カラー薄膜 EL ディスプレイ

Color Thin Film EL Display Techniques

Christopher N. King[†]

(訳) 正会員 吉田 勝^{††}

EL ディスプレイと液晶ディスプレイの現状および将来について、コスト・性能面で比較検討を行った。EL は本質的に低消費電力であり、低コスト化・カラー化が進めば EL の方が優位になるだろうと思われる。

1. ま え が き

平面ディスプレイ技術は 1984 年以来、ラップトップコンピュータ、情報端末、計器、制御機器の応用分野で CRT に対抗して着実な浸透を見せている。当初平面ディスプレイは白黒表示の能力しかなかったが、最近数年では、フルカラーの平面ディスプレイが市場に参入して来た。これらは殆んど携帯用テレビジョンとして用いられる小型サイズのアクティブマトリックス液晶ディスプレイであるが、対角 14 インチサイズのフルカラーディスプレイが試作されている。平面ディスプレイ技術は明らかに発展してきており、白黒表示の応用だけでなく、カラー表示の応用においても CRT と対抗し始めるところまできている。

そこで再度ディスプレイ工業は、“どのカラーディスプレイ技術が最も良いか”が問われている。液晶は初期にリードした。しかし、カラーの開発はプラズマ、蛍光表示、EL の技術においても続けられている。これらの各々の技術は、市場への参入機会を見出していくであろう。

その時、液晶技術は優位であり続けるであろうか？本論文の目的のひとつは、カラー薄膜 EL ディスプレイの潜在的な性能を分析して示し、アクティブマトリックスカラー液晶ディスプレイと比較することにある。また、本論文のその他の目的は、フルカラー EL

ディスプレイの開発のための技術目標と、これらの目標にむけた開発現状を示すことにある。

2. 白黒液晶と EL のフラットパネル技術の現状

液晶技術は、画質のコントラストと視角依存性の問題を経験した後、今や白黒フラットパネルの市場で優位な立場にある。液晶が EL およびその他の発光型ディスプレイ技術より優れている点は、消費電力および価格である。市場ではこれらの液晶のもつ特徴を高く評価しているようである。しかし、プラズマと EL のディスプレイは視角依存性、応答速度、コントラストにおいて、より良い画質を示していることは広く知られている。それ故、EL 技術に対する白黒液晶の優位性の技術基盤を最初に理解する必要がある、その後これら優位な要素がカラーディスプレイへつながるかどうかを見る必要がある。

2.1 白黒フラットパネルの消費電力

(1) 白黒液晶

初期の白黒液晶製品の消費電力は僅か mW であった。しかし、反射モードで明るさが不十分であったため、ツイストネマチック液晶は市場では受け入れられないように考えられた。今日のたいていの液晶ディスプレイは、背面光源を使用して透過モードで動作させている。背面光源の発光効率と液晶ディスプレイの偏光板、波長補正板、透明電極等を通り抜ける光の透過率は、背面光源付き液晶ディスプレイの消費電力を決めてしまう。液晶ディスプレイパネルの光の透過率は

[†] Advanced Technology, Planar Systems, Inc., Beaverton, OR, USA

^{††} シャープ株式会社 中央研究所

25%から35%である。これより対角10インチのハーフページのディスプレイで15 fLの輝度を得るためには、5 W程度の消費電力がいることになる。この値は、ラップトップコンピュータの電池寿命を約4時間に制限してしまう。しかし、市場では15 fLの輝度レベルは、ディスプレイとして受け入れられるために必要な値であると考えられている。

(2) 白黒 EL

EL ディスプレイの消費電力は、EL ディスプレイというコンデンサを充放電するに要するエネルギーが殆んどである。ディスプレイの走査側(row)と信号側(column)への電圧の印加は簡単なCRの分布定数回路への充電と等価であり、充電時にはディスプレイの容量に $1/2CV^2$ のエネルギーが蓄えられ、 $1/2CV^2$ が直列抵抗によって消費される。回路が放電状態になると、直列抵抗で再び $1/2CV^2$ が消費される。したがって、完全充放電サイクル当たりの消費されるエネルギーの合計は CV^2 になる。マトリックスでアドレスされる薄膜ELデバイスの場合、 CV^2 は透明電極と駆動ICの抵抗で消費される。以上の考え方に基づいて、薄膜ELマトリックスデバイスの最大の消費電力は以下に示す式で示すことができる。

$$P_{row} = fC_{panel}V_{row}^2 \quad (1)$$

$$P_{col} = fN(C_{panel}/4)V_{col}^2 \quad (2)$$

ただし各記号は以下のことを表している。

f : 表示周波数

N : 走査線の数

C_{panel} : パネルの全画素の電気容量

V_{row} : 走査線に印加される電圧

V_{col} : 信号線に印加される電圧

(1)式と(2)式の比較から、信号線の変調パワーは N ファクタがあるゆえに効いてくる。

現状の640×400のELデバイスの最大消費電力は約15 Wであり、通常の表示モードでは10 Wである。この値は通常の白黒液晶の2倍の値になる。ラップトップコンピュータと携帯テレビのような電池を用いた製品が今日のフラットディスプレイの応用市場を占めるようになってくるが、故に、白黒液晶の低消費電力は市場において成功する重要な要素であることは明らかである。

2.2 白黒フラットパネルディスプレイの価格

液晶とELとの価格差をもたらす主要な技術的要因は、ELより低いLCDの動作電圧に関係している。製造原価を知ることは困難であるが、私の試算では現状液晶ディスプレイパネルの1ライン当たり電氣的にアドレスするに要する価格は、ELパネルより7セン

ト安い。640×400の約1000ラインを有するディスプレイパネルにおいては、70ドルの製造原価の差を生ずる。この差はシリコンドライバのチップ面積の差以上に大きく、純粋に技術的な価格差によるものでなく、表示容量増大につれてELは価格差を縮める方向に発展し続ける。しかしながら、ELとプラズマディスプレイにとって、その良さを売り物にして売り込もうとしても、市場におけるシェアは各々の相対的な価格によって強く支配されていることは明らかである。

3. カラーフラットディスプレイ技術の今後の予測

3.1 消費電力

(1) カラー TFT 液晶ディスプレイ

液晶デバイスにおいて完全なフルカラー動作をさせるため、赤・緑・青のパターン化されたフィルタが光の通路に挿入されている。これらのフィルタは光の透過量をモノクロディスプレイでは25%レベルに、フルカラーディスプレイでは5%レベルまで減少させている¹⁾。したがって、モノクロディスプレイの消費電力から単純な見積りを行うと、ハーフページサイズのカラー液晶ディスプレイで15 fLの輝度を得ようすると、25 Wのパワーを消費することになる。しかし、背面光源および光拡散層の改良によって、消費電力は15~20 Wまで今後減少すると予想される。

(2) カラー EL ディスプレイ

フルカラーELディスプレイの構造を図1に示す。このパターン化された発光層構造の特長のひとつは、モノクロELディスプレイと同じ走査線数とデバイス面積をもつことである。これらは、(1)式、(2)式に示したように、ELディスプレイの消費電力を決める2つの主要な要因である。したがって、カラーELの消費電力はカラーになっても基本的に同じ値のままである。

一方、カラー液晶の場合はモノクロの3倍から5倍に増大するだろうと考えられる。液晶の背面光源のシ

図 1

ステムが効率面で今後改善されるのと同様に、EL ディスプレイの消費電力も、パワー再利用技術、低変調電圧化、より効率的な直流・直流変換技術といった技術領域で改善が進んでいくであろう。EL ディスプレイ技術のいくつかの改良により、今まで消費電力は30%もの減少がみられ、将来においても同様のことが期待される。将来のカラー EL ディスプレイにおいては、今日のモノクロ液晶の持つ低い消費電力の優位性をカラー EL が逆に持つことになるであろう。

3.2 カラーフラットディスプレイパネルの価格

(1) カラー TFT 液晶ディスプレイ

カラー液晶ディスプレイを達成する方法には2つのアプローチがある。ひとつは2重層のツイストネマチック液晶を用いた方法であり、もうひとつはアクティブマトリックスを用いる方法である。2重層の液晶は赤・緑・青の画素に対してもドライバを接続することから、より多くのドライバを必要とする以外は、現状のモノクロ液晶と同様のドライバ回路を使用することになる。通常よく用いられる画素配置の2重層液晶に対するアドレス価格は、現状のモノクロディスプレイの約2倍になるであろう。

アクティブマトリックス液晶のドライバ価格は、画素のドライバがデバイス構造の中に組み込まれているため、パネル作製の歩留りにまきに依存する。スタンフォードリサーチ会社の調査によれば²⁾、現状のTFT 液晶の歩留りは10%であり、コストは現状のマルチプレックス液晶の5倍になるであろうと予測している。50%の歩留りでさえマルチプレックス液晶の2倍になり、マルチプレックス液晶の価格にするためにはその歩留りを100%に近づけなければならない。しかし、TFT 液晶における改良されたコントラスト、視覚依存性および駆動速度の特性は、市場での価格差を正当化するかもしれない。

(2) カラー薄膜 EL ディスプレイ

図1に示すように、パターン化された発光層の構造をもつカラー薄膜 EL は、モノクロ EL ディスプレイより3倍の信号用ドライバと、同数の走査用ドライバがいる。EL ディスプレイの信号用変調電圧は40 Vと比較的低い値であり、信号用ドライバの価格はマルチプレックス液晶の価格に近づいている。しかしながら、より高い耐圧のいる走査用ドライバは、1ライン当たり液晶より3セント割高であろう。したがって、500本の走査ラインを持つディスプレイを例として考えると、マルチプレックス駆動カラー液晶とカラー EL パネルの生産コストの差は、数年後に15ドルとせばまるであろう。カラー EL ディスプレイは、ア

表 1

カラー	面輝度	画素輝度
赤	9.3 cd/m ²	37.1 cd/m ²
緑	23.0 cd/m ²	92.0 cd/m ²
青	2.7 cd/m ²	10.8 cd/m ²
白	35 cd/m ²	

クティブマトリックス液晶の生産歩留りが50%を越えるまでは、コスト面での優位性を持つことが期待される。

3.3 カラー薄膜 EL の開発

フルカラー薄膜 EL ディスプレイの実現への課題は、赤・緑・青の3原色高輝度蛍光体材料の開発である。ここでまず各々の蛍光体に要求される発光輝度について議論し、その後、この分野での我々の結果について紹介する。

(1) カラーの発光輝度の目標

ANSI/HFS 100-1988 基準では、フルカラーディスプレイの白色に対して35 cd/m²の最小面輝度があることが明記されている。標準的なカラーテレビの色座標と合わせるため、赤・緑・青の色座標を選択することにより3原色が白色を出すために要求される発光輝度の割合は、赤26.5%、緑65.7%、青7.7%である。以上のことから、薄膜フルカラー EL ディスプレイの蛍光体に要求される最小発光輝度は以下になる。

表1の右側の画素輝度は、各々のカラーに対して0.25のフィルファクタを持つと仮定して面輝度から求めたものである。

(2) カラー薄膜 EL の発光輝度の現状

文献にはカラー薄膜用蛍光体の開発に関して多くの報告がある。しかし、研究機関からの報告結果を比較することはしばしば困難を伴う。なぜなら、これらの報告は小さいドットサイズのサンプルでの実験値であったり、マトリックス薄膜 EL ディスプレイの実際の駆動条件とは違う条件での値であったりするからである。そこで一貫性を持たせるため、プレナーシステム社で対角6インチマトリックスパネルを用いて得られた結果に限って説明を加える。我々は、赤と緑の発光色に対しては前述した発光輝度の目標を越えるか、または合致するモノクロパネルの作製を可能にしておき、幾つかの研究機関でも緑色発光に対しては同様の報告をしている^{3)~5)}。しかし、私の知る限り、赤色発光に対する我々の結果は以前報告されたものよりかなり高いものである。この件に関しては後で論文の題目として出す予定でいる。

(3) カラー薄膜 EL ディスプレイ

我々は、フルカラー EL の進展をデモするために開発試作展示品として、320(×3)×240 の発光画素を持つ対角 6 インチサイズの EL パネルを使用している⁶⁾⁷⁾。

以前、我々はかなり低い発光輝度レベルではあったが、8 色のカラーディスプレイを得るために、2 値の駆動回路を用いてこのパネルを動作させた。最近では 4096 色のフルカラーディスプレイを表示できる回路を作るため、16 階調信号用ドライバであるスーパーテックス HV 08 を使用している。しかしながら青色蛍光体の特性に限度があるため、このたびのカラー EL は赤・緑の 2 色 EL を配置したものである。

このパネルは表 1 に示す面輝度を満足するものであるが、赤色と緑色との組合せは白色より黄色のディスプレイになり、中間色は CIE の色座標で赤-橙-黄-緑のライン上に沿ったものである。

4. む す び

カラー薄膜 EL 技術は、コスト、性能面でカラー液晶に対抗するものであろう。事実、これまでの両者の技術の違いをみると、EL は本質的に低消費電力であり、TFT 液晶より安い製造コストを達成すれば、EL の方が優位になるだろう。興味あることに、両技術の市場に向けた開発競争は、違った分野で行われている。TFT 液晶では経済的な生産技術を開発すること

であり、EL では効率の良い青色蛍光体を開発することである。

(1989 年 12 月 25 日受付)

【参 考 文 献】

- 1) Peter Pleshko : Information Display, **3**, 89, p. 12 (1989)
- 2) David Mently : "Flat Panel Display Manufacturing Cost Analysis—Active Matrix Liquid Crystal Displays", Stanford Resources, Inc. (June 1989)
- 3) H. Ohnishi, Y. Yamasaki, & R. Iwase : Digest 1987 SID Int'l Symp., p. 238 (1987)
- 4) K. Okamoto, T. Yoshimi & S. Miura : Appl. Phys. Lett., **53**, 8, p. 678 (1988)
- 5) A. Mikami, T. Ogura, K. Tanaka, K. Taniguchi, M. Yoshida, & S. Nakajima : J. Appl. Phys., **61**, 8, p. 3028 (1987)
- 6) C. N. King, R. E. Coovert & W. A. Barrow : Proc. Euro Display, p. 14 (1987)
- 7) W. A. Barrow, R. E. Coovert, C. N. King, M. J. Ziuchkovski : Digest 1988 SID Int'l Symp., p. 284 (1988)

Christopher N. King 1972 年、スタンフォード大学大学院博士課程修了。1976 年以来、薄膜 EL の技術開発に従事。現在、プレーナシステム社の副社長。工学博士。

吉田 勝 昭和 48 年、大阪大学大学院博士課程修了。同年、シャープ(株)に入社。以来、中央研究所に勤務し、現在、同所主任研究員。薄膜 EL の基礎開発に従事。工学博士。正会員。