

IDW'07 速報[液晶関連]

長谷川雅樹(メルク)

会議名：The14th International Display Workshops

開催期間：2007年12月5日-7日

開催場所：札幌コンベンションセンター(札幌、日本)

*****要 約*****

IDW'07のLiquid Crystal Technology workshop(LCT)で発表された主な論文を紹介する。LCDの大きな課題である高速応答技術では数多くのOCB表示モードの改良が報告された。特にLEDバックライトの動的制御によって、黒画面の挿入時間を長くして、動画ぼけをさらに少なくしても、輝度が下がらず、コントラストも改善できるようになった。また、画質改善のために古くからある評価方法も見直され、より精度の高い測定が可能な手法が報告された。

はじめに

LCDとPDPが真っ向から画質競争をしている中、とうとう有機ELのテレビや携帯電話も市販されはじめたFDP戦国時代だが、生き残りをかけた画質改善、コストダウンの技術開発が進められている。このような状況でのIDWであるため、より製品に近い技術発表が大半を占めていた。その中でもLCDの最大の課題である動画表示特性の改善技術が数多く発表された。また、携帯電話や車載用LCDで問題となる低温での応答速度向上のための技術がいくつか報告されていた。その中でもナノ粒子添加による液晶の応答速度の改善は新しい方向で、今後の発展が期待される。以下にセッション毎の主な発表を紹介する。

1. 高速応答液晶表示

1-1 OCB表示モード(LCT1-1,2,3,4)

ToshibaのK. NakaoらはOCBモードのさらなる動画質改善のための駆動方法を報告した(LCT1-1)。LCDでは次の画像データが書き込まれるまで一つ前の画像を常に表示しており、ホールド型と呼ばれている。人間の眼は物体の動きを追う特性がある。ホールド型では、動きのある画像で、眼が像を追う間も前の位置の像を表示し続けるため、動画ぼけが生じる。このぼけを改善するために、黒画面を挿入する方法はこれまでも導入されていた。Nakaoらは黒画面の挿入時間と動画応答時間(MPRT)の関係をシミュレーションと実験で調べ、CRTの応答速度を上回るように黒画像表示期間80%に設定した。通常のLCDでは画像データを画面の上から順次書き換えており、ひとつ前のフレーム画像が同時に表示されている。Nakaoらは書き換えている間と黒画像表示時間にバックライトを消灯することで、動画表示のボケをさらに少なくし、同時にコントラストも向上させた。黒表示時間を増やすことで輝度の減少が懸念されるが、バックライトにLEDを用いて、点灯時の明るさを増やすことで輝度の低下を抑えた。試作した12インチのSVGAパネルは、輝度が500 cd/m²、MPRTが2.3msec、コントラスト1000:1で、鮮やかな画像をオーサズインタビューで見せていた。台湾CPTのT.C. Hsuらは動画質向上のために120Hzの高速フレームレート、黒画像挿入、バック

ライトの動的輝度制御(Dynamic Back Light Control:DBLC)の三つの手法を導入した(LCT1-2)。この結果、MPRTは6msecとなり、CRTの4msecとほぼ同等となった。DBLCは画像の明るさに応じて三段階に点灯時間を制御するもので、コントラストを向上させる。試作した32インチのテレビでは、コントラスト1500:1を実現した。ToshibaのN. Kubotaらは液晶自体を改良することで低温でのOCBの応答速度を改善した(LCT1-3)。LCDの応答時間は式(1)のように回転粘性係数 γ_1 に比例するため、この係数を下げることによって応答速度を上げることができる。

$$\tau_r \propto \frac{\gamma_1 \cdot d^2}{\varepsilon_0 |\Delta\varepsilon| (V^2 - V_{th}^2)}, \quad \tau_d \propto \frac{\gamma_1 \cdot d^2}{\pi^2 K_{eff}} \quad (1)$$

ここで、 τ_r は立ち上がり時間、 τ_d は立ち下がり時間を、 d はセルギャップ、 ε_0 は真空中の誘電率、 $\Delta\varepsilon$ は液晶の誘電率異方性、 V は印加電圧、 V_{th} は閾値電圧、 K_{eff} は液晶の実行的な弾性定数を表す。セルギャップ d を狭くしても応答速度は上げられるが、複屈折率 Δn を高くする必要がある。液晶は通常、 Δn を大きくすると γ_1 が大きくなる傾向にあり、これは応答速度を下げることになる。このため、 Δn を保ったまま γ_1 を下げた液晶を開発した。特に低温での γ_1 を下げ、 -20°C での応答時間を約半分にした。また、OCBでは初期に液晶の配向状態をスプレイからベンドに転移させる必要があるが、低温ではこの転移速度が遅くなる。この速度 V_b は γ_1 、印加電圧 $E_{vertical}$ と式(2)の関係にあることを実験によって示し、 γ_1 の減少によって転移速度を向上させた。さらに彼らはベンド配向した核の部分からのベンド成長速度にラビング方向依存性があることを見つけ、核生成の場所を変えることでベンド配向への初期化時間を短縮した。

$$V_b \propto \frac{E_{vertical}}{\gamma_1} \quad (2)$$

カーナビゲーション用LCDでは低温での動作も要求されるため、このような低温での応答速度特性に優れたOCB表示モードLCDは車載用に適している。HannStarのC-H. Wuらは高開口率のフィールドシークンシャルOCB表示モードLCDを報告した(LCT1-4)。ポリシリコンは移動度が大きく、TFTの部分を小さくできるが、歩留まりが悪くなる。前述したようにOCBではスプレイ配向からベンド配向へ転移させるための核生成用のバイアス電圧をかけるパターンが必要となるため、ほかのモードよりも開口率が低くなる。このため、歩留まりの良いa-Siで開口率をあげる技術開発を行った。ベンドの核生成は液晶のプレチルト角と同様に電極の形状、ラビング方向に大きく依存している。彼らはジグザグ形状のゲートラインとバイアス電極を用い、特殊なバイアス駆動電圧によって 25°C で0.2秒、 -20°C でも1秒でベンド配向の初期化を行えるようにした。さらにジグザグ突起をつけたデータラインを採用することによって、バイアス電極がなくてもベンド配向への初期化を行えることを示した。これらの電極構造によって、開口率が44.3%から64.3%に向上した。

1-2 ナノ粒子の添加(LCT8-2,3)

最近注目されている応答速度向上のための技術は、ナノ粒子を液晶に添加することで液晶そのものの応答速度を改善する手法である。Tokyo Univ. of Sci. YamaguchiのK. Inoueらは10nm程度の大きさの SiO_2 や MgO の無機ナノ粒子の添加によって液晶の物性が変化することを示し、その機構を議論した(LCT8-2)。 SiO_2 ナノ粒子の添加によって閾値電圧 V_{th} が16%減少した。また、添加する物質に依存せず、

$V_{th} = \pi \sqrt{K_{eff} / \epsilon_0 \Delta \epsilon}$ の関係が成り立つことを実験で示した。このことから閾値電圧の変化は K_{eff} と $\Delta \epsilon$ の変化によって引き起こされているとした。また、液晶のオーダーパラメーター S はナノ粒子の添加によって減少し、等方相への転移点温度も下がっていることを実験で示した。 $K_{eff} \propto S^2$ 、 $\Delta \epsilon \propto S$ であるので、 $V_{th} \propto \sqrt{S}$ となり、オーダーパラメーターの減少によって閾値電圧 V_{th} が減少することになる。これらのことは実験と一致しており、 V_{th} の減少はナノ粒子添加によるオーダーパラメーターの減少が原因であると報告した。IDW07 では報告がなかったが Kent Univ. の J. West らは強誘電性ナノ粒子の添加によってオーダーパラメーターは増加していると報告しており、ナノ粒子添加による液晶物性の変化機構はまだ議論が必要であると感じられた。Stanley Elec. の Y. Toko らは Ag/Pd 金属ナノ粒子の添加によって STN の低温での応答速度が向上することを報告した(LCT8-3)。先ほどの無機ナノ粒子の添加と同様に、Ag/Pd ナノ粒子の添加によって回転粘性係数が -20°C で 30%、室温で 70% 減少し、STN の応答速度が 3 倍から 5 倍向上した。ナノ粒子による LCD の特性改善技術の実用化には、今後、さらに保持率特性や信頼性の確認が必要である。

1-3 強誘電性液晶(LCT8-4)

Dainippon Ink & Chems. の T. Fujisawa らは温度に依存しない駆動電圧特性を持つ高分子安定化 V 字 FLC によるフィールドシーケンシャル LCD を報告した(LCT8-4)。強誘電性液晶の問題点の一つに電気光学応答特性の温度依存性があった。Fujisawa らは新規光重合モノマーによって温度依存性が $3\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ と小さい駆動電圧特性を持つ FLC を開発し、4 インチの SVGA パネルを試作、展示した。この FLC は通常のメモリー性を持つ二値動作の表面安定化 FLC と異なり、電圧-透過率特性が V 字をしている連続階調表示が可能な FLC で、電圧を印加しながらモノマーを FLC 中で光重合させることでこのような特性を持たせている。これまでは温度の上昇にともなって駆動電圧が高くなっていたが、新規モノマーによって温度依存性を低く抑えた。応答時間は数百 μ 秒と FLC の高速応答性の特徴を備えており、フィールドシーケンシャル駆動をしている。バックライトには LED を用いて NTSC の 100% に近い色再現性を持っている。

2. 評価方法(LCT2-1,3,4)

最近、LCD のコントラストが向上し、輝度測定の再現性と誤差が問題となっていた。この問題に答えるために、Topcon の Y. Tanaka らは、輝度計による測定の際に、これまで見落とされていた光を取り込む立体角とパネルの光源の指向性の影響を実験的に示した(LCT2-1)。これらの実験に基づいて、輝度測定では立体角を小さくする必要があると指摘した。Osaka Prefecture Univ. の Y. Iwata らは液晶セルの過渡電流の測定値と、液晶の粘弾性と配向膜界面の条件からシミュレーションされる過渡電流を比較し、流れの効果を考察した(LCT2-3)。水平配向では流れの効果は無視できる程度で、界面ではスリップは起きていない。これに対し、垂直配向では流れの効果が顕著に表れた。また、Iwata らはこのシミュレーションのフィッティングによって $\Delta \epsilon$ が負の液晶の粘性係数を決められると報告した。Tohoku Univ. の Y. Ohno らは液晶の二つの屈折率 n_o と n_e の精密な測定方法を報告した(LCT2-4)。

3. 画質向上(LCT3-1,2,3)

Tohoku Univ.の T. Ishinabe らは、拡張したポアンカレ球表現による偏光板、位相差フィルムの設計方法を報告した(LCT3-1)。光学補償フィルムや偏光板の設計は、広視野角と高コントラストを実現する上で非常に重要である。また液晶の配向状態に合わせる必要があるため、実際の液晶や補償フィルムでの液晶配向軸の分布を測定する必要がある。Ishinabe らは試料を回転させながらエリプソメーターを用いて偏光パラメーターを測定し、フィッティングすることでこの分布を求めた。こうして得られたパラメーターを用いて OCB のパネルと補償フィルムを最適化することで中央で 1000:1、視野角 170°に渡って 10:1 のコントラストを持つ 15 インチのパネルを試作した。AU の T-C. Yang らは、電極を立体的に配置することで開口率を高くした MVA-LCD を報告した(LCT3-2)。この電極構造により、スリットや突起を作ることなくマルチドメインを実現でき、透過率も向上させることが可能になった。AU の Y-T. Hsu らはフィールドシーケンシャルでのカラーブレイクを低減するために色の表示順序をフレーム毎に変化させる手法を提案した(LCT3-3)。通常は同じ順序で色を変化させるため、移動している像の輪郭部分が色づいて見え、カラーブレイクを感じさせるが、フレーム毎に順序を変えることで輪郭部の色づきをなくした。

4. 新規材料(LCT4-2,3)

Hirosaki Univ.の A. Yoshizawa は液晶オリゴマーによって安定化したブルー相 III の電気光学特性を報告した(LCT4-2)。ブルー相は液晶のねじれによるミクロな構造が集まった状態で、配向処理がいらず応答速度が速いという特徴を持っており、ディスプレイや光学素子としての応用が期待されている相である。しかし、その温度範囲が狭いという問題があった。Yoshizawa はオリゴマーの添加によって相の温度範囲を広げた。ブルー相 III では電圧の印加によってネマチック相に転移することで光学特性が変化する。この相転移の応答速度は立ち上がりが数m秒で温度依存性がないのに対して、立ち下がり数は数十m秒で温度が高くなると減少する傾向を持つ。ITRI の A-C. Chen らは、応答速度改善のために、回転粘性係数の小さいトリフルオロメチレン基を持つ液晶材料を報告した(LCT4-3)。オーダーパラメーターの測定がされていなかったため、オーダーが低くなった影響ではないかと質問があった。

5. 液晶配向(LCT5-1,3,LCT6-1,2,3)

Hong Kong Univ.の V. Chigrinov らはアゾベンゼンによる光異性化を中心とした光配向技術の現状を報告した(LCT5-1)。光配向は光学フィルムの製造において実用化されているものの、LCD には応用されておらずこの点について質問がでたが、歯切れのよい返答はなかった。フィルムは配向が固定されるので配向の安定性は保証されている。しかし、LCD では配向の安定性、信頼性が非常に重要で、現状のラビング工程を変更するためにはまだ材料の改良が必要であるように思えた。Tohoku Univ.の K. Okuyama らは磁場によって配向させた液晶性モノマーを配向膜として用いる手法を報告した(LCT5-3)。VA モードではマルチドメインにするためにプレチルト角を制御する必要があり、現状ではスリットによる横電界や突起が用いられている。これまでも磁場による液晶の配向は報告されているが、配向膜の分子配向に応用する例は初めてであると思う。磁場をかけながら紫外線を照射して配向方向を固定化するため、大型基板への応用にはもう一工夫必要である。Yamanashi Univ.の K. Hiroshima は SiO_2 や Al_2O_3 などの無機材料の構造による液晶配向の概要を説明した(LCT6-1)。ERATO の J. S. Gwag らはナノインプリントによるナノレベルの周期構造とラビングを組み合わせで発現させた方位角方向の配向の双安定性を報告した(LCT6-2)。Osaka Univ.の C. H.

Lee らは二光子吸収によるリソグラフィーで作製したサブミクロンオーダーの周期構造による配向を報告した(LCT6-3)。

6. 表示モード(LCT7-1,2,3)

NHK の Y. Fujisaki らは有機 TFT で駆動する 64x64 画素のフレキシブル FLCN を報告した(LCT7-1)。バックライトも LED を用いたフレキシブル導光板になっており、ペンタセンを用いた有機 TFT は移動度 $0.3\text{cm}^2/\text{V}$ で ON/OFF 電流比は 10^7 で、カラーフィールドシーケンシャルによってカラーの動画像を表示した。Tokyo Univ. Of Sci. Yamaguchi の K. Takatoh らはスプレイ状態のリバースツイスト配向を用いた低駆動電圧の TN モードを提案した(LCT7-2)。駆動電圧は半分以下に下げられるが、コントラストが低いため、応用は電子タグなどに限られるとコメントしていた。Tohoku Univ. の R. Nakamura らは水平配向の ECB モードで、横電界によって逆方向に傾く二つのドメインを持つ Nematic Optically Compensated Birefringence モードの特性を報告した(LCT7-3)。マルチドメイン VA と同様に二つのドメインが補償し合うために視野角は広く、応答速度は 8m 秒、コントラストは 800:1 であった。

7. 半透過 LCD(LCT9-1,2)

Toshima Matsushita Display Technology の M. Okita らは OCB による半透過 LCD を報告した(LCT9-1)。セルギャップは透過部と反射部で異なるが、電気光学特性は一致させている。また、LCT1-1 で発表したようにデータの書き込みが終了してからバックライトを消灯する方式を採用しており、動画表示に優れている。試作した 4.3 インチパネルの応答速度は透過部で 5.3m 秒、反射部で 2.4m 秒であった。NEC LCD Technologies の J. Matsushima らは三枚の位相板で補償できる IPS の半透過型 LCD を提案した(LCT9-2)。この構造によってセル内の位相差板と特殊な駆動回路が必要なくなり、コスト削減が可能となる。

8. おわりに

数年前の IDW の発表と比べると、すでに製品化された技術や製品化間近の技術発表が多く、LCD の改良のペースの速さを実感した。ただ、同じような内容が多く、現状の技術の方向が飽和に近づいているのではないかと危惧された。