

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

結合先進製程技術，設計、製作高效能之微型光柵元件(2/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2215-E-009-022-

執行期間：93年08月01日至94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

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 5 月 18 日

前言：

半導體製作技術的進步催化了光電產業的發展，隨之而來的是光電產品不斷推陳出新，並且世代交替週期縮短。以顯示領域而言，五年前是真空映像管(CRT)的天下，但如今市面上遍布著液晶、電漿、有機發光二極體等架構的顯示器，已鮮見CRT的蹤跡。以液晶顯示器而言，除需半導體製程製作驅動電路(driving circuit)及佈局液晶畫素(LC pixels)外，尚需整合偏光板(polarizer)、彩色濾光片(color filter)等光學元件，以完成整個顯示架構。液晶顯示器面臨的影像亮度(brightness)、光效率(optical efficiencies)、影像品質(quality)與影像對比度(contrast)等問題，亦可望藉由光學元件加以改善。由此可知，光學元件製作技術在顯示科技中扮演著重要角色。

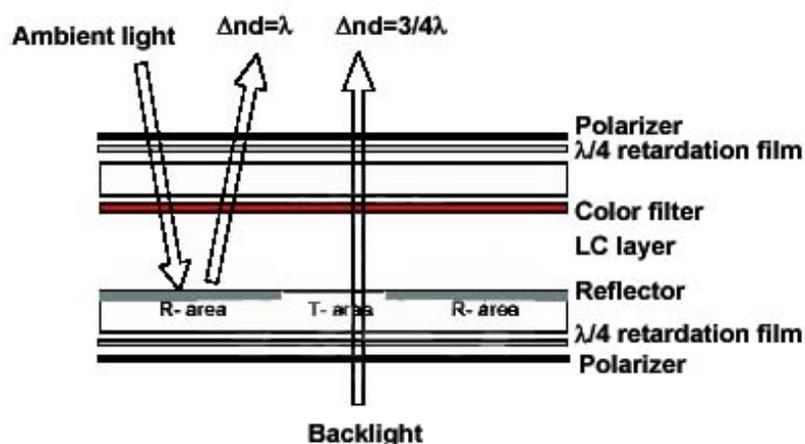
由於微型光學元件(micro-optical components)具有輕、薄、平面化、易製作與對位精準等優勢，未來可望取代傳統光學元件，成為光學元件的主流。而微型光學元件的平面化特徵，不僅適用於平面顯示器，亦適合做為光學系統晶片(optical system-on-chip, optical SOC)之平台，以將光學系統縮小並積體化。是故放眼國際，微型光學元件設計與製作的領先地位乃兵家必爭之地。

研究目的：

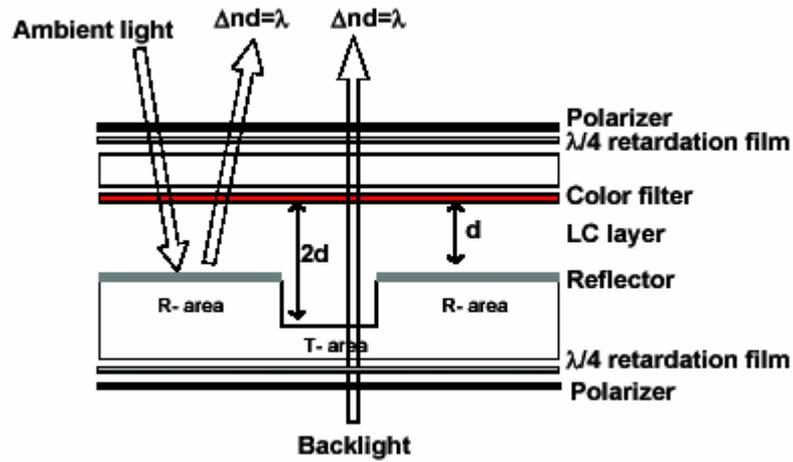
在各類微型光學元件中，本計畫著重微型光柵元件；並以透反式液晶顯示器(transflective liquid crystal display, TR-LCD)與平面光學系統(planar optics system)做為應用與驗證的平台，期望研究成果能對科研與產業有立竿見影的功績。

文獻討論：

傳統透反式液晶顯示器在架構上可分兩類：單液晶盒厚(single cell gap)與雙液晶盒厚(double cell gap)，如圖一、二所示¹。



圖一、單液晶盒厚透反式液晶顯示器架構示意圖



圖二、雙液晶盒厚透反式液晶顯示器架構示意圖

單液晶盒厚透反式液晶顯示器因反射模式與穿透模式的光線通過液晶之光程不同，造成穿透模式的光穿透率低於50%。雙液晶盒厚透反式液晶顯示器雖改善了通過液晶之光程問題，但卻造成光線通過液晶的盒厚不同（穿透模式的厚度是反射模式的兩倍），而導致反射模式與穿透模式的液晶反應時間差（different response time）。根據small angle approximation^{2,3}，液晶元件的上升 / 下降反應時間（rise / decay time） τ_{rise} 與 τ_{decay} 為：

$$\tau_{rise} = \frac{\gamma_1 d^2 / K\pi^2}{(V/V_{th})^2 - 1} \quad (1)$$

$$\tau_{decay} = \frac{\gamma_1 d^2 / K\pi^2}{|(V_b/V_{th})^2 - 1|} \quad (2)$$

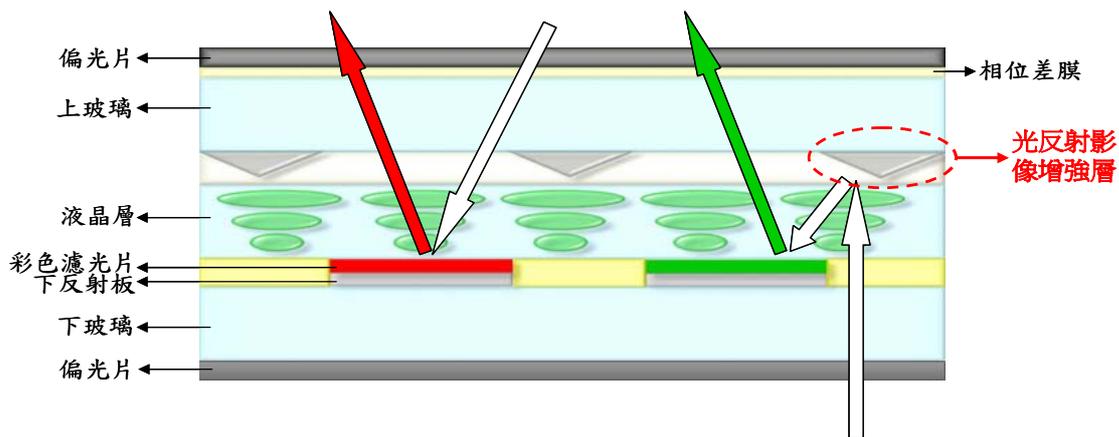
其中， d 是盒厚（cell gap）， γ_1 是旋轉黏滯係數（rotational viscosity）， K 是彈力係數（elastic constant）， V_{th} 、 V_b 、 V 分別是臨界電壓（threshold voltage）、偏壓（bias voltage）及操作電壓（applied voltage）。由(1)–(2)可知，反應時間正比於盒厚的平方。故穿透模式的反應時間是反射模式的四倍，將造成影像品質的退化。

此外，在雙液晶盒厚顯示器中，不同模式下光線通過彩色濾光片的次數也不同（反射模式為二次，穿透模式為一次）。根據Beer-Lambert Law^{4,5}（或稱Beer's Law）可知，彩色濾光片的光透率 T 與光通過彩色濾光片的路程 B 之關係：

$$T = e^{-a_\lambda \cdot B \cdot C} \quad (3)$$

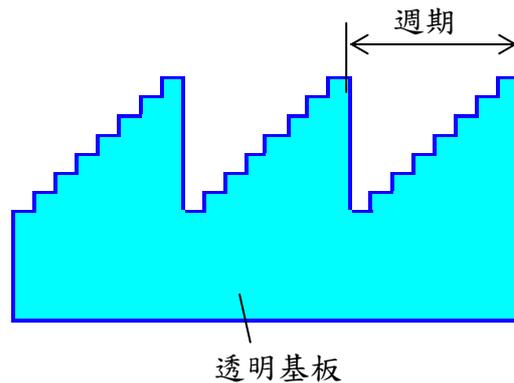
由上式可知，當反射模式光線通過彩色濾光片的光程是穿透模式的兩倍時，反射模式透過彩色濾光片的光透率是穿透模式的平方，以致兩種模式的色彩飽和度並不匹配。

為改善上述透反式液晶顯示器的缺點，我們運用微型光柵的設計與製作經驗，提出如圖三之光反射影像增強層 (image-enhanced reflector, IER)，不僅可使穿透模式與反射模式皆具高光學效率，且解決了液晶反應時間與色彩飽和度問題。



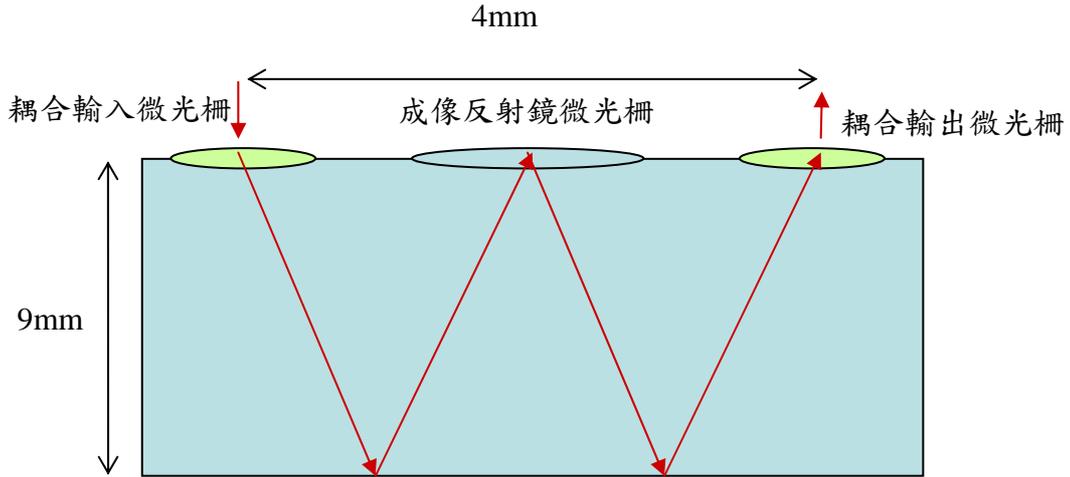
圖三、具光反射影像增強層之透反式液晶顯示器

在平面光學系統方面，微光柵元件係採用灰階式之繞射元件 (diffractive optical element, DOE) 設計。灰階式繞射元件的特徵在於表面輪廓為階梯狀，如圖四所示。



圖四、灰階式繞射元件示意圖

我們設計一成像系統來驗證平面光學系統，其架構如圖五所示。兩端的微光柵為輸入輸出耦合透鏡，中間的微光柵則是成像透鏡。為了配合平面光學的折返式傳播 (zig-zag propagation) 特性，中間的成像透鏡需修正為成像反射鏡。



圖五、平面光學系統設計

耦合透鏡與成像反射鏡的微光柵設計，可依據繞射透鏡的設計原理⁶，推導出第 m 階（order）繞射之第 l 灰階（level）所需光程 p_{ml} ，及其所對應的半徑 r_{ml} 和深度 d_l ：

$$p_{ml} = \frac{\lambda}{n_g} \cdot \left(\frac{l}{L} + m \right) \quad (4)$$

$$r_{ml} = \sqrt{2fp_{ml} + p_{ml}^2} \quad (5)$$

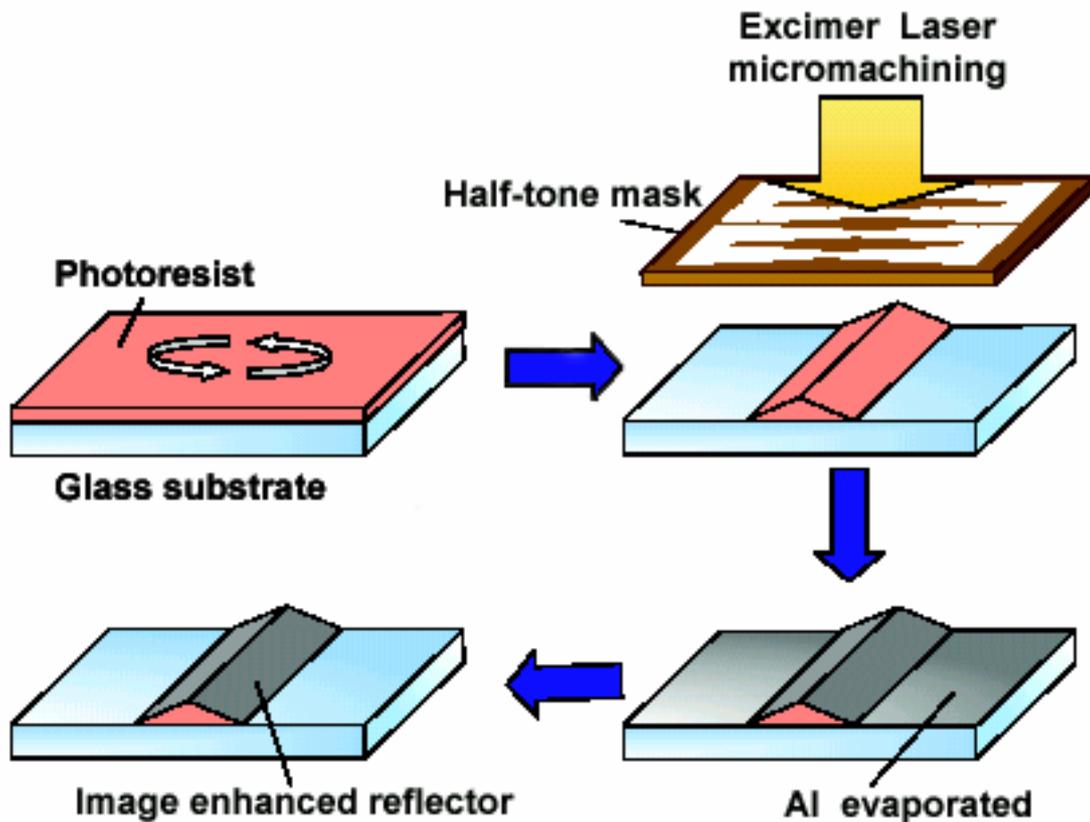
$$d_l = \begin{cases} \frac{l \cdot \lambda}{L(n_g - 1)} & \text{--- 透鏡} \\ \frac{l \cdot \lambda}{2L \cdot n_g} & \text{--- 反射鏡} \end{cases} \quad (6)$$

其中， λ 是入射光波長， n_g 是基板折射率， L 是總灰階數， f 則是該元件的焦距。由公式（4）-（6）可算出元件中各階繞射之各灰階對應的半徑（可換算出寬度）與深度，進而得出該元件的表面輪廓。

研究方法：

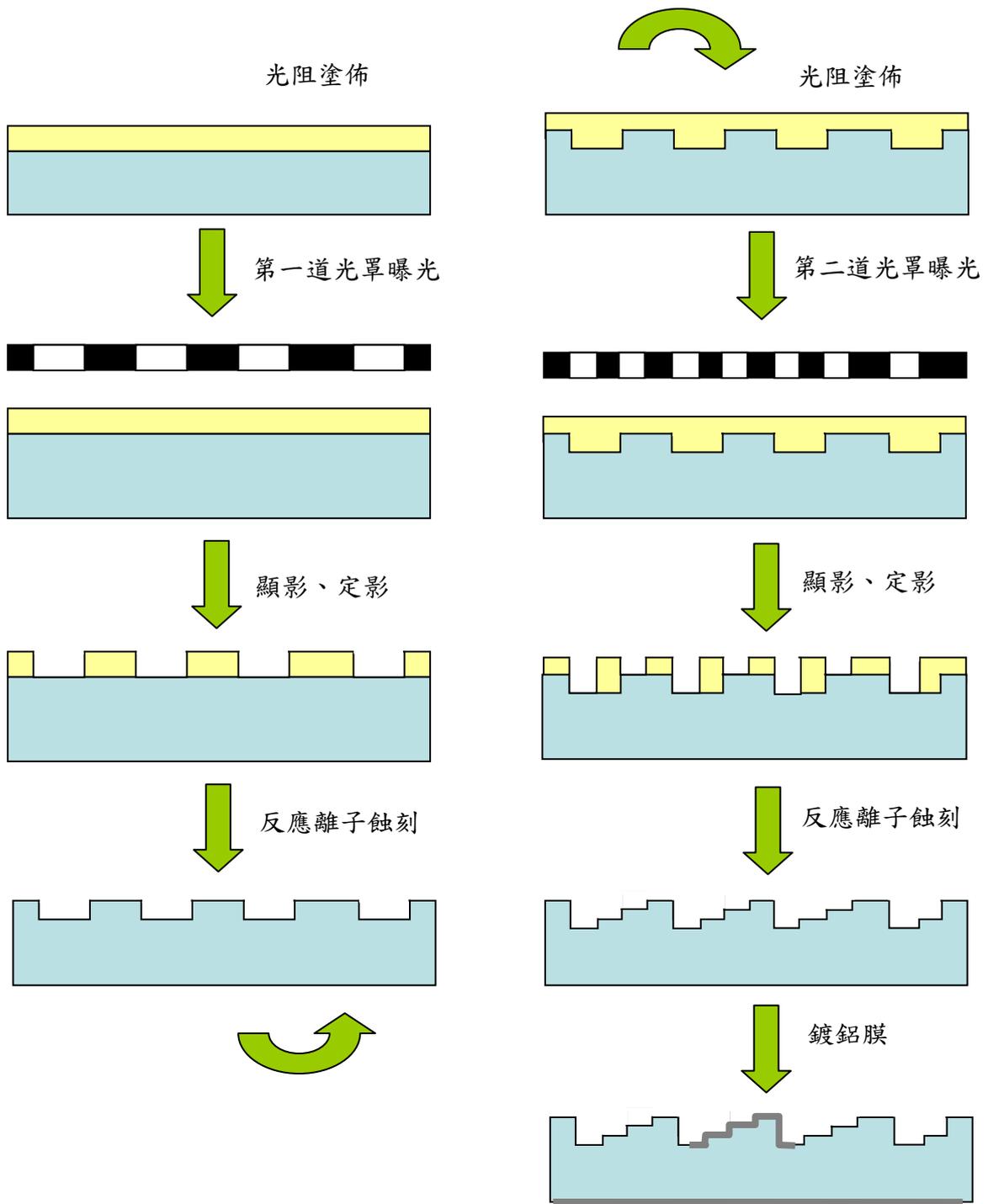
具光反射增強層的透反式液晶顯示器係建構在單液晶盒厚顯示器的架構下，因此無雙液晶盒厚顯示器的反應時間與色彩飽和度問題；且藉由光反射增強層的双稜鏡設計，可使穿透模式與反射模式的光程匹配，故可解決單液晶盒厚顯示器

穿透模式出光效率低的問題。為驗證光反射增強層的效能，我們採用準分子雷射製程製作該層，步驟如圖六所示。首先，在玻璃基板上塗佈光阻AZ4620，接著使用具半色調網點之光罩，以準分子雷射（Excimer laser）做為微型加工之光源，顯影、定影後可得到雙稜鏡之結構，再蒸鍍上鋁膜，最後以濕蝕刻（Wet-etching）去除雙稜鏡區域以外的鋁，具雙稜鏡結構的光反射增強層於焉完成。



圖六、光反射增強層之製作流程

平面光學系統則是針對波長850nm之輸入光，採用9mm厚之石英基板（其折射率為1.453），並使輸入輸出二耦合元件相距4mm，如圖五所示。耦合輸入透鏡至成像反射鏡之距離設為2mm，耦合輸出透鏡至成像反射鏡之距離亦2mm，且耦合輸入與輸出透鏡之焦距皆設為18mm。為了配合光纖輸入、輸出連接器（採用MT-connector）的機械尺寸，輸入、輸出平面必須距離耦合輸入、輸出透鏡0.7mm，故根據成像原理，成像反射鏡的焦距應為9.24mm。我們使用兩道光罩（總灰階數為4）進行製作，此時所需的最小線寬為1mm，製作流程如圖七。先將正光阻塗佈在石英基板上，採用黃光製程曝光第一道光罩，顯、定影後，採用反應離子蝕刻（reactive-ion etching, RIE），在石英基板上蝕刻出輪廓，再使用第二道光罩進行黃光製程及蝕刻，刻出所設計之輪廓，最後蒸鍍鋁膜，完成平面光學系統之製作。



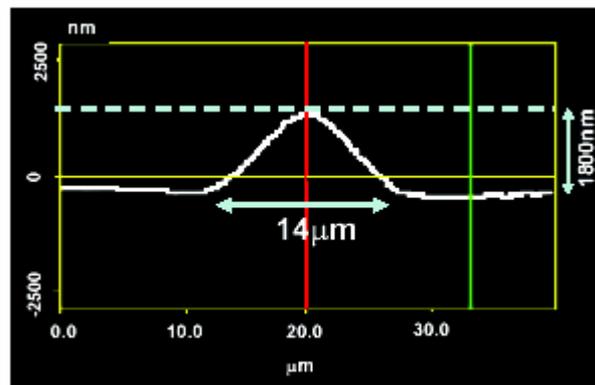
圖七、平面光學成像系統之製作流程

結果與討論：

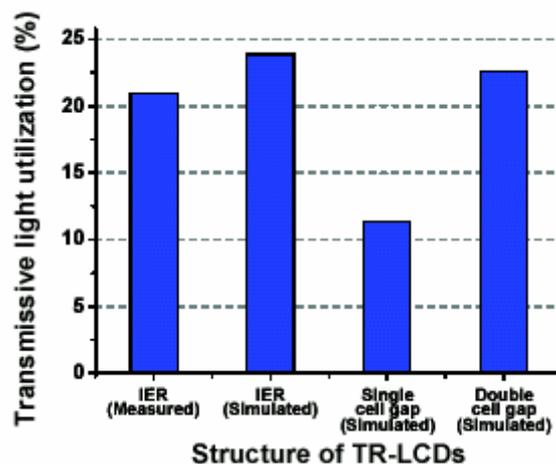
我們根據彩色透反式液晶顯示器尺寸設計了光反射增強層的結構，其關鍵參數如下：雙稜鏡的底角為15度，寬度為14 μm 。採用準分子雷射製程製作出樣品後，以原子力顯微鏡（Atomic Force Microscope, AFM）量測，以了解製作的品質，結果如圖八所示。由量測結果可看出製作之樣品符合設計。

接著以紅光雷射做為輸入光、光功率計接收輸出光，以驗證其出光效率；並以光學模擬軟體分析、比較具光反射增強層的透反式液晶顯示器與傳統透反式液晶顯示器，結果如圖九所示。由該結果可知，具光反射增強層的顯示器之出光效率近於雙液晶盒厚顯示器，並遠優於單液晶盒厚顯示器。

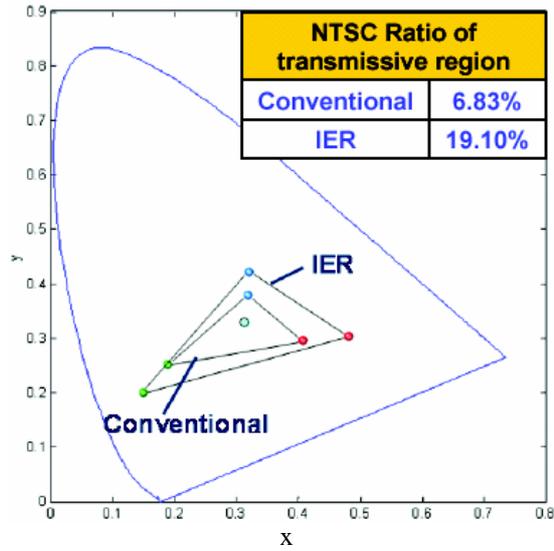
此外，採用CIE1931 xy色度系統計算本設計（具光反射增強層）與傳統設計之穿透模式的NTSC ratio，可得如圖十之色座標圖。結果顯示本設計可將NTSC ratio由傳統設計之6.83%提升至19.1%，故可大幅提升色彩飽和度。



圖八、光反射增強層的AFM量測結果

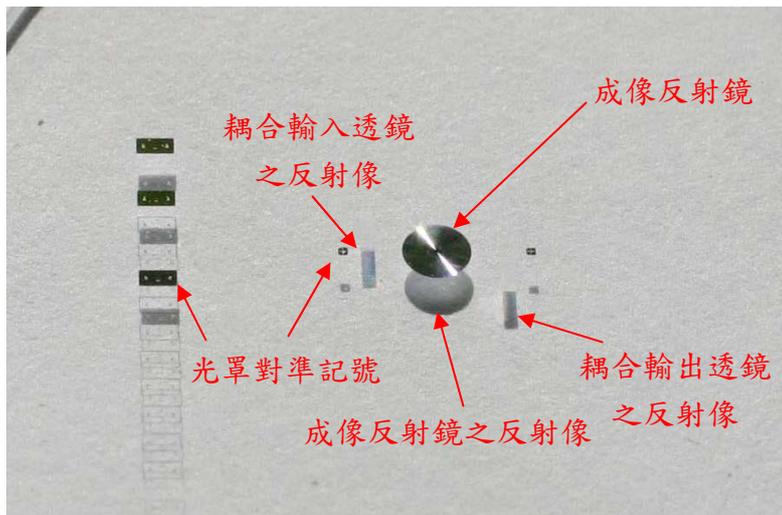


圖九、具光反射增強層的透反式液晶顯示器與傳統透反式液晶顯示器之比較



圖十、具光反射增強層與傳統透反式液晶顯示器的穿透模式CIE1931 xy色座標比較

平面光學系統的製作是經兩道光罩之黃光與蝕刻製程後，再鍍上鋁反射膜；成品的照片如圖十一所示。由圖可看出：中央為成像反射鏡，但因基板下表面是鋁反射膜，故還可見一較淡反射像。兩旁的耦合輸入、輸出元件，因是穿透元件，未鍍鋁膜，故照片上只見其被基板下反射面所反射出之較淡影像。



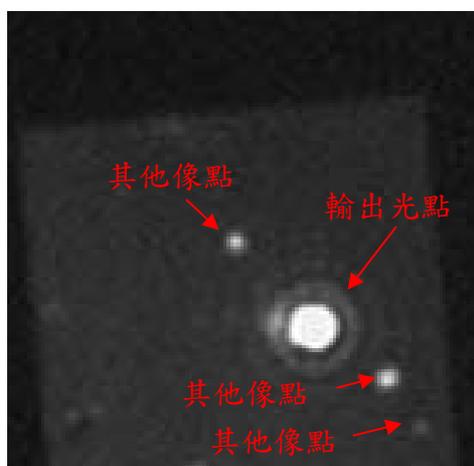
圖十一、平面光學成像系統成品

接著，以850nm的雷射做為輸入光源，CCD偵測器對輸出平面取像，取得的輸出像點如圖十二。由圖可看出，除了中央的輸出亮點外，還有其他像點，推測可能是因石英與空氣介面造成的反射像點，以及高階繞射光點。定義光效率為：輸出光功率除以輸入光功率；並使用光功率計量測輸出及輸入光功率。由量測結果所算出的光效率為5%。光效率偏低有以下數因：

- 1) 反射膜的材質 使用該製程之參數所製出的鋁反射膜，其反射率約為0.8，入射光經三次反射後，光效率只剩約50%。
- 2) 灰階式繞射元件 由於使用繞射元件，光線除了成像至原定的輸出光點外，還有部分會繞射至高階光，使得輸出光效率下降，且因我們採用兩道光罩（四個灰階）製作灰階形式的元件，以致單一灰階式繞射元件的輸出效率約81%⁷。故光經過三個繞射元件後，效率將下降50%。
- 3) 反射像點 根據Fresnel's equation，光線通過石英基板與空氣之介面時，除原定的穿透光外，也會產生反射光，其反射的比例受材料折射率、吸收率及光入射介面時的角度等因素影響。因此，當光線通過穿透元件時，將有部分損耗在介面反射，而使穿透率下降。這也是輸出平面會見到反射像點之因。

改善方式可採用高反射率的反射材質，如銀（其反射率可提升到0.98以上），則經過三次反射後光效率仍有94%。此外，因灰階式繞射元件的效率低，若能改用連續輪廓（continuous profile）之元件，亦可提升光效率；此時可採用鑽石加工等微加工製程，搭配光學塑膠（pmma）基板，以製作連續輪廓。

整體而言，以微光柵元件組成的平面光學成像系統已被驗證，但在實際應用時，光效率將有待進一步提升。



圖十二、偵測器在輸出端取得之像點

參考資料：

1. 黃乙白，「應用微型光學元件於提升攜帶式液晶顯示器之影像品質」，第五章，國立交通大學，博士論文，民國93年。
2. E. Jakeman, and E. P. Raynes, *Phys. Lett.* **A39**, pp. 69 (1972).
3. I. C. Khoo, and S. T. Wu, *Optics and Nonlinear Optics of Liquid Crystals*, World Scientific, Singapore (1993).
4. R. W. Robert, M. A. Ditzler, and L. P. Nestor, *J. Chem. Edu.* **71**, pp. 983 (1994).
5. Lykos, and Peter, *J. Chem. Edu.* **69**, p. 730 (1992).
6. S. Sinzinger and J. Jahns, “*Microoptics*”, Wiley-VCH, pp.135-136 & pp.151-155 (1999).
7. S. Sinzinger and J. Jahns, “*Microoptics*”, Wiley-VCH, pp.148-150 (1999)

相關著作列表：

[學生論文]

1. 黃乙白，「應用微型光學元件於提升攜帶式液晶顯示器之影像品質」，國立交通大學，博士論文，民國93年。
2. 蘇睦仁，「設計與製作具光反射影像增強層之新型透反式液晶顯示器」，國立交通大學，碩士論文，民國92年。

[國際期刊]

1. Y.P. Huang, X. Zhu, H. Ren, Q. Hong, T. X. Wu, S.T. Wu, M.Z. Su, M.X. Chan, S.H. Lin, and H.P.D. Shieh, “Full-Color Transflective Cholesteric LCD with Image-Enhanced Reflector”, *J. of the Society for Information Display*, **12**, pp. 417-422 (2004).

[國際會議]

1. Y.P. Huang, X. Zhu, H. Ren, Q. Hong, T. X. Wu, S.T. Wu, M.Z. Su, M.X. Chan, S.H. Lin, and H.P.D. Shieh, “Full-Color Transflective Ch-LCD with Image-Enhanced Reflector”, Society for Information Display 2004 (SID'04), pp. 882~885.
2. Y.P. Huang, M.Z. Su, S.T. Wu, and H.P.D. Shieh, “A Single Cell-Gap Transflective Color TFT-LCD by using Image-Enhanced Reflector”, Society for Information Display 2003 (SID'03), pp.86~89.
3. H.P. D. Shieh, Y.P. Huang, M.J. Su, S.T. Wu, “Micro Optical Components for Enhancing the Image Quality of Transflective LCDs”, Lasers & Electro-Optics Society 2003 (LEOS2003), Paper number: Th-DD4.
4. Y.P. Huang, M.J. Su, S.T. Wu, and H.P. D. Shieh, “A Single Cell-Gap Transflective Color TFT-LCD by using Image-Enhanced Reflector”, Society for Information

Display 2003 (SID'03), pp.86~89.

5. Y.P. Huang, M.J. Su, S.T. Wu, and H.P. D. Shieh, "Random Grating Light Control Film and Image-Enhancement Reflector for High Quality Transflective color TFT-LCDs" International Display Manufacturing Conference 2003 (IDMC'03), pp.219~222.
6. Y.P. Huang, S.T. Wu, and H.P. D. Shieh, "High Performance Transflective Color TFT-LCDs by Using Random Grating Light Control Film and Image-Enhancement Layer" The 22th International Display Research Conference (IDRC'02) pp.867~870.

[國內期刊]

1. Y.P. Huang, M.J. Su, S.T. Wu, and H.P. D. Shieh, "High Image Quality Transflective TFT-LCDs by using Image Enhanced Reflector and Random Grating Light Control Film" Taiwan Display Conference 2004 (TDC2004) pp.244~247.
2. M.X. Chan, Y.P. Huang, M.J. Su, S.T. Wu, and H.P. D. Shieh, "High Performance Full-Color Transflective Ch-LCD with Image-Enhanced Reflector" Taiwan Display Conference 2004 (TDC2004) pp.224~227.
3. Y.P. Huang, M.J. Su, S.T. Wu, and H.P. D. Shieh, "Image Quality Enhancing of Transflective LCDs by Using Micro-optical Components" Optics and Photonics Taiwan'03 (OPT'03) Vol. 1. pp.325~327.
4. Y.S. Yang, Y.P. Huang, M.J. Su, H.P. D. Shieh, and S.T. Wu, "Transflective LCDs with Image Enhanced Reflector Fabricated by Excimer Laser Micromachining with Half-tine Mask" Optics and Photonics Taiwan'03 (OPT'03) Vol. 2. pp.519~521.