

## 解説

## 直視型 TFT 駆動液晶ディスプレイ

堀 浩 雄

(株)東芝ディスプレイデバイス技術研究所 〒235 横浜市磯子区新杉田町 8

(1995年7月10日受理)

## Technology Trends for Direct-View Type TFT-LCDs

Hiroo HORI

Display Device Engineering Laboratory, Toshiba Corporation,  
8, Shinsugita, Isogo-ku, Yokohama 235

## 1. はじめに

液晶の電気光学特性が発表されて四半世紀が経ち、LCD (液晶表示デバイス) は単なる数字表示であった時代から情報化社会のキーコンポーネントとしてますます期待がかけられている。すなわち、小型 TV、投写型 TV、携帯型あるいはノート型やパームトップ型の PC (パーソナルコンピューター)、ワープロ、WS (ワークステーション)、個人情報携帯端末、工場自動化の情報端末、自動車や航空機の表示計器など、画像や文字・図形の情報を表示する LCD の応用がさらに広がりをみせている。LCD のうち画像や文字・図形の情報を表示するものは、駆動方法から分けるとアクティブマトリクス型と単純マトリクス型、光ビーム走査型とに分けられ、また、表示の形態から直視型と投写型、さらには、照明方法から背面に光源を用意する透過型と周囲光を利用する反射型とに分けられる。それぞれ特徴があり、注目されているが、ここではアクティブマトリクス型、しかもその代表格である TFT (thin film transistor, 薄膜トランジスター) 駆動で直視型・透過型 LCD に焦点をあて、最近の技術の動向を紹介する。

## 2. TFT-LCD

## 2.1 構成と動作原理, 特徴

TFT-LCD は、表示パネルの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。単純マトリクス型に比べ

てコストが高いが優れた表示性能が得られ、直視型あるいは投写型の TV などのカラー画像表示や PC、WS などの対角が 9.5~15 インチのカラーグラフィック表示をはじめとした広い分野での応用が展開されている。大きいものはサイズが対角で 21 インチまでのものが開発されている。

TFT-LCD は TFT アレイを表面に形成したガラス基板と、もう一方の透明共通電極付ガラス基板との間に液晶が挟持されている。図 1 は TFT-LCD の動作原理を示すための全体の等価回路である。TFT の負荷として液晶と信号蓄積容量が接続されている。ある行のゲート電極にゲート電極線を介して正のパルスが加わると、TFT はオン状態となり、ドレイン電極線に加えられている信号電圧がドレイン電極からソース電極を経て液晶と蓄積容量へ送られる。この場合、この電圧 (表示電極電圧) はゲートパルスとともに立ち上がり、ゲート電圧がゼロとなる寸前の値が保持され、液晶に印加され、液晶を駆動する。

TFT-LCD が注目される理由は、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輝度が高くとれ、応答速度も早い、4) 透明なガラス基板などにスパッター、CVD (chemical vapour deposition) 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。これらの原理的理由から、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のである。なお、TFT

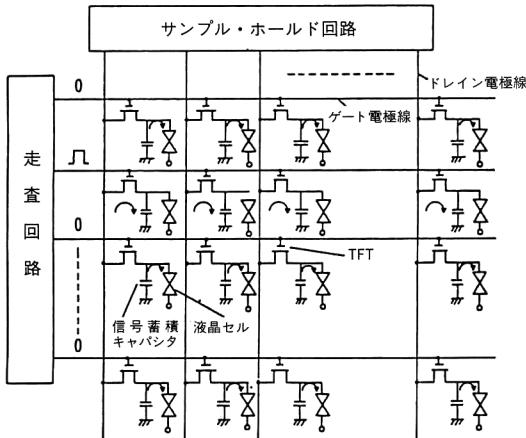


図1 TFT-LCDの等価回路

には半導体にアモルファス・Siや多結晶・Siなどを用いたものがあるが、本稿ではアモルファス(a-)・Si・TFTを中心に話を進める。

## 2.2 表示特性の概要

直視型ディスプレイパネルに求められる主な表示性能には、1)高コントラスト比、2)高輝度、3)階調表示性、4)カラー表示性、5)高解像度(表示容量)、6)高速応答性、7)広視角特性、などがある。これらの点で、TFT-LCDは十分とはいえないが前述のように他のLCDに比べると優れている。

コントラスト比はOA用、TV画像用を問わず100:1程度が、輝度はOA用では60 cd/m<sup>2</sup>以上100 cd/m<sup>2</sup>程度、TV画像用では平均で200 cd/m<sup>2</sup>以上、ピークで600 cd/m<sup>2</sup>以上が、それぞれ必要である。

コントラスト比は画面のほぼ正面方向で100:1を超える値が得られている。これは、ホメオトロピック配列液晶と直交偏光板により、旋光分散による光洩れのない黒を得るいわゆる“ノーマリーホワイト”モード(閾値以下の電圧で白)のTN(twisted nematic)型液晶を採用したことや、液晶の屈折率異方性と液晶層厚との間の最適化による黒レベルの低下、カラーフィルターの顔料などの粒径微細化による光分散の防止、カラーフィルターへのブラックマトリクス付加などにより特性改善が図られた結果である。

液晶はピフェニール系に代ってフッ素系の液晶<sup>1,2)</sup>が開発され、抵抗率も10<sup>13</sup> Ω・cm以上となり広い温度範囲にわたって高コントラストにつながる高い電圧保持率(～98%以上)が確保されている。とともに、温度や紫外線などの耐環境性にもすぐれた液晶材料が実用されるようになり、コントラスト向上や表示輝度の均一性など

画質改善に大きく寄与している。

LCDの高精細化が進んで画素ピッチが狭くなると、画素内に隣接電極線から横方向の電界が入り込み、画素の一部周辺では液晶の配列が乱れて(リバースティルトによるディスクリネーションラインなど)光散乱で黒レベルが上がってしまう現象が問題となり、解析されてきたが<sup>3,4)</sup>、新しいポリイミド配向膜の採用でほぼ解決されている。すなわち、従来の液晶のプレティルト角が1°程度であったものを3°以上に制御し、リバースティルトの領域を狭くしてブラックマトリクスの内側に納めるようにしている。

明るい照度下でのコントラスト低下防止のために、LCDの各界面からの反射の低減が必要であり、その議論や対策が進められている<sup>5)</sup>。拡散反射はコントラスト比を低下させるので、LCD表面のいわゆるノングレア処理はほどほどにする必要がある。LCDの表面である偏光板表面の反射率は4～5%あり、これを2%以下に低下させる反射防止膜の採用、カラーフィルターに採用されているブラックマトリクスの低反射(1～2%以下)対策などがコントラスト低下防止に有効である。

輝度はバックライトにも依存するが、TV画像用としては不十分であり、CRT(cathode-ray tube)のようにピーク輝度を上げることができなく画像に迫力がないという欠点がある。高輝度化については後述する。

OA用、TV画像用とも最終的には256階調が求められる。5型程度の小型のLCDではアナログ駆動集積回路(IC)が使われる。大型ではデジタル駆動ICとなるが、8ビットICが開発され、6ビットICとFRC(frame rate control)と呼ばれる補助階調付加手法との組合せ以外にも256階調が現実のものとなってきた。STN-LCDに比べて、階調表示性がよいのもTFT-LCDの特長である。これは、信号蓄積容量に加えられる実効電圧に応じて液晶の透過率が変化するので階調表示が容易となり、しかも蓄積容量の存在によりノイズによる影響が少なく精度よい電圧制御ができることによる。良好な階調表示性のためフルカラー表示が可能となっている。カラー表示は良好なカラーフィルターとバックライトの組合せで、CRTに勝るとも劣らない性能となっている。

応答時間はTVなどの動画像には30 ms以下、ワープロやPCなどの文字・グラフィック画像には200 ms以下とする必要がある。TNモード液晶のTFT-LCDは室温での2値駆動であれば30 msの動画像表示に適用が、液晶に加わる電圧が低い階調表示領域では100 ms

を越えることもあり、また、低温度での応答時間が長くなる。液晶材料の改善が進んだが、TNモードの応答特性はまだ不十分である。

表示むら、フリッカーなど表示の一様性への影響が解析され、また TFT-LCD の動作シミュレーションが行われてきた。設計へのフィードバックがなされ、表示品位と表示の均一性の一層の向上が図られるようになってきた。TFT のオフ時漏洩電流の低減設計、TFT や配線電極間などの寄生容量・浮游容量の低減設計、電極抵抗値の最適設計などが主であるが詳細は省略する。解像度に関連する精細化、広視角特性については後述する。

### 3. TFT-LCD 技術の動向

#### 3.1 大型と高精細化

大型で精細度を高くすると、ゲート線などの時定数が大きくなり、問題となるなどの難しさがある。大型・高精細では駆動周波数が高まる上に、配線抵抗と容量が無視できず、給電端に比べ終端近傍の画素では走査のゲートパルスに歪みが生じ、表示電極への書き込みが不十分になるなどのために走査電極に沿ってシェーディング（濃淡むら）が表示画像に現れる。この防止のために配線を厚く、太く、あるいは低抵抗材料とすることが考えられるが、プロセス上の限度や開口率（画素部の面積率）が小さくなり画面が暗くなる問題がある。なお、信号電極線ともいわれるドレイン電極線はゲート電極線よりも抵抗についての要求は厳しくない。一般にはドレイン電極線には Al が使え、その厚さもゲート線より厚くできるので、電極線はゲート線をまず検討すればよい。

ゲート線材料には Mo, Cr, Ta などの高融点金属がヒロックが生じ難く、耐薬品性があるなどのプロセス上の理由から使われるが、大型・高精細化には抵抗が高い。このためゲート線材料の低抵抗化開発が進められ、例えば Ta の 1/5 の抵抗が得られる Mo-Ta などの合金スパッター膜<sup>6)</sup>が採用され、さらに製造工程の初めの段階では使いにくい低抵抗の Al もプロセス技術の進歩で採用が可能となっている<sup>7-9)</sup>。

ゲートパルスの幅を 2 倍とするオーバーラップ走査の駆動方式は、高精細形で駆動周波数が高くなる場合に一様性よく動作させることができる利点がある<sup>10)</sup>。

大型・高精細化では開口率が小さくなるので、TN 型の TFT-LCD の光透過率は後述のようにきわめて小さく、表示輝度が低いという問題があり、開口率の向上の技術開発が望まれるところである。開口率向上策は次項で述べるが、前述の高プレティルト配向膜採用も

パースティルト領域縮小により開口率向上につながっている。

高精細・大型化で次に問題とすべきは歩留りの低下であるが、ゴミ発生防止と静電気破損防止を主体とした欠陥撲滅のための徹底したプロセス技術の向上と欠陥発生要因除去した構成のデバイス設計がなされ、大型・高精細が現実のものになっている。WS 用として例えば、画素が 1280×1024 の SXGA 対応、画素ピッチが約 0.2 mm（ドットピッチで 0.067 mm×0.201 mm）<sup>11)</sup>あるいは 0.21 mm<sup>12)</sup>の解像度の高い 13 インチ型カラー LCD、あるいは画素ピッチが約 0.25 mm の 16.1 インチ型カラー LCD<sup>13)</sup>が開発されている。画面が大きい例としては、画素ピッチが約 0.67 mm で VGA (640×480 画素) 対応の 21 インチ型カラー LCD<sup>14)</sup>と、TFT が多結晶 Si でありしかもフォトリソ膜のパターニングが印刷方式によるもので 960×517 画素の 21 インチ型カラー LCD<sup>15)</sup>の試作例がある。

#### 3.2 今後の大型化と課題

今後どこまで大型化が進むのか？ OA 用の 10.4 型が 2~4 型の小型 TV 用の開発から、技術ばかりでなく部材・装置などの関連産業界の発展とともに徐々に進んだように、今後の大型化は今までの成果を足掛かりとして進むであろう。直視型としては主なる OA 用は 20 型以下であり、20 型以上の用途は TV 画像を含めたマルチメディア、HDTV (high definition TV) などであろう。この場合、20 型以上の大型化、例えば 30 型、40 型に対して従来の延長線上の技術や製造装置が実用上使えるのかどうかという問題もあるが、大型化に伴う技術上の関心事であるガラス基板の撓み、電極配線抵抗、視角の問題などについて検討する。

1994 年から製造開始された第 2 期ラインのガラス基板の大きさは、9.4~10.4 型が 4 面取りできる 360~380 mm×465~480 mm であり、LCD の最大寸法は 21 型である。1997 年頃から始まる第 3 期ラインの基板は 550 mm×650 mm とみられ、12 型は 6 面取り、15 型は 4 面取りとなるが、HDTV 対応の最大寸法は 28 型となる。HDTV 対応 40 型（画素数 1920×1035、画素ピッチ 0.47 mm）のためには 1000 mm×600 mm 以上のガラス基板を使用するラインが必要となる。すなわち、40 型に対する設備計画はまだみえていない。

ここで大型化で問題視されるガラス基板の撓みについてあたる。図 2 は厚さが 0.7, 1.1, 2.0 mm の正方形のガラス基板の大きさと撓み量の計算結果である<sup>16)</sup>。ここで、基板は図中に示すように、基板端からそれぞれ 2

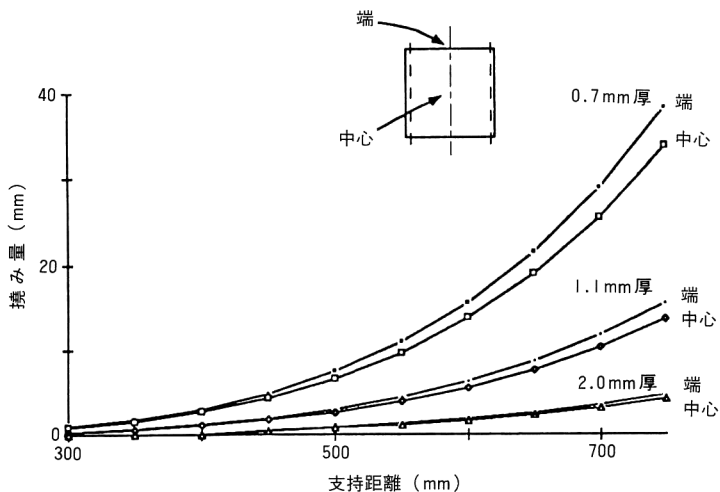


図2 ガラス基板の撓みと支持距離<sup>16)</sup> (正方形ガラス板 Corning 1737, ベースライン支持)

mm のところに平行に置く支持棒で水平に支えられ (“ベースライン支持”), 撓み量は基板中心と端での値である。撓み量は1 mm 以内との目安があり, 700 mm 角では0.7 mm 厚で29 mm, 2 mm 厚で3.5 mm となり, いずれもベースライン支持法は受け入れられない。

これに対して, 支持の位置を内側に寄せたり, 支持棒を3本とする方法などで, 例えば, 0.7 mm 厚の600 mm×720 mm のガラス基板でも撓み量を0.88 mm 以下にできると報告されている<sup>16)</sup>。40型でもこのような支持方法であれば1.5~2.0 mm 厚の1000 mm×600 mm で, 撓み量が1 mm 以下と推定できる。ここで, 撓み量は支持間距離の4乗に比例, 基板の厚さの2乗に逆比例するとした。なお, 強度の点からは厚い方がよく, セルギャップの制御性からはある程度薄い方がよいので, 28型以上では1.5~2.0 mm が適当と思われる。いずれにしても, 基板の撓みに対する懸念は支持方法の工夫で避けられ, 40型までは技術的には可能であるといえる。

次に, 電極配線抵抗の面から30~40型の技術的可能性をみってみる。40型のHDTV用の場合, 走査線数は1035であり1走査線に割り当てられる時間は通常駆動で16  $\mu$ s となり, この時間をゲート電極線の時定数 (例えば10  $\mu$ s 以下) と信号蓄積容量への充電時間 (6  $\mu$ s 以下) にどのように割り当てるかが設計のポイントとなる。精細度が高くなるにつれ充電時間への割当てが減少するのでTFTの電界効果移動度は高いことが必要となる。また, 実際的な開口率を得るために, ゲート・ソース間寄生容量が小さい自己整合型を使うことが必要であ

る<sup>17)</sup>。薄膜での比抵抗が2~3  $\mu\Omega \cdot \text{cm}$  の低抵抗材料AlやCuの採用が不可欠であり, 化学的・熱的耐性を高めるためにMoTa/Al<sup>18)</sup>, Ta/Al<sup>19)</sup>, Cr/Al<sup>20)</sup>などのクラッドAl構成が適当である。図3はゲート電極線材料の比抵抗と開口率との関係を表示容量・画面寸法をパラメーターにして示した例である<sup>21)</sup>。ゲート電極線にAlを使うことで30~40型のSXGAやHDTV用が技術的には可能であることがわかる。

大型のLCDパネルを中央の法線上30 cmの距離からみるとした場合, パネルの上下端をみる角度は, 10型で14°であるのに対して, 20型で27°となる。40 cmの距離からみるとした場合でも, 10型で11°, 20型で21°, 30型で29°となり, 10型では気にならないコントラストや輝度, 色の変化はTNモードの大型では何らかの対策が必要となるであろう。これらの対策については3.4項で技術の現状を述べる。

なお, 露光機については基板を載せるステージの大型化が必要であり, ショット数の増大とともに厳しい位置精度制御が要求される。フォトレジスト膜のパターニングは露光方式に代り印刷方式<sup>15)</sup>による方法も前述の21インチ型の試作まで開発が進められ, 成果の発展が期待されている。

### 3.3 高輝度表示と低電力駆動

TN型のTFT-LCDの光の透過率は, 偏光板 (2枚, 約41%), RGBカラーフィルター (25%), 開口率 (大型高精細~50%), ITOガラス基板 (90%)を総合すると5%となりきわめて小さく, 光利用効率が悪くディス

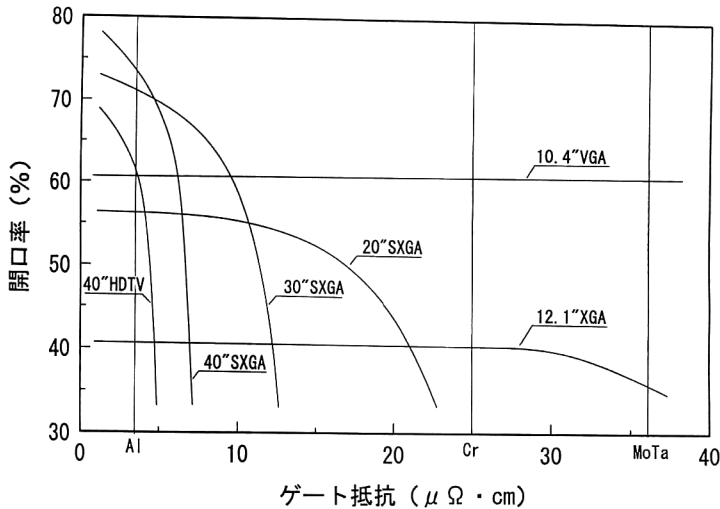


図3 TFT-LCDの開口率とゲート電極線抵抗<sup>21)</sup>

プレイとして暗い。したがって、光利用効率向上による高輝度化と、特にバッテリー駆動の携帯型OA用途には省電力化が必要である。

高輝度化には、TFT-LCDの開口率向上とバックライト輝度向上が方策としてある。開口率向上策としては、配線電極材料の低抵抗化、配線電極の細線化、電界効果移動度の向上によるTFTの高性能化あるいは寄生容量の小さい自己整合形TFT<sup>22,23)</sup>の採用による信号蓄積容量の縮小、画素電極・信号線間容量を小さくできる信号蓄積容量の形成法<sup>24,25)</sup>、LCDガラス基板の組合せ精度向上あるいはブラックマトリクスのアレイ基板上形成<sup>26)</sup>によるブラックマトリクス領域の縮小および上述の高プレティルト配向膜採用によるリバースティルト領域縮小化があり、順次採用されている。カラーフィルター透過率向上と偏光板の改善も期待される。

低電力化のためには、これらの開口率の向上策とともにバックライトの効率向上とTFT-LCDの低電圧駆動法の採用が望まれている。現状は10インチ級のカラーディスプレイモジュールで消費電力は駆動が1W、バックライトが2W程度であり、合計で3W程度となっている。この場合、ディスプレイ輝度は60~80 cd/m<sup>2</sup>である。ノートPCとしての消費電力は10Wを超えており、バッテリー駆動の場合、容量にもよるが2~3時間程度と短い。

バックライト系の電力は、蛍光ランプの発光効率(33→40 lm/W)とランプから導光板への集光効率(60→70%)、導光板その他の光効率(80→90%)、インバーター回路効率(70→90%)などの改善により少なくと

も半減が見込まれている。なお、バックライトは奥行きを薄くするため、外径が3mm以下の冷陰極蛍光ランプ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のである。

低電力化には液晶の動作電圧低下(~0.5V)と、画素電極と共通電極との電圧を液晶の極性反転時にシフトさせること<sup>27,28)</sup>による駆動LSIの動作電圧低減とによる低電圧駆動法がある。“電子の紙”のためのさらなる低電力化にはバックライト不要の反射型の出現が強く望まれている。この場合、紙のような白“ペーパーホワイト”と実用的な輝度を得るための高反射率が必要である。液晶の動作モードやカラー化の手段がポイントであり、共通の将来課題である。

### 3.4 広視角表示

TN型は他のモードに比べてコントラストと応答速度がよく、色付きがなくカラーフィルターによる純度の高いカラー化が可能なモードであるが、狭い視角特性が欠点である。みる角度、方向でコントラストや表示色が変化し、また表示の陰陽が逆転してしまうことである。大型画面では上と下ではみる角度が異なり問題が深刻となる。

視角の点では、光学的には液晶のリターデーション  $\Delta n \cdot d$  ( $\Delta n$ : 液晶の屈折率異方性,  $d$ : 液晶層の厚さ) を小さくすることが望ましく、いわゆる“1st minimum”以下が使われるが、TN型を採用する限り視角問題は原理的に避けられなく、光学的補償や駆動上などの工夫で視角特性の改善が行われている。また、ノーマリーブラック・モードは視角特性がノーマリーホワイト

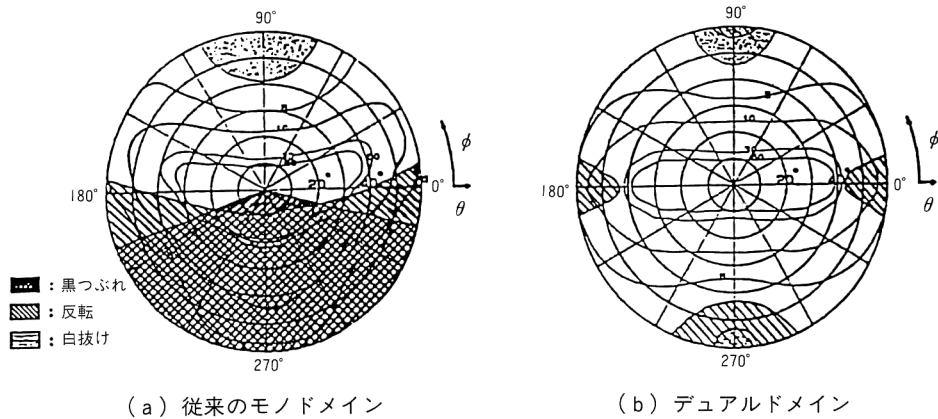


図4 TN液晶の視角特性(等コントラスト比曲線および表示品位)<sup>21)</sup>

ト・モードよりよいが十分でなく、コントラストや黒の着色などの表示性が劣るので改善はノーマリーホワイト・モードで進めることになる。

光位相差板などによる光学的補償法としては、ノーマリーホワイト・モードの黒状態(ホメオトロピック配列)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で屈折率の異方性を補償するものがある<sup>29)</sup>。この場合、補償の液晶層は選択反射などの生じないように光学的に設定される。屈折率の異なる2つの薄膜層を交互に多数重ねた複屈折補償板<sup>30)</sup>による同様の視角改善もある。

“容量分割駆動”方法<sup>31)</sup>では1つの画素を分割し、分割された一方の部分には容量を介して電圧が加わるようにするので、斜め方向からの電圧対透過率特性で現れるコブなどが抑えられたり電圧対透過率特性が緩やかになり、視角特性が改善される。全体の駆動電圧が高くなる欠点はある。

“2-ドメイン画素”方法<sup>32)</sup>では1つの画素を2分割し、それぞれにおいて液晶分子のプレティルトの方位が180°異なるように配向処理する。これによると従来の上方向と下方向からみる特性の平均的な視角特性が得られ、表示の陰陽逆転なども大いに取り除かれ、改善の効果が期待されている(図4)。正面近くからのコントラスト比は当然のことながらわずかであるが低くなる。また、配向膜へのラビング処理をしないでカイラル材だけによる90°ツイストの“マルチドメイン”組織が、陰陽逆転が少なく視角の方位依存性のないTN型として使えるとの報告がある<sup>33)</sup>。この方法ではドメイン間にディスプレイネーションが発生してコントラストを低下させることが懸念されるが、画素のドットごとに液晶を軸対称

配向させ90°ツイストの“モノドメイン”組織とした軸対称配向マイクロセルASM(axially symmetric aligned microcell)モード液晶<sup>34)</sup>の提案がなされている。

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パネルからの光を画素単位で方向性なく拡散させ、視角を広げるフィルムの実用化開発も進められている<sup>35)</sup>。

また、TN以外のモードでは、OCB(optically compensated bend)モード<sup>36)</sup>、インプレーン方式<sup>37)</sup>、短ピッチ螺旋の強誘電性液晶(DHF)<sup>38)</sup>などが視角特性改善を目標に研究が進められている。

#### 4. おわりに

アクティブマトリクス型LCDの代表格である直視透過型TFT-LCDの特徴と技術動向を述べてきた。TFT-LCDは10インチ型のOA用などもすでに実用段階となっており、生産性の一層の向上が大きな課題となっている。技術課題としては大型・高精細化と表示輝度向上、低電力駆動という互いにトレードオフの関係にある特性や視角特性、応答性の改善である。液晶の新しい動作モードも含めいづれも着実に進められている。

これらは、マルチメディア時代・ペーパーレス化にあたって、みやすい、低電力、省資源など人・環境にやさしいLCDへの展開とも整合のとれたものである。

他の直視型フラットパネルディスプレイでTFT-LCDの表示性能を凌駕できるものは見当たらず、TFT-LCDはOA用、TV用、マルチメディア用として今後も注目されよう。今後の一層の表示品位の向上と大型化が期待されている。

## 文 献

- 1) H. J. Plach, *et al.*: "Stability studies on new liquid crystals for active matrix displays," *Proc. Eurodisplay '90* (1990) pp. 136-141.
- 2) H. Saito: "New generation of liquid crystals for high performance display," *Technical Proceedings SEMICON/Kansai-Kyoto 1991* (1991) pp. 145-151.
- 3) G. Haas, *et al.*: "Simulation of inhomogeneous electric field effects in liquid crystal displays," *Proc. Japan Display '89* (1989) pp. 524-527.
- 4) 小野沢達雄: "ディスクリネーションラインの発生と運動", 信学技報, **91** (1991) 59.
- 5) 堀 浩雄, 近藤淳司: "周囲光のある場合の透過型 TFT-LCD のコントラスト", 1993 信学春季大, C-507, 5-137 (1993).
- 6) M. Dohjo, *et al.*: "Low-resistance Mo-Ta gate-line material for large-area a-Si TFT-LCDs," *SID '88 Digest* (1988) pp. 330-333.
- 7) H. Moriyama, *et al.*: "12-in. full-color a-Si:H TFT-LCD with pixel electrode buried in gate insulator," *SID '89 Digest* (1989) pp. 144-147.
- 8) M. Katayama, *et al.*: "14-in. diagonal color TFT-LCDs by non-interlaced scanning," *Proc. Japan Display '89*, Post-deadline Paper, PD-6 (1989).
- 9) 三上佳朗, ほか: テレビ学技報, **15** (1991) 59.
- 10) Y. Asai, *et al.*: "A 6.7-in. square high-resolution full-color TFT-LCD," *Proc. Japan Display '89* (1989) pp. 514-517.
- 11) S. Ohi, *et al.*: "A 13" diagonal full-color high-resolution TFT-LCD with new analog signal conversion scheme," *SID '93 Digest* (1993) pp. 7-10.
- 12) M. Shibusawa, *et al.*: "A 121-lpi 1.3 M-pixel TFT-LCD with 4096 colors," *SID '93 Digest Appl. Volume* (1993) pp. 53-56.
- 13) S. Hirano: "16.1-in. TFT-LCD for engineering workstations," *SID '95 Digest* (1995) pp. 154-157.
- 14) M. Hijikigawa and H. Take: "Future prospects of large-area direct-view LCDs," *SID '95 Digest* (1995) pp. 147-149.
- 15) E. Kaneko: "Novel key technologies used to fabricate very-large-area TFT-LCD panels," *SID '95 Digest* (1995) pp. 150-153.
- 16) M. J. Schadt: "Estimation and control of glass sag in large-size flat-panel manufacturing," *Display Mfg. Tech. Conf. '95 Digest* (1995) pp. 115-116.
- 17) 茨木伸樹: "直視型 102 cm TFT 液晶, アモーフス Si で実現できる", 日経マイクロデバイス (1994 年 12 月) 76-81.
- 18) Y. Tanaka, *et al.*: "A 13.8-in. diagonal high-resolution multicolor TFT-LCD for workstations," *SID '92 Digest* (1992) pp. 43-46.
- 19) H. Maeda, *et al.*: "A 15-in. diagonal full-color high-resolution TFT-LCD," *SID '92 Digest* (1992) pp. 47-50.
- 20) T. Nagayasu, *et al.*: "A 14-in. diagonal full-color a-Si TFT-LCD," *Conference Record of the 1988 IDRC* (1988) pp. 56-58.
- 21) 鷺田浩志: "ポスト TFT 液晶技術への展開", 応用物理学会  
有機分子・バイオエレクトロニクス分科会第 4 回講習会 (東京, 1995).
- 22) M. Akiyama, *et al.*: "Effects of source/drain electrodes overlapping on the stopper-insulator in a self-aligned TFT-LCD," *SID '91 Digest* (1991) pp. 10-13.
- 23) M. Akiyama, *et al.*: "A completely self-aligned a-Si TFT," *SID '93 Digest* (1993) pp. 877-890.
- 24) J. M. Vignolle, *et al.*: "Optimisation of very small pitch active matrix LCD for projection," *Conf. Record of the 1991 IDRC* (1991) pp. 223-226.
- 25) T. Ueda, *et al.*: "A high-aperture-ratio TFT-LCD with a shield-electrode structure," *SID '93 Digest* (1993) pp. 739-742.
- 26) H. Yamanaka, *et al.*: "Integrated black matrix on TFT arrays," *SID '92 Digest* (1992) pp. 789-792.
- 27) T. Furuhashi, *et al.*: "High-quality TFT-LCD drive using low-voltage driver," *SID '93 Digest* (1993) pp. 15-18.
- 28) 金野 晃, ほか: "5V ドライバ IC による信号線反転駆動の検討", 93 テレビ学年大 (1993) pp. 37-38.
- 29) 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.
- 30) J. P. Eblen, Jr., *et al.*: "Birefringent compensators for normally white TN-LCDs," *SID '94 Digest* (1994) pp. 245-248.
- 31) K. R. Sarma, *et al.*: "Active-matrix LCDs using gray-scale in halftone methods," *SID '89 Digest* (1989) pp. 148-151.
- 32) K. H. Yang: "Two-domain twisted nematic and tilted homeotropic liquid crystal displays for active matrix applications," *Conf. Record of the 1991 IDRC* (1991) pp. 68-72.
- 33) Y. Toko, *et al.*: "TN-LCDs fabricated by non-rubbing showing wide and homogeneous viewing angular characteristics and excellent voltage holding ratio," *SID '93 Digest* (1993) pp. 622-625.
- 34) N. Yamada, S. Kohzaki, F. Funada and K. Awane: "Axially symmetric aligned microcell (ASM) mode: electro-optical characteristics of new display mode with excellent wide viewing angle," *SID '95 Digest* (1995) pp. 575-578.
- 35) S. Zimmerman, *et al.*: "Viewing-angle-enhancement system for LCDs," *SID '95 Digest* (1995) pp. 793-796.
- 36) T. Miyashita, C.-L. Kuo, M. Suzuki and T. Uchida: "Properties of the OCB mode for active-matrix LCDs with wide viewing angle," *SID '95 Digest* (1995) pp. 797-800.
- 37) R. Kiefer, B. Weber, F. Windscheid and G. Baur: "In-plane switching of nematic liquid crystals," *Proc. of Japan Display '92* (1992) pp. 547-550.
- 38) J. Fuenfschilling and M. Schadt: "High speed deformed helix ferroelectric (DHF)-liquid crystal displays with video potential," *Proc. Eurodisplay '93* (1993) pp. 63-66.