

液晶表示素子用カラーフィルターの高性能化

新エスティーアイ テクノロジー(株)

藤田 勉

藤井 幸男

住友化学工業(株) 精密化学品研究所

穂積 滋郎

筑波研究所

佐藤 行一

High-performance Color-Filters for Liquid Crystal Displays

New STI Technology, Inc.

Tsutomu FUJITA

Yukio FUJII

Sumitomo Chemical Co., Ltd.

Fine Chemicals Research Laboratory

Shigeo HOZUMI

Tsukuba Research Laboratory

Kouichi SATOU

For the coming society of information technology, it is expected that the market volume of the liquid crystal display (LCD) will be increasing more and more hereafter. The color filter is one of the most important parts for color LCDs. We have been working on the technology development of high performance, high function and cost reduction as a color filter maker.

In this paper, regarding the technology of high image performance and large size panel for note PCs, monitors and TVs, we will describe the improvement of color characteristic for high transmittance and high color purity, the development of the resin black matrix for IPS system (one of the wide viewing angle technology) and the pillar type spacer which enables panel makers to control the precise cell gap.

はじめに

近年、インターネットに代表されるマルチメディア・パーソナル社会の進展に伴って、液晶表示素子(LCD)の普及には目を見張るものがある。また、これからはデジタルネットワーク時代の到来が予想され、そこでは映像や文字の膨大な情報を取扱うことになる。このような社会を支える技術として、LCDは今後ますます成長が期待されるキーデバイスと位置付けられる。市場規模としては、2000年度に2兆円、成長率を20%/年と仮定すると、2003年には4兆円を突破するとの強気の予想も出されている¹⁾。

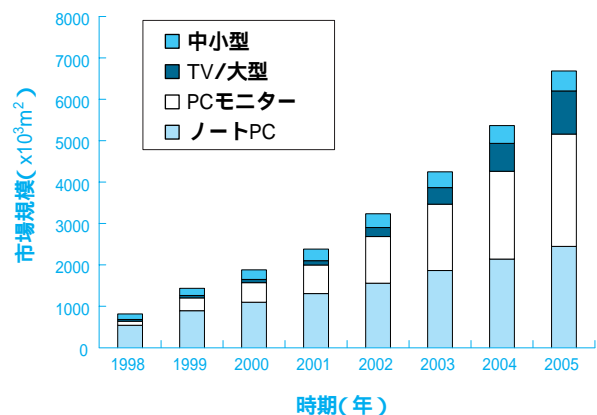
このような市場を支えるのは、「ノートPC」、「PCモニター」、「テレビなどの大型」、「モバイル・携帯電話などの中小型」であり、第1図に示す様な成長が予想され、なかでも「PCモニター」、「テレビジョン」などの大型ディスプレイ用のアクティブマトリックス型(TFTに代表される)LCDの伸びが期待される²⁾。

これらの市場規模予想を現実のものにするために

は、第1表に示すとおりLCDパネルの視認性の向上に代表されるより一層の特性向上、低コスト化が求められている。

これをカラーフィルターの高性能化という観点で見ても、まず色特性に関しては視感透過率向上と

第1図 TFT液晶パネル市場予測(表示面積)



第1表 LCDの技術ニーズとカラーフィルターの対応技術

LCDの技術ニーズ	対策	カラーフィルターの対応技術
高画質化 大画面化	透過率・色再現性の向上	カラーレジストの高性能化技術
	広視野角化	IPS、VA技術対応材料
	高コントラスト化	柱状スペーサー技術
	セルギャップ制御	
振動対策		
低消費電力化	透過率の向上	高透過レジストの開発
	開口率の向上	BM細線化、BMレス
薄型・軽量化	薄板ガラス基板の採用	基板撓み防止
低コスト化	直接材料費の低減	カラーレジスト使用量の削減
	歩留と生産性の向上	スループットの改善 クリーン化技術

色再現範囲の拡大である。すなわち、ノートPC用途では、消費電力を小さくするため、視感透過率の大きい、明るいカラーフィルターが望まれる。また、モニターおよびテレビジョンなどのAV用途には、固定電源で使うことが多いため、明るさはバックライトの輝度を増すことによって達成し、その分、色再現範囲が広いことが望まれる。カラーフィルターの透過率と色再現範囲には、同一材料系で製造するかぎり相反する関係がある。したがって、この両特性を同時に向上させるためには、より高性能の材料とその使用プロセスの開発が必要である。

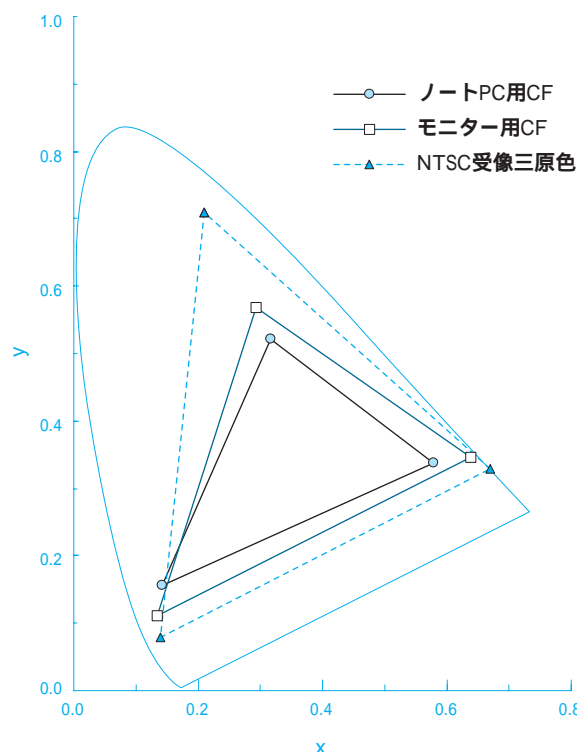
また、モニター、AV用途では、より広い視野角が要求される。広視野角技術としては、分割配向による方法、補償フィルムによる方法、横電界駆動法(IPS)の適用、垂直配向(VA)と分割配向の適用などがある。後2者の技術では、カラーフィルターに絶縁性のブラックマトリックスや、形状制御された構造物を必要とする。スペーサー周辺部での光漏れをなくしてコントラストをより向上させ、また、大画面でも生産性の高い方法として、柱状スペーサー付カラーフィルターが求められている。

本報告では、これら材料と関係の深い、「カラーフィルターの色特性の改良」、「樹脂ブラックマトリックスの実用化」、「柱状スペーサー付カラーフィルターの開発」について述べる。

色特性の改良

現在、製品化している代表的なカラーフィルターで表現できる色の範囲を、第2図に示す。色再現性すなわち色域の広さは、第2図のCIE(国際照明委員会)1931xy色度図³⁾上の三角形の面積で表す。色再現性は、カラーテレビジョンの方式のひとつであるNTSC(National Television System Committee)の色特性が目安とされ、通常、NTSC受像三原色の

第2図 カラーフィルターの色再現域の例

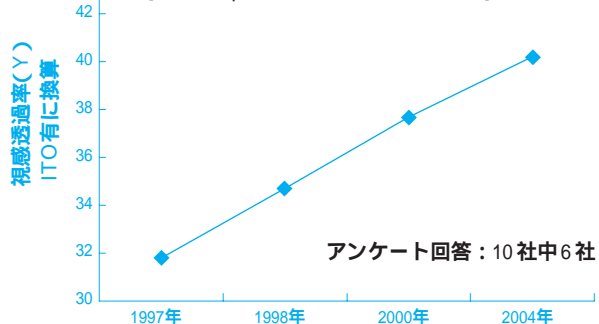


三角形の面積を100%として、これに対する面積比で表す。また、LCDの明るさに対応する透過率を表現するには、RGB各副画素の視感透過率(Y値)を平均した値が用いられる。

前章でも述べたように、明るさを優先するノートPC向けのカラーLCDでは、表現できる色の範囲は若干狭い。今、色再現範囲を40%と仮定した場合の視感透過率に関するLCDメーカーの要求を第3図に示す⁴⁾。年々、より明るくして欲しいという要求が強くており、Y値40超がターゲットと読み取れるが理論的な限界に近い値と考えられる。また、第4図は、色純度を優先するモニター用カラーLCDに関する色再現範囲と視感透過率に関するLCDメーカーの要求値⁴⁾、まず色再現範囲が60%超と比較的広い

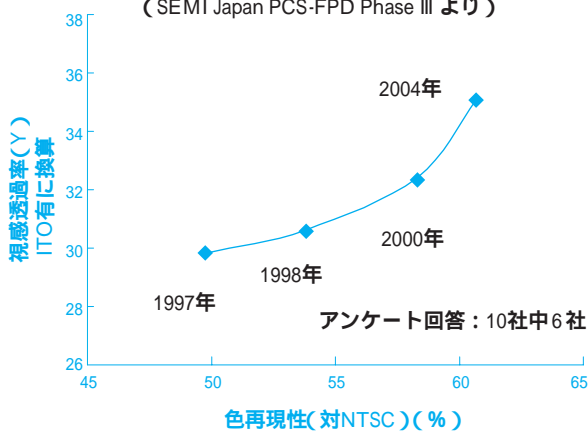
第3図 ノートPC用カラーフィルターの視感透過率への要求

(SEMI Japan PCS-FPD Phase III より)

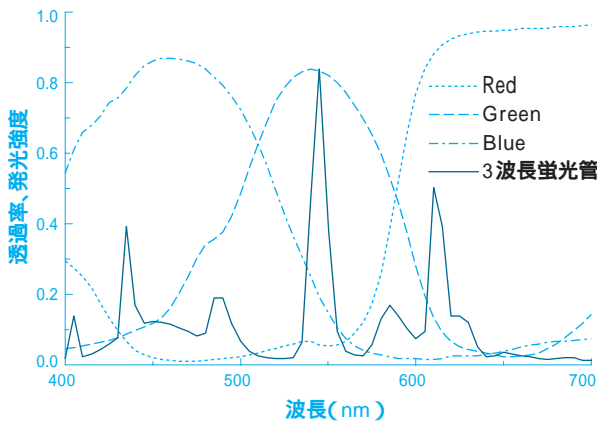


第4図 モニター用カラーフィルターの色特性への要求

(SEMI Japan PCS-FPD Phase III より)



第5図 カラーフィルターの分光透過率と3波長蛍光管のスペクトルの例



色設計とし、さらに透過率を上げたいという要望が読み取れる。

上記の要求に対する解決策として、例えば色再現範囲を広げたいときには、カラーレジストの厚みを増して色を濃くするとよいが、当然透過率が落ちる。したがって本質的には、カラーレジスト、特に顔料とその分散性の改良が必要である。第5図にカラーフィルターのR、G、B膜の分光透過率の1例を示す。色特性を決めるのは、R、G、B膜の分光透過率だけでなく、光源の影響も大きい。光源のバックライトには、3波長冷陰極管が用いられているが、その発光スペクトルの1例をあわせて第5図に示す。

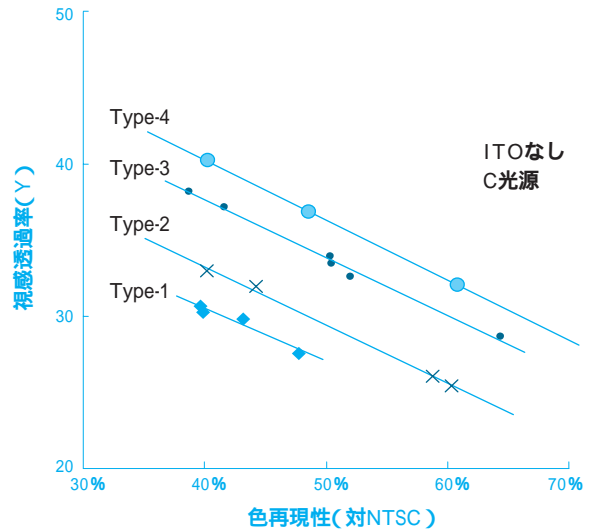
まず、基本となる顔料化合物の選定、配合では次の条件を満たすことが重要である。

色再現性と透過率は、

- (1) R、G、B膜の分光透過率のピークの位置と等色関数³およびバックライトの輝線とのマッチング、
- (2) R、G、B膜の分光透過率のピークの高さと広がり、で決まる。

分光透過率のピークの位置は所望の色相と光源の

第6図 カラーフィルターの色特性の進展

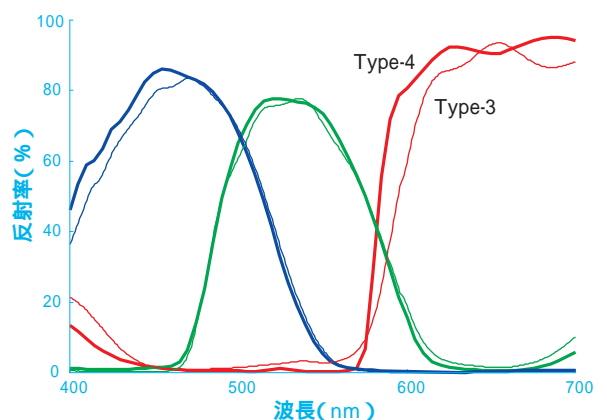


スペクトルより定められる。各色相で理想的な分光透過率は、立ち上がりシャープな矩形であるが、現実の顔料ではこのようなものはない。したがって、この理想になるべく近い特性を探ることになる。

つぎに顔料の粒子径について述べる。粒子径が大きいと、表面反射や散乱の影響で分光透過率のシャープな立ち上がりが得にくい。粒子径を小さくしていくと、極限は単分子の大きさになり、染料系のものに相当する。顔料粒子は概ね0.01 - 0.1 μm の範囲にある。顔料の粒子径が小さくなると、同一の鮮明度でも透過率が大きくなり、明るくなる³⁾。

以上が、色特性向上に関する概論的な話であるが、実際の改良の様子を第6図に示す。図中の番号は、ここ5年ぐらいの流れを古い順から番号をふったものである。Type-1からType-2へは、主に顔料の微粒化で対応した。Type-3は特に緑に新規顔料を採用することにより視感透過率の増大を図った。Type-4はさらに顔料のスペクトル特性を考慮することにより、広い色再現範囲と視感透過率を実現し、約1年前からすでに製品を上市させていただいている。第7図に本

第7図 超高透過タイプのスペクトル特性



超高透過タイプのスペクトル特性を示す。

このように、最近では、微粒化分散技術に、顔料の選定をあわせて、たとえば、色再現範囲 40 % では、Y 値は 40 を超えるようになり、透明導電膜(ITO : Indium Tin Oxide)の有無による補正は必要であるが、第 3 図に示された 2000 年の要求値 38 を満たしている。また、モニター用途の要求を満たしているレジスト系およびその使用プロセスの開発も完了している。なお、第 6 図の計測は C 光源で行われており、実際のバックライトで計測すると、さらに若干よい数字が得られることを付記しておく。

またカラーレジストの実用化を考えた場合、以上に述べたような色特性の改良以外にも、カラーフィルターの製造面ではプロセス適性が広く生産性に優れること、LCD パネルの信頼性の面ではイオンによる液晶汚染性が無い材料選択・プロセス条件設定などに十分配慮する必要があるが、これらの課題についてもクリアーできている。

樹脂ブラックマトリックスの開発

ブラックマトリックス(BM)の機能は次の点に要約される。

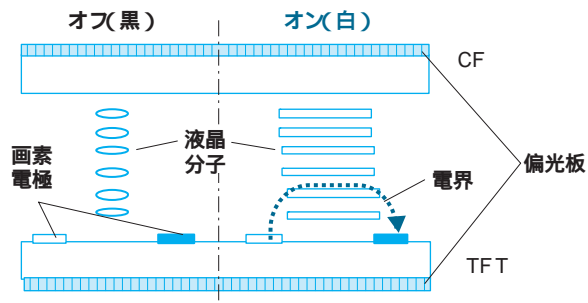
- 1) 画素(開口部)以外の部分でのバックライトの光を遮り、表示コントラストを向上する。
- 2) 隣接する RGB 副画素の混色を防止し、色純度の低下を防ぐ。
- 3) 光電流による TFT の動作不全を防止する。
- 4) 表示面への背景光の写りこみによるコントラスト低下を防ぐ。

この目的のために BM へは、高い遮光率、低反射率、ファインパターン性が要求される⁵⁾。

この要求に耐えられる BM 材料として、通常、遮光性のよい金属が用いられる。金属の中でも、遮光性が大きく、膜厚も 0.1 μ m 程度と薄くでき、耐薬品性、耐光性があり、パターン形成工程でシャープな断面が得られる金属クロムがよく用いられる。しかし、金属クロムは約 60 % と反射率が高く、使用者の後方にある照明などの写りこみが大きい。この改良のために、酸化クロムとの 2 層構造にし、低反射化する方法が採用されている。この結果、ガラス表面での反射を含めて、約 14 % 以下になり、さらに屈折率の異なる層を多層構造にする、ないし、傾斜的に屈折率を変えていくことにより、約 8 % 以下の低反射率も得られ、BM 部での写りこみは気にならないようになっている⁵⁾。

このように、表面層の低反射という観点に対しては、多層金属クロム BM はその要求をほぼ満たしている。しかし、多層構造による干渉現象のために、

第 8 図 IPS方式動作原理



反射特性は全波長で平坦ではなく、若干赤ないし青っぽい色調となる。また、将来的に環境問題の恐れが懸念されるために非クロム系材料が注目されている。さらに冒頭で述べた様に、LCD のモニター・テレビジョン等の大画面用途に対して、広視野角化技術が必須となり、その中でも現在主流の技術の一つである横電界駆動方式(IPS : In Plane Switching)に対しては、カラーフィルター側に絶縁性が要求される⁶⁾。その理由は、第 8 図に示す IPS の動作原理より、液晶分子を水平方向に駆動するための横電界を歪ませないためである。このような要求を満たし、かつ、可視光全範囲にわたり低反射性を確保できるものとして、高絶縁性樹脂 BM システムを開発した。

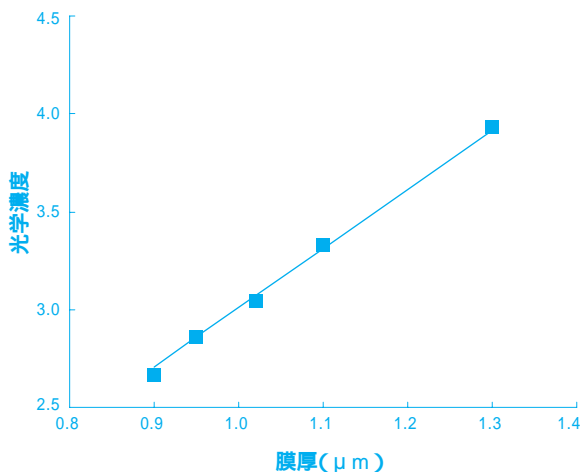
第 2 表に開発した樹脂 BM の特性を示す。ブラック樹脂レジストの成分としては、基本的には RGB 顔料レジストと同じ構成である。ただし、顔料が黒で光の吸収率が大きいので、光反応性を高感度化した配合設計としている。顔料は遮光性がありかつ低反射ということで、カーボンブラックを用い、高絶縁性とするために表面を樹脂でグラフト架橋してある。この、絶縁化された黒色色材とバインダ成分のアクリル樹脂とそのモノマー、光開始剤などが溶剤の中に分散されている。

第 2 表 樹脂ブラックマトリックスの材料特性

項目	特性値
ベース樹脂	感光性アクリル樹脂
顔料	絶縁性カーボンブラック
光学濃度(OD値)	3.0 / μ m
BM膜厚	1.2 \pm 0.2 μ m
反射率	< 8 % (ガラスの反射含む)
体積抵抗値	10 ¹² ~ 10 ¹⁴ \cdot cm

プロセスは、RGB 顔料レジストと基本的に同じフォトリソグラフィ法であるが、顔料が黒であるため、露光条件の設定は重要である。また、顔料のコンテツが多いため、現像条件は残さ、欠けなどの点で厳しく

第9図 光学濃度の膜厚依存性



管理する必要がある。第9図に今回開発したBMの膜厚と光学濃度の関係を示すが、約1μmの厚さで十分な光学濃度(通常3.0以上)を達成している。

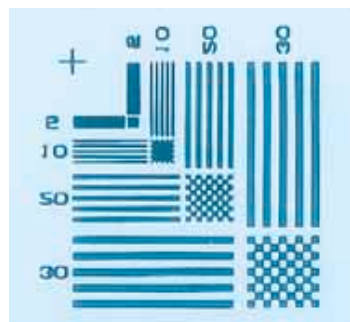
ところが、カラーフィルターへ適用する際に、その厚みのために、樹脂BMと重なったRGB画素端部に段差ができる。このため、IPS方式のようなカラーフィルターとTFTアレイ基板間のギャップ(液晶層厚み)精度が要求される高品質LCDにおいては、段差を低減し平坦化を図るために、厚みが1μm程度のオーバーコート層の形成が必要とされる。RGB形成後約1μmの段差があったものが、第10図に示す様にオーバーコート層形成後では約0.2μmの平坦性を得ている。

第10図 樹脂BMシステムの平坦性

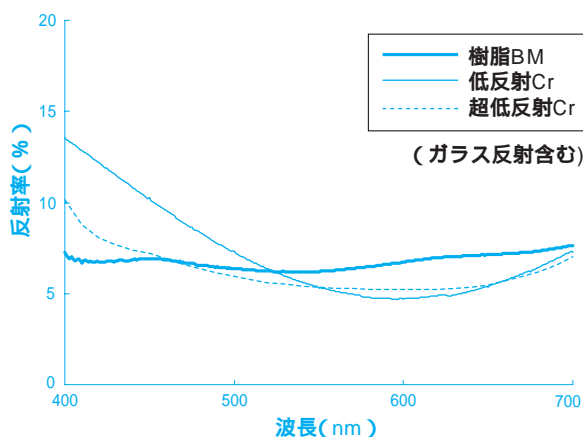


LCDの高精細化対応に関連して、ファインパターン性(解像度)は、第11図に示す様に約10μmまで可能である。また、反射率についても第12図に示すように、ガラスを含んで8%以下である。純粹のカーボンブラックでは、色が若干赤色側にシフトすること

第11図 樹脂BMの解像度



第12図 樹脂ブラックマトリックスの反射率



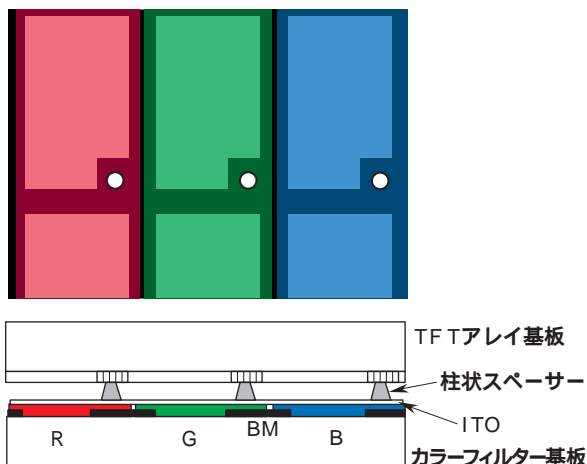
が多い。このため、ユーザーによっては、青色の顔料を混ぜて、色度調整することもある。

以上の通り、IPS方式にも対応可能な高性能樹脂BMシステムの実用化技術の確立を完了し、販売を開始した。

柱状スペーサーの開発

現在、液晶層の厚みを規定するのに、一般的にはポリスチレン系などの樹脂またはシリカの直径5μm程度の球状スペーサービーズが用いられている⁷⁾。スペーサー散布工程では、スペーサーの分布密度はマクロには管理しているものの、付着する位置は規定できない。したがって、画素の中にもスペーサーが存在し、そのためスペーサーの周りにできる液晶の配向異常領域から光が漏れることにより、コントラストが悪くなる⁸⁾。また、前章でも出てきたIPS方式のLCDなどでは、より高精度のギャップ制御が要求されている。さらに、大型のLCDでは振動によりスペーサーが移動し、配向膜にダメージを与え画像品質が落ちることがある。これらの欠点を解消する技術として、スペーサー付きカラーフィルターに対するユーザーニーズに応えるべく、第13図に示すように、カラーフィ

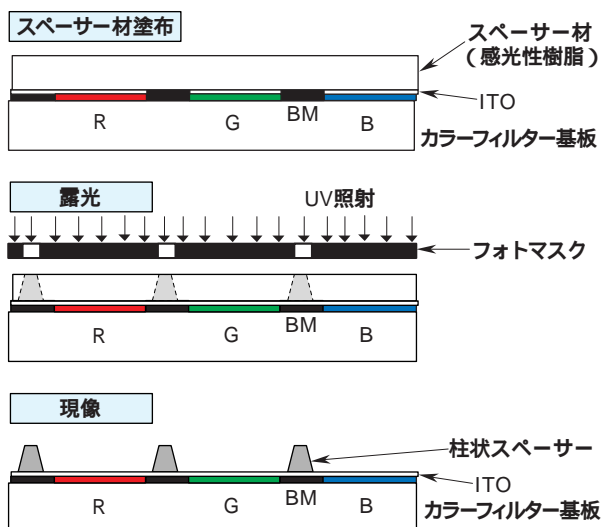
第13図 柱状スペーサー付カラーフィルターの概念図



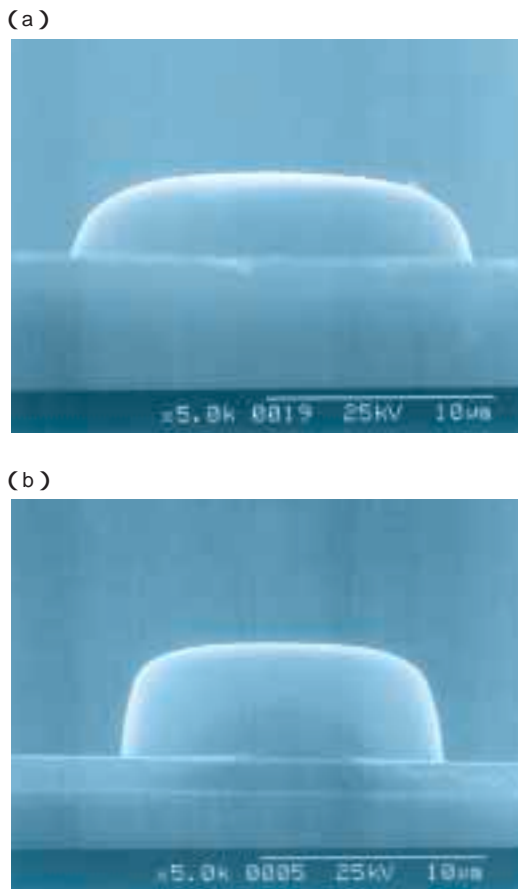
ルターの遮光部であるBM領域に高精度の柱抄スペーサーを形成する技術を開発した。

第13図のスペーサーの形成法には、RGB膜を重ねる方法もあるが、我々はスペーサー設計の自由度の広い、専用のスペーサー用材料で形成する方法を採用した。材料系としては、ネガ型感光性アクリル系樹脂であるが、多官能アクリルモノマーとアルカリ可溶性バインダー、光反応開始剤、溶剤で構成され、フォトリソグラフィー性を持たしている。形成プロセスとしては、第14図に示すようにITO膜形成後、スピコートなどでスペーサー材を塗布し、プレバーク、露光を行った後、アルカリ溶液で現像し、ポストバーク処理する。この結果、第15図(a)に示すような、側面に傾きのある柱状構造物ができあがる。この形状とBM領域上に形成されていることにより、画素部の液晶の配向性には特に問題が生じないようなラビングを可能にしていると推定される。なお、

第14図 柱状スペーサー形成プロセス



第15図 柱状スペーサーの断面形状

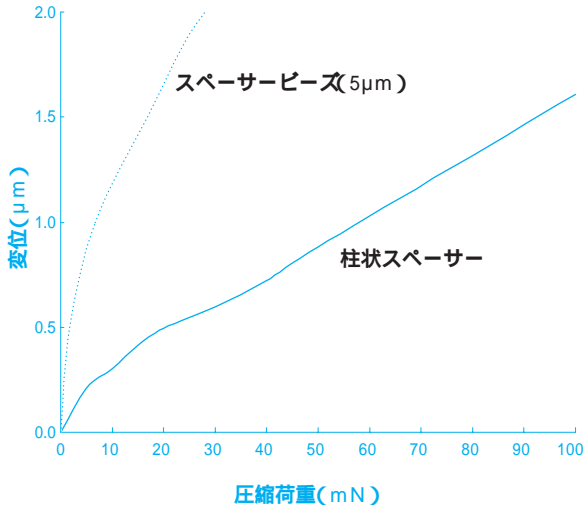


スペーサー材の樹脂配合設計によりシャープな柱形状も可能である(第15図(b))。

また、スペーサーは液晶に直接接触するため、表示不良の原因となるようなイオン性物質が溶出しないことが要求されるが、今回開発した柱状スペーサーは問題ないレベルであることを確認している。

スペーサーの形成密度、配置、横断面形状はフォトマスクの設計で、高さについてはスペーサー材の塗布膜厚により概ね任意に設定できるが、これらはLCDパネルの設計により決められる。形状の精度については、例えば、高さ4~6 μm で幅15~20 μm の柱状スペーサーの場合に、高さのばらつきは3 \pm 3%程度である。通常のスペーサーピースの直径のばらつきは \pm 3~ \pm 15%であり⁹⁾、これに比べても十分な精度が得られている。また、線幅精度についても \pm 2.5 μm 以下となっている。さらに、本柱状スペーサーの機械特性を第16図に示すが、数mN以下の低荷重で変形量の傾きが大きいのは、上面が凸形状になっており、低荷重での接触面積が小さいためである。この特性により、実際にLCDパネルを組む際には、高いスペーサーはより変形し、高さばらつきはさらに小さくなるため、結果的に高いセルギャップ精度が得られる。どの位の幅のスペーサーをどの程度

第16図 柱状スペーサーの圧縮挙動



の分布で形成するかは、設計条件によるが、第16図に示すとおりスペーサーピースに比べて1個あたりの変形が小さいことから明らかなように、分布密度はスペーサーピースより約1桁小さくてもよさそうである。

柱状スペーサー付カラーフィルターを用いると、より均一なセルギャップが形成でき、狭セルギャップにも対応できる。かつBMの領域に特定の形成できるため、スペーサー部での光漏れがない。さらに、LCDメーカーのセル工程でのスペーサー散布の工程が不要であり、生産性の向上に寄与する。したがって、今後、大画面、動画対応の高速応答性、高ギャップ精度、高コントラストの高機能LCDには多用され、例えば、IPS方式では樹脂BMを採用し、柱状スペーサー付のカラーフィルターが主流となるのではないかと考えている。

おわりに

LCDの市場規模は、近い将来CRTを超えると言われている。これを実現するためには、低コスト化を目指す技術、高機能化・高性能化を目指す技術が必須であり¹⁰⁾、われわれカラーフィルターメーカーが果たす役割は大きいと考えている。

本報告では、LCDの高機能化・高性能化技術のうち今後の成長市場であるノートPC、モニター、テレビジョンなどに要求される高画質化、大画面化に対応する技術として、「色特性の改良」、「高絶縁性樹脂BMシステム」、「柱状スペーサー」の開発状況について述べた。これらの中で、カラーフィルターの品質を左右するもっとも重要な「色特性の改良」は、透過率の向上と言うことで低消費電力化にも寄与する技術である。「柱状スペーサー」は、LCDパネルの薄型・軽量化にも有効で、かつ、パネル組み工程での生産

性向上に寄与できる技術であり、そのような面でも今後主流になると予想される。また、スペーサー形成技術の応用により、形状コントロールされた突起物の形成が可能である。したがって、液晶分子を形状配向させるときの突起物としての展開も可能であると考えている。

本報告では触れなかったが、「低コスト化」に対してもカラーフィルターメーカーとして取り組んでいる。例えば、コストに占める割合の大きいカラーレジストの使用量削減に対して、レジスト材料の特性改良を行うことにより、省液塗布法の戦力化を達成するなどの取り組みを行っている。また、歩留・生産性の向上に対しても、タクト改善、クリーン化技術などのレベルアップに取り組み、トップレベルの生産技術を目指している。「薄型・軽量化」に関しては、ガラス基板の厚みが、現行の主流である0.7mmから0.6～0.5mmへ近い将来移行する動きに対応すべく準備を整えている。

今後とも、LCDの更なる進展に向けて新技術の開発、諸課題の解決などをタイムリーに実施すべく、親会社関連部門の協力も得ながら、期待に応えていきたい。最後に、これらの改良、開発はカラーフィルターメーカー単独でできるものでなく、材料メーカーとの協力のもとではじめて達成できるものである。この場を借りて御協力頂いた材料メーカーおよび日々御指導頂いているLCDメーカー各位に謝意を表す。

引用文献

- 1) 日経マイクロデバイス編：フラットパネル・ディスプレイ2000, p52, 日経BP(1999)
- 2) 高多 清作：高多・液晶レポート2000, 日経BP(1999)
- 3) JIS Z8701
- 4) 「Production Cost Saving(PCS)Forum-FPD Phase III 報告書」第4章, SEMI ジャパン(1999)
- 5) 郡 浩武, 他：住友化学誌, 1998-II, p11(1998)
- 6) H. Asuma et. al. : Proc. of 4th IDW, p167(1997)
- 7) SEMIスタンダードFPDテクノロジー部会編(山崎照彦, 他監修): カラーTFT液晶ディスプレイ, p206, 共立出版(1996)
- 8) Y. Utsumi et. al. : Proc. of 6th IDW, p289(1999)
- 9) 櫻井 俊男：月刊ディスプレイ, Vol.4, No.3, p21(1998)
- 10) 日経マイクロデバイス編：フラットパネル・ディスプレイ1998, p200, 日経BP(1997)



藤田 勉
Tsutomu FUJITA

新エステーアイ テクノロジー 株式会社
技術開発部長



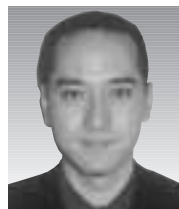
穂積 滋郎
Shigeo HOZUMI

住友化学工業株式会社
精密化学品研究所
主任研究員



藤井 幸男
Yukio FUJII

新エステーアイ テクノロジー 株式会社
技術開発部
主席技師



佐藤 行一
Kouichi SATOU

住友化学工業株式会社
筑波研究所

