

## 有機ELフルカラーディスプレイの開発

Development of Organic EL Full-color Display

宮口 敏, 脇本 健夫, 舟木 淳, 福田 善教

Satoshi Miyaguchi, Takeo Wakimo, Jun Funaki, Yoshinori Fukuda

久保田 広文, 大下 勇, 渡辺 輝一

Hirofumi Kubota, Isamu Ohshita, Teruichi Watanabe

**要 旨** R, G, B各色ごとに最適な有機発光材料および構造の採用, 異なる発光材料を高精細に塗り分ける選択成膜法などの新技术を投入し, 5.2インチ QVGA(Quarter Video Graphics Array)パッシブマトリクス有機ELフルカラーディスプレイを開発した。本ディスプレイは, NTSC(National Television System Committee)標準に近い色純度, 輝度 150cd/m<sup>2</sup>, 画素ピッチ 0.33mm × 0.33mm, 消費電力 1.4W などの特性を有している。

**Summary** A full-color 5.2-inch QVGA passive-matrix organic EL display has developed by adopting optimum R,G,B organic emitting materials and structures respectively, and a selective deposition for the different emitting materials. The display features good color purity compared with that of the NTSC standard, white peak luminance of 150cd/m<sup>2</sup>, and an equivalent pixel size of 0.33 x 0.33 mm, and power consumption of 1.4W.

**キーワード** : 有機発光材料, 有機EL, フルカラーディスプレイ, 色純度, 選択成膜法

### 1. まえがき

有機EL(Electro Luminescence)ディスプレイは, 自発光型のディスプレイであり, 視野角が広い, コントラストが高い, 応答速度が速いなど, LCD(Liquid Crystal Display)にない特長を有しており, 1987年のC. W. Tangなどによる高輝度, 高効率有機EL素子の報告<sup>(1)</sup>以来, 有機ELの研究が活発化した。ここ数年, 有機EL素子の開発は発光機構や材料の研究だけでなく, フラットパネル実用化に向けた周辺技術の開発も盛んになってきており, 1997年の秋には緑色ドットマトリクスディスプレイが当社から世界で初めて市場導入さ

れた。その後も, 1999年にはカーオーディオ用に4色エリアカラーディスプレイが採用されるなど次世代ディスプレイとして注目を集めている。

一方, 1998年のエレクトロニクスショーには当社をはじめ数社から有機ELフルカラーディスプレイの試作モデルが展示されるなどフルカラーディスプレイの開発も急ピッチで進みつつある。

筆者らは, 以前から進めてきた単色パッシブマトリクス有機ELディスプレイの開発<sup>(2)</sup>を基に, フルカラーディスプレイの開発を行い, NTSC(National Television System Committee)標準に近い色純度などを実現したので報告する。

## 2. フルカラーの各種方式

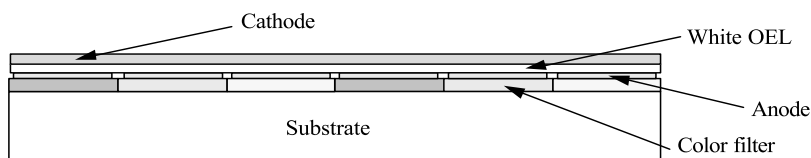
フルカラー化の方式は図1に示すように、各研究機関から多くの提案がある。各方式の発光原理は、

- (1) 白色発光する有機EL素子をカラーフィルターと組み合わせてR, G, B発光させる。
- (2) B(青)発光有機EL素子をCCM(Color Changing Media)色変換層でR, G, B発光に変換させる<sup>(3)</sup>。
- (3) シャドウマスクを用いてR, G, B各発光素子を選択的に成膜する<sup>(4)</sup>。
- (4) R, G, B各素子を垂直方向に積層してそれぞ

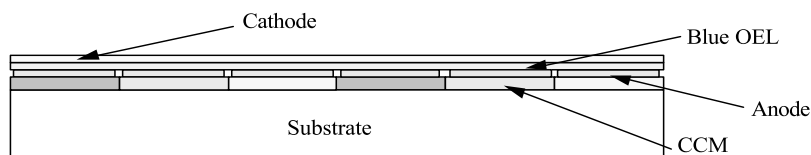
れを独立に発光させる<sup>(5)</sup>。

- (5) 高分子有機EL素子をインクジェット印刷で塗り分けR, G, B発光させる<sup>(6)</sup>。

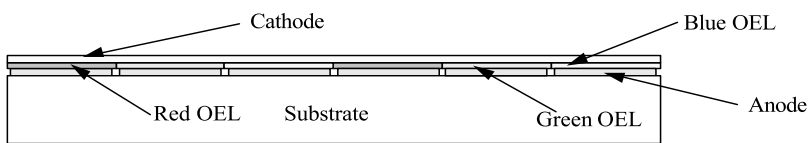
である。各方式はそれぞれ一長一短あるが、筆者らはこの中で最も高いポテンシャルを持っており、実用化に近いと考えられる「R, G, B各素子を選択的に成膜する方式」を採用した。本方式で高画質の有機ELフルカラーディスプレイを実現するためには、最適なR, G, B素子の開発、および高精細な選択成膜法の確立が必要であった。



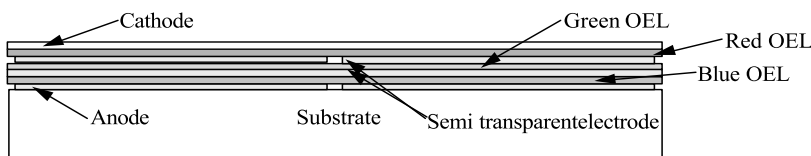
(1) White OEL with color filter array



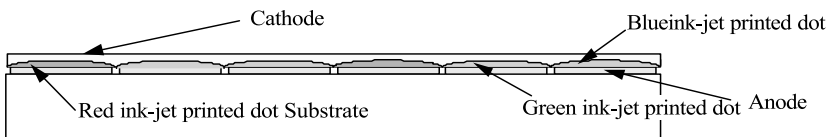
(2) Blue OEL with CCM array



(3) Patterned lateral RGB emitters



(4) Stacked RGB emitters



(5) Ink-jet printing of doped polymer emitters

図1 各種フルカラーディスプレイの発光原理

### 3. R, G, B 素子の開発

R, G, B 独立発光方式のフルカラーディスプレイを実現させるためには、高効率、良好な色純度、長寿命などの項目を満足させる素子を開発しなければならない。筆者らが採用した選択成膜法は蒸着用シャドウマスクを移動して R, G, B の画素に塗り分けるので、各画素の発光効率と寿命を最適になる条件で成膜することが可能である。

#### 3.1 素子に対する干渉の影響

フルカラーディスプレイの色再現性を左右する R, G, B 各画素の色度は、発光材料の EL スペクトルと素子自体の光学的な干渉特性に依存している。陰極の反射光の影響で外部へ取り出される EL スペクトルが変化することはよく知られている。有機 EL 素子には陰極以外の明白なミラーは存在しないが、実際にはガラス/ITO (Indium Tin Oxide (インジウム錫酸化物): 透明導電膜として陽極に使用) 界面で、特に青色領域において大きな屈折率段差があり、この陽極側反射面での反射の影響が素子の色度と効率を大きく左右する<sup>(7)</sup>。ま

た、素子内部に高反射率ミラーを作製し、マイクロキャビティとすることでスペクトルを狭線化した例<sup>(8)</sup>も報告されている。

#### 3.2 素子構造

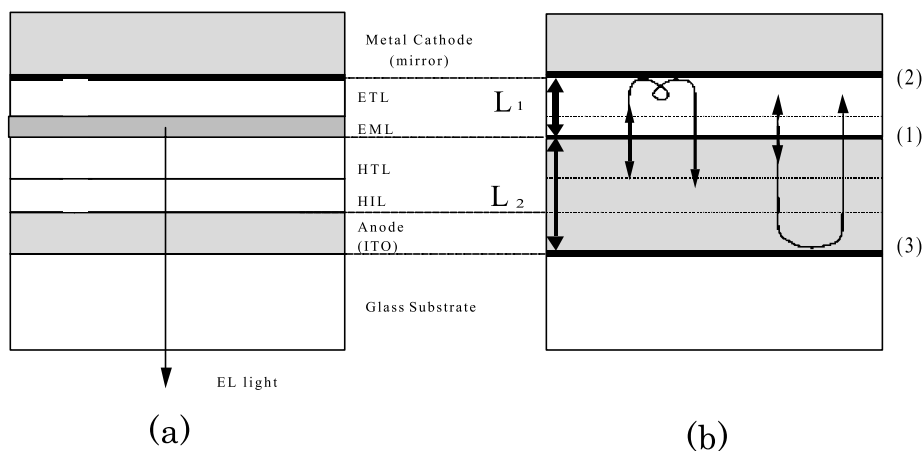
図2に素子構造を、表1に R, G, B に相当する中心波長での各構成層の屈折率を示す。図中 ETL は電子輸送層 (Electron Transport Layer)、EML は発光層 (Emitting Layer)、HTL は正孔輸送層 (Hole Transport Layer)、HIL は正孔注入層 (Hole Injection Layer) である。

#### 3.3 発光の最適条件を求める

素子内における実際の発光領域は、素子構造や使用する有機材料に依存するが、HTL/EML 界面から数～数十 nm の厚さで陰極方向に分布していると考えられている。このように発光領域と各反射面までの光学距離は一樣でないが、簡単のために発光領域は HIL/EML 界面 (発光界面) に集中しているとして扱う。陰極ミラーと発光界面との光学的距離  $L_1$  と陽極側反射面と発光界面との距離  $L_2$  をそれぞれ独立に扱って、干渉が強め合う条件を求めた。ここ

表 1 各構成層の屈折率

膜	青 ; 450 nm	緑 ; 530 nm	赤 ; 620 nm
有機物	1.85	1.75	1.72
ITO	2.01	1.93	1.76
ガラス	1.525	1.520	1.515



(a) 一般的素子構造

(b) 光学特性を考慮した素子構造

図 2 有機 EL 素子構造

で,光学距離Lは,i番目の透過層の厚さを $d_i$ ,屈折率を $n_i$ として,

$$L = \sum d_i \cdot n_i \quad \dots (1)$$

で表される。波長  $\lambda$  の光に対する干渉の強め合いの条件は,陰極反射での位相回りを考慮して,

$$L_1 = ((2m+1)/4) \cdot \lambda \quad \dots (2)$$

$$m=0, 1, \dots$$

$$L_2 = ((m+1)/2) \cdot \lambda \quad \dots (3)$$

$$m=0, 1, \dots$$

となる。

従って,光学的干渉の影響をうける外部ELスペクトルや外部量子効率が最適となるような $L_2$ を決定し,次に $L_2$ を構成する有機膜(HILやHTL)と導電率の高いITOとの膜厚バランスを調整することで,光学的に最適でかつ駆動電圧の低い素子を得ることができる。

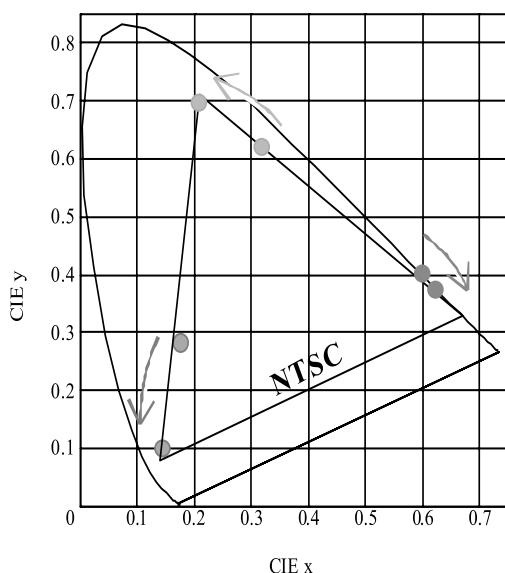
### 3.3.1 HTLの膜厚変化と色再現性

図3に各R,G,B素子のHTLの膜厚だけ変化させた時の色度座標の変化を示す。各R,G,B素子において素子に使用する有機材料,素子構造が全く同じであっても有機層の膜厚が変わるだけで,干渉

の効果により色度が大きく変化することが分かる。以上は基板正面方向のみの議論であるが,フルカラーパネルとした時,視野角による色味の変化を最小にするように素子の設計をしなくてはならない。図4には干渉の効果が現れやすい青色素子の発光放射パターンを示す。干渉を利用して基板正面方向の光を強調したにもかかわらず,予想以上に視角依存性が小さいことが分かった。

### 3.4 セルの構造の決定

以上の結果をR,G,Bそれぞれのセルに適用し,各色のセル構造を決定した。すなわち,同一厚さのITOに対し,R,G,B各画素の有機層の厚さを最適な色度,輝度効率となるように調整した。また,図5に示すよう各R,G,B3原色をフルカラーディスプレイ用に最適化することによって視角依存性を小さくすることができた。図6~8にそれぞれの素子の典型的な特性と輝度減衰曲線,表2にその主な特性を示す。このように発光色ごとに最適な特性の素子を採用することができるので,従来提案されていた他の方式に比較し,寿命や消費電力の点で有利である。



CIE coordinates of an optimized full color OEL display

図3 HTL膜厚を変化させた時のCIE色度図

### Blue Cell

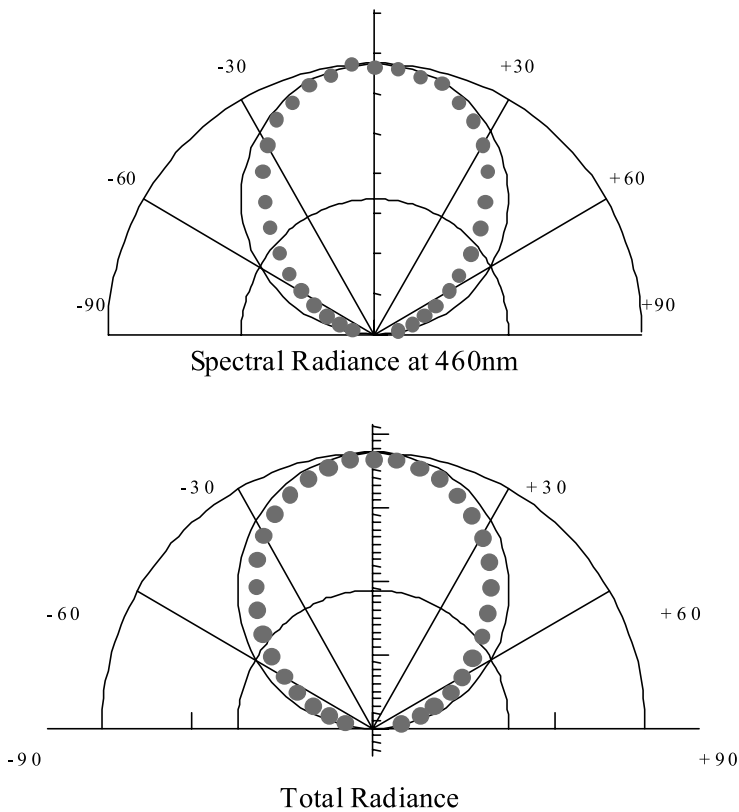


図4 青色素子の発光放射特性

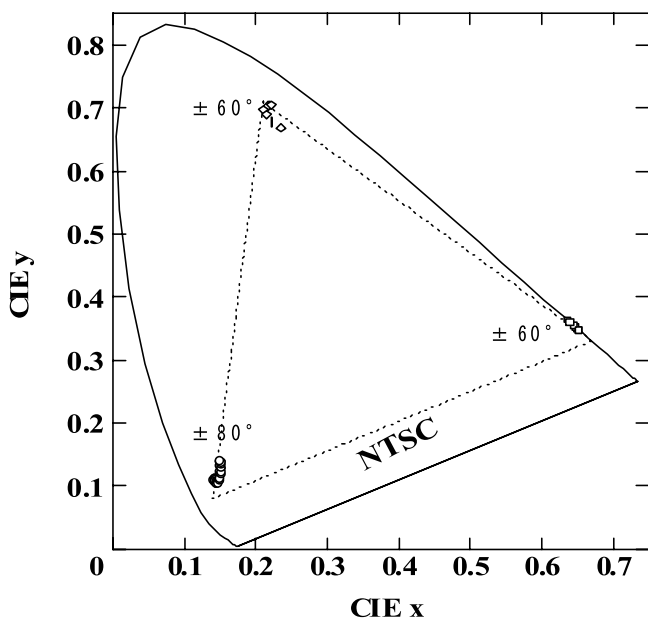


図5 最適化したR,G,B各色の視角依存性

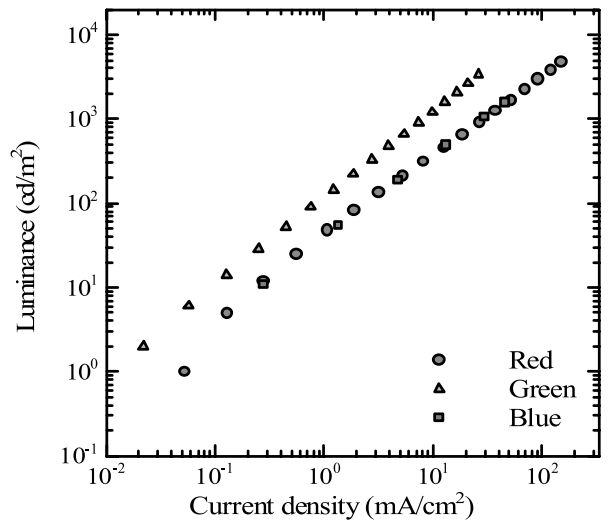


図6 RGB素子の電流特性

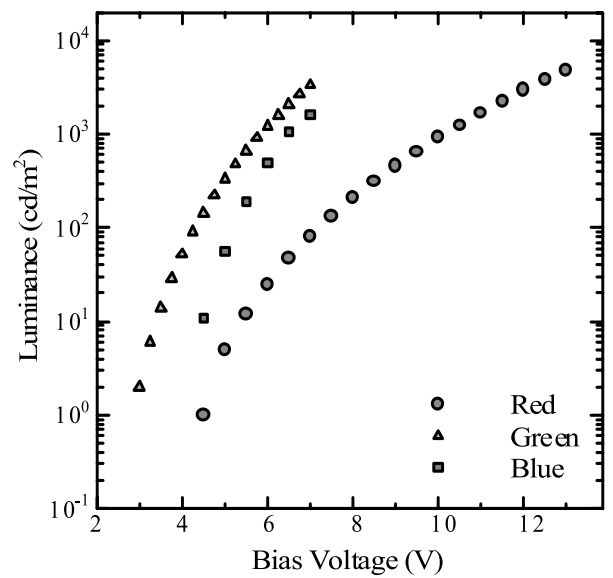


図7 RGB素子の電圧輝度特性

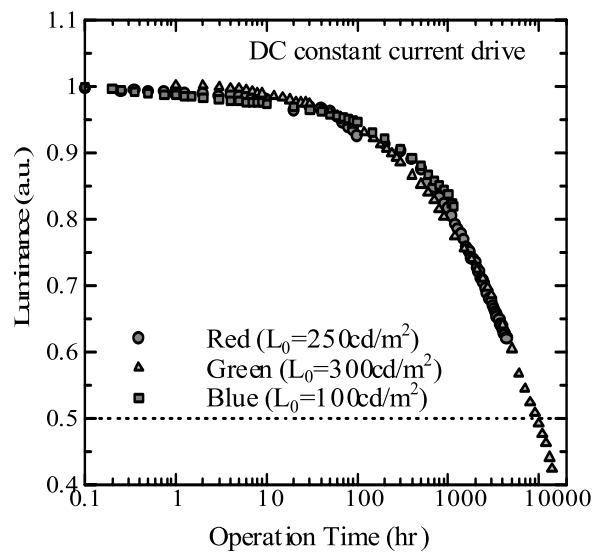


図8 RGB素子の輝度減衰曲線

表2 RGB素子の典型的な特性

色	青	緑	赤
ピーク波長 (nm)	460	525	615
CIE <sub>x</sub>	0.143	0.282	0.620
CIE <sub>y</sub>	0.118	0.672	0.377
外部量子効率 (%)*	4.5	4.4	2.6
電流輝度効率 (cd/A) *	3.9	16.3	3.8
輝度効率 (lm/W) *	2.2	11.4	1.4

\*:300cd/m<sup>2</sup>時

#### 4. R, G, B有機膜選択成膜法

有機ELディスプレイをフルカラー化する際に、基本的には単色有機ELディスプレイの作製プロセスと同様のプロセスを採用した。具体的には陰極隔壁を用いた陰極パターンニング技術やダークスポットの拡大を防ぐ封止技術などである<sup>(2)</sup>。

##### 4.1 有機膜選択成膜法の留意点

有機EL素子として高効率な発光特性を得るためには発光層の有機材料を2元蒸着でドーピングするという手法が一般的である。シャドウマスクを用いて真空成膜で有機EL材料を微細パターンニングする場合、シャドウマスクと基板の間隔をできるだけ小さくすることが高精細で特性の良いディスプレイを得るための重要なポイントである。しかし、単にシャドウマスクを基板に密着させてると、一度成膜された有機材料は、その後、

他のエリアを成膜する時にシャドウマスクに傷つけられる。このような危険を回避するために、陰極微細加工用に開発された陰極隔壁を、陰極の自動パターンニングだけではなく有機膜選択成膜の際の突き当て部材として再度利用するという手法が用いられている。

##### 4.2 有機膜選択成膜工程

図9に有機膜選択成膜工程の概要を示す。最初に所定の位置にシャドウマスクをセッティングし、赤の発光材料を成膜する。この時、シャドウマスクは陰極隔壁を突き当てとしているので、基板のアノードの部分には接触しない。続いて、一旦シャドウマスクを垂直に持ち上げた後、所定のピッチだけ右に移動させ、再び陰極隔壁に突き当てる。そうすることによって直前に成膜された赤の有機材料には接触することなく、緑の発光材料

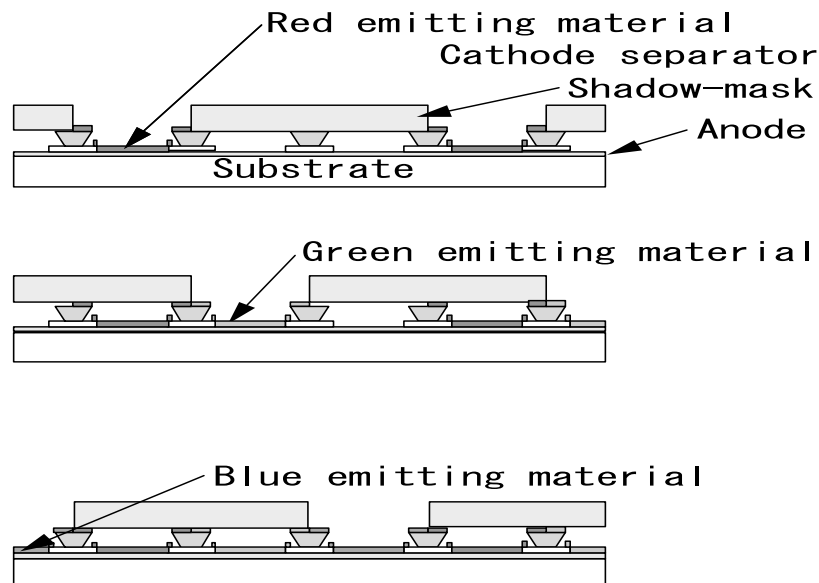


図9 有機膜選択成膜工程

を精度よく成膜することができる。同様の手順で青の発光材料成膜まで行い、R、G、B 3色の有機発光層の成膜が完了する。

上述の工程を採用したことで、フォトリソグラフィなどのウェットプロセスを経ることなく高精度な有機発光層のパターニングが可能になった。また、成膜途中での大気暴露による水分の吸着や発塵による素子の劣化を防ぐために、成膜装置の真空チャンバー内での高精度マスク自動位置決め機構を導入して、有機膜選択成膜から陰極成膜まで一貫して真空を破らずにパネルを作製するというプロセスを採用した。

### 5. フルカラーディスプレイ駆動回路

フルカラーディスプレイの駆動回路も基本的には定電流駆動ドライブ回路を用いたPWM(Pulse

Width Modulation)駆動で階調表示を行うが、QVGAの画素数で単純マトリックス駆動を行うには非常に高い瞬時輝度を必要とする。そのため、陽極を2分割して上下を同時に駆動させるデューティー比1/120の線順次駆動を採用した。また階調表示は各色256で、1677万色余のカラー表示を実現した。詳細は別稿にゆずる。

### 6. 有機ELフルカラーディスプレイの特性

作製した有機ELフルカラーディスプレイは、5.2インチで画素数が320 × 240のいわゆるQVGAで、輝度150cd/m<sup>2</sup>を達成している。表3にディスプレイの仕様を示す。ホワイトピークでのパネルの消費電力は4.6Wであるが、実際の画像表示時(ピークの約30%点灯時)における消費電力は1.4W弱と見積もられる。図10にディスプレイの動画像表示の

表3 フルカラーディスプレイの主な仕様

項目	仕様
ディスプレイサイズ (inch)	5.2
画素数	320 × (3) × 240
開口率 (%)	63
階調	各々 256
輝度 (cd/m <sup>2</sup> )	150
デューティー比	1/120
消費電力 (W) *	1.4

\*: 30%点灯時



図10 フルカラーディスプレイ動画像表示時の写真

写真を示す。シャドウマスクによる選択成膜で、  
正確に塗り分けられた高精細な画像が得られており、  
動画像としては応答速度が速く視野角が広いCRTと  
同程度の品質を持った画面を映し出すことができた。

## 7. まとめ

R, G, B各色ごとに最適な有機発光材料および  
構造の採用,異なる発光材料を高精細に塗り分け  
る選択成膜法などの新技术を投入し,5.2インチ  
QVGA(Quarter Video Graphics Array)パッシブ  
マトリックス有機ELフルカラーディスプレイを  
開発した。

シャドウマスクによる選択成膜フルカラー有機  
ELディスプレイのプロセスは,基本的には,陽極  
をパターンニングした基板に陰極隔壁などの前工程  
構造物を形成し,真空蒸着装置の中でR, G, Bの  
有機材料と陰極をそれぞれ成膜,最後に封止をす  
ることで完成という簡単な工程であるので,現存  
するフラットパネルディスプレイの中で,低コスト  
で実現できる可能性を有している。

今後,さらなる有機材料,ディスプレイ構造の  
研究開発により,輝度,寿命,信頼性,消費電力  
などの諸項目を改善し,CRTに優るとも劣らない  
有機ELフルカラーディスプレイの実現に向けて  
研究開発を行う予定である。

## 参考文献

- (1)C. W. Tang et al.: Appl. Phys. Lett., 51, 913 (1987)
- (2)仲田:Pioneer R&D, Vol.8, No. 3, 35, (1998)
- (3)C. Hosokawa, et al.: Journal of the SID, 5, 331 (1997)
- (4)S. Miyaguchi et al. 9th International Workshop on  
Inorganic and Organic Electroluminescence, 137  
(1998)
- (5)P. E. Burrows et al.: IEEE Trans. On Elec, Dev., 44,  
8, 1188 (1997)
- (6)T. Shimoda et al.: SID 99 Digest, 26.3, 376 (1999)
- (7)Y. Fukuda et al.: SID 99 Digest, 31.1, 430 (1999)
- (8)T. Nakayama et al.: Appl. Phys. Lett., 63, 594 (1993)

## 筆者

### 宮口 敏 (みやぐち さとし)

- a. 総合研究所, ディスプレイ研究部
- b. 1976年4月
- c. 磁気ヘッドの開発, 光集積回路の研究開発を経て, 現在, 総合研究所にて有機ELディスプレイの開発に従事.

### 脇本 健夫 (わきもと たけお)

- a. 総合研究所, ディスプレイ研究部
- b. 1986年4月
- c. プロジェクションテレビのレンズ開発を経て, 現在, 総合研究所にて有機ELディスプレイの開発に従事.

### 舟木 淳 (ふなき じゅん)

- a. 総合研究所, ディスプレイ研究部
- b. 1989年4月
- c. 書き換え可能光記録媒体の研究開発を経て, 現在, 総合研究所にて有機ELディスプレイの開発に従事.

### 福田 善教 (ふくだ よしのり)

- a. 総合研究所, ディスプレイ研究部
- b. 1991年4月
- c. SHGによる青色レーザーの研究開発を経て, 現在, 総合研究所にて有機ELディスプレイの開発に従事.

### 久保田 広文 (くぼた ひろふみ)

- a. 総合研究所, ディスプレイ研究部
- b. 1989年4月
- c. 光集積回路の研究開発を経て, 現在, 総合研究所にて有機ELディスプレイの開発に従事.

### 大下 勇 (おおした いさむ)

- a. 東北パイオニア(株), OEL事業部, 開発部
- b. 1988年4月
- c. パイオニア(株)総合研究所にて液晶ディスプレイの研究開発, 有機ELディスプレイの開発を経て, 現在, 東北パイオニア(株)にて有機ELディスプレイの事業化に従事.

### 渡辺 輝一 (わたなべ てるいち)

- a. 東北パイオニア(株), OEL事業部, 開発部
- b. 1991年4月
- c. パイオニア(株)総合研究所にてSHG青色レーザー開発, 有機ELディスプレイの開発を経て, 現在, 東北パイオニア(株)にて有機ELディスプレイの事業化に従事.