

森田 廣
H. Morita

TFD-LCD (薄膜ダイオード型液晶ディスプレイ) は、TFT (薄膜トランジスタ)-LCD に近い表示性能を簡単な製造プロセス、低コストで実現できる可能性が高いところから期待されてきた。TFD アレイ基板は、一方向に形成された細い電極配線と小さな TFD 素子だけが光の遮蔽(へい)部分であり、TFT アレイ基板に比べると開口率が大きくとれ、明るい表示に有利となる。

今回、明るく見やすい小型のモノクロームディスプレイを消費電力の少ない反射型で実現した。携帯情報端末など小型情報機器用途への応用を考えている。

Thin-film diode liquid-crystal displays (TFD-LCDs) are attracting considerable attention because they will provide display performance close to that of thin-film transistor liquid-crystal displays (TFT-LCDs) while requiring a simpler and lower cost fabrication process. The TFD array substrate has a light-shielding component that consists only of a one-directional fine electrode and small TFD elements. It therefore has a larger aperture ratio than TFT array substrates, and possesses advantages in terms of providing a bright display.

We have developed a small, bright, and extremely legible reflective monochrome display with low power consumption. We believe that this display will find application in small information devices such as portable data terminals.

1 まえがき

数々のニューメディアシステムの実現や、個人レベルでのコンピュータ機器の普及といった、情報伝達・処理分野での革新は目覚ましい。LCD はその特徴を生かして、いまや、電子ディスプレイの花形となりつつあるが、今後、情報媒体の多様化とともに、さらに、これまでの用途と形態にとらわれない進化が求められる。例えば、より紙に近い表示が要求される。

今後伸張がおおいに期待される小型情報機器に用いられるディスプレイは、装置自体の仕様から、軽量、薄型でなくてはならない。また、携帯用途では消費電力の低下が強く望まれ、電池の使用時間に反映する。当然、LCD、それも消費電力を著しく増してしまうバックライトを用いない、反射型が最適ということになる。さらに、さまざまな環境下でも見やすいということから、明るいディスプレイ、すなわち光反射率の高い LCD が求められる。しかも、十分なコントラスト比があることが必要である。これを総合すると、究極は、紙のようなディスプレイということになる。この特集は“カラー液晶ディスプレイ”であるが、カラー印刷のような理想の姿のひとつ前に、紙と鉛筆のような見やすい白黒表示のデ

スプレイを実現する技術について述べる。

2 明るく見やすいディスプレイ追及の歴史

電子ディスプレイの分野では、最近“ペーパーホワイト(紙のように白い)”という言葉が使われる。日常なじんでいる上質紙では、反射率が80%前後もあり、印刷文字のコントラスト比も10以上ある。毎日見ている新聞は、コントラスト比は5程度であるが50~60%の反射率をもっているので明るく、目になじむ。ところが、一般のLCDの反射率はモノクロームで20数%しかなく、紙には程遠い。

紙のような電子ディスプレイの歴史は、動的散乱やゲスト・ホストモードのLCDや電荷注入型のECD(電気着色表示)の20年前にさかのぼる。この時期、多くの研究開発がなされたが、結果的には、TN(Twisted Nematic)、STN(Super TN)モードの透過率の悪い偏光板を用いたLCD方式が、レスポンスやマルチプレクス、アクティブマトリックス駆動といった表示の機能性との整合から発達し、今日の主流となった。もちろん、現状のLCDの透過率値を倍にしようという種々の試みは各所で進められている。しかし、いまのところ研究段階を越えず、現状の技術でもっとも明るくでき、実用的な

コントラスト比をもつアクティブマトリクスLCDとなると、反射型のTFD駆動TN-LCDということになる。

小型情報機器においては現在のところ、高画質のカラー表示や多階調表示の要求は少なく、TFT-LCDまでの性能をもたなくとも、特長を生かしたLCD方式の出番があると考ええる。

3 高輝度反射型 TFD-LCD

3.1 TFD-LCD の特長

高性能の表示を実現するために、画面の各画素ごとにスイッチング素子を設けたアクティブマトリクス方式のLCDでは、通常TFTを用いたTFT-LCDが、よく知られているが、ほかにも一つの有望なスイッチング素子として、TFDがある。TFD-LCDは、TFT-LCDに近い表示性能を、簡単な製造プロセスで、低コストで実現できる可能性が高いところから期待されてきた。

TFD-LCDならではの特長を生かして実現した、明るく見やすい、消費電力の少ない比較的小型サイズのモノクローム反射型ディスプレイは、著しい伸長が期待される、携帯情報端末などの小型情報機器用途への応用が考えられている。

LCDは、交流駆動により動作させる。このため、スイッチング素子にTFDを用いる場合には、正負双方方向のダイオード特性が必要となる。われわれが開発した、図1に示す(金属-酸化膜-金属)のサンドイッチ構造を直列に接続したタンデム型のTFD素子は、新たに見いだした工程での熱処理の効果も加えて、図2に示すようにほぼ完全に対称な電流-電圧特性をとる。このタンデムTFD素子を各液晶表示画素に設けて構成したTFDアレイ基板は、一方向に形成された細い電極配線と、小さなTFD素子だけが光の遮蔽部分であり、縦横方向に設けられた金属電極、TFT素子、補助容量の必要なTFTアレイ基板に比べると、表示面積に占める光を透過する面積の

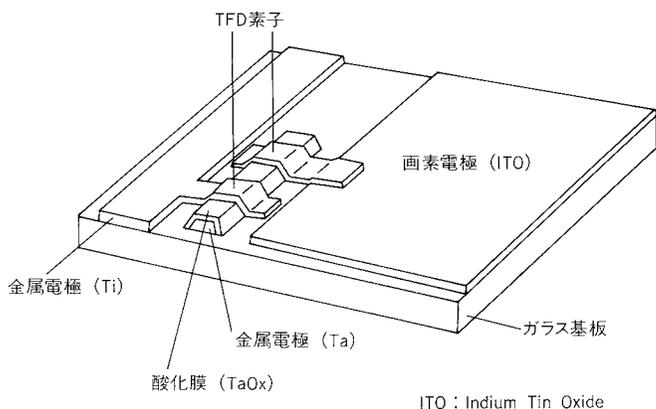


図1. タンデム型TFD素子の構造 金属-酸化膜-金属のサンドイッチ構造を直列に接続したタンデム型のTFD素子は電流-電圧特性の対称性に優れている。

Structure of tandem TFD element

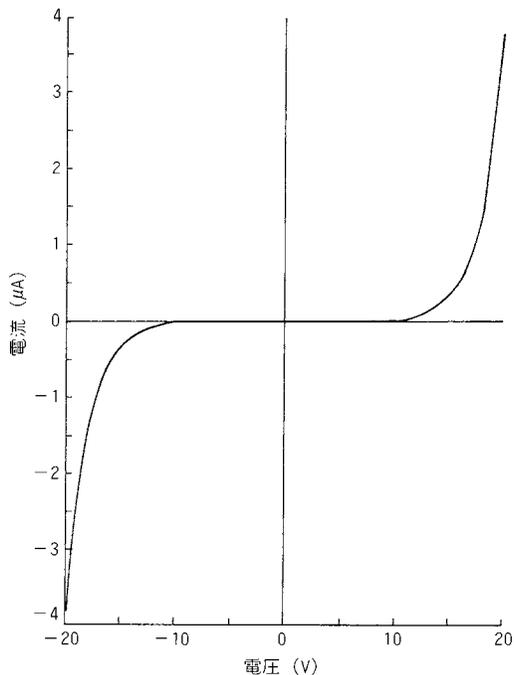


図2. 双方向ダイオード特性 液晶の交流駆動に最適で、完全に対称な電流-電圧特性を示す。

Characteristics of bidirectional diode

割合(開口率)が大きくとれ、明るい表示に有利となる。また、シンプルマトリクス方式はスイッチング素子を設けず、透光性の電極だけで形成した、原理的に光を遮蔽する部分のない基板を用いているにもかかわらず、一方で光透過率の低いSTN液晶と位相差板を使用しているため、より透過率の高いTN液晶を用いているTFD-LCDのほうが、総合的にはシンプルマトリクスに比べても明るく見やすい表示を達成できる。

3.2 反射型LCDの特性

これまで、反射型として多く使われてきたのはシンプルマトリクス方式だが、実用的に、表示の明るさ、コントラスト比に問題があった。反射型LCDでは、明るさとコントラスト比の向上、両立が必要である。単純なモデル(図3)によれば、反射型LCDのコントラスト比(CR)は次の式で表される。

$$CR = \frac{\text{表面} \cdot \text{金属部反射} + \text{開口部(白表示)反射}}{\text{表面} \cdot \text{金属部反射} + \text{開口部(黒表示)反射}} \quad (1)$$

$$\text{表面} \cdot \text{金属部反射} = R_s + R_m \times (1 - \alpha_w) \quad (2)$$

$$\text{開口部(白表示)反射} = R_r \times (1 - R_s)^2 \times T_w^2 \times \alpha_w \quad (3)$$

$$\text{開口部(黒表示)反射} = R_r \times (1 - R_s)^2 \times \{ T_b^2 \times \alpha_b + T_w^2 \times (\alpha_w - \alpha_b) \} \quad (4)$$

ここで、各パラメータの意味は次のとおりである。R, T, αは、それぞれ、反射率、セル透過率、開口率、添字 r, s, m は、反射板、パネル表面、金属部で、B, w は、白・黒表示時の値をとることを意味する。

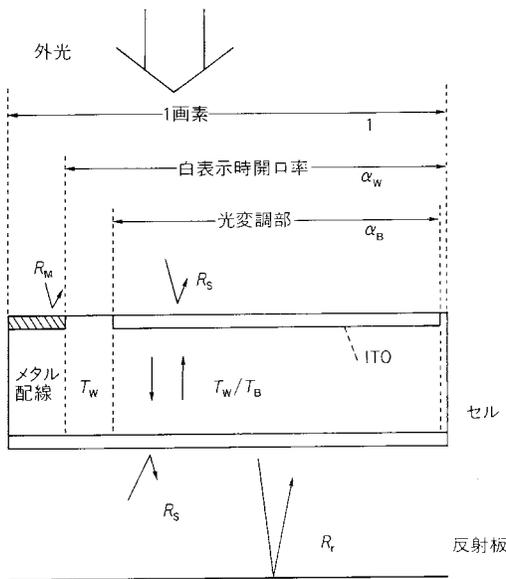


図3. 反射型LCDのコントラスト比計算モデル LCDセルにおける入射光の反射を計算するための簡単なモデルを示す。
Reflective LCD contrast ratio calculation model

白表示の透過率 T_w を上げることが、明るさを向上させることになるが、上述の式からは、白開口率 α_w 、白透過率 T_w ともに大きいことがコントラスト比確保に有効ということがわかる。一例を図4に示す。ここでは、 α_w 、 T_w を変え、その他のパラメータを実際に近い状態にしている。横軸に、透過型にしたときの画素内のコントラスト比をとり、縦軸に反射型のコントラスト比をとっている。これまで、透過型のLCDでは高いCRが実現されてきたが、反射型では限界があることがわかる。

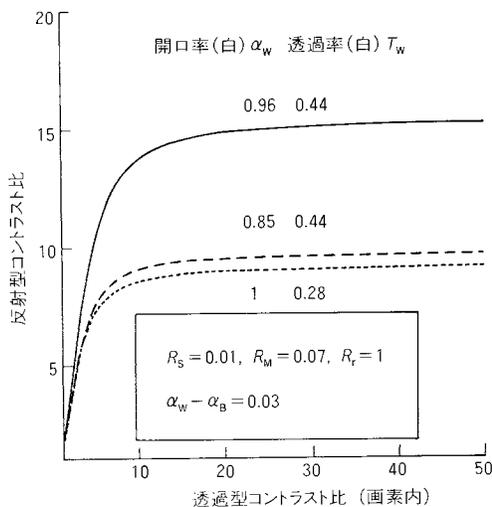


図4. コントラスト比の計算結果 透過型LCDで高いコントラスト比を達成できる構成でも反射型では限界がある。

Results of contrast ratio calculations

α_w が大きくて T_w の小さい、シンプルマトリックス方式や、 α_w は小さいが T_w が大きい TFT-LCD がせいぜい 10 未満の CR にとどまってしまうときに、TFD-LCD では 15 程度の値が可能になる。 α_w と T_w をともに大きくとれる方式だからである。

3.3 反射型 TFD の高輝度設計

3.2 節で述べた設計指針に基づいて、高輝度の反射型 TFD-LCD の設計、製作を行った。TFD アレイの設計では遮光部を極力減らして、白表示時の開口率を向上させ、対角 20 cm (7.8 型) で 95% (VGA (Video Graphic Array) 対応の画素数)、対角 10 cm (4.1 型) でも 95% (1/2 VGA 対応の画素数) とした。また、セル構成については、表示モードを白表示時の開口率の大きな、ノーマリホワイトとし、併せて高透過率の偏光板を採用した。

図5に示すような標準的な系でLCDパネルの表面照度を 580 lx として、今回試作した TFD-LCD と、市販のモノクローム反射型 TFT-LCD (パーソナルコンピュータ搭載) および STN-LCD (携帯情報機器搭載) を測定したところ、表1の結果を得た。上述した計算値のとおり、明るさ、コントラスト比ともに、TFD-LCD が勝っていた。図6、図7に示すような実際の表示動作を見ても、これまでの反射型LCDのイメージを一

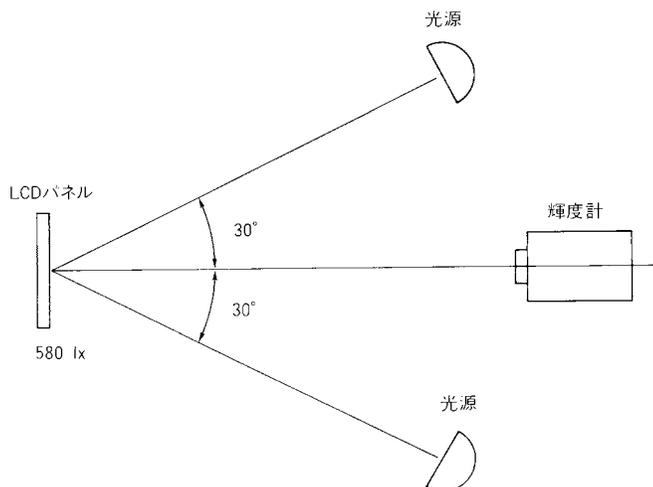


図5. 反射型LCDの表示特性測定系 パネルの表面照度を 580 lx として反射型LCDの輝度、コントラスト比を測定する。

Display characteristics measurement setup for reflective LCD

表1. 各種反射型LCDの特性測定結果

Results of measuring characteristics of reflective LCDs

	TFD 対角20 cm 640×480	TFD 対角10 cm 480×320	TFT	STN
白表示開口率 (%)	95	95	82	100
画素ピッチ (mm)	0.249	0.18	0.33	0.24
白表示輝度 (cd/m ²)	53.0	54.8	40.0	40.0
コントラスト比	15.1	15.2	9.8	5.1

表2. モノクローム反射型 TFD-LCD の仕様
Specifications of monochrome TFD-LCD

	対角 20 cm (7.8 型) VGA	対角 13 cm (5.2 型) VGA	対角 10 cm (4.1 型) 1/2 VGA
表示方式	TFD 方式ノーマリホワイト反射型		
画素数	640(W)×480(H)	640(W)×480(H)	480(W)×320(H)
画素ピッチ(mm)	0.249×0.249	0.165×0.165	0.180×0.180
画面寸法(mm)	159.4(W)×119.5(H)	105.6(W)×79.2(H)	86.4(W)×57.6(H)
輝度(cd/m ²)	50(at 580 lx)	50(at 580 lx)	50(at 580 lx)
消費電力(W)	0.3 (標準)	0.3 (標準)	0.2 (標準)

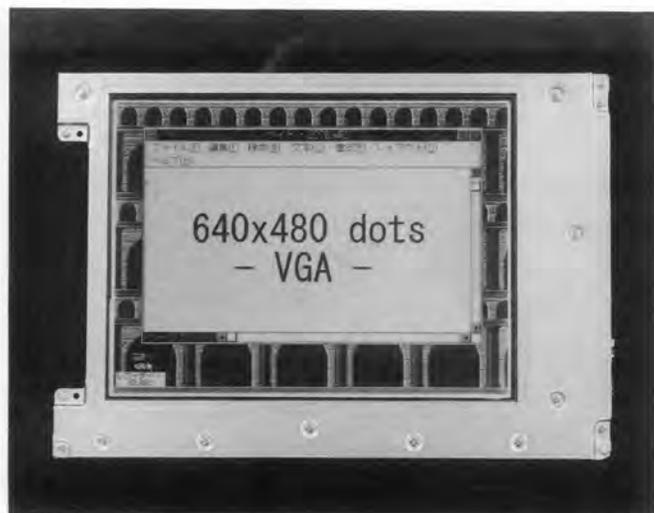


図6. 高輝度反射型 TFD-LCD (1) 対角 20 cm (7.8 型), 640×480 画素の表示例を示す。

High-luminance reflective TFD-LCD (1)



図7. 高輝度反射型 TFD-LCD (2) 対角 10 cm (4.1 型), 480×320 画素の表示例を示す。

High-luminance reflective TFD-LCD (2)

新するような優れたものとなっている。表2に、対角10 cm, 13 cm, 20 cmの反射型 TFD-LCD の特性仕様を示す。

4 あとがき

TFD アレイ基板の白表示高開口率化とセルの高透過率構成を基本に、反射型モノクローム TFD-LCD を設計、製作した。対角 10 cm, 13 cm および 20 cm のいずれについても、標準的な測定条件である 580 lx の照明下で、50 cd/m²以上の高輝度化と 15 以上の実用上十分なコントラスト比を達成できた。これらの値は、反射型 LCD の原理から計算される現有技術での上限に近いものである。

“紙”という究極の反射型情報媒体をもつ人類にとっては、まだ十分な表示ではないが、ここしばらくの間は TFD-LCD が、携帯情報機器用のディスプレイにはもっとも有力な候補であり、始まったばかりのこの用途を切り開いていく大きな原動力になるものと考えている。

この先となると、拡散反射率を上げ、より白い背景を実現するために、偏光板の除去、反射面のくふうなど表示方式自体の見直しが必要となる。さきに述べた、ゲスト・ホストモードを TFT アレイと組み合わせた構成とともに、TFD を高分子分散 LCD と組み合わせた構成が世の中に提案されている。TFD にさらに明るい LCD を組み合わせ、ペーパーホワイト、ペーパーライクディスプレイが実現されよう。



森田 廣 Hiroshi Morita, D.Eng.

1974 年入社。各種電子部品・材料およびその製造プロセス開発に従事。現在、ディスプレイデバイス技術研究所開発第二部部长、工博。
Display Device Engineering Lab.