

液晶表示素子における色彩設計と光学的評価に関する研究

上 野 毅 稔

要 旨

反射型液晶表示ディスプレイ（反射型 LCD）は高度情報化社会の進展にとってキーとなる重要なデバイスである。透過型 LCD では背面光源により消費電力が全体の 1/2~1/3 程占めているが、反射型 LCD は背面光源を用いないため、バッテリーでも長時間駆動が可能な携帯デバイスとして有用である。いつでも、どこでも、だれとでも気軽な映像情報の交換には掛け替えのない素子である。

ところで、反射型 LCD の設計においては外部光の効率的な利用が重要である。透過型 LCD においては、背景光によって明るさを自由に制御することができる。一方、反射型 LCD では利用しうる光のエネルギーが外部光に限られてしまい、任意の光強度を得ることはできない。こうした入射光の損失はパネルの輝度低下や表示コントラストの低下を招いてしまうため、光の損失を極力抑えなければならない。反射型 LCD においては近年広視野角化の取り組みが行われており、その進展が目覚ましいが、他方では外部光の利用効率改善が重要となることは明らかである。本論文では、反射型素子の全ての構成要素において反射率を上昇させる最適化が行われなければならないことから、特に直線偏光子における表面反射の影響について検討した。直線偏光子は入射自然光を直線偏光に変換する光学素子であり、LCD においては必要不可欠な光学素子である。偏光子の評価法について議論し、反射型液晶ディスプレイにおける設計概念を明らかにした。

また、反射型 LCD では光源が周囲光であることから、種々のスペクトル下での色彩設計を考慮する必要がある。これまで透過型 LCD で用いられていた背面光源の単一スペクトルではなく、多様な光源を対象とする必要がある。本論文ではこうした条件の下で迅速、かつ確実に色彩設計しうる数学的手法について明らかにした。以下に本論文の概要を示す。

第 1 章は緒論である。ここでは本研究の目的について述べるとともに、液晶の高品位化に関する研究過程について概説し、本研究の内容について述べた。

第 2 章では、反射型カラー液晶表示素子の現状と課題について述べている。今日、技術の進歩にも関わらず、情報機器利用の拡大により、エネルギー消費が増えているのが現状である。従って低消費電力機器の導入は室内環境や地球環境のために望ましいことである。反射型 LCD は、これに応えるキーデバイスとして注目を浴びている。この設計に際してはパネルへの散乱機能の付与が不可欠である。ここでは現状で提案されている 3 種類の方式について詳述した。反射型 LCD にた透過型 LCD より高度な光学設計が必要とされている。光利用効率の向上はアウトドアから室内環境での使用が可能になることを意味し、インテリジェント・ペーパーホワイトディスプレイが実現に近づくことになる。ここでは表面反射と色彩設計の重要性について説いている。

第 3 章では偏光子の光学的特性、特に表面反射の影響について検討している。表面反射は表示自体には全く寄与せず、しかも暗状態を損なうことからコントラストの低下を招いてしまう。論文で

学位と学位記番号：博士（工学），博第 7 号

授与年月日：平成 13 年 3 月 19 日

授与時の所属：八戸工業大学大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程

はこの影響の甚大さとその評価方法について検討している。光学的な評価は偏光子単体と2枚の偏光子を積層した場合の2通りを測定するだけで表面反射の影響を求めることができる。積層の際には、偏光子の基板 TAC の屈折率と整合させた接着剤 ($n=1.47$) を用い、内部反射を避ける状態を得た。結果として可視光領域における偏光子の反射成分は約4%程であることが分かった。偏光子の表面反射は、空気と保護層である TAC フィルム界面で起きる。理論計算では反射率としては3.9%が得られ、この値は実験結果とほぼ一致することが確認された。

次に偏光子における光学特性の最適化を検討した。透過型でコントラストを高めるには偏光子の吸光度を上げることが考えられるが、反射型から考えると光利用効率が低下してしまう。そこで最適化を図る必要性が生じてくる。偏光子の積層枚数と吸光度には比例関係が認められ、Lambert-Beer 則が成立していることが確認された。反射型表示の一種である新聞紙は日常支障無く用いているが、そのコントラストは5程度である。反射型 LCD 素子のコントラストを $C=5$ に設定し、実用偏光子の2色性比 $D=75$ の元で最適化を図った。偏光子の透過方向と吸収方向の透過率をそれぞれ T_{\perp} 、 T_{\parallel} とした場合、 D は偏光子が有する2色性比 ($\log T_{\perp} / \log T_{\parallel}$) である。結果として透過率約97.5%の値が得られた。現行の偏光子ではこの値が93.9%であるため、改良により3.6%分の明るさ向上が見込まれることが示唆された。

第4章では色彩設計について述べている。バックライトを使用しない明るい反射型 LCD は、携帯情報端末の重要なデバイスである。中でもゲスト・ホスト型液晶表示素子は2色性色素の吸収異方性を用いるため、大変広い視野角特性を有している。そのため複屈折モードや旋光モードの表示方式で用いなければならない複雑な光学補償が不要となる。白黒表示の GH-LCD はマイクロカラーフィルタ表示の光バルブとして用いることができる。この場合、正確に無彩色にしなければならない。従って、色素を混合して無彩色となるように濃度を調整しなければならない。本論文では最適色素濃度を求め Newton-Raphson 法を応用した色彩設計について検討した。

まず、一部報告されている基本式に誤りがあり検討を行い、矛盾の無い式を導出することができた。この基本式に基づき種々の条件における色彩設計を行った。取り上げた LCD モードはゲスト・ホスト効果であり、最適色素濃度を求めるシミュレーションを行った。シミュレーションでは光バルブとしての機能を考慮し、3種類の色素を混合することとした。

最適化過程における色素濃度の推移を検討した結果、約10回程度の繰り返しで数値が収束していることが分かった。途中で濃度が負の値となる場合が生じ、物理的にはあり得ない状態であるが、計算過程上は問題ではないことが確認された。また、三刺激値の推移を見ると、初期段階で色度図上大きな変動を示すが、いずれの場合でも10回程度の繰り返し計算で収束値を得られることが分かった。最終的には無彩色を実現することができた。得られた透過率の波長依存性は大きく変動しており、無彩色と判断しにくい等色関数との計算により何れも無彩色となっていることが確認された。経験的に設計しにくい色彩でも、本法では容易にその最適条件を見出すことができる。

ところで、これまでは off 状態を前提に光学特性を議論してきたが、実用時は電圧印加に伴い吸収が変化する。そのため、色相が変化してしまう可能性もある。そこで、電圧印加に伴う表面層の影響を検討した。表面層は電圧を印加しても実効的に配向が変化しない部分を示しており、電圧無印加時は100%、無限大の電圧が印加された場合には0%となる。最適濃度における三刺激値の表面層依存性は、いずれの場合にも三刺激値は等しい値を取り、電圧印加状態でも無彩色状態を維持できることが示された。

以上、本論文では反射型 LCD の実用に際した表面反射の影響について明らかにするとともに、ゲ

液晶表示素子における色彩設計と光学的評価に関する研究（上野）

スト・ホスト液晶カラー表示素子における色彩設計法について検討した。本研究の結果は、カラーフィルタ、ゲストホスト素子、偏光子など吸収型デバイスなどの工学的応用が可能であり、反射型LCDの設計において有用な指針が得られ、表示品位の向上に寄与する知見が得られた。

主指導教員 関 秀廣

Colorimetric Design and Optical Evaluation of the Color LCDs

Taketoshi UWANO

Abstract

Reflective color liquid crystal displays (LCDs) are important key devices in future information oriented society. The reflective LCDs do not use a backlight. The backlight consumes electric power about one third of the transmitted LCDs. Therefore the long available time of a battery is useful for the communication with anybody, in anywhere, in anytime. Backlight-less device realizes an energy saving world. Design of reflective mode needs a high efficiency of utilization of the ambient light for the bright display. In the transmissive mode, the brightness can be easily controlled by the backlight. However, the light energy in the reflective mode is limited within the ambient light. The loss of light is resulted in darkening of the display panel. It is an important point of the design of the reflective display. Many LCD modes in the reflective display with high performance have been discussed and developed in recent years. In order to improve the efficiency of the ambient light, the reflectance of the panel must be increased as high as possible. Therefore all components in the reflective device must be designed in the optimum conditions. A polarizer is the optical device which converts the incident natural polarized light to the linearly polarized light and is an essential component for the LCDs. Usually, the property of the polarizer has not been discussed in detail. However, the optical analysis of the polarizer is necessary for the improvement of the optical property. In this paper, the evaluation of the polarizer is discussed precisely and the design concept for the reflective display is clarified.

Chapter 1, the introduction, gives a historical background on the LCDs, the purpose and the contents of the paper.

Chapter 2 describes a present state and the subjects of the reflective LCDs. Recently, the technology of the LCDs has made remarkable advances, but an energy consumption must be decreased for the portable equipment. The transmissive LCDs have the backlight for the improvement of the intensity of illumination. Therefore, the reflective color LCDs needs more precise optical design than the transmissive LCDs. Because the incident light loss does not allowed for the reflective LCDs. The reflective LCDs are classified into three classes in the point of the scattering function. The detail structures and the comparison was discussed.

Chapter 3 describes the optical characteristics of a linear polarizer. Reflective color LCDs are important key devices in future information oriented society. The reflective LCD does not use a backlight. The backlight consumes electric power about one third of the transmitted LCDs. Therefore the long available time of a battery is useful for the communication with anybody in anywhere, anytime. Backlight-less device realizes an energy saving

world. Design of reflective mode needs a high efficiency of utilization of the ambient light for the bright display. In the transmissive mode, the brightness can be easily controlled by the backlight. However, the light energy in the reflective mode is limited within the ambient light. The loss of light is resulted in darkening of the display panel. It is an important point of the design of the reflective display. Many LCD modes in the reflective display with high performance have been discussed and developed in recent years. In order to improve the efficiency of the ambient light, the reflectance of the panel must be increased as high as possible. Therefore all components in the reflective device must be designed in the optimum conditions. A polarizer is an optical device which converts the incident natural polarized light to the linearly polarized light and is an essential component for the LCDs. Usually, the property of the polarizer has not been discussed in detail. However, the optical analysis of the polarizer is necessary for the improvement of the optical property. In this paper, the evaluation of the polarizer is discussed precisely and the design concept for the reflective display is clarified.

Two transmittances $T_{||}$ and T_{\perp} are defined as apparent transmittances parallel and perpendicular to the transmissive axis of the polarizer, respectively. These values involve the effect of the reflection. Usually, the transmittances of the calculation are not considered the separation of the reflective components. The polarizer evaluation needs the calculation of three unknown parameters. For this subject, two stacked polarizers was considered and the polarizer sheets were stacked such that the boundary of the sheets were glued by the adhesive material with adjusted refractive index. As the results, it is clarified that the practical transmittances $T_{||}$, T_{\perp} and the reflectance R can be calculated.

Optimizing of optical characteristic for a polarizer is considered in this paper. The linear relationship between the stacked number of the polarizers and absorbance is recognized and it supports the Lambert-Beer's law in the polarizer films. Usually, the contrast of a newspaper is about 5. For the reflective mode, the contrast ratio $C=5$ is considered as the target value. It is clarified that there is possibility that the transmittance of the polarizer will be improved with 3.6% higher transmittance compared with a conventional one for the reflective LCDs. The evaluation of the linear polarizer is discussed. Considering the reflection loss, the improvement of the property of the polarizer is suggested and the guideline for the design is presented.

Chapter 4 describes the colorimetric design of the color LCD mode. A bright reflective LCD without a backlight is a key device for portable information systems. The guest-host LCDs use absorption effect of dichroic dyes and have a wide viewing angle cone. So that, complicated designs of optical compensation in birefringence or optical rotatory power modes have no use of the GH-LCDs. Black and white color of the GH-LCDs works as a light shutter of a full color display with micro-color filters and achromatic color must be displayed precisely. Then it is necessary to mix dyes for achromatic display in the GH-LCDs. In this work, the design was carried out with the Newton-Raphson method in order to obtain the optimum dye concentration. As a result, the relationship between the dye concentration and the optical property was clarified. The process gives us a helpful guideline in fabrication of the reflective

color LCD and it is expected that the precise color matching improves the quality of GH-LCDs.

Usually, plural dyes are mixed for achromatic color in GH-LCDs. In order to obtain the objective color, the concentration must be determined precisely. Scheffer suggested that the Newton-Raphson method is useful for this purpose. Considering the relation between dye concentration and tri-stimulus values, the following equation was derived from the Newton-Raphson method in this paper.

The optimization process of dye concentrations is done as follows. At first, arbitrary dye concentration is given. Tri-stimulus values is compared with the objective values. If they does not match with, modified dye concentrations are calculated by the above formula. These processes are repeated until the dye concentrations for achromatic color are obtained. For example, mixing of three kinds of dyes is considered. The values converge in seven or eight intervals.

Above mentioned case deals with off state of GH-LCDs, in which the absorbance is maximum. At on state, the color balance must be consistent as off-state. This cell can be supposed to consistent of the surface layers with parallel orientation and the bulk with perpendicular orientation. The thickness of the surface layer is expressed by and depends upon the applied voltage and the cell thickness. It is shown that the color balance is sustained regardless of the surface layer and the applied voltage.

Chapter 5 describes the conclusion of this paper. The evaluation of the linear polarizer is discussed. Considering the reflection loss, the improvement of the property of the polarizer is suggested and the guideline for the design is presented. Considering the characteristics of GH-cell, the colorimetric design concept is introduced with Newton-Raphson method. The accuracy and quickness of this method is verified. Conventionary, the color matching of GH-LCDs is done empirically by evaluating transmittance spectra or color coordinates x and y . A trial-and-error method is difficult for precise color control. In this paper, the concept of the colorimetric design for GH cell is examined. As a result, the process gives us a helpful guideline in fabrication of the reflective color LCD and it is expected that the precise color matching improves the quality of LCDs.

Professor (Chairperson)

Hidehiro SEKI