

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

結合先進製程技術，設計、製作高效能之微型光柵元件(3/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2215-E-009-003-

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

計畫參與人員：韋安琪、葉耀中、楊柏儒、林洸宏、李仕龍

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 16 日

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

結合先進製程技術，設計、製作高效能之微型光柵元件

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 94-2215-E-009-003

執行期間：94年8月1日至95年7月31日

計畫主持人：謝漢萍教授

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：國立交通大學光電工程學系

中華民國 95 年 8 月 29 日

## 計畫中文摘要

關鍵字: 微型光學元件、微光柵、準分子雷射加工、灰階光罩、顯示、平面微光學

本計畫發展應用於顯示及平面微光學系統的微光柵元件。首先建立微光柵元件之模型，針對應用上的需求，設計各種創新之微光柵，並結合先進製程技術以製作之。製作微光柵結構的方法，除了採用傳統半導體曝光、顯影、蝕刻等製程外，也將結合準分子雷射微加工、灰階光罩等先進技術，製作表面更連續之微光柵結構，以形成符合應用需求之微光柵元件。

本計畫針對顯示領域共計研發：1) 無序光柵光控制膜，以提升視角範圍內的影像亮度與均勻度；2) 光反射影像增強層，以提升光利用效率。而在平面光學系統方面，吾人設計：1) 耦合式成像系統，可積體化光學系統所需之光學元件；2) 高效率反射器，以提升平面光學系統的出光效率。

## **Abstract**

**Keywords: micro-optical components, micro-grating, excimer laser micro-machining, gray-scale mask, display, SOC**

We developed various micro-grating devices aiming at the applications to display and optical SOC. First, we analyzed, designed and fabricated novel types of micro-gratings based on the advanced fabrication technology. We utilized conventional lithography and etching technologies to make the structure of micro-gratings. Additionally, we applied advanced techniques such as gray-scale mask and excimer laser micro-machining for more continuous surfaces and rigid profiles to form micro-grating devices.

For display, we have developed: 1) random grating light control film/reflector to improve the image brightness and uniformity for reflective color LCDs and 2) image-enhanced reflector (IER) to improve the transmissive image on transmissive LCDs. For optical SOC, which is planar optics in this project, we have made 1) in /out-coupling planar imaging-system to demonstrate the function of integrating optical elements, and 2) high efficient reflector by composite metal coating to improve the light efficiency of planar optics.

## 目錄

一、前言	1
二、研究目的	1
三、文獻探討	1
四、研究方法	7
五、結果與討論	12
六、參考文獻	19
七、計畫成果自評	20
附錄	21

## 一、前言

隨著光電科技的日新月異，各式各樣的通訊產品與影音媒體不斷推陳出新，且世代交替週期縮短。其中，光電顯示領域更是日新月異。尤其是，液晶顯示器(Liquid Crystal Display)近年發展出多樣的架構，可滿足不同領域的應用需求，諸如手提電腦(NoteBook)、手機、平面電視、3D 立體顯示螢幕等等。然而這些架構也面臨許多考驗，例如影像亮度(brightness)、系統效率(efficiency)、影像品質(image quality)、與影像對比度(contrast)等。因此，國內外研究團隊正積極開發新型的光學元件與系統設計以提升上述顯示品質。

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，其平面化特徵，正適用於平面顯示器，以改善顯示品質。不僅如此，微型光學技術亦適合建構光學系統晶片(optical system-on-chip, optical SOC)領域中的平面光學系統(planar optics system)，而可將光學系統縮小並積體化。在微光學元件中，微光柵元件具有分光、導光等諸多功能；因此，本研究基於微光柵元件，並以液晶顯示器與平面光學系統作為應用與驗證平台，進行設計、製作、與驗證。

## 二、研究目的

本計畫結合先進製程技術製作微光柵元件，並以液晶顯示器與平面光學系統做為應用平台，除設計並製作出具應用價值的微光柵元件外，也期能累積微光柵設計能力及其製程經驗。

本計劃三年之研究，係將微光柵元件之應用分為兩大項，一是用於液晶顯示器，另一則用在平面光學系統。在液晶顯示器方面，吾人設計了：1) 無序光柵光控制膜，以提升視角範圍內的影像亮度與均勻度；2) 光反射影像增強層，以提升光利用效率。在平面光學系統方面，吾人設計：1) 耦合式成像系統，可積體化光通訊(optical communication)、光連接(optical connector)時所需的光學元件；2) 高效率反射器，以改善平面光學系統的光效率問題。因此，以下之文獻探討、研究方法及結果討論將依上述設計，分項論述。

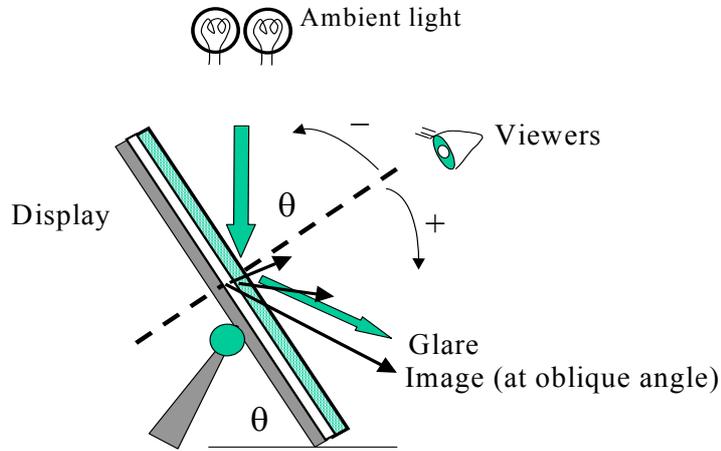
## 三、文獻探討

### 3.1 微光柵元件應用於液晶顯示器

#### 3.1.1 無序光柵光控制膜

直視型透反式液晶顯示器(transflective liquid crystal display, TR-LCD)在強環境光下，可去除了背光照明模組來減少耗電，並改為利用液晶顯示器底部的反射面來反射環境光。當環境光斜向入射於直視型透反式液晶顯示器時，反射光也會分

佈在相對應的斜向反射角區域。由於觀察者通常處在正向觀察角度，故常觀察不到足夠光線，造成觀察者感受到的亮度與對比度明顯不足，如圖一所示。同時由顯示器表面反射所產生的表面反射光 (glare) 會和經調變的最強影像反射光重疊，亦造成影像對比度降低。



圖一、反射式液晶顯示器在一般斜向照明下的光分佈

為了改善直視型透反式液晶顯示器的影像品質，新的光學元件與系統設計不斷被發展出來。其中包括全像反射板(HR：Holographic reflector)、表面凸塊反射板(RSF：Rough surface of reflector)、傾斜式微凸塊反射板(MSR：Micro slant reflector)、表面散射薄膜(FSF：Front scattering film)、全像光控制膜(H-LCF：holographic light control film)、以及非對稱微透鏡陣列光控制薄膜 (AMA-LCF：asymmetrical microlens array light control film)，此六種結構均可提升直視型反射式/透反式液晶顯示器之影像品質，但也有其缺點，下表一列出此六種結構之功能與優缺點，以供比較：

表一、數種提升影像品質之結構的功能及優缺點比較

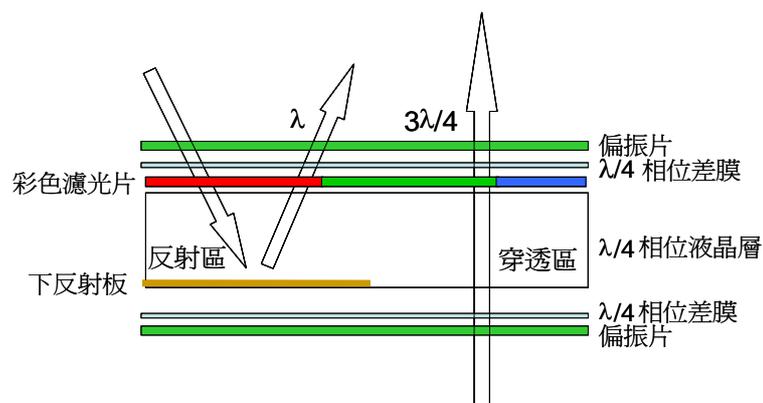
	結構特性	光學原理	製程難易度	價格	亮度	均勻度	視角	優點	缺點
HR	底部反射板	集光型	難	極高	高	中等	中等	高亮度	不易製作 高價格
RSR	底部反射板	散光型	難	極高	中等	極高	寬	高均勻度 廣視角	不易製作 高價格
MSR	底部反射板	集光型	難	極高	極高	中等	中等	高亮度	不易製作 高價格
FSF	表面薄膜	散光型	極易	極低	低	低	窄	低價格 易製作	低亮度 窄視角
H-LCF	表面薄膜	集光型	易	高	高	中等	窄	高亮度 易製作	窄視角
AMA-LCF	表面薄膜	集光型	易	低	高	中等	窄	易製作 低價格 高亮度	窄視角

由表一中，可以看出反射板元件製作於液晶盒底部時，均有不易製作與高價格的缺點，而表面薄膜形式的元件其製作都比較容易，但是若以光學原理的型式來看，集光型元件由於將光集中於某一特定角度內，因此其亮度較高但是視角較窄，而散光型的則是將光線均勻的散至許多角度，因而其均勻度較高、視角較廣，但亮度則偏低。由於外在環境的入射光之能量固定，當未加上任何”自發光元件”時，反射光的強度也就會固定，因此若要使反射光均勻的分佈於較廣的視角，其亮度必會減低；而若將反射光線集中於某特定角度以提升其亮度時，視角必會變窄，這都是必然的物理現象。因此我們提出無序光柵光控制薄膜/反射板(Random Grating Light Control Film/Reflector)來控制反射光的光分佈角度，使其原先會散至橫向（左右）視角的光線集中至縱向（上下）視角內，並利用設計過的不同光柵寬度調變縱向（上下）反射光分佈，使其達到在縱向有效視角內有高亮度、廣視角且高均勻度的反射光分佈。

### 3.1.2 光反射影像增強層

透反式液晶顯示器一般為單液晶盒厚結構(Single cell gap)，反射區域中，如圖二所示，光線通過液晶層兩次並造成 $\lambda/2$ 的相位差，使反射光效率在亮態時可達到最高的100%穿透率；然而，在穿透區域的光線卻只通過液晶層一次，因此只造成了 $\lambda/4$ 的相位差，使得穿透區域的光效率僅有反射區域的一半左右，造成使用者在觀看時產生亮度不均的現象，且有色彩飽和度差異的問題。

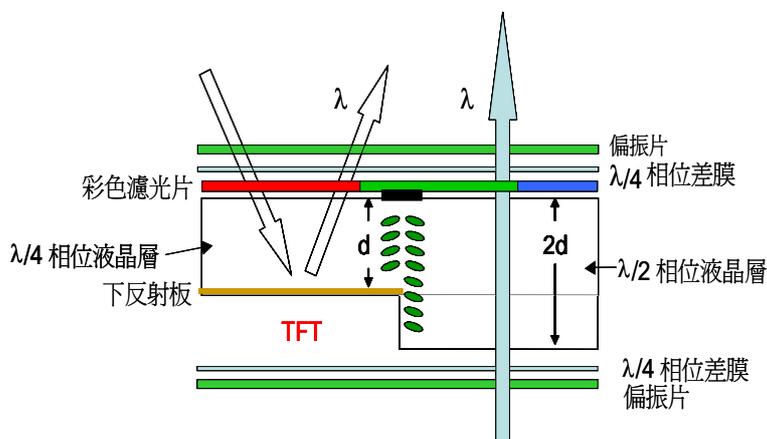
同時傳統上製作微型光學元件的方法是利用二元光罩以步階的方式達成微型光學元件的製作。若要提高光學元件之光效率，只能增加光罩的數量，以較高的位階數達到較佳的光效率。以二元式閃耀式光柵(Blazed grating)為例：理論上，使用一到光罩只能產生二階的變化，其光效率只有40.5%左右。若使用四道光罩則可製造出十六階的變化，其光效率也提升至99%。然而，十六階的Blazed grating需要四道二元光罩及四次獨立的曝光顯影製程。



圖二、單液晶盒厚透反式液晶顯示器基本結構示意圖

這樣的製作方式大幅提昇製程複雜性，況且每道光罩圖案必須要精確地對準，製程中多次圖形的對準實為製程困難之處，若任一道光罩對準有誤差，則所製造出來的元件將會偏離原先的設計，而使其效率大幅的降低，造成良率劣化、成本提昇。所以我們在此藉由漸變式光罩(又稱為灰階光罩)的技術，既能減少曝光顯影的步驟，又能提升微型光學元件之高光學效率的新穎技術，來研發與製作微光學元件，進而運用在液晶顯示器中來提升影像的品質。

至於一般單液晶盒厚之缺點可藉由雙液晶盒厚結構(Double cell gap)加以改善，如圖三所示，反射區域液晶層的間距為  $d$ ，穿透區域液晶層的間距為  $2d$ ，其目的為使光在穿透區與反射區域的光程差會相同，藉以改善單液晶盒厚結構產生亮度不均的缺點，如此一來反射區域與穿透區域有相同的光效率。由於此結構有兩種不同的液晶盒厚，其反射與穿透區域的反應時間將與盒厚的平方成正比而呈現出不同的反應時間，另外在兩個區域交界處液晶將呈現出非連續的現象，而導致暗態時會產生漏光的現象，因此便需要在此交界處鍍上一黑色矩陣(Black matrix)以避免漏光，如此一來，不但增加製程的繁雜，更減少了液晶畫素的開口率，也降低了其整體的光效率。另外由其光路徑我們可以發現，反射區域的光線會通過彩色濾光片兩次，而穿透區域僅通過一次，而造成兩種顯示影像的色彩飽和度不同，嚴重影響其影像品質。基於上述缺點，我們設計出光反射影像增強層(image-enhanced reflector)來提升單液晶盒厚透反式液晶顯示器之穿透區影像品質，使顯示器中的穿透與反射影像均具有高光使用效率、高對比度、相同反應時間與匹配之色彩飽和度，使透反式液晶顯示器的使用範圍與市場潛力更為廣大。



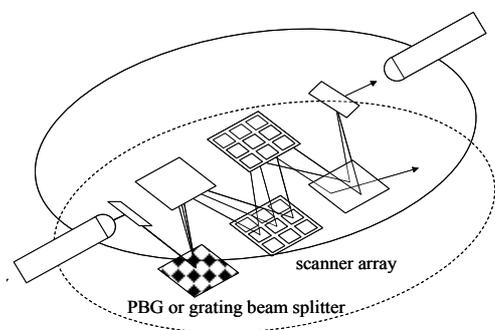
圖三、雙液晶盒厚透反式液晶顯示器基本結構示意圖

### 3.2 微光柵元件應用於平面光學系統

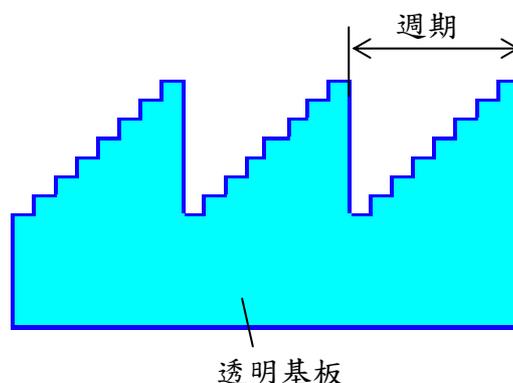
#### 3.2.1 耦合式成像系統

平面光學系統是將微光學元件設計於基材(substrate)的上下表面，光線以折疊式行進(folding or zigzag)於自由空間(free-space)中，如圖四所示。由於在一系統中，

最基本的是輸入與輸出元件，因此，吾人以耦合輸入及耦合輸出微光柵元件之設計出發，使其具備偏折光線與聚焦功能。該微光柵元件將採用灰階式之繞射元件 (diffractive optical element, DOE) 設計，其特徵在於：所需的表面輪廓(如斜面、曲面)可以灰階式近似之，如圖五所示。

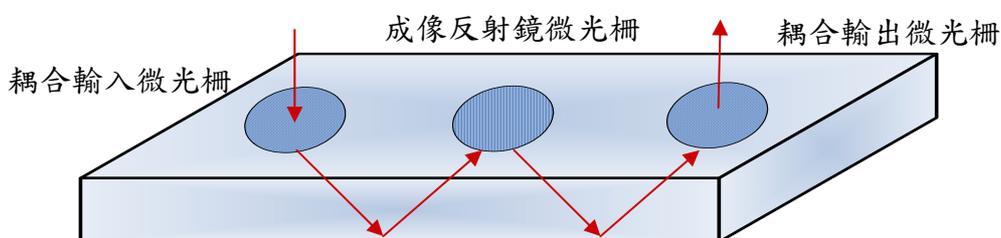


圖四、平面光學系統架構圖



圖五、灰階式繞射元件示意圖

接著，我們將以成像系統來驗證平面光學系統，其架構如圖六所示。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疊式傳播特性，中間的成像透鏡需修正為成像反射鏡。



圖六、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<sup>1</sup>，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  $d_l$ ：

$$p_{ml} = \frac{\lambda}{n_g} \cdot \left( \frac{l}{L} + m \right) \quad (1)$$

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

$$d_i = \begin{cases} \frac{l \cdot \lambda}{L(n_g - 1)} & \text{--- 透鏡} \\ \frac{l \cdot \lambda}{2L \cdot n_g} & \text{--- 反射鏡} \end{cases} \quad (3)$$

其中， $\lambda$ 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(1) - (3)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。

### 3.2.2 高效率反射器

平面光學系統雖有元件積體化之優勢，但其出光效率問題仍待解決。造成出光效率不高之原因可分為兩大類，一是繞射光柵元件之繞射效率會受製程之灰階數影響，階數愈少，效率愈低；另一則是反射元件(reflector 反射器)之反射率問題，當反射率小於0.8時，經10個反射面後，其出光效率就降至約11%，因此反射率是平面光學系統之一關鍵問題。

平面光學的折疊式行進係侷限於基板內，其原理不外乎全反射(total internal reflection)或鍍反射膜(reflective coatings)。當採用全反射法時，入射角必須大於全反射角，因此除了所需之幾何空間較長外，像差問題亦較嚴重。故此，平面光學系統一般不用全反射架構而採用鍍反射膜方式。鍍反射膜的技術中，雖鍍多層介電膜(dielectric film)可有近乎100%的反射率，但因其所需製程條件嚴格，膜厚容忍度低，故在平面光學系統中的反射元件，多半採用較易實現之鍍金屬膜方式來製作。簡言之，平面光學系統之反射器需具備下列條件：

1.) 高反射率。一般而言，在一平面光學系統所需之反射次數大於十次，因此，反射器之反射率高低將嚴重影響該平面光學系統的出光效率。

2) 材料及製程之匹配。材料上，該金屬反射器必須與基板匹配，兩者間須有足夠之鍵結力；而鍍金屬膜之製程必須配合微影製程以進行微結構之圖形化(patterning)，也需匹配後續製程(如高溫連結 bonding)之條件。

3) 高穩定度。須具備足夠的環境容忍度以防脫落、腐蝕或磨損。

為設計滿足上述需求之平面光學高效率反射器，吾人與德國 Hagen FernUni Prof. J. Jahns 的實驗室合作，設計、製作並量測新型高效率銀鋁合金反射器，以提升出光效率。

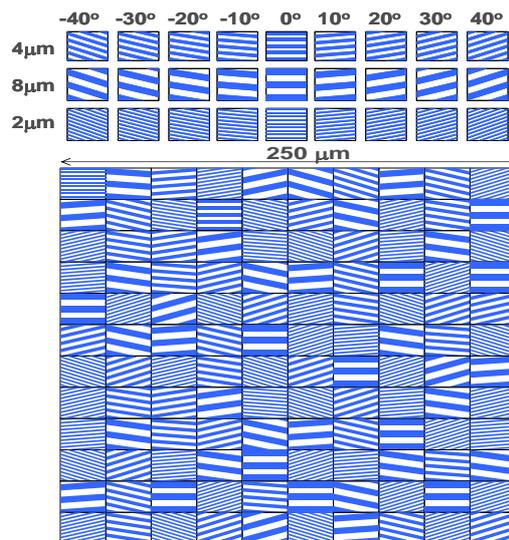
## 四、研究方法

### 4.1 微光柵元件應用於液晶顯示器

#### 4.1.1 無序光柵光控制膜

此無序光柵的結構主要功能是針對不同入射角度（包括縱向與橫向角度）的入射光進行光控制調變，使得最後直視型反射式/透反式面板的反射光可有效的被集中於縱向（上下）視角內並均勻的分佈，造成反射影像在縱向的有效視角內可達到高亮度、高均勻度、廣視角及高對比度等高品質視覺效果。

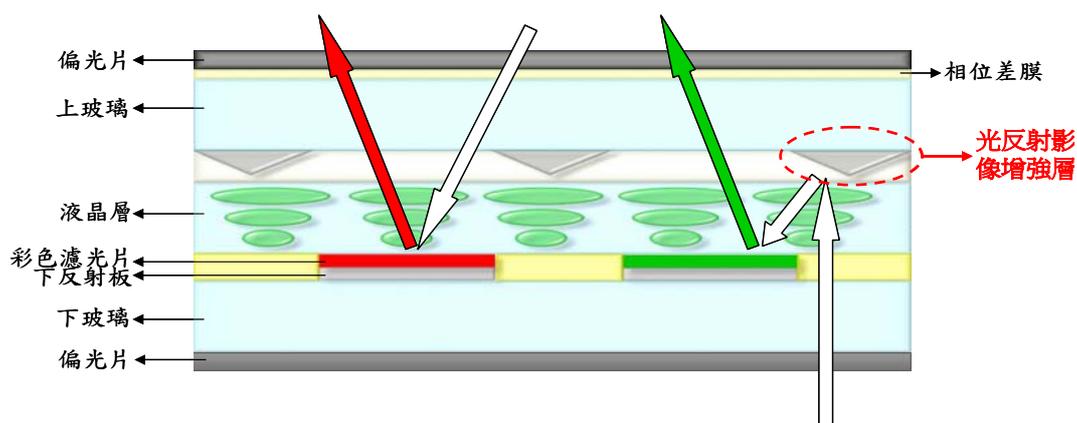
要達到上述的效果，首先利用不同的光柵旋轉角度，將不同角度入射的外在環境光偏折集中至近乎正向的反射角度，再經由適當的設計不同的光柵寬度改變反射光在縱向的分佈角度，使縱向（上下）視角內的反射光強度均勻分佈。在此我們設計中，設計此光柵有不同的週期寬度從 2 至 8  $\mu\text{m}$ ，光柵旋轉角度分別從 $-40^\circ$ 至 $+40^\circ$ 同時以  $10^\circ$  為旋轉週期，此外，每個光柵的大小為  $25 \times 25 \mu\text{m}^2$ ，如圖七所示。並且以無序的排列方式安排在一個畫素中，以消除因週期性結構所產生雲彩花紋（Moiré）的條紋與色散(Color dispersion)的現象。同時將此設計的結構以半導體微影蝕刻的製程製作於矽基板（父模）上，再利用電鑄翻模的方式將圖形結構翻至鍍板（母模）上，接著將母模圖樣利用熱壓或是 UV 翻模的作法翻壓至塑膠薄膜上，最後在塑膠基板上圖佈上一層低折射率( $n \sim 1.4$ )的表面保護層便完成了無序光柵光控制薄膜的製作。



圖七、無序光柵光控制模

### 4.1.2 光反射影像增強層

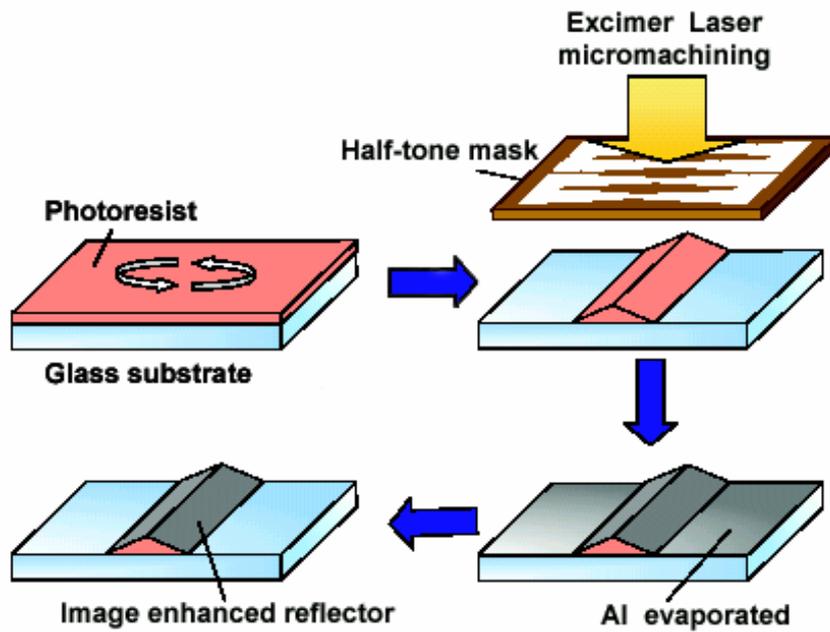
光反射影像增強層是在透反式液晶顯示器當中加入雙稜鏡(biprism)形狀的反射光學結構，如圖八所示，此結構可將原本穿透區域的光線反射至反射區域，並在設計時將液晶層設計成為具有引入 $\lambda/4$  相位差的厚度，如此一來，經稜鏡斜面反射後的原穿透區域光線便與入射至反射區域的外在環境光具有相同的特性，因此設計此一透反式液晶顯示器時，只需對反射式的區域進行最佳化，而穿透區域也可同時達到最佳的設計。另外，針對不同的使用需求，可以設計不同的光反射影像增強層，例如不同的仰角或是不同的寬度，以期達到最好的反射效果。



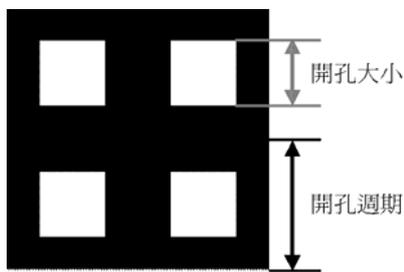
圖八、具光反射影像增強層之透反式液晶顯示器

此種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雙稜鏡設計，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，步驟如圖九所示。首先，在玻璃基板上塗佈光阻 AZ4620，接著使用具半色調網點之灰階光罩，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。

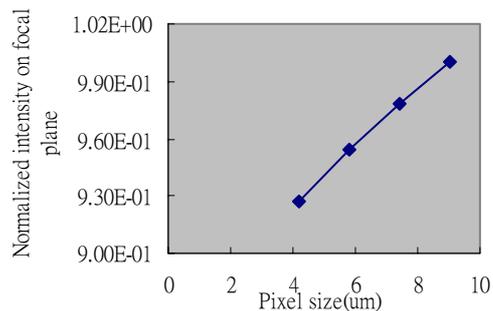
同時，在灰階光罩設計上，為了造成光罩上開口率的變化來產生曝光的灰階度，我們在光罩上開透光的方形網點，如圖十所示。因此我們可以定義出網點結構之開孔大小與開孔週期，並藉由改變開孔大小或週期，便能造成開口率的變化。為了簡化光罩設計上的困難度，在此我們採用網點密度調變來產生曝光強度上的灰階度，同時，我們也發現曝光強度隨著開孔大小的增加而增加，其關係是線性的，如圖十一所示，這結果表示蝕刻深度與開孔大小之間的關係亦是線性的。我們便可利用此特性來設計與製作出微型光學元件。



圖九、光反射增強層之製作流程



圖十、光罩設計

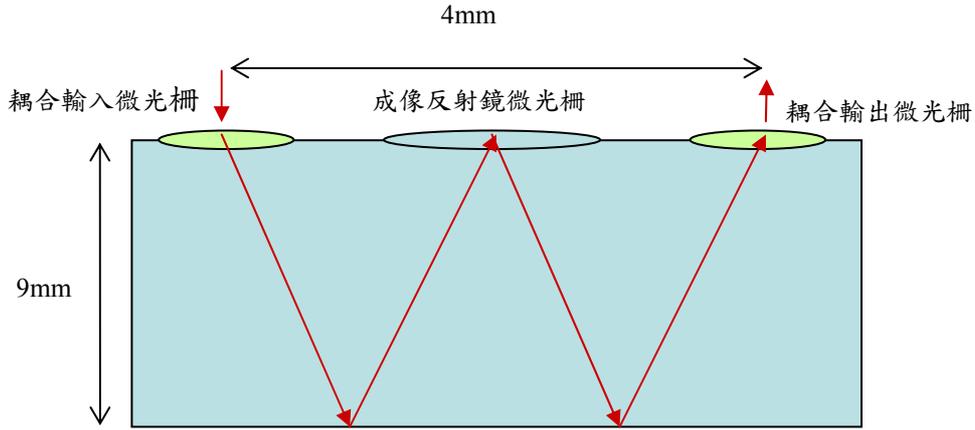


圖十一、曝光強度與開孔大小之間的關係

## 4.2 微光柵元件應用於平面光學系統

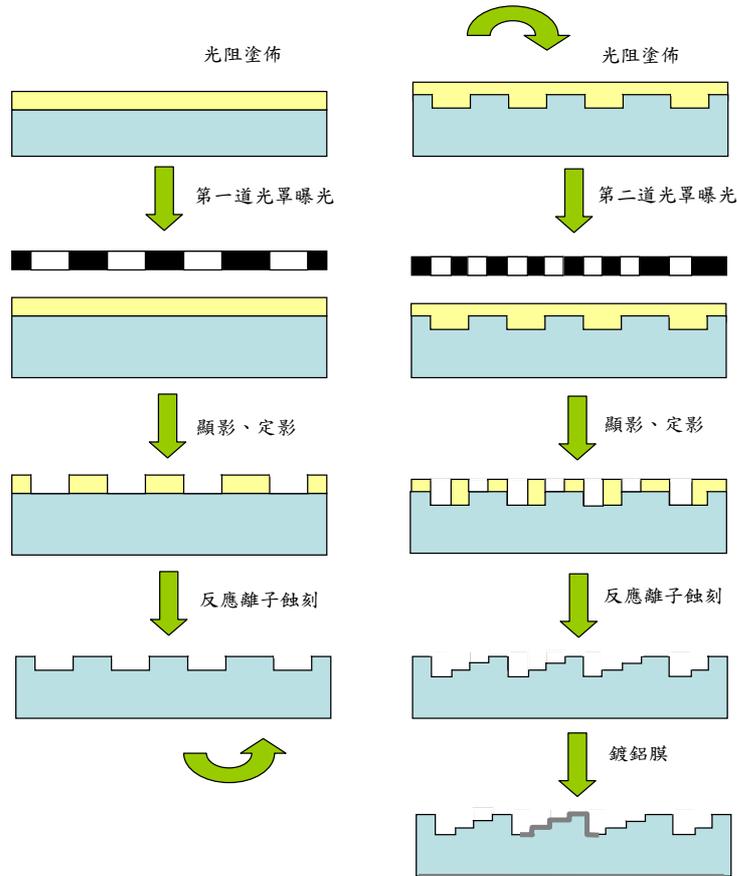
### 4.2.1 耦合式成像系統

平面光學耦合成像系統則是針對波長 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，如圖十二所示。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。



圖十二、耦合成像系統設計

我們使用兩道光罩（總灰階數為 4）進行製作輪廓製作，製程上所用的最小線寬為  $1\mu\text{m}$ ，製作流程如圖十三。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），於石英基板上蝕刻出輪廓，在去光阻後，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，接著，去除光阻並用第三光罩進行微影以蒸鍍鋁膜，最後去除光阻，完成平面光學系統之製作。



圖十三、平面光學成像系統之製作流程

## 4.2.2 高效率反射器

當採用金屬鍍膜方式來實現平面光學反射器時，其反射率可由 Fresnel formulas 計算：

$$R = \frac{(n_0 - n_1)^2 + k_1^2}{(n_0 + n_1)^2 + k_1^2} \quad (4)$$

其中， $n_0$  為基板折射率(假設基板不吸收:  $k_0 = 0$ )， $n_1$  及  $k_1$  為金屬折射率( $n_1 - ik_1$ )。此外，光線通過介電基板與金屬之介面時所引起之相位偏差  $\varphi$  亦與材料之折射率相關：

$$\tan \varphi = \frac{2n_0k_1}{n_0^2 - n_1^2 - k_1^2} \quad (5)$$

由於材料的  $n$ 、 $k$  值是波長的函數，故反射率及相位偏差亦然。根據公式 (4) 及 (5)，考慮波長 850nm 且基板為石英，則常用金屬之反射率、相位偏差、附著力與化學穩定度之比較如表二。

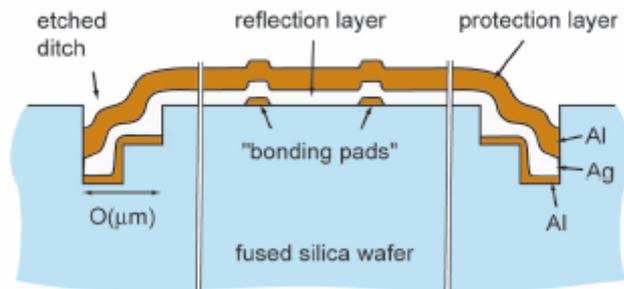
表二、常用金屬薄膜特性比較表

Property		Al	Ag	Au	Cu	Ti
Metal-SiO <sub>2</sub>	$R^a$	0.8099	0.9841	0.9829	0.9506	0.5068
	$\varphi^a$	21.34	27.96	32.61	30.90	25.72
Metal-Air	$R$	0.8627	0.9887	0.9877	0.9645	0.6202
	$\varphi$	14.71	19.39	22.70	21.47	17.53
Adherence <sup>b</sup>		+	-	-	0	+
Chemical stability <sup>b</sup>		+	-	+	0	+

<sup>a</sup>The values for  $R$  and  $\varphi$  (in degrees) are calculated with Eqs. (4) and (5) using the bulk material parameters from Ref. 2 and  $n=1.453$  and  $n=1$  for SiO<sub>2</sub> and air, respectively. <sup>b</sup>The plus, zero, or minus ratings for adherence and chemical stability are based on Refs. 3 and 4.

表二亦列上金屬與空氣介面之特性以供對照。由該表可看出，在該波長及基板條件下，銀的反射率最高，但附著力與穩定度差，而鋁的反射率雖不高，卻有良好之附著力與穩定度。因此，本研究提出新式銀鋁合金鍍膜搭配適當結構，不僅可提高反射率，亦可使附著力與穩定度提升。

新式銀鋁合金鍍膜之結構如圖十四。首先，利用隨機分佈的鋁作為鍵結點 (bonding pads)，以提高金屬膜與基板間的鍵結，再鍍上銀，作為主要反射器，接著再鍍上一層鋁保護層，以防止銀腐蝕。為了防止金屬膜脫落，亦設計壕溝(ditch)使最上層之鋁保護層可與基板接觸，以利用鋁與基板的高附著力穩固金屬膜。此外，在壕溝底部亦鍍上鋁，以增加金屬膜在壕溝區域與基板的附著力。



圖十四、新式銀鋁合金鍍膜之結構

新設計的反射率與銀鋁的面積比相關，可由下式推估：

$$R = R_{Al} \cdot \frac{A_{Al}}{A_{tot}} + R_{Ag} \cdot \frac{A_{Ag}}{A_{tot}} \quad (6)$$

其中、 $A_{Al}$ 、 $A_{Ag}$ 、 $A_{tot}$  分別為鋁、銀面積與總面積。根據公式(6)，不同銀鋁面積比的合金金屬膜之反射率比較如表三，由該表可知，當鋁的面積低於總面積之 2%時，反射率可維持在 98%以上。

表三、不同銀鋁面積混成的反射率

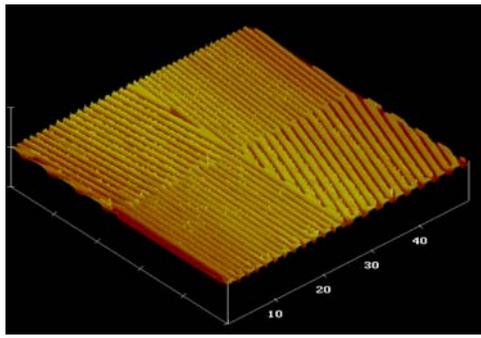
$A_{Al} / A_{tot}$	0.01	0.02	0.04
R	0.9823	0.9805	0.9771

## 五、結果與討論（含結論與建議）

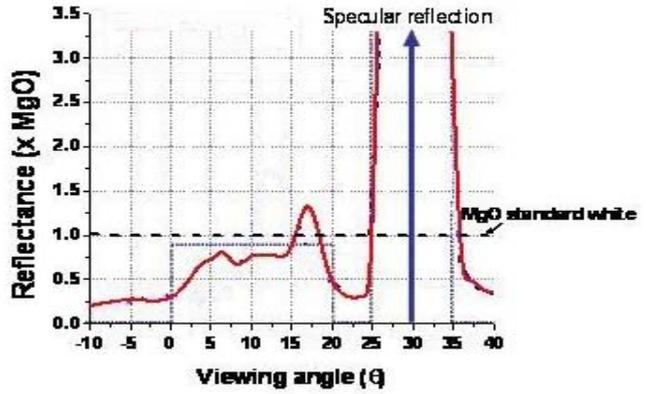
### 5.1 微光柵元件應用於液晶顯示器

#### 5.1.1 無序光柵光控制膜

我們由 AFM 以 3D 方式來觀察無序光柵光控制膜，如圖十五(a)所示。同時，我們將此結構運用在透反式液晶顯示器中。由圖十五(b)可知，實線為貼附有無序光柵光控制薄膜的反射式面板。由於入射光為 $-30^\circ$ 入射，因此在 $+30^\circ$ 的附近會有一極強的鏡面反射光分佈。使用無序光柵光控制薄膜的反射式面板之反射光分佈如該的實線所示，反射光的分佈頗為均勻，尤其是在縱向（上下）視角  $0^\circ \sim 20^\circ$  內的反射光強度均可維持在 0.8 倍的氧化鎂，反射率與一般的紙張並無多大的差異。由圖中也不難發現，使用無序光柵光控制薄膜的反射式面板，在使用者觀賞畫面時並不會看到鏡面反射光，而可以大幅增加其對比度，進而提升整體的影像品質。



(a)



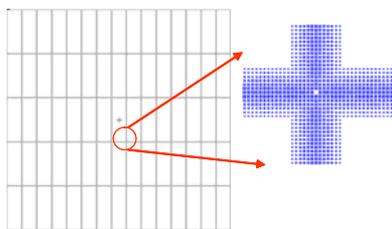
(b)

圖十五、(a)用 AFM 來觀察無序光柵光控制膜之 3D 結構圖 (b)在透反式液晶顯示器貼附無序光柵光控制膜的反射光曲線分布

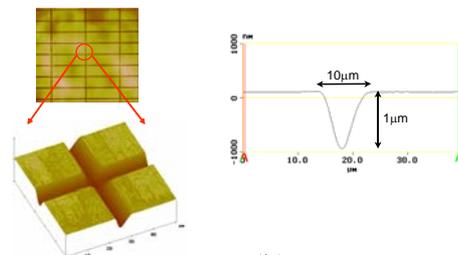
綜合以上所言，使用無序光柵控制薄膜的反射面板確實可以在有效視角  $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$  內的反射光強度維持在 0.8 倍的氧化鎂，同時提供較為均勻的反射輪廓，並且藉由無序的排列方式亦可消除雲彩花紋與色散現象。此外，在製作上可利用半導體微影蝕刻的製程，可大量生產，以降低成本。

### 5.1.2 光反射影像增強層

所設計新型的透反式液晶顯示器的架構，是在反射式液晶顯示器的上玻璃表面製作出棋盤格分佈的雙稜鏡結構，並鍍 Al，且讓底面的反射層填補率(Fill Factor)小於 1，以利背光模組的使用。當外在光源很亮時，背光模組將關閉，外在光源將通過無雙稜鏡結構的區域，經液晶調變後，由反射板反射出來顯示影像，而當在暗室時，光模組將打開，光源被雙稜鏡的斜面反射後，再藉由反射板的反射顯示影像，值得注意的是，在這過程中光通過了彩色濾光片兩次，而非一般穿透式液晶顯示器中的一次，故所提出的架構能大幅提昇顯示的色彩飽和度。在初期實驗中，我們設計一光罩如圖十六(a)所示，以製作寬為  $10\mu\text{m}$  高為  $1\mu\text{m}$  之雙稜鏡。經過準分子雷射加工後，其結果如圖十六(b)，製作出的元件十分符合原先的設計。



(a)



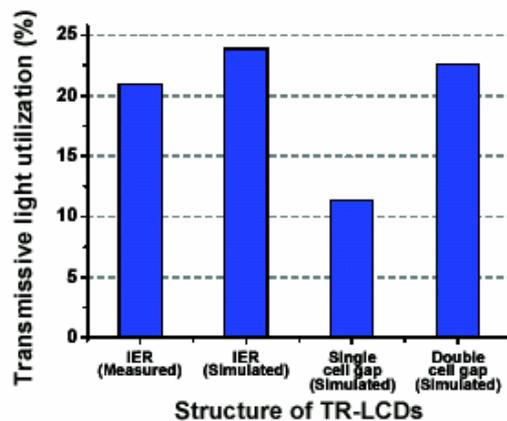
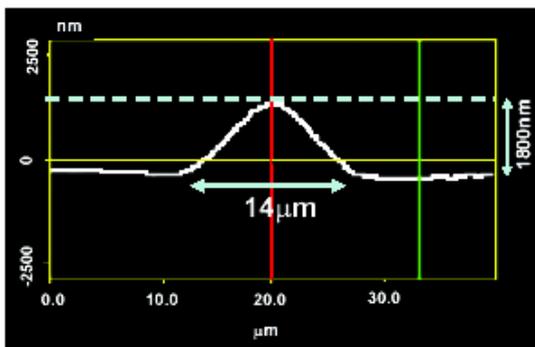
(b)

圖十六、(a)用於透反式液晶顯示器之雙稜鏡光罩的設計 (b)製作之雙稜鏡在透反式液晶顯示器之應用

接著，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 $\mu\text{m}$ 。採用準分子雷射及灰階光罩製程製作出樣品後，以原子力顯微鏡 (Atomic Force Microscope, AFM) 量測，以了解製作的品質，結果如圖十七所示。由量測結果可看出製作之樣品符合設計。

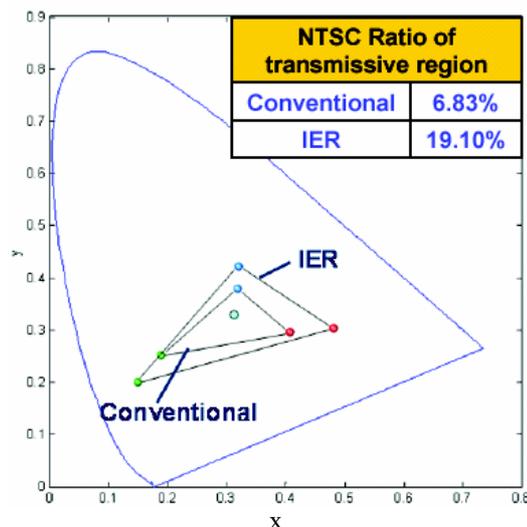
然後，以紅光雷射做為輸入光、光功率計接收輸出光，以驗證其出光效率；並以光學模擬軟體分析、比較具光反射增強層的透反式液晶顯示器與傳統透反式液晶顯示器，結果如圖十八所示。由該結果可知，具光反射增強層的顯示器之出光效率近於雙液晶盒厚顯示器，並遠優於單液晶盒厚顯示器。

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，可得如圖十九之色座標圖。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。



圖十七、光反射增強層的AFM量測結果

圖十八、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

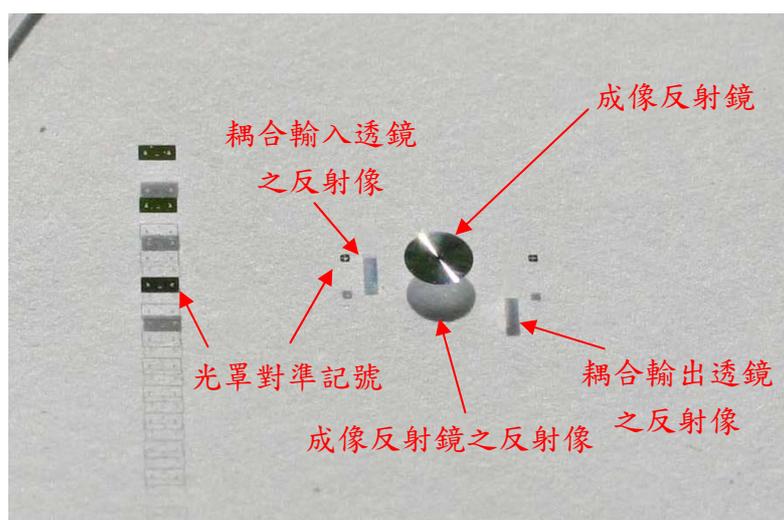


圖十九、具光反射增強層與傳統透反式液晶顯示器的穿透模式CIE1931色座標比較

## 5.2 微光柵元件應用於平面光學系統

### 5.2.1 耦合式成像系統

平面光學耦合式成像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；成品的照片如圖二十所示。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。



圖二十、平面光學成像系統成品

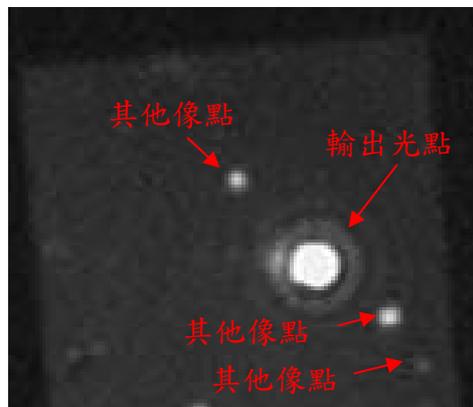
接著，以 850nm 的雷射做為輸入光源，CCD 偵測器對輸出平面取像，取得的輸出像點如圖二十一。由圖可看出，除了中央的輸出亮點外，還有其他像點，推測可能是因石英與空氣介面造成的反射像點，以及高階繞射光點。定義光效率為：輸出光功率除以輸入光功率；並使用光功率計量測輸出及輸入光功率。由量測結果所算出的光效率為 5%。光效率偏低有以下數因：

- 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%<sup>5</sup>。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。

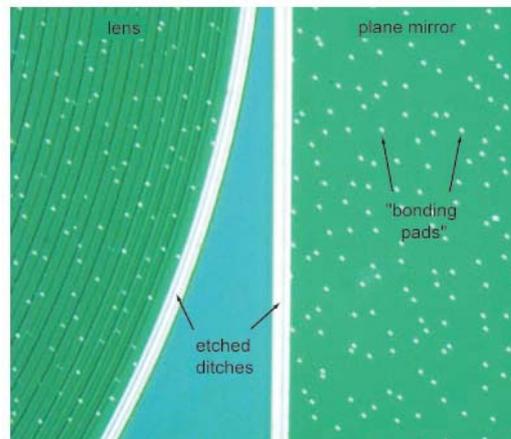
整體而言，以微光柵元件組成的平面光學成像系統已被驗證，此系統可用作光通訊之光連接器，但在實際應用時，光效率將有待進一步提升。



圖二十一、偵測器在輸出端取得之像點

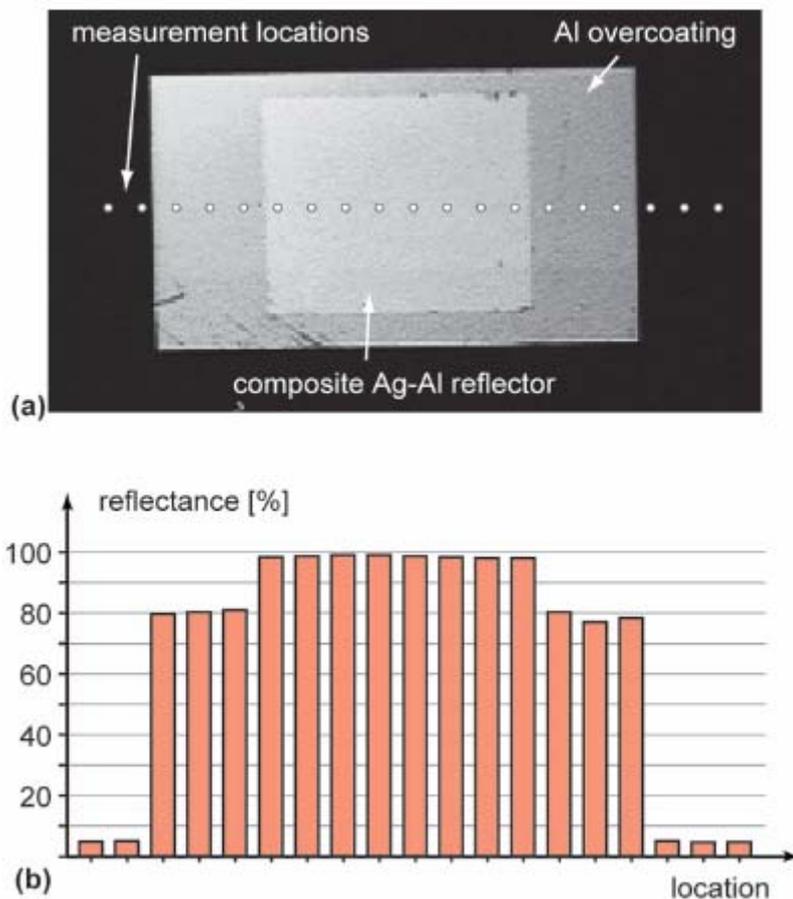
## 5.2.2 高效率反射器

為提升平面光學校率而設計之高效率銀鋁合金反射器係以反射式繞射透鏡 (reflective type of diffractive lens) 與平面鏡 (plane mirror) 兩種元件進行實驗。製作過程中，所佈的隨機鋁鍵結點如圖二十二，在元件周圍亦都有壕溝。



圖二十二、元件上所佈之鋁鍵結點及其外圍壕溝

接著進行反射率量測，因平面鏡元件量測反射率較易，故在此以平面鏡元件為反射率量測例。巨觀的平面鏡元件如圖二十三(a)，中央為銀鋁合金反射器( $A_{Al} / A_{tot} = 0.01$ )並覆上鋁保護層，外側則單純為鋁保護層。量測時，光線由石英基板射向合金反射器(故，入射光不經鋁保護層)，量測點如圖二十三(a)所標示，各點所量測到的反射率如圖二十三(b)。結果顯示，中央之銀鋁合金反射器之反射率為0.980，外側單純鋁之反射率為0.807。此結果與預測值相近；因此，新型銀鋁合金反射器達到高反射率之目標。該元件在常溫常壓下經過兩年靜置後，其銀鋁合金反射器反射率為0.978，純鋁之反射率為0.806，顯然鋁保護層發揮功能，使銀未受環境影響而腐蝕。而對附著力之檢測，該銀鋁合金反射器可承受超音波震盪10秒，但在相同製程環境下所製作的純銀膜卻完全剝落；由此可知，銀鋁合金反射器可大幅強化反射器與基板之附著力。至於不同銀鋁面積比之反射器，量測所得的反射率雖與預測值略不同，但其趨勢仍符合預測。



圖二十三、銀鋁合金反射器之反射率量測 (a)量測點分佈圖(b)對應之量測結果

## 5.3 結論與建議

綜上所述，本計畫在微光柵元件之研究結果可整理如下：

### (I) 液晶顯示器方面

#### (1) 無序光柵光控制膜

具備無序光柵控制薄膜的反射面板確實可使於有效視角  $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$  內的反射光強度維持在 0.8 倍的氧化鎂，同時提供較為均勻的反射輪廓，並且藉由無序的排列方式亦可消除雲彩花紋與色散現象。此外，在製作上可利用半導體微影蝕刻的製程，可大量生產，以降低成本。

#### (2) 光反射影像增強層

採用灰階光罩及準分子製程製作光反射影像增強層之微結構。實驗結果驗證：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；並且，此新設計可將 NTSC ratio 由傳統設計之 6.83% 提升至 19.1%，故大幅提升了色彩飽和度。

### (II) 平面光學系統方面

#### (1) 耦合式成像系統

具備耦合輸入、輸出元件以及成像元件之平面光學系統已製作完成並經量測，該系統驗證了平面光學系統積體化光學元件之功能。但出光效率不高之問題仍待突破。

#### (2) 高效率反射器

為了提升平面光學系統的出光效率，高效率銀鋁合金反射器於焉產生（此部分係與德國實驗室合作）。此新型反射器之反射率可達到 0.98 並與基板有良好附著力，且不易脫落或腐蝕。

近年來顯示領域蓬勃發展，而顯示器設計能力與製程關鍵技術多半掌握在國外大廠，因此，本研究所伴隨的微光學設計及先進製程能力之價值就更顯重要。此外，研究過程中，吾人深感與國外研究團隊交流之必要性，因如此方可提升研究視野。並且，學術研究常會面臨資源不足的窘境，因此期待有更多的產、官、學合作以及資源分享，如此不僅可提高研究效率，也可激盪出更多火花，而有更豐富的研究成果可分享於社會。

## 六、参考文献

1. S. Sinzinger and J. Jahns, "Microoptics", Wiley-VCH, pp.135-136 & pp.151-155 (1999).
2. L. I. Maissel and R. Glang, "Handbook of Thin Film Technology" (McGraw-Hill, 1983).
3. J. D. Rancourt, "Optical Thin Films: User Handbook" (SPIE Optical Engineering Press, 1996).
4. M. A. Ordal, L. L. Long, R. J. Bell, S. E. Bell, R. R. Bell, R. W. Alexander, Jr., and C. A. Ward, "Optical properties of the metals Al, Co, Cu, Au, Fe, Pb, Ni, Pd, Pt, Ag, Ti, and W in the infrared and far infrared," Appl. Opt. 22, 1099–1119 (1983).
5. S. Sinzinger and J. Jahns, "Microoptics", Wiley-VCH, pp.148-150 (1999)

## 七、計畫成果自評

回顧原計畫期望:參與人員獲得微光柵元件的理論基礎、設計經驗及製作技術，同時可應用於各種微光學元件、光電元件、半導體元件以及微光機電系統、顯示元件、光通訊元件等的製作。由上述研究成果可知，在本計畫的無序光柵光控制膜、光反射影像增強層、耦合式成像系統及高效率反射器等微光學元件研究過程中，研究人員除了基於微光柵理論以設計元件外，亦已累積了製程技術經驗；且前兩項微光學元件適用於光電顯示領域，後兩項元件可應用於光電通訊領域，亦即印證其於應用端之可行性。因此吾人認為：本計畫研究成果與原計畫方向相符。

接著，進一步比較計畫預定目標與實際達成情況，吾人列表如下：

計畫預定目標	達成預期目標情況
1. 建構完整微光柵元件理論模型*	✓
2. 建立微光柵元件設計模擬與製作分析的方法與技術	✓
3. 研發透反式液晶顯示器的微光柵光線控制膜層	✓
4. 研發平面光學之耦合光柵元件	✓
5. 建立灰階光罩搭配準分子雷射微加工之製程技術	✓

\*由於可見光通過微光柵結構的行為所牽涉之繞射理論，已有光學模擬軟體可計算並分析，因此吾人將研究重心置於微光柵元件之應用、設計與製程。

本計畫歷經三年之研究，除了在微光柵元件之設計、製作上累積豐足經驗外，在液晶顯示器及平面光學系統兩大主軸之應用研究上，亦多所斬獲。此研究過程中所產出之學術期刊發表等，如附錄所列。

整體而言，本計畫已達成目標。而為求國人顯示、通訊領域之光學設計及製作實力超越國際水準，帶來更多應用價值，微光學元件之研究仍深具研發價值。

## 附錄

---

### 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, J.J. Chen, F.J. Ko, and H.P.D. Shieh, “Multidirectional asymmetrical microlens array light control film for improved image in reflective color liquid crystal displays”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **41**, pp. 646-651 (2004).
2. 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).
3. M. Gruber, T. Seiler and A.C. Wei, “High-reflectance composite metal coatings for planar-integrated free-space optics”, *Appl. Opt.*, **45**, pp. 662-667 (2006).
4. H.P. D. Shieh, Y.P. Huang, and K.W. Chien, *Journal of Display Technology*, **1**, pp.62-76 (2005) (Invited Paper)

#### [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.

#### **[榮譽]**

1. Y.P. Huang, F.J Ko, and H.P. D. Shieh, " High-brightness reflective-color STN-LCD using a Multi-Directional Asymmetrical Microlens Arrays", SID 2001 Best Student Paper Award
2. Y.P. Huang, X.Y. Zhu, H.W. Ren, Q. Hong, T. X. H. Wu, S.T. Wu, S.H. Lin, H.P.D. Shieh, " Full-color Transflective Cholesteric LCD with Image-Enhanced Reflector", SID 2004 Distinguished Student Paper Award
3. Yi-Pai Huang, Gold Award in Information Technology, Acer Dragon Award, Ph.D. thesis, Nov. 2005, Sponsored by Acer Foundation