

具光罩對準之高剛性 $XY\theta$ 三軸雷射直寫影像進給系統研發

Development of a Novel High-Speed and Controllable Position Platform with a Precision $XY\theta$ Stage

鍾健愷、蕭文澤、曾釋鋒

Chien-Kai Chung, Wen-Tse Hsiao, Shih-Feng Tseng

本研究以 $XY\theta$ 三軸精密進給系統為架構，搭配儀控平台電控技術、整機系統整合技術、影像對位與光罩對準技術，並結合 PC-based 控制器發展多軸人機界面、多軸精度量測與補償技術等，開發一套「具光罩對準之高剛性 $XY\theta$ 三軸雷射直寫影像進給系統」。此對位平台具有高剛性、高承載能力、高對位速度、高精密度和高定位重現性等優點，可應用於印刷電路板 (PCB)、晶圓、觸控面板、積體電路 (IC)、發光二極體 (LED) 和被動元件等產業之對位、加工和檢測之先進曝光製程設備。此外，本研究於機構設計最大特點為 X 和 Y 軸共平面，並且於 θ 軸採用圓弧導軌增強其承載能力，藉此提高產品對位和定位之精準度和效率，同時提昇國內自動化設備開發技術能力與國際競爭力。未來此技術亦可擴大應用於 LED 之陶瓷基板鑽孔和切割、晶圓檢測、印刷電路板之鑽孔、薄膜太陽能電池製程之雷射邊緣隔離和藍寶石基板劃線或表面處理等對位製程。

An XYC -axis precision feeding system was established into a novel high-speed and controllable position platform with a precision $XY\theta$ stage that combined with motion control, system integrated engineer, image alignment, and mask aligning techniques for laser direct imaging (LDI) processes. The developed system linked a PC-based controller, multi-axis measurement and error compensation techniques reached a high stiffness, high loading capability, high speed alignment, high precision, and high positioning repeatability. This system could be used in the alignment, fabrication, and inspection equipments for the advanced lithography industries such as printed circuit boards (PCBs), wafers, touch panels, integrated circuits (ICs), light emitting diodes (LEDs), and spare parts. In addition, the primary aims of this project were to design a mechanism with X and Y axes in a coplanarity and to adopt circular arc guideways in a C axis to improve the loading capability when moving the XYC axes simultaneously. The proposed system promotes the accuracy and efficiency of the alignment and position and the international competition ability for automation equipments. In the future, the controllable position platform will widely be installed in the advanced equipments for drilling and cutting of LED ceramic substrates, inspection of wafers, drilling of PCB substrates, laser edge isolation of thin-film solar cells, scribing or surface texturing of sapphires, and other tasks.

一、前言

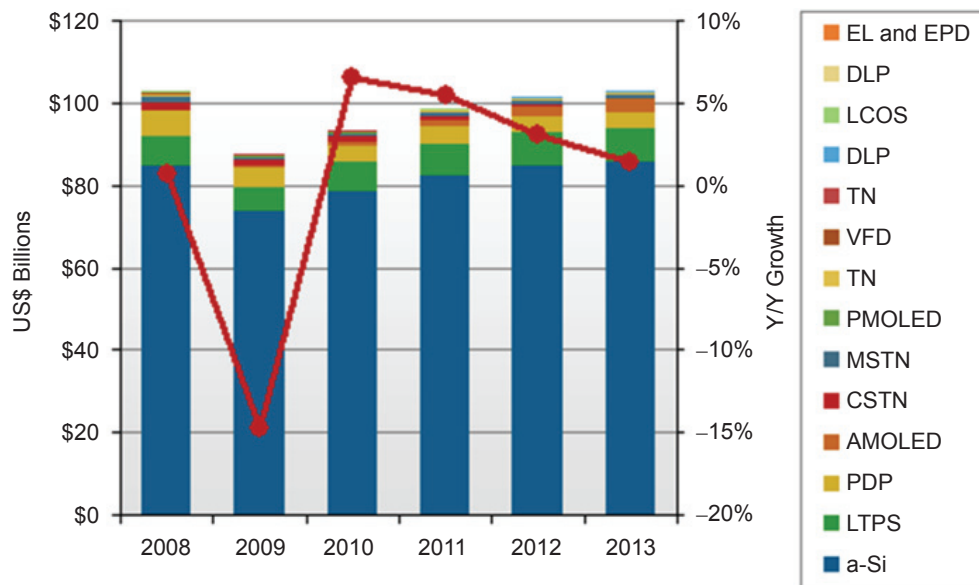
精密機械產業技術係整合光機電技術為一體，針對精密製造設備及系統進行一系列的設計、分析、製造與組裝測試等，期望可提高精密製造設備的生產效率與成品品質。精密機械的運用範圍廣闊，包含各樣式的精密工具機、複合型態製程設備或檢測設備等。尤其是運用於半導體、平面顯示器、能源與環保、生醫領域及新興高科技產品製造所需精密製程設備、精密量測與檢測設備及關鍵零組件開發等皆為精密機械的運用範疇。

近年來，台灣光電、太陽能與半導體產業發展蓬勃快速，晶圓代工產業、封裝測試、LCD 顯示器面板與綠能產業供應量在全球的排名更是數一數二。在 2008 年光電與半導體產業年產值已經突破兆元等級。根據 Display search 於 2009 年統整全球 (flat panel display, FPD) 營收預估，將在 2010 年達到百億美元高峰 (如圖 1 所示)。除此之外，觸控面板商機近期來已經日以劇增，由於觸控螢幕具備使用容易、直覺性介面以節省時間並改善生產力且愈來愈普及化。觸控螢幕裝置已被一般消費者認知為既酷且有趣的商品。自 2007 年蘋果推出 iPhone 與 iPod Touch 產品以來，多點觸控式電容技術發展受到更多廠商關注。根據統計指出，2008 年有

2.2 億支觸控螢幕模組應用於手機上，觸控式螢幕裝置佔整體手機出貨量的 16%。預估到 2015 年，手機搭載觸控螢幕的比率，將拉高到 40%，如圖 2 所示，觸控面板模組營收將逐年提升。

全球暖化議題與國際原油飆漲問題再者都在提醒人們重視全球暖化議題與天然資源的耗盡將是刻不容緩，需要即刻處理的問題。進而衍生出新興產業結合綠能、環保等新穎題材目前已成為全球產業主流趨勢。包含使用低功率的 LED 照明設備與各類型太陽能電池需求量將持續增加。Strategies Unlimited 預估 (如圖 3 所示)，2010 年全球高亮度 LED 市場值可達 82 億美元水準。其中，應用在背光模組領域的 LED 對於高亮度 LED 市場貢獻高達 53%。到 2014 年時，全球高亮度 LED 市場值將可達 202 億美元。除了應用於背光源的 LED 貢獻極大之外，另外一個值得注意的是應用在照明領域的 LED 市場。

2009 年我國半導體產業製造產值為 12,382 億元，儼然成為台灣電子業製造龍頭，也因此微機電 (MEMS) 與半導體在台灣的產業發展趨勢仍然扮演著重要角色，雖然因為 2008 年全球金融風暴因素使得整體產值衰退 8.1% (晶圓代工產業產值衰退 7.9%，IC 封裝產業產值衰退 10.1%，IC 測試業產值衰退 9.7%)，但是在 IC 設計產值成長 3.1%。與



Source : Display Search , 2009 年 10 月

圖 1. 全球 FPD 營收預估⁽¹⁾。

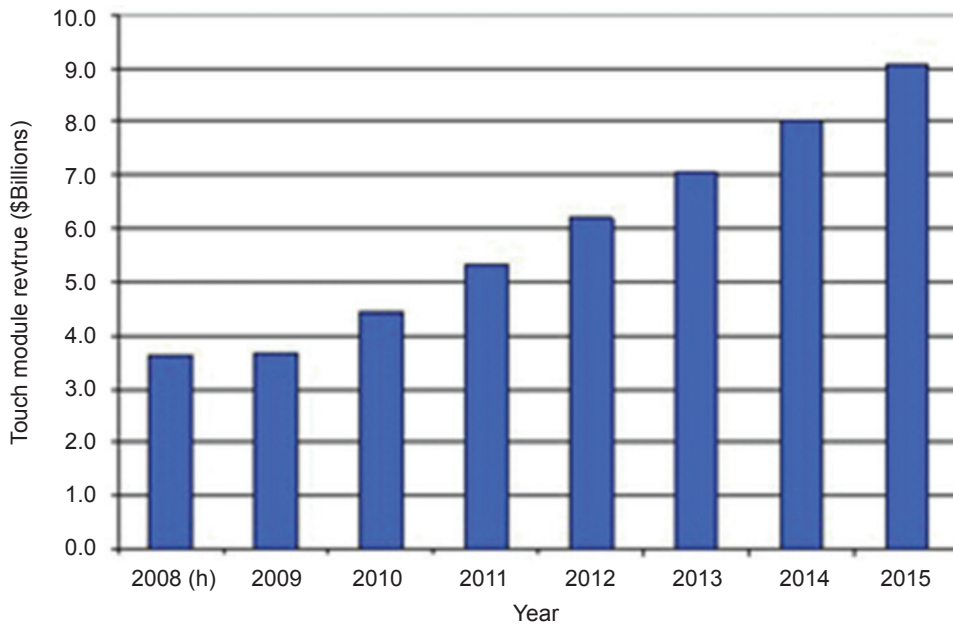


圖 2. 全球觸控螢幕模組營收預估⁽²⁾。

全球半導體市場 11.5% 衰退程度相比之下，我國半導體產業技術仍在國際競爭能力之上。圖 4 顯示半導體產業產能說明至 2011 年第四季仍然成穩定比例向上成長。在行動電話加入數位影音功能如：數位相機、MP3 播放機、PDA 等功能。2004 年開始將微機電相關產品整合於手機中，根據統計指出，2008 年微機電相關製程產值成長至 2.5 億美元。將微機電技術導入其零組件的應用將有助於其

未來發展。微機電於行動電話的應用包括：矽晶麥克風、3D 加速器、RF 被動與主動元件、相機穩定與 GPS 的陀螺儀與小型燃料電池等。

消費性電子產品關鍵零組件－印刷電路板 (print circuit board, PCB) 商機隨著手機與被動元件迅速發展，使得 PCB 的產值一直維持著穩定的腳步持續向上成長。預估 2010－2012 年產值已可達 47,516 百萬美元，如圖 5 所示。

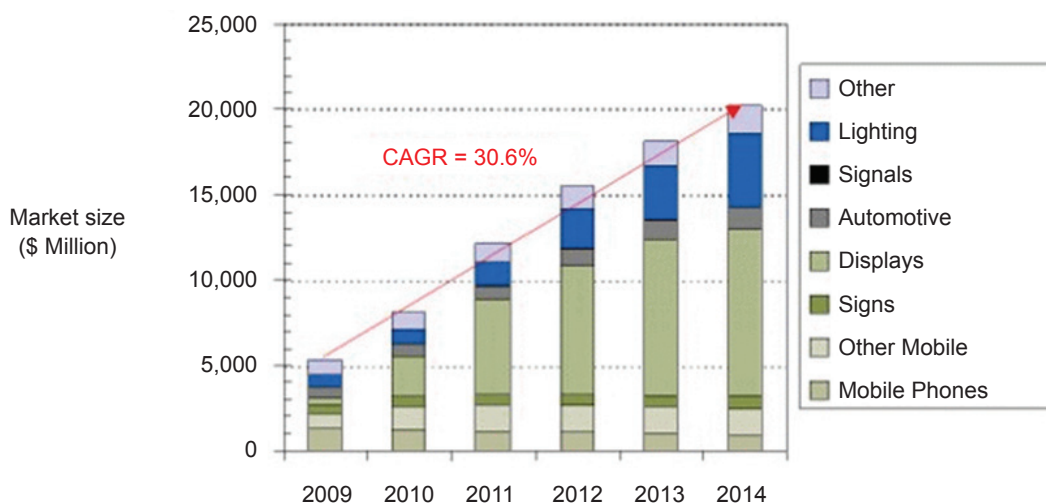


圖 3. 全球高亮度 LED 市場值⁽³⁾。



圖 4. 2009-2014年半導體營收預估⁽⁴⁾。

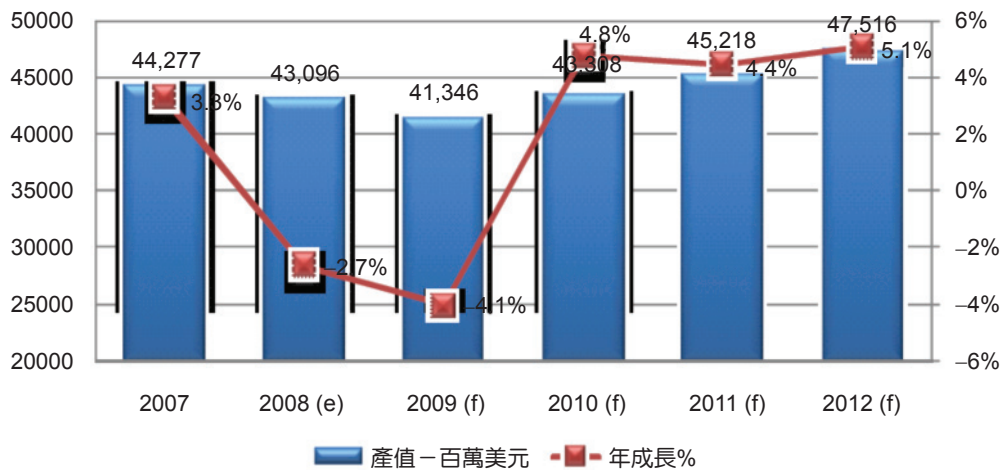


圖 5. 全球 PCB 產值 (資料來源：工研院 IEK)。

二、研究目的

有鑑於提升國內光電、半導體和生醫等產業競爭力與產值，於這些產品生產製程中需要一套高速、高精度和高剛性之 $XY\theta$ 三軸儀控對位平台，應用於精密貼合、尋標定位、對位加工和對位檢測等製程設備中，藉此降低設備對外採購成本、彈性開發新穎製程、節省製程工時和實現高品質加工。因此，本研究將開發一套『具光罩對準之高剛性 $XY\theta$ 三軸雷射直寫影像進給系統』，可降低製程對位時間、提高平台承載能力、符合進給系統高定位精度和高重複定位精度要求，廣泛應用於半導體/光電產業之曝光設備中。

市售 $XY\theta$ 三軸對位平台因機構設計不佳，常會因為干涉運動造成對位精度不佳或對位時間過長，此外運動平台也因承載能力不佳，間接影響定位精度和重複定位精度。倘若採用本研究預計開發之高速、高精度和高剛性之新穎三軸精密高速對位儀控平台，應用於半導體/光電產業之曝光設備、

精密對位檢測設備、精密對位貼合設備、AOI 檢測技術與非接觸式加工製造設備等製程設備中，此創新技術具有下列重要性與特點：

- (1) 高速、高重現性和高效率之對位和定位。
- (2) C 軸 θ 旋轉角係採圓弧導軌設計，提高系統剛性和縮短定位時間。
- (3) 結合光罩對準之機械視覺精密校正對位。
- (4) 對位至 $\pm 1\ \mu\text{m}$ 精度，僅需 0.5–1 秒。
- (5) 高剛性薄型定位平台設計，最大承載能力可達 300 kg。
- (6) 結合機械視覺和精密運動控制技術，程式規劃路徑較簡易。
- (7) 設備佔地面積小。
- (8) 利用自行開發之人機介面，可廣泛應用於玻璃貼合、PCB 曝光機、AOI 光學檢測設備、晶圓對位設備、觸控面板貼合和雷射加工設備等，提升系統整合應用範圍。

三、具光罩對準之高剛性 $XY\theta$ 三軸雷射直寫影像進給系統研發

1. 高剛性 $XY\theta$ 三軸進給系統建置

本計畫已開發一部『具光罩對準之高剛性 $XY\theta$ 三軸雷射直寫影像進給系統』，此機構包含底座， Y 軸移動單元、 X 軸移動單元與 θ 軸移動單元、真空吸盤、光罩、雙 CCD 取像模組和控制器。各軸向機構配置包含 (1) 固定於底座上之 Y 軸移動單元、(2) 與 Y 軸移動單元之相互連結之 X 軸移動單元、(3) 與 X 軸移動單元相連結之 θ 軸移動單元和 (4) 固定於 θ 軸移動單元上方之平台。本計畫設計最大特點為 θ 軸採用圓弧導軌增強其承載能力，圖 6 為高剛性 $XY\theta$ 三軸進給系統實體圖。

本研究開發之高剛性 $XY\theta$ 三軸同動精密對位儀控平台，功能與特點說明如下：有別於一般習用的進給平台，本研究所開發的精密定位平台在移動過程軸向驅動元件不會互相干涉且可快速對位。相較於一般常用的對位平台架構包含：一底座、複數固設於底座上之伺服馬達以及連結於各伺服馬達上之平台，其中，而該複數伺服馬達係供移動平台而達到對位之目的。在伺服馬達系統部件，可分為兩

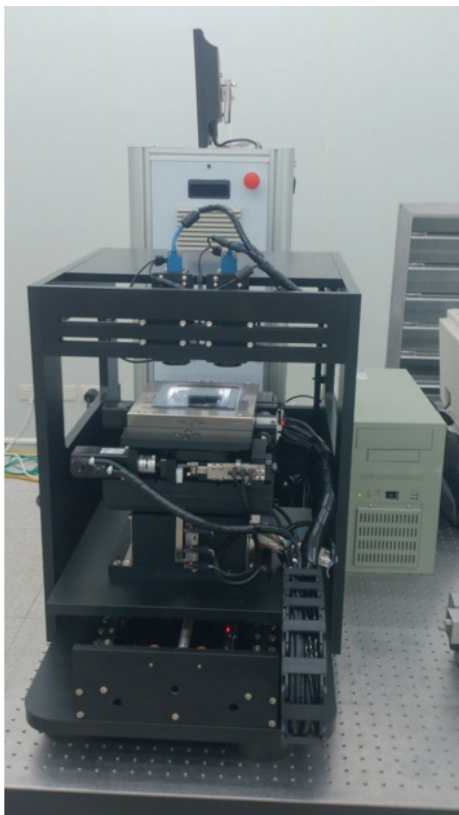


圖 6. 高剛性 $XY\theta$ 三軸進給系統實體圖。

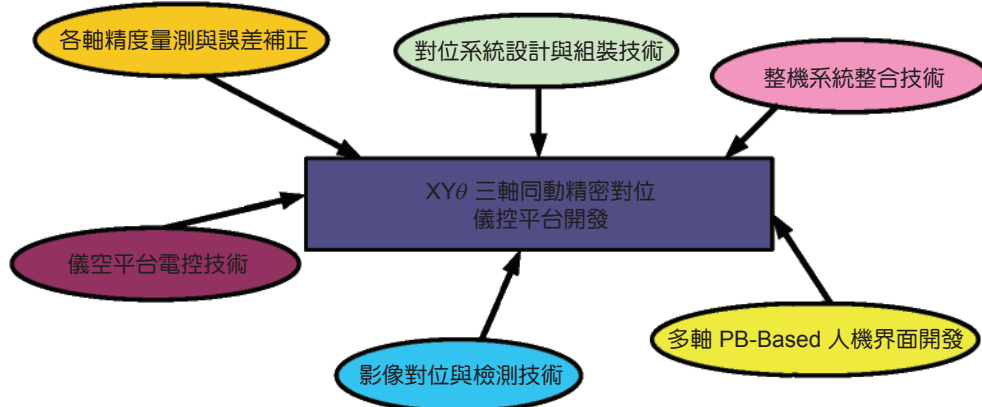


圖 7. 高剛性 XYθ 三軸同動精密對位儀控平台設計架構。

個互相平行並獨立驅動平台沿 X 軸移動之 X 軸伺服馬達與獨立驅動平台沿 Y 軸移動之 Y 軸伺服馬達。當兩個 X 軸伺服馬達同時同向動作時係可驅動平台沿 X 軸移動；當該 Y 軸伺服馬達動作時係可驅動平台沿 Y 軸移動。當三個伺服馬達同時動作時，可驅動平台斜向移動、迴轉或旋回移動。

一般對位平台雖可利用不同方向之伺服馬達來驅動平台達到對位之效果。然而，其所有伺服馬達皆鎖固於底座上。當兩個或兩個以上之伺服馬達同時動作時，常因不同步產生干涉問題影響對位所需時間。且執行迴轉動作時，需三個伺服馬達同時動作。因此，必須透過繁複的三角函數運算才能到達預期之旋轉角度，延長對位的時效。有鑑於此，本研究針對一般對位平台各伺服馬達間互相會產生干涉之缺點及對位速度慢劣勢進行相關機構設計，開發一「具光罩對準之高剛性 XYθ 三軸同動精密對

位儀控平台」應用於雷射直寫影像曝光機中，高剛性 XYθ 三軸同動精密對位儀控平台整體系統架構包含：對位系統設計組裝與測試、儀控平台電控技術、多軸 PC-Based 人機界面開發、整機系統整合技術、各軸精度量測與誤差補正技術、影像對位與檢測技術。圖 7 為高剛性 XYθ 三軸同動精密對位儀控平台設計架構。表 2 為高剛性 XYθ 三軸同動精密對位儀控平台應用範疇。

本研究以既有之能量開發高剛性 XYθ 三軸同動精密對位儀控平台，並搭配儀控平台電控技術、整機系統整合技術、影像對位與檢測技術等。並結

表 1. XYθ 三軸同動精密對位儀控平台規格表。

平台尺寸	1500 × 1500 mm
XY 進給軸行程	± 11 – ± 11 mm
⊖ 旋轉軸旋轉角度	± 3.2°
對位精度	± 1 μm
解析度	100 nm
定位時間	0.5 – 1 sec
速度	50 mm/s
加速度	0.5 m/s ²
最大承載能力	300 kg
控制系統	PC-Based

表 2. 高剛性 XYθ 三軸同動精密對位儀控平台應用實例。

應用領域	可應用系統種類
精密檢測設備類	◎ LCD 面板瑕疵檢測設備
	◎ 太陽能基板缺陷檢測裝置
	◎ MTF 鏡頭組裝檢測系統
	◎ LED chip 點亮裝置平台
	◎ 被動元件自動量測設備
精密對位貼合設備	◎ 觸控面板膠膜貼合機
	◎ 玻璃基板對位系統
	◎ LED 晶片封裝對位貼合設備
	◎ 光罩與軟板標記輔助對位貼合
非接觸式加工製造設備	◎ PCB 曝光機設備
	◎ 晶圓曝光機設備
	◎ 雷射修補暨微細加工製程設備
	◎ 雷射電極圖案化製程設備

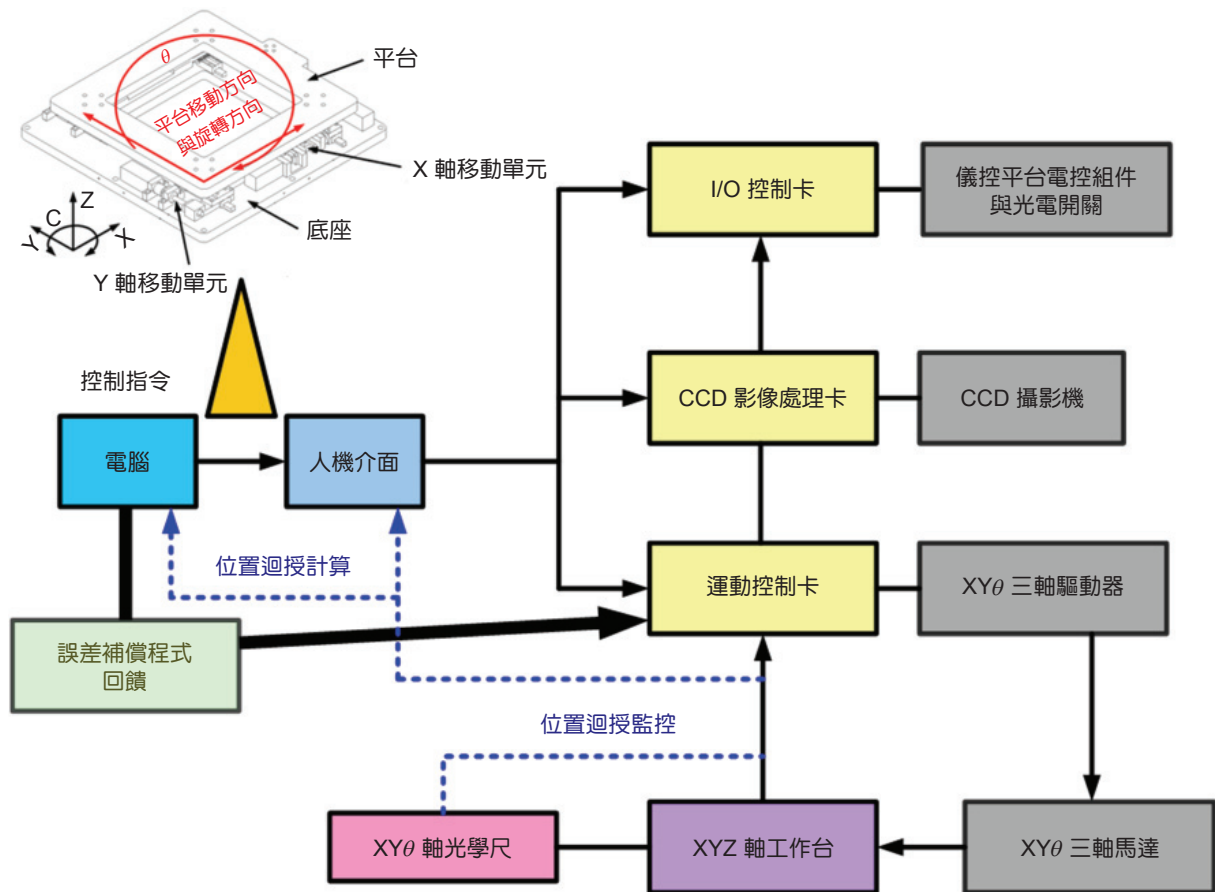


圖 8. PC-Based 控制系統架構。

合 PC-Based 控制發展多軸人機界面開發、多軸精度量測與補償技術等進行高剛性 XY θ 三軸同動精密對位平台系統開發。以下將針對本研究之研究方法與步驟說明如下：

- (1) 考量各個進給軸在移動過程中是否造成干涉，並完成高剛性 XY θ 三軸同動精密對位平台機構設計、製造與相關零組件之採購，隨後進行組裝、簡易測試與機台修正。
- (2) 針對三軸同動精密對位平台進行電控技術整合與系統整合測試。
- (3) 以 PC-Based 控制為架構，建立多軸向人機界面技術與相關功能測試。
- (4) 進行各軸向精度校驗與誤差補償-單一軸向直線定位精度、旋轉軸角度偏擺量測。
- (5) 以半導體微影製程技術 (lithography) 製作光罩，利用光罩上對準圖案 (alignment mark) 作為影像對位與檢測技術功能之驗證。

2. 三軸同動精密對位平台 PC-Based 控制器人機界面設計與開發

高剛性 XY θ 三軸同動精密對位平台 PC-Based 控制器人機界面設計與開發各項控制單元如：I/O 訊號控制、進給對位平台位置與馬達狀態監控、相關進給系統參數設定、位置迴授監控與位置迴授計算如圖 8 所示。

(1) PC-Based 控制系統

PC-Based 控制系統為高剛性 XY θ 三軸精密對位平台的主要控制核心，利用人機介面，搭配控制卡進行整機控制工作。高剛性 XY θ 三軸精密對位平台控制程式主要利用 C 語言 (Borland C++ Bulider) 程式進行撰寫。在 PC-Based 控制系統中，主要可分為 X、Y、 θ 三軸運動控制、wafer chuck、CCD 影像對位系統。由於需進行點對點、直線精密定位控制與旋轉運動控制，因此本研究將

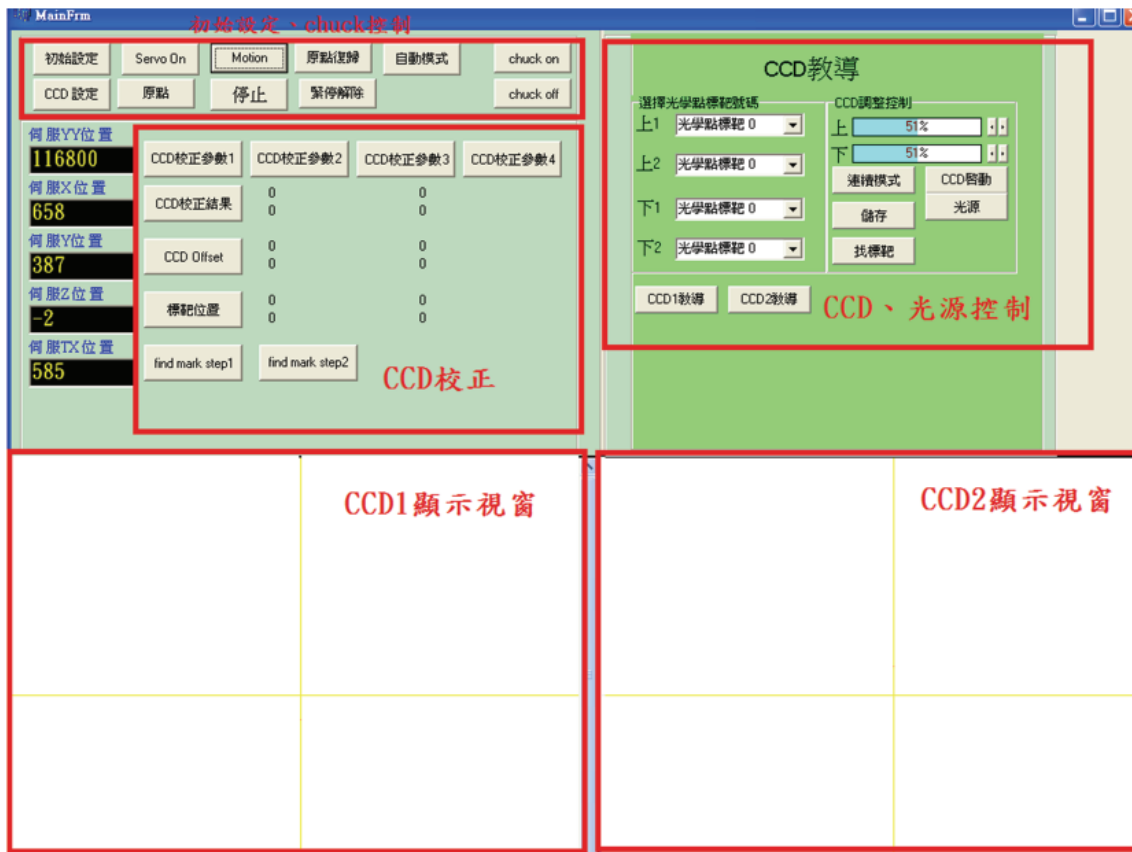


圖 9. 控制系統介面。

選購日本安川公司所出產的運動控制卡，搭配自行撰寫的程式進行伺服馬達驅動之高剛性 $XY\theta$ 三軸精密對位平台運動控制。圖 9 至圖 12 為本研究使用之控制介面。利用 C 語言 (Borland C++ Bulider) 程式進行撰寫，功能分別為控制系統動作、平台控制與參數設定。

(2) 運動控制卡與伺服馬達驅動器

$XY\theta$ 三軸精密對位平台所使用之運動控制卡型號為安川 MP2100 運動控制卡，如圖 13 所示。內部具有 PID 穩定化濾波器及位置脈波產生器 (DDA)，可連接力矩、速度控制模式之伺服馬達驅動器或是位置控制型伺服馬達驅動器。使用 USB (通用序列匯流排)、FIFO 和 DMA (直接記憶體存取) 通道的高速通信、多工 FLASH 程式記憶體、多平面坐標軸聯動、高速編碼器反饋速率與命令處理速度、正弦波換向控制及擴充 I/O 及抑制干擾的遮罩電纜...等功能。

在伺服馬達精密進給工作平台系統中，伺服馬達驅動器則是採用日本安川公司所出產的 SGDV-R90A11A 驅動器，如圖 14 所示。此驅動器具備高速伺服響應性能，大幅度縮短參數調整時間，速度響應頻率達到 1.6 kHz，增強振動抑制功能減少馬達驅動時的振動。

(3) 伺服馬達

本研究伺服馬達的選用，選用日本安川公司的伺服馬達，其型號為 SGMJV-01AD61Z 系列，如圖 15 所示。表 3 為伺服馬達的規格表。

(4) 工業攝影機與鏡頭

本研究選用台灣光道公司所出產的工業攝影機，其型號為 AISYS CYCLOPS U130H2，攝影機有效像素為 1280×1024 ，攝影機部分採用 USB 內建電源 (不需外加電源)，採用 USB 2.0 傳輸資料、隨插即用、不需插卡，使用工業級高效能驅動程式



圖 10. 控制系統位置移動控制介面。



圖 11. 控制系統手動移動控制介面。



圖 12. 控制系統參數設定介面。

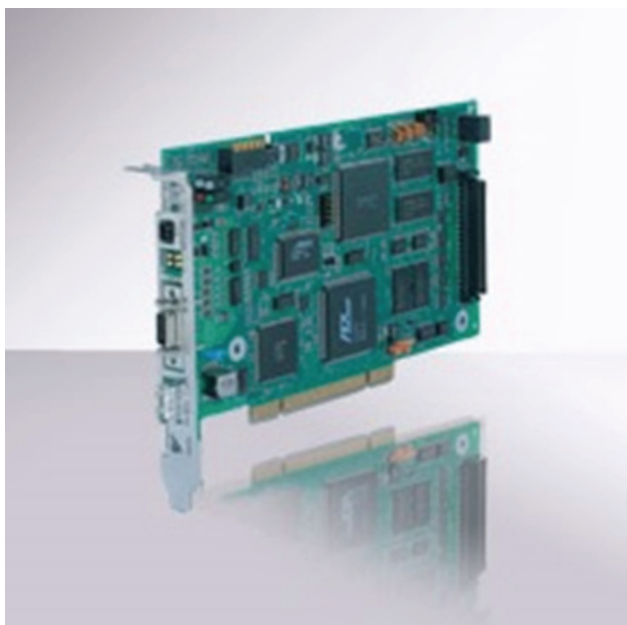


圖 13. MP2100 運動控制卡。



圖 14. 伺服馬達驅動器。



圖 15. 伺服馬達。



圖 16. 工業攝影機。

表 3. 伺服馬達的規格表。

電壓		200V
伺服馬達型號 SGMJV-□□□□		01A
額定輸出*1	W	100
額定轉矩*1, *2	N·m	0.318
瞬時最大轉矩*1	N·m	1.11
額定電流*1	Arms	0.84
瞬時最大電流*1	Arms	2.9
額定轉速*1	min ⁻¹	3000
最高轉速*1	min ⁻¹	6000
轉矩常數	N·m/Arms	0.413
轉子轉動慣量	× 10 ⁻⁴ kg·m ²	0.0665 (0.0812)
額定功率變化*1	kW/s	15.2
額定角加速度*1	rad/s ²	47800
配套伺服驅動器	SGDV-□□□□	R90□

式，非一般低速 WebCAM 驅動，如圖 16 所示。其規格詳如表 4 所示。

鏡頭選用日本 MORITEX 遠心工業鏡頭，其型號為 MML2-ST65，鏡頭倍率為 2 倍，WD (工作距離) 為 65 mm，景深為 0.35 mm，解析力為 5.8 μm，NA 值為 0.048，可搭配最大 CCD 尺寸為 1/2 吋，如圖 17 所示。

表 4. 工業攝影機規格表。

項目	內容
感測器型式	CMOS
有效解析度	1280 (水平) × 1024 (垂直)
有效感光區域	6.660 × 5.320 (mm)
感測器尺寸	1/2"
像素尺寸	5.2 × 5.2 mm 正方形像素
視訊輸出	8 位元灰階
最大像速率	22.5 fps；預設值 = 15 fps
動態範圍	68.2 Db
電子快門	電子滾動式，63 ms – 66 ms 軟體控制
像素填充率	49%
FPN	0.10%
PRNU	1.50%
支援運作模式	Video 模式 / Standby 模式
掃描模式	循序式掃描 (Progressive Scan)
增益 / 亮度	軟體控制
像速率控制	軟體控制：5 到 22.5 FPS
跳躍取樣模式	支援 (水平及垂直方向)
黑色位準補償	內建硬體線路自動補償
部分區域輸出 (WOI)	支援
資料傳輸介面	USB 2.0、每秒 480 百萬位元
攝影機電源	USB 內建電源 (小於 550 毫瓦)
運作溫度	攝氏 0.0 度 – 攝氏 60.0 度
LED 燈源功耗	[1.2W] 12V/100 mA [2W] 12V/166 mA [6W] 12V/500 mA [12W] 12V/1000 mA
LED 控制器	外部輸入直流 15V，定電流回授控制，可軟體控制最大輸出電流，亮度控制 1024 階精密線性
外形尺寸 (mm)	38 × 38 × 36.4
重量 (公克)	104

3. 多軸向精度量測與補償技術

在定位精度量測過程中，本研究中輔以 HP 公司所出產的 HP5529A 雙頻雷射干涉儀及角度偏擺量測系統針對各軸向之精度進行檢測工作。圖 18 為量測系統架設示意圖。完成單一軸向直線定位精度量測後，利用數值分析模擬軟體進行誤差補正數值運算藉以獲得系統欲修正之誤差值，再將數值回饋至系統中進行誤差量補正。

由於雙頻雷射干涉儀可以搭配不同鏡組，進行線性量測、角位移量測、旋轉角度量測、導軌直線度量測、直角度量測、平行度量測、平面度量測、立體空間量測與時間動態基準量測等工作。表 5 為進行定位精度量測所需零組件。

在定位精度量測過程中，本研究中輔以 HP 公司所出產的 HP5529A 雙頻雷射干涉儀及角度偏擺量測系統針對各軸向之精度進行檢測工作。完成單一軸向直線定位精度量測後，利用數值分析模擬軟體進行誤差補正數值運算藉以獲得系統欲修正之誤差值，再將數值回饋至系統中進行誤差量補正。X



圖17 日本MORITEX遠心鏡頭

軸總行程為 22 mm，Y 軸總行程為 22 mm，選擇每 1 mm 作為直線定位精度量測的最小基準，經由導軌系統作往復式運動，量測出導軌系統的定位精度與重覆精度。X-Y 兩軸直線定位精度量測實驗架設如圖 19 所示。

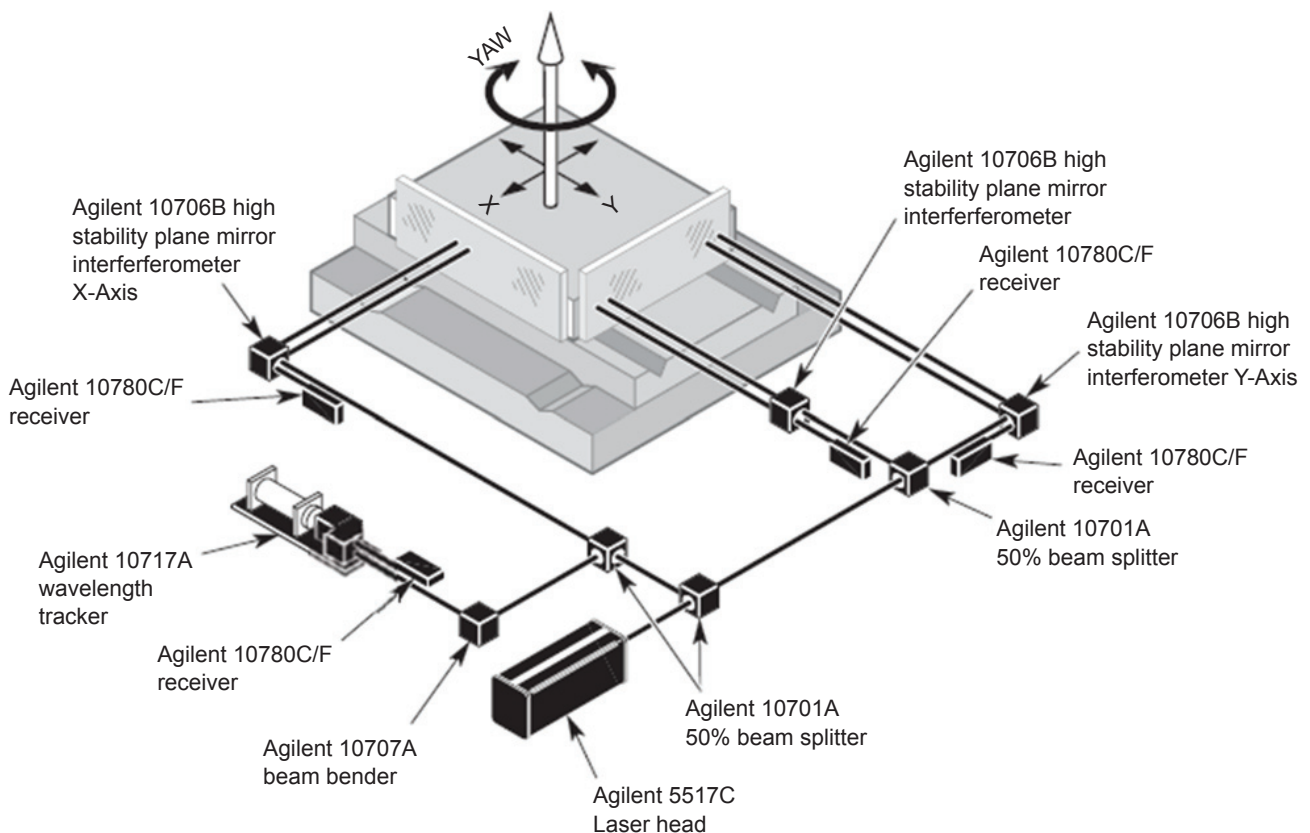


圖18 雷射干涉儀量測系統架設示意圖

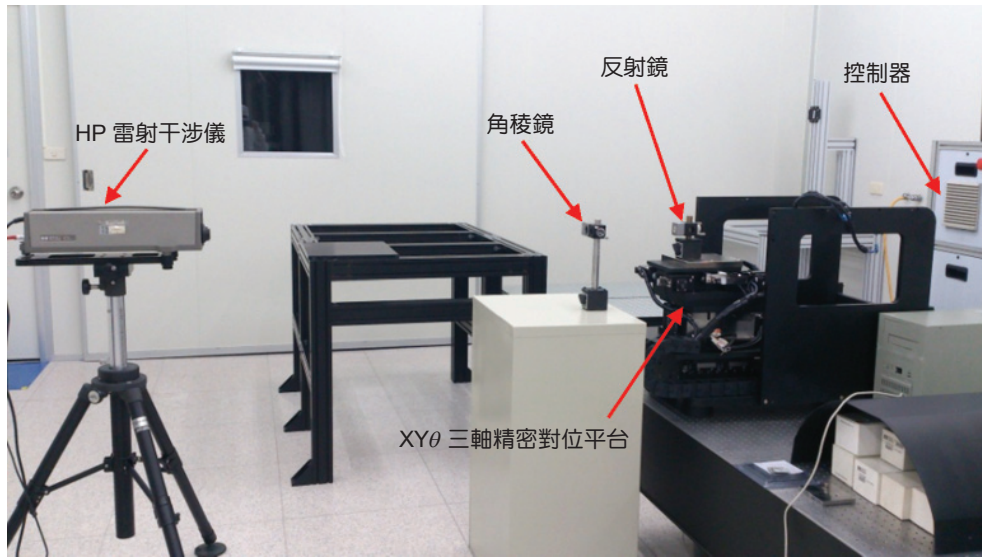


圖 19. XY θ 三軸精密對位平台直線定位精度量測實體圖。

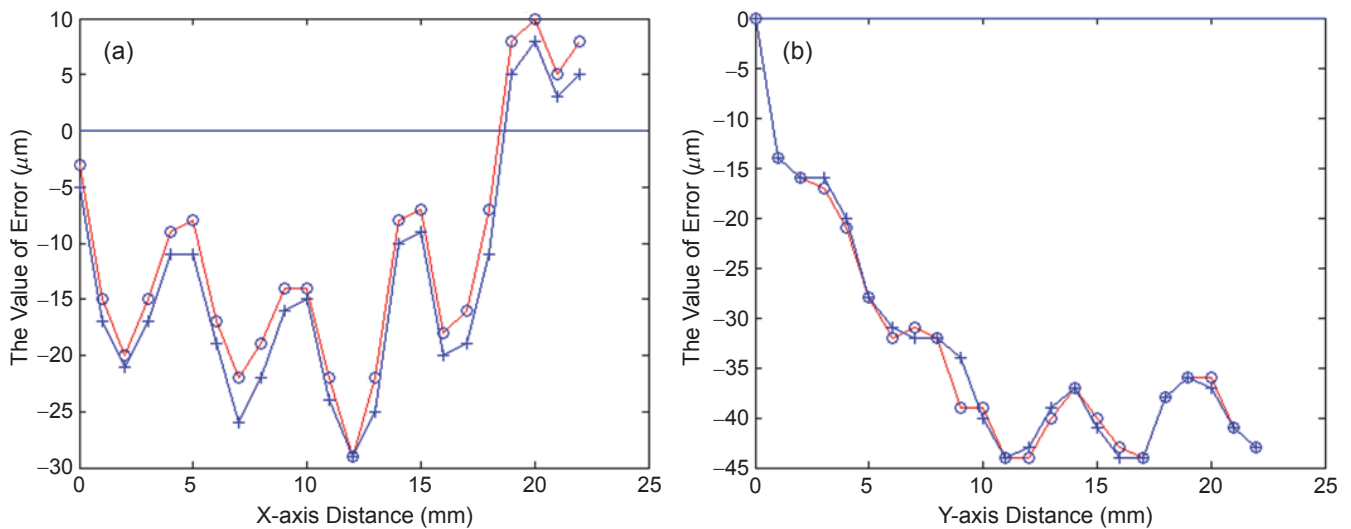


圖 20. X 軸 (a) 和 Y 軸 (b) 補償前直線定位精度量測 (量測間隔 1 mm)。

X 軸直線定位精度方面，每間隔 1 mm 作為直線定位精度量測，其量測結果如圖 20(a) 所示。以每 1 mm 為量測間隔時，其直線定位精度誤差為 $39\ \mu\text{m}$ ，重覆精度誤差為 $4\ \mu\text{m}$ 。Y 軸直線定位精度亦分別以間隔 1 mm 刻度的直線定位精度量測，其量測結果如圖 20(b) 所示。以每 1 mm 為量測間隔時，其直線定位精度誤差為 $44\ \mu\text{m}$ ，重覆精度誤差為 $5\ \mu\text{m}$ 。

誤差補償方法中所使用到之方法分別為最小平方方法與曲線擬合法。以雷射干涉儀進行定位精度量測實驗後，所得到的誤差數據值，常以非線性的類

表 5. 量測系統零件表。

名稱	規格	數量
雷射光源	HP 5519A	1
線性干涉鏡	HP 10766A	1
線性可移動式反射鏡	HP 10767A	2
個人電腦	Intel Core i3-2350M	1
雷射用腳架	HP 10753B	1
磁性座		2
延伸桿	HP 10785A	3
雷射卡	HP 10887	1
電纜線	HP 10882A	1

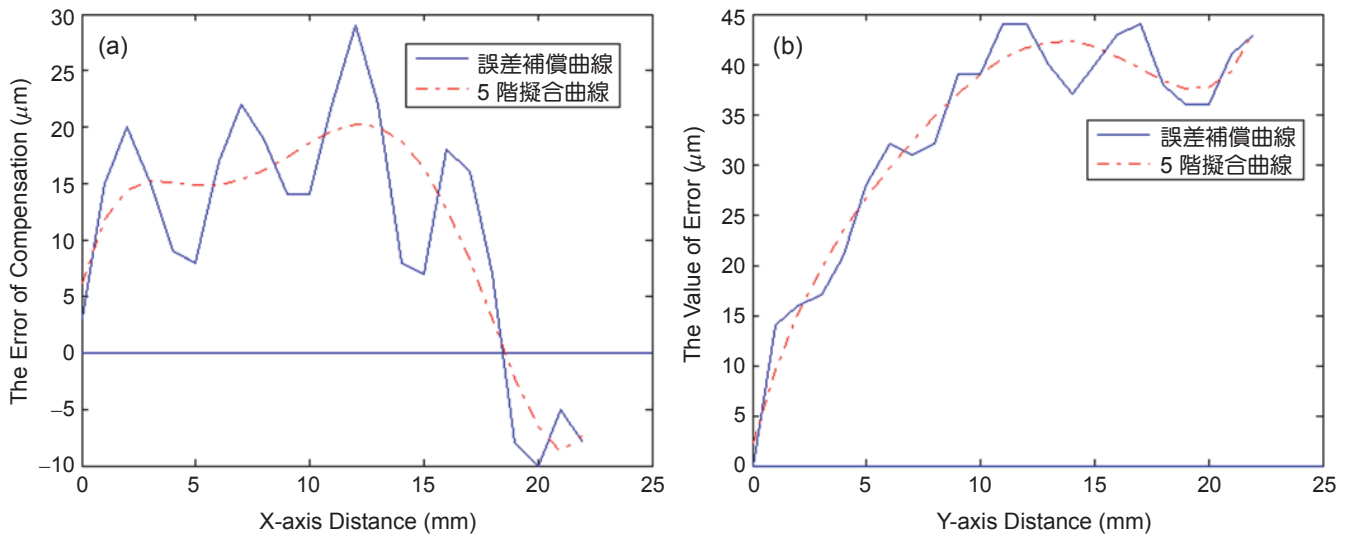


圖 21. X 軸 (a) 和 Y 軸 (b) 5 階擬合曲線圖形 (量測間隔 1 mm)。

型出現。為了求出擬合的較佳階數，常以最小平方方法求出曲線中所適合的擬合 (fitting) 方程式，之後代入所要進行控制的程式中進行預補償工作。所謂最小平方方法就是針對 x 與 y 係數值，以函數 $y = f(x)$ 的形式來找出最為合適的數據，這是常見且有效的辦法。如方程式 (1) 所示的最小值，這就是所謂的最小平方方法。

$$\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 = \min. \quad (1)$$

所謂曲線擬合法是將 X、Y 兩軸所量測到的誤差補償值利用 Matlab 進行曲線擬合工作，藉此找出擬合曲線與誤差值之相互關聯的曲線方程式。位移誤差具高階項之最佳擬合方程式如公式 (2)，利用上述的最小平方方法確定較佳的擬合階數，將所得的 n -th 曲線擬合方程式，代入運動控制程式中進行定位精度補償與平面精度補償工作。

$$p(x) = f(x, n) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n \quad (2)$$

其中， a_0 、 a_1 、 a_2 與 a_n 為曲線擬合方程式係數。

X、Y 兩軸分別作量測間隔為 1 mm 直線定位精度量測實驗。X 軸以 1 mm 作為量測間隔時，原始誤差值經過曲線擬合後，選擇 5 階擬合曲線方程式。Y 軸以 1 mm 作為量測間隔時，原始誤差值經

過曲線擬合後，選擇 5 階擬合曲線方程式。X 和 Y 軸在量測間隔為 1 mm 時，擬合曲線圖分別如圖 21(a) 與圖 21(b) 所示，而其擬合曲線方程式係數分別如表 6 與表 7 所示。

X-Y 兩軸經由曲線擬合後獲得曲線擬合係數，再將曲線擬合係數代入導軌系統運動控制程式中進行直線定位精度軟體之預補償工作。並且使用雷射干涉儀量測補償後 X-Y 兩軸之直線定位精度，X 軸在量測間隔為 1 mm 時所量測到之直線定位

表 6. X 軸 5 階擬合曲線係數。

B01	3.205617164427111e-004
B02	-1.694928514150410e-002
B03	3.069683812246581e-001
B04	-2.340472850312506e+000
B05	7.690652093900823e+000
B06	6.183946488295274e+000

表 7. Y 軸 5 階擬合曲線係數。

B01	1.369574996577299e-004
B02	-6.822115717996784e-003
B03	1.222727850588267e-001
B04	-1.137363980413170e+000
B05	8.265685343133734e+000
B06	2.356911928651378e+000

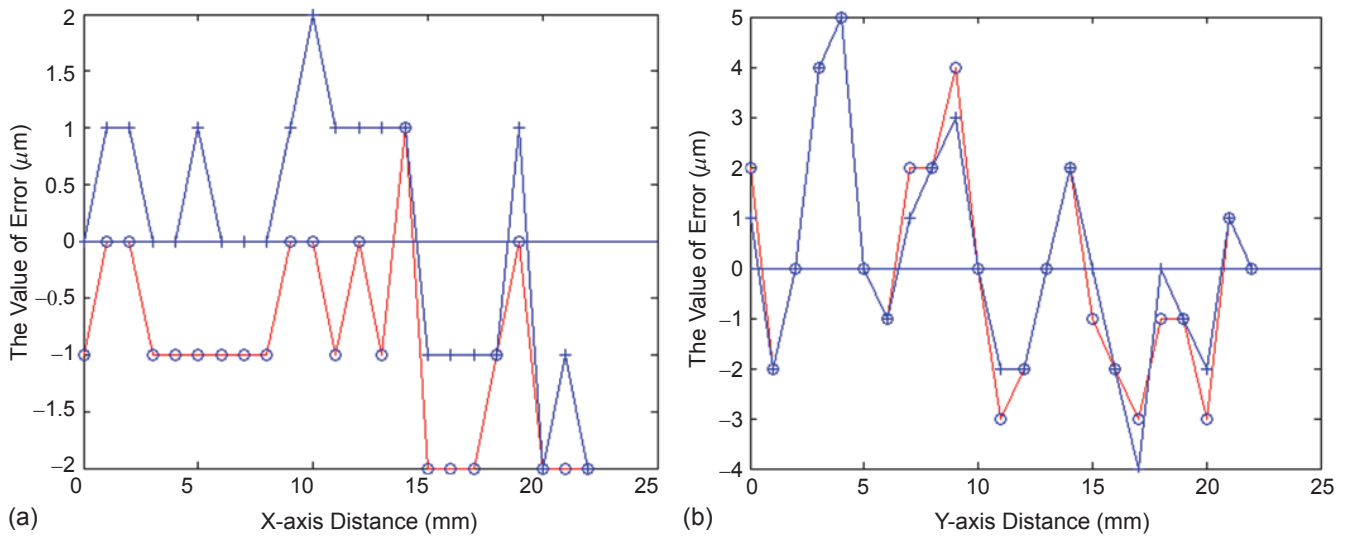


圖 22. X 軸 (a) 和 Y 軸 (b) 補償後直線定位精度量測 (量測間隔 1 mm)。

精度，如圖 22(a) 所示。X 軸在量測間隔為 1 mm 下，原始誤差補償值經過軟體預補償後其直線定位精度為 $3\ \mu\text{m}$ ，重覆精度為 $2\ \mu\text{m}$ 。經由雷射干涉儀量測直線定位精度預補償後的結果可知，X 軸以 1 mm 為量測間隔下，經過補償後的直線定位精度，由 $39\ \mu\text{m}$ 提升至 $3\ \mu\text{m}$ 。Y 軸在量測間隔為 1 mm 所量測到之直線定位精度，如圖 22(b) 所示。Y 軸在量測間隔為 1 mm 下，原始誤差補償值經過軟體預補償後其直線定位精度為 $9\ \mu\text{m}$ ，重覆精度為 $5\ \mu\text{m}$ 。經由雷射干涉儀量測直線定位精度預補償後的結果可知，Y 軸以 1 mm 為量測間隔下，經過補償後的直線定位精度，由 $44\ \mu\text{m}$ 提升至 $9\ \mu\text{m}$ 。

4. 具光罩對準之影像對位與檢測技術

此三軸精密定位平台特點在於 θ 方向旋轉機構，主要是由伺服馬達帶動滑塊與平台所組成，透過馬達傳動使得滑塊產生線性位移運動，再藉由滑塊再帶動滑台使平台做角度旋轉。此對位系統中，首先於基板表面製作了可以相互對位的記號，CCD 擷取記號之影像後，透過頂端光罩上對位記號，由系統進行分析並判斷基板與光罩間對位情況，當對位完成之後再將進行雷射直寫影像程序。CCD 校正對位方式如下：第一步先由 CCD1 與 CCD2 求得標靶幾何中心座標，其定位座標分別為 (X_{c1}, Y_{c1}) 和 (X_{c2}, Y_{c2}) ；第二步則藉由兩定位座標

之中心點計算出 X 方向 ΔX 的距離與 Y 方向 ΔY 的距離之對位座標 (X_{m1}, Y_{m1}) 和 (X_{m2}, Y_{m2}) ，再由兩座標中心點得到旋轉軸幾何中心位置，將 $\Delta\theta$ 轉換成運動控制之補償量，經由運動控制系統進行位置補償，即可有效完成機器視覺精密對位功能。圖 23 為對位標靶與實際空間座標關係圖。藉此可算出實際上旋轉軸欲偏擺的量，由於本計畫所發展的機構在運動過程中不會相互干涉故定位時間可縮短至 0.5s—1s。相較於其他機構因具有干涉角發生於對位過程中所需對位時間較長約 3s—7s。實際光罩對準之 CCD 光學影像對位詳如圖 24 所示。

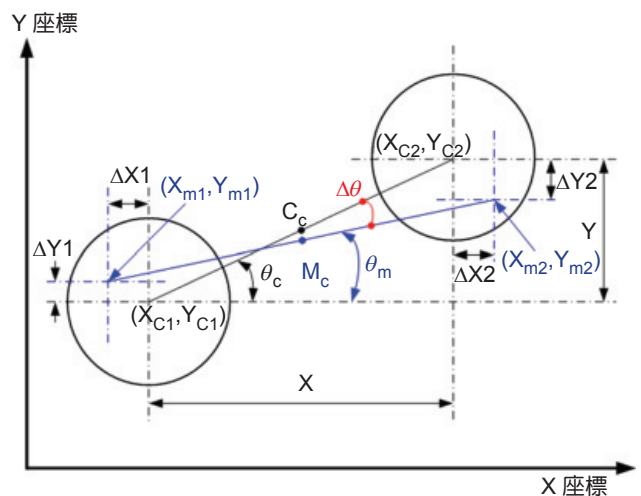


圖 23. 對位標靶與實際空間座標關係圖。



圖 24. 具光罩對準之 CCD 光學影像對位實體圖。

將雙 CCD 攝影機擷取的影像所得到之資訊 (如圖 25(a) 所示) 轉化成運動控制補償所需之數據，其次將影像座標轉化成運動控制所需之座標，快速且正確計算出 ΔX 、 ΔY 、 $\Delta \theta$ 並轉換成運動控制之補償量，提供運動控制系統進行位置補償。圖 25(b) 為完成精密對位顯示結果，其經過對位演算法將影像幾何空間分析與計算，成功將光罩定位標靶位置對準 CCD 影像中心，完成機器視覺精密對位功能，影像對位精度可控制在 $\pm 1 \mu\text{m}$ 。

四、結論

本研究自行建置 $XY\theta$ 三軸精密進給系統，利用多軸精度量測與補償技術，在未加裝光學尺情況下，以每 1 mm 作為直線定位量測之量測間隔。X 軸在 1 mm 量測間隔下，未補償前誤差為 $39 \mu\text{m}$ ，補償後定位精度為 $3 \mu\text{m}$ ；Y 軸在 1 mm 量測間隔下，未補償前誤差為 $44 \mu\text{m}$ ，補償後定位精度為 $9 \mu\text{m}$ ，結合 PC-based 控制器發展多軸人機界面，藉由實驗所得之數據，利用人機介面軟體進行預補償，成功改善進給平台的定位精度。並使用影像對位與光罩對準技術，經過對位演算法將影像幾何空間分析與計算，成功將光罩定位標靶位置對準 CCD 影像中心，完成機器視覺精密對位功能，影像對位精度可控制在 $\pm 1 \mu\text{m}$ 。最後搭配儀控平台電控技術與整機系統整合技術，成功開發一套「具光罩對準之高剛性 $XY\theta$ 三軸雷射直寫影像進給系統」，此對位平台具有高剛性、高承載能力、高對位速度、高精密度和高定位重現性等優點，可

應用於印刷電路板 (PCB)、晶圓、觸控面板、積體電路 (IC)、發光二極體 (LED) 和被動元件等產業之對位、加工和檢測之先進曝光製程設備。此外，本計畫於機構設計最大特點為 X 和 Y 軸共平面，並且於 C 軸採用圓弧導軌增強其承載能力，藉此提高產品對位和定位之精準度和效率，同時提昇國內自動化設備開發技術能力與國際競爭力。未來此技術亦可擴大應用於 LED 之陶瓷基板鑽孔和切割、晶圓檢測、印刷電路板之鑽孔、薄膜太陽能電池製程之雷射邊緣隔離和藍寶石基板劃線或表面處理等對位製程。

五、誌謝

本研究承蒙科技部 (計畫編號 MOST 103-2622-E-492-009-CC3) 經費補助，使本研究得以順利進行，特此致上感謝之意。

參考文獻

- 2009 年 FPD 營收將衰退 15%，2010 年可恢復正成長。
<http://iknow.stpi.narl.org.tw/post/Read.aspx?PostID=3529>
- 全球觸控螢幕模組營收於 2015 年達 90 億美元。
http://cdnet.stpi.narl.org.tw/techroom/market/eedisplay/2009/eedisplay_09_032.htm
- 高亮度 LED 市場規模於 2014 年可達 202 億美元。
<http://iknow.stpi.narl.org.tw/post/Read.aspx?PostID=4934>
- 半導體產業營收於 2010 年成長幅度高達 35%。
http://cdnet.stpi.narl.org.tw/techroom/market/eeic/2010/eeic_10_035.htm
- W. Gao, Y. Arai, A. Shibuya, S. Kiyono and C. H. Park, *Precision engineering*, **30**, 96 (2005).

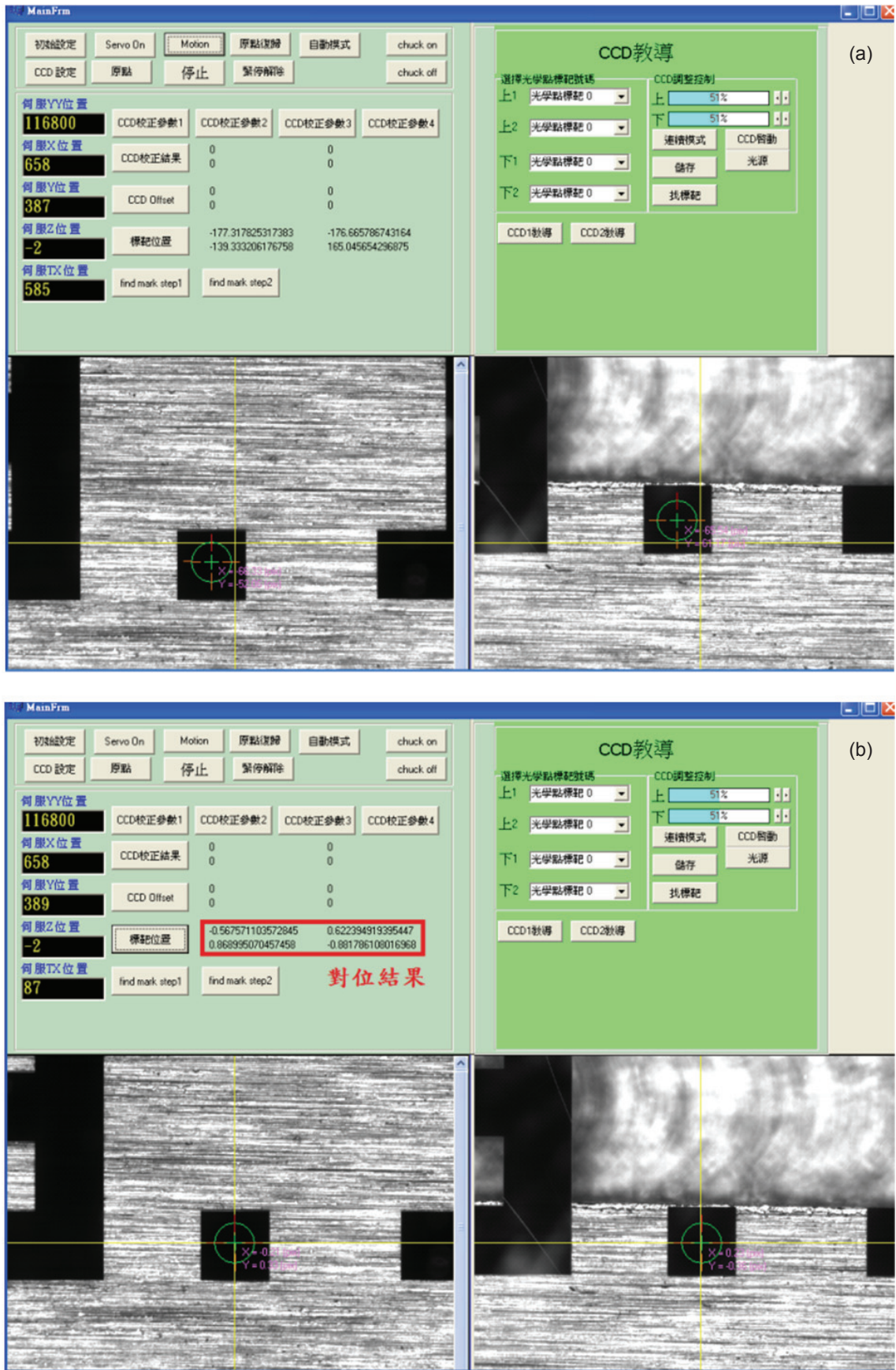


圖 25. 雙 CCD 攝影機擷取光罩精密對位前 (a) 和對位後 (b) 結果。

6. H. F. Castro, and M. Burdekin, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **43**, 947 (2003).
7. S.K.Ro and J.K.Park, *International Journal Of Precision Engineering and Manufacturing*, **9**, 19 (2008).
8. A. Slocum, M. Basaran, R. Cortesi and A. J.Hart, *Precision Engineering*, **27**, 382 (2003).
9. M. F. Chen, Y. P. Chen and D. L. Chen, *Tribology International*, **35**, 235 (2002).
10. K. C. Fan, C. C. Ho and J. I. Mou, *Micromechanics and microengineering*, **12**, 636 (2002).



鍾健愷先生為國立彰化師範大學機電工程碩士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心助理研究員。

Chien-Kai Chung received his M.S. in mechatronics engineering from National Changhua University of Education. He is currently a research assistant at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



蕭文澤先生為國立彰化師範大學機電工程博士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心副研究員。

Wen-Tse Hsiao received his Ph.D. in mechatronics engineering from National Changhua University of Education. He is currently an associate researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



曾釋鋒先生為國立交通大學機械工程博士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心研究員。

Shih-Feng Tseng received his Ph.D. in mechanical engineering from National Chiao Tung University. He is currently a researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.