

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(1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2215-E-009-053-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學光電工程研究所

計畫主持人：謝漢萍

計畫參與人員：韋安琪，黃乙白，倪靖琮，李其致，陳予潔

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 24 日

前言：

隨著多媒體資訊與網際網路時代的來臨，各式各樣的通訊設備與影音媒體不斷出現，影像與資訊的交流益形迅速。各種新型顯示影像文字的顯示技術相應被開發出來，以滿足不同領域的應用需求。為了達到如此多樣性的應用需求，液晶顯示系統發展出多樣的架構與面貌，但是對於不同的應用，這些顯示架構也面臨了許許多多的問題。諸如影像亮度(brightness)、系統效率 (efficiency)、影像品質 (image quality)、與影像對比度 (contrast) 等問題。為了改善這些問題，使得顯示器能被更廣泛且成功地應用在不同的領域，新的光學元件與系統設計不斷被發展出來。

同時，微型光學元件 (Microoptical Components) 具有輕、薄、平面化與易於設計與製造等優點，成為相當重要的光學應用技術，對於顯示元件的影像品質與性能提升有極大的幫助。因此我們在此積極發展微型光學元件的設計技術，並開發更有效且經濟的製作技術，來設計許多新的微光學元件，以提升顯示器的影像品質，不僅有助於我國在微型光學元件的設計與製作技術的提升，更使國內顯示產業能有更多技術發展的方向，在國際間更有競爭力。

此外，隨著製作微光學元件的技術發展，將多個微光學元件集合成為單一光學系統晶片的概念已是時勢所趨。而平面光學正是一種在自由空間光學 (free-space optics) 架構下，將光學系統縮小及積體化的方式，其不僅適合做為光學系統晶片的平台，亦可應用於光連接(optical interconnection)。在國外的前瞻研究計畫中，平面光學正被用來做為光電訊號轉換之介面 (如: HOLMS High Speed Opto-Electronic Memory Systems)。因此，我們不僅從元件角度研發微光柵元件，且更進一步思考光學系統架構，並積極研究平面光學系統，期我國能在下一世代之科研與產業中居於領先地位。

研究目的：

直視型透反式液晶顯示器在強環境光下，去除了背光照明模組來減少耗電，而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分佈區域。對於觀察者經常處在正向觀察角度而言，卻常是觀察不到足夠光線，造成在正向方向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，造成影像對比度降低。

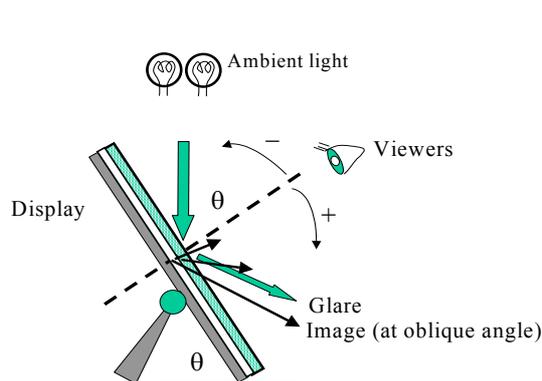
除此之外，透反式液晶顯示器一般為單液晶盒厚結構(Single cell gap)，反射區域中，如圖二所示，光線通過液晶層兩次並造成 $\lambda/2$ 的相位差，使反射光效率在亮態時可達到最高的 100% 穿透率；然而，在穿透區域的光線卻只通過液晶層一次，因此只造成了 $\lambda/4$ 的相位差，使得穿透區域的光效率僅有反射區域的一半左右，造成使用者在觀看時產生亮度不均的現象，且有色彩飽和度差異的問題。

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

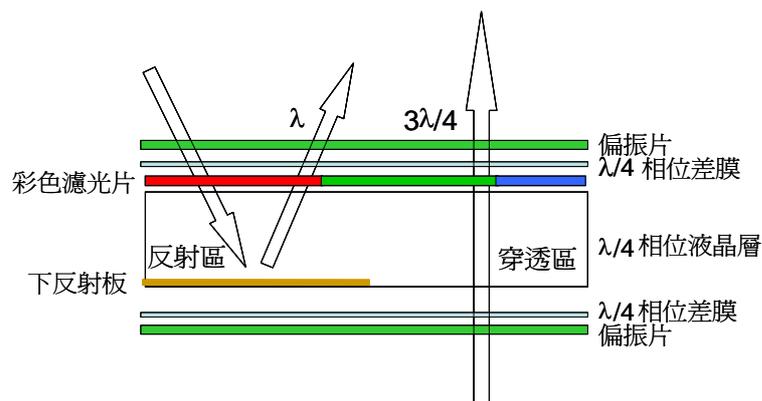
的位階數達到較佳的光效率。以二元式閃耀式光柵 (Blazed grating) 為例：理論上，使用一到光罩只能產生二階的變化，其光效率只有 40.5% 左右。若使用四道光罩則可製造出十六階的變化，其光效率也提升至 99%。然而，十六階的 Blazed grating 需要四道二元光罩及四次獨立的曝光顯影製程。

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，如果任意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。

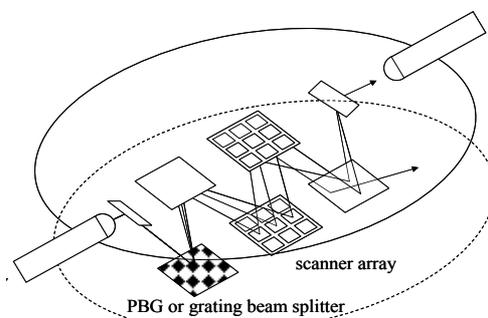
在平面光學系統方面，我們首先從設計平面光學微光柵元件出發。平面光學系統是將微光學元件設計於基材(substrate)的上下表面，光線以折疊式行進(folding or zigzag)於自由空間(free-space)中，如圖三所示。由於在一系統中，最基本的是輸入與輸出元件。因此，我們第一步設計耦合輸入及耦合輸出微光柵元件，使其具備偏折光線與聚焦功能。期能藉此研究累積設計經驗，並製作出具備高效率的平面光學微光柵元件及系統。



圖一、反射式液晶顯示器在一般斜向照明下的光分佈



圖二、單液晶盒厚透反式液晶顯示器基本結構示意圖



圖三、平面光學系統架構圖

文獻討論：

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：Font 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，下表一中將對此六種結構之功能與優缺點進行較為詳細之比較：

	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

表一

由表一中，可以看出製作於液晶盒底部的反射板元件其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其能量固定，在沒有加上任何會自發光的元件之情況下，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。

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，如圖四所示，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。

製作微光柵元件時，位階數是影響光效率的關鍵因素；而在製程上，所允許的最小線寬則是限制了位階數。此外，最小線寬也限制了光柵元件的尺寸大小。以微光柵透鏡元件為例，其半徑 R 、位階數 L 與最小線寬 w 須滿足下式：

$$R \leq f\lambda / (nwL)$$

其中， f 為透鏡焦距， λ 為真空中的波長， n 為基材折射率(參 J. Jahns and S.J. Walker Appl. Opt. V29, pp931-936,1990)。藉由透鏡元件的聚焦特性以及上述關係式，我們可設計平面光學系統中的耦合光柵元件，且使其尺寸大小合於線寬要求。

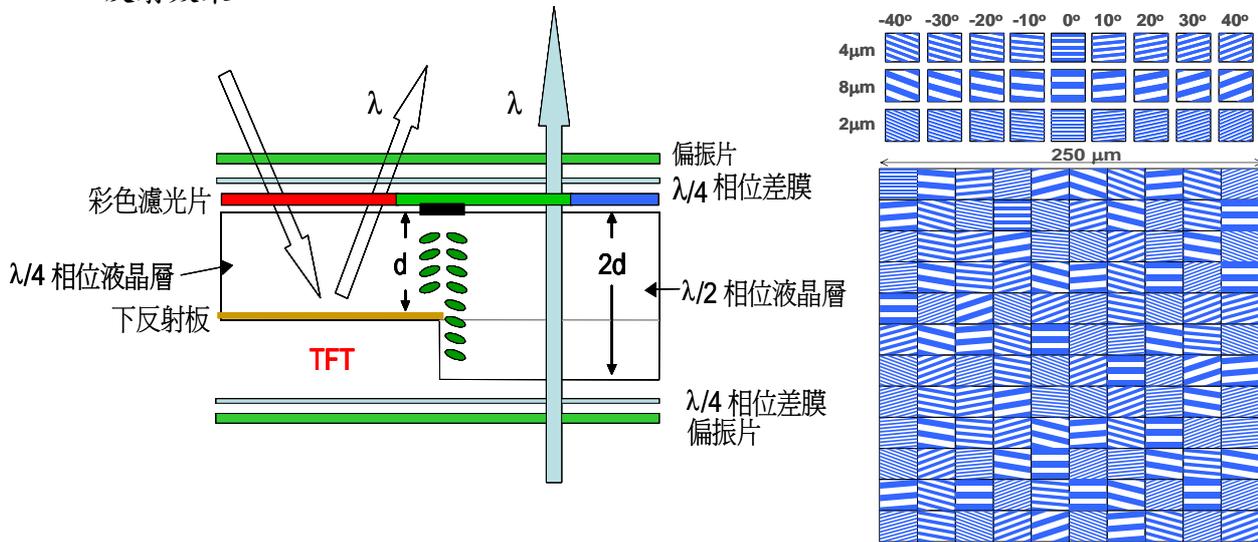
研究方法：

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质視覺效果。

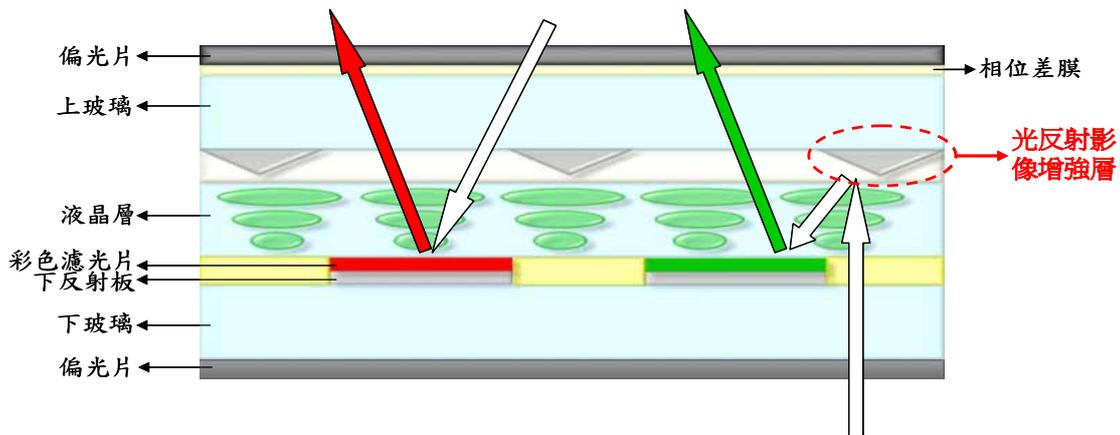
要達到上述的效果，首先利用不同的光柵旋轉角度，將不同角度入射的外在環境光偏折集中至近乎正向的反射角度，再經由適當的設計不同的光柵寬度改變反射光在縱向的分佈角度，使縱向(上下)視角內的反射光強度均勻分佈。在此我們設計中，設計此光柵有不同的週期寬度從 2 至 8 μm ，光柵旋轉角度分別從 -40° 至 $+40^\circ$ 同時以 10° 為旋轉週期，此外，每個光柵的大小為 $25 \times 25 \mu\text{m}^2$ ，如圖五所示。並且以無序的排列方式安排在一個畫素中，以消除因週期性結構所產生雲彩花紋(Moiré)的條紋與色散(Color dispersion)的現象。同時將此設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。

同時在透反式液晶顯示器當中加入雙稜鏡(biprism)的光學元件，使其成為一種光反射影像增強層的結構，如圖六所示，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，經斜面反射板反射後的穿透區域光線便與入射在反射區域的外在環境光具

有相同的特性，因此在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，如不同的仰角或是不同的寬度，以期達到最好的反射效果。



圖四、雙液晶盒厚透反式液晶顯示器基本結構示意圖 圖五、無序光柵光控制模

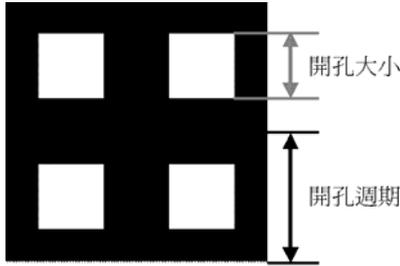


圖六、具光反射影像增強層之透反式液晶顯示器

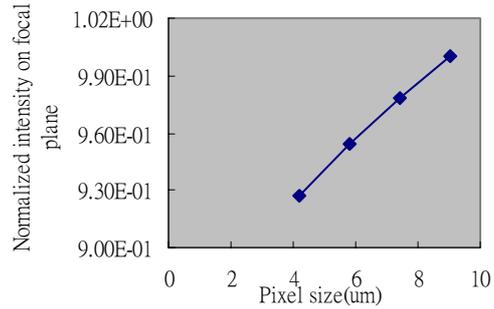
此外，我們也利用半色調網點光罩的原理，來設計並製作出微型光學元件，以及元件的應用。在製作上，我們採用準分子雷射微加工系統 (Excitech7000)，而高分子材料基版是採用 PC (polymer carbonate) 基版，因為 PC 具有和玻璃十分近似的光學特性，而且對準分子雷射而言具有高蝕刻率。

同時，在光罩設計上，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，如圖七所示。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，

如圖八所示，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，以及元件的應用。



圖七、光罩設計



圖八、曝光強度與開孔大小之間的關係

為了模擬與分析微光柵元件，我們需要一適當的理論模型。基本上，光與物質的交互作用及光的傳播都可用 Maxwell's 方程式來描述，但其所需之運算十分繁複，為此過去幾位科學家在合理的近似條件下，建立了簡化模型。其模型的複雜度由高至低，或言其採用近似條件由寡至多，如下表二所列：

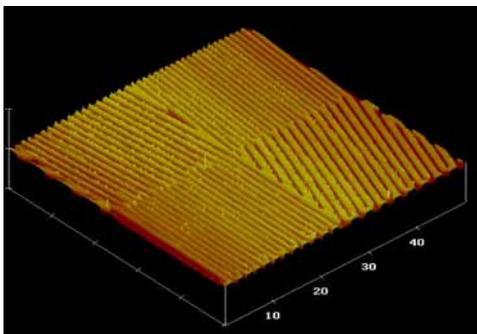
複雜度	光與物質的交互作用		自由空間中的光傳播	
	高	Maxwell's 方程式		
	模型	採用之條件	模型	採用之條件
	Finite-difference time domain method	Time & space sampling	Helmholtz's eq	Homogenous, isotropic medium
	Rigorous couple wave method	Periodic dielectric constant	Scalar diffraction theory → Kirchhoff's diffraction integral	Non-vector form
	Differential method	Dielectric constant & electric field in Fourier series form	Fresnel diffraction	Paraxial approximation
	Kirchhoff approximation	Thin element approximation	Fraunhofer diffraction	Infinite distance
低	Ray tracing	Neglect the wave model, e.g.:phase	Ray-tracing	Neglect the wave model, e.g.:phase

表二

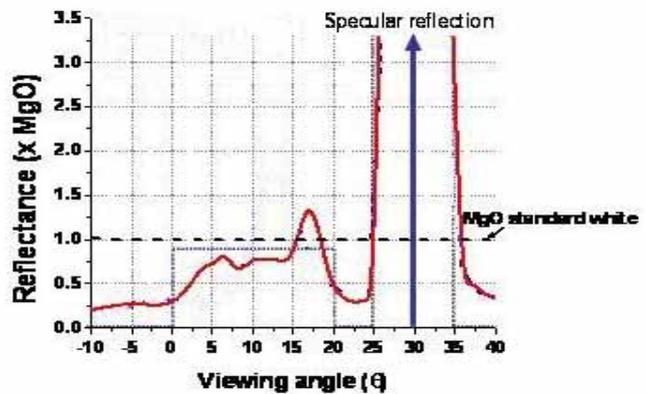
在我們所設計的平面光學元件中，由於其最小寬度約比波長高一個數量級，故可用 Kirchhoff approximation 與 Fresnel diffraction 做為分析之模型。

結果與討論：

我們由AFM以3D方式來觀察無序光柵光控制模，如圖九(a)所示。同時，我們將此結構運用在透反式液晶顯示器中。由圖九(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° 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面板之反射光分佈如同圖九中的實線所示，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。



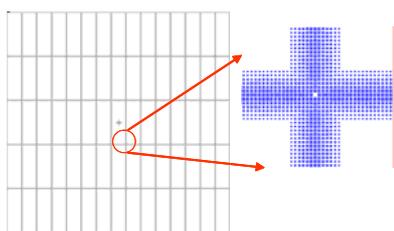
圖九(a)



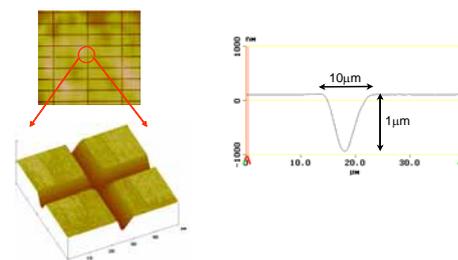
圖九(b)

圖九、(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佈

同時我們設計新型的透反式液晶顯示器的架構，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，並鍍上 Al，並讓底面的反射層填補率 (Fill Factor) 小於 1，以及背光模組的使用。當外在光源很亮時，背光模組將關閉，外在光源將通過沒有雙稜鏡結構的區域，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被打開，被光源被雙稜鏡的斜面反射後，具一反射角，然後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，因此所提出的架構能大幅提昇顯示的色彩飽和度。在此我們設計一光罩如圖十(a)所示欲製作寬為 10 m 高為 1 m 之雙稜鏡。經過準分子雷射加工後，其結果如圖十(b)所示，製作出的元件十分符合原先的設計。



圖十(a)



圖十(b)

圖十、(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

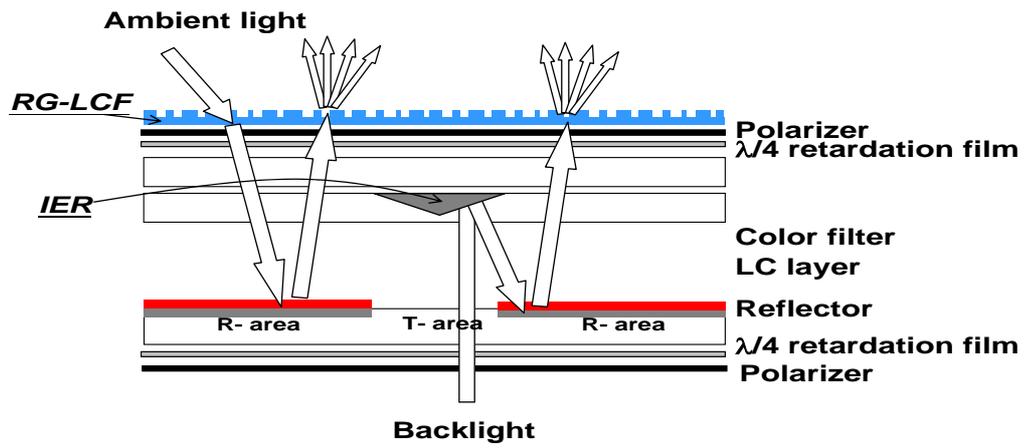
綜合以上所言，使用無序光柵控制薄膜的反射面板確實可以在有效視角視角 $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 內的反射光強度維持在 0.8 倍的氧化鎂，同時提供較為均勻的反射輪廓，並且藉由無序的排列方式亦可消除雲彩花紋與色散現象。此外，在製作上可利用半導體微影蝕刻的製程，可大量生產，以降低成本。

另一方面，在透反式液晶顯示器中，我們提出光反射影像增強層，其結構是由雙稜鏡所構成，可使單液晶盒厚結構其反射區和穿透區具有相同的光程差、相同反應時間，而能具有高光使用效率、高對比度、與匹配之色彩飽和度。然而，我們採用灰階光罩同時配合準分子雷射加工系統來進行雙稜鏡的設計與製作，目前，已經能夠初步製作成雙稜鏡的結構，同時也符合我們所設計的尺寸大小。

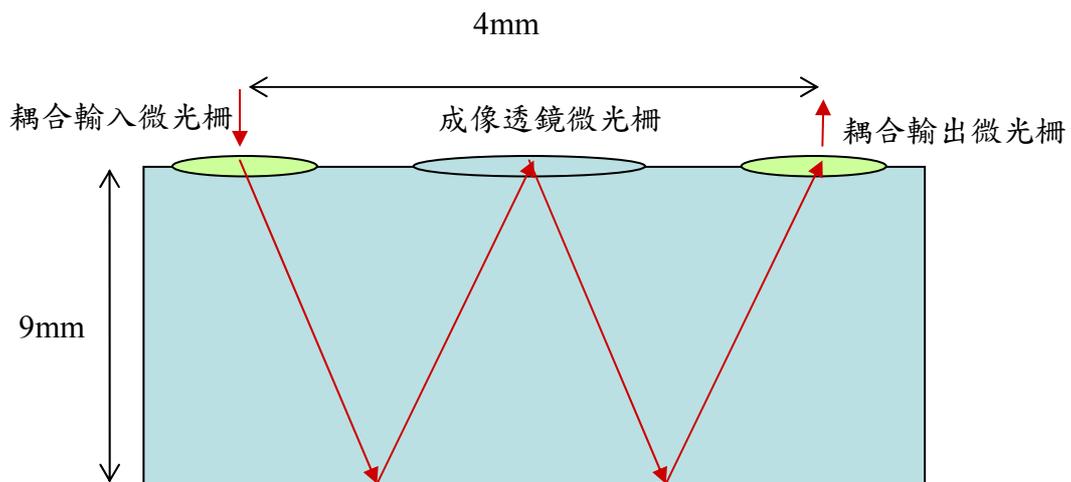
未來我們將以此光反射影像增強層運用在透反式單液晶盒厚顯示器的穿透區域中，來驗證我們先前理論性的假設，並比較其單液晶盒厚與雙液晶盒厚液晶顯示器的光學特性。同時，亦可將無序光柵光控制薄膜與光反射影像增強層一起運用於，如圖十一所示，以提高整體的影像品質。

在平面光學系統中，我們所設計的耦合微光柵元件，為具備偏折光線以及聚焦雙重功能之微光柵元件。此元件可利用離軸透鏡(off-axis lens)之特性來實現。亦即，該耦合微光柵係一個離軸透鏡(off-axis lens)，當平行光照射在離軸透鏡時，由幾何光學可知，光線將偏折並聚焦於焦點。設計此透鏡的焦距，使其焦點位於中間的成像透鏡之鏡心。由於此耦合微光柵元件將偏折與聚焦兩元件結合為一，故可有較高之光效率。

我們將平面光學系統設計於 9mm 厚之玻璃基材，並使輸入輸出二端相距 4mm。根據光成像原理，設計輸入輸出對稱於中央的成像透鏡(成像透鏡焦距約為 9mm)，則輸入端至成像透鏡距離 2mm，輸出端至成像透鏡距離亦 2mm；而耦合輸入與耦合輸出微光柵之焦距皆為 18mm，如圖十二所示。此外，該設計所需的最小線寬為 1mm，位階數為 4(兩道光罩)，適用波長 850nm 之輸入光，成像透鏡半徑 1mm。未來，除了將製作該系統外，亦期許藉由灰階光罩技術進行提升該系統光效率之研究。



圖十一、透反式液晶顯示器中結合無序光柵光控制薄膜與光反射影像增強層之架構圖



圖十二、具備耦合輸入輸出微光柵之平面光學系統設計圖