

「雷射光干涉應用於非球面鏡片檢測方法」

伍家麟

工業技術研究院

jialin@itri.org.tw

摘要

隨著光電產品的發展趨勢，逐漸講求輕、薄、短、小。非球面透鏡的使用可以簡化光學系統的構成、提高成像品質並且降低成本，因此非球面透鏡在光電產品上的應用將愈來愈廣泛。非球面鏡片之檢測較一般球面透鏡更為困難，原因是周邊與中心有相當大之光路徑差。目前檢測非球面鏡片的常用方法各自具有其缺點，因此本論文分析了使用新式架構之雷射光干涉儀，達到非接觸式檢測以及高精度之成效，以符合業界線上快速檢測的需求。尤其有些非球面元件不能在檢測過程中遭到刮傷，且需要達到快速檢測的目的，因此在非接觸式光學量測的架構下將具有相大大之競爭優勢。

關鍵字：非球面鏡片檢測、非接觸式光學檢測

壹、前言

隨著光電科技與工業的發展，光學元件的應用不但多樣化，且要配合光電產品的發展趨勢，逐漸講求輕、薄、短、小。傳統的透鏡是以研磨方法製成的球面透鏡為主，由於具有球面像差，一般的應用必須以多個透鏡的組合(即所謂的鏡頭)來補正像差，才能得到較好的成像品質；不過也因此增加了光學系統的體積、重量與生產成本。非球面透鏡的使用可以簡化光學系統的構成、提高成像品質並且降低成本，因此在講求高品質、低成本的市場要求下，非球面透鏡在光電產品上的應用將愈來愈廣泛。所有的透鏡在製造的過程中，需要有檢測的程續以確保品質合乎規格，而檢測的項目包括了外觀、對心、焦距、表面精度及成像品質等，這些檢測有些是在製造過程中進行，有些則是在組裝成鏡頭後再量測。在決定量產製程時，生產者會依元件用途，自行設計量測機構或用光學儀器做為輔助制訂檢測方法。一般而言，表面精度檢測方法可大致分為針對球面或非球面透鏡，由於球面透鏡的檢測方法已趨成熟，本文主要在探討以雷射光干涉儀作為非球面鏡片的快速檢測方法。

貳、非球面鏡片表面精度量測方法

非球面透鏡由於鏡面中心與週邊有相當大之光路徑差，若用一般干涉儀來量測非球面透鏡，干涉條紋會太過於密集，無法辨別待測表面形狀精度之誤差，因此並不適於直接用來量測非球面元件。目前非球面的檢測一般可用牛頓干涉儀、機械式輪廓儀或剪像干涉儀(shearing interferometer)，其方法一一分述如下：

一、牛頓干涉儀

圖 1 為牛頓干涉儀量測示意圖，此方法是利用待測面與標準面間之差異所造成的光路徑差來產生干涉條紋，能在生產線上很快地判斷待測面表面精度之準確性。其缺點是工廠須準備一套與被測元件曲率相反之標準片，且因非使用雷射光源，光波同調性低，被測元件與標準面需接觸方能顯示干涉條紋，標準面在長期使用下，容易受損，因此並非最好的量測方法。

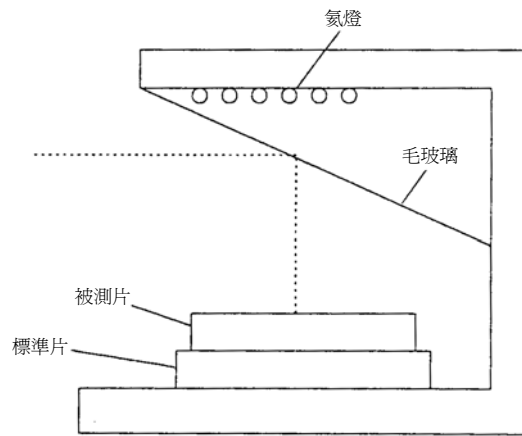


圖 1：牛頓干涉儀

二、機械式輪廓儀

機械式輪廓儀是用精密探針劃過待測透鏡表面，同時用高精確度的雷射量測設備，記錄探針垂直及水平方向之位移，以達到表面檢測之目的，如圖 2 所示，此種機械式輪廓儀量測精度可達 $\lambda/10$ ，不止可量測表面形狀精度，亦可得到表面粗糙度之資訊。其優點為不需事前調整工作，較干涉儀簡便而富彈性。缺點是一次只能作一維量測及接觸性量測，有可能損傷待測物表面。

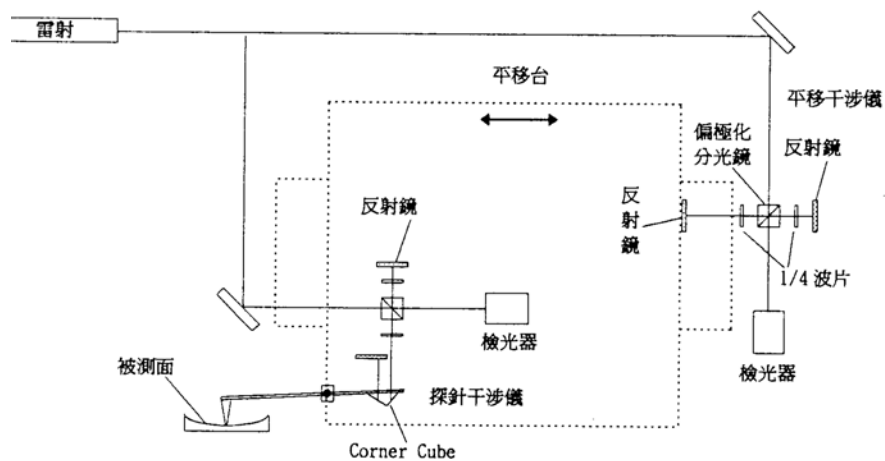


圖 2：機械式輪廓儀示意圖

三、剪像干涉儀

剪像干涉儀是將待測波之波幅分成兩個部份，並使兩個波幅在垂直方向錯開一小段距離，讓兩個波前在重疊處產生干涉。由於待測波是與自己產生干涉，因此不須用到非球面參考片，而且因為兩相干涉之波前在系統中走相同路徑，因此干涉條紋不受振動或系統所用光學元件品質影響。不過剪像干涉儀所量到之資訊是待測面斜率，須作數學處理方能得到非球面之精度誤差。最簡單之架構為使用平行玻璃版的橫向剪像(lateral shear)干涉儀，如下圖 3。

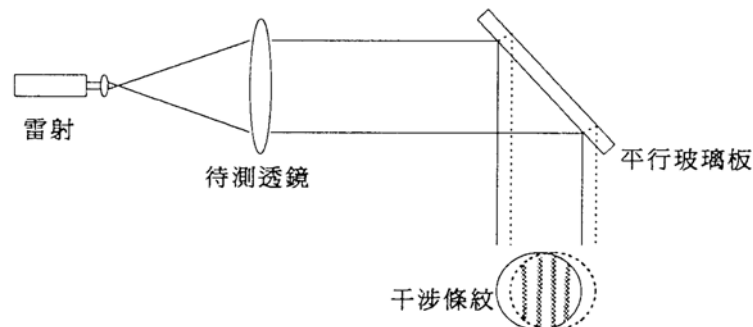


圖 3：橫向剪像干涉儀

參、主流技術、機台之之比較

目前市佔率最高的主流技術為機械式輪廓儀，其最具代表性的機台有 Taylor Hobson 公司的 PGI-1250A 與 Panasonic 公司的 UA3P，其技術特點分述如下：

一、Taylor Hobson PGI-1250A

此款機台之工作原理如下圖 4，黑色的箭頭代表探針；裝載試片的基座可以作 θ 角與 α 的旋轉，以及 Y 方向的移動，讓探針的掃瞄範圍不受非球面曲率的限制，如下圖 5；在 Y 軸橫移時記錄探針所偵測到之一維輪廓， α 角的旋轉是負責讓非球面的邊緣能夠順利下針，而 θ 則是讓一維掃瞄可以在任意方向上施行的方式。

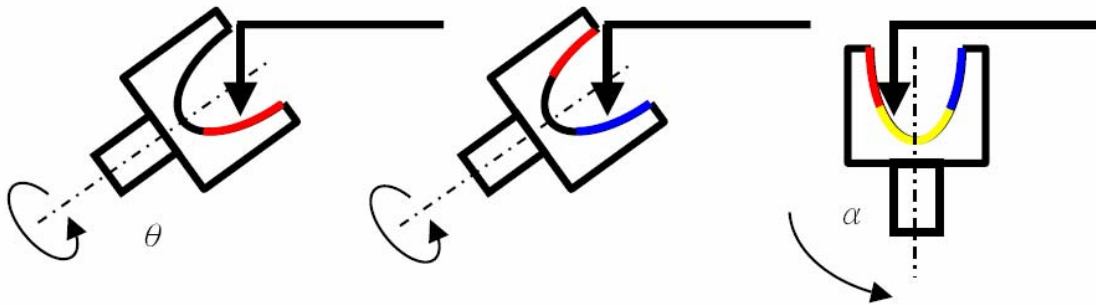


圖 4：Taylor Hobson PGI-1250A 工作原理

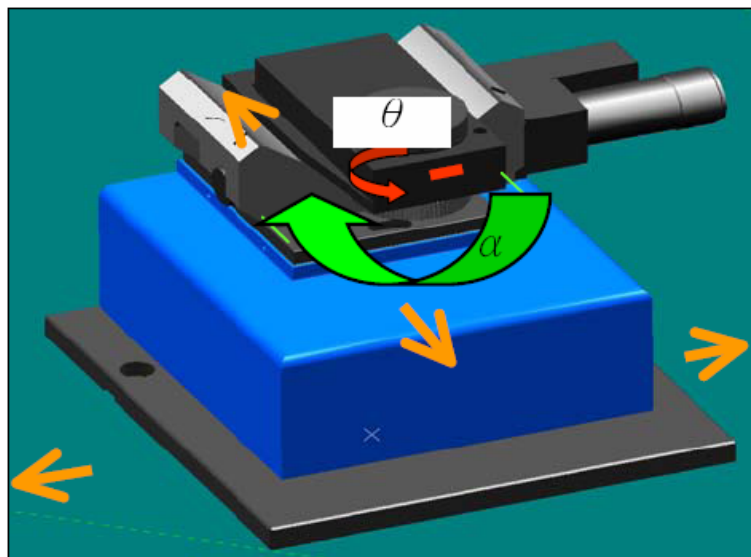


圖 5：旋轉基座示意圖

二、Panasonic UA3P

此款機台的技術特點為探針的力道很小，因此刮傷待測物表面的問題可以獲得改善，其架構也較為簡單；而其缺點為當非球面物體的表面傾斜斜率大於 60 度時，探針會無法順利接觸物體表面來進行量測，其示意圖如下圖 6。

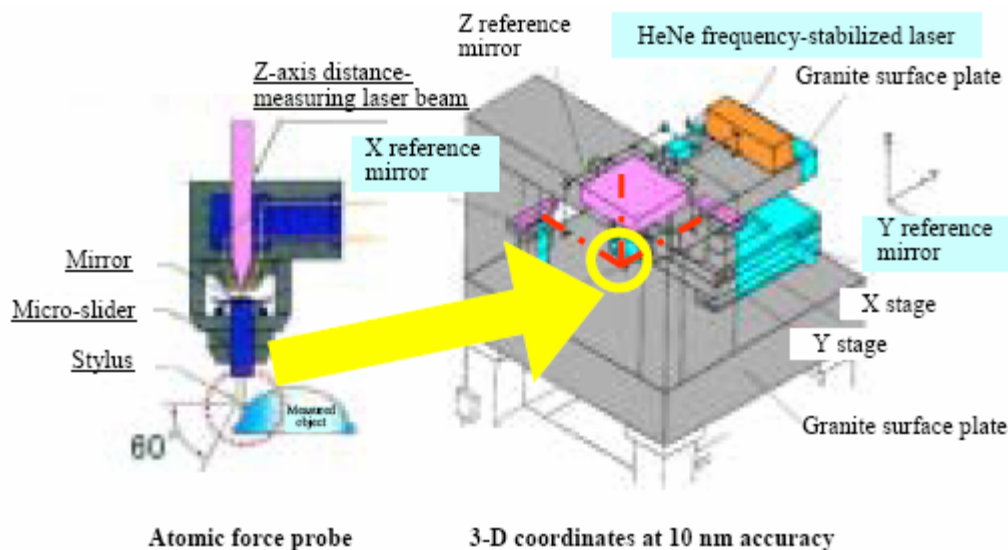


圖 6：UA3P 探針結構設計

肆、雷射光干涉儀

有鑑於機械式輪廓儀會造成待測物表面的損傷，而且一次只能作一維量測，因此未來若要應用於產線上，較理想之架構應為非接觸式之光學量測系統。在光學式檢測方法中牛頓干涉儀雖能達到快速檢測的目的，但針對不同待測物需準備不同的標準片，成本上有所顧慮；在光源的選擇上，高同調性的雷射光亦較為理想。在分析處理量測數據時，亦希望能達到快速運算且精確度高的目的，因此我們提出了以 Linnik 架構式的雷射光干涉儀來檢測非球面透鏡之表面精確度。Linnik 式干涉顯微鏡具有較大的數值孔徑及不需較長工作距離的優點，因此可兼顧高解析度與小型化機台的需求；唯需要兩個相同物鏡，可應用在高倍率物鏡，因此在光干涉架構上我們採用 Linnik 式干涉顯微鏡，可得較佳的橫向解析度，如下圖 7。

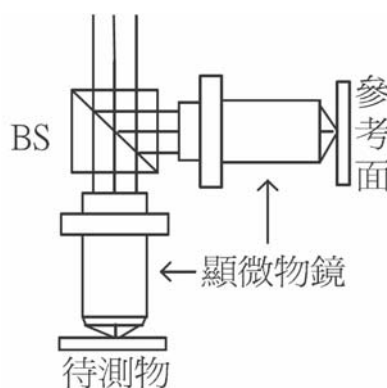


圖 7：Linnik 式光干涉架構

在參考面的部分之前已提到，因為一般干涉儀是以平面做為參考面，利用解析牛頓環來達成檢測的目的，如下圖 8；根據光學原理，在空氣膜上、下兩個表面的反射光相遇時相互干涉，其明暗條件取決于它們之間的光程差 δ ： $\delta = 2e + \lambda/2$ 其中 e 是反射光相遇處空氣膜的厚度，其明暗條件是

$$\delta_k = \begin{cases} k\lambda \\ (2k+1)\lambda/2 \end{cases} \quad k=0,1,2,3,\dots \quad (1)$$

通過以弦代直徑法，得到半徑公式：

$$R = \frac{L_m^2 - L_n^2}{4(m-n)} \quad (2)$$

其中 L_m, L_n 是第 m, n 級暗環的弦長； m, n 是暗環的級次； R 是透鏡的曲率半徑。然而對於檢測非球面時週邊干涉條紋會太過於密集，難以解讀資訊，製作非球面標準面的成本又高，因此我們採用球面作為我們的干涉參考面。

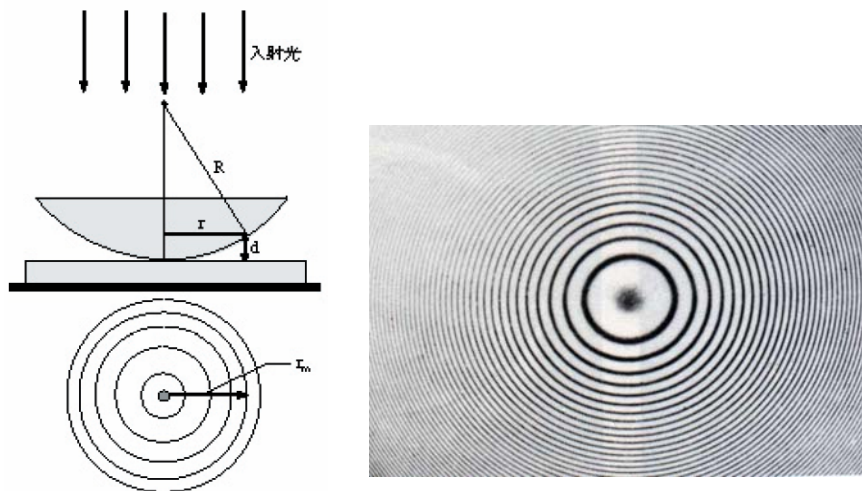


圖 8：牛頓環的產生

伍、量測架構

本文所設計之實際量測架構如下圖 9，雷射光源(波長為 632.8nm)經過 50 倍顯微鏡聚焦，並於焦點附近放疊針孔(pinhole)做空間濾波(spatial filter)，濾除高頻離散光，提升光源品質。在針孔後方放置雙合透鏡(doublet)，兩者距離為透鏡焦距，擷取高斯光束中心區域，來模擬準直平行光。再經過雙合透鏡變成收斂波，然後通過分光鏡(beam splitter, BS)分光，兩道光分別會聚於顯微鏡附近，最後光經過顯微物鏡後變成小口徑平行光，照射到參考平面與待測面上，光束反射至原光路，再經 BS 合光，在 CCD 上形成干涉條紋。藉由解調干涉條紋間距，可以得到非球面透鏡表面資訊，如下圖 10。

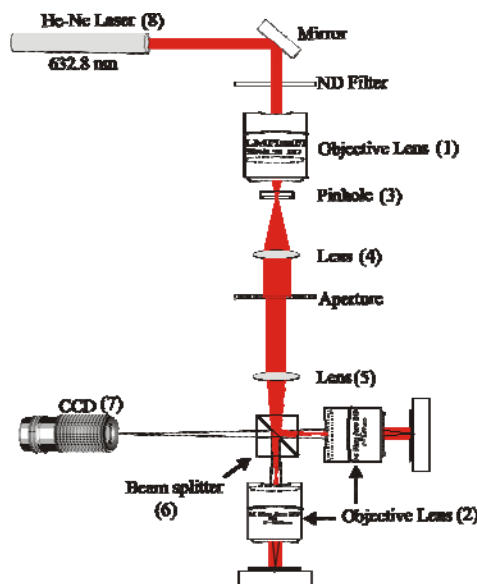


圖 9：量測架構

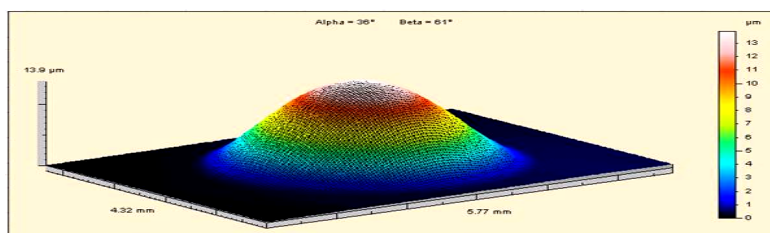


圖 10：解調干涉條紋獲得非球面表面輪廓

在放置試片的部分，鑑於考慮物鏡的 FOV 與牛頓環的解調極限等問題，我們採用類似 Taylor Hobson PGI-1250A 的試片夾治具，如下圖 11，旋轉不同的 α 角來對非球面鏡作不同位置的量測，最後將各個位置的計算結果縫合，產生最後的表面輪廓圖。

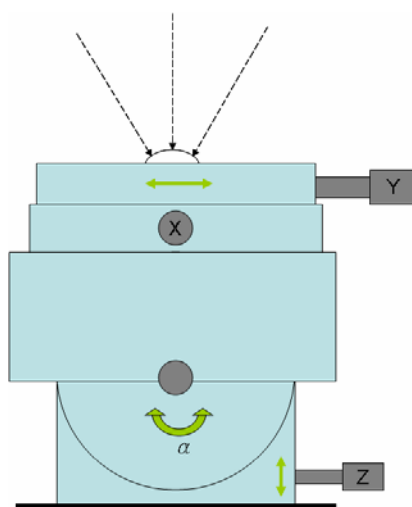


圖 11：待測片夾治具示意圖

下表 1 為雷射光干涉儀與主流競爭機種的比較表，因為機械式輪廓儀是利用機械精度來控制掃瞄精度與行程，因此於橫向解析度具有其優勢；然而光干涉技術對於垂直方向可以達到最高解析能力，且不傷物體、速度快、可配合旋轉方式偵測非球面邊緣，加上架構簡單、成本較低，因此在競爭力上佔有相當大的優勢。

表 1：雷射光干涉儀與競爭機種之比較

	軸向行程	軸向精度	Type	掃描方式	備註
Taylor Hobson PGI 1250A	Z:12.5mm X:200mm Y:25mm α : $\pm 45^\circ$ θ : $\pm 360^\circ$	Z:0.8nm X:0.125μm Y:0.1μm α :100u° θ :100u°	Stylus	接觸式 單點掃描	量測時會刮傷鏡片、模仁。 目前最多光學廠採用。
Panasonic UA3P -4	Z:35mm X:100mm Y:100mm	Z:3nm X:0.05μm Y:0.05μm	Stylus	接觸式 單點掃描	接觸力小，較不易刮傷待測品。
雷射光干涉儀	Z:50mm X:6.5mm Y:6.5mm α : $\pm 360^\circ$	Z:0.1nm X、Y: 光學解析 α :250u°	Interferometer	非接觸式 面掃描	目前測量鏡片斜率只有 30° 。 非接觸式，不刮傷待測品。 Z 軸解析度最高。

陸、結論與建議

本文分析了以雷射光干涉儀作為非球面鏡片檢測的方式與其他主流技術的比較，結果發現非接觸式之光干涉技術於非球面鏡片檢測相當具有發展的潛力及空間；在不傷物體表面的優勢下，可達最大縱向解析度，除了獲得表面輪廓資訊外亦可得到粗糙度資訊，判斷製程品質。由於架構簡單、量測迅速，因此非常適合用於線上及時檢測；在未來的發展及應用趨勢下，無疑是一個值得開發的領域。

柒、參考文獻

- [1] 黃榮芬、黃仲龍、劉信宏 (2006)：我國發展自動光學檢測設備策略研究，工研院產業經濟與趨勢研究中心。
- [2] Kevin Lee (2005). Form Talysurf PGI 1250A Aspheric Mould Measurement System. *Zimmerman Scientific co.,Ltd.*
- [3] Hideki TSUTSUMI, Keiichi YOSIZUMI,& Hiroyuki TAKEUCHI (2000). Presentation of Ultrahigh Accurate 3-D Profilometer and Case Examples of Measuremen. *Matsushita Electronic Industrial Co · LTD.*