

超精密量測探頭與量測軟體的研製(I)

The Development of the Ultra Precision Probe and Measurement Software

計畫編號：NSC 88-2212-E-002-032

執行期間：87/08/01 - 88/07/31

主持人： 范光照 台灣大學 機械工程學研究所

一、中文摘要

本計畫為國科會整合型研究總計畫「奈米級三次元量測儀研製」之子計畫二「超精密量測探頭與量測軟體的研製」，本計畫第一年度目標：(1) 市售 CD-ROM Pickup Head 的調查、選用、及設計圖與電路圖取得，(2) Pickup head 機構組成分析及電路介面測試分析，(3) 自製自動功率控制電路與訊號處理電路，(4) 雛型精密光學探頭完成系統校正與性能測試。

本計畫目前已順利完成第一年度的預期進度，研製出一超精密奈米級光學聚焦探頭。此探頭系統具有 30nm 精度與 10 μ m 的量測範圍，對於表面輪廓量測上具有極佳的表現。第二年預期改進為自動聚焦探頭，量測範圍為 200 μ m，精度為 30nm。

關鍵詞：CD 雷射探頭、聚焦探頭、失焦誤差訊號、超精密量測。

The Development of the Ultra Precision Probe and Measurement Software (I)

Abstract

This subproject "The Development of the Ultra Precision Probe and Measurement Software" is one of the joint research projects entitled "Development of a Nano-CMM". The topics of the subproject are to develop a key technology of ultra precision optical probe for the Nano-CMM, and

its measurement software. The tasks of the investigated ultra precision optical probe include: optical system design, optical characteristic analysis, signal process electronic board, and measurement software.

In the first year, we developed a focus probe with measuring range 10 mm and accuracy 30nm. So we have an excellent performance in the surface profile measurement. In the second year, we wish to expand to an autofocus probe with measuring range 200 mm and accuracy 30nm.

Keywords: CD pickup head, focusing probe, focus error signal, 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，總體計畫目標是以三年期間完成一奈米級三次元量測儀之設計、製作與測試，以推動基礎技術研究，提昇我國高精密機械系統之研發能力。

由於近年來機械工業的發展逐漸朝精密機械邁進，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。微米級的探頭逐漸不敷使用，因此本子計畫欲開發一套新的量測探頭，寄望對量測精度的提昇有正面的

助益。

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。

非接觸式的探頭雖然有磁光等方式，但是主要仍以光學為主，可分為三類：1.光學切換式（Optical switching sensor）2.CCD（Coupled Charged Device）取像技術、3.PSD（Position Sensitive Detector）檢測方式，在此我們以 PSD 為主。

而 PSD 檢測，目前成熟的雷射光學探頭除了採用雷射三角量測法（Laser Triangulation Method），雷射自動聚焦技術（Laser Autofocus Method）外，另外也有雷射共焦回饋（Laser confocal feedback method）方式，雷射散射法（Laser Scatter Method）與雷射干涉法（Heterodyne Interferometer）等。

為了提高精度及不傷害表面的情況下，採用光學的方式，來進行表面輪廓與粗糙度的檢測。而市售的商用光碟機內之讀取頭，其特性與此亦有相似之處，或許可以用以試之。

三、研究方法與研究結果

量測探頭簡介：

1. 探頭系統

本雷射聚焦探頭是以市售的光碟讀取頭為基礎，加以改良；基本上，若系統為對焦狀態，則感測器的感光電壓相等，其失焦誤差信號（Focus Error Signal）輸出為零，若待測物表面位置偏離物鏡的前焦面時，則四象限感測器處於非平衡狀態，此時因電壓差而產生失焦誤差信號，此信號回授至控制器驅動音圈馬

達，迫使物鏡上下調整，讓系統重回合焦狀態。

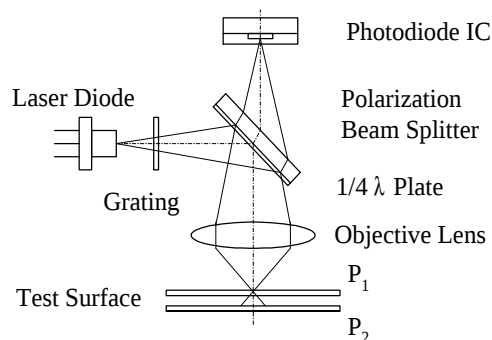


圖 1 雷射聚焦探頭的內部結構圖

一旦建立物鏡之位移和輸出電壓間的關係後，便可以在完成聚焦動作後由聚焦驅動器（Focusing actuator）的輸入電壓對應得到聚焦透鏡的移動距離，進而決定受測物表面各點的相對高度變化，如此便足以得到表面之輪廓。

本研究將音圈馬達（Voice Coil）鎖住直接切入 S - 曲線，利用其線性區域穩定良好的特性，於量測時先將光學讀取頭與待測點的距離恰好切入在 S - 曲線的線性區域內，再根據 FES 的輸出電壓，對照其和受測物位移的關係，便可以找出量測點的對應高度。如此，當受測物移動時，便可得到各量測點相對高度變化。

2. 雷射自動功率控制

由於雷射二極體之輸出功率對環境溫度甚為敏感，於開機時瞬間之巨大電流將造成 LD 的損壞，在此我們利用回授控制的原理，製作一 APC（Automatic Power Control）電路（圖 2）控制雷射功率輸出的穩定性，來達到雷射自動功率控制的目的。

圖 3，即是利用光感測器，讀取雷射光的強弱，轉為電壓值，做為雷射輸出的指標，以此為縱軸；並以時間為橫軸，

對雷射輸出做一長時間觀察。。可發現當時時間逐漸增加時，利用 APC 回授的電源電路，較一般的控制電流電路，更為穩定，雷射的輸出不會隨著時間而衰減。

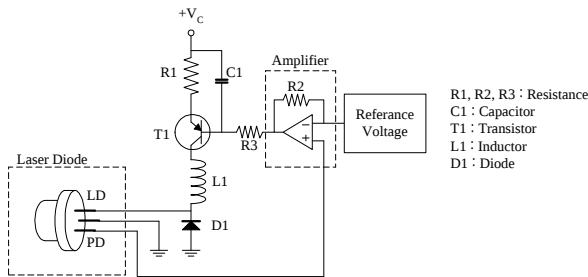


圖 2 APC 電路圖

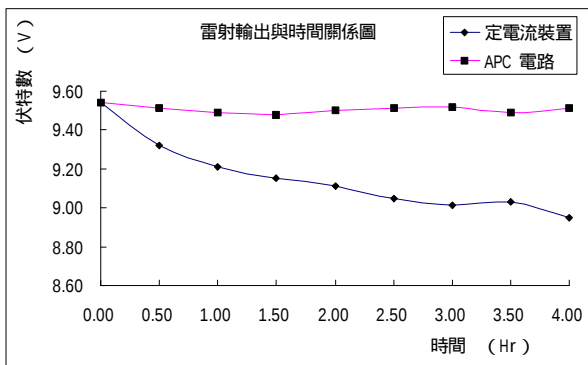


圖 3 雷射輸出與時間的關係

3. 光學聚焦方式探討

應用光學式的量測探頭，首先必須瞭解其聚焦方式，常見的有三種：像散法 (Astigmatic Method)、刀緣法 (Knife-Edge Method)、光點法 (Spot Size Method)，但是因為刀緣法無法正規化，光點法的曲線為非線性，本研究只針對我們所用的像散法，加以敘述。

所謂像散是指成像時橫向與縱向的放大率不同，因此造成像點的失真，利用此一像散特性做為量測的依據，並結合位置感測元件 (PSD)，當透鏡的垂直焦距與水平焦距不同，如圖 4，則物體若偏離透鏡前焦面位置時，在四象限光

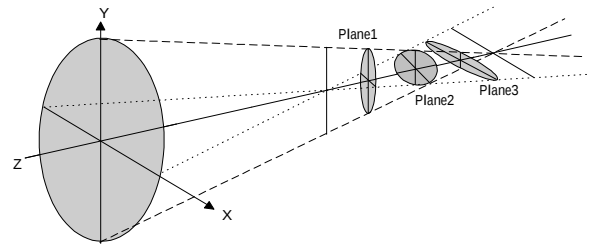


圖 4. 像散法原理示意圖

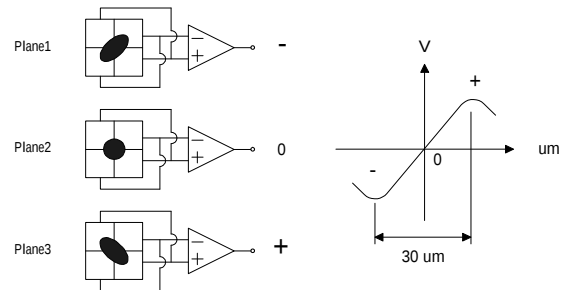


圖 5. 四象限感測器之訊號處理與 S-曲線

感測器上之成像光點呈現橢圓變化 (Plane 1、Plane 3)，當物體於透鏡之正焦位置時，成像光點呈現圓形 (Plane 2)，經訊號處理，即四象限之 $(A+C) - (B+D)$ ，可得失焦误差訊號的 S-曲線，如圖 5，若觀察 S-曲線，可發現自波峰到波谷的範圍大約是 $30\mu\text{m}$ ，若取其線性區來作對映，將略小於此值，以 Sony 的 CD 讀取頭而言，其線性區大致上都有 $10\mu\text{m}$ 左右。

系統架設與量測

1. S 曲線的量測架設

因本雷射聚焦探頭利用像散法為根據，所以有 S 曲線的產生，在這裡我們利用一精密微動平台 (Parker Microstage) 當做驅動軸，推動探頭。圖 6 即是量測 S 曲線時的架設圖。圖中我們將探頭訊號利用放大器加以處理，最後進入 A/D 轉換，再以電腦讀值，加以記錄。整個的量測以電腦為中心，首先將 Parker 微動平台歸零，而後每次移動 $1\mu\text{m}$ ，到達定位時，觸發 A/D，抓取

探頭的輸出訊號 FES 與 SUM, 我們再利用電腦將 FES 除以 SUM, 對信號加以正規化 (Normalize), 以減低表面反射率的影響, 如此我們可以得到平台位置與探頭輸出 ($\frac{FES}{SUM}$) 的對應關係, 此便是 S 曲線。

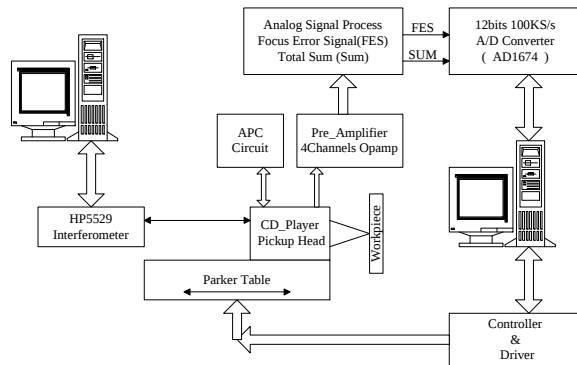


圖 6 S 曲線量測架構圖

取得 S 曲線後, 取中間線性區域, 找出位置與電壓的關係, 即斜率值, 此便是對應參數。

2. 表面輪廓的量測架設

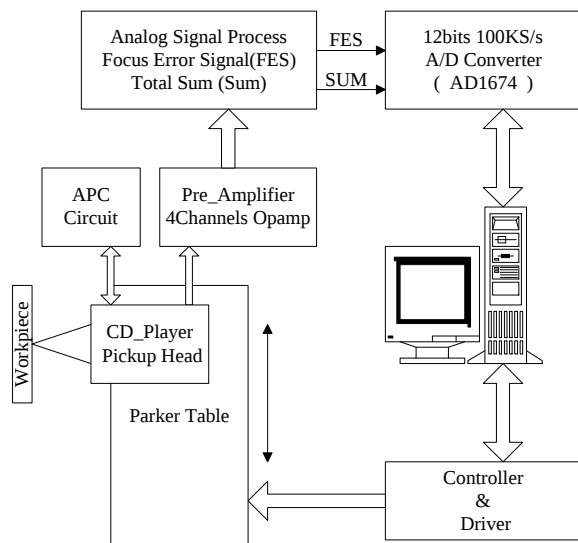


圖 7 表面輪廓量測架構圖

利用前面的方式取得 S 曲線的對應參

數, 我們便可進行表面檢測, 其系統架設如圖 7 所示, 此方式與 S 曲線的量測方式近似, 只是把探頭的方向旋轉 90 度, 利用電腦驅動 Parker 的微動平台, 每移動一位置, 則讀取探頭的量測值, 最後得到一條高高低低表面曲線。

實驗結果與分析

我們量測一已被蝕刻的矽晶圓表面, 此表面為光阻 (Photo Resistance, 簡稱 PR) 所披覆, 經蝕刻後造成一條條的光柵軌跡, 由於並未將光阻完全蝕刻完畢, 所以其表面皆是相同的材質, 對於我們而言, 即是相同的反射率。利用 AFM 量測可得知其表面輪廓如圖 8, 而 3D 的表面輪廓圖則是圖 9。本系統的量測結果如圖 10 所示。

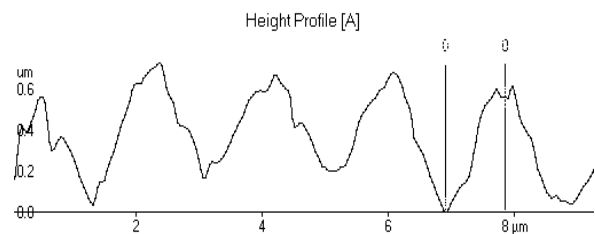


圖 8 以 AFM 量測的剖面圖(Grating)

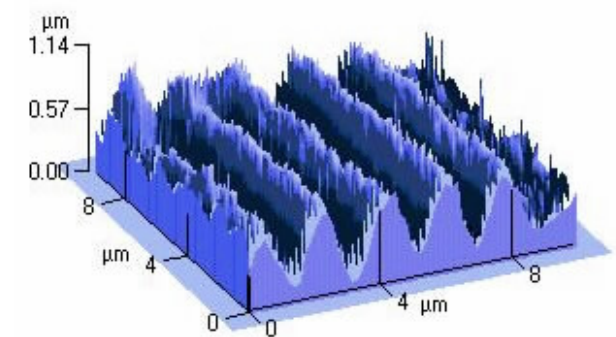


圖 9 AFM 所得之 3D 立體圖(Grating)

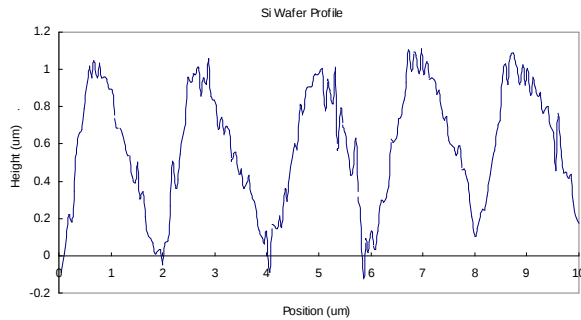


圖 10 以本系統量測的 Si 晶圓的表面輪廓

由 AFM 的量測結果可知，此試片的波峰至波谷高低差距大約在 $0.6\mu\text{m}$ 至 $1.1\mu\text{m}$ 左右，而每一蝕刻的軌距平均為 $2\mu\text{m}$ ；若以我們的超精密雷射探頭所量測而得的值，在波峰至波谷高低的平均差距為 $1\mu\text{m}$ ，而蝕刻軌距為 $2\mu\text{m}$ ；此二者的量測結果十分近似，因此我們可說本量測系統與 AFM 的量測系統，在此量測範圍之下，有著相同的量測精度。

四、結論與討論

光學式的量測探頭越來越重要，本研究利用市售光碟音響的讀取頭，加以改進，完成一低成本、高精度的超精密量測探頭系統，其系統精度可達 30nm ，量測範圍為 $10\mu\text{m}$ 左右。對於一些表面輪廓檢測，利用本探頭來進行量測，將可充分達到預期的要求。第二年預期將改進為自動聚焦探頭，提高其量測範圍。

五、參考文獻

- [1] G. Makosch, and B. Drollinger, "Surface profile measurement with a scanning differential ac interferometer", Applied Optics Vol. 23 No. 24, pp.4544-4553, 1984.
- [2] H. Yu, T. B. Xie, and X. J. Liu, "Measuring In Surface Roughness", Proceedings of APSI'97, pp.64~66, 1997.
- [3] J. H. Zhang, and L. L. Cai, "An Auto-focusing Measurement System with a Piezoelectric Translator", IEEE/ASME Transactions on mechatronics, Vol.2, No.3, pp.213~216, 1997.
- [4] Kanji Mashimo, Tetsuya Nakamura, and Yoshihisa Taniura, "Development of optical noncontact sensor formeasurement of three-dimensional profiles using depolarized components of scattered light", Opt. Eng.36(1), pp.227~234, 1997.
- [5] K. J. Oh, Z. H. Zhang, and D. W. Kim, "Measurement of rough surface profile using multiport homodyne interferometer", Proceedings of APSI'97, pp.164~166, 1997.
- [6] K. L. Deng, J. P. Wang, "Nanometer-resolution distance measurement with a noninterferometric method", Applied Optics v 33, n 1, pp.113-116., 1994.
- [7] L. Cheng, G. G. Siu, "Measurement of surface roughness with core-ring ratio method using incoherent light", Meas. Sci. Technol. 1, pp.1149-1155, 1990.
- [8] Satoru Takahashi, Takashi Miyoshi, and Yasuhiro Takaya, "Study on Nano-inprocess Measurement of Silicon Wafer Surface Defects by Laser Scattered Defect Pattern", ISMTII'96, pp.243~250, 1996.