強誘電性液晶の過渡光散乱を利用する高速光スイッチ素子の特性と液晶材料依存性

正員 尾崎 雅 則 (大阪大)

非会員 岸 尾 伸 一 (大阪大)

正員 吉 野 勝 美 (大阪大)

1. ま え が き

近年, TN (Twisted Nematic) 形, DSM (Dynamic Scattering Mode) 形, GH (Guest Host) 形などのネマチック液晶を用いる表示素子が開発され, 広く使われている。しかしながら, これらのネマチック液晶素子は, 応答速度が数 μ s~数十 μ s. と極めて遅いという共通の欠点をもっており, 応用範囲に限られてくる。これは, 主に基本となる駆動力として誘電率の異方性に基づくトルクを利用しているためである。

一方, 1975年に Meyer 氏らにより強誘電性液晶が開発され⁽¹⁾, これを利用した新しいタイプの表示素子が種々提案されている。第1のタイプは, 吉野氏らにより提案されたもので⁽²⁾, 強誘電性液晶特有のヘリカル構造を利用したものである。すなわち, 比較的厚いセル (>10 μ m) において, 強誘電性液晶はカイラル・スメクチック相 (Sm* 相) でヘリカル構造をとり, 局所的な屈折率のゆらぎのために光散乱が生じる。ところが, ここで電界を印加することによりヘリカル構造が消失し, 光散乱が減少して光の透過度が上がる現象を利用するものである。しかし, この方式の電界に対する応答は比較的遅い。これは, ヘリカル構造において双極子モーメントがマクロには相殺し合い, 正味の自発分極が現われないため, 電界による十分なトルクが発生しないためである。

第2のタイプは, N. Clark 氏らにより提案されたもので⁽³⁾, 1~2 μ m 程度の薄いセルを偏光子の間に置く方法である。すなわち, 壁面により強制された配向を電界による自発分極の反転を利用して再配向させ, それに伴って光学軸の方向が変化することを利用するものである。ここでは, これを SSFLC (Surface Sta-

bilized Ferroelectric Liquid Crystal) 形素子と呼ぶ。この方式は, 高速ではあるが, 大面積にわたる良好なホモジニアス配向がかなり難しいこと, 更にコントラストが比較的低く, 偏光子を用いているため視角特性もあまり良くないなどの問題点を抱えている。前者についてはネマチック液晶で実用されているポリマーコーティングとラビング技術の導入などでかなり改善されたが, まだ, 十分とは言えない。

第3のタイプは, 最近, 我々が提案したもので, 印加電界の極性反転による自発分極反転時の分子再配向に伴う過渡的な光散乱を利用するもので, TSM (Transient Scattering Mode) 形と名付けるものである⁽⁴⁾⁽⁵⁾。この TSM 素子は, ヘリカル構造があらかじめ解けて自発分極がそろっているため応答速度が μ s のオーダーと極めて高速である。また, 高いコントラストが得られ, 偏光子や特殊な配向技術を一切必要としないなどの利点を持っている。

TSM 素子に関するこれまでの報告では, 強誘電性液晶として最も広く研究されている DOBAMBC (decyloxy benzyldiene-p'-amino-2-methylbutylcinnamate) を用いて, 応答速度の高速性と高いコントラストを示すことを述べた。本論文では, 種々の強誘電性液晶を用いた TSM 素子の応答速度およびコントラストを調べ, 更に透過光量の立下り, すなわち, 過渡的な散乱によって透過光量が減少した後, 元の高透過状態に戻るまでの時間についても検討する。

強誘電性の表示素子では, 高透過状態を維持するために, 直流バイアス電圧を印加して双極子モーメントの方向をそろえておく必要がある場合がある。しかしバイアス電圧として直流電圧を印加すると, イオン電流に伴う電力損失が大きくなり, 更には液晶の劣化にもつながる。そこで, これを避けるために繰り返しパルス電圧を印加することによって高透過状態を得ることを考案したが, 表示素子実用の場合に有効であることを明らかにしたので, このことについても述べる。

Characteristics of a High Speed Optical Switching Element Utilizing Transient Light Scattering in Ferroelectric Liquid Crystals and Its Material Dependent. By Masanori Ozaki, Member, Shin-ichi Kishio, Non-member & Katsumi Yoshino, Member (Faculty of Engineering, Osaka University).

尾崎雅則: 正員, 大阪大学工学部
岸尾伸一: 非会員, 大阪大学工学部
吉野勝美: 正員, 大阪大学工学部

2. 試料および実験方法

実験に用いた強誘電性液晶は DOBAMBC, DOBA-1-MPC, DOBA-1-MBC, DOBA-1-MPenC である。図 1 にこれらの分子構造および正式名称を示す。合成法、および電気的性質については既に報告した⁽⁶⁾⁽⁷⁾。表 1 は、これらの液晶の自発分極の最大値であり、DOBAMBC に比べて他の液晶の自発分極が著しく大きいことがわかる⁽⁸⁾。セルは、2 枚の透明電極（ネサガラス）をスペーサを用いて適当な電極間距離を保つように対向させ、スペーサとしては、ポリエチレンテレフタレート (PET) のシートを用いた。ネサガラスの表面は、ネマチック液晶でホモジニアス配向を得る目的で行われているのと同様に、綿布で一方向に擦るいわゆるラビング処理を施した。構成したセルに、毛細管現象を利用して強誘電性液晶を注入して素子とした。

図 2 に示すようにセルを He-Ne レーザ光 (6328 Å)

DOBAMBC	$C_{10}H_{21}O-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}=\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}=\text{CH}-\text{COO}-\underset{\text{CH}_3}{\underset{*}{\text{CH}}}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
p-decyloxybenzylidene-p'-amino-2-methylbutylcinnamate	
DOBA-1-MPC	$C_{10}H_{21}O-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}=\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}=\text{CH}-\text{COO}-\underset{\text{CH}_3}{\underset{*}{\text{CH}}}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
p-decyloxybenzylidene-p'-amino-1-methylpropylcinnamate	
DOBA-1-MBC	$C_{10}H_{21}O-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}=\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}=\text{CH}-\text{COO}-\underset{\text{CH}_3}{\underset{*}{\text{CH}}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
p-decyloxybenzylidene-p'-amino-1-methylbutylcinnamate	
DOBA-1-MPenC	$C_{10}H_{21}O-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}=\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}=\text{CH}-\text{COO}-\underset{\text{CH}_3}{\underset{*}{\text{CH}}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
p-decyloxybenzylidene-p'-amino-1-methylpentylcinnamate	

図 1 今回の実験に用いた強誘電性液晶の分子構造と名称

Fig. 1. Molecular structure of ferroelectric liquid crystal used in this experiment and their abbreviated names.

図 2 電気光学効果の測定に用いた測定系

Fig. 2. Experimental set-up for the measurement of electro-optic effect.

表 1 各種強誘電性液晶の自発分極

Table 1. Spontaneous polarizations of various ferroelectric liquid crystal.

強誘電性液晶	DOBAMBC	DOBA-1-MPC	DOBA-1-MBC
自発分極 P_s (nC/cm ²)	2	18	42

の光路上に置き、透過光を光電子増倍管で受光し、電圧印加に伴う透過光量の変化を観測した。なお、偏光子は一切用いていない。

コントラストの定義としては、透過状態（ヘリカル構造の解けた状態）と暗状態（散乱状態）との透過光量の比を用い、立上り時間は、印加電圧反転時から全透過光量変化の 90% に達するまでの時間とした。

3. 結果および検討

〈3・1〉 TSM 形電気光学効果 DOBAMBC 100 μm セルに図 3 (a) に示すような、極性反転ステップ電圧を印加した場合の透過光量の変化を図 3 (b) に示す。極性反転時に強い光散乱に伴って透過光量が大幅に減少していることがわかる。

この TSM 現象は、印加電界の極性反転時に見られる過渡的なものである。しかし、いったん極性を反転した後、散乱が収まる前に再び極性を反転させると、散乱状態つまり暗状態は持

図 3 DOBAMBC 100 μm セルにおける 1 回極性反転による透過光量変化

Fig. 3. Response to single step wise polarity reversal of voltage applied to 100 μm cell of DOBAMBC.

図 4 DOBAMBC 100 μm セルにおける繰り返し極性反転による透過光量変化

続される。こうした操作を繰り返すことによって、図 4 に示すように暗状態を任意時間持続させることが可能であることがわかる。

〈3・2〉 TSM 素子の立上り時間 図 5 は、DOBAMBC 100 μm , 50 μm および 25 μm セルにおける立上り時間の電圧依存性である。どれも印加電圧の逆数に比例し、応答速度は μs のオーダーで極めて高速である。このことは、TN 素子が誘電率の異方性に基づく力を駆動力としているため、立上り時間が E^2 に反比例するのに対して、TSM 素子は自発分極 P_s に起因するトルク $P_s \cdot E$ を駆動力としていることを示している。また、逆分極ドメインの核生成と成長という

図 5 DOBAMBC 25 μm , 50 μm , 100 μm セルにおける立上り時間の電圧依存性

Fig. 5. Dependence of rise times on the reciprocal of applied voltage in 25 μm , 50 μm and 100 μm cells of DOBAMBC.

図 6 DOBA-1-MPC, DOBA-1-MBC の 25 μm セルにおける立上り時間の電圧依存性

Fig. 6. Dependence of rise times on the reciprocal of applied voltage in 25 μm cells of DOBA-1-MPC and DOBA-1-MBC.

観点からも考察する必要があると思われるが、現在の段階では、その詳細は不明である。

TSM 素子は、 $P_s \cdot E$ を駆動力としていることから、大きな自発分極 P_s を持つ強誘電性液晶を用いれば、更に高速な応答が実現できると考えられる。DOBAMBC ($P_s: 2 \text{ nC/cm}^2$) に比べて自発分極の大きな DOBA-1-MPC ($P_s: 18 \text{ nC/cm}^2$) および DOBA-1-MBC ($P_s: 42 \text{ nC/cm}^2$)⁽⁶⁾ に於ける立上り時間の電圧依存性を図 6 に示す。どちらも DOBAMBC と同様に、印加電圧の逆数に比例し、立上り時間が速くなっている。特に DOBAMBC に比べて自発分極が一桁以上も大きな DOBA-1-MBC では、一桁以上も高速である。

これらの結果も、TSM 素子が推測どおり $P_s \cdot E$ トルクを駆動力としており、立上り時間 T_r が $T_r \sim \eta / P_s \cdot E$ (η : スメクチック層内での分子の首振り運動に関する粘性係数) の関係を満していることと一致する。

図 7 は DOBAMBC における立上り時間の温度依存性である。温度に大きく依存し、高温ほど応答時間が短くなっている。温度の上昇に伴って η および P_s は、どちらも減少するが、この場合は、上に述べた $T_r \sim \eta / P_s \cdot E$ の関係が成立している中で、 η の温度依存性の方が支配的であると考えられる。

〈3・3〉 TSM 素子のコントラスト 図 8 は、DOBAMBC のコントラストの電圧依存性である。どちらも従来のネマチック液晶を用いた素子や SSFLC 素子に比べて極めて高いコントラストを示している。また、TSM 素子が光の散乱を利用していること

図 7 DOBAMBC 25 μ m セルにおける
立上り時間の温度依存性

Fig. 7. Temperature dependence of rise time of the DOBAMBC cell with 25 μ m thickness.

図 8 DOBAMBC 25 μ m, 100 μ m セルに
おけるコントラストの電圧依存性

Fig. 8. Voltage dependence of contrast of transmission light through the 25 μ m and 100 μ m cell of DOBAMBC.

から、セル厚が厚いほどコントラストが大きいことも理解できる。しきい値電界は、25 μ m セルでは 7.5 kV/cm, 100 μ m セルでは 5 kV/cm とセル厚が厚い方が低くなっている。これは、薄い方が壁面の影響を強く受けているためと考えられる。

DOBAMBC におけるコントラストの温度依存性を図 9 に示す。低温側ほどコントラストは大きくなっている。これには、複数のファクターが関係しているものと考えられ、現段階でははっきりした原因は不明で

図 9
DOBAMBC
25 μ m セルの
コントラスト
の温度依存性

Fig. 9. Temperature dependence of contrast of transmission light through the 25 μ m cell of DOBAMBC.

図 10
DOBAMBC
50 μ m セルの
コントラスト
の配向度依存
性

Fig. 10. Dependence of contrast of transmission light through the 50 μ m cell of DOBAMBC on the degree of molecular alignment.

あるが、一つには、チルト角の温度依存性の効果が考えられる。すなわち、チルト角が温度の降下と共に増大し⁽⁹⁾、それに伴って屈折率の異方性も大きくなり、電界を反転したときの分子の激しい運動に伴う屈折率のゆらぎが大きくなる。その結果、光散乱が増大するためであると考えられる。また、その他にも温度降下に伴う P_z の増大によって、空間的に逆分極ドメインの核生成密度が増加し、光学的不均一性が増大した可能性も考えられ得る。

図 10 は液晶の配向状態のコントラストに対する影響を示したものである。この際、良好な配向を得るために 10 kG の磁界中で Isotropic 相から SmA 相に

かけて 10°C/h の割合で徐冷した⁽¹⁰⁾。それに対して、粗い配向は磁場を印加しないで 120°C/h の割合で Isotropic 相から S_m 相まで降温した。明らかに配向の良いセルより悪いセルの方がコントラストが良い。ただし、立上り時間には変化は見られない。つまり、TSM 形電気光学効果を用いた素子では、配向に注意を払う必要がなくセル作製が容易であるといえる。

(3.4) TSM 形素子の立下り時間 電気光学効果を表示素子として応用する際に、立上り時間、コントラストと並んで立下り時間も重要な要因である。すなわち、TSM 素子の場合の暗状態から明状態へのスイッチングである。前に示した図 3 (b) からわかるように、DOBAMBC では立下り時間が立上り時間に比べてかなり遅い。図 11 は立下り時間の電圧依存性である。電圧の増加に伴い速い立下り時間を示すが、立上りの場合のように完全に $1/V$ のグラフには乗らない。温度依存性は、高温側ほど立下り時間が短くなっている。

DOBA-1-MPC および DOBA-1-MBC の立下り時間の電圧依存性を図 12 に示す。DOBAMBC に比べ非常に速い立下り時間を示している。DOBA-1-MPC, DOBA-1-MBC などでは、図 13 に示すように誘電率の分散周波数は極めて高い⁽⁸⁾。ここで測定している誘電率はヘリカル構造の振れ運動に対応するものと考えられるが、このように分散周波数が分子構造の若干の

図 11 DOBAMBC 25 μm , 50 μm セルの立下り時間の電圧依存性

Fig. 11. Voltage dependence of decay time of DOBAMBC cells with 25 μm and 50 μm thickness.

図 12 DOBA-1-MPC, DOBA-1-MBC 25 μm セルにおける立下り時間の電圧依存性

Fig. 12. Voltage dependence of decay time of DOBA-1-MPC and DOBA-1-MBC cells with 25 μm thickness.

図 13 DOBA-1-MPC, DOBA-1-MBC の誘電率の周波数分散

Fig. 13. Frequency dependence of dielectric constants of DOBA-1-MPC and DOBA-1-MBC.

違いに、大きく影響を受ける理由は明らかではない。しかし、これらの分散周波数の高い物質が DOBAMBC に比べて、遥かに速い立下り時間を示すことは、この減衰過程が分散周波数、すなわち、ヘリカル構造の運動に多少関係していることを示唆している。言換えると、電界による一様な配向が反転する過程で、ヘリカル構造の特性を若干反映している可能性があるが、詳細は明らかではない。

ところで、図 14 からわかるように、セル厚が薄い方が立下り時間は短くなっている。このセル厚依存強く受けているものと考えられる。すなわち、電界の反転により再配向された際の過渡的な液晶分子の乱れが、セル厚が薄いほど壁面の拘束力によって安定化しやす

図 14 DOBAMBC の立下り時間のセル厚依存性

Fig. 14. Dependence of decay time of DOBAMBC at various temperature on cell thickness.

くなっているものと考えられる。このように立下り時間は分子運動そのものの本質的な特性の他に、種々の外的因子の影響を大きく受けていると考えられる。

〈3・5〉 パルス駆動による高光透過状態の維持

厚いセルの強誘電性液晶で高光透過状態（明状態）を得るためには、バイアス電圧を印加してヘリカル構造を解く必要がある。しかし、バイアス電圧として直流電圧を印加すると、イオン電流に伴う電力損失が大きくなり、また、液晶の劣化にもつながる。これを避けるために、繰り返しパルス電圧を印加することによって高光透過状態を得ることを考えた。すなわち、ヘリカル構造の解けた状態からヘリカル構造に自然に復帰するにはかなり長い緩和時間を要するので、その時間内で適当なタイミングでパルス電圧を印加すれば、復帰が抑制されヘリカル構造の解けた高光透過状態が長時間維持されることになる。特にヘリカル構造の解けた状態では自発分極 P_s が現われているので、電界 E 印加によるトルク $P_s \cdot E$ は大きく、ヘリカル構造を巻いた状態からヘリカル構造を解くのに要する電界に比べて、低い電界でヘリカル構造の解けた状態を維持できるものと考えられる。

図 15 は、直流電圧を印加してヘリカル構造が解けた高光透過状態から、パルス電圧に切り換えたときの透過光量の変化を示したものである。ここで、パルス波高値 V_p は、直流電圧と同じであり、パルス間隔 T_d はどちらも 10 ms である。(a)は、パルス幅 T_p

図 15 DOBAMBC 25 μm セルにおける連続パルス印加による高光透過状態

Fig. 15. Transmission of transparent state through 25 μm cell of DOBAMBC under the application of pulse trains.

図 16 DOBAMBC 25 μm セルにおいて高光透過状態を維持するのに必要な $T_p/(T_p + T_d)$ 値

Fig. 16. Voltage dependence of the ratio $T_p/(T_p + T_d)$ to keep transparent state in the DOBAMBC with 25 μm thickness.

$=6\text{ ms}$ で、透過光量は次第に減少し、高光透過状態は実現できない。これに対して、パルス幅 T_p を 6.5 ms 以上とすると高光透過状態が保持され、(b)は、 $T_p=15\text{ ms}$ で高光透過状態が維持されている様子を示したものである。このように、パルス間隔 T_d とパルス幅 T_p をうまく調整することによって、高光透過状態つまりヘリカル構造の解けた状態を維持することが可能であることがわかる。

上に述べたように直流バイアスからパルス電圧に切替えて高光透過状態を維持するために必要なパルス幅およびパルス間隔は、温度、セル厚、パルス波高値な

図 17 DOBAMBC 25 μm セルにおける連続パルス電圧印加による透過光量変化

Fig. 17. Transmission change of DOBAMBC cell with 25 μm thickness under the application of pulse trains.

どに依存している。図 16 は、パルス間隔 T_d を一定とした場合に高光透過状態を維持するために必要な、最小の $T_p/T_d + T_d$ 比と、パルス波高値 V_p との関係を示す。すなわち、この比が小さいほど実用的には有利であるといえる。これを見ると高光透過状態を維持するために必要な臨界パルス幅は、パルス波高値が高くなるほど小さいことがわかる。これは、分子を配向させるためのトルクが $P \cdot E$ であり、電界に比例してその運動の応答が速いことから理解できる。

あらかじめ、直流電圧を印加するのではなく、初めからパルス電圧を印加した場合の透過光量の変化を考える。図 17(a) が印加パルス波形で、(b) が透過光量の変化である。図から明らかなように、あらかじめ直流電圧を印加するのではなく、パルス電圧のみでも高光透過状態が実現できることがわかる。すなわち、パルスのオン時、オフ時での液晶分子の応答時間が異なり、オン時の方が速いため、パルス波高値がある値以上であれば、時間の経過と共に次第に高光透過状態となりその状態が保持される。

ところが、パルス電圧のみで高光透過状態を実現するには、かなり高いパルス波高値 V_p を必要とする。過状態を維持するよりも高い電圧を必要とする。これは初めの状態で、液晶分子がヘリカル構造を取っており自発分極がマクロ的には現われていないため、 $P \cdot E$ トルクが有効に使われないためである。

そこで、図 18(a) に示すように、あらかじめヘリカル構造を解くのに十分な直流電圧 V_0 を印加して、いったんヘリカル構造を解いておき、次にそれよりも低いパルス波高値 V_p で駆動するような方法を考える。この駆動方法と、パルス波形のみによる駆動方法

図 18 高光透過状態の維持に用いる様々な印加パルス電圧波形

Fig. 18. Various applied pulse shapes for the appearance of the transparent state.

(a) 最初からパルス電圧を印加した場合
(b) 予め直流バイアスを印加しておいた場合

図 19 DOBAMBC 25 μm セルにおける透過光量の電圧依存性

Fig. 19. Voltage dependence of transmission through the 25 μm cell of DOBAMBC under the application of pulse trains from the beginning (a) and D.C. bias voltage at first (b).

との違いを示したのが図 19 である。図 19(a) は初めからパルス電圧駆動した場合の、パルス波高値 V_p と透過光量との関係を示したものである。この場合には、パルス幅 $T_p = 1 \text{ ms}$ 、パルス間隔 $T_d = 1 \text{ ms}$ のときに、高光透過状態を実現するのに 50 V のパルス波高値 V_p を必要とする（直流電圧で高光透過状態を实

現するにはこの場合 15 V でよい)。これに対して図 18(a) のように、あらかじめヘリカル構造を解くのに十分な直流電圧（この場合 60 V とした）を印加しておき、次にパルス波高値 V_p ($V_p \leq 60$ V) のパルス波形に切り換えた場合のパルス波高値 V_p と透過光量との関係を図 19 (b) に示す。これを見ると、 $T_p = T_d = 1$ ms のときに、パルス波高値 $V_p = 30$ V でも高光透過状態を維持することが可能である。すなわち、いったん直流電圧でヘリカル構造を解いておけば、 $P_r \cdot E$ トルクが有効に利用でき、パルス波高値 30 V でもヘリカル構造の解けた高光透過状態が維持できている。

この他にも図 18(b) に示すように、直流電圧の代りにヘリカル構造を解くのに十分なパルス波高値 V_0 を持つパルス波形を印加して高光透過状態を実現した後、その波高値を下げていった場合にも高光透過状態は維持できる。更に、図 18(c) に示すように、ヘリカル構造を解くのに十分なパルス幅 T_0 を持ったパルス波形を印加して、いったん高光透過状態を実現した後、そのパルス幅を狭くしていった場合にも、高光透過状態は実現できる。以上に挙げた例のようなパルスによる高光透過状態の維持では、直流電圧を印加して高光透過状態を維持するよりも省電力での駆動が可能である。

4. ま と め

以上の強誘電性液晶の電気光学効果に関する研究で得られた結果をまとめると、次のようになる。

① TSM 形電気光学効果の立上り時間は、数十～数百 μ s と極めて高速であり、その駆動力は $P_r \cdot E$ トルクに起因し、 $T_r \sim \eta / P_r \cdot E$ の関係を満足している。

② コントラストは、数十以上と極めて大きく、セル厚が厚いほど大きな値となっている。しきい値電界は、セル厚が厚いほど低く、壁面との影響が大きいと思われる。

③ TSM 形素子においては、液晶分子の配向度が悪いほどコントラストは良く、また、応答時間への配向度の影響はない。従って、TSM 形素子は、特殊な配向処理を必要としない。

④ 立下り時間は、高温、高電界ほど短くなっている。また、誘電率の分散周波数の高い DOBA-1-MBC などでは極めて高速であり、セル厚が薄いほど高速となり、誘電率の緩和時間やヘリカル構造の運動などの

複雑な要因を含んでいると考えられる。

⑤ 高光透過状態を維持する際に、直流バイアス電圧を印加する代りに、連続パルス電圧を用いることができ、実用面から極めて有効である。

これまでの結果から明らかなように、本論文で述べた TSM 形素子は、高速、高コントラストという優れた特性を示しており、液晶プリンタ、各種目的の眼鏡シャッタ、表示素子を初め種々の分野に活用できることがわかる。しかも、この素子は、SSFLC 形素子と違って、極めて薄いセルを用いる必要もなく、また、配向のためのガラス表面の処理などに特別の工夫も不要であり、セル製作という面からも都合が良い。現象としては、まだまだ未知の部分が多いが、分子構造にも先に述べた特性が強く依存するので、更に自発分極の大きい液晶、誘電緩和周波数の異なる液晶などを新たに合成して研究を進めつつある。

本研究で用いた、DOBA-1-MPC、DOBA-1-MBC などについては、味の素(株)桜井孝男氏、本間正男氏らの協力を得ていることを記し、謝意を表したい。

(昭和 60 年 8 月 30 日受付)

文 献

- (1) R.B. Meyer, et al.: "Ferroelectric Liquid Crystal" *J. Phys. (Paris)* **36**, L69 (1975)
- (2) K. Yoshino, et al.: "Electro-Optical Effect in Ferroelectric Smectic Liquid Crystal" *Jpn. J. Appl. Phys.* **17**, 597 (1978)
- (3) N.A. Clark, et al.: "Submicrosecond Bistable Electro-Optic Switching in Liquid Crystals" *Appl. Phys. Lett.* **36**, 899 (1980)
- (4) K. Yoshino, et al.: "New Electro-Optic Effect of Microsecond Response Utilizing Transient Light Scattering in Ferroelectric Liquid Crystal" *Jpn. J. Appl. Phys.* **23**, L385 (1984)
- (5) K. Yoshino, et al.: "Transient Light Scattering by Domain Switching in Ferroelectric Liquid Crystal and Its Application as Fast Opto-Electronics Device" *Ferroelectrics* **59**, 145 (1984)
- (6) 吉野, 他: 「強誘電性液晶の合成と電気的性質」 応用物理, **49**, 876 (1980)
- (7) T. Sakurai, et al.: "Synthesis and Ferroelectric Properties of New Series of Ferroelectric Liquid Crystal" *Ferroelectrics* **58**, 21 (1984)
- (8) K. Yoshino, et al.: "Ferroelectric Liquid Crystal with Extremely Large Spontaneous Polarization" *Jpn. J. Appl. Phys.* **23**, L175 (1984)
- (9) B.I. Ostrovski, et al.: "Ferroelectric Properties of Smectic Liquid Crystal, *Ferroelectrics* **20**, 189 (1978)
- (10) K. Kondo, et al.: "Preparation of Monodomain Cells of Ferroelectric Liquid Crystals and Their Evaluation with an Optical-Microscope" *Jpn. J. Appl. Phys.* **20**, 1773 (1981)