

發明專利說明書200535411

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：9711173

※申請日期：97.4.20

※IPC 分類：G01N 21/17, G01B 11/06

壹、發明名稱：(中文/英文)

可同時量測光學晶體厚度及光軸之影像式偏極光量測方法

貳、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

國立交通大學

代表人：(中文/英文)

張俊彥

住居所或營業所地址：(中文/英文)

300 新竹市大學路 1001 號

國 籍：(中文/英文)

中華民國

參、發明人：(共 5 人)

姓 名：(中文/英文)

1. 黃中堯

2. 李建立

住居所地址：(中文/英文)

1. 新竹市富群街 6 巷 4 弄 14 號

2. 花蓮縣吉安鄉宜昌村荳蘭六街 2 號 3 樓

國 籍：(中文/英文)

(均同)中華民國

肆、聲明事項：

本案係符合專利法第二十條第一項第一款但書或第二款但書規定之期間，其日期為： 年 月 日。

◎本案申請前已向下列國家（地區）申請專利 主張國際優先權：

【格式請依：受理國家（地區）；申請日；申請案號數 順序註記】

1.

2.

3.

4.

5.

主張國內優先權(專利法第二十五條之一)：

【格式請依：申請日；申請案號數 順序註記】

1.

2.

主張專利法第二十六條微生物：

國內微生物 【格式請依：寄存機構；日期；號碼 順序註記】

國外微生物 【格式請依：寄存國名；機構；日期；號碼 順序註記】

熟習該項技術者易於獲得，不須寄存。

伍、中文發明摘要：

本發明提供一種可同時量測光學晶體厚度及光軸之影像式光學量測方法，其係利用同一偏光儀架構先進行析光片旋轉量測，以透過析光片連續變化之不同方位角來取得相對應之一系列的光強度變化影像，並將該等影像擬合以得到晶體薄膜之光軸投影在薄膜平面之投影光軸指向，接著再進行樣品旋轉量測，以連續調整偏極光對於薄膜之入射角，進而測得薄膜光軸在三維空間的指向和厚度之二維分佈。因此本發明在僅使用一量測架構之前提下，可同時測得光學晶體之厚度及其光軸指向，並可達成降低量測成本、經濟、量測方便及測值精確等功效。

陸、英文發明摘要：

柒、指定代表圖：

(一)、本案代表圖為：第二圖

(二)、本案代表圖之元件代表符號簡單說明：

106 偏極片

108 四分之一波板

12 樣品

14 析光片

捌、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

玖、發明說明：

一、【發明所屬之技術領域】

本發明係有關一種光學晶體量測技術，特別是關於一種可同時獲得光學晶體之厚度及其光軸方向之影像式偏極光量測方法。

二、【先前技術】

近幾年來，光學晶體薄膜的應用日廣，如液晶顯示器之顯示功能就與液晶光學薄膜的異向性有密切關係。對於液晶顯示器而言，液晶薄膜之厚度及其光軸方向之量測便十分重要。偏光儀係研究薄膜之光學異向性的一項重要工具，舉凡單軸晶體薄膜的厚度、相位延遲或光軸傾角等光學檢測，都顯示偏光儀具有極大的應用價值。然而，目前並沒有能夠同時量測光學晶體之薄膜厚度及其光軸方向之偏光儀系統。

習知第一種偏光儀量測系統係藉由旋轉一析光片而得到薄膜材料的雙折射分佈和光軸在薄膜平面投影的角度，但無法進一步得到薄膜厚度和光軸傾角的分佈。

第二種偏光儀量測系統則利用旋轉樣品以得到光軸傾角。當樣品被轉到某一個角度下，光折射後恰好沿著光軸或垂直光軸方向行進，再藉由光穿透率極值之角度反推出光軸傾角；但此法僅能測量傾角範圍限於 $0^\circ\sim 20^\circ$ 或 $70^\circ\sim 90^\circ$ 者，即其僅能測量傾角極小或極大者，且此法無法求出薄膜厚度。

第三種做法可使旋轉樣品法之傾角量測範圍擴展至 $20^\circ\sim 70^\circ$ 。當樣品旋轉角度改變時，會產生穿透光強度週期性的明暗變化，藉由找到相鄰二個極大(最亮)和相鄰二個極小(最暗)對應的旋轉角度，以反推得出光軸傾角參數；然而，此法不適用於厚度小於 $20\mu\text{m}$ 之薄樣品，因為太薄之樣品找不到二個對應的穿透光強度極大和極小值。所以此法雖然改進了光軸傾角量測範圍的限制，但失去厚度的參數，且僅適合雷射光束撞擊樣品位置之光軸

傾角量測，亦即此方法係為單點量測，不能推廣至檢測光軸傾角之二維分佈。

第四種量測方法則是固定樣品，其係利用透鏡使光聚焦到樣品中，藉由觀察穿透光在屏幕上干涉圖形中心點的位移量，反推得到傾角的參數。此方法之缺點是需要用大數值孔徑(numerical aperture)的透鏡，且只能量得聚焦點上之傾角。此法測量之傾角範圍也限於 0° - 20° 或 70° - 90° ，且數據處理過程中，亦失去厚度的參數。

第五種量測法則利用一光譜橢圓儀，藉由改變偏光片和析光片之角度，使得穿透光譜在某一特定波長之強度為零(null transmission)，藉此得知液晶樣品之扭轉角度(twist angle)和相位延遲(retardation)。但當樣品很薄時($<3\mu\text{m}$)，所量得的光譜曲線會變寬，以致無法精確找到對應光強度為零之波長，因此無法量測薄樣品。又，此法量得之相位延遲，係為厚度和傾角這兩參數的耦和，因此仍然需要知道其中一個參數值才能求得另一個；再者，此法因為用到光譜儀，故也只適用於單點的量測。

第六種量測法也是利用一光譜橢圓儀，藉由量得光譜中任意二波段間的總光強度之比值(total intensity ratio)，以求得樣品之厚度。此法係假設在小的光軸傾角下，所造成的誤差可以被忽略，因此在較大之傾角時，需要使用另外的方法以便先取得光軸傾角的參數；又，此法也用到光譜儀，因此只適用於單點的量測。

因此，有鑒於目前之偏光儀量測系統僅能單獨量測膜厚或光軸，無法同時測得該二光學晶體特性，且大多數量測系統只適用在樣品上某一點的

量測，欲同時量得不同參數則需使用不同系統，相當不方便且不經濟。因此，如何在一種量測架構下，可同時量測樣品之厚度及光軸傾角之二維分佈，則為本發明的重點。

三、【發明內容】

本發明之主要目的，係在提供一種影像式光學量測方法，藉以在僅使用一量測架構之前提下，可同時測得光學晶體之厚度及其光軸方向。

本發明之另一目的，係在提供一種可同時獲得薄膜厚度與光軸方向之影像式偏極光量測方法，以改善習知需使用多套量測架構輔助量測之缺失者，進而有效達成降低光學量測成本之功效，俾提供經濟且方便之光學晶體量測方法。

本發明之再一目的，係可克服習知偏光量測系統測得參數受限及失真之缺失，利用內插法及曲線擬合進行影像補償處理，使影像回復到正常入射之原尺寸，且使一系列影像被正確地重疊，進而提供精確之光學量測值。

根據本發明，一種同時量測光學晶體厚度及光軸之影像式光學量測方法係利用同一偏光儀系統來達成，該偏光儀系統包括一偏光裝置、一樣品轉台、一析光片及一影像感測裝置，在該樣品轉台上置放有一樣品，該影像式量測方法包括下列步驟：首先令該析光片旋轉，藉以在偏光裝置之偏極光穿過樣品而至該析光片時，透過析光片變化之不同方位角位置來取得相對應之一系列的光強度變化影像，進而依據該等影像之擬合而決定該樣品之光軸投影在樣品平面的投影光軸指向；接著令該樣品旋轉，以調整偏

極光對於樣品之入射角而得到複數不同之光穿透強度，且根據感測該等光穿透強度的變化，進而定位該樣品之光軸在三維空間的指向和厚度之二維分佈。

底下藉由具體實施例配合所附的圖式詳加說明，當更容易瞭解本發明之目的、技術內容、特點及其所達成之功效。

四、【實施方式】

本發明利用同一偏光儀架構先進行析光片旋轉量測，可得到樣品之光軸投影在樣品平面之角度的二維分佈，再進行樣品旋轉量測，如此即可定位樣品光軸在三維空間的指向和厚度之二維分佈。

第一圖為本發明所使用之系統架構示意圖，本發明所使用之偏光系統包括一偏光裝置 10、一樣品轉台、一析光片 14 及一成像裝置 16，在樣品轉台上置放有一樣品 12，其係為單軸晶體薄膜。其中偏光裝置 10 包含一光源 102，其為波長 632 奈米(nm)的氦氖雷射，其光束經過四十倍擴束器 104 擴展成均勻強度光之後，再經過一個偏極片 106 和四分之一波板 108 而成為屬於圓形偏極光之右旋偏極光；析光片 14 通常亦為偏極片，其係用以將穿過該樣品 12 之偏極光轉換為光強度變化圖形，藉以分析穿過樣品 12 之穿透偏極光之偏極化狀態(polarization state)；成像裝置 16 則包含一透鏡 162 及一光電耦合元件(Charge coupled device, CCD)164。在偏光裝置 10 產生一右旋光之後，再使該右旋光入射於樣品 12，最後出射光經一穿透軸和 x 軸夾 ϕ 角的析光片 14，由透鏡 162 視應用需要將穿透光影像放大到

CCD 164 上成像。

在了解本發明所使用之偏光系統及其各元件之作用後，請再參閱第二圖所示，為本發明之偏光量測原理示意圖，將藉以詳細說明本發明之影像式偏極光量測方法。其中，樣品平面係定義為 $x-y$ 平面，樣品之光軸在三維空間的方向傾角則定義為光軸和 z 軸的夾角 α ，而當光軸投影在 $x-y$ 面上後，其與 y 軸的夾角則為 β 。

本發明之影像式偏極光量測方法係包括下列步驟：首先，令析光片 14 旋轉，以使析光片 14 連續變化不同之方位角 ϕ 位置，藉以經過偏極片 106 和四分之一波板 108 所產生之右旋偏極光穿過樣品 12 而至析光片 14 時，透過析光片 14 連續變化之不同方位角 ϕ 位置來取得相對應之複數不同的光強度變化影像，進而再以入射光強度、相位延遲及及投影角度為參數，將該等一系列影像中對應同一個像素的光強度變化值進行曲線擬合 (curve fitting)，以決定樣品 12 之光軸投影在樣品平面 $x-y$ 的投影光軸指向；其中，該投影光軸指向係為樣品 12 之光軸投影在該樣品平面上的方位 (direction)，且藉由量測樣品 12 之光軸投影在樣品平面 $x-y$ 的投影角度 β ，係可得知樣品 12 之光軸投影在樣品平面 $x-y$ 的二維分佈。

接著，令該樣品 12 旋轉，以連續調整該偏極光對於樣品 12 之入射角而得到複數不同之光穿透強度，且依每一不同入射角而擷取相對應之影像，藉以根據感測該等光穿透強度的變化，來決定樣品 12 之光軸指向和厚度；換言之，此步驟係根據感測該等光穿透強度的變化，來決定樣品 12 之光軸在三維空間的指向及其在三維空間之二維分佈，以及決定樣品 12 之厚

度 h 的二維分佈。

其中，在前述偏光系統中係設有電腦，以利用電腦控制析光片 14 之旋轉及控制偏極光之入射角調整。

另外，若樣品 12 較厚時，旋轉樣品 12 會因偏極光對於樣品 12 之入射角不同，而造成影像偏移及尺寸縮減，故對於厚樣品而言，在決定樣品 12 之光軸指向和厚度之步驟中，更可加入一影像補償處理步驟，以補償樣品 12 因旋轉所造成之影像偏移及尺寸縮減。該影像補償處理步驟係在得到不同之光穿透強度之後，將投影後縮小的該影像以線性內插法進行還原，以去除樣品 12 因旋轉而造成之像素偏移效應；並在利用線性內插法進行還原之後，再以厚度和光軸傾角二參數進行曲線擬合(curve fitting)分析，以處理像素上的強度變化，進而在對複數個像素進行曲線擬合後，得到樣品 12 之厚度 h 和光軸傾角 α 的二維分佈圖。如此，即可補償厚樣品因光源入射角不同而造成之影像偏移及尺寸縮減，使其回復到正常入射之原尺寸，且使不同影像可藉由畫素相依(pixel-by-pixel)而被正確地重疊。

至此，本發明之影像式偏極光量測方法的精神已說明完畢，以下特以一具體理論推導來詳細驗證說明本發明之量測方法及其原理，以使熟習此項技術者將可參酌此範例之描述而獲得足夠的知識而據以實施。

請再參第二圖及第三圖所示，此偏光系統之輸出光的強度可由 Jones matrix 得出：

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2 \phi & \sin \phi \cos \phi \\ \sin \phi \cos \phi & \sin^2 \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ b & c \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & i \\ i & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

其中

$$\begin{aligned} a &= d = \cos^2 \beta e^{i\delta/2} + \sin^2 \beta e^{-i\delta/2}, \\ b &= i \sin 2\beta \sin(\delta/2), \\ c &= \cos^2 \beta e^{-i\delta/2} + \sin^2 \beta e^{i\delta/2}. \end{aligned}$$

在正向入射時，亦即未旋轉晶體樣品 12 時， $\psi=0$ ，其穿透光之相位延遲 δ 可表示成：

$$\delta(\alpha) = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) \cdot h \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{1}{n_e^2} \sin^2 \alpha + \frac{1}{n_o^2} \cos^2 \alpha}} - n_o \right) \quad (1)$$

其中 λ 是入射光波長， h 為樣品厚度。

輸出光強 I 可由輸出光場分量的平方和而得：

$$I = x'x'^* + y'y'^* = \frac{I_0}{2} \{1 + \sin 2(\phi - \beta) \sin \delta\}, \quad (2)$$

此處 I_0 是入射光的強度， $\sin \delta$ 為一常數。

本發明藉由旋轉析光片 14 之 ϕ 角可得知光軸投影在 x-y 平面的角度 β 。例如從 0° 到 180° 來轉動 ϕ 角，且每隔 10° 用 CCD 164 照一張圖像，可得到十九張圖片。在十九張圖像中對應同一個像素的十九個強度係利用上式(2)進行 $[\frac{I_0}{2}$ 、 $\sin \delta$ 和 β 角] 三個參數之曲線擬合 (curve fitting)，如此可得到光軸 β 角。

在確知 β 角後，為了測量樣品光軸之傾角 α 和厚度，本發明藉由固定 ϕ ，使得上式(2)中的 $\sin 2(\phi - \beta) = 1$ (亦即設 $\phi - \beta = \pi/4$)，接著以通過樣品 12 中心點且方向沿 x-軸為轉軸來旋轉樣品 12，使樣品 12 之法線方向和入射光夾角為 ψ ，如第三圖所示，其係為一以液晶盒 (liquid crystal cell) 為例之晶體旋轉座標軸與光路示意圖，一樣品 12 係夾置於二玻璃基板 13 之間。樣品 12 之光軸傾角定義為樣品 12 光軸和樣品法線 N 的夾角 α 。當光

出射樣品 12 後，其相位延遲(retardation)為：

$$\delta(\gamma, \psi) = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) \cdot h \cdot f(\gamma, \psi) \quad (3)$$

其中 $\gamma \equiv \pi/2 - \alpha$ ， $f(\gamma, \psi)$ 的表示如下：

$$f(\gamma, \psi) = \frac{1}{c^2} (a^2 - b^2) \sin \gamma \cos \gamma \sin \psi + \frac{1}{c} \left(1 - \frac{a^2 b^2}{c^2} \cdot \sin^2 \psi \right)^{1/2} - \frac{1}{b} (1 - b^2 \sin^2 \psi)^{1/2} \quad (4)$$

$$a = \frac{1}{n_1}, \quad b = \frac{1}{n_2}, \quad c^2 = a^2 \cos^2 \gamma + b^2 \sin^2 \gamma,$$

其中 m 和 n 分別是晶體樣品 12 對於非尋常光(extraordinary)和尋常光(ordinary)的折射率。

當傾角 α 固定時， γ 也固定，所以式(2)可改寫成光透射比(optical transmittance)：

$$T(\psi) = \frac{1}{2} \cdot (1 + \sin \delta(\psi)) \quad (5)$$

由式(5)可知光透射比會隨著晶體樣品 12 旋轉角度不同而變化，而這變化是由式(3)中的二個參數(即 α 和 h)所決定。所以在得到式(5)所描述之實驗曲線後，再以 α 和 h 進行曲線擬合，可得到樣品 12 之光軸傾角和厚度。

其中，對於每一畫素而言，光強度變化係為入射角之函數，其係可被回復且被以式(5)來進行曲線擬合，以產生膜厚及光軸極化角(polar angle)之二維分佈。

在瞭解本發明之具體理論推導及其運作原理之後，以下特再藉由厚度不同達三個數量級的二種樣品來展現本發明之應用普遍性和潛在價值。第一種樣品係為厚樣品，其係為一厚度約 1.2 釐米(mm)之 LiNbO_3 單晶片；第二種樣品為薄樣品，其係為一厚度約 4.9 微米(μm)的液晶盒。

第一具體實施例

以一厚度約為 1.1 mm 的 LiNbO_3 單晶樣品為例，此材料之 $n=2.204$ 和 $n_z=2.296$ ，此樣品之光軸係沿晶片之法線方向，因此傾角 α 為 0° 。首先，藉由先進行一次前置量測以驗證 β 角。由於此樣品光軸係沿 z 方向，因此先將樣品以 x 軸為旋轉軸朝 y 方向旋轉一角度(約 4 度)，接著轉動析光片使 ϕ 角從 0° 到 180° 改變，每隔 10° 用 CCD 照一張圖像而得到十九張圖片。在十九張圖像中對應同一個像素的十九個強度用式(2)作曲線擬合 (curve fitting)，所得到的圖形為一正弦函數，驗證 $\beta = 0^\circ$ 。第四 a 圖即為此 LiNbO_3 單晶樣品之光軸投影 β 角的二維分佈圖。

接著，固定角 $\phi = \pi/4$ ，使得式(2)中的 $\sin 2(\phi - \beta) = 1$ ；而後再使樣品以 x 軸為旋轉軸朝 y 方向旋轉以改變 ψ 角。第四 b 圖所示為式(5)在 $\alpha = 0^\circ$ 時，厚度 h 由 1.1 mm 改變至 10 mm， ψ 從 -10 度到 $+10$ 度的光穿透比理論計算曲線。此圖建議量測厚度為 1 mm 至 10 mm 之樣品時，可採用從 $\psi = -10^\circ$ 到 10° 且每隔 1° 用 CCD 照一張圖之方式擷取數據，共可得 21 張圖。

在實際量測過程中，可藉由在樣品前貼上一直徑為 0.9cm 的圓孔片體，以定出每一張圖的邊界，即找出強度大於背景光的畫素。同時為減少記憶容量，並將每一張圖以每九個像素(3×3)作平均，以得到 21 張 160×213 的圖形，使得樣品在圖中之面積約佔一萬個像素。

垂直入射($\psi = 0^\circ$)時，投影到 CCD 上的面積最大；隨著旋轉角 ψ 越大，投影在 CCD 上的面積越小。本發明以 $\psi = 0^\circ$ 的圖形邊界為標準，將其他非垂直入射($\psi \neq 0^\circ$)產生之縮小圖以線性內插法還原回去，如圖第四 c 圖所示。

上圖是 $\psi = 0^\circ$ 之一維剖面圖，x 軸為樣品一維剖線所對應之像素位置，y 軸為光強度；中圖是因旋轉晶片使 $\psi \neq 0^\circ$ 而造成縮小之一維剖面圖將；下圖是將此 $\psi \neq 0^\circ$ 之縮小剖面圖以線性內插法還原，並且對應到 $\psi = 0^\circ$ 的邊界，如此可將因旋轉厚樣品造成之像素偏移效應去除。接著，再將二十一張圖中，對應同一個像素的強度變化，以式(5)作二個參數之曲線擬合(curve fitting)分析，此二個參數即厚度 h 和傾角 α ，其中某一像素所得的結果如第四 d 圖所示。在對約一萬個像素作曲線擬合後，就可得到厚度和傾角的二維分佈圖，如第四 e 圖所示。

此 LiNbO_3 樣品是由適量的 Li_2O 、 K_2O 、 Nb_2O_3 三元高溫混合融液經由種晶提拉而產出之化學計量比單晶(stoichiometric LiNbO_3)。在排除切片厚度因素後，利用本發明之量測方法可證實此單晶樣品之光軸傾角為接近 z-軸，且晶體光軸之分佈相當均勻($<0.04^\circ$)。光軸在切片邊緣偏離 z-軸程度稍大於晶片中心，反映晶種位置對晶體生長的影响。

第二具體實施例

為證明本發明之技術亦適用於薄樣品，另採用一厚度約為 $4.9 \mu\text{m}$ 的液晶盒作為樣品來進行厚度及光軸量測，此液晶盒之 $n=1.4756$ 和 $n_z=1.5586$ 。當液晶盒上外加 1 kHz 、 $+4.6 \text{ V}$ 的交流電壓後，由理論可知此時液晶分子之 α 角約為 49° 。在進行一次前置量測以得 β 角，此 β 角亦為液晶盒的配向膜摩擦方向(rubbing direction)；在得出 β 角後，將液晶盒之摩擦方向置於 y 方向(即 $\beta = 0^\circ$)，並使 $\phi = \pi/4$ ，而得到 $\sin 2(\phi - \beta) = 1$ 。

由式(5)可知當 $\alpha = 50^\circ$ 時，厚度 h 係由 $4.9 \mu\text{m}$ 變化至 $25 \mu\text{m}$ ， ψ 角從

-50 度到+50 度之光穿透比理論計算圖則如圖第五 a 圖所示。此圖建議量測厚度為 5 μm 至 25 μm 之樣品時，可採用從 $\psi = -50^\circ$ 到 50° 且每隔 5° 用 CCD 照一張圖之方式擷取數據。第五 b 圖為第五 a 圖在厚度 4.9 μm 時的橫切面，綠色線是光相位延遲，藍色線是穿透光強度的透射比。本實施例之量測採用上述建議的數據擷取方式，共得 21 張圖。同樣的將其它 $\psi \neq 0^\circ$ 之縮小圖以線性內插法還原，再以二個參數作曲線擬合，得液晶盒內每一位置之厚度 h 和傾角 α 。將實驗數據進行曲線擬合所得之結果如第五 c 圖所示。在對約一萬個像素作曲線擬合後，就可得到液晶盒厚度和傾角的二維分佈圖，即第五 d 圖。

此自製之液晶盒樣品厚度約有 0.1 μm 的變化量，此值約為所用 ITO 玻璃之表面粗糙度。液晶分子在 4.6V 的電壓作用下之預傾角分佈範圍約 48-49 度，與理論有非常好的吻合。此實例顯示本發明之技術在液晶元件製作之二維平面均勻性品質驗證方面，亦相當有用。

另一明確之顯示實例則如第五 e 圖所示，其係為測得之液晶光波空間調制器(liquid crystal spatial light modulator)傾角(上圖)與其厚度(下圖)的二維分佈圖。藉由預先在一液晶光波空間調制器之不同位置加上電壓 1.22 V、9.03 V，和 2.44 V (從左至右)，使液晶傾角分別為 $\alpha = 82^\circ$ 、 20° 及 60° ；此光波空間調制器之液晶厚度為 9.7 μm 。如圖所示測量結果與實際情形非常吻合，顯示此本發明在薄樣品之量測上亦相當可靠。

本發明藉由先將析光片旋轉，使析光片之方位角位置被連續改變而得到一系列相對應之影像，再從所擷取之影像經演譯而得到每一像素的方位

角圖案，進而演譯出投影光軸之於樣品平面上之二維分佈，接著再進行樣品旋轉量測，以定位薄膜光軸在三維空間的指向和厚度之二維分佈。因此，本發明可應用於液晶顯示器、光學晶片檢驗、科學儀器、光學晶片製程控制、光學量測分析、醫學檢驗等產業。

故，本發明在僅使用一量測架構之前提下，係可同時測得光學薄膜之厚度及其光軸方向，以改善習知需使用多套量測架構輔助量測之缺失者，有效達成降低光學薄膜量測成本之功效。另外，本發明不僅提供一經濟且方便之量測方法，更可克服習知偏光量測系統測得參數受限及失真之缺失，利用內插法及曲線擬合進行影像補償處理，使影像回復到正常入射之原尺寸，且使不同影像可藉由畫素相依而被正確地重疊，進而提供精確之光學量測值。

以上所述係藉由實施例說明本發明之特點，其目的在使熟習該技術者能瞭解本發明之內容並據以實施，而非限定本發明之專利範圍，故，凡其他未脫離本發明所揭示之精神所完成之等效修飾或修改，仍應包含在以下所述之申請專利範圍中。

五、【圖式簡單說明】

圖式說明：

第一圖為本發明所使用之系統架構示意圖。

第二圖為本發明之偏光量測原理示意圖。

第三圖為本發明之晶體旋轉座標軸與光路示意圖。

第四 a 圖為本發明之一具體實施例所測得之晶體光軸在晶體平面上投影光軸的二維分佈圖。

第四 b 圖為本發明之一具體實施例於光軸傾角為零時，樣品厚度、析光片旋轉角及光穿透比之 3D 圖。

第四 c 圖為本發明之一具體實施例以線性內插法還原之比較圖。

第四 d 圖為本發明之一具體實施例將穿透光強度與樣品旋轉角度之實驗數據與理論曲線擬合之圖。

第四 e 圖為本發明之一具體實施例所測得之晶片厚度與其光軸傾角的二維分佈圖。

第五 a 圖為本發明另一具體實施例於光軸傾角為 50° 時，樣品厚度、析光片旋轉角的理論光穿透比圖。

第五 b 圖為本發明之另一具體實施例於厚度 $4.9 \mu\text{m}$ 和傾角 50 度時，旋轉樣品角度所得的相位延遲和透射比理論曲線圖。

第五 c 圖為本發明之另一具體實施例於旋轉液晶樣品所得之穿透光強度實驗數據和理論曲線擬合圖。

第五 d 圖為本發明之另一具體實施例之傾角與其厚度的二維分佈圖。

第五 e 圖為本發明之另一具體實施例圖測得之一液晶光波空間調制器傾角(上圖)與其厚度(下圖)的二維分佈圖。

圖號說明：

10 偏光裝置

102 光源

104 擴束器

106 偏極片

200535411

108 四分之一波板

12 樣品

14 析光片

16 成像裝置

162 透鏡

164 光電耦合元件(CCD)

拾、申請專利範圍：

1. 一種可同時量測光學晶體厚度及光軸之影像式偏極光量測方法，以利用同一偏光儀系統可同時獲得光學晶體之厚度及其光軸方向，該偏光儀系統包括一偏光裝置、一樣品轉台、一析光片及一影像感測裝置，在該樣品轉台上置放有一樣品，該影像式量測方法包括下列步驟：

當該偏光裝置產生之偏極光穿過該樣品而至該析光片時，令該析光片旋轉，以透過該析光片變化之不同方位角位置來取得相對應之複數不同的光強度變化影像，進而依據該等影像之擬合而決定該樣品之光軸投影在該樣品平面的投影光軸指向；以及

令該樣品旋轉，以調整該偏極光對於該樣品之入射角而得到複數不同之光穿透強度，且根據感測該等光穿透強度的變化，決定該樣品之光軸指向和厚度。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之影像式偏極光量測方法，其中，該投影光軸指向為該光軸投影在該樣品平面上的方位(direction)。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述之影像式偏極光量測方法，其中，該投影光軸指向為該光軸投影在該樣品平面上之角度的二維分佈。

4. 如申請專利範圍第 1 項所述之影像式偏極光量測方法，其中，根據感測之該等光穿透強度的變化，更可決定該樣品之光軸在三維空間的指向及其在三維空間之二維分佈。

5. 如申請專利範圍第 1 項所述之影像式偏極光量測方法，其中，根據感測之該等光穿透強度的變化，更可決定該樣品之厚度的二維分佈。

6. 如申請專利範圍第 1 項所述之影像式偏極光量測方法，其中，在旋轉該

析光片之步驟中，係轉動該析光片使其方位角以複數個角度作連續改變，且在每隔一該角度後利用該影像感測裝置擷取一次該光強度變化影像，以得到一系列之該等影像。

7. 如申請專利範圍第 1 項所述之影像式偏極光量測方法，其中，在進行該等影像之擬合的步驟中，係將該等影像中對應同一個像素的光強度變化值，以入射光強度、相位延遲及投影角度三參數進行曲線擬合 (curve fitting)，進而得到該投影光軸指向。

8. 如申請專利範圍第 1 項所述之影像式偏極光量測方法，其中，在決定該樣品之光軸指向和厚度之步驟中，更包括一影像補償處理步驟，以補償該樣品旋轉所造成之影像偏移及尺寸縮減，該影像補償處理步驟係在得到不同之光穿透強度之後，將投影後縮小的該影像以線性內插法進行還原。

9. 如申請專利範圍第 8 項所述之影像式偏極光量測方法，其中，在進行影像補償處理時更包括一曲線擬合步驟，係在利用該線性內插法進行還原之後，再以厚度和光軸傾角二參數進行曲線擬合 (curve fitting) 分析，以處理像素上的強度變化，進而在對複數個像素進行曲線擬合後，得到該樣品之厚度和光軸傾角的二維分佈圖。

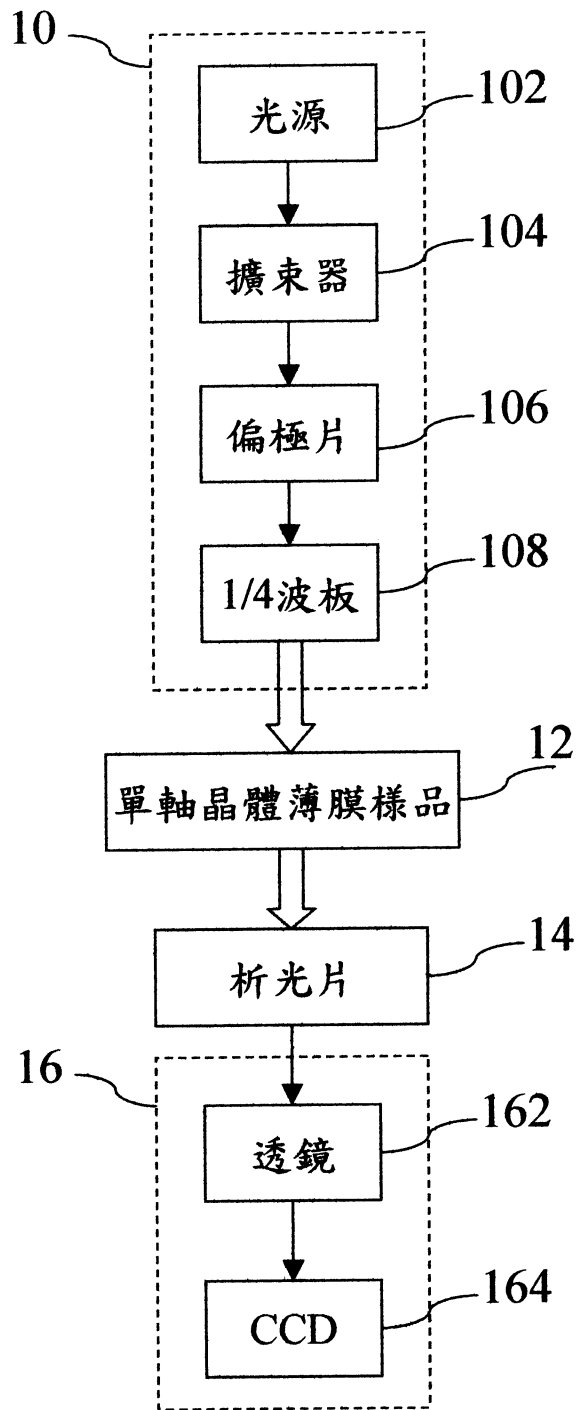
10. 如申請專利範圍第 1 項所述之影像式偏極光量測方法，其中，該偏極光之入射角的調整係為連續調整，且依每一不同入射角而擷取一系列之影像。

11. 如申請專利範圍第 1 項所述之影像式偏極光量測方法，其中，該析光片之旋轉係利用電腦控制。

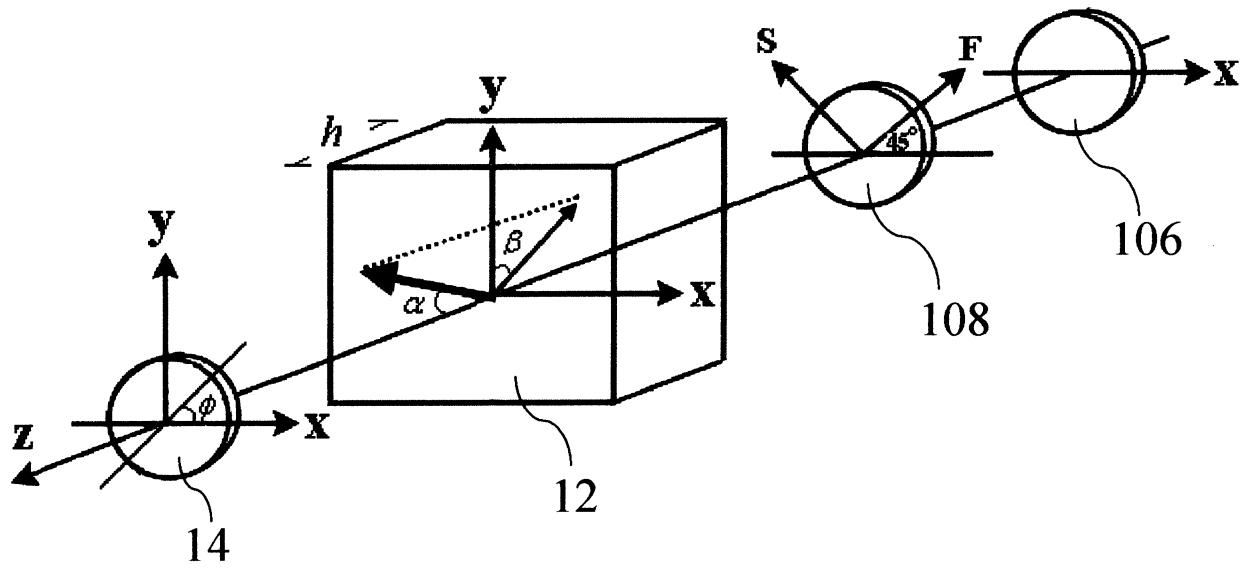
12. 如申請專利範圍第 1 項所述之影像式偏極光量測方法，其中，該偏極光

之入射角的調整係利用電腦控制。

13. 如申請專利範圍第 1 項所述之影像式偏極光量測方法，其中，該偏極光為圓形偏極光。

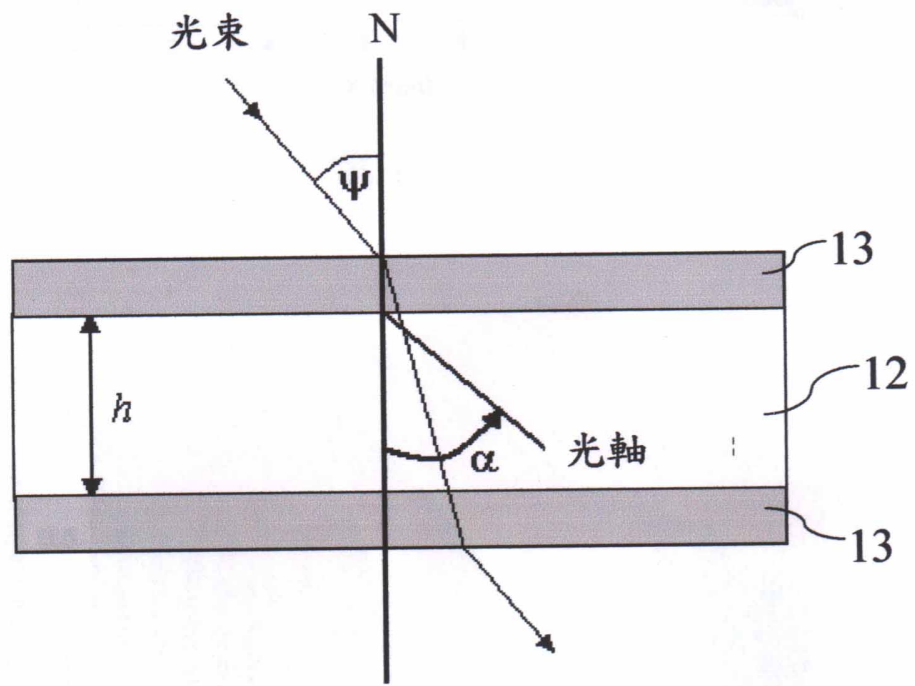


第一圖

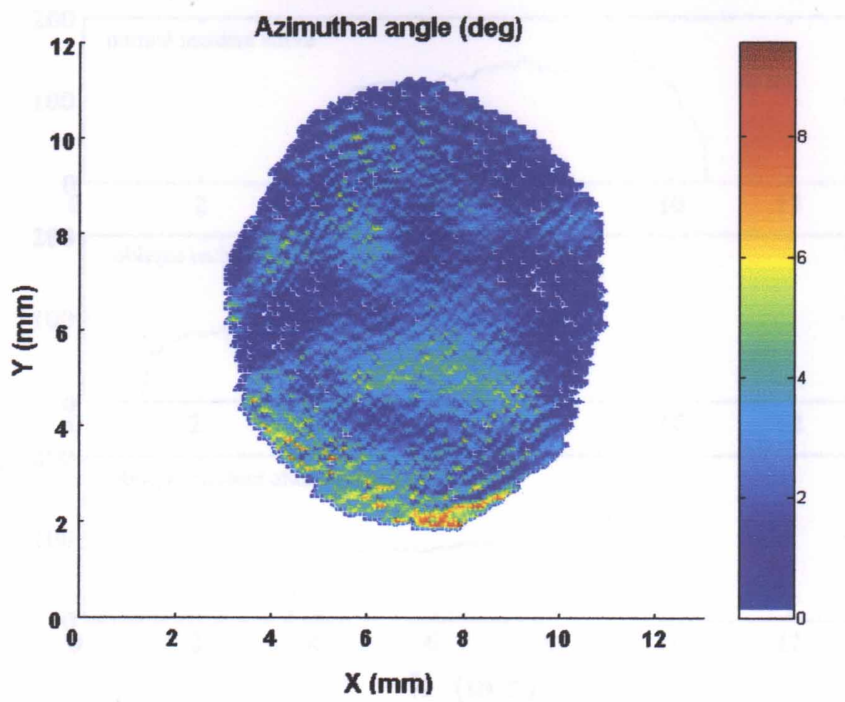


第二圖

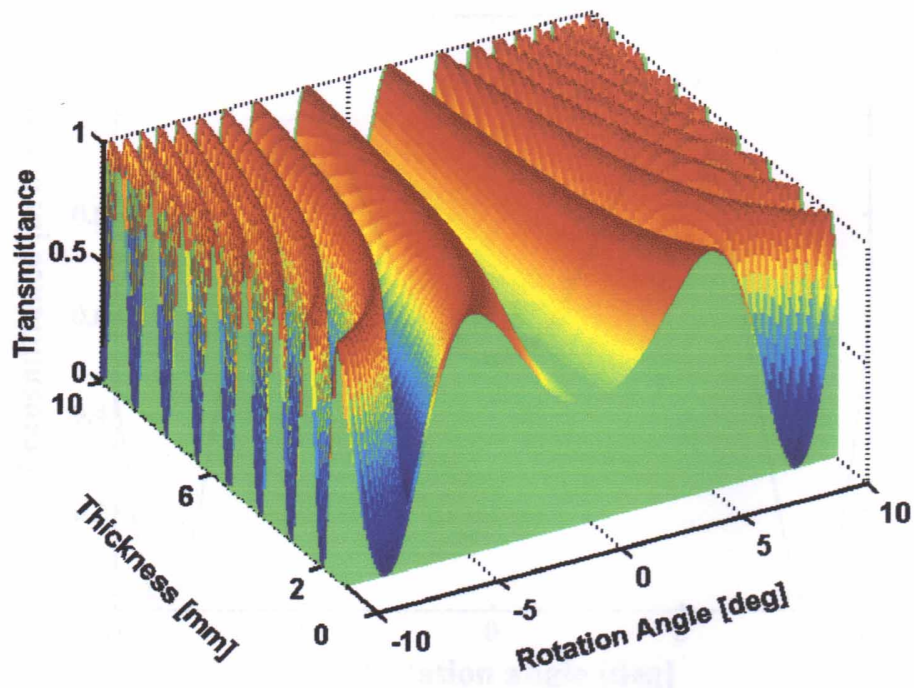
200535411



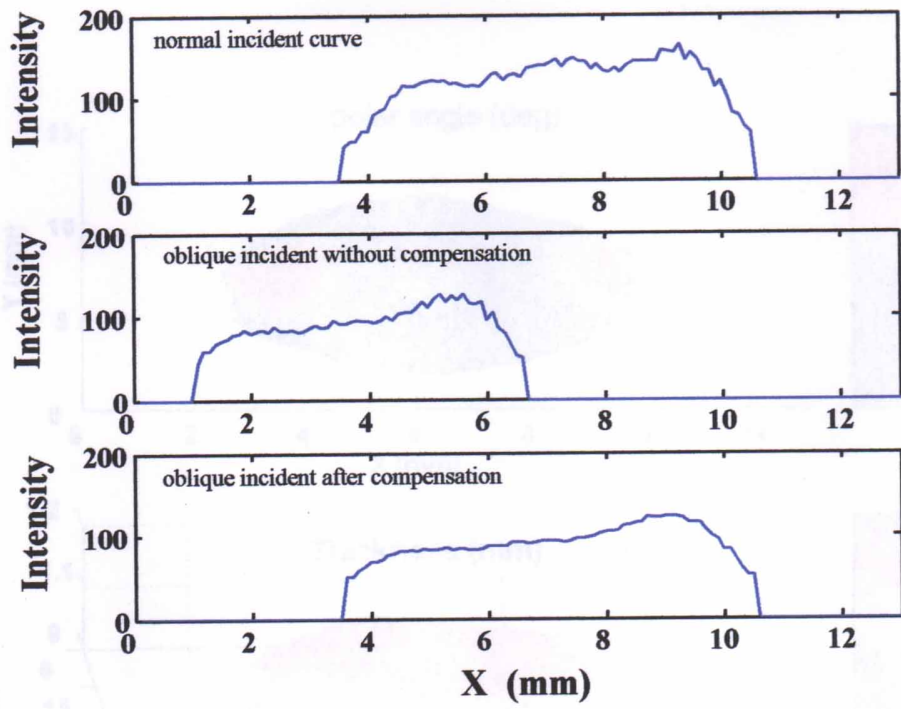
第三圖



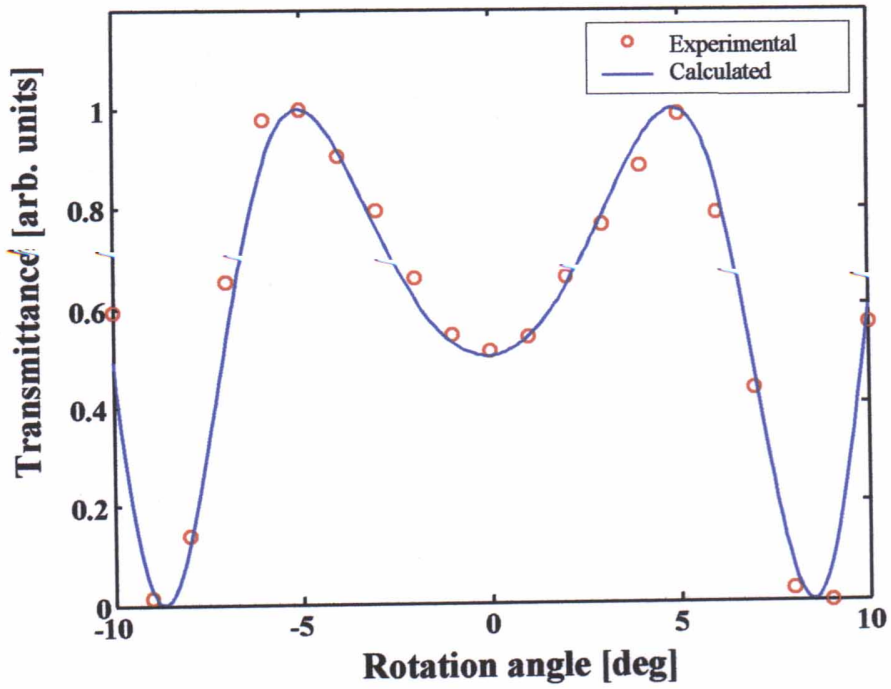
第四a圖



第四b圖

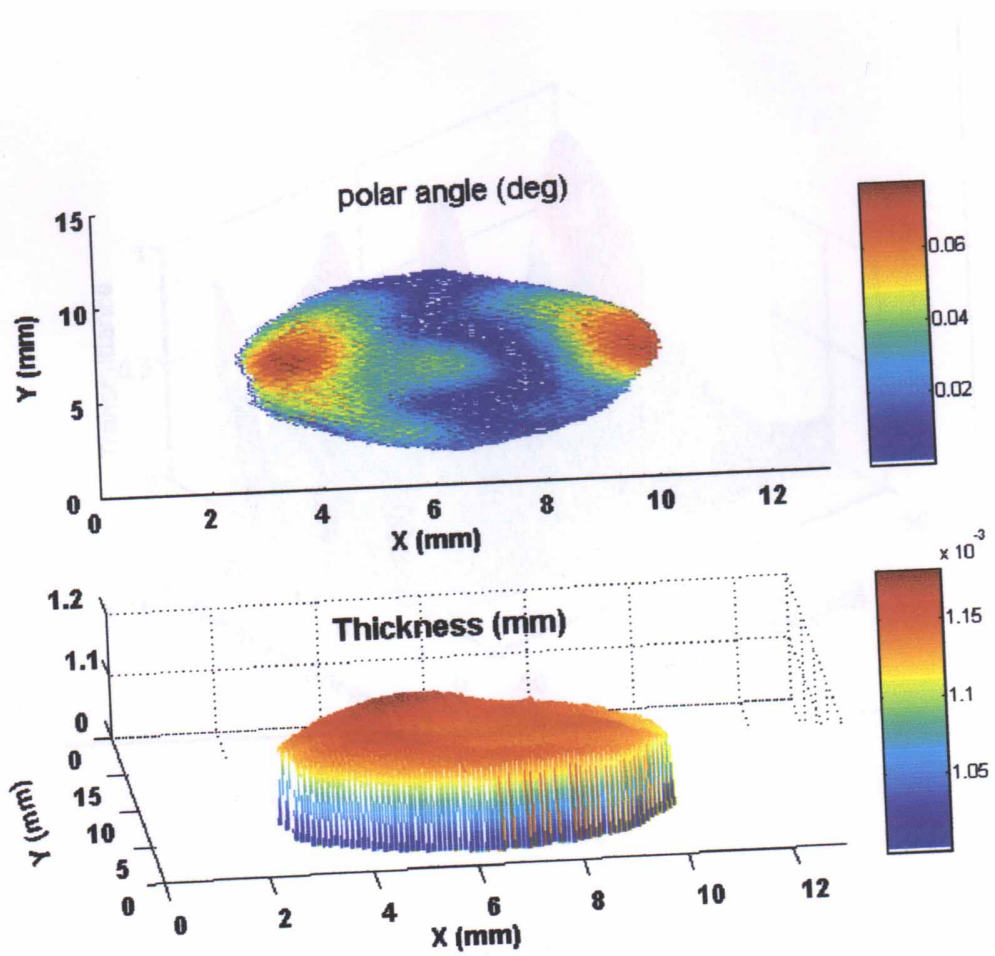


第四c圖

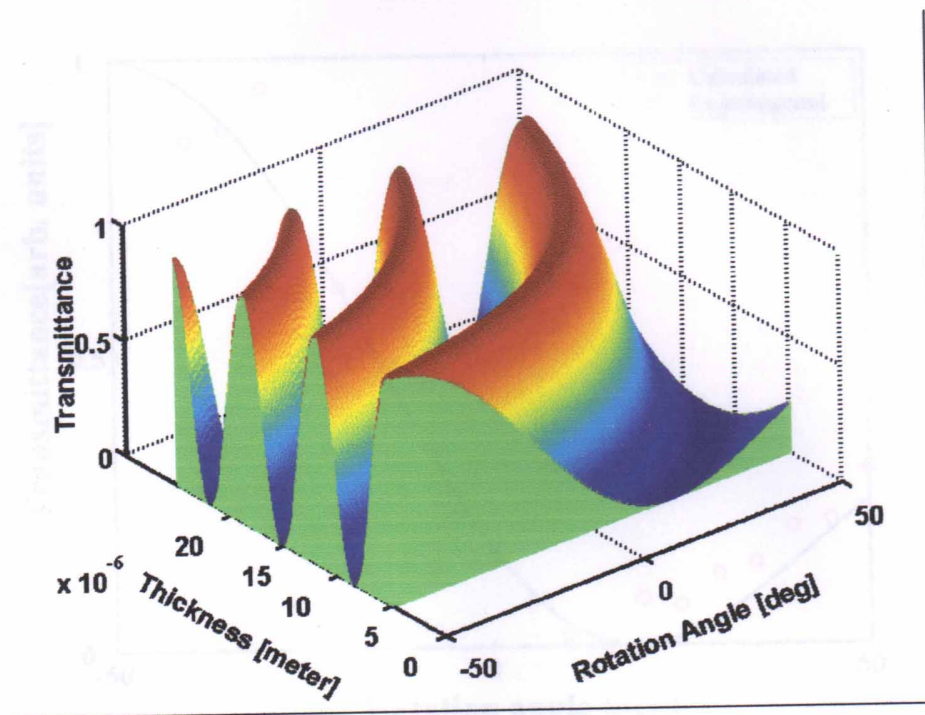


第四d圖

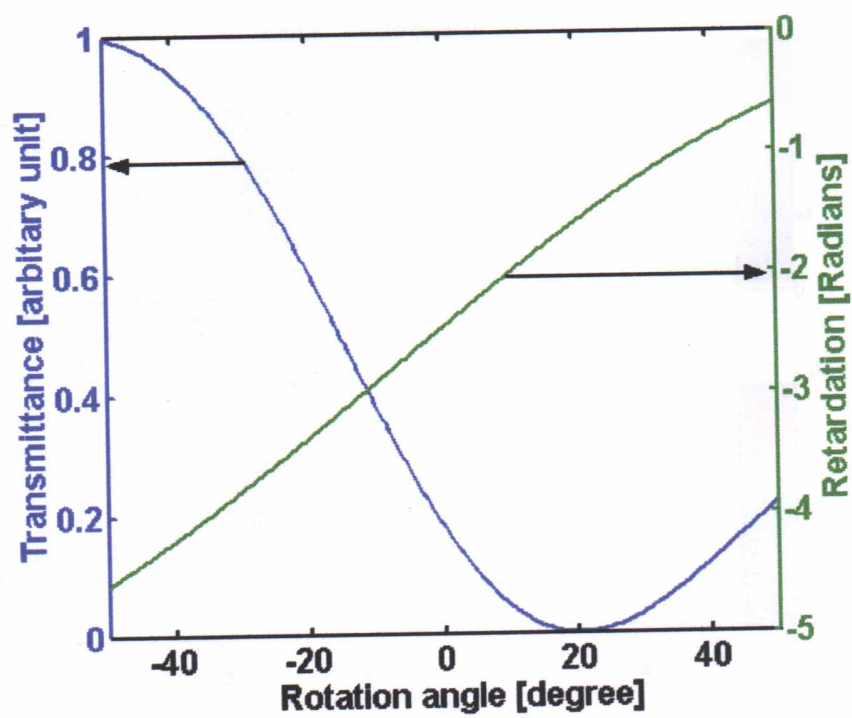
200535411



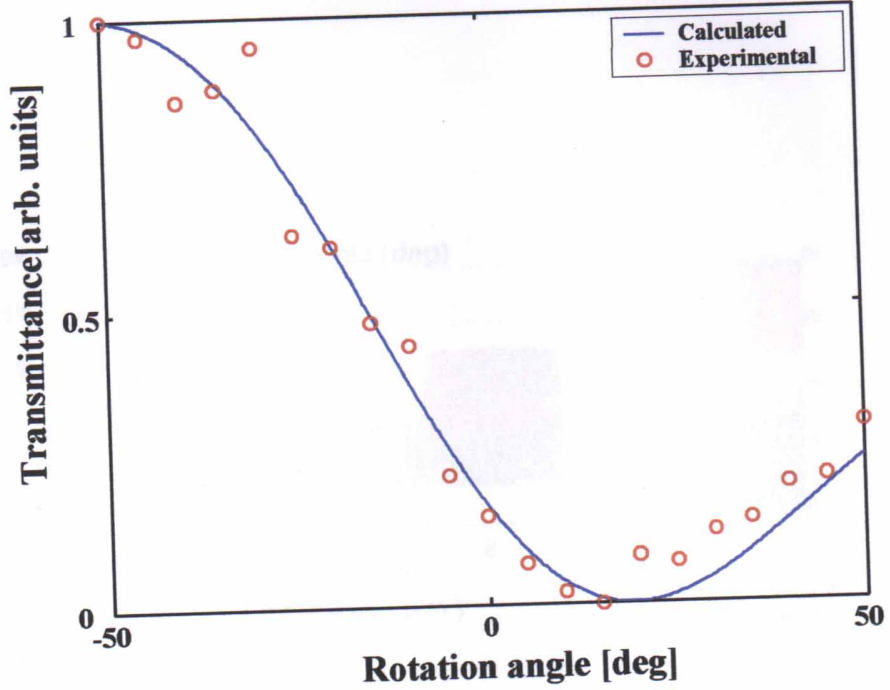
第四e圖



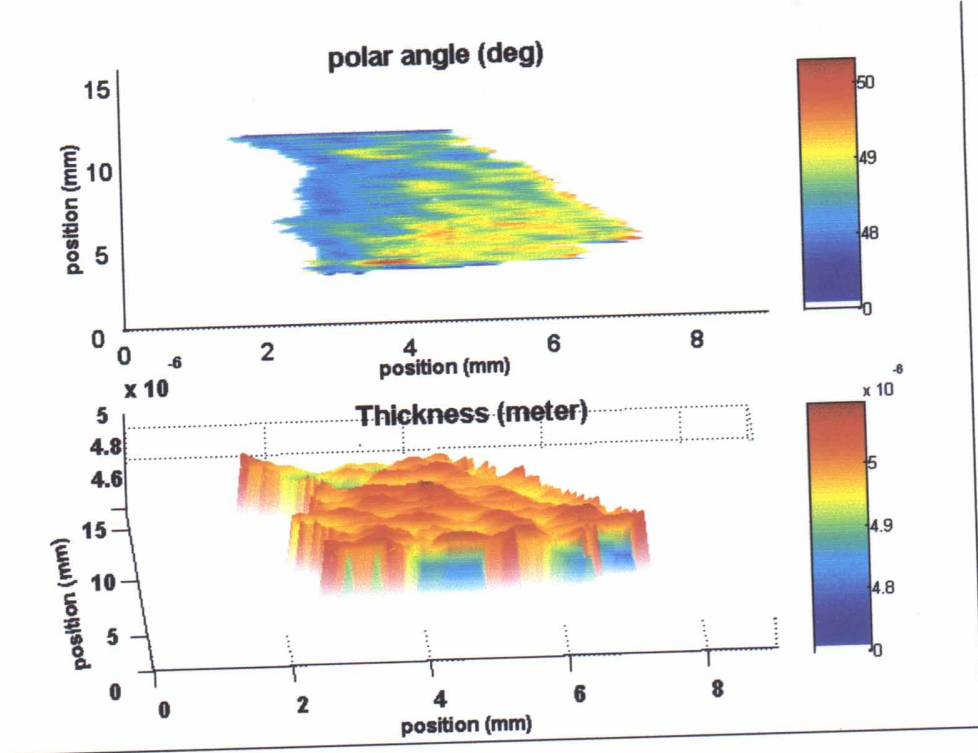
第五a圖



第五b圖

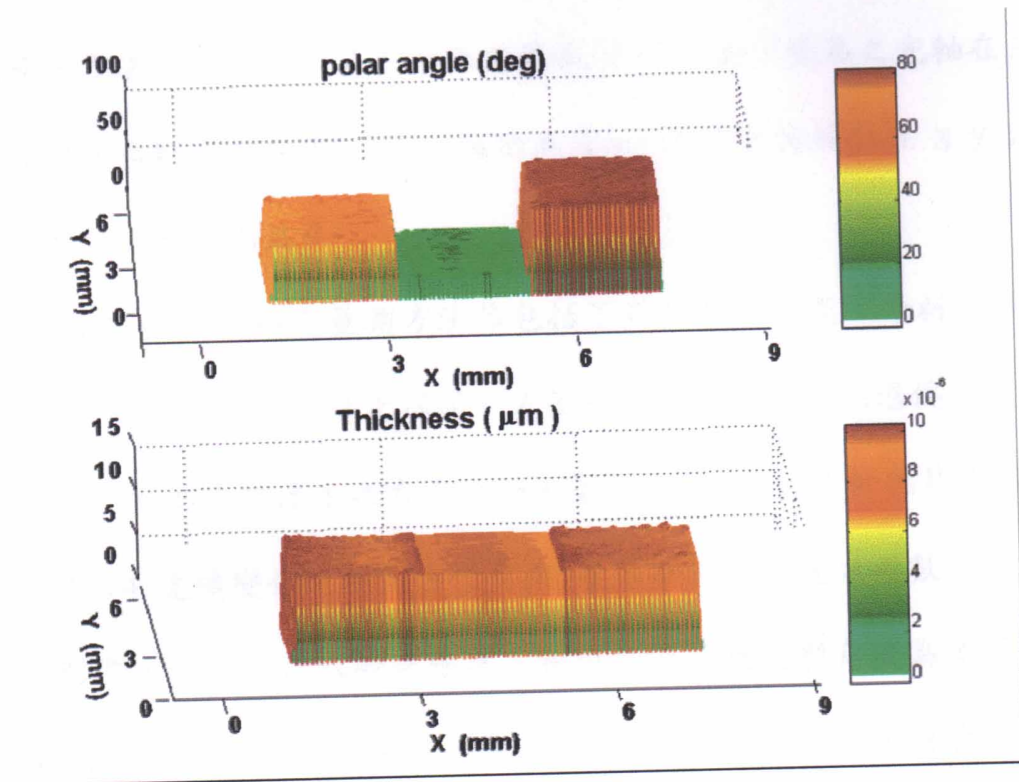


第五c圖

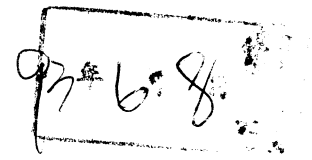


第五d圖

200535411



第五e圖



CCD 164 上成像。

在了解本發明所使用之偏光系統及其各元件之作用後，請再參閱第二圖所示，為本發明之偏光量測原理示意圖，將藉以詳細說明本發明之影像式偏極光量測方法。其中，樣品平面係定義為 $x-y$ 平面，樣品之光軸在三維空間的方向傾角則定義為光軸和 z 軸的夾角 α ，而當光軸投影在 $x-y$ 面上後，其與 x 軸的夾角則為 β 。

本發明之影像式偏極光量測方法係包括下列步驟：首先，令析光片 14 旋轉，以使析光片 14 連續變化不同之方位角 ϕ 位置，藉以經過偏極片 106 和四分之一波板 108 所產生之右旋偏極光穿過樣品 12 而至析光片 14 時，透過析光片 14 連續變化之不同方位角 ϕ 位置來取得相對應之複數不同的光強度變化影像，進而再以入射光強度、相位延遲及及投影角度為參數，將該等一系列影像中對應同一個像素的光強度變化值進行曲線擬合 (curve fitting)，以決定樣品 12 之光軸投影在樣品平面 $x-y$ 的投影光軸指向；其中，該投影光軸指向係為樣品 12 之光軸投影在該樣品平面上的方位 (direction)，且藉由量測樣品 12 之光軸投影在樣品平面 $x-y$ 的投影角度 β ，係可得知樣品 12 之光軸投影在樣品平面 $x-y$ 的二維分佈。

接著，令該樣品 12 旋轉，以連續調整該偏極光對於樣品 12 之入射角而得到複數不同之光穿透強度，且依每一不同入射角而擷取相對應之影像，藉以根據感測該等光穿透強度的變化，來決定樣品 12 之光軸指向和厚度；換言之，此步驟係根據感測該等光穿透強度的變化，來決定樣品 12 之光軸在三維空間的指向及其在三維空間之二維分佈，以及決定樣品 12 之厚

第一具體實施例

以一厚度約為 1.1 mm 的 LiNbO_3 單晶樣品為例，此材料之 $n=2.204$ 和 $n_2=2.296$ ，此樣品之光軸係沿晶片之法線方向，因此傾角 α 為 0° 。首先，藉由先進行一次前置量測以驗證 β 角。由於此樣品光軸係沿 z 方向，因此先將樣品以 y 軸為旋轉軸朝 x 方向旋轉一角度(約 4 度)，接著轉動析光片使 ϕ 角從 0° 到 180° 改變，每隔 10° 用 CCD 照一張圖像而得到十九張圖片。在十九張圖像中對應同一個像素的十九個強度用式(2)作曲線擬合(curve fitting)，所得到的圖形為一正弦函數，驗證 $\beta=0^\circ$ 。第四 a 圖即為此 LiNbO_3 單晶樣品之光軸投影 β 角的二維分佈圖。

接著，固定角 $\phi = \pi/4$ ，使得式(2)中的 $\sin 2(\phi - \beta) = 1$ ；而後再使樣品以 y 軸為旋轉軸朝 x 方向旋轉以改變 ψ 角。第四 b 圖所示為式(5)在 $\alpha = 0^\circ$ 時，厚度 h 由 1.1 mm 改變至 10 mm， ψ 從 -10 度到 $+10$ 度的光穿透比理論計算曲線。此圖建議量測厚度為 1 mm 至 10 mm 之樣品時，可採用從 $\psi = -10^\circ$ 到 10° 且每隔 1° 用 CCD 照一張圖之方式擷取數據，共可得 21 張圖。

在實際量測過程中，可藉由在樣品前貼上一直徑為 0.9cm 的圓孔片體，以定出每一張圖的邊界，即找出強度大於背景光的畫素。同時為減少記憶容量，並將每一張圖以每九個像素(3×3)作平均，以得到 21 張 160×213 的圖形，使得樣品在圖中之面積約佔一萬個像素。

垂直入射($\psi = 0^\circ$)時，投影到 CCD 上的面積最大；隨著旋轉角 ψ 越大，投影在 CCD 上的面積越小。本發明以 $\psi = 0^\circ$ 的圖形邊界為標準，將其他非垂直入射($\psi \neq 0^\circ$)產生之縮小圖以線性內插法還原回去，如圖第四 c 圖所示。

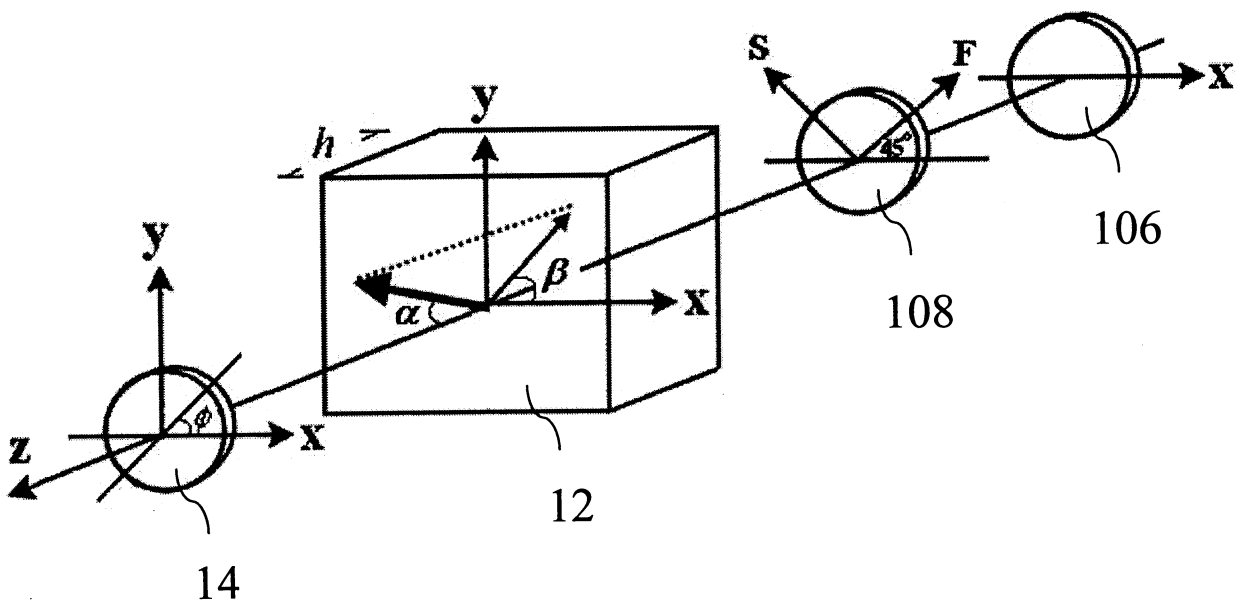
膜摩擦方向(rubbing direction)；在得出 β 角後，將液晶盒之摩擦方向置於 y 方向(即 $\beta = 0^\circ$)，並使 $\phi = \pi/4$ ，而得到 $\sin 2(\phi - \beta) = 1$ 。

由式(5)可知當 $\alpha = 50^\circ$ 時，厚度 h 係由 $4.9 \mu\text{m}$ 變化至 $25 \mu\text{m}$ ， ψ 角從 -50 度到 $+50$ 度之光穿透比理論計算圖則如圖第五 a 圖所示。此圖建議量測厚度為 $5 \mu\text{m}$ 至 $25 \mu\text{m}$ 之樣品時，可採用從 $\psi = -50^\circ$ 到 50° 且每隔 5° 用 CCD 照一張圖之方式擷取數據。第五 b 圖為第五 a 圖在厚度 $4.9 \mu\text{m}$ 時的橫切面，綠色線是光相位延遲，藍色線是穿透光強度的透射比。本實施例之量測採用上述建議的數據擷取方式，共得 21 張圖。同樣的將其它 $\psi \neq 0^\circ$ 之縮小圖以線性內插法還原，再以二個參數作曲線擬合，得液晶盒內每一位置之厚度 h 和傾角 α 。將實驗數據進行曲線擬合所得之結果如第五 c 圖所示。在對約一萬個像素作曲線擬合後，就可得到液晶盒厚度和傾角的二維分佈圖，即第五 d 圖。

此自製之液晶盒樣品厚度約有 $0.1 \mu\text{m}$ 的變化量，此值約為所用 ITO 玻璃之表面粗糙度。液晶分子在 4.6V 的電壓作用下之預傾角分佈範圍約 $48-49$ 度，與理論有非常好的吻合。此實例顯示本發明之技術在液晶元件製作之二維平面均勻性品質驗證方面，亦相當有用。

另一明確之顯示實例則如第五 e 圖所示，其係為測得之液晶光波空間調制器(liquid crystal spatial light modulator)傾角(上圖)與其厚度(下圖)的二維分佈圖。藉由預先在一液晶光波空間調制器之不同位置加上電壓 2.44 V 、 9.03 V ，和 1.22 V (從左至右)，使液晶傾角分別為 $\alpha = 53^\circ$ 、 20° 及 82° ；此光波空間調制器之液晶厚度為 $9.7 \mu\text{m}$ 。如圖所示測量結果與

97*6*15



第二圖