液晶表示(LCD)技術の現状と将来展望

Current Trend in LCD Technologies and their Future Aspects

小林 駿介

Shunsuke KOBAYASHI

- 1932 年 8 月生まれ
- 1964 年東京大学大学院博士(電子工学)修了後、理化学研究所を経て、東京農工大学工学部電子情報工学科教授
- 東京農工大学工学部(〒184 小金井市中町2-24-16)

1. はじめに

今から約 18 年位前、1972 年頃からデジタル時計や電卓に液晶表示(Liquid Crystal Display: LCD)が使われ始めた。これらは決して見やすい表示とは言えないまでも、それを用いた時計や電卓の性能が当時の在来技術を格段に凌駕するものであった。それを可能にしたものは、1) 当時立ち上がりつつあった集積回路技術、中でも C-MOS 技術、2) 超小形水晶発振器、3) 電池やそのほか周辺材料の進歩などであった。これらの技術は軽薄短小技術の典型的な好例であり、高度な電子情報機器の大規模なパーソナル化を促進した。これを情報革命の一環として“パーソナルメディア”の始まりとする見解もある⁽¹⁾。この傾向はすでにトランジスタラジオから始まっている。それは電子産業の特徴である圧倒的な量産性の成果である。

現在、進行中の社会の情報化の中にあって、極めて重要な役割をはたしているパーソナルコンピュータの原形は電卓であることは周知の事実であり、これは日米の合作である⁽²⁾。

LCD がもつ潜在的特徴は、1) 低消費電力(数 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$)、2) 低電圧駆動(数 V~20 V)、3) 平板形(フラットパネル)、4) カラー表示可能など

である。これら特徴を生かして LCD 技術は現在急速に伸張しつつあり、ラップトップコンピュータの表示ではその主流になっている。また小形のテレビは実用化され、また投写形高品位テレビの技術展示も行なわれている。

この技術紹介においては、情報メディアとしての LCD の研究課題とその達成度および将来への展望について述べたいと思う。

2. 液晶表示の動作原理

室温において、結晶と等方的な通常の液体との両方の性質を兼ねそなえてもっている有機物分子の集合体が液晶(Liquid Crystal)である。

このような分子の典型例は芳香族化合物であり、その一例を図 1 に示す。

分子は細長い棒状で、適度な硬さを与える中心部と柔らかさを与える炭化水素鎖、および電気的分極を生じる C-N 基から成り立っている。この分子はペンチルシアノビフェニールで今日の LCD の隆盛のきっかけを与えた重要な物質である。

さて中心の二つのベンゼン環は π 電子を含み、小さな電子の入れ物(小さな金属と類似)と言ってよい。そこでは電磁力のような外力に対して電子の動きは分子軸の方向が容易軸となり、屈折率や透磁率に異方性を与える。また末端の C-N 基は誘電率の異方性の原因となっている。分子が集団としてこのような物理量にマクロ的な異方性を示すためには、分子の並び方がそろっていなければならない。これがモノドメイン液晶で単結晶に対応する。

通常 LCD は 2 枚のガラス板（またはプラスチック板）の間に液晶媒質を挟んだ形のサンドウィッチ構造をしている。図 2 はネマティック相と呼ばれる液晶相のサンドウィッチ構造の断面図を示す。実際的にはガラス板の内側には透明導電膜とそれを覆う分子配向膜が施されている。図 2(a) はやや傾いたプレーナ配向を示す。このような配向を得るには界面にポリイミドなどの高分子膜をつけ、それをナイロンなどの布で一方方向にこする（ラビング加工）、あるいは SiO など斜方蒸着で付けるなどの方法がある。前者の変形としてラングミュア・プロジェクト（LB）膜の使用も有効である⁽³⁾。また (b) の垂直配向は界面活性剤を塗布するなどの方法で実現できる。

液晶媒質の誘電異方性 $\Delta\epsilon$ が正ならば電圧印加により図 2 の (a) $\rightarrow$ (b) へ、また $\Delta\epsilon$ が負ならば (b) $\rightarrow$ (a) と分子の並び方が変わる。媒質を偏光板の

間に挟んで複屈折効果を利用して分子の動きを可視化したものが電気光学効果である。これは LCD の動作の一例であり、電界制御複屈折率または tunable birefringence 効果とも呼ばれる。この可視化は光弾性と類似であり、この場合は機械的力で透明物体に複屈折率が誘起されている。通常のセロテープは長さ方向に延伸加工されており複屈折率をもっている。2 枚の偏光板の間に挟んだセロテープを回転していくとはっきりと明るさと色の変化をみることができる。

液晶分子の並び方は電磁界、機械力、流れ、温度による相変化で変化する。これらをすべて広義の相変化ととらえることができるので、液晶の相変化を可視化したものが LCD であると言えることができる。

表 1 に今まで研究されて来た LCD の動作モードをまとめて掲げておく。この中で現在最も広く用いられているのが“ねじれたネマティック (Twisted Nematic : TN) 形”でありその動作を図 3 に示す。

直交した偏光板の間に約 90° ねじったネマティック液晶を入れる。界面ではラビングの方向を決めて（直交させて）おくことにより、このような分子配向が得られる。液晶層の厚さは $d=5\sim 10\ \mu\text{m}$ 程度でこれが可視光の波長 λ に対し $d > \lambda$ ならば旋光性のため光の電界の偏波面の回転が生じこの場合約 90° 回転する。そのため光は透過する [図 3(a)]。一方、電圧が印加されると、しきい電圧以上では、分子は $\Delta\epsilon > 0$ のため立ち上がる。そして旋光性を失う。そうすると直交偏光板の本来の働きで光は遮断される [図 3(b)]。もし平行偏光板を用いれば透過-遮断の関係が逆になる。前者を Normally open (white)、後者を Normally close (black) とも呼ばれ、この関係を図 4 に示す。

さて、ドットマトリクス表示では図 3 のようなセルを二次元的に $10^4 \sim 10^6$ 個並べることにより文字、記号、図を表示するわけである。

カラー表示の方法としては、図 3 のようなブラックシャッターと色光を組み合わせればよい。ドットマトリクスの一つ一つをピクセルと呼ぶ。ピクセルごとに赤 (R)、緑 (G)、青 (B) を並べる方法は空間的加法混色と呼ばれ、現行のブラウン管のテレビ

図 1 液晶となる分子（芳香族の場合）
透磁率，屈折率，および誘電率

図 2 モノドメインネマティックの断面図
(a), (b) それぞれ水平，垂直配向

と同じ方式である。また、RGB に時間差を与えて行うカラー表示の方式もあり、これは画面順次 (field sequential) 形と呼ばれている⁽²⁾。

3. LCD の研究開発課題

現在、LCD はますます高性能化している。その内容は、

1) 情報表示量の増大：ドットマトリクス表示のドット数は OA 機器では $640 \times 400 \times 3$ or 4 (注1) → $1120 \times 780 \times 3$ or 4 へと移行している。RGB 3 個ひとまとめにしてピクセルと呼んでいる。テレビでは 500×500 から 1125×1000 ピクセルへと

開発が進行している。これが高品位 (High Definition: HD) TV である。

2) 表示面積：OA 機器では表示の対角線で 10 ~ 12 in, テレビや CAD/CAM 用では 14 in から 40 in への開発が進んでいる。ただし LCD-TV で直視形では現在 14 in 形まで到達している (図 5) が、40 in 形までは今後 10 年以上の歳月と多くの発明・技術革新を必要としよう。

しかし、投写形を用いれば現在でも 100 in スクリーン上での表示が可能である。このようにして、電子 OHP の実用化や HDTV のデモが行われている。

LCD の分解能は、現在技術ではドットピッチ

表 1 LCD の動作モード

液 晶	動作モードの名称	略 称*	効 果**	動作原理	反射	透過	投写	カラー	マルチプレクシング特性	メモリ性	偏光板必要数
N(N*)	電圧制御複屈折率	TB,STN	電 界	複 屈 折 率	×	○	○	○	○	×	2
	ねじれたネマティック	TN	電 界	旋 光 能	○	○	○	○	○	×	2
	ゲストホスト	GH	電 界	色素の2色性	○	○	○	○	△○	×△	1か0
	動的散乱	DS	電界+電流	光 散 乱	○	○	○	△	○	×	0
Ch	光ブラッグ反射	BR	電界・温度	ブラッグ反射	○	×	×	○	—	—	0
	蓄 積 形	ST	電 界	相転移・光散乱	○	○	○	○	—	○	2か0
	双安定形	BS	電 界	相転移・複屈折	○	○	○	○	—	○	2
S	熱書き込み	TA	熱・電界	相転移・蓄積・光散乱	○	○	○	○	—	○	0
S*	電圧制御複屈折率	VCB, TB	電 界	複 屈 折 率	○	○	○	○	○	○	2
	ゲストホスト	GC	電 界	2 色 性	○	○	○	○	—	○	1

* TB: Tunable Birefringence (これは VCB: Voltage Controlled Birefringence, ECB: Electrically Controllable Birefringence と同じ), TN: Twisted Nematic, GH: Guest Host, DS: Dynamic Scattering, BR: Bragg Reflection, ST: Storage Type, BS: Bistability, TA: Thermally Addressed, STN: Super Twisted Nematic (これは SBE: Super Twisted Birefringence Effect に同じ)。

** DS を除いて、電界効果は磁界効果にも置き換えられるが、実用的ではない。

図 3 TN 方式の動作説明
(偏光板を直交させたとき: 電界零で光透過)

図 4 TN-LC セルのルミネナンス透過率と印加電圧

(注1) RGB トリオで 3, RGGB クアッドで 4 となる。これらの代わりに RGB のストライプの方式もある。

では mm 当たり 3 位である。

3) 見やすさの向上：より見やすい (legible) 表示とは、文字数字表示では表示内容を短時間に正しく読みとることができるものである。また、TV では天然色画像の再現である。

見やすさの決定要因は図 6 に示すように多岐にわたる。表示媒質の特性から言えば、(1) 明るさ (ルミナンス)、(2) ルミナンスコントラスト比、(3) カラー表示の色範囲などが重要項目である。

4) カラー表示：RGB の空間混色により白を与える、そのとき D_{65} 光源 (6 500 K の黒体放射) に等しいことが望まれる。これは太陽光の下での白である。RGB それぞれが十分飽和した色をもつときカラーバランスがとれていると言われる。LCD ではカラーフィルタを用いて、ほぼ十分なカラーバランスをとることができ、ブラウン管のそれとほぼ匹敵するまであるいはそれ以上になってきている。LCD 以外のフラットパネル表示である、プラズマ表示や電界発光などでは現在のと

図 5 14 in アクティブマトリクス LCD
〔シャープ(株)提供〕

図 6 表示見やすさ (視認性) の決定要因

ころ高い明るさを伴ってこのカラーバランスを十分にすることができない。

5) 電氣的駆動—ドライブコスト：表示のための電氣的駆動に要するコストは最も重要な項目の一つである。ドットマトリクス表示の電氣的駆動法は、単純な時分割駆動とアクティブマトリクス方式とがある (図 7)。前者の説明を図 8 に示す。走査電極に電圧 V_x を Y 電極に信号 (データ) 電圧 V_y を印加する。 V_x のパルス幅 Δt と間隔 T の比 $\Delta t/T$ がデューティ比でこれは走査本数 N_x の逆数となる。 N_x は現在最も進んだ技術スーパー TN で 400 本まで達している。

一方、アクティブマトリクスでは各ドットごとに半導体非線形スイッチ素の 2D アレイを組込んである。薄膜トランジスタを用いた場合の断面図を図 9 に示す。

さて、単純時分割駆動の方が経済的である。しかし通常の TN-LCD では、電気光学効果の急峻性が不十分であるためにクロストークが発生する。その事例を図 10 に示す。ねじれ角を $180^\circ \sim 270^\circ$ へ、プレティルト角を $5^\circ \sim 10^\circ$ とすることによりその急峻性をよくしたものがスーパートゥイスト (STN) 形であり、かつそこで二層セル構造などの方法で白黒化した方式が現在盛んにラップトップコンピュータに用いられている。その

図 7 LCD の駆動法

図 8 時分割駆動 LCD の印加電圧波形

図 9 薄膜トランジスタを用いたアクティブマトリクス

図 10 マルティプレックス駆動ねじれたネマティック(TN)-LCD クロストーク発生 (文字数字の背景に生じている不必要な点)の例

カラー化もなされている (図 11)。

アクティブマトリクス方式は 10 in 形以上では歩留まりとスループットの点で多くの課題を抱えている。

そのほか、メモリ性や高速性で特徴を持っている強誘電性液晶も盛んに研究されている。

4. 将来展望

すでにのべたように、技術的には直視形の LCD-HDTV が開発目標となろう。これにより壁掛 TV や CAD/CAM において画期的なメディアテクノロジーの進歩がもたらされよう。そのためには nm の精度で 1 m^2 にわたる加工技術が鍵となろう。

図 11 二層 STN-LCD のカラー表示 (オプトレックス提供)

文 献

- (1) Sasaki, T., *Proc. 6th International Display Res. Conference*, (1986-9), 2 (Keynote Address).
- (2) 岡野光治・小林駿介, 液晶一応用編, (1985), 培風館.
- (3) 池野英徳・前田博己・吉田正明・小林駿介, ポリイミド Langmuir-Blodgett 膜による強誘電性液晶の配向制御と LCD への応用, 応用物理, 58-17 (1989) 1084; Ikeno, H., Oh-saki, A., Ozeki, N., Nitta, M., Nakaya, K. and Kobayashi, S., *LCDs Fabricated Using Langmuir-Blodgett Polimide Orientation Films*, 1988 *Soc. Int. Display, 1988 Int'l Symp. Digest of Technical Papers*, vol. 19, (1988), 45.
- (4) 小林駿介, 液晶表示 (LCD) の見やすさの向上, 電子通信学会誌, 69-12 (1986), 1260.

(原稿受付 1989 年 12 月 6 日)