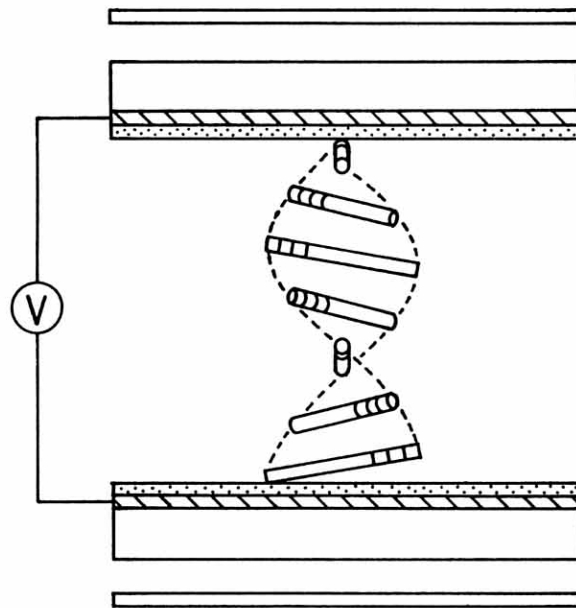


高コントラスト表示特性を有する 一層型STN液晶ディスプレイ

A Single-layered STN-LCD with Excellent High Contrast Display Characteristics

浅野和夫
寺坂 徹
西 眞一
事務機器事業本部
事務機生産事業部設計部



Abstract:

For a super-twisted nematic liquid crystal display (STN-LCD) with high pixel quantity, high contrast, and wide viewing angles, it is necessary to get an achromatized black-and-white, high contrast image in order to realize spectral fidelity in a full-color display.

By means of the simulation of transmission spectra and experimental optimization of each cell parameter, we investigated the factors influencing coloration and contrast in a single-layered STN-LCD.

As a result, we found that achromatization is improved by suitably adjusting the value of $\Delta n \cdot d$, and that by adopting a high pretilt angle and optimizing polarizer configurations, we can realize an STN-LCD with a contrast ratio greater than 100:1 under the driving condition of a multiplexed duty cycle of 1/200.

Asano, Kazuo
Terasaka, Toru
Nishi, Shinichi
Design Department
Business Machines Production
Division
Business Machines Headquarters

1

まえがき

近年の急速に進展するOA化、高度情報化社会において、マン-マシンインターフェースとして表示装置への要求はますます高くなり、表示品質が高く大容量表示が可能で、かつ省スペースの表示装置が強く要望されている。これに対し、CRTに替わる表示装置として、薄型、低消費電力の液晶ディスプレイ (Liquid Crystal Display; LCD) が近年、特に注目されている。とりわけ、STN (Super-Twisted Nematic) -LCDが提案されて以来、構成上安価な単純マトリクス駆動方式で高コントラストかつ大容量表示が可能であるため、活発に開発が進められ、既にOA機器を中心に応用され始めている。しかし、STN-LCDは、原理上、光の複屈折効果を利用しているため表示の着色を免れず、最も親しみやすい白黒表示が困難であり、鮮やかなカラー表示の実現を妨げている。この欠点を解消するために、Table 1に示す様に幾つかの提案がなされている。その中で、二層セル方式は表示の着色をほぼ解消し、高コントラストの白黒表示を可能にしたが、セル構成の精度がきびしく、量産が難しい。一方、一層セル方式におけるOMI (Optical Mode Interference) 方式、G-H (Guest-Host) 方式は、ある程度の無彩色化は可能であるが、コントラストが低下してしまい、表示が暗くなるという欠点がある。

Table 1 Comparison of achromatized STN-LCD

	OMI mode	G-H mode	Double-layer cell mode
Method	Low $\Delta n \cdot d$	Dye addition	Optical compensator
Contrast	8	10	20
Color bias	Slightly blue	Neutral	Neutral
Drawbacks	Dark, low contrast	Dark, low contrast	High cost, excessive cell-thickness precision needed

本稿では、より単純構成で安価な一層型STN-LCDにおいて、高コントラストでかつ無彩色の高品質表示を得るために、各種パラメータの最適化実験とシミュレーションを行い、表示の着色性とコントラストの関係及びコントラストの決定要因について検討した。その結果、非常にコントラストが高く表示特性の良好なLCDが得られたので、ここに詳述する。

2

STN-LCDの概要

STN-LCDは、Fig.1に示すように、配向処理を施した一对の電極基板の間で液晶分子を $180^\circ \sim 270^\circ$ ねじって配向させた液晶セルの上下に、一对の偏光板を所定の角度で配

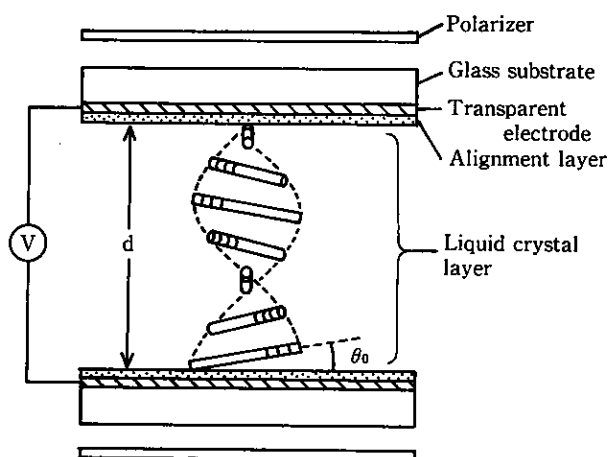


Fig. 1 Schematic view of an STN-LCD cell with a left-handed twist angle of 270° . V: Applied voltage, d: Cell thickness, θ_0 : Pretilt angle

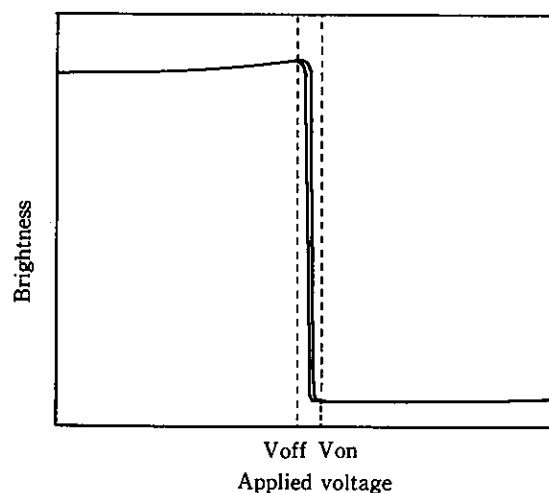


Fig. 2 Applied voltage dependence of the transmitted light intensity in a typical STN-LCD. The characteristics curve shows a slight hysteresis. V_{on} and V_{off} are respectively ON and OFF driving voltages corresponding to a multiplexed duty cycle of 1/100.

置した構造をとり、ON電圧印加時とOFF電圧印加時の液晶配向の違いに基づく複屈折効果の差を利用して、透過光のスイッチングを行っている。STN-LCDでは、従来の 90° ねじれのTN-LCDに比べて、ねじれ角を大きくとることによりON状態とOFF状態との間に双安定効果が生じ、透過率の印加電圧に対する変化は、Fig.2に示す様に極めて急峻になる。

単純マトリクス駆動においては、交叉する走査 (行) 電極と信号 (列) 電極とにより形成されるドットマトリクスを、線順次走査により駆動するが、走査電極数の増加と共に顕著になるクロストーク現象を最小限におさえるために、電圧平均化法と呼ばれる駆動法を採用している。この駆動法においては、ON電圧 V_{on} とOFF電圧 V_{off} との比は、走査線数Nにより

$$\frac{V_{on}}{V_{off}} = \sqrt{\frac{N+1}{N-1}}$$

で与えられる。即ち、走査線数が100本では、 $V_{on}/V_{off} = 1.106$ 、200本では $V_{on}/V_{off} = 1.073$ となり、わずかの電圧差でスイッチングする必要があり、液晶セルに対してはFig.2のように急峻な電圧-透過率特性が要求される。

STN-LCDの電圧-透過率特性の急峻性は、双安定効果によりもたらされるものではあるが、この双安定効果が大きすぎると応答速度が遅くなるため、最適な条件が選択される必要がある。

また、液晶のねじれ角を大きくとり、安定に動作させるためには、液晶分子が基板表面となす配向角(プレティルト角 θ_0)を大きく($\theta_0 > 20^\circ$)とる必要がある。現在のところ、均一かつ安定な配向が得られるプレティルト角は 10° 以下であり、ねじれ角が 240° くらいまでのSTN-LCDしか実用化されていない。

3

実験方法

3.1 実験条件

液晶セルは、配向膜としてSiO₂の斜方蒸着膜を用い、液晶のねじれ角 α を 270° とした。液晶材料としては、主にZLI-2293 (Merck製)を用い、カイラル剤としてS-811を添加した。偏光板には、偏光度が99.9%以上のものを用い、照明光の入射側、出射側の偏光板の偏光軸の設定角 β 、 γ をFig.3のように定義した。

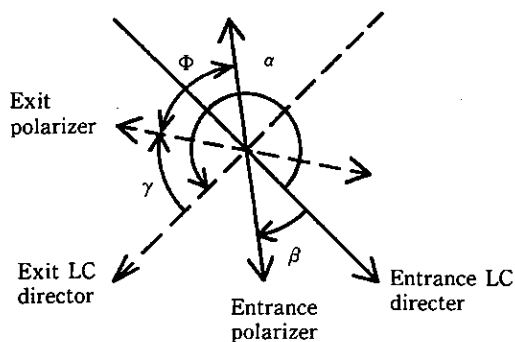


Fig.3 Definition of polarizer orientation angles with respect to the LC director

液晶セルの透過スペクトル、明るさ(ルミナンス:Y)、及びコントラスト値は、1/200duty対応の駆動電圧を印加した状態で測定した。尚、観測方向はセル法線方向とし、光源はC光源とした。

3.2 シミュレーション

シミュレーションは、Ongの計算式に従い、マルチプレクス駆動のON、OFF電圧印加時の液晶の平均ティルト角

$\langle \theta \rangle$ を仮定し、偏光板の透過特性を考慮して透過スペクトルを計算した。Fig.4は実測スペクトルとシミュレーションの結果との比較を示すが、よく一致することがわかる。ここでは、実験とシミュレーションの結果を相補的に用いて議論を進める。

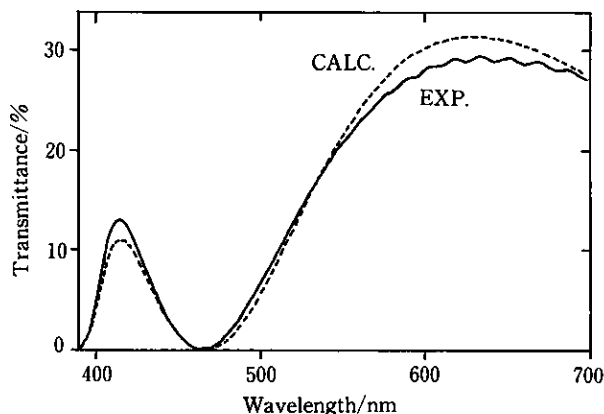


Fig.4 Typical OFF-state transmittance spectrum. For comparison, the calculated curve is also plotted, with a broken line.

4

結果と考察

4.1 無彩色化とコントラスト

(1) $\Delta n \cdot d$ 依存性

Fig.4は、典型的なSTN-LCD ($\Delta n \cdot d = 1.06 \mu\text{m}$)の透過スペクトルを示す。図から明らかなように、可視波長域に完全非透過帯が存在し、このために深い着色を呈する。Fig.5は、偏光板の設定を一定のまま $\Delta n \cdot d$ の値を変化させたときの透過スペクトルの変化を示す。 $\Delta n \cdot d$ の増加と共にスペクトルのピークが長波長側にシフトする。 $\Delta n \cdot d$

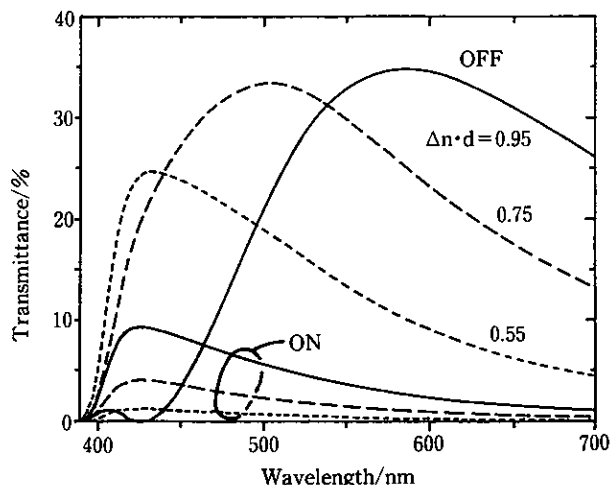


Fig.5 $\Delta n \cdot d$ dependence of the transmittance spectra for $(\beta, \gamma) = (45^\circ, 45^\circ)$. (Simulation)

が0.6以下では、可視波長域の透過率が全体的に低下して表示が暗くなり、0.9以上になると可視波長域に大きな非透過帯が現れ、表示が深く着色する。また、 $\Delta n \cdot d$ の増加と共にON時の透過率が増加するため、コントラストは低下する。Fig.6は、 $\Delta n \cdot d$ を変化させた時のルミナンスY値の実測値を示す。Fig.5のシミュレーションの結果とよく対応している。

これらの結果より、STN-LCDの表示の着色は、 $\Delta n \cdot d$ の大きさに大きく依存しており、より明るく無彩色に近い液晶セルを得るためには、 $\Delta n \cdot d$ を $0.8\mu\text{m}$ 付近に設定すればよいことがわかる。

(2) 偏光板配置依存性

Fig.7は、 $\beta = \gamma$ 、即ち、2枚の偏光板の偏光軸どうしのなす角度 Φ を 90° とした状態でセルに対し偏光板を回転させ

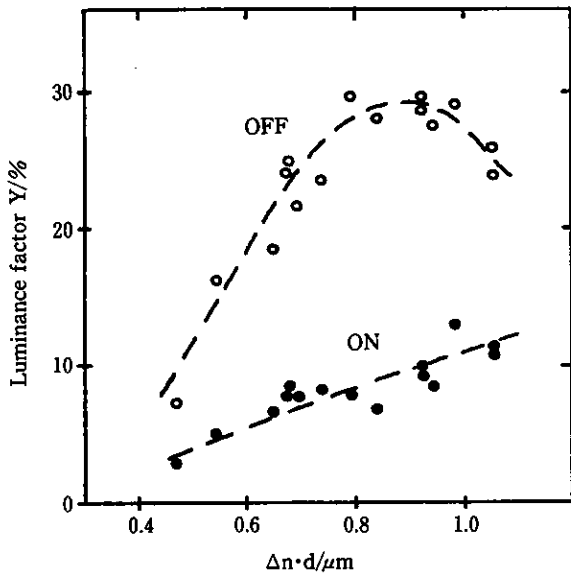


Fig.6 $\Delta n \cdot d$ dependence of the luminance Y for $(\beta, \gamma) = (0^\circ, 0^\circ)$

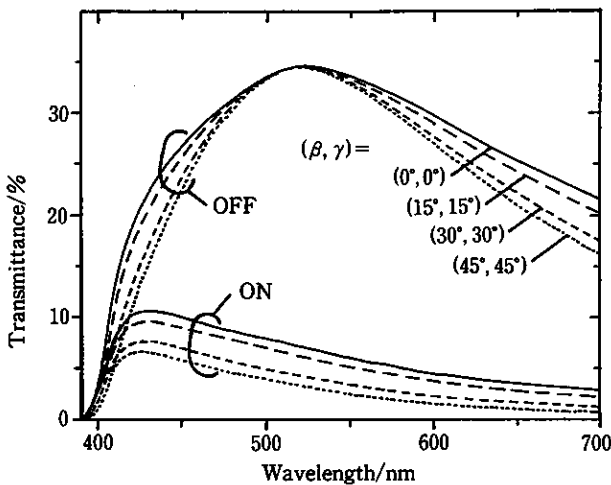


Fig.7 Polarizer configuration dependence of the transmittance spectra for $\Delta n \cdot d = 0.85\mu\text{m}$. (Simulation)

た時の透過スペクトルの変化を示す。 (β, γ) が $(0^\circ, 0^\circ)$ に近づく程、OFF時の透過スペクトルはより平坦になり、表示の着色が薄くなると共に明るくなる。一方 (β, γ) が $(45^\circ, 45^\circ)$ に近づく程、ON時の透過光量は小さくなりコントラストは上昇する。Fig.8は、 $\beta + \gamma$ をパラメータとして変化させたときのルミナンス値Yの実測値を示しているが、シミュレーション結果とよく対応している。このように、 (β, γ) を変化させた時、表示の無彩色性とコントラストとは、trade-offの関係にある。

Fig.9は、偏光板の配置に対する表示色の色度座標の変化を示す。STN-LCDの表示色は、2枚の偏光板の偏光軸

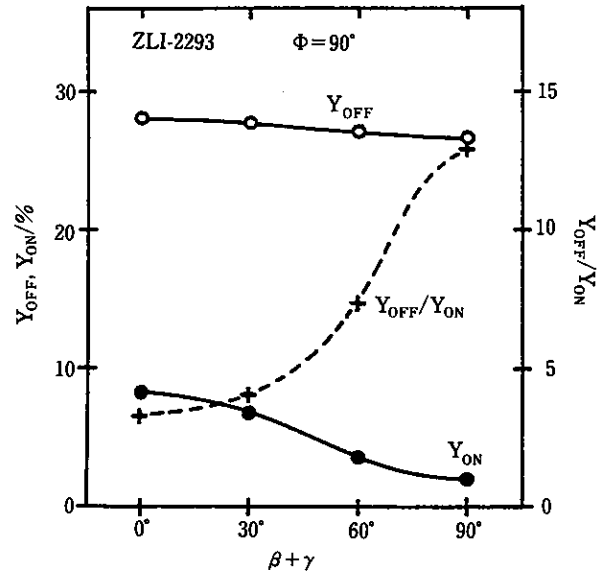


Fig.8 Polarizer configuration dependence of the luminance Y and contrast ratio Y_{OFF}/Y_{ON} under the condition that $\Delta n \cdot d = 0.85\mu\text{m}$ and $\Phi = 90^\circ$.

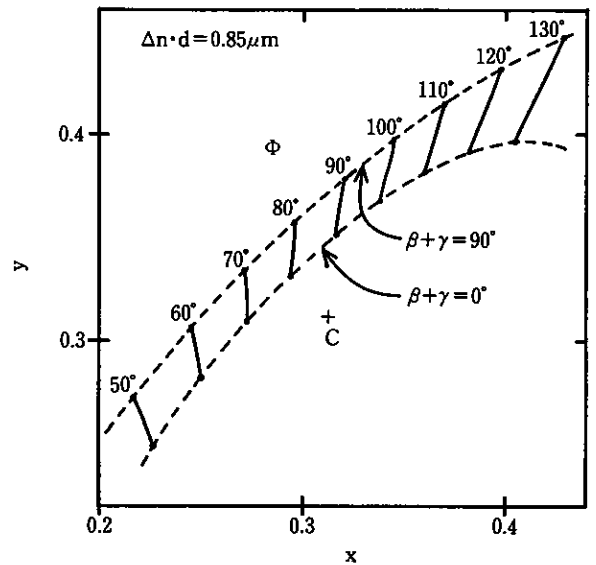


Fig.9 OFF-state CIE color coordinates (x, y) vs polarizer configuration parameter Φ . (Simulation)

どうしのなす角度 Φ ($=\alpha+\beta-\gamma-180^\circ$) の大きさにより、ほぼ決まることがわかる。また、偏光板の配置をどう変えても、STN-LCDの表示色は完全な白色にはならない。 Φ が一定の場合、 $\beta+\gamma=0^\circ$ において表示色は最も白色に近くなり、 $\beta+\gamma=90^\circ$ において最も白色から遠くなるが、その変化幅は小さい。

以下では、最も無彩色に近くなる Φ の設定領域で、コントラストに重点をおきパラメータの最適化をはかる。

4.2 コントラスト決定要因

(1) 偏光板配置依存性

まず、2枚の偏光板の偏光軸どうしのなす角度 Φ を一定に保ちつつ、 β 、 γ を変化させてコントラストの変化を調べた。Fig.8は、 $\Phi=90^\circ$ の場合の結果を示しており、 $\beta+\gamma=90^\circ$ においてコントラストが最大になっている。 Φ が他の値の場合についても測定した結果、コントラストは必ず $\beta+\gamma=\pm 90^\circ$ において最大となり、 $\beta+\gamma=0^\circ$ において最小となることがわかった。

さらに、 $\beta+\gamma$ 一定のもとで、 β 、 γ を変化させてコントラストの変化を調べた。Fig.10は、 $\beta+\gamma=90^\circ$ における結果を示す。その結果、コントラストは、2枚の偏光板の偏光軸どうしのなす角度 Φ が 90° からある角度 δ だけずれた点 ($\Phi=90^\circ-\delta$; $\delta\geq 0$ 、Fig.10の例では $\delta=17^\circ$) において最大になることがわかった。ここで、 δ の値は同一セルでは、 $\beta+\gamma$ の値にかかわらず一定であり、セル条件が変わり、液晶、 $\Delta n\cdot d$ 、プレティルト角等が変わると変化する。Fig.11は、偏光板の設定角 β 、 γ に対するコントラスト分布のシミュレーション結果を示すが、上記実験結果をよく検証している。

これらの結果より、ポジ表示の一層型STN-LCDのコントラストは、偏光板の設定角が $\beta+\gamma=\pm 90^\circ$ かつ $\Phi=90^\circ-\delta$ (δ はセルに固有な値) において最大になることがわかった。この最大コントラストの得られる条件 Φ は、Fig.9で示

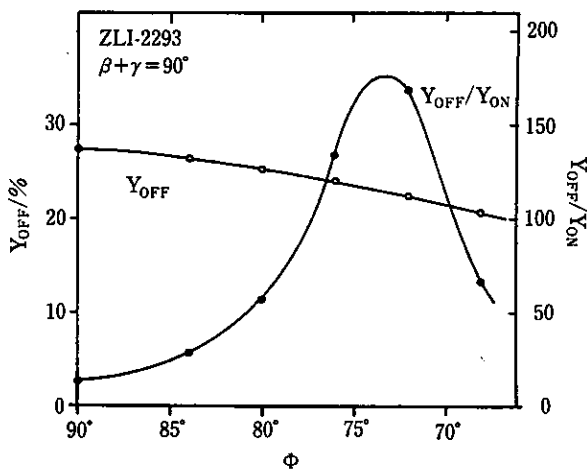


Fig. 10 Polarizer configuration dependence of the luminance Y_{off} and contrast ratio Y_{off}/Y_{on} measured under the condition that $\Delta n\cdot d=0.85\mu m$ and $\beta+\gamma=90^\circ$

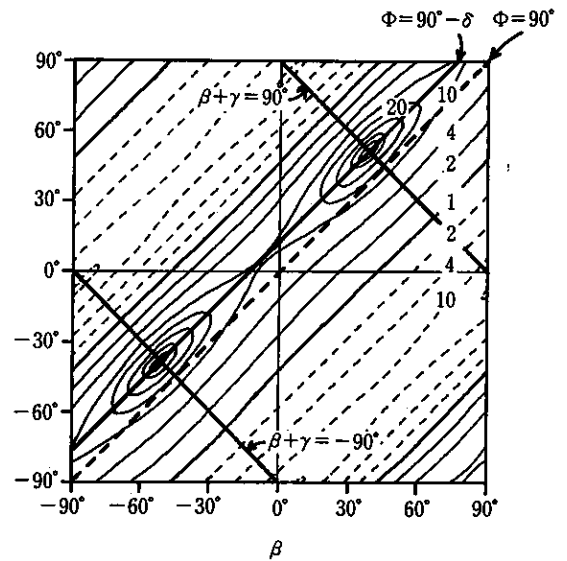


Fig. 11 Isocontrast plot of an STN-LCD as a function of the polarizer orientation angles, calculated under the condition that $\Delta n\cdot d=0.85\mu m$, $\langle\theta_{off}\rangle=25^\circ$, and $\langle\theta_{on}\rangle=55^\circ$. The broken lines represent negative contrast (Y_{on}/Y_{off}) and the continuous lines represent positive contrast (Y_{off}/Y_{on}).

された表示色の無彩色性の良好な領域にほぼ一致しており、この条件のもとで一層型STN-LCDとしては最もコントラストが高く無彩色性のよい表示が得られることになる。

(2) ティルト角依存性

次に、上記偏光板の最適設定角において得られる最大コントラストの大きさは何によって決まるか、また、 δ の値は何によって決まるかについて検討した。Fig.8,10から分かるように、OFF時の明るさ Y_{off} の変化は小さいので、コントラスト値はON時の漏れ光量 Y_{on} の大きさによって決まる。そこで、 Y_{on} の各パラメータに対する依存性を検討した結果、ON時の液晶の平均ティルト角に大きく依存することがわかった。Fig.12は $\beta+\gamma=90^\circ$ とした時の Φ の値とON時の液晶の平均ティルト角 $\langle\theta_{on}\rangle$ に対する Y_{on} の変化を三次元に表したものである。図中、 Y_{on} が極小値を与える点、即ち、最大コントラストを与える点の軌跡を破線で示す。また、Fig.13に Y_{on} と δ の $\langle\theta_{on}\rangle$ 依存性を示す。これらから、ON時の漏れ光量は $\langle\theta_{on}\rangle$ が高くなる程、顕著に小さくなり、またそれに伴い、 δ の値も小さくなることわかる。

ON時に液晶分子が基板に垂直に立ち上がれば、液晶層の示すリターデーションが零になり、液晶セルの旋光性がなくなるため、 $\Phi=90^\circ$ ($\delta=0^\circ$) で完全に非透過状態になる。しかし、実際には、ON時の液晶分子の立ち上がりは不完全であり、液晶層の示すリターデーションは零ならず、若干の旋光性を示す。従って、 δ は、この残留した液晶層のリターデーションによる旋光角を補正する角度と解釈できる。このことから、 δ の値は、セル内での液

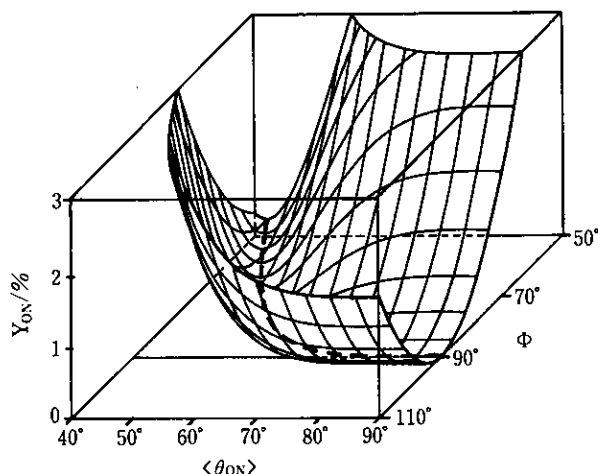


Fig. 12 Polarizer configuration and averaged tilt angle $\langle \theta_{on} \rangle$ dependence of the luminance Y_{on} calculated under the condition that $\Delta n \cdot d = 0.85 \mu\text{m}$ and $\beta + \gamma = 90^\circ$. The heavy broken line indicates the valley-bottom line.

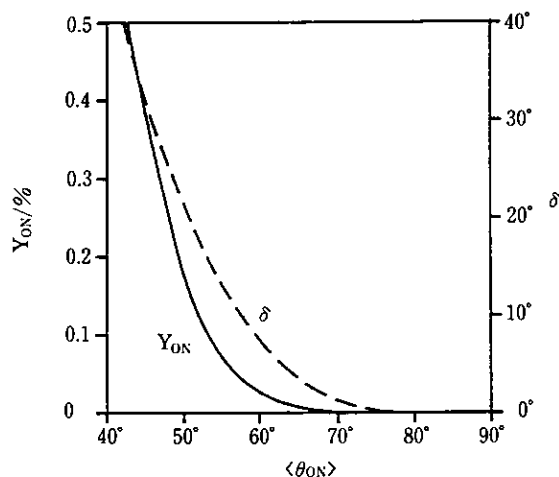


Fig. 13 The averaged tilt angle $\langle \theta_{on} \rangle$ dependence of the optimized luminance Y_{on} and the optimized parameter δ calculated for $\Delta n \cdot d = 0.85 \mu\text{m}$

晶のティルト角分布を決定する液晶物性値、プレティルト角、印加電圧、及び、リターデーションの大小に関わる $\Delta n \cdot d$ の値に依存することが理解できる。

このように、ON時の液晶の平均ティルト角が高くなる程、STN-LCDのコントラストは高まる。平均ティルト角はプレティルト角が高い程高くなるので、高いプレティルト角の設定が高コントラスト化にとって大変有利になる。ここで実験に用いた液晶セルにおいては、磁界電位法で測定したプレティルト角は、約40°であり、透過スペクトルの実測値と計算とのフィッティングにより見積もられる1/200duty駆動時の液晶分子の平均ティルト角は、 $\langle \theta_{off} \rangle = 25^\circ$ 、 $\langle \theta_{on} \rangle = 55^\circ$ である。ON時の液晶分子の立ち上がりがかかなり大きいため、100:1以上のコントラストが容易に得られる。これに対し、現在実用化されてい

るプレティルト角が10°以下の液晶セルにおいては、ON時の液晶の平均ティルト角は40°付近までしか立ち上がらず、他の条件を最適化しても20:1程度のコントラストしか達成できない。

4.3 最適化セルの表示特性

Table 2に最適化条件で試作したセルの表示特性を示す。また、Fig.14にはこのセルの透過スペクトルを示す。1/200 dutyの高マルチプレクス駆動においても、非常に高いコントラストが達成されている。尚、ここに示したコントラスト値はルミネンス値の比をとっているが、単一波長光に対する透過率コントラストをとると、500:1以上のコントラストが得られるので、この最適化セルは表示装置としてだけでなく、光シャッターとしての応用も考えられる。一方、表示色については、完全な無彩色化は不可能であるが、着色の程度はかなり小さく改善された。

Table 2 Display characteristics of an optimized STN-LCD cell

LUMINANCE	Y_{OFF}	21.6%
CONTRAST	Y_{OFF}/Y_{ON}	240
CIE COLOR	(x, y)	(0.27, 0.33)

$\alpha = 270^\circ$, 1/200duty
 $(\beta, \gamma) = (38^\circ, 52^\circ)$
 $\Delta n \cdot d = 0.79 \mu\text{m}$

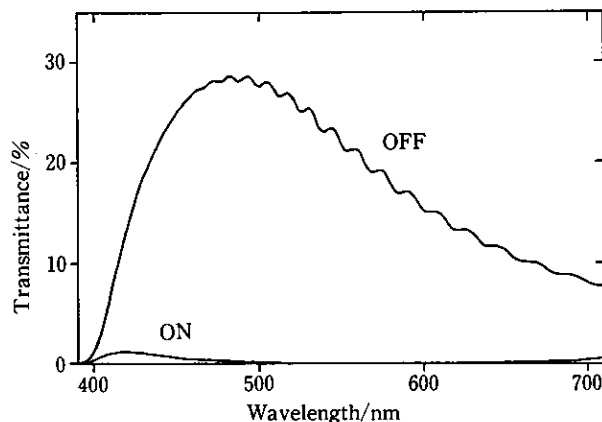


Fig. 14 Transmittance spectra of an optimized STN-LCD

5

むすび

一層型STN-LCDにおいて、パラメータの最適化実験とシミュレーションとにより、表示の無彩色化と高コントラスト化の検討を行った。その結果、 $\Delta n \cdot d$ を適切な範囲に設定することにより、明るく着色の薄い表示が得られること、また、プレティルト角を高く設定し、偏光板を適切に設定することにより、1/200duty駆動においても100:1以上の高コントラストが達成できることを示した。尚、

現在、均一に高いプレティルト角が得られる配向処理法としては、斜方蒸着法のみが知られているが、製造コストが高くなるので、より安価な配向処理法を現在開発中である。

●参考文献

- 1) T.J.Scheffer, J.Nehring, M.Kaufmann, H.Amstutz, D.Heimgartner and P.Eglin, SID '85Digest, p120(1985).
- 2) K.Kinugawa, Y.Kando, M.Kanasaki, H.Kawakami and E.Kaneko, SID '86Digest, p122(1986).
- 3) O.Okamura, M.Nagata and H.Wada, ITEJ Technical Report, 11(27), 79(1987).
- 4) M.Schadt and F.Leenhouts, Appl.Phys.Lett.,50,236(1987).
- 5) 原、尾台、葉波、岩佐、信学技報、Vol.87,No.363,pl(1988).
- 6) K.Asano, K.Arai and S.Nishi, Japan Display '86, p392(1986).
- 7) H.Ong, Appl.Phys.Lett.,51,1398(1987).