相転移型液晶マトリックスディスプレイ

松下電器産業株式会社 無線研究所

大塚哲郎・塚本勝秀・土屋満春

誘電異方性が正のコレステリック液晶での電界によるコレステリック-ネマチック相転移を利用してマトリックスディスプレイ装置を試作し、 160×56 絵素のマトリックスパネルを $1/2$ バイアス法、あるいは $1/3$ バイアス法による線順次走査方式にて駆動した結果、フレーム周波数が低いにもかかわらずフリッカはなく、クロス効果の影響を受けない高コントラストのキャラクターディスプレイが可能であることが明らかになった。

1. ま え が き

液晶の電気光学効果を利用したマトリックスディスプレイについて、これまでに多くの提案がなされている。ネマチック液晶では DSM を用いたもの¹⁾、DAP 効果を用いたもの²⁾、TN-FEM を用いたもの³⁾などがあり、またコレステリック液晶ではメモリー型を用いたもの⁴⁾があるが、まだ実用になるまでには至っていない。

誘電異方性が正のコレステリック液晶に電界を印加すると、液晶分子がその電界方向に配向するため、コレステリック液晶のラセン構造のピッチがだんだん長くなり、電界がある臨界値以上になるとピッチは無限大になる。この状態はネマチック液晶のホメオトロピック配向とちょうど同じ状態である。1968 年頃からこの現象に関する研究報告が相ついで発表され⁵⁾⁶⁾、電界によるコレステリック-ネマチック相転移という現象の内容が明確なものになった。この新しい電気光学効果の利用は従来の液晶マトリックスディスプレイのいくつかの問題点を解決でき、さらに実用へ一歩近づくものである。

ここでは、この電界によるコレステリック-ネマチック相転移を用いたマトリックスディスプレイについて、これまでの研究結果を報告する。本報告では、2 章で電界によるコレステリック-ネマチック相転移の特性を説明し、3 章で相転移のマトリックスディスプレイへの応用について、4 章で試作装置の概要について述べる。

2. 電界によるコレステリック-ネマチック相転移の特性

誘電異方性が正でその値の大きな、室温で利用できるコレステリック液晶化合物はまだ得られていない。しかし、ネマチック液晶にコレステリック液晶または光学活性な化合物を溶解するとコレステリック液晶になる。そこで、誘電異方性が正でその値の大きな混合ネマチック液晶にコレステリン誘導体を加えることによって得られるコレステリック液晶を用いた。この液晶の組成を表 1 に示す。コレステリック液晶を透明電極をつけた 2 枚のガラス基板の間にはさみ、約 $25 \mu\text{m}$ のスペーサーを用いて薄い液晶セルを作る。図 1 はこの液晶層を透過する光の強度が印加電圧によってどのように変化するかを示したものである⁷⁾⁸⁾。電圧が零のとき、液晶分子は図 2 (a) のように、ラセン軸が電極面に平行になるように配向している。しかしラセン軸はいたるところ一定方向を

表 1 混合液晶の組成
Composition of liquid crystal mixtures.

	EC-10291	EC-05212
液晶組成	MBBA 26.8 wt%	MBBA 43.5 wt%
	BBCA 44.6 wt%	BBCA 43.5 wt%
	OBCA 17.9 wt%	
	C. O. C. 10.7 wt%	C. N. 13.0 wt%
液晶温度	$3 \sim 75^\circ\text{C}$	$10 \sim 78^\circ\text{C}$

(注) EC-10291, EC-05212 は本研究用に試作した材料の資料番号で、MBBA は *p*-メトキシベンジリデン-*p*-*n*-ブチルアニリン、BBCA は *p*-*n*-ブトキシベンジリデン-*p*-シアノアニリン、OBCA は *p*-*n*-オクトキシベンジリデン-*p*-シアノアニリン、C. O. C. はコンステリル・オレイル・カーボネイト、C. N. はコレステリル・ノナノイトをそれぞれ略記したものである。

"Liquid Crystal Matrix Displays Using the Cholesteric-Nematic Phase Transition" by Tetsuro Ohtsuka, Masahide Tsukamoto and Mitsuharu Tsuchiya (Wireless Research Laboratory, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd., Osaka)

図 1 透過光強度の AC 電圧依存性
Transmitted light intensity vs AC voltage.

図 2 分子配向状態
Orientation of long molecular axes.

向いているわけではなく、場所によってその方向が変化している。そのため分子配向に不連続なところが生じ、そこで光は散乱され透過光強度は小さくなる。印加電圧を増加すると、誘電異方性が正のため液晶分子は電界方向に配向し、図 2 (b) のようにラセン構造のピッチがだんだん長くなり、電圧がある臨界電圧 V_c 以上になると、ピッチは無限大で、図 2 (c) のようにネマチック液晶のホメオトロピック配向と同じ配向状態になる。このときには光は散乱されないで、透過光強度は大きな値となる。

このコレステリック-ネマチック相転移の臨界電圧 V_c は EC-10291 で $V_c=43$ V, EC-05212 で $V_c=62$ V である。臨界電圧 V_c は (1) 式で与えられる⁹⁾。

$$V_c = \frac{\pi^2 d}{P_0} \left(\frac{4\pi K_{22}}{\epsilon_a} \right)^{1/2} \quad (1)$$

d : 液晶層の厚さ。

P_0 : 電界のないときのピッチ。

K_{22} : ねじれ弾性定数。

$\epsilon_a = \epsilon_{11} - \epsilon_{11}$: 誘電率の異方性。

コレステリン誘導体の低濃度領域では、臨界電圧はその誘導体の重量%に比例して高くなる。これはピッチがコレステリン誘導体の重量%にほぼ逆比例して短くなることによるものである。一方、コレステリン誘導体の重量%を一定にすることでピッチを固定し、ネマチック液晶中の誘電異方性が正の液晶成分を増していくと、その重量%が 30% 位まではほぼ $\epsilon_a^{1/2}$ に逆比例して臨界電圧は減少していくが、それ以上になると変化が小さくなる。これはねじれ弾性定数の増大によるものと考えられる。

臨界電圧より高い電圧を印加したときの、コレステリックからネマチックへ転移する応答時間 t_{CN} の電圧依存性は、たとえば図 3 のようになる。印加電圧が臨界電圧よりある程度高いところでは近似的に

$$t_{CN} \propto \exp(\alpha V^{-2}) \quad (2)$$

なる関係が得られるが、印加電圧が V_c に近づくにつれてこの関係からずれてくる。しかも液晶組成や電極の表面などによっても大きく左右される。しかし応答時間 t_{CN} も、電圧を切ったときのネマチックからコレステリックへ戻る緩和時間 t_{NC} も共に液晶の粘性率にほぼ比例している。

また緩和時間 t_{NC} はピッチに依存し、ピッチが短いほ

図 3 応答時間の AC 電圧依存性
Response time vs AC voltage.

ど短くなる。理論的にはピッチ P_0 の 2 乗に比例するはずであるが¹⁰⁾、ここで用いた混合液晶のように、コレステリン誘導体の濃度を変えてピッチを変えるのでは、同時に粘性率や弾性定数も変化するため 2 より小さいべき数になる。

次に、応答時間 t_{CN} はバイアス電圧の存在によってほとんど影響を受けないが、緩和時間 t_{NC} はバイアス電圧がある値を越すと急に長くなる。図 4 は緩和時間のバイアス電圧依存性を示したものである。バイアス電圧は DC よりも AC の方が緩和時間 t_{NC} の変化が大きく、液晶の寿命も長くなる。

この図からも明らかなように、緩和時間の変化には明確な閾値が存在する。55 ms の緩和時間 t_{NC90} がバイアス電圧 12~13 V 位から急に長くなり始め、30 V になると 2 桁以上も大きく、10 sec 近くにも達する。

上の結果から、バイアス電圧の効果は 2 つの電圧範囲で異なっている¹¹⁾。バイアス電圧の小さい間は、液晶分子の回転が起り、グランジャン組織の現われるのに伴ない旋光性が観測され、その後白濁するのに対し、バイアス電圧が 13 V 以上になると、液晶分子の回転は起らず、したがって旋光性も観測されず、複屈折性の散乱領域が電極表面などから局所的に形成され、それがだんだん広がって全体が白濁する。最近この現象に関してさらにくわしい研究が発表されている¹²⁾。

臨界電圧 V_c の周波数依存性は誘電異方性 ϵ_a を通して現われる。これは長軸方向の誘電率 $\epsilon_{||}$ の双極子緩和によるものである。われわれの用いた液晶では、室温で印加電圧の周波数が 10 kHz を越えると V_c が増大し始

図 5 臨界電圧の温度依存性
Critical voltage vs temperature.

める。 V_c に周波数依存性があれば、当然緩和時間のバイアス電圧依存性にもまた周波数の影響が現われる。バイアス電圧の周波数が 10 kHz を越えると、バイアス電圧の効果は急に弱まり、同じ緩和時間を得るためには、より高い電圧を必要とするようになる¹¹⁾。

図 5 は臨界電圧 V_c の温度依存性を示したものである。20~70°C の範囲で V_c は約 25% 変化している。これは主にラセン構造のピッチの温度依存性によるものである。コレステリン誘導体のピッチは通常温度が上ると短くなるが、ネマチック液晶との混合液晶では逆に温度の上昇とともに長くなる。これはコレステリン誘導体の重量%をさらに増していくと、ピッチの温度による変化がほとんどない混合領域のあることを意味している。

3. 相転移とマトリックスディスプレイ

電界による相転移の特徴はその特性からも明らかなように、ひとつには透過光あるいは散乱光の電圧依存性に明確な臨界電圧があることであり、他のひとつはネマチックからコレステリックへの緩和時間がバイアス電圧によって大きく変ることである。この 2 つの特徴をいかすことのできるディスプレイ装置としてマトリックスディスプレイ装置が考えられる⁷⁾¹³⁾¹⁴⁾。

よく知られているように、液晶マトリックスディスプレイには 2 つの問題がある。ひとつはクロス効果によるコントラストの低下であり、もうひとつは液晶の応答がおそいことに基因するフリッカである。

マトリックスパネルの X_i 電極と Y_j 電極とを選択し、その交点の液晶絵素に電圧 V を印加したとき、その X_i 電極、 Y_j 電極上の他の液晶絵素にも $V/2$ の電圧が印加されるため、これらの絵素にも多少光学的な変化が生じ、コントラストの低下をもたらす。これがクロス効果である。したがって、これを防ぐには液晶の電気光学効果に明確な閾値のあることが必要である。

図 4 緩和時間の AC バイアス電圧依存性
Relaxation time vs AC bias voltage.

次に、液晶のような応答時間の長いものは、走査電極数が多くなると1フレームの走査時間が長くなるため、緩和時間が短いとフリッカが生ずる。これを防ぐには、フリッカを感じない程度にフレーム周波数を高くして(30 Hz 以上) 累積応答を利用するか、またはフレーム周波数は低いままで、メモリー性(フリッカを感じないほど充分緩和時間が長い)を利用するかいずれかが必要である。

前者の方法では全ディスプレイの現出時間が後者よりも長く、コントラストも悪いので駆動電圧をかなり高くする必要がある。したがって、相転移を利用する場合には前者より後者の方が有利である。

マトリックスディスプレイの駆動方法として、クロス効果をできるだけ表示面全体に平均化するために、電圧平均化法と呼ばれる方法が用いられている¹⁵⁾。電圧平均化法には1/2 バイアス法と1/3 バイアス法とがある。通常液晶の場合、応答時間は印加電圧が大きいほど短いため1/3 バイアス法の方が有利であるが、相転移を利用するときには1/2 バイアス法も有効な駆動方法となる。また相転移ではクロス効果を平均化するというよりも、バイアス電圧で緩和時間を制御するために電圧平均化法を用いる必要がある。

図6は1/3 バイアス法での駆動電圧波形を示したものであるが、この場合 X-電極は振幅 2V の走査パルスで順次アドレスされ、これに同期して Y-電極のおおのには同位相または位相反転された振幅 V の信号電圧が

図6 駆動電圧波形(1/3 バイアス法)
Waveform of drive voltage. (One third-voltage discrimination)

図7 駆動電圧波形(1/2 バイアス法)

Waveform of drive voltage. (One half-voltage discrimination)

加えられる。位相反転された信号の加えられた Y-電極の絵素には、3V の電圧が印加されるため液晶は透明になり、その後バイアス電圧 V で1フレームの時間その透明状態が保持される。同位相の信号の加えられた Y-電極の絵素は V が V より小さいので白濁状態のままである。

図7は1/2 バイアス法で駆動する場合の駆動電圧波形である。この場合は最初全絵素に同時に 2V の電圧を印加してパネルの全絵素を透明にした後、X-電極には順次振幅 V の走査パルスを加え、Y-電極には同位相または位相反転された振幅 V の信号電圧を加える。したがって、透明状態を維持すべき絵素には、位相反転された信号により 2V の電圧が印加されることになり、その後もバイアス電圧 V により保持されることになる。一方、そうでない絵素では、同位相の信号により電圧が零になるため白濁状態に戻り、その後バイアス電圧 V でそのまゝの状態を持続する。

相転移を利用したマトリックスディスプレイで、どの程度の走査電極数のマトリックス駆動が可能かを判断するひとつの目安として、緩和時間を1走査電極の書き込み時間で割った数が考えられる。すでに述べたように、応答時間は印加電圧の大きさにより変り、緩和時間はバイアス電圧の値によって大きく変化する。

1/3 バイアス法の場合、図3からバイアス電圧 30V のとき応答時間は 75 ms (at 90 V), 35 V のとき 55 ms (at 105 V) である。これを1走査電極の書き込み時間とする。一方、緩和時間としては、フリッカをなくすために透過

光強度が 10% 減少する時間 t_{NC10} を用いることにすると、図 4 からバイアス電圧 30 V のとき 1.5 sec, 35 V のとき約 15 sec ということになり、走査可能電極数はバイアス電圧 30 V のとき約 20 本, 35 V のとき約 270 本となる。

同じ液晶を用いて 1/2 バイアス法の場合を考えると、この場合は応答時間がかなり長いので、1 走査電極の書き込み時間としてバイアス電圧が零のときの緩和時間 t_{NC90} を用いる。これは室温で約 50 ms であるから、走査可能電極数はバイアス電圧 30 V で約 30 本, 35 V で約 300 本ということになる。

いずれにしても、走査電極数が 200 本ともなると、バイアス電圧の値を厳密に設定せねばならず、パネル製造、回路設計の面で実用的でなくなる。現実には走査可能電極数は高だか 100 本までである。

図 8 および図 9 に示されている応答時間および緩和時間をもっている液晶 EC-05212 の場合には、バイアス電圧 57 V のとき、171 V 印加での応答時間は 12.5 ms である。緩和時間 t_{NC10} はバイアス電圧 57 V のとき約 1 sec であるから、1/3 バイアス法での走査可能電極数は約 80 本ということになる。バイアス電圧が零のときの緩和時間 t_{NC90} (≈ 12 ms) を書き込み時間とする 1/2 バイアス法のときも走査可能電極数は約 80 本である。この液晶の場合、走査可能電極数は少ないが、消去時間、走査時間などは前の液晶の約 1/5 である。

4. マトリックスディスプレイ装置

相転移型液晶を用いたマトリックスディスプレイ装置として、アルファニューメリック (1 文字: 5×7 ドット) を 32 文字×8 行 (絵素数: 160×56) 表示できるキ

図 8 応答時間の AC 電圧依存性
Response time vs AC voltage.

図 9 緩和時間の AC バイアス電圧依存性
Relaxation time vs AC bias voltage.

ャラクターディスプレイ装置を試作した⁸⁾。マトリックスパネルの表示面積は 190 mm×77 mm である。パネルは反射型で、液晶層の厚さは約 25 μ m である。X-電極、Y-電極はそれぞれ酸化インジウム (In_2O_3) の透明電極をストライプ状に形成し、後方の X-電極上の、X-電極と Y-電極との交点に対応する場所に、直径 0.8 mm のドット状にアルミ反射膜を蒸着してある。

試作装置の駆動信号の時間関係は図 10 のようになり、順次走査に先立って全絵素同時消去がおこなわれる。1/3 バイアス法のときには、全絵素への印加電圧をいっせいに零にすることにより全体を白濁させる。この消去時間は室温では EC-10291 で 50~60 ms, EC-05212 で 10~12 ms である。一方、1/2 バイアス法のときは、全絵素にいっせいに 2 V の電圧を印加して透明にすることにより消去する。この場合、EC-10291 では 70 V 印加で 130 ms, EC-05212 では 114 V 印加で 25 ms である。

試作装置の系統図を図 11 に示す。例として 1/2 バイアス法の場合が記されているが、1/3 バイアス法でも本質的には変りない。しかし走査装置の簡略化、低電力化のためには、使用する電圧レベルが少なく、駆動電圧の

図 10 駆動信号のタイムチャート
Time chart of drive signal.

図 11 マトリックスディスプレイ装置の系統図
Block diagram of matrix display device.

低いことが必要であるから、1/3 バイアス法よりも 1/2 バイアス法の方が有利である。

写真 1、写真 2 はこの試作装置による文字表示の例である。写真 1 は液晶 EC-10291 を用いて 1/3 バイアス法で表示したもので、走査パルス振幅 70 V、バイアス

写真 1 文字表示の例 (1/3 バイアス法)
Character display. (One third-voltage discrimination)

写真 2 文字表示の例 (1/2 バイアス法)
Character display. (One half-voltage discrimination)

電圧振幅 35 V、40 Hz AC 矩形波の場合である。写真 2 は液晶 EC-05212 を用いて 1/2 バイアス法で表示したもので、走査パルス振幅、バイアス電圧振幅ともに 57 V、300 Hz AC 矩形波による場合である。コントラストは前者の場合で 15 : 1、後者の場合で 30 : 1 が得られる。

5. む す び

コレステリック-ネマチック相転移の緩和時間をバイアス電圧で制御することにより、フレーム周波数が低くてもフリッカがなく、電極数の多いマトリックスディスプレイが可能であることが示された。試作装置の特性をまとめると表 2 のようになる。この方式によるマトリックスディスプレイは液晶マトリックスディスプレイとして

- (1) 駆動方法が単純である
- (2) コントラストが高い
- (3) 視角が比較的広い

などの特徴をもっている。しかしより実用的なものにするためには

- (1) 臨界電圧が低くて、応答時間、緩和時間の短い液晶を開発する
- (2) 臨界電圧の温度依存性をさらに少なくする
- (3) バイアス電圧によるメモリー性をより確実なものにし、駆動電圧マージンを広げる

などの課題を今後解決していかなければならない。

終りに、本研究を進めるにあたり御指導、御鞭達をいただいた当社 城阪常務、当所 飯田所長、早川所次長、

表 2 試作装置の特性
Performance of matrix display device.

表 示 文 字	アルファニューメリック (1文字: 5×7 ドット)	
文 字 数	32文字×8行 (絵素数: 160×56)	
表 示 面 積	190 mm×77 mm (反射型)	
液 晶 材 料	EC-10291	EC-05212
駆 動 方 法	線順次走査1/3バイアス法	線順次走査1/2バイアス法
駆 動 電 圧 バ イ ア ス 電 圧	X-電極: 70~74 V Y-電極: 35~37 V 40 Hz AC 矩形波	X-電極: 57 V Y-電極: 57 V 300 Hz AC 矩形波
走 査 時 間	1 X-電極: 75 ms 1 フレーム: 4.2 sec	1 X-電極: 12 ms 1 フレーム: 0.67 sec
フ レ ー ム 周 波 数	0.24 Hz	1.5 Hz
コ ン ト ラ ス ト	15 : 1	30 : 1
消 去 時 間	全絵素いっせいに印加電圧を零にして白濁させる 50~60 ms	全絵素いっせいに 114 V 印加して透明にする 25~30 ms

技術本部 由山主幹研究員に厚く御礼申し上げます。

(昭和50年1月9日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 三友ほか: 液晶マトリックスディスプレイ, 昭49信学全大, 5(1974) 1359
- 2) 上田, 新居: 液晶による投写型カラーキャラクターディスプレイ, テレビ誌, 27, 12 (1973) 942-947
- 3) 上田, 新居: 液晶によるTV画像表示, 信学会画像工学研資料, IE 74-69 (1974) 17-22
- 4) H. Takata, et al.: Matrix-Addressed Liquid-Crystal Display, IEEE Trans., ED-20, 11 (1973) 990-994
- 5) P. G. De Gennes: Calcul de la Distorsion d'une Structure Cholesterique par un Champ Magnetique, Solid State Commun., 6, 3 (1968) 163-165
- 6) J. J. Wysocki, et al.: Electric-Field-Induced Phase Change in Cholesteric Liquid Crystals, Phys. Rev. Lett., 20, 19 (1968) 1024-1025
- 7) 塚本ほか: 混合液晶によるマトリックス表示, 第33回応物学会, 1 (1972) 316
- 8) 土屋ほか: 相転移型液晶マトリックスディスプレイの駆動方式, テレビ全大, 10-4 (1974) 229-230
- 9) F. J. Kahn: Electric-Field-Induced Color Changes and Pitch Dilation in Cholesteric Liquid Crystals, Phys. Rev. Lett., 24, 5 (1970) 209-212
- 10) E. Jakeman, E. P. Raynes: Electro-Optic Response Times in Liquid Crystals, Phys. Lett., 39A, 1(1972) 69-70
- 11) T. Ohtsuka, M. Tsukamoto: AC Electric-Field-Induced Cholesteric-Nematic Phase Transition in Mixed Liquid Crystal Films, Japan. J. Appl. Phys., 12, 1 (1973) 22-29
- 12) W. Greubel: Bistability Behavior of Texture in Cholesteric Liquid Crystals in an Electric Field, Appl. Phys. Lett., 25, 1 (1974) 5-7
- 13) J. J. Wysocki, et al.: Cholesteric-Nematic Phase Transition Displays, Proc. S. I. D., 13, 2 (1972) 114-120
- 14) T. Ohtsuka, et al.: Liquid Crystal Matrix Display, Japan. J. Appl. Phys., 12, 3 (1973) 371-378
- 15) C. H. Gooch, J. J. Low: Matrix-Addressed Liquid Crystal Displays, J. Phys. D: Appl. Phys., 5, 7(1972) 1218-1225