

ディスコティック液晶の傾斜配向を利用した TFT-LCD の視野角拡大フィルムの開発

品川 幸雄

富士写真フイルム(株)足柄研究所 ☎ 250-0193 神奈川県南足柄市中沼 210

(1997 年 7 月 1 日受理)

Novel Optical Compensation Film for TFT-LCDs Using Discotic Liquid Crystal Aligned Obliquely

Yukio SHINAGAWA

Ashigara Research Laboratories, Fuji Photo Film Co., Ltd.
210 Nakanuma, Minamiashigara, Kanagawa 250-0193

(Received July 1, 1997)

The Wide View Film, a novel optical compensation film for TFT-LCDs was developed to realize wide viewing angle characteristics, without sacrificing brightness of LCDs, utilizing negative birefringence of a discotic liquid crystal. The optical compensation of the Wide View film is to make the coating layer of negative birefringence material have the same orientation structure as that of TN liquid crystals in dark state of a TFT-LCD so that all components of positive birefringence of TN liquid crystals can be compensated. It was found that thin coating layer can be made of discotic liquid crystals which align obliquely and optically in high order. Therefore discotic liquid crystals were utilized as the negative birefringence material for the WV film. In this paper we describe mainly the characteristics and behavior of discotic liquid crystals on alignment layers and the application of the thin coating layer to optical compensation film for improving the viewing angle of TFT-LCDs.

1. はじめに

富士写真フイルムは TN 液晶モードの TFT-LCD の広視野角を実現する新原理の位相差フィルム(商品名: Fuji WV Film ワイドビュー A)を開発した。TFT-LCD に用いられる TN 液晶は棒状の液晶分子であり正の屈折率楕円体を有する。TN 液晶が棒状の液晶分子であり、ラグビーボール型の屈折率楕円体を有することにより LCD を見る方向により、液晶分子の複屈折は大きく変化し、LCD セルを透過してくる光の状態が変わってしまう。光の状態変化による表示品位の劣化は、TFT-LCD の黒表示部で最も大きく、視野角が狭い最大の原因であることをわれわれはシミュレーションで見出した^{1, 2)}。

TN 液晶の屈折率楕円体の光軸と、負の屈折率楕円体を持つ材料の光軸を一致させるように組み合わせることで視角を傾けた時の複屈折変化が補償可能であることは

予測されていた³⁾。しかしながら、傾いた光軸を有する TN 液晶を補償するような光軸の傾いた負の屈折率楕円体を有するような材料は、容易には存在しなかった^{4, 5)}。われわれは、光軸の傾いた負の屈折率楕円体を有するような材料を実現する 3 つの方法を開発した。それらはポリマーフィルムを異周速ロールで圧延する方法⁶⁾、アゾベンゼンポリマーを偏光赤外で照射することによる方法⁷⁾、ディスコティック液晶をネマティックモノドメイン傾斜配向させる方法である⁸⁾。WV フィルムは最終的には 3 番目のディスコティック液晶を用いて実現され、視角を変えた時のリターデーション変化を小さくし黒を補償したフィルムであり、“黒”がどこから見ても光漏れがなく、“黒く”見える。その結果、WV フィルムを用いると上下左右と各々の斜め方向を合わせた 8 方向のうち、7 方向で反転なしのコントラスト 10 以上で規定して 60~70°以上の視野角を得ることが可能となった。

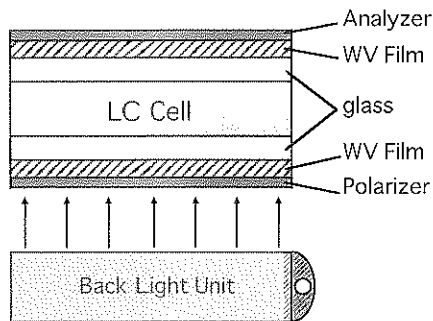


Fig. 1 The structure of LCD with the Wide View Film.

WV フィルムは、LCD 生産ラインでの設備投資は全く不用であり、偏光板と一体にしたものを従来の偏光板と同様に貼り合わせるだけで済み、LCD 製造ラインを変更することなく、低コストで広視野角を得ることが可能である。LCD 製造設備の複雑化がさけられること、設備改造のための新たな投資が不要であることの意味は大きいと考えている。

本報告では、視野角拡大のための光学補償の考え方、ディスコティック液晶のハイブリッド配向（ディスコティック液晶の傾斜角が厚み方向で連続して変化している配向）による WV フィルムの開発、光学補償フィルムとしての性能について述べる。

2. WV フィルム使用構成図

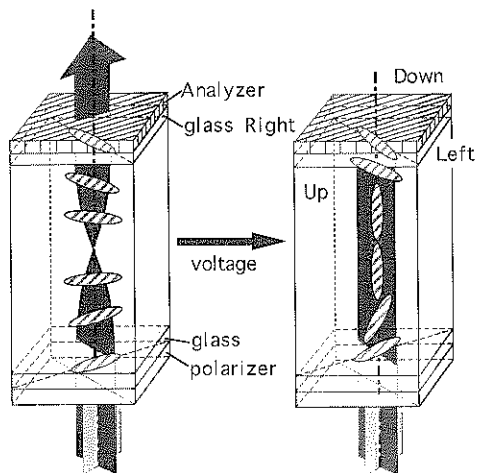
ラグビーボール型の正の屈折率楕円体を持つ TN 液晶にアンパン型の負の屈折率楕円体を組み合わせることは、ディスコティック液晶をハイブリッド配向させた WV フィルムを Fig. 1 に示すように LCD セルに組み込むことで実現した。

種々の構成を検討したが、本構成で最も広い視野角を達成することができた。左右の視野角バランスを得るためには WV フィルムを上下に 1 枚ずつ、2 枚使用することが必要である。

この構成図からわかるように、LCD 生産ラインでの設備投資は全く不用であり、偏光板と粘着し、一体にしたものを従来の偏光板と同様に貼り合わせるだけで、低コストで広視野角を得ることが可能である。

3. TN 液晶 TFT-LCD

TN 液晶セルは Fig. 2 に示すように 2 枚のガラス基板を対向させ、その間に配向の方向が 90° ねじれたネマチック液晶を封入した TN 型液晶セルと、その両側に透過軸が互いに直交するように配置した二枚の偏光板（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



White state (off) Black state (on)

Fig. 2 O-mode liquid crystal cell.

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が接続されており、一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。偏光板を通り直線偏光となったバックライト光は、液晶セルに電圧が印加されていない OFF 状態では、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、白表示となる。液晶セルにしきい値より高い電圧を印加すると、電極面付近を除き、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、バックライト光は液晶セルを通過しても偏光方向が回転せず、検光子を通り抜けることができず、黒表示となる。

4. 正の屈折率楕円体と負の屈折率楕円体の組み合わせ

液晶セルに使用されている TN 液晶は光学的に正の一軸性屈折率楕円体を有し、入射角に応じて複屈折が変化する。

負の一軸性屈折率楕円体をもつ材料でも、入射角に応じて複屈折が変化するが、正の屈折率楕円体とは複屈折変化の方向が逆となり、正の一軸性結晶と組み合わせると、入射角が変化した時の複屈折変化を減少させることが可能である。

われわれは、 2×2 マトリクスを用いた種々のシミュレーションによって、ノーマリーホワイトの LCD の黒表示部を正負の屈折率楕円体の組み合わせの考え方で補償しさえすれば、TFT-LCD の視野角は飛躍的に拡大することを確認し、そのような位相差膜フィルムの開発に

着手した。

5. WV フィルムの光学補償

5.1 単純傾斜配向フィルム

われわれは、ノーマリーホワイト方式の黒表示部の TN 液晶の配向膜近傍でのプレチルトを考慮し、平均すると TN 液晶は膜面に対して約 70° 傾斜していると予測した。そして、 70° の傾きで立っている TN 液晶に対して、光軸が 70° 傾いている単純傾斜の負の屈折率楕円体を組み合わせた場合 (Fig. 3) の視野角拡大効果をシミュレーションで予測したが、その結果は比較的満足すべきものであった¹²⁾。

光軸が斜めな負アンパンで TN 液晶の光学補償ができることについては、多くの特許があり、そのような光学

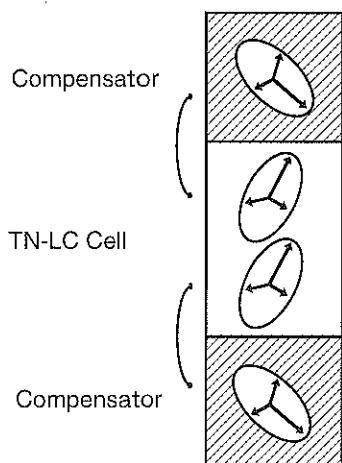


Fig. 3 Compensation with oblique alignment.

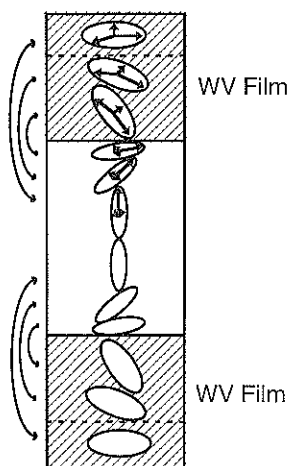


Fig. 4 Compensation with hybrid alignment film.

補償膜の開発が試みられたが、多くはサファイアの単結晶をきりだすとか、延伸 PC をスライスしてフィルムにするとか、工業的には実現不可能なものであった^{3, 4, 5)}。

5.2 ハイブリッド配向フィルム

Fig. 2 に示したように TN 液晶は現実には LCD セルの中で連続的に光軸の傾斜を変えた配向をとっている。したがって TN 液晶を可能なかぎり負の屈折率楕円体を有する物質で光学補償しようとするれば、負の屈折率楕円体の光軸の傾斜も TN 液晶に対応して連続的に変化することが必要である。この原理に従って光軸傾斜が連続変化したハイブリッド配向を持ったフィルム (Fig. 4) による視野角拡大効果をシミュレーションしたが、極めて満足すべき結果であった。

傾斜配向を実現するために 3 つの方法を開発したが、ハイブリッド配向を実現するためにはディスコティック液晶を使用することが必須であった。配向能付与、配向固定機能付与のため当社の化合物合成技術を駆使し、何百種もの新規化合物を合成し、満足すべき素材に到達した。その到達素材であるディスコティック液晶には、低温で配向し化学的に固定化する機能が組み入れられている。

ディスコティック液晶の配向層は TAC (Tri-Acetyl Cellulose) フィルムの上にあり、超精密薄層塗布、均一乾燥、配向熟成、架橋による配向構造固定化のプロセスによって得られる。

6. ディスコティック液晶化合物

ディスコティック液晶⁹⁾なる名称は、棒状液晶に対比される分子形状の形態的分類に由来する。したがって、ディスコティック液晶性を示す化合物は、円盤状のコア部を有し、そこから放射状に側鎖が伸びている構造を有している。放射状に側鎖を有する円盤状化合物の液晶性の発現、即ちディスコティック液晶の最初の発見は、1977 年に S. Chandrasekhar らによってベンゼンのヘキサ-*n*-アルカノートをを用いてなされた¹⁰⁾。翌 1978 年には、C. Destrade らにより、トリフェニレン誘導体においてもディスコティック液晶性の発現が見出された¹¹⁾ (Fig. 5)。

ディスコティック液晶の液晶相としては、コインを積

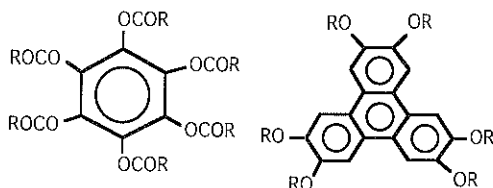


Fig. 5 Typical discotic compounds.

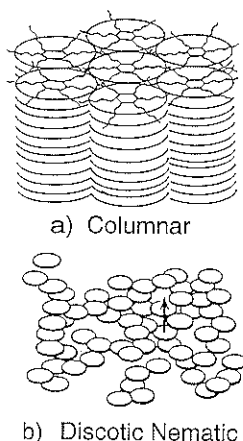


Fig. 6 Phase structures for discotic liquid crystal.

み上げたような分子配列をしているカラムナー (D) 相 (Fig. 6), 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ティックネマティック (N_D) 相およびキラルディスコティックネマティック (ND^*) 相が知られている。D 相は N_D 相よりも秩序度が高く、ディスコティック液晶は結晶 $\rightarrow$ D 相 $\rightarrow N_D$ 相 $\rightarrow$ 等方性液体, といった相転移を示す¹²⁾。

6.1 ND 相形成

トリフェニレン誘導体で ND 相を示す化合物は比較的小数であり、4-n-アルキル又は、4-n-アルコキシル基を有する安息香酸エステルとしてコア部に連結されている化合物において発現する¹³⁾。これら化合物においては結晶相または D 相と N_D 相の間で相転移が起こり、その相転移温度は分子の親疎水性に依存することを見出されている¹⁴⁾。

6.2 トリフェニレン誘導体側鎖への重合基の導入と液晶性¹⁵⁾

側鎖に種々の機能性基を導入してもなお液晶性を発現できるならば、より高い機能を有するディスコティック液晶が得られることになる。しかし ND 相の発現となると、前述のように発現頻度が低く、機能性基の導入による液晶相発現への大きな影響が研究初期には懸念された。

しかしながら、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が、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かった。

7. ディスコティック液晶のハイブリッド配向

開発的液晶研究の主流は LCD への応用であり、その

ため液晶研究の多くは 2 枚の配向膜に挟まれた状態での配向制御、特殊配向状態の実現に関するものである。本報告での光学補償フィルムはディスコティック液晶を塗設、配向、構造固定するために配向膜は片面のみであり、塗膜の反対面は空気面となるほとんど実用的な報告のない系を用いて開発された。

一般的には液晶自体の表面張力よりも大きな表面張力を持つ固体表面の近傍では、ホモジニアス配向し、液晶自体の表面張力よりも小さな表面張力を持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^{16, 17)}。

したがってディスコティック液晶を液晶自体の表面張力 (例えば約 37 dyn/cm) より大きな配向膜界面 (例えば約 45 dyn/cm) の上で配向させ片側を空気面 (0 dyn/cm とみなす) にしておくと、配向膜界面ではホモジニアス配向し、空気界面ではホメオトロピック配向するため、厚み方向でみると傾斜角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。WV フィルムではこのハイブリッド配向の状態を配向膜素材、塗膜形成条件などでコントロールし、TFT-LCD の TN 液晶の配向状態に対応させたものである。

7.1 トリフェニレン誘導体の SiO 斜方蒸着膜上でのハイブリッド配向¹⁸⁾

ND 相を形成するトリフェニレンヘキサ-4-ヘプチルオキシベンゾエートの塗布による配向欠陥のないモノドメイン配向の可能性を把握すべく、SiO 斜方蒸着膜上での配向挙動を検討した。

トリフェニレン誘導体溶液を SiO 斜方蒸着膜上に約 2 μm の膜厚でスピコートし、乾燥後、 N_D 相形成温度に保持し配向させた。室温に急冷した膜を偏光顕微鏡で観察し、均一なネマティックモノドメイン層の形成を確認した。クロスニコル下、このモノドメイン層は明確な消光位を有しており、ほぼ全ての分子が一定方向に配向していた。

エリプソメトリーによりこのモノドメイン層のリターデーションの入射角依存性を調べると、リターデーションが 0 になる角度がなく、ディスコティック液晶は傾き角が連続して変化するハイブリッド配向をしていると推定される。

エリプソメーターによるリターデーションの極小値を示す角度はディスコティック液晶分子の平均配向角度に対応する。

リターデーションの極小値を示す角度は SiO 蒸着角度に対して連続には変化せず、65° を境に配向方向を逆転し、40° 近辺の傾斜角を示した (Fig. 7)。SiO の蒸着角度変化に対し、ディスコティック液晶の配列が Fig. 8

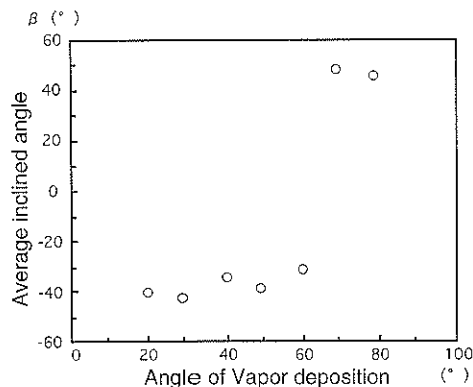


Fig. 7 Angle of minimum retardation value vs angle of silicon mono oxide vapor deposition.

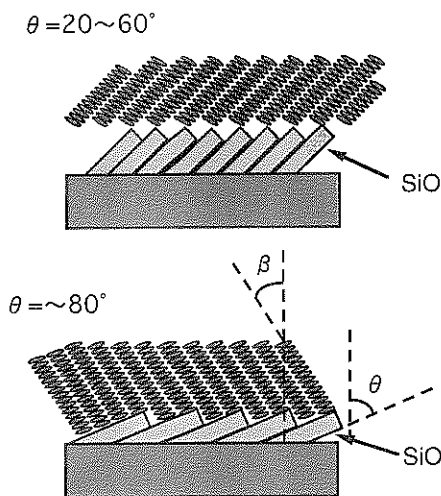


Fig. 8 Schematic alignment of discotic liquid crystals on SiO alignment layers.

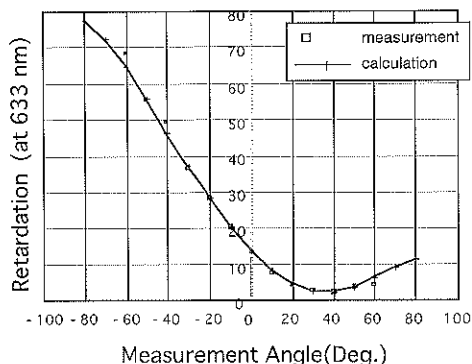


Fig. 9 Retardation vs measurement angle on a polymer alignment layer.

のように変化していると考えると一応の説明はつくが、正確な理解は今後の課題である。

7.2 WV フィルムでのハイブリッド配向

WV フィルムは TAC フィルムの上にポリマー配向膜を塗設、ラビングした後、ディスコティック液晶を塗布、配向、構造固定化することによって得られる。

Fig. 9 には WV フィルムのエリプソメーターにより得られるリターデーションの測定角度依存性を示す。Fig. 9 のデータのカーブフィッティングを行い、それぞれの界面でのディスコティック液晶の光軸の傾きを求めると、配向膜界面で 7° 、空気界面側で 40° であり、膜内では膜厚方向に連続的に変化しているとするシミュレーションと実測値は良く一致する。

ディスコティック液晶分子は、棒状分子よりも 1 分子あたりの表面積が大きく、分子間相互作用による安定化の寄与も大きいと考えられる。したがって配向膜界面では特別に反発を招く要素がない限り、互いの接触によって、すなわちホメオトロピックな配向によって安定化される確率が高いと期待される。逆に空気サイドの自由界面では隣接分子との相互作用によって実現される最安定状態は互いが最も接触したホモニアス配向であると考えられる¹⁹⁾。

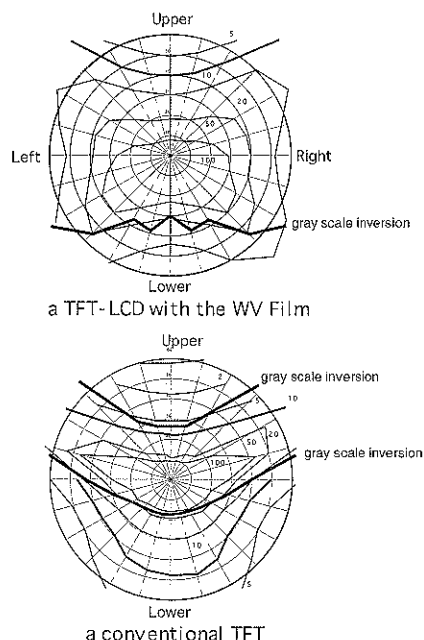


Fig. 10 Measured viewing angle dependence of contrast ratio and gray scale inversion for TFT-LCD (TN mode).



Fig. 11 Color-constant wide view display.

8. WV フィルムの視野角拡大効果

従来の TFT-LCD と WV フィルムを用いた TFT-LCD の視野角特性を示す等コントラスト曲線を Fig. 10 に示す。

また、Fig. 11 には実際に LCD の画面の左半分のみ WV フィルムを装着した LCD を製作し、種々の角度から写真撮影した結果を示す。WV を使用していない右半分では、上、左右方向で階調反転がおり、黒い髪の毛が白くなってしまふ。また、左右では色味変化も大きい。また、下方向では全体がコントラスト低下により白ちゃけて見るに耐えない画像となってしまう。一方、WV を使用した左半分では、階調反転、色味変化、コントラスト低下が著しく改良されていることがわかる。

9. 結 語

以上 WV フィルムの光学補償の考え方、具体的実現方法について述べたが、基本原理である液晶の一個一個を光学補償する考え方は、TN 液晶以外の IPS, VA, OCB, そしてさらに反射型 LCD に対しても適用可能と考えており、LCD の発展のために、それら方式の性能向上にも貢献すべく開発を進めている。

また、生産として考えた場合、ディスコティック液晶を並べるための配向膜のラビングプロセスがトラブルの大きな原因であり、今後ラビングフリーの液晶配向技術の開発が今後の大きな課題であることを付記したい。

文 献

- 1) 森 裕行：第 21 回液晶討論会予稿集, 3A06 (1995)

- p.298.
- 2) 森 裕行, 伊藤洋士, 西浦陽介, 中村 卓, 品川幸雄: 第43回応用物理学会連合講演会予稿集, No. 3 28 a-TB-6 (1996).
 - 3) 特開昭 63-239421 単結晶斜め切り出し
 - 4) 特開平 3-215831 コレスティック液晶の配向
 - 5) 特開平 5-80323 ポリカーボネートの斜め切り出し
 - 6) 特開平 6-222213 富士フイルム
 - 7) 特開平 6-265728 富士フイルム
 - 8) 特開平 6-214116 富士フイルム
 - 9) 日本化学会編, 季刊化学総説: “液晶の化学” (1994).
 - 10) S. Chandrasekhar: *Ramana* **9**, 471 (1977).
 - 11) C. Destrade: *C.R. Seances Acad. Sci.* **286**, C 463 (1978).
 - 12) 俎徠道夫: 表面 **28**, 235 (1990).
 - 13) S. Chandrasekhar: *Rep. Prog. Phys.* **53**, 57 (1990).
 - 14) 河田 憲, 根来雅之, 西川秀幸, 岡崎正樹: 日本化学会 70 春季年会予稿集, 3 F 243 (1996).
 - 15) 河田 憲, 根来雅之, 西川秀幸, 岡崎正樹: 日本化学会 70 春季年会予稿集, 3 D 248 (1996).
 - 16) 古川顕治: 化学総説 (日本化学会) **22**, 98 (1994).
 - 17) J.C. Dubois, M. Gazard and A. Zann: *J. Appl. Phys.* **47**, 1270 (1976).
 - 18) 鎌田 晃, 河田 憲, 岡崎正樹: 日本化学会 70 春季年会予稿集, 3 D 247 (1996).
 - 19) 河田 憲: 第4回コロイド界面実用講座, 日本化学会コロイドおよび界面化学部会 (1996) p. 18.