

論文 TSS液晶の時分割表示方式立体ディスプレイへの応用*

Application of TSS Liquid Crystal to Field Sequential Stereoscopic Display

豊田 章人
Akito TOYODA山本 典生
Norio YAMAMOTO

The structure, operation principle and features of display with Antiferroelectric Liquid Crystal (AFLC) and the application of AFLC to stereoscopic display are described in this paper. AFLC display consists of simple matrix. The operation principle of AFLC is switching among three states such as plus-ferroelectric, minus-ferroelectric and antiferroelectric states. This switching realizes multi-level tone. According to this switching, AFLC is called Tri-State Switching (TSS) liquid crystal. Display with TSS liquid crystal has two features. One is wide viewing angle as that of Cathode Ray Tube (CRT). The other is the response as about a thousand times fast as conventional Twisted Nematic (TN) liquid crystal. By utilizing the fast response of TSS liquid crystal, a flickerless field sequential stereoscopic display is developed. The application of TSS liquid crystal to the field sequential stereoscopic display enables downsizing and power saving of the display.

Key Words : TSS Liquid Crystal, Field Sequential, Stereoscopic Display, Wide Viewing Angle, Fast Response

1. はじめに

近年、立体視を利用した映像表示システムがアミューズメント、医療、バーチャル・プロトタイプングなどの分野で利用されており、そのための視覚デバイスとして様々な立体ディスプレイが開発されている^{1,2)}。立体ディスプレイは、左眼用と右眼用の画像をそれぞれの眼に提示することによって実現できるが、その方式としては主に次の3つがある。

第1の方式は、左眼用と右眼用の画像を時間的に交互にディスプレイに表示しながら、画像の表示に同期して液晶シャッタを開閉し、それぞれの画像を対応する眼に入るように制御する方式である。

第2の方式は、左眼用の画像を表示するディスプレイと右眼用の画像を表示するディスプレイをそれぞれ一つずつ持ち、それぞれのディスプレイからの画像を、光学素子によって対応する眼に入るように制御する方式である。

第3の方式は、左眼用の画像を表示する画素と右眼用の画像を表示する画素を一つのディスプレイ面内に持ち、それぞれの画素からの画像をレンチキュラーレンズなどの光学素子によって対応する眼に入るように制御する方式である。

第1の方式を時分割表示方式と呼ぶが、時分割表示方式には、他の二つの方式に比べて、次のような利点がある。

第2の方式においては2台のディスプレイが必要であるのに対し、時分割表示方式においては立体像の表示に必要なディスプレイが1台である。

第3の方式においては2次元表示、立体表示にかかわらず、左右それぞれの眼には、常に全画素の半分からしか表示が映らないのに対し、時分割表示方式においては、画像がディスプレイ全面に表示されるため、解像度の高い立体像を提示することができる。

ところで、近年、省スペース化、低消費電力化という社会的ニーズを背景に、液晶ディスプレイが普及している。時分割表示方式の立体ディスプレイについても、液晶ディスプレイを利用することが望まれるが、従来のTN(Twisted Nematic)型液晶の適用は困難であった。

その理由は、従来のTN型液晶は応答速度が数十msと遅いため、時分割表示方式でちらつきなく立体視を可能にする120Hzのフレーム周波数に追従できないことにある(左右それぞれの眼に60Hzにて画像を提示する必要があるため、120Hzのフレーム周波数が必要になる。)これに対し、反強誘電性液晶³⁻⁵⁾(AFLC; Antiferroelectric Liquid Crystal)はマイクロ秒オーダの応答性を持っており、我々は、この高速応答性にいち早く着目し、時分割表示方式の立体ディスプレイへの適用を検討してきた。

*日本液晶学会の了解を得て、学会誌「液晶」(1999年10月号)より一部加筆して転載

ここで、我々は、AFLCを駆動原理にちなんでTSS (Tri-State Switching; 3状態切り替え駆動) 液晶と名付けている(以下、TSS液晶と呼ぶ)。TSS液晶を用いたディスプレイは、高速応答に加え、超広視野角という特徴を兼ね備え、更に単純マトリクス構造で高精細化可能なことからコストパフォーマンスに優れており、高精細表示のニーズを満たしつつ、薄型・省スペースの立体ディスプレイを実現できる。

本稿では、TSS液晶を用いたディスプレイの構成、動作、および、特徴について述べ、その応用例として液晶シャッタと組み合わせた時分割表示方式の立体ディスプレイについて述べる。

2. ディスプレイの構造⁶⁾

Fig.1にTSS液晶を用いたディスプレイのパネル断面構造を示す。液晶パネルは、2枚のガラス基板の間隙に液晶を充填しその両側に偏光板を互いに直交するように貼り合わせた構造となっている。両基板の間隙は隔壁によりパネル全面にわたって約1.5 μmに保たれている。一方のガラス基板にはストライプ状のR, G, Bの各カラーフィルタが形成されている。カラーフィルタ上にはストライプ状の透明電極、絶縁膜および配向膜が積層されている。

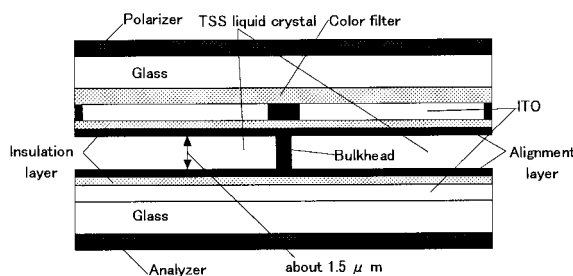


Fig. 1 Cross-section of Display with TSS Liquid Crystal

他方の基板にはストライプ状の透明電極、絶縁膜および配向膜が積層されている。両基板の電極は互いに直交するように配置され、Fig.2に示すような単純マトリクスを構成している。

ディスプレイには、Fig.3に示すTFMHPOBCなど数種類のAFLCをブレンドした液晶を用いている。

3. ディスプレイの表示原理⁷⁾

次に、TSS液晶の表示原理についてFig.4に示した図に基づいて説明する。液晶パネルの電極間に電圧を印加しない場合、図の のように液晶分子は隣接す

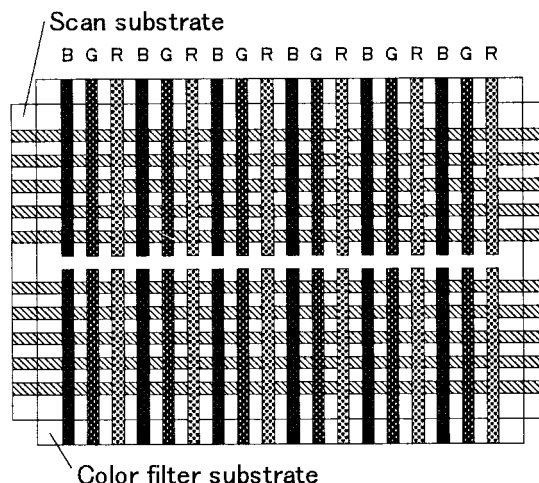


Fig. 2 Horizontal projection of panel module of display with TSS liquid crystal

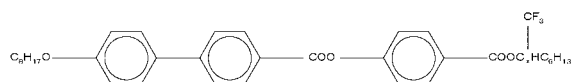


Fig. 3 Antiferroelectric liquid crystal TFM-POBC

る層内の液晶分子が互いに逆方向に傾いて配列した反強誘電状態をとる。液晶分子の長さは可視光の波長に対して十分短いので、光学軸は平均化され層法線方向となる。入射側の偏光軸をこの軸と平行に合せておくと出射側の偏光板により消光し黒表示となる。

state	II : F ⁻	I : AF	III : F ⁺
	$E \otimes$	$E=0$	$E \odot$
molecular orientation			
optical configuration			
brightness	bright	dark	bright

F: ferroelectric state
AF: antiferroelectric state
P: polarizer
A: analyzer

Fig. 4 Principle of TSS liquid crystal

一方、パネルの電極間にプラスまたはマイナスの電界を印加すると、液晶分子が持つ永久双極子モーメントが電界の方向と一致するように液晶分子が「または」のように配列した強誘電状態となる。この状態は光学軸が消光位からずれているため光が透過し白表示となる。以上のように、反強誘電状態と正負強誘電状態の3状態を切り換えながら駆動する。Tri-State Switching; TSS液晶と呼んでいる理由はこの点にある。

TSS液晶に三角波電圧を印加した時の電圧 - 透過率特性をFig.5に示す。電圧を0 Vから上げて行くと、輝度は低電圧領域では緩やかに上昇し、ある電圧で急激に上昇し始める。この電圧が反強誘電状態(黒)から正の強誘電状態(白)へのしきい値電圧である。続いて、正の高電圧側より電圧を下げて行くと、輝度が高い正の強誘電状態を維持し、ある電圧から急激に低下して反強誘電状態へ戻る。電圧が上がる時と下がる時で輝度の変化が異なる、つまりヒステリシスを持っている。負側も正側と同様の輝度変化を示すため、2重ヒステリシス特性と呼ばれている。

このヒステリシス特性をメモリー効果として利用することにより、ヒステリシスの中心付近の電圧を印加することによって書き込んだ状態を保持することがで

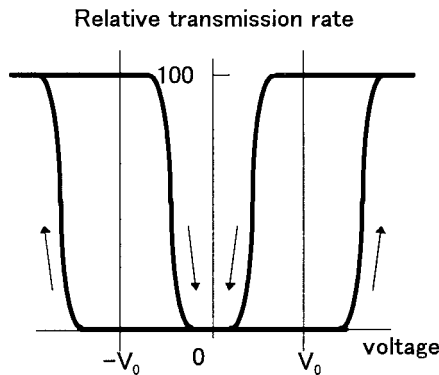


Fig. 5 Voltage to transmission-rate characteristic of TSS liquid crystal

きる。また、暗から明(あるいは、明から暗)への透過率変化時に、反強誘電状態と強誘電状態が十分に小さな領域で混ざり合うマルチドメイン状態が存在し、これによって中間調の表示が可能となる。

これらのメモリー効果とマルチドメイン状態を利用すれば、TFT(Thin Film Transistor)を用いなくとも高精細画像を表示することが可能である。

4. ディスプレイの特徴

4.1 広視野角

まず、TSS液晶の広視野角性について説明する。

TSS液晶を用いたディスプレイでは、IPS(In Plane Switching)方式と同様にパネル面内で液晶分子が動くため、原理的に視野角依存性が小さい。TSS液晶を用いたディスプレイ、通常のTFT-LCD、および、広視野角TFT-LCD(TN位相補償方式)の3パネルで視野角特性を比較した。それぞれについてコントラスト絶対値、および、パネル真正面の色度 u', v' を基準に

$$\Delta Eu'v' = \sqrt{(\Delta u')^2} + \sqrt{(\Delta v')^2} \quad (1)$$

で定義した色差を測定した。

そして、コントラスト比10:1以上を示す領域に内接円を描き、パネル垂線からの振れ角をコントラストの観点から見た全方位視野角と定義すると、TSS液晶を用いたディスプレイは70度以上と他を圧倒する広視野角を示した(Fig.6)。同様に、人間が変化を感じ

Sample	TSS	IPS	TFT	
Contrast				
Color difference: ΔE^*uv				

* : Omnidirectional viewing angle

Fig. 6 Omnidirectional viewing angle characteristic in terms of contrast and color difference

ないレベルの色差(0.05)で全方位視野角を求めたところ、TSS液晶を用いたディスプレイでは約68度であり、コントラストのみならず色差の点でも視野角特性が優れていることを定量的に確認できた。

このようにTSS液晶を用いたディスプレイのコントラストはすべての方位にわたって滑らかな等方的変化を見せており、色差に至っては視線角度による見え方の差がなく、CRTに匹敵する。

4.2 高速応答

次に、TSS液晶が高速応答である理由について述べる。TSS液晶は、双極子モーメントを持ち、層構造を示すスメクチック液晶である。その強誘電状態間の応答挙動については、強誘電性液晶(FLC; Ferroelectric Liquid Crystal)のそれとほぼ同様であり、Xue Jiu-zhiらによって導出された次式のようなFLCの運動方程式⁶⁾に従うものと考えられる。

$$\eta \frac{\delta \phi}{\delta t} + P_s E \sin \phi + \left(\frac{\Delta \epsilon}{4\pi} \right) E^2 \sin^2 \theta \sin \phi \cos \phi = 0 \quad (2)$$

この(2)式は、慣性項と界面相互作用を無視し、粘性項(第1項)と電気的な相互作用としての双極子相互作用(第2項)、および、誘電的相互作用(第3項)を考慮した式である。高速応答が可能になる理由は、TSS液晶がネマチック液晶には存在しない自発分極(P_s)を持ち、それが電場と大きな相互作用を示すことにある。

これにより、TSS液晶は室温で応答時間が約30 μ s以下という、一般的なTN液晶のおよそ1000倍のスピードを実現している。この高速応答性を利用すれば、高精細でしかも高速応答な液晶ディスプレイを実現することが可能である。

5. ディスプレイの駆動方法

Fig.7に今回開発したTSS液晶を用いたディスプレ

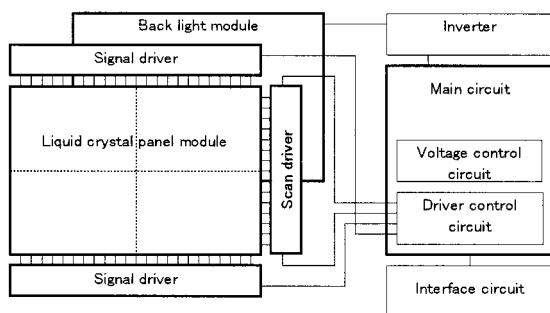


Fig. 7 Structure of display with TSS liquid crystal

イのシステム構成を示す。液晶パネルはSXGA(走査電極数が1024本、信号電極数が1280 × 3(RGB)本)の解像度を持つ。この液晶パネルは、上下に2分割されており、それぞれ独立に駆動される。走査・信号両ドライバはコントロール回路により制御され、インターフェース回路には、SXGAサイズの画像がアナログRGB信号として入力される。

このディスプレイは立体表示と2次元表示を切り替えることができるようになっている。立体表示する場合は、Fig.8に示すように上下に分割された画像を入力し、1フレームごと交互に上半分と下半分を縦方向に2倍して表示する。2次元表示する場合は入力されたSXGAサイズの画像を等倍のまま表示する⁶⁾。

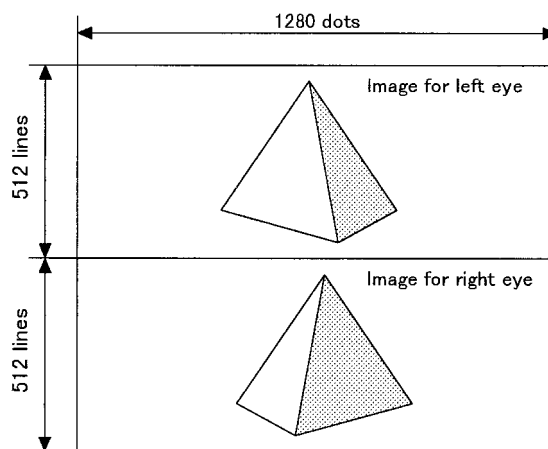


Fig. 8 Input image to interface circuit

次に立体表示する場合の駆動方法について説明する。縦方向に画像を2倍に拡大して表示するため、上下パネルとも2ラインずつ走査する(以下、同時に走査する電極の対を走査電極対、あるいは、走査ライン対と呼ぶ。)ちらつきのない立体映像を実現するためには、120Hzのフレーム周波数が必要になるので、1組の走査ライン対の選択時間は $1/120 / (1024/2/2) = 32.6 \mu$ sとなる。

次にTSS液晶の駆動波形について説明する。本ディスプレイではTSS液晶が持つ高速応答性とメモリー効果を利用して駆動する。駆動波形は、Fig.9に示すように、選択、保持、消去の3つの期間で構成している。また、正負のヒステリシスをバランスよく利用するため、2フレームごとに極性を反転させている。

まず、第1フレームについて説明する。

選択期間は、そのフレームの表示状態を決める期間である。前述したように、TSS液晶は数十 μ sで反強

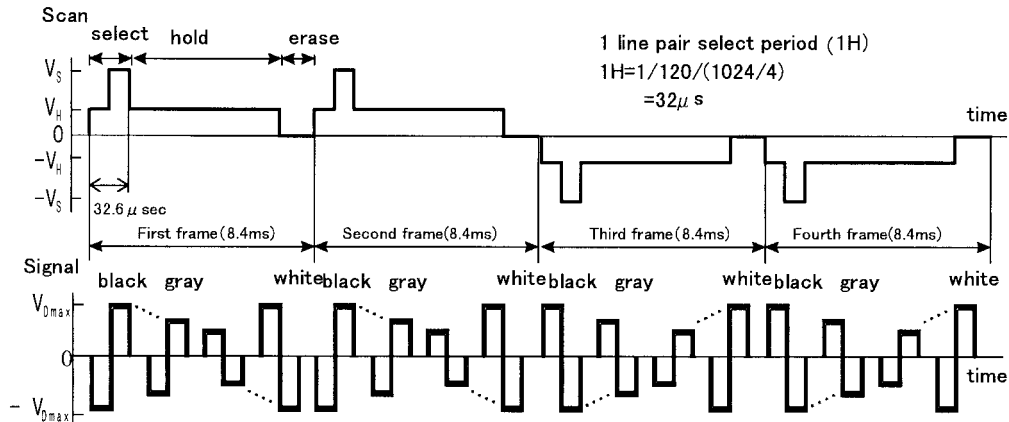


Fig. 9 Input pulses to TSS liquid crystal

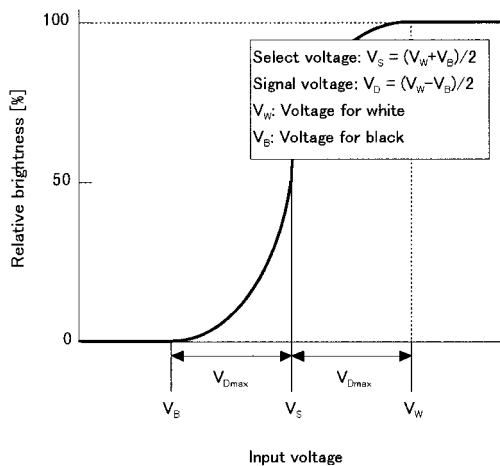


Fig. 10 Determination method for select voltage and signal voltage

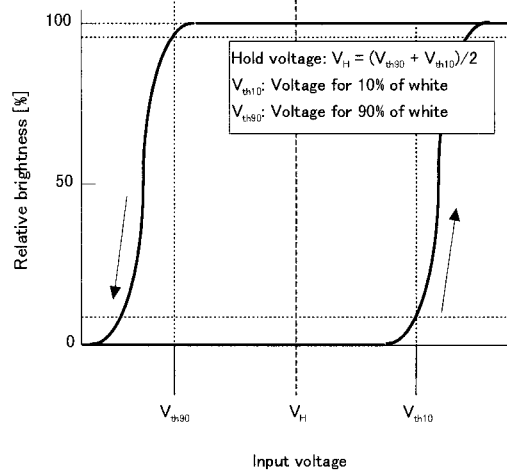


Fig. 11 Determination method for hold voltage

誘電状態から強誘電状態，つまり黒から白へ高速に応答するため，選択期間も数十 μs で十分である。

今回開発したTSS液晶を用いたディスプレイでは，選択期間は $32.6 \mu s$ に設定した．選択期間は等間隔の2パルスで構成され，走査側は前半に V_H が，後半に選択電圧 V_S が印加される．信号側は輝度レベルに応じた振幅 V_D の双極性パルスが印加される．輝度レベルは $V_S + V_D$ で決定される．選択電圧 V_S と信号電圧 V_D の決定方法を Fig.10 に示す．Fig.10 には，画素に $16.3 \mu s$ のパルス電圧を印加したときの電圧 - 相対輝度曲線が記載されている． V_B は黒表示電圧を示し， V_W は白表示電圧を示している．この二つの電圧の中点が V_S であり，差の半分が V_D の最大値 V_{Dmax} である．したがって， $V_S = (V_W + V_B) / 2$ ，および， $V_{Dmax} = (V_W - V_B) / 2$ である．

保持期間は選択期間で書き込まれた表示を保持する期間である．保持期間は，他の走査電極を選択している期間から消去期間を引いた時間であり約 $2.0ms$ であ

る．

保持期間では，ヒステリシス特性によるメモリー効果を利用するため，保持電圧 V_H が印加されている．保持電圧 V_H の決定方法を Fig.11 に示す．この図には，画素に $2.0ms$ のパルス電圧を印加したときの電圧 - 相対輝度曲線が記載されている． V_{th90} は白表示が保持できる限界電圧を示し， V_{th10} は黒表示が保持できる限界電圧を示している．この二つの電圧の中点を V_H を設定する．したがって， $V_H = (V_{th90} + V_{th10}) / 2$ である．

消去期間では，走査側に $0V$ を印加し表示をいったん黒とする．消去期間の長さは，強誘電状態から反強誘電状態になる時間で決まる．今回用いた液晶材料では消去期間を約 $6.4ms$ に設定している．

以上が第1フレームの駆動波形である．それに続き同じく正極性の第2フレーム，負極性の第3，第4フレームを繰り返す．負極性のフレームでは，正極性の波形と極性を反転した波形を印加する．以後第1フレームから第4フレームが交互に繰り返される．

走査方法は、選択期間だけ時間をずらしながら走査電極ライン上の画素に順次表示を書き込む線順次走査を適用し、隣り合う走査電極対が互いに逆極性となる（例えば、 $4n + 1$ 行、 $4n + 2$ 行、が正極性のときは、 $4n + 3$ 行、 $4n + 4$ 行が負極性となる）Hライン反転走査を採用した。

以上のように駆動したTSS液晶を用いたディスプレイについて、輝度の時間変化をFig.12に示す。TSS液晶を用いたディスプレイでは、 $32.6 \mu s$ という非常に短い時間で輝度レベルが決定され、その輝度を保持期間中維持する。それに続く消去期間で輝度が黒レベルまで下がる。1フレームごとに黒レベルに消去するので、フレーム間の累積応答は全くない。そのため、1フレームごとに異なる画面の出る場合でも、前の画面の表示が残ることなく1画面ずつ忠実に表示することができる。

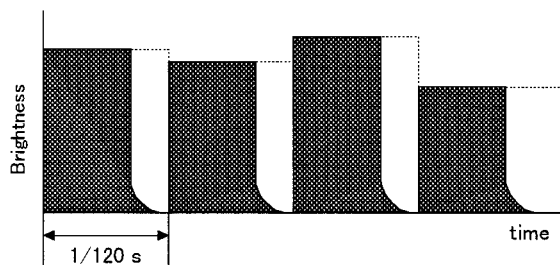


Fig. 12 Response characteristic of TSS liquid crystal

6. 時分割表示方式立体ディスプレイへの応用

以上から、TSS液晶を用いたディスプレイは、1フレームごとに異なる画面が出る場合でも、1画面ずつ忠実に表示できるという特徴をもつ。この特徴を利用すれば、時分割表示方式の立体ディスプレイの実現が可能である。TSS液晶を用いた時分割表示方式の立体ディスプレイの構成例をFig.13、および、Fig.14に示す。

Fig.13の例では、TSS液晶を用いたディスプレイの前面に液晶シャッタを設置し、観察者は偏光メガネを装着して映像を観察する。液晶ディスプレイには、120Hzのフレーム周波数で、奇数フレームめに左眼用画像、偶数フレームめに右眼用画像を表示する。液晶ディスプレイの表示に同期して、液晶シャッタへ駆動電圧を印加すると、液晶シャッタを透過する光の偏光方向が切り替わる。左右それぞれの偏光方向に対応する偏光メガネを装着すれば、左眼には左眼用画像、右眼には右眼用画像だけが入ることになる。

Fig.14の例では、TSS液晶を用いたディスプレイを液晶ゴーグルを装着して映像を観察する。Fig.13と同様に、液晶ディスプレイには、120Hzのフレーム周波数で、奇数フレームめに左眼用画像、偶数フレームめに右眼用画像を表示し、液晶ディスプレイの表示に同期して、液晶シャッタへ駆動電圧を印加すると、液晶シャッタを透過する光がON / OFFされる。左右それぞれのON / OFFタイミングにあったをゴーグルを装着すれば、左眼には左眼用画像、右眼には右眼用画像だけが入ることになる。

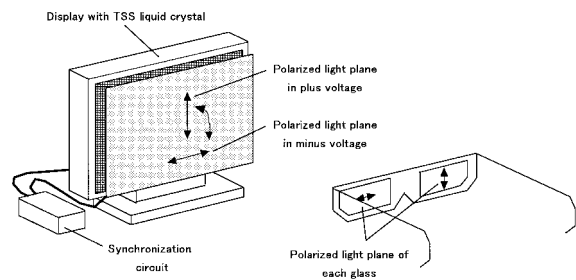


Fig. 13 Stereoscopic display with liquid crystal shutter and TSS liquid crystal display

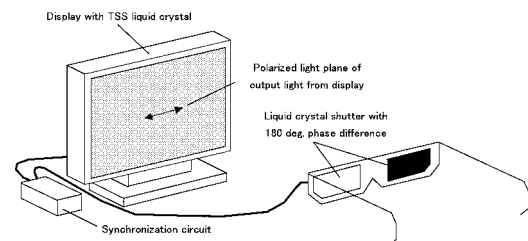


Fig. 14 Field sequential stereoscopic display with TSS liquid crystal display

Fig.13、および、Fig.14の例において、ともに、左右の眼とも点滅した状態の画像が入ることになるが、点滅の周波数が60Hzとなるため、観察者にはちらつきのない立体映像が見える。また、左眼用画像、右眼用画像とも画面全体に表示されているので、解像度が高い立体映像が観察される。

Fig.13の構成にしたがって、FLCを用いた液晶シャッタ^{9, 10}と組み合わせて試作したTSS液晶を用いた立体ディスプレイの表示性能をTable 1に示す。

Table 1 Specifications of stereoscopic display with TSS liquid crystal and FLC shutter*

Size	17.4 inch
Number of pixels	1024 × 1280 (SXGA)
Resolution	512 × 1280 (in stereoscopic display mode)
	1024 × 1280 (in 2D display mode)
	0.27 × 0.27mm
Frame frequency	120 Hz (in stereoscopic display mode)
	60 Hz (in 2D display mode)
Viewing angle	160 deg or more for all direction
Reponse time	2 msec or less (r + d)
Colors	1.610 million
Power consumption	40W

*.FLC shutter is developed by IDEMITSU KOSAN CO.,LTD.

7. まとめ

本稿では、TSS液晶を用いたディスプレイが単純マトリックスにて広視野角性、高速応答性を同時に実現できるという特徴について述べ、その高速応答性を応用した時分割表示方式の立体ディスプレイについて説明した。TSS液晶は、高速応答性を求められるフィールドシーケンシャルディスプレイ、動画性能を重視したディスプレイなどへの応用も可能であると考えられる。現在、TFT-LCDを中心とした液晶ディスプレイの画質向上が著しく、TSS液晶を用いたディスプレイに対しても更なる画質向上が望まれる。

謝辞

今回の時分割表示方式の立体ディスプレイの試作にあたって、出光興産株式会社殿からFLCを用いた液晶シャッタを提供していただいたことに対し、関係者の方々に深く感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 増田 千尋, 3次元ディスプレイ (1990), 産業図書
- 2) 泉武 博, NHK放送技術研究所, 3次元映像の基礎, (1995), オーム社
- 3) 福田敦夫, 次世代液晶ディスプレイと液晶材料: 強誘電性液晶と反強誘電性液晶 (1992), シーエムシー
- 4) A.D.L Chandani, E. Corecka, Y. Ouchi, H. Takezoe and A. Fukuda, Jpn. J. Appl. Phys., 28, L1256(1989)
- 5) A.D.L.Chandani, T. Hagiwara, Y. Suzuki, Y.Ouchi, H. Takezoe and A. Fukuda, Jpn. J. Appl. Phys., 27, L729 (1988)
- 6) 中村 耕治, 第9回ファインプロセス テクノロジー ジャパン 99, 専門セミナーテキストA3, (1999)
- 7) 山田 祐一郎, 山本 典生, 小勝負 信明, オプトエレクトロニクス, 58, 146
- 8) Xue Jiu-zhi, M.A.Handschy and N.A.Clark, Ferroelectrics, 73, 305(1987)
- 9) 小藤 武樹, 森脇 文雄, 電子材料, 2月号, 81(1998)
- 10) 湯浅 公洋, エレクトロニクス, 12月号, 99(1998)

<著 者>



豊田 章人
(とよだ あきと)

ディスプレイ技術部 開発室
電子ディスプレイのインターフェース回路の設計開発, および, 電子ディスプレイの実装技術開発に従事。



山本 典生
(やまもの のりお)

基礎研究所研究企画室特別プロジェクト
液晶材料物性, 特にスイッチング挙動に関する研究, 液晶駆動技術の開発に従事。