

# 加工參數對非球面鏡片形狀品質的影響

## The Machining Effects on Form Error of Aspherical Surface

黃國政、莊賀喬、左培倫、郭慶祥

Kuo-Cheng Huang, Ho-Chiao Chuang, Pei-Lum Tso, Ching-Hsiang Kuo

本研究主要目的在探討光學非球面鏡片在製作的過程中，成型與拋光製程的加工參數對鏡片的形狀誤差與表面粗糙度之影響。藉由不同加工參數的實驗結果，提出改善鏡片形狀誤差與表面粗糙度較為有效的加工方法，以提供國內光學從業人員自行開發非球面鏡片研磨／拋光技術之參考。成型部分主要在探討砂輪傾角與工件轉速對鏡片形狀誤差與表面粗糙度的影響。研磨部分主要在探討壓力分布均勻與否、磨砂粒徑大小、拋光墊種類對鏡片形狀誤差與表面粗糙度的影響。拋光部分主要是針對鏡片的表面粗糙度做改善。

The purpose of this research is to study about the effect of various parameters on the aspheric lens during the form generating and polishing process. By applying the experiment results, an effective method is proposed for improving the form error and the surface roughness. For the form generating process, we discussed the effect of the lens form error and surface roughness by altering the angle of inclination between the cup wheel and the lens surface, and also the workpiece rotational speed. For the lapping process, we discussed the effect of the lens form error and surface roughness by applying the different abrasive grain size and lapping pads. In addition, we also concern the uniformity of the lapping pressure distribution. For the polishing process, our research is focused on improving the lens surface roughness.

### 一、概論

非球面鏡片之發展源起於 1940 年，美國 Polaroid 公司首先發表非球面塑膠鏡片，但未商品化。1960 年日本首先使用研磨技術製作非球面玻璃鏡片，並將其使用在單眼照相機的交換式鏡頭上。10 年後美國 Kodak 公司開始發展玻璃模造加工技術，所製造的模造玻璃鏡片多使用於簡單型相

機。而同年日本 Konica 公司亦開始量產相機觀景窗上的非球面塑膠鏡片，從此非球面鏡片加工技術蓬勃發展起來。

非球面的主要優點在於它能消除像差。由於拋光加工不易且價格昂貴，因此製作上有很大的限制。近年來，非球面光學元件的需求愈來愈殷切，傳統光學製造能力已不敷使用，因此電腦控制光學表面成型 CCOS (computer controlled optical

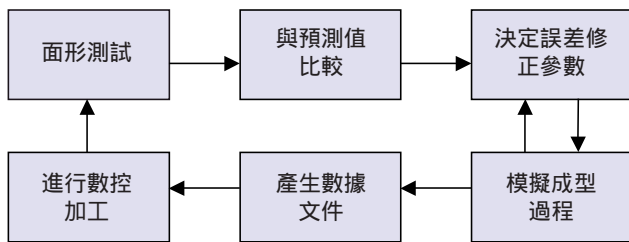


圖 1. CCOS 加工流程。

surfacing)<sup>(1)</sup> 技術也就相應而生，其加工流程如圖 1 所示。另外，馮之敬等人<sup>(2)</sup> 也以壓力控制的方式做為鏡面拋光修正的方法，該法是將壓力的控制轉化為模具對工件壓量的控制，再透過改變模具刀具路徑來實現。2001 年 Sung-chung Kim<sup>(3)</sup> 開始針對光學鏡片拋光時的拋光特性做深入的研究，包括磨粒大小、相對速度、拋光壓力等參數，並用停留時間 (dwell-time) 演算法來決定拋光的時間，他發現這些參數為主要影響拋光製程的參數，並且對於任意曲率的鏡片都可得到較好的形狀精度 ( $2\ \mu\text{m}$  左右)。Eui-jung Kim<sup>(4)</sup> 也用停留時間控制法 (dwell-time control method) 來對鏡片的拋光做形狀精度補償，這個補償的方法可用來發展 CNC 拋光系統的軟體。T. Kuriyagawa<sup>(5)</sup> 提出新的切削方法，即金屬結合鑽石砂輪對小型非球面模具做微切削與修整。

由上述研究可知，鏡片在成型時，會因砂輪磨耗及成型加工機本身精度等因素，使鏡片成型後產生形狀誤差，而在後續的拋光流程中，由於材料移除量有限，故鏡片在進行拋光前，必須將鏡片成型後的形狀誤差控制在一定精度內 ( $3 - 5\ \mu\text{m}$ )，拋光時才能達成鏡片最終所需之形狀精度。本實驗針對非球面鏡片製作之成型、研磨與拋光製程，探討各個主要加工參數，如成型砂輪傾角、研磨液、接觸壓力與拋光墊等對於鏡片之形狀精度與表面粗糙度的影響。此外，在不改變鏡片形狀精度下，將鏡面上的成型刀痕消除及降低鏡片的表面粗糙度，一直也都是各方研究的重點，因此本文也針對此項課題提出改善的方法。

## 二、非球面鏡製作流程

非球面鏡片製程可分為選材、切割、滾圓、成

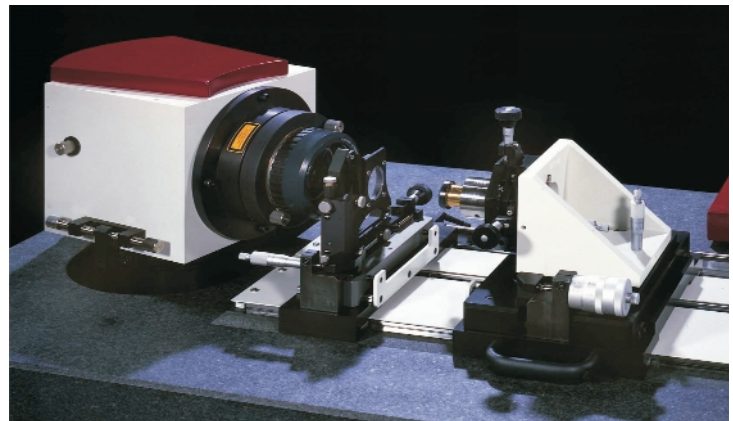


圖 2. CGH 非球面干涉儀。

型、研磨、拋光、精度量測、定心及鍍膜等流程，其中成型、研磨與拋光過程為影響非球面鏡片形狀精度的三個重要製程。成型是指將胚體的表面以鑽石刀具切削出所要的鏡面形狀，切削後鏡片仍須保留有一定的餘裕作為後續的研磨與拋光磨耗之用。而研磨是將胚件與研磨墊以固定速率轉動，利用研磨液的細小磨粒將胚料緩慢移除的過程，研磨的目的是在降低工件表面粗糙度，以不破壞成型時所得到的形狀精度為原則，故理論上是在工件表面均勻地除去一層材料而減低表面粗糙度並維持形狀精度。鏡片表面經過成型及研磨後，為提高表面透光率，需再移除約  $2 - 5\ \mu\text{m}$  的一層裂痕層以達亮面。藉由瀝青細密的表面，帶動拋光粉來磨光鏡片表面，使鏡面生熱後而讓玻璃熔化流動，熔去鏡面上粗糙的頂點並填平裂痕的谷底，逐漸把裂痕層除去的过程，即為拋光。

此外，在量測上使用表面輪廓儀量測鏡片研磨後的面形參數，並以干涉儀配合電腦全像片 (CGH) 量測鏡片之形狀精度及表面粗糙度，如圖 2 所示。本實驗所設計的非球面鏡片規格為  $K = -1$  ( $K$  為二次曲線常數)，鏡面中心點曲率半徑  $R_0 = -150\ \text{mm}$ ，鏡片直徑  $D = 50\ \text{mm}$ 。

## 三、成型理論

本實驗所採用的鏡片成型機為德國 LOH 公司之 SPM 120 加工機，輪磨時砂輪會從鏡片邊緣朝鏡片中心前進，對鏡片而言加工的路徑是一螺旋

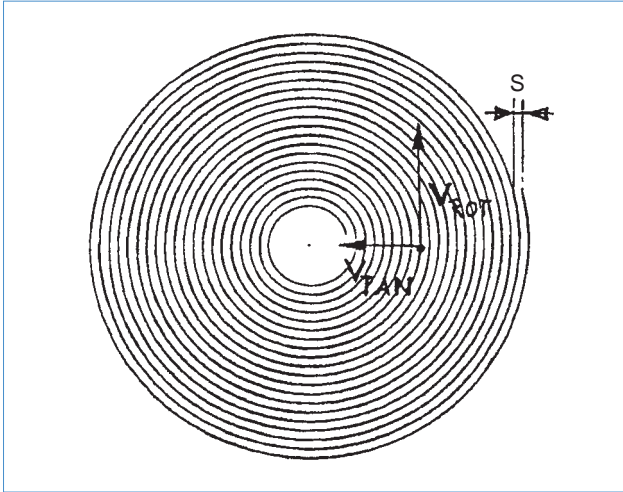


圖 3. 鏡片研磨時的加工路徑。

線，如圖 3 所示，因此就會產生工作速度與螺旋間距這兩個數值，而這兩個數值大致上就會決定鏡片的輪磨時間，且輪磨後鏡片的表面粗糙度與表面輪廓也與這兩個數值有關。圖 3 之工作速度  $V_{rot}$  (mm/min) 與切線速度  $V_{tan}$  (mm/min) 可表示如下：

$$V_{rot} = \pi \times d \times n \quad (1)$$

$$V_{tan} = n \times S \quad (2)$$

其中  $d$  為切削直徑 (mm)、 $n$  為工件軸的轉速 (rpm)、 $S$  為螺旋間距 (mm)。

當砂輪由鏡片外緣向鏡片中心輪磨時，由式 (1) 可知切削直徑  $d$  會愈來愈小，若工作速度  $V_{rot}$  維持定值，則工件軸轉速  $n$  會增加，亦即砂輪越向鏡片中心輪磨時，工件軸會愈轉愈快。又由式 (2) 可知當螺旋間距  $S$  值維持不變時，進給速度會與工件軸的轉速成正比，因此以改變工件軸的初始轉速來進行實驗，以期獲得不同的工作速度 ( $V_{rot}$ ) 對鏡片表面輪廓與表面粗糙度的影響。

#### 四、研磨拋光理論

研磨機制是指在工作物表面及金屬磨盤之間，加入研磨材料 (氧化鋁、碳化矽) 與溶劑 (水、輕油) 所混合成的研磨液，工作物與磨盤以適當的壓力接觸並相互運動，藉研磨液將工作物表面做微量

磨削，以獲得尺寸精度正確而且平滑的加工面。依據 Preston 於 1927 年提出的光學鏡面研磨理論 Preston equation，工作物表面上任一點的研磨量  $\Delta W$  可表示如下：

$$\Delta W = \int_T K_{wear} P_f V_p dt \quad (3)$$

亦即鏡面被磨去的研磨量正比於鏡面與磨盤接觸面上的壓力和相對速度的乘積。式中  $\Delta W$ ：鏡面某小區域被磨去的平均材料深度， $P_f$ ：鏡面上某點所受的瞬時壓力， $V_p$ ：該點與模具的瞬時相對速度， $dt$ ：為某一短暫時段， $T$ ：全部研磨時間， $K_{wear}$ ：為一比例常數，與磨料顆粒大小、環境溫度、工作物材質、磨盤材質、研磨液性質、工作物及磨盤形狀、瞬時壓力及瞬時的相對速度等有關。

一般精密光學元件製造上，研磨時間、壓力、速度及磨料顆粒大小每一參數與研磨量之間約成一線性比例關係，故 (3) 式可簡化成：

$$\Delta W = K_{wear} P_f V_p t \quad (4)$$

在此時段  $t$  內，假設壓力  $P_f$  與速度  $V_p$  隨時間的變化極緩慢 (相當於一常數)。

#### 五、實驗規劃

本實驗採用 SCHOTT-BK7 光學玻璃，非球面鏡片的規格為： $K = -1$ ，鏡面中心點曲率半徑  $R_0 = -150$  mm，鏡片直徑  $D = 50$  mm，成型加工將鏡片的形狀加工至  $3 \mu\text{m}$  內，若量測出來的形狀誤差過大 ( $> 3 \mu\text{m}$ )，則將各點所量得之形狀誤差值輸入電腦，經由電腦模擬程式反覆研磨修正，直到鏡片的形狀降至  $3 \mu\text{m}$  內為止，才進行拋光實驗，而實驗結果量測項目為鏡片表面粗糙度 ( $Ra$ ) 及形狀精度 (P-V)。

##### 1. 成型

鏡片成型時，對杯狀砂輪與鏡片光軸的夾角 (砂輪傾角) 作適度的變化，以使砂輪與鏡片的接觸區域為一弧線甚至變成點接觸，如此可使輪磨時產生的熱較易散失，鏡片中心無熱膨脹變形，即不會

表 1. 改變砂輪傾角之實驗項目。

相對應之 輪磨參數 砂輪傾角	Initial $N$ (rpm)	Initial $V_{tan}$ (mm/min)	$S$ (mm)
13.5°	28.66	0.86	0.03
23.5°	28.66	0.86	0.03
33.5°	28.66	0.86	0.03
43.5°	28.66	0.86	0.03

發生過磨現象。改變砂輪傾角與工件軸初始轉速的實驗規劃如表 1 及表 2 所示，其中 Initial  $N$  為工件軸的初始轉速 (rpm)、Initial  $V_{tan}$  為工件軸的初始進給速度 (mm/min)、 $S$  為螺旋間距 (mm)。

一般非球面鏡片的成型方式有二種，一為杯狀砂輪由鏡片的中心點向外輪磨至鏡片的邊緣，另一為杯狀砂輪由鏡片的邊緣向鏡片的中心點輪磨 (如圖 4 所示)。由於本實驗所加工的鏡片為凹非球面鏡片，若採用杯狀砂輪由鏡片的中心點向鏡片外緣輪磨加工，將使一開始砂輪的輪磨量變得很大，鏡片也會因熱而變形，而影響鏡片成型的精度，故實驗時均採杯狀砂輪由鏡片外緣向鏡片中心方向前進之加工方式，如圖 4 所示。

## 2. 研磨 / 拋光

在非球面鏡片研磨 / 拋光的實驗中，本實驗採用停留時間控制法來進行研磨 / 拋光，亦即每次研磨或拋光後的鏡片經由輪廓量測儀的量測後，將所量得的數據回饋至拋光機，再經由電腦模擬程式的計算，即可得知鏡片上每點所需移除的量，如圖 5 所示。如此反覆的研磨拋光、量測與模擬，便可將鏡片的形狀精度修正至設計目標內。以下針對拋光

表 3.  
改變拋光墊與拋光頭的  
接連方式之實驗項目。

其他研磨 之參數 有無海綿	Load (N)	Time (min)	Work <sub>RPM</sub> (rpm)	Pad <sub>RPM</sub> (rpm)	Pad	磨砂 號數	Pad 直徑 (mm)
有海綿	1	7	60	55	IC 1000/ SUBA	500	14.7
無海綿	1	7	60	55	MH C14B	500	16
量測項目	形狀精度 (P-V)						

表 2. 改變工件軸初始轉速之實驗項目。

相對應之 輪磨參數 Initial $N$ (rpm)	砂輪傾角	Initial $V_{tan}$ (mm/min)	$S$ (mm)
28.66	13.5°	0.86	0.03
41.40	13.5°	1.24	0.03
54.14	13.5°	1.64	0.03
66.88	13.5°	2	0.03

壓力、磨砂粒徑與拋光墊等加工參數對研磨與拋光的影響做實驗規劃。

### (1) 海綿對鏡片形狀精度的影響

本實驗針對拋光墊 (polishing pad) 與拋光頭 (polishing tool) 的連接部分是否有裝置海綿研究對鏡片形狀精度之影響。實驗規劃如表 3 所示，其中 load 為研磨時拋光頭與鏡面間的接觸壓力 ( $N$ )、time 為每次研磨所需的時間 (min)，總共做 10 次研磨實驗。Work<sub>RPM</sub> 為工件軸的轉速 (rpm)、Pad<sub>RPM</sub> 為拋光頭的轉速 (rpm)。

### (2) 磨砂粒徑對鏡片表面粗糙度的影響

一般在鏡片研磨時所使用的磨砂皆為氧化鋁 ( $Al_2O_3$ )，其功用主要是在消除成型後鏡面上所留下的刀痕。本實驗所使用的磨砂為 Fujimi 公司的產品，依粒徑大小分為 500 號 (粒徑為  $19 \mu m$ )、800 號 (粒徑為  $11.3 \mu m$ ) 及 1200 號 (粒徑為  $7.1 \mu m$ )。利用三種磨砂分別做 10 次研磨的實驗，以求得磨砂粒徑大小對鏡片表面粗糙度的影響。

### (3) 拋光墊對鏡片形狀精度與表面粗糙度的影響



圖 4. 杯狀砂輪由鏡片的邊緣向鏡片的中心點輪磨。

本實驗在研磨時所使用的拋光墊有：鑄鐵、Rodel MH C14B 型單層拋光墊及 Rodel IC 1000/SUBA 二層組合式拋光墊，如圖 6 所示。MH C14B 型拋光墊的成分為發泡的聚胺酯 (polyurethane)，是由發泡劑來產生發泡結構，目前主要用於矽晶圓的初次拋光或是 LCD 用玻璃基板的拋光工作。Rodel IC 1000/SUBA 拋光墊由硬質與軟質成分所組成，目前是半導體廠 CMP 製程使用上的主流拋光墊。本實驗利用三種拋光墊做研磨，探討拋光墊的材質結構對鏡片的形狀精度與表面粗糙度之影響，每種拋光墊分別做 10 次研磨實驗，實驗規劃如表 4。另在拋光時，本實驗使用 K # 3 級的瀝青拋光墊，每次拋光所需的時間為 7 分鐘，做 20 次拋光實驗。

### 3. 精度量測

本實驗精度量測項目有兩個部分，即鏡片的形

其他研磨之參數 拋光墊類別	Load (N)	Time (min)	Work <sub>RPM</sub> (rpm)	Pad <sub>RPM</sub> (rpm)	磨砂號數	拋光墊與拋光頭 接連方式	Pad 直徑 (mm)
Cast Iron Pad	1	7	60	55	800	有海綿	14.7
MH C14B Single Layer Pad	1	7	60	55	800	有海綿	14.7
IC 1000/SUBA Composite Pad	1	7	60	55	800	有海綿	14.7
量測項目	形狀精度 (P-V) 與表面粗糙度 (Ra)						

表 4. 不同拋光墊之實驗項目。

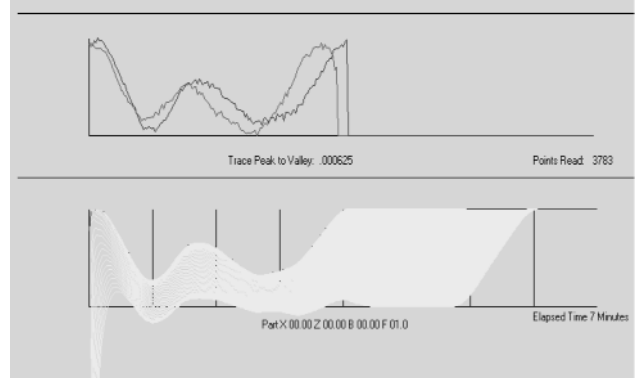


圖 5. 電腦模擬自動修正程式示意圖。

狀精度 (P-V) 與表面粗糙度 (Ra)，所使用的儀器為輪廓量測儀與 CGH 非球面干涉儀。當非球面鏡片成型加工後即進行輪廓量測，以確定鏡片形狀誤差。拋光結束後，除了進行鏡片輪廓量測外，也將非球面鏡片放置在非球面干涉儀上，並配合電腦全像片 (CGH) 做整個非球面鏡片的面精度及表面粗糙度量測。

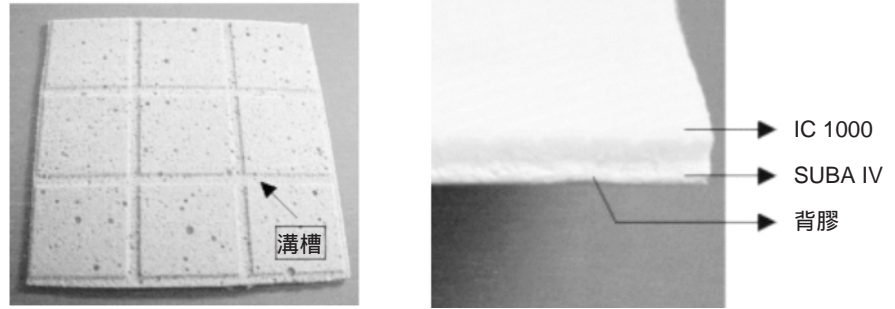
## 六、實驗結果

### 1. 砂輪傾角對形狀精度的影響

本實驗將鏡片成型時砂輪傾角分成 13.5°、23.5°、33.5°、43.5°。由圖 7(a) 可知當砂輪傾角為 13.5 度時，鏡片中心處與砂輪的接觸區域為一弧狀區域，輪磨熱易累積，不易散失，因此造成鏡片中心呈現凹陷。當砂輪的傾角為 23.5° 時，接觸之弧狀區域變小，輪磨熱較砂輪傾角為 13.5° 時較易散失，因此鏡片中心的凹陷現象較小。當砂輪的傾角為 33.5° 時，此時接觸區域幾乎為一直線，但接觸

圖 6.

MH C14B 型單層 (左) IC 1000/  
SUBA 組合式拋光墊 (右)。



的區域並不是點接觸，因此還是有少許輪磨熱存在。而當砂輪的傾角為  $43.5^\circ$  時，接觸區域為點接觸，如圖 7(b) 所示，成型時所生成的輪磨熱極易散去，鏡片不會因熱而膨脹變形，所以並沒有發生過磨的現象，因此鏡片有較好的形狀精度，圓心處不再有凹陷現象。圖 8 為鏡片成型時不同砂輪傾角的形狀精度量測結果，其中砂輪傾角為  $43.5^\circ$  時，圓心凹陷的現象明顯變小，且鏡片形狀精度 P-V 值在  $3\ \mu\text{m}$  內。

## 2. 工件軸初始轉速對鏡片形狀精度與表面粗糙度的影響

本實驗所採用的鏡片直徑為 50 mm，實驗將工件軸初始轉速分成 28.66 rpm、41.40 rpm、54.14 rpm 及 66.88 rpm，並固定螺旋間距 ( $S = 0.03\ \text{mm}$ )，由式 (1) 和式 (2) 可算出工件軸的初始工作速度與初始進給速度，如表 5 所示。

圖 9 為固定螺旋間距 ( $S = 0.03\ \text{mm}$ ) 時，配合四種不同的工件軸初始轉速所成型出來的鏡片表面形狀精度 (P-V)，由圖中可知鏡片表面的輪廓並無太大的變化。此乃因為工件軸轉速提高時，進給速度雖然增加但每轉的切深卻減少，使得等效切屑厚度與工件軸轉速無關，亦即成型輪磨熱的影響並不隨調整工件軸轉速而有顯著改變，故鏡片表面形狀

表 5. 初始工作速度 ( $V_{\text{rot}}$ ) 與初始進給速度 ( $V_{\text{tan}}$ )。

Initial $N$ (rpm)	$V_{\text{rot}}$ (mm/min)	Initial $V_{\text{tan}}$ (mm/min)	$S$ (mm)
28.66	4500	0.86	0.03
41.40	6500	1.24	0.03
54.14	8500	1.64	0.03
66.88	10500	2	0.03

精度無太大的變化<sup>(7)</sup>。

圖 10 為固定螺旋間距 ( $S = 0.03\ \text{mm}$ ) 時，配合四種不同的工件軸初始轉速所成型出來的鏡片表面粗糙度 ( $R_a$ )，由圖可知鏡片表面粗糙度隨著工件軸轉速的增加而有升高的趨勢，此乃因工件軸的轉速增加，使進給速度增加且每轉的切深減少，單位時間內砂輪停留時間亦減少，故擦滑作用降低，以致鏡片的表面粗糙度會變得較差。

## 3. 接觸壓力對鏡片形狀精度之影響

由於非球面鏡片上每點的曲率皆不同，而鏡片的形狀精度是在鏡片成型後即已決定，因此在研磨或拋光的製程中，如何能在不改變鏡片的形狀精度下，修正鏡片的表面粗糙度，主要關鍵在研磨或拋光時之接觸壓力控制。適當且分布均勻的接觸壓力，配合適當的拋光墊，即可降低鏡片的表面粗糙度，而又可維持鏡片成型後的形狀精度。本實驗中，研磨與拋光的壓力直接由拋光機上來調整，實驗時將壓力值調整為 1 N，若拋光墊與拋光頭直接連接做研磨拋光，雖然鏡片上的表面粗糙度有變小的趨勢，但鏡片的形狀精度已產生大幅的變化，如圖 11 所示，由此可知造成鏡片形狀精度變差的原因為壓力分布不均所導致。因此本實驗針對拋光墊與拋光頭的連接部分做變更，亦即在拋光墊與拋光頭的接連部分增加一塊吸振海綿，以緩衝拋光機所施壓力，使鏡片在研磨拋光時的壓力經由拋光墊均勻地分布在鏡片上，如此可在鏡片形狀精度不發生變化下逐漸改善鏡片表面粗糙度，如圖 12 所示。

## 4. 磨砂粒徑對鏡片形狀精度與表面粗糙度之影響

通常成型後的鏡片表面並不能直接進行拋光，

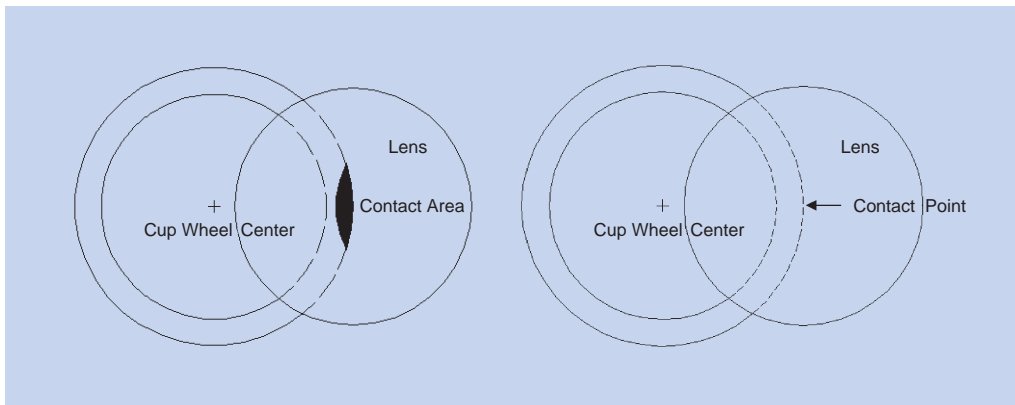


圖 7.  
(a) 砂輪傾角為  $13.5^\circ$  時，鏡片中心處與砂輪的接觸情形。(b) 砂輪傾角為  $43.5^\circ$  時，鏡片中心處與砂輪的接觸情形。

原因是成型時刀具會在鏡片表面留下一些非常細的刀痕 (約  $0.5 - 6 \mu\text{m}$ )，一般的肉眼不容易檢視到，必須在拋光之前加上一道消除刀痕的研磨工作，以降低鏡片表面粗糙度，並修正成適合拋光的形狀精度。如果省略此道步驟，而直接將成型後的鏡片做拋光，則輪廓基準線以上的刀痕經過多次的拋光後是能夠被消除的，但輪廓基準線以下的刀痕則很難去除掉，如圖 13 所示，故鏡片拋光前必須經過研磨過程。本實驗在鏡片的研磨工作中，磨砂採用氧化鋁 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )，分成粗、中、細磨三個階段，第一階段用 500 號的磨砂 (平均粒徑為  $19 \mu\text{m}$ )，第二階段用 800 號的磨砂 (平均粒徑為  $11.3 \mu\text{m}$ )，第三階段用 1200 號的磨砂 (平均粒徑為  $7.1 \mu\text{m}$ )。圖 14 為不同磨砂與其研磨後殘留刀痕長度關係圖，圖 15 為不同磨砂號數與其研磨後鏡片形狀精度之關係圖，圖 16 為不同磨砂號數與其研磨後鏡片表面粗糙度之關係圖。

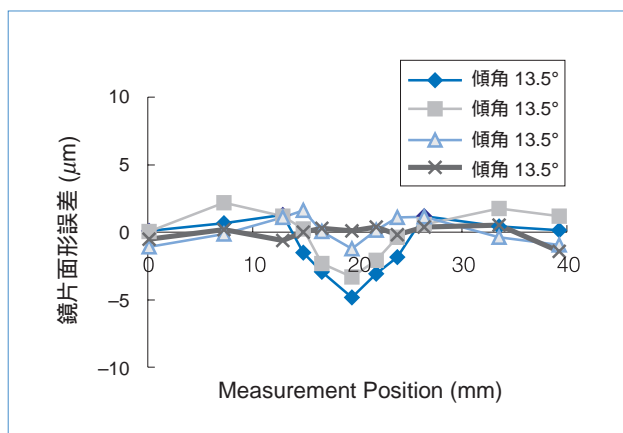


圖 8. 砂輪傾角與鏡片形狀精度之關係圖。

### 5. 拋光墊對鏡片形狀精度與表面粗糙度的影響

本實驗在進行鏡片研磨與拋光時所使用的研磨及拋光墊有鑄鐵、MH C14B 型單層拋光墊、IC 1000/SUBA 組合式拋光墊與瀝青等四種，其中瀝青拋光墊只在鏡片最後拋光時才使用，其餘的拋光墊皆為研磨時所使用。實驗結果如圖 17 所示，在相同的實驗參數下，以鑄鐵來做研磨時，由於鑄

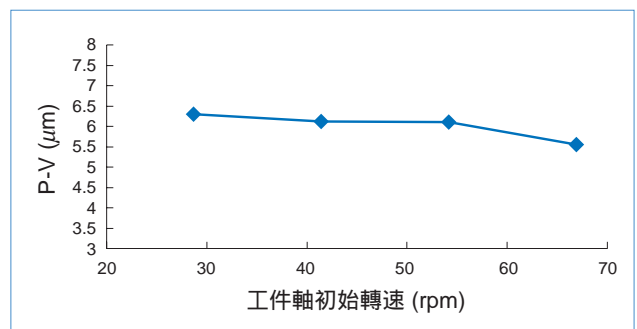


圖 9. 工件軸初始轉速與鏡片表面輪廓誤差 (P-V) 之關係圖。

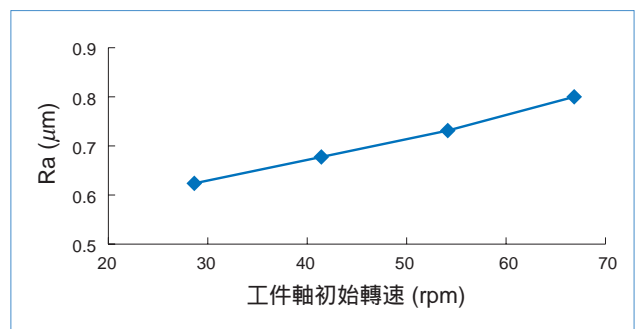


圖 10. 工件軸初始轉速與鏡片表面粗糙度 ( $R_a$ ) 之關係圖。

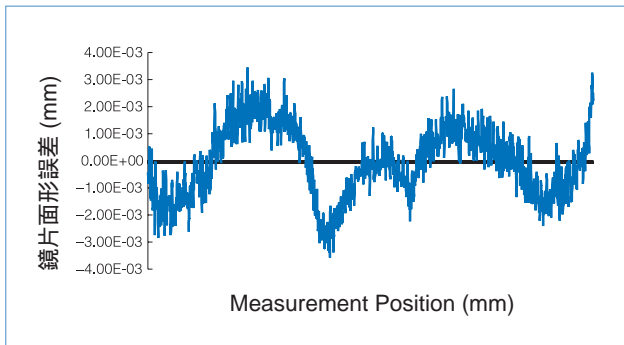


圖 11. 研磨拋光壓力不均勻而產生的形狀誤差。

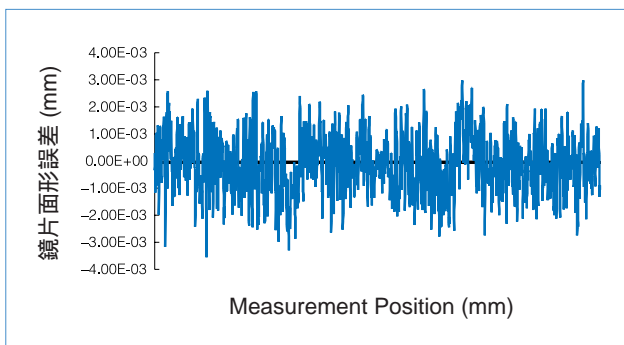


圖 12. 研磨拋光壓力均勻的分布在鏡片上的形狀誤差。

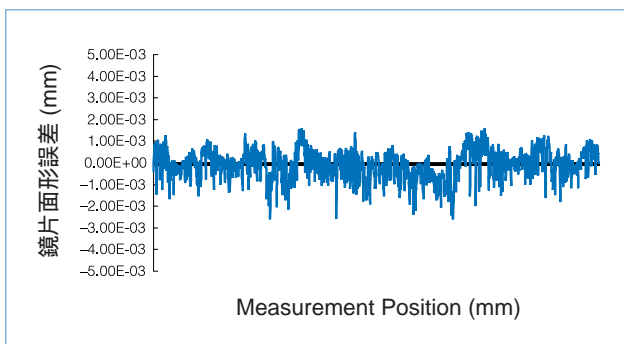


圖 13. 將成型完後的鏡片直接拋光之表面粗糙度。

鐵的硬度夠，因此鏡片成型後的刀痕可以很快地被除掉，但也因鑄鐵過硬而改變原本的非球面面型，導致鏡片形狀精度會愈磨愈差。使用 MH C14B 型單層拋光墊來做研磨，雖然鏡片的面型不會改變，但由於 MH C14B 型單層拋光墊是屬於軟質拋光墊，很難完全去除鏡片上的刀痕。因此可知研磨墊材質太軟無法將鏡片成型後的刀痕消除，若研磨墊材質過硬，雖可移除刀痕，但卻會改變鏡片的面

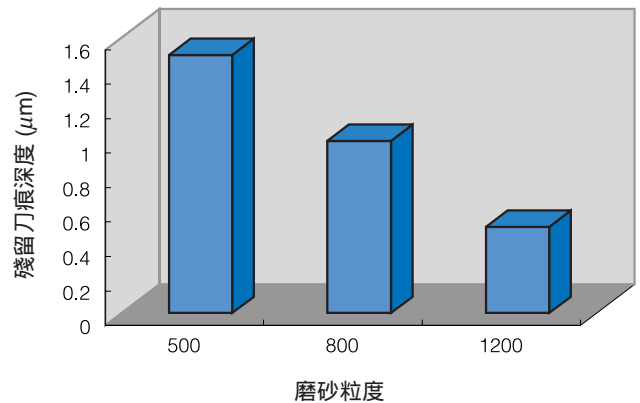


圖 14. 不同磨砂號數其研磨後殘留刀痕長度。

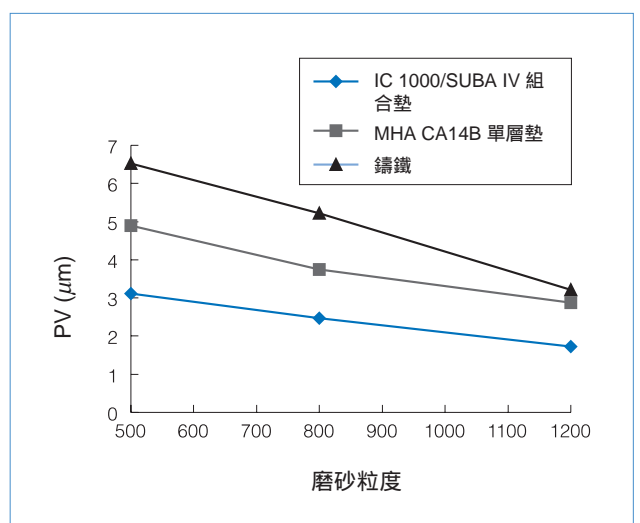


圖 15. 不同磨砂號數其研磨後鏡片形狀精度。

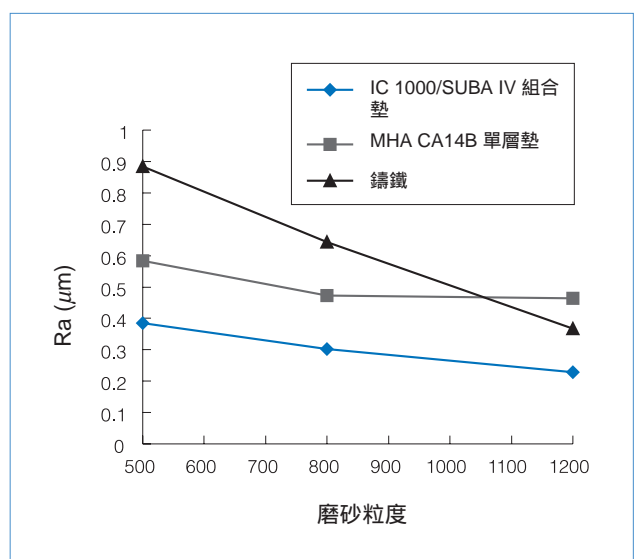


圖 16. 不同磨砂號數其研磨後鏡片表面粗糙度。



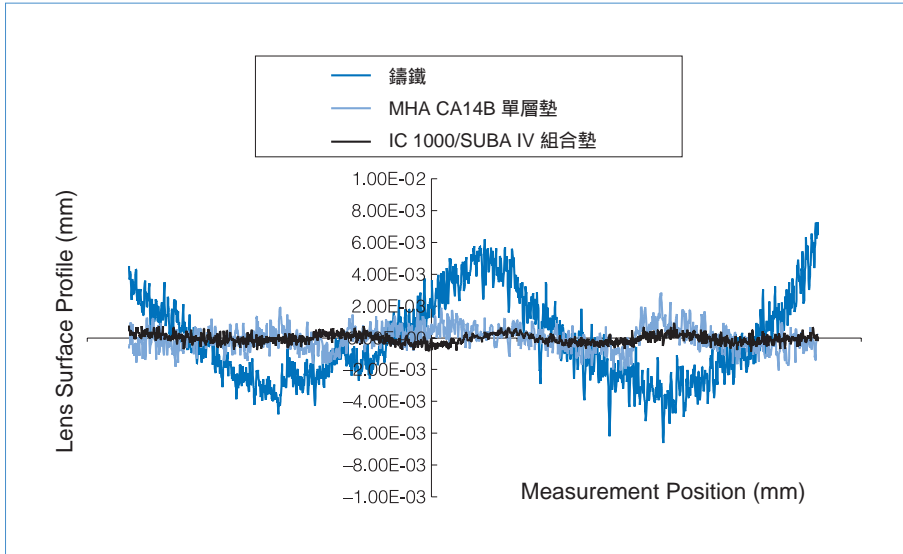


圖 17. 不同研磨墊與研磨鏡片形狀精度之比較。

型，故要能有效地將鏡片上的刀痕消除，應選用硬的研磨墊，但研磨墊表面層下的結構要軟，以容許研磨時研磨墊可隨鏡片的面型而變形，方不致於改變鏡片原有的面型。IC 1000/SUBA 組合式拋光墊的結構正是符合上述的拋光墊結構，其表面層材質為硬質的 IC1000 薄板結構，下層為軟質的 SUBA 型彈簧結構，如圖 18 所示。

## 七、結論

本實驗針對非球面鏡片各種加工參數對鏡片形狀精度與表面粗糙度之影響做探討，以期提供光學從業人員自行開發高精密非球面鏡片時之參考。綜合上述加工實驗，可得以下結論：

- (1) 加工鏡面若為凹面，成型加工時採杯狀砂輪由鏡片外緣向鏡片中心方向輪磨的加工方式較不易產生振動與輪磨熱，可獲得較好的成型精度。
- (2) 鏡片成型時，砂輪的傾角可較大些，鏡片不易因熱而膨脹變形，因此可減少過磨及圓心凹陷的現象。
- (3) 鏡片成型時，改變工件軸的初始轉速對材料移除情況並無明顯影響，亦即輪磨熱的影響不隨工件軸轉速而有顯著改變，因此鏡片表面的輪廓並不會有太大的變化。
- (4) 鏡片成型時，當工件軸的初始轉速增加時，單位時間內砂輪停留在鏡片的時間減少，因而擦滑作用的比例降低，因此鏡片的表面粗糙度會

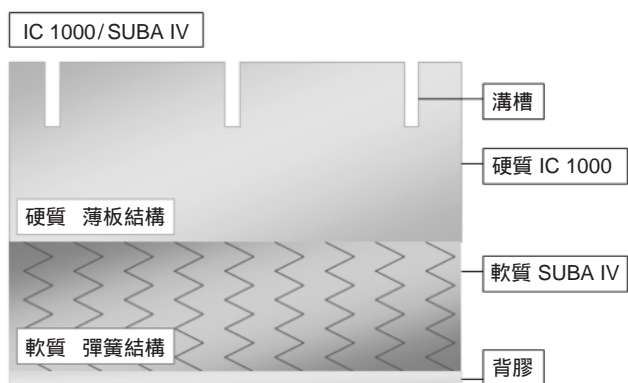


圖 18. IC 1000/SUBA 組合式拋光墊上下結構層示意圖。

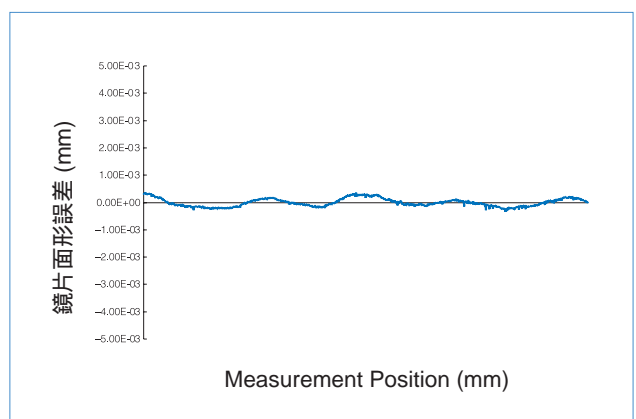
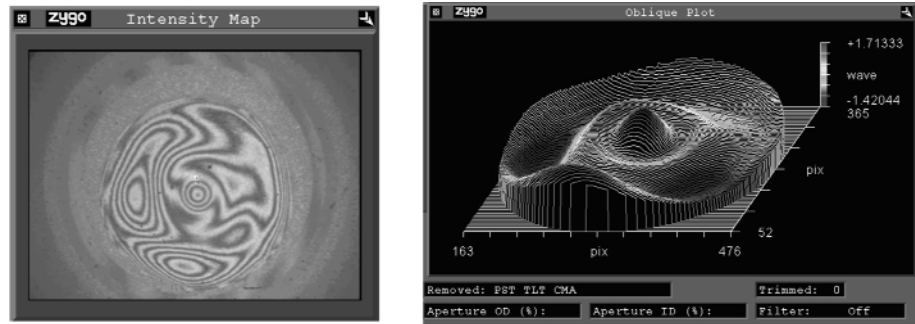


圖 19. 鏡片拋光後的輪廓量測結果。

圖 20.  
鏡片面精度量測結果。



變得較差。

- (5) 拋光時，在拋光墊與拋光頭的連接部分增加一塊吸振海綿，可使鏡片在研磨拋光時的壓力經由拋光墊均勻地分布在鏡片上，使形狀精度變化小，且鏡片的表面粗糙度有改善的效果。
- (6) 鏡片在拋光前若先做研磨，可消除成型時在鏡片表面上所留下的刀痕，亦可降低鏡片的表面粗糙度。
- (7) 使用 IC 1000/SUBA 組合式的拋光墊來做鏡片研磨，可有效地將鏡片上的刀痕消除，又不易改變鏡片原有的面型。
- (8) 鏡片拋光時，使用瀝青來當拋光墊，可順利將鏡片表面的裂痕層除去，拋光後鏡片的表面精度可很快達成預定標準，如圖 19 和 20 所示。

此外，在非球面成型、研磨與拋光製程中，其他如砂輪粒度、結合度及組織等砂輪特性、拋光主軸傾角、拋光墊的直徑大小、拋光時間、拋光路徑等加工參數亦會影響鏡片最後精度，故若能針對不同形狀之非球面鏡片，以實驗的方法建立諸項加工特性，並依此求出最佳的製程參數，在進行實際製作時，配合此最佳參數加工，將能達到最佳的形狀精度與加工速度。

## 參考文獻

1. T. Moss, *Photonics Spectra*, 80 (1994).
2. 馮之敬, 吳鴻鐘, 趙廣木, 陳作軍, *清華大學學報*, **40** (8), 69 (2000).
3. S.-C. Kim, G.-C. Kwon, O.-H. Kim, E.-S. Lee, and C.-J. Oh, *The 4th International Symposium on Advances in Abrasive Technology*, 23 (2001).

3. E.-J. Kim, J.-K. Choi, H.-S. Kim, and J.-W. Yang, *The 4th International Symposium on Advances in Abrasive Technology*, 45 (2001).
4. T. Kuriyagawa, J. Lee, M. Saeki, and K. Syoji, *The 4th International Symposium on Advances in Abrasive Technology*, 111 (2001).
5. 黃國政, 王必昌, 廖俊境, 郭慶祥, *科儀新知*, **20** (3), 96 (2001).
6. 林建平, *清華大學動力機械系碩士論文* (2000).
7. 陳善明, *科儀新知*, **14** (2), 14 (1992).

黃國政先生為國立台灣大學機械工程博士，現任國科會精密儀器發展中心工程師。

莊賀喬先生為國立清華大學動力機械碩士。

左培倫先生為美國密蘇里大學羅拉分校機械工程博士，現任國立清華大學動力機械工程學系教授。

郭慶祥先生為大葉大學機械工程碩士，現任國科會精密儀器發展中心助理研究員。

Kuo-Cheng Huang received his Ph. D. in mechanical engineering from National Taiwan University. He is currently an engineer in Precision Instrument Development Center, National Science Council.

Ho-Chiao Chuang received his M.S. in power mechanical engineering from National Tsing Hua University.

Pei-Lum Tso received his Ph.D. in mechanical engineering from the University of Missouri at Rolla, USA. He is currently a professor in the department of power mechanical engineering at National Tsing Hua University. Ching-Hsiang Kuo received his M.S. in mechanical engineering from Da-Yeh University. He is currently an assistant researcher in Precision Instrument Development Center, National Science Council.