1. 液晶デバイスと動作原理

正会員 内 田 龍 男[†]

1. ま え が き

近年、半導体技術の進展にともなって情報機器の小型・軽量化が急速に進み、これに対してディスプレイの薄型・軽量化が強く望まれるようになってきた。すでにプラズマディスプレイの需要が急増しているが、今後の高解像度化、カラー化の要求に対して、液晶ディスプレイ (LCD) は有力候補のひとつと考えられる。小型のものではすでに高品位のフルカラーディスプレイが開発され、液晶テレビとして実用化されている。ごく最近では中型ディスプレイの分野でも急ピッチでその大容量・高品質化が進められている。また、大型ディスプレイの分野では投射型カラーディスプレイが開発されつつある。このような状況をふまえて、本論

文ではまず、これら各種のディスプレイの基礎となる種々の液晶表示モードの動作と特徴を概説する。ついで、LCD の大容量化、カラー化の現状を述べるとともに、液晶デバイスの将来動向を展望する。

2. LCD の種類と基本動作

LCD には、多数の表示モードが提案されているが、そのうちで現在主として研究あるいは実用されているものを図 1 に示す。以下、これらについて動作と特徴を概説する。

2.1 ねじれネマティックモード (TN*モード)

本論文では、図 2(a) のようにねじれ分子構造を有し、これを 2 枚の偏光子で挟んだ構造のものをまとめて広義のねじれネマティックモード (TN*モード) と呼ぶことにする。

TN*モードの基本的なものは、Schadt¹⁾ によって提案された、ねじれ角 ϕ_t が 90° のものであり、これを狭義のねじれネマティックモード (TN モード) と呼

『液晶デバイスとテレビへの応用』

小特集の企画について

表示デバイスの平板化に熱い視線が集中している。なかでも、とりわけ液晶デバイスについては産学を問わず、随所で活発に研究・開発が展開されており、躍進的進歩が著しい。高解像度のコンピュータディスプレイや、鮮明なカラーポケット液晶テレビの出現をみると、まさにそういう時代だと実感できる。

そこで、本号では液晶デバイスを取り上げ、特にテレビ・画像に関する応用に着目して小特集を編んだ。最新技術を理解するための動作原理、高画質化への新しい道を拓いた駆動方式、商品としての地位も固まってきた液晶テレビへの応用、液晶の長所を生かした各種画像応用、CRT なみの高画質を目指す将来展望について、最新の話題を取り上げている。

この小特集は倉重光宏 (幹事)、江藤良純 (幹事)、古角尚之 (幹事) が企画編集を担当した。

編集委員会

図 1 LCD の主要な表示モード

[†] 東北大学 工学部

"Liquid Crystal Devices and Their Fundamentals of Operation" by Tatsuo Uchida (Faculty of Engineering, Tohoku University, Sendai)

図 2 TN*セルの構造 (n_1, n_2 : 下側および上側基板に接する液晶の分子配向方向を基板に投影したもの, ϕ_t : 液晶分子のねじれ角, β_1, β_2 : 下側および上側の偏光子の偏光方向と n_1 とのなす角度, $\Delta n \cdot d$: 液晶の複屈折率とセルギャップの積, θ_p : プレティルト角)

図 3 TNセルの動作

ぶことにする。TNセルの動作は、図3に示すように、off状態では入射偏光が90°回転し、on状態では回転せずに透過する。したがって、2枚の偏光子の偏光方向が直交していれば、off状態では光が透過、on状態では遮断されることになる（偏光方向が互いに平

行であれば、この逆になる）。このセルは駆動電圧が低いこと、高いコントラストが得られること、マルチプレックス駆動特性が良いことなどの特長があるために、現在最も広く実用されている。

ところで、TNモードでは2枚の偏光子の偏光方向を平行にしてブラックシャッタとして用いる方式が自動車用ディスプレイ、オーディオ用ディスプレイ、後述のフルカラーディスプレイなどに応用されている。この場合、一般にバックライトと組合せて透過型として用いられるが、これにはoff状態の光のものをできるだけ少なくして高いコントラストを得る必要がある。そのためにはまず、偏光子の偏光度 V (V は、偏光子の偏光軸に平行および垂直な振動成分をもつ光の透過率を $T_{\parallel}$ および $T_{\perp}$ とすると $V=100(T_{\parallel}-T_{\perp})/(T_{\parallel}+T_{\perp})$ で定義される) をできるだけ高くする必要があるが、液晶の設計条件を最適化しないと、偏光子の偏光度を高くしてもコントラストはある程度で飽和してしまう²⁾。これは、前述の入射偏光の90°の回転が実際には正確に行われず、セルを出た光は楕円偏光となるためである。その楕円率と長軸方向は $\Delta n \cdot d / \lambda$ (Δn は液晶材料の複屈折率であり分子に平行な方向の屈折率と垂直な方向のそれとの差, d はセルギャップ, λ は光の波長) に依存し、そのために一部の光は第2の偏光子を通過してしまう。これがoff状態における光のもれに対応し、偏光子を理想的なもの ($V=100\%$) とすると、その強度は $\Delta n \cdot d / \lambda$ の関数として図4のようになる³⁾。なお、図で、 $\Delta n \cdot d / \lambda = (m^2 - 1/4)^{1/2}$ (m は整数) の場合には、出射光が直線偏光となり、その偏光方向は入射光のそれに対してちょうど90°回転した状態となるので透過率は零となる。ただし、実際のセルでは偏光子が理想的ではないので、この場合のもれ光の強度は、2枚の偏光子の偏光方向を互いに直交させた場合の透過率 $T(\text{cross})$ に等しくなる。この強度は偏光子の明るさを $T_p = (T_{\parallel} + T_{\perp})/2$ 、偏光度を上述のように V とすると、

$$T(\text{cross}) = 4T_p^2(100 - V)/(100 + V)$$

で表される。一方、on状態の透過率 T_{on} は、 $2T_p^2$ となる。したがって、なるべく明るくて偏光度の高い偏光子が必要である。偏光子の明るさと偏光度の関係は一般にトレードオフの関係にあるが、最近この両方を

図4 TNセルにおける off 状態の光のもれと $\Delta n \cdot d / \lambda$ の関係 (TNセルの2枚の偏光子は偏光度100%の理想的なものとし、透過率は液晶の厚さを零とした場合の値で規格化してある)

高くした高性能の偏光子が開発され、実用され始めている⁴⁾。

一方、最近マトリクス LCD の大容量化が進んでいるが、後述の直接マトリクス LCD の大容量化には閾特性の急峻な液晶セルが必要である。TN モードで急峻な閾特性を得るためには、プレティルト角 θ_p (基板表面における液晶分子の表面に対する傾斜角)、および、弾性定数比 k_{33}/k_{11} (k_{33}, k_{11} はそれぞれベンドおよびスプレアの弾性定数) をできるだけ小さくする必要がある。そのために多くの努力が行われ、 θ_p は 1° 程度、 k_{33}/k_{11} は 0.65 程度まで減少させたものが開発されているが、表示品位を落さずに走査線数を増加させる限界は現状では 60~70 程度にとどまっている (ただし、一般には画面を上下に分割する上下分割駆動法が用いられるので、見かけの走査線数はこの2倍の120~140本となる)。これに対して、最近ねじれ角 ϕ を大きくすることによって、閾特性の急峻さを大幅に改善できることが見い出され、大容量化が急速に進み始めた。

まず、ねじれ角を $180 \sim 200^\circ$ 程度にした super twisted nematic モード (STN モード、図2(c)) が開発され⁵⁾、上下分割駆動法を用い見かけの走査線数を 400 本 (実際の走査線数は 200 本) としたディスプレイが実用化され始めている。このセルでは、TN モードとは逆に k_{33}/k_{11} が大きいほど閾特性が鋭くなるため、その種の液晶材料の開発が活発に行われており、現在 1.6~1.8 程度の値が達成されている。さらに、ねじれ角を 270° と大きくした super twisted birefringent effect モード (SBE モード、図2(d)) では、実際の走査線数を 400~600 本程度まで増加させることが示された⁶⁾。

ただし SBE セルの場合は、らせん軸が傾く別の配向変形モードの発生を防ぐために、プレティルト角を 20° 程度と大きくする必要がある。それには斜蒸着などの量産化に適さない技術を導入しなければならず、そのために現在のところ実用化は進んでいない。この問題を解決するために、現在大きいプレティルト角の得られる表面配向剤の開発が活発に行われている。

なお、STN および SBE モードでは図2(c)、(d)に示すように、壁面の分子配向方向と偏光方向をずらしてあるために入射偏光は分子の配向方向に平行および垂直な偏光面をもつ光 (それぞれ異常光および常光) に分解される。これらは、液晶中の伝搬速度が異なるので、上側の偏光子を通過する際に互いに干渉することになる (複屈折による干渉と呼ばれる)。この干渉条件は、分子配向のわずかな変化でも大きく変化するので、これが閾特性をいっそう急峻にしている。しかし、同時にこの干渉の効果で off 状態が着色するという問題が生じ、これがコントラストの低下およびマルチカラー化への障害を招いている。また、セルギャップのばらつきが干渉色の変化として敏感に反映されるので、精度 $\pm 0.1 \mu\text{m}$ ないし $\pm 0.2 \mu\text{m}$ 以下の精密なセルギャップの制御が必要とされ、これが製造の歩留りを著しく低下させる原因となっている。

これらの問題を解決したのが optical mode interference モード (OMI モード、図2(e)) である⁷⁾。このモードのセルでは、 $\Delta n \cdot d$ の値を小さくし、楕円偏光モードにして波長依存性を小さくすることによって off 状態がほぼ無彩色となるようにしている。これによって表示の見やすさが向上し、マルチカラー化の可能性が得られると共に、セルギャップの制御精度が緩和された。一方、問題点は、STN セルや SBE セルと比較して閾特性の鋭さが劣ること、透過率が低いことなどである。

これらの問題に対して、ごく最近、OMI セル (または STN セル) に、ねじれ方向を逆転させた液晶セルを重ねて複屈折効果を補償させ、高コントラストの白黒表示の LCD を実現する方式が考案された。コントラストの向上は、主として黒レベルの透過率を低下させることによって実現しているが、これによって基本的には走査線数を増加させても、かなり高いコントラストを維持することができる。ただし、走査線数の増加と共に白レベルの透過率は減少するので、それを補うためにバックライトが必要となる。いずれにしても、この種のディスプレイによって、高品位の大容量カラーマトリクス LCD が大きく前進するものと期待される。

2.2 ゲストホストモード

ゲストホストモード (GH モード) は、液晶中に添加した 2 色性色素の吸収係数の異方性を利用して表示を行うものである。すなわち、液晶によって配向させた色素は、電界の印加によって配向を変化させることができるので、それによってセルの着色濃度を変化させることができる。各種の方式が提案されているが、そのうち主要なものを図 5 に示す。いずれも閾特性がなだらかであるためにマルチプレックス駆動ができず、そのために TN セルほど広く使われていない。しかし、明るさや広視角が要求される自動車用ディスプレイや OA 機器の一部には 2 層型 GH モード⁸⁾あるいは White-Taylor 型 GH モードが、また、オーディオ機器には Heilmeyer 型 GH モードが使われている。また、後述のアクティブマトリクス LCD では閾特性の急峻さを必要としないので、視野角が広くて構造が比較的簡単な Heilmeyer 型 GH モードの採用が検討されている。なお、最近 2 色性色素に関して、より高い 2 色性比を得るための分子形状の設計指針が明確にされており¹¹⁾、表示品位のいっそうの向上が期待される。

2.3 強誘電性液晶モード (FLC モード)

カイラルスメクティック C と呼ばれる液晶は強誘電性を示す液晶として近年高い関心を集めている。これは、ギャップ 1~2 μm のセルを作ると 10 μs のオーダーの高速応答性とメモリー効果が得られるためである¹²⁾。すなわち、ラビングなどの適当な配向処理を施

して図 6(a) のように均一に配向させたセルでは、分子のダイポールモーメントが 1 方向に揃っており、これに反方向きの電界を印加すると (b) 図のように配向方向がいつせいに反転し、電界除去後もそのまま蓄積される。したがって、図のように 2 枚の偏光子で挟みおけば明暗の切り換えが可能である。ただし、これで高いコントラストを得るためには、(a) 図と (b) 図の状態の分子配向方向が 45° をなすような液晶材料を選ぶこと、 $\Delta n \cdot d$ を 0.26 μm 程度に設定することなどが必要とされる。この方式は、上述のようなユニークな特長を持つ一方で、次のような多くの問題点を持っている。

- (1) セル作成の段階で配向欠陥が生じやすく、実際に図 6 のような均一な配向を広い面積にわたって実現するのは容易ではない。
- (2) 機械的ショックや熱膨張による液晶の流動によって配向が乱れると、自発的に回復する作用を持たない。
- (3) 広い面積にわたって 1~2 μm の均一なセルギャップに制御すること、およびこの狭いセルギャップに液晶を導入することが容易ではない。
- (4) 後述する逐次書き込み型の大容量ディスプレイを作製するには 10 μs 以下の高速応答が要求されるが、そのためには液晶の応答速度をさらに向上させること、面抵抗 10 Ω 以下の透明電極を開発すること、瞬時的にかなり大きい電流を流すことのできる駆動回路を必要とする。

図 5 GH モードの液晶ディスプレイ (セルの上半分は電圧印加状態, 下半分は無印加状態)

図 6 強誘電性液晶モード

図7 レーザ書込み方式の動作 (↓はレーザービーム照射部分の冷却過程を示す)

このような問題がすべて解決されるためには、まだしばらく時間がかかるものと考えられる。しかし、最近(1)や(2)の問題に対する解決のきざしも見えはじっており、いずれ近い将来、ディスプレイを初めとして、オプトエレクトロニクスの分野で重要なデバイスとなり得る可能性がある。

2.4 熱書込みモード

スメクティック A (室温)-ネマティック-等方性液体 (数 10°C) の相系列を持ち、正の誘電異方性を示す液晶を用いると熱書込み型のセルを構成することができる。特にレーザービームの熱を利用して書込みを行う方式の動作原理を図7に示す¹³⁾。

すなわち、まずスメクティック A 相で全面に高電圧を印加すると基板に垂直な配向(a)が得られる(全消去)。これにレンズ系で絞ったレーザービームを照射して等方性状態で昇温した後、ビームを除去して液晶を急冷させると図7(b)のようにスメクティック相で乱れた配向(focal conic 組織)が形成される(書込み)。したがって、ビームを走査することによって幅 $10\mu\text{m}$ 程度の微細なパターンを書込むことができる。しかもスメクティック A 相は粘度が高いため、この表示パターンは数ヶ月以上蓄積される。パネル全面に低電圧を印加しながらレーザービームを照射すると冷却過程でネマティック相を通過する際、図7(c)のように均一配向に戻すことができる(部分消去)。

この種のディスプレイは一般にスクリーン上に拡大投影され、大画面の高解像度ディスプレイとして応用が検討されている。

3. マトリクス LCD の駆動方式

白黒の数字表示あるいは簡単なドットマトリクスの LCD はすでに広く実用されているが、最近の LCD の研究開発の中心のひとつとしてマトリクス LCD の大容量化の問題がある。そこで本節では、この問題について簡単な説明を加える。

マトリクス LCD の駆動方式を分類すると図8のようになる。図でスタティック方式は各画素から1本ずつリード線を取り出して駆動するものであり、高品位の表示が得られるのが特長である。しかし、リード線と駆動回路の数が膨大になるために画素数 8×64 、大きさ $58 \times 460\text{mm}^2$ 、あるいは画素数 $40 \times 52 \times 3$ 色、大きさ $200 \times 260\text{mm}^2$ 程度のモジュールを多数並べて大画面ディスプレイを構成する方式がとられている¹⁴⁾¹⁵⁾。後述のマイクロカラーフィルタ方式を用いたもので、 $3 \times 12\text{m}^2$ の超大型ディスプレイが試作されている。

単純マトリクス方式は、LCD の2枚の基板にそれぞれ X および Y 方向のストライプ電極を構成し、その交点を画素とするものである。X 電極を1ラインずつ順次走査し、各ラインに対応する信号電圧を Y 電極からいっせいに印加することによって任意の画像の表示が行われる。ここで、現在広く用いられている累積応答型は、1ラインの選択時間を液晶の応答時間より短く設定したものである。したがって、図9に示すように、数回の走査を繰り返した後に透過率が定常状態 (T_{on} または T_{off}) に達することになる。この場合の透過率 T_{on} または T_{off} は、(a)図の電圧波形に対

応する実効電圧 ((b)図の V_{on} または V_{off}) で決まる．したがって、走査線数が増すほど V_{on} と V_{off} の比が小さくなり、コントラストが取りにくくなる．このために、大容量のマトリクス LCD には V_{on} と V_{off} の比が小さくても光学特性の差が大きくとれる液晶、すなわち閾特性の急峻な液晶が要求されることになる．

一方、逐時書込み型の直接マトリクス方式は、図 10 に示すように選択時間を液晶の応答時間より長くしたものである．したがって、この方式は少なくともフレーム時間より長いメモリー性を持つ液晶でなければ適用することができない．この方式の特長は走査電極数を増やしてもコントラストが低下しないことである．一方、問題点は、1 画面の書込みに少なくとも液晶の応答時間 τ と走査線数 N の積の時間を要するので、表示容量の増加とともに画面書換えの時間が長くなることである．

このような理由で、本方式は応答速度の早い強誘電性液晶に採用されているが、前述のようにその応答速度はまだ充分とはいえない状態である．

アクティブマトリクス方式には、各画素ごとに薄膜トランジスタを付けた TFT 型と非線型ダイオードを付けたダイオード型がある．このうち、TFT 型は、そのスイッチング特性と画素容量を利用して、選択期

図 8 大容量ドットマトリクス LCD の各種駆動方式

図 10 逐次応答型 LCD の動作 (強誘電液晶セルの例)

間に印加された電圧を次の走査まで保持するものである．大容量で高いコントラストおよび中間調を容易に得ることができるという特長があり、高品位の液晶テレビとして実用されている．製造プロセスが複雑であるために、画面サイズの増加と共に歩留りが指数関数的に低下する問題があり、今後の課題とされている．

ダイオード型のアクティブマトリクス方式は、製造プロセスが TFT 型より簡単であり、駆動波型を適当に設計すれば TFT 型と類似した高い表示品位が得られる．しかし、非線形素子と画素容量との直列回路の動作は複雑で、あらゆる表示パターンに対して TFT のような理想的な電圧駆動条件を得ることは容易ではない．また、素子のばらつきが表示特性に直接影響を及ぼすために、特性をかなり厳密に制御しなければならない．したがって、TFT 型と比較していずれが有

図 9 累積応答型 LCD の動作

利であるかは一概には決められない。

4. カラー LCD

LCD をカラー化する方式を分類すると図 11 のようになる。

ここで複屈折方式は ECB セルの常光と異常光の干渉によってカラー表示を行うものであり¹⁶⁾、印加電圧によって干渉色を連続的に変化させることができる。しかし、この干渉色は観察方向や温度の変化によって敏感に変化するために使用条件が難しく、実用化には至っていない。

減法混色方式の代表的なものとしては、GH セルを積層したもの¹⁷⁾をあげることができる。前述のように、ゲストホスト方式は大容量の単純マトリクスには向かないので、スタティック方式またはアクティブマトリクス方式を採用する必要がある。画素の大きさを比較的大きくして大画面にする場合はスタティック方式が適している¹⁵⁾。しかし、高解像度のディスプレイでは斜めから観察した場合の色ずれが問題となる。この問題を解決する方法として、プラスチック基板¹⁸⁾やカプセル化したゲストホスト液晶¹⁹⁾の採用が考えられる。ただし、高解像度の GH セルではアクティブマトリクス方式の適用を要するものと考えられるので、この方式ではプラスチック基板上へのアクティブ素子の形成技術の開発が重要な課題となろう。

透影型の加法混色方式は、3 枚の LCD の表示パターンを赤、緑、青のフィルタを通してスクリーン上に重ねて投影するものである。レーザ書込み型 LCD¹³⁾およびアクティブマトリクス LCD²⁰⁾ですでにこの方式を応用したカラーディスプレイが試作されている。特に投射型のアクティブマトリクス LCD は高輝度の大型カラーテレビとして期待される。

時分割型の加法混色方式は 1 フィールドごとに光源の色を赤、緑、青と順次切り換えるものである²¹⁾。したがって、逐次書込み型の駆動方式が適しているが、フリッカを生じさせないために高速応答性の液晶が要求される。強誘電性有力な候補であるが、前述のモノクロームの場合に要求される応答時間 $10 \mu\text{s}$ よりさらに 3 倍の速い応答速度が要求されるため、この実現にはさらに年月を要するものと考えられる。なお、強誘電性液晶とアクティブマトリクス方式を組合せれば 1 フィールドの書込み時間を大幅に短縮できる可能性があり、時分割型を実現できる可能性は少なくない。

マイクロカラーフィルタ型の加法混色方式は、マトリクス LCD の各画素ごとに赤、緑、青のカラーフィルタを微細加工して付けたものである²²⁾。構造が簡単

図 11 カラーLCDの方式

であり、良好な表示カラーが得られるために、スタティック方式、単純マトリクス方式、アクティブマトリクス方式などと組合せてすでにかなり実用化が進んでいる。一方、この方式の問題点は、光の利用効率が悪く、液晶パネル全体の透過率が数%と暗いために、かなり明るいバックライトを必要とすることである。この問題を解決するために、相転移型のゲストホスト方式を用いた明るい反射型マルチカラー LCD の検討も行われており、最近実用レベルの明るさが得られるに至っている²³⁾。

5. 液晶デバイスの現状と将来動向

すでに述べてきたように、液晶の表示モードおよび駆動方法には多くの方式があり、それらを組合せることによって、特性を幅広く選択することができる。なかでも、TN* モードを用いた単純マトリクス LCD は構造が簡単で製造が容易であるために研究開発が活発に行われており、最近大型化、大容量化が急速に進み始めている。早晚高コントラストのマルチカラー LCD として実用化が進むものと考えられる。ただし、大容量のものは一般に応答速度がやや遅くなると共に、ヒステリシス特性を示すので、中間調表示や動画表示は困難であろうと考えられる。

一方、TN モードを用いたアクティブマトリクス LCD は、小型・高品位のフルカラーディスプレイとして数年前から開発が続けられている。現状ではこの大型化は容易ではないが、いずれ画素数 $1000 \times 1000 \times 3$ 色、対角 12 インチ程度のももの、ある程度の歩留りで製造できるようになろうと考えられる。さらに、大型のディスプレイとしては、アクティブマトリクスを用いた投影型ディスプレイが有望であるが、強力な光源の採用と光の利用効率の向上をはかることにより、高輝度の大型カラーディスプレイが実現できるものと考えられる。これに関連して、HDTV 用ディスプレイへの応用も期待されるが、このためには、超微細加工技術を導入して $1 \sim 2 \mu\text{m}$ ルールの TFT を実現し、高解像度化と供に高開口率化をはかる必要がある。

ところで、液晶の用途はこれまで主としてディスプレイデバイスが中心であったが、液晶のもつユニーク

な光学特性を応用したセンサデバイスや光演算デバイスなどのオプトエレクトロニクスデバイスとしての用途も開発され始めている。今後、このオプトエレクトロニクスの分野は、マイクロエレクトロニクスと共に大きく発展して行くものと思われるが、これに関連して低電圧・低電流動作の液晶デバイスの役割はますます重要になっていくものと考えられる。

(昭和62年9月14日受付)

【参 考 文 献】

- 1) M. Shadt and W. Helfrich: "Voltage Dependent Optical Activity of a Twisted Nematic Liquid Crystal", Appl. Phys. Lett., **18**, 4, pp. 127-128 (Feb., 1971)
- 2) H. Seki, T. Uchida and Y. Shibata: "Evaluation of Brightness and Contrast of Twisted-Nematic and Guest-Host Cells", Proc. SID, **25**, 4, pp. 275-280 (1984)
- 3) C. H. Gooch and H. A. Tarry: "Optical Characteristics of Twisted Nematic Liquid Crystal Films", Electron Lett., **10**, 2, pp. 2-4 (June, 1974)
- 4) T. Nagatsuka, T. Shimomura and Y. Oishi: "Contrast Improvement by the Use of Polarizers for Liquid Crystal Displays", SID Symp. Digest., pp. 74-77 (1985)
- 5) K. Kinugawa, Y. Kando and M. Kanasaki: "640×400 Pixel LCD Using Highly Twisted Birefringence Effect with Low Pretilt Angle", SID Symp. Digest, pp. 122-125 (1986)
- 6) T. J. Sheffer and J. Nehring: "Investigation of the Electro-Optical Properties of 270° Chiral Nematic Layers in the Birefringence Mode", J. Appl. Phys., **58**, 8, pp. 3022-3031 (Oct., 1985)
- 7) M. Shadt and F. Leenhouts: "Electro-Optical Performance of a New, Black-White and Highly Multiplexable Liquid Crystal Display", Appl. Phys. Lett., **50**, 5, pp. 236-238 (Feb., 1987)
- 8) T. Uchida, H. Seki, C. Shishido and M. Wada: "Bright Dichroic Guest-Host LCDs without a Polarizer", Proc. SID, **22**, 1, pp. 41-46 (1981)
- 9) D. L. White and G. N. Taylor: "New Absorptive Mode Reflective Liquid-Crystal Display Devices", J. Appl. Phys., **45**, 11, pp. 4718-4723 (Nov., 1974)
- 10) G. H. Heilmeyer and L. A. Zanoni: "Guest-Host Interaction in Nematic Liquid Crystals", Appl. Phys. Lett., **13**, 3, pp. 91-91 (Aug., 1968)
- 11) H. Seki, T. Uchida and Y. Shibata: "Dichroic Dyes for Guest-Host Liquid-Crystal Cells", Japan. J. Appl. Phys., **24**, 5, pp. 299-301 (May, 1985)
- 12) N. A. Clark and S. T. Lagerwall: "Submicrosecond Bistable Electro-Optic Switching in Liquid Crystals", Appl. Phys. Lett., **36**, 11, p. 899 (1980)
- 13) F. J. Kahn, P. N. Kendrick, J. Leff and L. J. Linvoni: "A Paperless Plotter Display System Using a Laser Smectic Liquid-Crystal Light Valve", SID Symp. Digest pp. 245-257 (1987)
- 14) O. Myodo, K. Yagishita, M. Ohta and K. Kurahashi: "A Large Screen Color Display Using an Array of LCD Modules", Proc. Japan Display, pp. 430-432 (1983)
- 15) H. Matsukawa, Y. Wakahata and M. Ito: "A Continuous Very-Large-Area Liquid Crystal Color Display", SID Symp. Digest, pp. 58-61 (1985)
- 16) M. F. Schiekkel and K. Fahrenschoen: "Deformation of Nematic Liquid Crystals with Vertical Orientation in Electrical Fields", Appl. Phys. Lett., **19**, 10, pp. 391-393 (Nov., 1971)
- 17) T. Uchida: "Multicolor Liquid Crystal Displays", Optical Eng., **23**, 3, pp. 247-252 (June, 1984)
- 18) S. Takahashi, O. Shimokawa, H. Inoue, K. Uehara, T. Hirose and A. Kikuyama: "A Liquid Crystal Display Using Polymer Films", SID Symp. Digest, pp. 86-87 (1981)
- 19) J. L. Ferguson, A. Dalisa, S. Lu and P. Prgaic, "Polymer Encapsulated Nematic Liquid Crystals for Use in High Resolution and Color Display", SID Symp. Digest, pp. 126-127 (1986)
- 20) S. Aruga, R. Araki, H. Kamakura, J. Shinozaki and S. Morozumi: "High-Resolution Full-Color Video Projector with Poly-Si TFT Array Light Valves", SID Symp. Digest, pp. 75-78 (1987)
- 21) H. Hasebe and S. Kobayashi: "A Full-Color Field-Sequential LCD using Modulated Backlight", SID Symp. Digest, pp. 81-85 (1985)
- 22) T. Uchida: "A Liquid Crystal Multicolor Display using Color Filters", Proc. 1st European Display Res. Conf., pp. 39-42 (Sep., 1981); "A Full-Color Matrix Liquid Crystal Display with Color Layers on the Electrodes", IEEE Trans., **ED-30**, 5, pp. 503-507 (May, 1983)
- 23) T. Uchida, T. Katagishi, M. Onodera and Y. Shibata: "Reflective Multicolor Liquid-Crystal Display", IEEE Trans., **ED-33**, 8, pp. 1207-1211 (Aug., 1986); T. Koizumi and T. Uchida: "Bright Reflective Multicolor Liquid Crystal Display", Proc. Eurodisplay '87, p. 131 (Sep., 1987)

うちだ 龍男 昭和50年、東北大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。同年、東北大学工学部電子工学科助手。現在、同助教授。液晶の基礎物性、ディスプレイデバイス、オプトエレクトロニクスデバイス等の研究に従事。正会員。