論文類別
1. Materials and Device Characterization
2. Design, Simulation and Integration

微米級金屬表面粗糙度之平面偏振散射光量測

劉承揚[1]、張力仁[1]、王凱平[1]
[1]淡江大學, 機械與機電工程學系, 新北市
cyliu@mail.tku.edu.tw

摘要

本文主要研究探討微米級金屬表面粗糙度之平面偏振散射光量測，以取代傳統的接觸式量測。在實驗方面，我們自行設計並且架設一套二維非接觸式的自動光學系統來量測微米級金屬表面粗糙度的散射光場，並自行撰寫程式加以分析。在試片方面，本文選用Ra = 0.05 μm、0.1 μm、0.2 μm、0.4 μm、0.8 μm、1.6 μm等，各種不同表面粗糙度的標準試片，針對散射角以每5度進行量測。本文研究結果證實此非接觸式系統可精準量測出微米級金屬表面粗糙度與表面特徵。

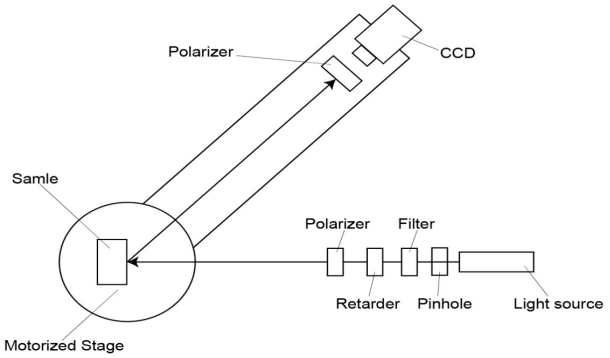
關鍵字：偏振散射光、表面粗糙度、非接觸式。

1. 前言

以光學量測技術來量測物體表面粗糙度是很重要的檢測技術，而且目前也已證明散射技術是一個有效的量測方法 [1,2]，此技術可稱為雙向反射分佈函數量測(BRDF)。表面粗糙度的量測方法有許多研究與發展，1965 年 Nicodemus 正式提出 BRDF，描述光從實際物體表面所產生的輻射。由傳統光學反射理論可知，理想上，一道光束入射一反射面會遵守反射定律射出，並且在反射光路徑上量得反射光功率就可得知反射率，但應用到實際工程上並非如此，因為理想平面並不存在，所以光波會和反射平面交互作用而產生許多的光學現象，例如吸收、散射等，因此利用散射來量測物體表面形貌成為一個重要的研究主題。近年來，Germer 等人提出使用偏振散射光來偵測晶圓表面上的奈米級微粒[3,4]，此技術用來判斷奈米等級的粒徑大小與分布是非常有效的量測方法。在先前的文獻中，研究者們推導出奈米級微粒散射光的計算理論，並建立實際的偏振散射光量測系統，且發起奈米微粒量測能力的國際比對，以充分了解各種奈米級光學量測設備的量測能力和優缺點。另一方面，利用雷射散斑技術也可以用來檢測表面特徵，1960 年雷射問世後人們就觀察到一種現象，被雷射光照明的物體表面呈現出顆粒狀結構，在空間出現隨機分布的亮斑和暗斑稱為散斑，由散斑成像的圖形來判斷表面粗糙度[5]。為了要開發高品質高精密的科技產品必須精確量測材料表面的散射行為，利用二維或三維方式，在不同檢測角度下量測材料表面的散射特性，將所得的數據進一步做計算處理和偏振分析。我們可以從很多文獻所敘述的測量系統設計和量測方法得知，分別對樣品、探測器和光源執行相對個別運動來涵蓋所有的量測角度，以達到最大範圍的方向與角度來偵測光波訊號，即可實現快速量測，而文獻中可得到一些光學量測系統設計的描述及其獨特的優點。根據文獻 6 和 7 為典型的光學量測系統設計，主要是描述光源、探測器和待測物之不同角度的搭配變化，然而量測樣品的平面散射光是一般最常見的設計，因為這種系統配置通常都比較簡單，所需的設備與製作費用均較低。對於非平面散射光的量測系統來說，建立非平面測量系統往往都是需要較為大型的結構[7]，並且架設較為困難以及製造費用昂貴。1993 年， Feng 等人[8]實現待測物的非平面量測，使得待測物可以大範圍的接受入射光。1998 年，White 等人[9]建構擁有良好量測角度覆蓋範圍的系統，但其主要的缺點為有限的光譜量測範圍和量測時間過長。

2. 機構設計

散射光量測系統平面和非平面的設計方式[10,11]，本文主要是平面方式的設計，在系統中雷射以及光源組是固定的，光源組中的濾光鏡主要是過濾雷射光的光強大小，偏振鏡和波板是為了準確校準光源偏振方向以確保平行偏振入射，經由待測物運動機構的法線旋轉可以控制入射角做不同的角度變化。再者，在運動機構上設置 CCD 攝影機以及偏振鏡，旋轉偏振鏡角度可以改變成不同偏振收光，最後再利用 CCD 攝影機由不同的偏振量測角度位置來接收不同表面粗糙度試片所發出的偏振散射光。圖一為本文所架設之機構概念圖，明確指示出所有鏡組、待測物與 CCD 攝影機相對應的架設位置。

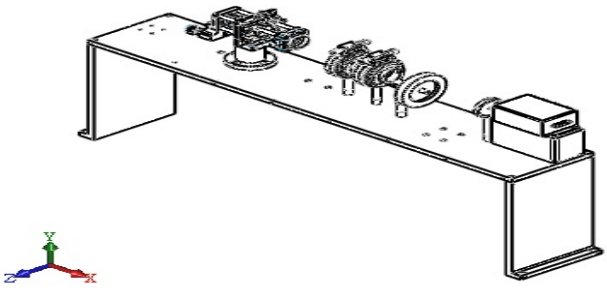


圖一 散射光量測系統架構圖

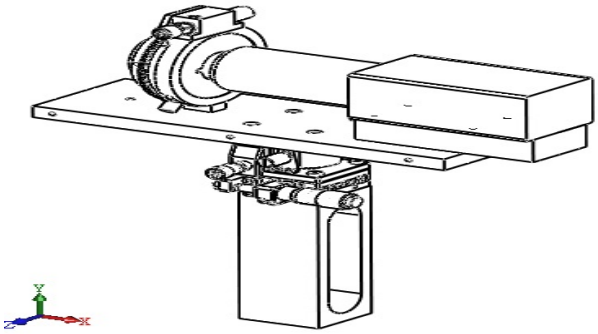
論文類別
1. Materials and Device Characterization
2. Design, Simulation and Integration

光源組件	接收裝置	運動機構
• 雷射光 • 空間濾波器 • 波片 • 偏振鏡 • 光圈 • 針孔	• CCD攝影機 • 變焦鏡頭 • 偏振鏡	• 電控轉盤 • 移動懸臂 • 夾具

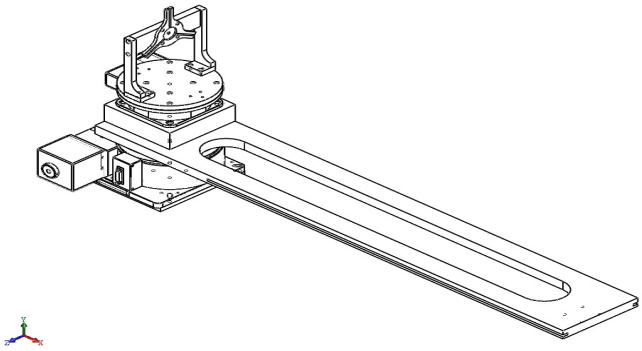
圖二 光學量測系統組件表



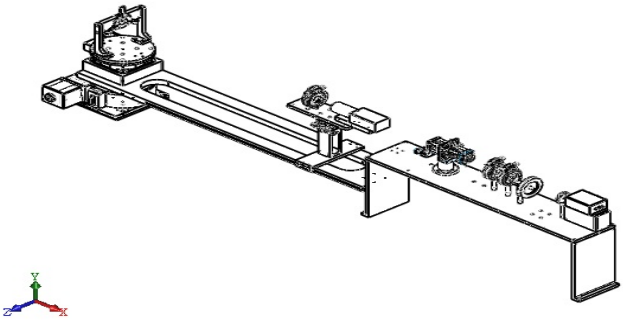
圖三 光源組件



圖四 散射光接收裝置



圖五 待測物運動機構



圖六 散射光量測系統

本文中設置的光學量測系統分為三部分的系統組件，第一部分為光源組件，第二部分為散射光接收裝置，第三部分為運動機構，如圖二所示。

(1) 光源組件：本研究使用綠光雷射做為光源，在光路方面，首先光源會經過一個光圈來控制光的進光量大小，接著光波會通過濾光鏡以控制光波的強弱，然後在濾光鏡後方設置了一套偏振鏡組，鏡組包括了 1/2 λ波板與偏振鏡以確保確認雷射光源的偏振方向。在檢測規劃中，光源組件的主要目標是為了要使雷射變成平行偏振光源，其調製方法為先放置偏振鏡使光通過偏振鏡之後使光強變最弱，再架設 1/2 λ波板在偏振鏡前面當使光經過波板跟偏振鏡後光強變最強，以確保光源為平行偏振入射待測物，如圖三所示。

(2) 接收裝置：收光系統組件部分依照實驗規劃，以 CCD 攝影機搭配可變焦鏡頭來擷取偏振散射光的影像，CCD 攝影機架設在移動平台上，攝影機下方 擺置可調式三軸精密移動平台，目的是為了可以微調焦距，在擷取影像時能與試片在同一個平面上來做接收，以達到最佳成像效果，如圖四所示。

(3) 運動機構：為了控制入射及反射方向的角度，本研究在散射光量測系統中上裝置了電控轉盤，並且在電控轉盤上也設置了移動懸臂，電控轉盤可依照需要的角度做旋轉以及調整 CCD 攝影機的收光距離，如圖五所示。

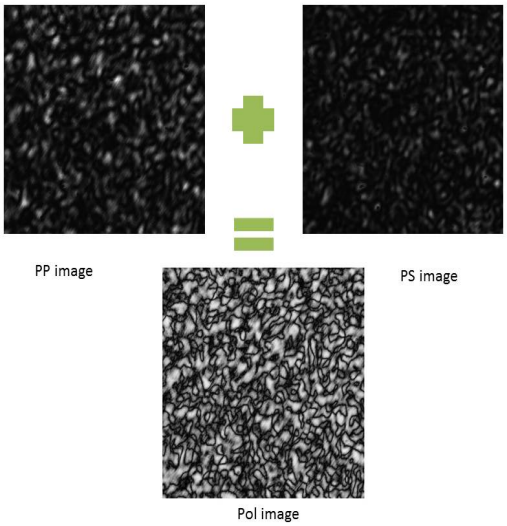
圖六為光源組件、散射光接收裝置與待測物運動機構三部分所架設而成的散射光量測系統圖，從此圖可得知各個組件的相對位置與分佈關係。

3. 實驗量測

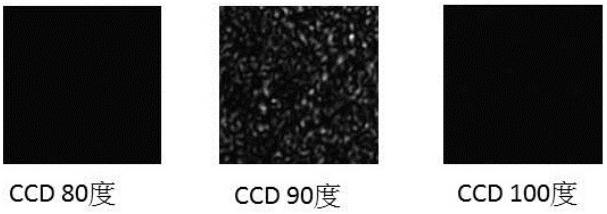
本研究以散射光量測系統來進行金屬表面粗糙度的量測，系統中需要考慮的參數有光濾波器角度值、光圈大小、波板角度值、攝影機移動距離等。在 CCD 攝影機方面的參數有鏡頭焦距與光圈大小，而軟體方面的參數為影像擷取有效像素值、畫面更新率、影像位置調整等，以下針對各種重要參數加以說明：

1. 調整光濾波器的角度會改變入射光強的大小，進而影響擷取影像辨識度，因此為重要參數值。
2. 光圈開關的大小會影響光的進光量大小，也會影響影像的清晰度。

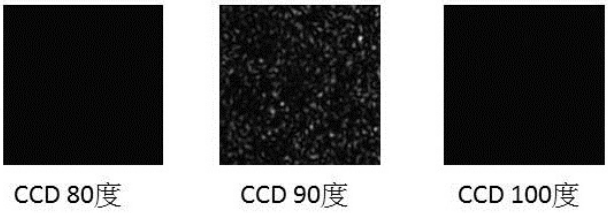
3. 旋轉波板的目的是為了校準線偏振的旋轉角度，在波板角度與雷射光源偏振角度不同時，以光功率計所量測的光強也有所不同，當光強最強時，波板偏振角度與雷射偏振角度呈平行方向，反之光強最弱時，波板偏振角度與雷射偏振角度為垂直狀態。
4. 在 CCD 攝影機方面，本系統使用變焦鏡頭，藉由調整鏡頭光圈與焦距讓量測影像更為清晰。在影像擷取軟體方面的參數為有效像素、畫面更新頻率與像素深度等。
5. 最終將 CCD 攝影機所擷取到的水平與垂直偏振成像作影像處理合成得到 POL 圖，如圖七所示，從 POL 圖可以看出不同試片的散射光強度分佈情形，利用 POL 圖做表面粗糙度的分析，並與光學顯微鏡所觀察之表面成像相互比較。



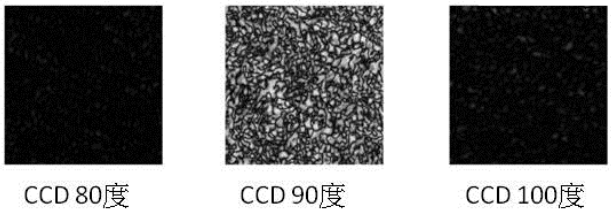
圖七 POL圖



(a) 水平偏振成像

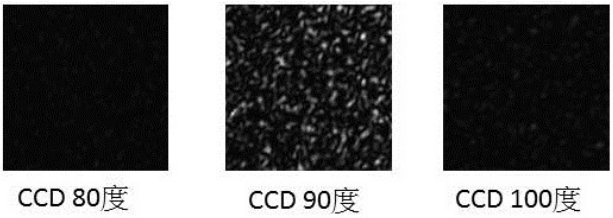


(b) 垂直偏振成像

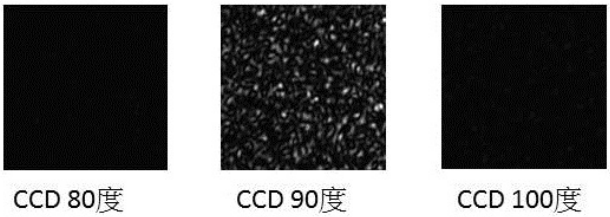


(c) POL成像

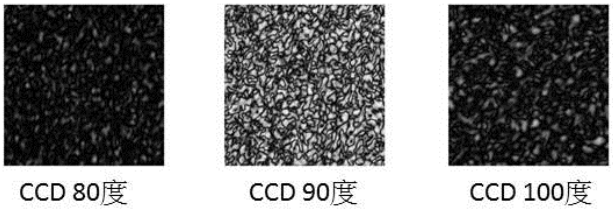
圖八 Ra = 0.1 μm標準試片量測成像



(a) 水平偏振成像

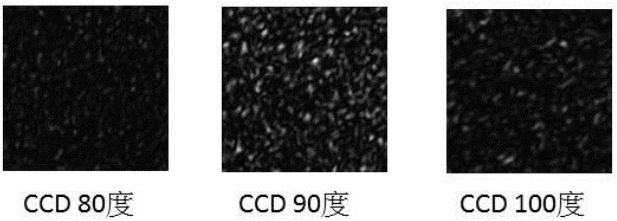


(b) 垂直偏振成像

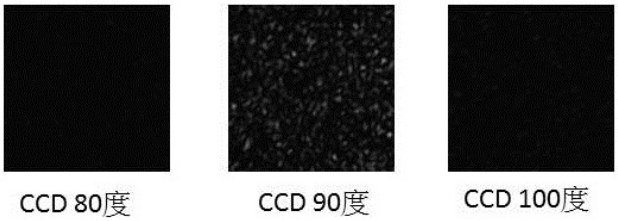


(c) POL成像

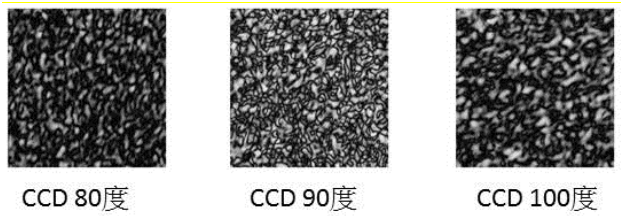
圖九 Ra = 0.8 μm標準試片量測成像



(a) 水平偏振成像



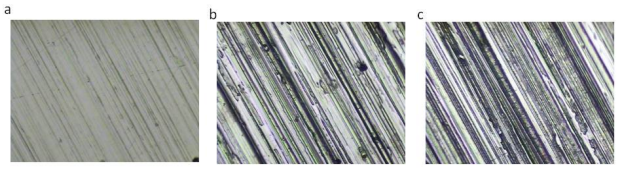
(b) 垂直偏振成像



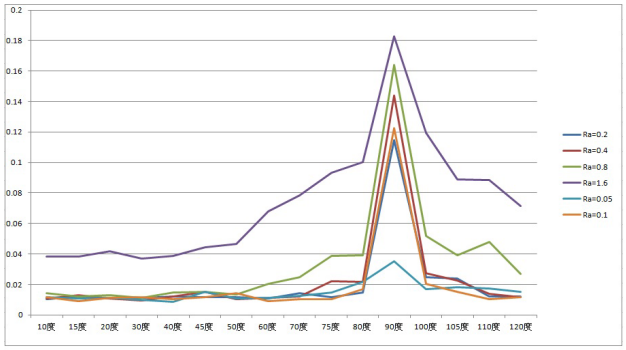
(c) POL成像

圖十 Ra = 0.16 μm標準試片量測成像

圖八、圖九、圖十分別為Ra = 0.1 μm、0.8 μm、1.6 μm三種不同標準試片的不同偏振之表面粗糙度偏振散射光成像，(a)、(b)分別為水平偏振與垂直偏振成像，(c)是利用水平與偏振成像做影像處理而得到的POL圖。圖十一為三個標準試片在光學顯微鏡下所擷取到的表面粗糙度成像。本文利用POL成像圖經由程式計算出其表面粗糙度值，如圖十二所示，由圖可看出在散射角度為90度時，可以精準的計算出其表面粗糙度值。



圖十一 光學顯微鏡下表準試片成像：(a) Ra = 0.1 μm (b) Ra = 0.8 μm (c) Ra = 1.6 μm



圖十二 表面粗糙度之計算值

4. 結論

本研究自行設計偏振散射光量測系統，搭配CCD攝影機的接收微米級金屬表面粗糙度影像，由非接觸式的光學方式進行量測標準試片，根據散射光強分佈情況，利用程式計算出不同的表面粗糙度值，歸納出以下結論：

1.本研究主要探討金屬表面的光散射能量分佈檢測，以綠光雷射做為光源，並以CCD攝影機做為接收裝置，再利用所設計之運動機構達到所需的量測角度，最後根據各種不同表面粗糙度所造成之光散射能量分佈計算出表面粗糙度與散射光分佈之關係。

2.散射光成像圖可以有效的顯現出表面粗糙度的特徵，並可以精準的計算出表面粗糙度值。

3.本文所開發的偏振光學量測系統將可廣泛應用於自動光學檢測產業，有效提昇機械製造精密度。

5. 誌謝

感謝科技部的計畫支持，使本研究得以順利進行，特此致上感謝之意。

6. 參考文獻

1. P. A. Bobbert and J. Vlieger, “Light Scattering by a Sphere on a Substrate,” Physica, Vol. 137A, pp. 209-242, 1986.
2. J. Stover, Optical Scattering: Measurement and Analysis (SPIE, Bellingham, WA, 1995).
3. T. A. Germer, "Angular dependence and polarization of out-of-plane optical scattering from particulate contamination, subsurface defects, and surface microroughness", Applied Optics, vol. 36, pp. 8798-8805, 1997.
4. T. A. Germer ,C. C. Asmail, "Polarization of light scattered by microrough surfaces and subsurface defects",J. Opt. Soc. Am. A, vol. 16, pp. 1326-1332, 1999.
5. U. Persson, "Surface roughness measurement on machined surfaces using angular speckle correlation," J. Mater. Process. Technol., vol. 180, pp. 233–238, 2006.
6. B. T. McGuckin, D. A. Haner, R. T. Menzies, C. Esproles, and A. M. Brother, "Directional reflectance characterization facility and measurement methodology," Applied Optics, vol. 35, pp. 4827-4834, 1996.
7. J. Proctor, P. Barnes, "NIST High Accuracy Reference Reflectometer-Spectrophotometer", J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol., vol. 101, pp. 619-627, 1996.
8. X. Feng, J. R. Schott, and T. Gallagher, "Comparison of methods for generation of absolute reflectance-factor values for bidirectional reflectance-distribution function studies", Applied Optics, vol. 32, pp. 1234-1242., 1993.
9. D. White, P. Saunders, S. J. Bonsey, J. van de Ven, and H. Edgar, "Reflectometer for measuring the bidirectional reflectance of rough surfaces," Applied Optics, vol. 37, pp. 3450-3454, 1998.
10. T. A. Germer and C. C. Asmail, “The polarization of out-of-plane scattering from microrough silicon,” Optics Letters, Vol. 22, pp. 1284-1286, 1997.
11. T. A. Germer, C. C. Asmail, "Goniometric optical scatter instrument for out-of-plane ellipsometry measurements," Rev. Sci. Instrum., vol. 70, pp. 3688-3695, 1999.