

南亞技術學院教師專題研究計畫
成果報告

應用雷射探頭於小尺寸面板之光學檢測

計畫編號：教專研 105P-026

計畫類別：個別型計畫

執行年度：105 年度

執行期間：105 年 1 月 1 日至 105 年 12 月 31 日

計畫主持人：童景賢

執行單位：機械系

研發小組審查：同意結案不同意結案

簽名：

(審查人不得與計畫主持人相同)

中華民國一〇五年十二月三十一日

應用雷射探頭於小尺寸面板之光學檢測

童景賢
機械工程系

摘要

精密量測技術在產業方面的應用極為廣泛，例如工具機、醫學顯微儀器、精密量測儀器等，同時在奈米科技領域裡面亦是不可缺的技術，其產業價值無可限量。光學檢測技術更是精密產品製造、精密尺寸測量、精密機械檢測與運轉之關鍵技術。隨著光學檢測的不斷進步，不論是半導體產業、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，因此對於光學檢測技術有著越來越高的要求。

當今智慧型手機不僅是消費者最喜愛的產品，也是生活中不可或缺的必需品，而潛在買家購買時的第一印象就是面板的質感，因此其重要性不言可喻。多數小尺寸玻璃面板具有黑色的薄膜塗層，而面板表面的瑕疵和不均勻的塗層厚度會降低商品的外觀品質。一些表面缺陷和不均勻的塗層厚度會降低蜂窩電話的外觀質量。本研究旨在開發一套利用 DVD 雷射讀取頭於小尺寸玻璃面板之自動光學檢測系統，以應用於面板的生產線。

DVD 雷射讀取頭是 DVD 光碟機中的重要元件，亦是光電產業中之重要技術及精密零組件，由於價格便宜，因此本計畫將利用此 DVD 雷射讀取頭來發展這一套精密的 AOI 量測系統，以達到微小精密化的目標。雷射讀取頭是由雷射二極體(LD)、分光鏡、物鏡、光檢測元件、繞射光柵與圓柱透鏡等六個元件所組成的。而雷射讀取頭中的紅光雷射二極體之波長約為 650nm，具有體積小、重量輕、消耗的功率小、單一的輸出光譜、有較寬的波長範圍可選擇，且具有高可靠性等特點，這些特點符合本計畫的需求，由於雷射讀取頭取得容易，因此可作為測量薄膜厚度的主要依據。

本研究所開發的自動光學檢測 (Automated Optical Inspection, 簡稱 AOI) 系統其目標為能檢測面板上的玻璃塗層的 3D 膜厚的均勻性。其可分辨的成功率達到 99%。至於

聚焦探頭使用之均質化聚焦誤差信號 (NFES) 技術，可達到測量精度和標準差小於 0.5 μm 的結果。

壹、緒論

一、研究動機

近年來，精密工業發展蓬勃，無論是通訊、光電、生物科技、精密機械或半導體等相關的產業，都有趨向小型化、精密化及細微化，因此對於微米、次微米甚至於奈米的量測精度之要求亦日漸提昇。在現代化工業中，由於高精度的產品需求，使得加工製程中，對於製造精度的要求也愈趨嚴格，因此微機電和奈米技術逐漸受到重視，相對的高精度的量測技術也愈顯重要。

目前我國的半導體製造業之製程設計與技術，已由微米級導入奈米等級，亦即在實際製程上已要求達到奈米等級的量測與製造精度。在 2003 年時，” 90 奈米製程” 是主流技術；而所謂 90 奈米，是指電晶體的線寬和間距，亦即每單位面積所能容納之電晶體數。依據最著名的半導體『摩爾定律』：每間隔兩年，半導體之製程可將單位晶圓上電晶體的數量增加一倍。由於奈米級顯影科技和製作技術，使得製程從次微米進入了奈米；依照摩爾定律，每兩年的線寬要再縮小至 0.7 倍，於 2012 年時，製程技術已提升至 22 奈米，而預計到 2016 年可提升至 10 奈米製程。若以半導體製程技術龍頭 INTEL 公司預估，2018 年將可達到 7 奈米製程。當製程技術由次微米進入奈米製程時，光學檢測作為微奈米製程中一項重要的支援技術，將更顯重要。

目前我國的半導體製造業之製程設計與技術，已由微米級導入奈米等級，亦即在實際製程上已要求達到奈米等級的量測與製造精度。在 2003 年時，” 九十奈米製程” 已是主流技術；而所謂九十奈米，是指電晶體的線寬和間距，亦即每單位面積所能容納之電晶體數。依據最著名的半導體『摩爾定律』：每間隔兩年，半導體之製程可將單位晶圓上電晶體的數量增加一倍。由於奈米級顯影科技和製作技術，使得製程從次微米進入了奈米；依照摩爾定律，每兩年的線寬要再縮小至 0.7 倍，於 2012 年時，製程技術已提升至

22 奈米，而到 2016 年底已提升至 10 奈米製程。當製程技術由次微米進入奈米製程時，精密量測技術作為微奈米製程中一項重要的支援技術，將更顯重要。

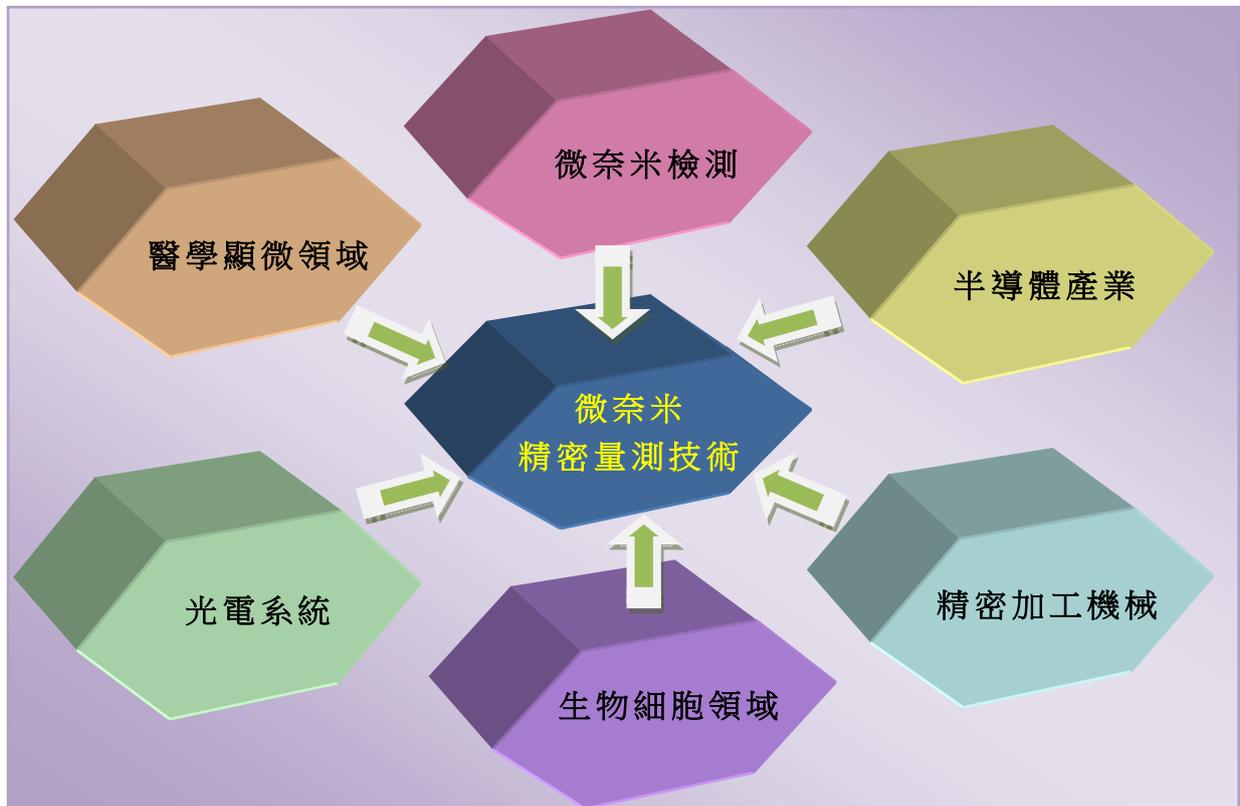


圖 1 - 精密量測技術支援之各相關領域

近年來，科技的日新月異，半導體產業、精密機械工業、生物工程領域、光電系統、顯微機構、表面工程等方面，皆朝微小化、精密化的方向前進，所以對於量測系統的精度要求越來越高，為了提升產品的品質與可靠度，必須要有高於加工等級的精密檢測儀器來檢測。以前因為工業技術水準所限制，所以無法產出高穩定性與高精度的量測儀，因此在邁向『工業 4.0』的目標願景下，電腦化、數位化、與智慧化的趨勢已不可擋，故大多舊式的量測儀在奈米等級的量測已不符使用。

精密量測技術是所有精密機械的基礎，而其應用方面之實現之一項為「雷射量測」。因此，本計畫擬專注於應用雷射讀取頭於『小尺寸面板之光學檢測』之研究。

二、研究目的

由於本研究是利用 DVD 光碟機上的 DVD 雷射頭，來研製一套精密的光學雷射量測系統，以使用於微小薄膜厚度之測量應用上。因此對於雷射讀取頭其運作的原理，以及讀取頭內部各個元件的功能，都要完全的深入探討與瞭解。自從光碟機開始發展以來，其內部之光學雷射讀取頭(Pickup head)技術就不斷往上延續發展，到目前為止雷射讀取頭的技術已經相當的成熟了。DVD 雷射頭為 DVD 光碟機裡的重要元件，從雷射光源、光路設計以及光感測器等，其系統整合的完整度及其聚焦的特性，都適合應用雷射讀取頭使用在本研究所需量測薄膜厚度上，是相當實用的一項元件。

本計畫中使用雷射讀取頭與多重光學鏡片來研製自動光學檢測(AOI)系統，應用於小尺寸面板之光學檢測上。本系統透過當代控制法則，控制雷射讀取頭上之音圈馬達，使微動系統之軸向位移量，轉換為電壓值；同時將以 LabVIEW 程式自行開發一套軟體，使能測量系統微小高度轉換之電壓訊號，以便即時將量測結果輸出於螢幕，並更進一步作系統資料分析。

三、本研究之重要性

當今智慧型手機不僅是消費者最喜愛的產品，也是生活中不可或缺的必需品，而潛在買家購買時的第一印象就是面板的質感，因此其重要性不言可喻。多數小尺寸玻璃面板具有黑色的薄膜塗層，而面板表面的瑕疵和不均勻的塗層厚度會降低商品的外觀品質。一些表面缺陷和不均勻的塗層厚度會降低蜂窩電話的外觀質量。本研究旨在開發一套利用 DVD 雷射讀取頭於小尺寸玻璃面板之自動光學檢測(AOI)系統，以應用於面板的生產線上。

近年來，自動光學檢測(AOI)技術已被廣泛應用在許多行業中，並用於缺陷檢測和分類上。AOI 系統以快速掃描方式來擷取連續圖像並儲存到電腦，中央處理器系統(CPU)透過不同運算法則，來識別和適當分類各種產品的缺陷。許多高科技產業迫切需要 AOI 設備來控制每個階段的工程品質，如 PCB 行業，TFT-LCD 產業，積體電路產業，太陽能電池行業，手機行業等，來替代勞動密集的人工檢查作業。所以本研究就構想以雷射讀取

頭研製一套自動光學檢測系統，用來量測小尺寸面板薄膜厚度。此自行研製之 AOI 量測系統，將可大為降低成本，以使相關應用更為普及。

貳、文獻探討

雷射讀取頭與多重光學鏡片組件技術便不斷的更新與發展，截至今日已相當成熟。從雷射光源、光路設計以及光感測器等，其系統整合之完整度及聚焦之特性，使得應用雷射讀取頭於光學檢測應用上是可行的，其相關之研究文獻評述於下。

Benschop 與 Rosmalen(1991)【1】將 CD 光學讀取頭的雷射源摘除，另外以大功率雷射透過光纖當作新的光源，發展成為一套光學掃瞄顯微鏡。利用讀取頭上的四象限感測器，配合自動聚焦功能，感測物體表面的振幅；同時在遠端雷射光源處，增加一共焦感測器，感應物體表面反射光的相位變化，完成物體表面狀況的掃瞄。林勤喻(1998)【2】發展一套精密的表面粗糙度量測方法。其作法是將讀取頭的音圈馬達鎖死，再把反射面切入 S 曲線，利用 S 曲線線性區中，失焦量與失焦訊號一對一的關係，可精確地量測出物體表面的高度變化。其量測精度可達 34 nm，範圍為 10 μm 。林威自(1999)【3】利用 CD-ROM 讀取頭發展表面粗糙度儀。其作法是切入 S 曲線，用類比式的 PD 控制器來進行聚焦控制，利用伺服失焦訊號與物鏡的位移量，在數百微米的範圍內呈現一對一的線性關係，可量測出物體表面的高度變化。其具有 200 μm 的量測範圍，量測精度可達 0.2 μm 。陳柏廷(2002)【4】利用 DVD 讀取頭發展表面輪廓量測儀，其作法是切入 S 曲線，利用自動聚焦曲線與位移的線性關係，配合磁滯補償，可得出物體表面高度變化。其量測解析度達 40 nm，量測範圍達 1.4 mm。

He 等(2004)【5】製作一種三軸之微小聚焦透鏡致動器，補償音圈馬達之左右偏擺 (tilt) 方向所產生之像差。Chao 等(2003)【6】以一種新的機制—滑軌控制模式 (Sliding mode control) 來對具有三自由度傳統四彈簧音圈馬達驅動器進行精密定位，除了能夠達到更好之聚焦與尋軌之精準度之外，亦能無視偏擺 (Tilting) 而達到更快的資料擷取速度以及更好的精確度。Hong (2001)【7】等提出了一種線圈懸吊式 (Wire-Spring-

Suspension-Type) 之致動器，以消除在全行程中機械偏擺所導致之誤差，也以一個流程的方式去正確的分析驅動力，並且將減少在薄型讀取頭之驅動器中因共振所產生之相位破壞 (Phase Disturbance)。Han 等(2000)【8】提出一個有雙透鏡之致動器 (透鏡在不同方向) 且製造出一個初始原型系統，能夠應用符合高速運轉以及高儲存密度之 DVD/CD 雙系統，由於音圈馬達之驅動力將誘使在高頻中運轉之動件 (Moving part) 產生彈性模態 (Flexible Mode)。Lee 等(2003)【9】利用電磁場及線圈之設計，來抑制此彈性模態之產生，並得到級佳的效果。

近年來，自動光學檢測 (AOI) 技術已被廣泛應用在許多行業中，如 PCB 產業【10】、TFT-LCD 產業、積體電路產、太陽能電池產業、手機製造產業等、來替代勞動密集的人工檢查作業【11】。許多高科技產業迫切需要 AOI 設備來控制每個階段的工藝質量，因此衍生出當前 AOI 技術領域許多量測技術和數學運算法則。Moganti 等【10】區分 AOI 程序為三種主要類型：參照型、規則型和混合型。依據 Sanz and Jain【12】的研究，印刷電路板的缺陷檢查主要是基於參照型方法，由新擷取的圖像與一個無缺陷的參考圖像，利用儲存在資料庫的數據，在一個指定待檢測區域內 (Region of inspection, ROI)，來進行比對並比較；圖像比較演算法使用簡單的 XOR 邏輯算子，來檢驗待檢區的缺陷。Akiyarnai 等【13】開發的參考模板用於匹配在 PCB 缺陷檢測方法上。首先，參考模板與被檢查圖像進行比較，以檢測出大面積的缺陷；然後，使用邏輯閘 AND 篩選各種尺寸面積的缺陷，最後提取出有缺陷的圖像。Huang 等【14】開發了自動視覺檢測系統，用於檢測和分類微型鑽頭的缺陷。其檢測運算法是基於邊緣點在 ROI 的幾何關係。此參照型方法需要校準標記和精密運動機構，以為匹配的圖像樣品提供了一個穩定的圖像位置。至於規則型方法，則須要指定目標圖案和圖像的 ROI，其缺點是難以改變為不同的尺寸。關於混合型方法，則結合參考型和規則型的優點，並補償各方法的缺點。

參、研究方法及原理

一、研究方法

基於具有低成本、小體積、容易取得等優點，本研究主要是使用市售的精密 DVD 讀取頭（Pickup head）來做為製作雷射探頭之主要依據。

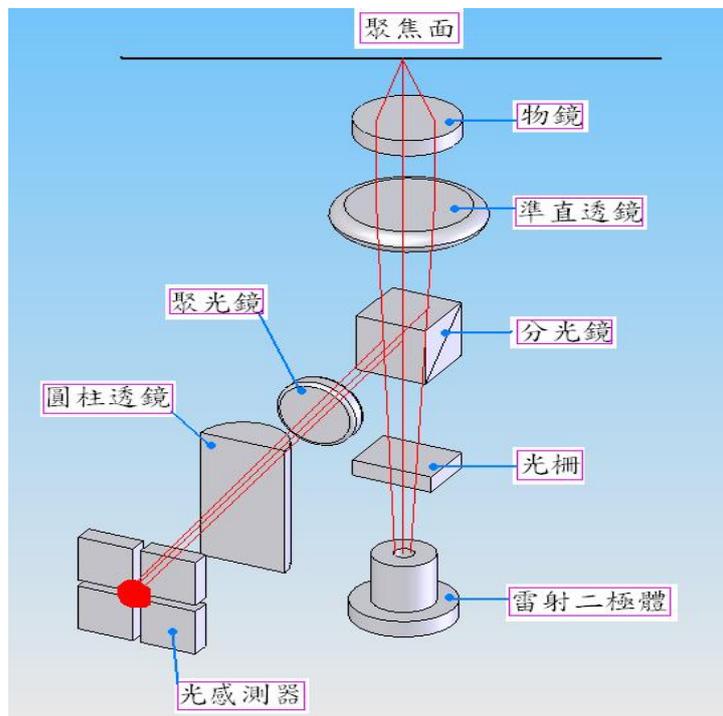


圖 2 - DVD 讀取頭之外觀及內部結構圖

DVD 讀取頭其內部除了含有讀取 DVD 所使用的雷射二極體光源（波長約為 650 nm）之外，其他的相關光學元件及其外觀及結構，如圖 2 所示。應用自動功率控制電路使鐳射二極體發射約 0.5mW 的 650nm 波長的紅鐳射光束，經光柵衍射後形成三束檢測光，再經分光鏡、准直透鏡，將雷射光束變成准直光束，准直光束經過聚焦透鏡後彙聚在被測件上、經被測件反射的光再分別經過聚焦透鏡、准直透鏡、分光鏡和像散透鏡後，投射到四象限感測器（four-quadrant photo detector）上。四象限感測器會根據光點在四個象限上的分佈，輸出一個聚焦誤差電壓信號 FES (Focus Error Signal) $(B+D)-(A+C)$ 。這個聚焦誤差信號經過運算放大、補償處理，驅動音圈電機 VCM (Voice Coil Motor) 並帶動聚焦透鏡一起沿光軸方向運動，直到聚焦點恰好反射面重合，從而達到自動鎖焦的目的。

二、原理與電路

由於雷射探頭在本計畫中主要作為 AOI 量測儀之位移測距，其重要性實為量測準確

度之關鍵；因此，將雷射探頭之研究重要部分並詳述於後。

(一) 雷射 APC 電路

在本研究中，雷射探頭系統需要一個穩定功率的雷射光源，因此在 APC (Automatic Power Control) 電路上的設計其重要性不言可喻。在 APC 電路之初始狀態下，先提供一個基準的參考電壓源，而在系統作動的同時將當時 PD 所接受的訊號與此進行比較。兩個訊號相減之後經過放大電路進而推動 LD 的驅動電路，驅動電路本身是利用一電晶體作類似開關的動作，來控制 LD 電流大小。因此在任何情況之下經由此 APC 電路的監視之下，雷射都能夠得到穩定的功率供給。本研究所製作之 APC 線路圖及電路板，請參閱圖 3 及圖 4。

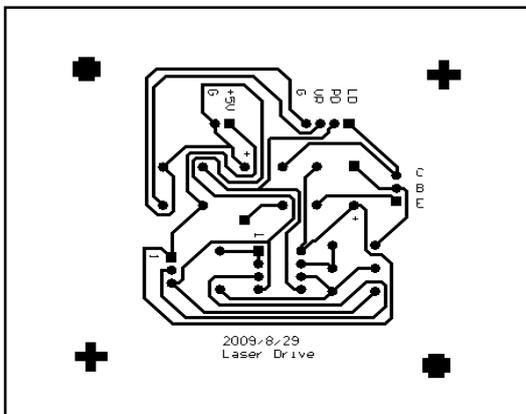


圖 3 - 雷射 APC 線路圖

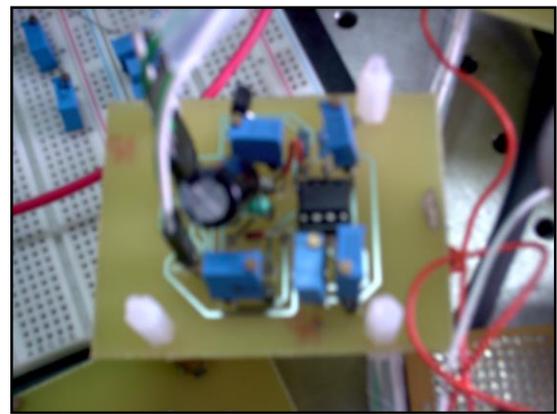


圖 4 - 雷射 APC 電路板

(二) 光感測器

光偵測器 (Photo-detector) 是將光訊號轉換為電訊號，而在經由後續對於其轉換而成之電子訊號的量測得知原始的光訊號。另外，將檢測出入射光的能量，轉換成光電流的形式，搭配適當的阻抗，可以將之轉換成電壓值。因此光檢測器可以藉著電壓訊號的強弱，判斷出入射光的位置。

在本計畫中，雷射探頭內部的感測器是由四片面積相同且光電性質相同的光感測器所組成的為四象限感測器 (Quadrant detector)，如圖 5。材料一般為矽，中央之間隔只有 2 到 12 微米，當光點打在檢測器上時，光點落在各檢測元件的能量不一，因此其訊號輸出也不一，利用電子線路，比較各檢測元件之輸出，就可獲知光點位置差。

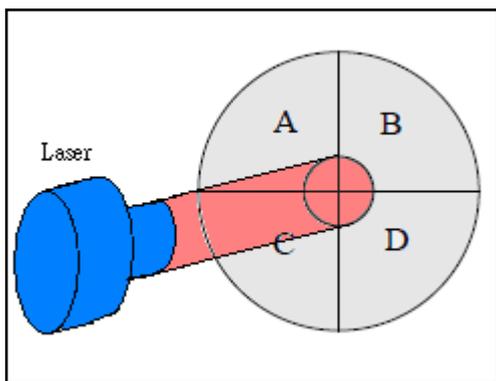


圖 5 - 象限感測器位置與電壓之關係

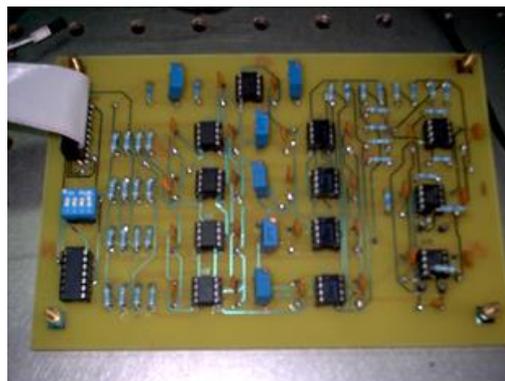


圖 6 - 光感測器訊號處理電路

在圖 5 中，A，B，C 與 D 分別代表在第一、二、三、四象限所接收到光強訊號，而 K 則表示感測器系統中的比例常數。雷射讀取頭即是利用四象限感測器來偵測四個象限分別的受光強度，並進而經由後續的電路訊號處理來計算失焦訊號 FES (Focus Error Signal) 其值等於 $(A+C) - (B+D)$ ，而在某特定區段經由此方式，即可得到雷射探頭之 S 曲線的電壓-位移之特性圖。至於光感測器訊號處理電路原型測試板，則如圖 6 所示。

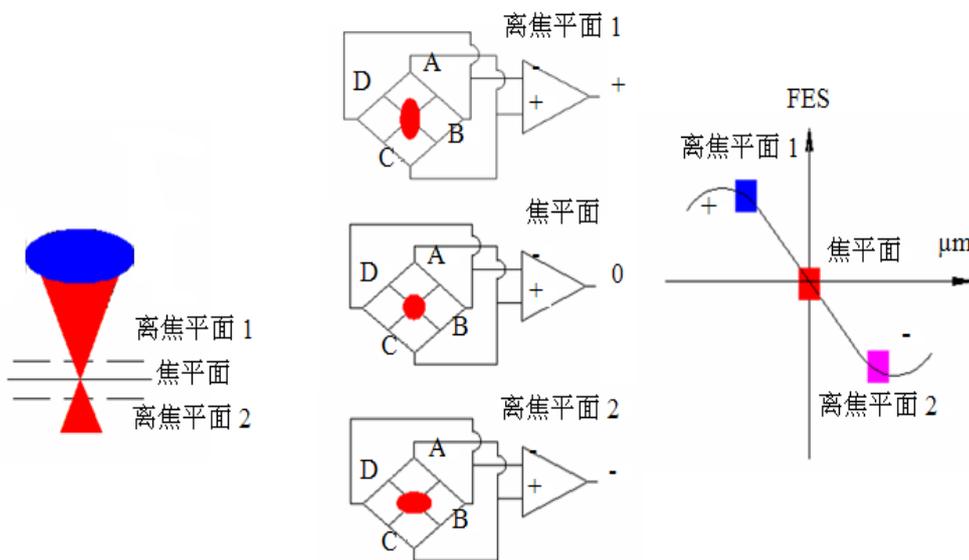


圖 7 - 自動聚焦雷射探頭量測範圍曲線圖

(三) S-曲線

若將 DVD 光學讀取頭中的音圈馬達固定，使聚焦透鏡固定不動，則系統輸出的聚焦誤差信號與聚焦點偏離反射面的距離在一定範圍內呈線性關係，又稱為 S-曲線，如圖 7

所示。

S-曲線之直線部分其電壓-位移量之比值為 $1\text{volt} / 1\mu\text{m}$ ，而 S-曲線直線部分總位移量為 $15\mu\text{m}$ 。由於聚焦誤差信號具有高解析度與高精度的特性，適合用來發展奈米級的 AOI 量測系統。

(四) 資料擷取方式：Labview 程式配合 DAQ 卡

Labview(縮寫為 Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)不僅可以用來做資料擷取(DAQ)、資料分析與結果呈現，還提供量測後的數學分析與顯示功能。它是一種圖控式語言，幾乎都是用圖像(ICON)組合來完成程式編輯，不像其他程式需要一堆文字組合。除了上述這些功能之外，還可以用來做”控制”，像是模糊控制、伺服控制…等。

DAQ卡之基本任務是將真實世界轉換成物理訊號。在將訊號”引入”電腦之前，先透過感測器來轉換成電子訊號(如電流和電壓)，然後透過DAQ卡來擷取，進入電腦中處理。

本研究中對於四象限感測器所感測到的訊號(電壓)，先用電路板將訊號放大，經由DAQ卡來接收光感測器發出的訊號，再透過USB線將資料傳入電腦裡，由Labview圖控式語言來進行訊號擷取分析與量測，如圖8所示。圖9則為AOI系統之研製流程。

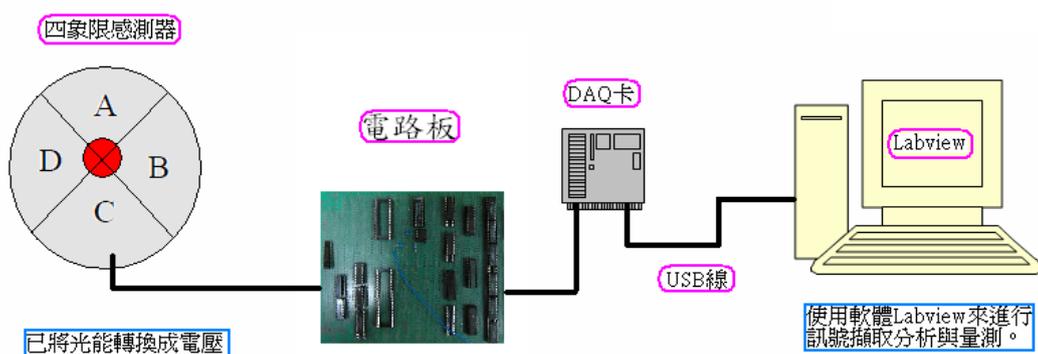


圖 8 - 資料擷取方式示意圖

DAQ卡之基本任務是將真實世界轉換成物理訊號。在將訊號”引入”電腦之前，先透過感測器來轉換成電子訊號(如電流和電壓)，然後透過DAQ卡來擷取，進入電腦中處理。

本研究中對於四象限感測器所感測到的訊號(電壓)，先用電路板將訊號放大，經由DAQ卡來接收光感測器發出的訊號，再透過USB線將資料傳入電腦裡，由Labview圖控式

語言來進行訊號擷取分析與量測，如圖 8 所示。圖 9 則為 AOI 系統之研製流程。

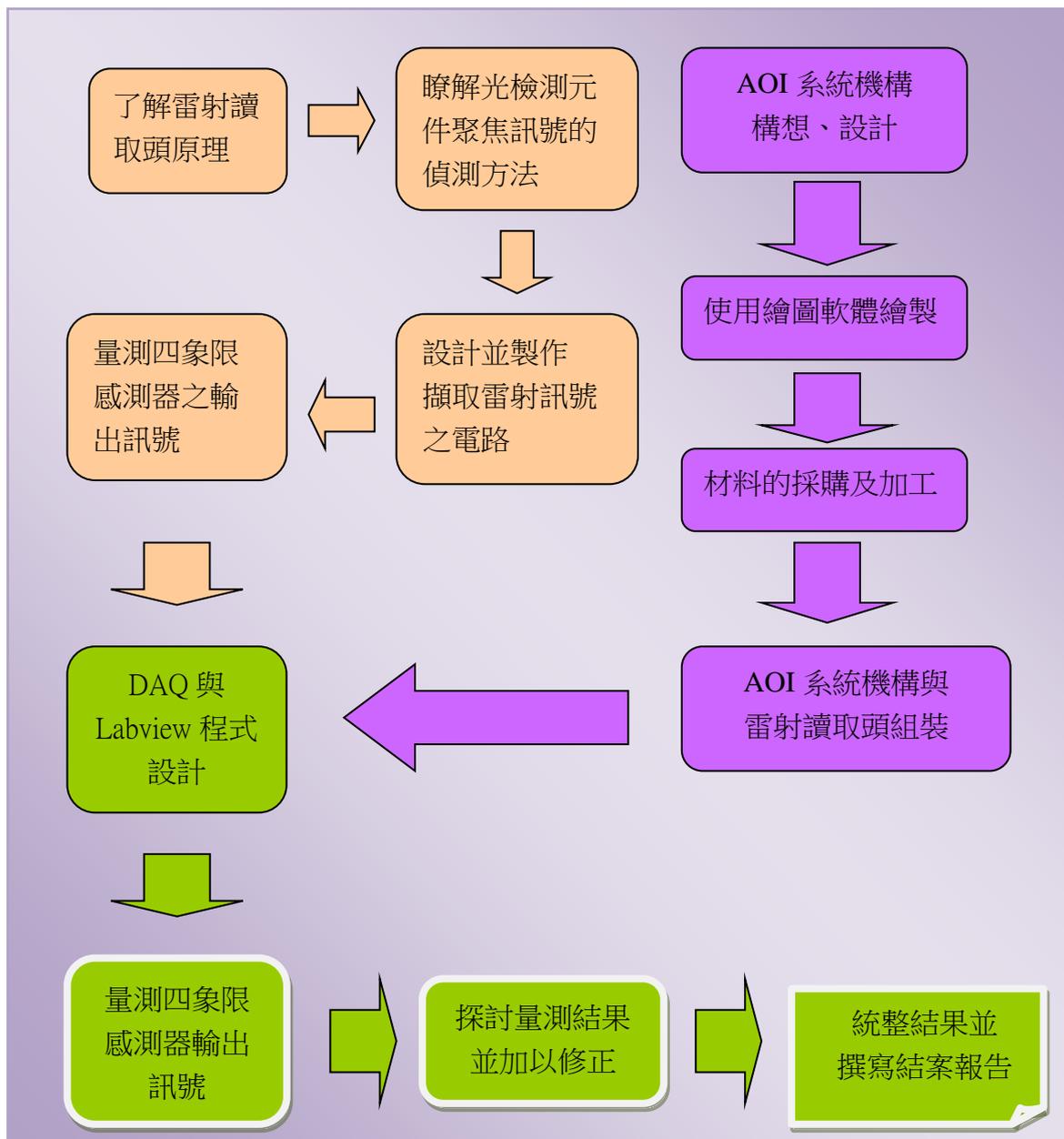


圖 9 - AOI 系統製作流程

肆、量測系統設計

(一) 光路設計分析

AOI 系統是由多種光學元件所組成，其原件主要為斜方稜鏡(RHP)、四分之一波板 (Quarter Waveplate)、直角稜鏡(RAP)、無偏振分束器(NPBS)和偏振分束器(PBS) 所組成。因為奈米光學尺採用全對稱設計，且利用光學軟體 lighttool 模擬其光學元件擺

放的容許誤差，所以在調整上有極大的容許誤差。因為本設計的光學元件固定在調整板上再經由螺絲去進行調校，所以不會遇到運用膠水黏合光學元件，所產生的黏合劑硬化收縮而導致鏡片偏位的問題，因此在製作與組裝上，較為簡易方便且較能快速的製作完成，其光路設計架構如圖 10 所示。

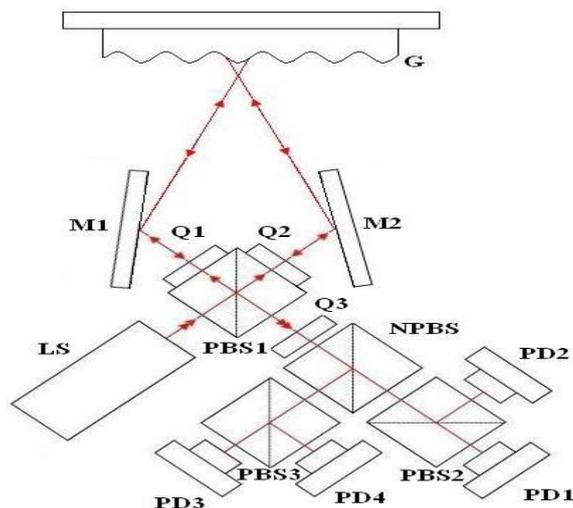


圖 10 - 量測光路設計

至於光路行程之分析，則如下所示：

$$\text{左光路: } LS \rightarrow \text{PBS1} \rightarrow Q1 \rightarrow M1 \rightarrow G \rightarrow M1 \rightarrow Q1 \rightarrow \text{PBS1} \rightarrow Q3 \quad (1)$$

$$\text{右光路: } LS \rightarrow \text{PBS1} \rightarrow Q2 \rightarrow M2 \rightarrow G \rightarrow M2 \rightarrow Q2 \rightarrow \text{PBS1} \rightarrow Q3 \quad (2)$$

可用 Jones Vector 組成，因公式冗長不再此細列。

由 Q3 出來的光場分別為：

$$\text{左光路: } E_{Q3}^L = \frac{a}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\text{右光路: } E_{Q3}^R = \frac{-a}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix} \quad (4)$$

再經由 NPBS 及 PBS2 與 PBS3 射到四顆光感應器(PD)的輸出電流分別為：

$$I_{PD1} = 2A^2[1 + \cos(\Delta\omega t)] \quad (5)$$

$$I_{PD2} = 2A^2[1 - \cos(\Delta\omega t)] \quad (6)$$

$$I_{PD3} = 2A^2[1 + \sin(\Delta\omega t)] \quad (7)$$

$$I_{PD4} = 2A^2[1 - \sin(\Delta\omega t)] \quad (8)$$

上述各式中的 $\Delta\omega$ 和光柵尺的運動速度有關，濾除直流(A)後的四個訊號理論上具有正交性，可以用一般光學尺解碼原理的 Up/down counter 及細分割技術來算出位移量 (Δx)。

$$\Delta\Phi = \frac{4\pi m}{d} \Delta x \quad (9)$$

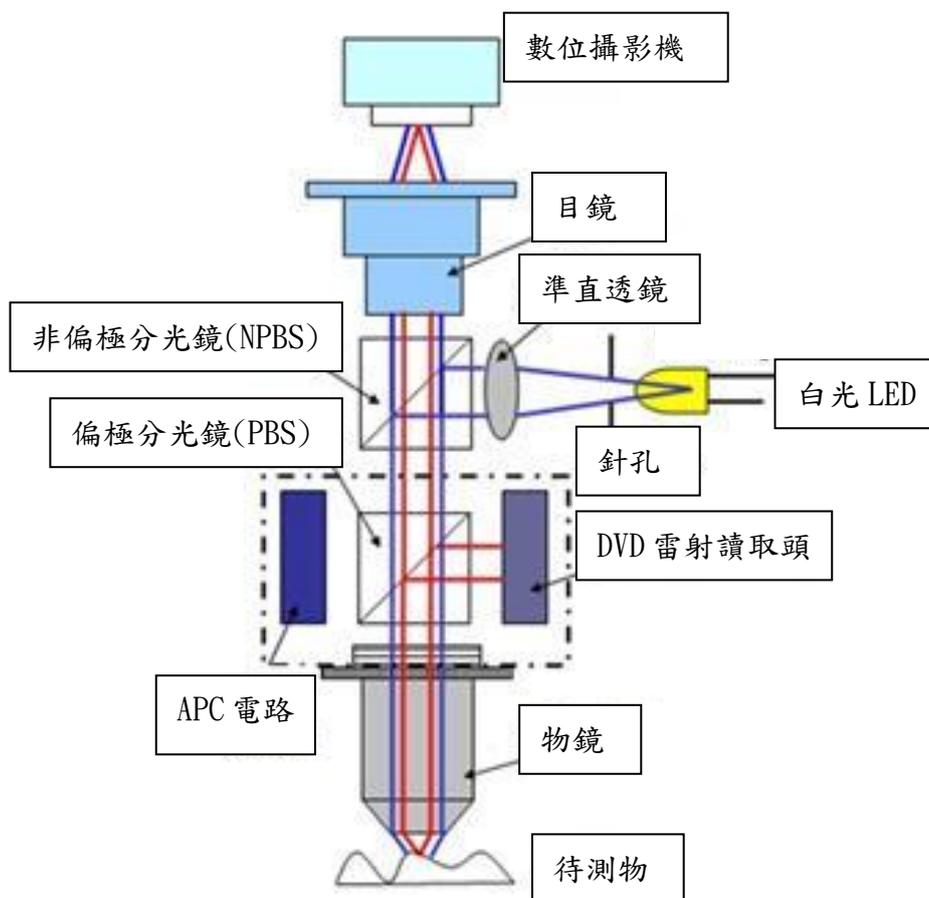


圖 11 - AOI 量測系統之結構圖

(二) 均質化 FES 信號 (NFES, Normalized FES)

由光學原理得知，反射光強度對反射表面的顏色極為敏感；換言之，反射面之顏色影響反射光強度，例如白色可反射大部分的入射光；而黑色對於入射光則大部分吸收少部分反射。已知手機面板上的塗層通常為黑色，故顯著降低了反射光的強度。因此，需

要採用 FES(圖 7)信號上的均質化技術 NFES，從而消除表面反射率的影響，如等式(10)所示。

$$NFES = [(A+C)-(B+D)] / (A+B+C+D) \quad (10)$$

(三) 機構設計

本計畫所開發的 AIO 量測系統之機械結構如圖 11 所示。此機構是將 DVD 之訊號擷取頭的原始物鏡和音圈馬達去除，並安裝新的顯微鏡物鏡，以便將 FES 的線性範圍增加到約 20 μm 。而量測系統上之 CCD 相機可幫助使用者，查看待測物表面上的精確測量點，亦可用於缺陷之檢查。

伍、結果與討論

小尺寸面板之塗膜雖然均勻分布於整片面板玻璃上，但是為便於檢測，可量測待測面板上的四個邊角位置 ABCD，如圖 12 所示，最後再取其平均值即可。



圖 12 - 面板塗層膜之厚度測量位置

本研究中校準的 NFES 曲線以及四象限檢測器接收的總強度 (SUM)，經由移動聚焦透鏡與待測物位置，可得到如圖 13 所顯示之 SUM 及 NFES 曲線，而此曲線的線性範圍約為 20 μm ，可滿足本研究之量測需求。使用上述線性範圍來進行膜厚量測，在待測面板上之四個角 ABCD 個別進行連續五次的塗膜厚度測量。其結果在 ABCD 四個角的平均值，分

別為 7.82、8.24、8.37 及 8.33 μm ，而總平均值為 8.22 μm ，分辨率為 0.01 μm ，標準偏差小於 0.1 μm ，如表 1 所示。

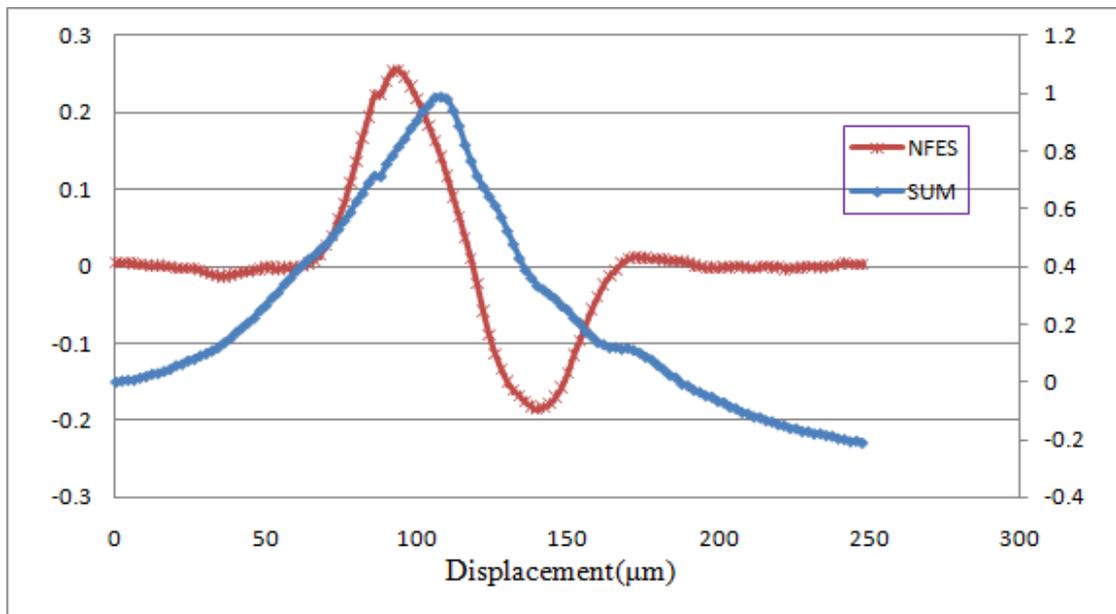


圖 13 - NFES 及 SUM 曲線比較圖

表 1 - 膜厚測量結果 (單位: μm)

量測位置	A	B	C	D	量測點 ABCD 平均值
1st	8.03	8.21	8.31	8.22	8.19
2nd	7.93	8.10	8.33	8.28	8.16
3rd	7.77	8.23	8.40	8.45	8.21
4th	7.95	8.34	8.34	8.31	8.24
5th	7.93	8.33	8.49	8.42	8.29
均值 Mean	7.82	8.24	8.37	8.33	8.19
標準差 σ	0.09	0.10	0.07	0.09	0.0875

陸、結論

本研究成功開發了用於測量小尺寸面板的塗膜厚度的自動光學檢測系統。面板黑色塗層的膜厚通過 DVD 雷射讀取頭的散射原理來進行測量。低反射信號由 NFES 技術求解，使得均質化的 FES 信號不受表面反射率的影響。此測量系統中，使用市售的物鏡替換 DVD 物鏡，以增加膜厚度測量的聚焦深度，增加量測範圍。實驗結果證明，厚度測量的準確性達到 100%，每個圖像的生產時間大約為 0.1 秒。由於本研究的 DVD 雷射頭是從 DVD 光碟機裡拆下來的，在成本上差不多壹仟元台幣，如果能夠直接廠商購買 DVD 雷射頭零件，成本可大為降低。此『光學雷射 AOI 系統』量測範圍高達 $20\ \mu\text{m}$ ，雖然比不上市面上售價昂貴之光學 AOI 系統，不過在如此低成本的研製上，能夠量測如此高精度的儀器，到是很適合業界上之需要，相信能被業界更為普及的使用。

參考文獻

- 【1】 Benschop, J., Rosmalen, G.V., “Confocal compact scanning optical microscope based on compact disc technology”, *Applied Optics*, Apr. 1, Vol. 30, No. 10, pp. 1179-1184, 1991.
- 【2】 林勤喻, ”超精密雷射聚焦探頭之研製”, 國立台灣大學機械工程研究所碩士論文, 1998。
- 【3】 林威自, ”超精密雷射自動聚焦探頭及系統之研製”, 國立台灣大學機械工程研究所碩士論文, 1999。
- 【4】 陳柏廷, ”DVD 光學自動聚焦探頭非線性系統之研究”, 國立台灣大學機械工程研究所碩士論文, 2002。
- 【5】 Nanying He, Weipu Jia, Dingwen, Lei Huang, Mali Gong, ”A novel type of 3-axis lens actuator with tilt compensation for high-density optical disc system”, *Sensors and Actuators*, A. 115, pp. 126-132, 2004
- 【6】 Paul C.-P Chao, Cheng-Liang, Jeng-Sheng Huang, ”Nonlinear dynamic analysis and actuation strategy for a three-DOF four-wire type optical pickup”, *Sensors and Actuators*, A. 105, pp. 171-182, 2003
- 【7】 Sam-Nyol Hong, In-Ho CHOI, Young-Joong KIM, Min-Suk SUH and Jin-Yong

- KIM, " Force Characteristics of Slim Pickup Actuator to Improve Actuating Performances" , *The Japan Society of Applied Physics*, Vol. 40, pp.1771-1774, 2001
- 【8】 Changsoo Han, Junghyun LEE, Soohyun, " Digital Versatile Disc/Compact Disc-Compatible Pickup Head with Dual-Lens Lever Actuator for Next-Generation Applications" , *The Japan Society of Applied Physics*, Vol. 39, pp. 2630-2634, 2000
- 【9】 K. -T Lee, C. -J Kim, N. -C Park, Y. -P, Park, " Improvement of dynamic characteristics for optical pickup actuator by magnetic circuit" , *Microsystem Technologies*, Vol. 9, pp. 232-242, 2003.
- 【10】 Moganti M, Ercal F, Dagli CH, Tsunekawa S., "Automatic PCB inspection algorithms: a survey" , *Computer Vision and Image Understanding*; 63(2): 287 - 313 , 1996.
- 【11】 Fan KC, Hsu C., "Strategic planning of developing automatic optical inspection (AOI) technologies in Taiwan' , *Journal of Physics Conference Series 2005*, 13: 394 - 397, 2005.
- 【12】 Sanz JLC, Jain AK., "Machine-vision techniques for inspection of printed wiring board and thick-film circuits" , *Journal of Optical Society*, 1465 - 1482, 1986.
- 【13】 Akiyama Y, Hara N, Karasaki K., "Automatic inspection system for printed circuit boards" , *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)* , 5(6): 623 - 630, 1983;
- 【14】 Huang CK, Liao CW, Huang AP, Tarng YS., "An automatic optical inspection of drill point defectsfor micro-drilling" , *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 37: 1133 - 1145, 2008.