

「應用於高階模造元件之多維度量測平台設計介紹」

陳俊賢

工業技術研究院

Jim.chen@itri.org.tw

摘要

光干涉技術因為具有快速、精細度高、以及非破壞性檢測等優點，而普遍地被應用於平面的測量；但是對於非球面傾斜度過高的表面形貌，則會因為收光角度的限制而無法量測。因此必須搭配一個以非球面球心為旋轉中心偏擺的量測平台，如此便可以克服收光角度限制的問題；由於會取不同角度之影像，也必需提供影像疊合參考點的定位機制。如此整合上述提及偏擺機構與定位機制的功能，便成為於高階模造元件之多維度量測平台。

關鍵字：平台、量測、非球面

壹、前言

在非球面鏡片或模仁的量測中，習知的技術是以接觸式的方式來量測表面的形貌與粗糙度，其最為人詬病者便是探針接觸量測時所產生的刮痕。模仁的刮痕必須重新再上加工機修整；而鏡片若有刮痕便必須報廢無法使用，所以多是以抽驗的方式，再輔以 QC 的手法推估良率；並沒有機會做產品品質的全檢。對於非球面鏡片或模仁的製造與檢驗都是時間的損耗與潛在不確定的風險。

也由於手機相機的 CCD/CMOS 解析度越來越高，感測元件面積卻越來越小，相對於鏡頭鏡片有效徑也越來越小。使得鏡片表面的粗糙度要求已經從之前微米等級進階到奈米；從前廠商慣用的量測儀器將無法滿足新一代產品形貌精度的要求，更高精度的量測儀器將是下一階段的重點目標。

光干涉技術的應用，正好解決以上的難題。一方面由於其為非接觸式量測，可以避免接觸時造成的損壞，進而有機會對生產產品做全面的檢驗，提昇對良率的掌控。另一方面由於量測解析度可以達到 0.1 奈米，對於要求更高的手機相機之鏡片檢測可以提供更正確的形貌量測結果。

貳、設計步驟與結果

一、定義產品應用目標

在此我們先定義非球面量測機台為多維度量測平台之應用；圖 1 為高階模造元件量測機台的外觀，主要為光干涉光路與多維度量測平台的組合。由於操作便利性的考量，光干涉光路為一剛性的組合，其相對的光學垂直度、同心度、位置度的要求，由該組合的機構設計預留調整機制來達成。干涉參考面組合為可控制移動，已達到深度掃描的效果。

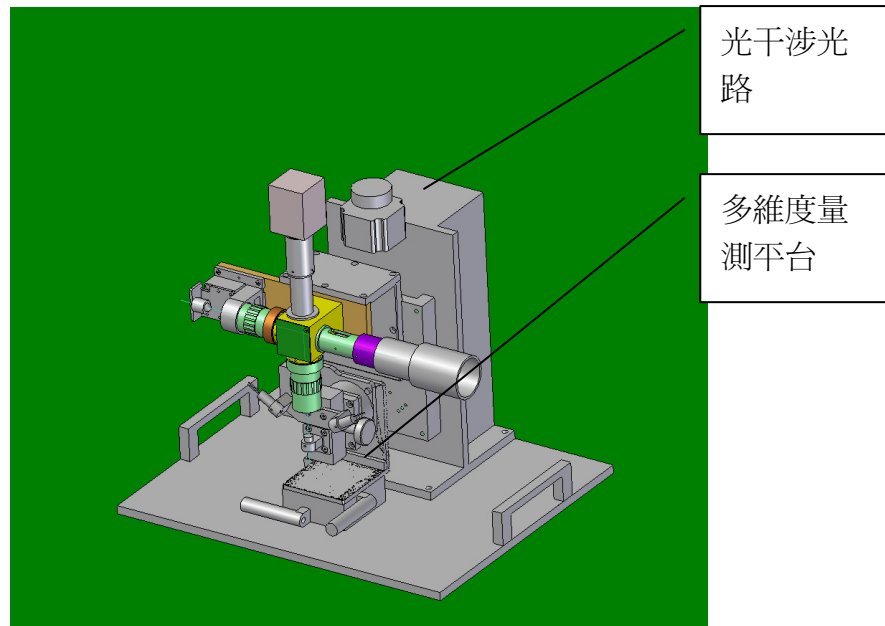


圖 1：量測機台架構圖

光干涉的架構是以 Linnik 光路為基礎所發展，參考圖 2，其內有相關之光學干涉元件。關於對焦方式，則以 Linnik 光路後方之量測支架帶動整體光路來對焦。其內建的直線滑軌可以在 Z 軸方向進行待測物的對焦動作，設計行程除了包含對焦範圍外，還應包含下方旋轉馬達所產生待測物上下偏移的距離。

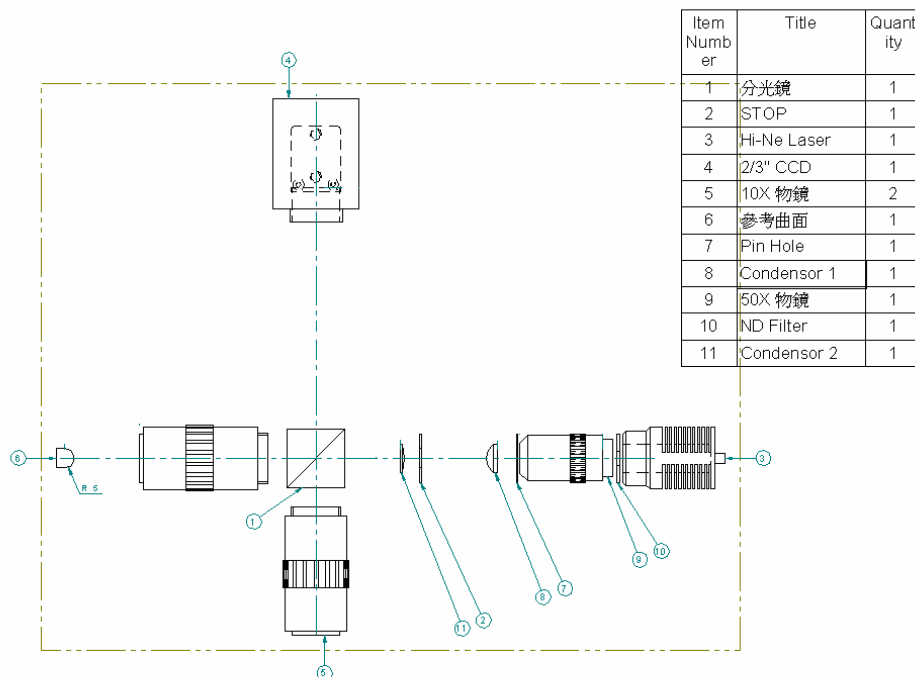


圖 2：Linnik 光路架構圖

二、定義產品運動維度

除了光干涉光路所有的掃描與對焦運動外，多維度量測平台也必須有自己的運動維度。首先需要的便是與干涉光路中心重合的調整平台；在此我們採用 XY 平面的調整平台讓操作者容

易達成目的。一旦中心重合後，就只剩要量測大斜率的偏擺運動與因為調整不同曲率半徑的偏移運動了。

三、偏擺與偏移機構設計

由前言提及，為克服收光角度之限制，多維度量測平台必須提供一個可偏擺之運動控制來量測整個非球面曲面。綜觀非球面之曲線公式

$$f(x) = \frac{x^2}{R + \sqrt{R^2 - (1+k)x^2}} + D + A_4x^4 + A_6x^6 + A_8x^8 + A_{10}x^{10} + \dots$$

可知它主要是以二次圓錐曲線公式為基準，再於高項次中（ X^4 、 X^6 、 X^8）做形貌高度的修正，一般而言 A_4 、 A_6 、 A_8的係數都遠小於 1；我們可以假設若是能依其球心為旋轉中心偏擺，其曲面相對於焦點偏差較小。因此我們設計的偏擺機構之旋轉中心位置必須能與球心重合。

市面上習知之偏擺機構採用與圖 3 相似的偏擺原理，其偏擺角度與方向有固定限制，而市面上多樣之非球面鏡片隨著鏡頭越做越短（可藏於手機之內）曲面斜率卻是越來越大。因此若是使用類似圖 3 的偏擺機構則會有一個最大偏擺角度而勢必會限制可量測的最大斜率。



圖 3：習知之偏擺機構

再來必須考慮的便是非球面可能為凸面或是凹面，旋轉中心可能位於量測面之上方或是下方；因此一個偏擺可達到正負 90 度且可調整鏡片相對於旋轉中心上下移動的機構才是我們的設計目標。

圖 4 是我們的設計實施例，1 是一個 XY 平移台，主要是用來將待測物之中心點與 Linnik 光路中心重合。2 是一個直立式可 360° 旋轉的馬達透過 L 型轉接板鎖固於 XY 平移台上，由於其沒有旋轉角度的限制，只要挾持得法甚至可以量測一個 360° 的圓球。3 是一個 Z 軸方向可調整之平移台，量測為凸出之非球面則往上位移調整，若量測為凹入之非球面則往下位移調整。關於上下位移的調整量則不用預留太多，畢竟目前手機相機之鏡片直徑都已經做到 1~2mm，半徑超過 10mm 以上則與平面相差不了太多，也不需再偏擺了。其動作概念參照圖 5

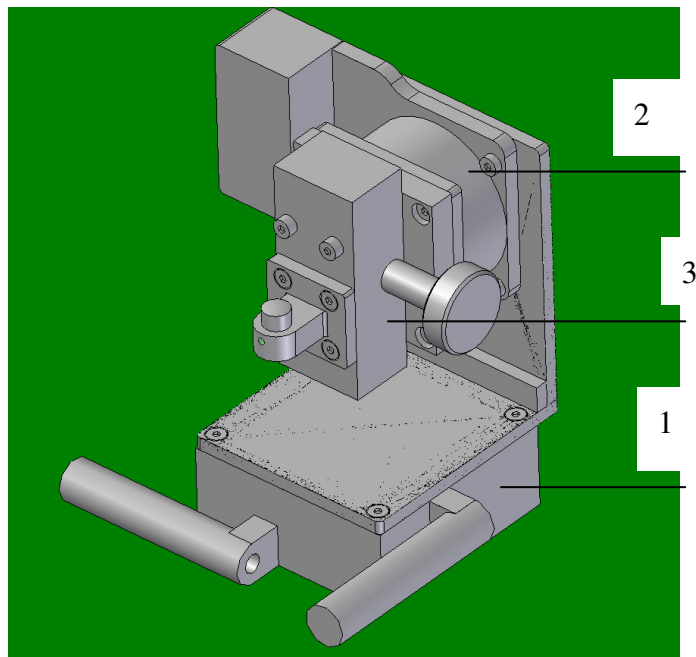


圖 4、量測平台實施例

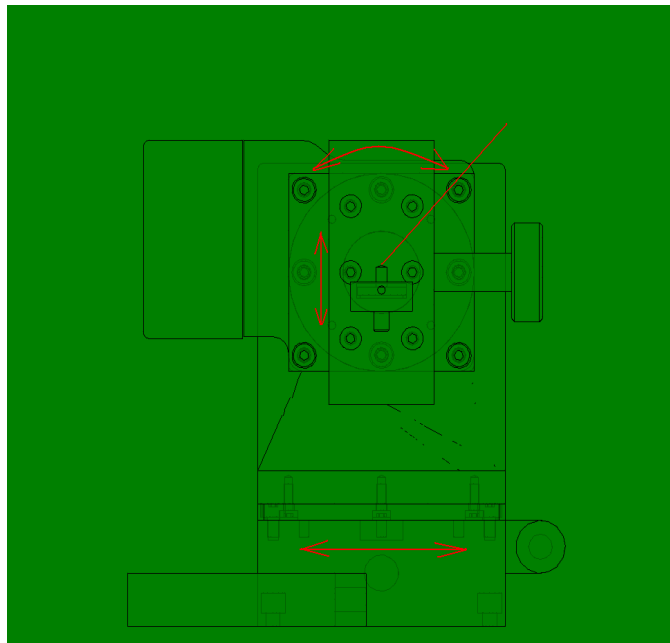


圖 5、量測平台運動示意圖

四、定位機制設計

在量測過程中，由於收光角度的限制必須旋轉待測曲面拍攝不同區域，再將之合成一個完整之曲面；影像疊合的要求便因之產生。

要增加影像疊合的精確度，主要的處理方式分成硬體及軟體兩方面：硬體上，是以精密的元件來架設機構，使得量測時儀器的誤差能在特定的範圍之內；軟體上，則是以演算法來修正對位的誤差，其中，[Besl]提出的 Iterative Closest Point (ICP)就是一種適用於三維空間對位、且具有普遍性的演算方式。

然而以上的兩種處理方式還是有各自的問題要面對：硬體上，更精密的機構代表儀器的成本和儀器的複雜度會有所增加；軟體上，如[Rusinkiewicz]所分析，即使 ICP 這麼強大的演算法，還是有它的極限存在，例如沒有明顯特徵的形貌就會造成它運算的不穩定性，而對於非球面鏡

片或是模仁這種高精度高對稱性的素材表面將無法計算。

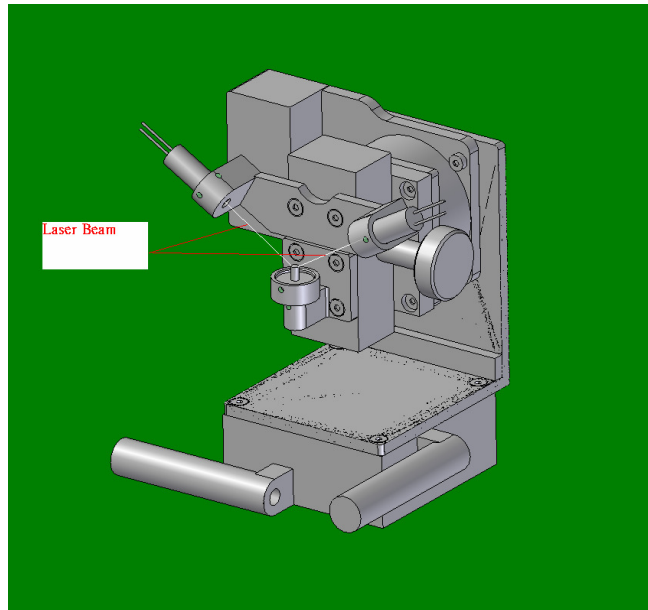


圖 6、以雷射輔助定位機制

圖 6 是在原先的量測平台再加上雷射定位機制，只要雷射所打出的光點固定再待側面上沒有相對的位移；由於雷射定位點不會對待測面造成損壞，又可以對 CCD 影像產生特徵點，突破了以往影像疊合的困難處，一方面不需要高重現性高價格的旋轉機構，另一方面又可縮短軟體疊合運算的時間。

由以上的設計介紹，相信整合偏擺機構與定位機制之多維度量測平台，將可滿足更高等級的手機相機之鏡片檢測需求。

參、結論與感想

隨著數位相機與照相機高解析度的需求，非球面模造鏡片與模仁的製造與檢驗要求也越來越多，但是目前國內製造廠商多是用接觸式的檢驗機台，所以一模多穴的模具多只是抽驗少量的模仁便相信同樣製程條件的其他模仁差異不會相差太多。若是以後因應更高解析度的鏡頭鏡片其製造要求條件可能已經接近加工最高水準的話，則其風險便相對提昇。工研院有鑑於此著手開發非接觸式的高階模造元件量測機台，希望可以幫助國內的光學製造業往更高附加價值的產品移動。

肆、參考資料

1. 黃蓉芬、黃仲龍、劉信宏，”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，2006.
2. Besl, P., McKay, N., “A Method for Registration of 3-D Shapes,” Trans. PAMI, IEEE, 1992
3. Curless, B., Levoy, M., “A Volumetric Method for Building Complex Models from Range Images,” Proc. SIGGRAPH’96, ACM, 1996
4. Rusinkiewicz, S., Levoy, M., “Efficient Variants of the ICP Algorithm,” Proc. 3Dim, 2001