

電圧保持率に及ぼす諸要因

Factors Influencing the Voltage Holding Ratio

石原 將市*

Shoichi Ishihara

要 旨

アクティブマトリクス型液晶表示素子は高品位表示が可能なディスプレイである。本方式では、各画素に印加された電圧をフレーム周期間減衰なく保持することが重要であり、これにより表示品位が決定付けられると言っても過言ではない。

本稿では上記電圧保持率に対する液晶材料，配向膜材料，表示モード，駆動方式の影響をレビューする。

Active-matrix LCDs can provide high quality display. Here, it is quite important to hold the applied voltage without attenuation during a frame period, and this voltage holding ratio (VHR) influences the display quality significantly.

Influences of liquid crystals, alignment materials, display modes, and driving schemes on VHR are reviewed in this paper.

まえがき

コンピュータ関連技術の発展に伴って、高度情報化社会におけるマン・マシンインターフェースの一つであるディスプレイの役割はますます大きくなってきている。なかでも液晶表示素子 (LCD) は、薄型、軽量、低消費電力を特徴としたディスプレイであり、環境保全・省エネルギーの観点よりますますその重要性が増してきている。

各画素に薄膜トランジスタ (TFT) 素子が配置されたアクティブ型液晶表示素子は高品位な表示が可能であり、平板型大画面ディスプレイに向けての研究開発が盛んに行われている。

図1は典型的なTFT-LCDの画素構成を示している。TFTを用いたアクティブマトリクス型液晶表示素子においては、TFTがオンになった時、信号電圧 V_s はTFTを通じてドレイン電圧 V_d として画素電極に印加される。この時、電極間に充電された電荷量は、種々の要因にて時間とともに減衰し、液晶層に所定の電圧が印加されなくなるという問題が起こる。この時、充電された電荷が1フレーム (16.7ms) の間にどれくらい保持されるかを示すのが電圧保持率

(Voltage Holding Ratio : 以下、VHR と略す) であり、電荷保持率 (Charge Retaintivity) とも言う。

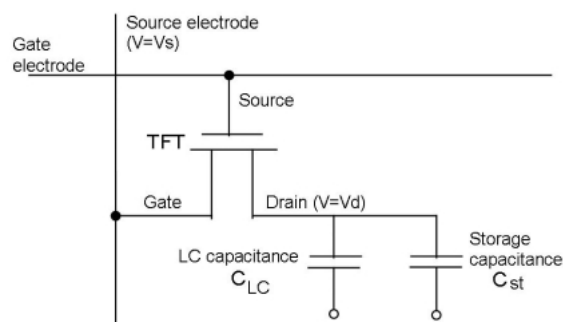


図1 TFT-LCD画素の等価回路

Fig. 1 Equivalent circuit of a TTF-LCD pixel.

この現象は、駆動電圧の上昇、消費電力の増加、コントラストの低下、信頼性の低下等を引き起こすのみならず、表示むら、あるいは色変わりの原因にもなるため、様々な角度から問題解決に向けての取り組みが行われている。

* ディスプレイ技術開発本部，ディスプレイ材料技術研究所，第1研究部

1. 電圧保持率(VHR)の定義

液晶セルに印加する駆動電圧 V_0 と電極間電位 V との関係を図2に示す。

ここにおいて VHR は、1フレーム期間中に充電された電荷が保持される割合であり、下式(1)で定義される。

$$VHR = \frac{SI}{SI+S2} \tag{1}$$

また、 VHR 測定回路を図3に示す。評価セルには、各フレーム毎に選択期間(一般には $60 \mu s$)の間のみ所定の電圧が印加され、非選択期間の間電極間電位がモニタされる。

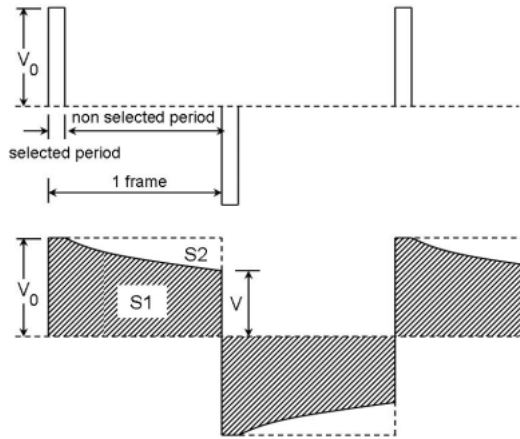


図2 印加電圧波形と電極間電位の変化
Fig. 2 Change of electric potential between electrodes with an applied voltage.

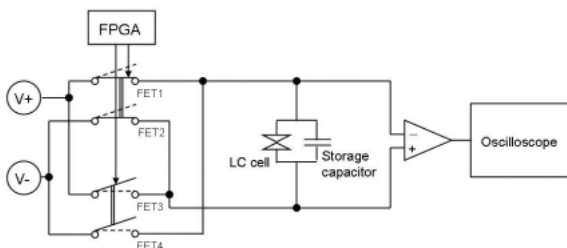


図3 電圧保持率測定システム
Fig. 3 VHR measurement system.

2. 電圧保持率に影響を及ぼす諸要因

液晶表示素子の評価項目の一つとして、 VHR が提案¹⁾されてから17年が経過している。この間、 VHR に影響を及ぼす多くの要因が報告されてきた(図4参照)が、現象を統一的に解釈出来るモデルは、まだ提案されていない。



図4 電圧保持率に及ぼす諸要因
Fig. 4 Factors which influence on the voltage holding ratio.

これまでのところ、充電電荷減衰のメカニズムは、大別して図5のごとく考えられている。即ち、①バルク液晶層の CR 時定数に基づくもの、②液晶-配向膜界面に吸着された液晶分子による配向分極²⁾、あるいはイオン性不純物等により界面に形成された電気二重層による逆電場³⁾に基づくもの、③前記界面での液晶分子が、バルク中央での液晶層に遅れて動く、いわゆる誘電損失⁴⁾に基づくものの3つである。

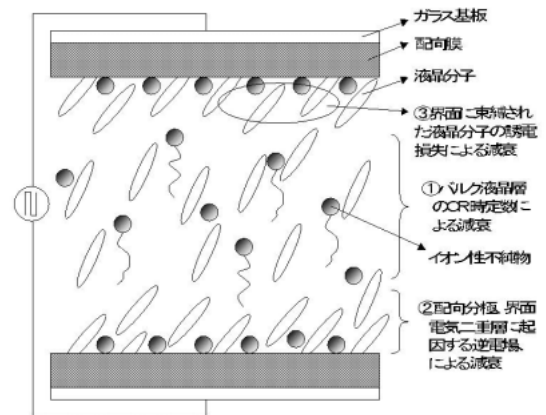


図5 液晶セルにおける充電電荷減衰モデル
Fig. 5 Attenuation model of the stored charge in a liquid crystal cell.

2.1 液晶材料の影響 2.1.1 液晶抵抗率

充電電荷が容量 C と抵抗 R との積である CR 時定数のみでもって保持されるとした時、 VHR は下式(2)で表される。

$$VHR = \frac{\int_0^t V_0 \exp\left(-\frac{t}{CR}\right) dt}{\int_0^t V_0 dt} \tag{2}$$

いま、液晶セル（容量一定とする）に5Vを印加した時の電極間電位の時間変化を液晶材料抵抗率 ρ をパラメータとして計算した結果を図6に示す。

また、図7は抵抗率 ρ と電圧保持率VHRとの関係を、液晶材料誘電率 ϵ をパラメータとして計算したものである。現行フッ素系液晶材料の誘電率はおよそ5~8であり、99%以上の電圧保持率を得るためには、 $10^{12} \Omega \text{ cm}$ 以上の抵抗率が必要なことが分かる。

イオン性不純物の移動度は $2.8 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{Vs}$ 程度であり⁵⁾、通常の60Hz駆動ではイオンは対向電極に到達しない⁶⁾。セル電圧減衰の動的挙動は、(イオンの再結合、再解離、配向膜上への吸着を考慮しなくとも)イオン分極により誘起される内部電場変化と液晶再配向に起因する容量増加で説明される⁷⁾が、実際のLCDではイオン性不純物の配向膜表面への吸着もあり、これらを含めた計算も行われている⁸⁾。

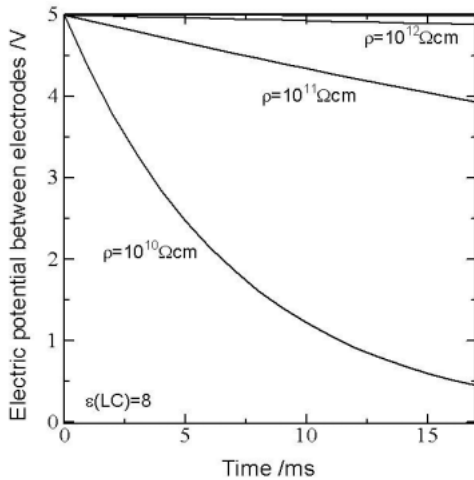


図6 電極間電位の時間変化（計算値）
Fig. 6 Change of the electric potential between electrodes with time (calculated).

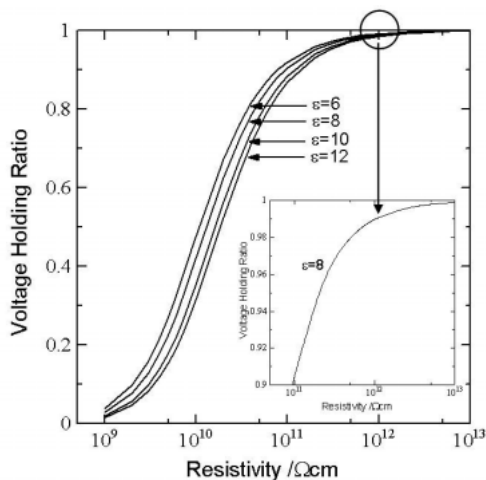


図7 液晶抵抗率と電圧保持率（計算値）
Fig. 7 Relationship between LC resistivity and voltage holding ratio (calculated).

図6、及び図7より高抵抗な液晶材料が高電圧保持特性を示すことは明かであるが、電圧保持率は液晶材料と配向膜材料との組み合わせで大きく変わることも知られている^{9) 10)}。このことは、VHRは液晶と配向膜の界面現象に関係していることを示唆している。

図1の等価回路において蓄積容量 C_{st} の大きさを変化させた時の電圧保持率の変化を図8に示す。蓄積容量 C_{st} は、大きければ大きいほどVHR向上に効果はあるが、開口率低減、充電が困難になるなどの問題も出てくるためセル設計の最適化が必要である。

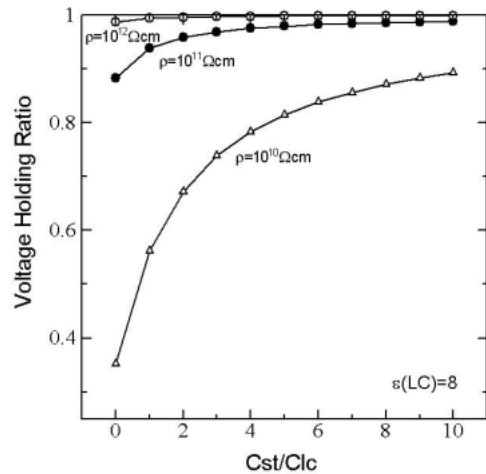


図8 蓄積容量比と電圧保持率（計算値）
Fig. 8 Relationship between storage capacitance ratio and voltage holding ratio (calculated).

2・1・2 液晶分子構造

配向膜のないセルでは、VHRはp型液晶分子含有割合（液晶材料誘電率異方性 $\Delta \epsilon$ の大きさ）に依存せずCRで決められるが、配向膜付きのセルでは $\Delta \epsilon$ とVHRは相関があり、しかも、CN系に比べF系液晶は高電圧保持率を示す¹⁰⁾（図9）。F系液晶ではイオン性不純物の取り込み、及びその拡散係数が小さいことによるものと思われる。

更に、F系液晶のなかでも分子内の分極が小さいものほど高いVHRを示す。即ち、VHRの大きい順に液晶構造を並べると、アルキル系>エーテル系~ジオキサン系>エステル系となる¹¹⁾。

また、 $\Delta \epsilon$ が同じでも液晶の骨格構造（PCH系、エステル系）によりイオン性化合物のVHRに及ぼす影響が異なる。イオン性化合物が求核性の強い脂肪族アミンの場合、PCH系液晶では漏れ電流は殆ど変化しないが、エステル系液晶の場合は、漏れ電流が増大する¹²⁾。

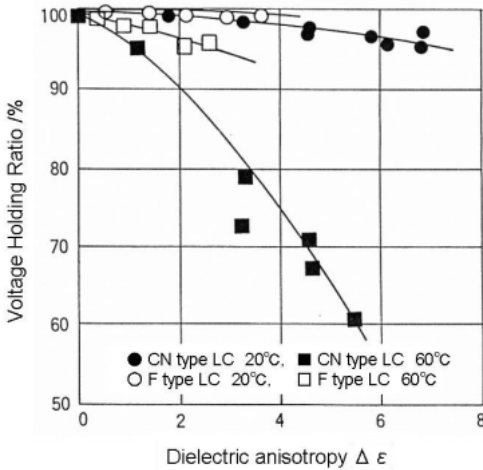


図9 誘電率異方性 Δε と電圧保持率¹⁰⁾
 Fig. 9 Relationship between dielectric anisotropy of LC materials and voltage holding ratio.

また、極性の強い配向膜表面には、シアノビフェニル系液晶や末端フッ素系液晶などの極性液晶が吸着し¹³⁾、強誘電体層が形成される²⁾ことが知られている。イオン性不純物や極性液晶により形成されるこのような電気二重層が VHR を低下させている。

一方、強誘電性液晶や反強誘電性液晶のように自発分極を有する液晶を TFT で駆動する場合には、液晶の応答時間が書き込み時間よりも大きい場合に、反電場により保持電圧が低下する現象が起こることが知られている^{14) 15)}。図10に強誘電性液晶 ZLI-5014/100 (メルク社製, 25°C, 5V 印加) の電圧保持特性を示す。

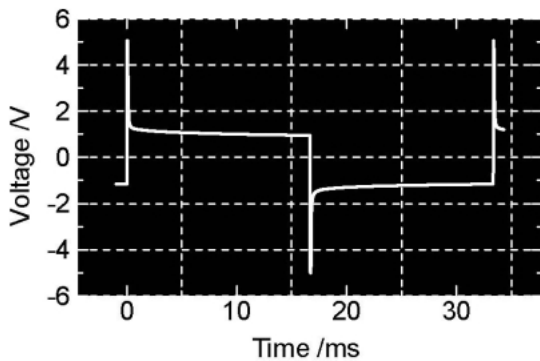


図10 強誘電性液晶の電圧保持特性
 Fig. 10 Voltage holding property of ferroelectric liquid crystal.

2・2 配向膜材料の影響

液晶材料抵抗率と VHR とは必ずしも相関が取れない¹⁾が、これは配向膜表面に吸着されるイオン性不純物により形成される電気二重層での逆電場や誘電損失、及び配向膜材料から液晶中に溶出する不純物の影響によるものと思われる。

表1は液晶材料としてシアノ系液晶を用いた時の配向膜材料分子構造と VHR との関係を示したものである⁹⁾。表面極性が大きくなるにつれ、VHR が小さくなることから分かる。このことは、配向膜のイミド化率が高ければ高いほど VHR が高くなることを意味している。

表1 ポリイミドの分子構造と電圧保持率⁹⁾
 Table 1 Molecular structure of the polyimide and the voltage holding ratio.

ポリイミド	テトラカルボン酸成分	ジアミン成分	電圧保持率 (%)
PI-A		H ₂ N--NH ₂ (DDM)	98.6
PI-B	*	H ₂ N--NH ₂ (POP)	94.9
PI-C	*	H ₂ N--NH ₂ (PSP)	97.5
PI-D	*	H ₂ N--NH ₂ (P2SP)	95.8
PI-E	*	H ₂ N--NH ₂ (P3SP)	88.4
PI-F	*	H ₂ N--NH ₂ (P4SP)	85.8
PI-G	*	H ₂ N--NH ₂ (FSA)	87.5
PI-H	*	H ₂ N--NH ₂ (FDA)	97.1
PI-I	*	H ₂ N--NH ₂ (BAPP)	90.3
PI-J		H ₂ N--NH ₂ (DDM)	86.4
PI-K	*	H ₂ N--NH ₂ (POP)	72.2

また、酸無水物として TCA や NDA を用いた脂肪族系ポリイミドは、酸無水物として PMDA や BTDA などを用いた芳香族系ポリイミドに比べ、優れた VHR 特性を示す¹⁶⁾ことが報告されている。

一方、ジアミン成分としては、中央基が -C(CF₃)₂-, -CONH-, -O-, -CH₂- の順に VHR が大きくなるとの報告もなされている¹⁷⁾。

一般に、ラビング回数増加で VHR は低下するが、これは膜表面の汚染が原因であり、メタノール洗浄により回復する⁴⁾。

高温高湿処理によりシール部より進入した水分によりポリイミド配向膜が加水分解され、ポリアミック酸が生成されシール部周辺で VHR が低下し、輝度ムラとなる報告例もあり¹⁸⁾、シール材料、及びシール部構造にも注意が必要である。

2・3 駆動方式の影響

液晶表示素子の消費電力 P は駆動周波数を f、セルの容量を C、抵抗を R、印加電圧を V とすると、 $P=f \cdot C \cdot V^2 + V^2/R$ で表されるので、駆動周波数を低減することで液晶表示素子の低消費電力化が可能となる。多層誘電体モデルによれば、 $\epsilon_{pi} \cdot \rho_{pi} = \epsilon_{lc} \cdot \rho_{lc}$ となるように材料設計することにより液晶層に印加される実効電圧を一定にすることが出来る(充電電荷の減衰を無くすことが出来る)¹⁹⁾。

IPSセルはTNセルに比べて、高い電圧保持特性を示す²⁰⁾。図11はIPSセルの等価回路モデルである。TNセルでの電圧保持率は液晶／配向膜の相互作用や配向膜の分極特性も大いに関連するものの、液晶の抵抗と容量の積である蓄積電荷の緩和の時定数で決定される。これに対してIPSセルではガラス基板の容量が液晶層と電気的には並列に存在すると見なすことができる。即ち、これら絶縁層が蓄積容量としての機能を果たすため、IPSセルはTNセルに比べて、高い電圧保持特性を示す。図12にIPSセルとTNセルの電圧保持率を比較する。

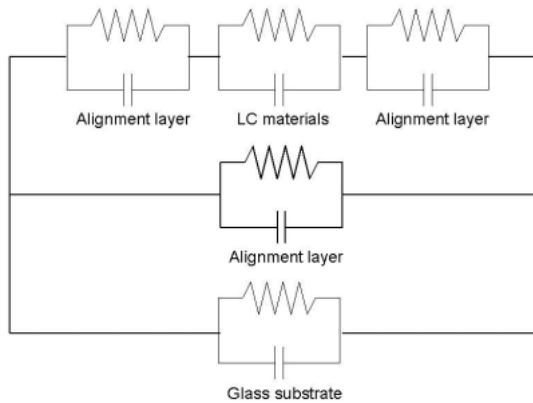


図11 IPSモードLCD画素の等価回路
Fig. 11 Equivalent circuit of a pixel of the IPS mode LCD.

する（極小値を示す）電圧値が異なるが、この現象は配向膜界面に形成された電気二重層での誘電損失によるものと考えられる。極小値の観測される領域は、セルの dC/dV が大きく変化する領域であり、誘電損失によるVHR減少が強く示唆される²¹⁾。

n型液晶をホモジニアスセル、あるいはTNセルに封入した場合には、電圧を印加してもセル容量に変化はなく、これらの差は、もっぱら液晶－配向膜界面とバルク中央での液晶挙動に位相遅れがあることによるものと思われる。

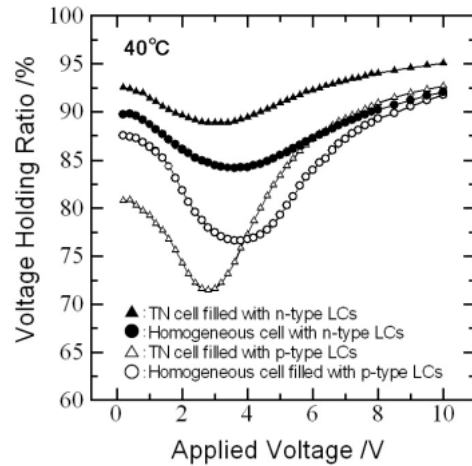


図13 電圧保持率の印加電圧依存性
Fig. 13 VHR change with an applied voltage.

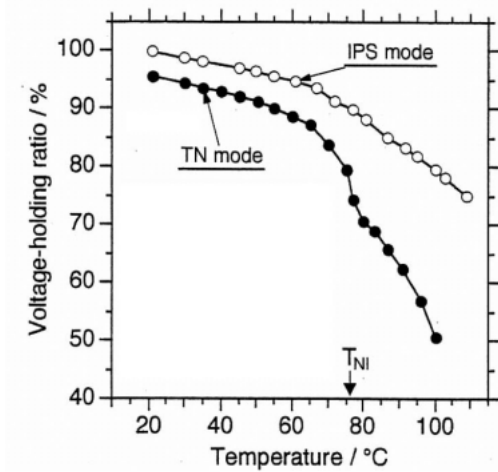


図12 TNセルとIPSセルでの電圧保持率比較²⁰⁾
Fig. 12 Comparison of the voltage holding ratio of a TN cell with that of an IPS cell.

2・4 液晶分子配列（表示モード）の影響

p型液晶，n型液晶をTN型セル，及びホモジニアスセルに封入しVHRを測定した結果を図13に示す。同一の液晶－配向膜系でありながらも表示モードによりVHRが異なっている。測定温度によりVHRが低下

一方、図14は磁場（1.26T）下で液晶の配向を変化させながらVHRを測定した結果である。電界により液晶中を流れるイオンの流れの方向が分子長軸に平行な場合に比べて、垂直な場合のほうが大きなVHRを示す²¹⁾。

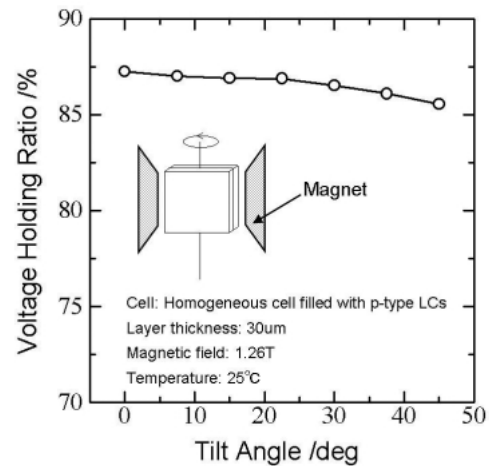


図14 液晶分子傾き角によるVHR変化²¹⁾
Fig. 14 VHR change with the tilt angle of the LC molecules.

むすび

電圧保持率には多くの要因が影響を及ぼすが、表示性能からの要求よりパネル設計・駆動方式が決められるため、実質的には材料設計により高電圧保持特性を目指さなければならない。高電圧保持率を得るには、(1) 高抵抗な液晶材料、配向膜材料を用いる。(2) 極性の大きな骨格構造、分子鎖を持たない液晶材料、配向膜材料を用いる。(3) ラビング等の配向処理後には、十分な洗浄を行い、不純物を完全に除去する、などの取組を行うことが重要である。

参考文献

- 1) 嶋崎達男, 水嶋繁光, 峰崎茂平, 矢野耕三, 栢川正也, 「TFT-LCDの電圧保持特性 I」, 第14回液晶討論会講演予稿集, No. 2B110, pp.78-79(1988).
- 2) 望月昭宏, 本吉勝貞, 小林駿介, 「ネマティックセルにおける分極反転の発生機構」, 第17回液晶討論会講演予稿集, No. 3F104, pp.148-149(1991).
- 3) 分元博文, 石原將市, 横谷文子, 松尾嘉浩, 「液晶パネルの漏れ電流に及ぼす配向膜の影響」, 第13回液晶討論会講演予稿集 No. 1T05, pp.16-17(1987).
- 4) 石原將市, 分元博文, 横谷文子, 松尾嘉浩, 「液晶-配向膜界面での誘電損失」, 第15回液晶討論会講演予稿集, No. 3B21, pp.356-357(1989).
- 5) A. Sawada, A. Manabe and S. Naemura, "A Comparative Study on the Attributes of Ions in Nematic and Isotropic Phases", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.40, pp.220-224(2001).
- 6) Y. Nakazono, T. Takagi, H. Sato, A. Sawada, S. Naemura and A. Manabe, "Influence of Ions on Voltage Holding Property of LCDs", IEICE Trans. Electron., Vol.E83-C, No.10, pp.1570-1574 (2000).
- 7) N. Sasaki, "Simulation of the Voltage Holding Ratio in Liquid Crystal Displays with a Constant Charge Model", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.37, pp.6065-6070(1998).
- 8) 笹木宣良, 「残留DCによる電圧保持率と透過率の時間変化」, 1998年日本液晶学会討論会講演予稿集, No. 3-1b, pp.196-197(1998).
- 9) 佐谷裕司, 分元博文, 石原將市, 塚根みどり, 津田圭介, 「NWモードTFT液晶ディスプレイ用液晶, 配向膜材料」, National Technical Report Vol.38, No.3, pp.322-329(1992).
- 10) 横谷文子, 分元博文, 石原將市, 松尾嘉浩, 「液晶組成物と電圧保持特性」, 第15回液晶討論会講演予稿集, No. 3B20, pp.354-355(1989).
- 11) 白倉小百合, 中島紳二, 大西博之, 高津晴義, 「AM-LCD用液晶化合物の電気的パラメータの検討」, 第21回液晶討論会講演予稿集, No. 3A04, pp.294-295(1995).
- 12) 白倉小百合, 山崎克己, 大西博之, 大塚哲郎, 「液晶中でのイオンの挙動」, 第19回液晶討論会講演予稿集, No. 2B01, pp.150-151(1993).
- 13) 佐藤成広, 分元博文, 望月秀晃, 「赤外スペクトルを用いた配向膜表面液晶分子の解析」, 第16回液晶討論会予稿集No. 3K211, pp.304-305(1990), あるいは, 佐藤成広, 分元博文, 望月秀晃, 「配向膜表面液晶分子の赤外ATR法による解析」, 第51回秋季応用物理学会講演予稿集, No. 27p-ZD-11, p.1033(1990).
- 14) 最首達夫, 長田洋之, 高頭孝毅, 「自発分極を持つ液晶の電圧保持特性」, 第21回液晶討論会講演予稿集, No. 2A17, pp.178-179(1995).
- 15) W.J.A.M. Hartmann, "Charge-controlled phenomena in the surface-stabilized ferroelectric liquid-crystal structure", J. Appl. Phys., 66, 1132 (1989).
- 16) H. Nawata, Y. Ohtsuka, Y. Ohrai, K. Sawahara, T. Nihira, H. Suzuki and H. Fukuro: Polyimides and Other High Temperature Polymers, 1, 217(2001).
- 17) M. Nishikawa, T. Suganuma, Y. Tsuda, N. Bessho, Y. Iimura and S. Kobayashi, "Properties of Voltage Holding Ratios of Liquid Crystal Cells Using Organic-Solvent-Soluble Polyimide Alignment Films", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.33, pp.L1113-L1116 (1994).
- 18) 嘉本律, 石田英之, 「LCDセル周辺部電圧保持率低下の原因解析」, 第23回液晶討論会講演予稿集, No. 2PA05, pp.220-221(1997).
- 19) 長谷川勲, 小野塚豊, 秋山政彦, 「液晶表示素子の超低周波駆動の検討」, 2000年日本液晶学会討論会講演予稿集, No. PCa01, pp.333-334(2000).
- 20) 大江昌人, 梅田啓之, 太田益幸, 荒谷介和, 近藤克己, 「In-Plane Switching方式における液晶の電圧保持特性」, 第23回液晶討論会講演予稿集, No. 2AA08, pp.132-133(1997); M. Oh-e, Y. Umeda, M. Ohta, S. Aratani and K. Kondo, "Unusual Voltage-Holding Ratio Characteristics Using In-Plane Switching of Nematic Liquid Crystals", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.36, L1025-L1028, Part 2, No. 8A (1 August 1997).
- 21) 石原將市, 宮地弘一, 寺下慎一, 山田祐一郎, 「電圧保持率に及ぼす液晶分子配向の影響」, 2004年日本液晶学会討論会講演予稿集, No. 1B08, pp.196-197, (2004).

(2005年6月13日受理)