

國立勤益科技大學  
機械工程系碩士班

碩士論文

開發一結合雷射位移計及光學影像顯微術之蕪  
新檢測平台



研究生：劉建國

指導教授：潘吉祥教授

中華民國 一〇一年 六月

開發一結合雷射位移計及光學影像顯微術之嶄新檢測平台

**Development of a new measurement platform combined with laser displacement meter and optical image microscopy for in-situ detection**

研究生：劉建國

指導教授：潘吉祥教授

國立勤益科技大學

機械工程系碩士班

碩士論文

A Thesis Submitted to  
Department of Mechanical Engineering  
National Chin-Yi University of Technology  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science

June 2012

Taiping, Taichung, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇一年六月

國立勤益科技大學  
研究所碩士班  
論文口試委員會審定書

本校 機械工程系 碩士班 劉建國 君

所提論文開發一結合雷射位移計及光學影像顯微術  
之嶄新檢測平台

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

口試委員：  
潘吉祥  
蔡國欽  
劉顯光

指導教授：潘吉祥

系（所）主管：機械工程系主任 蔡明義

中華民國 101 年 06 月

# 開發一結合雷射位移計及光學影像顯微術之嶄新檢測平台

學生：劉建國

指導教授：潘吉祥教授

## 國立勤益科技大學機械工程系碩士班

### 摘要

本研究以一般實驗室常用之探針台(Probe station)改建為共同檢測平台(common detection platform)，利用所設計的治具，將雷射位移計探測頭結合於探針台的顯微接物鏡座上，使光學影像顯微術(optical image microscopy)與雷射位移計(laser displacement meter)之檢測功能整合於同一平台上。當使用CCD影像擷取器及影像處理系統(Matrox Inspector 3.1)進行待測試片之共平面上(in-plane)(X-Y平面)的檢測分析後，直接旋轉接物鏡座，將雷射位移計探測頭旋至於待測試片上，則可進行後續待測試片在離平面(out-of plane)(Z方位)的檢測分析，如此可在平台原位上(in-situ)同時進行平面及離平面之檢測，增進操作的方便性及節省檢測時間，待測試片不需重新定位，檢測精確度也因此提高。本系統將經由NanoFocus共軛焦3D光學表面形貌量測儀及MTI-2000非接觸光纖測量儀進行比對與校正，來驗證此系統之精度，並以靜電力驅動之懸臂樑(electro-static cantilever beam)的靜動態變形，以及微測試結構(micro test structures)在微型加熱爐進行熱處理的觀測做為實驗範例，進行檢測平台之性能測試。透過本裝置可應用於半導體、光電、微奈米機電系統產品元件以及高精度加工業的尺寸位移量測、表面輪廓形貌量測、靜態及動

態特性量測等，經濟便宜且實用普及性極高，具有相當的創新意義。

關鍵詞：檢測平台，雷射位移計，光學影像顯微術，即時同位檢測



# **Development of a new measurement platform combined with laser displacement meter and optical image microscopy for in-situ detection**

Student : Chien Kuo Liu

Advisors : Dr. Chi Hsiang Pan

Department of Mechanical Engineering  
National Chin-Yi Institute of Technology

## **ABSTRACT**

Keywords: measurement platform, laser displacement meter, optical image microscopy, in-situ detection

In this paper, a new measurement platform combined with laser displacement meter and optical image microscopy for in-situ detection of micro test pieces is developed. The measurement platform is practical and economical. It utilizes a probe station, generally used in laboratory, as a common test platform, which is adapted to handle a wide variety of applications. The platform is easy to be set up without changing too many components of the probe station. It is just only using design jigs to connect the triangulation sensor head of laser displacement meter (Keyence LC-2430) with the revolving nosepiece of optical microscope. Other peripheral Equipment, such as imc data acquisition device,  $\mu$ -MUSYCS signal processor, CCD video capture device and image processing software (Matrox Inspector 3.1) are also combined into the measurement platform. Therefore, the multi-functions of the optical image microscopy and the laser displacement meter are integrated in the measurement platform for in-situ detection of test pieces. The feature of “in-situ” detection is convenient for operation

and can improve accuracy and time saving. Optical image microscopy and laser displacement meter are commonly used in the laboratory for different detection, but in most time used individually. Therefore, to combine both detection tools into a new detection platform will be an innovation. Static and dynamic detection of test pieces can be performed in-plane (XY surface) and out-of-plane (Z direction) in the measurement platform. Thermal treatment of micro test structures in the micro heating stage and the deflection of an electro-static micro cantilever are measured as demonstration.



## 誌 謝

此篇論文可以順利的完成，首先我要感謝我的指導教授潘吉祥博士。潘吉祥老師平時與學生互動非常的頻繁，對於學生的想法總是非常的尊重，總是在旁於以協助並以自身的經驗來給學生建議。在我讀研究所的這一段期間裡，由於白天需要上班晚上到學校進修的我，能體諒時間上的不足，潘老師對我來說，相處就像朋友一樣，能夠完成這一份學業，我衷心的感謝老師對我的指導與幫忙。

其次要感謝論文的口試委員劉顯光主任、蔡國銘博士，於百忙之中不吝嗇地撥空對學生之論文給予諸多指教與建議。

再來便要謝謝在學業中一起成長的昀庭、仲逸和凱翔同學，在這三年裡多虧了你們的協助和努力；以及汎達科技許課長與集研科技王工程師在軟體上問題的協助；中興大學洪建欣學長與李佳賢同學在儀器驗證實驗上了協助，即使在研究上遇到瓶頸，你們也能提供許多意見讓我也不同的思考方向來突破。在畢業之後即使分處各地，也希望你們能一切順利，再次的謝謝你們。

接下來要謝謝的是我的家人、同學朋友與工作的主管，對於我讀研究所的事全力支持，讓我沒有後顧之憂地完成研究所的學業，真的非常感謝你們。

建國 謹識

于勤益科技大學機械工程系 2012 年 6 月



# 目 錄

中文摘要	
英文摘要	
誌謝	
目錄	i
圖目錄	iii
表目錄	vi
符號說明	vii
<b>第一章 緒論</b>	<b>1</b>
1.1 前言	1
1.2 研究動機與目的	1
1.3 文獻回顧	2
1.4 論文架構	9
<b>第二章 相關軟硬體與原理介紹</b>	<b>10</b>
2.1 探針台(Probe station)介紹	10
2.2 影像處理軟體 Matrox Inspector 3.1 介紹	11
2.2.1 影像分析概念	11
2.2.2 影像分析主要步驟	12
2.3 雷射位移計介紹	14
2.3.1 雷射位移計操作之原理	14
2.3.2 雷射位移計之結構	15
2.3.3 雷射位移計之反射特性	16
2.3.4 三角量測法	19
2.4 Imc 資料擷取器 and $\mu$ -MUSYCS 信號分析的軟體	20
2.5 VIA-30J 十字線產生器	20
<b>第三章 檢測平台之設計</b>	<b>22</b>
3.1 檢測平台裝置之介紹	22
3.2 治具設計	22
3.3 反射鏡設計	27
<b>第四章 治具與反射鏡之製作與組裝</b>	<b>28</b>
4.1 材料選用及製作方法	28

4.2 反射鏡製作與組裝校準-----	29
<b>第五章 檢測與結果討論-----</b>	<b>31</b>
5.1 檢測平台裝置校準-----	31
5.1.1 調整治具校準光軸-----	31
5.1.2 檢測平台定位精度驗證一-----	33
5.1.3 檢測平台量測精度驗證二-----	35
5.2 光學顯微影像系統之檢測-----	37
5.3 雷射位移系統之檢測-----	40
5.4 檢測平台裝置驗證實例一-----	41
5.5 檢測平台裝置驗證實例二-----	43
5.6 檢測平台裝置應用實例三-----	45
<b>第六章 結論與未來展望-----</b>	<b>47</b>
<b>參考文獻-----</b>	<b>48</b>



## 圖目錄

圖 1-1	本實驗室使用之多變焦光學顯微鏡搭配雷射位移計裝設檢測系統圖	2
圖 1-2	結合影像量測儀之雷射位移計系統結構圖	3
圖 1-3	散射光強度與角度的關係圖	3
圖 1-4	斜射式三角量測光學架構圖	4
圖 1-5	梁東尼(Tony P Leong)等人提出裝設有多種 $\lambda$ 波長雷射顯微鏡之探針台圖	5
圖 1-6	POLYTEC MSA-500 顯微是雷射測振儀系統圖	6
圖 1-7	Mitutoyo QUICK VISION HYBRID CNC 型非接觸式三次元作標量測儀圖	6
圖 1-8	Mahr MS-222 三次元量床 CMM	7
圖 1-9	研究流程圖	9
圖 2-1	本論文所使用之探針台裝置構造圖	11
圖 2-2	影像處理軟體 Matrox Inspector 圖	11
圖 2-3(a)	Median filter 的處理圖	13
圖 2-3(b)	Threshold 的處理圖	13
圖 2-3(c)	Watershed 的處理圖	13
圖 2-3(d)	傅立葉函數轉換(FFT)的處理圖	13
圖 2-4	雷射位移計量測原理圖	15
圖 2-5	雷射探頭之構造及測距示意圖	16
圖 2-6	半導體位置感測器示意圖	16
圖 2-7	鏡射與散射模式	17
圖 2-8	雷射位移計 Keyence LC-2430 外觀圖	18
圖 2-9	雷射三角量測原理	19
圖 2-10	(a)Imc 資料擷取器(b) $\mu$ -MUSYCS 信號分析軟體	20
圖 2-11	影像十字產生器	21
圖 3-1	檢測平台裝置結構示意圖	22
圖 3-2	Mitutoyo F70 顯微鏡焦平面距離和雷射位移計工作距離規格比較圖	23
圖 3-3	利用治具將雷射位移計水平轉置圖	23
圖 3-4	雷射位移計雷射光束路徑圖	24
圖 3-5	治具 1 尺寸圖	24

圖 3-6	LC-2430 三角雷射探頭外觀圖-----	25
圖 3-7	治具 2 設計尺寸圖-----	25
圖 3-8	反射鏡調整治具 3 尺寸圖-----	26
圖 3-9	檢測平台功能操作概念圖-----	26
圖 3-10	反射鏡設計示意圖-----	27
圖 3-11	雷射位移計改變光路示意圖-----	27
圖 4-1	車床加工治具 1-----	28
圖 4-2	銑床加工治具 2、3-----	28
圖 4-3	治具 1、2、3 成品-----	28
圖 4-4	治具 1 與治具 2 組裝-----	29
圖 4-5	(a)治具 2 與三角雷射探頭組合圖(b)治具 3 與反射鏡組合於治具 2 圖-----	29
圖 4-6	直流磁控濺鍍機圖-----	30
圖 4-7	各類金屬反射譜比較圖-----	30
圖 4-8	反射鏡成品-----	30
圖 5-1	治具裝置與顯微鏡結合-----	31
圖 5-2	光學顯微鏡系統與雷射位移系統之切換-----	31
圖 5-3	治具 2、3 微調示意圖-----	31
圖 5-4	調整治具 3 以螺絲推動反射鏡來微調雷射光束點位置-----	32
圖 5-5	移動試片至紅色十字標示之位置作為校準的基準-----	33
圖 5-6	利用輔助之可變焦顯微鏡觀察雷射光點位置-----	33
圖 5-7	光學影像系統與雷射位移計切換定位校準-----	34
圖 5-8	Mahr MS-222 三次元量床之校正試片最小圓孔徑-----	34
圖 5-9	雷射光點落點分佈圖-----	35
圖 5-10	Mahr MS-222 三次元量床專用校正試片-----	36
圖 5-11	兩檢測儀器量測圓孔直徑尺寸之比對圖-----	36
圖 5-12	Matrox Inspector 3.1 功能列-1 圖-----	37
圖 5-13	Matrox Inspector 3.1 功能列-2 圖-----	38
圖 5-14	Matrox Inspector 3.1 功能列-3 圖-----	38
圖 5-15	Renishaw 玻璃光學尺圖-----	38
圖 5-16	Matrox Inspector 3.1 功能列-4 圖-----	39
圖 5-17	Matrox Inspector 3.1 功能列-5 圖-----	39
圖 5-18	評估雷射位移計之量測精度的配置圖-----	40
圖 5-19	實驗室的靜態震動位移圖-----	40

圖 5-20	共軛焦 3D 光學表面形貌量測儀與 MTI-2000 非接觸光纖測量儀 圖-----	41
圖 5-21	尺寸量測圖(a)梳狀結構示意圖(b) Matrox Inspector 影像擷取圖(c)	42
圖 5-22	裝置雷射位移計系統與 MTI-2000 非接觸光纖測量儀量測圖-----	43
圖 5-23	壓電片最大位移比較圖-----	43
圖 5-24	靜電作用力驅動之懸臂樑開關結構圖-----	44
圖 5-25	擷取懸臂樑開關影像圖-----	44
圖 5-26	懸臂樑幾何尺寸量測-----	44
圖 5-27	懸臂樑靜態位移量測-----	45
圖 5-28	微型加熱爐及量測死角示意圖-----	45
圖 5-29	微型加熱爐試片平面之量測-----	46
圖 5-30	微型加熱爐試片離平面之量測-----	46



## 表目錄

表 1-1	Mahr MS-222 三次元量床 CMM 規格-----	7
表 1-2	各量測設備優缺點比較表-----	8
表 2-1	Keyence LC-2430 規格表-----	18
表 4-1	材料比重表-----	28
表 5-1	兩檢測儀器量測校正試片尺寸結果比較表-----	37
表 5-2	雷射位移計量測厚薄規靜態量測數據表-----	41
表 5-3	梳狀結構尺寸量測比較表-----	42



## 符號說明

$\theta$	角度
$\lambda$	光波長
$\delta$	位置位移量
$\Theta$	雷射投射與反射光軸之間的夾角



# 第一章 緒論

## 1.1 前言

隨著半導體及光電平面顯示器產業的蓬勃發展，並且微奈米機電系統的成熟開發應用，如何增加其產品的良率及提升產能效率，檢測分析扮演舉足輕重的地位。然而無論是半導體、光電平面顯示器或微機電系統，這些成品之元件結構尺寸均極其微小且十分脆弱，表面也經不起刮傷，並且不能因檢測而導致元件結構變形，加上單位面積檢測之數量龐大，且量測精度及解析度也極高，因此傳統的量測分析方法須做適當的調整及改善。此外，微奈米機電系統元件除了共平面(In-Plane)之檢測，亦常需要進行離平面(Out-Of-Plane)之檢測，並且其微結構具 3D 化，如何兼顧這些檢測的需求，同時達到操作方便性、精確性及省時，是開發檢測儀器所需要考慮的要素。一般而言，非接觸式的檢測成為半導體、光電以及微奈米機電系統產品的主要檢測方式，而非接觸式之光學影像顯微術(Optical Image Microscopy)及雷射位移計(Laser Displacement Meter)量測技術則普遍被應用。然而光學影像顯微術與雷射位移計對於檢測各具特色，如何將此二工具檢測功能結合在一起，營造新的檢測平台，符合半導體、光電以及微奈米機電系統產品的檢測，將是一大創新。

## 1.2 研究動機與目的

本裝置以一般實驗室常用之探針台(Probe Station)改建為共同檢測平台(Common Detection Platform)，利用所設計的治具，將雷射位移計探測頭結合於探針台的顯微接物鏡座上，使光學影像顯微術與雷射位移計之檢測功整合於同一平台上。由光學影像顯微術使用 CCD 影像擷取器及影像處理系統(Matrox Inspector 3.1)進行待測試片之共平面(In-Plane)的檢測分析，之後直接旋轉接物鏡座，將雷射位移計探測頭旋至於待測試片上，則可進行後續待測試片之離平面的檢測分析，如此可使待測件在平台原位上(In-Situ) 同時進行共平面及離平面之檢測，增進操作的方便性及節省檢測時間，也因待測試片不需重新定位，檢測精確度也因此提高。本系統將經由另外檢測儀器共軛焦 3D 光學表面形貌量測儀與 MTI-2000 非接觸光纖測量儀進行比對與校正，來驗證本裝置之精度與正確性，並以靜電力驅動之懸臂樑開關(Electro-Static Cantilever Switch)的靜動態變形，以及微測試結構(Micro Test Structures)在微型加熱爐進行熱處理的觀測做為實驗範例，進行本檢測平台之性能測試。透過本裝置可應用於半導體、光電、微奈米機電系統產品元件以及高

精度加工業元件的尺寸位移量測、表面輪廓形貌量測、靜態及動態特性等量測，而且比較市面上價格動則上百萬之檢測儀器，本裝置顯出經濟便宜。本裝置之設計概念可普及於一般實驗室自組裝設，具有相當的創新意義。

### 1.3 文獻回顧

1960年前雷射之父Maiman首創了第一台紅寶石雷射。Hall及Fenner等人也於1962年研發出第一顆半導體雷射，從此各種非接觸式量測的雷射測距技術在60年代開始廣泛應用在軍事工業的領域，直到70年代才出現結合雷射和三角量測技術的雷射位移計（Laser Displacement Meter）[1]。

本實驗室雖然早先曾使用多變焦光學顯微鏡搭配雷射位移計裝設一套檢測系統，如圖 1-1(a)所示。然而作具有凹洞或角落(Corner)檢測時，多變焦顯微鏡在觀察時，其光軸斜向射入凹洞處，將造成量測上觀測的死角，如此將導致量測上的缺失，如圖 1-1(b)所示。此外，進行試片檢測時，需將試片放於雷射位移計檢測載物平台上移動，並利用多變焦光學顯微鏡作斜向的觀測，若試片還要作其他影像方面之檢測，需再移動試片到光學顯微鏡檢測設備，費時又費工，且對位精度不佳。

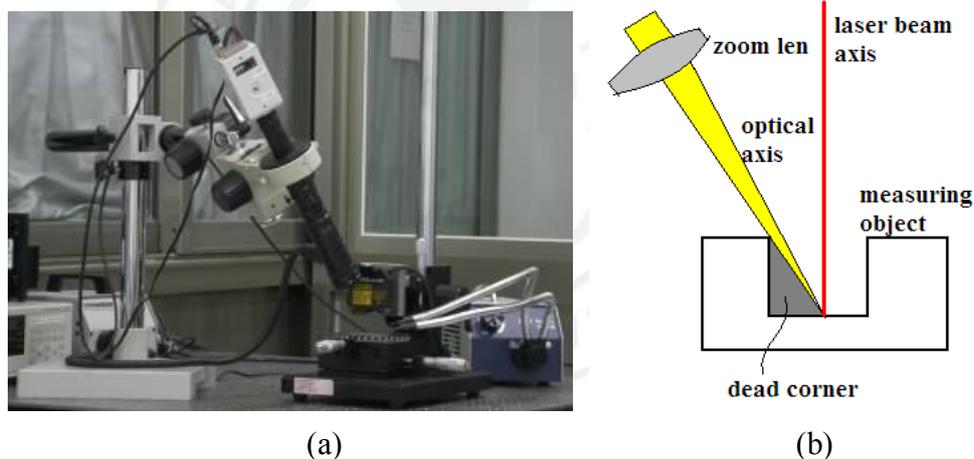


圖 1-1 本實驗室使用之多變焦光學顯微鏡搭配雷射位移計裝設檢測系統圖

由虎尾科技大學徐力弘等人[2]結合影像量測儀之雷射位移計系統得知，其三角量測系統與影像量測儀係採用分光鏡技術，將雷射投射光軸與影像量測儀的光學放大系統來重合光軸，如圖 1-2 所示，當中其提出針對在散射式的檢測系統中，因成像系統所接收的是待測物表面的散射光，而散射光的強度會隨著雷射光束與成像透鏡光軸間的夾角 ( $\theta$ ) 角度改變而變化，其提出實際測量不同夾角  $\theta$  下的散射光強度的變化，如圖 1-3 所示，橫軸為不同的角度  $\theta$ ，縱軸為歸一化處理後的散射光強度，且待測物表面的散射光強度會  $\theta$  角度的增加而降低，在角度過大時甚

至會造成光強度不足使得無法檢測，但角度過小時除了使光機結構的安排發生問題，其在機構空間限制下選擇為 37 度，此一角度有將近 85% 的散射光強度，而其設計因雷射光源的位置會阻擋到影像量測儀的檢測光路，因此利用一個分光鏡將雷射位置轉動 90 度與量測儀共光路，才可施行量測功能。

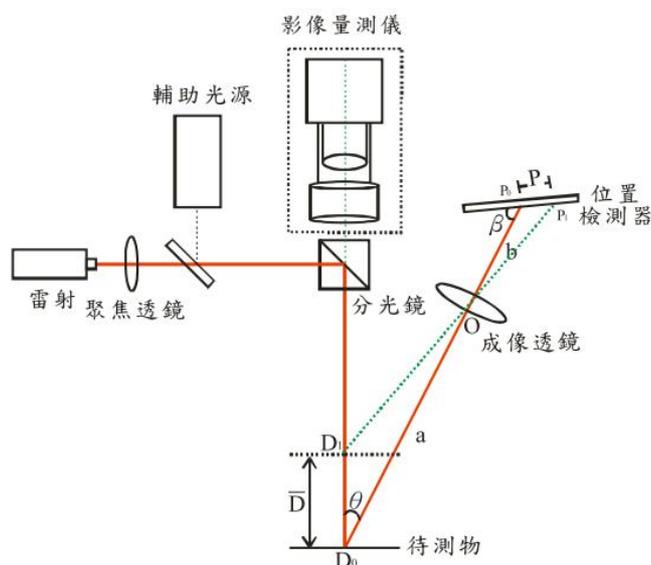


圖 1-2 結合影像量測儀之雷射位移計系統結構圖[3]

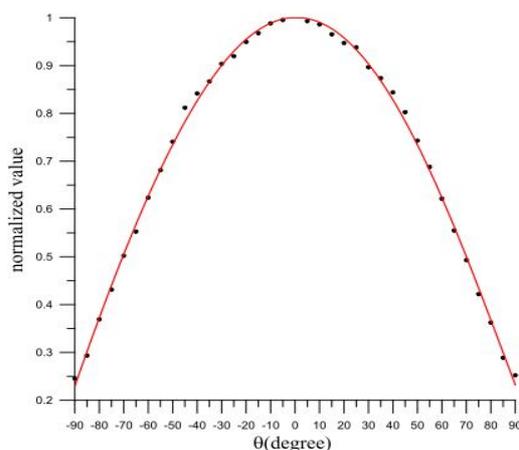


圖 1-3 散射光強度與角度的關係圖[3]

由虎尾科技大學陳雲翔等人[3-4]研製的掃描式雷射測距得知，其系統架構主張以工具顯微鏡為主，並採用外加式精密測距系統，其為了解決同軸量測的問題，

決定使用斜向式投射三角量測結構，如圖 1-4 所示，但斜向光束入射的最大問題是測量光點隨工件位置改變，光束入射光點位置會發生偏移，其為了改善此問題，在裝置加入可控制角度的反射鏡，當工件位置發生變動顯微影像系統將光點偏離光軸的資訊傳至控制單元，來調整反射鏡角度，來解決光點位置橫向變化的問題。

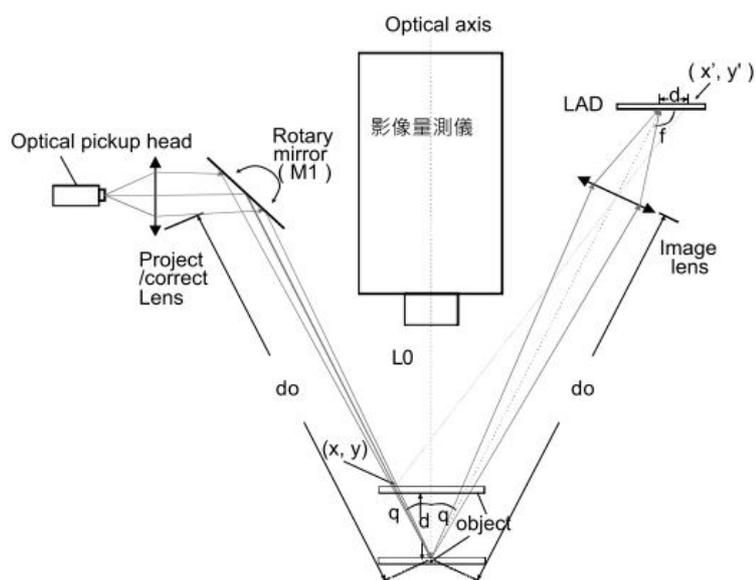


圖 1-4 斜射式三角量測光學架構圖[4]

梁東尼(Tony P Leong)[5]等人提出裝設有多種  $\lambda$  波長雷射顯微鏡之探針台概念，如圖 1-5 所示，雷射可安裝於顯微鏡上方配置相機位置，或是有專用接座之顯微鏡，以單一雷射提供一多種波長輸出光束，直接透過顯微鏡光學鏡組作為使用，此雷射系統包含一固態雷射與一附加有諧波產生器之固態雷射，可選擇切換輸出二至多個波長光束的光學裝置。

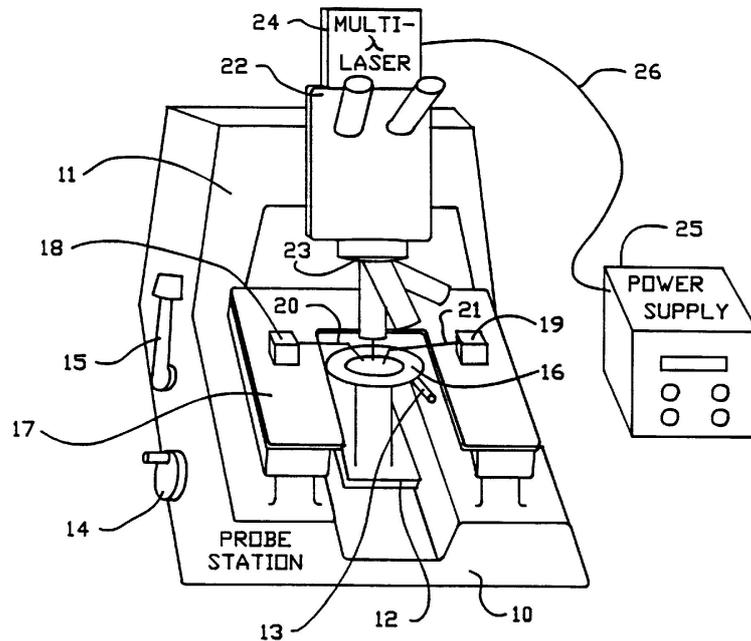


圖 1-5 梁東尼等人提出裝設有多種 $\lambda$ 波長雷射顯微鏡之探針台圖[5]

Polytec 公司[6]已經開發出一種以顯微鏡為基礎的新式量測系統，例如微系統分析儀(Micro System Analyzer, MSA)如圖 1-6，能量測微系統和 MEMS 元件之動態與靜態形貌，MSA 結合了雷射都卜勒振動位移計針對即時的微結構離平面振動特性量測 (Out-Of-Plane Vibrations)、閃頻顯微照相術 (Stroboscopic Video Microscopy)，及入平面振動(In-Plane Vibrations)特性進行量測，將雷射都卜勒與閃頻技術結合，可以高靈敏度雷射都卜勒技術快速地找出系統所有振動頻率，再利用閃頻顯微技術進一步得到更精確的平面振動的振幅大小與相位資訊。此外，針對靜態的三維表面量測，可使用白光干涉技術(White Light Interferometry)來檢測結構的高度、形貌上的粗糙度與反射表面，MSA 是一種具備有光學、快速、非接觸式量測程序，在不受任何影響下，對樣品的表面製程作測量，可達量測周期短與生產效率提高等特性，它也容易整合於 MEMS 探針台上，作 MEMS 晶圓級作動測試，雖然是通用的商業設備，其售價成本相當昂貴，非任何實驗室負擔的起。

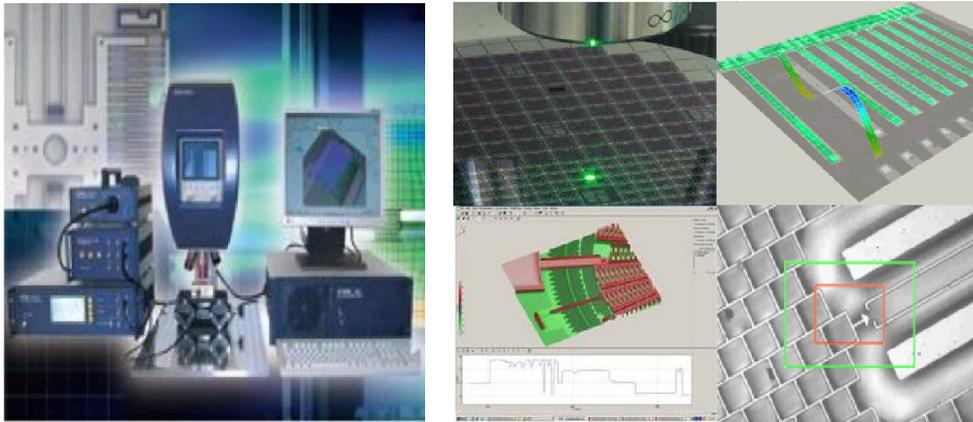


圖 1-6 Polytec MSA-500 顯微是雷射測振儀系統圖

另一種受歡迎的視覺檢測系統是結合光學成像顯微鏡和雷射測量技術，視覺測量系統是分析樣品之影像部分，影像通常是由攝影機放大許多倍而成，此過程均為非接觸式量測，影像系統分析通常有主要與部分的畫面，以及難以區分的輪廓和零件表面的量測，這些視覺測量系統例如有：Mitutoyo Quick Vision Hybrid - CNC 型非接觸式三次元座標量測儀[7]，如圖 1-7，Mitutoyo Quick Vision Hybrid 可透過快速雷射自動對焦及掃描系統，在利用過濾功能區分出所需的影像，即使是再細微的表面輪廓都能勝任，提高測量的可靠性。

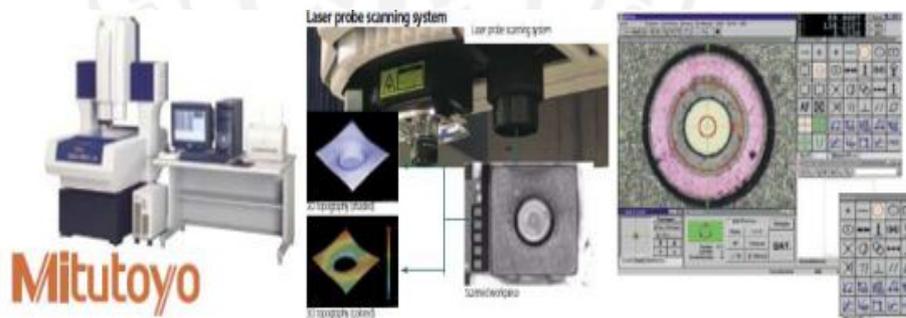


圖 1-7 Mitutoyo Quick Vision Hybrid CNC 型非接觸式三次元作標量測儀

由德國 Mahr 公司所生產的 Mahr MS-222 三次元量床 CMM (Coordinate Measuring Machine)[8] 如圖 1-8 所示，主要用於幾何量測及品質檢測的功能。依用途不同量測方式可分為光學和接觸式量測，可作各種零件尺寸量測及低坡度雷射輪廓掃描、量測點程式化及線上自動量測，量床規格如表 1-1 所示。

表 1-2 將就上述各量測儀器設備之優缺點做簡要的陳述，表列如下。



圖 1-8 Mahr MS-222 三次元量床 CMM[8]

表 1-1 Mahr MS-222 三次元量床 CMM 規格[8]

廠牌	Mahr
型號	Mahr MS-222
軸承	空氣軸承
伺服驅動軸	三軸線性滑軌
量測空間(X-Y-Z)	250*200*200 mm/min
最大荷重	10 kg
量測解析度	0.5 $\mu$ m
量測精度	$\pm 1\mu$ m
移動速度	Max: 150 mm/s
量測頭倍數	3X、10X CCD(44 萬畫素)
雷射光源	半導體雷射 $\lambda=680$ nm
掃描速率	500 pts/s
溫度	20 $^{\circ}$ C $\pm$ 2 $^{\circ}$ C
氣壓	3.5 bar
量測系統	自動變焦光學影像量測鏡頭
	同軸雷射測頭
	探針測頭

表 1-2 各量測設備優缺點比較表

項次	研究設備	優點	缺點
1	結合影像量測儀之雷射位移計系統	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.其三角量測系統與影像量測儀係採用分光鏡技術。</li> <li>2.將雷射投射光軸與影像量測儀的光學放大系統來重合光軸。</li> </ol>	因其雷射角度為 37 度，若需量測有空間限制之試片時，例如在微加熱爐內，導致無法量測(因斜向式投射三角量測的結構)。
2	掃描式雷射測距之研製	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.其系統架構以工具顯微鏡為主。</li> <li>2.並採用外加式精密測距系統。</li> <li>3.使用斜向式投射三角量測結構，搭配旋轉反射鏡組來檢測動態試片。</li> </ol>	若需量測有空間限制之試片時，例如在微加熱爐內，導致無法量測(因斜向式投射三角量測的結構)。
3	Polytec MSA-500	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.結合掃描式雷射都卜勒技術來量測表面振動。</li> <li>2.閃頻影像顯微技術作面內位移量測。</li> <li>3.白光干涉技術則可獲得剖面、外形、臨界尺寸和粗糙度的基本靜態參數。</li> </ol>	價格昂貴非一般公司及實驗室能負擔(售價為新台幣 350 萬)。
4	Mitutoyo-Quick-Vision Hybrid	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.可作大範圍之量測(2000mm)</li> <li>2.雷射在自動對焦下，可執行高速度量測。</li> <li>3.各軸量測精度為 <math>(0.3+L/1000)\mu\text{m}</math>，為世界最高等級超高精度 CNC 影像量測機。</li> </ol>	價格昂貴非一般公司及實驗室能負擔得起(售價為新台幣 1090 萬)。
5	Mahr MS-222 三次元量床	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.可作各種零件尺寸量測及低坡度雷射輪廓掃描。</li> <li>2.量測點程式化及線上自動量測。</li> </ol>	無法量測 Z 軸方向之動態功能。

## 1.4 論文架構

本論文之共同檢測平台研製流程如圖 1-9 所示。首先針對探針台之結構及其光學顯微鏡等焦面距離(Focus Distance)與雷射位移計工作距離(Working Distance)做比對，再依照雷射位移計之雷射探頭外觀尺寸，設計出安裝雷射探頭的治具及所需之反射鏡，藉此將雷射探頭、反射鏡與顯微鏡物鏡座結合一起。之後利用校準試片及另一台輔助之長焦距光學顯微鏡，調整治具及反射鏡的位置，使探針台之光學顯微鏡光軸與雷射位移計投射之光軸重合。安裝校準完成後，利用同軸雷射試片及雷射干涉儀進行量測精度及重現性之比對及驗證。

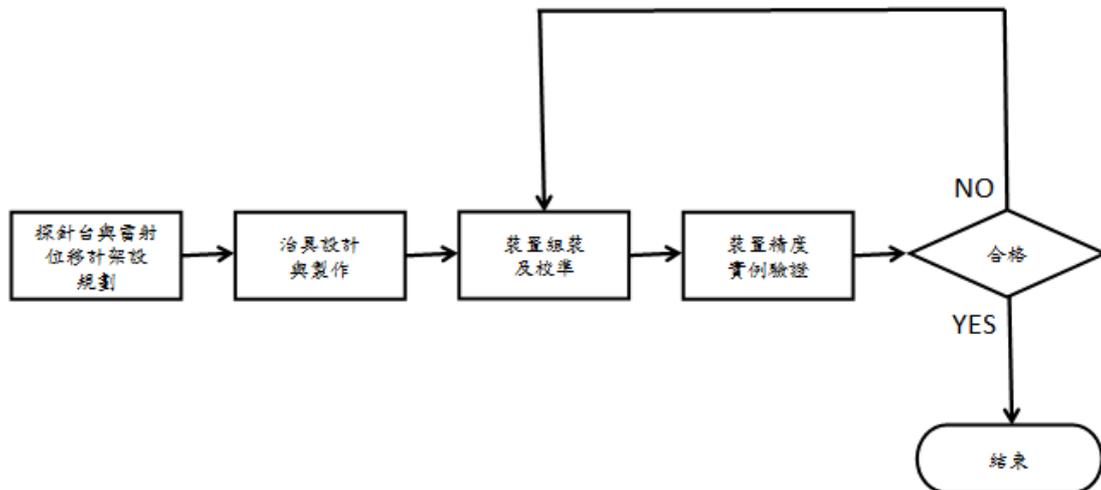


圖 1-9 研究流程圖

本論文撰寫架構共分為五個章節。第一章為緒論，包含前言、研究動機與目的、文獻回顧以及論文架構等四個部分。第二章為介紹本研究之相關軟硬體與其原理，包含：探針台、影像處理軟體、雷射位移計、Imc 資料擷取器及其  $\mu$ -Musyocs 軟體以及影像十字線產生器。第三章為檢測平台之設計，主要為檢測平台裝置之介紹、治具設計、反射鏡設計及治具組裝與調整。第四章為治具與反射鏡之製作與組裝，可分為治具與反射鏡材料選用、製作方法及組裝與校準。第五章節為檢測與結果討論。最後第六章為結論以及未來研究方向。

## 第二章 相關軟硬體與原理介紹

### 2.1 探針台(Probe Station)介紹

探針台普遍使用於實驗室，常用來檢測半導體、光電與微奈機電元件裝置之電路測試及元件結構形貌。探針台裝置構造一般包含有結合彩色CCD影像擷取器之光學顯微鏡、承載待測試片之XYZ精密載物平台(Chuck Stage)以及放置微探針操縱座(Micro Needle Manipulators)的平台(Base Plate)。操作人員可使用微探針操縱台將探針精準地與試片表面接觸通電，亦可經由光學顯微鏡及CCD影像擷取器，直接由電視螢幕或透過影像處理系統在電腦螢幕上觀察試片表面特徵。本論文所使用之探針台裝置構造簡介如下：

➤ 光學顯微鏡

廠牌型號：Mitutoyo F70

主要功能：欲觀測之試片可經由不同之物鏡倍率，並搭配目鏡之倍率可作適當之放大，當倍率越高時，視野越小，反之則越大。(物鏡規格有2X、10X、20X、50X、100X)。

➤ 彩色CCD影像擷取器

廠牌型號：SONY SSC-DC50A

主要功能：從接物鏡擷取之影像，經CCD傳送至螢幕顯示，即可從顯示器觀察、分析影像。

➤ 微探針操縱台座

廠牌型號：Mitutoyo Pvx400

主要功能：五軸探針座有五個自由度，在通電時夾持探針所用，其調整精度可達0.01mm，因此可作多動向調整之使用。

➤ 8吋吸盤式X.Y.Z精密載物平台、彩色監視螢幕及數位式電源供應器



，仍然僅止於嬰兒時期。縱然如此，運用電腦影像/視覺系統，將大量資訊加以處理及量化，卻是我們的眼睛所不及之處。甚至，應用電腦影像/視覺系統，有效且自動化，代替人類進行許多機械性，令人感覺無聊的重覆性工作，例如生產線上的產品瑕疵檢驗，不僅可確保結果一致性，更可避免因人為誤差所造成的錯誤數據。因此，電腦影像/視覺系統，可以稱之為一種用來進行量化處理的科學儀器。我們大可運用此項技術來進行許許多多人類眼睛及大腦所無法從事的作業，但卻仍舊無法用之，100% 取代我們自己。

## 2.2.2 影像分析主要步驟

一般而言，就算是最複雜且難度相當高的情況下，影像分析相關的問題的解決方法，大概可依序區分為下列幾個簡單的步驟：

### 2.2.2.1 取得影像訊號或檔案 (Acquire An Image)

大致區分為下列兩種方式：

#### (1) 開啟檔案 (Open Files)

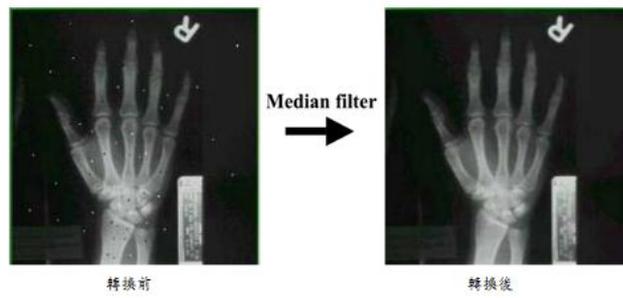
開啟軟體，再以資料庫裡點選所需分析之檔案即可（目前 Inspector 支援的圖檔格式，計有 .min、.jpg、.bmp、.pcx、.avi、.tif、.dicom... 等十幾種標準格式）。

#### (2) 動態取像 (Continuous、Snap、Sequence)

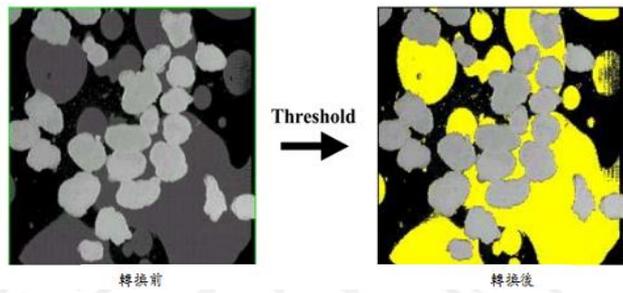
Matrox Inspector 3.1 亦可經由影像擷取或輸入設備，例如影像卡 (Frame Grabber)、掃描器 (Scanner) 或數位相機 (DSC) 等，將類比訊號及照片等圖像，做數位化處理之後，轉成數位影像檔至電腦上，再利用 Inspector 軟體，加以處理與分析。

### 2.2.2.2 影像加強前處理 (Enhance To Correct For Problems)

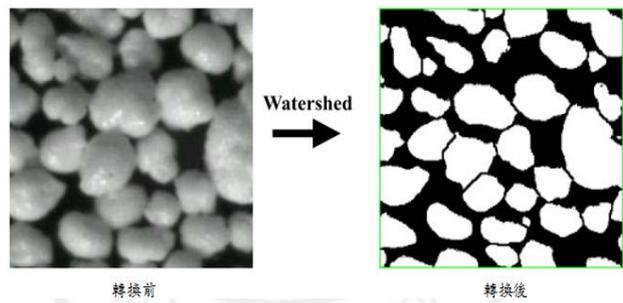
影像加強前處理這一階段往往是整個電腦影像分析作業過程中，比較棘手的一環，甚至，有時可以用艱難二個字來形容某些特殊個案，但使用者若能深入理解，融會貫通，一旦任督二脈打通之後，則反而會變得更加喜歡此項作業，因此，需要不斷的練習，將影像畫面簡化之，如圖 2-3 所示。



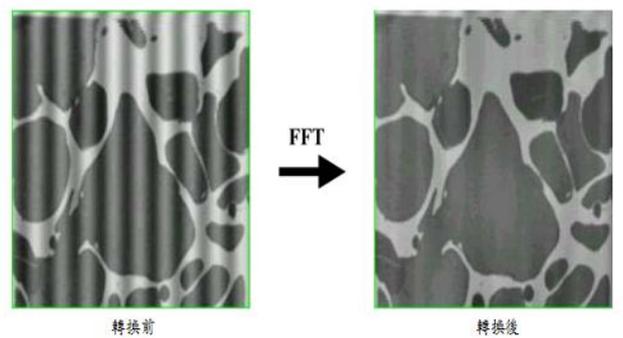
(a) Median Filter 的處理圖



(b) Threshold 的處理圖



(c) Watershed 的處理圖



(d) 傅立葉函數轉換(FFT)的處理圖

圖 2-3 影像加強前處理圖

### 2.2.2.3 特徵擷取或辨識 (Identify Feature Of Interest)

Inspector在影像辨識，因版本不斷更新，增加幾何比對法則 (Geometric Model Finder, GMF) 功能與辨識精確度上，有別於原有的灰階比對方法。影像辨識方式首先建立比對樣本，啟動Search Scale Range功能，在所有待測件當中調整參數來進行比對。

### 2.2.2.4 量測所擷取之特徵 (Measure Feature Of Interest)

在Inspector的工具箱內，提供包括點 (Point)、線 (Line) 及面積 (Area) 三種基本的測量工具，使用者可透過滑鼠游標點選，直接移動至影像上方，進行即時影像量測，並馬上瀏覽數據結果。

### 2.2.2.5 數據統計/報表作業/自動化作業，依需求而定 (Present/Process/Automate)

在任何時候，當遇到任一個影像分析問題時，盡可能地嘗試將它解剖成上述幾個主要步驟，隨後，再將焦點鎖定在找尋最適切且有效的解決工具或技術，而針對個別必經過程及步驟，加以解決之。無論是一位初入此門應用科學的初學者，或已經是身經百戰的專家，依據該軟體作者多年的經驗，始終相信上述的解剖電腦影像/視覺問題及解決對策的思考模式，才是最有效率的方法之一。

## 2.3 雷射位移計介紹[10]

### 2.3.1 雷射位移計操作之原理

雷射結合三角量測技術(Triangulation Technique)創造出一套新的量測距離技術。與雷射干涉儀(Laser Interferometers)相較之下，雷射三角測量系統是在位置、厚度、距離及頻率之量測上，具有成本效益的優勢，且成為世界上公認可執行非破壞性檢測的方法。一般來說，基於三角測量之雷射位移計的構造包含光源(雷射二極管)、成像光學(聚光透鏡)、光學感測元件(Position Sensitive Detector (PSD)或CMOS/CCD感測元件)。雷射位移計的操作原理是由雷射位移計之雷射二極管投射的可見雷射光點到試片表面上，經由試片表面以特定的角度散射出來，透過高品質的聚光透鏡投射到位置感測元件(PSD 或 CCD)上，如果試片位置有所改變，相對雷射光點投射到 PSD 也會改變，雷射位移計經由 PSD 的雷射光點位置變化，透

過三角量測法計算出其相對位移量，並將此訊息傳輸到雷射位移計控制器上顯示數值，如圖 2-4 所示。

雷射光的散射或反射光(Scattered Or Reflected Light)取決於試片表面粗糙度。在光亮的表面情況下，反射光可直接進入位置感測元件，但表面散射光線比較困難，因進入位置感測元件的光線少之又少。圖2-5說明兩種不同功能之雷射感測頭，散射功能之雷射感測頭(Diffuse Head)適合用在表面均勻的試片，可獲得較佳的雷射光信號。而反射功能的雷射感測頭(Specular Laser Head)適用於試片表面有拋光和鏡面處理的工件。

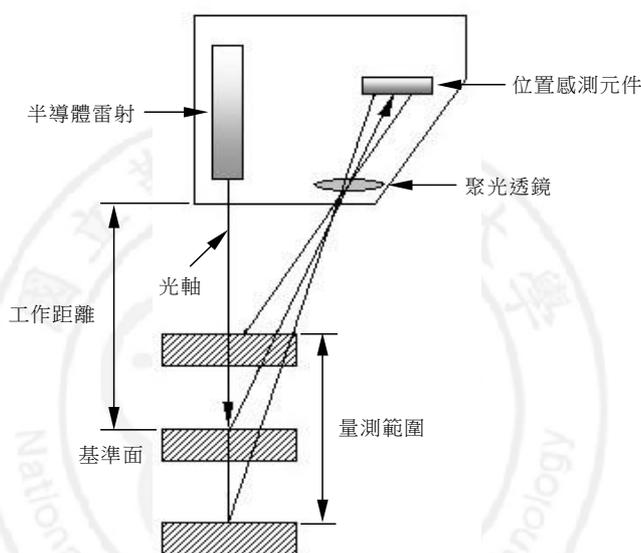


圖 2-4 雷射位移計量測原理圖

### 2.3.2 雷射位移計之結構

如圖2-5所示為雷射探頭測距示意圖，雷射探頭主要由三大部分構成：

- 光源  
具有半導體雷射與Led兩種。精度較高的雷射探頭，其光源是半導體雷射；而以Led為光源的雷射探頭，其精度通常較差。
- 非球面鏡  
主要的作用在於聚焦。當光由光源打出後，經非球面鏡聚焦後，可使光在量測範圍內不會擴散得太嚴重，再經待測物反射之後，由第二個非球面鏡聚焦於位置感測元件上。
- 位置感測元件(PSD)

如圖2-6所示PSD是屬於Pin結構的光耦合電晶體，當光投射到位置感測元件時，兩側端點將有不同的電流值輸出，處理電路中之電流值依公式推算出光的投射點位置，然後再利用此位置的值，配合三角函數的運算，求出待測物和雷射探頭的距離。

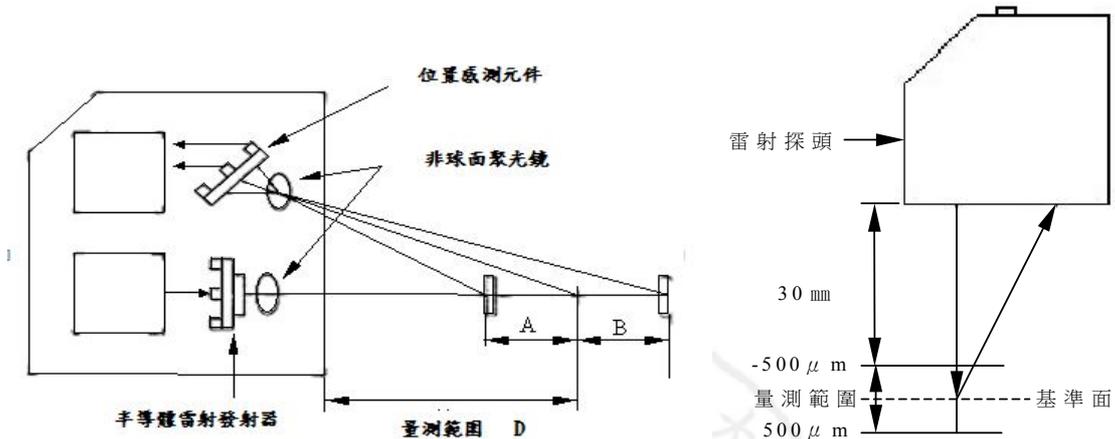


圖 2-5 雷射探頭之構造及測距示意圖

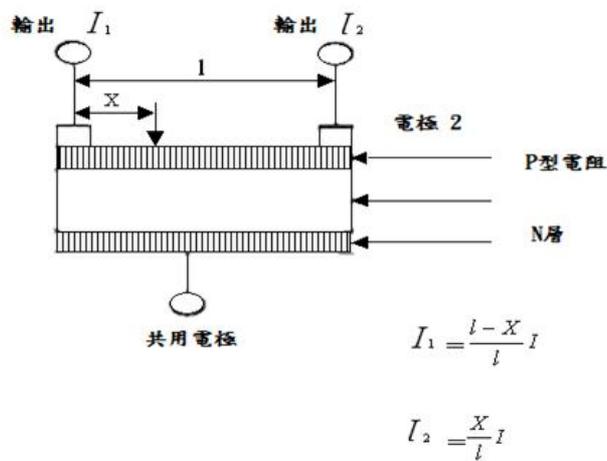


圖2-6半導體位置感測器示意圖

### 2.3.3 雷射位移計之反射特性

三角式探頭的訊號來源在於光的反射，因此待測物表面的粗糙度，顏色及傾斜度將嚴重地影響量測的結果。依照物理學的反光原理，當光線照射到物體表面或在兩種光介質之間活動時，會反射、傳遞、擴散或被介質吸收，由於雷射光為

一平行單色光束照射在任一待測物表面之上，沿著其反射角方向的反射光強度，其分佈會因工作表面組織之不同，而產生不同之性質。這種光強度分布的變化，可以用兩種表面反射模式解釋之：即鏡射式（Specular-Reflection）反射和散射式（Diffuse-Reflection）反射兩種。如圖2-7所示。事實可證明這兩種反射模式並沒有相互的關係存在，但是這兩者皆會因不一樣的表面組織性質而出現。

➤ 鏡射式反射

所謂鏡射式反射，顧名思義主要發生於平滑如鏡面的表面上，其入射角等於反射角，更可以說這種表面組織的粗糙度相對於光波而言是非常的小。

➤ 散射式反射

這種反射作用發生在具有較粗糙的工作表面上。由於待測物的表面並不光滑，當一光束打在工件上，因光束有其寬度使得每一小單位的光束，打在待測表面時，其入射的角度各不相同，因此反射出來的光線角度亦不相同，造成光束打入時，其反射光各個角度散射出去，形成散射式反射。

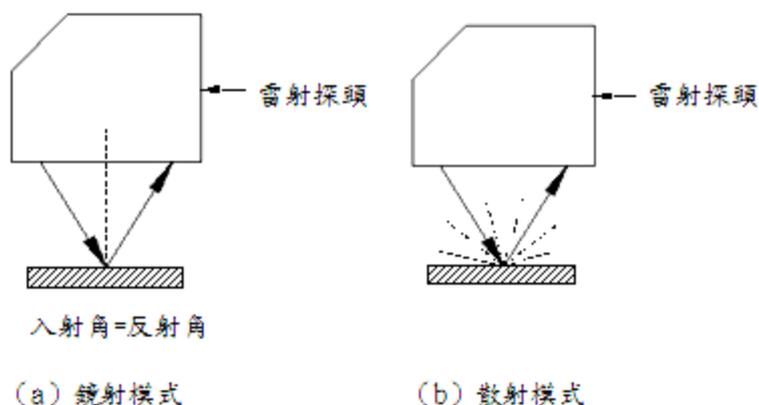


圖2-7鏡射與散射模式

圖2-8及表2-1為本研究是使用之Keyence LC-2430型號雷射位移計的規格[10]，Keyence LC-2430可提供高速、高分辨率的位移、位置和振動測量，在產品生產和品質管制的理想選擇。

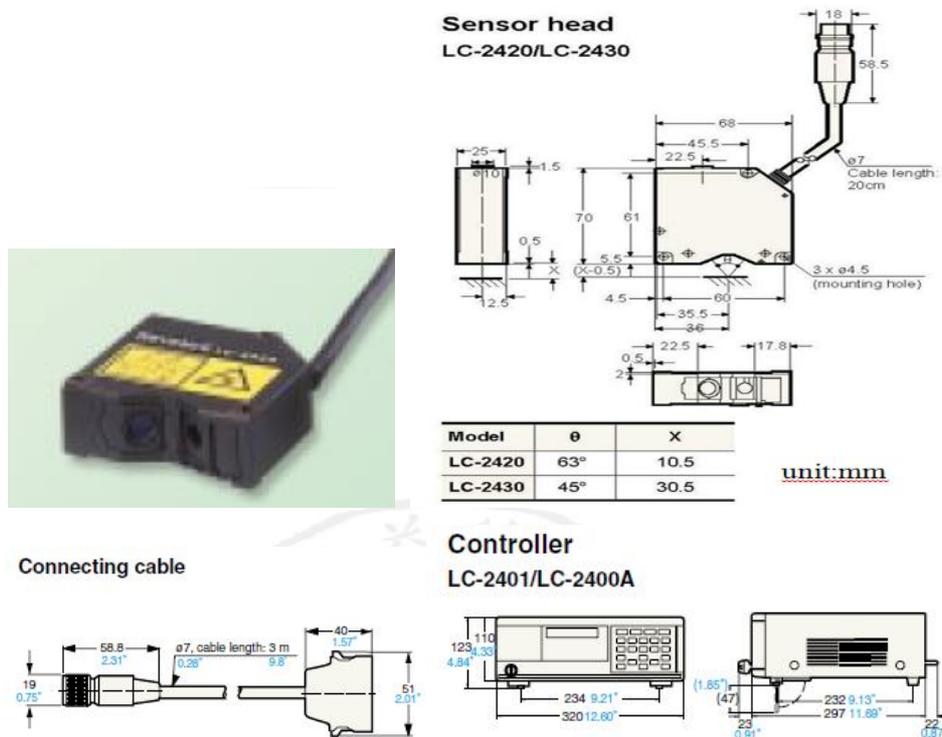


圖2-8雷射位移計Keyence LC-2430外觀圖[10]

表2-1 Keyence LC-2430規格表[10]

型號	LC-2430
重量	感測頭:500 g 控制器: 6.8 kg
操作距離	Specular-Reflective – 30 mm ±0.5 mm
量測範圍	±500µm
光源	半導體雷射波長 670nm 脈衝時間:10µs
最小光點尺寸	30×20µm
精度	0.32µm
直線性	±0.05% of F.S.
響應時間	100 µs
取樣率	50kHz
響應頻率	20 kHz (-3dB, Averaging measurements: 1)
平均量測值	1 to 131072 (18 selectable settings)

### 2.3.4 三角量測法

由圖2-9得知，雷射三角量測採用光學三角法 (Triangulation) 的量測原理，雷射光源打在待測物的表面，當量測面和參考面的距離發生改變時，則雷射反射回來投射到位置感測元件(PSD)的光點位置也會改變，而且量測面和參考面的距離變化量 ( $d$ ) 和位置感測元件光點位置位移量 ( $\delta$ ) 為一線性關係，其關係如下：

$$d = \frac{d_o \delta}{d_i \sin \theta + \delta \cos \theta} \quad (2-1)$$

$\theta$ : 雷射投射與反射光軸之間的夾角

$d_o$ : 座標原點與聚光透鏡(image len)的距離

$d_i$ : 聚光透鏡與PSD的距離

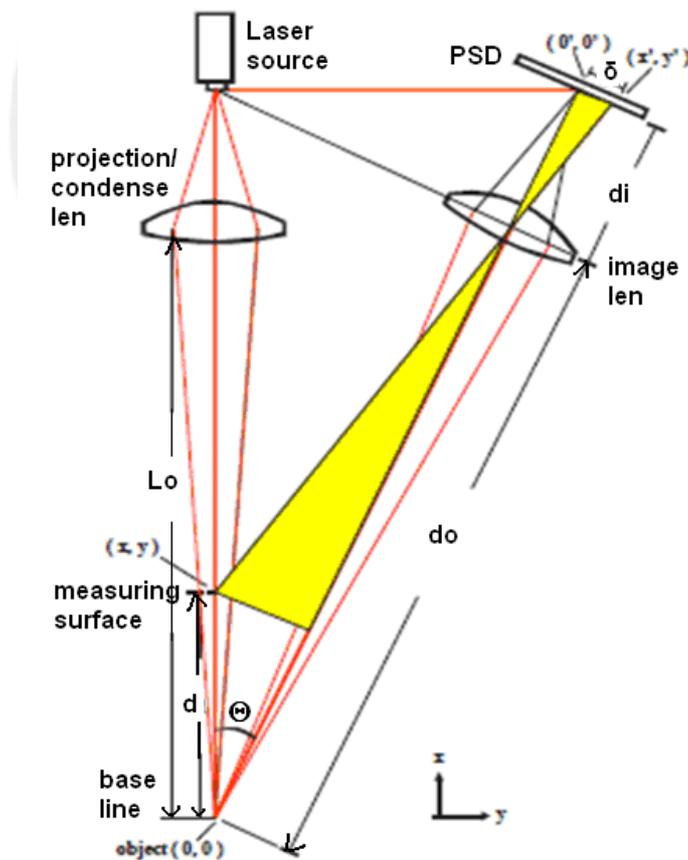


圖2-9雷射三角量測原理[10]

## 2.4 Imc 資料擷取器 and $\mu$ -MUSYCS 信號分析的軟體[11]

如圖 2-10(a)所示，Imc 資料擷取器(Imc data acquisition device IDAD)，Imc 公司所提供多種參數設定、類比信號數據收集、量測及專業控制，Imc 資料擷取器為一高速、大容量、高性能的訊號擷取系統，其功能可用來記錄溫度、電壓及電流等信號，Digital 的輸入和 Relay (Alarm) 的輸出，且內建高性能 DSP 可做即時信號的分析，其分析內容包括：數位濾波 (Low Pass, High Pass, Band Stop)、統計演算 (Max, Min, Mean, RMS)、FFT 分析、即時壓縮紀錄等...功能，並且與 PC 連線可即時顯示，Imc 資料擷取器包含系統操作軟件及即時資料擷取線上觀看系統。

如圖 2-10(b)所示， $\mu$ -MusyCS (Multi Synchronous Channel System) 為一套信號分析的軟體，其與硬體相連結的程式庫，方便使用者規劃、設計量測的參數及設定，並且提供資料顯示、訊號分析、報告製作等程式庫，可做各種電力參數、頻率、諧波分析、事件、觸發、閃爍 (Flicker)、漣波控制信號 (Ripple Control Signals) 等...多元的量測分析，而所擷取的訊號可搭配 Famos 功能，其提供超過 300 組函數的功能、表格式資料編輯器和巨集等功能。



圖 2-10 (a)Imc 資料擷取器(b)  $\mu$ -MUSYCS 信號分析軟體[11]

## 2.5 VIA-30J 十字線產生器[12]

為了配合顯微鏡的光軸中心與雷射光共軸校準來使用 VIA-30J 十字線產生器 (Video Crossline Generator)，顯微鏡可透過水平線及垂直線對準試片影像作為定位，如圖 2-11 所示，操作人員可以選擇不同線條粗細或線條圖案(實線、虛線)，透過選擇可將線條放置於視窗任何地方的個別線路。VIA-30J 十字線產生器的目的是為將單色的十字線與 CCD 攝影機透過 Y/C 接頭結合，產生黑色或白色十字線覆蓋標記，VIA-30J 可在 RGB 顯示器或數位相機上皆可使用。



## 第三章檢測平台之設計

### 3.1 檢測平台裝置之介紹

本論文利用探針台作為量測裝置的共同平台，透過治具將雷射位移計之三角雷射探頭(Sensor Head)結合於探針台之光學顯微鏡接物鏡座上。如此藉由光學顯微鏡及 CCD 影像系統擷取待測試片之平面影像，並利用影像處理分析軟體來量測分析試片之相關特徵尺寸及形貌，之後再藉由雷射位移計系統可量測出待測試片之離平面之位移(位置)、高度(厚度)及振動等動靜態相關資訊。圖 3-1 顯示本論文所設計的檢測平台裝置結構示意圖。

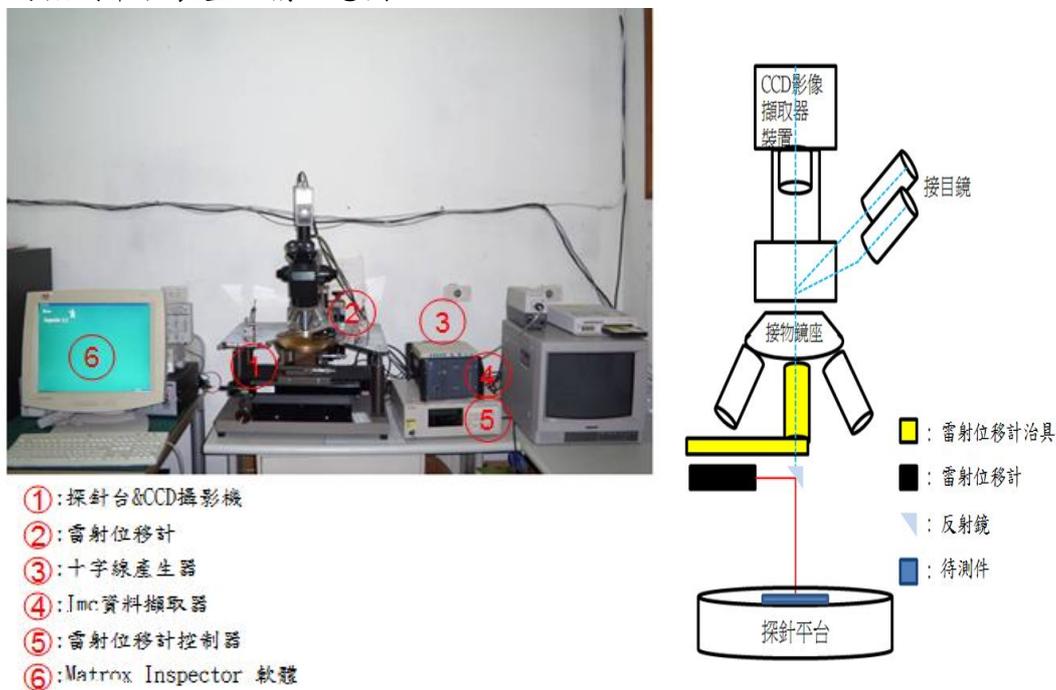


圖 3-1 檢測平台裝置結構示意圖

### 3.2 治具設計

雷射三角測量技術是基於光學成像的雷射光點必須有效地落在規範的工作距離內，如此才可獲得較佳的量測效能(參圖 2-5)。由於本實驗室所使用之探針台的 Mitutoyo F70 型顯微鏡，其等焦面距離(Focus Distance)僅有 95mm，而所使用之 Keyence LC-2430 三角雷射探頭外觀尺寸為 68x70x25mm，工作距離為 30mm，已超出顯微鏡等焦面距離，如下圖 3-2 所示。因此在空間的侷限下，三角雷射探頭無法以直立方式架設於接物鏡座底下，故利用治具將三角雷射探頭偏轉成水平方式擺置，再經由反射鏡將三角雷射探頭投射之雷射光束偏轉，如圖 3-3 所示，而雷射

光束偏轉概念示意圖如圖 3-4 所示。雖然偏轉改變了雷射光束的工作路徑(Working Wath)，但其工作距離不因偏轉而改變，如此設計可解決上述空間限制的問題。

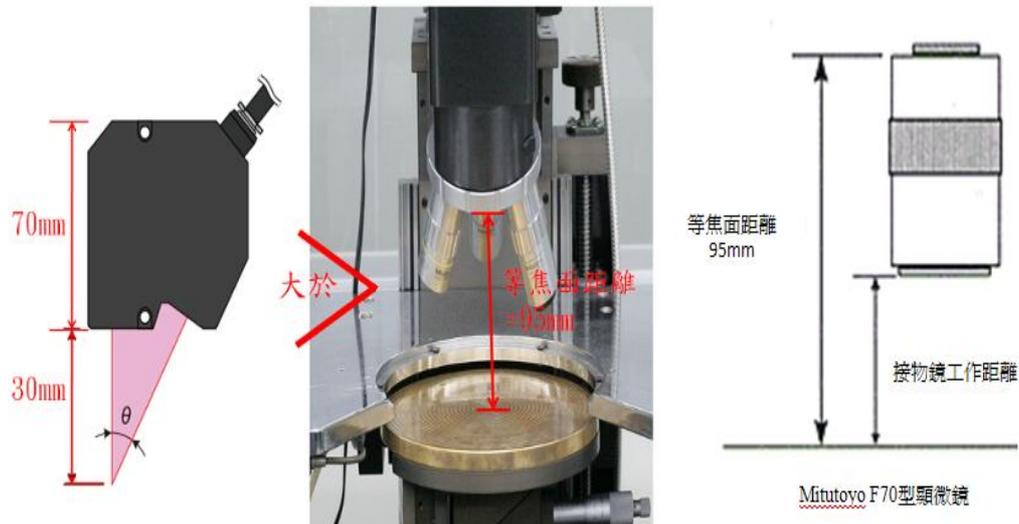


圖 3-2 Mitutoyo F70 顯微鏡焦平面距離和雷射位移計工作距離規格比較圖

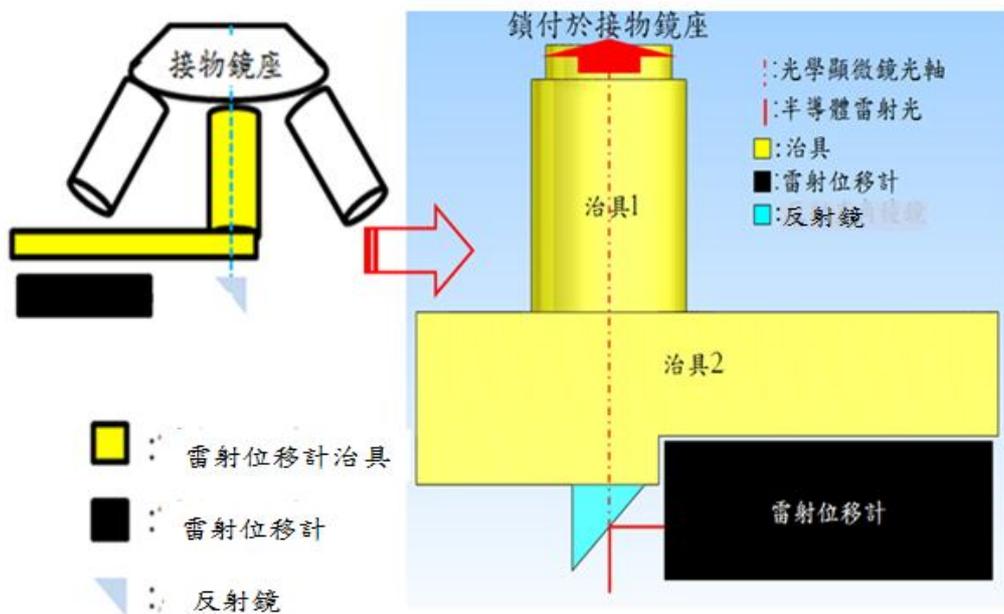


圖3-3 利用治具將雷射位移計水平轉置圖

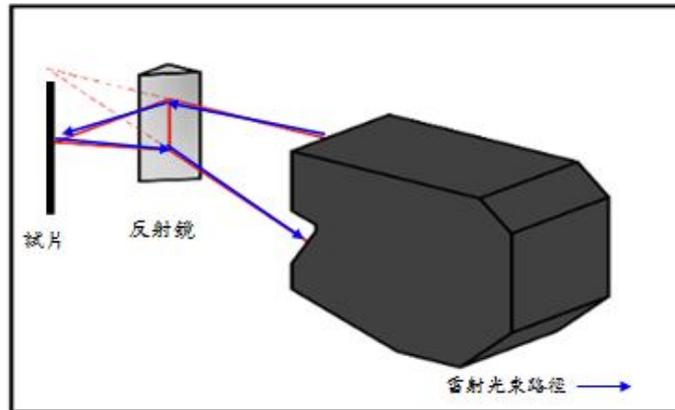


圖 3-4 雷射位移計雷射光束路徑圖

此外，為了讓投射之雷射光軸與光學顯微鏡光軸重合一致，因此將治具分成三部份。治具 1，如下圖 3-5 所示，利用接物鏡座現有之 M26X0.75mm 螺牙將三角雷射探頭與接物鏡座結合。根據 Keyence LC-2430 雷射探頭之固定孔(圖 3-6)，治具 2，如 3-7 圖所示，利用三支  $\phi 4.5\text{mm}$  平行銷將 LC-2430 水平方式裝置，並與治具 1 結合。治具 3，如 3-8 圖所示，為反射鏡調整治具，可以螺絲推動微調反射鏡來校準光軸。

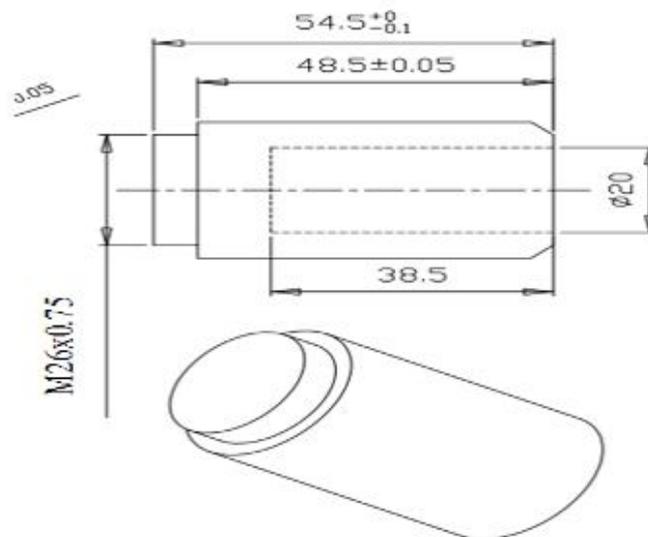


圖 3-5 治具 1 尺寸圖



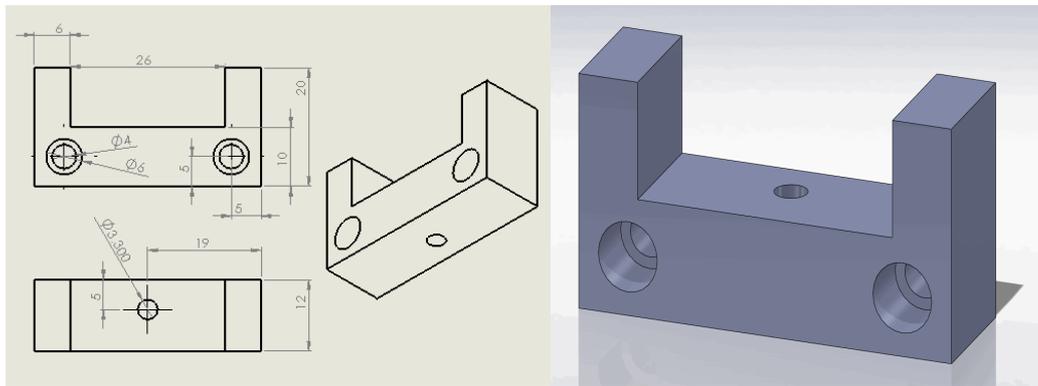


圖 3-8 反射鏡調整治具 3 尺寸圖

最後利用治具將三角雷射探頭與接物鏡座結合後，藉由光學顯微鏡及 CCD 影像系統擷取待測試片之平面影像，並利用影像處理分析軟體來量測分析試片之相關特徵尺寸及形貌，之後再藉由雷射位移計系統可量測出待測試片之離平面之位移(位置)、高度(厚度)及振動等動靜態相關資訊，其功能操作如圖 3-9 所示。

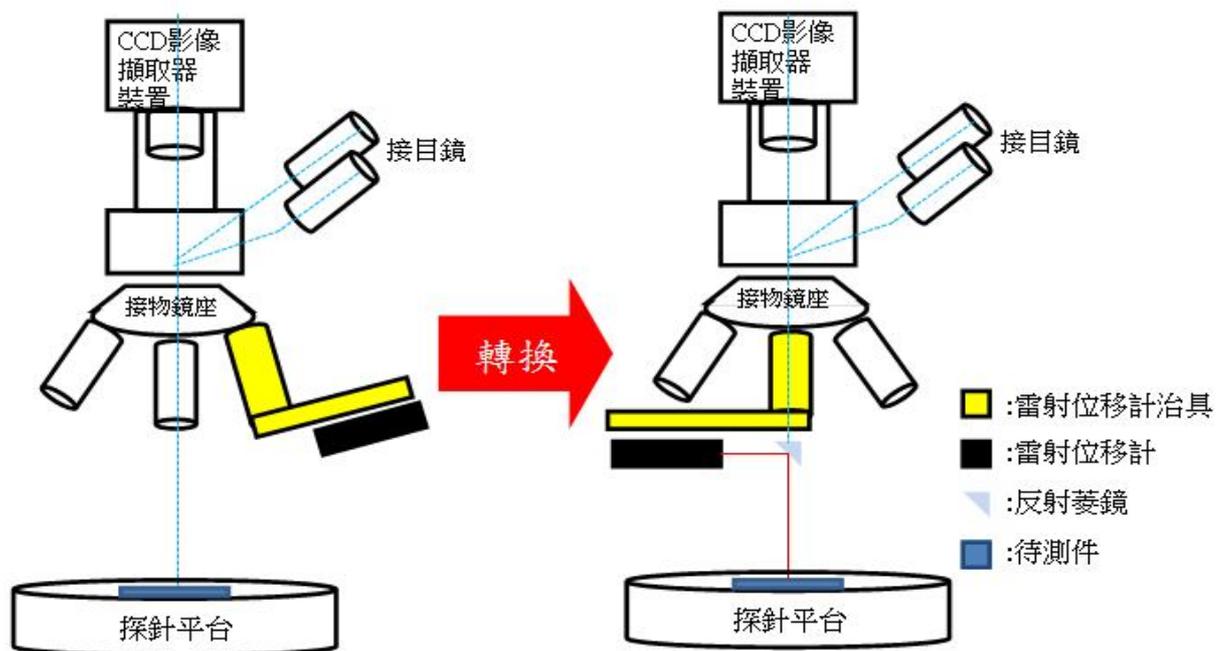


圖 3-9 檢測平台功能操作概念圖

### 3.3 反射鏡設計

由於三角雷射探頭以水平方式設置，因此需設計一反射鏡改變其光路。參酌 Kenyence 公司提供之參考資料[10]，所建構之反射鏡尺寸如圖 3-10 所示，其中反射鏡之寬度 (B1) 由雷射光軸的偏轉位置之變化來決定，其高度只需大於雷射光軸偏轉位置之寬度 (B) 即可，而寬度(B)尺寸由下列運算式計算出：

$$B=(A1/A) \times \tan\theta \times 1.5$$

其中如圖 3-11 所示，A 為三角雷射探頭之工作距離 30mm，A1 為反射鏡與待測件之距離 20mm， $\theta$  為三角雷射探頭之雷射發射器與感測頭之夾角 45 度，而 C 為三角雷射探頭之雷射發射器的發射孔徑 10mm。經由實際數值的計算，

$$B=(20/30) \times \tan 45^\circ \times 1.5=2\text{mm}.$$

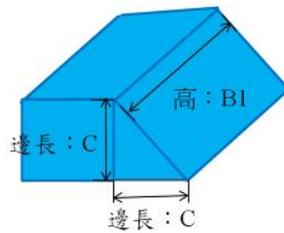


圖 3-10 反射鏡設計示意圖

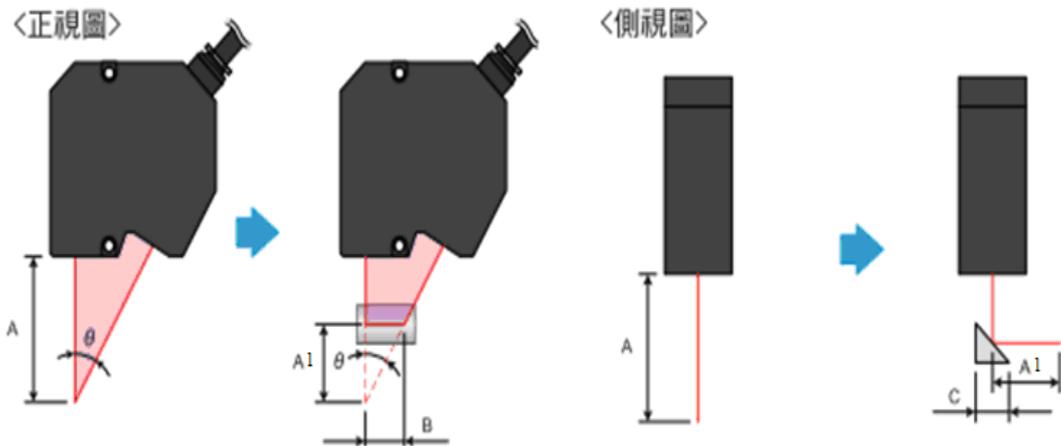


圖 3-11 雷射位移計改變光路示意圖

## 第四章治具與反射鏡之製作與組裝

### 4.1 治具製作及組裝

治具 1、2 選用質量較輕的材料以避免接目鏡座承受重量所造成的變形。以市面上最常見使用的金屬來比較，如下表 1 所示，鋁合金在比重方面為較輕且加工容易，因此選用鋁合金，並利用車床（圖 4-1）及銑床加工機（圖 4-2）來加工成形，成品如圖 4-3 所示。至於治具 1、2 之組裝，首先將治具 1 與治具 2 使用 M6×20 螺絲結合，如圖 4-4 所示，再使用  $\phi 4.5\text{mm}$  的固定銷將三角雷射探頭固定於治具 2 上，如圖 4-5 所示，之後將治具 3 固定於治具 2 上，並將反射鏡貼上雙面膠帶，作為調整反射鏡位置使用。

表 4-1 材料比重表

材料項目	銅	鋁合金	(生)鐵	不銹鋼
比重 (KG/m <sup>3</sup> )	8.96	2.75	7.85	7.75



圖 4-1 車床加工治具 1 圖



圖 4-2 銑床加工治具 2、3 圖



圖 4-3 治具 1、2、3 成品

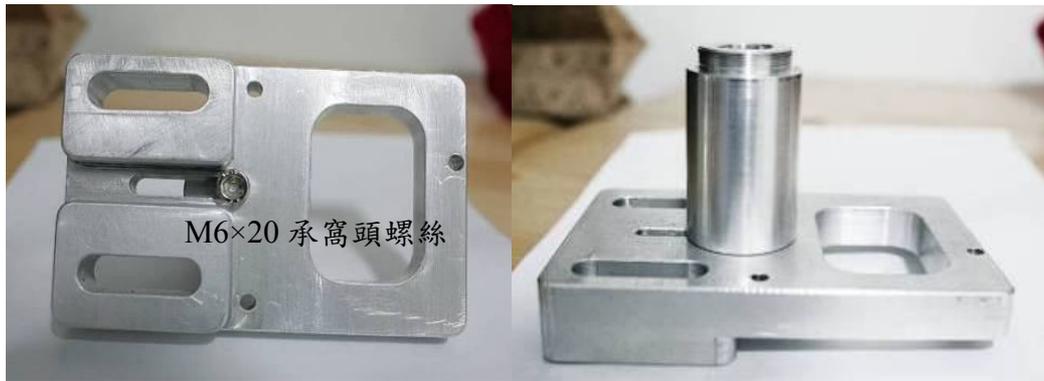


圖 4-4 治具 1 與治具 2 組裝圖



(a)



(b)

圖 4-5 (a)治具 2 與三角雷射探頭組合圖(b)治具 3 與反射鏡組合於治具 2 圖

#### 4.2 反射鏡製作與組裝校準

由於需要有效反射雷射位移計之半導體雷射（波長為 670nm），市售反射金

屬鋁板其反射率僅為約 70% ，無法達到高效率的全反射，造成雷射位移計之位置感測元件感測信號不佳，容易造成誤判，以高反射光學薄膜原理，依設計製作反射鏡，在使用氣體成膜法中的物理氣相沉積法 (Physical Vapor Deposition)PVD，利用物理性方式加熱或原子濺射靶材材料，來生成薄膜，此次利用實驗室之直流磁控濺鍍機來實施鍍膜如圖 4-6，依各類金屬反射譜比較圖如圖 4-7 所示，使用高反射率的銀作為靶材，鍍膜成品如圖 4-8 所示，以 ET-4000 測得膜厚為 0.278mm。物理氣相沉積法主要應用熱昇華或原子濺射的方法在基板上沉積薄膜，它主要有三個過程：

1. 將靶材固態材料加熱昇華到氣態。
2. 將氣態的原子、分子、或離子加速通過一個高度真空的空間，到達附著的基板表面。
3. 將靶材材料在欲鍍面的表面沉積形成薄膜。

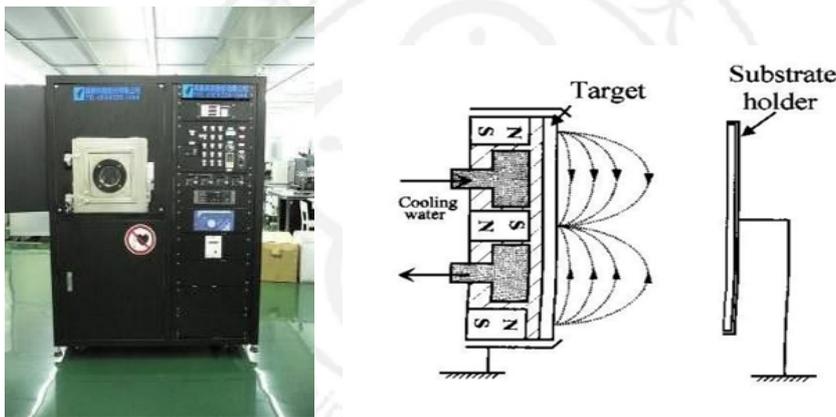


圖 4-6 直流磁控濺鍍機圖

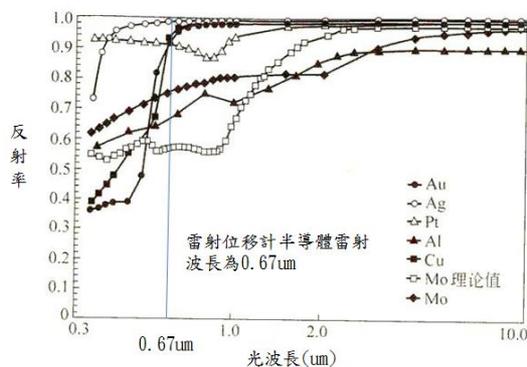


圖 4-7 各類金屬反射譜比較圖

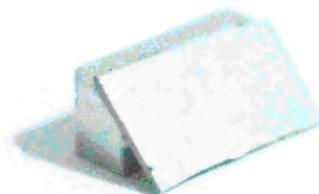


圖 4-8 反射鏡成品

## 第五章檢測與結果討論

### 5.1 檢測平台裝置校準

首先將治具裝置結合於顯微鏡之接物鏡座上，如圖 5-1 所示，之後利用接物鏡座旋轉可完成光學顯微鏡系統與雷射位移計系統之間的切換，如圖 5-2 所示。

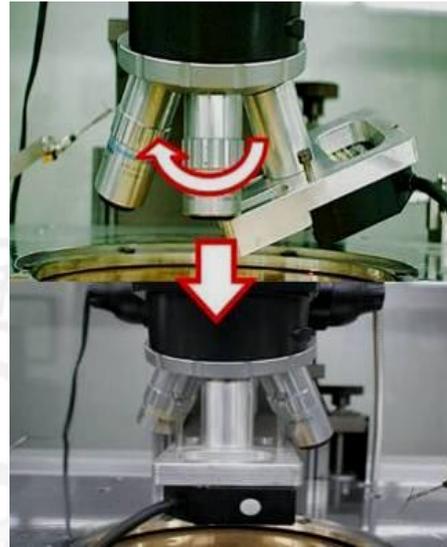


圖 5-1 治具裝置與顯微鏡結合 圖 5-2 光學顯微鏡系統與雷射位移系統之切換

#### 5.1.1 調整治具校準光軸

由於檢測平台使用前第一要務乃須校準雷射位移計之雷射光束須與光學顯微鏡光軸重合，因此在治具設計上提供微動調整之功能，如圖 5-3 所示。微動調整治具分成兩共平面垂直方向之移動，第一方向由調整治具 2 來移動雷射光束點位置。第二方向由治具 3 以螺絲推動反射鏡來微調反射鏡位置，進而移動雷射光束點，如圖 5-4 所示。

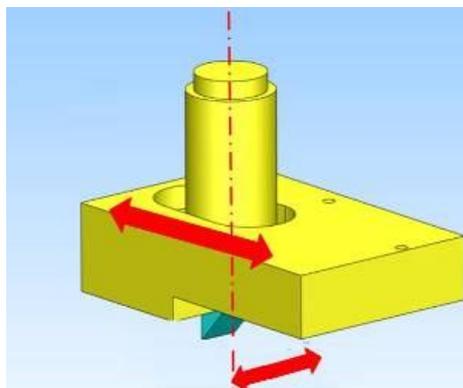


圖 5-3 治具 2、3 微調示意圖

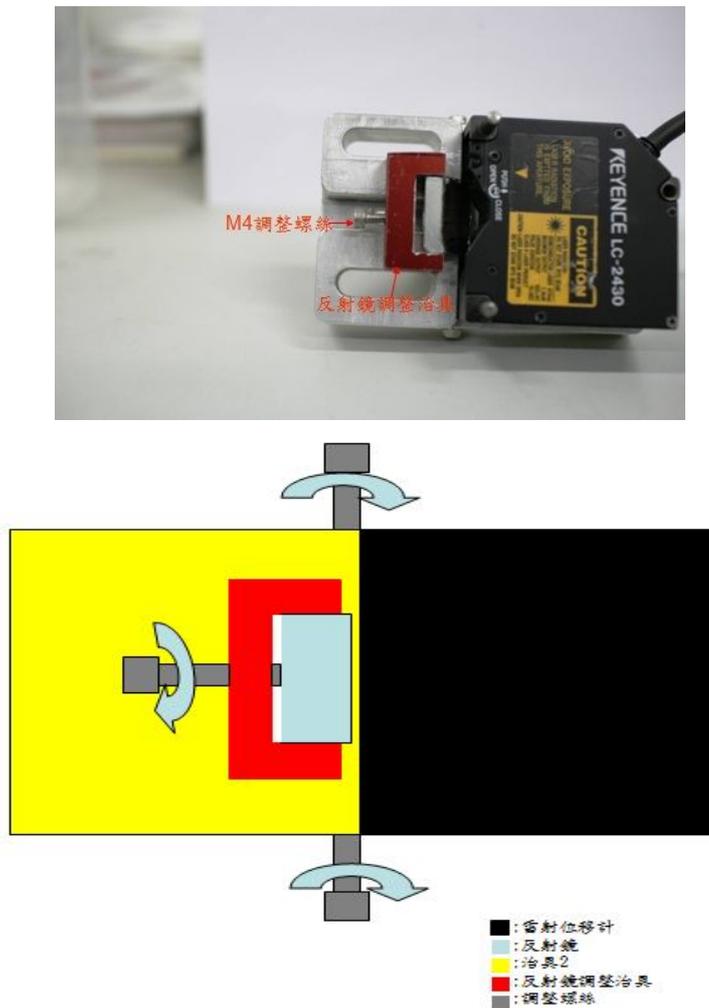


圖 5-4 調整治具 3 以螺絲推動反射鏡來微調雷射光束點位置

在安裝校準光軸時，先將校正試片放至探針台之精密載物平台上，將顯微鏡之光軸焦點調整至試片之校準位置，透過顯微鏡觀測聚焦定位後，再轉動接物鏡座置換成三角雷射探頭裝置，並利用旁邊輔助之可變焦顯微鏡觀察，微動調整治具 2 及治具 3(含反射鏡)，直到雷射光束點與試片校準位置重合，完成校準。詳細操作步驟敘述如下：本論文利用 AFM 原子力顯微鏡探針作為校正試片，將校正試片放於探針台之 8 吋吸盤式精密載物平台上，開啟真空吸盤開關，讓試片固定於平台上，利用精密載物平台移動試片，使光學顯微鏡光軸對焦至紅色十字標示之位置，直到影像清晰，確立光軸位置作為校準的基準如圖 5-5 所示。之後轉動接物鏡座切換成三角雷射探頭裝置，並利用旁邊輔助之可變焦顯微鏡觀察，如圖 5-6 所示，微動調整治具 2 及治具 3(含反射鏡)，直到觀察到雷射光束點與試片校準位置(十字標

示位置)重合，即完成校正工作。

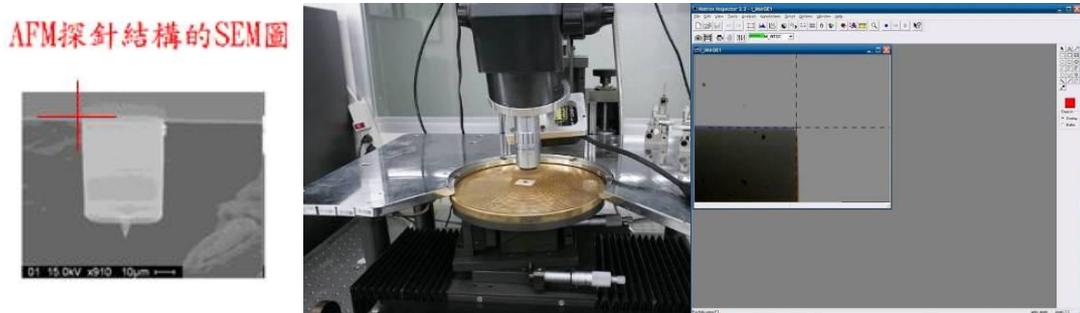


圖 5-5 移動試片至紅色十字標示之位置作為校準的基準

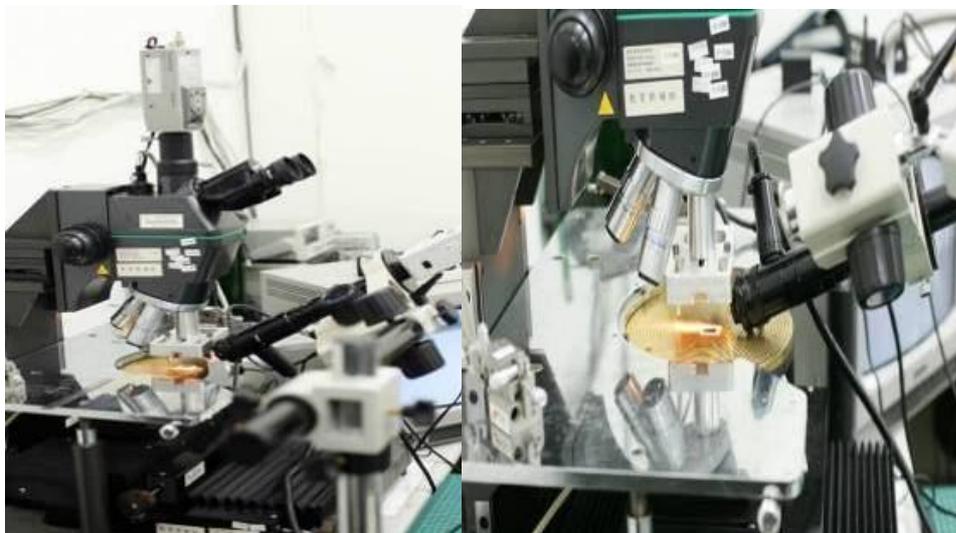


圖 5-6 利用輔助之可變焦顯微鏡觀察雷射光點位置

### 5.1.2 檢測平台定位精度驗證一

本文利用 Mahr MS-222 三次元量床之校正試片來驗證光學顯微影像系統與雷射位移計系統切換時，接物鏡座之定位精度，如圖 5-7 所示。本實驗選擇該試片最小圓孔徑 0.09mm 作為範圍，先以光學顯微影像系統觀測試片並將中央十字線對準圓孔中心後，切換雷射位移計系統，並使用旁邊輔助之多變焦顯微鏡觀察記錄雷射光點所投射於試片圓孔內之位置，如圖 5-8 所示。本實驗作了 10 次轉換動作，雷射光落點均於 0.09mm 之圓孔內，雷射光點落點分佈圖如圖 5-9 所示，接物鏡座之定位精度平均為 0.04mm。

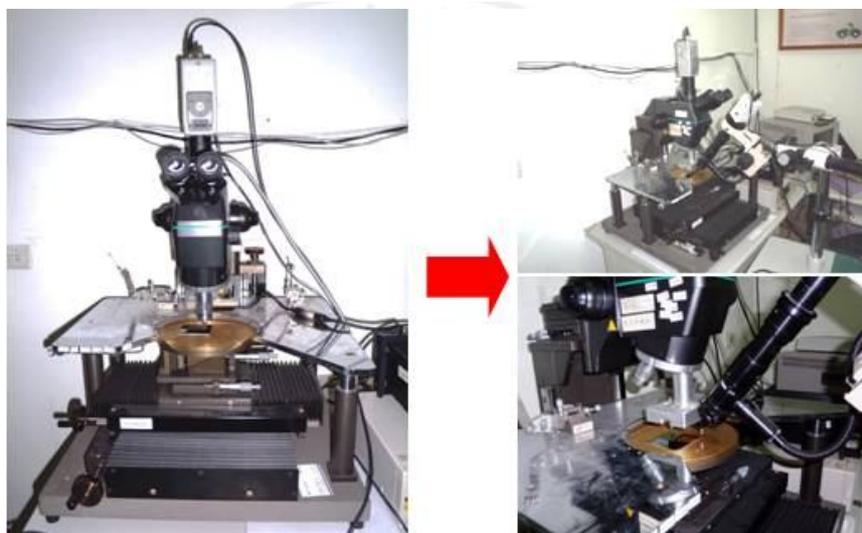
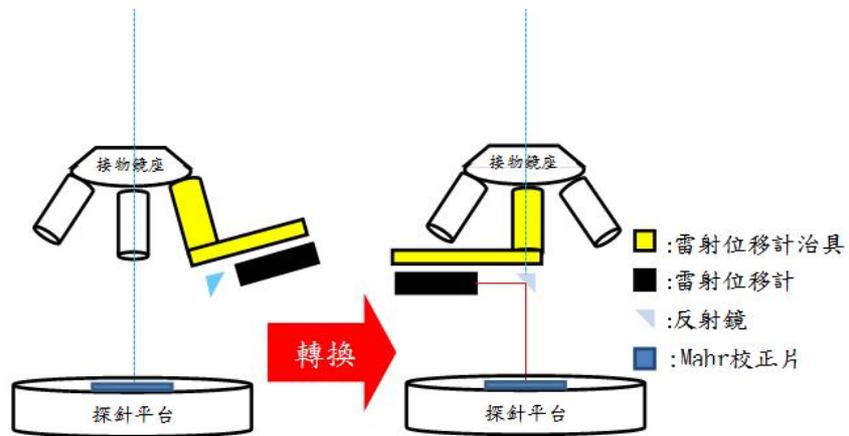


圖 5-7 光學影像系統與雷射位移計切換定位校準

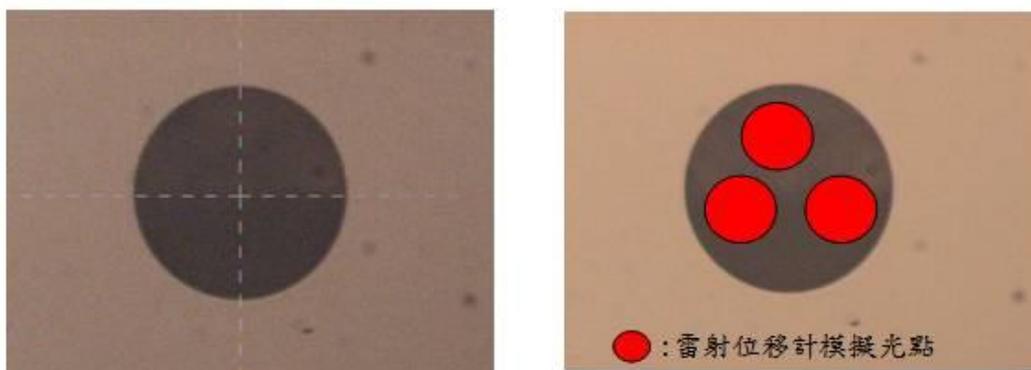


圖 5-8 Mahr MS-222 三次元量床之校正試片最小圓孔徑

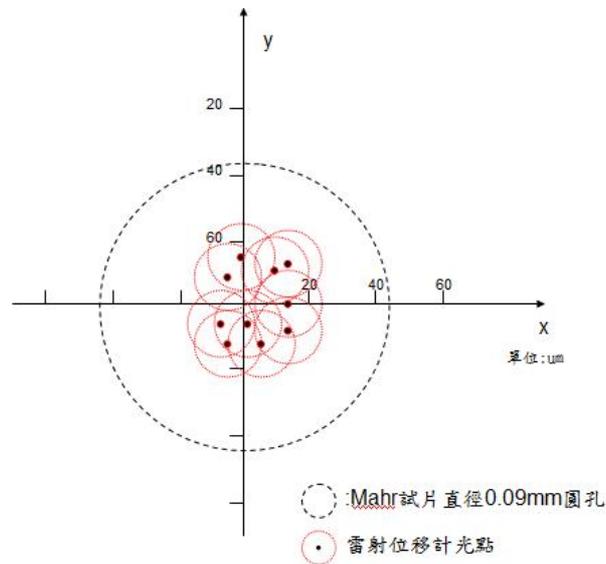
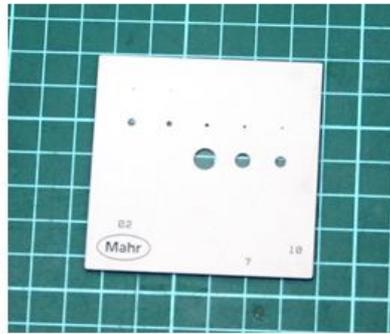


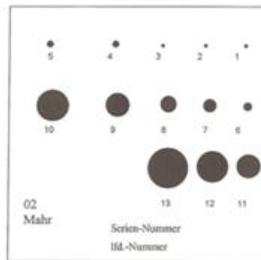
圖 5-9 雷射光點落點分佈圖

### 5.1.3 檢測平台量測精度驗證二

本實驗以 Mahr MS-222 三次元量床專用校正試片，如圖 5-10，來驗證光學顯微影像系統尺寸量測精度。分別使用本文檢測平台及 MS-222 三次元量床來量測該校正試片上各圓孔之直徑尺寸作為比對，如圖 5-11 所示，其結果比較如表 5-1 所示，本文檢測平台量測試片差異量為 0.0009~0.0039mm，而三次元量床差異量為 0~0.002mm。



Mahr 校正試片位置及圖形尺寸



Kreis Nr. 圓之編號	Durchmesser in 圓之直徑 mm
1	0.090
2	0.140
3	0.200
4	0.280
5	0.400
6	0.560
7	0.800
8	1.100
9	1.600
10	2.200
11	3.200
12	4.400
13	6.400

圖 5-10 Mahr MS-222 三次元量床專用校正試片

本研究裝置之量測圖示



Mahr 三次元量床之量測圖示

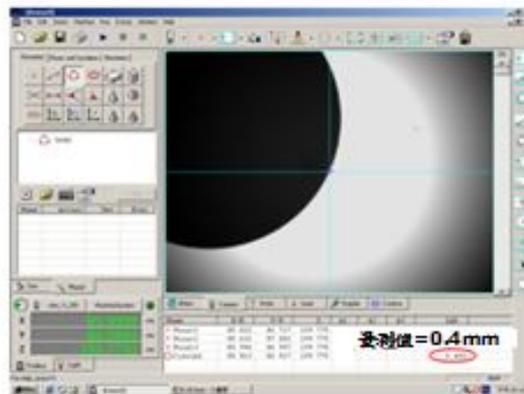


圖 5-11 兩檢測儀器量測圓孔直徑尺寸之比對圖

表 5-1 兩檢測儀器量測校正試片尺寸結果比較表

標準尺寸(mm)	0.09	0.14	0.2	0.28	0.4	0.56	0.8	1.1	1.6
本檢測平台量測結果(mm)	0.0909	0.142	0.2017	0.2812	0.4034	0.5625	0.8039	1.1022	1.6022
差異量(mm)	0.0009	0.002	0.0017	0.0012	0.0034	0.0025	0.0039	0.0022	0.0022
Mahr MS-222 三次元量床量測結果(mm)	0.09	0.139	0.199	0.28	0.4	0.562	0.802	1.101	1.6
差異量(mm)	0	0.001	0.001	0	0	0.002	0.002	0.001	0

## 5.2 光學顯微影像系統之檢測

### (1) 擷取影像

在 Matrox Inspector 3.1 軟體視窗中，可以看到如圖 5-12 工具列。此工具列可以控制 CCD 攝影機的取像凍結，顏色調整等。詳細功能如下所示：



圖 5-12 Matrox Inspector 3.1 功能列-1 圖

- 1：快照取一張影像。
- 2：連續取影像到記憶體或是硬碟。
- 3：連續取項功能，可提供使用者對焦。
- 4：影像凍結。
- 5：調整取像時的亮度，對比等。
- 6：選擇何種規格的攝影機。

### (2) 儲存影像

在 File 的下拉視窗中，選擇 Save 或是 Save As 即可儲存各種不同的圖形檔案，如圖 5-13 所示，可把儲存影像檔案格式有(jpg、mim、bmp、pcx、tga、img、raw)。



圖 5-13 Matrox Inspector 3.1 功能列-2 圖

(3) 選擇長度校正檔案

在做影像量測之前先要確認顯微鏡的倍率，如此才能量測出正確的資訊，如何得到正確的長度校正檔案呢？如下圖 5-14 所示，選擇 NEW，找出正確的長度校正檔即可，單位均為  $\mu\text{m}$ 。



圖 5-14 Matrox Inspector 3.1 功能列-3 圖

此次長度校正工具是使用 Renishaw RGH-40 型玻璃光學尺作為校正工具，光學尺如圖 5-15 所示，此為光柵距為  $40\mu\text{m}$  的鍍鉻刻線玻璃光學尺，光學尺熱膨脹係數每公尺約  $8.5\mu\text{m}/^\circ\text{C}$ ，其精度每公尺小於  $\pm 5\mu\text{m}$ [13]。



圖 5-15 Renishaw 玻璃光學尺圖

將接物鏡調整至 50 的倍率，使用 Matrox Inspector 3.1 軟體擷取單張光學尺

光柵影像，如下圖 5-16 所示，將其設定為長度校正檔，每一光柵寬度為 40 $\mu$ m，即可設定完成。

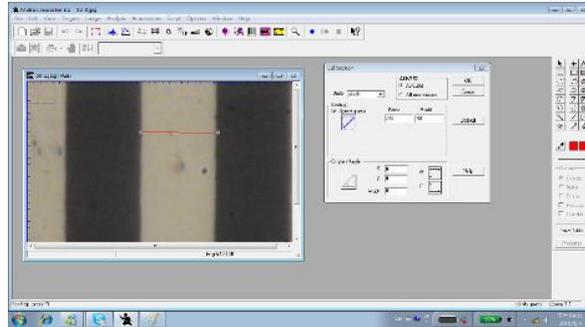


圖 5-16 Matrox Inspector 3.1 功能列-4 圖

(4) 長度量測功能

在量測之前先確認 Option 中，要選擇到 Overlay 並且 Measure 和 Transfer 兩個選項要打勾，如此才能夠計算資料，各按鈕功能如圖 5-17 所示。

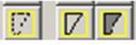
按鈕功能簡介：



按鈕功能為計算矩形的長，寬，面積，週長等資訊。  
最左邊畫出來的線是虛線，中間的是實線，右邊的是實心的矩形。



按鈕功能為計算圓形的面積，週長，主軸長，圓心等資訊。



按鈕功能為計算任意直邊形的面積，週長，長軸長，短軸長，中心座標等資訊。



按鈕功能為計算任意的線段長度。



按鈕功能為繪出有箭頭的線段。



此按鈕是將文字標示在圖形上面。

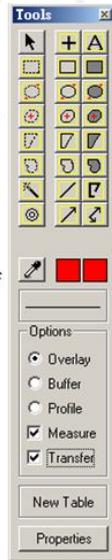


圖 5-17 Matrox Inspector 3.1 功能列-5 圖

### 5.3 雷射位移系統之檢測

為了確認本實驗所使用的雷射位移計其量測精度是否準確，因此利用厚薄規板檢驗雷射位移計的量測精度，把精密塊規放置於 X-Y 精密載物平台上，並將雷射位移計旋轉至平台的 Z 軸方向，再分別放置兩片不同厚度之厚薄規板，作為量測時的量測層。將雷射位移計的雷射光點對準於精密塊規，並將雷射位移計做歸零動作，利用 X-Y 精密載物平台的分釐卡將雷射光點移動置厚薄規上，即可透過雷射位移計的控制器面板顯示數據，進一步可得知雷射位移計所量測的值是否與厚薄規板相同，如果兩個值相同時則可確定雷射位移計的量測精度可達到  $0.32\mu\text{m}$ 。其評估雷射位移計之量測精度的配置如圖 5-18 所示，以兩種不同厚度之厚薄規量測結果如圖 5-19 所示。並對環境干擾作了靜態震動位移檢測如表 5-2 所示，環境干擾約有  $0.4\mu\text{m}$  的誤差。

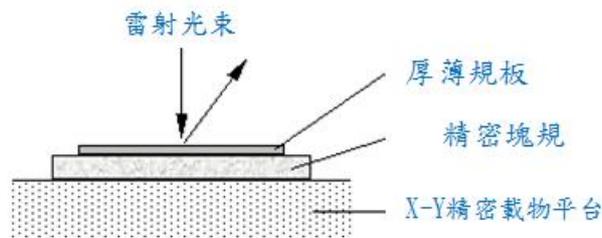


圖 5-18 評估雷射位移計之量測精度的配置圖

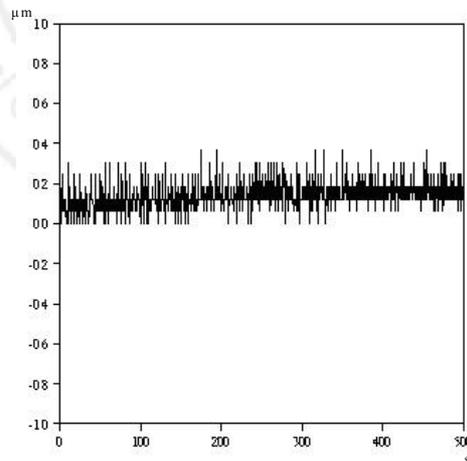


圖 5-19 實驗室的靜態震動位移圖

表 5-2 雷射位移計量測厚薄規靜態量測數據表

次數 \ 項目	厚薄規厚度 ( $\mu\text{m}$ )	實際量測值 ( $\mu\text{m}$ )	誤差值 ( $\mu\text{m}$ )
1	152	152.00	0.00
2	152	151.68	-0.32
3	152	152.00	0.00
4	152	152.00	0.00
5	152	152.32	0.32
6	432	432.00	0.00
7	432	432.00	0.00
8	432	432.32	0.32
9	432	431.68	-0.32
10	432	432.00	0.00

#### 5.4 檢測平台裝置驗證實例一

本驗證實例乃利用光學顯微影像系統與雷射位移計結合來量測壓電片上所貼附之 MEMS 為結構幾何尺寸，並以中興大學實驗室之共軛焦 3D 光學表面形貌量測儀與 MTI-2000 非接觸光纖測量儀作為比較，如圖 5-21 所示。



圖 5-20 共軛焦 3D 光學表面形貌量測儀與 MTI-2000 非接觸光纖測量儀圖

NanoFocus 共軛焦 3D 光學表面形貌量測儀[14]的基本架構即為一具有共軛焦 (Confocal) 功能之光學顯微鏡，額外具有精密之 z-軸移動與定位功能。共軛焦顯微鏡的特徵是其成像面只在某一特定的高度；而由 z-軸移動整個光學顯微鏡系統，可利用搖桿來改變成像面的高度位置，其原理為利用多孔聚焦原理由最低點掃描至最高點的方式來量測線寬內的深度，突破以前顯微鏡只能量測平面的問題，所以可以做 3D 的量測，且 Z 方向精度可達奈米等級。

MTI-2000 非接觸光纖測量儀[15]為超高精度位移量測系統。其響應頻率從 dc 至 500kHz,在短距離內具有高分辨率(0.0025 $\mu\text{m}$ )，在較大距離內具有較低分辨率。Fotonic 探針通過光纖和電纜線傳送光纖，並且不會額外增加重量，吸收光源，影響物體表面，也不受磁場或靜電影響，它能在任何能反光的材料上輕易地進行校正，包括非金屬及無光澤的黑色表面。

以圖 5-21 先以光學顯微影像系統擷取 MEMS 製程梳狀結構畫面，利用 Matrox Inspector 作尺寸量測，再與 NanoFocus 共軛焦 3D 光學表面形貌量測儀作比對，尺寸量測比較表如表 5-3，本裝置量測差異量為-3.0~0.7 $\mu\text{m}$ ，NanoFocus 共軛焦 3D 光學表面形貌量測儀量測差異量為-2.7~0.8 $\mu\text{m}$ ，兩者量測結果有 0.2 $\mu\text{m}$  的差異。

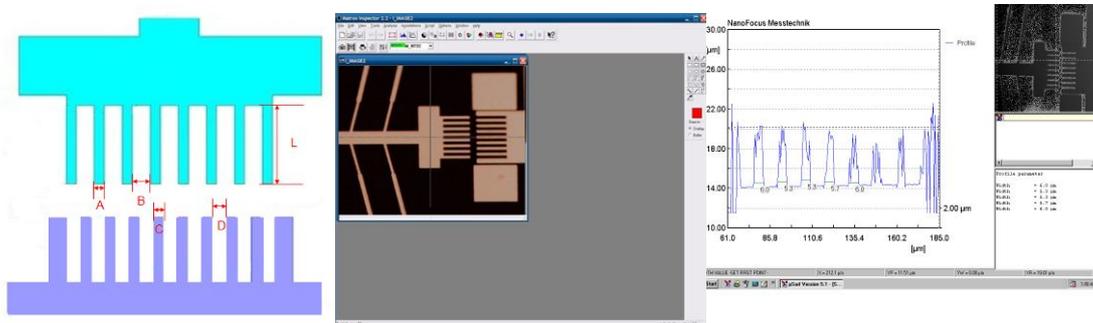


圖 5-21 尺寸量測圖 (a)梳狀結構示意圖(b) Matrox Inspector 影像擷取圖(c) NanoFocus 影像擷取圖

表 5-3 梳狀結構尺寸量測比較表

項目 \ 位置	A	B	C	D	L
設計尺寸( $\mu\text{m}$ )	5	9	5	9	40
本檢測平台量測結果( $\mu\text{m}$ )	5.7	8.2	5.7	8.1	37.0
差異量( $\mu\text{m}$ )	0.7	-0.8	0.7	-0.9	-3.0
NanoFocus 量測結果( $\mu\text{m}$ )	5.6	8.1	5.8	8.3	37.2
差異量( $\mu\text{m}$ )	0.6	-0.9	0.8	-0.7	-2.7

以圖 5-22 旋轉接物鏡座轉置雷射位移計系統對壓電片作動態量測，提供 35VAC 給壓電片，再以不同輸出頻率觀察其最大位移量，並與 MTI-2000 非接觸光纖測量儀作比對，壓電片最大位移比較圖如圖 5-23 所示，壓電片在頻率 75Hz 時達到最大位移量為 0.65mm。



圖 5-22 裝置雷射位移計系統與 MTI-2000 非接觸光纖測量儀量測圖

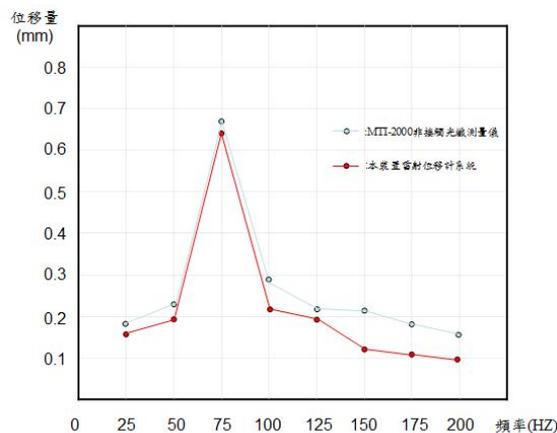
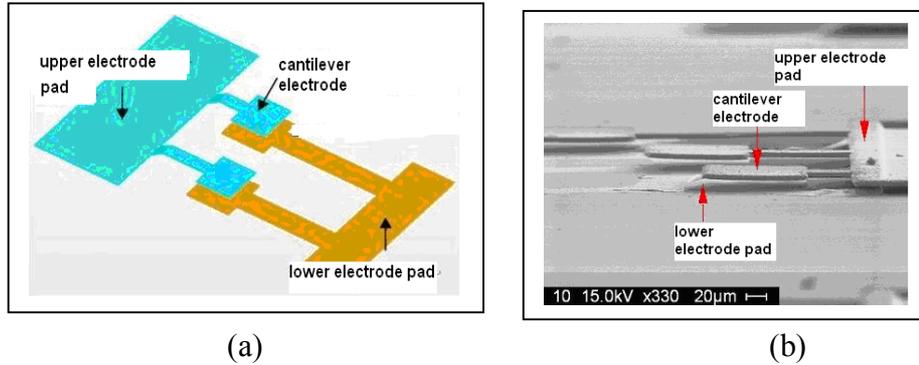


圖 5-23 壓電片最大位移比較圖

### 5.5 檢測平台應用實例二

本文在此驗證實例中，以靜電作用力驅動之懸臂樑開關結構，如圖5-24所示，進行靜態撓曲變形分析。第一步驟為量測懸臂樑結構之平面幾何尺寸。首先將試片放於探針台載物平台上，調整載物平台至欲量測位置，並開啟Matrox Inspector軟體之影像擷取功能，使用Snapahot擷取影像，並標註十字記號在光學顯微鏡光軸聚焦的位置，作為後續撓曲變形之量測位置，如圖5-25所示，並可利用Matrox Inspector量測功能，量測懸臂樑之尺寸，如圖5-26所示，經由先前長度校正檔後，換算成實際長度值為 $107.5\mu\text{m}$ 。第二步驟將探針台之探針移動接觸懸臂樑開關結構之上下電極，之後旋轉接物鏡座使雷射位移計光束投射在懸臂樑設定之十字記號量測位置，開啟電源供應器供應電壓，此時懸臂樑因靜電作用力向下撓曲變形，透過IMC資料擷取器及 $\mu\text{-MusyCS}$ 軟即時記錄懸臂樑動態位移量 $2.1\mu\text{m}$ ，如圖5-27所示，由圖可發現，當直接施加至14伏特的電壓時，需要經過約15秒才會使微開關的作動位移達到最終位移量，顯示結果有反應遲滯現象，因此初步排除因控制器運算所造成的延遲現象，而造成此現象的原因有二種可能，其一，是電極板間電

容飽和的延遲現象所致，其二，是懸臂下微間隙之空氣層的阻尼效應。



(a) (b)  
圖 5-24 靜電作用力驅動之懸臂樑開關結構 (a)示意圖 (b)SEM 照片

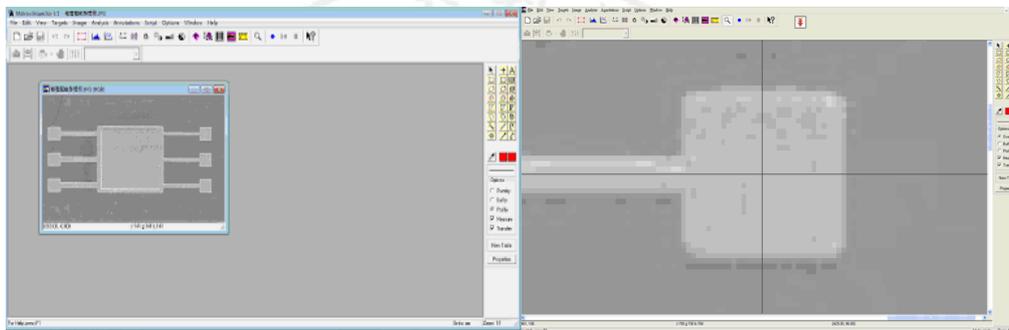


圖 5-25 擷取懸臂樑開關影像圖

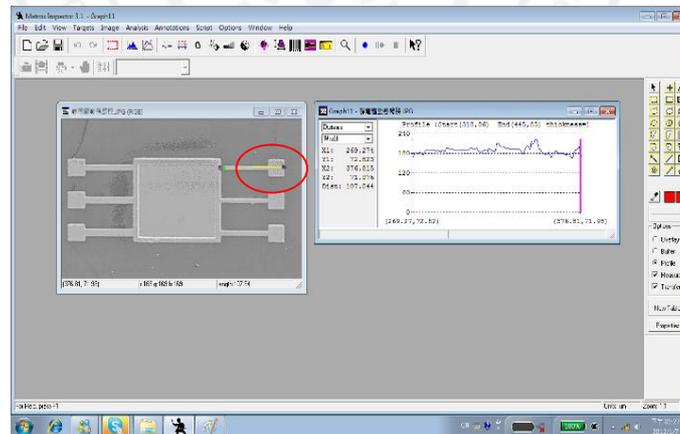


圖 5-26 懸臂樑幾何尺寸量測

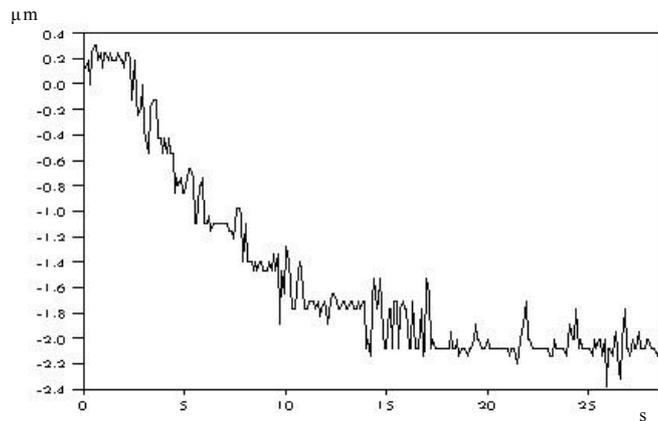


圖 5-27 懸臂樑靜態位移量測

### 5.6 檢測平台應用實例三

本文在此應用實例乃進行微型試片在微型加熱爐的實驗量測。由於微型加熱爐其基座上方有加裝護蓋等裝置，往往護蓋會造成在量測時的障礙，使接觸式探頭不得其門而入，本檢測平台剛好解決此需求，並且在檢測時不造成量測上的死角，如圖 5-28 所示，而且可在同位進行平面及離平面之量測，本實驗使用一形狀記憶合金放於微加熱爐內，首先使用影像擷取系統量測出未加熱前，如圖 5-29，測得形狀記憶合金直徑為 0.621mm，長度為 3.141mm，轉置雷射位移系統對準形狀記憶合金表面十字線標示處，再開啟微型加熱爐予以加熱，量測結果其直徑變化量為 3.5μm，如圖 5-30 所示。

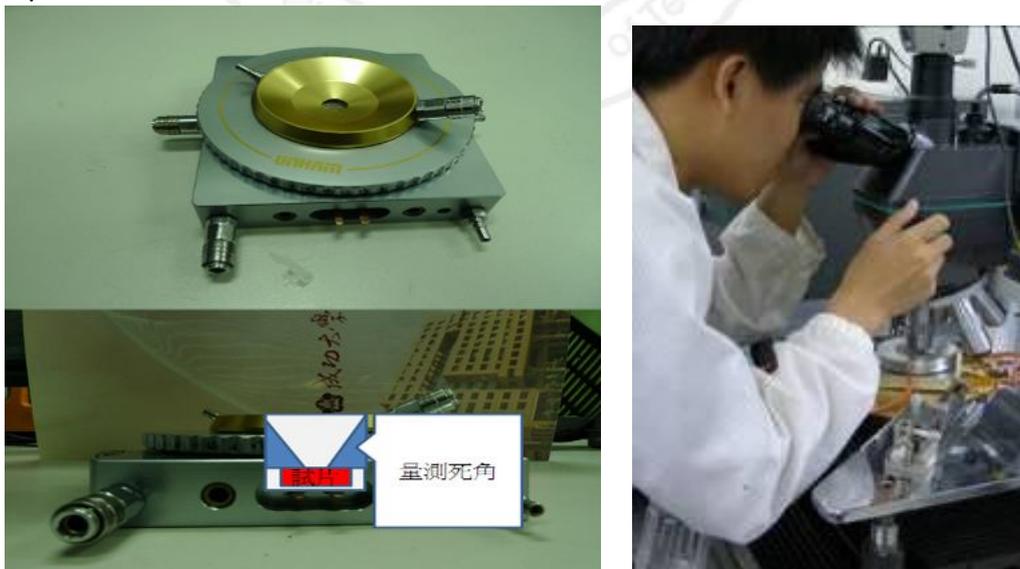


圖 5-28 微型加熱爐及量測死角示意圖

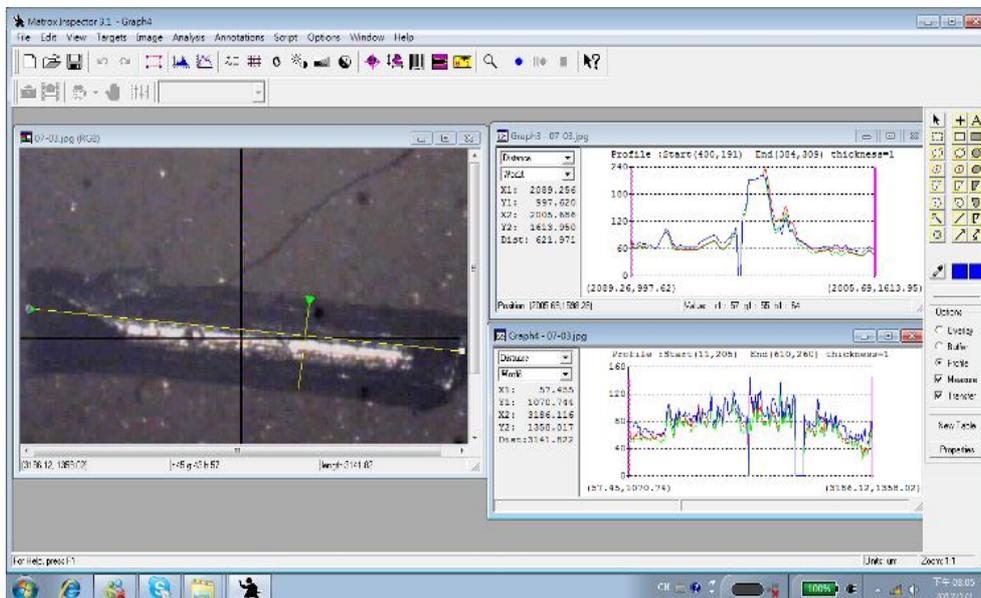


圖 5-29 微型加熱爐試片平面之量測

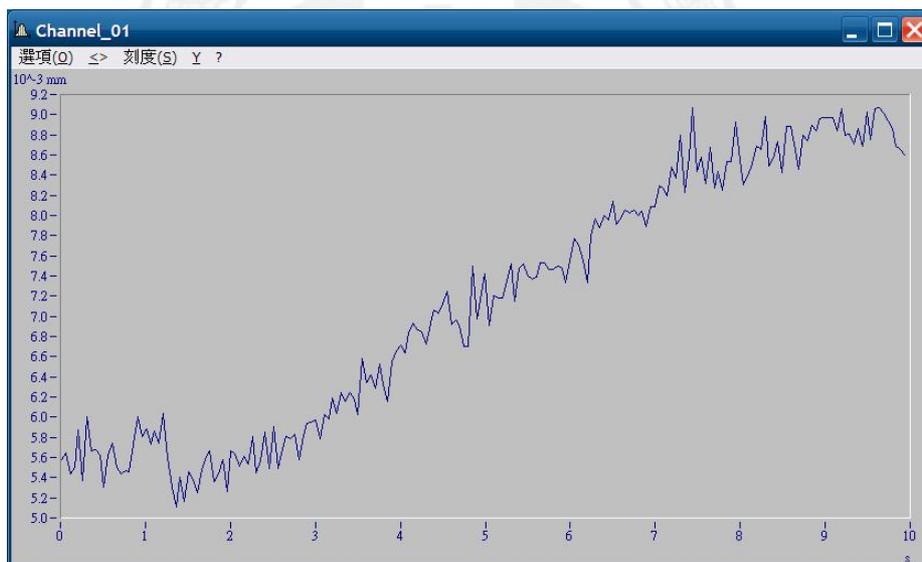


圖 5-30 微型加熱爐試片離平面之量測

## 第六章 結論與未來展望

本裝置根據光學顯微鏡之等焦面距離95mm作為工作距離，利用治具結合雷射位移計，完成一套三維檢測系統；此系統在使用光學顯微鏡觀察待測件後，經由接物鏡座旋轉其他倍率位置處，將雷射位移計架設於接物鏡座上，即可使用來量測待測工件之高度方位(Z軸方位)動靜態位移量，可大大節省待測工件檢測時間，本系統經由共軛焦 3D 光學表面形貌量測儀與MTI-2000非接觸光纖測量儀進行比對與校正，來驗證此系統之精度，影像擷取系統精度為 $3.7\mu\text{m}$ ，雷射位移計系統位移檢測精度為 $0.32\mu\text{m}$ ，並作影像擷取系統與雷射位移計系統轉換時之定位精度，測得定位精度 $0.04\text{mm}$ ；本論文之創新性及前瞻性，為建立一共同檢測平台，使光學影像顯微術與雷射位移計之檢測功能整合於同一平台上，未來將可應用於半導體、光電、微機電系統產品元件以及高精度加工業業的尺寸位移量測、表面輪廓形貌量測、靜態及動態特性量測等，經濟便宜且實用普及性極高，具有相當的創新意義。

完成之工作項目：

- 1.完成檢測平台相關儀器設備：探針台、雷射位移計、影像處理裝置、資料擷取裝置及十字線產生器等之安裝前置作業。
- 2.依據雷射三角測量原理及探針台的規格，完成檢測平台之治具及反射鏡的設計分析。
- 3.完成檢測平台之治具及反射鏡的製作及組裝。
- 4.完成檢測平台所有儀器裝置的組裝及校準工作。
- 5.以三項範例實驗，完成檢測平台之性能測試，並與其他檢測儀器測試結果做比對。

## 參 考 文 獻

- 1.黃文鴻，2010，結合影像量測儀之雷射位移計系統，碩士論文，國立虎尾科技大學光電工程系，雲林
- 2.黃文鴻、董祐銓、徐力弘，2010，結合影像量測儀之雷射位移計系統，tsmea，台灣製造工程動化科技協會\_產學合作專刊，pp;26~32
- 3.徐力弘，掃描式三角量測系統及方法，95-2221-E-150-057 發明專利，2007/12/17
- 4.徐力弘、黃文鴻、陳雲翔，2010，掃描式雷射測距之研製，tsmea，台灣製造工程動化科技協會\_產學合作專刊，pp;49~52
- 5.Leong et al.，1998. “Multi-wavelength laser system. probe station and laser cutter system using the same”.United States Patent.patent number:5811751.
- 6.Polytec- Micro System Analyzer (MSA).<http://www.polytec.com/int/products/microsystem-mems-analyzers/>
- 7.Vision Measuring Systems.Mitutoyo-QUICK-VISION HYBRID instruments.  
<http://www2.mitutoyo.de/bildverarbeitungsmessgeraete/produkte/quick-vision-hybrid-kopie-1/index.html>
- 8.曾盈嘉，2010，光學射出元件之輪廓務差補正，碩士論文，國立勤益科技大學，機械工程系，台中。
- 9.Matrox Inspector. <http://www.high-techdigital.com/products/Inspector.htm>
- 10.Laser displacement meter, Keyence LC-2400A, <http://www.keyence.com.tw/>
- 11.Imc data acquisition device and  $\mu$ -MUSYCS software，  
<http://www.imcdataworks.com/>
- 12.VIA-30J video crossline generator.  
<http://www.boeckeler.com/cms/index.cfm/path/17933/88491/>
- 13.MTC-MERCURY TRADING CO. LTD. <http://www.mtcmercury.com.tw/>
- 14.3D Confocal Micorsopce Nano Focus.<http://www.pentad.com.tw/>
- 15.MTI-2100 Fotonic sensor.<http://www.memstec.com.tw/>

	2.5cm	
(民國)	1cm	100
	2.5cm	碩士論文
論文 題目		影像處理分析與雷射位 移計整合裝置 之研發
院校 所名	3cm	國立勤益科技大學 機械工程系碩士班
	1cm	
著者 姓名	2cm	劉建國

3cm

