

Goniometer Stage 旋轉中心調校之研究

莊達峰

致茂電子股份有限公司
dennis-chuang@chroma.com.tw

張維哲

致茂電子股份有限公司
alvin-chang@chroma.com.tw

林耀明

致茂電子股份有限公司
ymlin@chroma.com.tw

摘要

本論文提出 Goniometer Stage 之旋轉中心調校技術，以調整移動平台之移動與旋轉，配合干涉條紋之移動方向與疏密變化的觀念，找出 Goniometer Stage 之旋轉中心，此方法可應用於白光干涉系統之樣品調平機制，以便於調平過程中可以將干涉條紋作為調整依據。

關鍵字：Goniometer、旋轉中心

壹、前言

白光干涉機台的移動平台通常由 XY Stage、Z Stage 和傾斜調整平台所構成，XY Stage 可將載盤沿水平面做 X 方向與 Y 方向之移動，Z Stage 可將載盤沿水平面的垂直方向(法線方向)做改變高度的移動，X、Y、Z Stage 的移動方向如下圖 1 所示，Goniometer Stage 則包括兩個軸向：RX 和 RY 軸向，其中 RX 是將載盤平面環繞 X 軸向做旋轉，如下圖 2 所示，其中 X 移動方向為穿透紙面並與紙面垂直，同樣地，RY 則是將載盤平面環繞 Y 軸向做旋轉。利用五軸移動平台，可將待測物表面不同之位置移至 FOV 之內或改變待測物表面的傾斜角度，但此動作可能會因待測物表面與光軸不是垂直的或 FOV 不在 Goniometer Stage 的旋轉中心上而使待測表面位於光軸位置處的垂直高度發生變化而產生其它問題。

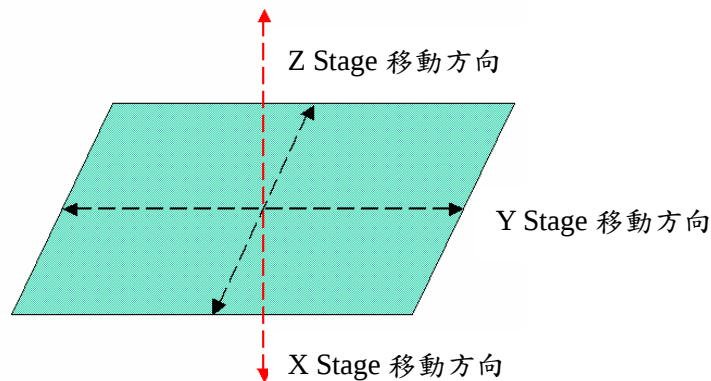


圖 1、X，Y，Z Stage 移動方向示意圖

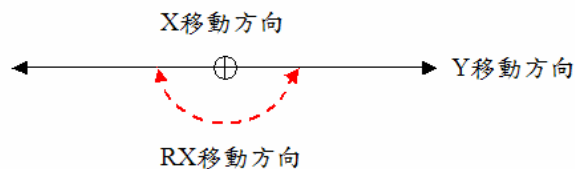


圖 2、RX Stage 移動方向示意圖

一、旋轉中心簡介

在白光干涉機台中，干涉條紋的尋找及調整在量測過程來說是相當重要的一個步驟，但若位於光

軸下的待測物表面不在移動平台的旋轉中心位置上時，移動平台的轉動會造成待測物表面在機台 Z 軸向的高度位置變化，使已調整至對焦或零光程差之即時影像，因此而產生離焦及干涉條紋消失的情況發生，造成使用者操作上的不便。因此若能將光軸投射在待測物表面的位置調整到與移動平台的旋轉中心位置重合的話(此時的 X Stage 和 Y Stage 之位置即為移動平台的移轉中心)，可使零光程差的位置一直維持在 FOV 中心，此時無論 Goniometer Stage 再怎麼轉動，皆可將零階條紋的位置控制在 FOV 中心，這對使用者而言，可以在量測的前置調整時，更隨心所欲的操作移動平台，也可以減少量測前調整待測物所花費的時間。

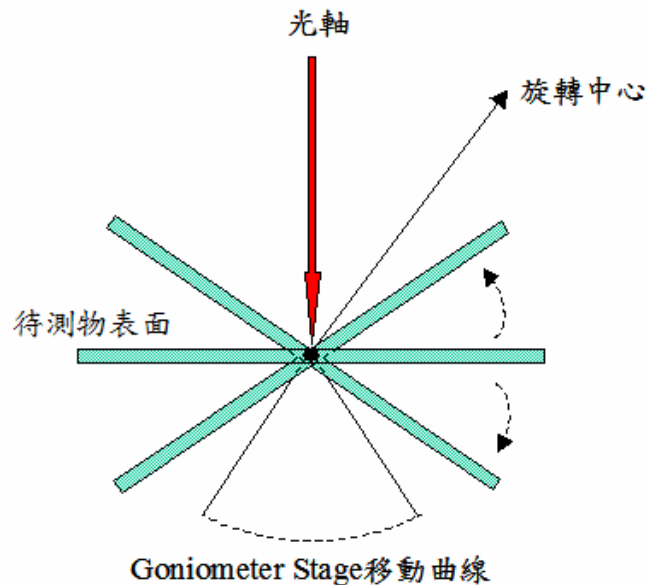


圖 3、旋轉中心示意圖

二、XY Stage 與 Goniometer Stage 之結合

一般而言，白光干涉機台所使用的移動平台，可分為 XY Stage 結合在 Goniometer Stage 之上與 Goniometer Stage 結合在 XY Stage 之上兩種，XY Stage 結合在 Goniometer Stage 之上之移動平台無論 XY Stage 如何移動，Goniometer Stage 並不會隨之移動，故其旋轉中心在空間中的位置也不會改變，但此方法必須在組裝機台時即調整機台光軸與 Goniometer Stage 之旋轉中心至重合。若為 Goniometer Stage 結合在 XY Stage 上之移動平台，機台組裝時可以不必考慮光軸與移動平台之間的公差，但由於 XY Stage 移動時 Goniometer Stage 亦會隨之移動，因此在機台組裝完成後必須找出光軸與 Goniometer Stage 的旋轉中心重合時，移動平台 XY Stage 的所在位置，若 XY Stage 在該位置上且 Z Stage 調整成對焦的情況下，只要不去改變 Z Stage 的高度，Goniometer Stage 無論如何移動 FOV 中心的待測表面皆不會產生垂直高度的變化，而本論文即針對上述之問題提出一尋找 XY Stage 旋轉中心位置的方法。

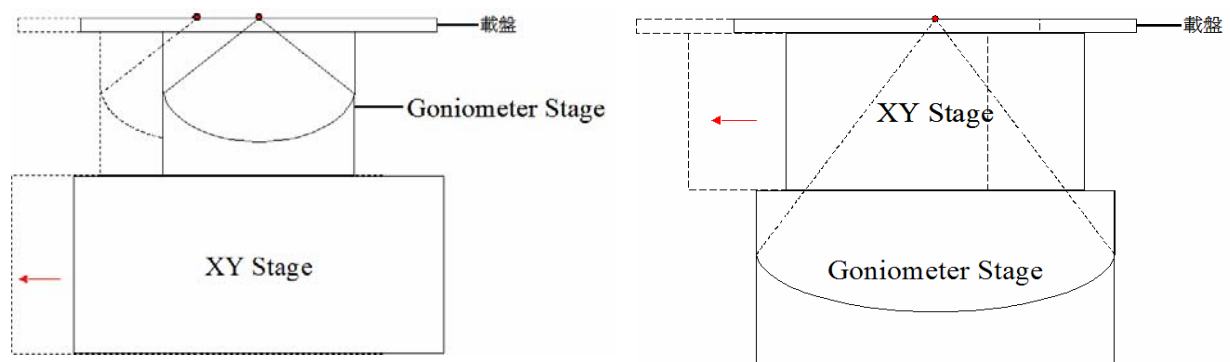


圖 4、不同的 Stage 結合方式，XY Stage 移動時旋轉中心的變化

貳、研究方法

Goniometer Stage 包括 RX 和 RY 兩個軸向的移動，其移動方式是以其正上方的某一點為圓心做旋轉，該點稱為 Goniometer Stage 的旋轉中心。在移動平台的 Goniometer Stage 結合在 XY Stage 之上的狀況下，由於 XY Stage 移動時會改變 Goniometer Stage 旋轉中心在空間中的位置，使得 Goniometer Stage 旋轉時會改變待測表面與物鏡的相對高度，造成原來對焦或有干涉條紋的狀況消失，為避免此情形，必須將使 Goniometer Stage 的旋轉中心位置，調整至與光軸投射至待測表面上的點重合，如圖 3 所示，而此時的 X Stage 和 Y Stage 的位置，即為移動平台的旋轉中心。以下為針對此問題所提出之解決方法，包括以下三個部分：

一、Goniometer Stage 旋轉中心高度

由於 Goniometer Stage 之移動是以其旋轉中心為圓心做旋轉，因此位於光軸下的待測物表面之高度勢必要與旋轉中心的高度 H 相同，以一結合順序由下而上為 XY Stage、Goniometer Stage 和 Z Stage 的移動平台為例，我們可以在 Z Stage 裝上移動平台之前，先行將載盤和待測物置於 Z Stage 之上，再伸長或縮短 Z Stage，使得 Z Stage、載盤和待測物的厚度總和等於 Goniometer Stage 頂部表面到其旋轉中心的距離 H ，並記錄此時 Z Stage 的高度值 Z_0 。在 XY Stage、Goniometer Stage 和 Z Stage 結合後，將 Z Stage 的高度移至 Z_0 ，以確保待測物表面高度與 Goniometer Stage 旋轉中心的高度相同。

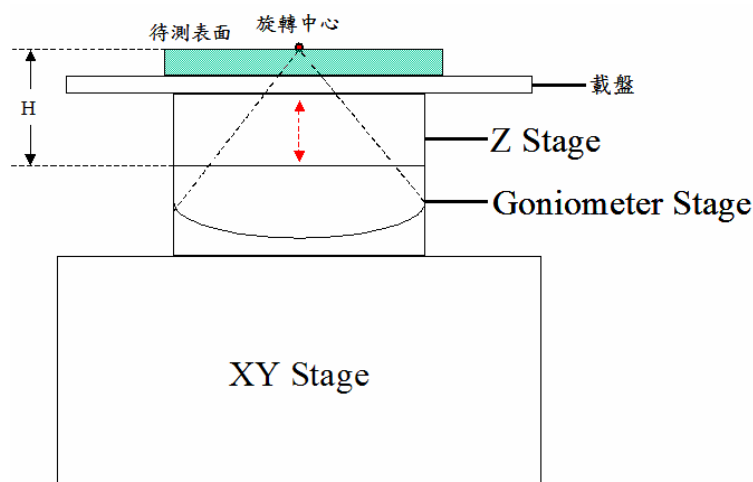


圖 5、旋轉中心高度示意圖

二、移動平台載盤傾斜方式判定

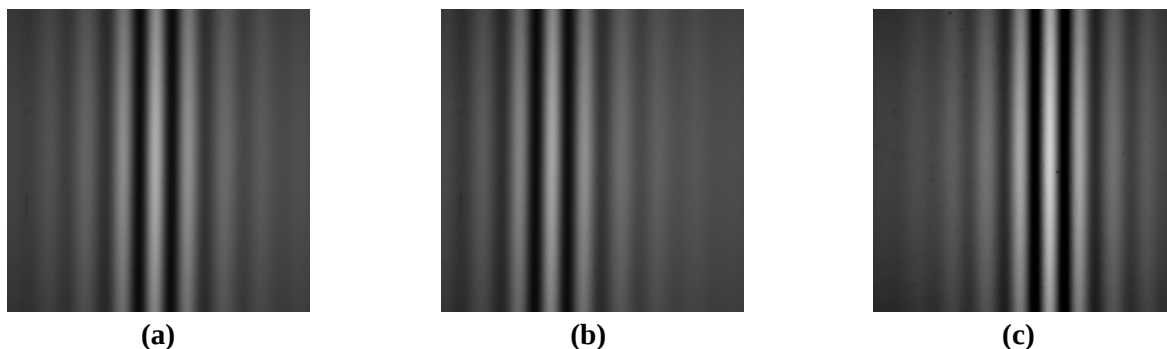


圖 6、RY 軸向傾斜狀況判斷之條紋影像

移動平台旋轉中心尋找包含 X 軸向和 Y 軸向，所使用的標準片為表面平坦度極佳的光學平板，各軸向做旋轉中心尋找時 Z Stage 不可移動。在執行各軸向之旋轉中心尋找之前，必須先確定此時載台的傾斜狀況，其傾斜狀況可分為 RX 軸向和 RY 軸向兩部分。以判斷 RY 軸向的傾斜狀況為例，先將干涉條紋調整成為垂直條紋，再將零階條紋的位置移至 FOV 的中央，如圖 6(a)，即 FOV 的中央位於零光程差的位置，再將 PZT 伸長，使零光程差的位置向下移動，根據零階條紋向左或向右移動來判斷 RY 軸向的傾斜狀況，零光程差與零階條紋的相關位置變化如圖 8 所示，若零階條紋往左移，如圖 6(b)，表示載台右高左低，若零階條紋往右移，如圖 6(c)，表示載台左高右低。同樣地，要判斷 RX 軸向的傾斜狀況時，也必須將零階條紋的位置移至 FOV 的中央，但此時的干涉條紋必須為水平條紋，如圖 7(a)，之後同樣利用 PZT 移動來改變零光程差的位置，再根據條紋的移動來判別 RX 軸向的傾斜狀況，若零階條紋往上移，如圖 7(b)，表示載台後高前低，若零階條紋往下移，如圖 7(c)，表示載台前高後低。

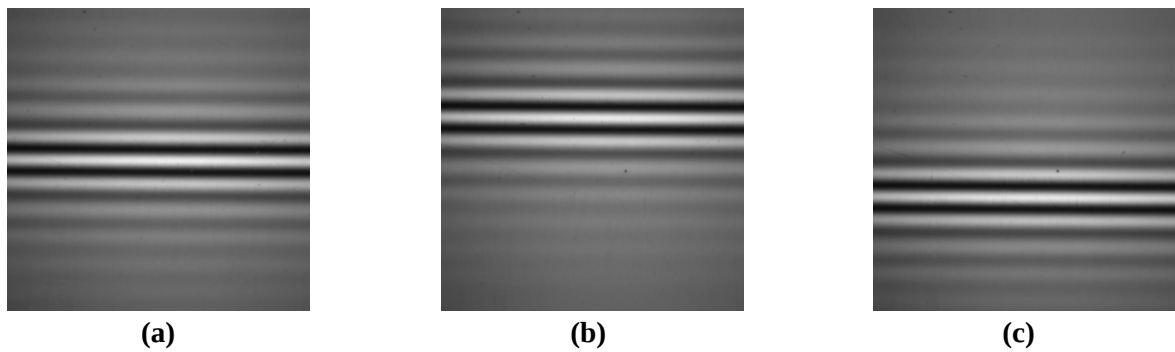


圖 7、RX 軸向傾斜狀況判斷之條紋影像

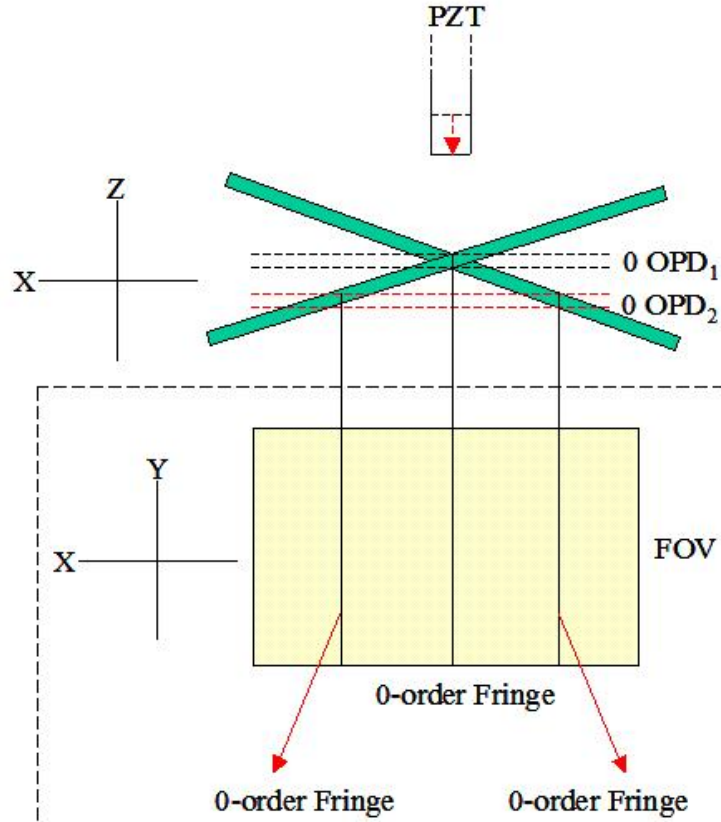


圖 8、零光程差與零階條紋相關位置圖

三、移動平台旋轉中心尋找方法

移動平台的旋轉中心尋找方法，是將旋轉中心的 X Stage 位置 Y Stage 位置分開尋找，欲尋找 X Stage 位置必須使用 Goniometer Stage 的 RY Stage，尋找 Y Stage 位置則必須使用 Goniometer Stage 的 RX Stage，以下將詳細說明旋轉中心尋找的原理及方法。

(一) Goniometer Stage 旋轉與旋轉中心之關係

在 Goniometer Stage 的旋轉中心和光軸投射至待測表面之點不重合的情況下，Goniometer Stage 的移動會造成在光軸位置待測表面的高度變化，因此，若將影像調整成有干涉條紋的影像時，Goniometer Stage 移動會引起干涉條紋移動，根據干涉條紋移動的方向即可判斷目前移動平台與其旋轉中心的相對位置。

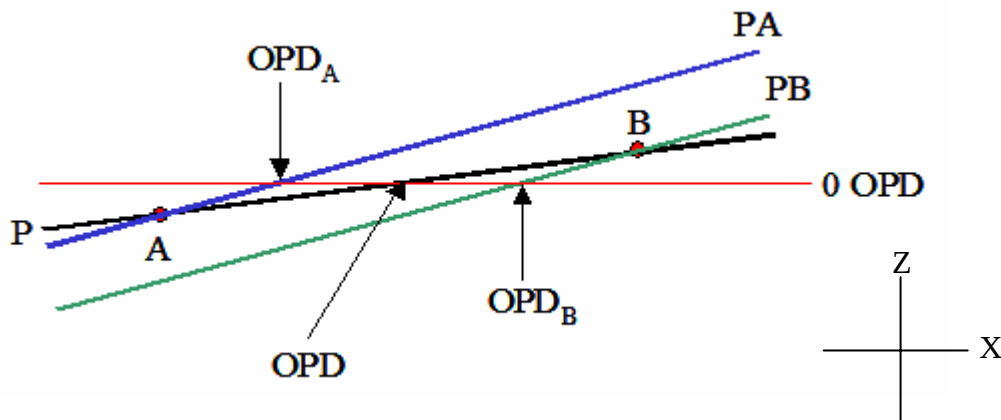


圖 9、Goniometer Stage 旋轉與旋轉中心位置關係圖

上圖 9 為 Goniometer Stage 旋轉時，旋轉中心位置與干涉條紋移動的相對關係示意圖，A 點和 B 點為 Goniometer Stage 的旋轉中心，分別表示 Goniometer Stage 旋轉中心在光軸位置的左側及右側之不同狀況，0 OPD 為零光程差之高度，P 為原始之待測表面(黑色直線)，PA(藍色直線)及 PB(綠色直線)分別表示 Goniometer Stage 以 A 點和 B 點為旋轉中心，旋轉一角度後所得到的待測表面，OPD 為原始零階條紋的位置， OPD_A 和 OPD_B 分別為以 A 點和 B 點為旋轉中心，Goniometer Stage 旋轉後零階條紋的位置。由上圖可以得知，當 Goniometer Stage 旋轉一角度後，無論 Goniometer Stage 旋轉中心是在光軸之左側或右側，其零階條紋偏移的方向皆為朝 Goniometer Stage 旋轉中心之方向，根據此現象即可找出移動平台的旋轉中心之所在位置。

(二) 旋轉中心尋找方法

移動平台之旋轉中心的尋找方法，是將其 X 位置和 Y 位置分別找出。以尋找 X 軸向的旋轉中心位置為例，在判斷出載台傾斜狀況後，將 RY Stage 沿載台傾斜方向再傾斜一角度 θ ，利用零階條紋偏移的方向來判別移動平台的旋轉中心與光軸的相對方向，而 X Stage 調整的移動方向則和零階條紋偏移的方向相同，若零階條紋往左偏移，則 X Stage 往左移動，X Stage 所要移動的距離則根據零階條紋偏移量的大小來決定，若零階條紋偏移量較大，則 X Stage 所要移動的距離也較大，當 Goniometer Stage 的旋轉中心越來越靠近光軸時，零階條紋的偏移量會越來越小，此時 X Stage 移動的距離也必須隨之變小。依據上述步驟反覆執行，Goniometer Stage 的旋轉中心會朝光軸逐步靠近，而當 Goniometer Stage 的旋轉中心與光軸重合時，將 RY Stage 傾斜一角度後，零階條紋則不會出現偏移的現象。上述之方法是利用 RY Stage 傾斜一角度後造成零階條紋偏移的現象來找出移動平台旋轉中心的 X 位置，至於為何 RY Stage 傾斜的方向需和其原始傾斜方向相同，是因為如果 RY Stage 的原始傾斜角度接近 θ 時，若往不同方向傾斜則可能出現將干涉條紋展開，使得即時影像的干涉條紋消失，便無法使用零階條紋的偏移現象來尋找移動平台之旋轉中心。

四、移動平台旋轉中心尋找流程

根據上述所提之移動平台旋轉中心尋找方法，在此對尋找流程做完整的說明。首先調整 Z Stage，使待測物表面的高度與 Goniometer Stage 旋轉中心的高度相同，完成此動作後 Z Stage 不可再移動，之後將即時影像調整成垂直或水平干涉條紋影像，利用 PZT 位移來判斷載台的 RX 和 RY 傾斜狀況並將干涉條紋調整至影像中央，再依據 RX 或 RY 傾斜狀況決定 θ 方向以產生零階條紋的偏移現象，再由零階條紋的偏移大小及方向來決定 X Stage 或 Y Stage 的移動的大小和方向，XY Stage 移動完後必須再利用 PZT 來將干涉條紋調整至影像中央位置，以避免發生干涉條紋消失的情況。重覆上述步驟逐步將 Goniometer Stage 的旋轉中心向光軸位置靠近，直到零階條紋不再偏移(或偏移量小於終止條件之收斂閾值 T)為止，此時的 X 或 Y Stage 的位置即為該軸向的旋轉中心。完成一個軸向的旋轉中心尋找後，再將影像調整成與先前之條紋方向垂直的干涉條紋影像(垂直→水平，水平→垂直)，依同樣之方法完成另一軸向之旋轉中心尋找。下圖 10 為單一軸向的移動平台旋轉中心尋找流程圖，表 1 列出各軸向的旋轉中心尋找所搭配的 Goniometer Stage 及所需之即時影像的條件。

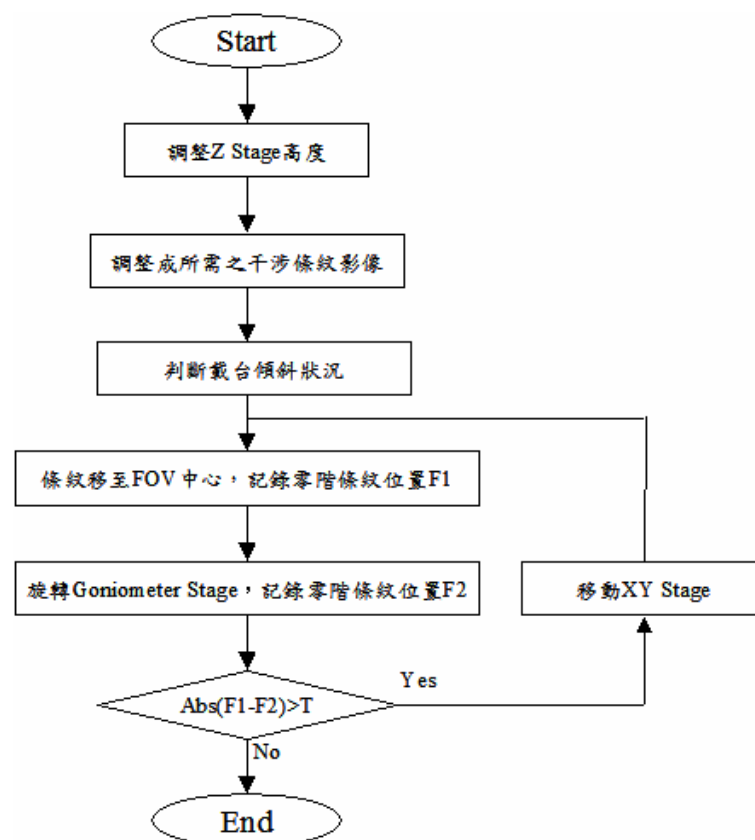


圖 10、單一軸向旋轉中心尋找流程圖

表 1、旋轉中心軸向表

尋找軸向	搭配之 Goniometer Stage 軸向	即時影像條件
X	RY	垂直干涉條紋影像
Y	RX	水平干涉條紋影像

參、研究結果

圖 11 為將 XY Stage 移動到使用本論文所提出之方法尋找出的旋轉中心時，旋轉 Goniometer Stage

所得到的實驗結果，圖 11(a)為垂直干涉條紋影像，其零階條紋位於影像中心，圖 11(b)為使用 RY Stage 將條紋展開時所得到的影像，圖 11(c)為將 RY Stage 傾斜時所得到的影像，可以發現到無論是在條紋展開或是條紋變細的情況下，零階條紋的位置都會維持在影像中央附近，圖 11(d)為零階條紋位於影像中央的水平條紋影像，圖 11(e)和圖 11(f)則為水平條紋展開和調細的結果，零階條紋的位置也同樣在影像中央附近。由實驗證明，本論文所提出之方法可以正確地找出移動平台的旋轉中心，而在旋轉中心時，隨意旋轉 Goniometer Stage 後並不會改變在光軸位置的待測表面高度。

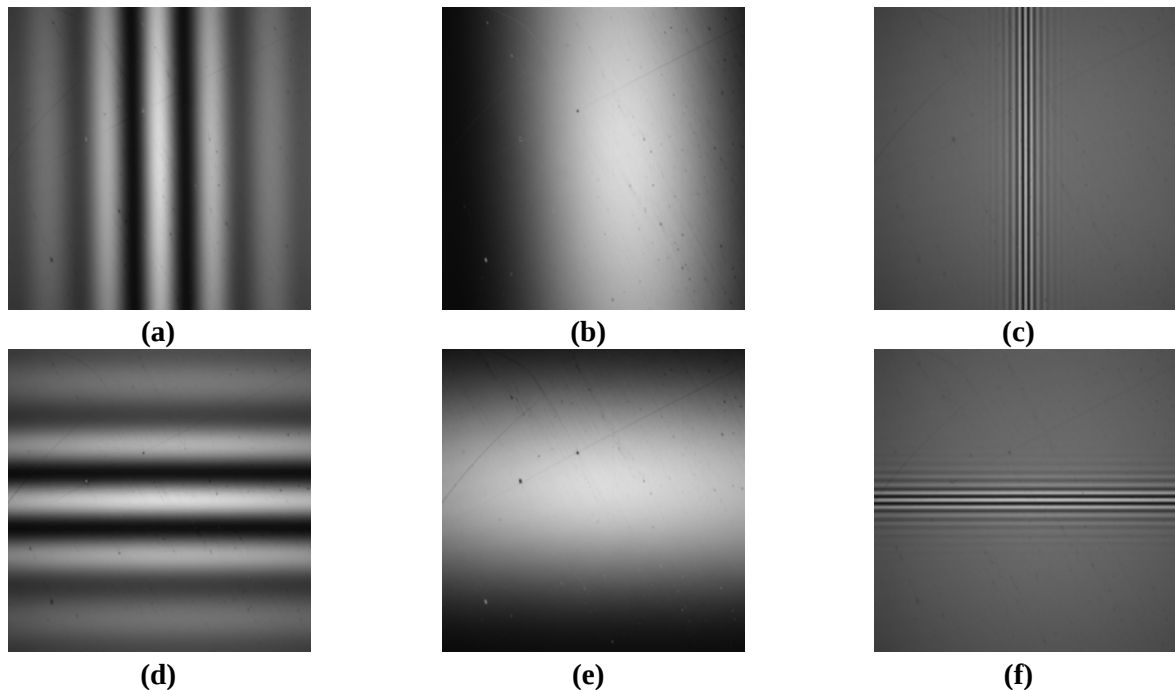


圖 11、旋轉中心測試結果

肆、結論與建議

在本論文研究方法中所提出之旋轉中心尋找方法，可以在白光干涉機台組裝完成後，找出光軸和 Goniometer Stage 旋轉中心重合時，X 和 Y Stage 所在的位置，而在實際的旋轉中心尋找過程中，發現某些需要注意的事項，以及目前的硬體限制所造成的問題，分述如下：

一、Goniometer Stage 旋轉角度 θ

本論文所提出之旋轉中心尋找方法是藉由 Goniometer Stage 旋轉 θ 角度後，造成零階條紋位置偏移的現象來進行尋找旋轉中心的動作，但在 XY Stage 的初始位置離旋轉中心甚遠的狀況下進行旋轉中心尋找的動作，可能發生在 Goniometer Stage 旋轉之後干涉條紋消失不見的情形，反之，在 XY Stage 的初始位置與旋轉中心相當靠近的狀況下，Goniometer Stage 旋轉之後零階條紋位置的偏移量可能過小，使尋找的時間增加。因此旋轉角度 θ 的設定值需隨干涉條紋偏移的狀況而修改。

二、收斂閥值 T

理論上，光軸位置和 Goniometer Stage 旋轉中心重合時，旋轉 Goniometer Stage 不會造成零階條紋的位置偏移，但由於移動平台之精度限制，使得無法讓光軸位置和 Goniometer Stage 旋轉中心完全重合，也就是在旋轉 Goniometer Stage 時零階條紋仍有稍微的偏移，因此當零階條紋的偏移量小於收斂閥值 T 時，即可視當時 XY Stage 的位置為旋轉中心，當然，T 值越小，所尋找出的旋轉中心越準確，但若 T 值設定過於嚴苛的話，則可能發生無法收斂的情況。

三、 Goniometer Stage 旋轉中心

在理想狀況之下，Goniometer Stage 之 RX 和 RY 是以同一點為圓心做旋轉，但實際上 Goniometer Stage 旋轉時，其旋轉中心並非是一個點，而是以一極小的區域為旋轉中心，因此即使 XY Stage 的位置位於旋轉中心時，旋轉 Goniometer Stage 時零階條紋仍有稍微的偏移。

根據以上所述，在目前的硬體條件限制下，要找出真正的旋轉中心似乎是一件不可能的事，但是若能找出一個可取代旋轉中心的近似位置，使 Goniometer Stage 旋轉時，零階條紋的偏移量在一個可接受的範圍之內，其應用也是相當的重要，如樣品的自動調平機制。本論文所提出的方法可以找出旋轉中心的近似位置，可以使零階條紋在 Goniometer Stage 做大幅度旋轉仍維持在影像中央區域，滿足了許多白光干涉機台應用的基本條件。

伍、 參考文獻

無