

樋口 豊喜
T. Higuchi

ノートブックパソコン (PC) に使われている TFT-LCD (薄膜トランジスタ型液晶ディスプレイ) にとって重要な性能である消費電力の低減を図るための高開口率画素設計の技術について述べる。

開口率を大きくするのは光を透過しない部分をどのように減らすかがポイントである。そのための要素技術をカラーフィルタとの合せマージン, TFT の小型化, バスラインの微細化に分けて説明する。また, 9.5 型で開口率 70% を実現した技術について簡単に触れ, 単に画素パターンだけでなく液晶の駆動法も含めた検討が必要になることを簡単に説明する。

In order to reduce the power consumption of thin-film transistor liquid-crystal displays (TFT-LCDs), the transmission of light through the liquid-crystal cell must be increased. Thus, the effective light-transmitting area of a pixel, that is, the aperture ratio, must be significantly increased.

This paper describes recent technologies to improve the aperture ratio; namely, technologies to realize small-sized TFTs, narrower bus lines, and reduction of the alignment margin between the TFT array substrate and the color filter substrate. A high-aperture-ratio pixel structure is also presented in combination with the driving method. This results in a high aperture ratio of 70% for a 9.5-inch TFT-LCD.

1 まえがき

ノートブック PC に用いられているカラー LCD は, 消費電力の低減が強く求められている。その一方で, 最近のマルチメディアに対応するために, 良好な色再現性を維持して表面輝度を高くするなどの表示性能改善も同時に求められている。

LCD は, それ自身が発光するのではなく液晶を通る光を制御して表示を行うのであるから, その消費電力は, LCD 自身を動作させる駆動回路の消費電力とバックライト消費電力の合計で考えなければならない。

ここでは, バックライト消費電力を低減するために液晶セル透過率を向上させるキーとして開発が進められている開口率向上技術について紹介する。

2 バックライト消費電力と開口率

現在のバックライトは, 求められる輝度や色を満足させるために蛍光管を発光源にし, その光を導光板などの手法を用いて線光源から面光源に変えて使われている。

したがって, バックライトの消費電力は蛍光管の発光効率, 導光板の光利用効率と液晶セルの光透過率で決まる。

バックライト消費電力を低減するには, 現状数%程度しかない液晶セル光透過率を改善するのがもっとも重要である。

この光透過率は, 簡易的に次のように表すことができる。

$$\begin{aligned} \text{光透過率} &= \text{アレイ開口率} \times \text{液晶透過率} \\ &\times \text{偏光板透過率} \times \text{カラーフィルタ透過率} \end{aligned}$$

ここで, 液晶透過率というのはガラス基板などを含んだ液晶材料の透過率のことである。この中で, 液晶透過率, 偏光板透過率およびカラーフィルタ透過率の三つは現在でも理論限界に近づいているので, 5~10%程度の改善しか見込めない。

ただし, カラーフィルタは色純度を落として透過率を上げることが可能である。しかし, 色再現範囲を狭め表示品位を低下させるので, 最近のマルチメディア対応には不十分であり, ここでは考えないこととする。

これに対し, TFT アレイの開口率は 50% 前後であり, 大きく改善される余地が残されている。例えば, 開口率を現行の 1.5 倍程度に向上させ, その他の項目の改善も見込むと液晶セル光透過率を 2 倍にすることができるから, バックライト消費電力を半減できる。

3 高開口率設計の考えかた

開口率は, TFT-LCD の各画素の中で, 透過率を制御できる画素電極面積の全体の面積に対する比で表される。この値を大きくすることは, 画素電極の面積を大きくすることと同

義であり、逆に言えば利用できない面積を小さくすることである。

実際には、液晶を正確に駆動するのに必要な電氣的バランスを維持したまま光透過に利用できない面積を可能なかぎり小さく設計する。電氣的バランスとしてもっとも重要なことは、液晶に直流電圧がかからないように交流駆動することである。

カラー LCD の画素パターンの一例を図 1 に、開口率およびその他の部分の面積比率を表 1 に示す。

光透過率の制御に直接関係しない部分は次の二つに分けられる。

- (1) 画素電極電圧を制御するための TFT および配線部分
- (2) 製造工程誤差などを見込んだ電極・配線間のすき間部分

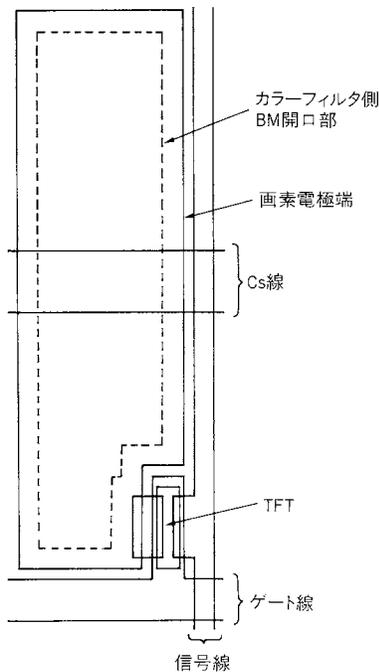


図 1. LCD の画素パターン 一般的な TFT-LCD の画素では、カラーフィルタの BM 開口部で開口率が決まる。

Top view of typical pixel

表 1. 画素構成要素とその割合
Percentage of pixel element

構成要素	面積比率
①画素電極(光透過部分)	60%
②カラーフィルタ BM と①部との重なり	20%
③信号線	10%
④ゲート線	6%
⑤ Cs 線	9%
⑥トランジスタ部	4%
⑦すき間	11%
合計	100%
開口率 [①-②]	40%

これらの面積を小さくするには、次の二つを行えばよい。

- (1) トランジスタの小型化や配線幅の削減
 - (2) すき間およびそこから漏れる光を遮る面積の削減
- さらに、ゲート線の上にトランジスタや補助容量 (Cs) を重ねたり、透明な導電材料で配線を作るなども開口率を大きくするのに効果がある。

これらの改善は、液晶に印加するための電氣的バランスを保って行う必要がある。例えば、ゲート線や Cs 線を細線化するには、遅延時間が大きくなりすぎないように低抵抗材料が必要である。Cs 線については、さらに、画素電位変動が許容範囲に収まることも確認しなければならない。

図 1 の場合には、典型的画素パターンとして書いたので開口率は 40% しかないが、10 インチクラス VGA (Video Graphics Array) の製品は、このような技術のいくつかを織り込んだ結果として、開口率 50%~60% 程度になっている。

以下に、開口率を大きく制限するいくつかの項目について開口率を向上するための要素技術について述べる。

4 カラーフィルタ合せマージン

カラーフィルタの BM (Black Matrix) と画素電極との重なり部分が全画素面積の 20% 程度 (表 1 ②) もあり、この部分をなくすことができれば開口率は大きく向上する。

カラーフィルタ基板と TFT アレイ基板を液晶の入るすき間を残して重ねるために、現状では大きな合せマージンを必要としている。この合せマージンをまったくなくすことは原理的に難しいが、TFT アレイを作るときに同時に作り込むことで、合せマージンを小さくすることができる。このための要素技術として、次の二つがある。

4.1 BM オンアレイ技術

BM オンアレイ技術は、その名のとおりにカラーフィルタ側にあった BM をアレイ基板側に作り込む技術である⁽¹⁾。BM オンアレイ技術によって光を通さない絶縁膜を形成することは液晶を駆動している電氣的バランスにはなんの影響も与えないから、動作条件を再検討する必要もなく、そのまま開口率を向上させることができる。

4.2 Cs シールド技術

Cs シールド技術は、画素電極と信号線との間のすき間部分を Cs 線でふさいで光を遮へいし、カラーフィルタ側の BM をなくすとともに、Cs 線による光遮へい部分を実質的に減らして開口率を向上させる技術である⁽²⁾。

コンピュータ用に使われているカラー液晶のカラーフィルタは縦ストライプ型の色配列を採用しているの、その画素は信号線に沿った 3:1 の縦長形状になっている。したがって、画素電極の信号線に沿った部分は全周囲長の 3/4 になり、その部分だけでも開口率向上が期待できる。

Cs シールド技術の場合には、液晶を駆動する電氣的 balan

スが変わることに注意しなければならない。それは、信号線とCs線の重なり面積が約10倍に増加するために、信号線あるいはCs線の見る容量が増加して、時定数が大きくなることに起因する。

信号線の場合に画面上下での輝度差が生じないための時定数の許容値は約10 μ sであるから、抵抗の低い材料(アルミニウム)を使っている現状では0.1 μ sであり問題にはならない。

Cs線においては、時定数が大きくなりすぎたときには、信号線一本おきに極性を反転させる駆動を行えば、時定数が無関係になるので問題を解決することができる。

また、Csシールド技術は画素と信号線とのカップリング容量を小さくするので、画素ピッチを小さくしたときに画素電極と信号線との間隔を狭くして開口率を大きく保つのに有効である。

これは、各画素が3:1の縦長形状になっていることに起因する。主としてテレビ用に用いられているデルタ配列のカラーフィルタを採用した場合には画素形状はほぼ正方形となり、各バスラインの寄与度もほぼ同程度になる。

また、信号線の微細化は他のバスラインと異なり、特に設計思想を変更しないで開口率を向上させることができる。

7 開口率 70%を実現

われわれは、今までに述べてきた高開口率化技術のうち、今の製造プロセスで実現可能ないくつかを統合して9.5型VGA(画素サイズ縦300 \times 横100 μ m)で開口率70%のカラーLCDを実現している⁽⁴⁾。

その画素パターンを図2に示す。採用した主な技術は、次のとおりである。

(1) Cs オンゲート技術

5 TFTの小型化

TFTを小型にすることはTFTの占める面積を削減できるという意味をもつが、実質的にはそれほど大きくはない(表1)。

ここで詳しく説明することはしないが、TFTのもつ構造要因によって、画素に書き込んでいる信号電圧がゲート電圧を落としたときにレベルシフトを起こす。画素パターンにこのレベルシフトを軽減する意味で設けているのがCsである。このレベルシフトがTFTのチャンネル面積に比例することから、TFTを小型にすればCsを減らすことができ、開口率の向上に寄与する。

このようなTFT小型化(チャンネル幅の縮小化)のための技術としてもっとも一般的なことは、より高性能のTFTを作ることである。しかし、アモルファスシリコンを使った今のTFTでは移動度1cm²/V \cdot sを大きく超えることは難しく、それ以外の手法も開発している。逆説的ではあるが、それはTFTを小さく作る(チャンネル長の縮小化)技術である。なぜなら、TFTの基本移動度はそのままでも、実質的にTFT性能が向上したのと同じ効果が得られるからである。

その一つに完全セルフアラインTFT技術がある⁽³⁾。このTFTはゲート電極を中心に自己整合で作ることから、小型化以外に大画面時の面内分布をなくす効果も併せもつ。

また、TFTサイズを小型化できれば、単に開口率の向上に寄与するだけでなく、より高性能のTFTが要求される大型高精細液晶パネルや、超高精細液晶パネルの設計を可能にする意味で波及効果も大きい。

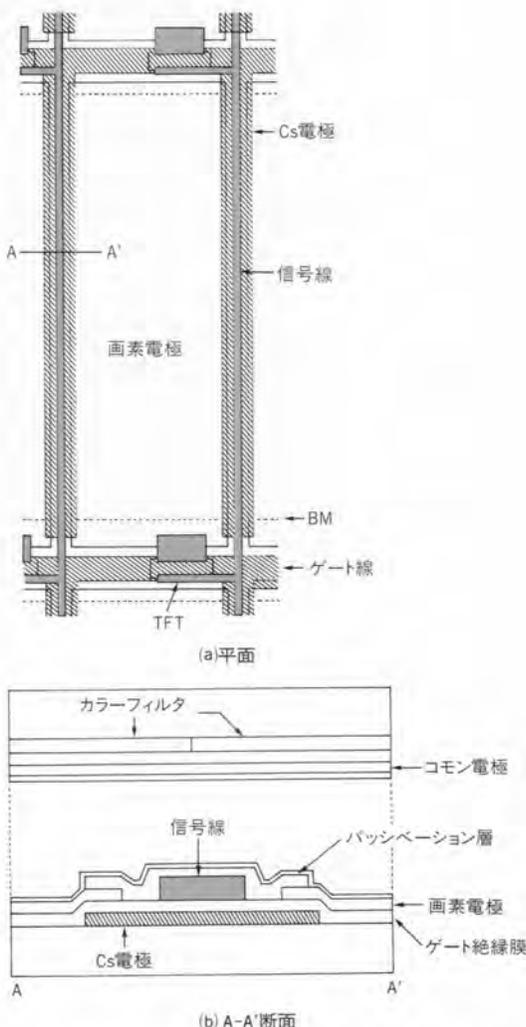


図2. 高開口率画素 70%開口率を実現した画素の概略平面と信号線部分の断面。Csシールド構造となっている。

Schematic drawing of high-aperture-ratio pixel: (a) top view, and (b) cross-sectional view along line A-A'

6 信号線の微細化

表1を見れば、光遮へい部分として大きな割合を占めているのは信号線、ゲート線、Cs線のバスラインである。その中では、信号線の幅に対する開口率向上がもっとも大きい。こ

(2) Cs シールド技術

(3) 信号線微細化技術

ここで、Cs オンゲート技術とはCs線をなくして、Csを隣のゲート線で代用する技術である。

この画素パターンでは、Csを減らしすぎているので、すでに述べたレベルシフトが大きくなりすぎ、そのままでは液晶印加電圧の電氣的バランスをとることが難しくなった。

そこで、ゲートパルス波形をくふうしてレベルシフトを補償する駆動法を採用し、レベルシフト量を軽減することによって良好な表示特性を得ることができた。

8 あとがき

実際の高開口率液晶パネルは、すでに述べてきた要素技術を組み合わせて設計することになる。さらに、われわれの開発した70%開口率画素構造のように、単に画素パターンだけでなく駆動方法もその画素構造に合わせて開発しなければディスプレイとして完成しない。また、各要素技術は開口率の向上というメリット以外にいくつかの歩留まり問題を内包しており、製造プロセス側でこの問題にめどをつけなければ、実際に作ることは難しい。

特に、完全セルフアライン TFT および BM オンアレイ技術は今までにない新しいプロセスの開発が必要であるから、その場合は、新しいプロセスを早く立ち上げることが必要に

なる。

TFT アレイ設計からみると、10.4型VGAで開口率が75%を超えれば開口率的にはほぼ飽和状態になり、その後の技術開発でもドラスティックに大きくはならない。さらに、カラーフィルタの透過率など全般的な改善も考慮すると、液晶セル透過率は9%程度まで向上させることができる。駆動回路消費電力の改善やバックライト自身の効率向上も考慮すると、10インチクラスの消費電力を1.5W程度にすることも可能と考えられる。

文 献

- (1) H. Yamanaka, et al: Integrated Black Matrix on TFT Arrays, 1992 SID Int. Symp. Dig. Tech. Papers, pp.789-792 (1992)
- (2) T. Ueda, et al: A High-Aperture-Ratio TFT-LCD with a Shield-Electrode Structure, 1993 SID Int. Symp. Dig. Tech. Papers, pp.739-742 (1993)
- (3) M. Akiyama, et al: A Completely Self-Aligned a-Si TFT, 1993 SID Int. Symp. Dig. Tech. Papers, pp.887-890 (1993)
- (4) T. Kitazawa, et al: A 9.5-in TFT-LCD with an Ultra-High-Aperture-Ratio Pixel Structure, Proc. 14th IDRC, pp.365-368 (1994)



樋口 豊喜 Toyoki Higuchi

1978年入社。TFT-LCDの研究・開発に従事。現在、ディスプレイデバイス技術研究所ディスプレイデバイス開発第二部主査。
Display Device Engineering Lab.