

直視型液晶ディスプレイと光学技術

堀 浩 雄

液晶ディスプレイ (LCD) は低電圧・低電力駆動, 薄型・軽量などの特長が認められ, 生産技術の確立により, 電子ディスプレイ市場ではブラウン管に次ぐ地位を占め, 種々の OA 用電子機器や携帯電子機器分野を中心に普及している。

LCD にはブラウン管や PC 用の LCD のように表示面を見る直視型と映画や OHP のようにスクリーンに光学的に拡大投影して見る投写型がある。投写型にはスクリーンの対角が 32 インチ以上のテレビ表示や会議などのプレゼンテーションシステム, まだ少数ながら 200 インチほどの会議場用などがあり, 技術の発展も著しいが, ここでは直視型に限りその技術の動向を TFT (thin film transistor)-LCD, 反射型 LCD を中心に, 光学技術とのかかわりで眺めてみる。

1. 直視型 LCD の技術動向の概略

今後の性能改善で求められる理念は, LCD もやはり「人に優しく地球に優しい」に集約される。すなわち, 見やすさ (大きさ, 解像度, 輝度・コントラストなどの画質, 階調表示性, カラー表示性, 視角…) と扱いやすさ (薄型・軽量化…), 製造時の省資源, 低消費電力動作などが社会の要請である。これに従った技術開発として, 大型・高精細化や高画質化, 高輝度・低消費電力化, 広視角化などが, 材料・部材・設計・製造プロセス, 駆動方式などの広範囲にわたって進められている。

大型・高精細化では, 駆動周波数が高まるため電極母線の低抵抗化・低容量化が必要となり, また輝度低下につながる画素の開口率低下を防ぐデバイス設計・微細加工技術に関する開発, 製造歩留まり対策が行われてきた。

高輝度・低消費電力化では, 光透過率向上のための TFT アレイの開口率向上と LCD 構成部材の開発, バックライトシステムの高効率化が重要である。また, 今後の情報化社会で多用が予想される種々の携帯情報機器では超低消費電力化が叫ばれ, バックライト不要の反射型 LCD が必要であり研究開発が行われている。低電圧動作液晶の開発や新駆動方式による低電圧化も低電力化には有効となっている。

LCD のコントラストや表示色の角度依存性が大きいという欠点に対しては, 光位相差板による光学的補償や液晶分子配向の工夫¹⁾, 新しい液晶動作モード^{2,3)}の採用などによる広視角化が進められてきた。

以上の技術開発については, 例えば本誌第 24 巻第 10 号⁴⁾にて解説されているので, ここでは重複を避け, これらの最近の技術開発のうち光学技術に関するいくつかの話題や課題を紹介していく。

2. TFT-LCD

TFT-LCD は, 各画素にスイッチ素子である TFT と信号蓄積容量を設けた構成とし, その TFT と信号蓄積容量とを介して液晶に電圧を印加し駆動するようにしたものである (図 1)。TFT-LCD の特長は, 1) 原理的には単純マトリクス型のような走査電極数の制限がなく, 大表示容量化に向く, 2) クロストークを抑えることができ, コントラストが高い, 3) 液晶の励起時間を長くできるので高輝度で, 応答速度も速い, 4) 透明なガラス基板などにスパッター, CVD などで膜を形成するので大型化とカラー化が可能, などである。これらの動作原理上の理由から, 低電圧・低電力駆動, 薄型・軽量などの LCD の特長以外にディスプレイとしての高性能性が期待されてきた。

TFT-LCD のコントラスト比は正面方向で 200:1 以上が得られている。階調表示性が STN-LCD など単純マトリ

(株)東芝 液晶開発センター (〒366-8510 深谷市幡羅町 1-9-2)
E-mail: hhorii@tde.fukuya.toshiba.co.jp

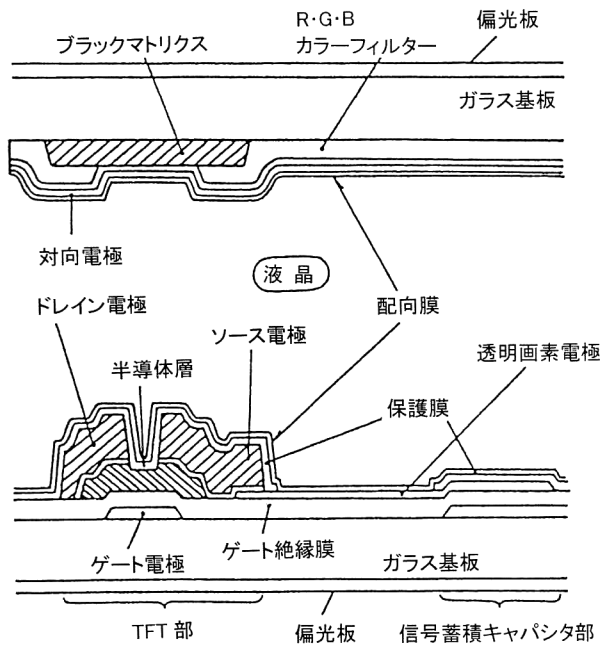


図1 TFT-LCDの画素部断面構造。

クス型に比べてよいのも TFT-LCD の特長で、256 階調が実用されている。高精細表示の例としては、画素が 1600×1200、画素ピッチが 0.27 mm の UXGA 対応の 21.3 型や、画素が 1536×1120、画素ピッチが 0.18 mm の 13.5 型などが開発されている。また、12～15 型の XGA, SXGA 対応が実用されている。画面が大きい例としては、23 型あるいは継ぎ合わせによる 40 型のカラー LCD の例がある。

2.1 高輝度・低消費電力化

2.1.1 光利用率、輝度、消費電力の現状

TN モードの TFT-LCD の光透過率は、偏光板 (2 枚、約 41%)、カラーフィルター (25%)、開口率 (～80%)、ITO ガラス基板 (90%) を総合すると 7.5% ときわめて小さく、光利用効率が悪い。バックライトは奥行きを薄くするため、外径が 3 mm ほどの冷陰極蛍光管を透光性の樹脂製導光板の端部に配置した“サイドライト”方式が一般的となっている。大型の高輝度用には、外径がやや太くなるが、発光効率が有利となる熱陰極蛍光管も採用されている。サイドライト方式では蛍光管から導光板への集光効率は約 70%、導光板その他の導光効率が約 70% である。したがって、TFT-LCD では蛍光管からの光は 3.5% ほどしか利用されていないわけである。

冷陰極蛍光管の発光効率は 45 lm/W、蛍光管の電源効率は 80% 程度であり、TFT-LCD の光利用効率の 3.5% は 1.3 lm/W の電気・光変換効率に相当する。正面方向にピーク輝度をもつ指向性のため輝度測定からの単純な換算値は 2～3 lm/W とやや大きめであるが、さらなる効率向上が望

表1 冷陰極型および熱陰極型 LCD 用蛍光管の評価⁵⁾。

	冷陰極型	熱陰極型
管内径 (mm)	2	5
放電長 (mm)	100	600
ランプ電流 (mA)	5	100
ランプ電圧 (V)	310	160
ランプ電力 (W)	1.5	16
陰極降下 (V)	150	13
光出力 (lm)	65	1400
ランプ効率 (lm/W)	42	88
陽光柱効率 (lm/W)	81	95

まれている。

ディスプレイ輝度は採用するバックライトにより 70～200 cd/m² である。消費電力はサイズや表示規模によるが、12 インチ級の消費電力は駆動が 1 W、表示輝度が 70 cd/m² の場合のバックライトが 2 W 程度であり、合計で 3 W 強となっている。

なお、超低電力化につながる反射型については 3 章にて述べる。

2.1.2 バックライト系

a) ランプ発光効率

冷陰極型および熱陰極型の LCD 用蛍光管について、米国 Sylvania 社の Pai が評価した結果⁵⁾を表 1 に示す。ランプ電力のうち可視光となるのは、冷陰極型では 12%、熱陰極型では 25% である。

冷陰極型は薄型に好都合であるが、大型 LCD ではランプ電圧が高まり、現状では放電長は 300 mm ほどであり、冷陰極型の改善のポイントは陰極降下電圧の低下であり、効率向上は陰極の改良で 50% 増が可能、また陽光柱長の伸長でも可能との見方がある⁵⁾。

大型・高輝度用には、管径が太くなるが、熱陰極型がヒーター電力も無視でき効率の点では表 1 から有利となることうかがえる。

b) 指向性照明

一人で使用する LCD では必要な範囲の角度にバックライト照明を制限すれば電力の節電になるし、LCD の視角特性からして使用できない範囲の角度への照明光を制限するのは理に適っている。

アクリルやポリカーボネートなどのプラスチックフィルム表面にエンボス加工あるいは射出成形加工したホログラフィック拡散板で光の進行を特定方向とし、また分布を変換する方法がある。屈折による拡散でありフレネル損失のみで、透過率は 85～92% と高い特徴がある。

c) バックライト用新偏光板

TN モードなど吸収型の偏光板を用いる LCD ではバック

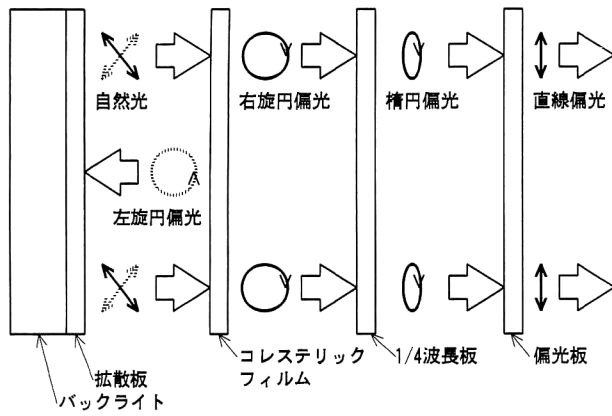


図2 バックライト用偏光板の原理。

クライト光の50%以下しか利用されない。この点の改善がコレステリック液晶のフィルム化などで技術的に可能になってきた^{6,7)}。

図2はその原理を説明する図である。コレステリック液晶フィルムと1/4波長板から構成されている。この例では、バックライトからの光の半分は、右旋円偏光となって螺旋構造をもつコレステリックフィルムを通過し、残りの半分は左旋円偏光となり反射されてバックライト方向に戻る。戻った左旋円偏光はバックライトの光拡散面で偏光解消を受けて、再度コレステリックフィルムへ向かい半分が右旋円偏光となる。以下このプロセスを繰り返す。右旋円偏光となった光は1/4波長板を通過して楕円偏光となり、LCDを構成する偏光板へ導かれる。しかしながら、単純なコレステリックフィルムでは波長幅は螺旋ピッチと複屈折率との積程度と狭いので、光重合時に選択反射幅が広がるような層構成としている。この方法では従来の50~80%増の光利用度向上が期待される。

屈折率が異なる2種の媒質で構成され界面が45°となったプリズムシートを使い、反射したs波は直接LCDへ、プリズムを通過したp波はs波に変換した後にLCDへそれぞれ進むようにした反射型偏光板としての機能をもたせた導光板が、光利用率向上に有効な方法として提案されている^{8,9)}。

2.1.3 カラーフィルターと光源の分光特性

一般のカラーフィルターでは吸収型の顔料が使われており、白色光に対する視感透過率は理論値の33%に対して23%程度と改良の余地がある。顔料などの材料や製造プロセスが不変であれば、透過率と色の彩度とはトレードオフの関係にある。多少の色再現性を犠牲にしても輝度向上あるいはランプ電力の低減を優先する場合、顔料濃度を下げても透過率を増す方法がとられる。

図3に視感透過率が23%の標準カラーフィルターおよ

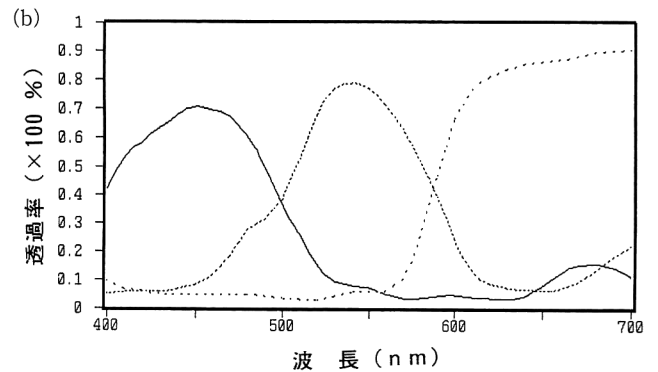
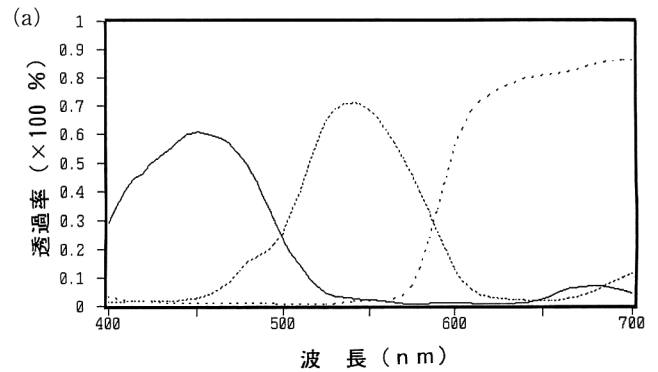


図3 カラーフィルターの分光透過特性。(a) 視感透過率23%、(b) 視感透過率30%。

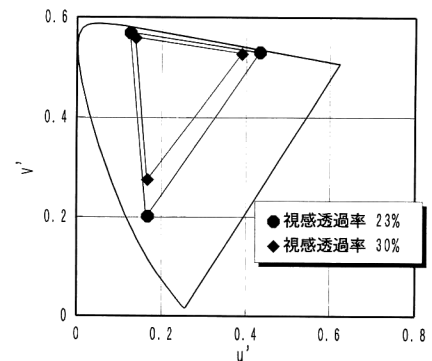


図4 現行カラーフィルターの色再現範囲と視感透過率(表色系:CIE 1976 UCS)。

び顔料濃度を下げて視感透過率を30%まで高めたカラーフィルターの分光透過特性を示す。図4はこれらのカラーフィルターと3波長蛍光管との組み合わせによるLCDの色再現範囲の計算結果を示したものである。すなわち、色再現範囲を38%狭めて輝度を30%高めることができるわけである。

なお、色再現範囲を狭めずに透過率を高めるのは限界に近いが、カラーフィルターの分光透過率のピーク値を高めること、カラーフィルターとランプの分光特性を調整することなどが望まれる。

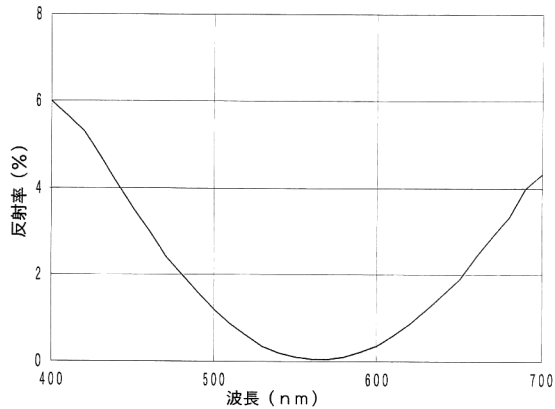


図5 CrO_x/Cr ブラックマトリクス分光反射特性.

2.1.4 フィールド順次カラー表示方式

研究段階ではあるが、輝度向上が期待された高価なカラーフィルターが不要な方式である。R, G, Bの蛍光ランプを1/180秒ずつ点灯し、白黒LCDにてフィールド順次方式でカラー表示するものである。混色防止のため TFT-LCD では各画素の LCD の光透過時間はそれぞれの色の点灯時間の半分 (2.8 ms) であるが、画素密度の 1/3 への低下による開口率の向上を無視してもカラーフィルター方式の 1.5 倍の輝度向上が期待される。ただし、この場合、応答時間が例えば 0.3 ms 以下の高速応答の液晶が必要となる。OCB モードなどのさらなる応答速度改良が望まれる。また、色の彩度の点から、各色ランプのスペクトルに重なりをなくすことが必要である。

2.2 高コントラスト化

TFT-LCD は動作原理上からもコントラストが高いことはすでに述べた。いっそうの高コントラスト化のためには液晶セルの黒表示時の光透過率を最小とするのが第一であり、液晶材料・セル条件での最適化が図られている。以下ではそれ以外の手段について言及する。

2.2.1 ブラックマトリクス

ブラックマトリクス (BM) は、TFT の半導体活性層への光を遮蔽して TFT のオフ電流の増加を抑えたり、画素の開口部の周辺からのバックライト光を遮蔽して、暗所コントラストの低下を防止している。

この BM は図 1 のように TFT アレイ基板に対向するカラーフィルター基板に形成する場合と TFT アレイ基板に形成する場合があり、Cr 薄膜を用いる場合は表面に反射防止層の CrO_x を重ねて明所コントラストを高めている。明るい野外で使用するビデオカメラのモニターなどに使われている。図 5 に視感反射率が 0.5% の CrO_x/Cr の BM の分光反射特性を示す。

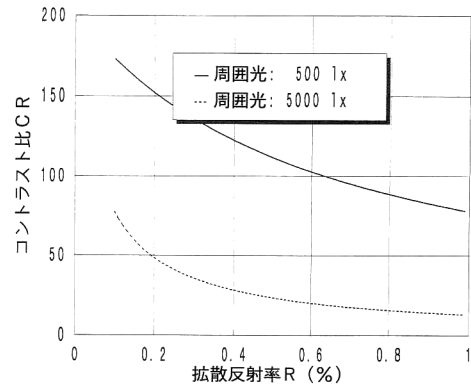


図6 コントラスト比の拡散反射率依存性 (表示輝度 200 cd/m², 暗所コントラスト比 200)。

2.2.2 カラーフィルターの透明化

TN モードなど偏光を用いる LCD では、偏光面を乱したり偏光解消を引き起こすような不均一な媒質が光路にあると、遮断されるべき光が漏れてコントラストが低下する。例えば、顔料分散型のカラーフィルターでは分散後に塊があると偏光面を乱しコントラストが低下する。

最近のカラーフィルターは材料や製造プロセスの改善で偏光に対する“透明性”が向上した。偏光板の直交位透過率に対する平行位透過率の比は 2000 程度あるが、フィルターを挿入した場合の比はひとつの例として、赤色で 800、緑色で 350、青色で 800 となる。ちなみに、赤、緑、青色のトリオ、すなわち白色に対する比 C_w は次式で表される。

$$C_w = (T_R + T_G + T_B) / (T_R/C_R + T_G/C_G + T_B/C_B) \quad (1)$$

ここで、 T_R , T_G , T_B はそれぞれ平行位偏光板間の赤、緑、青のフィルターの視感透過率、 C_R , C_G , C_B はそれぞれ赤、緑、青のフィルターを挟んだ偏光板の直交位透過率に対する平行位透過率の比 (消光率の逆数であり、LCD のコントラスト比に絡む) である。上記の例では C_w は 450 となる。この値は従来は 200 以下であり、最近では 600 を超える材料も開発されている。なお、TFT-LCD では液晶層における理想状態からのずれやゆらぎで、コントラスト比 (暗所) は 300 ほどまりとなっている。

2.2.3 表面拡散反射とコントラスト比

明るい環境下での明所コントラストを高く維持するには、LCD パネルを構成する各層の界面からの拡散反射の低減が必要である。LCD パネルの明所コントラスト比 CR は次のように表される¹⁰⁾。

$$CR = CR_0 (\pi \cdot L + R \cdot I) / (\pi \cdot L + R \cdot I \cdot CR_0) \quad (2)$$

ここで、 CR_0 は暗所コントラスト比、 L は LCD の表示輝度 (cd/m²)、 R は LCD の拡散反射率、 I は周囲光照明度 (lx) である。

図 6 に表示輝度が 200 cd/m²、暗所コントラスト比が

200 の例につき、明所コントラスト比の拡散反射率依存のシミュレーション結果を示す。LCD 表面の鏡面反射を抑えるため、偏光フィルム表面に凹凸のいわゆるノングレア処理が施される場合があるが、拡散反射率が増すためほどほどにする必要がある。

2.3 広視角化

液晶分子は細長い構造をしており、しかも複屈折性を有しているために、コントラストなどに視角依存性がある。光位相差フィルムにより広視角化を図る光学的補償法がいくつかある。ノーマリー白モードの黒状態をコレステリックあるいはカイラルネマティック液晶層を重ねて屈折率の異方性を補償するのはその一例である¹¹⁾。屈折率の異なる2種の薄膜を交互に多数重ねた複屈折補償板¹²⁾による同様の方法もある。原理は光学的に正の一軸媒体である液晶を負の一軸媒体で補正するものである。

光位相差フィルムとしてディスコティック液晶を用いる光学的補償は本号 97 ページに、また、光学技術と直接的にはかかわりがないが有力な広視角化技術でもあるインプレインスイッチングモードは同じく本号 93 ページにそれぞれ詳細に解説されているので、そちらを参照されたい。

バックライトからの光をコリメーターフィルムで LCD パネルに垂直入射させて、パネルからの出射光を画素単位で方向性なく拡散させ、視角を広げる光学フィルムも開発された¹³⁾。

3. 反射型 LCD

一般の LCD が専用のバックライトを備えているのに対して、反射型は周囲の外光、室内光を利用して表示する。したがって、暗い場所では使えないばかりか、一般には照明の条件はよくなるが一定とならない問題があり、表示性能は透過型より劣る。反射型の利点は、直視型 LCD の電力消費の大部分を占めるバックライト電力が不要となるので、電池駆動の携帯機器用に相応しいほか、LCD 表示モジュールが薄く、コンパクトになることである。“電子の紙”と期待されている LCD はこの反射型が基本である。

反射型は通常、アルミ箔の光反射板が LCD を構成する背面ガラス基板の裏面に取り付けられているか、表示電極が反射板を兼ねており、LCD の前面からの入射光を反射させて表示に利用している。TFT 駆動方式と低価格を優先する単純マトリクス駆動方式があり、後者は表示容量を増すために液晶そのものの動作にメモリー機能をもたせるケースがある。

3.1 反射型の課題

LCD の前面から入射する周囲光を利用する反射型は、既

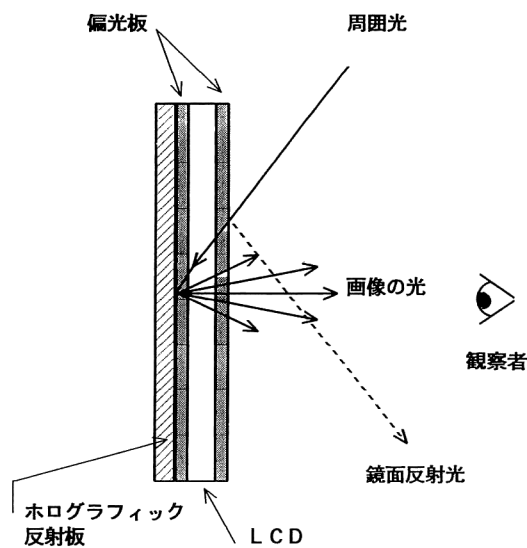


図7 ホログラフィック反射板の効果。

述のように LCD そのものの光透過率が小さい上に光路が2倍となることもあり輝度が低い。視感反射率は50%以上が開発の目安となっている。

新聞など印刷物は反射型 LCD と同じように周囲光で見る反射型といえるが、新聞の文字のコントラスト比は5~6程度と低い値である。LCD の反射型も輝度がある程度あればコントラスト比は5~10 で実用になるといわれている。しかしながら、LCD は各層の界面からの不要な光反射のため見にくい。表面反射のうち光源からの鏡面反射光を避ける角度で使用するわけであるが、拡散反射光があると見にくくなる。LCD の拡散反射率の低減が肝心である。また、LCD の輝度や色の視角依存性も新聞の見え方と異なるところである。なお、高コントラストが特徴の TN モードなど偏光板を使う表示方式は、偏光板での光損失で輝度不足となり、特にカラー表示では敬遠され、偏光板を使用しない方式が検討されている。

カラー表示では後述のように色彩度などが問題である。

3.2 液晶動作モード

光利用率の低い偏光板を用いる TN や STN のモードに代わり、偏光板が不要な GH モード^{14,15)} や、高分子分散型ネマティック液晶¹⁶⁾、高分子安定コレステリック液晶¹⁷⁾、OCB による HAN モード¹⁸⁾ を採用しようとする試みがある。

高分子分散型は高分子と液晶の屈折率の差による光散乱現象を利用するモードであり、背面に設ける黒色の光吸収板を黒、液晶による散乱を白としている。実用化のためには液晶による後方光散乱の強化が必要である。

高分子安定コレステリック液晶は相変化に基づくメモリー機能を有し、単純マトリクス型でも表示容量を大きく

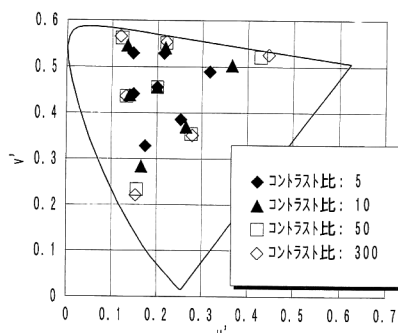


図8 色再現範囲のコントラスト比依存性 (表色系：CIE 1976 UCS).

できる。ドット数が1152×896の13.8型が試作された¹⁹⁾。反射光にはBragg反射に基づくため色づきがあり、カラー化では問題である。

3.3 反射板

輝度向上のためには、反射型に適した液晶モードの開発以外に反射板あるいは反射電極の表面形状の解析が必要であり、なされている²⁰⁾。

一般に、LCDに限らず反射型ディスプレイでは、反射強度が強く、表示輝度が最高となる角度は正反射の角度であるが、この角度はガラス板など表示パネルの表面反射の角度と一致しており、きわめて見にくいことになる。この様子を模式的に図7に示す。妨害となる正反射光の反射方向と情報表示の反射方向とを別にし、明るく見やすくする手段にホログラフィック反射板がある²¹⁾。この反射板は感光性高分子フィルムを利用したホログラムであり、回折効果により輝度を2倍以上とした画像の反射方向を図7のように特定の方向に設定できる。回折現象のため波長依存性があり、反射光の分光波長幅は比較的狭く、色付きが無視できないため、今後の改善が待たれる。

3.4 反射型カラー表示

単純マトリクス型のSTNモードでは複屈折性を利用したカラー化が実現されているが、再現色は限られている。液晶に2色性色素を混ぜたGHモードや階調表示も可能なHANモード²²⁾、高分子分散型の前方散乱性を利用する方式²²⁾などをはじめとして種々の方式をTFT-LCDなどに適用しようとした例があるが、輝度、コントラスト、表示色数、色彩度は不十分である。表示性の比較的よい多層液晶セル構成によるマルチカラー化の例もあるが、製造上の複雑さが問題であろう。

輝度が低い、コントラスト比が低いという現行反射型の欠点が高画質のカラー化を困難にしているのである。すなわち、原色加色法では少なくとも輝度は1/3となり、またコントラスト比が低いということは表面拡散反射光などの

白色ノイズが加わっていることもあり色彩が高くないのである。図8は透過型カラーLCDのコントラスト比と色再現範囲との関係のシミュレーション結果であり、反射型にもあてはまる。反射型はコントラスト比が5~10というのはある程度の色彩を求めるカラー表示には通じないのである。カラー化は方式、材料からの根本的な研究開発が必要なようである。

TFT-LCDや反射型LCDなどの直視型LCDについての技術の話題、特に見やすさの追及と高輝度・低電力化を光技術の観点から述べてきた。マルチメディア時代・情報化社会のペーパーレス時代にあって、LCDは対抗馬もなく欠くべからざるデバイスとなっているが、まだまだ表示特性の改善が望まれている。材料を含め、光技術の面からのさらなる特性向上が期待されている。

文 献

- 1) K. H. Yang: "Two-domain twisted nematic and tilted homeotropic liquid crystal displays for active matrix applications," *Conference Record of the 1991 IDRC* (1991) pp. 68-72.
- 2) T. Miyashita, *et al.*: "Properties of the OCB mode for active-matrix LCDs with wide viewing angle," *1995 Society for Information Display (SID) International Symposium Digest of Technical Papers, vol. 26* (1995) pp. 797-800.
- 3) R. Kiefer, *et al.*: "In-plane switching of nematic liquid crystals," *Proceedings of Japan Display '92* (1992) pp. 547-550.
- 4) 堀 浩雄: "直視型 TFT 駆動液晶ディスプレイ", *光学*, **24** (1995) 617-623.
- 5) R. Y. Pai: "Efficiency limits for fluorescent lamps and application to LCD backlighting," *SID 97 Digest* (1997) pp. 447-450.
- 6) L. Li and S. M. Faris: "A single-layer super broad-band reflective polarizer," *SID 96 Digest* (1996) pp. 111-113.
- 7) D. Coates, *et al.*: "High-performance wide-bandwidth reflective cholesteric polarizers," *SID 96 Applications Digest* (1996) pp. 67-70.
- 8) H. Tanase, *et al.*: "A new backlighting system with a polarizer light pipe for enhanced light output from LCDs," *SID 97 Digest* (1997) pp. 365-368.
- 9) M. Suzuki: "Reflective polarizer sheet on the backlighting unit," *SID 97 Digest* (1997) pp. 813-816.
- 10) H. Hori and J. Kondo: "Contrast ratio for transmissive-type TFT-addressed LCDs under ambient-light illumination," *J. Soc. Inf. Disp.*, **1** (1993) 325-327.
- 11) H. Hatoh, *et al.*: "Improvement of viewing angle characteristics in a twisted-nematic liquid-crystal display by using a cholesteric liquid-crystal compensation layer," *Appl. Phys. Lett.*, **60** (1992) 1806-1808.
- 12) J. P. Eblen, Jr., *et al.*: "Birefringent compensators for normally white TN-LCDs," *SID 94 Digest* (1994) pp. 245-

- 248.
- 13) S. Zimmerman, *et al.*: "Viewing-angle-enhancement system for LCDs," *SID 95 Digest* (1995) pp. 793-796.
 - 14) T. Uchida, *et al.*: "Reflective multicolor liquid crystal display," *Conference Record of the 1985 IDRC* (1985) pp. 235-239.
 - 15) H. Koimai, *et al.*: "Polarizer-free reflective amorphous chiral nematic guest-host LCDs," *SID 95 Digest* (1995) pp. 699-702.
 - 16) J. L. Ferguson, *et al.*: "Polymer encapsulated nematic liquid crystals for use in high resolution and color displays," *SID 86 Digest* (1986) pp. 126-127.
 - 17) J. W. Doane, *et al.*: "Front-lit flat panel display from polymer stabilized cholesteric textures," *Proceedings of Japan Display '92* (1992) pp. 73-76.
 - 18) T. Uchida, *et al.*: "A novel reflective LCD for high resolution color display," *Proceedings of Asia Display '95* (1995) pp. 599-602.
 - 19) M. Pfeiffer, *et al.*: "A high-information-content reflective cholesteric display," *SID 95 Digest* (1995) pp. 706-709.
 - 20) T. Koizumi and T. Uchida: "Bright reflective multicolor liquid crystal display," *Proceedings of Eurodisplay '87* (1987) pp. 131-134.
 - 21) A. G. Chen, *et al.*: "Holographic reflective liquid-crystal display," *SID 95 Digest* (1995) pp. 176-179.
 - 22) H. Kobayashi, *et al.*: "A novel polymer-dispersed LC with internal-reflection inverted-scattering (IRIS) mode," *SID 97 Digest* (1997) pp. 751-754.

(1997年10月15日受理)