

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)

子計畫二：超精密量測探頭與量測軟體的研製

The Development of the Ultra Precision Probe and Measurement Software

計畫編號：NSC 89-2212-E-002-130

執行期限：89/08/01~90/07/31

主持人：范光照 fan@ccms.ntu.edu.tw

執行單位：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。

本計畫目前已順利完成第三年度的預期進度，研製出一超精密奈米級光學聚焦探頭。此探頭系統加入遲滯補償後，於200 μ m 的量測範圍內，其準確度達0.2 μ 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。

關鍵詞：DVD 雷射探頭、自動聚焦、音圈馬達、失焦誤差訊號、超精密量測。

The Development of the Ultra Precision Probe and Measurement Software (3/3)

Abstract

This sub-project "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 sub-project are to develop the key technology of ultra precision optical probe for the Nano-CMM, and its software for measurement. The tasks of the investi-

gated ultra precision optical probe include the circuit design, the system connection, the precision calibration, the error compensation, and integrated software development for measurement.

In this year, we have developed a low-cost, high-precision laser auto-focus optical probe system. After adding extra hysteresis compensation, the system accuracy can achieve to 0.2 μ m in the measuring range about 200 μ m. So we can get an excellent performance in the surface profile measurement. With Nano-CMM structure, we cooperate Nano-CMM with developed probe to complete the measurement software.

Keywords: DVD pickup head, Auto-focus, Voice coil, Focus error signal

二、計畫緣起與目的

由於近年來科技進步一日千里，製造技術不斷推陳出新，使得產品的精密程度不斷提高，因此在產品的檢測上，需要相對應的精密量測技術來配合。以縱向及橫向解析度的觀點來看，微米級的探頭逐漸不敷使用，而一般具有更高精度的量測探頭，成本亦高。因此本文欲發展一套新的量測探頭，期望除了對量測精度的提昇有正面的助益之外，亦降低高精度量測的成本。

綜觀歷年的相關研究[1~4]，得知利用光學讀取頭發展出的非接觸式量測法，能夠在不接觸損害工件情況下，以光學獨有的特性，達到高精度的表面檢測。又由於市售商用光碟機之雷射讀取頭，不但內含雷射二極體光源，且光路中的光柵、分光鏡、四分之一波片，與內建的光檢測 IC、聚焦物鏡、音圈馬達驅動器等，都以成熟的技術將其整體化、微小化，因此非常適合應用在我們的研究方向上。開發出一套新的自動聚焦量測探頭。

於量測儀器之開發上，本研究並應用單晶片微電腦（如Intel公司之MCS-51系列產品）之強大控制處理功能，整合相關的週邊裝置（Peripheral Devices）與軟體設計而達成單板電腦—人機介面之研製（該功能已於計畫第二年度完成）。

三、研究方法與研究結果

量測探頭簡介：

讀取頭由雷射二極體發射光束，經由光柵產生繞射後，分為三道檢測光束，再經分光鏡、物鏡聚焦在待測物表面。反射光束則循原路徑經分光鏡後穿越柱狀像散透鏡，而投射至感測器上。四象限感測器會根據光點在四個象限上的光分佈，輸出一失焦訊號（Focus Error Signal）。這個失焦訊號經過運算放大及補償處理，回去推動音圈馬達（Voice Coil Motor），將物鏡推到碟片可以在聚焦平面上的位置，達到鎖焦的目的。此時讀取頭再根據反射光的強度變化來讀取碟片上的數位訊號，完成資料存取的动作。圖 1 即是光學讀取頭的內部結構。

本研究所使用的光碟讀取頭（DVD Pickup Head），根據其資料手冊[5]，得知其聚焦原理為像散法。結合位置感測元件（PSD），當透鏡的垂直焦距與水平

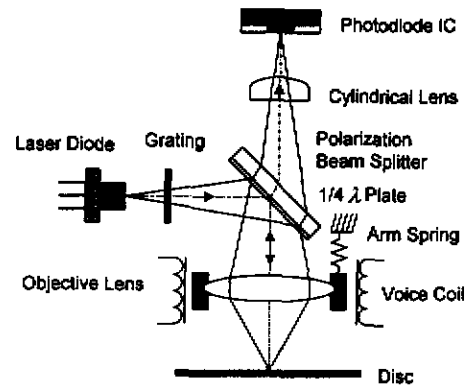


圖 1 雷射讀取頭的內部結構圖

焦距不同，則物體若偏離透鏡焦面位置時，在四象限光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 $(A+C) - (B+D)$ ，可得失焦誤差訊號的 S-曲線，如圖 2。

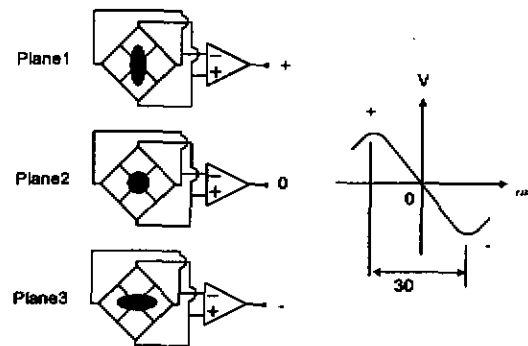


圖 2 四象限感測器之訊號處理與 S-曲線

如圖 3 所示，在自動聚焦的過程中，在自動聚焦的過程中，當物體反射面位於物鏡的焦點時，經過像散法的處理，失焦訊號為零，軌跡落在 S 曲線的中點，當物體反射面離開了焦平面，無論是逼近或遠離物鏡，都會使失焦訊號輸出一個不為零的值，這個值經過控制法則的處理後，回去驅動音圈馬達，使物鏡朝失焦訊號為零的方向移動，最後

與彈簧達成力平衡，物鏡停止於失焦訊號為零的位置上。此時維持物鏡不動所需的電流，轉換成可讀取的電壓信號，就是對應的伺服失焦訊號。

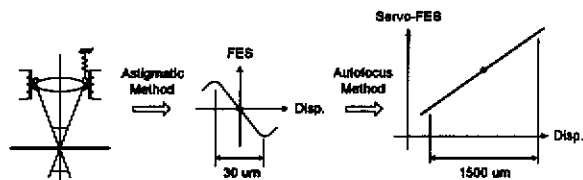


圖 3 自動聚焦原理示意圖

由於磁力與彈簧力的平衡過程是即時 (Real Time) 現象，光電訊號的迴授運作與彈簧極微量的配合性位移都在非常短的時間完成，所以在靜態觀察下，只能看到平衡後的結果，也就是物鏡位移量對伺服失焦訊號的關係。我們進行實際量測，並將這個關係作圖，可得到一近似直線的曲線，如圖 4。

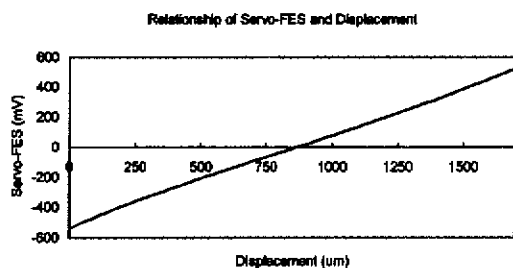


圖 4 伺服失焦訊號與物鏡位移關係圖

量測系統整合控制與精度校正

光學讀取頭的自動聚焦行為是一種光、電及機械的整合作用結果，由於彼此的物理特性不同，在交互運作的過程中，如果不加以補償控制，必定是一不穩定之系統，將嚴重影響到量測應用的品質。在此我們設計了一個補償控制器，不但提昇系統增益，且補足系統不足的相位，使輸入訊號通過補償器時，不但有相位提昇作用，且增益也可進行比例放大。經過了系統各部份的分析與

控制器的設計後，整體自動聚焦系統整合如圖 5 所示。

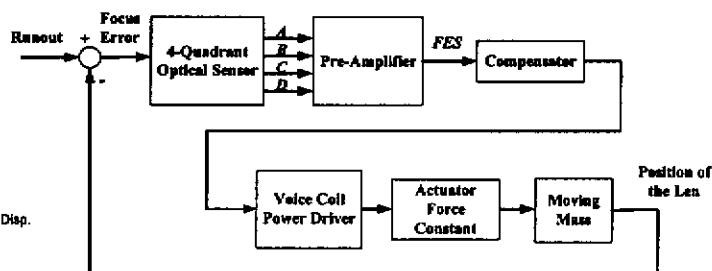


圖 5 自動聚焦系統伺服控制方塊圖

在確定影響伺服失焦訊號對物鏡位移量關係斜率的因素後，我們進行 9 次的重複量測。將數據計算斜率如表 1，此 9 組數據的斜率平均值 1.249，而標準差平均為 0.2554，將標準差平均乘上迴歸線斜率的倒數，可得到量測的誤差為 0.2μm，所以本系統在 200μm 的量測範圍下，其準確度可達 0.2μm。

表 1 系統在自動聚焦 200μm 的量測誤差

Data	Standard Deviation*	Slope** (mV/μm)	Slope Inverse	Error ***(μm)
1	0.1773	1.2605	0.793651	0.1407
2	0.2698	1.2615	0.792707	0.2138
3	0.2416	1.2345	0.810373	0.1957
4	0.3057	1.2403	0.806257	0.2464
5	0.2643	1.2803	0.781067	0.2064
6	0.3307	1.2516	0.799361	0.2643
7	0.2348	1.2332	0.811031	0.1903
8	0.2308	1.2409	0.805867	0.1859
9	0.2436	1.2385	0.807428	0.1967
Average	0.2554	1.2490	0.80086	0.2045

誤差補償

由於音圈馬達遲滯的現象，使造成馬達實際需要的電流與理想驅動電流之間的差異，因此我們於音圈馬達的推挽驅動器之前，設計了一組比較器，將原本直接輸入驅動器的失焦訊號，先與音圈馬達的電流迴授做比較，將比較的結果再拿來驅動音圈馬達。此設計的原理

如圖 6 所示：

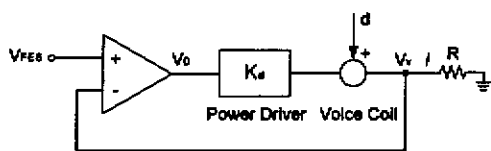


圖 6 電流迴授系統示意圖

現在我們將這個殘存磁場造成的誤差影響定義為 d ，可得：

$$V_v \cong \frac{K_d \cdot V_{FES}}{K_d} + \frac{d}{1+K_d} \cong V_{FES} \quad , K_d \gg 1$$

由上式得知當利用電流迴授的方法，配合足夠大的驅動器增益 K_d ，可將殘磁擾動 d 的影響減至最低，改善了遲滯所造成的系統誤差。將改善後的系統進行各種行程的來回自動聚焦，並與迴授前的系統做一比較，結果如圖 7、8。

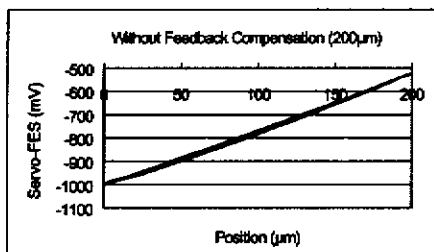


圖 7 補償前的伺服失焦訊號

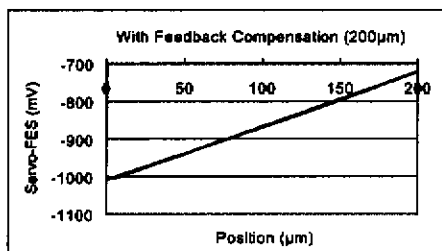


圖 8 補償後的伺服失焦訊號

於比較各行程補償前與補償後的結果，發現原先系統遲滯現象造成的誤差，最嚴重可達約 $10\mu\text{m}$ ，在經過補償後幾乎已經消除。我們可以說，經過電流

回授補償之後，在 $200\mu\text{m}$ 的聚焦範圍內，遲滯現象已經獲得一定程度的改善。

四、結論與討論

在今日高科技的領域裡，產品朝著精密化與微小化的製造方向邁進。在要求高精度的檢測與不破壞工件表面的前提下，光學式的量測探頭亦趨重要。本實驗利用市售光碟音響的讀取頭，加以改進，完成一低成本、高精度的自動聚焦量測系統。

完成的超精密量測探頭，其系統精度可達 $0.2\mu\text{m}$ ，其量測範圍是 $200\mu\text{m}$ 左右。因此利用本探頭來進行較大範圍的表面輪廓量測，可達到我們預期的要求。

五、參考文獻

- [1] J.Benschop, G.V.Rosmalen, "Confocal compact scanning optical microscope based on compact disc technology", Applied Optics, Apr. 1, Vol. 30, No. 10, pp. 1179-1184, 1991.
- [2] T.R. Armstrong, M.P. Fitzgerald, "An autocollimator based on the laser head of a compact disc player", Meas. Sci. Technol. Mar. pp. 1072-1076, 1992.
- [3] F. Quercioli, A. Mannoni, B. Tiribilli, "Correlation optical velocimetry with a compact disc pickup", Applied Optics, Sep. 1, Vol. 36, No 25, 1997.
- [4] J. H. Zhang, and L. L. Cai, "An Autofocusing Measurement System with a Piezoelectric Translator", IEEE/ ASM E Transactions on mechatronics, Vol.2, No.3, pp.213~216, 1997.
- [5] "Specifications Model:KHM-210 AAA", SONY Co., 1995.