

# 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 (3/3)

### 子計畫三：超精密長距離致動機構研製

### Design and Fabrication of an Ultra Precision Mechanism

計畫編號：NSC 89-2212-E-002-131

執行期限：89/08/01~90/07/31

主持人：張所鉉

執行單位：國立台灣大學機械工程學系

#### 一、 中文摘要

奈米級定位是光電、半導體方面的重要技術。微定位平台可廣泛應用於各式系統，可發展方向有：更高精度、更長行程、單層結構實現更多自由度。

配合奈米級三次元量測儀之粗調平台及光柵之精度，本計畫研製出 X-Y 二自由度微定位平台，所研製之微定位平台要求為一單軸具有  $10\mu\text{m}$  最大位移量與 100 奈米解析度。

關鍵詞：奈米定位平台、壓電致動器、奈米工程。

#### Abstract

Nanometer positioning stages were widely used in optical, semiconductor technology. This project focuses on the development of precision positioning stages with high accuracy, long travel range, and multi degrees of freedom.

In order to suit the precision of nano-CMM, this project designs and fabricates a X-Y stage with  $10\mu\text{m}$  traveling range and 100nm resolution.

**Keyword** : nano positioning stage, piezoelectric actuator, nano-technology.

#### 二、 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。而精密定位是製造產品、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，研創出四自由度微定位平台，以應用於奈米級三次元量測儀中。

[1]-[5]

#### 三、 規格修改

原本之規格，因粗調平台和量測探頭的規格修改，所以也隨之改變。將原先之四自由度平台修改為 X-Y 二自由度，配合粗調平台及光柵之精度，規格改為行程大於  $5\mu\text{m}$ ，解析度大於  $0.1\mu\text{m}$ 。

粗動平台之台面大小為  $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，所以細調平台以此為基本尺寸來加以設計。由於細調平台之行程需要大於  $5\mu\text{m}$ ，而在此選用的壓電致動器 AE0505D16 在 100V 的操作電壓下，有  $10\mu\text{m}$  之位移量。因此，不需要另外設計機構來放大行程，只需要直接以壓電致動器直接推動平台即可。

#### 四、 細調平台設計與分析

#### 4.1 基本機構形式：

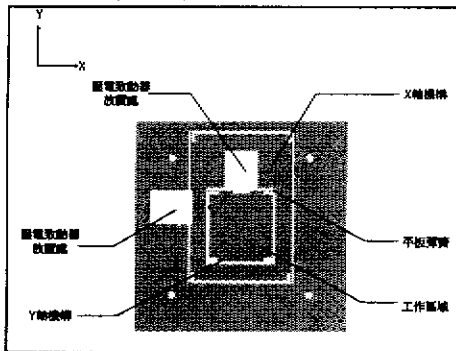
若以壓電致動器直接推動平台，且要達成二自由度，就需要兩支壓電致動器來驅動。而為了避免軸與軸的干涉出現，於是採用一軸在另一軸的機構內，如此一來，當 X 軸的機構移動時，對 Y 軸機構則不會有 X 軸方向的干涉。反之，當 Y 軸的機構移動時，則對 X 軸的機構不會有 Y 方向的干涉出現。如此一來，在系統的誤差控制上，可以更簡易的達成。

為了配合粗調平台，細調平台之工作區域最好位於正中央，且考慮到光柵的裝設，因此工作區域側面至少要有 25 mm × 15 mm 之面積，以方便光柵黏貼於其上。

#### 2.2 X-Y 軸之機構設計：

首先，由於工作區域位於中央，且有一定的大小限制，故先決定出工作區域的大小。為了方便安裝光柵，以及結構之對稱性，所以將工作區域定為 30 mm × 30 mm，平台的整體大小為 100 mm × 100 mm。以此為前提，來設計 X 及 Y 軸結構。

將 Y 軸機構裝置在 X 軸機構內，各軸均是以平板彈簧來支撐，而平板彈簧的擺設呈平行連桿機構，如此一來，可以強制機構作單一方向的運動，減少側向偏移的發生。圖一為機構的上視圖。



圖一、細調平台上視圖

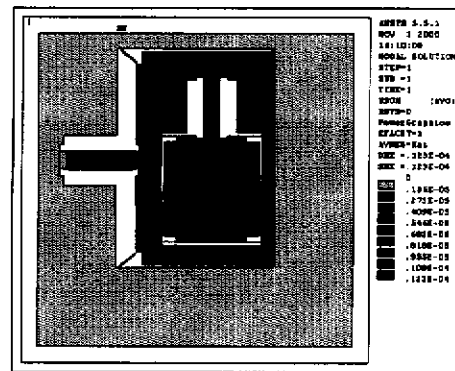
#### 4.2 有限元素分析：

將設計好之平台，建構有限元素之模型，以 ANSYS 分析模擬，決定各部分之詳細尺寸。其中，最重要的尺寸為平板彈簧之長度與寬度。由於平台將會以線切割加工製作，而線切割加工機台的極限，對於 0.3 mm 以下的寬度，良率以及誤差會有問題，所以平板彈簧的寬度最小要訂為 0.4 mm 以上。因此在許多尺寸受限於體積及

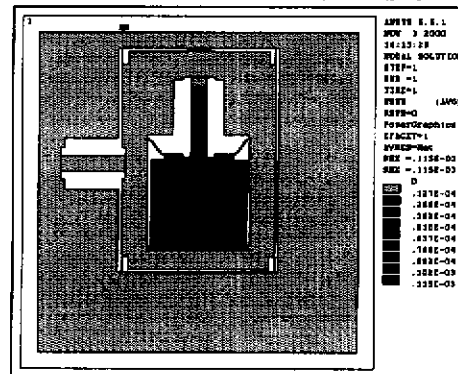
其他裝置的因素，真正所能決定的參數也僅為平板彈簧的長度和寬度。

在經過數次不同參數分析後，在 100V 的電壓下，有最大位移量及最小側向偏移的彈簧，長度為 5 mm，寬度為 0.4 mm。但是考慮到安裝壓電致動器時，需要使用較大的預應力，才能將壓電致動器裝入。所以此時將寬度改為 0.5 mm，以免在安裝時，造成彈簧的損壞。而以此參數分析出來的結果，最大行程與 0.4 mm 相差不多，所以加工時便採用此數值。

圖二為 X 軸壓電致動器給予 100V 電壓下，工作區域的位移。圖三為 Y 軸壓電致動器給予 100V 電壓下，工作區域的位移。



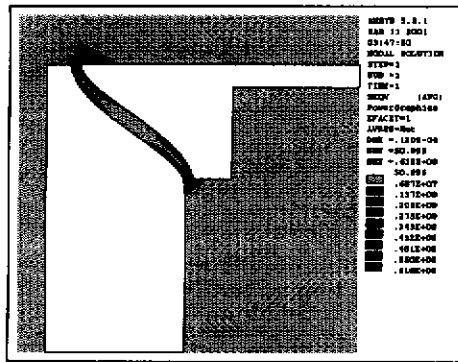
圖二、100V 下的 X 軸位移量



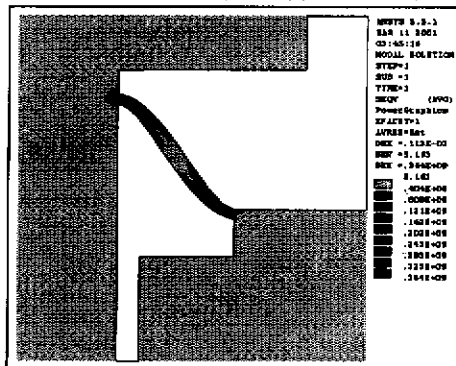
圖三、100V 下的 Y 軸位移量

由 ANSYS 分析，當壓電致動器在 100V 的電壓下，工作區域的位移量，在 X 軸或是 Y 軸方向，均可達到 11 μm 左右，所以彈簧的參數是可以被採用的。

而由於彈簧部分的尺寸甚小，所以要避免因為過大的變形量而損壞，所以在彈簧部分，特別分析其應力值。圖四為 X 軸在 100V 時，彈簧的應力值，圖五為 Y 軸在 100V 時，彈簧的應力值。



圖四、X 軸彈簧的應力值



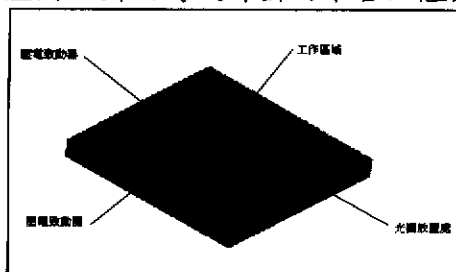
圖五、Y 軸彈簧的應力值

在將彈簧處的最大應力值求出後，和材料的降伏強度比較，此時的應力值遠小於降伏強度，故此設計是可以接受的。

平台之振動模擬，主要看振動之模態以及振動之頻率，預先估計第一共振頻率，要使此頻率和工作頻率相隔較遠，以減少共振的影響。

由分析模擬所得，第一共振頻率為 2134Hz，第二共振頻率為 3147Hz，第三共振頻率為 3686Hz，第四共振頻率為 9155Hz，由此模擬發現，此共振頻率高，所以在一般情況時，並不會去達到此頻率。

而後，將固定孔位的位置決定出，並且在工作區域上加上螺孔，以便固定被量測物，在各種尺寸均已決定後，繪出平台之立體圖。圖六為設計出之平台立體圖。

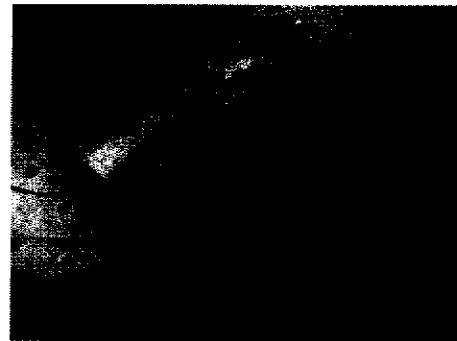


圖六、細調平台立體圖

## 五、細調平台性能量測

### 5.1 平台實體：

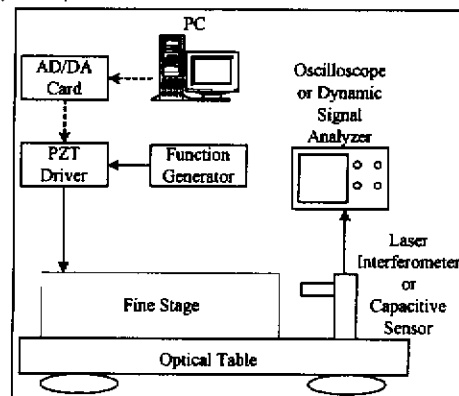
將設計好之細調平台送付加工，而當加工完畢，便將壓電致動器裝置上去，進行實驗的量測。細調平台的實體圖如圖七所示。



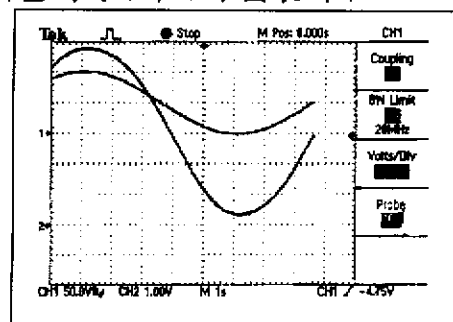
圖七、X-Y 平台實體圖

### 5.2 實驗與量測：

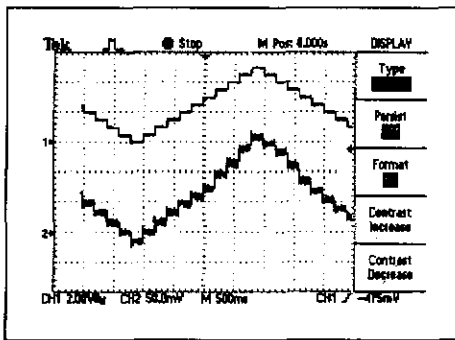
以波形產生器，將極低頻的正弦波輸入壓電致動器，然後利用雷射干涉儀或量測細調平台的位移量，則可得到輸入電壓與微定位平台輸出位移間之關係，並量測微定位平台的最大位移。並利用個人電腦及 AD/DA 介面卡撰寫階梯波波型訊號，對細調平台輸入連續的階梯波電壓訊號，量測細調平台的最高位移解析度，實驗配置如圖八所示。



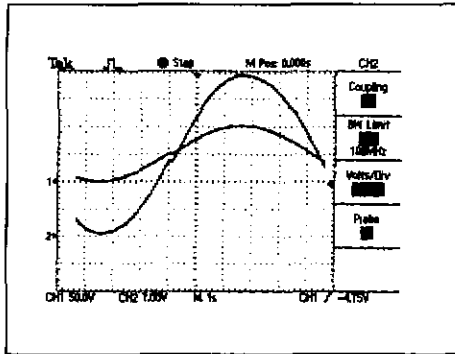
圖八、X-Y 平台實驗量測配置圖  
所量測的結果如下圖表所示：



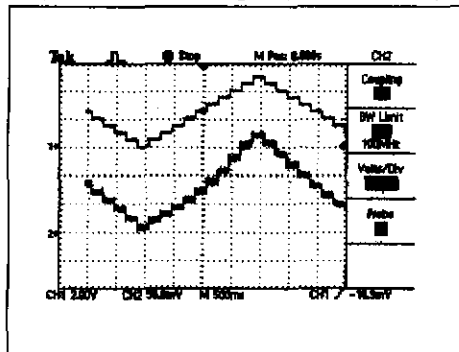
圖九、X 軸之電壓與位移量關係



圖十、X軸之解析度量取



圖十一、Y軸之電壓與位移量關係



圖十二、Y軸之解析度量取

從上面的圖表，在電壓與位移量的關係方面，均是給予 100V(P-P)之電壓值(CH-1)，然後利用雷射干涉儀量取信號，每 2 μm 之位移會有 1V 的電壓信號輸出(CH-2)，所以可計算出最大位移量，以及相對之位移電壓關係。

而解析度的量取，則是輸入階梯波，然後量取雷射干涉儀之信號，計算可解析之階梯每一格之位移量。經過計算，各軸之性能如下表一：

表一、實驗結果

	最大位移量	最高解析度
X 軸	11μm	35nm
Y 軸	11.2μm	33nm

## 六、後續工作

接下來之工作，要將細調平台和粗調平台結合，並且將 D/A 卡裝置入控制電腦內，並且和光柵，粗調平台之信號相連結，以輸入的補償信號，做適當的位移，達到高精度的定位功能。

## 七、參考文獻

- [1] Fredric E. Scire and E. Clayton Teague, "Piezodriven 50- m Range Stage with Subnanometer Resolution," Rev. Sci. Instrum., Vol. 42, No. 12, pp. 1735-1740, 1978.
- [2] 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.
- [3] S. H. Chang, C. K. Tseng, and H. C. Chien, "An Ultra-precision  $XY\theta_z$  Piezo-micropositioner-Part I: Design and Analysis," IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol. 46, No. 4, pp. 897-905, July 1999.
- [4] S. H. Chang, C. K. Tseng, and H. C. Chien, "An Ultra-precision  $XY\theta_z$  Piezo-Micropositioner-Part II: Experiment and Performance," IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol. 46, No. 4, pp. 906-912, July 1999.
- [5] S. H. Chang and S. S. Li, "A high resolution long travel friction drive micropositioner with programmable step size," The Review of Scientific Instrument, Vol. 70, No. 6, pp. 2776-2782, Jun. 1999.