



# 彩色共焦顯微術於微結構線上檢測研究

New Chromatic Confocal Microscope for Full-field Micro Surface Measurement

黃順洋

台灣大學  
機械所研究生

范光照

台灣大學  
機械所教授

陳亮嘉

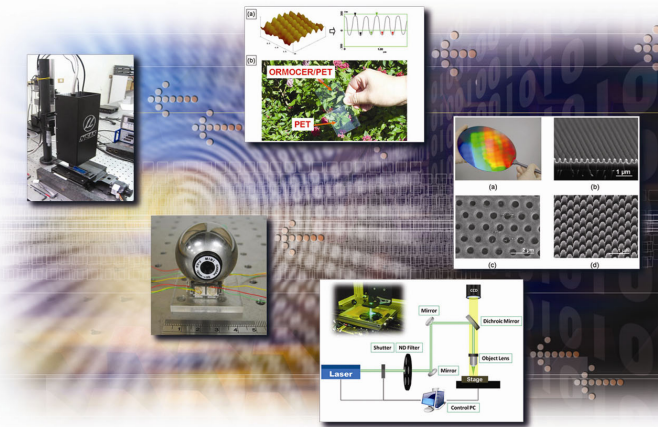
台北科技大學  
自動化所教授

林宏彝

工研院機械所  
先進製造核心技術組  
副組長

陳來毅

工研院機械所  
先進製造核心技術組



## 關鍵詞

- 多波長 chromatic
- 共焦顯微術 confocal microscopy
- 深度反應曲線 depth response curve
- 三維輪廓重建 three dimension restructure

## 摘要

本研究藉由共焦顯微鏡量測方式(Confocal microscopy)[1, 2]作為理論基礎，搭配彩色共焦顯微術(Chromatic confocal microscopy)[3, 4]演算理論與雜訊消除技術，以重建物體三維輪廓重建(3D profile reconstruction)；系統以三原色混成之白光光源，藉由光學系統在光軸向上產生之色差現象，取得深度反應曲線(Depth response curve)之

比值，藉由最小平方方法(Least square method)擬合比值與深度之間的線性關係，發展出一種對全域影像進行即時表面形貌之量測方法。本系統線性工作範圍內之影像不需機械式垂直掃描，便可重建待測物表面輪廓。系統中使用雷射干涉儀作為深度軸(Z軸)校正源，CCD為影像及訊號之截取元件及顯微物鏡、光纖模組、分光鏡等組成本系統之主要架構，尺寸計算及視覺影像由PC負責顯示。由於本系統為全域且不需垂直掃描，可應用在動能量測或線上量測。

## 前言與文獻

時代的變遷中，人類不斷的朝微小與精密化的加工過程邁進，泛如微機電技術與微細加工技術等等之運用，尺寸由毫米到微米甚至於到奈米等級，此時加工正確性驗證是不可或缺的一環，微小尺寸



量測技術相當重要。量測方式可分為接觸式與非接觸式，接觸式量測原理在於探針接觸待測物表面，進行探針拖曳之同時，感測待測物高度變化，此方式缺點在於接觸力量有刮損工件表面的可能性，故此方式並不適用於硬度低與較為彈性之待測物。如三次元的接觸式量測機台，除了必須要進行多點量測所以較費時之外，過於微小的待測物也有其限制。非接觸式量測，通常會涉及光學理論，利用光學原理進行表面輪廓重建。

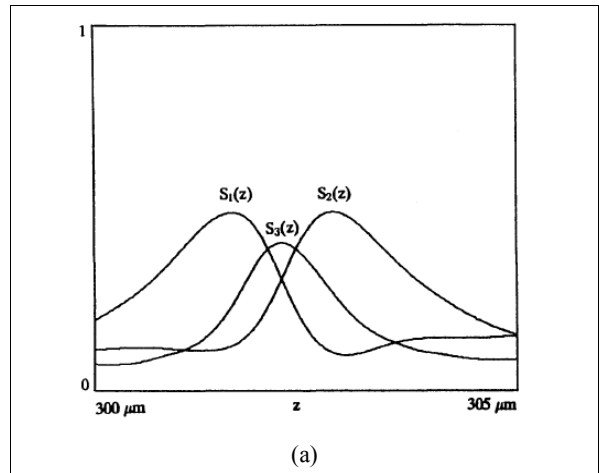
繞射元件其特色在於多階之繞射光，應用在多波長共焦系統中產生色散使得不同深度下產生聚焦面[5]，此法不需機械式掃描，藉由繞射之特性以重建待測物 3D 輪廓。異於使用繞射元件之分光方式，利用數位微鏡裝置 (DMD) 模擬尼普科夫圓盤 (Nipkow) 針孔掃描之方法[6]，並搭配即時改變雷射光源之波長對物體進行全域掃描，藉由聚焦時會有最大光強來判別聚焦深度位置，進而重建待測物之表面輪廓，此法不需垂直掃描是其特點之一。尼普科夫圓盤搭配多波長共焦顯物鏡聚焦之方法[7]，同樣不需深度掃描，尼普科夫圓盤 disk 本身具有針孔之排列特性，旋轉過程中對全域畫面掃描得到其表面資訊；而其數學模型如(1)式所示，(2)式最小計算縱向解析度。

$$I(z) = \left\{ \frac{\sin[kz(1 - \cos \alpha)]}{kz(1 - \cos \alpha)} \right\}^2 \quad (1)$$

$$FWHM = \frac{0.44\lambda}{1 - \cos \alpha} \quad (2)$$

其中  $k$  為  $2\pi/\lambda$ ， $\lambda$  為光之波長， $\sin(\alpha)$  為其數值孔值 (N.A.=Numerical Aperture)，FWHM(Full width at half maxium) 為半峰值全寬度，為用來判斷其聚焦優劣。

其中使用具有色差之顯物鏡，使得縱向聚焦面明顯聚焦在不同位子上。圖一(a)  $S_i(z)$  即深度反應曲線，其明顯之色差是判斷不同焦面的重要資訊。



圖一 (a) 不同波長造成的深度反應曲線[7]

Ruprecht[3]等人提出共焦顯微術之數學模型，如式(3)所示

$$I(z) = \left[ \frac{\sin\left(\frac{u}{2}\right)}{\frac{u}{2}} \right]^2, \quad \text{其中 } u = \frac{2\pi}{\lambda} NA^2 z \quad (3)$$

式(3)表示不同波長之窄頻及寬頻光源會在不同深度下聚焦，光譜儀為感測器，燈源透過微透鏡 (microlens) 之尼普科夫圓盤進行為掃描之方法，利用已正規化之參考曲線 (Normalized reference curves) 來對應相對形貌高度，進而重建全域之高度資訊。

在共焦系統中光源所涵蓋的範圍及連續程度也是重要的一環，利用超連續光源 (supercontinuum light) [8]，光譜涵蓋範圍從 400nm 到 1300nm，可以有效改善其光譜飽和度。光學系統中設置兩面雙凸透鏡產生軸向色散，(6)、(7)及(8)式算出其縱向輪廓深度變化量。



更完整的內容

請參考紙本【機械工業雜誌】318期・98年9月號

每期 220 元・一年 12 期 2200 元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011