

TFT-LCDの広視野角化技術

Wide Viewing Angle Technologies of TFT-LCDs

向 殿 充 浩*

Mitsuhiro Kodon

要 旨

近年, TFT-LCDの視野角は急速に改善されてきた。広視野角化技術には, ネマティック液晶の配向・スイッチングを改良した方式, スメクティック液晶を用いる方式, 光学補償板を用いる方式, フォトルミネッセンス方式などがある。本稿では, これらの広視野角化技術についてレビューする。

Recently, the viewing angle of TFT-LCDs has been drastically improved. The wide viewing angle technologies are classified into the modifications of molecular orientation and switching in nematic LC, the utilization of smectic LC, the application of optical compensation film, the photo-luminescent method, etc. This paper reviews these wide viewing angle technologies.

まえがき

液晶ディスプレイ(LCD)が, 時計, 電卓, ワープロ, ビデオカメラなどの従来の応用分野からノートPC, デスクトップPC, テレビへと応用分野を拡大してきている背景には, コストダウンもさることながら, 液晶ディスプレイの表示品位の急激な向上がある。特に, 視野角の急速な改善は, コントラスト・輝度・表示容量・画面サイズの向上とともに, 液晶ディスプレイの普及に大きな役割を果たした。

液晶ディスプレイは分子構造的に異方性を持つ棒状の液晶分子の配向変化を透過光量変化に変換したものであるため, 等方的な視野角特性は原理的に得られない。実際, 1980年代後半にTFT-LCDが商品化された当初, 用いられた液晶表示モードはTN(Twisted Nematic)表示モード¹⁾であったが, 視野角はかなり狭いものでしかなかった。しかし, 1990年代に入り, さまざまな方式が提案・開発され, 現在, 視野角特性

は大きく改善されている。

以下, 第1節においてTN表示モードの視野角が狭い理由について説明し, 第2節において代表的な広視野角化技術を紹介する。

1. TN表示モードの視野角が狭い理由

TN表示モードは, 液晶分子を 90° ねじって水平配向させ, 電界印加によって分子を基板面に垂直方向に立ち上がらせる表示モードである(図1)。通常, 電圧無印加時(オフ状態)に明表示, 十分な電圧印加時(オン状態)に暗状態となるように偏光板を設定する(ノーマリホワイト方式)。

図1(a)の電圧無印加時には, 一方の偏光板を通ってきた直線偏光は, 液晶のねじれ配列に沿って偏波面を回転する。これを旋光性というが, このねじれ状態による旋光性は多少斜めに光が入射するときも維持される。

一方, 十分な電圧を印加したとき(図1(c))には, ねじれ状態は消失し, 一軸性の複屈折媒体となる。この場合, 光軸は基板に垂直な方向となるため, 基板に垂直な方向から見た場合には暗状態となる。しかし, 斜めから観察すると複屈折性が生じるため, 光が漏れ, 完全な暗状態とならない。

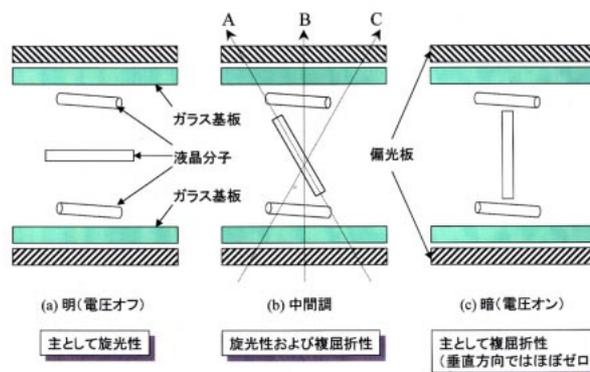


図1 TN型液晶表示モードの原理

Fig. 1 The principle of TN mode.

* 技術本部 エコロジー技術開発センター

図1(b)に示す中間状態では、旋光性と複屈折性が混在し、電圧の増加とともに複屈折性が支配的となる。例えば、ABCの各方向から見た場合を比較すると、A方向でもっとも複屈折成分が高く、それぞれの方向で透過光量が異なることになる。

2. 広視野角化技術

これまでにさまざまな広視野角化技術が開発されている。以下の節で、それらについて紹介する。

2.1 ネマティック液晶の分子配向、スイッチングを改良した方式

2.1.1 マルチドメイン方式

マルチドメイン方式は、1画素の中に、配向状態の異なる複数のドメイン領域を形成する方法である。

例えば、小林らは、ラビングしない配向膜を用いてマルチドメインを作るアモルファスTN法を提案している(図2)²⁾。これは従来のTN液晶のラビング処理を省略したもので、液晶分子は基板に平行になっているが、分子軸の方向はドメインごとに異なっている。このため、電界を印加したときの分子の立ち上がり方向がランダムであり、見る方向による差をなくすることができる。

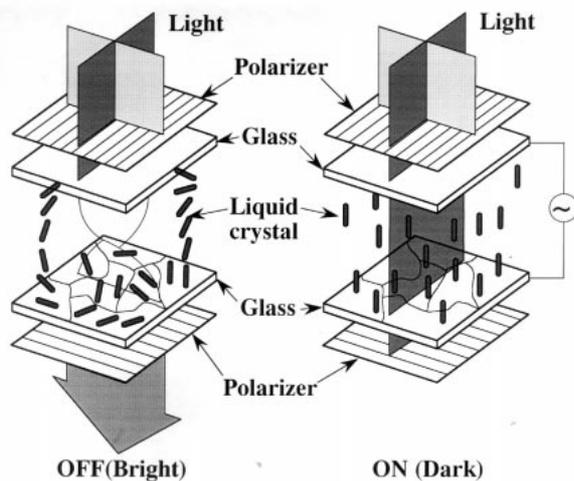


図2 アモルファスTN法²⁾
Fig. 2 The amorphous TN method.

住吉らは、表示画素を配向分割し、分子の立ち上がり方向を変えるC-TN法³⁾を提案している(図3)。この方式では、一方の基板には従来と同じ低プレティルトの配向膜を形成する。もう一方の基板には、高プレティルトの配向膜を形成し、プレティルトの向きの異なる2つのドメインに分ける。電圧を印加したとき分

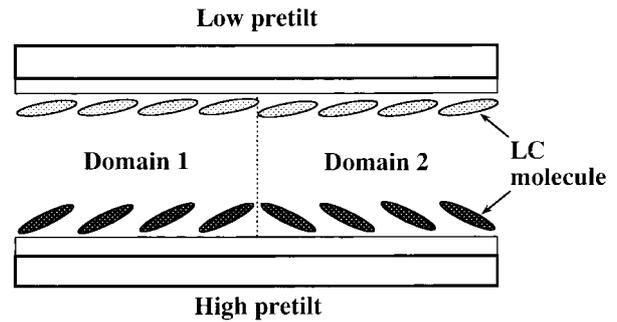


図3 C-TN法³⁾
Fig. 3 The C-TN method.

子の立ち上がり方向は2つのドメイン間で逆となりTN液晶の視野角依存性が補償される。

さらに最近には図4に示すように、TN配向の4つのドメイン領域を1画素内に作製する方法が提案、検討されている。作製方法としては、キラル化合物を添加せず、非常に低いプレティルト角の配向膜を用いて、不均一電界を印加しつつ等方性液体状態から冷却する方法⁴⁾、液晶にモノマーを添加し、電界印加状態で光重合する方法(高分子安定化法)⁵⁾などが報告されている。

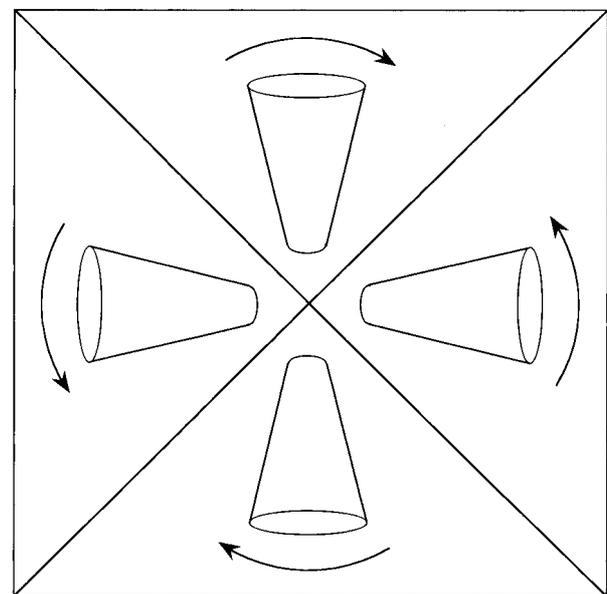


図4 配向4分割法^{4) 5)}
Fig. 4 The 4-domain method.

また、吉田らは、高分子分散型液晶に偏光板を組み合わせるPDN-LCD⁶⁾を提案している(図5)。液晶とモノマーの混合物に光照射し、重合による相分離を利用して高分子分散型液晶を作製する。電界無印加時には液晶分子はランダムな方向を向いており、入射光の偏光状態を変化させる。電界を印加すると、液晶は

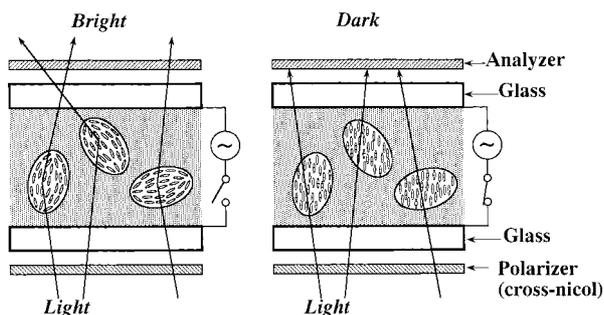


図5 PDN-LCD⁶⁾
Fig. 5 The PDN-LCD.

基板に垂直になり、入射光の偏光状態を変化させない。この方法でも、分子の配列および立ち上がり方向がランダムなため、視野角が拡大される。

2・1・2 ASM

山田らは、ホモジニアス配向のネマティック液晶を壁で囲い込む軸対称マイクロセル (ASM: Axial Symmetric Micro-Cell)⁷⁾ を提案している。軸対称マイクロセル (ASM) は、液晶と重合性樹脂の混合物の相分離によって作製する。重合性樹脂による壁はUV照射によって作製する。ASMセルの構造と分子配列を図6に示す。ネマティック液晶には、基板間で90°ツイストに必要なキラル化合物が添加される。ASM法では、軸対称配向のため広い視野角が得られ、しかもモノドメイン配向であるため、ディスクリーションが発生しないという利点がある。図7に、従来のTNとASMの視野角依存性を示す。ASM法によって、広い視野角で高いコントラストが得られ、しかも方向依存性がなくなっていることが分かる。

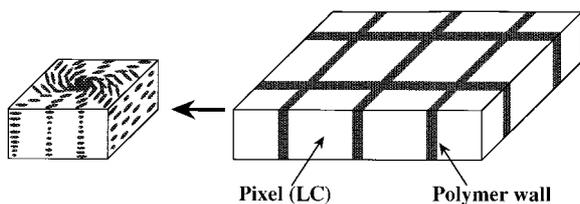
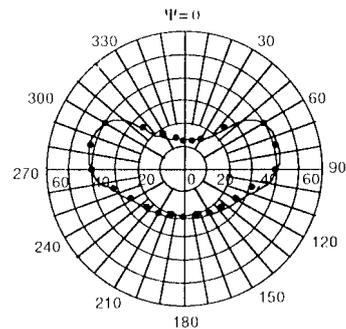


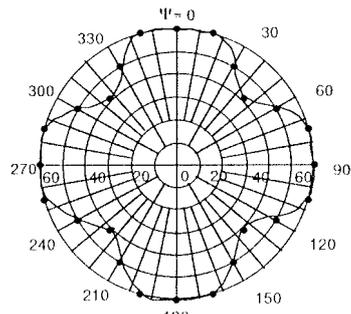
図6 ASM法⁷⁾
Fig. 6 The ASM method.

2・1・3 IPS

IPS (In-Plane Switching) 方式⁸⁾ は、ガラス基板に対して水平方向の横電界を用いて液晶分子をスイッチングさせる方式である (図8)。液晶分子が斜めに立ちあげることがないため、見る角度による光学特性の変化が小さく、広視野角が得られる。



(a) TN-LCD



(b) ASM-LCD

図7 TN液晶とASM法の視野角依存性⁷⁾
Fig. 7 The viewing angles of normal TN and ASM mode.

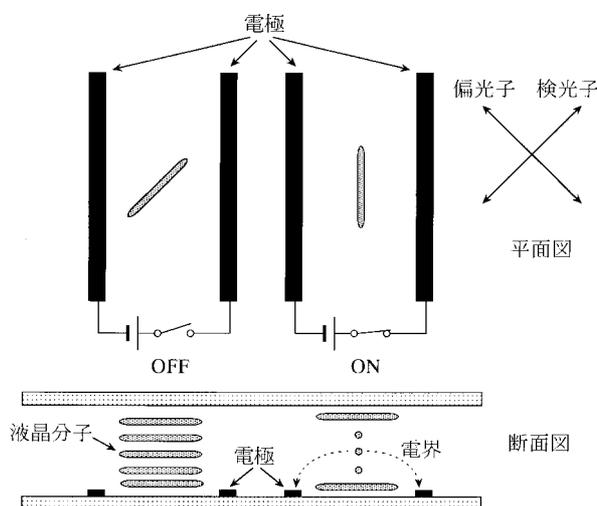


図8 IPSモード⁸⁾
Fig. 8 The IPS mode.

2・1・4 OCB

OCB (Optically Compensated Birefringence) 方式⁹⁾ は、図9に示すようにベンド配向と光学補償フィルムを組み合わせる。図9に示す配向を得るためには、プ

レティルト角をつけたホモニアス配向にバイアス電圧を印加することが必要である。OCBセルは視野角が広いだけでなく、応答速度が速いという特徴も有している。TNセルの場合、通常、応答速度は10～20msであり、中間調間の応答速度は200ms近くまで達する。これに対して、OCBセルでは、応答速度が2ms程度であり、中間調間の応答速度も10ms以下である。

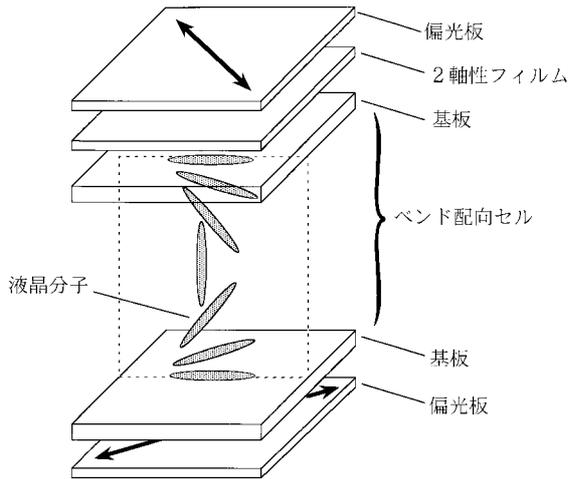


図9 OCB⁹⁾
Fig. 9 The OCB mode.

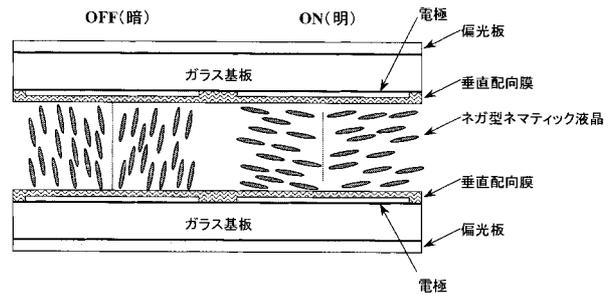
2・1・5 VA

VA (Vertically Aligned) 方式¹⁰⁾は、垂直配向膜と負の誘電異方性を有するネマティック液晶とを組み合わせる(図10)。従来のTN方式と異なり、無電界時に液晶分子が基板に対してほぼ垂直になるため、正面から見た無電界時の黒レベルがクロスニコル偏光板の特性と同等となり、非常に高いコントラストが可能となる。大室らは、この方式と配向分割技術を組み合わせ、上下左右140°の視野角特性を報告している。また、高コントラスト(300:1)、高速応答速度(25ms)があわせて実現できるのも特徴である。

また、最近では、正の誘電異方性のネマティック液晶と横電界を用いるEOC (Electrically-induced Optical Compensation) モード方式¹¹⁾¹²⁾(図11)も発表されている。

2・2 スメクティック液晶を用いる方式

強誘電性液晶(FLC: Ferroelectric Liquid Crystal)¹³⁾は基本的にインプレインスイッチングであるため視野角が広い。通常、キラルスメクティックC液晶相を2μm程度の薄いセルに注入し、螺旋をほどいた状態で用いる。強誘電性液晶は自発分極を有しているため、μsオーダーの高速応答が得られる。仁藤らは、単安定状



VAモード

図10 VA¹⁰⁾
Fig. 10 The VA mode.

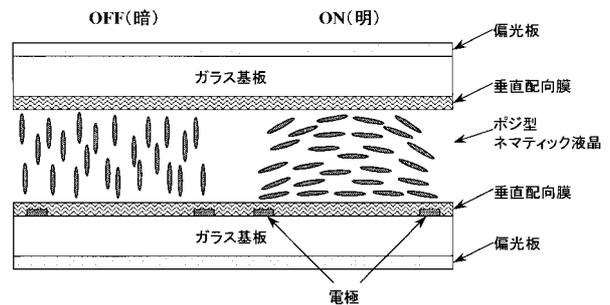


図11 EOCモード¹¹⁾
Fig. 11 The EOC mode.

態の強誘電性液晶を用いてフル階調を実現し、poly-Si-TFT駆動の0.7型ディスプレイを試作している¹⁴⁾。これは強誘電性液晶の分子長軸の位置を電界によって制御したものである(図12)。また、寺田らは、INC相系列を用いた単安定強誘電性液晶を開発し、動画対応カラーパネルを試作している¹⁵⁾。

DHF (Deformed Helix Ferroelectric) という強誘電性液晶モードを用いたアクティブ駆動型強誘電性液晶も

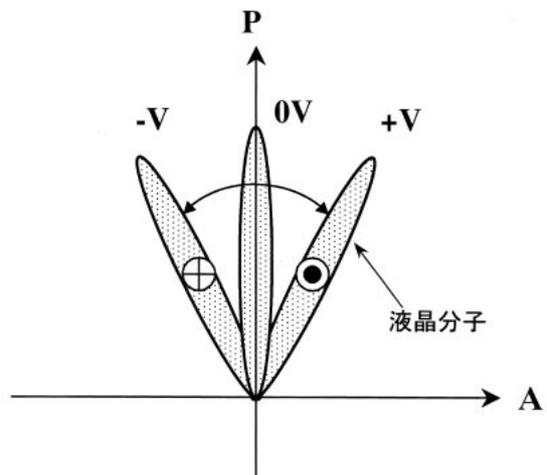


図12 単安定強誘電性液晶を用いたフル階調表示の原理¹⁴⁾
Fig. 12 The principle of monostable FLC showing full gray scale.

報告されている¹⁶⁾。このモードでは、スメクティックC液晶相での螺旋ピッチが可視光より短い液晶を用いる。このため、セル内では螺旋配向をとっているが、螺旋ピッチが可視光より短いため、螺旋軸の方向(通常、ラビング方向)が無電界時の消光位となる。これに電圧を印加すると、電圧に応じて透過光量が変化するため、アクティブ駆動によってフル階調を実現できる。

反強誘電性液晶も、強誘電性液晶同様に高速応答性と広視野角(インプレインスイッチング)という特徴があり、アクティブ駆動LCDへの応用が研究されている。反強誘電性液晶も強誘電性液晶同様、自発分極と電圧の相互作用によってスイッチングし、ある種の材料ではV字型の電圧-透過率曲線(図13)を示す¹⁷⁾。この特性を用いてa-Si-TFT駆動の反強誘電性液晶ディスプレイが試作されている¹⁸⁾¹⁹⁾。

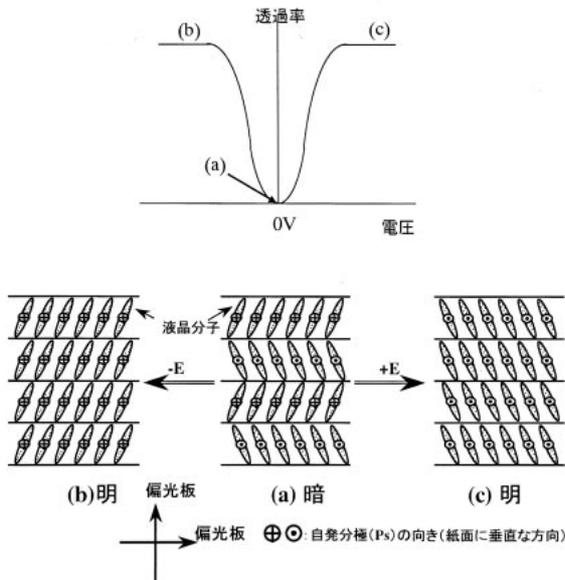


図13 反強誘電性液晶によるフル階調表示の原理¹⁷⁾
Fig. 13 The AFLC showing full gray scale.

2・3 光学的補償方式

光学補償フィルムによる広視野角化技術も進展している²⁰⁾²¹⁾。これは、図14に示すように、光学的に負の一軸性化合物を配向角度が厚み方向で連続的に変化するように配列させたフィルムを用いる方法である。このような光学補償フィルムは、支持体上に設けた配向膜とその上に負の一軸性化合物である円盤状化合物をハイブリッド配向させた光学異方性層から構成される。円盤状化合物としては、ディスコティック液晶タイプの化合物を用いることができる。

2・4 フォトルミネッセントLCD

カラーフィルタの代わりに蛍光体を用いて広視野角

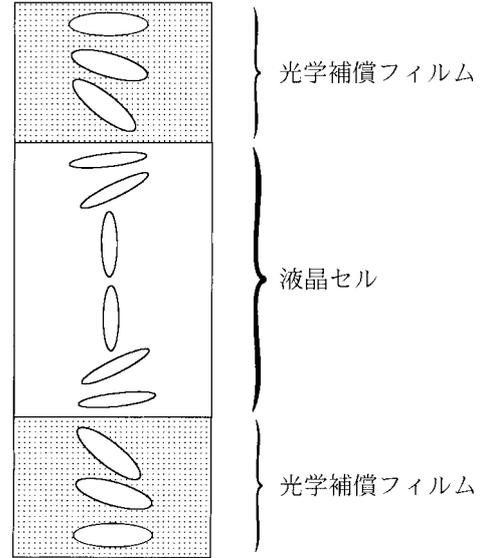


図14 光学補償方式²⁰⁾²¹⁾
Fig. 14 The optically compensation method.

LCDを作る試みとして、フォトルミネッセントLCD(PL-LCD: Photo-Luminescent LCD)²²⁾が提案されている。図15に示すように、紫外光源からの出射光を液晶で変調し、液晶を通った光が蛍光体に当たり、蛍光が発生する。蛍光の発光方向が等方的なため、原理的に広視野角が可能である。

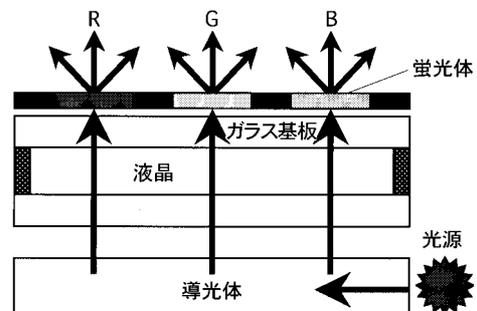


図15 フォトルミネッセントLCD²²⁾
Fig. 15 The photo-Luminescent LCD.

むすび

本稿では最近活発に開発されてきた各種の広視野角化技術をレビューした。

最近では配向分割と光学補償フィルムの組み合わせによる"Super-V"(SV)方式²³⁾、これをさらに改良した"Advanced Super-V"(ASV)方式²³⁾が開発され、ASV方式においては、上下左右160°の広視野角(コントラスト10:1以上)、最大コントラスト300:1以上、応答速度25msが達成されている。

参考文献

- 1) M. Schadt and W. Helfrich, Appl. Phys. Lett., 18, 127(1971)
- 2) 小林駿介, 液晶若手研究会講演会「2000年の液晶研究」予稿集, 1(1994)
- 3) K. Sumiyoshi, K. Takatori, Y. Hirai and S. Kaneko, J. SID, 2, 31 (1994)
- 4) H. Murai, M. Suzuki and S. Kaneko, Proc. Euro Display '96, 159 (1996)
- 5) J. Li, J. Chen and P. J. Bos, Proc. Euro Display '96, 460(1996)
- 6) H. Yoshida, K. Nakamura, H. Tsuda, M. Ohashi, I. Tomita and M. Okabe, J. SID, 2, 135(1994)
- 7) N. Yamada, S. Kohzaki, F. Funada and K. Awane, SID '95 Digest, 575(1995)
- 8) R. Kiefer, B. Weber, F. Windscheid and G. Baur, Proc. Japan Display '92, 547 (1992); M. Oh-e, M. Ohta, S. Aratani and K. Kondo, Proc. Asia Display '95, 577(1995)
- 9) T. Miyashita, P. J. Vetter, Y. Yamaguchi and T. Uchida, J. SID, 3 (1), 29(1995)
- 10) K. Ohmuro, S. Kataoka, T. Sasaki, Y. Koike, SID 97 Digest, 845 (1997)
- 11) K. Hyeon, S. B. Park, J. Shim, J. Chen and J. H. Souk, Proc. IDW'97, 175(1997)
- 12) S. H. Lee, H. Y. Kim, T. K. Jung, I. C. Park, Y. H. Lee, B. G. Rho, J. S. Park and H. S. Park, Proc. IDW'97, 97(1997)
- 13) N. A. Clark and S. T. Lagerwall, Appl. Phys. Lett., 36, 899 (1980)
- 14) K. Nito, T. Fujioka, N. Kataoka and A. Yasuda, Proc. AM-LCD'94, 48(1994)
- 15) 寺田匡宏, 門叶剛司, 浅尾恭史, 森山孝志, 中村真一, 伊庭潤, 第46回応用物理学連合討論会予稿集, 1316(1999)
- 16) T. Tanaka, K. Sakamoto, K. Tada and J. Ogura, SID'94 Digest, 430 (1994); A. G. H. Verhulst, G. Cnossen, J. F nfschilling and M. Schadt, J. SID, 3(3), 133(1995)
- 17) S. Inui, N. Iimura, T. Suzuki, H. Iwane, K. Miyachi, Y. Takanashi and A. Fukuda, J. Mater. Chem. 6(4) 671(1996)
- 18) T. Yoshida, T. Tanaka, J. Ogura, H. Wakai and H. Aoki, SID 97 Digest, 841(1997)
- 19) R. Hasegawa, H. Fujiwara, H. Nagata, T. Saishu, R. Iida, Y. Hara, M. Akiyama, H. Okumura and K. Takatoh, Proc. AM-LCD'97, 119(1997)
- 20) 伊藤宏之, 「次世代LCD技術の展望」, 第1回JALCSテーマ講演会, 25(1996)
- 21) H. Mori, Y. Itoh, Y. Nishiura, T. Nakamura and Y. Shinagawa, Proc. IDW'96, 189(1996)
- 22) W. A. Clossland, I. D. Springle and A. B. Davey, SID 97 Digest, 837(1997)
- 23) J. Pollack, Information Displays, 15(2), 16(1999)

(1999年5月14日受理)