ディスコチック液晶による液晶ディスプレイの視野角改良—TFT-LCD用視野角改良フィルムの開発—

中村 卓・岡崎 正樹

1. はじめに

TN (Twisted Nematic) モードを使った TFT-LCD (Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display) は、高画質であるとともに、薄型・軽量・低消費電力という優れた特徴をもち、ノートパソコン、モニター、テレビ、カーナビ、PDA、ビデオカメラ、携帯電話などで広く使われているが、見る方向によるコントラスト低下、あるいは階調反転などの視野角に問題があった。

これまで視野角を広げるために、配向分割法^{1), 2)}、負の複屈折性の光学補償フィルムを用いる方法^{3), 4)}、ハーフトーン方式⁵⁾、拡散シートを用いる方法⁶⁾などが検討されてきたが、これらの方法は、十分な改良効果が得られない、あるいは輝度、シャープネスが犠牲になるなどの性能上の問題点や、LCD の生産工程が増えるなどの製造上の問題点を抱えており、決定的なものではなかった。

この視野角を広げる、新しい概念の光学補償フィルムの技術開発^{7), 8)}、および TN モード以外の液晶表示装置への展開について説明する。

2. TFT-LCD の視野角改良

2.1 TN モードの表示原理

TFT-LCD は大部分 TN モードを採用しており、2 枚のガラス製対向基板の間に配向方向が 90° ねじれたネマチック液晶を封入した液晶セルと、その両側に透過軸が互いに直交するように配置した 2 枚の偏光板（偏光子および検光子）とから構成される。

一方のガラス基板には走査電極と信号電極とがマトリクス状に配置され、その交点に薄膜トランジスタ (TFT) が接続されており、1 画素ごとに独立して電圧が印加できるようになっている。

多くの TFT-LCD で採用されているノーマリーホワイトモードでは、液晶セルに電圧が印加されていない場合、図 1 に示すように、偏光板を通して直線偏光となった入射光は、液晶分子のねじれに沿って進み、偏光方向が 90° 回転するため検光子を通り抜けることができる（白表示）。

一方、液晶セルにしきい値より高い電圧を印加すると、電極付近を除き、大部分の液晶分子は電界方向に並んだホメオトロピック配向をとるためねじれが解消され、入射光が液晶セルを通過しても偏光方向は回転せず、検光子を通

図 1 TN モードの原理

NAKAMURA, Taku 富士写真フイルム(株)足柄研究所 (250-0193 神奈川県足柄市中沼 210)・主席研究員。1975年 京都大学大学院博士課程中退。専門は有機反応機構
〈趣味〉旅行、山野草

OKAZAKI, Masaki 同上・主席研究員、博士(理学)。1971年 大阪大学大学院修士課程修了。専門は π 電子共役系機能性化合物の合成 〈趣味〉管楽器演奏、読書(古代日本史)

Improvement of LCD Viewing Angle Characteristic by Discotic Liquid Crystal

り抜けることができない（黒表示）。

このようにしてTNモードでは、印加電圧により液晶のねじれ配向を変化させ、透過率をコントロールすることを表示の原理としている。

2.2 TNモードの視角特性

TNモード TFT-LCD の視角特性（等コントラスト曲線、階調反転）を図2に示す。見る方向を正面から左右に傾けると、その角度に従って全体に色が薄くなり、コントラストが低下する。上方向に傾けた場合は左右方向と同様全体に色が薄くなり、コントラスト低下が起こるが、下方向の場合は黒表示部での階調反転が先に起こる。

これらの視角特性は主として黒表示部の光漏れに起因する。すなわち液晶セルに使用されるネマチック液晶（棒状液晶）は光学的に正の一軸性であり、光軸に平行に入射された光については何ら影響を与えないが、光軸に対し斜めに入射された場合には、入射角に従って一方向の屈折率が増加することによる複屈折が現れる（図3）。このため直線偏光が楕円偏光となり、一部が検光子を通過し、黒表示部での光漏れとなり、コントラストの低下や階調反転をひき起こす。

2.3 視野角改良の原理

光学的に正の一軸性のネマチック液晶による複屈折をキャンセルするには、光学的に負の一軸性の化合物を、ネマチック液晶の配向に対応させて配置することが有効である^{9), 10)}。

負の一軸性の場合、光軸に対する入射角が大きくなるに従い、一方向の屈折率が減少することによる複屈折が現れる（図4）。したがって両者の光軸を平行に配置することで、ネマチック液晶による複屈折を打ち消すことが可能と考えられる。

当初、黒表示部におけるネマチック液晶の配向を、法線方向に平行なホメオトロピック配向と見なし、これによる複屈折を、光軸が法線と平行な負の一軸性の光学異方性フィルムで補償する方法が提案されたが¹¹⁾、効果は小さく実用化に至っていない。

図2 TNモードの視角特性（光学補償フィルムなし）

図3 正の一軸性の複屈折

図4 負の一軸性の複屈折

図5 光学補償の原理

さらに、黒表示部における液晶の配向を法線方向から斜めに傾いた傾斜配向と見なし、これによる複屈折を、光軸が法線に対し傾いた負の一軸性の光学異方性フィルムで補償する方法が提案されたが¹²⁾、改良効果は認められるものの、この種のフィルムを実用的に意味のある方法で作製することが難しく、実用化には至っていない。

ネマチック液晶は黒表示部において角度が厚み方向で連続的に変化するハイブリッド配向をとっており、それによる複屈折を補償するには、負の一軸性の分子を、ネマチック液晶に合わせてハイブリッド配向させることが必要となる（図5）。

3. ディスコチック液晶

3.1 負の一軸性の分子

負の一軸性を有する分子とは、屈折率が分子分極率に支配されることから、原子核への束縛が小さく分極しやすい π 電子が円盤状に配置された分子であると考えられる。事実 Mourey らは、 π 電子が円盤状に配置された分子であるトリフェニレン誘導体が、負の一軸性を有することを示している¹³⁾。

また負の一軸性を有する分子の角度を、厚み方向で連続的に変化させて配列させることについては、ハイブリッド配向を含め多様な分子配列様式が知られている液晶を利用することを考えた。

すなわち負の一軸性を有するトリフェニレン誘導体に代表されるディスコチック液晶(DLC)を、ハイブリッド配向させた光学異方性フィルムにより、視野角改良が可能になると考えた。

3.2 液晶の配列

ディスコチック液晶は、円盤状のコアから側鎖が放射状に伸びた構造を有しており、1977年にChandrasekharらにより発表されたベンゼンのヘキサ-*n*-アルカノアートが最初の化合物である¹⁴⁾。翌1978年には、Destradeら、Billardらにより、トリフェニレン誘導体も液晶性を示すことが見いだされた^{15), 16)}(図6)。

ディスコチック液晶の液晶相としては、コインを積み上げたような分子配列をしているカラムナー相(D相)、多数のコインをテーブル上に無造作に置いたような分子配列をしているディスコチックネマチック相(N_D 相)、およびキラルディスコチックネマチック相が知られている(図7)。

D相は N_D 相よりも秩序度が高く、ディスコチック液晶は結晶 $\rightarrow$ D相 $\rightarrow N_D$ 相 $\rightarrow$ 等方性液体といった相転移を示す。

N_D 相を示すディスコチック液晶のコア部は比較的少数であり、トリフェニレン、トルキセン、ヘキサ置換ベンゼンなどが知られている。特に4-*n*-アルコキシ基を有する安息香酸エステルを側鎖に有するトリフェニレン誘導体において、 N_D 相がよく発現されることが知られており¹⁷⁾、広い面積にわたり均一な光学特性を実現するために、トリフェニレン誘導体に注目して検討を行った。

3.3 分子設計

トリフェニレン誘導体の相転移に関し、棒状液晶に関するMcMillanのモデルを拡張することによる理論的取扱いが検討されており、D相から N_D 相への相転移温度は、側鎖長が長くなるにつれて高温化すると予測されているが¹⁷⁾、ディスコチック液晶を利用する光学補償フィルムの実現には、支持体の耐熱温度以下まで相転移温度を下げる

図6 ディスコチック液晶の例

図7 ディスコチック液晶の液晶相

ことが必要となる。

また光学補償フィルムとしては、 N_D 相の状態が熱あるいは光によって変化しないよう、固定することが必要となる。

Broer らは1個または2個の重合性基(アクリレート、エポキシイド、ビニルオキシ)を有する棒状液晶について、その配向性、重合性および光学特性について研究を行い、モノマー状態での配向を保持したまま光重合させることが可能であることを報告している。一般に単官能液晶モノマーの重合で得られたポリマーは熱による相変化を起こしやすく、配向が変化するが、2官能液晶モノマーの場合には、モノマー状態での配向に基づいて得られるポリマーの光学異方性は、熱による変化を示さないほどに安定となることが報告されている¹⁸⁾。

すなわちトリフェニレン誘導体の N_D 相を光重合によって架橋して固定するため、側鎖末端に、アクリロイル基、オキシラニル基、ビニルオキシ基を有する化合物を合成し、その液晶性を調べた。

いずれの化合物も N_D 相を発現しており、側鎖末端への重合性基の導入は N_D 相を消失させるほどの大きな影響を与えることはなく、都合の良いことには N_D 相の相形成温度を低下させることがわかった。

トリフェニレン誘導体の側鎖末端の高い運動性はすでに知られていたが、側鎖がコア部分から放射状に出ていることで、側鎖末端では運動のための空間が確保できており、重合性基を導入しても、 N_D 相発現に必要な分子間力を小さくすることが少なかったものと推定している。

また重合性基の導入はそれと同じ炭素数のアルキル基と比べると、相転移温度が低くなっており、 N_D 相形成温度も下がっている。これは側鎖部の親水性が高くなったことに起因すると考えられる。

またこれらの化合物には、DSC(Differential Scanning Calorimetry)により、重合によると見られる発熱ピークが観測された¹⁹⁾。

3.4 配向制御

液晶は一般的に、液晶自体の表面張力よりも大きな表面張力をもつ固体表面の近傍では、ホモジニアス配向をとり、液晶自体の表面張力よりも小さな表面張力をもつ固体表面の近傍ではホメオトロピック配向することが報告されている²⁰⁾。

したがってディスコチック液晶を、液晶自体の表面張力より大きな配向膜界面の上で配向させ、片側を空気としておくと、配向膜界面ではホモジニアス配向をとり、空気界面ではホメオトロピック配向するため、厚み方向で配向角度が連続的に変化したハイブリッド配向になると考えられる。

このハイブリッド配向の状態を、配向膜素材、配向条件などをコントロールして、TNモードの液晶表示装置の黒表示部におけるネマチック液晶の配向状態に対応させることで、光学補償フィルムを完成させた。

4. 光学補償フィルムの構成

この光学補償フィルムは、図8に示すように支持体（セルローストリアセテートフィルム）上に配向膜を設け、ラビング後にディスコチック液晶を塗布し、 N_D 相形成温度に加熱してモノドメイン配向させ、その温度を維持したまま紫外線を照射して配向固定させたものである。

このフィルムの光学特性は200℃まで加熱しても変化することはなかった。すなわち光重合でディスコチック液晶の N_D 相を固定することが可能であり、熱的に安定な光学補償フィルムを実現することができた。

またこのフィルムのレタデーションを種々の入射角で測定しても、その極小値はゼロにならず、測定データのカーブフィッティングから、ディスコチック液晶を含む層は、光軸の方向が厚み方向で4°~68°まで連続的に変化したハイブリッド配向をとっていることが確認された。

図8 光学補償フィルムの構成

5. 光学補償フィルムによる視野角改良

この光学補償フィルムをTNモードの液晶表示装置に組み込むにあたり、種々の構成を検討したが、左右の視野角のバランスを得るには同じ特性のフィルムが2枚必要であり、それを液晶セルの上下に1枚ずつ設置する構成がもっとも広い視野角を与えた。

この構成で得られたTNモードの等コントラスト曲線を図9に示す。光学補償フィルムを用いない場合と比べ、特に左右、上、および斜め45°方向のコントラスト低下は抑えられ、下方の黒表示部における階調反転も抑えられており、視野角が広がっていることが確認された。

6. 今後の展開

視野角改良の原理は、ディスコチック液晶を黒表示部のネマチック液晶と同じようにハイブリッド配向させて、ネマチック液晶による複屈折をキャンセルすることであり、今回述べたTNモード以外のVA、OCB、あるいはSTNモードについても、同様にして視野角を改良することが可能である。

VAモードについてはディスコチック液晶のホメオトロピック配向が、OCBモードについてはハイブリッド配向が、さらにSTNモードについては垂直ねじれ配向が必要となる。

ハイブリッド配向の場合に、配向膜側のディスコチック液晶はほぼ水平に配向していることから、空気界面の表面エネルギーを配向膜側と同程度になるように調整すれば、ホメオトロピック配向が期待できる。実際ディスコチック液晶と相溶し、かつ空気界面に偏在する化合物を検討した結果、トリアジン誘導体の中に有用な化合物を見だし、ホメオトロピック配向を実現した。

また垂直配向については、ハイブリッド配向において、配向膜側のディスコチック液晶を垂直に立てることが必要となる。垂直配向には表面エネルギーよりは排除体積効果が支配的であり、配向膜に4-ビフェニル基、4-フェニルエチルフェニル基などを導入することが効果的であった。

図9 TNモードの視角特性（光学補償フィルム付）

また空気界面ではディスコチック液晶は垂直近くまで立っているものの、その配向は十分ではなく、空気界面に偏在する化合物が必要であり、芳香族化合物の中に、顕著な効果を有する化合物を見いだした。

さらにカイラル剤を添加することで、ねじれを加えることができ、STN モードに最適なねじれ垂直配向を実現した²¹⁾。

このように黒表示部のネマチック液晶の配向に合わせてディスコチック液晶を配向させることで、新しいモードの液晶表示装置に対しても、原理的には視野角を改良する光学補償フィルムの開発が可能となった。

文 献

- 1) K. H. Yang: IDRC '91 Digest, 68 (1991)
- 2) K. Takatori, K. Sumiyoshi, Y. Hirai, S. Kaneko: Japan Display '92, 521 (1992)
- 3) H. L. Ong: Japan Display '92, 247 (1992)
- 4) J. P. Eblen, Jr., W. J. Gunning, J. Beedy, D. Taber, L. Hale, P. Yeh, M. Khoshne Visan: SID '94 Digest, 245 (1994)
- 5) K. R. Sarma, R. L. McCartney, B. Heinze, S. Aoki, Y. Ugai, T. Sunata, T. Inada: SID '91 Digest, 68 (1991)
- 6) M. McFarland, S. Zimmerman, K. Beeson, J. Wilson, T. J. Credelle, K. Bingaman, P. Ferm, J. T. Yardley: Asia Display '95, 739 (1995)
- 7) 森 裕行: 第 21 回液晶討論会予稿集, 3A06, 298 (1995)
- 8) 中村 卓, 岡崎正樹: 化学と工業, 49(10), 1422 (1996)
- 9) 特開昭 63-239421
- 10) H. L. Ong: SID '93 Digest, 658 (1993)
- 11) 特開昭 63-279229, 特開平 4-229828, DE3911620A1
- 12) 特開平 3-215831, 特開平 4-113301, 特開平 4-120512, 特開平 5-80323, 特開平 6-222213, 特開平 6-265728
- 13) B. Mourey, J. N. Perbet, M. Hareng, S. LeBerre: *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **84**, 193 (1982)
- 14) S. Chandrasekhar, B. K. Sadashiva, K. A. Suresh: *Pramana*, **9**, 471 (1977)
- 15) H. T. Nguyen, J. C. Dubois, J. Malthete, C. Destrade: *C. R. Acad. Sci.*, **286**, C463 (1978)
- 16) J. Billard, J. C. Dubois, H. T. Nguyen, A. Zann: *Nouv. J. Chim.*, **2**, 535 (1978)
- 17) S. Chandrasekhar, G. S. Ranganath: *Rep. Prog. Phys.*, **53**, 57 (1990); C. Destrade, H. T. Nguyen, H. Gasparoux: *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **71**, 111 (1981)
- 18) D. J. Broer, J. Boven, G. N. Mol, G. Challa: *Makromol. Chem.*, **190**, 2255 (1989)
- 19) M. Okazaki, K. Kawata, H. Nishikawa, M. Negoro: *Polym. Adv. Technol.*, **11**, 398 (2000)
- 20) 化学総説 (日本化学会), **22**, 98 (1994); J. C. Dubois, M. Gazard, A. Zann: *Appl. Phys.*, **47**, 1270 (1976); 河田 憲: 第 4 回コロイド界面実用講座 (日本化学コロイドおよび界面化学部会), p. 18 (1996)
- 21) 伊藤洋士, 森 裕行, 河田 憲, 岡崎正樹, 品川幸雄: IDW '00 予稿集, FMC7-2 (2000)

高分子学会編集の出版物頒布のお知らせ

会員割引

「高分子命名法」

体 裁 B5 判, 212 ページ

定 価 (税込) 3,200 円

会員割引 2,880 円 (税・送料込)

内 容 高分子命名法入門／定義 ポリマーに関する術語の基本的定義 (1974)／ポリマーに関する立体化学の定義と概念 (1980)／個々のポリマー分子, それらの集合および希薄ポリマー溶液に関する術語の定義 (1988)

本書は, 高分子命名法委員会の訳出による IUPAC パープルブックの日本語版です。

／結晶性ポリマーに関する術語の定義 (1988)／命名法 規則性単条有機ポリマーの命名法 (1975)／規則性単条および準単条無機および配位ポリマーの命名法 (1984)／コポリマーの原料基礎命名法 (1985)／線状単条ポリマーの分類 (1988)／高分子物質の名称の略号／付録 生体高分子に関する命名法についての IUPAC-IUB 諸勧告の参考文献目録

申込方法 出版物名 (巻), 氏名, 勤務先, 連絡先, 電話番号, 会員番号を明記し, FAX でお申し込み下さい。

申 込 先 [104-0042] 東京都中央区入船 3-10-9 新富町東急ビル 高分子学会出版係

☎03-5540-3772 (編集直通) Fax 03-5540-3737