

# 解説

## 反射型液晶ディスプレイ

木村直史

シャープ(株)液晶天理事業本部液晶研究所 〒632 天理市櫛本町 2613-1

(1995年5月29日受理)

### Reflective Liquid Crystal Display

Naofumi KIMURA

Liquid Crystal Laboratories, Tenri Liquid Crystal Display Group, Sharp Corporation,  
2613-1, Ichinmoto-cho, Tenri 632

#### 1. はじめに

液晶ディスプレイは、電卓、時計などの反射小型ディスプレイから、ワープロ、パソコン用の大型ディスプレイに用途展開を図り、大きな市場を形成しつつある。

しかしながら、ディスプレイ全体をみると、CRT (cathode ray tube) が価格と性能のバランスの良さにより依然として約70%を占めており、その優位性を保っている。

このような環境下で今後液晶ディスプレイがさらなる市場拡大を図ってゆくためには、液晶本来の特徴である薄型・軽量および低消費電力を最大限に生かすとともに、これまで以上の高精細、高画質を同時に追求してゆくことが必要である。特に最近、携帯性がきわめて重要となる携帯性情報端末等の市場開拓により、これらの液晶本来の特徴が見直されつつある。これらの点から、液晶本来の特徴を十分に生かした反射型ディスプレイの開発は今後の液晶の将来を決めるといっても過言ではない。

ここでは、反射型ディスプレイの命である明るさに焦点をあてた反射型ペーパーホワイト白黒ディスプレイの開発動向と、今後のマルチメディア化を目指した反射型カラーディスプレイの実現の可能性について報告する。

#### 2. 反射型ペーパーホワイト液晶ディスプレイ

これまで、電卓や時計用の反射型液晶表示素子として用いられた多くのタイプは、偏光子2枚と反射板それに90°ねじれ構造の液晶層から構成されるTN (twisted

nematic) 型ディスプレイである。電圧のon/offにより偏光状態を直線偏光が90°回転した状態でスイッチングできるために(旋光性)、偏光変化を利用した液晶表示モードとしては理想的である。

一方、電子手帳、携帯情報端末、ワープロ用のように表示容量の大きいディスプレイに対しては、STN (super twisted nematic) 型と呼ばれる電界による複屈折変化を利用した表示モードが広く使われている。構成はTN型と同様に偏光板、反射板と200~270°ねじれの液晶層から構成されている。

しかし、波長分散により着色が生じるため、現在ではこの波長依存性を光学補償するために1軸性の位相差フィルムと組み合わせたF-STNが主流であり、白黒表示を実現している。

しかしながら、これらの表示方式は偏光板を用いるために、入射光の半分以下は利用されない。そこでペーパーホワイトとはいえない。次に、ペーパーホワイトを目指したいくつかの取組みを紹介する。

##### 2.1 散乱型ディスプレイ

紙に近い表示を得るために、紙と同様の光学原理である散乱を用いた液晶表示が考えられている。この中で特に最近注目されているのは図1に示すように高分子中に液晶粒を分散させた高分子分散型液晶(PDLC: polymer dispersed liquid crystal)と呼ばれるものである<sup>1)</sup>。液晶と高分子の屈折率差( $n_e = n_p$ ,  $n_e$ : 液晶の異常光屈折率,  $n_p$ : 高分子の屈折率)で液晶/高分子界面で散乱が起り、電圧印加により液晶の屈折率を可変し、液晶と高分子の屈折率が等しくなったときに透明となる。

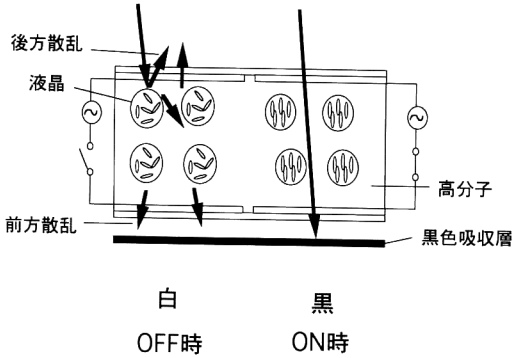


図1 高分子分散型液晶

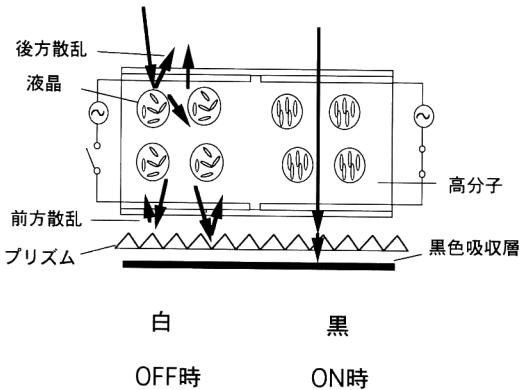


図2 プリズムシートを用いた高分子分散型液晶

このディスプレイを直視型として用いるには、図に示すように背面に光吸収層を設けて、散乱時には後方散乱光による白表示を、透明時には透過した光が吸収層で吸収されて黒表示を実現する。この際の最も大きな課題は、後方散乱をいかに大きくするかという点であり、これが明るさに寄与する。後方散乱の量は液晶と高分子の屈折率差、液晶層厚に依存するが、現状では10~15%程度であり、それ以外は前方散乱される。そこで、透過した光を前方に返してやり明るさを向上させる試みが行われている(図2)<sup>2)</sup>。この場合、図に示すように散乱時には前方散乱で透過した光をセル正面に返してやり、透明時には吸収層に到達するようにプリズムが設置されている。これにより明るさを改善しているが、斜め方向からの光に対しては黒表示に散乱光が加わってコントラストを低下させる等の課題が残る。

## 2.2 吸収型ディスプレイ

偏光板による光のロスをなくすために、液晶中に2色性色素を混入したゲストホストモードが知られている。特に、液晶の分子配向に360°以上のねじれ構造をもた

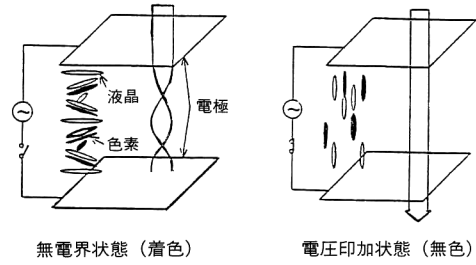


図3 PC (相転移) ゲストホストモード

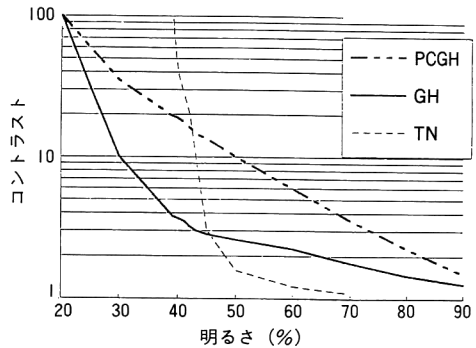


図4 各種表示モードの明るさ比較

せたPC (phase change: 相転移) モード<sup>3)</sup>は、偏光子を全く必要としない(図3)。Off状態で液晶にある程度以上のねじれ構造をもたせると、旋光性がなくなるために、入射した光の偏光状態は変化せずにセル内を通過する。セル内の色素分子は平面内であらゆる方向に配向しているためすべての偏光に対して吸収をもつことになる。電圧on時には、液晶分子は電界方向に揃うため色素の吸収はなくなり透明状態となる。図4にこのPCモードとTNモードとの明るさの比較を示す。特に50%以上の非常に明るいところで最もコントラストが高く、反射型ディスプレイに適していることがわかる。

## 2.3 選択反射型ディスプレイ

コレステリック液晶層の選択反射を利用することにより表示を行うことも可能である。選択反射は、コレステリック層の螺旋構造の周期性に基づくブラッグ反射である。構造周期の屈折率変化が非常に大きいため、左(右)円偏光が入射すると広い波長領域で100%の反射光が得られる。通常この反射光はある色を呈する。例えば、液晶層の平均屈折率を $n$ 、螺旋構造のピッチを $p$ とするとピーク波長は $\lambda p = np$ となる(図5)。コレステリック液晶にモノマーを混入し、光照射すると、ある条件下で螺旋軸があらゆる方向に傾いた液晶構造を形成し固定することができる<sup>4)</sup>。選択反射はブラッグ反射であるた

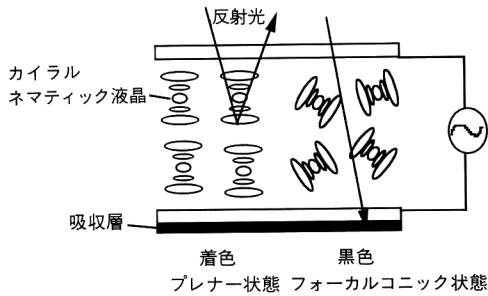


図5 選択反射型ディスプレイ

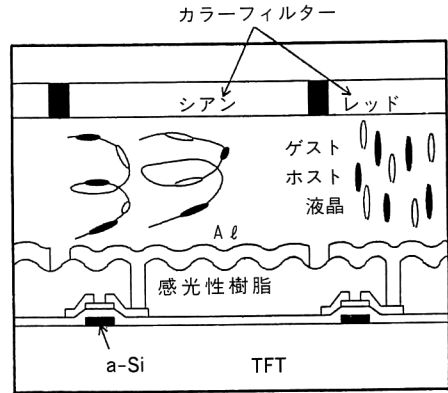


図6 反射型マルチカラーディスプレイ

めに、螺旋軸が傾くとピーク波長のシフトが生じる。したがって螺旋軸があらゆる角度に傾いている場合、液晶層は広い波長範囲の光を反射するため明るい白黒ディスプレイを実現する可能性がある。

### 3. カラー化

反射型ディスプレイのカラー化は、白黒よりもはるかに明るさの確保が難しくなる。従来のTNモードを用いた透過型TFTカラーLCD (transmissive thin film transistor color liquid crystal display) の場合、RGBマイクロカラーフィルターの画素分割による光のロス(約33%)、TFTの開口率(約50%)、偏光板によるロス(約40%)により、光の利用効率は数%以下となる。そのため、バックライトシステムが必要となり、低消費電力とはいえない。

これまで行われている反射型でのカラー表示実現の取組みは大きく分けて2通りある。ひとつは、カラーフィルター方式の延長線上として各層での光ロスを徹底的に抑えてゆこうとする取組みであり<sup>5)</sup>、もうひとつはカラーフィルターの画素分割によるロスをなくすために、1画素で多色表示を行おうとする取組みである<sup>6-9)</sup>。

#### 3.1 カラーフィルター方式

筆者らは液晶パネルの光利用効率を高めるために、これまでの透過型カラーTFT-LCDにはない新規なTFT構造、カラーフィルターおよび液晶表示モードを適用した、図6に今回開発した反射型マルチカラーLCDの断

面図を示す。表1に光の利用効率の比較表を示す。

それぞれの要素技術に対して次のような改良を行った。

##### 3.1.1 補色カラーフィルター

RGBで1画素を形成する場合、入射光の1/3しか利用されない。この画素分割による輝度低下をなるべく防ぐため対向基板には、R、G、Bの3原色の代りにシアン、レッドの2色からなる補色マイクロカラーフィルターを形成している。シアン、レッドで1画素を形成するため光のロスは50%となり、RGBの場合と比べて白を表示したときの明るさが約1.6倍となる。

##### 3.1.2 TFT構造

パネル開口率を高くするために、画素電極を絶縁膜を介してゲートバスライン、ソースバスライン上にも形成したpixel passi構造を適用した。絶縁膜としてアクリル性樹脂を用いており、画素電極はコンタクトホールを介してTFTのドレイン電極と接続されている。反射電極材料としてAlを用いており、開口率としては85%と従来の透過型TFTの値(約50%)と比べてきわめて高い値を得ている(約1.6倍)。

##### 3.1.3 反射電極構造

ここでは、Alを形成した反射画素電極に凹凸構造を設けることにより画素電極と散乱性反射板を兼ねた構造とした。凸部は1画素内では不規則に配置されている。

表1 液晶パネルの光利用効率(%)

現行 TFT 透過型カラー		反射型カラー	
カラーフィルター	Red, Green, Blue	Cyan, Red	50
開口率		Pixel on passivation	85
表示モード	TN	PCGH モード	60
反射ゲイン		凹凸形状の最適化	120
計			30.6

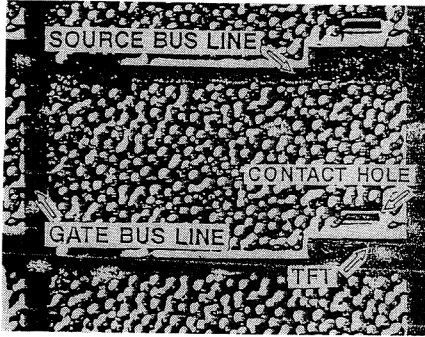


図7 反射画素電極

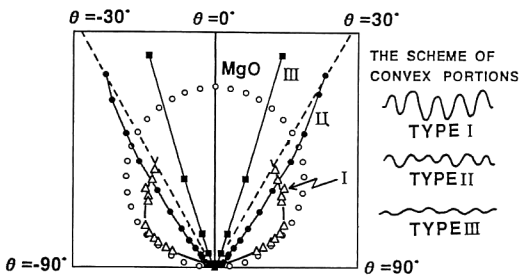


図8 異なる形状をもつ反射面の反射光分布

これは回折あるいは干渉により反射光に波長特性が生じないようにするためである。作成した TFT 素子および画素電極の顕微鏡写真を図7に示す。画素内に微細な凹凸が形成されており、形状が不規則に並べられている。

また形状を最適化することにより反射のゲインが大幅に向上した (約1.2倍)。

3.1.4 表示モード

表示モードとしては上記した各種の表示モードの中で吸収型のゲストホスト PC モードを採用した。これは、散乱モードでは混色時に色の彩度が落ちるため、それ以外で最も明るい表示モードを選んだ。

3.2 反射特性およびパネル特性

次に、反射型 TFT の反射特性について検討を行った。反射型 TFT-LCD の反射特性に影響を及ぼす光学的な基本構造として、ガラス/液晶層/反射 Al 電極からなっているとし、液晶層の屈折率がほぼガラスと等しく約1.5であるとすると、反射特性に最も大きな影響を及ぼすのは反射電極の凹凸の形状である (実際今回用いた液晶の常光, 異常光の屈折率  $n_o, n_e$  は  $n_o=1.48, n_e=1.57$  とほぼ1.5に近い値を示す)。

反射電極に形成している凹凸のピッチが光の波長より十分長いとすると、凹凸のピッチや高さで決まる傾斜角度で反射特性が決定される。例えば、傾斜角度の小さい

滑らかな表面にセル正面から光が入射すると、光はほとんどセル正面方向すなわち正反射方向に反射される。このようなセルではある一方ではきわめて明るい、それを外れると全く光が反射されず視角の狭いディスプレイとなる。一方、傾斜角度が大きくあらゆる角度に反射される場合、大きな角度で反射された光はガラス/空気界面で反射されセル外部には到達しない。ガラス/空気界面に到達した反射光の入射角度  $\phi_c$  が  $\sin \phi_c = n_0/n_1$  で示される値以上のとき全反射され、光がガラス内部に閉じ込められてしまう ( $n_0$ : 空気の屈折率1.0,  $n_1$ : ガラスの屈折率1.5のとき,  $\phi_c \approx 42^\circ$ )。すなわち、傾斜角度を大きくしすぎると光を表示に有効に利用することはできない。

このことを確かめるために、いろいろな傾斜角度をもつ反射面を形成して反射特性の測定を行った。角度  $\theta$  で光を入射し、正面方向の光強度をフォトマルで測定した。入射光の平行度は  $\pm 6^\circ$ 、受光光学系の開口角は約  $2.7^\circ$  である。また測定反射電極上に液晶と同じ屈折率の樹脂 ( $n \approx 1.5$ ) が接した状態で行った。図8にtype I ~ IIIの傾斜角度の異なる反射面での測定結果を示す。図中○印は、等方散乱性の標準反射板の反射特性である。滑らかな表面をもつ type IIIの場合、反射光は正面方向に強く戻ってきており、それを外れると暗くなっていることがわかる。傾斜角度の大きな type Iの場合、あら

表2 試作パネルの仕様

画面サイズ	4.7型
画素数	240×320×2(C, R)
ドットピッチ	300×150μm
開口率	85%
コントラスト	1:10
表示色	4色(白, 黒, シアン, レッド)
視野角	±50°(水平方向) ±50°(垂直方向)
消費電力	50 mW(千鳥反転表示)

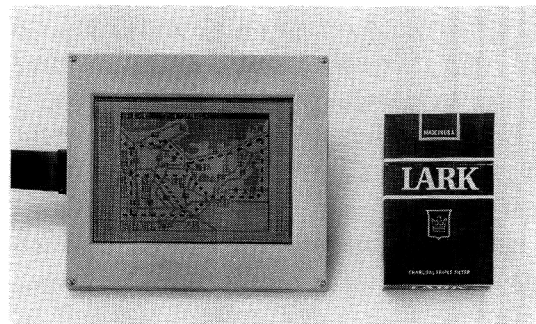


図9 反射型マルチカラー LCD の表示例

表3 1画素多色表示

	明るさ (%)	表示色		視角	駆動電圧	階調 (フルカラー可能性)	最大の課題
		彩度	色数				
1. Guest host 3層 (cyan/magenta/yellow)	60	○	◎	◎	◎	○	・セル構造の複雑さ
2. PDLC GH 積層 <sup>10)</sup>	50	○	△	◎	○	△	・駆動方法 ・セル構造の複雑さ
3. 多重干渉 <sup>11)</sup>	70	◎	◎	○	×	○	・駆動電圧がきわめて高い ・セル構造の複雑さ
4. 位相フィルム方式 <sup>12)</sup>	40	△	△	△	○	×	・白/黒が同時に表示できない ・明るさと色を独立に制御できない

◎: 非常に良い ○: 良い △: 不十分 ×: 全く不十分

ゆる方向に光は反射されているが、その強度は小さいことがわかる。その中間の形状をもつ type II の反射電極により指向性と散乱性に優れた明るい反射特性が得られた。

表2に今回試作したパネルの仕様を、図9に表示例を示す。パネルサイズは、対角4.7型、画素数は縦方向240ドット、横方向は320×2ドット、画素ピッチは300×150 μmである。開口率は85%と高く、コントラスト比は約10:1である。

ここでは、シアン、レッドのカラーフィルターを用いた4色表示の例を示した。さらに多色化(8色, 16色, 512色)してゆくためには、今後以下の点の改良が必要となる。

- ① 明るいRGBカラーフィルター
- ② 階調表示可能な液晶表示モード
- ③ 高オーダーパラメーター色素材料

### 3.3. 1画素多色方式

表3に示すようにカラーフィルターを用いずに1画素で多色表示を行う取組みもいくつか行われている。ゲストホスト3層はシアン/マゼンタ/イエローの3色のゲストホスト層を、PDLC GH 積層は高分子分散型液晶中に2色性色素を混入した層を同様に積層したものであり、明るさも50%を越えており、その他の性能をみてもある程度満足できる。

1画素多色方式をカラーフィルター方式と比較してみると、利点として1画素を3分割することによる明るさのロスがないため明るいカラー表示の可能性がある。

しかし、基本的に3原色を積層し、しかもそれぞれの層を独立に駆動する必要があるため、セル構造、駆動方法がきわめて複雑になることが課題として挙げられる。

現段階では1層の色特性を改良する手法については報告されているが、いかにフルカラー化するか、駆動する

かについては模索段階である。

## 4. ま と め

今後、グリーンPCやインフラの進展と位相をあわせた携帯情報端末の開発活発化が予測される。その中で低消費電力性に圧倒的に有利な液晶ディスプレイはその中心的な役割を担うと考えられる。このためには、色彩に優れた反射型カラーの実現が大いに期待される。

携帯情報端末はこれまでの単に個人のスケジュール管理を行う手帳の役目から、通信機能を備えたコミュニケーターへ、さらに画像情報を搭載したマルチメディア機器へと進化すると考えられる。反射型LCDの開発はこれと同期して、コミュニケーターとしてはまず明るいモノクロ表示や数色のマルチカラー表示が主流となり、マルチメディア機器では表示モード、駆動法の改善によりフルカラー化が続くものと考えられる。しかし、写真表示のような明るい高解像度の画像の実現には表示モードや周辺材料のブレークスルーが必要となってくる。

## 文 献

- 1) P. Nolan, et al.: 1993 Int. Display Research Conf. (1993) p. 397.
- 2) A. Kanemoto, et al.: 1994 Int. Display Research Conf. (1994) p. 183.
- 3) D. L. White and G. W. Taylor: J. Appl. Phys., **45** (1974) 4718.
- 4) D. K. Yang, et al.: 1992 SID Digest (1992) p. 759.
- 5) K. Tadokoro, T. Koizumi and T. Uchida: Japan Display '86 (1986) p. 312.
- 6) H. Ikeno, et al.: Japan Display '92 (1992) p. 707.
- 7) 窪田恵一: 特開昭 61-151618 (1987).
- 8) K. Tanaka, et al.: Proc. Eurodisplay '93 (1993) p. 109.
- 9) 西野利晴, 佐藤 彰: 日経マイクロデバイス, 94年1月号 (1994).
- 10) B. G. Wu, et al.: SID '90 (1990) p. 217.
- 11) K. Tanaka, et al.: Proc. Eurodisplay '93 (1993) p. 109.
- 12) 西野利晴, ほか: 第41回春季応用物理学会, 28a-A-3 (1994).