反射型カラーLCD 用反射板の凹凸形状設計

鷲塚 諫*, 津田 和彦**, 栢川 正也***

Design of Reflector with Rough Surface for Reflective Type Color LCD

Isamu WASHIZUKA*, Kazuhiko TSUDA** and Masaya HIJIKIGAWA***

A novel way developed to estimate and design a reflector for reflective color LCDs which is based on the discovery that the shape of surface bumps on the reflector is actually a concurrence of multiple micro-flat mirrors. Scattering of the reflector was calculated from the slope angle distribution of these micro-flat mirrors. This enabled us to determine the ideal bump shape for reflective color LCDs. Accuracy was confirmed by analyzing actual reflectors, and a nearly ideal reflector was fabricated by optimizing bump shape.

Key Words: Liquid Crystal, Scatter, LCD, Reflector

1. はじめに

近年のエレクトロニクス技術の発展に伴って、情報通信のインフラ整備が急速に進み、携帯情報端末に対する要求がますます高まっている。携帯情報端末用ディスプレイには薄型、軽量、低消費電力であることが求められるが、これらの要求を満たすデバイスとして、液晶ディスプレイ (LCD) が最も有望である。

しかしながら、現在主流となっている透過型のカラーLCDは、非常に美しい画像表示を実現しているものの、液晶基板の裏面にバックライトと呼ばれる光源を有しており、このバックライトの消費電力はLCD全体の80~90%、厚さは60~70%、重さは約50%を占めている。また屋外での使用では周囲光が基板表面で反射し、表示の確認が困難になることがあるなど、携帯情報端末用ディスプレイとして必ずしも最適であるとは言えない。

これに対して反射型のLCDはバックライトを用いず、周囲光を利用して表示を行うため、薄型化、軽量化、低消費電力化が可能であり、また周囲光が強ければ強いほど鮮明に見え、屋外での使用で特に有利であるなど、携帯情報端末のディスプレイとして最も適した物の一つである。

しかしながら、今日に至るまで反射型LCDは電卓の

表示部のように白黒表示が主流であり、カラーの反射型LCDは十分に実用化されていなかった。これは、カラー表示を行うためにカラーフィルターを用いると、白黒表示に対して反射光量が1/3程度まで低下し、十分な明るさが得られないためである。カラーフィルターの他にも反射型LCDの構成要素には、偏光板の透過率、反射板材料の反射率、反射板の開口率、ガラスの表面反射などの光のロスがあり、これらを考慮し反射型カラーLCDの光の利用効率を計算すると10~13%程度となる。

従って実際の使用に耐えられる明るさを実現するためには、反射光をいかに有効に目視方向に到達させるかがポイントであり、そのためには反射板散乱性の設計が重要となる¹⁾。

一般に反射型ディスプレイの表示を視認性良く行うためには、入射した光を散乱させる必要がある。このことは鏡の上に文字を書くと、蛍光灯や自分の顔が映り込んで文字が見えにくいことから容易に理解できる。他方、反射光を散乱させることは、単位立体角あたりの反射光量を減少させることとなり、過度の散乱は明るさの低下を招くことになる。

従って、反射光を有効に利用し、視認性良くかつ明るい表示を得るためには、散乱特性を最適に制御することが重要である。

散乱性を付与した反射型LCDを実現するための構造はいくつか考えられるが、我々は図1に示すような、微細な凹凸を持った反射板を液晶セルの内部に形成し、反射板が液晶を駆動するための電極を兼ねた構造を採用している。この構造は高開口率化が可能であり、明るい表示を得ることができ、また視差による2重写りの無い見やすい表示が可能である^{2)~4)}。

本報告では反射型LCDの明るさ向上を目的とし、散乱特性制御のための反射板凹凸形状最適設計方法について議論を行う。

* シャープ㈱ (〒639-1103 奈良県大和郡山市美濃庄町492番地)

Sharp Corp. (492, Minoshou-cho, Yamatokoriyama-shi, Nara 639-1103)

** シャープ㈱液晶開発本部液晶研究所 (〒632-8567 奈良県天理市樺本町2613-1)

Liquid Crystal Display Dev. Group, LCD Labs., Sharp Corp. (2613-1, Ichinomoto-cho, Tenri-shi, Nara 632-8567)

*** シャープ㈱液晶開発本部 (〒632-8567 奈良県天理市樺本町2613-1)

Liquid Crystal Display Dev. Group, Sharp Corp. (2613-1, Ichinomoto-cho, Tenri-shi, Nara 632-8567)

Fig. 1 Schematic figure of reflective type color LCD.

2. 反射型 LCD の光散乱

微細な凹凸を持った反射板の表面形状を評価する際、凹凸段差や凹凸のピッチ、また任意の凹凸断面形状や、その傾斜角度などは比較的容易に測定することが可能である。しかしながら、これらの断片的なデータから反射板の光散乱特性を正確に議論することは困難である。

そこで本報告では、凹凸形状と光散乱特性の関係を以下に示す新規手法で解析を行った。

Fig. 2 Schematic figure of surface shape used to calculate the scattering property.

These are composed by many same size micro flat mirrors.

Fig. 3 Schematic diagram of reflector used to calculate the scattering property.

反射板表面の凹凸を図2に示すように面積の等しい微小な平面ミラーの集合体であると仮定し、さらに反射型LCDの光散乱モデルを図3のように仮定する。すなわち、液晶セルに用いられるガラスの屈折率 $n(\text{glass})$ と液晶の屈折率 $n(\text{LC})$ は等しくどちらも1.5であるとし、空気の屈折率 $n(\text{air})$ を1とする。基板に垂直な方向から平行光線を入射すると、光線は θ_m の傾きを持った面で反射され、更にガラスと空気の界面で θ_{air} の方向へ屈折される。この時次のスネルの式(1)とフレネルの式(2)を満たす。

$$n(\text{LC}) \cdot \sin(2\theta_m) = n(\text{air}) \cdot \sin(\theta_{\text{air}}) \quad \cdots \cdots (1)$$

$$T_{\parallel} = \frac{2 \sin(\theta_{\text{air}}) \cos(2\theta_m)}{\sin(2\theta_m + \theta_{\text{air}}) \cos(2\theta_m - \theta_{\text{air}})} A_{\parallel}$$

$$T_{\perp} = \frac{2 \sin(\theta_{\text{air}}) \cos(2\theta_m)}{\sin(2\theta_m + \theta_{\text{air}})} A_{\perp} \quad \cdots \cdots (2)$$

ここで、反射面を入射光ベクトルと反射光ベクトルのなす面とすると、 $A_{\parallel}$ 、 $T_{\parallel}$ はそれぞれ反射光のうち、反射面に平行な偏光成分の液晶中での振幅と空気中での振幅を、 $A_{\perp}$ 、 $T_{\perp}$ は、反射面に垂直な偏光成分の液晶中での振幅と空気中での振幅を表わす。

以上の仮定を行うと、散乱光強度分布は、微小な平面ミラーの傾斜角度分布をパラメータとして求めることができる。逆に、理想的な散乱光強度分布を定義してやれば、それを実現するために必要な傾斜角度分布を求めることも可能となる。以後、計算を簡単にするために凹凸形状は基板に垂直方向の軸に対して対称であるとする。

3. 理想的な傾斜角度分布

本節では理想的な散乱光強度分布を定義し、これを実現するために必要な理想的な凹凸形状のモデルを計算によって求める。

すべてのディスプレイにおいて、画面全体が均一の明るさに見えることは重要である。反射型LCDを、どこから見ても均一な明るさとするためには、図5の破線で示す完全拡散板のように、全方位にわたって均一に散乱させればよいが、この場合前述したように単位立体角あたりの散乱光強度が減少し、非常に暗い表示しか得られない。

そこで、目視方向の明るさを向上させるには散乱性を制限し特定の範囲に散乱光を集中させ、その範囲内では均一な明るさを得るよう散乱特性を制御すればよい。

ここで明るさの目標を新聞紙面とし、これを実現するために必要な散乱特性を考える。

新聞紙は入射光をほぼ全方位にわたって均一に散乱し、その強度はMgO(標準白色板)に対して60%程度である。光の利用効率が10~13%の反射型LCDの散乱光強度を、新聞紙面同等とするためには、散乱範囲を図4に示す「半球スクリーン」全面積の15%~20%に制限して

Fig. 4 Schematic diagram of optical system used to determine the model of ideal reflector.

Fig. 5 Scattering properties of a completely diffusing reflector and an ideal reflector for LCD.

やればよい。即ち、反射型カラーLCD用反射板にとって理想の散乱光強度分布として、図5の実線に示すような、正反射方向から25°までを均一に照射し、それ以上の角度に散乱光は到達しない特性を考えた。

このような散乱強度分布を示す反射板を得るために必要な凹凸傾斜角度分布の計算を行うために、さらに図4の光学系を用いて説明する。

反射板に対して垂直な方向から平行光を入射する時、垂直からコーン角25°の範囲(面積 S)に対し一定の強度で散乱する反射板であれば、 S 上に照射された散乱光の単位面積あたりの強度は一定となる。

次に、図4の半球スクリーン上に微小な面積 ΔS を考え、この微小な面に対して光を反射する傾き角 $\theta_m \sim \theta_m + \Delta\theta_m$ を持った微小な平面ミラーの集合を考える。 S 上の単位面積あたりの散乱光強度が一定であれば、 $\theta_m \sim \theta_m + \Delta\theta_m$ の傾きを持つミラーの存在率 $P(\Delta\theta_m)$ は、面積 S と微小部分の面積 ΔS の比で表わすことができる。

$$p(\Delta\theta_m) = \frac{\Delta S}{S} \quad \dots\dots\dots(3)$$

Fig. 6 Slope angle distribution of an ideal reflector for reflective type color LCD.

また微小部分の面積 ΔS は以下の簡単な積分で表わすことができる。

$$\Delta S = 2\pi r^2 \int_{\theta_{air}}^{\theta_{air} + \delta\theta} \sin\theta \, d\theta \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここで r は半球スクリーンの半径である。

式(1)、(2)、(3)および(4)より、理想反射板に要求される傾斜角度の分布を計算すると図6に示した分布となる。

これより、反射型カラーLCD用反射板にとって理想の傾斜角度分布とは、平坦部分がほとんどなく、傾斜角8°まで存在率が増加し、かつそれ以上の傾斜角は存在しないというものであることが分かった。

4. 実験と結果

前節では「理想の凹凸傾斜角度分布」を計算によって求めたが、本節では実際の反射板に対して凹凸形状の解析を行い最適化した結果について述べる。

滑らかな3次元の凹凸を持った反射板表面形状を、相シフト干渉顕微鏡(WYCO社製：RST Plus)を用いて解析を行った。

この装置を用いて、 $78.2\mu\text{m} \times 58.4\mu\text{m}$ の範囲を、横分解能 $425\text{nm} \times 493\text{nm}$ 、高さ分解能 $3\text{\AA}$ で、約22000点のxyz座標に分解し、互いに隣り合う3点をむすんで微細な平面を定義する。各々の平面について法線ベクトルを計算し、極角方向について集計することにより、滑らかな凹凸を持った3次元形状全体の傾斜角度分布を得ることができる。

図7は典型的な2種類の反射板における傾斜角度分布の測定結果である。次に傾斜角度分布より計算した散乱光強度分布を図8に示す。これに対して、図9に実際の散乱光測定装置(大塚電子製：LCD-5000)にて反射板に平行光(広がり角6度)を照射し、測定した散乱光強度分布を示す。図8と図9のプロファイルが良く一致していることから、凹凸形状測定値、および散乱特性計算プロセスが妥当であることが確かめられた。

Fig. 7 Slope angle distributions of actual reflectors.

Fig. 8 Scattering light distributions of actual reflectors which were calculated from slope angle distributions.

Fig. 9 Scattering light distribution of actual reflectors which were measured by optical detection system.

図7より、Aの反射板の形状は図6に示した理想的な反射板の傾斜角度分布に対して、傾斜角の小さな領域

の存在率が高い。このことが図8、9において $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 方向でのみ明るく、それ以上の角度で急に暗くなるといったバランスの悪い散乱特性を招いている。

これに対して、Bの反射板は、 8° 以下の傾斜角分布はほぼ理想の分布に近いことがわかる。ただし、 $9^{\circ} \sim 15^{\circ}$ の傾斜角を持った面が存在し、この点に関しては理想から外れている。

また図8、9よりBの反射板は、ほぼ 25° 程度まで一様な反射光強度が得られており、理想に近い散乱特性が得られていることがわかる。 $25^{\circ} \sim 40^{\circ}$ までの方向に到達している光は、 9° 以上の傾斜角を持った面からの反射光である。

5. 結 語

反射型LCD用凹凸反射板の評価解析を行うに際し、その凹凸形状を微小な平面ミラーの集合として取り扱い、微小なミラーの傾斜角度分布を解析するという新しい手法を提案した。また上記解析方法を応用して、理想的な散乱光強度分布を得るための理想の傾斜角度分布モデルを立てることができた。

次に、実際の反射板に対して光学的に測定された散乱特性と傾斜角度分布から計算した散乱特性を比較し、上記評価方法の妥当性を確認し、さらに凹凸形状を最適化することによって理想に近い反射板が得られることを確認した。

謝 辞

本研究にあたり、多大なご指導とご協力をいただきました東北大学 電気工学科 内田竜男教授に感謝致します。

(Received November 30, 1998 ; Accepted May 11, 1999)

文 献

- 1) Norio Sugiura and Tatsuo Uchida ; *AM-LCD 95 digest*, 153 (1995)
- 2) Tatsuo Uchida ; *AM-LCD 95 digest*, 23 (1995)
- 3) S. Mitsui, Y. Shimada, K. Yamamoto, T. Takamatu, N. Kimura, S. Kozaki, S. Ogawa, H. Morimoto, M. Matsuura and K. Awane ; *SID 92 digest*, 437 (1992)
- 4) Yutaka Ishii, Naofumi Kimura, Fumiaki Funada and Katunobu Awane ; *Euro Display 96 digest*, 115 (1996)
- 5) Sayuri Fujiwara, Yasuhisa Itoh, Naofumi Kimura, Shigeaki Mizushima and Fumiaki Funada ; *IDW 97 digest*, 879 (1997)