

# TN-LCDの視野角特性を飛躍的に改善する 新規広視野角光学フィルムの開発

Novel Microstructure Film for Improving TN-LCD Viewing Angle Characteristics

山本 恵美\* 勝田 昇平\* 浅岡 康\* 菅野 透\* 前田 強\* 津田 裕介\* 近藤 克己\*

Emi Yamamoto Shohei Katsuta Yasushi Asaoka Toru Kanno Tsuyoshi Maeda Yusuke Tsuda  
Katsumi Kondo

従来のTN液晶ディスプレイの表面に貼合するだけで、視野角特性を飛躍的に改善する光学フィルムを開発した。このフィルムは、表示画素よりも小さいユニークな微細構造を有しており、外光によるコントラスト比低下及び正面画像のボヤケを生じさせずに広視野角化を図ることができる。また、背面露光プロセスによって、安価かつ容易にRoll-to-Roll製造することが可能である。このフィルムを汎用の液晶ディスプレイに適用することで、新たな用途の開拓が期待される。

A novel microstructure film has been developed for improving the viewing angle characteristics of TN-LCDs. This film can be used by simply attached to the surface of commercial TN-LCD panels.

This film contains the microstructures with the size of smaller than subpixels, which contribute to improve the visibility of TN-LCDs without the contrast reduction under bright ambient light conditions and the blur in the front view image. Furthermore, this film can be fabricated by the simple roll-to-roll self-alignment photolithography.

We expect the novel microstructure film will open the new application market of TN-LCDs.

## 1. はじめに

古くから知られているTN-LCD（ねじれネマティック液晶ディスプレイ）は広い動作温度範囲、高透過率などの特長を有し、カーナビゲーションやノートPC、中小型テレビなどの表示素子としていまだ広く用いられている。しかしながら、TN-LCDは斜め方向から見た場合、階調反転や色ズレ、コントラスト比の低下が発生する等の課題があり、この視野角特性を改善するため、いくつかの方法が提案されている。

第1の手法は、1990年代前半に盛んに研究された液晶ドメインを分割して異なる複数の視野角特性を組み合わせる方法である<sup>1)</sup>。第2の手法は、液晶パネルと偏光板の間に位相差フィルムを配置する方法である<sup>2)</sup>。しかしながら、これらの方法では、TN-LCDの視野角特性の課題を完全に改善することは困難であった。第3の手法は、液晶ディスプレイの表面に散乱層を配置する方法である<sup>3-7)</sup>。この方法には劇的に視野角を改善する効果があるものの、明所下のコントラスト比の低下や正面画像のボヤケが発生するという新たな課題が発生した。また、高い指向性を示す特別なバックライトも必要であった。

著者らは、上記第3の手法の課題を解決し、視野角特性を飛躍的に改善する新規広視野角光学フィルム（新規フィルムと呼ぶ）を開発した<sup>8-10)</sup>。この新規フィルムの微細構造は、当社独自の光学設計に基づき、独自の背面露光プロセスによってRoll-to-Roll製造が可能である。本稿では、新規フィルムの特長とフィルムを貼合した液晶ディスプレイの視野角改善効果について報告する。

## 2. 新規広視野角光学フィルムの特長と作製方法

### 2.1 特長

新規フィルムの特長を以下に挙げる。

- (1) 従来の液晶ディスプレイの表面に貼るだけで視野角特性の改善が可能である
- (2) 光の拡散方向とその光量を制御することができる
- (3) 正面画像にボヤケが生じない
- (4) 強い外光下においてもフィルム起因の表示画質劣化がない
- (5) 微細構造を基材フィルムで覆っているため、外力に対して強い
- (6) 安価（セルフアライメント製造、既存ラインの活用、汎用材料の使用）

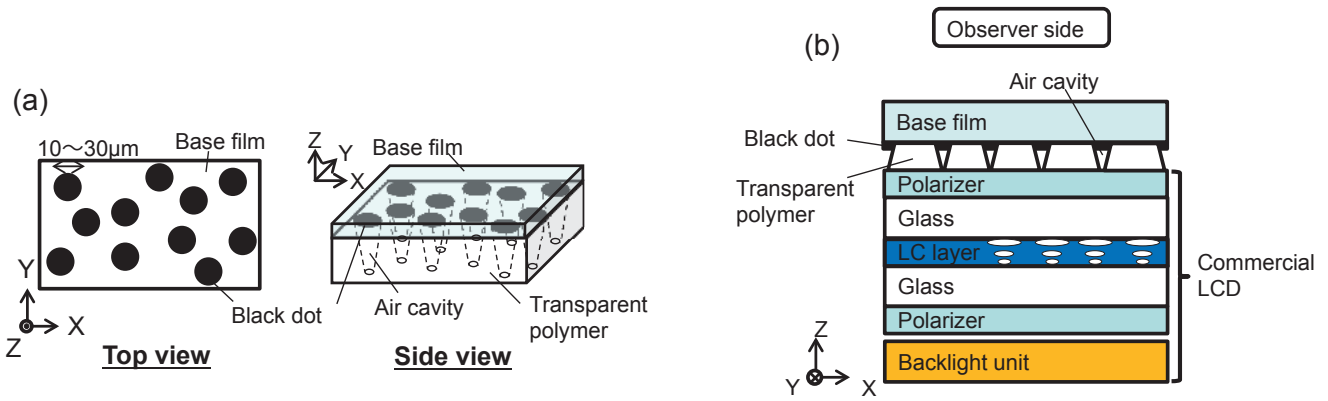


図1 (a) 新規フィルムの構造, 及び (b) ディスプレイモジュールの概略図  
Fig. 1 Schematic diagram of (a) film structures and (b) display module.

## 2.2 基本構成

開発した新規フィルムは、基材PETフィルム、透明樹脂（ネガレジスト）、複数の黒ドット、黒ドットに対応して形成された複数の空隙から構成され、ユニークな微細構造を有する。

図1 (a) に示すように、黒ドットは直径10~30 $\mu\text{m}$ の円形あるいは楕円形をしていて、液晶パネルの画素配列との干渉を防ぐため、基材PETフィルム上にランダムに配置されている。空隙（air cavity）の形状と位置は黒ドットに対応していて、黒ドット以外のPETフィルム上には透明樹脂が形成されている。空隙の形状は、層状の透明樹脂の中でPETフィルムから離れるにつれて水平断面積が小さくなる円錐柱あるいは楕円錐柱をしている。このため、透明樹脂の縦断面形状は、図1 (b) のように基材PETフィルムに対して逆テーパ形状である。複数の空隙は透明樹脂中に20%程度しか存在しないため、新規フィルムは外力に対する耐久性が高い。また、透明樹脂は液晶ディスプレイからの入射面積が出射面積よりも大きいので、黒ドットによる表示光のロスを抑えることができる。さらに、すべての黒ドットは空隙の真上に位置するので、明所下における透明樹脂と空隙界面での外光の散乱を防ぐことができる。

新規フィルムは図1 (b) に示すように従来のTN-LCDの上偏光板上に、基材PETフィルムが最表面となるように配置する。基材PETフィルム表面には、従来のアンチグレア（AG）処理やMotheyeなどの反射防止処理を施すことができる。

## 2.3 光学設計

まず、新規フィルムの光の拡散原理について説明する。新規フィルムは、高屈折率媒体（透明樹脂）と低屈折率媒体（空隙）の界面において光が全反射する現象を用いて、光の進行方向を制御することで液晶ディスプレイの視野角を改善している。図2に示すように、液晶ディス

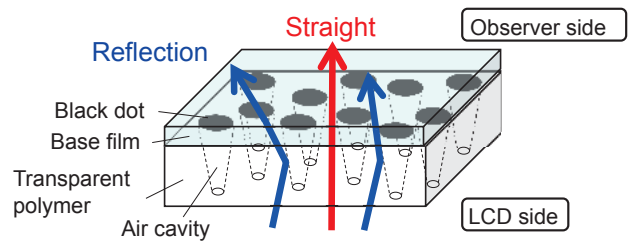


図2 新規フィルムによる光散乱の原理  
Fig. 2 Schematic diagram of outgoing direction of lights from LCD.

プレイから透明樹脂に入射した光の一部は透明樹脂と空隙との界面で全反射し、広角側に角度を変えて出射する。このとき、正面付近の光も広角側へ出射するので、対称方位の光を平均化する液晶ドメイン分割法<sup>1)</sup>よりも視野角改善効果が高くなる。また、黒ドットは円形状または



図3 TN液晶の視野角依存性を示す写真  
Fig. 3 Photographs of viewing angle dependence.

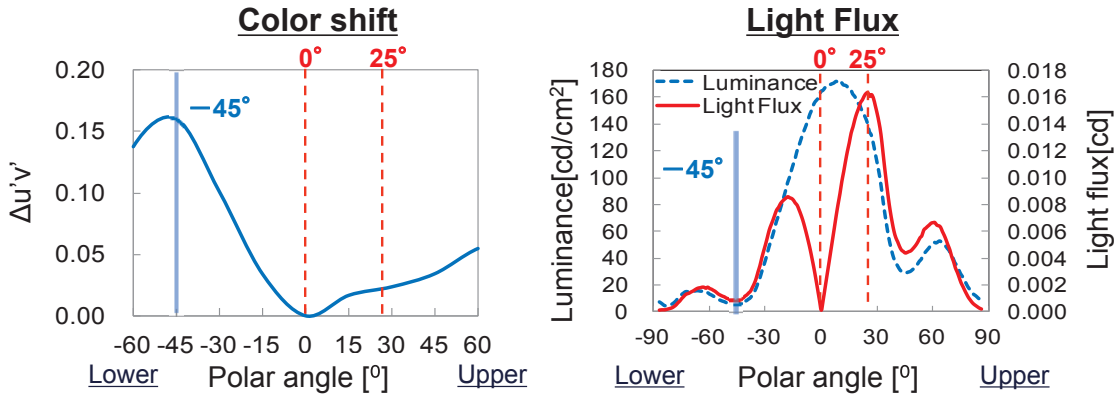


図4 TN液晶上下視野角方向における色相変化, 及び光束量の変化  
Fig. 4 Color shift and light flux values of TN-LCD in up-down direction.

楕円形状であるので、透明樹脂と空隙の界面は黒ドット形状に沿って湾曲している。湾曲した界面で反射した光は、様々な方向へと出射する。その他の光は概ね透明樹脂界面で反射せず、そのまま透明樹脂を直進して観察者側へ出射する。

次に、TN-LCD用の新規フィルムの光学設計について説明する。一般的に散乱フィルムは異なる屈折率のバインダーポリマーと微粒子で構成されており、等方的に光を散乱させる。これに対して、新規フィルムは光の拡散方向と光の量を制御できる点が大きく異なる。

図3は従来のTN-LCDの表示画像の方向依存性を示している。従来のTN-LCDは、左右の表示画像は正面と大きく変わらないが、パネル下側では階調反転や色変化が発生する。この問題は、特に下側  $\theta = 45^\circ$  の時に顕著である。そこで、この視野角における表示画像を効果的に改善するため、透明樹脂の断面形状（テーパー角度）と黒ドットの形状について新規フィルムの設計をおこなった。

透明樹脂のテーパー角度を調整することで、新規フィルムの光の拡散方向を制御することができる。このとき、広角における液晶パネル出射光の正面からの色ズレ量

( $\Delta u'v'$ ) と光束量のバランスが重要となる。より少ない色ズレ量、かつより多くの光束量を有している出射光を視野角特性の悪い広角方向に振り分ける必要がある。図4は、TN-LCDの白表示における上下方向の色ズレ量及び光束量の視野角特性を測定した結果である。上側  $\theta = 25^\circ$  へ出射する光は、色ズレ量が比較的少なく、光束量は最大である。この結果から、図5 (a) に示すように上側  $\theta_{in} = 25^\circ$  の液晶パネル出射光を下側  $\theta_{out} = 45^\circ$  へ分配することで、最も効果的に従来のTN-LCDの特性改善ができることがわかった。尚、このときの透明樹脂のテーパー角度 ( $\theta_T$ ) は  $85^\circ$  であった。

また、黒ドットの形状を最適化することで、新規フィルムが分配する光の量を制御することができる。より優先的に上側  $\theta = 25^\circ$  の光を下側  $\theta = 45^\circ$  へ分配するため、黒ドットの形状を楕円形とした。図5 (b) に示すように、楕円形黒ドットの長軸がTN-LCDの上下方向に対して垂直となるように配置する。黒ドットが楕円形である場合、透明樹脂と空隙の界面の面積は左右方向よりも上下方向が広がるため、円形黒ドットの場合よりも効果的に上下方向に光を拡散することが可能となる。

## 2.4 作製方法

新規フィルムの製造プロセスについて説明する。新規フィルムの製造においては、2つの重要なポイントが存在する。1つ目は、黒ドットと空隙の完全な位置合わせ方法である。黒ドットと空隙の位置ズレを無くすことで、明所下での外光散乱の発生を防ぐことができる。2つ目は、透明樹脂の断面形状（テーパー角）制御方法である。透明樹脂の形状によって新規フィルムの光の反射特性が決まるため、テーパー角度の制御はTN-LCDの視野角特性改善の效果に重大な影響を与える。

まず、第1のポイントである黒ドットと空隙の位置ズレを完全に無くすことができるセルフアライメントフォ

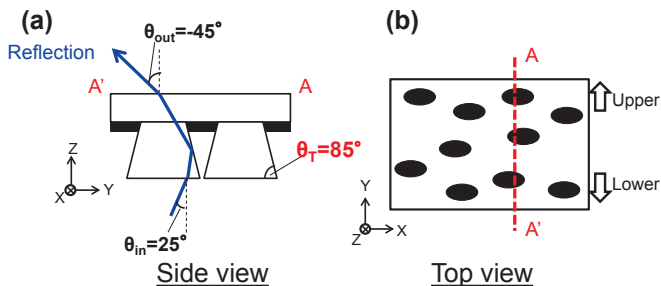
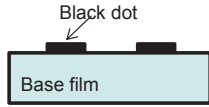


図5 上下方向の視野角が狭いTN液晶向けの新規フィルム概略図  
(a) 断面図 (b) 正面図

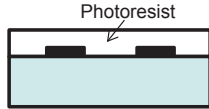
Fig. 5 (a) Cross-section shape and (b) ellipse-black dots pattern of microstructure film for TN-LCD.



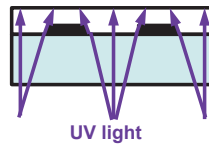
1st step: Black dots patterning



2nd step: Photoresist coating



3rd step: UV exposure



Final step: Development

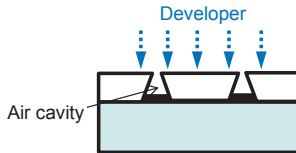


図6 新規フィルムの製造プロセス  
Fig. 6 Film manufacturing process.

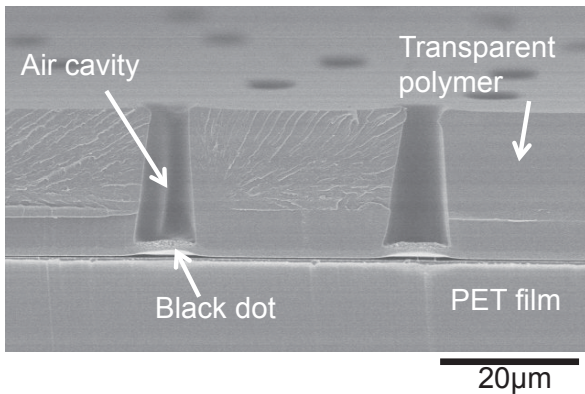


図7 新規フィルムの走査型電子顕微鏡像  
Fig. 7 SEM image of microstructure film.

トリソグラフィについて図6を用いて説明する。新規フィルム製造の第1工程では、フォトリソグラフィまたは印刷法によって、基材フィルム上に黒ドットをランダムに形成する。第2工程では、透明ネガフォトレジストで黒ドットが形成された基材フィルム面をコーティングする。第3工程では、黒ドットをフォトマスクとして用いて、透明ネガフォトレジストを拡散UV光で基材フィルム背面から露光する。最後に、未露光部分のネガフォトレジストをアルカリ水溶液で現像して取り除くことで、新規フィルムを製造することができる。図7に示す新規フィルムのSEM画像から分かるように、各黒ドット

トをセルフアライメントフォトマスクとして用いることで、黒ドットと空隙の位置を完全に一致させることができた。この方法によって、簡便にRoll-to-Rollプロセスで本フィルムを製造することができた。

次に、第2のポイントである透明樹脂の断面形状（テーパ角度）の制御方法について説明する。透明樹脂の形状は、拡散UV光の露光量によって制御することができる。UV光の露光量と透明樹脂のテーパ角度 $\theta_T$ の関係を図8に示す。用いたUV光の拡散度は、全幅で28°である。UV光の露光量が増大するにつれて、透明樹脂のテーパ角度が①90°から②85°と変化し、③では露光量過多となりテーパ角制御ができない。拡散UV光の露光量を最適化することで、従来のTN-LCDの特性改善に必要な透明樹脂のテーパ角度 $\theta_T=85^\circ$ を得ることができた。前述したプロセスによって、図9の写真に示すような幅500mm以上のロール状フィルムの製造に成功した。

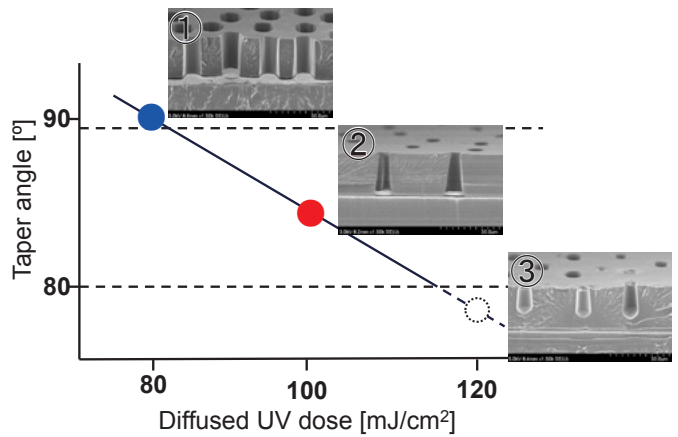


図8 新規フィルム製造プロセスの背面露光工程における拡散紫外線量と透明樹脂テーパ角の関係  
Fig. 8 Relationship between diffused UV dose and taper angle of transparent polymer.

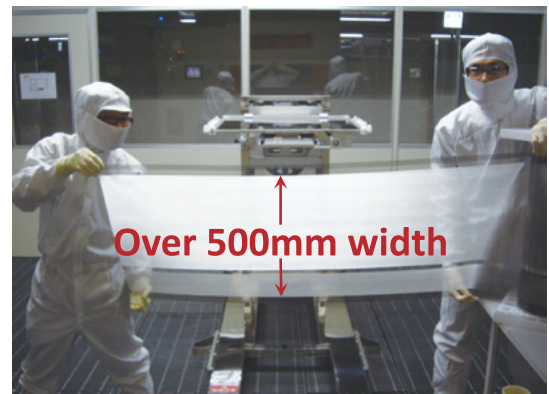


図9 ロールフィルム状態で製造した新規フィルムの写真  
Fig. 9 Microstructure film fabricated by the roll-to-roll process.

### 3. 新規広視野角光学フィルムによる視野角改善効果

#### 3.1 明所コントラスト／画像のボヤケ

従来の散乱フィルムを用いた液晶ディスプレイの視野角改善策においては、明所下のコントラスト比低下や画像のボヤケという課題があった。一方、新規フィルムはこれらの課題を解決しただけでなく、視野角の悪い方向を効果的に改善する特長を有している。

まず、新規フィルムが明所下においてコントラスト比を維持することができた理由について図10を用いて簡単に説明する。従来の散乱フィルムは外光を観察者側に後方散乱をするので、表示画像のコントラスト比が低下する。一方、新規フィルムの場合には、各黒ドットが外光散乱の生じる空隙部と透明樹脂の界面を覆っているため、後方散乱が起こらない。このため、新規フィルムを貼合した表示画像は明るい環境下においても白濁しない。

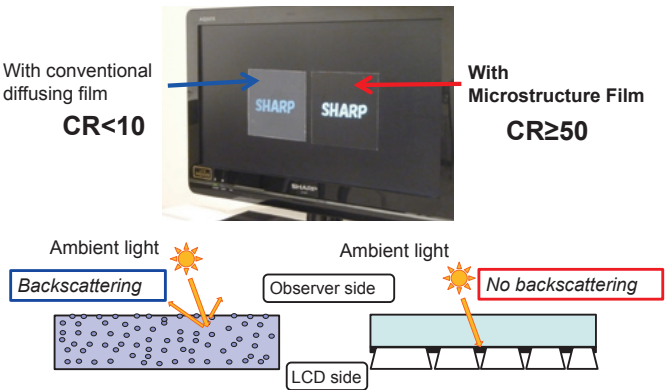


図10 明るい環境下における表示画像の見栄え  
(左：従来の散乱フィルム貼合，右：新規フィルム貼合)  
Fig. 10 Display images under bright ambient light.

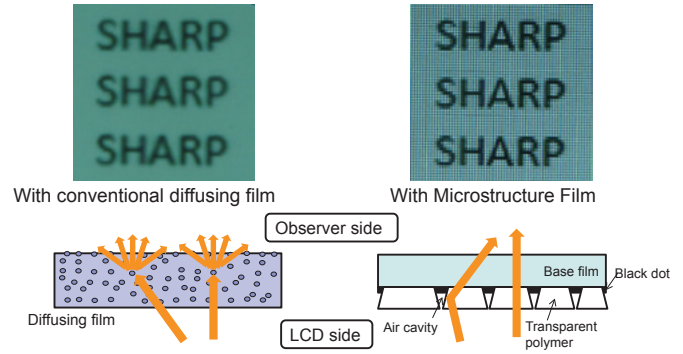


図11 表示画像のボヤケ評価  
(左：従来の散乱フィルム貼合，右：新規フィルム貼合)  
Fig. 11 Blur of frontal image.

尚、新規フィルムを貼合した液晶ディスプレイの明所下でのコントラスト比の値は、従来のディスプレイと同じである。

次に、図11は従来の散乱フィルムと新規フィルムを用いた液晶ディスプレイの正面画像を比較した結果である。従来の散乱フィルムでは、様々な方位から入射する光が正面方向に出射することになるので、正面画像にボヤケが発生する。新規フィルムの場合には、正面に出射する光は透明樹脂と空隙の界面で全反射しない光なので、ボヤケを生じることがない。この結果、新規フィルムは視野角を改善するだけでなく、正面画像のボヤケを回避し、鮮明な表示画像を実現することができる。

#### 3.2 新規フィルム貼合TN液晶ディスプレイの特性

図12に従来のTN-LCDと新規フィルム貼合したTN-LCDの下側45°から観察した表示画像及びTN-LCDの階調輝度特性を示す。

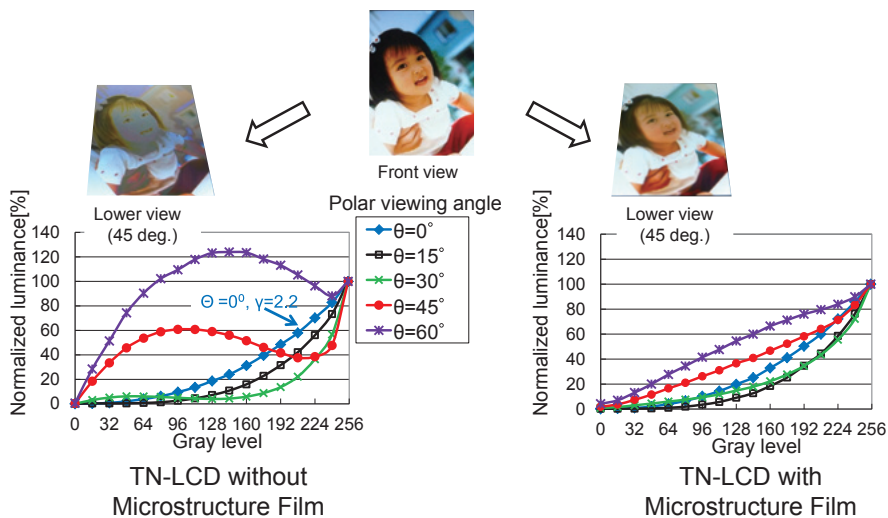
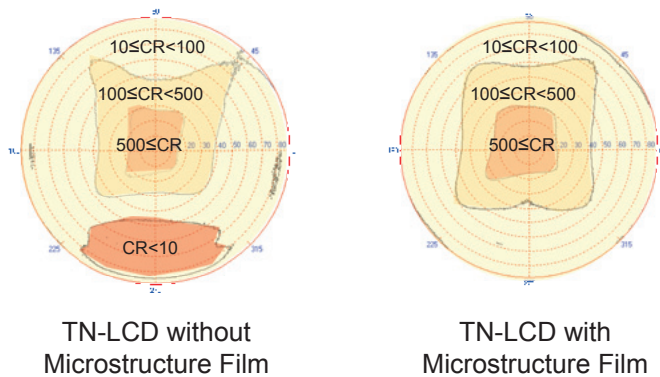


図12 下方向におけるTN液晶の階調特性  
(左：新規フィルムなし，右：新規フィルムあり)  
Fig. 12 Display images and gamma characteristics in lower direction.



TN-LCD without  
Microstructure Film

TN-LCD with  
Microstructure Film

図13 TN液晶の等コントラスト特性  
(左：新規フィルムなし，右：新規フィルムあり)

Fig. 13 Iso-contrast ratio maps.

従来のTN-LCDの表示画像が黒潰れしているのに対し、表面に新規フィルムを貼合したTN-LCDは、表示画質が大幅に改善した。また、従来のTN-LCDは、広角になると階調反転が発生するが、新規フィルムを貼合するだけで階調反転を完全になくすことができた。

図13に従来及び新規フィルムを貼合したTN-LCDの暗所下での等コントラスト曲線を示す。従来のTN-LCDは下側方位にコントラスト比10:1以下の領域が存在する。これに対して、新規フィルムを貼合すると、全方位でコントラスト比10:1以上を達成することができた。また、新規フィルムを貼合したTN-LCDの正面コントラスト比の値は、従来と同じ値を維持している。

#### 4. おわりに

新規広視野角光学フィルムは、外光によるコントラスト比低下及び正面画像のボヤケを生じさせずにTN液晶ディスプレイの広視野角化を図ることができた。高指向性のバックライトや特殊な材料を用いる必要がなく、既存の液晶ディスプレイに貼合するだけで視野角の改善効果がある。この新規フィルムは、液晶ディスプレイの視野角特性に合わせて透明樹脂の断面形状(テーパ角度)や黒ドットの形状を最適設計することで、より効果的に視野角改善を達成することができる。また、新規フィルムは黒ドットをフォトマスクとして用いることで、簡便にRoll-to-Rollで作製することができる。

新規フィルムは、モニター、ノートPC、中小型テレビおよび産業ディスプレイなどの多くのアプリケーションに

適用が可能である。新規フィルムを汎用のTN液晶ディスプレイに適用することで、新たな用途の開拓が期待される。

なお、本技術に関する発表論文[9]は、国際会議(International Display Workshops 2013)でBest Paper Awardを受賞した。

#### 参考文献

- 1) K. H. Yang, "Two-Domain Twisted Nematic and Tilted Homeotropic Liquid Crystal Displays for Active Matrix Applications", IDRC '91 Digest, pp.68-72, 1991.
- 2) H. Mori, "位相差膜によるTN-LCDの広視野角化", 第21回液晶討論会, pp.298-299, 1995.
- 3) N. Matsunaga, I. Fujiwara, J. Watanabe, T. Ando, K. Miyazaki and T. Ito, "New Front Interface Film for Improving the Viewing-Angle Properties of TN-Mode TFT-LCDs", SID '07 Digest, pp.1559-1562, 2007.
- 4) H. Takemoto, T. Fuchida and M. Miyatake, "Analysis of Depolarized Light-Scattering in LCD Panel and Proposal of LCD Systems for Enhancing Contrast Ratio", SID '09 Digest, pp.514-517, 2009.
- 5) Y. Haruyama, M. Yoshiga and M. Shibasaki, "Wide Viewing Angle LCD with Low Cost and Low Power Consumption", IDW '11, pp.1603-1604, 2011.
- 6) T. Saruta, A. Tagaya and Y. Koike, "A Novel Liquid Crystal Display Using a High Definition Scattering Film", IDW '09, pp.1874-1876, 2009.
- 7) H. Takemoto, T. Fuchida, S. Shutou and M. Miyatake, "The Performances of Collimated Backlight and Front Diffusing Systems about Several LC Modes", IDW '09, pp.1907-1908, 2009.
- 8) E. Yamamoto, T. Kanno, S. Katsuta, Y. Asaoka, T. Maeda, T. Kamada, H. Yoshida, Y. Tsuda and K. Kondo, "Novel Microstructure Film for Improving Viewing Angle Characteristics of LCD", IDW '13, pp.82-83, 2013.
- 9) S. Katsuta, H. Yui, Y. Asaoka, E. Yamamoto, T. Maeda, T. Kamada and Y. Tsuda, "Optical Design of Novel Microstructure Film for Wide Viewing TN-LCD", IDW '13, pp.562-563, 2013.
- 10) Y. Asaoka, T. Kanno, D. Shinozaki, S. Ochi, S. Katsuta, E. Yamamoto, T. Maeda, Y. Tsuda and Y. Shimada, "Roll-to-Roll Fabricated Self-alignment Microstructure Film for Improving the Viewing-angle characteristics of LCD", IDW '13, pp.659-660, 2013.