

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫二：高效率整合型面板光源(2/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC94-2218-E-009-024-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：國立交通大學光電工程學系(所)

計畫主持人：謝漢萍

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 5 月 30 日

摘要：

關鍵詞：LED 背光源、色序控制法、無彩色濾光片

傳統的彩色液晶顯示器結合液晶, 彩色濾光片與 CCFL 背光源。此種傳統液晶顯示器的缺點為光效率低與功率損耗高。色序控制法以 LED 為背光源於液晶層後方, 以不同的時序來表現顏色故不需要彩色濾光片。因此, 我們提出高效率整合型背光模組來增進光效率與降低功率損耗。

高效率整合型面板光源具有亮度高, 功率低, 厚度薄, 重量輕, 整合度高和高光效率等特點, 為了實現這樣的先進系統, 需要整合顯示與電路設計的技術, 始能完成。本計畫包含光學、電路二個領域來提昇平面顯示器效能及整合度。這個新穎整合型面板光源結合高效率 LED 背光源與色序法電路技術, 新穎的背光板結合 LED 光源於高反射率光學腔 (Optical cavity) 中。LED 光源具有優異的色彩表現能力與低功率之優點, 配合色序法 (color sequential) 技術, 不需使用彩色濾光片 (Color filter) 便能提升兩倍的光效率更有更大的色域範圍, 以提升 TFT-LCD 彩色的表現能力。本計畫研究新穎高效能面板光源, 配合驅動技術, 以符合高亮度低功率的需求, 而達成高整合功能於平面顯示器的目標。

Abstract:

Keywords : : LED backlight、Color sequential、Color filter less

Color representation in a conventional color liquid crystal display (LCD) is combination of liquid crystal cells, micro color filters on each pixel, and a white backlight. The disadvantage of conventional LCD is low optical efficiency and high power consumption. A color sequential LCD reproduces each primary color component in a time sequence using LED backlights and a fast response liquid crystal cell without color filters. Therefore we purpose a high efficiency integrated backlight system to increase optical efficiency and reduce power consumption.

High efficiency integrated backlight has advantages of high brightness, low power consumption, thin thickness, light weight, high integration, and high optical efficiency. To realize such an advanced system, the integrated effort of the progressive techniques in displays and circuit design are essential. This project contains the optical and electronic domains to enhance the performance of flat displays and to increase integration level. This novel integrated backlight concept incorporates a high efficiency LED backlight and color sequential circuit technology for impulse-type display. LED light sources are integrated into a high reflectivity optical cavity. We can expect that using LED as the light sources gives advantages in terms of color performance and low power requirements. Without color filters, color sequential technology can more than double optical efficiency. The novel high efficient light source with the corresponding color sequential driving scheme is investigated for high brightness and low power consumption. This High efficiency integrated backlight will be pursued for being greatly integrated functions of the flat panel display.

前言：

平面顯示器產業不斷蓬勃發展。台灣加入 TFT-LCD 量產行列以來，由於具有接近 IT 市場、可降低生產成本，並具有彈性化經營管理等優勢。但在關鍵技術的研發上仍需進一步提升才能維持市場競爭的優勢。現今 TFT-LCD 僅有不到 10% 的光效率，提升光效率並降低功率損耗便成現階段 TFT-LCD 研究的重要課題。本子計畫便是以提升顯示器光效能、降低功率損耗達成降低成本為目標，開發新穎的高效能整合型面板光源。

現行背光模組的技術，仍以 CCFL 光源為主，其缺點為厚度大、工作溫度高、操作電壓達數百伏特、光譜分布範圍受限制等。厚度是造成螢幕輕量化的阻礙，工作溫度高會影響顯示品質與使用壽命，光譜分布範圍不夠廣，將使得螢幕的色再現能力受到限制。操作電壓高增加功率消耗並降低螢幕壽命。在此提出以 LED 作為替代光源，LED 的優點具有使用壽命長，低功率，3-15V 的低操作電壓，此外，LED 具有高色純度優點和較寬的彩色反差係數(color gamut)特性，以及較高的色階顯示能力和可調白點(tunable white point)等優點。若將 LED 光源與 optical cavity 結合成面板光源，這種整合型面板光源具有 TFT 製程相容特性，可將背光模組整合在顯示器製程當中，更能突顯其輕、薄的優點。

彩色濾光片為 TFT-LCD 最大光功率損耗元件，彩色濾光片會損耗至少 66% 的光能量，加上偏光板後使得整體光效率僅有不到 10%。因此，彩色濾光片是 TFT-LCD 低光效率的最大因素，同時還影響面板的色彩顯示品質，現今 LCD 在顏色表現能力上較 CRT 弱，是受限於彩色濾光片結合 CCFL 光源後光譜線較窄的原因。若將光源以 LED 取代 CCFL 便可以達到較佳的色純度與彩色反差係數。增加彩色濾光片透光率的最佳方法是不使用彩色濾光片，搭配色序法驅動技術不需使用彩色濾光片能達成高光效率及更大的色域範圍(>125% NTSC 色域)目的。

本計畫中，提出“高效率整合型面板光源”的前瞻觀念性構想，為了在改善現行顯示器面板光源效率偏低的問題而提出高效率整合型面板光源，目的在提升發光效率，達成無需使用彩色濾光片的背光模組。結合顯示技術與電子元件系統的研究專家，共同開發所需之具有具有優異光電特性的前瞻技術。研發的重點除了強調高光效率及背光模組系統整合外，並著眼於建立完整橢圓錐光量測系統包含光學特性分析、光學模組軟體、製程整合及驅動電路技術，以期能在研發完成後，藉由適當的擴散機制，順利移轉產業界，提昇我國技術水準，衍生更具附加價值的新型顯示系統。

研究目的：

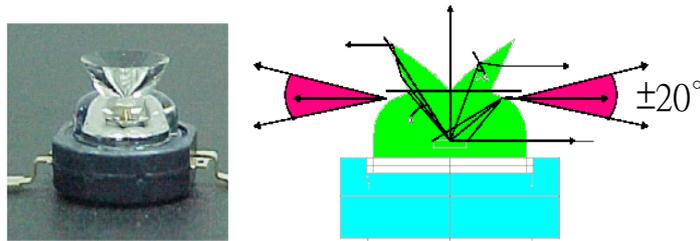
本篇研究的目的是在提升 TFT-LCD 整體光效能與降低功率損耗，由前面背光模組與彩色濾光片的特性簡介了解對效能損耗後，針對兩種元件提出新高效能整合型面板光源，其架構以 LED 為光源結合高反射率的 optical cavity 形成高

效率的直射型背光模組。利用控制電路搭配色序法(color sequential)技術，依序發出 R、G、B 光，便可達成混光的作用，不需使用極低光效率的彩色濾光片(Color filter)，便可提高光效率與降低操作電壓即具優異色彩表現之特性。結合 TFT 製程相容的特性，將 LED 背光模組與高反射率的 optical cavity 整合在顯示器製程中，使得背光模組能夠在顯示器製程上同時完成具有積體化、輕量化之優點。成為一種兼具高光效能與低電功率消耗的顯示元件，進一步改善平面顯示器的既有特性，加強發揮平面顯示面板的優勢。同時，也提升產品整合度，擴張其應用範圍，提高顯示器產品的競爭力和附加價值。以下先就本計畫的主要重心加以說明。

首先利用光學軟體建立一個背光源模型，將 LED 光源結合於背光源模型當中，此處需仔細考量 LED 光源的光譜特性與電器特性，由於 LED 的封裝型態對於 optical cavity 具有重大的影響，將分析以 LED 光源經過高反射率的 optical cavity 來計算光場分布。藉由此模擬分析來計算 LED 的出光角度與 optical cavity 中的反射光柵的均勻擴散光場分佈情形，計算光柵的大小、形狀與反射光的分佈角來獲得最佳化反射光柵。所以，此背光源模型對於整個背光均勻性與效率有著重大的影響。色序法(color sequential)驅動電路的優點在於取代彩色濾光片(color filter) 及提升開口率或增加解析度，由於彩色濾光片視 LCD 降低光效率的最主要因素。因此，利用色序法驅動 LED 背光源來達成不需使用彩色濾光片的目的。同時，比較此種背光模組與傳統的需要的 CCFL 背光模組的光學效能進行光電特性量測。搭配液晶的多穩態記憶特性結合智慧型電路降低驅動電路的耗電量。結合 TFT 製程相容的特性，利用光罩在顯示器製程製作反射光柵，將 LED 背光模組與高反射率的 optical cavity 結合在顯示器製程中，使得背光模組能夠在顯示器製程上同時完成具有積體化、輕量化之優點。

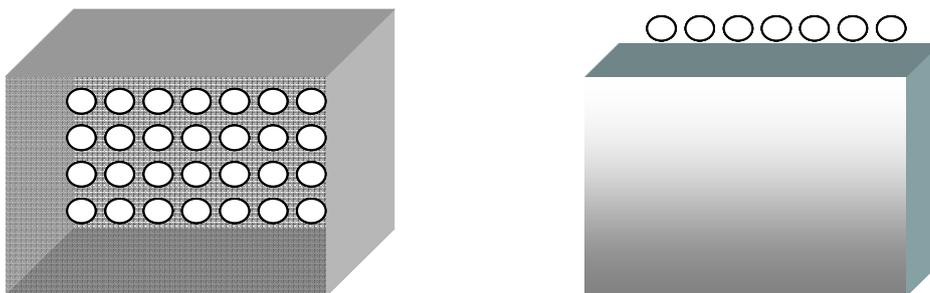
文獻討論：

隨著 LED 製程的不斷開發，新式的 LED 其光效率(1m/W)已大幅提升，其中紅光 LED 在文獻上更是到達接近 CCFL 的水準，如此一來，以 LED 光源來取代 CCFL 的時程已指日可待。在改進 LED 封裝的型態，有數種結構被發展，如直射型、兩峰值型和邊射型 LED，其光場分佈各有其特色。目前討論以邊射型 LED 為光源來設計 optical cavity 的文獻為最多，封裝如[圖一](a)所示。原因是邊射型 LED 其光場分佈具有高度集中性，其發散角為 ± 20 度，如[圖一](b)，容易與搭配的 optical cavity 進行結合設計，指向性的光源發展能更有效利用光，提升光使用效率。此外，LED 的封裝也有單色與三色之分，單色是單一個封裝內只有一種顏色的 LED 晶片；三色的封裝內有三個不同顏色的晶片。以混成白光的效果而言，以三色的封裝為佳，然而價格較高與整體封裝較大，是其缺點，較不利於 optical cavity 整合。



[圖一] (a) 邊射型 LED (b) 其光場示意圖

在 optical cavity 的發展，主要有直下陣列排列 LED 和側邊陣列排列 LED 兩種。直下型排列 LED，如[圖二](a)，將 LED 排列於出光面之下，優點是無須額外的導光板的設計，可減輕整體背光模組的重量，缺點是需要較厚的模組厚度來達到均勻混光的效果。側邊陣列排列 LED，如[圖二](b)，與傳統 CCFL 背光模組非常類似，光源在面板側邊，光進入導光板並由擴散點導出光，優點是可在較薄的模組厚度就達到可接受的均勻度，缺點是導光板增加了模組的重量。

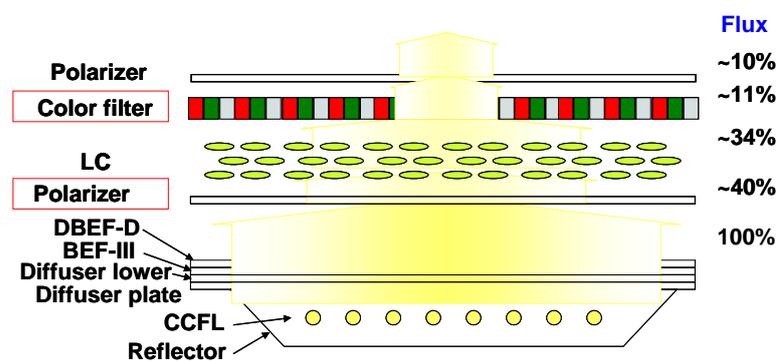


[圖二] (a) 直下陣列排列 LED (b) 側邊陣列排列 LED

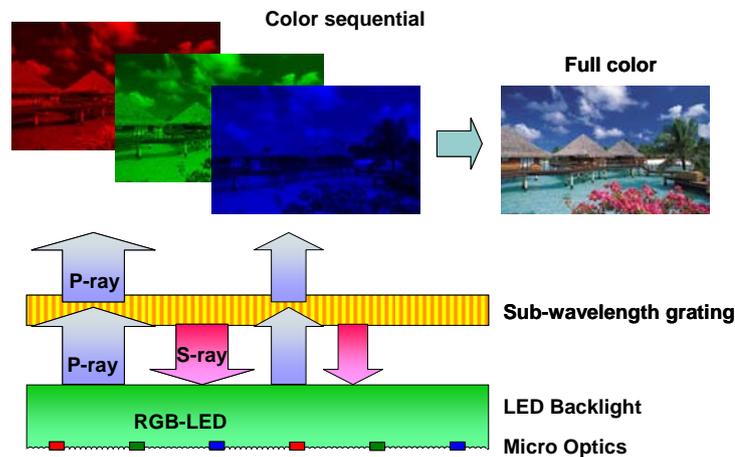
在尺寸上的朝向大型化面板發展，在亮度與均勻度的考慮下，百顆以上的 LED 被放在同一個面板中，以目前的技術而言，其散熱與功率消耗問題相當嚴重。因此，如何有效提高光效率是極為重要的，提升光效率的優點可減少 LED 使用量，同時減少功率消耗。色序法控制技術不需低效率的彩色濾光片，可有效提升光效率。其技術是控制 LED 光源依照 RGBRGB... 的順序快速的重複作開關動作，當需紅色像素時紅色 LED 發光而綠色、藍色 LED 則關閉。控制遮光、通過的時間比例便可實現全彩化。其優點包括降低光損耗，減少製程降低成本。可維持相同解析度但簡少驅動線路 2/3 面積，可增加開口率，有助於亮度提升。

研究方法：

在傳統液晶顯示器的結構圖如圖三。設由背光源出來的光通量為 100%，由圖三可看出光效率損失最多之處為偏光片（損失>50%）以及彩色濾光片（損失 67%）。因此吾人針對此二損耗提出解決方案：以色序法取代濾光片，及以次波長光柵取代偏光片。此外，以 LED 做為光源還具備較大色域之優點；於背光模組之導光板上，吾人將再加上微光學元件的設計，還可達到高均勻度的效果。簡言之，吾人提出的**高效率背光模組**(如圖四所示)係以彩色 LED (RGB-LED) 做為背光源，搭配色序法、微光學元件、次波長光柵元件，以取代濾光片及偏光片，並具備高均勻度及大色域等優點。



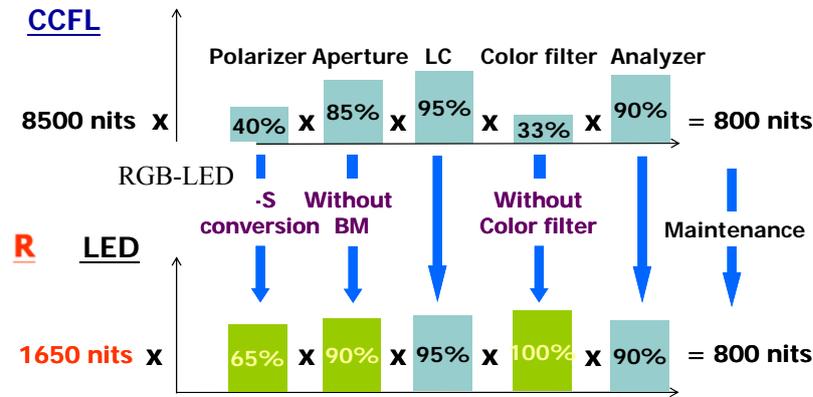
[圖三] 傳統液晶顯示器架構圖



[圖四] 高效率背光模組示意圖

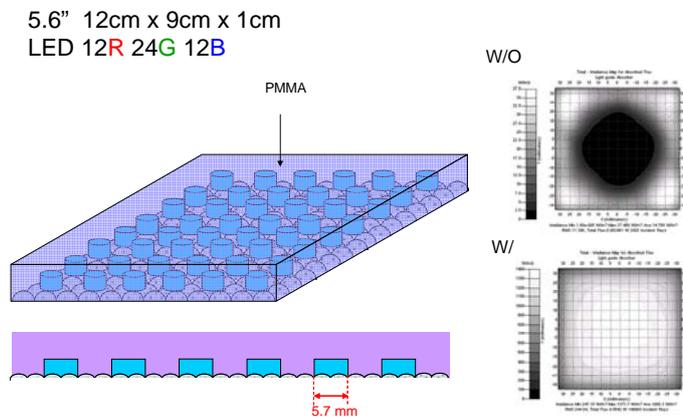
分析傳統以 CCFL 做為背光源之液晶顯示器，可知當背光源提供 8500nits 的亮度時，經過各元件的損耗，實際出光亮度約為 800nits。同樣是 800nits 的出光亮度，對吾人的高效率背光模組而言，只需提供 1650nits 即可，如圖五所示。換言之，以此高效率背光模組架構成的顯示器，其背光源只需提供 1650nits 即可等效傳統背光源提供 8500nits 時的出光亮度。此外，由於此設計最大優勢

是去除濾光片以使光效率提升三倍，因此即便仍採用傳統的偏光片(光效率約40%)，RGB-LED 背光源亦只需提供 2650nits 即可等效傳統背光源提供 8500nits 時的出光亮度。故此，吾人之高效率背光模組，可大幅提升光效率。



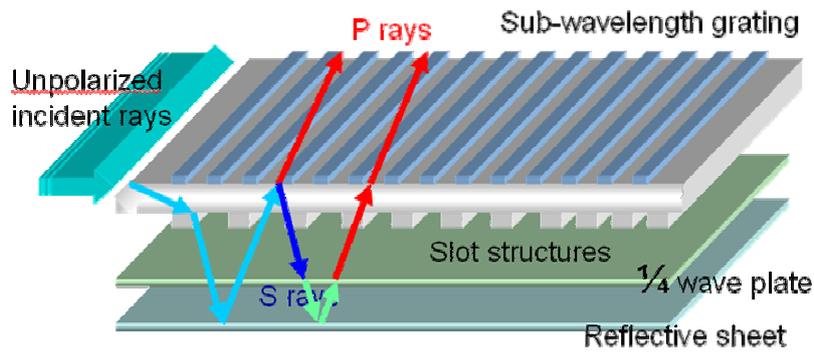
[圖五] 高效率背光模組與傳統背光模組之亮度比較

針對 LED 背光源所設計的導光板如圖六。由於研發階段不便以 37 吋之大尺寸背光模組驗證想法，因此吾人先以 5.6 吋之導光板實作樣品，首先設計 LED 的擺設，使用的 R、G、B LED 顆數分別為 12、24、12。接著以光學模擬軟體設計微光學元件以優化光分佈均勻度。模擬結果顯示：未加微光學元件時的光均勻度如圖六右上圖，加上微光學元件後則如圖六右下圖。由此二圖之比較可看出均勻度明顯提升。



[圖六] 導光板搭配 LED 及微光學元件之設計與模擬結果

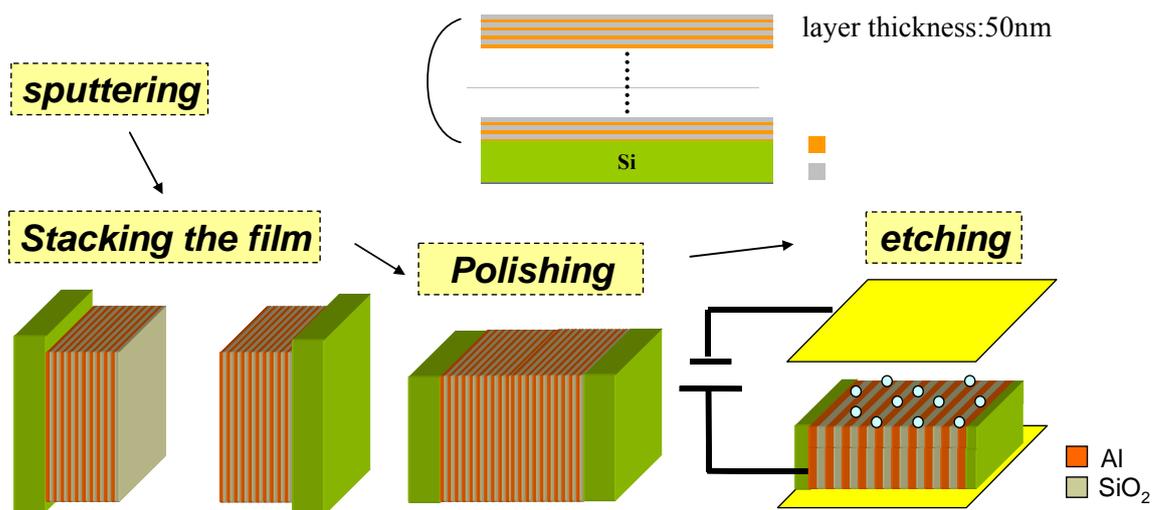
在次波長光柵取代偏光片的研究上，本實驗室已有將次波長光柵整合入背光模組之構想（如圖七所示）；藉由電子束直寫的技術定義奈米光柵圖案，並以半導體製程製作出樣品。實驗結果顯示偏光轉換效率為傳統 LCD 偏光片 1.7 倍。



[圖七] 具備次波長光柵的背光模組

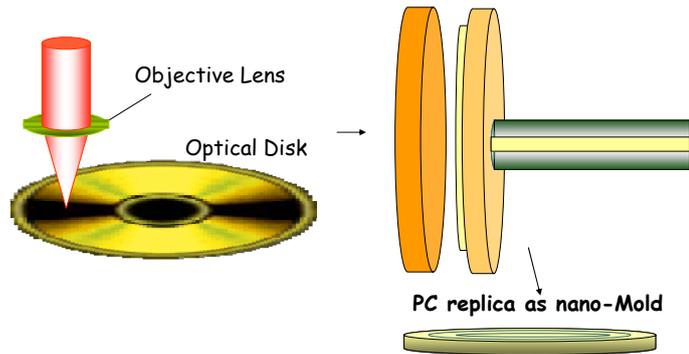
此法採電子束直寫的技術定義光柵，在製作大尺寸時將會費時且高成本，故我們再提出以奈米轉印 (Nano-imprint technology) 技術製作大尺寸次波長光柵偏光片之方法。

奈米轉印技術可達之線寬約為 10nm 左右之等級，除可滿足次波長光柵之需求外，還有：轉印速度快、量產成本低等優勢。其技術關鍵在於「模仁結構的精確製作」。傳統上是以電子束微影直寫、X 光微影或離子束微影技術等方式製作模仁，但以這些方法製作大尺寸模仁將十分耗時且昂貴。針對此關鍵的奈米模仁製作，我們改以目前成熟之濺鍍技術 (Sputtering) 來定義奈米線寬，方式如下：採用濺鍍法交錯鍍上百層奈米厚度的鋁膜及氧化層膜，再以疊合或其他方式增厚層數，並以蝕刻使模仁成型 (如圖八所示)。



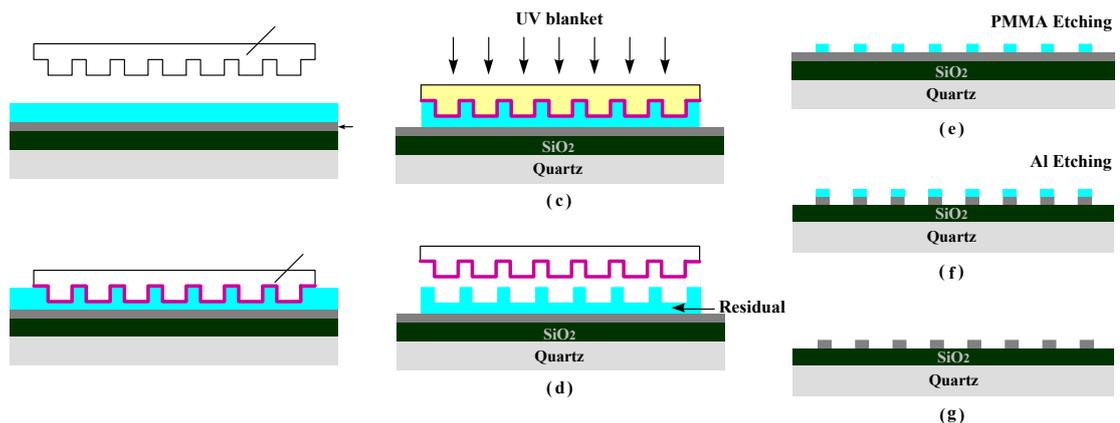
[圖八] 奈米模仁製程一：濺鍍疊合法

此外，雷射刻板技術之提升也可望成為新的模仁製作方式。其方法如下：以雷射刻板技術定義出母模，再以射出成型法做出 PC 材質的模仁，如圖九所示。對於大尺寸模仁而言，雷射刻板速度遠比電子束直寫快且價廉，故此法可望快速製作奈米光柵母模。因此吾人亦採用雷射刻板法，試驗週期為 400nm 之奈米模仁。此技術之關鍵在於雷射刻寫的線寬；目前奈米雷射讀寫頭技術已可達到 <100nm 之線寬(工研院光電所)，若可將之應用於雷射刻板技術，則不僅可快速製作奈米光柵母模，亦可望滿足高分光效率之光柵條件(光柵週期 $\leq 200\text{nm}$)。



[圖九] 奈米模仁製程二:雷射刻板法

由上述二法製作光柵模仁後，須先翻印成矽膠(PDMS)模仁，再進行奈米壓印及蝕刻等步驟，以完成次波長光柵偏光片的製作。由奈米壓印法製作偏光片的製程可如圖十所示。首先在透明基板上澱鍍適當厚度的 Al 膜與 SiO₂ 膜，再旋佈上感光阻劑 PMMA，接著以 PDMS 壓印，經過 UV 光照射後，阻劑硬化成型出奈米結構，將 PDMS 脫膜後，先蝕刻 PMMA 殘留層，再蝕刻 Al 並去除 PMMA，完成次波長光柵偏光片製作。

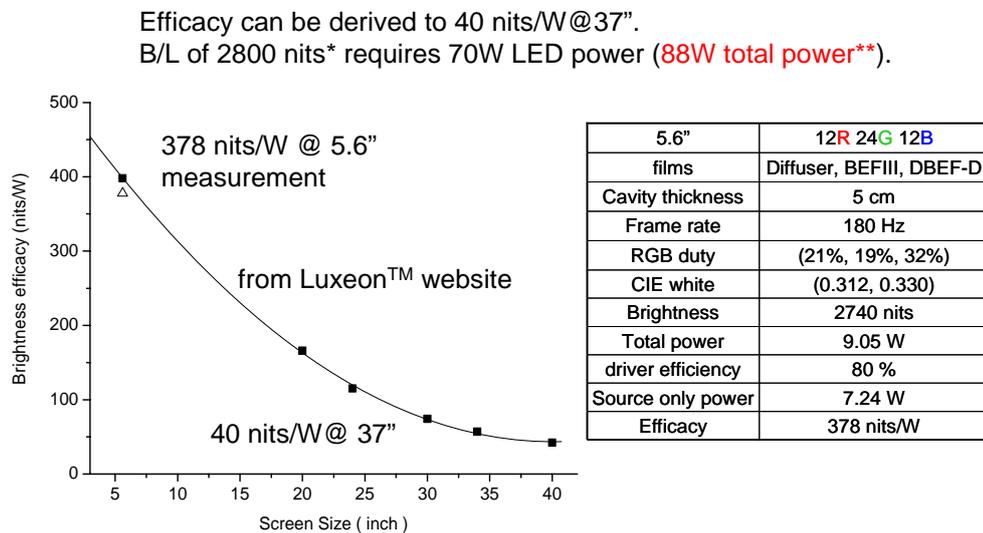


[圖十] 以奈米壓印及蝕刻技術製作次波長光柵偏光片之流程圖

由於奈米壓印之機台陸續引進台灣，國家奈米實驗室(NDL)使用之機台已成功壓印出 200nm 線寬之柵欄(grating)，因此關鍵技術將是奈米模仁製作技術。

結果與討論：

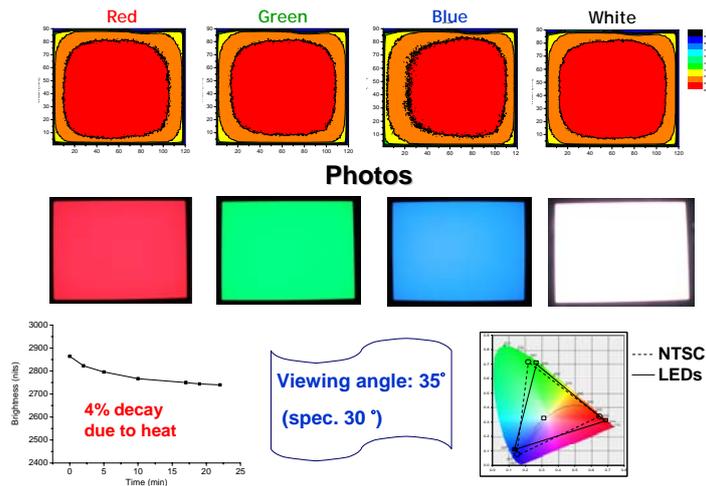
將所設計的 5.6 吋導光板進行驗證，結果如圖十一之表列。使用色序法時的 RGB duty cycle 分別為 21%、19%、32%，可提供亮度為 2740nits，LED 所耗光率為 7.24W，加上電路上的能量損耗，總功率為 9.05W。因此，LED 之電能與亮度轉換能力為 378nits/W。比較我們所設計之 5.6 吋背光模組的實驗結果(三角點) 和 Luxeon™網站提供的分析圖(圖十一之方點)，兩者的轉換能力相近；據此預測:當我們的設計延伸至 37 吋背光模組時，其轉換能力約為 40nits/W。換言之，應用所設計之背光模組於 37 吋時，若要提供 2800nits 之光亮度(大於前述之 2650nits，以確保優於傳統 CCFL 背光模組提供 8500nits 時之效能)，所需 LED 功率為 70W，再加上電路耗功，總需功率為 88W，小於 90W。



* spec. 1/3 of 8500 nits **Driver efficiency 80%

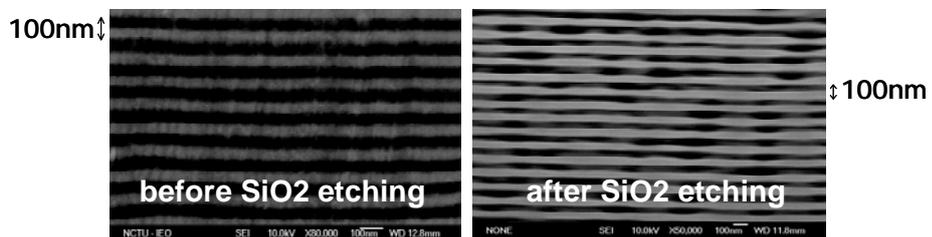
[圖十一] 實驗結果之數據、規格及 Luxeon™之電能與亮度轉換能力分析圖

其他的量測與分析如圖十二。最上圖分別為 RGB 單獨點亮及混成白光的光分佈均勻度量測；中間的四張是 RGB 分別點亮以及混成白光時的照片。由量測結果及照片可看出均勻度良好。我們亦進行穩定度量測(圖十二左下圖)，由結果可看出點亮 20 分鐘後亮度已十分穩定，雖因熱造成亮度下降，但下降幅度也僅 4%，在人眼未能感知之範圍。所量測到的視角為 35 度，廣於規格要求之 30 度；色域分佈亦近於 NTSC(圖十二右下圖)。至此，已達成目標之功率消耗小於 90W，並大幅提高背光模組之效率達三倍以上(8500nits / 2800nits >3)，其他效能之驗證結果亦優於一般規格。

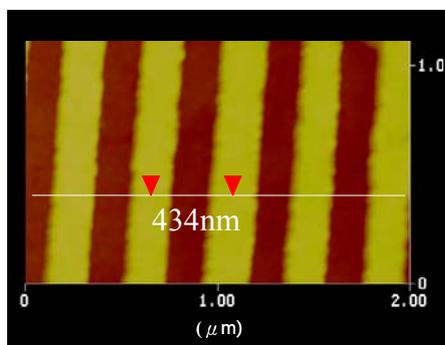


[圖十二] 光學量測結果與分析圖

在次波長光柵之奈米模仁實驗方面，以濺鍍疊合法成功製作線寬為 50nm (週期為 100nm) 之奈米模仁，其 SEM 照片如圖十三。而以雷射刻板法製作週期 400nm 之 PC 模仁亦已完成，其 AFM 圖如圖十四。在此已驗證了關鍵的模仁製作技術，達成研究目標。目前本實驗室研究團隊正積極研發”奈米壓印製作次波長光柵偏光片”之技術。



[圖十三] 濺鍍疊合法製作之模仁 SEM 圖



[圖十四] 雷射刻板法製作之模仁 SEM 圖

計畫成果自評：

本年度計畫完成以”色序法取代彩色濾光片”及”次波長光柵偏光片取代傳統偏光板”之高效率背光模組架構。RGB-LED 色序法之實驗驗證與分析顯示，大幅提高背光模組之效率達三倍以上($8500\text{nits} / 2800\text{nits} > 3$)，其他效能之驗證結果亦優。而次波長光柵偏光片取代傳統偏光板之實驗，除了已驗證可提高偏光轉換效率 1.7 倍外，我們亦提出奈米壓印製作大尺寸次波長光柵偏光片之構想，並研發關鍵的奈米模仁技術，所研發的”濺鍍疊合法”已成功製作週期 100nm 之奈米模仁，而雷射刻板法也已達成週期 400nm 之奈米 PC 模仁。

第二年度的研究，整體而言，吾人之色序法效果乘以次波長光柵偏光片效果可提升背光模組之光效率達五倍以上($3 \times 1.7 = 5.1$)。在此同時，吾人除繼續研發奈米壓印製作大尺寸次波長光柵偏光片之技術外，使用色序法須搭配的快速反應液晶以及須深入考量的 Color breakup 問題(人眼對移動中物體之色彩敏感度低於顏色變化速度時，會有色彩混成效應) 也正在積極研究中。在 Color breakup 方面，目前本實驗室已架設實驗系統並正驗證解決之道。

本年度計畫以上具體成果已為後續研究建立了良好的基礎。

已發表之研討會論文

- (1) C.-H. Chen and H.-P. Shieh, “High Uniformity of Large Size Backlight System with Inclined LED Array,” International Display Manufacturing Conference (IDMC), pp. 407-409 (2005).
- (2) C.-H. Chen and H.-P. Shieh, “Inclined LED Array for Large-sized Backlight System,” Society for Information Display (SID), (2005).
- (3) W.-L. Yang, A.-C. Wei, and H.-P. Shieh, “Nanoimprint Lithography for Fabrication of Sub-wavelength Gratings,” OPT’05, (2005).
- (4) W.-L. Yang, A.-C. Wei, and H.-P. Shieh, “Combing Interferometry and Nanoimprint Technology in Sub-wavelength Grating Fabrication,” FPD Taiwan’06, (2006).

已獲得之獎項

由交大顯示所謝漢萍教授指導之研究團隊，2005 年以“高效率色序驅動法搭配次波長光柵偏光片之 LED 背光模組”的研究成果，獲得第一屆友達獎，為產學合作實作競賽的首獎。

此新穎的高效率整合型面板光源，整合了色序驅動法與次光長光柵偏光片以提升顯示器光效能、降低功率損耗來達成環保節能與降低成本的目標。

第一屆友達獎專題實作競賽首獎照片

