

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

題目：具高畫質、低功率與人因優化之 LCD 面板及光源系統
研究--總計畫

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 96-2628-E-009-020-MY3

執行期間：96 年 08 月 01 日至 99 年 07 月 31 日

計畫主持人：謝漢萍 教授

共同主持人：黃乙白 助理教授、田仲豪副教授

計畫參與人員：

姚于蓓、李穎佳、李甫奕、李妍儀、林裕閔、陳均合、李企桓、
陳宜伶、吳高銘、黃靖堯、林芳正

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學 顯示科技研究所

國立交通大學 光電工程研究所

中 華 民 國 98 年 7 月 6 日

摘要

子計畫一：次世代面板之視覺效應模型建構

本計畫第二年度已完成液晶訊號優化演算法。色彩模型可以分為兩個階段，第一階段為三組一維的 look-up tables (LUTs)，描述液晶的光電轉換函數，將輸入的影像資訊 (d_r, d_g, d_b) 轉換成相對應的 RGB 參數。第二階段為分別針對 RGB 背光的三組獨立線性轉換矩陣，考慮背光的漏光項 ($X_{k,min}, Y_{k,min}, Z_{k,min}$) 以及規一化的背光強度 (L_R, L_G, L_B)，以達到準確預測 HDR-LCD 的色彩表現。HDR-LCD 色彩模型，不僅考慮傳統液晶顯示器的漏光項，同時考慮 dimming 背光強度作為修正項，因此可以準確的預測 HDR 影像之色彩表現。

關鍵字：高動態液晶顯示器、液晶補償、色彩模型

Abstract

This second year's project has completed the liquid crystal signal optimization calculating method. The color model may divide into two stages, the first stage is three groups of one-dimensional look-up tables (LUTs), the description liquid crystal electro-optic transfer function, will input the phantom information (d_r, d_g, d_b) transforms the RGB parameter which corresponds. The second stage to aim at the RGB back light separately three group of independent linearity transfer matrix, considered that the back light the leakage of light item ($X_{k, min}, Y_{k, min}, Z_{k, min}$) as well as a gauge back light intensity (L_R, L_G, L_B), achieves perfect forecast HDR-LCD the color performance. HDR-LCD color model, not only the consideration tradition liquid-crystal display's leakage of light item, but considered that the dimming back light intensity takes the correction term, therefore may predict the accurate color information to HDR-LCD.

Keywords: high dynamic range liquid crystal display, liquid crystal compensation, colorimetric model

子計畫二：LCD 面板與光源之整合式驅動架構研發

本計畫第二年度已完成彩色背光調變的演算法 Delta-Color-Adjustment (DCA) 法以及 Segment-Color-Control (SCC) 法。依照影像資訊可分別控制紅、綠、藍三色的背光訊號以得到彩色的背光訊號。其次，依據背光訊號的變化可補償出相對應的液晶補償訊號。彩色

背光調變不僅可維持影像亮度並可使色彩飽和度提升，並且能夠大幅降低功率消耗。

關鍵字：高動態液晶顯示器、彩色背光調變、液晶補償

Abstract

we proposed the Delta-Color-Adjustment (DCA) method and Segment-Color-Control (SCC) method to appropriately adjust the backlight intensity of three primary-color LEDs independently. The determination algorithm of the three primary-color backlight signals has been completed in the second year. The red, green, and blue backlight signals can be controlled independently according to the image. Therefore, a color backlight signal can be determined. According to the corresponding backlight signals, the LC signals were compensated to maintain the brightness and image details. Consequently, the color-controlled backlight can not only maintain the image brightness, but also enlarge the NTSC gamut and reduce the power consumption.

Keywords: *high dynamic range liquid crystal display, color-controlled backlight, liquid crystal compensation*

子計畫三：全彩式 LED 背光顯示系統

本子計畫提出一全彩式 LED 背光顯示系統，能提供一新型局部時域控制光場分佈，搭配子計畫一所建構的視覺模型與子計畫二所提出的整合式驅動法，將能有效的提昇高動態對比影像之影像品質。本子計畫於第二年已完成：(1)高亮度驗證平台架設；(2)LED 光學元件單元製作；(3)擴散照明數學模型演算法建立。

第一年所架設之雙液晶面板驗證平台，由於整體系統亮度(10.2nits)與對比度(1000:1)不足。因此本年度提出以投影機為動態背光源之高亮度驗證平台，搭配前一年的背光單元化設計流程，更能貼近實際人眼觀測的結果。在尋找最適之二維光場分佈函數的光學設計上，能提出更具參考價值之參數設計。在背光顯示系統硬體製作方面，我們利用鑽石刀加工金屬模仁將設計流程中所優化得到的微結構圖樣複製。最後用模仁翻壓技術，將光學元件單元中之方形導光版與集光膜製作完成。此外，為確保平面二維光源光場之均勻性，擴散膜(diffuser)之散射特性對於其光學特性的模擬及最後出光光場分佈亦相當重要。但現有光學軟體對於散射元件計算之功能非常有限，因此我們亦開發一擴散照明數學模型的設計流程，已改正現有商用光學模擬軟體不足之處。

Abstract

we build up a semi-quantative algorithm to simulate the scattering performance by the general diffusing microstructure as well as a projector-based testing platform to verify the optimal parameters in the optical design in this year. The projector-based testing platform with adequate

brightness range and the corresponding design flow can provide the optimal HDR performance subject to sequential driving scheme. After the optical design and system evaluation, the optical element composed of quadratic light guide (QLG) and concentric prism sheet (CPS) was also implemented by the diamond turning machining and vacuum compression forming process.

一. 前言及研究目的

子計畫一：次世代面板之視覺效應模型建構

高動態範圍液晶顯示器(HDR-LCD)依畫面資訊調整的彩色背光演算法，雖然可以大幅降低耗電，卻也增加了色彩的複雜度。傳統的液晶補償法僅考慮亮度，如(1)式所示，搭配調整過液晶訊號以維持相同畫面亮度(如圖 1)，但是亮度對應人眼感知的色彩表現並非呈線性關係，因此仍無法準確呈現目標影像的色彩，以致於調整過後的 HDR 影像產生色偏現象。

$$GL_{HDR} = \left(\frac{BL_{full}}{BL_{HDR}} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \times GL_{Target} \quad (1)$$

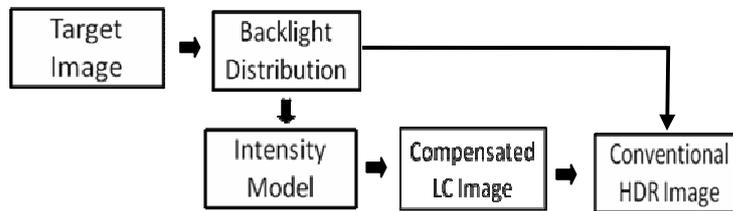


圖 1 傳統 HDR 影像之流程圖

因此本年度提出的液晶訊號優化，藉由顯示器的色彩模型，準確的呈現其色彩表現，將輸入影像轉換成 CIE 三刺激值作為目標，同時考量色度、亮度以及背光強度的方式優化液晶訊號，減少 dimming 背光造成的色彩誤差，圖 2 為考慮色彩模型的流程圖。

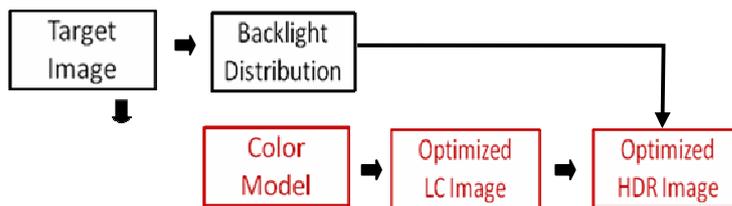


圖 2 考慮色彩模型優化之 HDR 影像

為了正確評估色彩的準確性，我們使用 CIEDE2000 色差公式來計算平均色差作為評估指標(ΔE_{00})。該色差公式將 XYZ 色域轉為更均勻的 L*a*b*色域，除了分別考慮人眼對亮

度(S_L)、飽和度(S_C)以及色調(S_H)的敏感曲線，更對高色彩飽和度的色彩出色差修正項，與傳統未考慮人眼感知的色差公式比較，CIEDE2000 色差公式更能正確描述高對比且廣色域的顯示器的色差現象，CIEDE2000 公式如下所示。

$$\Delta E_{[x,y]} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'_{[x,y]}}{K_L S_{L[x,y]}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'_{[x,y]}}{K_C S_{C[x,y]}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'_{[x,y]}}{K_H S_{H[x,y]}}\right)^2 + R_{T[x,y]} \left(\frac{\Delta C'_{[x,y]}}{K_C S_{C[x,y]}} \frac{\Delta H'_{[x,y]}}{K_H S_{H[x,y]}}\right)}$$

$$S_{L[x,y]} = 1 + \frac{0.015(\bar{L}'_{[x,y]} - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L}'_{[x,y]} - 50)^2}}$$

$$S_{C[x,y]} = 1 + 0.045 \bar{C}'_{[x,y]}$$

$$S_{H[x,y]} = 1 + 0.015 \bar{C}'_{[x,y]} \cdot T_{[x,y]}$$

$$T_{[x,y]} = 1 - 0.17 \cos(\bar{h}'_{[x,y]} - 30) + 0.24 \cos(2\bar{h}'_{[x,y]}) + 0.32 \cos(3\bar{h}'_{[x,y]} + 6) - 0.20 \cos(4\bar{h}'_{[x,y]} - 63)$$

為了要能夠準確預測 CIE 三刺激值，必須先建構高動態範圍液晶顯示器的特性化模型。模型可以分為兩個階段，第一階段為三組一維的 look-up tables (LUTs)，描述液晶的光電轉換函數，將輸入的影像資訊 (d_r, d_g, d_b) 轉換成相對應的 RGB 參數，如(2)式所示。第二階段為分別針對 RGB 背光的三組獨立線性轉換矩陣，考慮背光的漏光項 ($X_{k,min}, Y_{k,min}, Z_{k,min}$) 以及規一化的背光強度 (L_R, L_G, L_B)，以達到準確預測 HDR-LCD 的色彩表現，如(3)式到(5)式所示。根據 HDR 影像的背光分佈以及液晶訊號，色彩模型預測 HDR 影像的三刺激值為 RGB LEDs 背光三刺激值的線性組合，如(6)式所示。

$$\begin{aligned} R &= LUT(d_r) \\ G &= LUT(d_g) \\ B &= LUT(d_b) \end{aligned} \quad \begin{aligned} 0 \leq d_r, d_g, d_b \leq 255 \\ 0 \leq R, G, B \leq 1 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{RLED} = \begin{bmatrix} X_{Rgmax} - X_{Rkmin} & X_{Rgmax} - X_{Rkmin} & X_{Rlmax} - X_{Rkmin} & X_{Rkmin} \\ Y_{Rgmax} - Y_{Rkmin} & Y_{Rgmax} - Y_{Rkmin} & Y_{Rlmax} - Y_{Rkmin} & Y_{Rkmin} \\ Z_{Rgmax} - Z_{Rkmin} & Z_{Rgmax} - Z_{Rkmin} & Z_{Rlmax} - Z_{Rkmin} & Z_{Rkmin} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \\ 1 \end{bmatrix} \times L_R \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{GLED} = \begin{bmatrix} X_{Ggmax} - X_{Gkmin} & X_{Ggmax} - X_{Gkmin} & X_{Glmax} - X_{Gkmin} & X_{Gkmin} \\ Y_{Ggmax} - Y_{Gkmin} & Y_{Ggmax} - Y_{Gkmin} & Y_{Glmax} - Y_{Gkmin} & Y_{Gkmin} \\ Z_{Ggmax} - Z_{Gkmin} & Z_{Ggmax} - Z_{Gkmin} & Z_{Glmax} - Z_{Gkmin} & Z_{Gkmin} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \\ 1 \end{bmatrix} \times L_G \quad 0 \leq L_R, L_G, L_B \leq 1 \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{BLED} = \begin{bmatrix} X_{Bgmax} - X_{Bkmin} & X_{Bgmax} - X_{Bkmin} & X_{Blmax} - X_{Bkmin} & X_{Bkmin} \\ Y_{Bgmax} - Y_{Bkmin} & Y_{Bgmax} - Y_{Bkmin} & Y_{Blmax} - Y_{Bkmin} & Y_{Bkmin} \\ Z_{Bgmax} - Z_{Bkmin} & Z_{Bgmax} - Z_{Bkmin} & Z_{Blmax} - Z_{Bkmin} & Z_{Bkmin} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \\ 1 \end{bmatrix} \times L_B \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{measured} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{RLED} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{GLED} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{BLED} \quad (6)$$

子計畫二：LCD 面板與光源之整合式驅動架構研發

高動態範圍液晶顯示器(HDR-LCD)是一種具有雙調變器的顯示器，它結合了傳統高解析度的液晶顯示面板以及可分區調變的背光技術。高解析度的液晶面板用來維持影像細節，而分區調變的背光技術則可視為控制影像對比度的低解析度面板。結合兩面板可達高解析度並有效提高顯示器的影像品質及降低功率消耗。為了使顯示器功率消耗能夠進一步降低，本計畫提出可分別調控紅、綠、藍三色 LED 背光訊號的演算法，如圖 3 所示。除進一步降低消耗功率外，更同時保有灰階調變時高對比度的好處。為了評估彩色背光調變所能節省之功率消耗，我們量測 RGB 三色 LED 在不同灰階值下的功率消耗(如圖 4)，初步估計能更進一步節省 20~40%背光全亮狀態下的功率消耗。

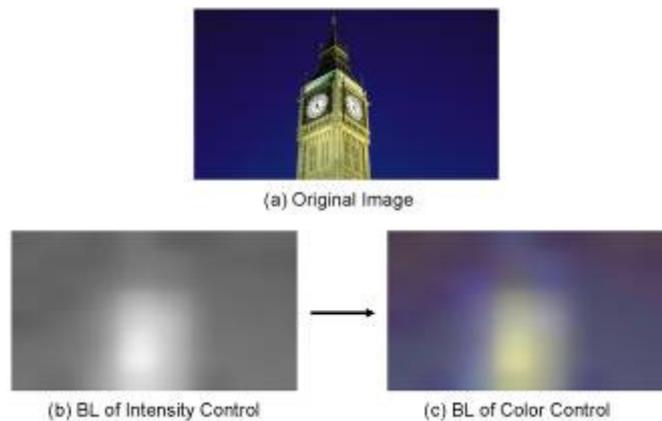


圖 3、原圖(a)分別採用灰階背光調變(b)以及彩色背光調變(c)

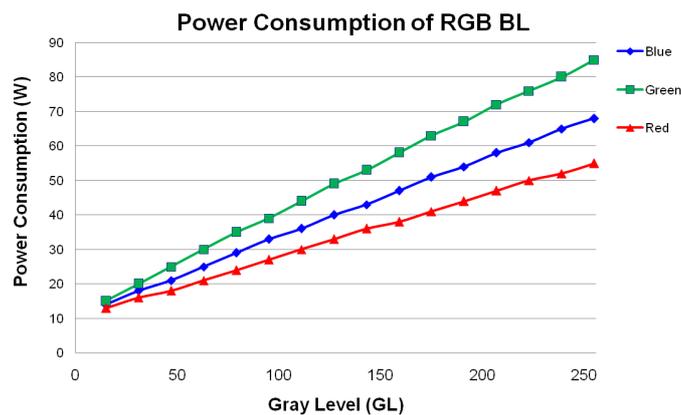


圖 4、三原色不同背光灰階值所對應的電功率(傳統全點亮的背光功率：190W)。單位：Watt

子計畫三：全彩式 LED 背光顯示系統

現今已有許多文獻對於高動態對比顯示器的光機架構、影像處理演算法等提出各種的

探討。然而這些討論均沒有考量到一個實際而且重要的關鍵因子：其背光系統所提供之局部區域光場分佈函數對於高動態對比顯示器影像品質的影響。舉例來說，高斯分佈(Gaussian distribution)基於方便通常被直接視為 LED 光源擴散函數(Light spreading function)，進而應用到 LED 訊號驅動與液晶補償訊號的計算中。然後礙於光機架構本身的限制，以高斯函數作為自由光源擴散函數對於系統本身影像的表現有三種無可避免的衝擊：

1. LED 光源在實際的光機架構下並非如演算法中所假設的為一理想的空間位移不變量系統(spatially shift-invariant system)，因此液晶補償訊號精確度因此而降低。
2. 因為高動態對比顯示器之 LED 光源本身被視為一低解析度顯示器的單一像素，在此光機架構下，對於整體背光源的均勻度來說，不如傳統全開式 full-on 背光系統。
3. 對於 LED 驅動訊號以及液晶補償訊號的計算，光源擴散函數分佈的大小決定於其計算所需要的時間與複雜度。因此若使用複雜之自由光源擴散函數，對於即時(real-time)硬體架構實現上將會增加困難度。

有基於此，本子計畫乃提出一全彩式 LED 背光顯示系統。此背光顯示系統藉由一特別光學元件，能提供一新型二維超高斯光場分佈函數。此光場分佈函數已預先經由我們所提出之設計評估流程以及驗證平台優化，因而能確保其所組成的低解析度背光分佈，相較於傳統自由光源擴散函數，於影像品質及對比度上均有顯著的提昇。同時搭配子計畫一所建構的視覺模型與子計畫二所提出的整合式驅動法，將更能有效的改善高動態對比影像之影像品質。

此外，為確保此平面二維光源光場的均勻性所添加之穿透式擴散膜，其光學特性評估之正確性對於最後出光光場分佈亦相當重要。然而現有光學設計軟體對於散射元件計算之功能非常有限，即使現有商用軟體能提供自由匯入所量測之擴散膜的雙方向散射分佈函數，但目前軟體對於整體散射系統計算皆僅止於假設為位移不變量系統。事實上，擴散膜的光學特性包括複雜之體散射與表面散射，因此其光學響應為一角度位移改變(angularly shift-variant)之線性系統。為了解決此問題，我們於本子計畫的第二年期另外開發一建模流程，以增加光場評估設計流程的準確性，將可避免商用軟體計算所產生的誤差。

二. 文獻探討

子計畫一：次世代面板之視覺效應模型建構

Fairchild 提出的 Color model 適用於液晶顯示器，並且能達到準確預測液晶信號的功能。然而，此 color model 不適合運用於高動態對比的顯示器，因為此 color model 基於傳統全開的白色背光所建構。因此，此年度計畫中，我們基於這 color model 再加以改進，建構一個將彩色背光參數考慮進去的 color model。利用此 color model 確保影像亮度及彩度的正確資訊。

子計畫二：LCD 面板與光源之整合式驅動架構研發

圖 5 為 Samsung 公司所提出彩色背光調變的演算法流程圖。首先，計算出每一區背光所需要的目標亮度，第二，計算每一區背光紅、綠、藍三色背光的理想亮度與目標亮度之差稱為調變因子(dimming factor) $\Delta_R(n)$ 、 $\Delta_G(n)$ 與 $\Delta_B(n)$ 。第三，根據光分佈函數對於每一區的背光亮度做補償並計算補償完之背光亮度與目標背光亮度之差 $\Delta Y_R(n)$ 、 $\Delta Y_G(n)$ 及 $\Delta Y_B(n)$ 。若 $\Delta Y_R(n)$ 、 $\Delta Y_G(n)$ 、 $\Delta Y_B(n)$ 滿足一個標準值，則背光的調變則由第二步的調變因子所決定，若不滿足則必須另作補償。此演算法能夠得到一彩色的背光訊號，依照此演算法所得之影像能維持影像品質並且降低顯示器功率消耗。然而，此演算法較為複雜。實際應用於硬體上會是一困難之處。

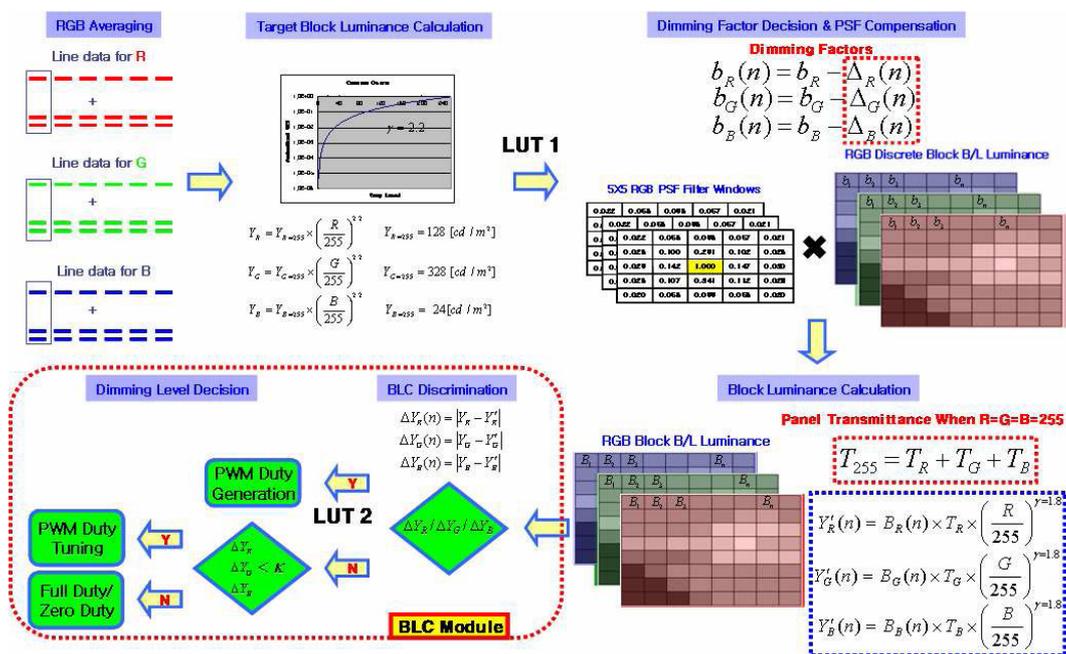


圖 5、Samsung 公司所提出彩色背光調變之演算法流程圖

子計畫三：全彩式 LED 背光顯示系統

BrightSide(現已併入 Dolby)公司於 2004 年提出以投影機為低解析度動態光場，高動態對比顯示器架構如圖 6 所示。雖然當時考量到投影機需要一定的投影距離，就商品化的發展性遠不如以 LED 作為動態背光光源的架構，但對於本子計畫而言，以此架構所架設之驗證平台將比前期所提出之雙液晶面板驗證系統有更高的亮度(>440nits)與對比度(CR>22000:1)，因此將更適合用於最佳光場的初期評估。

在光學元件單元(unit)方面，所需考量的是元件是否能提供符合設計流程所提出之局部且能獨立控制的獨立光場。圖 7 所示為 Omron 所投資之 TAMA Fine Opto 於 2005 年提出之背光光學元件單元 FLATLED™，其利用晶粒上方之反射片與具反射材質微結構之特殊封裝，形成一特殊分佈之局部性光場。圖 8 所示為本實驗室於 2006 年所提出之光學元件單元架構，利用現有之側發光式 LED，搭配所設計之具微結構導光板，亦能產生一局部區域光場[此項成果已發表在 2006 年 SID 國際研討會]。在考量專利授權與本實驗室所能掌握的技

術下，我們利用本實驗室提出之架構：側發光式 LED 與具微結構之導光板搭配一集光膜，將能產生設計流程所評估之最佳二維超高斯光場分佈。

除此之外，本計畫亦討論擴散膜(diffuser)之散射(scattering)光場模型。圖 9 為擴散片之結構示意圖，傳統擴散膜由一可撓性基板、擴散層、及背面防黏層組成。丙烯酸($C_3H_4O_2$) 小珠及黏膠均勻塗布於基板上為擴散層之結構，光散射(scattering)行為主要是由此 15~25um 之小珠造成，另外抗黏著層也是由極少量小珠塗布而成，主要是防止膜片下方靜電粘黏的現象。為描述背光模組之特性，擴散膜對於光的散射行為極為關鍵，但是由於商用擴散片之取得來自各廠商，各家材料之配方的反射係數不同，散射球之大小及塗布密度不同，不同來源的擴散板有各式各樣之特性。因此，發展適合於各種擴散片的光學模型是對於研究人員及工程師相當大的挑戰。馬克斯威爾方程式加上合適的邊界條件可精確計算散射表面的物理現象，通常散射模型可由物理解析或數值方法計算。較常見的包括科西荷夫近似、微擾法、積分方程法、多面體法、有限差分法、及莫提卡洛追跡法...等等。然而，在實際顯示器光學設計上，於個人電腦執行此類龐大運算相當困難，再者光子於擴散片內的物理行為非常複雜，包含多重折射、多重反射、繞射、散射...等等，其同時發生且相互耦合，上述計算方法通常將系統簡化成單一物理特性，且擴散片中隨機分佈之散射球材料、大小甚至佈局隨不同來源有相當大的差異，欲正確分析及計算各式各樣擴散片之結構相當費事，故目前沒有通用之計算方法，針對擴散膜片用於非成像光學作設計。

本計畫提出一半定量(Semi-quantatively)方式，分析並模擬實際散射光場。與實際量測結果相比，準確性達 98% 以上，有效地幫助背光模組的光學模擬準確性。此項研究亦發表在 OE、SID2009 上。詳細相關文獻請參照報告末尾之參考文獻列表。

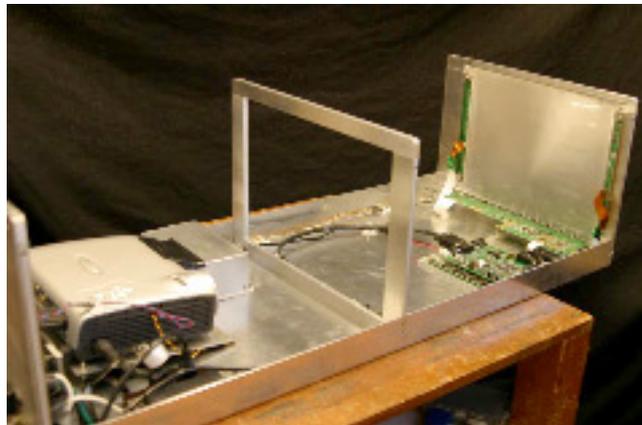


圖 6、BrightSide 所提出之 Projector-based 高動態對比顯示器系統



圖 7、TAMA Fine Opto 所提出之 FLATLED 架構

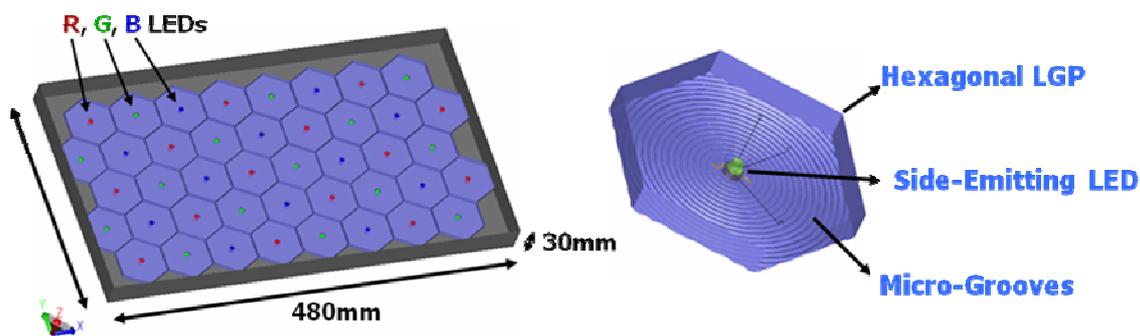


圖 8、本實驗室提出之搭配側發光式 LED 與具微結構之六角形光學元件單元

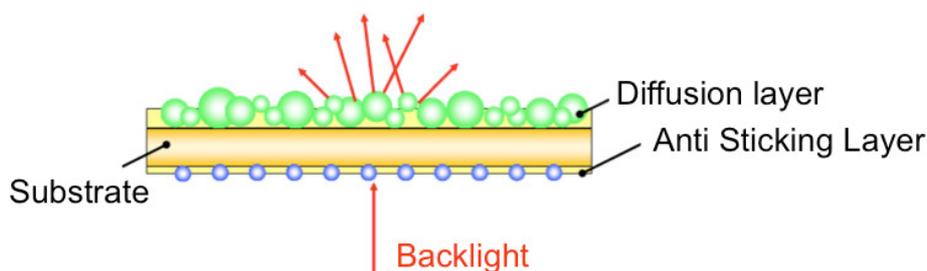


圖 9、擴散膜結構示意圖

三. 研究方法

子計畫一：次世代面板之視覺效應模型建構

色彩模型優化流程

在背光訊號依照演算法決定之後，將背光訊號與光分佈函數(LSF)進行摺積以取得背光分佈情形，此光分佈函數是以單一區背光的 LSF 決定。在 HDR-LCD 特性化模型中，背光強度的準確性將大幅影響色彩模型之正確性，因此為了考慮真實的邊緣效應，我們實際紀錄 8x8 區 LSF 以疊加方式達到準確預測背光強度。

色彩優化流程

為了維持低耗電的優點，我們選擇調整液晶來達到準確的色彩，藉由原始的輸入影像訊號、傳統顯示器的色彩模型以及 mapping function 可得到目標三刺激值，另一方面，依照先前提出的 inverse of mapping function (IMF) method 決定背光訊號，同時考慮背光分佈以及目標三刺激值，使用 HDR-LCD 色彩模型模擬正確的液晶訊號，達到色彩色度重現，以維持相同色彩表現，如圖 10 所示。

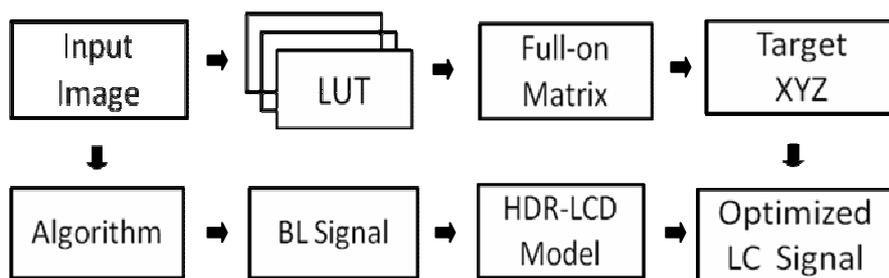


圖 10、色彩優化之流程圖

色彩模型優化結果分析

本年度提出的色彩優化方式選擇以 IMF 以及 DCA 決定背光訊號，搭配準確的背光強度預測和色彩模型，調整液晶訊號以達到色彩色度重現，為了驗證此種優化方式，我們分別對 Intensity 控制和彩色控制背光個別討論優化的結果，其中以高對比影像(Lily)以及色彩豐富影像(Color Ball)以驗證模型以及優化準確性。



(a) (b)

圖 11、目標影像 (a) Lily (b) Color Ball

色彩模型驗證:

由於色彩的預測在彩色背光時最為複雜，因此我們用 IMF 和 DCA 決定彩色背光訊號，搭配傳統亮度補償法的液晶訊號，藉由色彩模型預測得到三刺激值；另一方面，使用 Charge Coupled Device (CCD) 量測實際三刺激值，下表為用 CIEDE2000 色差公式評斷兩者誤差，誤差最大值為 2.42，如表一所示。在傳統顯示器 CRT 的特性化模型中，若平均色差可小於 3，表示此色彩模型是可被人眼接受。因此建立的 HDR-LCD 色彩模型可以準確的預測色彩表現，對於後續的色彩優化將更準確。

表一色彩模型預測值與實際量測值之色差

Target Images	CIEDE2000
---------------	-----------

Lily	2.42
Color Ball	2.37

色彩優化表現:

Intensity control backlight (IMF method)

我們使用 IMF method 決定背光訊號，搭配 8x8 區 LSF 疊加法預測背光強度，考慮亮度補償法以及色彩模型法之 HDR 影像，評估兩種 HDR 影像與目標影像之色差，模擬結果如下。

Lily

(a) 亮度補償法

(b) 色彩模型法

液晶
影像



HDR
影像



ΔE_{00}



ΔE_{00} 4.6

ΔE_{00} 2.1

圖 12、評估亮度補償法(a)與色彩模型優化法(b)之色差，可見色彩模型優化過 HDR 影像的色彩準確性提高。

影像細節:

我們使用色彩模型來重現色度，除了可以減少色偏現象，另一方面也能維持影像細節，減少亮度補償法因過度補償是得細節消失的現象。由下圖可知，考慮色彩模型優化的影像

更為接近目標影像的細節。

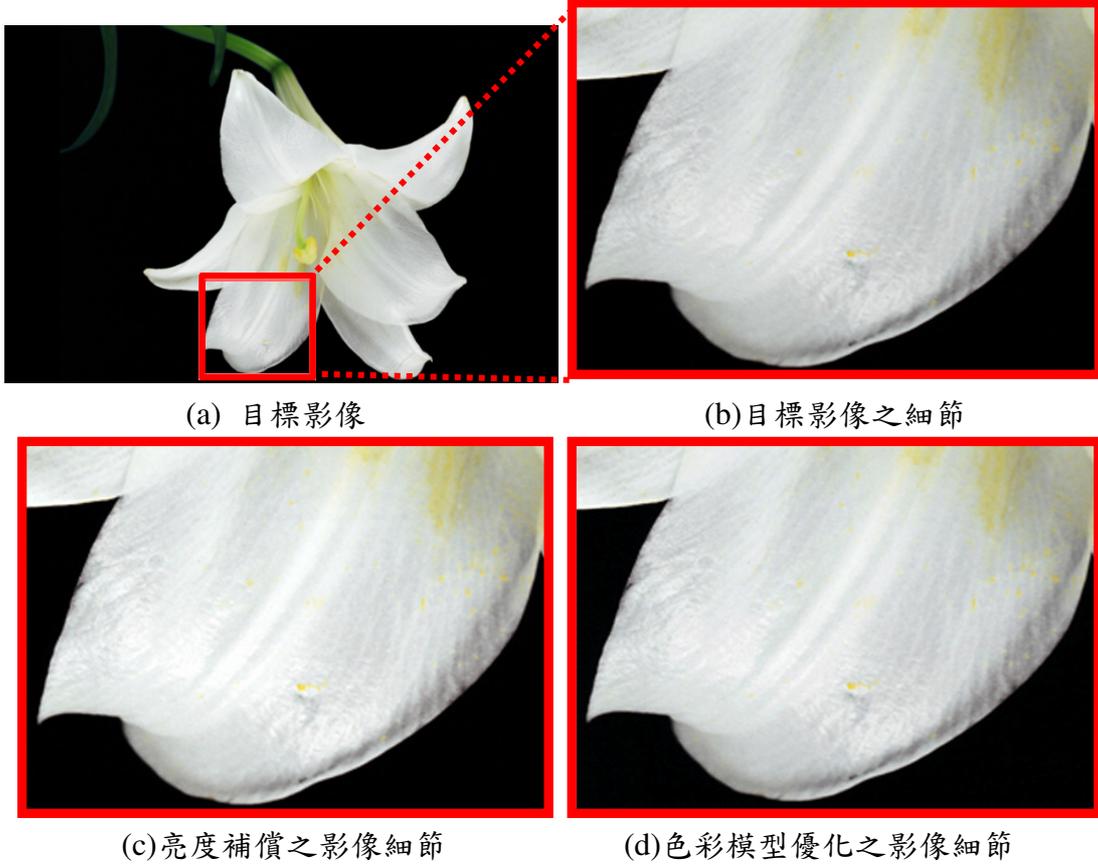
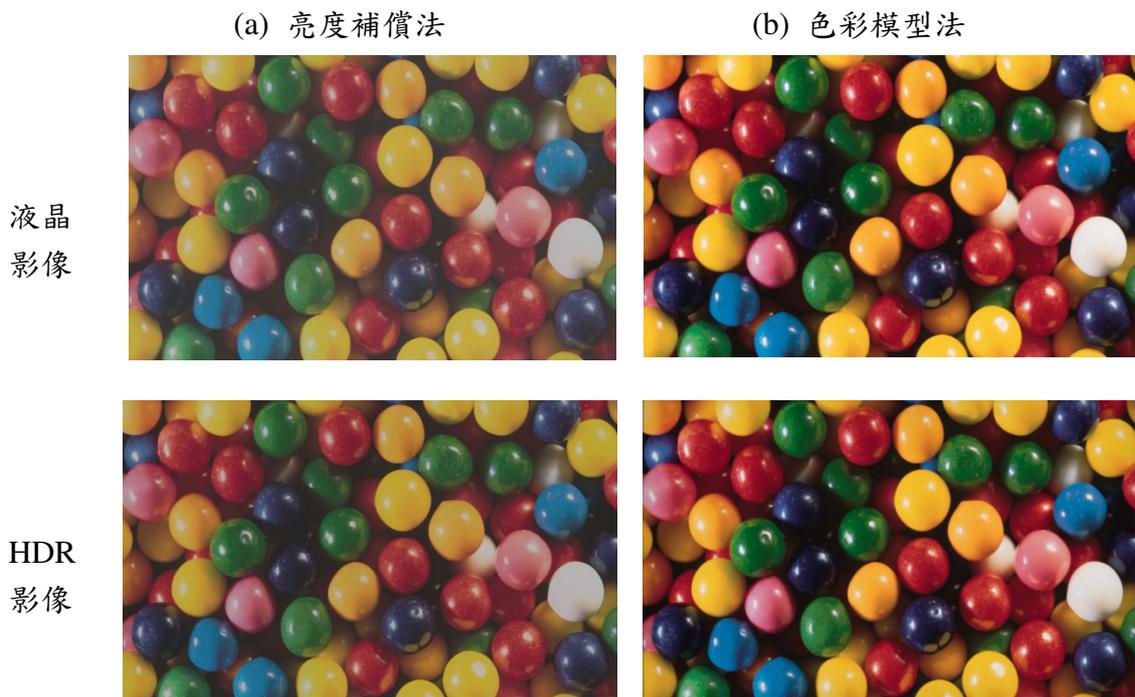
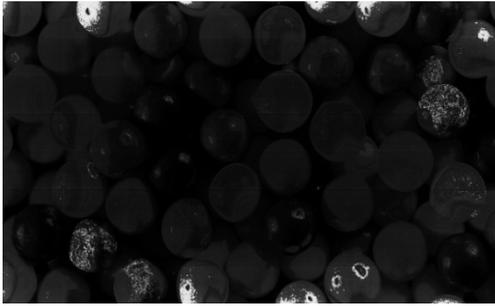


圖 13、比較亮度補償法與色彩模型優化後的 HDR 影像，可發現色彩模型優化後的影像(d)較為接近目標影像(b)。

Color Ball



ΔE_{00}



ΔE_{00} 9.0



ΔE_{00} 1.3

圖 14、使用色彩模型優化法可以把色差值從 9.0 減少到 1.3，大幅提高色彩的準確性 85.6%

Color control backlight (IMF&DCA method)

上述討論了 intensity control 的色彩誤差，因為其背光僅為分區 dimming 白光，因此對色彩的擾動影響不大。之後提出的彩色背光控制除了能夠廣色域且節省耗電量，卻也大幅提升顏色的複雜度，因此使用色彩模型優化影像顯得更為重要。

Lily

(a) 亮度補償法

(b) 色彩模型法

液晶
影像



HDR
影像



ΔE_{00}



ΔE_{00} 17.3



ΔE_{00} 2.7

圖 15、以色彩模型優化之 HDR 影像，色差可以從 17.3 減少到 2.8，為人眼可接受範圍
影像細節：

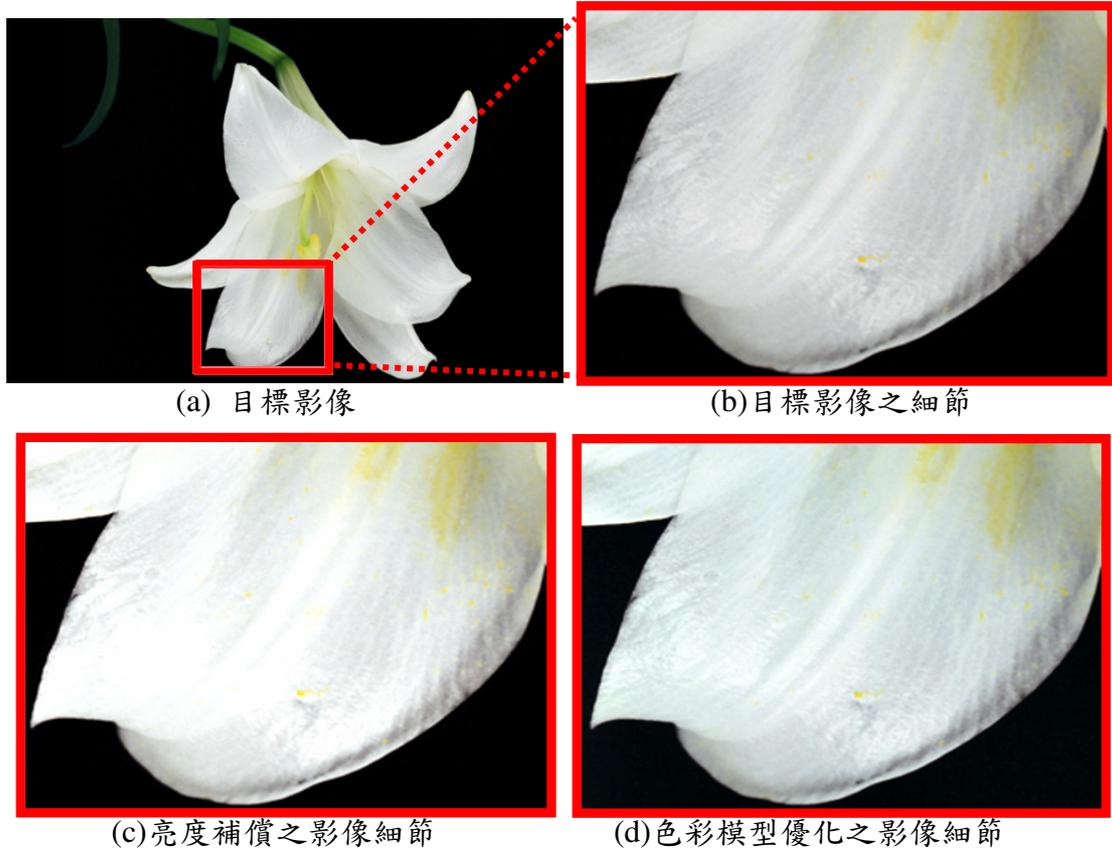
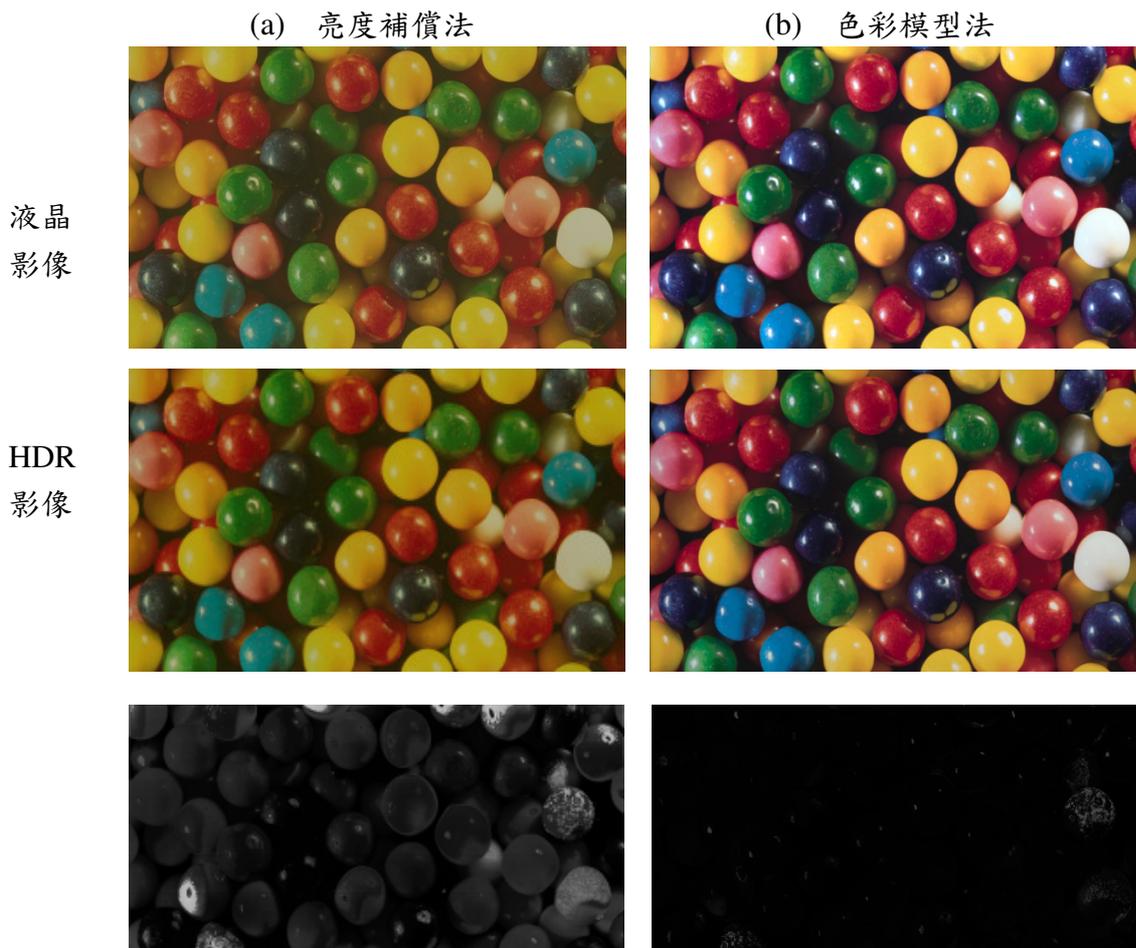


圖 16、色彩模型優化後的 HDR 影像(d)能夠維持影像細節

Color Ball



ΔE_{00}

$\Delta E_{00} 55.7$

$\Delta E_{00} 2.8$

圖 17、色彩模型優化的 HDR 影像(b)能夠重現目標影像之色彩，解決亮度補償法的色偏問題

子計畫二：LCD 面板與光源之整合式驅動架構研發

本年度計畫提出兩種彩色背光演算法，Delta-Color-Adjustment (DCA)演算法以及 Segment-Color-Control (SCC)演算法，以下將分別進行說明。

A. Delta-Color-Adjustment (DCA)演算法：

Delta-Color-Adjustment (DCA)可針對不同影像對 RGB 三色背光在原始灰階調變的基礎下獨立進行調變，不僅能保有灰階調變時高對比的好處，並且能進一步降低顯示器功率消耗。

此彩色背光演算法概念如圖 18 所示。依據 Brightside Co.發表之灰階背光演算法的流程架構[1-2]，可得 Phase1 的背光(Phase1: BL)。將此背光分成三個維度：紅色背光 BL(R)、藍色背光 BL(B)並使(Phase1:BL) = BL(R) = BL(G) = BL(B)，再分別對 R、G、B 的每一區做細部調變(ΔBL_r 、 ΔBL_g 、 ΔBL_b)，即可獲得一個新的彩色背光值(Phase2: Color BL)。此彩色背光演算法具有下列優點：

1. 低硬體運算量
2. 節省功率消耗
3. 提高對比度

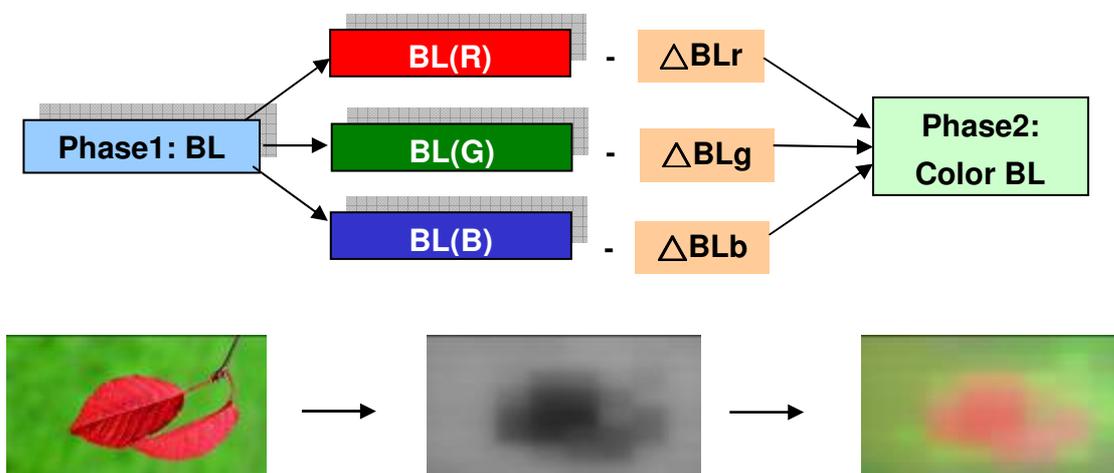


圖 18、彩色背光演算法概念：彩色背光可由 Phase1 灰階背光分別再就 RGB 三色 LED 調整而得

DCA 演算法的關鍵在於適當的決定三色背光微調量，即 ΔBL_r 、 ΔBL_g 、 ΔBL_b 。此演算法的流程圖如圖 19 所示：

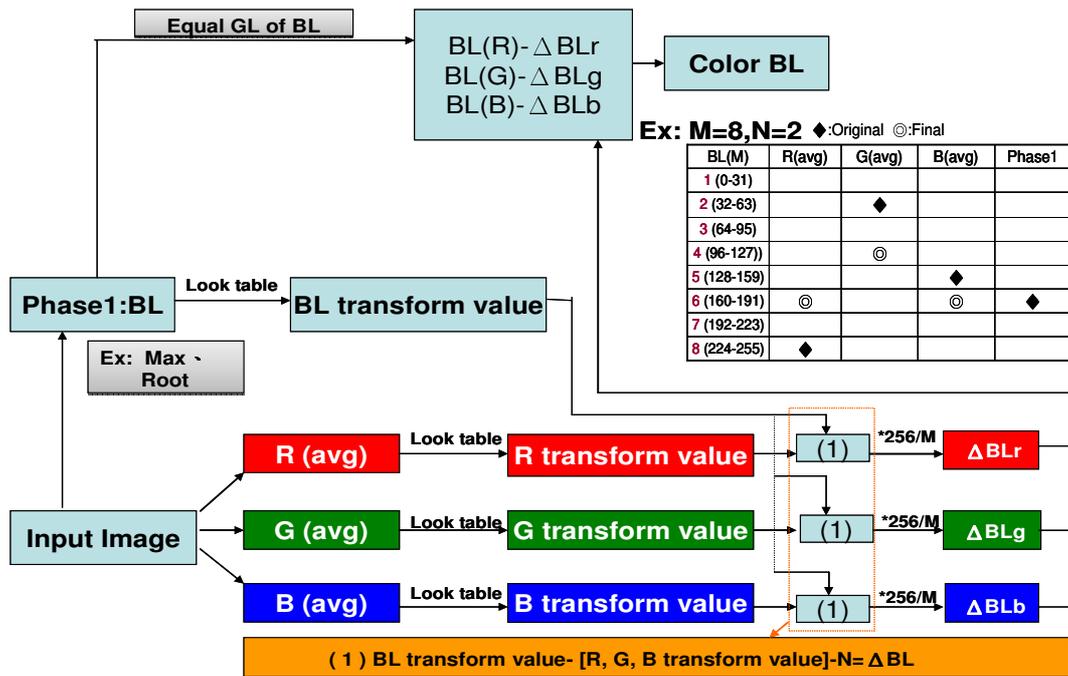


圖 19、演算法流程圖

- (1) 首先把 0~255 的背光值等比例($\Delta=32$)分割成 M 區，再依所屬的區域轉換其所代表的值域(1~8)，參照表二。例如：當背光值落在 0~31，則對應到 1；當背光值落在 32~63，則對應到 2...若背光值落在 224~255，則對應到 8。
- (2) 比較 Phase I 的每一區背光轉換值和影像每一區背光平均值。
- (3) 帶入 Phase I(BL)- $[R, G, B(\text{avg})] \cdot N = \Delta BL$ (若 $\Delta BL \leq 0$ ，則 ΔBL 視為 $0 \rightarrow$ 不做調整)。
- (4) 只做減少的動作，不做增加的動作。

舉例而言，在表二中($M=8$ 、 $N=2$)，灰階背光演算法決定好的某區背光落在 160~191 之間，則此背光轉換值記為 6。再分別算出影像各區中 R、G、B 的平均值，分別置換成所對應到的數值， $R=8$ 、 $G=2$ 、 $B=5$ 。接著再帶入公式： $\Delta BL_r=6-8-2=-4 \leq 0 \rightarrow 0$ ， $\Delta BL_g=6-2-2=2$ ， $\Delta BL_b=6-5-2=-1 \leq 0 \rightarrow 0$ 。因此，最後此區背光值僅調變 G，減少兩個 Δ (即減少 64 個灰階)；而 R、B 則維持原來灰階背光演算法的值，不予變動。因此 DCA 背光演算法中會有兩個重要的參數(M 和 N)。以下將進行實際量測以找尋最恰當的 M、N 值以優化 DCA 彩色背光法定法。

表二 Delta-Color 背光演算法對應表

◆:Original ◎:Final

BL(M)	R(avg)	G(avg)	B(avg)	Phase1
1 (0-31)				
2 (32-63)		◆		
3 (64-95)				
4 (96-127)		◎		
5 (128-159)			◆	
6 (160-191)	◎		◎	◆
7 (192-223)				
8 (224-255)	◆			

B. Delta-Color-Adjustment (DCA) 優化實驗：

實驗圖片：

本實驗預計要量測各種不同類型的圖片來驗證此彩色背光演算法的優缺點。圖 20 為測試圖片，其中包含單一原色偏多，可觀察能否節省較多的功率；多細節圖片，可觀察是否能維持原影像細節；中對比圖片，可觀察是否能提高對比並節省功率；高對比的圖片，可觀察是否能維持 Phase1 演算法高對比之優點並且達到更節省功率之目的。

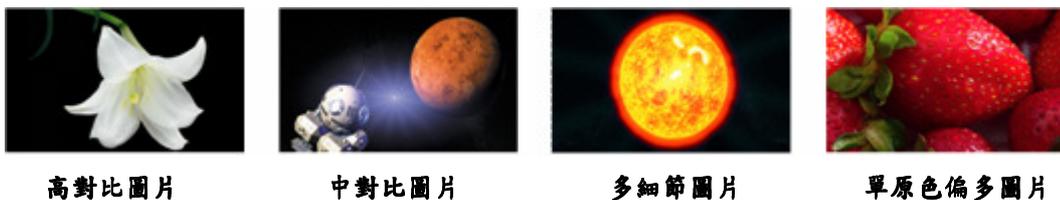


圖 20、實驗圖片

實驗流程：

本實驗流程如圖 21 所示，選擇了四張不同測試圖片，接下來利用 IMF 結合 DCA 並搭配不同的 M 與 N，可得到不同的背光值，下一步再分別使用 convolution 的液晶補償方式分別去補償影像的細節，最後再利用影像品質與功率損耗當做評估的指標，進而找到理想的 M,N 值。

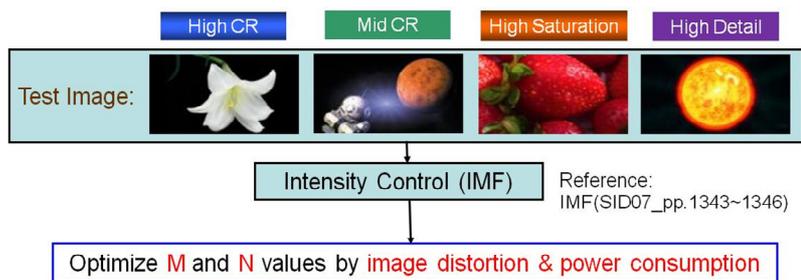


圖 21、DCA 實驗流程

經由上面的實驗可得到許多組M與N的結果。首先為了維持影像的細節度，我們找了七個人做主觀的人因實驗並給予影像評分。而為了能達到高畫質的影像，我們定義了十分為門檻（分數越高表示畫面品質越好）。從圖22(a)可以發現有六組的M與N滿足此門檻，因此我們再使用功率消耗當作第二個評斷的指標，從上面六組找尋到最低功率消耗的組合，從圖22(b)可知，此DCA方法的M與N優化值為M=16與N=6。

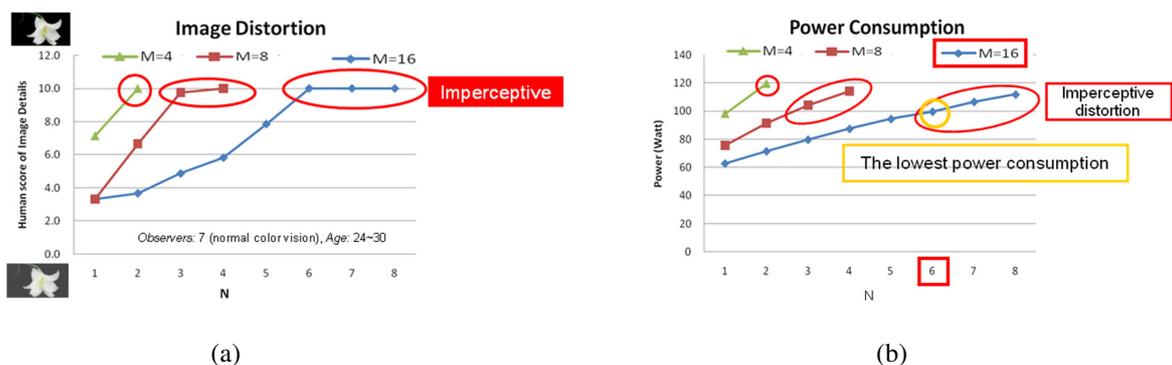


圖 22、DCA 實驗結果

C. Segment-Color-Control (SCC)演算法：

本年度計畫中新提出的第二個彩色背光演算法為 Segment-Color-Control (SCC)演算法。此方法可結合 Average, Root 與 Max 三種黑白背光的優點，如圖 23 所示。Average 在暗態可以有效的降低漏光，使暗處能達到更暗；Root 在中灰階處可以使背光值平滑，使亮暗處不致於產生明顯的落差；Max 在亮態可以有效的維持住細節。除此之外，此法運算簡單易於硬體實現。

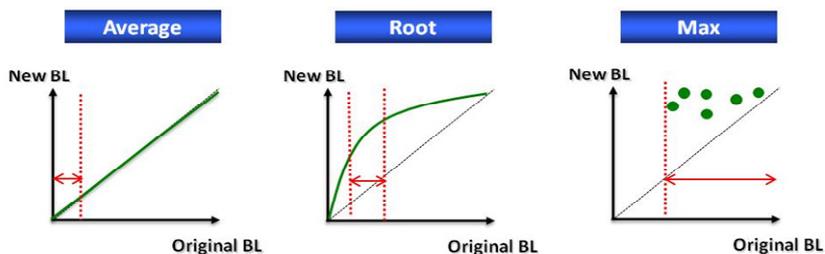


圖 23、各種黑白背光演算法的優點

此彩色背光演算法概念如圖 24 所示，依據 Brightside Co.發表之灰階背光演算法的流程架構可得到黑白背光，將此背光分為三個區域：，再分別對 R、G、B 所落到的每一區做對應，如果對應到 A 區則使用 Average 演算法；如果對應到 R 區則使用 Root 演算法；如果對應到 M 區，則使用 Max 演算法，最後即可獲得一個新的彩色背光值。

此彩色背光演算法具有下列優點：

1. 硬體運算量低(不需要藉由黑白背光去調變)
2. 節省功率消耗
3. 提高對比

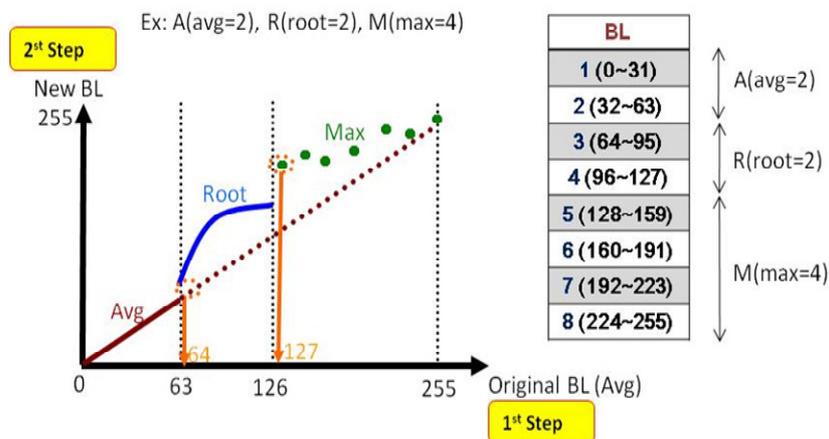


圖 24、SCC演算法流程圖

D. Segment-Color-Control (SCC)優化實驗：

SCC演算法中有三個重要的參數(A,R與M)，分別代表三個演算法所佔的區域，而SCC的實驗流程與DCA幾乎完全一樣，如圖25。同樣是用影像的細節與功率損耗當作評斷指標，最後從實驗結果(圖26)可以發現A=1,R=2,M=5擁有最好的影像畫質與最低功率。

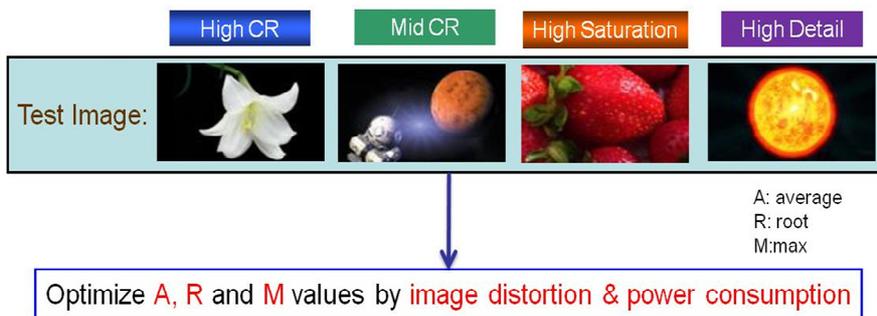


圖 25、1SCC演算法流程圖

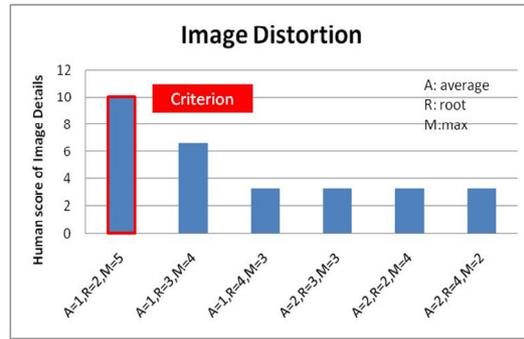


圖 26、2SCC演算法流程圖

實驗結果

最後將兩個新提出的彩色背光演算法(DCA 和 SCC)，實際應用在 37 吋 HDR-LCD 面板上做驗證，實驗流程如圖 27 所示。

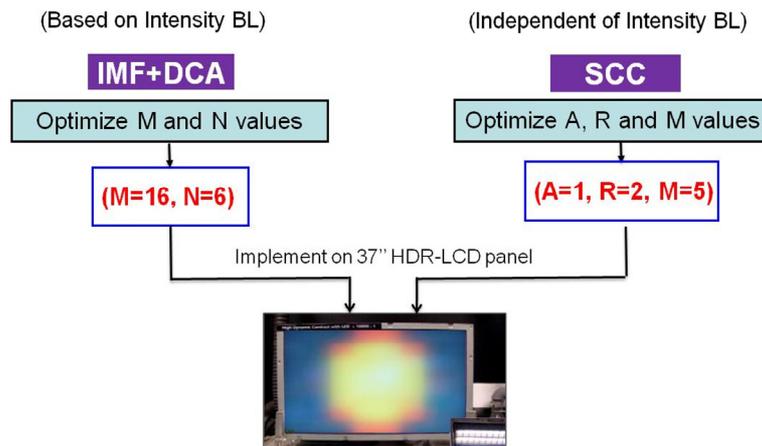


圖 27、實驗流程圖

在高對比影像的實驗結果(圖 28)中，兩個彩色背光演算法皆可以達到高對比度 (~40000:1)與節省更多的功率。在中對比影像的實驗結果(圖 29)中，兩個彩色背光演算法皆可以提昇高對比度與節省功率。在單一原色偏多的影像實驗結果(圖 30)中，兩個彩色背光演算法皆可以有效的提昇色彩飽和度從 108% NTSC 到 125% NTSC 與節省更多的功率。在高細節的影像結果(圖 31)中，兩種彩色背光演算法皆可以維持影像的細節，幾乎與原本背光全亮的一模一樣。

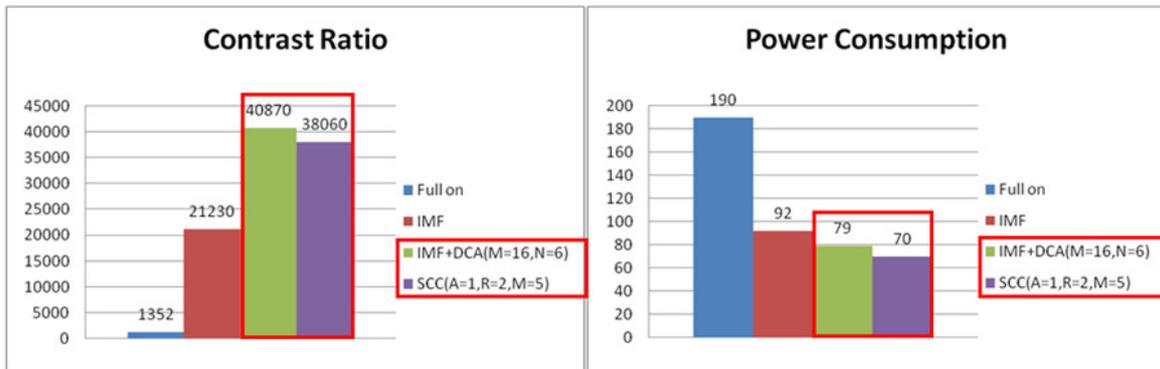


圖 28、SCC演算法流程圖

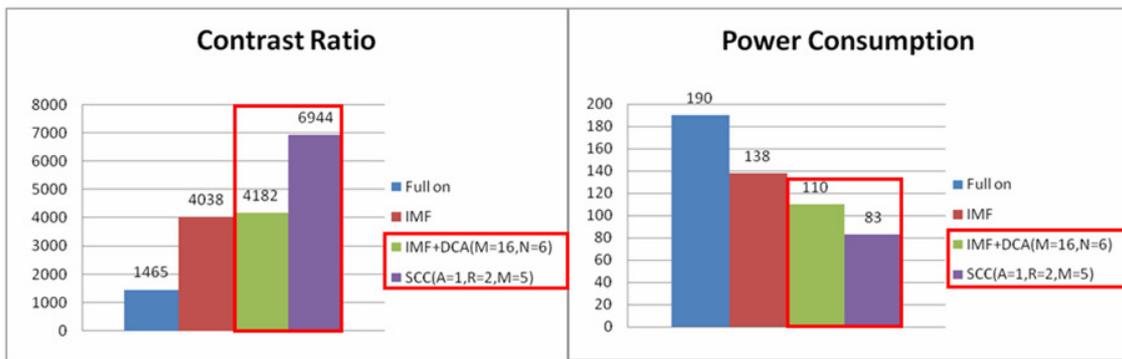


圖 29、SCC演算法流程圖

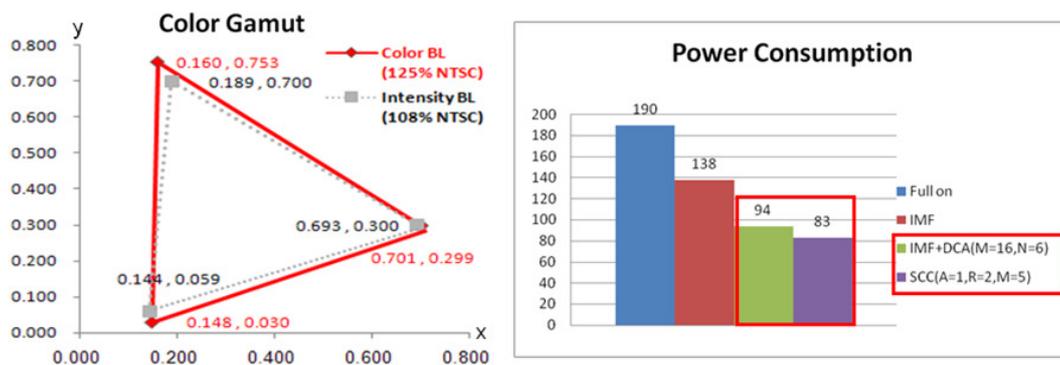


圖 30、3SCC演算法流程圖

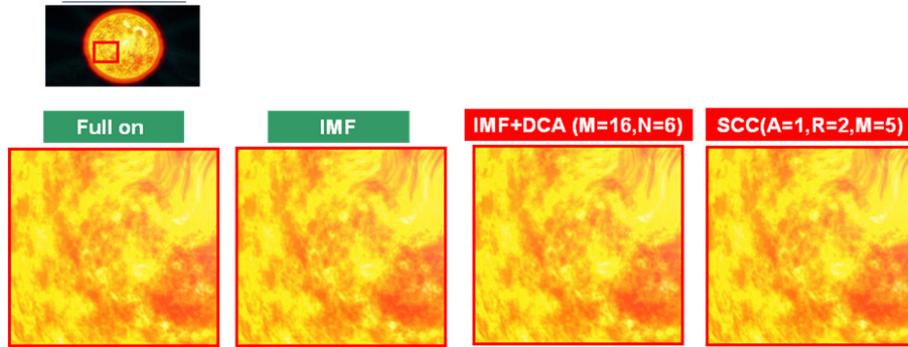


圖31、SCC演算法流程圖

子計畫三：全彩式 LED 背光顯示系統

- A. 以投影機提供高亮度之低解析度動態背光光場，配合高解析度液晶面板提供液晶補償訊號，完成一新的驗證平台。
- B. 利用方法 A 所完成之高亮度驗證平台，搭配前一年所提出之設計流程，重新評估最適合光場之光學參數。
- C. 利用方法 B 所找到之光學參數以鑽石刀加工導光版和集光膜所需要之金屬模仁，再由金屬模仁翻壓出所需要之方形導光板與集光膜。
- D. 對於擴散照明數學模型的建立，將從擴散膜 BTDF 之測量開始，經過重建取樣、權重函數之萃取、至線性疊加，最後引用相關係數對於建模準確性作評斷並提供一回饋值修正建模取樣，最後得到精確的取樣因子。

前一年所提出之雙液晶面板驗證平台，如圖 32 所示，受限於液晶監視器本身的亮度，此驗證平台之最大亮度只有 10.2nits，所能達到之最佳對比度僅為 1000:1。由於跟實際的 LED 動態背光系統所預期可產生的最大亮度與對比度差異過大，因此利用此雙液晶面板驗證平台來評估最佳二維超高斯光場之光學設計參數，其準確性受到質疑。所以我們本年度利用高亮度投影機取代液晶監視器作為動態背光光源的提供者，搭配液晶面板的液晶補償訊號，重新建構一高亮度之驗證平台。此外，投影機所投射之光場視角($\pm 23^\circ$ FWHM)亦接近我們所設計之光學元件單元光場之視角($\pm 20^\circ$ FWHM)，因此利用此驗證平台所評估的結果將更能符合實際人眼所感知的結果。

本年度在重新架設出高亮度驗證平台後，我們將根據如圖 33 所示前期提出之設計流程，設計最佳二維超高斯光場之光學參數。爾後，我們依據此光學參數，以鑽石刀分別加工集光膜與導光板所需之金屬模仁，其流程如圖 34 所示。集光膜製作方面，利用 UV 膠塗佈於金屬模仁上，以滾筒轉印模仁微結構於 PET 上後，由紫外光烤乾成型，如圖 35 所示。導光板製作方面，以真空熱壓方式轉寫模仁微結構於 PMMA 導光板上，以雷射切割成型後利用真空濺鍍機將反射材質鍍於微結構上。

本年度對於評估光場設計流程裡有關擴散照明數學模型建構這項研究過程中，我們目標並不是創造一個廣泛的模擬方法，而是試圖在實際的顯示器應用上間接計算光學設計過程所需的特性。省略花費心力分析擴散片各個細微及單一的物理性質，取而代之我們運用了雙方向散射分布函數描述擴散片巨觀的光學特性，此種半操作性質的建模算法提供一個迅速且有效的方法計算膜片複雜散射的現象。以單一膜片建模的步驟來說，目標是計算於特定光源照射下之出射遠場分布並與實驗數值比較。圖36表示完整之建模流程，從BTDF之測量圖37、重建取樣、權重函數之萃取、至線性疊加，最後引用相關係數對於建模準確性作評斷並提供一回饋值修正建模取樣，得到精確的取樣因子即完成建模流程，此一方法可藉由擴散片之BTDF及一參考光源精確建模。建模流程結束後，我們可得到針對單一樣品需求的點擴散函數取樣數目，若要計算任意光場從背光模組入射擴散片後的場型，可萃取未知光場各點的權重函數，帶入此建模完成的演算系統。依照圖38之步驟，可計算出射光場。

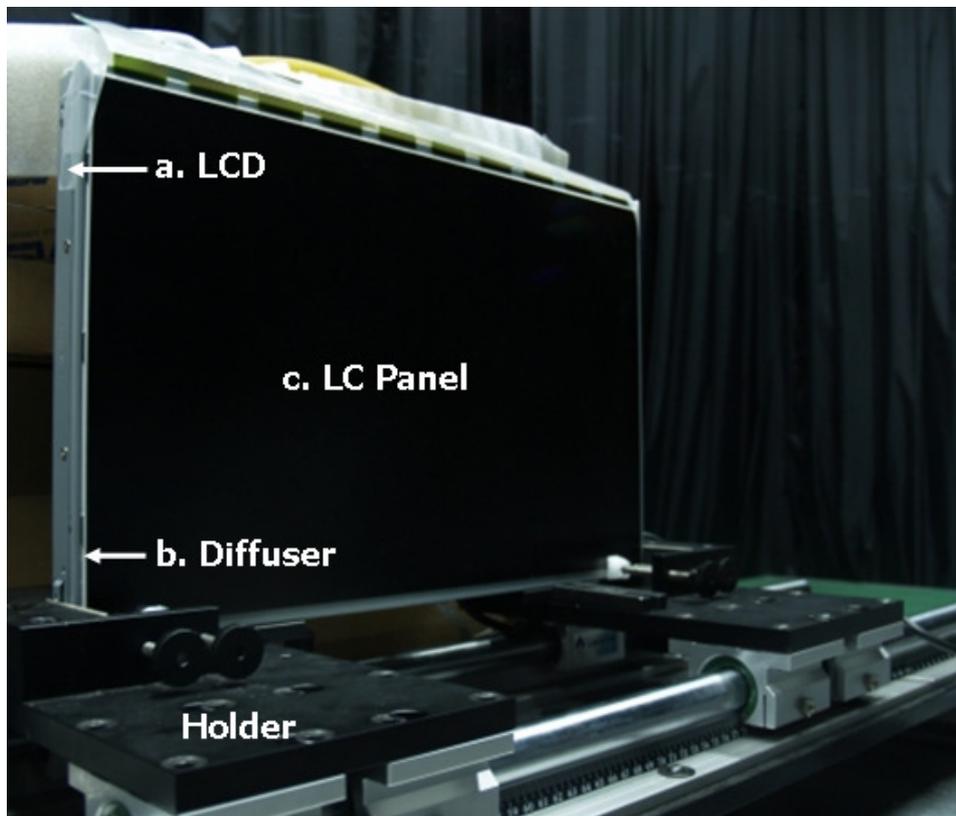


圖 32、第一年所架設之雙液晶面板驗證系統平台

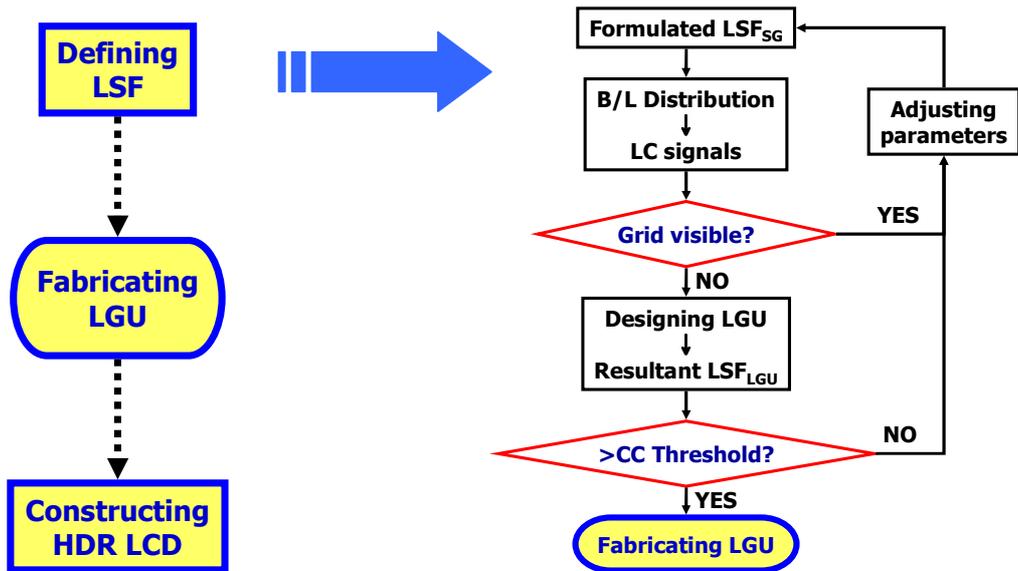


圖 33、最佳二維光場分佈設計流程

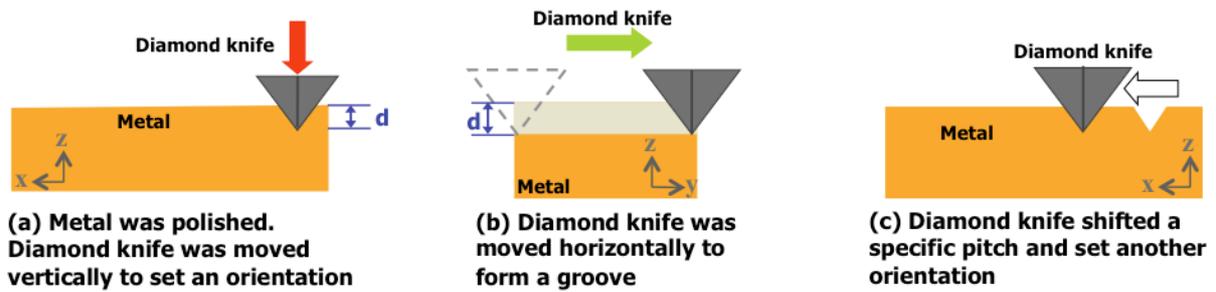


圖 34、金屬模仁加工流程

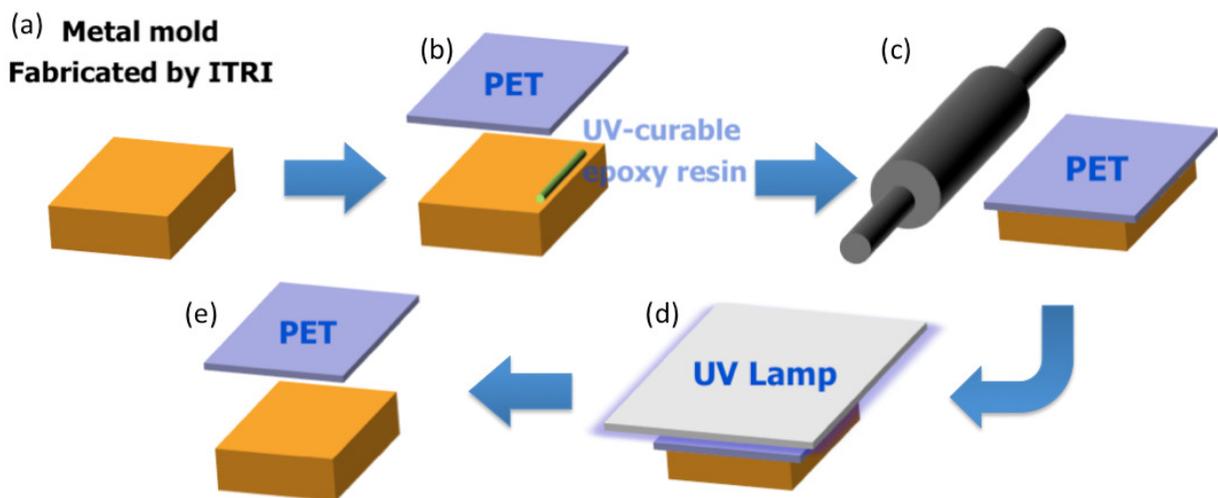


圖 35、集光膜製作流程：(a)金屬模仁由工研院協同製作；(b)→(e)UV 膠翻壓熱固及脫模

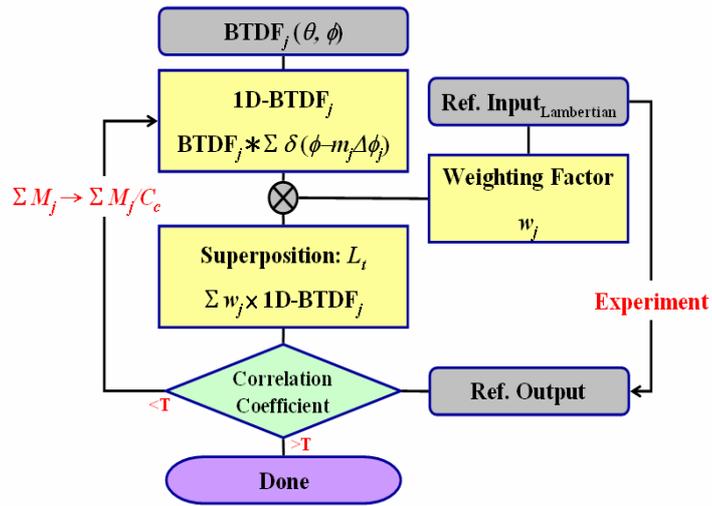


圖36、擴散照明數學模型建構流程示意圖

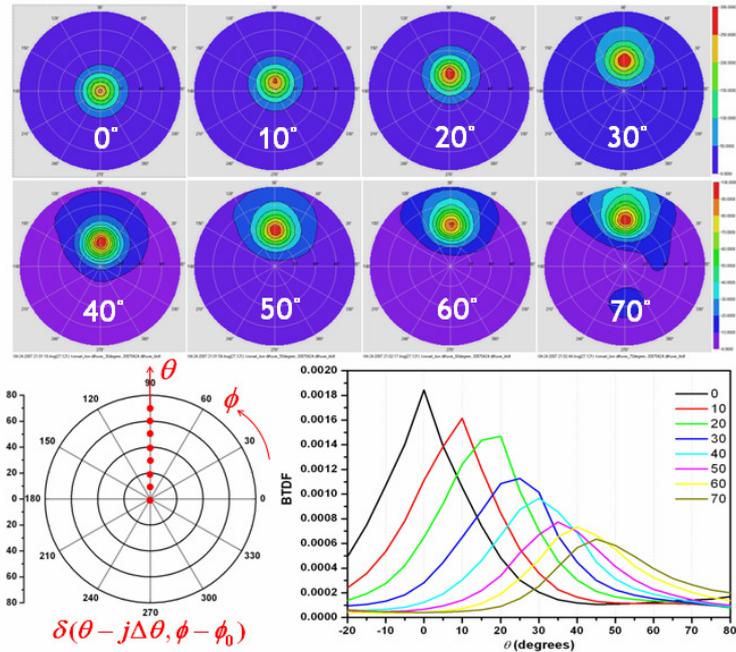


圖 37、擴散膜之雙方向散射分佈函數 (BSDFs)

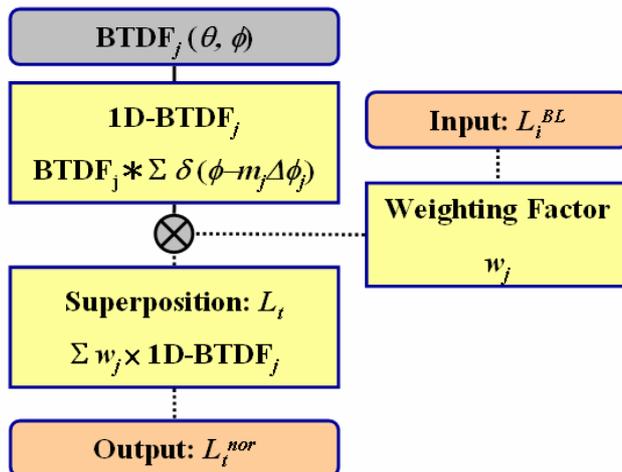


圖 38、擴散膜於特殊光源的計算流程

四. 結論與建議

子計畫一：次世代面板之視覺效應模型建構

Intensity control backlight (IMF method)

考慮在 intensity control 背光以色彩模型優化之 HDR 影像，其色彩正確性可以改善很多，如表三所示，尤其是色彩豐富的影像(Color Ball)，色彩正確性可以提高 85.6%，且色差為人眼可接受的色差範圍，另一方面，由於能夠準確的重現色彩，更可以維持 Lily 影像細節。

表三 比較傳統亮度補成與色彩模型補償之色差

CIEDE2000				
Target Images	Conventional intensity model	Proposed color model	Color accuracy	Acceptable
Lily	4.6	2.1	53.2%	◎
Color Ball	9.0	1.3	85.6%	◎

Color control backlight (IMF&DCA method)

我們使用 IMF 與 DCA 法控制彩色背光，藉由色彩模型大幅降低色偏現象，以色彩豐富影像(Color Ball)為例，色彩正確性提高 95%，此外 Lily 影像細節也能維持，且平均色差值皆為人眼可接受的範圍，如表四所示。

表四 比較傳統亮度補成與色彩模型補償之色差

CIEDE2000				
Target Images	Conventional intensity model	Proposed color model	Color accuracy	Acceptable
Lily	17.3	2.7	84.4%	◎
Color Ball	55.7	2.8	95.0%	◎

子計畫二：LCD 面板與光源之整合式驅動架構研發

高動態範圍液晶顯示器為液晶顯示器帶來了許多好處，不僅能夠降低液晶顯示器暗態漏光的現象，其產生的畫面能夠更接近現實環境的影像。然而，若背光的決定不恰當時，則影像會遭遇很嚴重的失真問題。

本計畫提出兩種新的彩色背光調變演算法 Delta-Color Control (DCA) 法及 Segment-Color Control (SCC) 法。DCA 法能夠套用在不同灰階控制的背光演算法中，因為 DCA 是以灰階控制為基礎去調變 LED。而 SCC 法相對 DCA 法演算更為簡單，因為 SCC 法是直接計算畫面的彩色背光。由實驗的結果可知，此兩種演算法在高對比度的畫面時，不僅能達到高對比度(~40000:1) 也能夠將影像細節維持得很清晰。而且，此兩種演算法能夠提升顯示器的色彩飽和度至 125% NTSC。此外，其功率消耗也比傳統 CCFL 型液晶顯示器及灰階背光控制液晶顯示器來的低。因此，DCA 法與 SCC 法可以是未來彩色背光調變液晶顯示器應用的一種選擇。

子計畫三：全彩式 LED 背光顯示系統

新架設之高亮度驗證平台如圖 39 所示。此平台對比度約為 22000:1(最大亮度 443nits，最低亮度 0.02nits)。且如圖 40 所示，經由三張高動態對比影像測試後發現，此驗證平台所評估之最佳二維超高斯光場分佈相較於傳統的全開式背光，其對比度均能有顯著的提昇(5x 到 47x)。除此之外，此平台所驗證之高動態對比影像於暗態的細節表現良好，但亮態的影像細節有些為失真。此乃由於本驗證平台所使用之投影機於高灰階的 tone curve 飽和的結果。

利用圖 39 驗證平台以及圖 33 之設計流程所得到光學設計參數，以鑽石刀加工製作出的金屬模仁如圖 41 所示。以 UV 膠及紫外光熱固翻印之集光膜如圖 42 所示，由圖中的 OM 圖可以看到其轉寫效果良好。圖 43 為集光膜對於亮度增益的量測。我們利用 ConeScope 針對於一般的傳統的背光源加入我們所設計的集光膜，不管位於同心圓的中心或是邊緣均可增益 1.2x。圖 44 為相對應的角分佈圖。圖 45 為製作完成之方形導光板。光學元件單元與可獨立控制之 LED 光源驅動電路的整合目前正進行中，後續的驗證與量測會繼續進行。

利用圖 36 所提出的擴散照明數學模型建構流程，我們用一 32 吋液晶電視背光模組演示經過擴散膜後計算之角分佈圖，與實驗結果(圖 46(a)(c))相比較，計算結果可達到 98.6% 之相關度，證明我們提出之建模流程具相當準確的有效性。

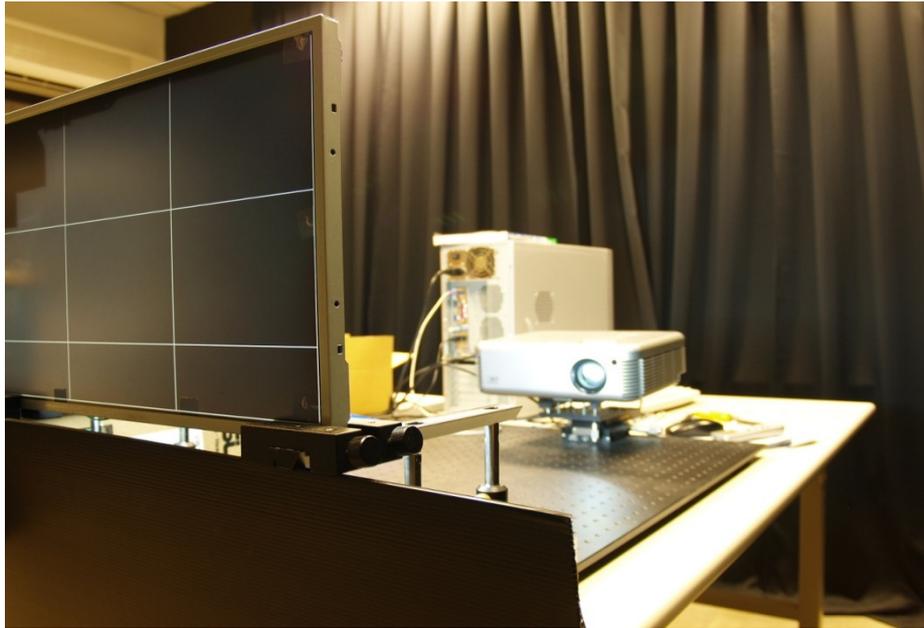
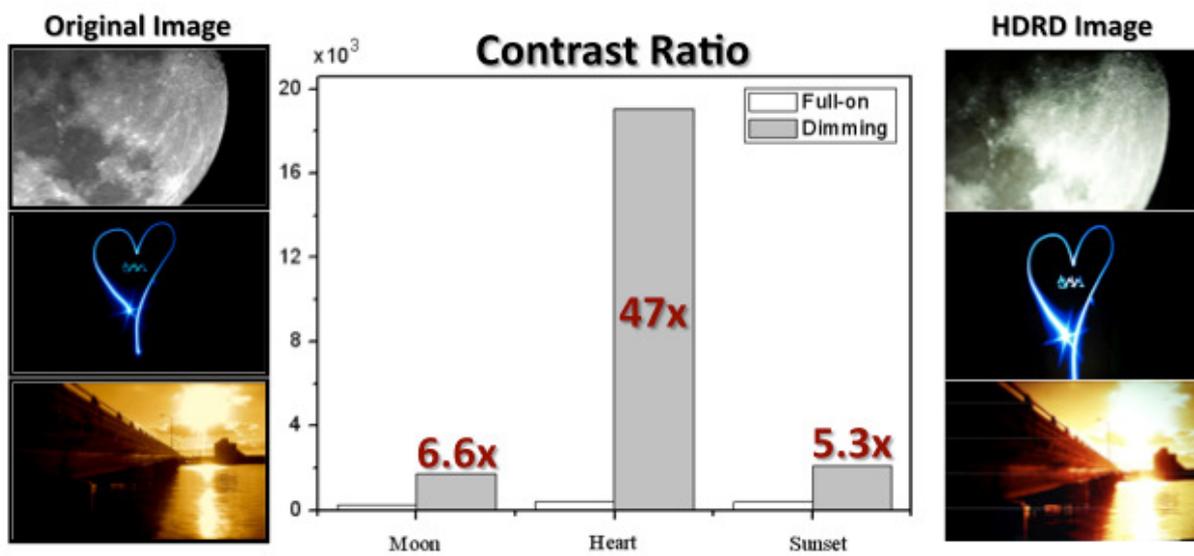


圖 39、以投影機提供動態背光光場之驗證平台



(a)

(b)

(c)

圖 40、(a)所測試之高動態對比影像；(b)動態背光與全開式背光之對比度比較；(c)由此驗證平台產生之高動態對比影像(動態背光且用照相機拍攝)。

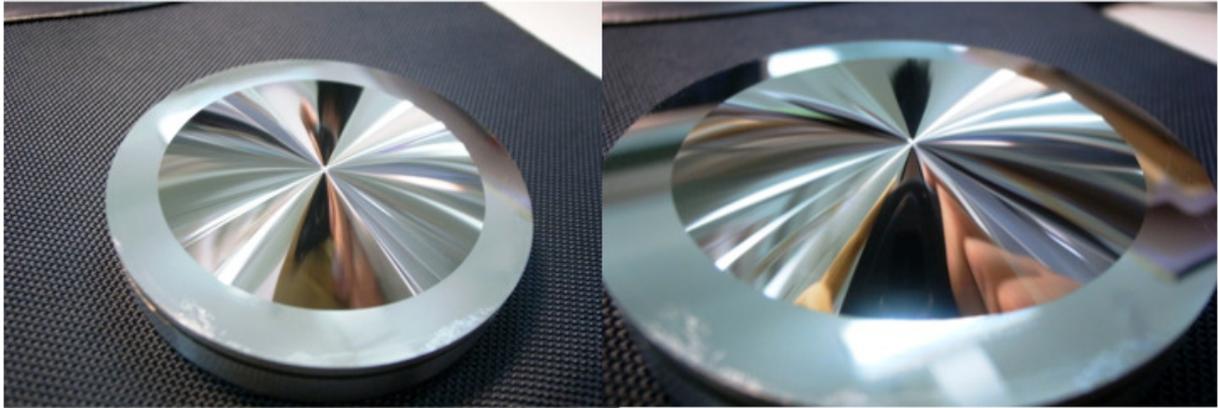


圖 41、根據優化後的光學參數所製作的金屬模仁

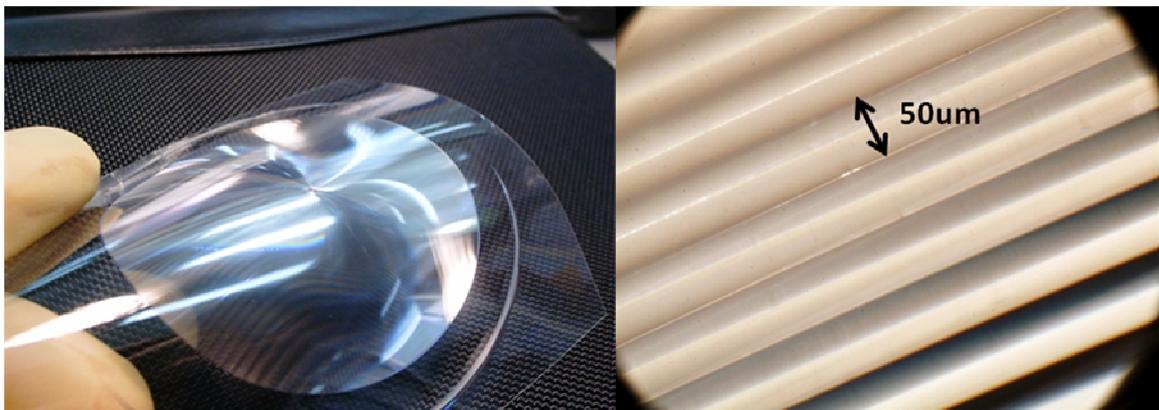
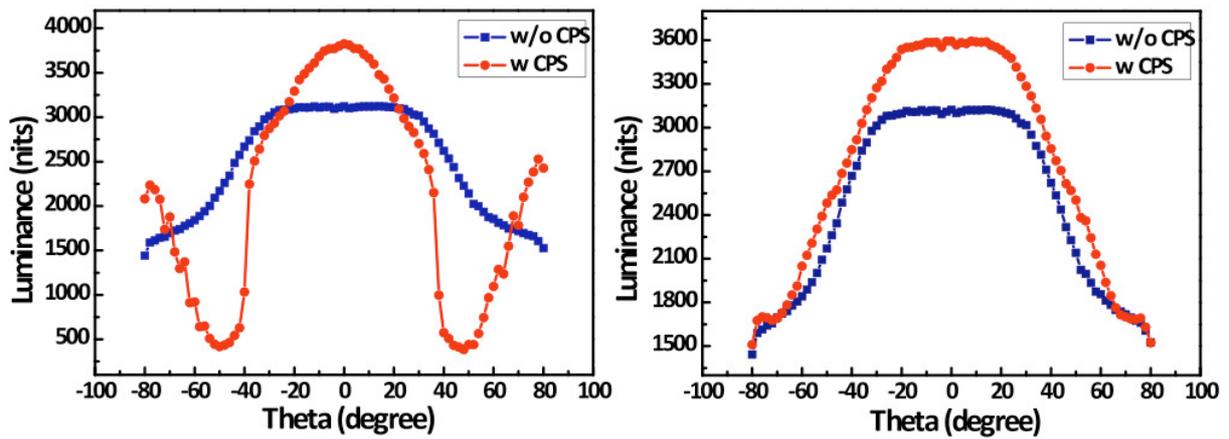


圖 42、UV 膠熱固轉寫之集光膜與其微結構之光學顯微鏡圖



(a) (b)

圖 43、集光膜特性量測：有加集光膜與沒加集光膜於(a)中心量測；(b)邊緣量測

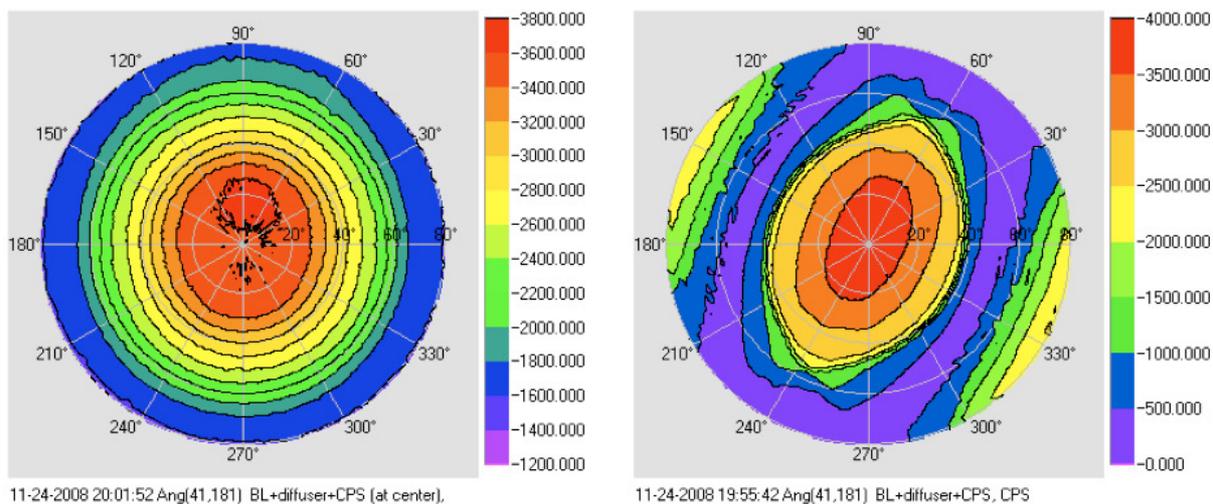


圖 44、位於集光膜中心與邊緣之角分佈圖，可發現其同心圓圖樣所造成不同的角分佈效果

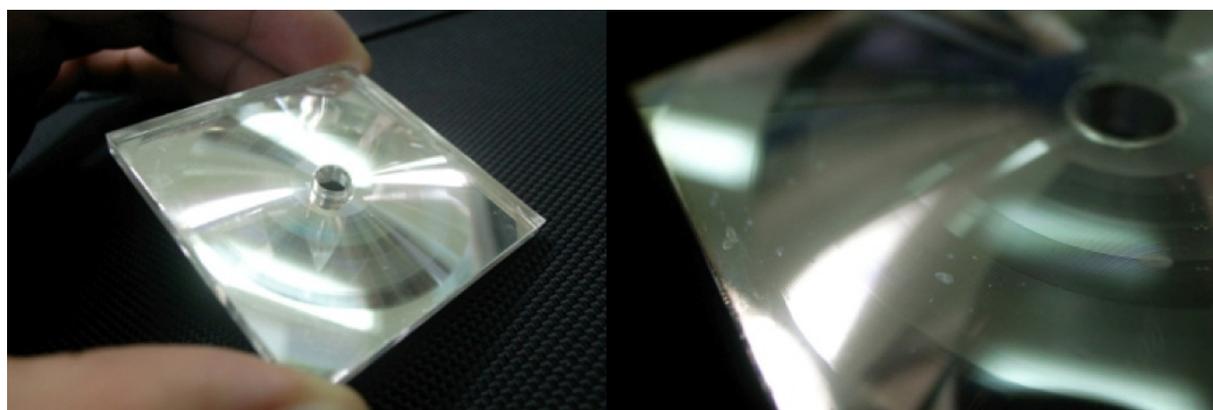


圖 45、經過熱壓翻印、雷射切割、與真空濺鍍後之方形導光板

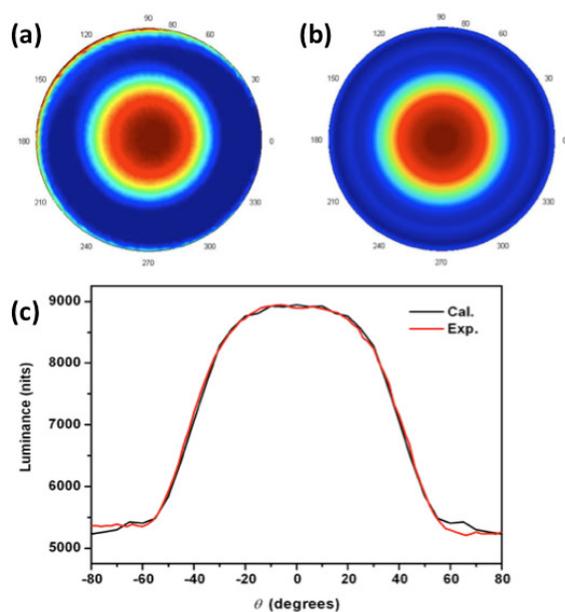


圖 46、(a)實驗之擴散膜透射光場；(b)計算之擴散膜透射光場；(c)兩者結果比較

五. 計畫成果自評

子計畫一：次世代面板之視覺效應模型建構

本年度提出的 HDR-LCD 色彩模型，不僅考慮傳統液晶顯示器的漏光項，同時考慮 dimming 背光強度作為修正項，因此可以準確的預測 HDR 影像之色彩表現。藉由準確的色彩模型建立，實際應用到硬體，優化後的 HDR 影像成功地實現了與目標影像具有相同的亮度以及色度並且維持影像細節。

已發表之期刊論文

1. Chun-Ho Chen, Fang-Cheng Lin, Yi-Pai Huang, Ya-Ting Hsu and Han-Ping D. Shieh "A Field Sequential Color LCD Based on Color Fields Arrangement for Color Breakup and Flicker Reduction", Journal of Display Tech., vol. 5(1), pp. 34-39.(2009)
2. Chun-Ho Chen and Han-Ping D. Shieh, "Effects of Backlight Profiles on Perceived Image Quality for High Dynamic Range LCDs," IEEE/OSA Journal of Display Technology (JDT), Vol. 4(2), pp. 153-159, 2008.

已發表之研討會論文

1. Yi-Ling Chen, et al., "Color Optimization Model for High Dynamic Range LCDs with RGB Color Backlights," SID09, pp. 636-639, 2009
2. Chun-Ho Chen, Ke-Horng Chen, Yi-Pai Huang, Han-Ping D. Shieh, and Ming-Tsung Ho, Society for Information Display 2008 (SID'08), pp. 1096-1099.

子計畫二：LCD 面板與光源之整合式驅動架構研發

目前已完成彩色背光調變 Delta-Color-Adjustment (DCA) 演算法及 segment-Color-Control (SCC)演算法的開發。此兩種背光演算法都相當簡單，搭配液晶訊號之補償，此兩演算法在高對比的圖片皆可以達到高對比(~40000:1)；在色彩偏向性高的圖片可以達到高色彩飽和度(125% NTSC)。除此之外，幾乎都可以更有效的節省功率損耗(40~50%)。DCA 可以對各種不同的黑白背光做優化而 SCC 可以直接查表獲得彩色背光。在本計劃的實驗中，DCA 中重要的參數為 $M=16$ 與 $N=6$ ；SCC 中重要的參數為 $A=1$, $R=2$, $M=5$ 。

已發表之期刊論文

1. Fang-Cheng Lin, **Yi-Pai Huang**, Lin-Yao Liao, Cheng-Yumr Liao and Han-Ping D. Shieh, "Dynamic Backlight Gamma on High Dynamic Range LCD TVs", IEEE/OSA Jol. of Display Technology, Vol.

4, Issue 2, pp.139 - 146.(2008)

2. **Yi-Pai Huang**, Ke-Horng Chen, Chun-Ho Chen, Fang-Cheng Lin, and Han-Ping D. Shieh, “Adaptive LC/BL Feedback Control in Field Sequential Color LCD Technique for Color Breakup Minimization”, IEEE/OSA Jol. of Display Technology, Vol. 4, Issue 3, pp. 290-295.(2008)
3. Fang-Cheng Lin, **Yi-Pai Huang**, Ching-Ming Wei, and Han-Ping D. Shieh, “Color Break-Up Suppression and Low Power Consumption by Stencil-FSC Method in Field-Sequential LCDs”, Journal of SID , Special Section – Best of SID’08 Symp., vol. 17(3), pp. 221-228, (2009)
4. Guo-Zhen Wang, Fang-Cheng Lin, Yi-Pai Huang, and Han Pin D. Shieh, “Delta-Color Adjustment (DCA) for Spatial Modulated Color Backlight Algorithm on High Dynamic Range LCD TVs,” *submitted to J. Display Technol.*

已發表之會議論文

1. Guo-Zhen Wang, **Yi-Pai Huang**, Szu-Che Yeh, and Han-Ping D. Shieh, “Segment Color Control (SCC) Method for Color Controlled Backlight of High Dynamic Range LCD-TVs” Society for Information Display 2009 (SID’09)
2. Lin-Yao Liao, Chih-Wei Chen, **Yi-Pai Huang**, Szu-Che Yeh , “Fast MPRT with High Brightness LCD by 120-Hz Local Blinking HDR Systems ”Society for Information Display 2009 (SID’09)
3. Fang-Cheng Lin, **Yi-Pai Huang**, Ching-Ming Wei, Han-Ping D. Shieh, Chi-Chung Tsai, Wen-Chih Tai, “Stencil-FSC Method for Color Break-Up Suppression and Low Power Consumption in Field-Sequential LCDs”, Society for Information Display 2008 (SID’08), pp. 1088-1091. (2008)
*Selected as Special Section of J-SID: Best of SID’08 Symp.
4. Guo-Zhen Wang, **Yi-Pai Huang**, Fang-Cheng Lin, Han-Ping D. Shieh, and Szu-Che Yeh, “Delta-Color Adjustment (DCA) Method for Color Controlled Backlight of High Dynamic Range LCD TVs,” *SID Symposium Digest Tech Papers*, vol. **39**, pp. 768-771, (2008)
5. Chun-Ho Chen, Ke-Horng Chen, **Yi-Pai Huang** Han-Ping D. Shieh, Ming-Tsung Ho, “Gray Level Redistribution in Field Sequential Color LCD Technique for Color Breakup Reduction”, Society for Information Display 2008 (SID’08), pp. 1096-1099. (2008)
6. Lin-Yao Liao, **Yi-Pai Huang**, Szu-Che Yeh, “A Real-Time Image Compensation for High Dynamic Range LCDs”, Society for Information Display 2008 (SID’08), pp. 764-767. (2008)
7. **(Best Student Paper Award)** Fang-Cheng Lin, **Yi-Pai Huang**, Ching-Ming Wei, and Han-Ping D. Shieh, “Stencil-FSC Method Achieving a Green LCD-TV,” OPT2008, 2008/12.
8. **(Best Student Paper Award)** Guo-Zhen Wang, **Yi-Pai Huang**, and Szu-Che Yeh, “Segment Color Control Method for High Dynamic Range LCD TVs,” OPT2008, 2008/12

專利

1. 廖凌曉,林芳正,**黃乙白**,汪德美,葉斯哲,謝漢萍,“高動態範圍液晶顯示器液晶補償演算.”大陸, 公開號碼 200710170329.2, 公開日期 20071112
2. 王國振,林芳正,**黃乙白**,汪德美,葉斯哲,謝漢萍,“高動態範圍液晶顯示器彩色背光演算.”大陸, 公開號碼 200710187301.x, 公開日期 20071119
3. **黃乙白**,林芳正,廖振宇,廖凌曉,“液晶顯示器之背光控制方法”,中華民國,公開號碼 200832320,公開日期 20080801

子計畫三：全彩式 LED 背光顯示系統

本計畫目前已完成設計流程的建立(第一年)與高亮度驗證平台的架設(第二年)，並根據該設計流程與驗證平台所找到之最適合二維超高斯光場分佈所優化之光學元件參數，完成集光膜與導光板之製作(第二年)，同時亦提出一擴散照明數學模型的建構方法，有助於設計流程中針對於二維光場均勻度的評估。

第一年的研究著重於新的局部區域光場控制設計流程的開發，因此第二年度的研究除了建構更為精準與信賴度的高亮度驗證平台，以及提出適用於設計流程中對於擴散膜的評估方式外，亦著重於此新背光顯示系統的硬體製作與整合。目前根據評估結果所設計之導光板與集光膜已製作完畢，未來搭配可獨立驅動訊號之 LED 陣列，將可完整實現本背光顯示系統。此外，未來也將配合子計畫一與子計畫二所提出之視覺模型與驅動架構，驗證本子計畫所提出之新的二維局部區域光場控制確實有助於提昇高動態對比顯示器之影像品質，此為本子計畫之後研究的重點。本年度研究相關的內容已於 2009 Journal of Display Technology、2009 Optics Express、2009 SID Conference 中發表。由以上具體成果，認為本年度計畫已為後續研究建立了良好的基礎。

已發表之期刊論文

1. Y.-K. Cheng, Y.-H. Lu, C.-H. Tien, and H.-P D. Shieh, "Design and Evaluation of Light Spread Function for Area-adaptive LCD System," *Journal of Display Technology*, Vol. 5, No.2, pp. 66-71 (2009)
2. C.-H. Tien, C.-H Hung, and T.-H. Yu, "Microlens Arrays by Direct-writing Inkjet Print for LCD Backlighting Applications," Accepted by *IEEE/OSA Journal of Display Technology* (2009)
3. C.-H. Tien and C.-H. Hung, "An iterative model of diffuse illumination from bidirectional photometric data," *Optics Express*, **17**, 723 (2009)

已發表之研討會論文

1. C.-H. Hung and C.-H. Tien, "Modeling Diffuse Components by Bidirectional Scatter Distribution Function for LCD Applications," *SID Symposium Digest Tech Papers* (2009)
2. H.-W. Chuang, C.-H. Hung, C.-H. Tien, and Y.-P. Huang, "Front Lighting Design for Reflective Display: Free-form Surfaced Reflector for Uniform Illumination," IDMC 2009

參考文獻

子計畫一：次世代面板之視覺效應模型建構

- [1] F. C. Lin, et al., "Color Breakup Suppression and Low Power Consumption by Stencil-FSC Method

in Field-Sequential LCDs,” J. Soc. Info. Display, pp. 221-228, (2009)

- [2] L. Kerofsky, et al., “Brightness Preservation for LCD backlight dimming,” J Soc Info Display, pp 1111-1118 (2006)
- [3] L. Y. Liao, et al., “Blur-Mask Approach for Real-Time Calculation of Light Spreading Function (LSF) on Spatial Modulated High Dynamic Range LCDs,” (submitting to JDT 2009)
- [4] Mark D. Fairchild, *Color Appearance Models*, 2nd Edition, Wiley, New York, pp. 310-315 (2005)
- [5] M. R. Luo, G. Cui, B. Rigg, “The Development of CIE 2000 Colour-Difference Formula: CIEDE2000,” *Color Research & Application*, pp. 340-350 (2000)
- [6] Ellen A. Day, et al., “Colorimetric Characterization of a Computer-Controlled Liquid Crystal Display”, *Color Research & Application*, pp. 365-373 (2004)
- [7] F. C. Lin, et al, “Dynamic Backlight Gamma on High Dynamic Range LCD TVs”, *JOURNAL OF DISPLAY TECHNOLOGY*, pp. 139-146 (2008)
- [8] G. Z. Wang, et al., “Delta-Color Adjustment (DCA) for Spatial Modulated Color Backlight Algorithm on High Dynamic Range LCD TVs,” (submitting to JDT 2009)

子計畫二：LCD 面板與光源之整合式驅動架構研發

- [1] H. Seetzen, Lorne A. Whitehead, and Greg Ward, “A High Dynamic Range Display Using Low and High Resolution Modulators”, *SID Symposium Digest Tech Papers*, vol. **34**, pp. 1450-1453, (2003).
- [2] H. Seetzen, et al., “High Dynamic Range Display Systems”, *SIGGRAPH 2004*, *ACM Transactions on Graphics*, **23**(3), pp. 760-768, 2004.
- [3] E.Y. Oh, S. H. Baik, M. H Sohn, K. D. Kim, H. J. Hong, J. Y. Bang, K. J. Kwon, M. H. Kim, H. Jang, J. K. Yoon, and I. J Chung, “IPS-mode dynamic LCD-TV realization with low black luminance and high contrast by adaptive dynamic image control technology”, *J Soc Info Display*, vol. **13**, pp. 215-219, (2005).
- [4] Y. W. Wang, et al., “Analyses of Point spread function in high dynamic range display system,” *Optics and Photonics Taiwan 2005*, No. G-SA-X 4-3 (2005).
- [5] Dong-Min Yeo, Yong-hoon Kwon, Eui-Jeong Kang, Se-Ki Park, Byungchoon Yang, Gicherl Kim, and Taeseok Jang, “Smart Algorithm for Local Dimming LED Backlight”, *SID Symp. Digest Tech Papers*, vol. **39**, pp. 986-989 (2008)
- [6] Guo-Zhen Wang, Yi-Pai Huang, Fang-Cheng Lin, Han-Ping D. Shieh, and Szu-Che Yeh, “Delta-Color Adjustment (DCA) Method for Color Controlled Backlight of High Dynamic Range LCD TVs,” *SID Symposium Digest Tech Papers*, vol. **39**, pp. 768-771, (2008)
- [7] Guo-Zhen Wang, Fang-Cheng Lin, Yi-Pai Huang, and Han Pin D. Shieh, “Delta-Color Adjustment (DCA) for Spatial Modulated Color Backlight Algorithm on High Dynamic Range LCD TVs,” *submitted to J. Display Technol.*
- [8] Guo-Zhen Wang, Yi-Pai Huang, and Szu-Che Yeh, *SID Symposium Digest Tech Papers*, vol. **15**, pp. 757-759, (2009)
- [9] F. C. Lin, L. Y. Liao, C. Y. Liao, Y. P. Huang, H. P. D. Shieh, T. M. Wang, and S. C. Yeh, “Dynamic Backlight Gamma on High Dynamic Range LCD TVs,” *J. Display Technol.*, vol. **4**(2), pp. 139-146 (2008).

子計畫三：全彩式 LED 背光顯示系統

- [1] Perduijn, et al., "Light Output Feedback Solution for RGB LED Backlight Applications," SID International Symposium. Digest Tech Papers, pp. 1-3, (2000).
- [2] G. Harbers, et al., "High Performance LCD Backlighting using High Intensity Red, Green and Blue Light Emitting Diodes," SID International Symposium. Digest Tech Papers, pp. 702-705, (2001).
- [3] Hoelen, et al., "LCD Backlighting with High Luminescent Colored Light Emitting Diodes," SID International Symposium. Digest Tech Papers, LS-9, (2001).
- [4] G. Harbers, et al., "LED Backlighting for LCD-HDTV," SID International Symposium. Digest Tech Papers, I-13.2, (2002).
- [5] R. S. West, et al., "High Brightness Direct LED Backlight for LCD-TV," SID International Symposium. Digest Tech Papers, pp. 1262-1265, (2003).
- [6] Seiji Sakai, et al., "A Thin LED Backlight System with High Efficiency for Backlighting 22-in. TFT-LCDs," SID International Symposium. Digest Tech Papers, pp. 1218-1221, (2004).
- [7] K. Kälantär, et al., "Functional Light-Guide Plate Characterized by Direct Light-Extraction Microstructures for Luminance Enhancement of the Transmissive and Transflective LCD Backlight Units," IDW'02 Technical Digest, pp. 509-512, (2002).
- [8] H. Ohtsuki, et al., "TFT-LCD with more than 100%-NTSC color reproduction using LED-Backlighting and well tuned TFT-LCD panel," IDW'04 Technical Digest, pp. 687-690, (2004).
- [9] A. Funamoto, et al., "Prism-sheetless High Bright Backlight System for Mobile Phone," IDW'04 Technical Digest, pp. 497-500, (2004).
- [10] K. Kälantär, et al., "RGB-LED Backlighting MonitorTV for Reproduction of Images in Standard and Extended Color Spaces," IDW'04 Technical Digest, pp. 683-686, (2004).
- [11] http://news.sel.sony.com/en/press_room/consumer/computer_peripheral/notebooks/release/9029.html
- [12] Yoichi Taira, et al., "Color Filterless Liquid Crystal Display Illuminated with LEDs," SID International Symposium. Digest Tech Papers, pp. 1250-1253, (2003).
- [13] F. Yamada, et al., "Sequential-color LCD based on OCB with an LED backlight," Journal of the Society for Information Display, Volume 10, Issue 1, pp. 81-85, 2004.
- [14] Toni Jarvenpaa, "Measuring Color Breakup of Stationary Images in Field-Sequential-Color Displays," SID International Symposium. Digest Tech Papers, 7.2, (2004).
- [15] K. Kälantär, et al., "Spatio-Temporal Scanning Backlight for Color-Field Sequential Optically Compensated Bend Liquid-Crystal Display," SID International Symposium. Digest Tech Papers, pp. 1316-1319, (2005).
- [16] K. Sekiya, et al., "Spatio-Temporal Scanning LED Backlight for Large Size Field Sequential

Color LCD,” IDW’05 Technical Digest, pp. 1261-1264, (2005).

- [17] H. Seetzen, et al., “High Dynamic Range Display Systems,” *ACM Trans. on Graphics (Proc. of SIGGRAPH)*, 23(3): 760-768 (2004)
- [18] J. C. Stover, *Optical Scattering: Measurement and Analysis*, (Mc Graw-Hill, New York, 1990).
- [19] M. Nieto-Vesperinas, *Scattering and Diffraction in Physical Optics* (Wiley, New York, 1991).
- [20] L. Tsang, J. A. Kong and K. -H. Ding, *Scattering of Electromagnetic Waves, Theories and Applications* (Wiley, New York, 2000).
- [21] L. Tsang, and J. A. Kong, *Scattering of Electromagnetic Waves, Advanced Topics* (Wiley, New York, 2001).
- [22] A. K. Fung, *Microwave Scattering and Emission Models and Their Applications* (Artech House, Boston, 1994).
- [23] A. Voronovich, “Small-slope Approximation for Electromagnetic Wave Scattering at a Rough Interface of two Dielectric Half-spaces,” *Wave in Random Media* 4, 337-367 (1994).
- [24] A. Voronovich, *Wave Scattering from Rough Surfaces*, 2nd Edition (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1994).
- [25] K. E. Torrance and E. M. Sparrow, “Theory for Off-Specular Reflection from Roughened Surface,” *J. Opt. Soc. Am.* 57, 1105-1114 (1967).
- [26] B. van Ginneken, M. Staveridi and J. J. Koendrik, “Diffuse and Specular Reflectance from Rough Surface,” *Appl. Opt.* 37, 130-139 (1998).
- [27] K. Tang and R. O. Buckius, “A Statistical Model of Wave Scattering from Random Rough Surfaces,” *Int. J. Heat Mass Transfer* 44, 4095-4073 (2001).
- [28] L. Tsang, J. A. Kong, K. -H. Ding and C. O. Ao, *Scattering of Electromagnetic Waves, Numerical Simulations* (Wiley, New York, 2000).
- [29] F. D. Hastings, J. B. Schneider, and S. L. Broschat, “A Monte Carlo FDTD Technique for Rough Surface Scattering,” *IEEE Trans. Antennas Propag.* 43, 1183-1191 (1995).
- [30] N. Garcia and E. Stoll, “Monte Carlo Calculation for Electromagnetic-Wave Scattering from Random Rough Surfaces,” *Pgys. Rev. Lett.* 52, 1798-1801 (1984).
- [31] K. Tang, R. Dimenna and R. Buckius, “Regions of Validity of the Geometric Optics Approximation for Angular Scattering from Very Rough Surface,” *Int. Heat J. Mass Transfer* 40, 49-59 (1997).
- [32] M. Bass, E. W. Van Stryland, D. R. Williams and W. L. Wolfe, *Handbook of Optics, Volume II*, (McGraw-Hill, New York, 1991).
- [33] E. Kreyszig, *Introductory Mathematical Statistics*, (Wiley, New York, 1970)
- [34] M. E. Becker, “Display Reflectance: Basics, Measurement, and Rating,” *J. Society for Information Display* 14/11, 1003-1017 (2006).
- [35] M. E. Becker, “Evaluation and Characterization of Display Reflectance,” *Displays* 19, 35-54 (1998).
- [36] J. W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, (McGraw-Hill, New York, 2004)

- [37] K. Iizuka, *Elements of Photonics I*, (Wiley, New York, 2002)
- [38] A. M. Nuijs and J. J. L. Horikx, "Diffraction and Scattering at antiglare structures for display devices," *Appl. Opt.* 33, 4058-4068 (1994).
- [39] J. E. Harvey and C. L. Vernold, "Transfer Function Characterization of Scattering Surface," *Proc. SPIE* 3141, 113–127 (1997).
- M. W. Hodapp, "Applications for High-Brightness Light-Emitting Diodes" in *Semiconductors and Semimetals Vol. 48*, G. B. Stringfellow and M. G. Craford ed., (Academic Press, San Diego, 1997) *Semiconductors and Semimetals Vol. 48*, Chap. 6, p. 227.