

フレキシブル液晶ディスプレイ

藤 掛 英 夫

Flexible Liquid Crystal Displays

Hideo FUJIKAKE

Research approach and its problems for flexible liquid crystal displays are discussed in this paper. To realize such future displays, a special cell spacer structure supporting firmly flexible thin plastic substrates is most important so that a liquid crystal layer thickness can be kept constant between the substrates, even when it is bent. A high-speed response ferroelectric liquid crystal is useful as a liquid crystal material for motion-image displays. The flexible display using a composite film of ferroelectric liquid crystal and fine polymers is introduced as an example of developed devices.

Key words: flexible display, liquid crystal, spacing technology, ferroelectric liquid crystal, plastic substrate, composite film

液晶を用いたディスプレイは、消費電力が低く精細度にすぐれるため、これまでに目覚ましい発展を遂げており、さまざまなフラットパネルディスプレイの方式の中で主要な役割を担っている。そして現在、静止画表示を主としたコンピューター用途から、高画質の動画や大画面表示が求められるテレビ分野で大きく飛躍しようとしている。そのように液晶ディスプレイの大画面・高精細化技術が進む一方、昨今、新しいコンセプトの表示概念が注目されている。表示形態の自由度や収納・携帯時の利便性を求めて、プラスチック基板¹⁾を用いて曲げられる液晶ディスプレイを実現するための取り組みである。

フレキシブルな表示媒体としては、紙の形態的特質や外光による表示機能を目指した電子ペーパー技術の開発が急がれており、液晶のほかにも可動性インキを用いた電気泳動ディスプレイ²⁾をはじめ、多くの手法が検討されている。液晶を用いた場合には実時間で画像表示が可能になるのに対して、液晶以外の方式のほとんどは、表示の書き換え速度の制限から、文字や静止画の表示を想定したものと見える。

液晶を用いてフレキシブルな動画ディスプレイが実現されれば、自由に丸めて持ち運べるため、いつでもどこでも手軽にテレビなどの映像サービスを楽しむことができるようになる(図1)。そのようなフレキシブル液晶ディスプレイは、テレビ用途に应用に限られるものでなく、画面サイズを問わず幅広いディスプレイ分野で、新しいディスプレイの用途を創出する可能性がある。例えば、軽量のシート状のディスプレイが印刷形成により大面積化されれば、壁や窓からスクリーンのように引き出したり、ポスターのように壁に貼り付けて、迫力ある超大画面映像を楽しむことも夢ではなくなる。

さらに、フレキシブル液晶ディスプレイでは、これまでのパネル製造で培われてきた高度な高精細化・カラー技術をも十分に活用できる。また、外光を用いた反射型表示により、明るい屋外での使用や省電力動作も期待できる。

そこで本稿では、フレキシブルな液晶ディスプレイを実現するための技術課題と解決方法を述べるとともに、その開発例として、微細なポリマー構造を分散した液晶素子³⁾を紹介する。

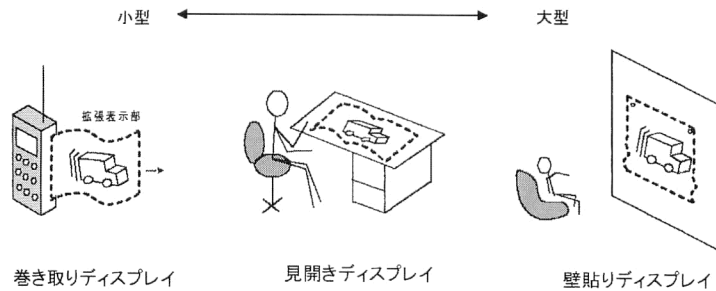


図1 フレキシブル液晶ディスプレイの応用イメージ。

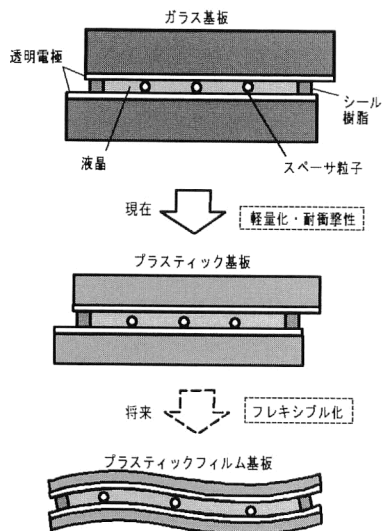


図2 液晶素子構造の進化。

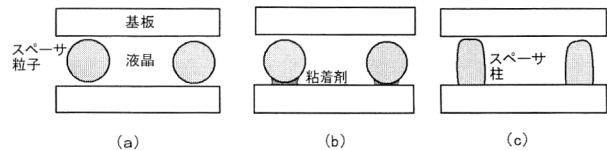


図3 液晶素子のスペーサー構造。

れている。しかし、その場合も、基板の平坦性により液晶層の厚みを一定に保持しなければならないため、厚くて硬いプラスチック基板(0.4 mm厚)が使用されている。

表示素子をフレキシブル化するには、プラスチック基板を大幅に薄くするとともに(～0.1 mm厚)、スペーサー構造に抜本的な改良が求められる。液体の液晶材料を柔軟なプラスチック基板で挟んだだけでは、曲げたときに基板間の間隔(すなわち液晶層の厚み)が変動して、表示が大きく乱れるためである。

液晶素子が曲げられた場合、厳密には曲がり部分の基板間隔が圧縮する一方、液晶の体積は不変であるため、圧力が小さくなる周辺部には拡張する力が働く。すなわち、液晶素子の基板間には、圧縮・拡張の双方の力が局所的に加わる。図3(a)に示される現状のスペーサー粒子(硬質プラスチック製)を用いて、基板間隔が圧縮するような外力が加わった場合、スペーサーが圧点から流動することが知られる。それにより、ガラス基板を使用した液晶ディスプレイでも、パネル面を指で押すと液晶の厚みが変動して表示が波打つように乱れる。

その対策として現在、粘着剤のついたスペーサー粒子(図3(b))や、フォトリソグラフィ工程で作り込まれたスペーサー柱(図3(c))が使用されている。しかし、そのようなスペーサーは一方の基板にのみしか接着していないため、フレキシブルディスプレイで想定される基板間隔の拡張に対して無力となる。

そのため、フレキシブル液晶ディスプレイの開発では、柔軟な双方の基板を接着して、その間隔を一定に保持するスペーシング技術が最も重要な課題といえる。その方策としては、熱軟化性のポリマー柱を一方の基板に形成した

1. 素子の柔構造化

1.1 基板のスペーシング

自由に曲がる電子ディスプレイは以前より夢のディスプレイと待望されてきたが、フラットパネルディスプレイとして液晶ディスプレイの要素技術が成熟しつつある現在、その実現に向けた機運が急速に高まっている。それにつれて、さまざまな課題が明らかになってきている。

液晶は、“液”体の流動性と結“晶”の分子配向性を有する低分子有機材料であり、電界印加に伴って分子配向が変化して電気光学効果を発現する。液晶自体は液状であるため、固体材料と異なり本質的に変形自在であり、フレキシブルな電子表示媒体としてきわめて有望である。しかしながら、以下の理由により、従来の素子構造を大きく変えていく必要がある。

これまでの液晶素子では、図2に示されるように厚くて硬い平坦なガラス基板(約0.7 mm厚)を用いて、流動性のある液晶材料を、微小でサイズの揃ったスペーサー粒子(数 μm 径)を介して挟み込んできた。それに対して、現在は携帯電話用小型素子の軽量化や耐衝撃性を向上させるため、ガラスの代替としてプラスチック基板の導入が進めら

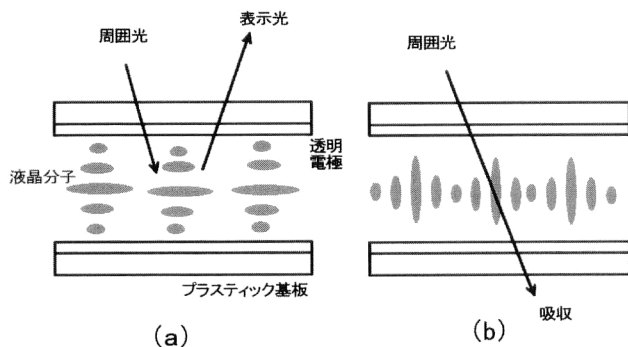


図4 コレステリック液晶を用いた液晶素子。

後、もうひとつの基板を熱圧着したり⁴⁾、両基板に挟まれた液晶層内でモノマーを重合して、微細なポリマー構造⁵⁾により両基板を固定する方法が試みられている。なお、後者のポリマーの合成法については、2章で詳述する。

1.2 液晶材料

フレキシブル素子内に用いられる液晶材料には、素子が曲げられても分子配向が維持されることが求められる。これまでに、粘度が低くて分子流動性が高く、分子配向に自己修復性のあるネマチック系液晶¹⁾が多く用いられてきている。例えば、ねじれ配向のネマチック液晶⁶⁾や、さらにねじれ配向のピッチを小さくしたカイラルネマチック液晶⁴⁾などである。後者の場合であれば、図4に示されるように電圧駆動の方法により、分子配向のねじれ軸が異なった状態を切り替えることができる。この場合、波長選択反射(ねじれピッチと同程度の波長の円偏光をブラッグ回折する)を有するプレーナー配向(図4(a))と、反射のないフォーカルコニック配向(図4(b))で、二値の表示動作が可能になる。

一方、それらの液晶材料に比べて、自発分極を有して2桁以上高速な強誘電性液晶⁷⁾(応答時間は数十~数百 μs)が注目されており、スパーサー柱を用いて湾曲可能な素子⁸⁾が試作されている。これにより、分子運動性が低く配向構造が脆弱とされてきた強誘電性液晶も、基板間隔を一定に保持できれば、フレキシブル化が可能であることがはじめて示された。また、それに先立ち、強誘電性液晶の高分子化により、液晶層自体に機械的強度をもたせたフレキシブル素子⁹⁾も先駆的に試作されている。しかし、一般に強誘電性液晶素子は二値の表示動作に限られ、自然画像の表示に欠かせない連続階調機能を得るのが困難とされる。

そこで筆者らは、強誘電性液晶とポリマーの複合膜¹⁰⁾を用いて、階調表示¹¹⁾が可能なフレキシブル素子を提案している。続く2章では、筆者らがフレキシブルディスプレイのキーテクノロジーとして開発を進めている液晶素子を紹

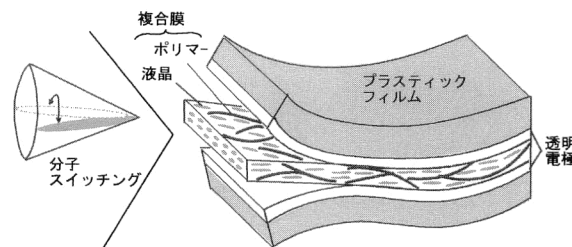


図5 強誘電性液晶/ポリマー複合膜を用いた液晶素子。

介する。

2. フレキシブル素子の開発例

2.1 素子構造と動作原理

素子構造や液晶材料に関する上記の課題を踏まえ、筆者らは、図5に示される独自構造の液晶素子³⁾を考案・試作している。この素子は、ポリマー繊維と強誘電性液晶の複合膜を、透明電極(ITO; $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$)のついた2枚のプラスチック基板で挟んだものである。このポリマー繊維のネットワークは堅固な構造を有し、柔軟な基板を使用した場合でも、基板間隔を一定に保つ。そして、曲げたときに複合膜に加わる外力から、液晶の分子配向を保護する。

さらには、ポリマー繊維が一方向に伸びた形態となっているため¹²⁾、液晶分子の配向を乱すことなく安定化する。ポリマー繊維間に分散された液晶分子は、自らのねじれ弾性力とポリマーによる配向規制力のバランスから、同図に示されるように繊維の方向から傾いて配向する。その結果、液晶分子に許される回転運動の軌跡は、ラビング方向を中心軸とするコーン面となる。この状態で透明電極間に電圧を印加すると、分子短軸方向に電気双極子モーメントを有する液晶分子にクーロン相互作用が働き、分子は素子面内で傾いた2方向のいずれかに配向する。すなわち液晶は、印加する電圧の極性に応じて自発分極の向きが反転するのに伴って、繊維方向を中心として材料固有の角度だけ逆方向に傾く。

この2つの配向状態は、印加電圧の極性を変えることにより容易にスイッチされる。液晶分子の配向が素子面内でスイッチした際、入射する偏光の位相が変わるため、液晶素子を2枚の偏光板で挟めば光の強度が変調される。

さらに、本素子において階調機能が得られるのは、ポリマー繊維の分散に起因するもので、液晶配向がスイッチした明/暗状態の微小ドメイン(数 μm)が素子面内に生じるためである。すなわち、配向がスイッチした液晶ドメインの面積比率が、印加電圧に応じて連続的に変化するため、透過率をアナログ的に制御することが可能となる。そのため、本素子の中間調状態を顕微鏡で観察すれば黑白の二値

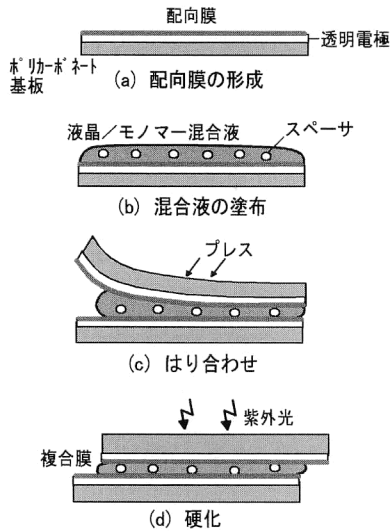


図6 液晶素子の作製過程。

ドメインが観察されるが、肉眼で見ると液晶ドメインが識別できないため、灰色に見えることになる。

なお、分子配向のスイッチングに要する閾値電圧が空間的に変調されるのは、液晶と分離・析出したポリマーの凝集体が、局所的な配向規制力を隣接する液晶に及ぼすためと考えられる。また、本素子内のドメインサイズは、直視型の液晶ディスプレイの画素（数百 μm ）に比べて桁違いに小さいため、ディスプレイの解像度に影響を及ぼすことはない。

2.2 作製方法

フレキシブル液晶ディスプレイへのアプローチは、上述のように基板やスペーサーをはじめ、多くの構成要素を見直す作業といっても過言ではなく、それを組み上げる作製プロセスも例外ではない。

ガラス基板を用いて液晶パネルを作製する場合、2枚の平坦な基板で数 μm のギャップを形成した後、液晶を真空注入してきた。しかし、柔軟なプラスチックフィルム基板を用いた場合、均一なギャップ形成が困難になるとともに、粘度の高い強誘電性液晶の注入はさらに難しい工程となる。

一方、基板間の液晶内にポリマー構造を形成する方法としては、近年、液晶とモノマーの均質混合液から、モノマーの重合により分子量が大きくなったポリマーを再分離する自己組織化過程¹³⁾が見いだされている。一次効果であるモノマーの重合反応により、二次効果であるポリマーの不溶化・析出（相分離）を誘起するもので、特に紫外光の照射により重合反応を誘起させる場合には、光重合相分離法¹⁴⁾とよばれる。

この方法が発明された当初、液晶とポリマーの複合構造はポリマー内に液晶小滴が分散されたものに限られていたが、紫外光強度、モノマー配合比などにより重合速度や相分離現象を制御できるため、その後、ポリマーのネットワーク構造¹⁵⁾や、それを異方性化する手法¹⁶⁾があいついで見いだされている。

筆者らは、上記のフレキシブル液晶素子を構成するため、光重合相分離法を活用した独自の作製工程を考案した。図6にその概要を示す。最初に、透明電極とガスバリアー膜が設けられたプラスチックフィルム基板（ポリカーボネート製、厚み100 μm ）の上にポリイミド樹脂の配向膜を塗布し、液晶分子の配向を促すためのラビング処理を施す。その配向膜の上に、紫外光の照射により重合する単官能アクリルモノマー¹⁷⁾を、強誘電性液晶に混合して塗布する。ここで用いるモノマーは、液晶分子と同様に剛直な棒状構造と分子配向性をもち、液晶に対して高い相溶性を示す。

次に、もうひとつの同じ基板を用いて混合液を挟み込み、端部からプレスしていく。あらかじめ混合液には微量のスペーサー粒子（2 μm 径）が分散してあるため、基板がスペーサー径まで押し込まれ、混合液の厚みが一定となる。このとき、ラビング配向膜の作用により、細長い分子構造を有する液晶とモノマーの双方の分子が配向する。

最後に紫外光（中心波長365nm）を照射すると、混合液内で二重結合を含むモノマーが重合する（図7）。その際、分子量が増したポリマーは繊維状のネットワークとして液晶中に凝集・硬化して、両基板が接着されることになる。

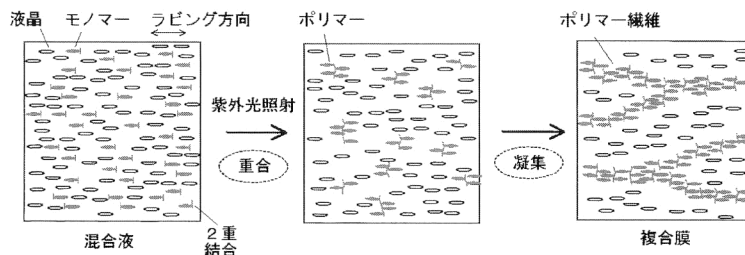


図7 ポリマー繊維の形成モデル。

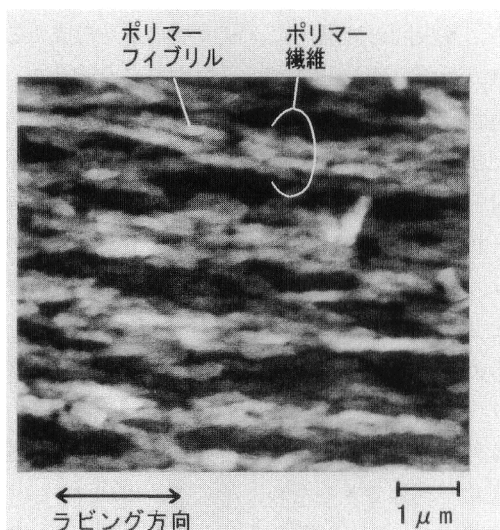


図8 ポリマー繊維の走査型電子顕微鏡写真。

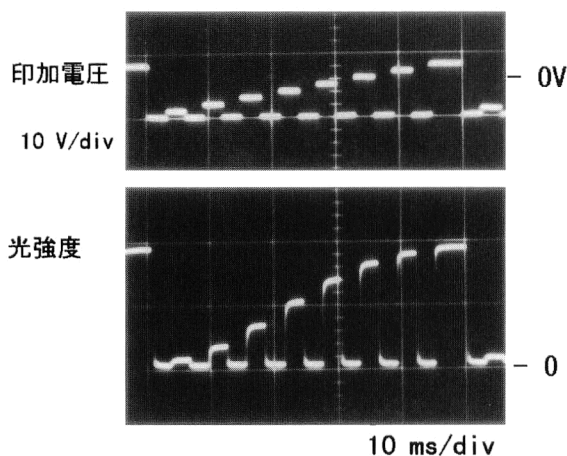


図9 階調電圧パルスに対する電気光学応答。

形成されたポリマー繊維の表面構造（モノマー添加量 20 wt%）を、走査電子顕微鏡により観察した結果を図8に示す。複合膜内で、サブマイクロメートル径の微小なポリマーフィブリル（微小繊維片）の凝集を伴ってポリマー繊維が形成されており、ラビング方向に異方性化していることが確認できる。

なお、上記の作製工程には、印刷塗布法（フレキシ印刷）が適用される¹⁸⁾。プラスチック基板の大面积延伸形成は容易であるため、本素子のサイズは実質的に印刷装置の大きさで制限される。そのため、ポスターのような印刷物のように、大型印刷装置を用いた大面积素子の試作も期待できる。

2.3 湾曲表示

ポリマー繊維を形成した液晶素子は、液晶配向が均一であるため、光散乱がほとんどなく透明である。素子を偏光透過軸が直交した偏光板で挟み、異なる大きさのパルス電

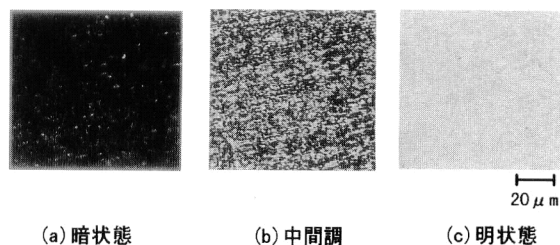


図10 液晶/ポリマー複合膜の偏光顕微鏡写真。

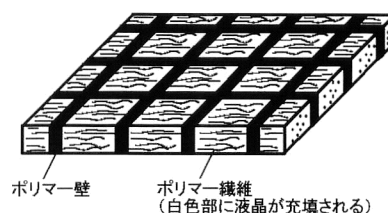


図11 ポリマー壁を含む液晶/ポリマー複合膜の構造モデル。

圧で駆動した結果、図9に示されるように、階調を伴う光変調効果が得られた。この階調動作は、図10の顕微鏡写真に示されるような二値のドメイン分布の変化に基づくものである。また、本素子で得られた高速応答性は、分子量が大きく動きにくいポリマーと、低分子の強誘電性液晶の成分が高純度に分離しているために得られる。このような高速階調機能は、動画表示に好適といえる。

筆者らは、素子の湾曲耐性をさらに高めるため、図11に示されるように、複合膜の内部にポリマー繊維とともに格子状のポリマー壁⁹⁾を形成する研究を進めている。液晶/モノマー混合液に格子状のフォトマスクを介して紫外光をパターン露光し、ポリマーの壁構造を構築した後、全面露光により残されたモノマーを用いてポリマー繊維を表示部に形成するものである。

ポリマー壁を形成したフレキシブル素子では、約3 cm径になるように曲げても基板が剥離せず、液晶配向が維持される液晶素子が実現されている。図12は、10 cm角の液晶素子を印刷法により試作し、蛍光灯に丸く巻いた状態で表示動作を行ったものである。同素子の文字パターンは透明電極パターンで駆動されており、曲げられた状態であっても液晶層の厚みが一定に保たれるため、様な表示動作が確保されている。

なお、フレキシブル液晶は曲げられた状態での表示動作も求められ、画面端部は斜めから見られることになる。そのため、視野角が狭いとコントラスト低下や階調反転により、画質が著しく低下する。本素子は、広視野角で知られる従来のインプレーススイッチングモード¹⁹⁾と同様、液晶分子の動きが基板面内にとどまり、しかも液晶層がきわめ

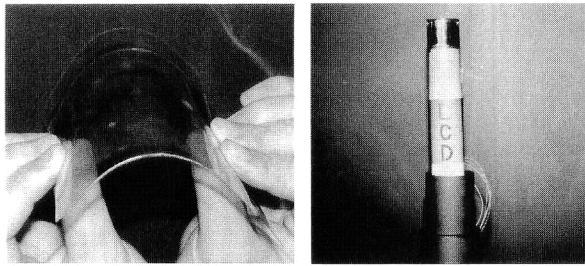


図12 フレキシブル液晶素子を用いた湾曲表示例。(カラー口絵参照)

て薄いため、入射角の変化に伴う複屈折の変動が少なく、本質的に広い視野角が期待できる。レーザー光を用いた実験から、本素子は光学補償フィルムを用いなくても、全角100°でも階調反転を生じないことが確認された¹⁴⁾。図12から、丸められて斜方から見ることを強いられる左右端部でも、階調反転を生じていないことがわかる。

試作した素子の重量は、同様の面積のガラス基板(0.7 mm厚)を用いたものに比べてわずか13分の1(3 g)であり、きわめて軽量の液晶素子といえる。さらに、本素子の軽量性と柔軟性は、電子ペーパー的な用途にも好適であることはいうまでもない(図13)。最近の研究により、筆者らは、ポリマー構造の制御により、電子ペーパーや液晶ディスプレイの省電力駆動に有用な中間調のメモリー機能²⁰⁾を複合膜が発現することを見いだしている。

3. アクティブ駆動に向けて

上記のようなフレキシブル液晶素子を用いて高精細表示を行うためには、柔軟な基板上にマトリクス駆動用メモリーとして、薄膜トランジスタ(TFT; thin film transistor)を装着する必要がある。昨今、液晶ディスプレイの湾曲化に向けた開発が活発化している。例えば、加熱に対する寸法安定性にすぐれたプラスチック基板にa-SiのTFTを実装したり²¹⁾、また薄板化したガラス基板をプラスチックフィルムと貼り合わせて補強することにより²²⁾、表示パネルの湾曲化が図られて話題を集めている。

表示パネルが丸められるように、抜本的に柔軟化するには、TFT自体も軟らかい素材で構成する必要がある。そのため、a-Si並みの電荷移動度を有するペンタセン有機半導体を用いた有機トランジスタが脚光を浴びており、基礎的な試作段階ながら液晶の駆動²³⁻²⁵⁾も試みられている。その一方、国内外で精力的に開発が進められている電子ペーパーでは、動画表示が困難なもの、メモリー性を有する液晶の導入によりTFTを用いずマトリクス駆動が行える利点があり、早期の実用化が可能である。

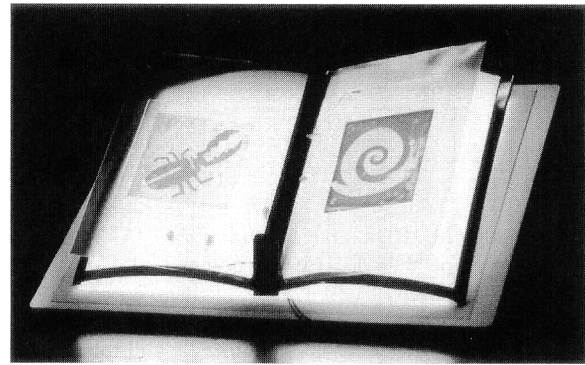


図13 薄くて軽いフィルム状の液晶素子。(カラー口絵参照)

また、マトリクス駆動用に透明電極を微細パターン化した場合、ITOは金属酸化物のため可塑性に乏しく、基板を曲げるとクラックが入り断線が生じやすくなる。そのため、フレキシブルディスプレイでは、透明導電膜ITOもポリチオフェン誘導体²⁶⁾などを用いた導電性有機材料に変えていく必要がある。

フレキシブルなマトリクス駆動パネルを考えるうえで、さらに喫緊の課題は、プラスチック基板の材料開発である。昨今の液晶用プラスチック基板では、複屈折の解消、透明性の確保、およびガスバリア性はかなり改善されて実用域に達している。しかし、TFTや電極形成などのパネル化工程では、熱、有機溶媒や水に対して膨潤・軟化しないなど、高い寸法安定性が要求される。その結果、プラスチック材料は硬質のものにならざるを得ない。それに対して、液晶層の厚みを一定に保持した状態で液晶素子が柔軟性を発揮するには、上下基板の伸縮変形²⁷⁾が不可欠である。すなわち、高精細パネル作製とパネルの柔軟化では、プラスチック基板に相反する条件が求められる。究極のフレキシブルディスプレイの実現に向けては、今後、基板材料の複合化などのブレイクスルーが必要となろう。

自由に曲げられるフレキシブル液晶ディスプレイを実現するための研究課題を解説した。さらに、フレキシブル素子の開発例として、微細なポリマー構造を含んだ強誘電性液晶素子を紹介した。

昨今、さまざまな方式のフレキシブルディスプレイが提案されているなかで、“曲がるか”という段階から、“どれだけ曲がるか、耐久性はあるのか”ということに焦点が移ってきていると、筆者は感じる。フレキシブル液晶ディスプレイは、単に湾曲するだけでは曲がった壁面での表示などに用途に限られる。それに対して、丸められる、もしくは巻き取れる場合、収納性や携帯性が飛躍的に向上して大きなインパクトになる。今後、基板材料の開発をはじめ、

曲げに対する素子の耐久性を向上させるとともに、フレキシブル素子に適したマトリクス駆動技術を早急に検討する必要がある。

文 献

- 1) T. Oh-ide, M. Higa and K. Fujimura: "A black/white reflective type STN-LCD using polymer film substrates," *Proc. Asia Display*, P1.2-1 (1995) pp. 169-172.
- 2) P. Drzagic, B. Comiskey, J. D. Albert, L. Zhang, A. Loxley, R. Feeney and J. Jacobson: "A printable and rollable bistable electronic display," *Society for Information Display Dig.*, 44.3L (1998) pp. 1131-1134.
- 3) H. Fujikake, T. Murashige, H. Sato, Y. Iino, M. Kawakita and H. Kikuchi: "Flexible ferroelectric liquid-crystal devices containing fine-polymer fibers," *J. Soc. Inf. Disp.*, **10** (2002) pp. 95-99.
- 4) K. Ochi, E. Yamakawa, K. Hashimoto and K. Kohriyama: "Full color display system using reflective memory type chiral nematic LCDs," *Proc. International Display Workshops*, PLC1-1 (2000) pp. 281-284.
- 5) H. Sato, H. Fujikake, Y. Iino, M. Kawakita and H. Kikuchi: "Flexible grayscale ferroelectric liquid crystal devices containing polymer walls and networks," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **41** (2002) 5302-5306.
- 6) J. C. Jones, J. R. Hughs, A. Graham, P. Brett, G. P. B. Brown and E. L. Wood: "Zenithal bistable devices: Toward the electronic book with a simple LCD," *Proc. International Display Workshops*, PLC2-2 (2000) p. 301.
- 7) N. A. Clark and S. T. Lagerwall: "Submicrosecond bistable electro-optic switching in liquid crystals," *Appl. Phys. Lett.*, **36** (1980) 899-901.
- 8) M. Frohna, J. Brill, V. Frey, M. Randler, M. Muecke and E. Lueder: "A bistable 4.8 inch ferroelectric matrix display based on plastic substrates," *Proc. Eurodisplay* (1999) pp. 401-404.
- 9) T. Sekiya, K. Yuasa, S. Uchida, S. Hachiya, K. Hashimoto and K. Kawasaki: "Ferroelectric liquid crystalline polymers and related model compounds with a low-moderate degree of polymerization," *Liq. Cryst.*, **14** (1993) 1255-1267.
- 10) H. Fujikake, T. Aida, J. Yonai, H. Kikuchi, M. Kawakita and K. Takizawa: "Rigid formation of aligned polymer fiber network in ferroelectric liquid crystal," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **38** (1999) 5212-5213.
- 11) H. Fujikake, T. Murashige, H. Sato, Y. Iino, M. Kawakita and H. Kikuchi: "Fundamental display properties of flexible devices containing polymer-stabilized ferroelectric liquid crystal between plastic substrates," *Opt. Eng.*, **41** (2002) 2195-2201.
- 12) H. Fujikake, T. Murashige, J. Yonai, H. Sato, H. Kikuchi, Y. Iino, M. Kawakita, Y. Tsuchiya and K. Takizawa: "Morphological control of polymer network in ferroelectric liquid crystal," *J. Photopolym. Sci. Technol.*, **13** (2000) 295-300.
- 13) J. W. Doane, N. A. Vaz, B. G. Wu and S. Zumer: "Field controlled light scattering from nematic microdroplets," *Appl. Phys. Lett.*, **48** (1986) 269-271.
- 14) N. A. Vaz, G. W. Smith and G. P. Montgomery, Jr.: "A light control film composed of liquid crystal droplets dispersed in a UV-curable polymer," *Liq. Cryst.*, **146** (1987) 1-15.
- 15) T. Fujisawa, H. Ogawa and K. Maruyama: "Electro-optic properties and multiplexibility for polymer network liquid crystal display," *Proc. Japan Display* (1989) pp. 690-692.
- 16) Y. K. Fung, D. K. Yang, S. Ying, L. C. Chien, S. Zumer and J. W. Doane: "Polymer networks formed in liquid crystal," *Liq. Cryst.*, **19** (1995) 797-801.
- 17) S. Kataoka, Y. Taguchi, Y. Imura, S. Kobayashi, H. Hasebe and H. Takatsu: "Liquid-crystalline polymer-stabilized FLCs with conventional rubbed polyimide films or with photo alignment films of poly(vinyl cinnamate)," *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **292** (1997) 333-343.
- 18) 佐藤弘人, 藤掛英夫, 飯野芳己, 河北真宏, 菊池 宏: "プラスチックフィルム基板を用いたポリマー安定化強誘電性液晶素子の印刷形成", *映像情報メディア学会誌*, **56** (2002) 1001-1006.
- 19) M. Oh-e and K. Kondo: "Response mechanism of nematic liquid crystals using the in-plain switching mode," *Appl. Phys. Lett.*, **69** (1996) 623-625.
- 20) 村重 毅, 藤掛英夫, 池畑誠一郎, 佐藤史郎: "ポリマーで安定化した強誘電性液晶のメモリ効果", *電子情報学会論文誌*, **J85-C** (2002) 477-484.
- 21) M. Okamoto, Y. Okada, A. Ban, W. Oka, Y. Matsuda and S. Shibahara: "Development of a color reflective TFT-LCD using plastic substrates," *Proc. International Display Workshops*, AMD8-2 (2002) pp. 315-318.
- 22) T. Hioki, M. Akiyama, M. Nakajima, M. Tanaka, Y. Onozuka, Y. Hara, H. Naito and Y. Mori: "A flexible 8.4-in color low temperature poly-Si TFT-LCD," *Proc. International Display Workshops*, AMD8-3 (2002) pp. 319-312.
- 23) P. Mach, S. Jrodriguez, R. Nortrup, P. Wiltzius and J. A. Rogers: "Monolithically integrated, flexible display of polymer-dispersed liquid crystal driven by rubber-stamped organic thin-film transistors," *Appl. Phys. Lett.*, **78** (2001) 3592-3594.
- 24) E. Huitema, G. Gelinck, B. van der Putten, E. Cantatore, K. Kuijk, K. Hart and D. de Leeuw: "Polymer-based transistors used as pixel switches in active-matrix displays," *J. Soc. Inf. Disp.*, **10** (2002) 195-202.
- 25) 藤崎好英, 井上陽司, 鈴木鉄男, 栗田泰市郎, 時任静士, 藤掛英夫: "有機保護膜を有する有機FETを用いた液晶セルの試作", 第50回春季応用物理学会講演予稿集, 30a-A-3 (2003) p. 1246.
- 26) F. Louwet, L. Groenendaal, J. V. Luppen, E. Verdonck, L. Leenders, J. Dhaen and J. Manka: "PEDOT/PSS: Synthesis, characterization, properties and applications," *Synth. Met.*, **135/136** (2003) 115-117.
- 27) H. Sato, H. Fujikake, H. Kikuchi and T. Kurita: "Bending tolerance of ferroelectric liquid crystal with polymer walls fastening plastic substrates," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **42** (2003) L476-L478.

(2003年7月9日受理)