

第一章 緒論

1.1 前言

隨微奈米科技的興起，加工生產設備及量測檢測儀器的加工技術及輸送裝置，亦須仰賴奈米等級的精密驅動及定位之技術，其中不論是半導體產業、光電通訊、精密機械設備、顯微機構、表面工程等，還是高精密加工、定位與需無污染環境之相關產業，亦需定位精度高、快速驅動及低摩擦之機械相關設備來完成，有鑑於此，為因應未來高精度與高性能之科技產品需求，快速驅動與高精密定位之機械工具機與量測儀器為目前工業界迫切需求之設備[1-5]。

定位技術是製造生產、量測尺度、運轉使用各式設備...等高科技產業上最重要的基礎技術之一，定位技術的優劣將直接影響於產品製造的品質。而所謂定位(Positioning)係指從空間上某一靜止的位置運動到另一點靜止位置之動作。其定位的基本運動型態有三：(1)被驅動物移動到所預定位位置，直到在達到所定精度內才停止的間歇運動；(2)被驅動物啟動到某一速度，直到在達到所定精度內的等速移行運動；(3)被驅動物密切追隨空間、時間變化之目標的運動。

而定位精度的優劣可由準確性(Accuracy)與精確性(Precision)這兩項性能規格看出[6]，準確性係表示監測值與真實值之間的差異程度，若兩值間的差異甚微小則稱為準確性佳，反之稱為準確性差，也就是受控制物體是否能正確地到達所要求之定位點；精確性係對某一種量測重覆施行之間差異程度，重覆運動中任一測量值將會分佈於總平均值之附近，此分布的擴散程度即為精確性，此分布的擴散程度甚小則稱為精確度佳，反之稱為精確度差，也就是受控制物體是否每次都到達相同的定點。

定位平台就是可使物體沿著規劃的路徑移動，依次達到定位精度要求的預定位置的裝置，其定位平台作動程序則由使物體移動之外力的致動器產生，致動器為將外力傳到平台的一運動傳動元件，使平台可沿著規劃的路徑產生運動[7]。一般傳統中之精密定位平台，多以線性導軌支撐定位平台配合直流或交流伺服馬達帶動線性導螺桿，造成極大的轉數比來完成精密定位的任務[8-9]。在早期以及目前較為平常的定位系統中，此種伺服及定位的方式，因為發展已久相關配套設備技術成熟，所以仍然被廣泛的使用。但此種系統由於其機構本身滾珠導螺桿與平台導軌均會因為接觸的關係，而有嚴重的擾動(Disturbances)與背隙(Backlash)問題產生，而此類問題將限制系統精密度甚劇。

除此之外，壓電驅動器(Piezoelectric Actuator)也是目前被廣泛運用在精密定位的機構中，壓電致動器具有體積小、高定位精度、出力大及響應快等優點，相當符合高精密定位系統之驅動裝置條件，但由於它本身存在著非線性磁滯現象，若單純在開迴路狀態下操作，其磁滯現象所造成的誤差最高可到達其運動路徑的 23%，而另一個缺點是蠕動、潛變現象，這是由於壓電材料作動後溫升和再極化現象所產生，故當定位平台系統達到穩態前期會影響到定位準確度，且壓電驅動器在材質先天上只能侷限在微米範圍下的定位工作，一般的壓電材料在 100Volts 的電壓下只供應數十微米(μm) 的位移變化量，實際長行程之設計上必須配合放大機構使用或是搭配線性馬達等長距離的驅動裝置，然而此種兩階段(Two Stage)驅動裝置勢必造成機構設計上之複雜度與精度，且控制系統複雜[10]。

微步進馬達(Sawyer motor)圖 1-1，亦是常運用在精密定位的機構設計之中[11]，利用微步進馬達趨動之定位平台，在推動長工作行程運動中(大約 5mm)會有較差之重現性(Repeatability)，其原因是微步進馬達是藉由接

觸力來趨動定位平台，故此類型系統由於其機構本身之限制，會因為機械系統的接觸產生摩擦力，造成機械裝置的損耗且產生噪音及熱能，而此摩擦力影響系統精密定位程度甚劇。在傳統的克服摩擦力方法中，除了在系統機械元件上提高加工精度外，並配合極精密的潤滑油來減少摩擦力，且在控制法則上以各種方法來估計摩擦力大小，並施以反向力以抵摩擦力的影響[12]。不過這些方法都沒有比避免機械元件上的接觸來的有效。

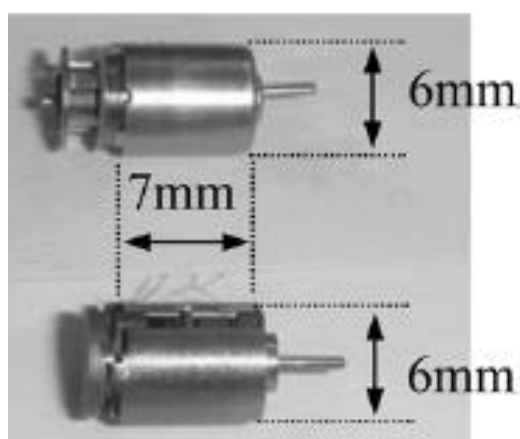


圖 1-1 微步進馬達(Sawyer Motor)外觀圖

故此，本研究基於電磁驅動器研究之基礎，結合無摩擦力精密定位機構之設計，進行一創新型之次微米級微步進定位平台之研製，不但可以具有釐米等級(1mm)之運動行程且滿足次微米級(100nm)定位精度的要求，將成為本論文之主要課題。

1.2 文獻回顧

1.2.1 平台機構之回顧

精密定位平台有許多種驅動與引導方式，利用不同進給驅動方式，將使得平台可以達到的定位行程和定位精度有所不同。定位平台相關之研究已行之有年，定位平台所使用的機械結構方式相當多種，本論文之平台主

體結構係採用一體成型的 $XY\theta_z$ 三維撓性結構作為無乾性摩擦力的平台導引結構設計，首先對撓性結構及其他常見定位平台結構設計做一整理。

撓性機構(Flexure Mechanism)為在機件原理之構造中，部分含有或全為可變形的撓性組件都可稱為撓性機構。而其中所謂的撓性組件，意指能夠承受大位移變形量之撓性鉸鏈或撓性桿件而言。對於撓性微動機構，可視為一由撓性鉸鏈和剛性桿件組合而成的撓性機構，由於撓性鉸鏈部位的結構具有較小的撓曲剛度(Flexural Rigidity)，故可經由局部的撓曲變形給予機構所需的運動自由度[13]。

對於撓性機構而言，因為其機構運動能量會儲存於撓曲變形的撓性鉸鏈和剛性桿件之中，所以撓性機構的運動能量是屬於非保守性(non-conserved)。而由於撓性機構具有耐真空、組成零件少、免潤滑、無機械摩擦、磨損少以及沒有間隙等性質，撓性機構較能適應在高真空度、高壓力，或在極小的範圍要求下之運動需求，因此撓性機構相當適合於高潔淨度要求的半導體製程。運動變形量較小的撓性微動機構，可依撓性機構特性設計成相當小巧的機構，具有精密度和靈敏度高等特點。

其運用至控制平台上設計概念，係應用材料本身的彈性變形而達成位移定位的效果，撓性鉸鏈為一沒有黏滯摩擦力現象的機構裝置，它可視為傳遞力和旋轉的彈簧，具一體成型機構、平順連續的運動等特點。其優點為不會產生介面磨耗且有高穩定度、無餘隙、精度高、生熱少、不需潤滑等特性，若經適當設計，可使其對溫度變化不敏感；於平台製造工藝方面，常見為利用線切割放電加工機，將撓性機構一體成形的製造，依照設計原理可設計成不同維度數量的控制平台如圖 1-2~圖 1-4 所示 [14~16]。



圖 1-2 1-DOF 撓性鉸鏈結構圖

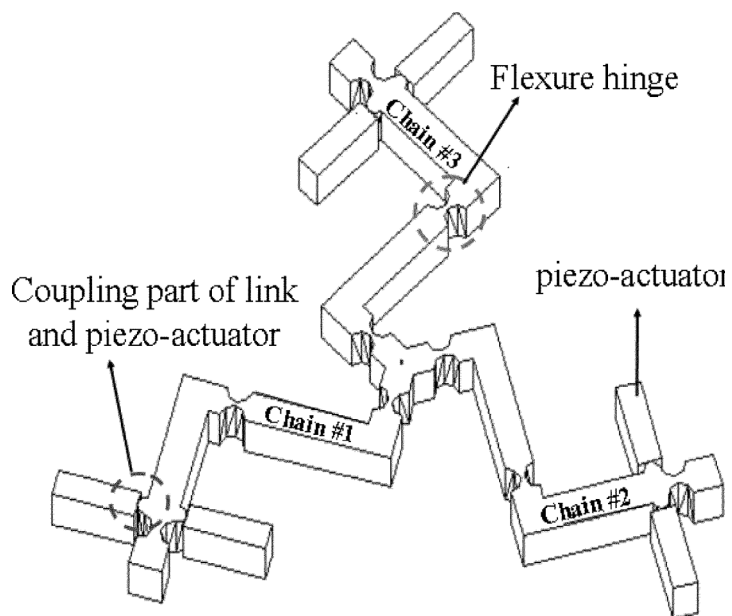


圖 1-3 3-DOF 撓性鉸鏈結構示意圖

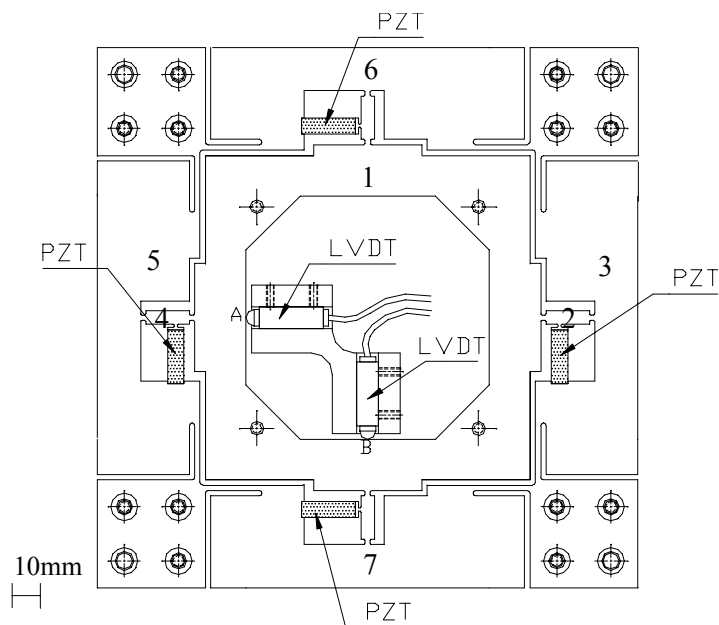


圖 1-4 3-DOF 定位平台示意圖

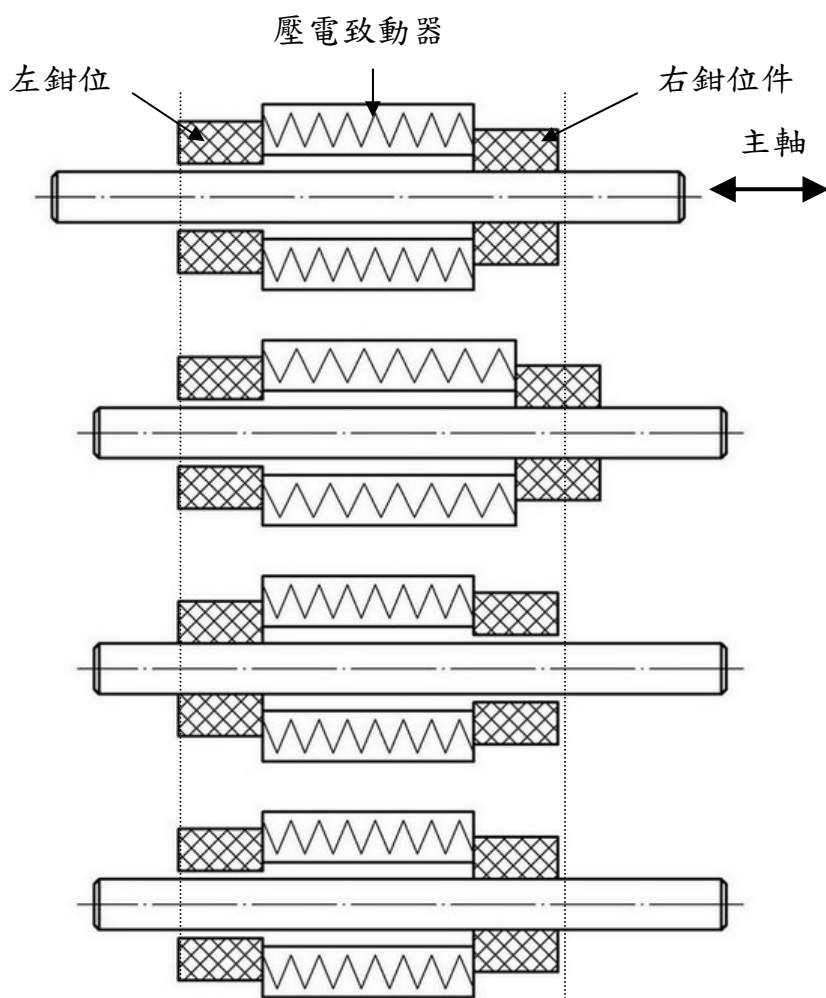


圖 1-5 尺蠖蟲式(Inchworm)作動示意圖

尺蠖蟲式(Inchworm)定位平台包含主軸以及左右兩組鉗位件，為運動件共三組壓電致動器元件，左鉗位件固定於基座，透過中間軸向壓電致動器和右鉗位件與左鉗位件聯接的結構為例(圖 1-5)，茲將其致動步驟分述如下：步驟 1.左邊鉗位件徑向鬆開主軸，而同時右邊鉗位件徑向收縮夾持主軸；步驟 2.驅動中間壓電致動器延軸向伸長，帶動主軸右進一步；步驟 3.左邊鉗位件徑向收縮夾持主軸，接著右邊鉗位件徑向鬆；步驟 4.中間壓電致動器沿軸向收縮；步驟 5.右邊鉗位件徑向收縮夾緊主軸，回復到初使狀態。循環上述步驟 1~步驟 5 的操作即可實現主軸的直線步進運動。其反向運動可通過改變中間軸向壓電致動器，以及左右徑向鉗位件的操作順序即可實現反向運動[17]。

尺蠖蟲式定位平台的總行程取決於兩側導軌的長度，移動速度通過改變加於中間軸向壓電致動器上的控制電壓大小，以及左右兩端的徑向鉗位件的夾持頻率來改變，平台定位精度取決於中間軸向壓電致動器元件。但其平台運動過程中有機械元件相互接觸，必定會產生摩擦力等問題影響其平台定位精度及控制器設計。其尺蠖蟲式定位平台外觀有如 2004 年 Peter E.等[18]，利用三組壓電元件完成其尺蠖蟲式步進定位平台(圖 1-6)。

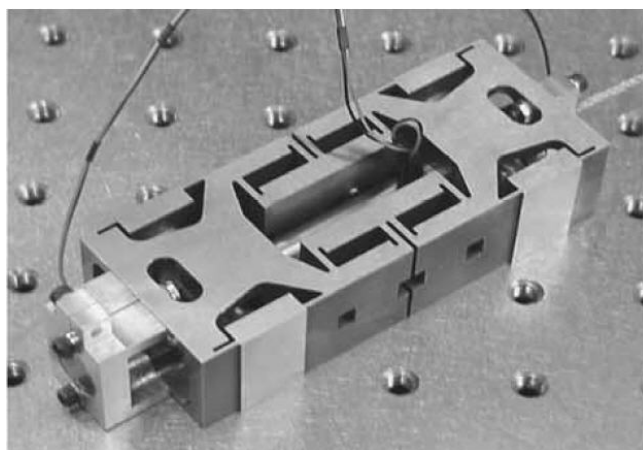


圖 1-6 尺蠖蟲式(Inchworm)步進機構外觀

慣性摩擦趨動定位平台，其基本原理是壓電致動裝置，利用慣性衝擊或滯動(stick-slip)原理達成微步進過程進而帶動平台運動，慣性摩擦驅動定位原理及步驟如下圖 1-7。

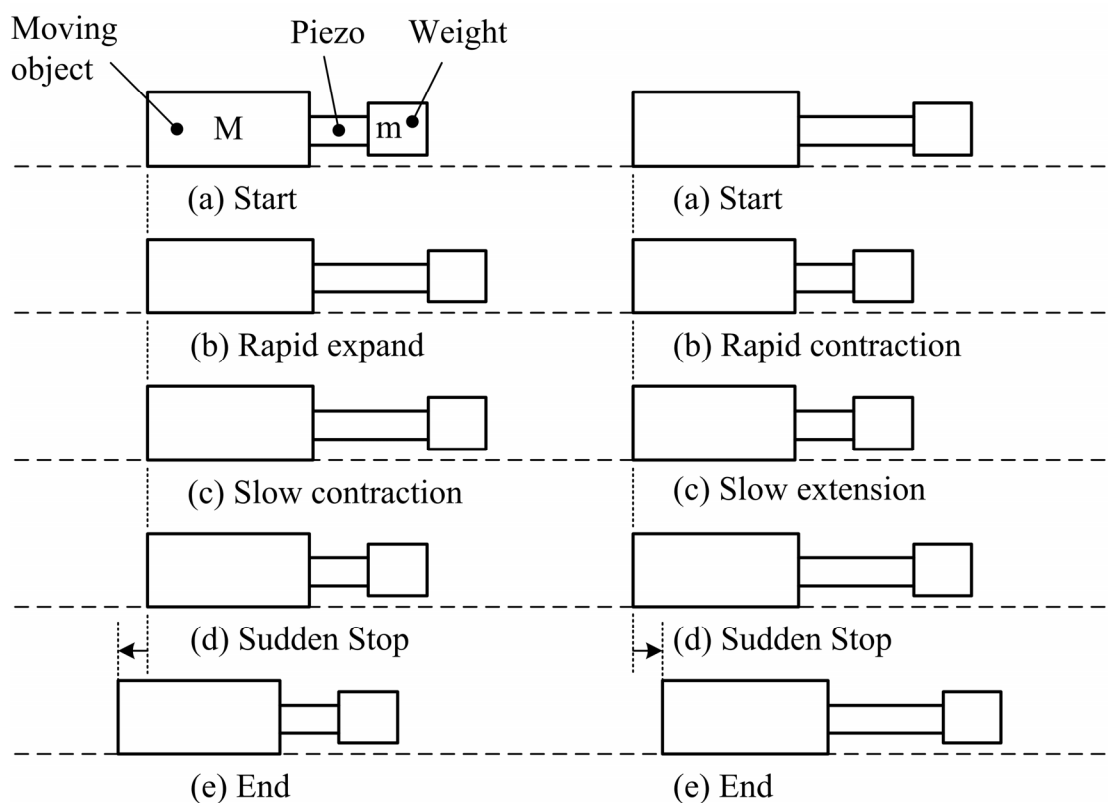


圖 1-7 慣性摩擦驅動定位原理

圖中壓電致動器(Piezo)的軸巷兩端連接大小不同的 2 個質量塊 M 和 m，其中作為移動主體的質量塊 M 置於滑動導軌平面上，作為慣性驅動用的質量塊 m 連接於電致動器並懸空。其致動步驟過程如下：步驟 1. 首先驅動壓電致動器延軸向緩慢伸長。此時由於 m 產生的慣性力與移動主體 M 和導軌平面之間的靜摩擦力相比小的多，M 靜止不動。步驟 2. 使壓電致動器伸長到一定程度時突然靜止。慣性質量塊 m 具有的動量使包括壓電致動器、質量塊 M 和 m 的機構整體往 m 方向快速移動。步驟 3. 接著使壓電致動器急速往軸向收縮。由於機構整體重偏移，導致移動體 M 進一步右移。

循環步驟 1~步驟 3 的操作，即可實現大行程的直線運動。而其反向運動和移動速度的調節，通過改變加於壓電致動器上的電壓控制波形，即可實現反向運動，2001 年 J. Y. Shim 等[19]完成其慣性磨擦(Inertial Sliding)微步進基本結構外觀(圖 1-8)。

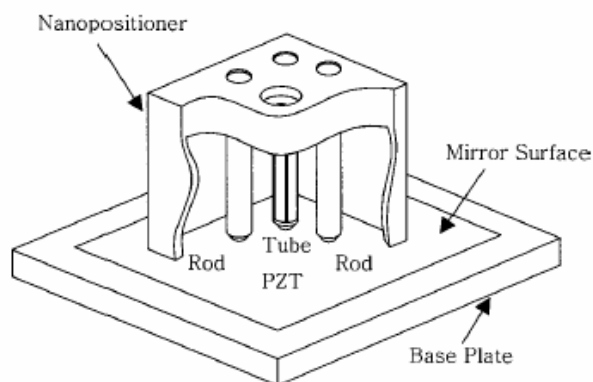


圖 1-8 慣性磨擦(Inertial Sliding)微步進器結構圖

1.2.2 平台驅動裝置之回顧

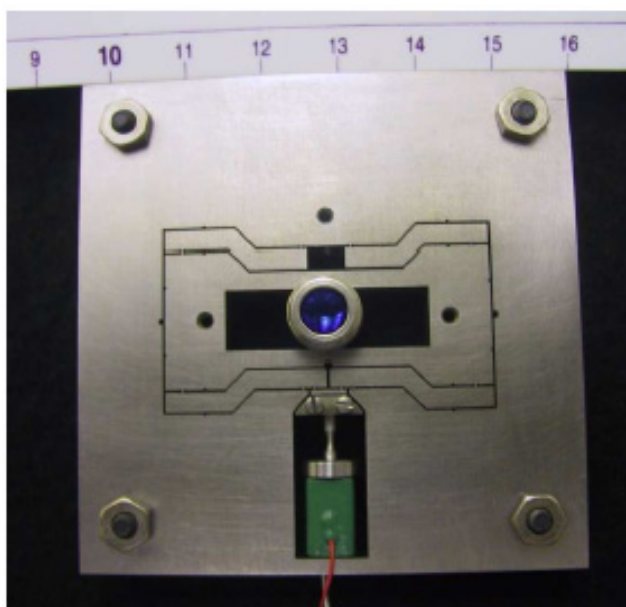


圖 1-9 壓電致動器定位平台

在現階段超精密定位技術的相關研究中，若是系統的精度要求達到奈米等級，這時候壓電材料是最常被選擇做為驅動源使用的致動器之一(圖 1-9)，因此也有研究探討壓電致動器的特性與性能表現[20]。而選擇壓電致動器做為驅動源的定位系統，主要有三個研究的方向：一是使用單個或多個壓電元件所構成的長行程移動機構，例如章節 1.2.1 尺蠖蟲式步進機構；另一種是利用摩擦滯滑現象，巧妙地控制壓電元件所產生的衝擊力，使其在理論上可以達到無限行程的自走功能，故稱之為自走式驅動機構[21]；第三種則是採用材料變形的方式，以撓性結構設計配合能夠放大位移量的機構圖 1-10，多少可彌補壓電致動器行程過短的缺陷[22][23]，在這方面也已經有許多的研究成果，像是奈米等級的 XYZ 三軸定位平台[24][25]、奈米等級六自由度定位平台[29]...等。前兩種方式的優點在於可以達到長行程移動的目的，不過由於其步進運動需要依賴摩擦力，因而在定位精度上並不容易控制；第三種方式則擁有非常高的定位精度，但是行程較短卻是最大的限，往往只有數百微米的移動範圍，且如果配合放大機構以增加位移量，則會因為誤差量也隨放大機構增加。

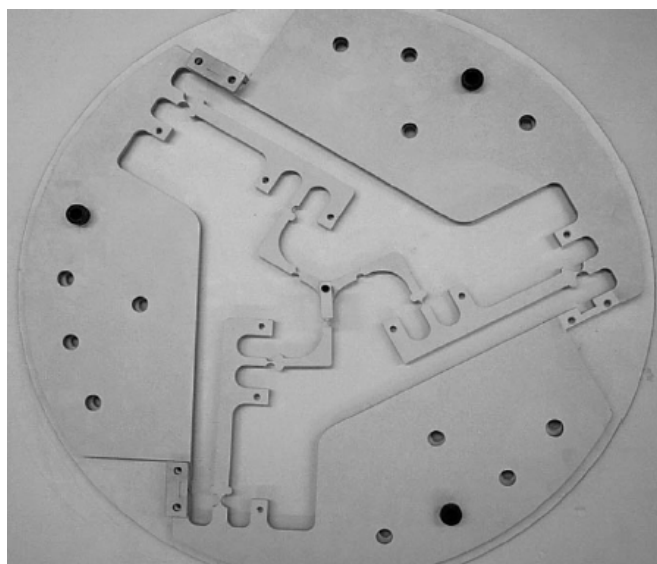


圖 1-10 撓性放大位移機構

磁浮驅動定位裝置，意指藉由磁力效應將物體懸浮在空中的原理，作為驅動裝置，因此無機械元件的相互接觸，所以可避免由摩擦力所產生的磨耗、噪音、能量損失等問題。然而，磁浮系統的控制必須克服兩個重要的問題，第一，系統因為磁滯效應產生的非線性情況相當嚴重，第二，各自由度運動過程的耦合的程度相當高，因此，控制器設計的問題也就變的相當複雜及困難[30]。

藉由磁力作用搭配不同的支撐方式來驅動平台，磁浮平台原理是利用磁力與電磁力的相吸或相斥作用，以非接觸的方式來推動、支撐定位平台的承載台。這種平台是非接觸型平台，可懸浮在空中而不接觸軌道，可避免機械裝置元件因接觸摩擦所引起的問題，也不需潤滑與清潔，相當適用於高潔淨環境和真空環境中。磁浮驅動定位平台具有非接觸式、單體多自由度、電磁線圈發熱問題、平台剛性低、六自由度即時定位控制、電磁致動器非線性現象等特性，這種平台若要做到即時六自由度定位控制，想要達到奈米等級的精度非常困難，目前尚屬於研究室階段[31]。

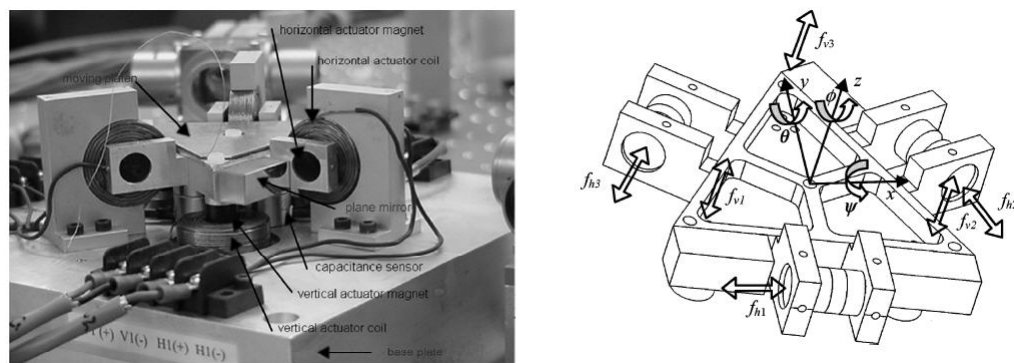


圖 1-11 6-DOF 磁浮定位系統

除了以上單種驅動器之外，為了同時達到足夠的運動行程與極高的定位精度，因此也發展出雙層複式驅動平台(Dual-Stage)，所謂雙層複式驅動平台就是結合兩組性能不同的致動裝置，兩者各掌其職，其中具有長行程

性能的致動裝置採用線性滑軌或是導螺桿，負責定位的行程，當平台粗略到達位移目標點時，另一組具有高精度性能的致動裝置如壓電致動器等，則開始作誤差的補償與細部的修正，就好像常見光學顯微鏡上的對焦調制鈕，以粗調與微調兩階段的方式，取得最佳的焦距。磁碟機的讀寫臂(Arm)就是最常見的應用例[32]，其直接結合音圈馬達(Voice Coil Motor, VCM)與壓電致動器，分別擔任粗調與微調的工作，使系統同時兼顧定位的行程與精度 [33]。但是，由於磁碟機的讀取臂只需要承受質量非常輕的讀寫磁頭，直接結合音圈馬達與壓電致動器的方式並不能承載很大的重量，必須配合致動器選擇適當的傳動與導軌元件，或是設計適合的承載機構，以提高載重效能。

1.3 研究動機與目的

近年來全球產業隨著現代工業和科學技術的飛速發展與演變，大眾對所使用的產品性能、可靠性、使用壽命和小型化的程度要求越來越高。相對地在市場的競爭之下，產業界不得不在生產和製造的過程及設備上，要求更高的加工與設備定位精密度。從傳統產業的一般加工幾十微米的精度，進展到半導體或生化科技製程的奈米級精度，促使全球製造技術掀起另一波的工業革命，進而成為廿一世紀產業所需的奈米技術(Nano Technology)，和微機電系統技術(MEMS: Micro-Electro-Mechanical System Technology)[34]。

本研究之動機在設計一以撓性機構為基礎的精密次微米定位平台，藉以自行研發的「類音圈馬達電磁致動器」為長行程且高精度的位移驅動器，用以推動浮動平台做 $XY\theta_z$ 三自由度微量進給，在精密定位的解析度可達次微米的精度。其中「類音圈馬達電磁致動器」在給予電流源所產生的位移路徑，將使其達到較理想的直線位移。

利用鋁合金材料具有高彈性能及高機械強度之材料特性為基礎，設計一新型的精密定位平台，因為運用材料因受力產生變形之原理，作成撓性運動平台的基本外形，所以可設計一組具有 $XY\theta_z$ 三軸位移功能之機構，以運用於高精度微動定位平台上，作為提供長行程 X 、 Y 軸工作平台之精密定位及補償誤差。

本研究之目的欲運用撓性機構設計出較簡單的平台結構，並且只利用一個「類音圈馬達電磁致動器」單推一軸的方式來驅動平台，借此簡化驅動裝置及控制器設計的複雜度，或藉由離線式控制調整。可減少常用的壓電致動器和位移感測器的使用問題，並改善目前所存在的高精密度、高成本經費的問題。

1.4 本論文之貢獻

本研究的最主要貢獻，可大致分為兩方面來說明。在實際應用面上，可說是成功地整合了平台設計概念、位移量測、控制理論三大領域，以最簡單的架構，將一具有長行程定位系統建立起來，其最終能達成依循位移計刻度位置進行移動的目標，及快速定位；而在控制理論上，則以 PID 迴授控制原理，以易於實現的控制流程，有利於非線性系統的控制，同時經由研究中的應用可以證明，以 PID 迴授控制原理，也能夠適用於超精度要求的系統。

在產業生產製程系統控制的發展歷程中，PID 控制是歷史最悠久、生命力最強的基本控制方式。在 20 世紀 40 年代以前，除最簡單的情況下可採用開關控制外，PID 是唯一的控制方式。此後，隨著科學技術的發展，特別是數位式電腦的誕生和發展，發展出許多新型的控制法則。然而到現在，PID 控制由於自身的優點仍然是得到最廣泛應用的基本控制法則。傳統 PID 控制器文獻中的設計法可經由簡單的公式求得 PID 控制器參數，但

多數的調適法則用於延遲時間較長之受控系統設計 PID 控制器時，往往無法兼顧系統的強健與性能，所以本研究將參考幾種不同的參數調整演算法 [34]。

1.5 論文架構

本論文一共分為六章，各章內容依序如下：

第一章 緒論：對研究背景、研究動機與目的做說明。

第二章 理論基礎：介紹電磁、磁鐵、機構、感測器等基礎理論原理。

第三章 系統組成設計與配置：引用第二章理論基礎，發展出適用的平台架構。包含驅動器及平台撓性結構設計與感測器擺放。

第四章 系統組成模型與架構設計：平台動態方程式推導與 PID 控制器原理與介紹。

第五章 實驗結果與討論：對平台做各項測試，包含步階、正弦波、圓型，靜態解析度、最大行程...等測試與分析。

第六章 結論及未來展望：本章節將對本論文做個總結。