



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公告本

(11) 證書號數：TW I490445 B

(45) 公告日：中華民國 104 (2015) 年 07 月 01 日

(21) 申請案號：102104976 (22) 申請日：中華民國 102 (2013) 年 02 月 07 日

(51) Int. Cl. : G01B11/24 (2006.01) G01N21/95 (2006.01)

(30) 優先權：2012/02/08 美國 61/596,674

2012/09/28 美國 13/630,025

(71) 申請人：蘋果公司 (美國) APPLE INC. (US)

美國

(72) 發明人：凱斯勒 派翠克 KESSLER, PATRICK (US)；朗達 尼可拉斯 艾倫 RUNDEL,
NICHOLAS ALAN (US)

(74) 代理人：陳長文

(56) 參考文獻：

TW 201105925A US 2005/0068532A1

US 2010/0315422A1 US 2011/0050893A1

審查人員：林頌鵬

申請專利範圍項數：30 項 圖式數：16 共 47 頁

(54) 名稱

用於估計一物件之一三維表面形狀之方法、裝置及機器可讀非暫時性儲存媒體

METHODS, APPARATUS, AND MACHINE-READABLE NON-TRANSITORY STORAGE MEDIA
FOR ESTIMATING A THREE DIMENSIONAL SURFACE SHAPE OF AN OBJECT

(57) 摘要

藉由檢查反射自一反射性物件之一或多個捕捉到的影像來判定該反射性物件之一或多個層之三維表面形狀。彎曲之表面反射由該表面形狀更改之一失真影像。藉由分析該等失真反射影像之一或多個捕捉到的影像，可估計導致失真之表面之形狀。比較一捕捉到的失真影像與具有已知幾何性質之一未失真參考影像。用以捕捉並處理此等影像之一系統係由多個組件裝配而成，該等組件包括：一影像捕捉裝配件，諸如用以捕捉反射影像之一數位相機；及一定位裝配件，在該定位裝配件上將該等組件相對於彼此定向。使用一或多個捕捉到的影像中所含之偏振、明度位準、色度值或其組合來分開地估計該反射性物件之多個表面層。

The three dimensional surface shape of one or more layers of a reflective object is determined by examining one or more captured images reflected from the reflective object. Curved surfaces reflect a distorted image altered by the surface shape. By analyzing one or more captured images of the distorted reflected images, the shape of the surface that caused the distortion is estimated. A captured distorted image is compared to a reference undistorted image having known geometric properties. A system to capture and process such images is assembled from components including an image capture assembly such as a digital camera to capture reflected images and a positioning assembly on which to orient the components with respect to each other. Multiple surface layers of the reflective object are separately estimated using polarizations, luminance levels, chroma values or combinations thereof contained in one or more captured images.

1500 . . . 用於產生
一製成零件之兩個反
射性表面之三維表面
估計之另一代表性方
法

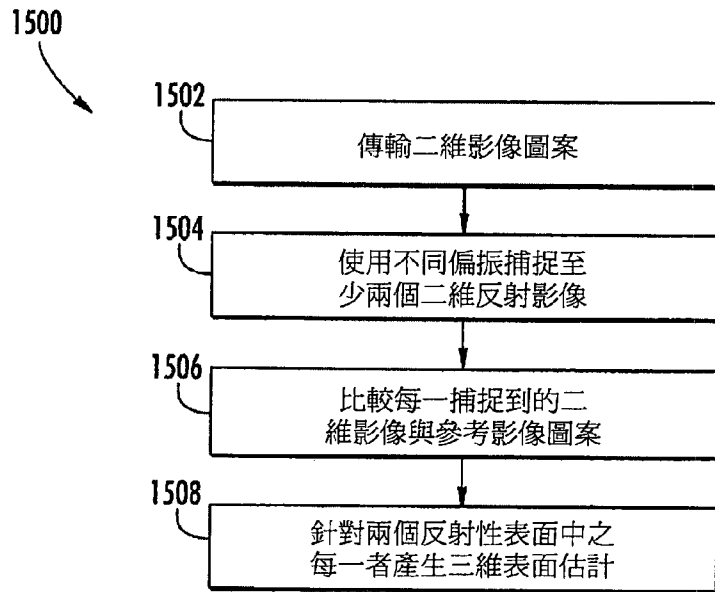


圖15

發明摘要

公告本

※ 申請案號：102104976

※ 申請日：102年2月7日

※IPC 分類：G01B 11/24 (2006.01)

G01N 21/95 (2006.01)

【發明名稱】

用於估計一物件之一三維表面形狀之方法、裝置及機器可讀非暫時性儲存媒體

METHODS, APPARATUS, AND MACHINE-READABLE NON-TRANSITORY STORAGE MEDIA FOR ESTIMATING A THREE DIMENSIONAL SURFACE SHAPE OF AN OBJECT

【中文】

藉由檢查反射自一反射性物件之一或多個捕捉到的影像來判定該反射性物件之一或多個層之三維表面形狀。彎曲之表面反射由該表面形狀更改之一失真影像。藉由分析該等失真反射影像之一或多個捕捉到的影像，可估計導致失真之表面之形狀。比較一捕捉到的失真影像與具有已知幾何性質之一未失真參考影像。用以捕捉並處理此等影像之一系統係由多個組件裝配而成，該等組件包括：一影像捕捉裝配件，諸如用以捕捉反射影像之一數位相機；及一定位裝配件，在該定位裝配件上將該等組件相對於彼此定向。使用一或多個捕捉到的影像中所含之偏振、明度位準、色度值或其組合來分開地估計該反射性物件之多個表面層。

【英文】

The three dimensional surface shape of one or more layers of a reflective object is determined by examining one or more captured images reflected from the reflective object. Curved surfaces reflect a distorted image altered by the surface shape. By analyzing one or more captured images of the distorted reflected images, the shape of the surface that caused the distortion is estimated. A captured distorted image is compared to a reference undistorted image having known geometric properties. A system to capture and process such images is assembled from components including an image capture assembly such as a digital camera to capture reflected images and a positioning assembly on which to orient the components with respect to each other. Multiple surface layers of the reflective object are separately estimated using polarizations, luminance levels, chroma values or combinations thereof contained in one or more captured images.

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】

用於估計一物件之一三維表面形狀之方法、裝置及機器可讀非暫時性儲存媒體

METHODS, APPARATUS, AND MACHINE-READABLE NON-TRANSITORY STORAGE MEDIA FOR ESTIMATING A THREE DIMENSIONAL SURFACE SHAPE OF AN OBJECT

【技術領域】

本發明大體而言係關於物件之三維表面形狀之估計。更特定言之，描述用於根據反射自一物件之一光圖案的一或多個捕捉到之照片影像快速地判定該物件之一或多個表面層之表面形貌之方法、軟體、硬體及系統。

【先前技術】

可使用光學表面輪廓儀來實現準確地量測製成零件(諸如平板顯示器之表面)之三維形狀。光學表面輪廓儀可量測反射自製成零件之表面的雷射產生之光，如圖1中之先前技術光學量測系統100所說明。雷射102可將光以窄的角度範圍引導至經受量測測試之製成零件之表面112上。雷射表面輪廓儀通常可使用反射自點「r」之光之「主光束」而非使用反射自點「q」之光之「旁光束」來量測形狀，且因此，足夠粗糙、漫反射之表面可為較佳的。相機104可經定位以捕捉鏡面反射的主光束106或漫反射的主光束108與鏡面反射的旁光束110之組合。使用雷射表面輪廓儀之量測程序可為緩慢的，因為雷射之位置/定向及/或相機之位置/定向可變化以量測反射自被量測製成零件之每一點。另外，用以控制調整及量測之專用設備可為昂貴的。為了量測具有精細空間解析度之反射性表面，可使用數以萬計的點且可能需要大量時間來量測單一製成零件。因此，需要具有高解析度且適合大量製造測試、裝配及品質控制操作的用以估計反射性製成零件之一或多

個層之形狀的低成本且快速之量測方法及系統。

【發明內容】

描述一種用於估計一物件之兩個反射性表面層之一三維表面形狀之方法。該方法藉由以下步驟來進行：藉由一影像捕捉器件捕捉該物件之一反射影像。該物件之該反射影像至少包括一第一反射影像圖案及一第二反射影像圖案，其中每一反射影像圖案係反射自該兩個反射性表面層中之一相應反射性表面層。在所描述實施例中，該第一反射影像圖案穿過一第一偏光介質且該第二反射影像圖案穿過一第二偏光介質，其中該第一偏光介質之特徵在於具有一第一偏振定向且其中該第二偏光介質之特徵在於具有一第二偏振定向，該第一偏振定向與該第二偏振定向彼此不同。該方法亦至少包括以下步驟：自該第一反射影像圖案獲得二維反射影像點之一第一集合；自該第二反射影像圖案獲得二維反射影像點之一第二集合；及藉由比較該第一集合之二維反射影像點與該第二集合之二維反射影像點來產生該物件之該兩個反射性表面層中之每一者之該三維表面形狀之一估計。

在另一實施例中，描述一種裝置。該裝置包括：用於捕捉來自該製成零件之一第一反射影像圖案及一第二反射影像圖案之一影像捕捉器件，由該影像捕捉器件捕捉之每一反射影像圖案穿過各自具有不同偏振定向之一相應偏光介質；及一處理單元，其耦接至該影像捕捉器件且經組態以：處理該等捕捉到的反射影像圖案且藉由比較與一第一反射影像及一第二反射影像相關聯之資訊來評估該製成零件之該多個反射性表面中之至少兩者之幾何性質。

在又一實施例中，描述一種編碼為電腦程式碼之用於估計一物件之至少兩個反射性表面層之一三維表面形狀之非暫時性電腦可讀媒體。該非暫時性電腦可讀媒體包括用於捕捉反射自一第一反射性表面層及鄰近於該第一反射性表面層之一第二反射性表面層之一反射影像

圖案的電腦程式碼。另外，該非暫時性電腦可讀媒體包括用於使用該捕捉到的反射影像圖案中之像素之明度值及色度值之一組合將該捕捉到的反射影像圖案分離成該第一反射性表面層之一第一反射影像圖案及該第二反射性表面層之一第二反射影像圖案之電腦程式碼。該非暫時性電腦可讀媒體亦包括用於藉由分別比較該第一反射影像圖案及該第二反射影像圖案與一參考影像圖案來產生該第一反射性表面層及該第二反射性表面層之三維表面形狀之估計之電腦程式碼。

【圖式簡單說明】

本發明及其優點可藉由參考結合附圖進行之以下描述來最好地理解。

圖1說明先前技術光學量測系統。

圖2說明彎曲之反射性表面導致的接收反射影像之失真。

圖3A說明用以量測製成零件之反射性表面形狀之影像捕捉及定位系統。

圖3B說明影像圖案產生板。

圖3C說明圖3A之影像捕捉及定位裝配件之橫截面之選擇元件。

圖4說明用於反射之量測的二維數學模型。

圖5A說明用於固定影像捕捉位置之多個候選反射性表面定向。

圖5B說明連接反射性表面估計上之兩個相鄰點。

圖6說明將多個候選反射性表面定向連接至已知開始點表面。

圖7及圖8說明用於反射之量測的額外數學模型。

圖9說明對來自製成零件之兩個鄰近表面之兩個疊加反射之影像捕捉。

圖10說明圖9之影像捕捉之放大區段。

圖11說明經由具有不同偏振定向之偏光濾光器對兩個鄰近表面的兩個影像捕捉。

圖12說明圖3A之影像捕捉及定位系統之元件。

圖13說明根據對反射影像圖案之影像捕捉產生的對製成零件之兩個鄰近表面的兩個三維表面估計。

圖14概述用以產生反射性物件之表面估計之代表性方法。

圖15概述用以使用經由偏光濾光器之影像捕捉產生對兩個鄰近表面之表面估計之代表性方法。

圖16概述用以使用單一影像捕捉產生對兩個鄰近表面之表面估計之代表性方法。

【實施方式】

本發明大體而言係關於物件之三維表面形狀之估計。更特定言之，描述用於根據反射自一物件之一光圖案的一或多個捕捉到之照片影像快速地判定該物件之一或多個表面層之表面形貌(surface profile)之方法、軟體、硬體及系統。

在以下描述中，陳述眾多特定細節以提供對本發明之透徹理解。然而，熟習此項技術者將顯而易見，可在無此等特定細節中之一些或全部的情況下實踐本發明。在其他例子中，熟知程序步驟未加以詳細描述以便避免不必要地使本發明晦澀難懂。

可藉由處理反射自一反射性物件之一或多個捕捉到的影像來估計該反射性物件之三維表面形狀。扁平鏡面反射性表面(例如，完美鏡子)提供無失真之反射影像，而彎曲之反射性表面產生由該表面形狀更改之一失真影像。甚至很小的表面不規則性亦可成為反射影像中之巨大失真。藉由分析失真反射之一或多個捕捉到的影像，吾人可估計導致失真之表面之三維形狀。可比較一捕捉到的失真影像與幾何性質集合已知的一未失真參考影像。舉例而言，吾人可將一預定圖案影像照射至該反射性物件上並比較該預定圖案影像與該圖案影像之反射自該反射性物件之一失真版本。用以捕捉並處理此失真之反射影像之

一系統可由許多組件裝配而成，該等組件包括用以處理影像之一處理單元、用以將影像圖案傳輸至反射性物件上之一圖案產生裝配件、用以捕捉反射影像之一數位相機、用以在影像捕捉之前對反射影像進行濾光之一偏光濾光器，及一定位器件，在該定位器件上將該等組件相對於彼此定向。

本文中揭示用於快速地判定一反射性物件(諸如，與包括一抗反射塗層之一防護玻璃罩層疊在一起的LCD顯示器)之一或多個層之幾何性質(例如，三維表面形狀)之一系統。該系統之一實施例可使用一數位相機捕捉反射自該反射性物件之表面層之一影像圖案(例如，點之陣列)。可使用不同反射圖案、不同光譜、該物件及/或該數位相機之不同定向及經由偏光濾光器對捕捉之影像之不同偏振定向來捕捉多個影像。可在一處理器件中處理該等捕捉到的影像以計算該反射性物件之該等反射性層之形狀並產生說明該等層之表面變形的三維表面估計及表面輪廓圖。對於含有許多可區分點之影像，吾人可使失真反射影像中之點與原始反射影像中之相應點相關且等效地與反射性物件之表面上之點相關。使用反射定律，吾人可判定在可區分影像點處視反射性表面與數位相機之間的距離而定的反射性表面之定向。對於相對較平滑變化之表面，可使用在附近之影像點處判定之表面定向之估計迭代地建構三維表面估計。表面估計及輪廓圖可由製造工程師使用以快速地反覆進行製造程序並經由一系列量測實驗來將之最佳化。該系統亦可為品質工程師提供用以檢測大量生產之製成零件之低成本系統。所揭示之系統及方法與先前技術之雷射及電荷耦合器件系統及方法相比可為實質上較快且操作成本較低的。

圖2說明在自反射性表面202反射之後由相機204捕捉到的影像圖案206之失真200。捕捉到的反射影像208展示影像圖案206之失真版本。反射影像中之失真可與反射性表面202之形狀相關。鏡面反射影

像可比投影至漫反射性表面上之影像更容易展現表面不規則性，因為隨著相機204與反射性表面202之間的距離增加，表面上之鄰近點之間的表面定向上之差異在反射影像中被放大。捕捉到之二維反射影像208可用以估計反射性表面202之三維形狀。當表面202包括多個鄰近反射性層時，反射影像208可包括多個反射影像之疊加，反射影像來自不同反射性層中之每一者。在代表性實施例中，如下文中將進一步描述，可使用光性質(諸如明度位準、色度值及/或光偏振)來分離反射影像中之每一者之影像。

圖3A說明用於捕捉反射自製成零件之一或多個反射性表面層之一或多個影像的系統300之一實施例。系統300包括影像捕捉及定位裝配件304，可在該裝配件上安裝並定位系統300之各種組件。可將製成零件(未圖示)安裝於可置放於影像捕捉及定位裝配件304中之定位裝配件306中。可藉由使用安裝於照明裝配件308中之燈照明影像圖案面板310而將影像圖案照射至製成零件上。影像圖案面板310可大於受測試之製成零件且可適應廣泛多種製成零件。影像圖案面板上之影像圖案可包括足夠多數目個之相異點以提供量測製成零件之三維幾何形狀之高解析度。可安裝影像捕捉器件302(例如，數位相機)以捕捉來自製成零件之反射性表面之反射。影像圖案面板310中之一開口可提供一入口，影像捕捉器件302可經由該入口捕捉反射影像圖案。可藉由定位裝配件304/306將影像捕捉器件302、影像圖案面板310及製成零件相對於彼此空間定向。在一代表性實施例中，影像捕捉器件302可經調整以面對反射性製成零件以捕捉反射影像。視反射性製成零件之大小及形狀而定，可選擇附接至影像捕捉器件302之透鏡以捕捉反射影像之較佳部分。並非僅調整相機302之透鏡以改變視場，影像捕捉及定位裝配件304亦可為可調整的，從而允許實現安裝於製成零件定位裝配件306中之反射性製成零件與影像捕捉器件302之間的不同距

離。反射性製成零件上之影像圖案可包括多個明亮及黑暗區域，使得反射明亮區域可被影像捕捉器件302捕捉。本發明之一較佳實施例可使用在黑暗背景上配置成規則網格的光點之陣列。亦可使用其他圖案影像。在一較佳實施例中，影像捕捉器件302中之影像感測器、影像圖案面板310及安裝於製成零件定位裝配件306中之製成零件可近似共平面，此配置可簡化用於處理捕捉到的反射影像以判定製成零件之三維表面之計算。

圖3B說明可置放於光源之前以在反射性製成零件上產生影像圖案之影像圖案面板310。影像圖案面板310可包括例如透明丙烯酸系面板之透明板312，含有可形成影像圖案316之不透明區域及透明區之圖案化膜314可安裝於該透明板上。可藉由使用不同圖案化薄膜314產生不同影像圖案316。替代地，可使用不透明區域及透明區域之任何組合(諸如，經由鑽有孔之金屬板或不透明塑膠面板)來產生影像圖案面板310。圖3B中所說明之影像圖案面板310由於重量輕、容易裝配且可藉由替換具有不同影像圖案之膜來提供不同影像圖案而為有利的。在安裝於照明裝配件308中之明亮光源位於影像圖案面板310之後的情況下，可產生具有高的信號(高明度點區域)對雜訊(低明度背景區域)之比率之影像圖案316。關於「高SNR」影像，本文中所描述之方法可提供準確結果，包括具有可使反射自受測試製成零件之表面之影像之明度位準減小的抗反射塗層之表面。

圖3C說明圖3A中所展示之影像捕捉及定位系統300之選擇組件之橫截面320。照明裝配件308可包括安裝於影像捕捉器件302之後的發光面板(諸如，LED發光面板或螢光燈)之一集合。影像圖案面板310可對自照明裝配件308發出之光進行「濾光」，從而在受測試製成零件324之反射性表面326上產生影像圖案328。在一代表性實施例中，影像圖案328可包括具有近似均一之形狀及光值(明度/色度)之多個圓形

點。投影影像圖案328之分量之形狀及色彩之均一性可有助於對捕捉到的反射影像之處理。來自反射性表面326之反射可由影像捕捉器件302捕捉。安裝於影像捕捉器件上之偏光濾光器可被旋轉至不同位置以對接收之反射影像進行濾光以便區別具有不同偏振之反射影像。在一實施例中，製成零件324之反射性表面326中之一者可反射具偏振之影像圖案328，而第二反射性表面326可反射不具偏光之影像圖案328。將不同偏振用於偏光濾光器322，影像捕捉器件302可捕捉包括來自該兩個反射性表面之反射影像圖案之組合或僅包括來自該等表面中之一者的一個反射影像圖案之影像(例如，經偏振之反射影像圖案可在捕捉影像之前藉由在影像捕捉器件302前面之偏光濾光器322濾除)。

圖4說明發源自點 \mathbf{p}_k (其可表示影像圖案328之透明點)且朝向描繪為曲線 $f(x)$ 之反射性表面行進之光線。(向量在本文中以粗體指示。)光線可自曲線 $f(x)$ 上之點 \mathbf{q}_k 反射，在該點處，相對於曲線 $f(x)$ 在 \mathbf{q}_k 處之切線，光線之入射角可等於反射角。光線可穿過定位於點 \mathbf{c} 處之相機402(影像捕捉器件302)中之影像捕捉平面402之點 \mathbf{r}_k 。相機204可指向由垂直於影像捕捉平面402之單位向量 \mathbf{e}_c 界定之方向。反射光線可沿著方向 $-\mathbf{e}_k$ 自點 \mathbf{q}_k 行進至點 \mathbf{c} 。(請注意，單位向量 \mathbf{e}_c 及 \mathbf{e}_k 大體上可重合。)在一個實施例中，配置成一線之多個點 \mathbf{p}_1 、 \mathbf{p}_2 、.....、 \mathbf{p}_N 可投影於曲線 $f(x)$ 上，從而產生在影像平面上接收到之點 \mathbf{r}_1 、 \mathbf{r}_2 、.....、 \mathbf{r}_N 之一集合。可使用對傳輸點 \mathbf{p}_1 、 \mathbf{p}_2 、.....、 \mathbf{p}_N 之瞭解，使用接收點 \mathbf{r}_1 、 \mathbf{r}_2 、.....、 \mathbf{r}_N 之集合來重建構曲線 $f(x)$ 。

影像捕捉平面402與相機位置 \mathbf{c} 之間的距離 d 可藉由比較物件上之參考特徵之實際距離與參考特徵之捕捉到的影像中之尺寸來判定。在一個實施例中，參考特徵可為劃在影像捕捉及定位裝配件304之一零件上或製成零件定位裝配件306上或製成零件(未圖示)上之一對可區

分標記。在另一實施例中，參考特徵可為投影至定位於製成零件定位裝配件306中之扁平參考物件上之一對可區分標記。對於物件上之兩個可區分標記之間的實際距離 B 及自參考特徵至相機位置 c 之量測距離 D ，距離 $d = (bD)/B$ 。對圖3A中所展示之系統之校準可調整相機以將定位裝配件上(或置放於定位裝配件中之一參考物件上)之一或多個參考標記定位至所看到的相機影像中(例如，光學檢像器中或電子顯示器上)之較佳位置。校準亦可包括判定相機位置 c 與影像平面之間的距離 d 。在圖3A中所說明之系統300中，影像捕捉器件302、影像圖案面板310及安裝於製成零件定位裝配件306中之受測試製成零件可近似共平面，藉此簡化校準程序。

一般而言，影像點之集合 $\{p_k\}$ 可在影像捕捉平面402上產生捕捉點之集合 $\{r_k\}$ 。函數 $f(x)$ (或更一般而言，三維表面)之向內彎曲(凹入)之部分可使影像點之集合 $\{p_k\}$ 中之鄰近影像點在捕捉到的影像中會聚，而向外彎曲(凸出)之部分可使鄰近影像點發散。對於將圖案 P 反射至相機中之表面之區域 R ，令 $g(P)$ 指示捕捉到的影像圖案。為了判定表面區域 R 之形狀，映射 $g(\cdot)$ 可為內射函數(injective function)，亦即， $g(\cdot)$ 可為一函數(不能將一個點 p_k 映射至多個影像點 r_k)且 $g(\cdot)$ 可為一對一的(不能將兩個不同點 p_k 映射至單一影像點 r_k)。若每一影像點 r_k 可連結至唯一源點 p_k (例如，藉由使用不同色彩之源點，或藉由在不同時間急速開啓/關閉該等源點)，則可唯一地判定區域 R 之形狀。亦可藉由自一或多個相異影像點開始迭代地建構表面估計來判定區域 R 之形狀，如本文中所進一步概述。

如圖5A中所展示，沿著光線506進入影像捕捉器件504且來源於影像平面502上之點 p 的每一光線可由具有不同位置及定向之複數個候選表面508中之任一者反射。捕捉到的影像中之單一點 r 可由在點 q_1 處反射自曲線 $f_1(x)$ 或在點 q_2 處反射自曲線 $f_2(x)$ 或在點 q_3 處反射自曲線

$f_3(x)$ 之光引起。由於入射角在任何反射點處必須等於反射角，故吾人可判定沿著進入影像捕捉器件504中之方向 $-\mathbf{e}$ 之每一可能相交反射性點處之候選表面定向508。(圖5A中之單位向量 \mathbf{e} 對應於圖4中之單位向量 \mathbf{e}_k 。)對於源於影像平面502上之點 \mathbf{p} 處之光線及在距位置 \mathbf{c} 處之影像捕捉器件504距離 l 處與光線506相交之函數 $f(x)$ ，表面 $f(x)$ 在反射點 \mathbf{q} 處的單位切線 \mathbf{t} 及單位法線 \mathbf{n} 係由以下方程式(1)給出，

$$\mathbf{t} = -\frac{\mathbf{u} + \mathbf{e}}{\|\mathbf{u} + \mathbf{e}\|}, \mathbf{n} = \frac{\mathbf{u} - \mathbf{e}}{\|\mathbf{u} - \mathbf{e}\|}, \quad (1)$$

其中反射點 $\mathbf{q} = \mathbf{c} + l\mathbf{e}$ ，且 \mathbf{u} 係定義為方向 $\mathbf{p} - \mathbf{q}$ 上之單位向量。捕捉到的影像中之每一點 \mathbf{r} 可由各自定位於距定位於位置 \mathbf{c} 處之影像捕捉器件402一不同距離的複數個表面中之任一者引起。為了解決此不定性，吾人可使用關於針對捕捉到的影像中的靠近點 \mathbf{r} 之點判定之表面定向之資訊。如圖5B中所展示，自第一接收影像點 \mathbf{r}_s (針對該點，吾人已判定可出現在相應反射點 \mathbf{q}_s 處之表面定向)開始，吾人可判定將反射點 \mathbf{q}_s 連接至對應於捕捉到的影像中之相鄰鄰近點 \mathbf{r}_t 之反射點 \mathbf{q}_t 的函數 $f(x)$ 。顯然，許多不同函數可連接兩個點。在一較佳實施例中，吾人可使用在每一反射點處與表面相切且在其間具有最小曲率之一平滑函數，如下文將詳述。

圖6說明可連接至各自具有不同表面定向的複數個第二反射點($t=t_{k+1}$ 處)中之任一點之具有已知表面定向之第一反射點($t=t_k$ 處之開始點601)。連接該兩個反射點之路徑 $p(t)$ 在彼等反射點處(亦即，在 $t=t_k$ 及 $t=t_{k+1}$ 處)與相應表面定向相切。在一個實施例中， $p(t)$ 經選擇為連接該兩個反射點之三次多項式函數。在一較佳實施例中，選擇路徑 $p(t)$ 以使曲率函數($C^2 = \ddot{x}_k^2 + \ddot{x}_{k+1}^2$)最小化。在圖6中，展示具有最小曲率之三

次多項式路徑 $p(t)$ ，其將開始點601連接至結束點602。爲了判定哪個結束點602產生具有 C 的最小值之路徑 $p(t)$ ，吾人可以迭代方式求出 $x_{k+1} = \gamma$ 之值。針對每一 γ ， t_k 與 t_{k+1} 之間的在開始點601($t = t_k$)及結束點($t = t_{k+1}$)兩者處具有正確斜率之三次多項式路徑 $p(t)$ 可由以下方程式(2)給出，

$$p(t) = x_k a(t) + \dot{x}_k \alpha(t) + \gamma b(t) + g(\gamma) \beta(t) \quad (2)$$

其中 $g(\gamma) = f(\gamma, t_{k+1})$ ，且其中基本多項式 $a(t)$ 、 $b(t)$ 、 $\alpha(t)$ 及 $\beta(t)$ 可由以下方程式(3)、(4)、(5)及(6)給出，

$$a(t) = \frac{2}{d^3} (t - d/2)^3 - \frac{3}{2d} (t - d/2) + \frac{1}{2} \quad (3)$$

$$\alpha(t) = \frac{t}{d^2} (t - d)^2 \quad (4)$$

$$b(t) = \frac{2}{d^3} (d/2 - t)^3 - \frac{3}{2d} (d/2 - t) + \frac{1}{2} \quad (5)$$

$$\beta(t) = \frac{t^2}{d^2} (t - d) \quad (6)$$

其中 $d = t_{k+1} - t_k$ 。曲率函數 C 爲 $\mathbf{u} = \mathbf{a} + \gamma \mathbf{b} + g(\gamma) \mathbf{c}$ 之2範數(2-norm)，其中

$$\mathbf{a} = x_k \frac{6}{d^2} \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} + \dot{x}_k \frac{2}{d} \begin{bmatrix} -2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\mathbf{b} = \frac{6}{d^2} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\mathbf{c} = \frac{2}{d} \begin{bmatrix} -1 \\ 2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

函數 $g(\gamma)$ 之非線性性通常不強，且因此，如以下方程式(10)中所定義之迭代

$$\gamma_{i+1} = \gamma_i - \frac{\langle (\mathbf{a} + g(\gamma_i)\mathbf{c}), \mathbf{b} \rangle}{\langle \mathbf{b}, \mathbf{b} \rangle} \quad (10)$$

可在幾個步驟內收斂至 x_{k+1} 之一值以在數值精度之一較佳位準內。在本文中，記法 $\langle \mathbf{a}, \mathbf{b} \rangle$ 指示向量 \mathbf{a} 與向量 \mathbf{b} 之間的點積。藉由選擇具有最小曲率之平滑三次多項式路徑 $p(t)$ ，吾人在缺少資訊之情況下將開始點與結束點之間的斜率之變化減至最小。

圖7將上文關於圖6所論述之理念應用於延伸可於點 \mathbf{q}_{k-1} 開始且可於點 \mathbf{q}_k 結束之曲線。對於沿著方向 $-\mathbf{e}_k$ 進入位於點 \mathbf{c} 處之相機之光線，吾人可判定可沿著光線出現之每一可能反射點之斜率。假設，吾人已判定點 \mathbf{q}_{k-1} (及必要地， \mathbf{q}_{k-1} 處之斜率)，且吾人想要找到沿著光線之點 $\mathbf{q}_k = \mathbf{c} + l_k \mathbf{e}_k$ (亦即，判定反射點 \mathbf{q}_k 與相機點 \mathbf{c} 之間的距離 l_k)。認為所定義之單位向量 \mathbf{u} 及 \mathbf{v} 分別垂直於進入相機點 \mathbf{c} 之光線及與該光線相切。詳言之，令 $\mathbf{v} = -\mathbf{e}_k$ 且 $\mathbf{u} = \mathbf{R}\mathbf{e}_k$ ，其中 $\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ 為90度逆時針旋轉矩陣。

使用經旋轉之 (\mathbf{u}, \mathbf{v}) 座標系，令 x 為點 \mathbf{q}_{k-1} 至點 \mathbf{q}_k 的在 \mathbf{u} 方向上之距離且 y 為點 \mathbf{q}_{k-1} 至點 \mathbf{q}_k 的在 \mathbf{v} 方向上之距離。因為距離 l_k 可由 $l_k = \langle \mathbf{e}_k, \mathbf{q}_{k-1} - \mathbf{c} \rangle - y$ 給出，所以吾人可藉由求出距離 y 來判定 l_k 。求出點 \mathbf{q}_k 與關於判定圖6中之結束點602之位置所描述者相同(其中圖7中之經旋轉軸線 \mathbf{u} 及 \mathbf{v} 分別

對應於圖6中之軸線 t 及 x)。垂直於按 y 之不同值與光線相交之曲線之法向向量 \mathbf{n} 可使用方程式(1)判定。在經旋轉座標架構中曲線在點 \mathbf{q}_k 處之相應斜率可藉由以下方程式(11)判定。

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{\langle \mathbf{n}, \mathbf{u} \rangle}{\langle \mathbf{n}, \mathbf{v} \rangle} \quad (11)$$

距離 y 及方程式(11)中之斜率 $\frac{dy}{dx}$ 之值對應於用於方程式(10)之迭代之值 γ 及 $g(\gamma)$ 。因此，吾人可使用上述迭代方法來判定點 \mathbf{q}_k 之解。

用於判定表面上之點之估計之上述方法的準確度可藉由模擬影像捕捉來予以檢查。在最簡單情況下，考慮係一直線之反射性表面 $f(x)$ ，如圖8中所展示。將 \mathbf{n} 及 \mathbf{t} 分別定義為線 $f(x)$ 之單位法向向量及單位切向量，且令 \mathbf{x} 為該線上之未必為反射點之一點。(請注意，入射角及反射角經展示為在點 \mathbf{x} 處不相等且在反射點 \mathbf{q} 處相等。)來源於點 \mathbf{p} 之光在線 $f(x)$ 上之反射點 $\mathbf{q} = \mathbf{x} + \gamma\mathbf{t}$ 可由以下方程式(12)給出。

$$\gamma = \frac{\langle \mathbf{n}, \mathbf{c} - \mathbf{x} \rangle \langle \mathbf{t}, \mathbf{p} - \mathbf{x} \rangle + \langle \mathbf{n}, \mathbf{p} - \mathbf{x} \rangle \langle \mathbf{t}, \mathbf{c} - \mathbf{x} \rangle}{\langle \mathbf{n}, \mathbf{c} - \mathbf{x} \rangle + \langle \mathbf{n}, \mathbf{p} - \mathbf{x} \rangle} \quad (12)$$

若反射性表面 $f(x)$ 為一曲線而非一直線，則吾人可迭代點 x_i 之一序列，以使得反射點 $\mathbf{q} = \begin{bmatrix} \tilde{x} \\ f(\tilde{x}) \end{bmatrix}$ 係由點 x_i 之該序列之極限 \tilde{x} 定義。給定反射性表面 $f(x)$ 及點 \mathbf{p}_k 之一集合，利用此等建構，吾人可產生在位於點 \mathbf{c} 處之相機之影像平面上捕捉的所得影像點 \mathbf{r}_k 中之每一者。因此，吾人可模擬捕捉反射影像。為了測試上述表面估計方法之準確度，吾人可自己知反射性表面 $f(x)$ 開始，使用射線追蹤來計算模擬之捕捉到的影像的點之集合，根據該模擬之捕捉到的影像建構反射性表面之估計

$g(x)$ ，且計算原始反射性表面 $f(x)$ 與所建構之反射性表面 $g(x)$ 之間的錯誤差(error difference) $f(x) - g(x)$ 。

圖9說明捕捉自製成零件之兩個不同鄰近反射性表面層之兩個疊加反射影像圖案之影像捕捉900。製成零件可包括一第一反射性表面(例如，安裝於「平板電腦」的LCD顯示器之上之防護玻璃罩)及鄰近於該第一反射性表面之一第二反射性表面(例如，LCD顯示器)。該第一反射性表面可產生第一表面反射影像圖案902，而該第二反射性表面可產生第二表面反射影像圖案904。在如圖9中所說明之代表性製成零件中，該第一反射性表面可實質上覆蓋製成零件之整個表面，而該第二反射性表面可覆蓋製成零件之表面的在該第一反射性表面下之一較小部分。在製成零件之包括該第一反射性表面及該第二反射性表面兩者之區中，可產生兩個不同的反射影像圖案902/904，而在僅具有該第一反射性表面之區域中，僅可產生第一表面反射影像圖案902，如圖9中所說明。該兩個反射性表面中之每一者可具有不同三維形狀，且第一表面反射影像圖案902及第二表面反射影像圖案904可至少在製成零件之某些區中不重疊。影像捕捉器件302可捕捉到兩個反射影像圖案902/904 (例如，點之兩個集合)，例如，反射自防護玻璃罩之一個影像圖案902及反射自LCD顯示器之一個影像圖案904。

鄰近反射性表面中之每一者可在不同方面修改影像圖案，包括歸因於反射性表面之個別三維形狀而修改方向性、歸因於塗覆至反射性表面之抗反射塗層之存在/不存在及量而修改光強度及光色度值，及歸因於反射性表面之性質而修改光偏振。圖10說明圖9之影像捕捉900之放大區段1000。在製成零件之周邊處，影像圖案自第一反射性表面反射，從而產生「第一表面」反射影像點1002之第一集合，其具有不同於在製成零件之中心區段中反射的「第二表面」反射影像點1004之第二集合的位置、光強度及光色度值。第一反射性表面上之抗

反射塗層可衰減經反射點之光強度(明度位準)以及過濾選定光頻率，從而產生帶不同色彩之經反射點。該第二反射性表面(例如，在LCD顯示器上)可反射較寬範圍之光頻率，從而產生在亮度(明度值)上高於來自包括抗反射塗層之該第一反射性表面之反射影像點1002的來自該第二表面之反射影像點1004。該等第二表面反射影像點1004可看上去比該等「彩色」之第一表面反射影像點1002「更白」。

在一代表性實施例中，該第二反射性表面可使反射自其表面之光偏振，從而產生由具有特定偏振之反射影像點構成之反射影像圖案。視偏光濾光器322 (反射影像圖案可穿過其而由影像捕捉器件302捕捉)之定向而定，可捕捉或可濾除經偏振的反射影像圖案，如圖11中所展示。在一代表性實施例中，針對定向在第一位置中(例如，位於標稱0度處)之偏光濾光器322，來自該第一反射性表面及該第二反射性表面兩者之反射影像圖案可穿過偏光濾光器322且可由影像捕捉器件302捕捉。就定向在第二位置中(例如，位於標稱90度處)之偏光濾光器322而言，來自該第一反射性表面之未經偏振之反射影像圖案可穿過偏光濾光器322，而來自該第二反射性表面之經偏振之反射影像圖案可被偏光濾光器322阻斷。如圖11中所說明，針對偏光濾光器322之一個位置之影像捕捉可僅包括第一表面反射影像圖案1102，而針對偏光濾光器322之第二位置之影像捕捉可包括與第二表面反射影像圖案1104疊加之第一表面反射影像圖案1102。偏光濾光器322可便利地將經偏振之反射影像圖案與未經偏振之反射影像圖案分離。一處理單元可組合來自該兩個影像捕捉之資訊以產生分離的反射性表面中之每一者之一影像圖案，可根據該影像圖案建構該兩個分離的反射性表面之單獨三維表面估計。在一個實施例中，第一反射影像圖案之明度值可實質上不同於第二反射影像圖案之明度值(例如，來自具有抗反射塗層之反射性表面之反射影像圖案可具有較低明度值)。除了使

用偏光濾光器322產生單獨影像之外或與使用偏光濾光器322產生單獨影像分開，該處理單元可基於量測之明度值(例如，按臨限值位準)及/或使用量測之色度值(不同色彩)來分離影像圖案。亦可使用來自包括抗反射塗層之反射性表面之反射影像圖案的量測之色度值及明度值來量測包括抗反射塗層之反射性表面上之抗反射塗層之方差。

圖12說明圖3A中所說明之影像捕捉及定位系統300之元件。如所展示，影像捕捉器件302可包括偏光濾光器322，其安裝於連接至偏光器定向調整1202機構之一透鏡前面。照明裝配件308可定位於該影像捕捉器件周圍及/或該影像捕捉器件後面以照明影像圖案目標，從而將影像圖案發送至製成零件。

如上所述，可使用對影像反射之二維影像捕捉來估計反射性物件之三維表面。影像可包括規則圖案，諸如點之陣列。可藉由處理捕捉到的影像來判定點之位置。每一影像點可對應於捕捉到的數位影像中的像素(像素化經反射點)之叢集。請注意，爲了定位該等點，可將捕捉到的影像縮減爲單色影像，該單色影像可自影像捕捉器件302所產生之捕捉到的彩色影像中之一或多個色彩(紅、綠、藍)通道得到。在具有像素之拜耳陣列之數位靜態相機中，綠色通道可提供最多資訊且因此可爲較佳的。(替代地，亦可使用組合來自所有像素之資訊之明度值。)透過使用數字之陣列，每一數字表示捕捉到的影像中之綠色通道之值，吾人可藉由對每一像素進行低通濾波而產生一平滑化的影像。舉例而言，吾人可使用每一像素之周圍(最近之相鄰)像素之值來平均得出每一像素之值。可視一臨限值而將用於經濾光影像中之像素之每一值轉換至二進位值(亦即，僅黑或白)，從而產生二進位之像素化經反射點。該低通濾波(平滑)操作可確保在臨限操作之後點不會分裂到多個像素叢集中。替代地，吾人可排除該低通濾波操作且根據捕捉到的單色影像直接產生二進位之像素化影像(可能對於對應於單

一經反射點之每一像素叢集產生多個相異「白色」像素)。可藉由將每一「白色」像素擴展為 3×3 (或某一其他型樣)之「白色」像素來變換所得二進位像素化影像，藉此使每一像素「擴大」成較大的像素叢集。使用任一方法，所得的二進位像素化影像較佳含有對應於每一捕捉到的經反射點之相異之未劃分「白色」像素叢集。

可根據二進位像素化影像來將每一點之二維幾何位置判定為「白色」像素之每一叢集之形心。用以識別每一叢集中之所有像素的一個方法可為將一整數指派給影像中之每一「白色」像素。可藉由逐個地對影像像素進行處理來完成此指派。若新像素為白色的且不具有白色的相鄰像素，則可為該像素指派新的整數。若新的白色像素具有已標記之相鄰白色像素，則可為該新像素指派指派給其經標記白色相鄰像素之整數中之最小整數。在第一遍次之後，同一叢集中之像素中的一些可已被指派不同整數，但此多重指派可藉由第二遍次固定。在識別了組成每一叢集之像素後，可計算像素叢集之形心。接下來，吾人可判定對應於每一像素叢集形心之產生點。可藉由自一或多個參考點分支來判定此對應性，可基於不同於影像中之剩餘點之所捕捉色彩而唯一地識別該等參考點(在單色及二進位轉換之前) (例如，參考點可為藍色而非白色)。藉由在沿著已建立之分支之方向界定(當可能時)之環形區域中進行搜尋，可將相鄰形心連接至現有之經識別形心。透過使用該等計算出之形心及該等形心之間的關係，吾人可如上所述地估計使影像圖案「失真」的反射性物件之表面形狀。

表面形狀估計之準確度可視影像圖案中之點之間的時間而定。較緊密間隔之點可提供關於表面形狀之較多資訊；然而，表面在反射性物件之某些區上之曲率可使影像中之鄰近影像點在反射影像中非常靠近。可藉由改變點網格之密度(或每一點之大小)來改良在表面之特定區域中之準確度，以確保可區分的(但仍緊密間隔之)點。另外，吾

人亦可改變影像捕捉器件之位置或反射性物件之定向以提供不同視角。吾人亦可藉由更改相機透鏡之焦距以捕捉鏡面反射物件之特定區域來改變對視場之放大率。接著可根據使用不同影像圖案、不同空間定向或不同視場或其任何組合捕捉的多個影像來組譯鏡面反射表面之複合估計。

圖13說明基於如上所述之對製成零件之影像捕捉的對兩個鄰近反射性表面之兩個三維表面估計。可根據使用圖3A中說明及上文所描述之影像捕捉及定位系統300之一或多個影像捕捉產生製成零件之最外層之三維表面形狀之估計(亦即第一表面形狀估計1302)及鄰近於最外層之內層之三維表面形狀之估計(亦即第二表面形狀估計1304)兩者。可使用影像點之精細網格(例如，圖13中所說明之代表性表面形狀估計1302/1304中所使用的15,000個以上之點)來達成反射性表面之幾何形狀之高解析度位準。由處理單元進行的影像捕捉及處理可在幾秒內完成，而非在使用機械或雷射光學量測系統捕捉相當數目個點所需的幾分鐘/幾小時內完成。在一代表性實施例中，第一表面形狀估計1302可對應於一防護玻璃罩表面之形狀，而第二表面形狀估計1304可對應於安裝於該防護玻璃罩表面下之LCD顯示器表面之形狀。

在一代表性實施例中，可比較該等三維表面形狀估計與對漏光之影像捕捉，當LCD顯示器表面不同於扁平表面且允許光自背光「漏出」時在LCD顯示器表面中可出現該等漏光。在LCD顯示器「開啓」時，均勻之「黑色位準」可為較佳的，且在製造程序(例如將LCD顯示器安裝於製成零件之外殼中)期間LCD顯示器之三維機械形狀可被更改。可將一或多個三維表面形狀估計用以藉由使具有高空間準確度之三維表面形狀與達成LCD顯示器之性質所需之品質位準相關來改進製造程序，諸如限制可影響LCD顯示器之背景黑色位準之漏光。利用快速之影像捕捉及處理系統，可開發一或多個合格/不合格準則以用

於工廠測試，其可改良製成零件之品質，從而確保製成零件可達成在規定公差內之均勻幾何性質。

在一些實施例中，安裝於照明裝配件308中之光源可包括具有不同光譜性質的不同類型之燈，例如紅外線或紫外線燈，以「看透」製成零件之一或多個反射性表面之塗層或層。類似地，可將替代偏光濾光器322或除偏光濾光器322外之不同濾光器用以藉由在捕捉之前對光進行過濾來更改捕捉到的影像。對捕捉到的影像之不同處理演算法亦可用以分離自製成零件之多個反射性層接收的疊加之影像圖案。亦可將投影之影像圖案「預先扭曲」成「不均勻圖案」以考慮到製成零件上之不平的反射性表面。製成零件在受測試時之不同位置及/或定向亦可用以分離在一或多個影像中一起捕捉之來自不同反射性表面之反射影像圖案。本文中所描述之共平面系統可為更穩固的且更易於在製造程序中校準及實施。

圖14概述用以估計物件之反射性表面形狀之方法1400。在步驟1402中，一影像圖案產生器件(諸如螢光燈)可朝向具有一或多個反射性表面之一反射性物件傳輸二維影像圖案。該影像圖案可為點之規則陣列或具有清楚可識別點之其他形狀。較佳地，影像使用具有清晰邊緣之明亮及黑暗區域的陣列。舉例而言，一影像可包括分散在黑色背景上之複數個光點，每一點可被清楚地識別。許多不同影像圖案可由本文中所描述之方法使用，且本方法不限於所描述之例示性影像圖案。

在步驟1404中，一影像捕捉器件捕捉該影像圖案之反射之二維影像。在一個實施例中，該影像捕捉器件為可產生一數位像素化影像之數位靜態相機。該反射影像可含有該影像圖案之一或多個疊加之失真版本，其中該等失真可由一反射性物件(例如，具有分層反射性表面之製成零件)之反射性表面之形狀變化導致。在步驟1406中，可根

據捕捉到之像素化二維反射影像產生二進位像素化影像。較佳地，該二進位像素化影像包括像素叢集之陣列，每一像素叢集對應於所接收之反射影像中之一個別可識別點。在步驟1408中，可使用該二進位像素化影像識別並定位二維影像點之集合。較佳地，該二進位像素化影像中之每一像素叢集產生一唯一二維影像點。在一較佳實施例中，該二維影像點為像素叢集之形心。

在步驟1410中，針對每一二維影像點計算三維方向向量之一集合。每一三維向量可針對一各別二維影像點表示一光線自鏡面反射性物件之表面上之一反射點行進至影像捕捉器件之影像平面的一方向。在步驟1412中，可針對該等二維影像點中之每一者判定鄰近性資訊，其使每一點與其相鄰點有關。在步驟1414中，可針對每一二維影像點沿著其相應三維方向向量計算三維表面估計之一集合。三維表面估計之該集合中之每一元素可表示反射性物件之表面之一不同位置及定向，該二維影像點可自該表面反射至影像捕捉器件中。在步驟1416中，可自該表面之一或多個參考點開始迭代地建構該反射性物件之三維表面估計。針對每一三維表面估計，可選擇用於一二維影像點之三維表面估計之集合中之一要素，其使將該三維表面估計連接至一先前估計之三維表面估計之一曲線之曲率函數最小化。在一較佳實施例中，該曲線包括三次多項式函數。在步驟1418中，可相對於一參考平面定向該三維表面估計。在步驟1420中，可根據經定向之三維表面估計產生一表面輪廓圖。

圖15說明用於產生一製成零件之兩個反射性表面之三維表面估計之另一代表性方法1500。在步驟1502中，將二維影像圖案投影至該製成零件上。在步驟1504中，藉由一影像捕捉器件捕捉至少兩個不同的二維反射影像。可使用置放於該影像捕捉器件前面之一偏光濾光器之一不同偏光位置來捕捉該兩個不同的二維反射影像中之每一者。在

步驟1506中，比較該兩個不同的二維反射影像與一參考影像圖案以判定表面形狀相對於一預定三維表面形狀之一變化。在步驟1508中，針對該製成零件中之兩個不同鄰近反射性表面中之每一者產生三維表面估計。在一代表性實施例中，該等反射性表面中之一者反射具有一偏振之二維影像圖案。在該代表性實施例中，用經定位以阻斷來自該等反射性表面中之該一者的經偏振之反射二維影像圖案之偏光濾光器捕捉該等二維反射影像中之一者。在該代表性實施例中，兩個不同鄰近反射性表面中之另一者不誘發該反射二維影像之偏振。

圖16說明用以產生製成零件之兩個鄰近反射性表面之三維表面估計之另一代表性方法。在步驟1602中，將一二維影像圖案投影至該製成零件上。在步驟1604中，捕捉一二維反射影像，其包括來自該兩個鄰近反射性表面中之每一者之反射影像圖案。該捕捉到的二維影像圖案包括各自反射自兩個不同的鄰近反射性表面中之每一者的兩個疊加之影像圖案。在步驟1606中，基於光性質值將該捕捉到的二維反射影像分離成兩個不同反射影像。處理二維影像圖案以將該二維影像圖案成分離的影像圖案，該兩個不同鄰近反射性表面中之每一者針對一個影像圖案。在一代表性實施例中，處理包括基於明度值及/或色度值之分離。在一代表性實施例中，使用明度值之臨限值來分離兩個影像圖案。在步驟1608中，比較該兩個分離之二維影像與一參考影像圖案。在步驟1610中，使用該兩個分離之影像圖案產生兩個不同三維表面估計，該兩個不同鄰近反射性表面中之每一者針對一個三維表面估計。

所述實施例之各種態樣可藉由軟體、硬體或硬體與軟體之組合來實施。亦可將所描述實施例編碼為非暫時性電腦可讀媒體上之電腦程式碼。非暫時性電腦可讀媒體為可儲存此後可由電腦系統讀取的資料之任何資料儲存器件。非暫時性電腦可讀媒體之實例包括唯讀記憶

體、隨機存取記憶體、CD-ROM、DVD、磁帶及光學資料儲存器件。電腦程式碼亦可分散於網路耦接之電腦系統上，使得以分散方式儲存並執行電腦程式碼。

所述實施例之各種態樣、實施例、實施或特徵可單獨地或以任何組合使用。為了解釋之目的，前述描述使用具體術語以提供對所述實施例之透徹理解。然而，熟習此項技術者將顯而易見，並不需要特定細節來實踐所描述實施例。因此，為了解釋及描述目的，呈現本文中所描述之特定實施例之前述描述。該等描述之目標不在於為詳盡的或將實施例限於所揭示之精確形式。一般熟習此項技術者將顯而易見，鑒於以上教示，許多修改及變化係可能的。

所描述之實施例之優點眾多。不同態樣、實施例或實施可產生以下優點中之一或多者。本發明實施例之許多特徵及優點將自本書面描述顯而易見，且因此，附加之申請專利範圍意欲涵蓋本發明之所有此等特徵及優點。此外，由於許多修改及變化將容易被熟習此項技術者想起，故實施例不應限於所說明及所描述的精確建構及操作。因此，可採用屬於本發明之範疇內的所有合適修改及等效物。

【符號說明】

100	先前技術光學量測系統
102	雷射
104	相機
106	鏡面反射主光束
108	漫反射主光束
110	鏡面反射旁光束
112	製成零件表面
200	影像圖案之失真
202	反射性表面

204	相機
206	影像圖案
208	捕捉到的反射影像
300	用於捕捉反射自製成零件之一或多個反射性表面層之一或多個影像之系統
302	影像捕捉器件
304	影像捕捉及定位裝配件
306	製成零件定位裝配件
308	照明裝配件
310	影像圖案面板
312	透明板
314	圖案化膜
316	影像圖案
320	橫截面
322	偏光濾光器
324	受測試零件
326	反射性表面
328	影像圖案
402	影像捕捉平面
502	影像平面
504	影像捕捉器件
506	光線
508	候選表面/候選表面定向
601	開始點
602	結束點
900	影像捕捉

902	第一表面反射影像圖案
904	第二表面反射影像圖案
1000	影像捕捉之放大區段
1002	第一表面反射影像點
1004	第二表面反射影像點
1102	第一表面反射影像圖案
1104	第二表面反射影像圖案
1202	偏光器定向調整機構
1302	第一表面形狀估計
1304	第二表面形狀估計
1400	用以估計物件之反射性表面形狀之方法
1500	用於產生一製成零件之兩個反射性表面之三維表面 估計之另一代表性方法
c	點
d	影像捕捉平面與相機位置之間的距離
e_c	單位向量
e_k	單位向量
f(x)	表示反射性表面之曲線
p_k	點
q	點
q_k	點
r	點
r_k	點

申請專利範圍

1. 一種用於估計一物件之至少兩個反射性表面層之一三維表面形狀之方法，該方法包含：

藉由一影像捕捉器件捕捉該物件之一反射影像，該物件之該反射影像包含一第一反射影像圖案及一第二反射影像圖案，其中每一反射影像圖案係反射自該至少兩個反射性表面層中之一相應反射性表面層，其中該第一反射影像圖案穿過一第一偏光介質且其中該第二反射影像圖案穿過一第二偏光介質，其中該第一偏光介質具有一第一偏振定向且其中該第二偏光介質具有一第二偏振定向，其中該第一偏振定向與該第二偏振定向彼此不同；

自該第一反射影像圖案獲得二維反射影像點之一第一集合；

自該第二反射影像圖案獲得二維反射影像點之一第二集合；及

藉由比較該第一集合之二維反射影像點與該第二集合之二維反射影像點來產生該物件之該至少兩個反射性表面層中之每一者之該三維表面形狀之一估計。

2. 如請求項1之方法，其中該第一反射影像圖案及該第二反射影像圖案各自包括與該物件之該至少兩個反射性表面層之一形狀有關之資訊。

3. 如請求項2之方法，其進一步包含：

像素化該第一反射影像圖案及該第二反射影像圖案以根據該捕捉到之像素化二維反射影像形成一二進位像素化影像。

4. 如請求項3之方法，其中該二進位像素化影像包含像素叢集之一陣列，每一像素叢集對應於該接收之反射影像中之一個別可識別點，該個別可識別點對應於一二維影像點。

5. 如請求項4之方法，該二維影像點為一相應像素叢集之一形心。
6. 如請求項5之方法，其進一步包含：

針對每一二維影像點計算三維方向向量之一集合，其中每一三維向量針對一各別二維影像點表示一光線自該至少兩個反射性表面層上之一反射點行進至該影像捕捉器件之一影像平面之一方向。

7. 如請求項6之方法，其進一步包含：

針對該等二維影像點中之每一者判定鄰近性資訊，該鄰近性資訊使每一點與其相鄰點有關。

8. 如請求項7之方法，其進一步包含：

針對每一二維影像點沿著其相應三維方向向量計算三維表面估計之一集合，其中三維表面估計之該集合中之每一元素表示該物件之該表面之一不同位置及定向，該二維影像點自該表面反射至該影像捕捉器件中。

9. 如請求項8之方法，用以產生該至少兩個反射性表面層中之每一者之該三維表面形狀之該估計之該比較包含：使將該三維表面估計連接至一先前估計之三維表面估計之一曲線之一曲率函數最小化。

10. 如請求項9之方法，其中該曲線包括一三次多項式函數。

11. 一種用於估計具有多個反射表面之一製成零件之一三維表面形狀之裝置，該裝置包含：

用於捕捉來自該製成零件之一第一反射影像圖案及一第二反射影像圖案之一影像捕捉器件，由該影像捕捉器件捕捉之每一反射影像圖案穿過各自具有一不同偏振定向之一相應偏光介質；及

一處理單元，其耦接至該影像捕捉器件且經組態以：處理該

等捕捉到的反射影像圖案且藉由比較與該第一反射影像及該第二反射影像相關聯之資訊來評估該製成零件之該多個反射性表面中之至少兩者之幾何性質。

12. 如請求項11之裝置，其中每一反射影像圖案係反射自該多個反射性表面層中之一相應反射性表面層。

13. 如請求項12之裝置，其中該影像捕捉器件捕捉來自該第一反射影像圖案之二維反射影像點之一第一集合及來自該第二反射影像圖案之二維反射影像點之一第二集合，且其中該處理單元藉由比較該第一集合之二維反射影像點與該第二集合之二維反射影像點來產生該製成零件之至少兩個反射性表面層中之每一者之該三維表面形狀之一估計。

14. 如請求項13之裝置，其進一步包含：

一影像像素化器，其經組態以像素化該第一反射影像圖案及該第二反射影像圖案以根據該捕捉到之像素化二維反射影像形成一二進位像素化影像，其中該二進位之像素化影像包含像素叢集之一陣列，每一像素叢集對應於該接收之反射影像中之一個別可識別點，該個別可識別點對應於一二維影像點。

15. 如請求項14之裝置，其中該處理單元進一步操作以針對每一二維影像點計算三維方向向量之一集合，其中每一三維向量針對一各別二維影像點表示一光線自該等反射性表面層上之一反射點行進至該影像捕捉器件之一影像平面的一方向；且針對每一二維影像點沿著其相應三維方向向量計算三維表面估計之一集合，其中三維表面估計之該集合中之每一元素表示該製成零件之該表面之一不同位置及定向，該二維影像點自該表面反射至該影像捕捉器件中。

16. 一種儲存指令之機器可讀非暫時性儲存媒體，當該等指令由包^S

含於一計算器件中之一處理器所執行時，造成該計算器件實施下述步驟：

藉由一影像捕捉器件捕捉一物件之一反射影像，該物件之該反射影像包含一第一反射影像圖案及一第二反射影像圖案，其中每一反射影像圖案係反射自至少兩個反射性表面層中之一相應反射性表面層，其中該第一反射影像圖案穿過一第一偏光介質且其中該第二反射影像圖案穿過一第二偏光介質，其中該第一偏光介質具有一第一偏振定向且其中該第二偏光介質具有一第二偏振定向，其中該第一偏振定向與該第二偏振定向彼此不同；

自該第一反射影像圖案獲得二維反射影像點之一第一集合；

自該第二反射影像圖案獲得二維反射影像點之一第二集合；及

藉由比較該第一集合之二維反射影像點與該第二集合之二維反射影像點來產生該物件之該至少兩個反射性表面層中之每一者之一三維表面形狀之一估計。

17. 如請求項16之機器可讀非暫時性儲存媒體，其中該第一反射影像圖案及該第二反射影像圖案各自包括與該物件之該至少兩個反射性表面層之一形狀有關之資訊。

18. 如請求項17之機器可讀非暫時性儲存媒體，其中該等步驟進一步包含：

像素化該第一反射影像圖案及該第二反射影像圖案以根據該捕捉到之像素化二維反射影像形成一二進位像素化影像。

19. 如請求項18之機器可讀非暫時性儲存媒體，其中該二進位像素化影像包含像素叢集之一陣列，每一像素叢集對應於該接收之反射影像中之一個別可識別點，該個別可識別點對應於一二維反射影像點。

20. 如請求項19之機器可讀非暫時性儲存媒體，該二維反射影像點為一相應像素叢集之一形心。

21. 一種用於估計一物件之至少兩個反射性表面層之一三維表面形狀之裝置，該裝置包含：

用於藉由一影像捕捉器件捕捉該物件之一反射影像之構件，該物件之該反射影像包含一第一反射影像圖案及一第二反射影像圖案，其中每一反射影像圖案係反射自該至少兩個反射性表面層中之一相應反射性表面層，其中該第一反射影像圖案穿過一第一偏光介質且其中該第二反射影像圖案穿過一第二偏光介質，其中該第一偏光介質具有一第一偏振定向且其中該第二偏光介質具有一第二偏振定向，其中該第一偏振定向與該第二偏振定向彼此不同；

用於自該第一反射影像圖案獲得二維反射影像點之一第一集合之構件；

用於自該第二反射影像圖案獲得二維反射影像點之一第二集合之構件；及

用於藉由比較該第一集合之二維反射影像點與該第二集合之二維反射影像點來產生該物件之該至少兩個反射性表面層中之每一者之該三維表面形狀之一估計之構件。

22. 如請求項21之裝置，該第一反射影像圖案及該第二反射影像圖案各自包括與該物件之該至少兩個反射性表面層之一形狀有關之資訊。

23. 如請求項22之裝置，其進一步包含：

用於像素化該第一反射影像圖案及該第二反射影像圖案以根據該捕捉到之像素化二維反射影像形成一二進位像素化影像之構件。

24. 如請求項23之裝置，該二進位之像素化影像包含像素叢集之一陣列，每一像素叢集對應於該接收之反射影像中之一個別可識別點，該個別可識別點對應於一二維反射影像點。
25. 如請求項24之裝置，該二維反射影像點為一相應像素叢集之一形心。
26. 如請求項25之裝置，其進一步包含：

用於針對每一二維反射影像點計算三維方向向量之一集合之構件，其中每一三維向量針對一各別二維反射影像點表示一光線自該至少兩個反射性表面層上之一反射點行進至該影像捕捉器件之一影像平面的一方向。
27. 如請求項26之裝置，其進一步包含：

用於針對該等二維反射影像點中之每一者判定鄰近性資訊之構件，該鄰近性資訊使每一點與其相鄰點有關。
28. 如請求項27之裝置，其進一步包含：

用於針對每一二維反射影像點沿著其相應三維方向向量計算三維表面估計之一集合之構件，其中三維表面估計之該集合中之每一元素表示該反射性物件之該表面之一不同位置及定向，該二維反射影像點自該表面反射至該影像捕捉器件中。
29. 如請求項28之裝置，用以產生該至少兩個反射性表面層中之每一者之該三維表面形狀之該估計之比較包含：使將該三維表面形狀之該估計連接至一先前估計之三維表面估計之一曲線之一曲率函數最小化。
30. 如請求項29之裝置，其中該曲線包括一三次多項式函數。

圖式

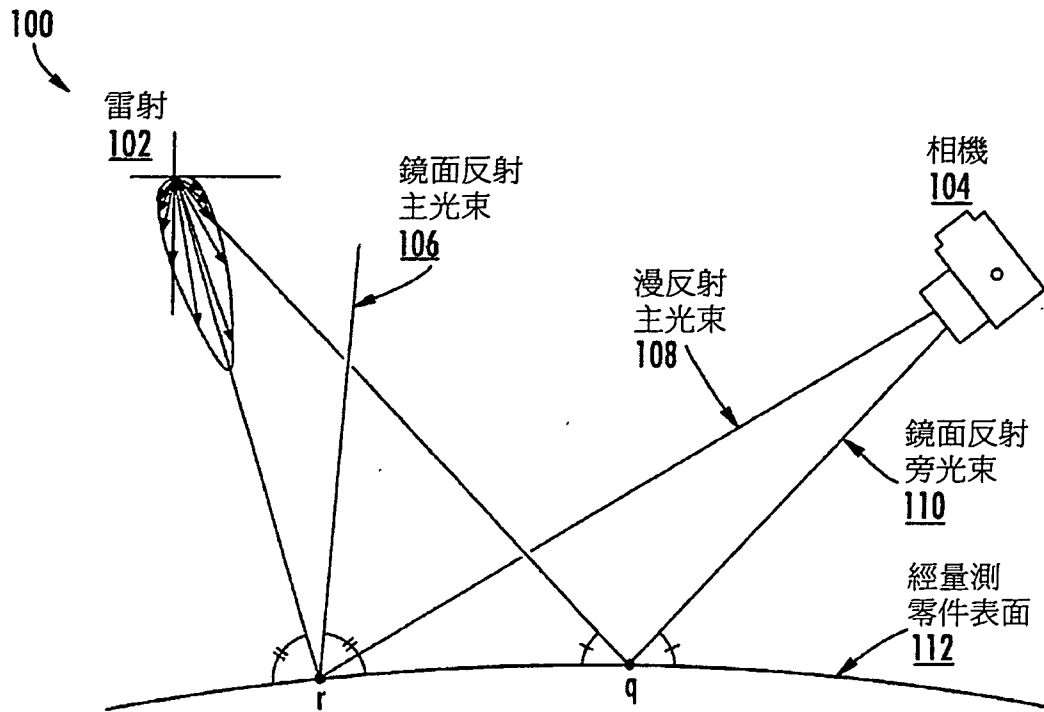


圖1

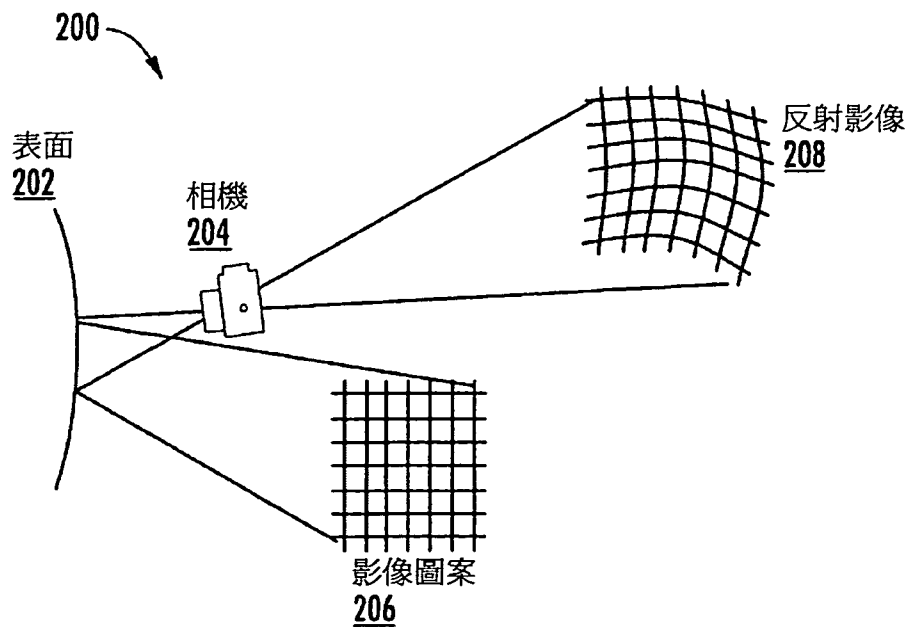


圖2

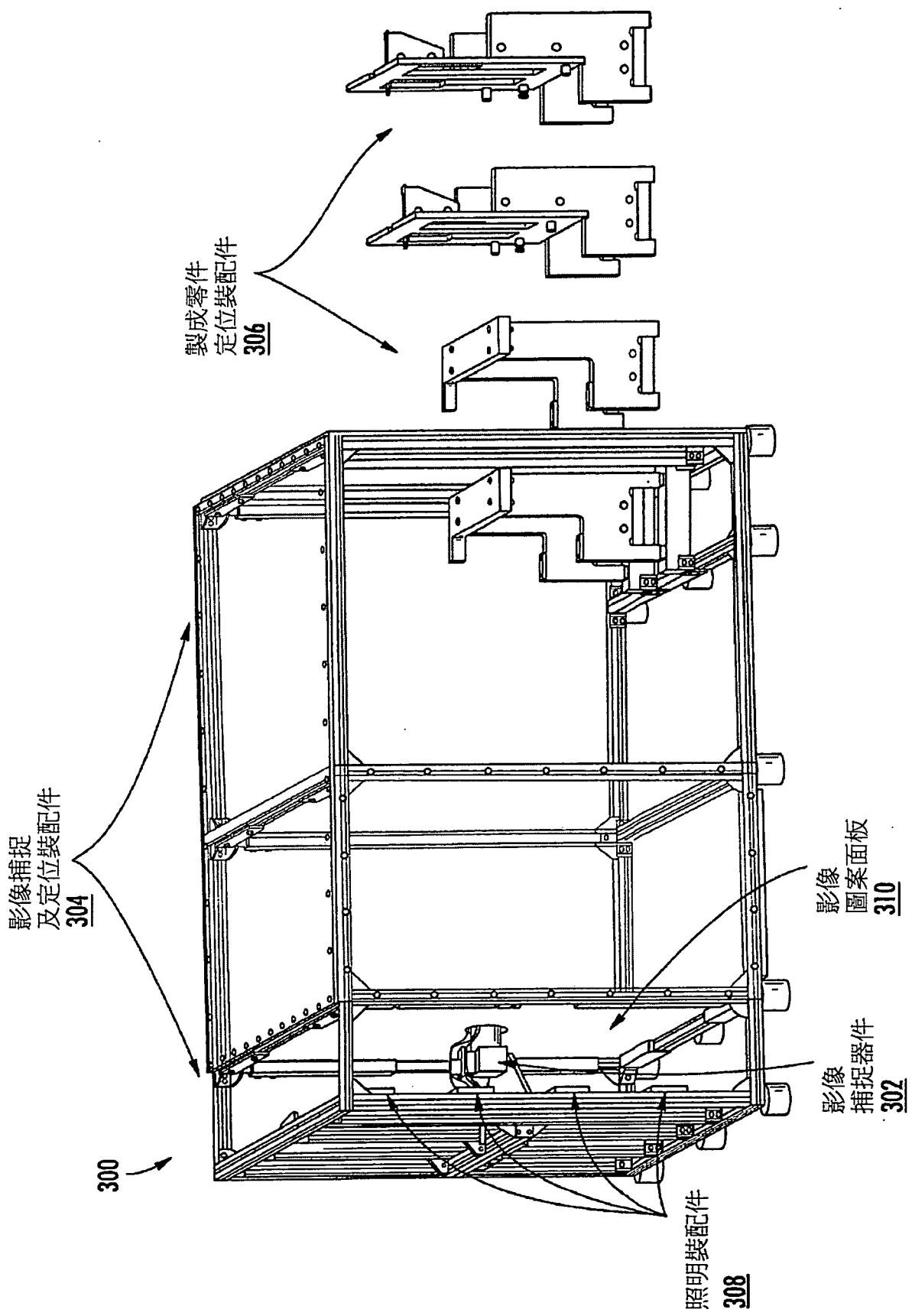


圖3A



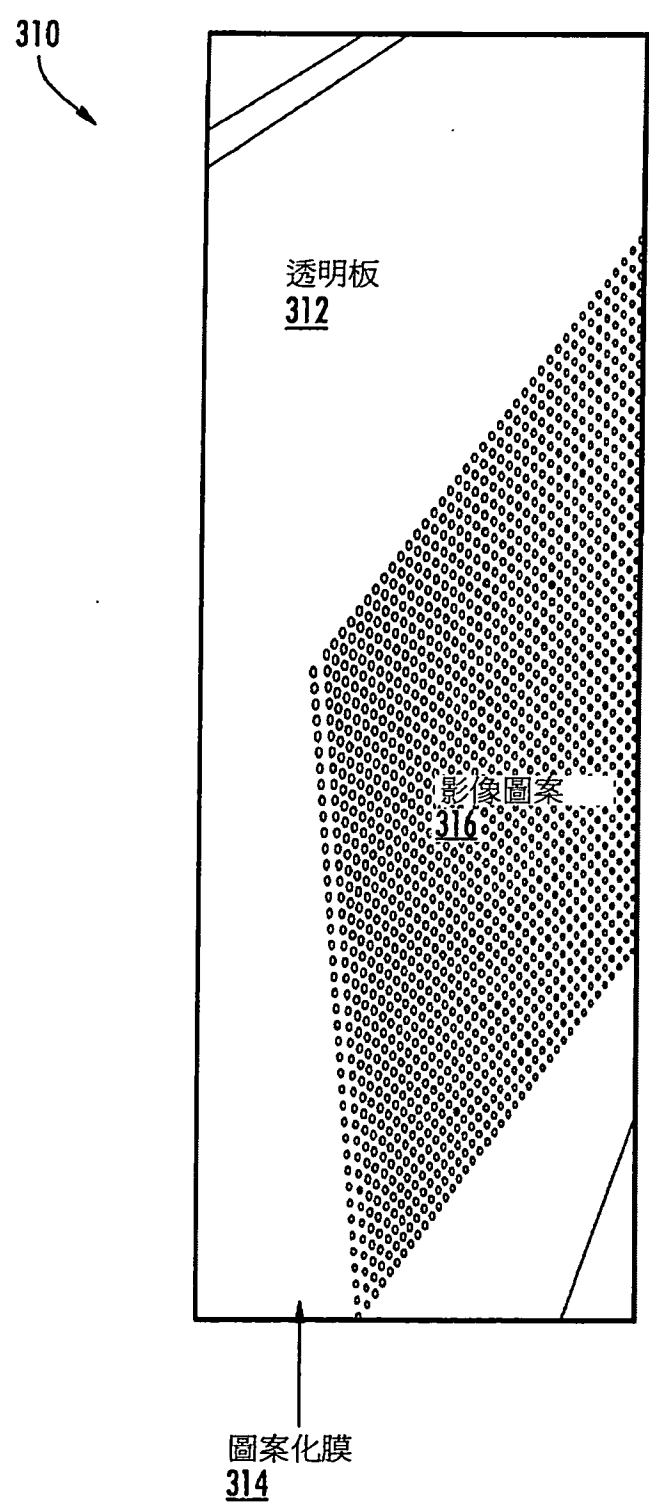


圖3B

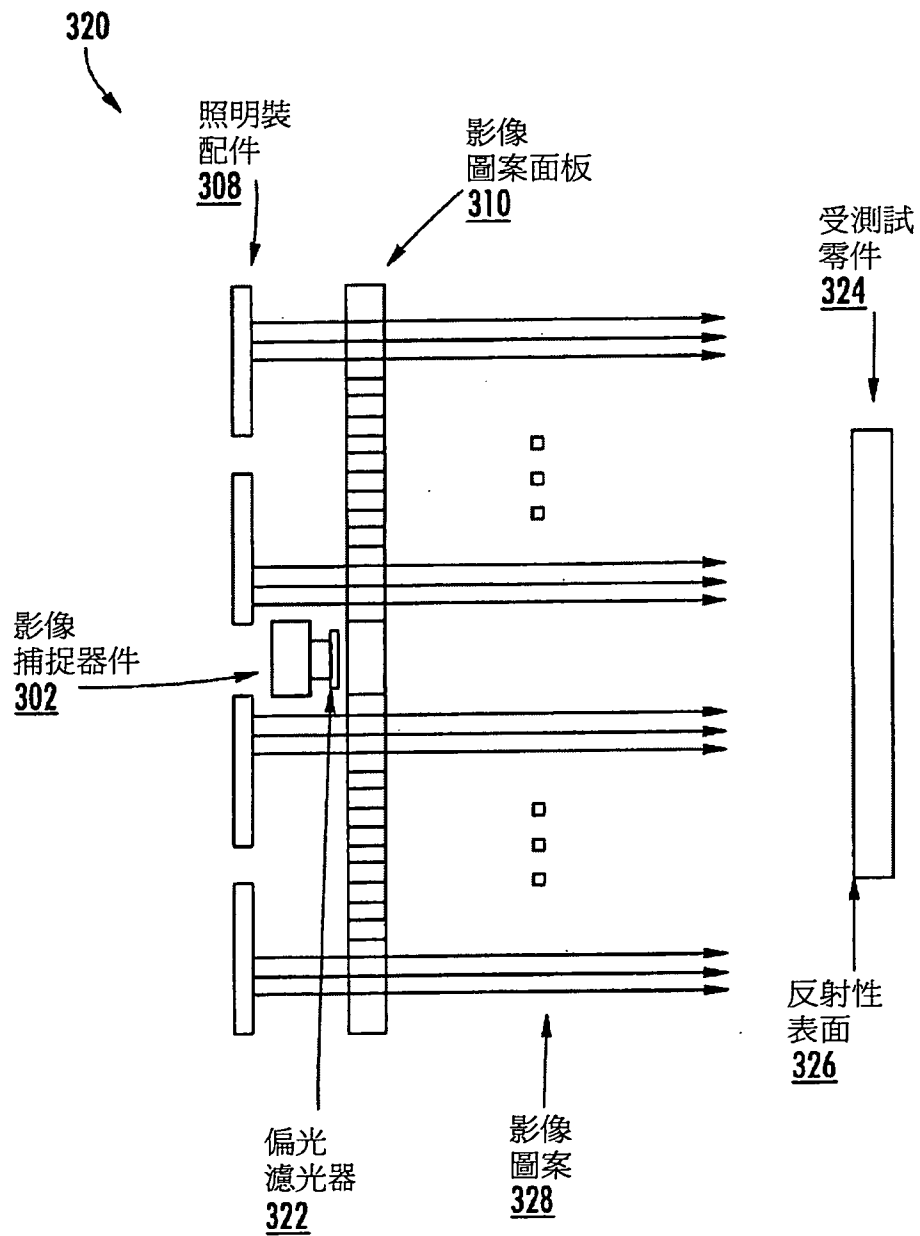


圖3C

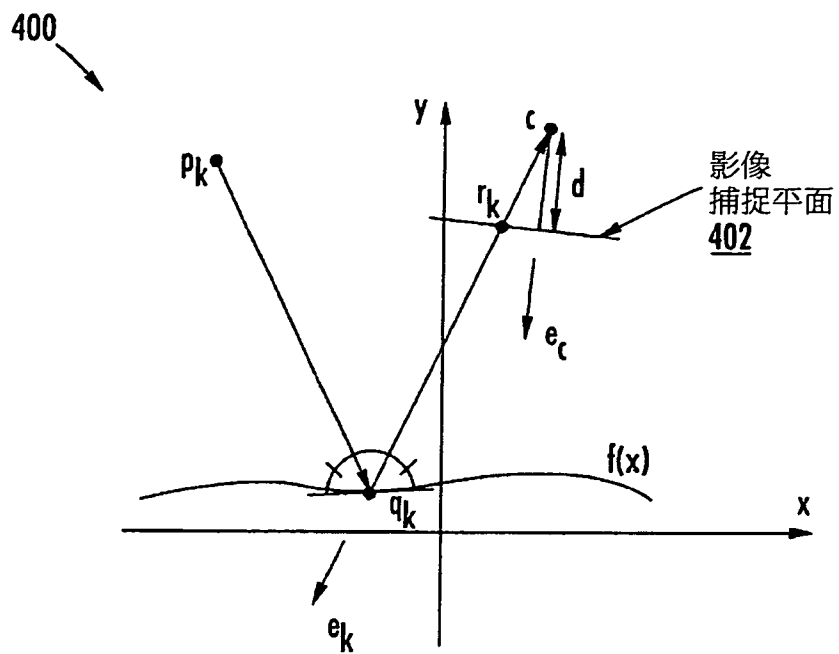


圖4

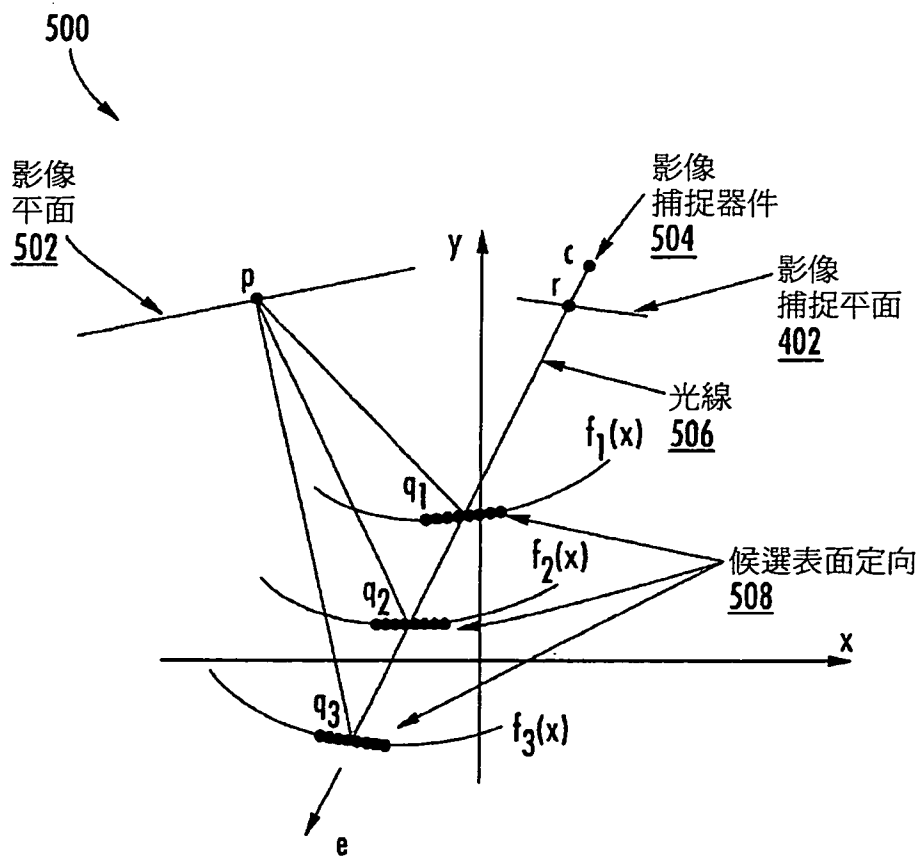


圖5A

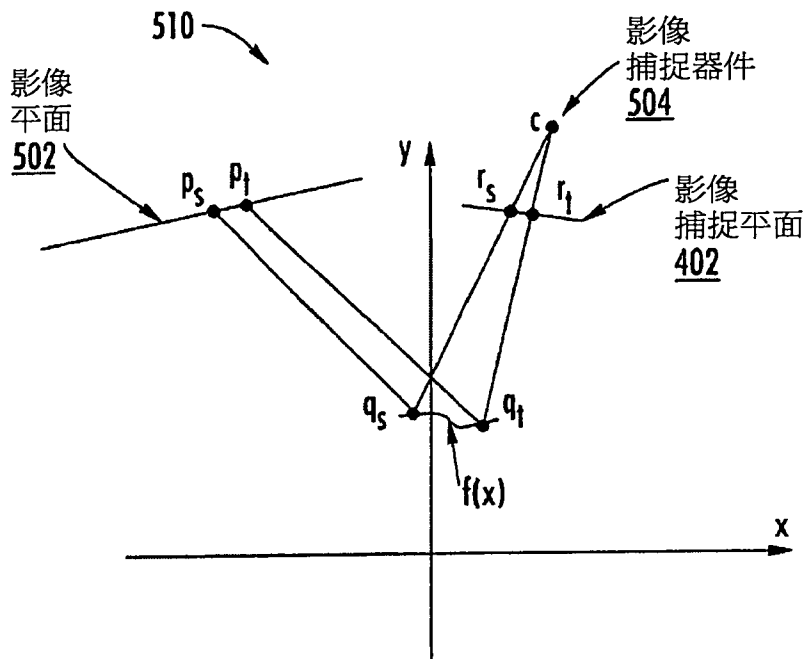


圖5B

600

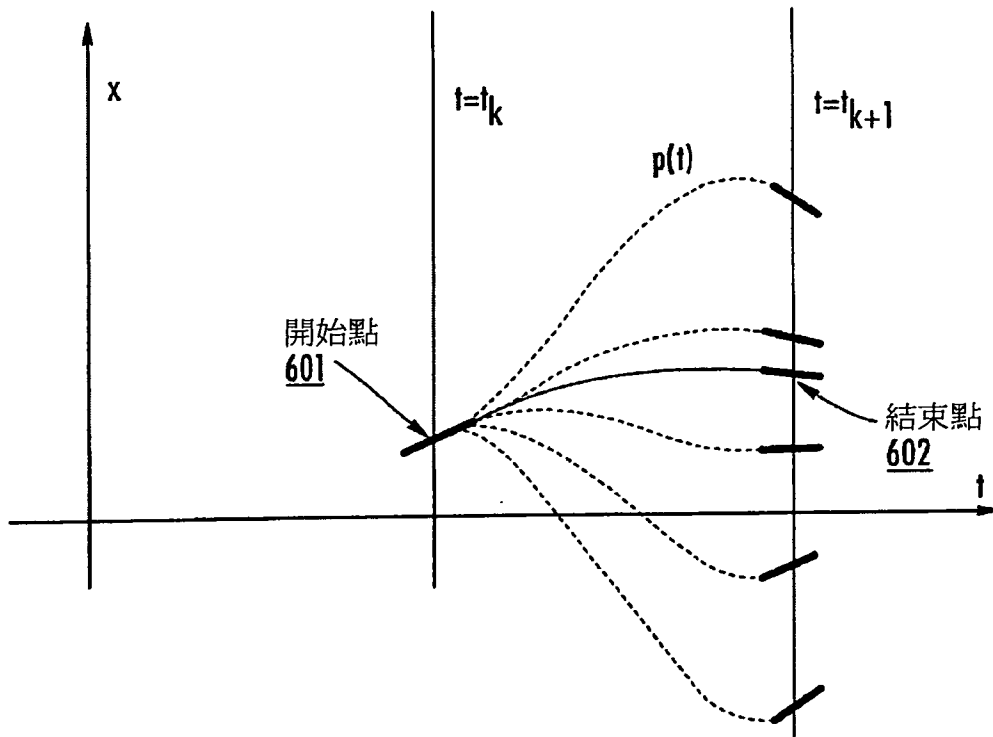


圖6

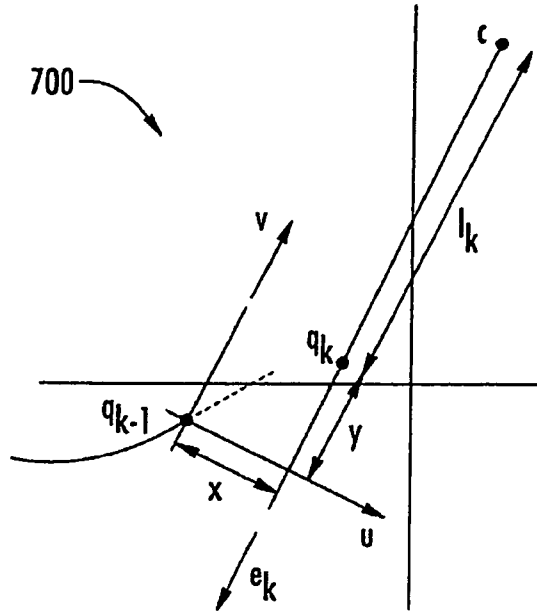


圖 7

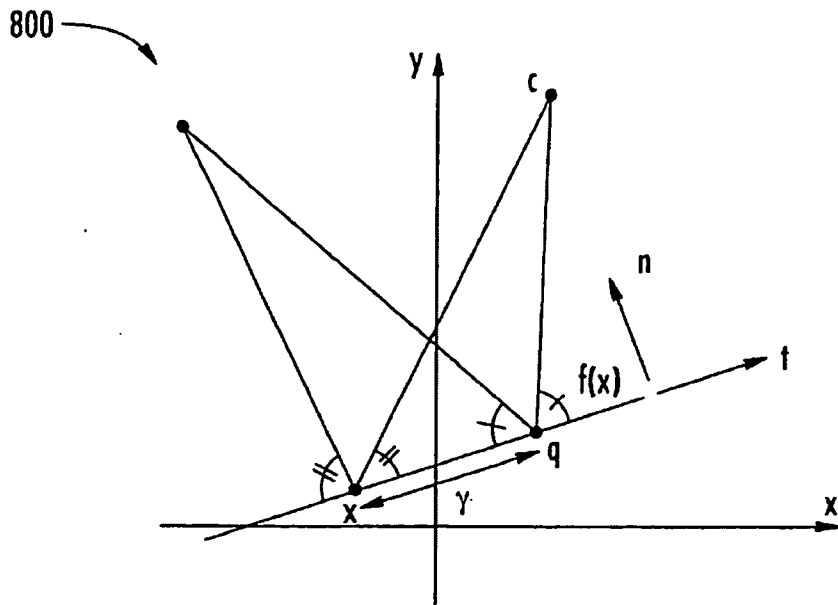
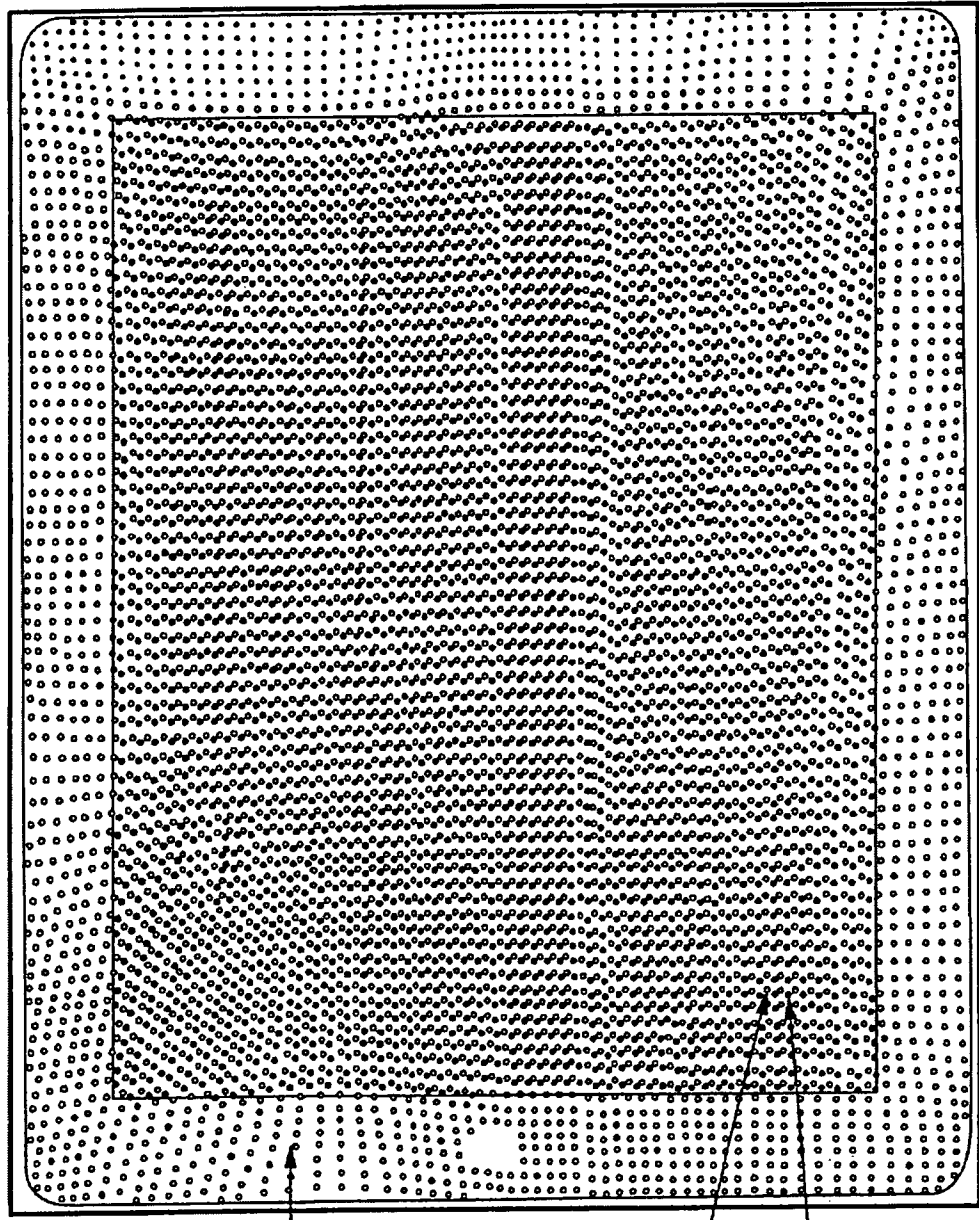


圖 8



900

第一表面
反射影像
圖案 902

第一表面
反射影像
圖案 902

第二表面
反射影像
圖案 904

圖9



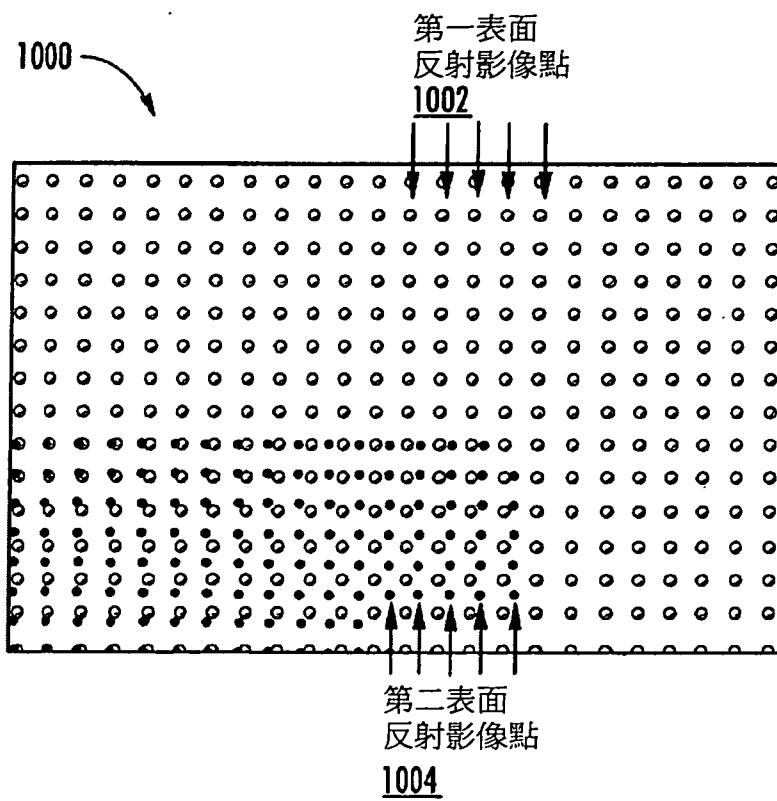


圖10

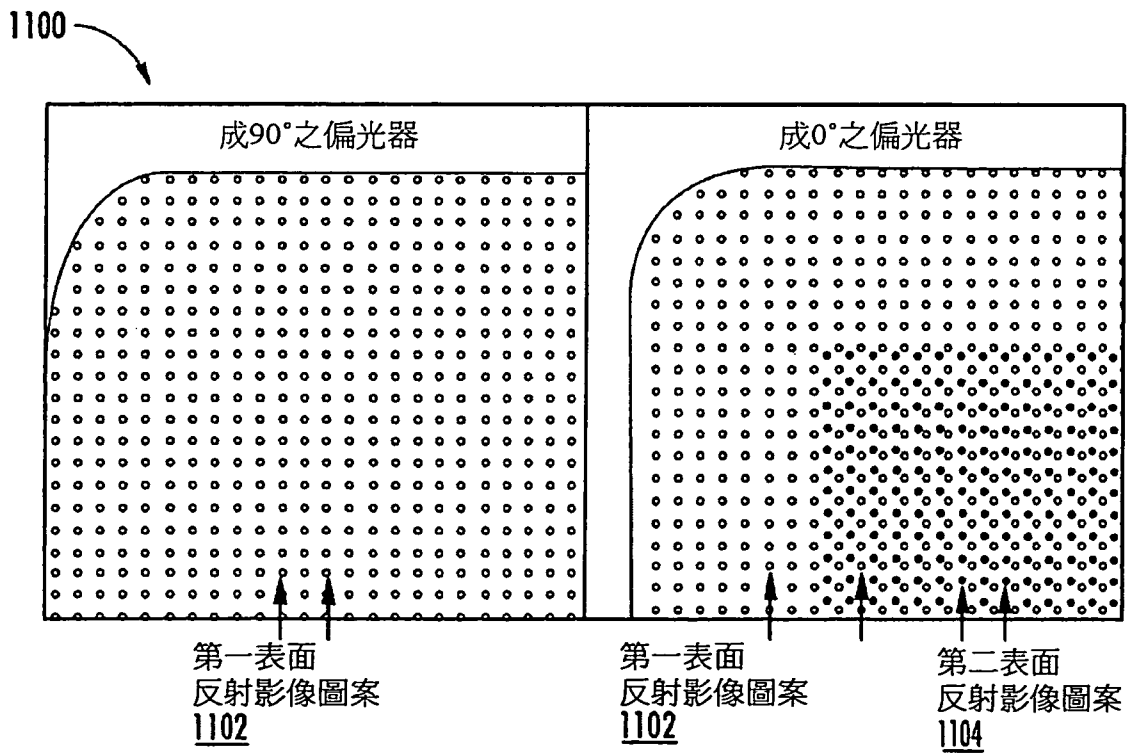


圖11

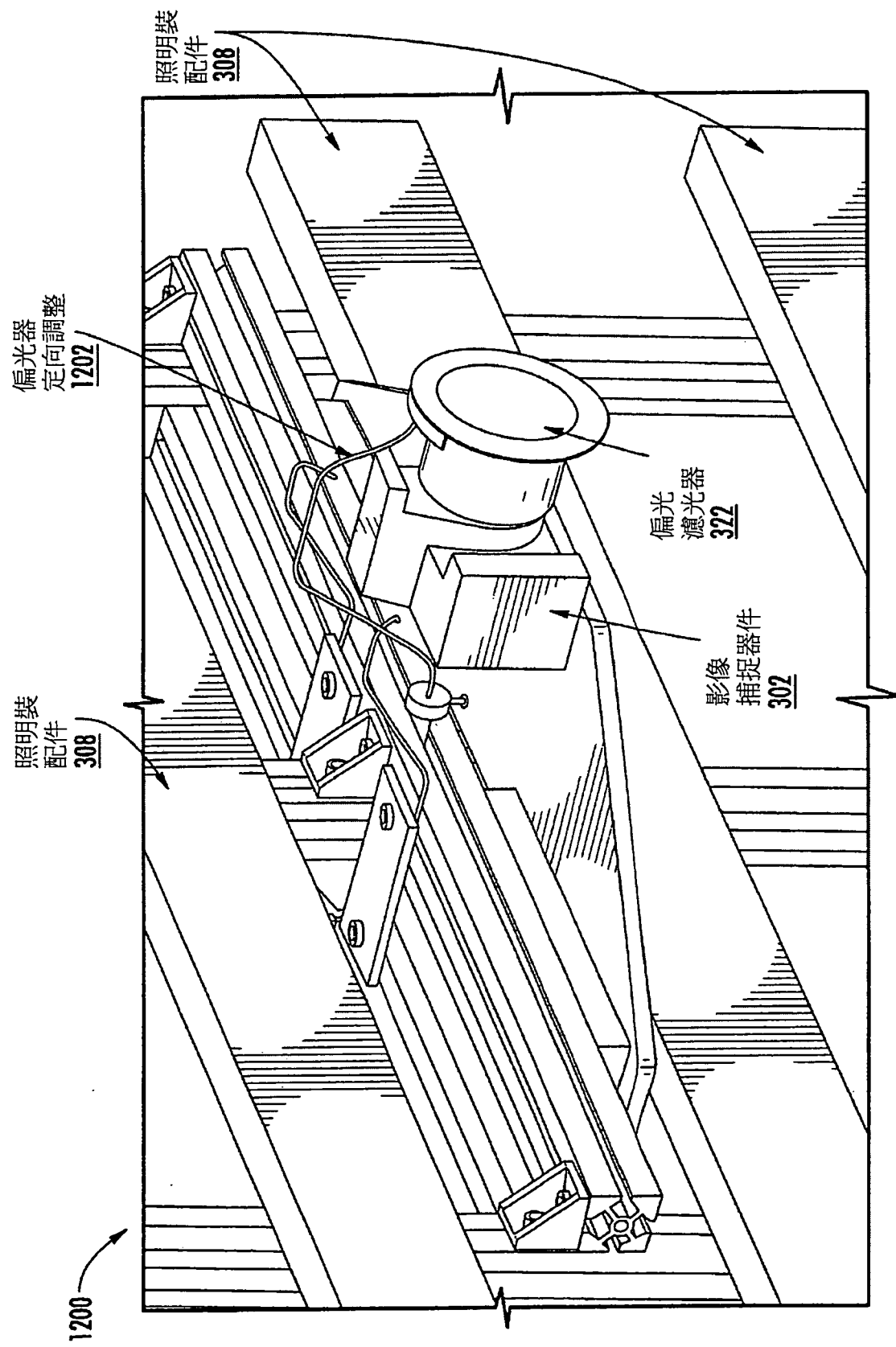


圖12



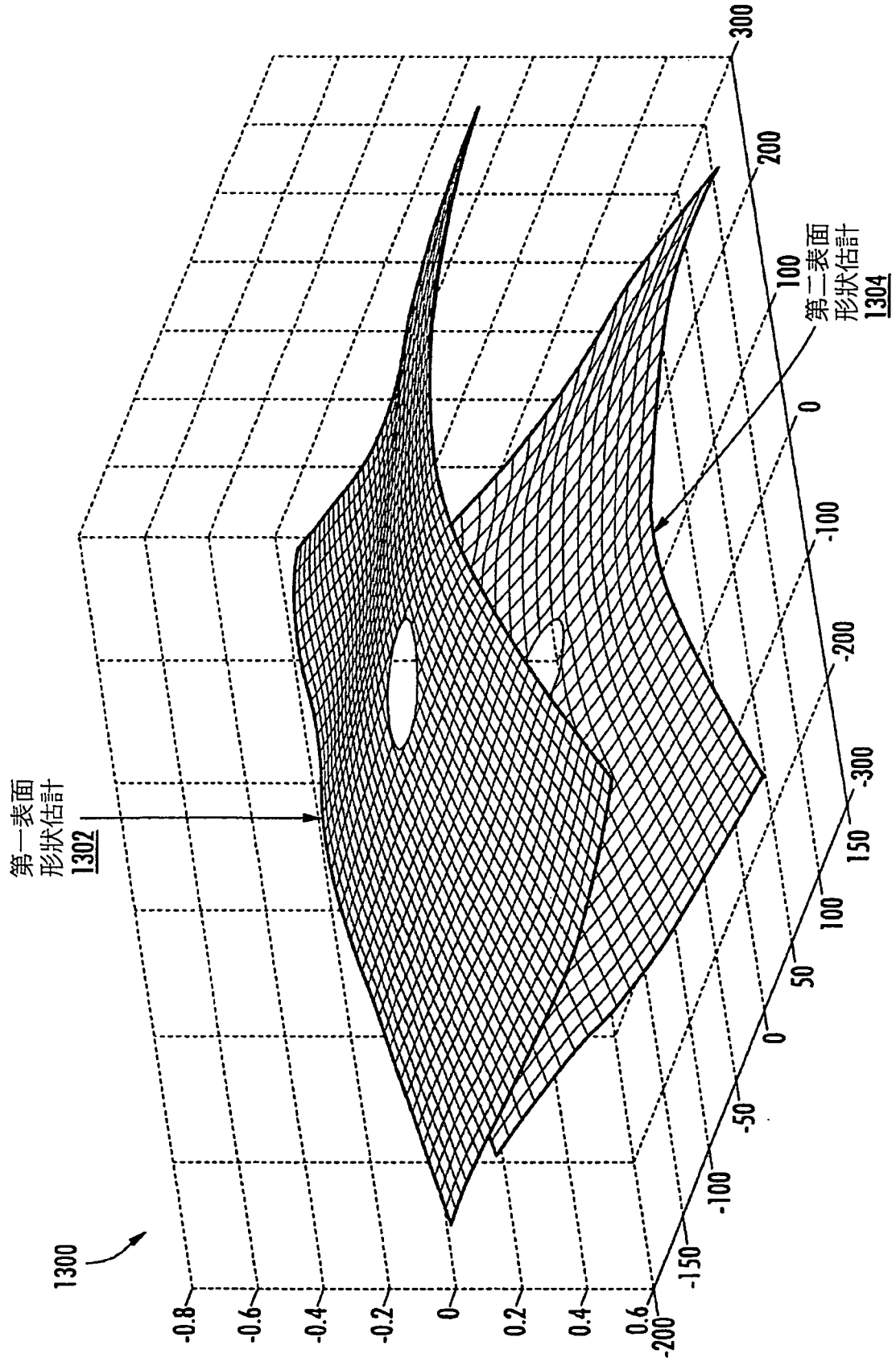


圖13

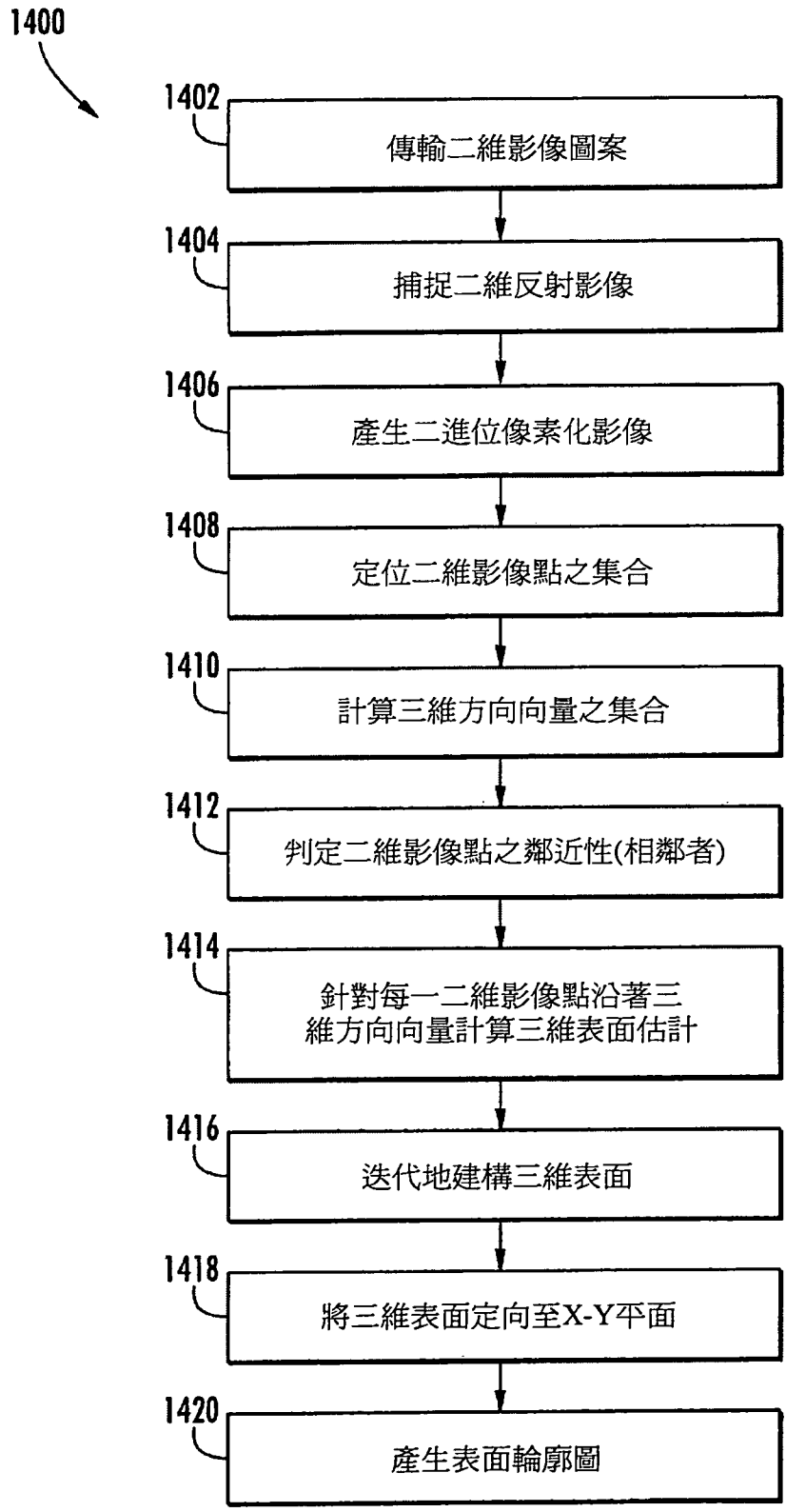


圖14

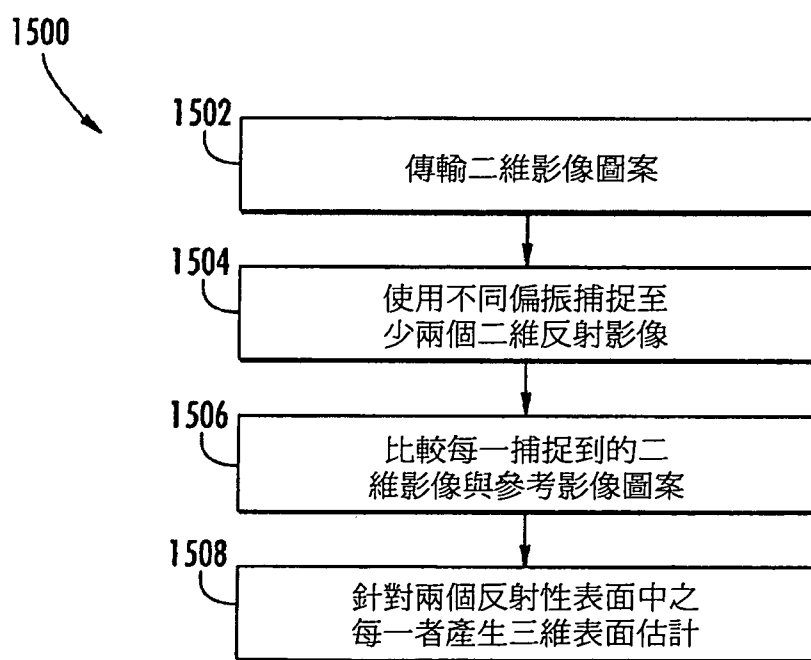


圖15

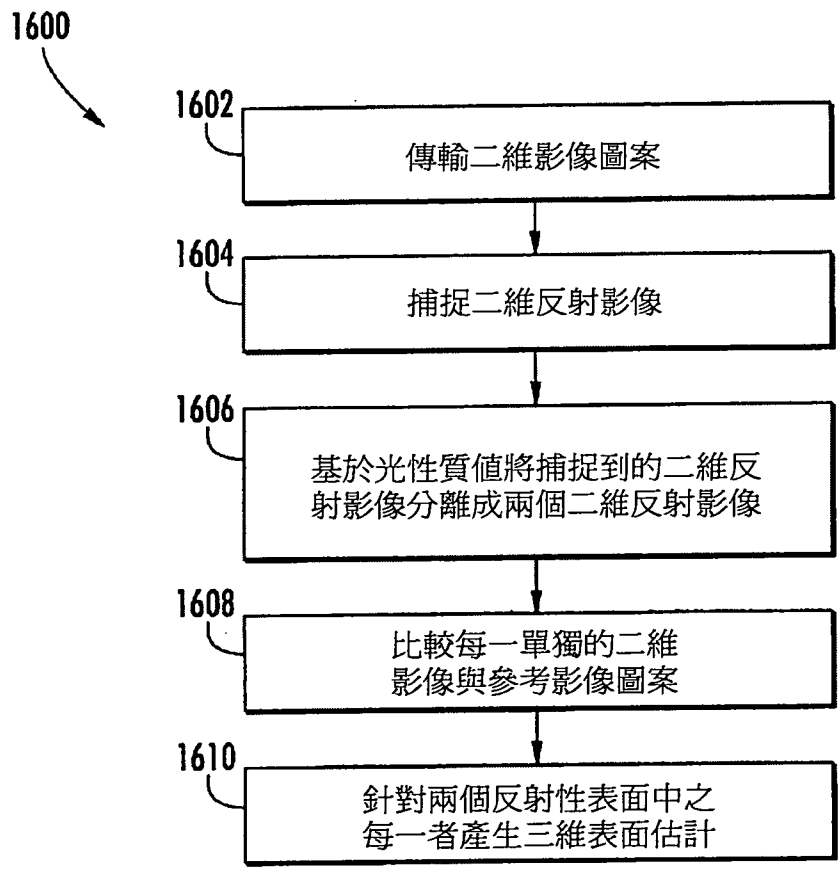


圖16