

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

產學合作計畫：創新型微光學增光分色片應用於 CMOS 影像 感測器之研究(1/2)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2622-E-002-004-

執行期間：91 年 05 月 01 日至 92 年 07 月 31 日

執行單位：國立臺灣大學機械工程學系暨研究所

計畫主持人：楊申語

共同主持人：黃榮山

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫為產學合作研究計畫，不提供公開查詢

中 華 民 國 93 年 2 月 16 日

中文摘要

影像感測器是未來醫療、電腦、通訊、家電、娛樂之主要設備，CMOS 感測器在體積、耗電、製程、價格都遠勝過 CCD，惟其畫面素質亟待提升。傳統 CMOS 影像感測器以濾光片將光分別濾去 RGB 再行光電信號處理，依此原理光損失甚大，且素質的提升困難。本研究計劃擬以分光原理，將光在繞射分出 RGB，全光作光電處理，是在原理上一大突破，技術上牽涉光學、微機電及微射出或熱壓，特由台大應力所、機械所及業界帝晶光電公司合作進行兩年研究。

本計畫係結合微機電製程技術和精密塑膠成型，提出一種 CMOS 影像感測器之創新型增光分色片設計構想。於此設計構想中，將製作整合微透鏡 (Micro-lens) 與閃耀式光柵 (Blazed Grating) 等微光學元件，用以取代目前影像感測時所使用之傳統彩色濾光片。此創新型增光分色片，主要為一以聚合物為基材之薄膠片 (Film)，包括了微透鏡與閃耀式光柵等兩種微光學元件。其中，微透鏡之使用將主要用以定義畫素 (Pixel) 位置並輔以少許增光的功能；而閃耀式光柵的使用，可使不同波長之入射光將其大部分之能量集中在其一階繞射方向，而達到濾光片分色的效果。

子計畫一是「微光學元件之設計與製作」，運用灰階光罩之設計與微機電製程製作出母模、經微精密電鑄得到微光學元件之模仁，並進行光學量測等。子計畫二之「微結構之複製量產技術研究」，預計將進行微光學元件的微射出成型 (Micro Injection) 及熱壓成型 (Hot Embossing) 研究。探討各種成型條件和材料特性、快速加熱、冷卻製程對微光學元件產品品質之影響。

英文摘要

With the technology-upgrading migration toward high-value-added opto-electronics industry, the imaging technology has become one of the developing sectors of information technology in Taiwan. The new demand of explosive use of internet, digital camera, imaged mobile communication, and biomedical applications has also driven the imaging technology to be rapidly prevalent into market. Cost, size, and performance are therefore to become major requirements as well as entry barriers of the imaging industry. CMOS and CCD image sensors are the mainstream products in current vision market. Meanwhile, the CMOS image sensors that employ semiconductor techniques have many advantages over CCD devices such as size, volume, power consumption, price and high integration of sensors and electronics. Therefore, the CMOS image sensor are rapidly growing and sharing the market with CCD image sensors that have long been used in many applications.

In this project, an innovative, highly transparent polymer-based color divider is used for red-green-blue light separation instead of light filtering used in color filters. In other words, the use of incoming light to sensing elements is highly efficient. To implement this light-enhanced and cost-effective color divider, microfabrication and high-throughput replication techniques are chosen to realize the film and to be mass-produced for cost competence. The proposed project contains two sub-projects, namely, (1) Design and microfabrication of micro optics, and (2) hot embossing and micro injection molding techniques.

In sub-project 1, an innovative light-enhanced color divider is to be designed, fabricated, and characterized, which attempts to replace currently used color filters of optoelectronic image sensors. The polymer-based transparent color divider is to be made with micro optic components, such as micro lenses and blazed gratings, on film surfaces of both sides.

In sub-project 2, the high-throughput replication techniques are critical in cost effectiveness. After the color-divider molds are fabricated in sub-project 1, the subsequent process is to make a transparent polymer-based color-separated film by hot embossing and microinjection molding techniques.

關鍵詞：創新型增光分色片(Color Divider)、CMOS 影像感測器(CMOS Image Sensor)、微透鏡(Microlens)、閃耀式光柵(Blazed gratings)、熱壓成型(Micro hot Embossing)、微射出(Micro Injection molding)

前言

影像感測器是未來醫療、電腦、通訊、家電、娛樂之主要設備，CMOS 感測器在體積、耗電、製程、價格上都具優勢，提升畫面素質則是努力目標。傳統 CMOS 影像感測器以彩色濾光片將特定的波段的入射光源保留，而其他波段的入射光源予以濾除，再行光電信號處理。依此濾光原理的方式幾乎是將 2/3 以上的入射光予以濾除，對於影像品質而言，有很大的損失，且傳統彩色濾光片的製造需用特殊製程(例如：薄膜沉積、特殊染料印刷、電極沉積等)，製程複雜昂貴且良率低。本研究提出突破性創新性之設計理念，改變以往濾光處理方式，擬以分光原理，即改用「光柵」元件，來達到分光的功效。光柵在光譜儀上是很常見的分光元件，特別是閃耀式光柵(Blazed Grating)的使用，在理論上，甚至能將其一階繞射能量提高到 80%以上。而且由於不同波長的一階繞射角皆有所不同，所以當含多個不同波長之入射光源經過光柵後，個別波長之入射光會以不同的角度繞射、分射開來，而達到光學上分色的效果。此閃耀式光柵的使用將可以有效的解決入射光經濾光後被大量濾除的不良後果，且其物理的效果應為「分光」，而非以往濾光片將大量入射光予以去除之「濾光」機制，其增光分色機制如圖 1 所示。為了使所製造出之微小光學元件符合普及化、低價化的趨勢，將引進精密塑膠熱壓成型技術。大量複製生產微小的塑膠光學元件以降低產品之成本，進而提升產品的競爭力。

研究目的

本研究之目的為設計製造 CMOS 影像感測器之創新型增光分色片，係結合微機電製程技術和精密塑膠成型技術製作微透鏡(Micro-lens)與閃耀式光柵(Blazed Grating)等微光學元件，用以取代目前影像感測時所使用之傳統彩色濾光片。微透鏡之使用主要用以定義畫素(Pixel)位置並輔以部分增光的功能；而閃耀式光柵的使用，可使不同波長之入射光將其大部分之能量集中在其一階繞射方向，而達到濾光片分色的效果。研究主題包括微光學元件設計製作，及微熱壓與微射出量產製造技術來生產晶圓尺寸的分光薄膜膠片。

研究方法

圖 2 為本研究之實驗流程示意圖，主要分成六大步驟與主題，詳細分述如下：

(一) 光學元件之設計與分析

創新型增光分色片是由微透鏡與閃耀式光柵兩種微光學元件所組成，因此在光學設計上，本研究亦依其功能與作用分別做模擬與設計。微透鏡的設計理論較單純，主要只須考慮入射光之折射現象。為了與下方之光電轉換電路在位置上有所匹配，故微透鏡之尺寸大小須與光電轉換電路之畫素大小相同。參考業界之應用，我們將微透鏡之直徑取為 $25\mu\text{m}$ ，基材厚度取為 $100\mu\text{m}$ 。當微透鏡之直徑決定後，剩下必須決定的就是微透鏡之曲率，即其焦距之選擇。在曲率選擇前，此透鏡之屬性並非為薄透鏡，故無法以公式解直接計算所需之曲率。因此本部分的

計算，將採用光路模擬軟體 Light Tool 來模擬入射光經微透鏡後之聚焦結果。

針對閃耀式光柵之設計，必須考量其繞射效率與其繞射角之需求。因此將以兩部分來討論閃耀式光柵之設計。

a. 繞射角之設計

針對繞射角之計算，我們可以代入式(1)繞射公式來求得。

$$m\lambda = d\sin\theta \quad \dots\dots\dots(1)$$

m：繞射階數，d：單一光柵寬度， θ ：繞射角

在本研究中，光柵寬度將採用 $4\mu\text{m}$ ，考量的原因為實際使用的要求。

b. 繞射效率之計算

繞射效率之計方式有很多種，並且都有其限制。在計算 $4\mu\text{m}$ 閃耀式光柵時，為了避免僅使用單一理論計算而造成錯誤，特別採用兩種方法，即以純量理論 (Scalar Diffraction Theory) 與嚴格耦合波傳理論 (Rigorous Coupled Wave Theory) 來計算並設計光柵之外形與其效率。

(二) 灰階光罩之設計與製作

在完成光學元件之設計後，下一步的關鍵工作將是利用光罩與光學微影技術將光學元件予以實體化。由於微透鏡及閃耀式光柵的形狀特殊，若使用傳統二元式光罩(Binary Mask)技術，為了達到使元件表面輪廓更接近連續相位曲線，在相位階數的選取，與光學微影製程時所遇到的光罩對準問題，將帶來極高的技術難度與成本時間的耗費。因此本研究將採取一種新式的製作法，即灰階光罩(Gray Mask)技術。灰階光罩技術允許製作具有不同透光度與灰度之灰階分佈，如圖 3 所示，因此可藉由灰階與透光率之掌控一次完成光學微影製程，節省製程耗費與時間。其製程原理主要是利用光阻或其他感光材料對不同光強的敏感度與選擇比，藉由控制不同位置顯影速率的方式，來決定材料顯影後之外形與輪廓。簡單的說，即光阻受光量較多的部份，其顯影時反應的速率較快；而受光量較少的部份，則其顯影時的速率則相對較慢。利用不同區域間顯影速率的差異，便可製造出具特定高低起伏之微結構與輪廓，如圖 4 所示。

圖 5 即為本團隊設計之灰階光罩外型圖。在實際進行灰階光罩製作前，必須向製造商定出我們所需之規格，我們分述如下：

閃耀式光柵：

我們設定其每一灰階之寬度為

$0.2\mu\text{m}$ ，而一個閃耀式光柵有 6 階至 13 階之灰階分佈，且光柵間之距離設定為 $0.4\mu\text{m}$ ，光密度值依序由 0.1 至 0.8 之間分佈，所需要的光柵總面積為 $5\text{mm}\times 5\text{mm}$ 。

微透鏡：

對於微透鏡來說，我們規定其光密度值由 0 至 1.0 分佈，透鏡之直徑為 25

μm 、曲率半徑為 $80\ \mu\text{m}$ 與每一圈灰階之寬度為 $1\ \mu\text{m}$ 。設定完上述之規格後，便向灰階光罩製造商訂製。

(三) 微機電 (光學微影) 製程

完成灰階光罩之設計與製作後，下一步的工作關鍵將是利用光學微影技術來製作光學元件。本階段進行步驟詳細說明如下：

a. 基材表面的清潔：

為了維持基材表面的清潔，增加光阻與基材之間的附著性，使光阻顯影時不致脫離基材表面而影響了光學元件之良率。確實的做好基材表面的清潔將可省去大量之錯誤與失敗。

b. 去水烘烤：

清洗後的基材表面將留有大量的水分子，若此時不加以烘烤將使光阻與基材表面附著力下降。因此，此時必須以高溫約 120°C 持續烘烤約 30 分鐘左右，使基材上的水分子完全去除。

c. 光阻塗佈：

本研究預計所使用的塗佈方法為旋轉塗佈。為了能得到適當的光阻厚度，必須同時考慮到光阻的黏性與機台之轉速。目前使用的最佳轉速約在 $3000\text{rpm}\sim 5000\text{rpm}$ 之間，塗佈的時間約 40 秒。

d. 軟烤：

軟烤在灰階光罩的使用時，佔有相當關鍵的地位。軟烤的目的主要是在將光阻液內之溶劑成份去除並固化光阻。本研究採取熱墊板加熱的方式來進行。熱墊板的好處是因為熱源直接從熱墊板來，所以光阻內的水份是由內而外的離開光阻。可避免使用烤箱軟烤時，因光阻表面先固化，使光阻內部的水份被限制在光阻內，而無法離開光阻，造成光阻內水份較多，且較不均勻。

e. 曝光：

所使用的曝光機為德國製 KARL SUSS 之雙面對準曝光機。曝光的目的，針對一般之正光阻來說，其作用主要是要將光阻內之感光成份，經光源照射後轉換成具弱酸性之物質，並藉由和鹼性之顯影液行中和反應後脫離，而將所欲製作之圖案顯現出來。曝光之條件主要有兩個考量，就是曝光光源的選擇與曝光時間、強度的選擇。

f. 顯影：

光阻經曝光後，應儘速進行顯影的動作，以避免有其他可能產生的副反應。控制顯影的主要條件有顯影時間、顯影濃度等。為了不讓顯影液攻擊未曝光過的光阻，造成圖案的轉移不佳與線寬的不準確。因此顯影的時間不宜太長，應視顯影的結果而有所調變。

g. 硬烤：

通常在一般的光學微影製程中，最後一個步驟皆必須以硬烤的程序，將光阻內所殘留的溶劑成份除去。但為了害怕硬烤的高溫對所製作的光學元件造成破壞，因此，在本製程中，採用低溫來進行硬烤的方式儘量確保於顯影後光學元件之完整性。

（四）精密電鑄翻模製程

當光阻被製作成具特定起伏之光學元件微結構後，必須將光阻為基材的光學元件轉換成其他機械性質較佳的金属材料，以製成模具來大量複製量產。電鑄的過程中，因光阻與基材不導電，所以必須先蒸鍍上一層數百埃(Å)之金屬，當作電鑄之導電層。而考慮導電層材料之選擇時，因為之後所要電鑄的模具材料為鎳(Ni)，我們選擇鉻(Cr)與鎳(Ni)兩種金屬。鍍鉻的目的是在幫助矽基材與鎳之間的接著，其厚度約 300~400 Å 即可，當導電層成功的蒸鍍於光阻的表面後，接續的程序是將已蒸鍍好之試片放入電鍍槽中進行電鑄的步驟，如圖 6。

（五）精密塑膠熱壓成型製程

當電鑄翻鎳模完成後，將鎳模仁與塑膠薄膜置入熱壓成型機中，進行複製量產。熱壓成型法(Hot Embossing)是微機電系統製造領域之中，一道重要的微結構複製成型技術。此製程乃是用來翻製矽晶圓母版(Stamper, Master, 亦可稱模具)或電鑄鎳模版上面的微細結構，以完成高精度與高品質微機電成品之快速複製。此方法有優越的成形特性，因為材料流動率低、流動距離短、成形步驟簡單且成品不容易有應力翹曲等問題，非常適合用來成型光學元件或各種微細的結構。標準的薄膜微熱壓成形法製程如圖 7 所示。

（六）微光學元件之量測與檢驗

完成微透鏡及光柵之製作後，接著使用電子顯微鏡與表面輪廓儀進行產品的外型輪廓量測。再來，我們對完成之微光柵進行繞射效率與繞射角度的量測。量測之架構如圖 8 所示，我們向架設於微調平台上之光柵成品打入一道雷射光，經由偵測器接收一階繞射光後，傳送至光功率計量測其光繞射結果。

結果與討論

經由光學元件之設計與模擬分析後，可得到光學元件理論上之最佳設計條件與其幾何外形，如圖 9 所標示。而圖 10 則為灰階光罩光微影製程及硬烤完成後之微光學元件圖片。電鑄後之微光學元件如圖 11 所示，其鎳模厚度在約 200~300μm 左右。鎳模的外型尺寸量測結果如圖 12(a) 與圖 13(a)所示，關於微透鏡與微光柵塑膠薄膜熱壓實驗方面，本研究採用的塑膠薄膜為聚氯乙烯膜

(PVC film)，屬於不定型塑膠，玻璃移轉溫度約為 80℃，實驗熱壓印溫度設定為 110℃，熱壓壓力為 102 kgf/cm²，持壓時間為 3 分鐘。經由表面輪廓儀並配合顯微鏡量測觀察微結構表面成型性，發現微透鏡與微光柵複製效果良好，如圖 12(b) 所示，複製出之塑膠微透鏡直徑為 24.05~25.14μm 之間，高度 0.65~0.78μm 之間，表面粗糙度 225~260nm 之間。如圖 13(b) 所示，微光柵間距 (Pitch) 尺寸為 4μm 左右，厚度 (Thickness) 則為 1.0 μm 左右。而圖 14 為其繞射光效率圖，其一階光繞射效率達 25%~35%，圖 15 則是 RGB 繞射角度及其分佈位置。

結論

1. 微增光分色元件之光學設計理論與技術之建立：

本研究針對微透鏡之曲率與閃耀式光柵之繞射效率與其繞射角之模擬分析，求出一最佳化之光學設計尺寸，並整合了微透鏡與閃耀式光柵之光學特性成為一增光分色元件。經過光學量測後，此精密光學繞射元件的繞射效率 25%。

2. 微增光分色片之製程技術的建立：

此精密光學增光分色元件的前段製程技術包括灰階光罩之設計與製作與光學微影蝕刻製程。本研究以 AutoCAD 或 Cadence 等佈局軟體完成 GDSII file 之設計，並交由灰階光罩製造商 Caynon Material 公司製作，並且配合微影蝕刻製程在矽基板上製作出三維之微型增光分色元件，其尺寸精度高達 25.0±2.0 μm (微透鏡直徑)、4.0±0.4 μm (光柵寬度)、1.0±0.2 μm (光柵厚度)。

3. 精密電鑄翻模：

本研究團隊自行設計一精密電鑄槽，經由此精密電鑄過程，將矽基板上的微型增光分色元件翻製成金屬鎳模，目前技術已可使模厚高達 300μm 以上，且精度亦可達到預期的需求。

4. 微熱壓成型技術之建立：

在壓板式熱壓機器中，薄膜熱壓製程須加放軟襯墊 (Soft Pad) 材料，使鎳板與塑膠薄膜能緊密地貼和，達到完整微結構轉寫。此增光分色片係屬於雙面微結構元件，因此壓印時須採三明治堆疊法，即軟襯墊/上模板/塑膠薄膜/下模板/軟襯墊形式。實驗所用的軟襯墊為矽膠板 (Silicone Rubber)。在微光學元件的熱壓成型方面，完成基礎製程參數之研究，並找到影響成品品質的關鍵因子，並且成功的複製出微透鏡與微光柵等精密光學元件，其尺寸精度達 25.0±1.0 μm (微透鏡直徑)、4.0±0.2 μm (光柵 Pitch)、1.0±0.5 μm (光柵 Thickness)，且製程良率 >60%。

致謝

特別感謝行政院國家科學委員會在研究經費上的補助，以及帝晶光電股份有限公司於研究經費、研究人力與電鑄技術上的支援。

參考文獻

- 1.K. S. Sengupta, R. Sundahl, S. kawashima, R. Arellano, C. Sklenicka, D. Thompson, "Packaging Requirements and Solutions for CMOS Imaging Sensor," 1998 IEEE/CPMT Int'l Electronics Manufacturing Technology Symposium, 1999, pp. 194~198.
- 2.T. Morris, E. Fletcher, C. Afghahi, S. Issa, K. Connolly, J. C. Korta, "A Column-speed Digital Image Process," Intel Corporation. Retrieved June 23, 2001, from IEEE database.
- 3.P. Wong. (June, 1997). CMOS Image Sensor - Recent Advances and Device Scaling Considerations, Thomas J. Watson Research Center, I.B.M. Retrieved June 23, 2001, from IEEE database.
- 4.A.D. Blanksby, M. J. Loinaz, " Performance Analysis of a Color CMOS Photogate Image Sensor, " IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 47, no.1, pp. 55~64, JAN. 2000.
- 5.R. W. Jaszewski, H. Schiff, J. Gobrecht and P. Smith, "Hot embossing in polymers as a direct way to pattern resist", Microelectronic Engineering, Vol. 41/42, pp. 575-578,1998.
- 6.M. Hecke, W. Bacher and K. D. Muller, "Hot embossing - The molding technique for plastic microstructures". Microsystem Technologies, Vol. 4, pp.122-124, 1998.
- 7.曲昌盛, "灰階光罩微影技術製作繞射光學元件," 光訊, 第 80 期, pp.23-27, 1999 年 10 月。
- 8.賴文童, "微結構熱壓成形缺陷之探討", 國立交通大學機械工程研究所碩士論文, 民國 89 年 6 月。
- 9.王培良, "塑膠微熱壓成型特性之研究", 國立交通大學機械工程研究所碩士論文, 民國 87 年 6 月。

圖表彙整

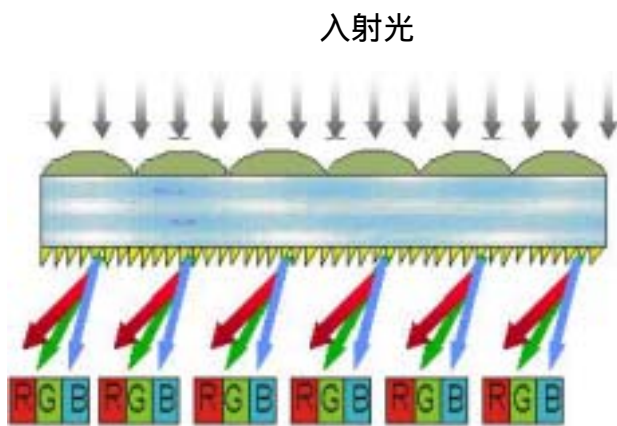


圖 1 增光分色機制圖

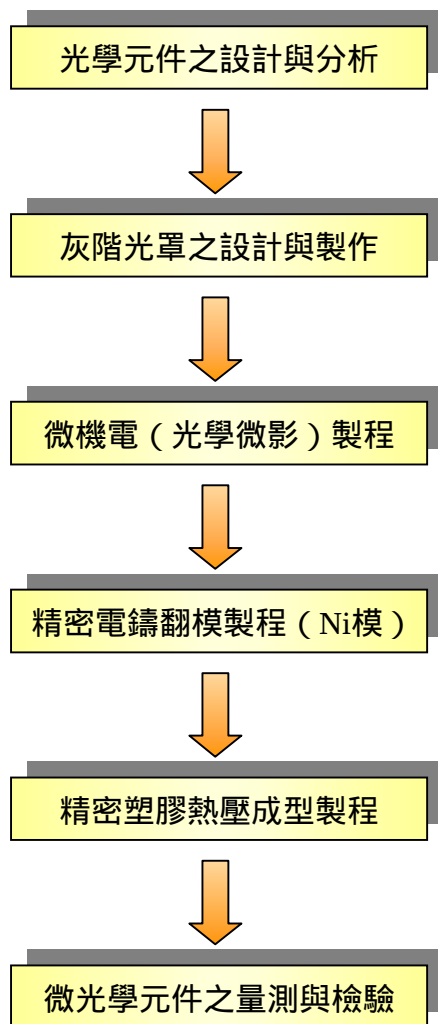


圖 2 實驗流程示意圖



圖 3 灰階光罩之灰度分佈圖

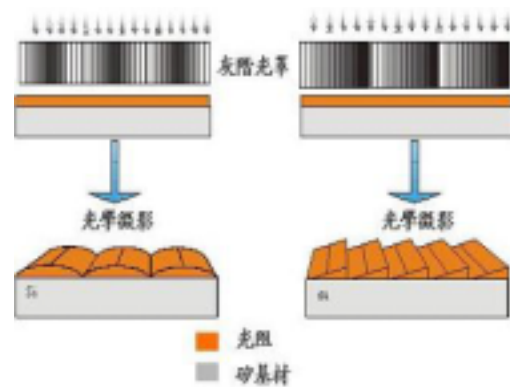


圖 4 灰階光罩微影製程示意圖

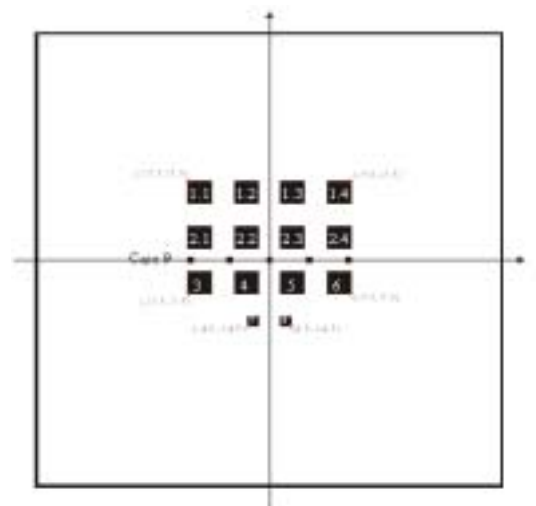


圖 5 灰階光罩設計圖

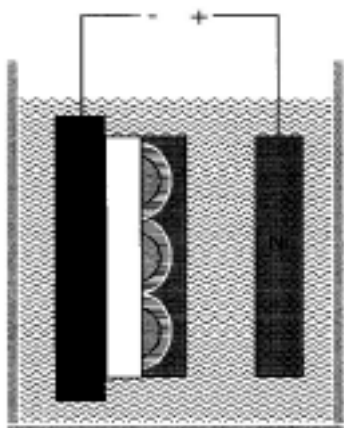


圖 6 電鑄原理示意圖

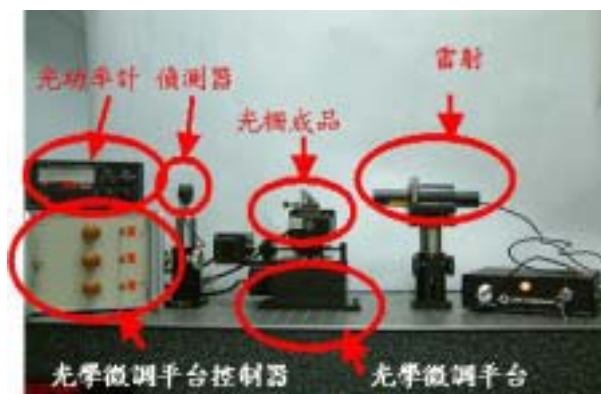


圖 8 光學繞射效率實驗量測架構圖

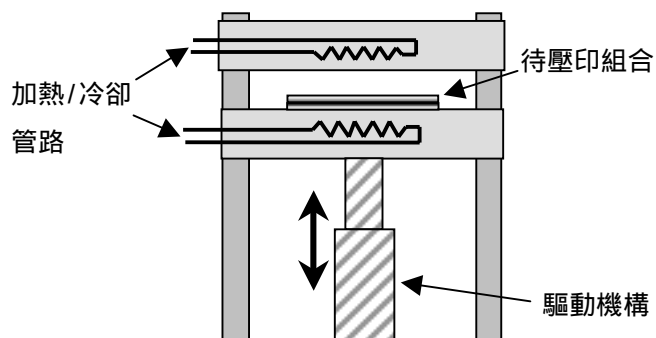
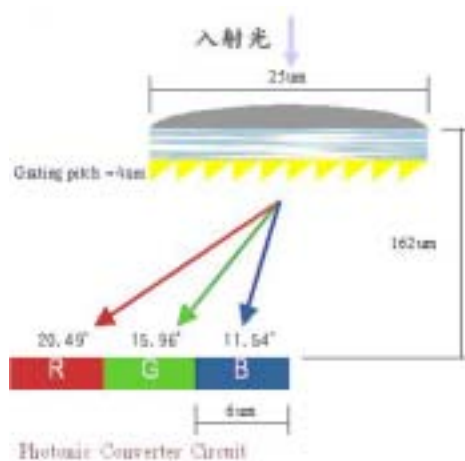
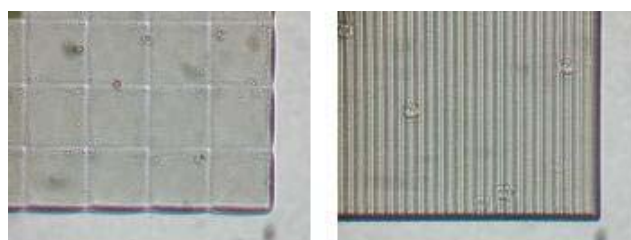


圖 7 薄膜熱壓成型示意圖圖

(待壓印組合：軟襯墊/上模板/塑膠薄膜 /下模板/軟襯墊)



9 增光分色片之光學尺寸設計圖



微透鏡：直徑=25um 光柵：週期寬度=4um

圖 10 顯影硬烤完之微光學元件

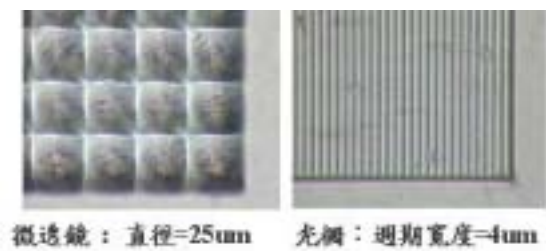


圖 11 電鑄完成之微光學元件

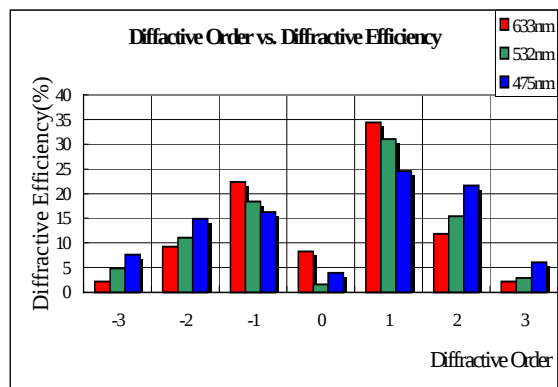
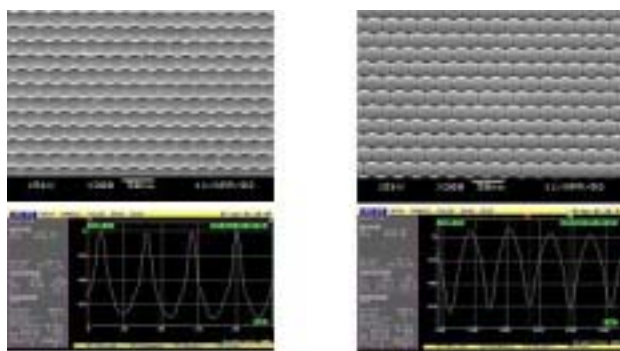


圖 14 微光柵繞射效率圖

熱壓成型

→



(a)微透鏡鎳模

(b)塑膠微透鏡

圖 12 微透鏡元件熱壓複製圖

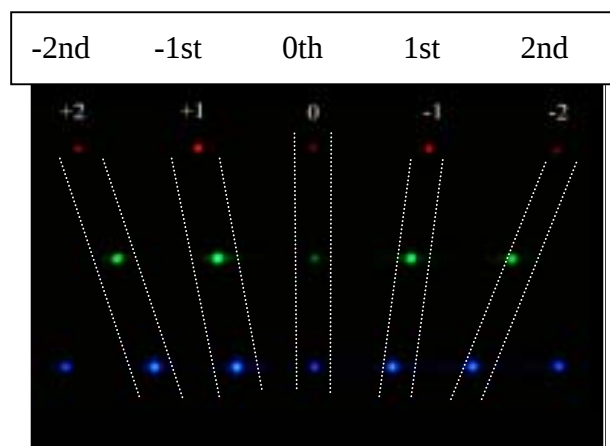
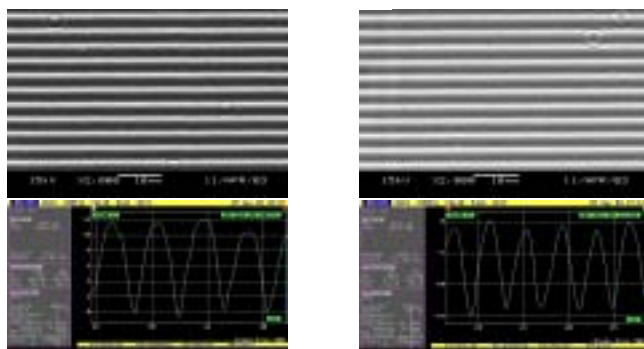


圖 15 RGB 繞射光分佈圖

熱壓成型

→



(a)微光柵鎳模

(b)塑膠微光柵

圖 13 微光柵元件熱壓複製圖