、**図7**に示すように、初期劣化が起こって発光領域がシフト（**図中上側**）してもG2層の輝度で補うことができる。

図8は、**図6**で示した（a）従来構造と（b）新規構造について、定電流駆動試験を実施した結果であるが、新規構造においては、G素子の初期の急激な輝度劣化が抑えられ信頼性が向上し、R素子においても駆動試験直後の輝度上昇も抑えられた。この結果、G素子とR素子の輝度劣化特性を一致させる事が出来た。

これにより、1000時間の連続駆動試験後の白色における色度変化量（ $\Delta u'v'$ ）が従来構造では0.009であったが、新構造では0.000となり、色ズレを改善する事が出来た。

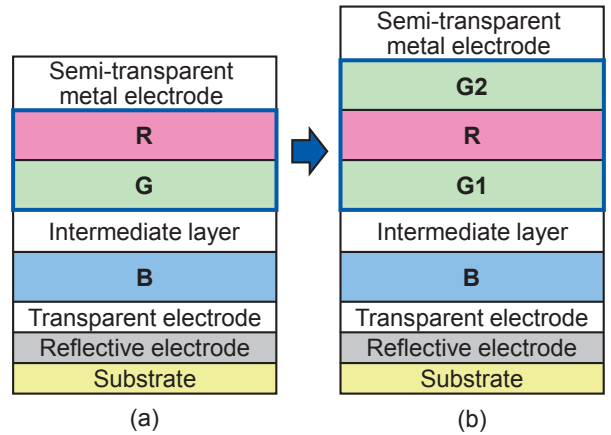


図6 従来構造（(a) B\GR）と色ズレ改善構造（(b) B\GRG構造）
Fig.6 (a) Conventional B\GR structure, (b) New B\GRG structure.

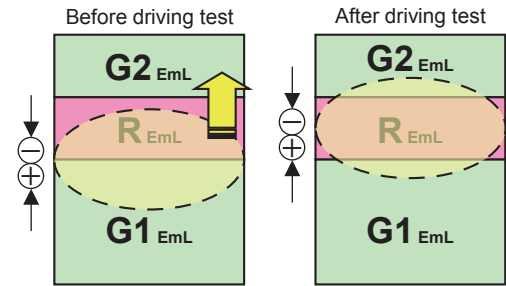


図7 GRG発光領域の正孔-電子再結合領域の変化
Fig.7 Shift of emission area in GRG unit.

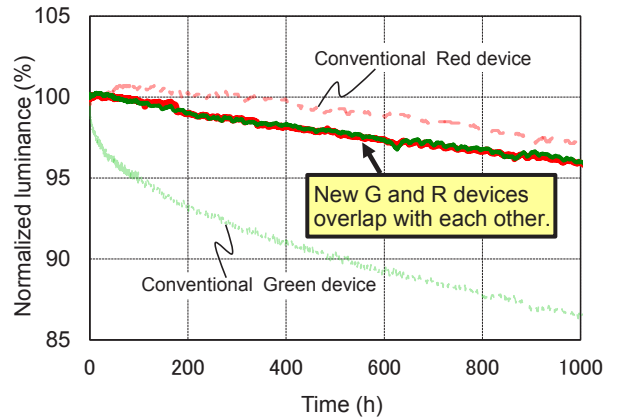


図8 新規B\GRG構造と従来構造素子の輝度劣化（緑、赤）
Fig.8 Luminance decay of OLED devices with conventional structure and new structure.

3. フレキシブル化技術

3.1 フレキシブルプロセス

これまでに様々なフレキシブルOLEDの作製方法が模索されている。我々は耐湿性が乏しいOLEDデバイスの封止性能を確保しつつ、これまでのガラス基板のプロセスの利点を活かすことができるようにガラス基板上で作製したデバイスをガラス基板から剥離して樹脂基板

へ載せ換える“剥離転置方式”を採用した⁶⁾⁻⁹⁾。図9 (a)のように、通常ガラス基板にあらかじめ剥離のために剥離層を形成し、さらに耐湿封止層を形成する。このとき封止層は、TFT製造プロセスで用いる耐湿封止性能の高い膜を用いることができる。この剥離層/封止層上に通常と同様のTFT素子、配線を形成し、白色OLED層を蒸着で形成する。一方で対向するカラーフィルタ基板にもTFT基板と同様に剥離層と封止層を形成し、この上にカラーフィルタ層を形成し(図9 (a)のC.F. substrate), OLED素子付きTFT基板とカラーフィルタ基板を貼り合わせる。

なお、この状態においてもガラス基板を用いている事から高精度の位置合わせアライメントが可能となり高精度化に有利となる。貼り合わされた2枚のガラス基板を剥離層から物理的な力を用いて切り離し(図9 (b)), 剥離されたディスプレイ基板には、保持フィルムとして熱膨張係数の低い20 μ m厚のプラスチックフィルムを接着剤を用いて貼り合せている(図9 (c))。先述の手法で、フレキ基板上に載せ換えたTFT素子の電気特性を評価した¹⁰⁾。

図10にガラス基板とフレキ基板上に転置したTFT特性を比較したグラフを示す。実線で表したものがフレキ基板上のTFTのI-V特性で、点線で表したものが

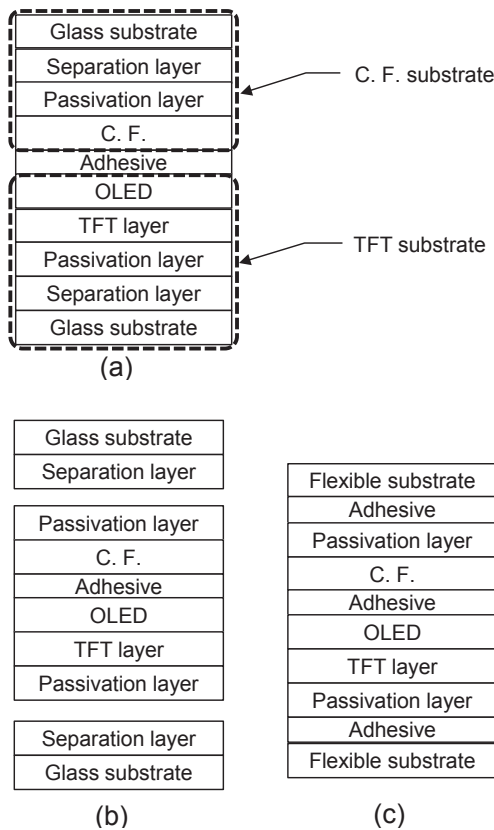


図9 フレキシブル(アクティブ)OLEDディスプレイの製造方法
Fig.9 Method for fabricating flexible AMOLED display.

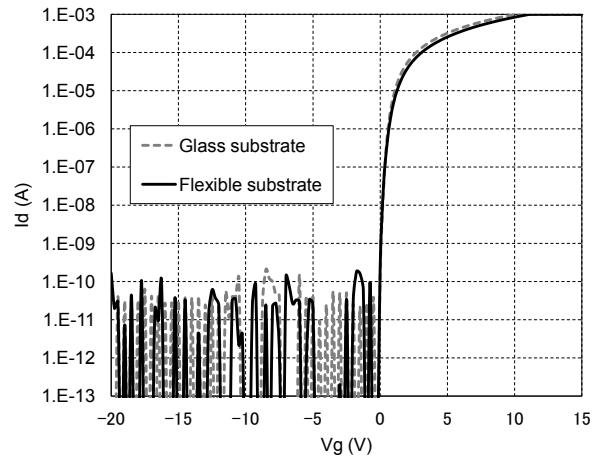


図10 ガラス基板上とフレキ基板上のTFT素子のI-V特性比較
Fig.10 I-V characteristics comparison between the TFT over the glass substrate and the TFT over the flexible substrate.

ガラス基板上のI-V特性である。

測定条件は、n-ch,L/W=3/1000,Tox=100,Er=4.1で実施した。この比較から、両特性は一致しており、剥離転置プロセスを通じた事によるTFT素子特性の変化が無い事が確認され、剥離転置方式のフレキシブルプロセスへの適応有用性が確認された。

4. おわりに

色ズレの少ない輝度劣化特性の白色OLED素子構造を開発し、ガラス基板上に剥離層、耐湿層を設けたTFT/OLED素子形成基板及びカラーフィルタ基板を用い、独自の剥離転置方式により、高性能TFT、高精細(326ppi)、高信頼を実現したフレキシブルディスプレイの作製に成功した。

フレキシブルディスプレイは、既存ディスプレイとは異なる新たなディスプレイの用途を創出できる可能性があり、今後のディスプレイ産業の発展へ寄与するキーテクノロジーとして期待されており、本技術の早期量産へ向けた開発を今後、推進する。

参考文献

- 1) D. G. Deppe et al., Journal of Modern Optics, 41, 325 (1994)
- 2) H. Nowatari et al., SID Digest, 899 (2009)
- 3) S. Seo et al., SID Digest, P-148, 1804 (2010)
- 4) S. Seo et al., SID Digest, P-157, 1837 (2010)
- 5) N. Sugisawa et al., SID Digest, 722 (2011)
- 6) K. Hatano et al., SID Digest, 498 (2011)
- 7) K. Hatano et al., Jpn. J. Appl. Phys., 50, 03CC06 (2011)
- 8) T. Aoyama et al., AM-FPD Digest, 223 (2013)
- 9) H. Shinoda et al., AMFPD2012, 273 (2012)
- 10) A. Chida et al., SID Digest, 196 (2013)