

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 奈米級三次元量測儀研製-子計劃三: 超精密致動機構之研製

Design and Fabrication of an Ultra Precision Mechanism

計畫編號：NSC 88-2212-E-002-034

執行期限：87/08/01~88/07/31

主持人：張所鉞

執行單位：國立台灣大學機械工程學系

本計畫研製出一單層平面三自由度微定位平台。由拓樸圖集中選用符合條件之拓樸圖，將之轉為一般機構，再以撓性結構將之微型化轉換，利用有限元素模擬，並使用品質工程中之田口方法進行最佳化設計，根據模擬結果決定各設計參數，完成一具有  $XY_z$  三自由度之單層平面三自由度微定位平台的設計，並以實驗印證其功能。

所研製之單層平面三自由度微定位平台為一具有  $10\ \mu\text{m}$  最大位移量、 $300\ \mu\text{rad}$  最大旋轉量及  $30\ \text{nm}$  位移解析度、 $0.9\ \mu\text{rad}$  旋轉解析度之三自由度定位機構。

關鍵詞：精密定位平台、奈米級解析度、壓電致動器。

Precision positioning stages were widely used in many systems. This paper focuses on the development of precision positioning stages with high accuracy, long travel range, and achieving multiple degrees of freedom.

In this study, a single layer 3-dof micro-positioning stage were designed, fabricated, and tested. Finite element analysis and Taguchi method were combined to design the single layer 3-dof micro-positioning stage. Performance of the system was verified by experiments. The FABRICATED single layer 3-dof micro-positioning stage achieved performance of has  $10\ \mu\text{m}$  travel range,  $300\ \mu\text{rad}$  rotary range,  $30\ \text{nm}$  translation resolution, and  $0.9\ \mu\text{rad}$  rotary resolution.

Keyword: precision positioning stage, coarse-fine stage, piezoelectric actuator.

### 一、前言

近年來半導體產業、精密機械工業、生物細胞領域、光電系統、顯微機構、表面工程、STM、SPM 等方面，皆朝微小化、精密化的方向前進，因此對於微米級或次微米級的定位系統需求量日增。

定位技術是製造產品、量測物件尺寸、運轉各式機器的重要技術。本計畫主持人，為使微定位平台能夠滿足各項需求，乃以本實驗室多年來從事精密定位系統的設計、製造及研究作為基礎，特加以精心改良，並輔以實驗測試後，研創出一單層平面三自由度微定位平台，以應用於奈米級三次元量測儀中。

### 二、設計、分析與實驗結果

單層平面三自由度微定位平台之設計圖如圖 1 所示，採用形變式平台，使用壓電致動器作為致動器。

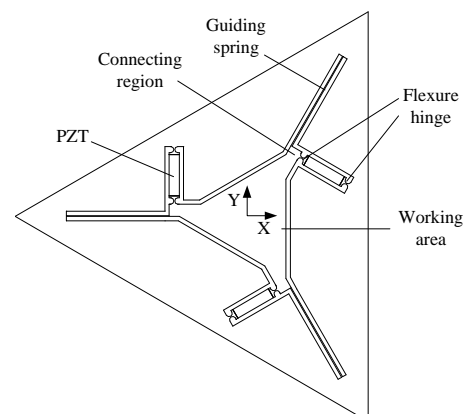


圖 1 單層平面三自由度微定位設計圖

此微定位平台之三自由度為二直行(X 與 Y 方向)移動及一旋轉( $\theta_z$  方向)運動，其包括一固定底座、一工作平台、三支壓電致動器、六個撓性鉸鍊、與三組彈簧導引組；其特徵為致動器一端以撓性鉸鍊連接固定底座，致動器另一端以另一撓性鉸鍊連接工作平台，彈簧導引組一端連接固定底座，彈簧導引組另一端連接工作平台，當致動器受驅動後，提供位移及作用力，產生之位移經彈簧導引組的導引及撓性鉸鍊之旋轉，產生一合成位移效果於工作平台，造成工作平台與固定底座的相對運動，以單層的結構達成平面上 X 軸及 Y 軸的位移運動及  $\theta_z$  軸的旋轉運動，及三軸運動的任意組合。

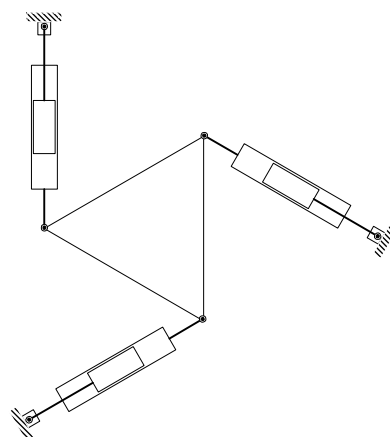


圖 2 最佳輸入配置之一般機構圖

本設計利用不同的輸入電壓組合使三支致動器分別產生輸入位移，利用材料彈性變形的原理，配合平板葉片彈簧及撓性鉸鍊的設計，來達成工作平台之運動。具有精度高、無餘隙、無摩擦、生熱少等優點，又其相較與以往多層組合之微定位平台，更具有一體成形、系統簡單、裝配整合容易、累積誤差小等進步性。

## 2.1 機構設計

為找尋一可用之機構，將由拓樸圖集中找尋。首先使用初選條件來選出部分的拓樸圖，而本文所使用的初選條件分別為：平面三自由度、地桿與輸出桿之相對自由度與機構相同、封閉迴路、獨立迴路數目不大於 2。

其次使用複選條件加以選擇。本文所使用的複選條件分別為：高負載能力、累積誤差小、輸出靈活度高、分析控制容易。再次決定使用的運動鍊型態與輸入位置、輸出位置及地桿位置的配置，並將機構微型化轉換，其中旋轉對使用撓性鉸鍊、滑動對使用壓動致動器。

最後得出之最佳輸入配置拓樸圖轉為一般機構如圖 2 所示。

## 2.2 有限元素分析及尺寸最佳化

細部尺寸的決定，將採用田口方法 (Taguchi method)，此法為一個統計上的最佳化方法，對於欲決定特定幾個設計參數時，有著快速、有效率、無收斂問題的優點，故為本文所採用。

表 1 各設計參數及其最佳化之 level

Taguchi		Level (mm)		
		1	2	3
Stage	Thickness	20	25	NA
Working Area	Edge Length	60	80	100
Flexure Hinge	Radius	1.5	1.75	2.0
	Width	0.3	0.4	0.5
Guiding Spring	Length	30	40	50
	Width	0.5	0.6	0.7
Connecting Region	Length	5	7	9
	Width	2	4	6

田口方法之步驟為：1. 選定設計參數數量及對應之 orthogonal array、2. 決對各設計參數的 level、3. 由使用之 OA 列出各試驗中各參數所對應 level 的選擇、4. 列出田口方法的目標函數、5. 進行試驗、6. 找出各設計參數在各 level 下對應的目標函數值、7. 決定最佳設計下各設計參數尺寸。將結果整理如表 1。

## 2.3 特性分析

為控制平台的運動，以得知使平台到達某一欲達之定位時，所需要之輸入電壓組，因此需要找出轉換矩陣 (transform

matrix)。藉由多組輸入與對應的輸出，以找出轉換矩陣，其關係式為  $[I]_{3 \times n} = [T]_{3 \times 3} [O]_{3 \times n}$ ，其中  $[I]$  為輸入電壓矩陣， $[O]$  為輸出位移矩陣。

列出其 X 軸、Y 軸、 $z$  軸的單位輸入電壓矩陣如下。

$$[O]_x = \begin{Bmatrix} 1\mu \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}, [I]_x = \begin{Bmatrix} -12.6901 \\ 0.0302 \\ 13.9194 \end{Bmatrix}$$

$$[O]_y = \begin{Bmatrix} 0 \\ 1\mu \\ 0 \end{Bmatrix}, [I]_y = \begin{Bmatrix} 7.7950 \\ -15.5869 \\ 7.1202 \end{Bmatrix}$$

$$[O]_z = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \sim \end{Bmatrix}, [I]_z = \begin{Bmatrix} 0.3203 \\ 0.3203 \\ 0.3203 \end{Bmatrix}$$

將各輸入電壓矩陣代入有限元素法模型中，得出的變形圖如圖 3、圖 4、圖 5。

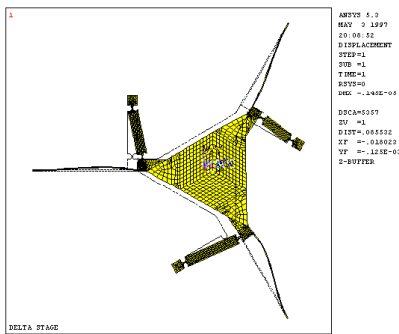


圖 3 X 軸單位輸入電壓矩陣所得變形圖

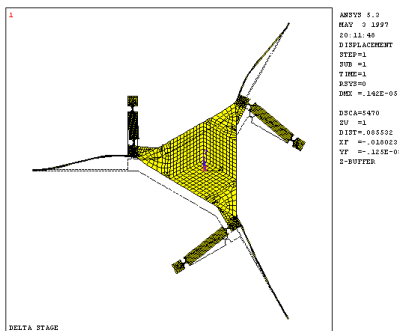


圖 4 Y 軸單位輸入電壓矩陣所得變形圖

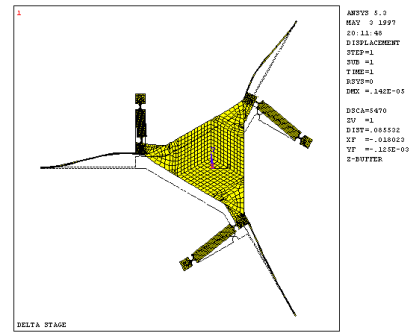


圖 5  $z$  軸單位輸入電壓矩陣所得變形圖

## 2.4 實驗結果

利用精密電容式感測器作為平台的量測工具。若欲使單層平面三自由度微定位平台產生運動，需同時對三支壓電致動器輸入如上之輸入電壓矩陣特定比例關係的電壓訊號。

圖 6 為 X 軸之最高位移解析度量測，X 軸最高位移解析度為 30 nm；圖 7 為 Y 軸之最高位移解析度量測，Y 軸最高位移解析度為 25 nm；圖 8 為  $z$  軸之最高位移解析度量測， $z$  軸最高位移解析度為 0.9  $\mu$ rad。

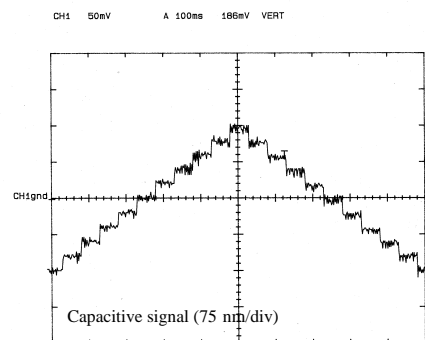


圖 6 X 軸最高位移解析度量測

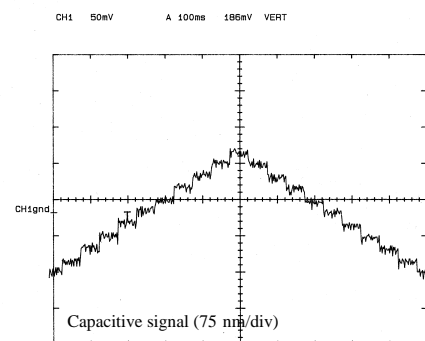


圖 7 Y 軸最高位移解析度量測

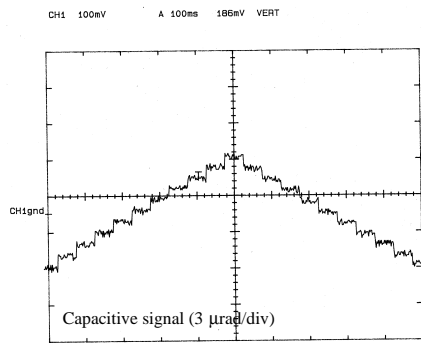


圖 8  $z$  軸最高位移解析度量測

對於單層平面三自由度微定位平台之阻抗頻率響應量測如圖 9，由三支壓電致動器輸入訊號。單層平面三自由度微定位平台前三個共振頻率十分接近，介於 1250 Hz 至 1270 Hz 之間

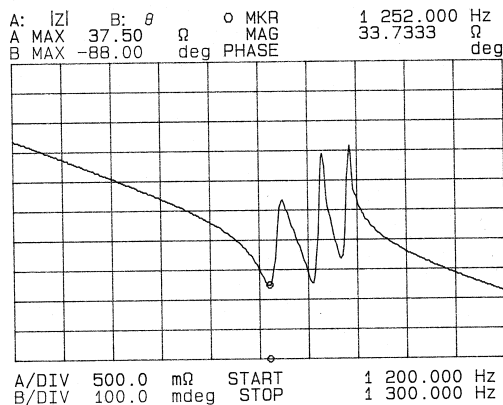


圖 9 阻抗量測

本創作之單層三自由度微定位平台之工作性能經由實驗得到驗證。

### 三、結果與討論

本計畫由拓樸圖集中選用符合條件之拓樸圖，將之轉為一般機構，再以撓性結構將之微型化轉換，利用有限元素模擬，並使用品質工程中之田口方法進行最佳化設計，根據模擬結果決定各設計參數，完成一具有  $XY_z$  三自由度之單層平面三自由度微定位平台的設計，可減少多層結構的裝配誤差，並以實驗印證其功能。

根據實驗的結果，系統的性能符合所訂定的工程規格，因此可以確定本計畫為一成功的設計。未來的計畫中，將以軟體控制平台三軸的運動，設計較佳之人機介面，並提

高各軸的位移解析度與運動速度，以期能夠達成快速高精度的定位目標。

定位技術是製造產品、量測物件之尺寸、運轉各式機器的重要技術。本文發展之單層三自由度微定位平台可用於需要定

位裝置的各種場合，如工具機、組立調整裝置、半導體製造設備、精密量測儀器、實驗用設備等。

### 四、參考文獻

- [1] Fredric E. Scire and E. Clayton Teague, "Piezodriven 50- $\mu$ m Range Stage with Subnanometer Resolution," Rev. Sci. Instrum., Vol. 42, No. 12, pp. 1735-1740, 1978.
- [2] Eiichi Furukawa, Makoto Mizuno and Toshio Doi, "Development of A Flexure-Hinged Translation Mechanism Driven by Two Piezoelectric Stacks," JSME International Journal, Series C, vol. 38, no. 4, pp. 743-748, 1995.
- [3] S. H. Chang and B. C. Du, "A Precision Piezodriven Micropositioner Mechanism with Large Travel Range," Rev. Sci. Instrum., vol. 69, no. 4, pp. 1785-1791, 1998
- [4] S. H. Chang, S. S. Li, " A high resolution long travel friction drive micropositioner with programmable step size," The Review of Scientific Instruments, vol. 70, no. 6, pp. 2776-2782, Jun. 1999.
- [5] S. H. Chang, C. K. Tseng, and H. C. Chien, "An Ultra-precision  $XY_z$  Piezo-micropositioner-Part I: Design and Analysis," IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 46, no. 2, pp. 897-905, July, 1999.
- [6] S. H. Chang, C. K. Tseng, and H. C. Chien, "An Ultra-precision  $XY_z$  Piezo-Micropositioner-Part II: Experiment and Performance," IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 46, no. 2, pp. 906-912, July, 1999.