

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

總計畫：奈米級三次元量測儀研製(3/3)

Design and Fabrication of a Nano Coordinate Measurement Machine

計畫編號：NSC 89-2212-E-002-133

執行期間：89/08/01 - 90/07/31

主持人： 范光照 fan@ccms.ntu.edu.tw

國立台灣大學機械工程學系

一、中文摘要

本計畫為國科會整合型研究計畫「奈米級三次元量測儀研製」總計畫的第三年度成果報告,總體目標是以三年期間發展出一台奈米級三次元量測儀,包括結構設計,壓電式長行程驅動系統,及光學式探頭,預計規格為20×20×10釐米,精度為10奈米。本年度之報告結合各子計畫之研究成果。在充分的團隊合作下,目前已順利完成第三年度的預期進度,研究成果包括:(1)奈米級三次元量測儀結構之設計與分析,(2)超精密量測探頭與量測軟體的研製,(3)超精密致動機構之研製。

關鍵詞：奈米級三次元量測儀結構、自動聚焦探頭、精密定位平台、超精密量測

Design and Fabrication of a Nano Coordinate Measurement Machine (3/3)

Abstract

In this report we present the progress of the joint research project entitled "Design and Fabrication of a Nano Coordinate Measurement Machine". The topics of the project are to develop a Nano-CMM, which expected measuring range is 20mm*20mm*10mm and resolution is

10nm. The tasks of the investigated Nano-CMM include: design and analyze a Nano-CMM structure, precision positioning stages and ultra precision optical probe.

Moreover, we report the third-year research results of the sub-projects, which is composed of three projects: (1) Design and Analysis of A Nano-CMM Structure, (2) The Development of the Ultra Precision Probe and Measurement Software, (3) Design and Fabrication of an Ultra Precision Mechanism. By integrating all sub-projects, the system for Nano-CMM has been achieved in the third year.

Keywords: Nano-CMM Structure, Auto-focus probe, Precision positioning stage, Ultra precision measurement

二、計畫緣起與目的

本研究計畫,在計畫整合方面由范教授負責總計畫之規畫及執行,總體計畫由子計畫一“奈米級三次元量測儀結構之設計與分析”、子計畫二“超精密量測探頭與量測軟體的研製”與子計畫三“超精密致動機構之研製”分工整合而成,計畫目標是以三年期間完成“奈米級三次元量測儀研製”系統之設計、製作及測試。系統量測範圍為三軸20×20×

10 釐米，精度之目標為 10 奈米。

近年來隨著科技的進步，半導體積體電路微電子技術與計算機技術的快速發展，積體電路在我們的生活中扮演者越來越重要的角色，不論是在電腦工業、消費性電子產品、通訊產品，都有重要的應用。近年來我國半導體產業、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，因此對於工具、機件的精度要求越來越重要，在檢測上也需要精度的再提昇。尤其於微機械元件越做越小，晶片的最小線寬越來越細的情況下，傳統的三次元量測儀已不敷使用。故發展奈米級的三次元量測儀技術，以應現今各種產業之用，乃當務之急。

現有各國的奈米技術研究均侷限於 1-D 及 2-D 範圍，有鑑於此，本研究群擬朝 3-D 發展出一台奈米級三次元量測儀，提升我國高精密機械系統之研發能力，使得高精密自動化產業更為進步。

總體計畫針對下列各項關鍵技術進行研究與開發。

1. 奈米級三次元量測儀結構之設計與分析：

本研究的目的是在於針對奈米級三次元量測儀之結構部分進行設計與研製，初始設計階段首先根據產品之性能需求訂定產品規格，接著經由專家系統之協助進行概念設計以決定結構主要尺寸。細部設計階段則經由有限元素之結構靜態分析、熱平衡分析及熱變形分析，利用調整細部設計使滿足各種結構特性要求。

2. 超精密量測探頭與量測軟體的研製：

本研究的目的是希望建立一套完整的系統，利用市售的光碟讀取頭，加以改進，發展出一個超精密雷射聚焦探頭，

希望能以此探頭量測物體的輪廓或是表面粗糙度，並期望本探頭能夠有次微米級以下的精度。初期將完成奈米級光學聚焦探頭的研製，之後預期將改進為自動聚焦探頭，最後配合三次元機台之整體架構，將量測探頭與三次元結合，發展出一套完整的軟體。

3. 超精密致動機構之研製：

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。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。

本研究為使微定位平台能夠滿足各項需求，乃以多年來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，研創一四自由度微定位平台，以應用於奈米級三次元量測儀中。

三、研究方法與研究結果

目前已順利完成第三年度的預期進度，設計出奈米級三次元量測儀，其規格與結構示意圖如表 1、圖 1 所示。整體的結構由子計畫一“奈米級三次元量測儀結構之設計與分析”進行設計與分析，其主要結構包含花崗岩平台、橋架及 X/Y 平台等。對於橋架的設計則採用固定式橋架，其橫樑是固定於支柱上，而平台是可移動的。此固定式橋架之剛性較大，可得到較高的精密度。其中橫樑及支柱均採用花崗岩製作。X/Y 平台則採用 Anorad 公司製作的鋁合金平台，並以壓電陶瓷線性馬達 [Piezo Ceramic Linear Moter (PCLM)] 加以驅動。X 平台上置放 PZT-微動平台，此微動平台為子計畫三“超精密致動機構之研製”的研究項目。橫樑上裝設一滑動定位機構，並於滑動定位機構上同時安裝自動聚焦量測探頭與 CCD，藉由滑動機構的

定位，使該系統能同時進行三維表面輪廓粗糙度與二維形狀尺寸量測，機台上另設計兩組 L.D.G.I. 光學位置量測系統，作為 PCLM 之雙軸定位精度補償輸出，上述均為子計畫二“超精密量測探頭與量測軟體之研製”的研究項目。其中 L.D.G.I. 光學位置量測系統之架構如圖 2 所示，將反射式全像繞射光柵固定在移動平台上，隨著平台做線性的移動，再適當地調整鏡組，使光感測器能接收到干涉條紋，此光感測訊號利用傳統的 4 分割技術與振幅細分法，並結合 DSP 作高速資料處理。目前此系統使用 1200 條/mm 線性光柵感應器(即光柵常數 $d=2\lambda=0.8333\mu\text{m}$)，因此利用 1024 細分割後之系統解析度為 $(d/2)/(4*1024)=0.0001017\mu\text{m}\approx 0.1\text{nm}$ 。

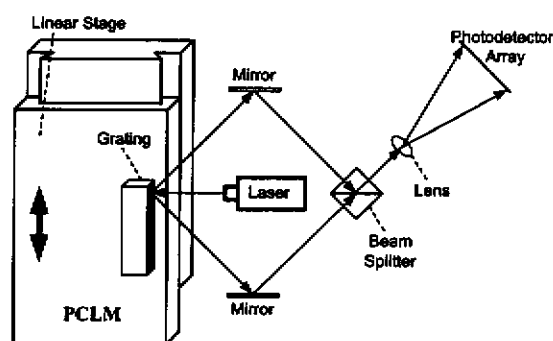


圖 2 平台位移量測架構圖

各子計畫第三年度之研究方法與成果詳見各研究報告，主要研究成果概述如下：

1. 奈米級三次元量測儀結構之設計與分析：

本計畫第三年度進行成型機之最佳化設計，並量測結構性能以驗證設計及分析其正確性。主要成果包含下列項目：

- (1) 建立結構最佳化。
- (2) 建立近似法於最佳化問題之中。
- (3) 建立靈敏度分析方法。
- (4) 結構靜態特性最佳化設計。
- (5) 結構動態特性最佳化設計。
- (6) 靜、動態特性最佳化結果比較。
- (7) 結構性能量測。

2. 超精密量測探頭與量測軟體的研製：

本計畫第三年度目標：(1) 電路板電腦佈局與洗板，(2) 整機連線與精度校正，(3) 誤差補償，(4) 整合量測軟體開發。

目前已順利研製出一超精密奈米級光學聚焦探頭。此探頭系統加入遲滯補償後，於 $200\mu\text{m}$ 的量測範圍內，其準確度達 $0.2\mu\text{m}$ ，對於表面輪廓量測上具有極佳的表現。且配合三次元機台之整體架構，將量測探頭與三次元結合，發展出一套完整的軟體。

表 1 奈米級三次元量測儀初型要求規格

機台尺寸, mm ³	360x380x380
機台重量, Kg	20
量測範圍, mm ³	20x20x10
解析度, nm	10
精確度, nm	50

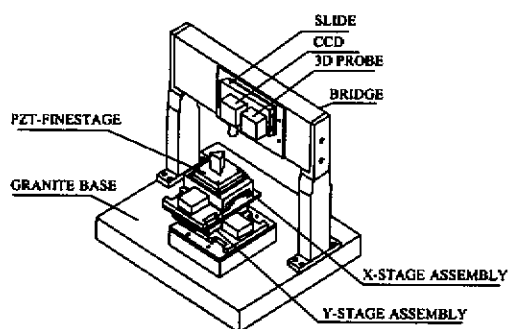


圖 1 奈米級三次元測量儀之系統架構示意圖

3. 超精密致動機構之研製：

本計畫第三年度配合奈米級三次元量測儀之粗調平台及光柵之精度，目前已順利研製出一X-Y二自由度微定位平台。主要成果包含下列項目：

- (1)根據第二年的實驗結果進行XY定位機構的改良，並作最佳化設計。
- (2)進行超精密XY長行程微定位機構的定位精度補償。
- (3)控制方式與量測系統之改良完成一10 nm解析度，50 nm準確度之XYZ定位機構。

整機系統整合

(1)硬體整合

各子計畫的硬體配置與整合如圖3所示，分成X,Y雙軸定位補償系統、三維表面輪廓粗糙度量測系統與二維形狀尺寸量測系統等三大系統。圖中循著箭頭方向亦能清楚看出其量測控制流程。今由PC端的串列傳輸埠(RS232)輸出一位置控制碼經控制器驅動PCLM馬達，使PCLM平台移動，此時同步由兩組L.D.G.I.光學位置量測系統，將PCLM之雙軸位置數值輸出，並由PC端的8255卡接收與原輸出的位置控制碼比較，得出位置補償值，進而將此位置補償值經D/A卡轉換成類比訊號、放大，驅使微動平台作微小位移補償，使之達精密定位。於定位完成後，同步取回由超精密自動聚焦探頭所量測的待測物表面性質，進行分析。

於三維表面形貌量測前，可應用二維形狀尺寸量測系統針對待測物形狀尺寸（如邊緣尺寸、孔直徑...等）作一初步檢測。該系統亦可作一些如PCB、BGA...等特殊用途的量測。

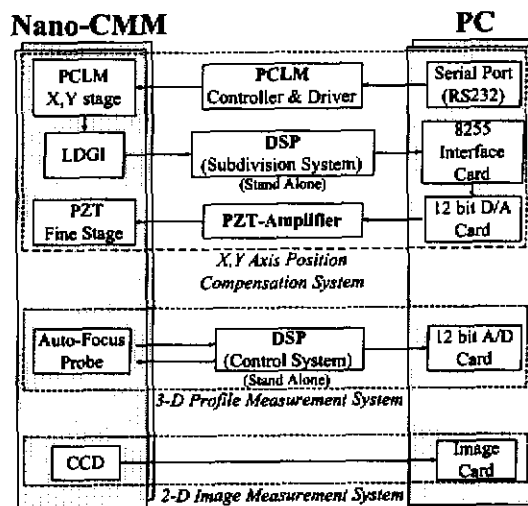


圖3 Nano-CMM與PC間的配置流程圖

(2)軟體整合

a. DSP 量測系統

為減少軟體開發時間並增加可讀性，DSP量測系統主要使用C語言撰寫，部分低階動作無法以C語言撰寫，以及一些關鍵性的程式為提高效率才使用組合語言發展（亦即將C語言與組合語言整合成單一程式）。最後由個人電腦上所組譯完成的程式，下傳到一ROM模擬器上，進行除錯工作。如此可以省去不斷重複燒製EPROM的麻煩，待程式完成後，將此程式碼修改成可燒錄的格式，並有效的配置到適當的記憶體區塊，即可獨立運作。

b.系統軟體設計

為充分掌握各子計畫間資料的傳輸與執行效率。程式發展皆統一採用Borland C++ Builder撰寫，整體量測功能如圖4所示，整合了三維（圖5）、二維（圖6）量測系統與資料分析系統，於資料分析系統中更連結各種具量測資料處理功能的軟體（如粗糙度、真直度、真平度軟體...等）。

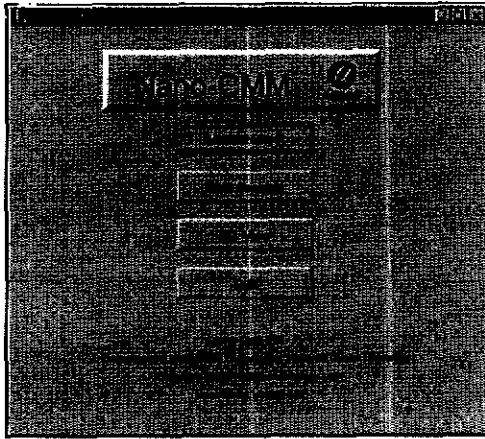


圖4 Nano-CMM 整體量測功能圖

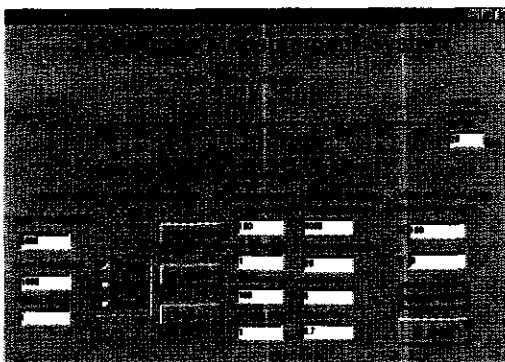


圖5 Nano-CMM 三維量測功能圖

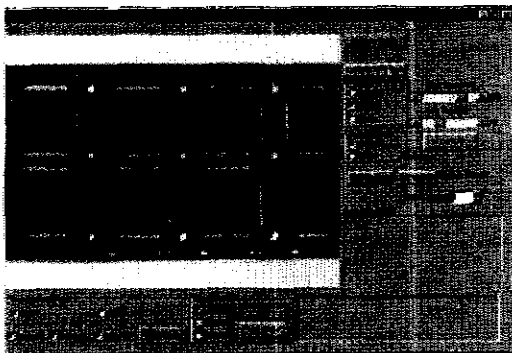


圖6 Nano-CMM 二維量測功能圖

量測環境控制

Nano-CMM 實體圖如圖7所示，為使量測條件符合ISO標準，亦即於 20°C 時可允許最大濕度為45%，將Nano-CMM置放於恆溫恆濕控制系統中，如圖8所示，並另設計一抑振系統於Nano-CMM下方，隔絕振動所造成的量測誤差。

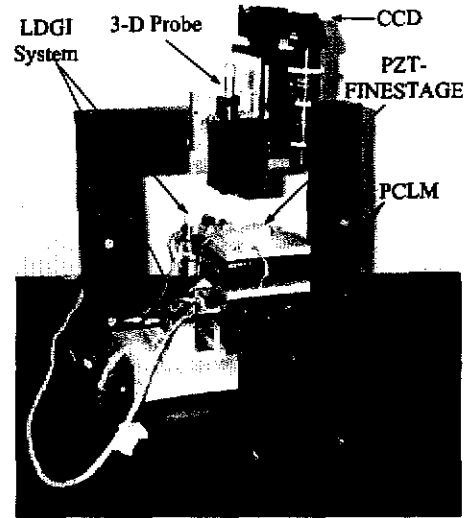


圖7 Nano-CMM 實體圖



圖8 恆溫恆濕控制系統實體圖

四、結論與討論

本計畫執行三年來，各子計畫在研究設計上累積不同的技術與經驗，藉相互討論交流而產生合作研發上的綜效，且於執行期間彼此支援與合作，因而研究人員間形成默契，互相瞭解彼此間的關連性，遇到跨技術領域的難題可快速有效地予以解決，如此團隊合作研究下，促使順利研製出一『奈米級三次元量測儀』，預期本研究結果將可對我國高科技產業之發展有極大之影響，如半導體業、電子業、模具業等，使得高精密自動化產業更為進步，且對我國量測工業的整體技術一定大有提升。