

平面電視低亮度色彩分析儀之光學系統設計

宋新岳

致茂電子 光學技術顧問
aaron@chroma.com.tw

管繼正

致茂電子 光學工程師
martin@chroma.com.tw

簡宏達

致茂電子 光學工程師
honda@chroma.com.tw

林孟麒

致茂電子 專案主管
fred@chroma.com.tw

摘要

隨著數位電視的逐漸開播，平面顯示器與平面電視之日漸普及，消費者對於平面電視之品質要求也日漸提昇。尤其是平面電視的光度與色度量測的相關議題、重覆性與準確度，更是國內外各大面板廠與平面電視生產廠商所重視之處。然而對液晶電視而言，眾所周知的是液晶面板具有隨視角之變化而產生不同亮度與色度之配光特性，而不像 CRT 電視之配光特性則均為 Lambertian。而且隨著平面電視對於高對比性能之要求，其低亮度的量測需求也變得日益殷切。有鑑於此，本論文將提出一種新的低亮度色彩分析儀之光學系統設計方法，該低亮度色彩分析儀之光學系統架構主要可分為三個方面，1. 物方遠心聚光物鏡、2. 高效能光均勻化模組、3. 高感度偵測裝置。此光學系統可特別針對量測 LCD 平面電視之光度與色度，降低因其配光特性不同而造成其重覆性與準確度降低之問題，當然 PDP、CRT 與 OLED 等平面電視之量測亦可適用之，以符合目前國內外業界對於平面顯示器與平面電視的光度與色度之量測需求。

關鍵字: FPD、LCD TV、Display Colorimeter、Optical System Design、Illumination System Design

壹、前言

隨著數位電視的逐漸開播，平面顯示器與平面電視之日漸普及，消費者對於平面電視之品質要求也日漸提昇。尤其是平面電視的光度與色度量測的相關議題、重覆性與準確度，更是國內外各大面板廠與平面電視生產廠商所重視之處。然而對於液晶電視而言，眾所周知的是液晶面板具有隨視角之變化而產生不同亮度與色度之配光特性，而不像 CRT 電視之配光特性則幾乎均為 Lambertian。這使得傳統成像式之 CRT 顯示器色彩分析儀，因斜角入射光之問題而大大的降低了其量測的重覆性與準確度。其光學系統如圖 1 所示。又因液晶電視等之平面電視對於高對比與低亮度的量測品質要求很高，所以光柵式之分光系統如 Spectrometer、Multi Channel Spectrometer 甚至是 Imaging Spectrograph[1]等，皆無法滿足國內外平面顯示器生產廠商光度與色度之量測規格。

有鑑於此，本論文將提出一種新的低亮度色彩分析儀之光學系統設計方法，該低亮度色彩分析儀之光學系統架構主要可分為三個方面，1. 物方遠心聚光物鏡、2. 高效能光均勻化模組、3. 高感度偵測裝置。其光學系統如圖 2 所示。首先，採用物方遠心聚光物鏡，此光學系統可特別針對量測 LCD 平面電視之光度與色度，降低因其配光特性不同而造成其重覆性與準確度降低之問題；其次，利用滿足視效函數之高感度偵測裝置，來解決量測高對比與低亮度其重覆性與準確度欠佳之問題。當然 PDP、CRT 與 OLED 等平面電視之量測，此種之低亮度色彩分析儀亦可適用之，以符合目前國內外業界對於平面顯示器與平面電視的光度與色度之量測需求。

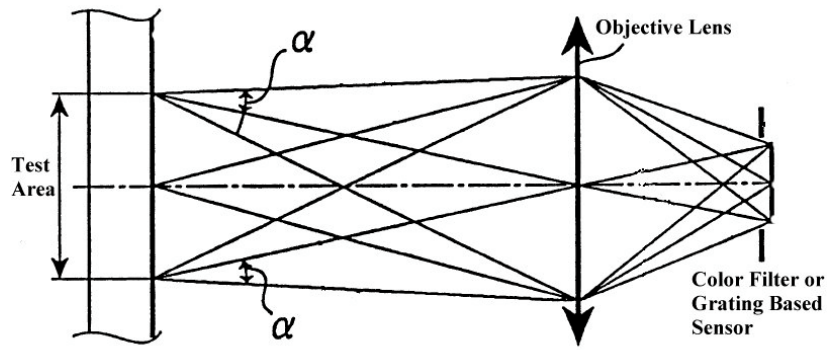


圖 1：傳統成像式之 CRT 顯示器色彩分析儀

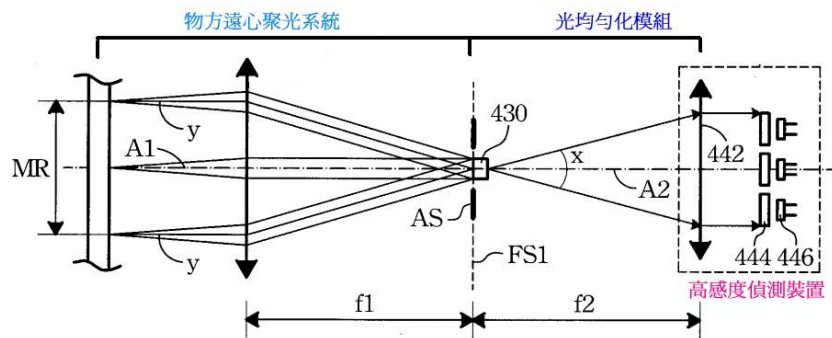


圖 2：物方遠心式之低亮度平面電視色彩分析儀

貳、研究方法

一、物方遠心聚光物鏡之規格及其設計

物方遠心聚光物鏡之規格，我們主要是綜合參考了 VESA (Video Electronics Standards Association)[2]、IEC (International Electro-technical Commission)[3]、JEITA (Japan Electronics and Information Technology)[4]、ISO (International Organization for Standardization)、TCO (The Swedish Confederation of Professional Employees)等平面顯示器產業之國際標準組織所訂定出來之相關標準[5]。其光度與色度之重要幾何條件量測標準規範，如圖 3 所示。

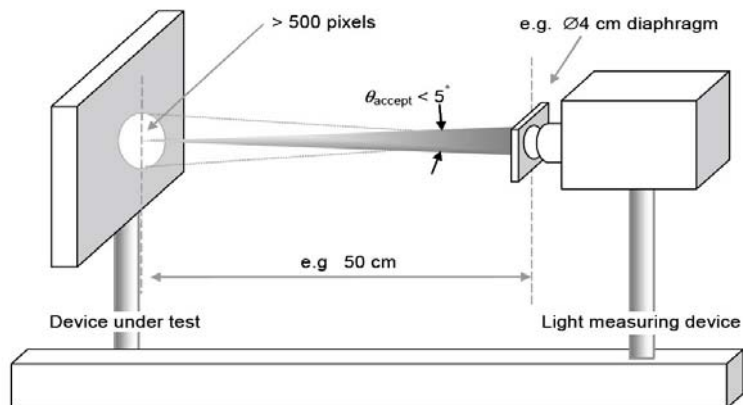


圖 3：平面電視之重要幾何條件量測標準規範

表 1: 物方遠心聚光物鏡之規格

Working F/#	11
Field of View	27 mm
Effective Focal Length	35 mm
Design Wavelength	C、d、F
RMS Spot Size	< 30 μ m
Vignetting	None
Distortion	< 5%
Object Side Telecentricity	< 0.25°
Misc.	Spherical Surface only

而參考這五大標準最後所訂定出來之物方遠心聚光物鏡相關規格則如表一所列。

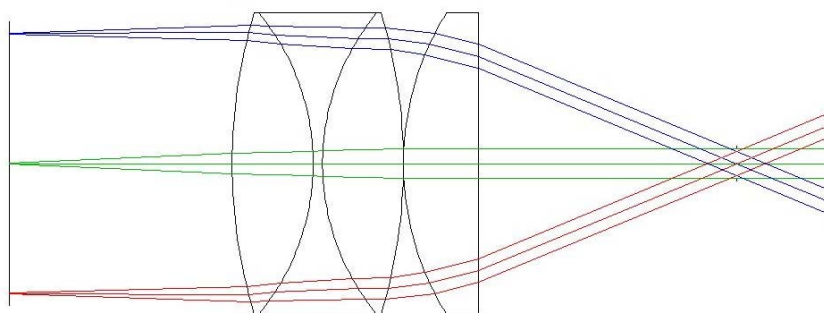


圖 4: 物方遠心聚光物鏡之 Optical Layout

至於物方遠心聚光物鏡之設計，主要是以能達成 Object Side Telecentricity 小於 0.25° 為其設計重點。是故在一開始的選型方面[6][7][8][9]，我們採用的為對稱型式的膠合透鏡 Triplet，再加上一片平凸透鏡，來構成此物方遠心聚光物鏡之初階設計。然後再加上適當之 Merit Functions 並做 Optimization 後[10]，得到此物方遠心聚光物鏡之 Optical Layout，如圖 4 所示。最後要強調的重點是，為了方便量產並節省成本，此物方遠心聚光物鏡之所有曲面，只使用球面或平面，並未使用到非球面。

二、高效能光均勻化模組之規格及其設計

有了符合平面電視量測標準規範之物方遠心聚光物鏡，做為平面電視光源的收光用途之後，我們並非像傳統成像式之 CRT 顯示器色彩分析儀一樣，把分光元件與光偵測器直接放置於成像面上，而是把一光均勻化模組之 Entrance Port 放置在此物方遠心聚光物鏡之 Exit Pupil 上，以達成 Spatial Uniformity 之要求。然後再利用此一光均勻化模組來達成其 Angular Uniformity 之任務後，才把分光元件與光偵測器放置在此光均勻化模組之 Exit Port 上。而根據物方遠心聚光物鏡之 Pupil Specification 以及分光元件與光偵測器之大小與收光角度，所訂出光均勻化模組之規格，則如表 2 所列。

至於光均勻化模組之設計，首先在 Entrance Port 處放置一 Clipped Lambertian Diffuser，把從 Pupil 端入射之光型修整成為半角小於 20° 之 Lambertian 光源，並且其光利用效率可高達 92 % 以上。然後再

利用我們自行設計之平凸非球面 Beam Shaping Lens[11][12][13][14]，把此 Lambertian 型式之光源整型成為在距此 Lens 凸面後方 15 mm 之距離處，可形成一半徑為 10 mm 之均勻照明，其均勻度可高達 95% 以上。其光均勻化模組之 Optical Layout 如圖 5 所示[15]。最後值得一提的是，此平凸非球面之 Beam Shaping Lens，其非球面係數只用到了 Curvature、Conic Constant、4 階與 6 階非球面係數即可達成此光均勻化之功能。

表 2: 高效能光均勻化模組之規格

Entrance Port Diameter	3.2 mm
Entrance Port NA	0.38
Exit Port Diameter	20 mm
Entrance Port NA	0.12
Output Efficiency	> 90 %
Output Uniformity	> 95 %

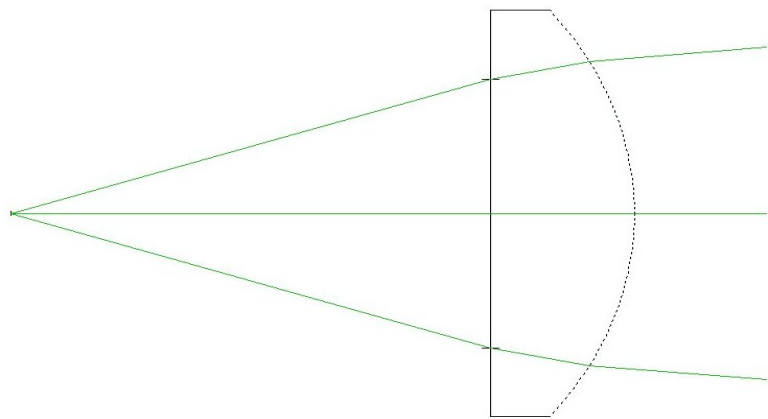


圖 5：高效能光均勻化模組之 Optical Layout

參、研究成果

圖 6 展示出了此物方遠心聚光物鏡之設計成果，即 Telecentricity Diagram。其中橫軸為物高，縱軸為 Telecentric Angle Error，單位為度。由圖上可知，其 Telecentric Angle Error 在 Full Field of View 下皆維持在 0.25 度以內。

圖 7 則展示出了高效能光均勻化模組之設計成果，即 Irradiance Map。由圖上可看出其在±10 mm 處之明暗截止線非常清楚、陡峭，而在其±10 mm 內之 Irradiance 則是相當的平坦，經由分析可得知其 Uniformity 可高達 97 % 以上，非常的不錯。

在高感度偵測裝置的設計成果方面，有鑑於光柵式之分光系統如 Spectrometer、Multi Channel Spectrometer 甚至是 Imaging Spectrograph 等，皆無法滿足國內外平面電視低亮度之量測規格，所以我們自行開發了高穿透率之 X、Y、Z Color Filter[16]，來搭配高感度之 Photo Diode Sensor 與低雜訊之電子電路設計。而其中 Y Color Filter 之穿透率可高達 60% 以上，而與 Photo Diode Sensor 結合之後的 f1' Error 更可同時壓低在 6% 左右。圖 8 則是高感度偵測裝置的視效函數誤差曲線，其中實線為理論值，虛線則為實際之量測值。

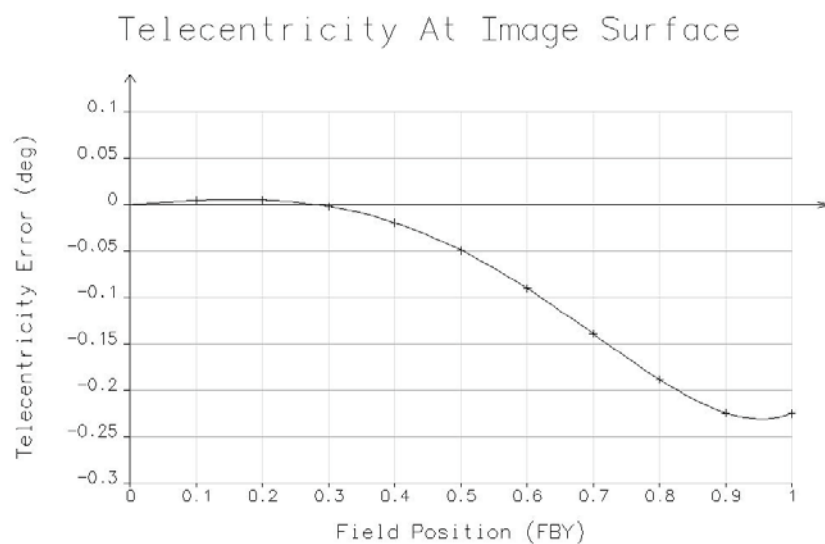


圖 6：物方遠心聚光物鏡之 Telecentricity Diagram

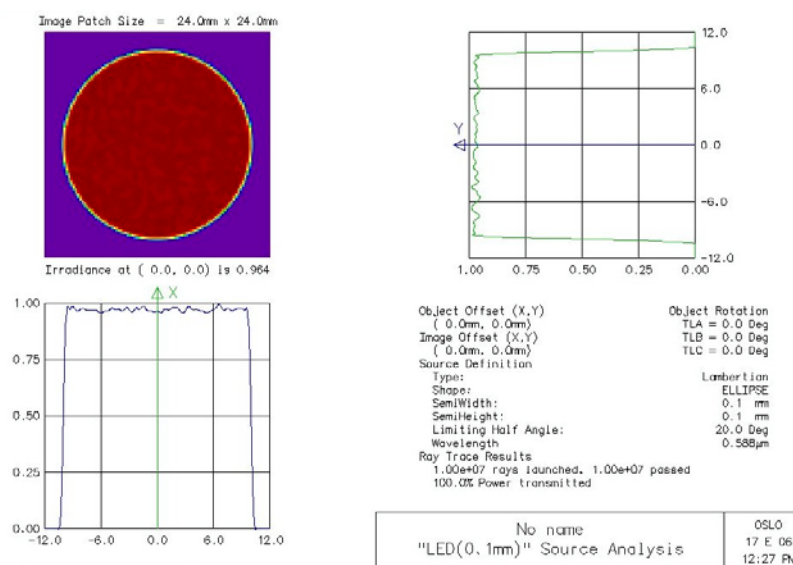


圖 7：高效能光均勻化模組之 Uniformity Diagram

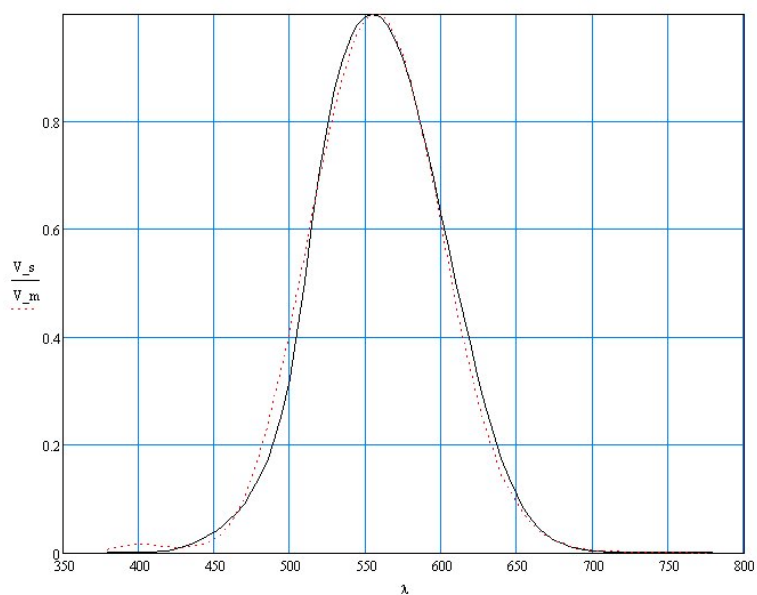


圖 8：高感度偵測裝置之 f1' Error Diagram

表 3: 平面電視低亮度色彩分析儀之規格表

Measurement Area	Ø27 mm	
Measurement Angle	± 2.5°	
Display Range	Luminance	0.01 to 9999 cd/m ² (0.029 to 2918 fL)
	Chromaticity	Displayed in 4 digit value
Measuring Range	0.10 to 9999 cd/m ²	
Luminance Unit	cd/m ² or fL, selectable via front panel key	
Display	Digital : xyY : XYZ : TΔuvY : u'v'Y : RGB	
	Analog : Δx Δy ΔY : ΔR ΔG ΔB : ΔR G/R B/R : R/G ΔG B/G	
Luminance	Accuracy	±2%±1digit (Calibrated by standard illuminant A under Chroma's testing condition)
	Repeatability	0.10 to 0.99 cd/m ² : 0.2% + 1 digit (2σ) Above 1.00 cd/m ² : 0.1% + 1 digit (2σ)
Chromaticity	Accuracy	0.1 to 2.99 cd/m ² : ± 0.008 (for standard illuminant A) 3.0 to 4.99 cd/m ² : ± 0.005 (for standard illuminant A) 5.00 to 9.99 cd/m ² : ± 0.003 (for standard illuminant A) 10.00 to 9999 cd/m ² : ± 0.001 (for standard illuminant A)
	Repeatability	0.10 to 0.19 cd/m ² : 0.015 (2σ) 0.20 to 0.49 cd/m ² : 0.008 (2σ) 0.50 to 1.99 cd/m ² : 0.003 (2σ) 2.00 to 9999 cd/m ² : 0.001 (2σ)
Measurement Speed	0.1 to 3.99 cd/m ² : 5 times/second	
	Above 4.00 cd/m ² : 15 times/second	

最後將 1. 物方遠心聚光物鏡、2. 高效能光均勻化模組、3. 高感度偵測裝置組裝在一起之後所構成的平面電視低亮度色彩分析儀，經由量測實驗的驗證之後，可達到的光學規格表則如表 3 所示。最後的色彩分析儀成品外觀則如圖 9 所示。



圖 9：平面電視低亮度色彩分析儀成品外觀

肆、結論與建議

由前述可知，採用此種新型式光學設計之平面電視低亮度色彩分析儀，的確提供了一種新型態輝度計之新的設計與思考方向。未來我們還將再搭配 Enhanced Matrix Calibration 之方法，使得其高對比

的量測能更為精準。此外，我們還將以此光學設計為核心，設計出針對 Flicker 和 Response Time 的平面電視光度分析儀，以提升臺灣光度與色度量測儀器光學設計之能力。

(註:以上之論文內容多項專利申請中)

伍、參考文獻

- [1] K. Chuang, H. Wang, F. Yang (2006), Design of Imaging Spectrograph for Improving Spectral and Spatial Resolutions, Proceedings of SPIE Vol. 6302
- [2] Flat Panel Display Measurements Standard 2.0, VESA, 2001
- [3] Measuring methods for Liquid Crystal Modules: Transmissive Type, IEC 61747-6, 2004
- [4] Measuring Methods for Matrix Liquid Crystal Display Modules, EIAJ ED-2522, 1995
- [5] 田立芬、簡育德(2006), 液晶顯示器產業相關之國際標準組織現況, 量測資訊 109 期
- [6] Rudolf Kingslake (1978), Lens Design Fundamentals, Academic Press
- [7] Joseph M. Geary (2002), Introduction to Lens Design with Practical ZEMAX Examples, Willmann-Bell
- [8] Warren J. Smith (1992), Modern Lens Design, McGraw-Hill
- [9] Zverv V.A., Shagal A.M. (1976), Three Component Objective Lens, Sov. J. Opt. Tech., 43:529
- [10] ZEMAX Optical Design Program User's Guide, ZEMAX Development Corporation, 2006
- [11] Max Born, Emil Wolf (1980), Principles of Optics Sixth Edition, Pergamon Press
- [12] 林松南, 車燈照明設計課程講義
- [13] Michael A. Guavin (2004), LED Headlamps Seminar Course Materials
- [14] 許日滔 (2005), 高效能 LED 頭燈設計, 車輛研測資訊 2005-03, 8-19
- [15] OSLO Optical Design Program User's Guide, Lambda Research Corporation, 2006
- [16] Carol Tien (2005), Private Communications