



(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 I814980 B

(45)公告日：中華民國 112 (2023) 年 09 月 11 日

(21)申請案號：109103159 (22)申請日：中華民國 109 (2020) 年 02 月 03 日

(51)Int. Cl. : **G01B11/06 (2006.01)** **G06F17/10 (2006.01)**
G06T7/60 (2017.01) **H01L21/66 (2006.01)**

(30)優先權：2019/02/07 美國 62/802,662
2019/05/16 美國 16/414,709

(71)申請人：美商應用材料股份有限公司(美國) APPLIED MATERIALS, INC. (US)
美國

(72)發明人：莫塔米迪 諾楊 MOTAMEDI, NOJAN (IR)；班維紐 多明尼克 J BENVEGNU,
DOMINIC J. (US)；史威克 柏格斯勞 A SWEDEK, BOGUSLAW A. (PL)；喬瑟佛
為卡茲 馬汀 A JOSEFOWICZ, MARTIN A. (US)

(74)代理人：李世章；彭國洋

(56)參考文獻：
TW 201522904A US 2016/0314577A1
US 2018/0061032A1

審查人員：莊嘉紘

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：9 共 51 頁

(54)名稱

使用色彩度量術進行的基板的厚度測量

(57)摘要

一種層厚度量測系統包括用以固持基板之支撐件、用以俘獲基板之至少一部分之色彩影像的光學感測器，及控制器。控制器經配置以自光學感測器接收色彩影像；儲存函數，該函數根據至少兩個維度之座標空間中沿預定路徑之位置來提供代表厚度之值，該至少兩個維度包括第一色彩通道及第二色彩通道；針對色彩影像之像素，自色彩影像中之色彩資料來決定像素在座標空間中之座標；決定在預定路徑上最靠近該座標之點的位置；以及自函數以及預定路徑上之該點的位置來計算代表厚度之值。

A layer thickness measurement system includes a support to hold a substrate, an optical sensor to capture a color image of at least a portion of the substrate, and a controller. The controller is configured to receive the color image from the optical sensor, store a function that provides a value representative of a thickness as a function of position along a predetermined path in a coordinate space of at least two dimensions including a first color channel and a second color channel, for a pixel of the color image determine a coordinate of the pixel in the coordinate space from color data in the color image, determine a position of a point on the predetermined path that is closest to the coordinate, and calculate a value representative of a thickness from the function and the position of the point on the predetermined path.

指定代表圖：

符號簡單說明：

200:步驟

210:步驟

220:步驟

230:步驟

235:步驟

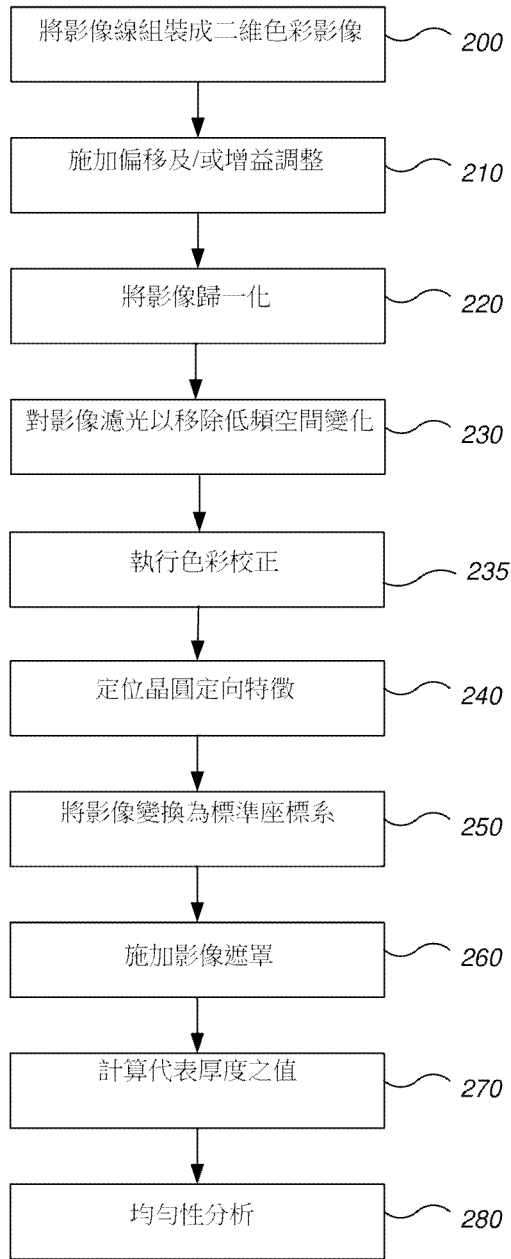
240:步驟

250:步驟

260:步驟

270:步驟

280:步驟



第2圖



I814980

【發明摘要】

【中文發明名稱】使用色彩度量術進行的基板的厚度測量

【英文發明名稱】 THICKNESS MEASUREMENT OF SUBSTRATE USING
COLOR METROLOGY

【中文】

一種層厚度量測系統包括用以固持基板之支撐件、用以俘獲基板之至少一部分之色彩影像的光學感測器，及控制器。控制器經配置以自光學感測器接收色彩影像；儲存函數，該函數根據至少兩個維度之座標空間中沿預定路徑之位置來提供代表厚度之值，該至少兩個維度包括第一色彩通道及第二色彩通道；針對色彩影像之像素，自色彩影像中之色彩資料來決定像素在座標空間中之座標；決定在預定路徑上最靠近該座標之點的位置；以及自函數以及預定路徑上之該點的位置來計算代表厚度之值。

【英文】

A layer thickness measurement system includes a support to hold a substrate, an optical sensor to capture a color image of at least a portion of the substrate, and a controller. The controller is configured to receive the color image from the optical sensor, store a function that provides a value representative of a thickness as a function of position along a predetermined path in a coordinate space of at least two dimensions including a first color channel and a second color channel, for a pixel of the color image determine a coordinate of the pixel in the coordinate space from color data in the color image, determine a position of a point on the predetermined path that is closest to the

coordinate, and calculate a value representative of a thickness from the function and the position of the point on the predetermined path.

【指定代表圖】第(2)圖。

【代表圖之符號簡單說明】

2 0 0 : 步 驟

2 1 0 : 步 驟

2 2 0 : 步 驟

2 3 0 : 步 驟

2 3 5 : 步 驟

2 4 0 : 步 驟

2 5 0 : 步 驟

2 6 0 : 步 驟

2 7 0 : 步 驟

2 8 0 : 步 驟

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】 使用色彩度量術進行的基板的厚度測量

【英文發明名稱】 THICKNESS MEASUREMENT OF SUBSTRATE USING
COLOR METROLOGY

【技術領域】

【0001】 本揭示案關於光學度量術，例如，用以偵測基板之上層的厚度。

【先前技術】

【0002】 通常藉由將導電層、半導體層或絕緣層按順序沉積在矽晶圓上而在基板上形成積體電路。一個製造步驟涉及在非平面的表面之上沉積填料層且使填料層平坦化。對於某些應用而言，平坦化填料層直至暴露了圖案化之層的頂表面為止。舉例而言，可在圖案化之絕緣層上沉積導電填料層以填充絕緣層中之溝槽及孔洞。在平坦化之後，剩餘在絕緣層之凸起圖案之間的金屬層之多個部分形成介層孔、插塞及接線，其提供基板上之薄膜電路之間的導電路徑。對於其他應用而言，在由其他層提供之下伏拓撲之上沉積填料層，且平坦化填充層直至保留了預定厚度為止。舉例而言，介電填料層可沉積在經圖案化之金屬層之上，且經圖案化以提供金屬區域之間的絕緣並提供平坦表面以用於進一步的光微影。

【0003】 化學機械研磨 (chemical mechanical polishing; CMP) 為一種公認的平坦化方法。此平坦化方法通常需要將基板安裝在載體或研磨頭上。通常將基板

之已暴露表面放置成抵靠旋轉研磨墊。承載頭在基板上提供可控負載以將基板推向研磨墊。通常將磨蝕研磨漿料供應至研磨墊之表面。

【0004】 漿料分佈、研磨墊條件、研磨墊與基板之間的相對速度、基板上之負載的變化可能導致材料去除速率的變化。此些變化以及基板層之初始厚度的變化導致達到研磨端點所需時間的變化。因此，僅根據研磨時間來決定研磨端點可能導致基板之過度研磨或研磨不足。

【0005】 各種光學度量術系統（例如，光譜儀或橢圓儀）可用以（例如）在內嵌的或單獨的度量站處量測基板層在研磨前及研磨後之厚度。另外，可使用各種原位監控技術（諸如，單色光學或渦流監控）來偵測研磨端點。

【發明內容】

【0006】 在一個態樣中，一種用於獲得代表基板上之層的厚度之量測值的系統包括用以固持用於積體電路製造之基板的支撐件、用以俘獲由支撐件固持之基板之至少一部分的色彩影像之光學感測器，以及控制器。控制器經配置以自光學感測器接收色彩影像；對色彩影像執行色彩校正，以產生具有增大的色彩對比度之經調整色彩影像；儲存一函數，該函數根據至少兩個維度之座標空間中沿預定路徑之位置來提供代表厚度之值，該至少兩個維度包括第一色彩通道及第二色彩通道；針對經調整色彩影像之像素，自經調整色彩影像中針對該像素之色彩資料來決定該像素在座標空間中之座標；決定在預定路徑上最靠近該像素座標之

點的位置；以及自函數以及預定路徑上之該點的位置來計算代表厚度之值。

【0007】 在其他態樣中，一種電腦程式包括用於使處理器執行控制器之操作的指令，且一種研磨方法包括鑒於色彩照相機來定位用於積體電路製造之基板，自色彩照相機產生基板之色彩影像，以及執行操作。

【0008】 此些態樣中之任一者的實施可包括以下特徵中之一或更多者。

【0009】 控制器可使用預定色彩校正矩陣來執行色彩校正。由光學感測器產生之色彩影像可為N個色彩通道。可計算經調整色彩影像之像素的經校正強度值 I_{C1}, \dots, I_{CN} ，該等經校正強度值滿足

$$\begin{bmatrix} I_{C1} \\ \vdots \\ I_{CN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{N1} & \dots & a_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{O1} \\ \vdots \\ I_{ON} \end{bmatrix},$$

其中 I_{O1}, \dots, I_{ON} 為色彩影像之該像素的原始強度值，且 a_{11}, \dots, a_{NN} 為該色彩校正矩陣之值。

【0010】 可將偏移及/或增益及/或伽馬校正施加至來自光學感測器之原始影像資料，以產生色彩影像。可將該色彩影像歸一化。可在針對色彩影像執行色彩校正之前將色彩影像歸一化。可對色彩影像濾光以去除低頻空間變化。

【0011】 可在針對色彩影像執行色彩校正之前對影像濾光。光學感測器可包括用以獲得沿第一軸線之複數個像素的線掃描照相機，以及致動器，該致動器用以使光學感測器相對於支撐件移動，以使得成像區域沿垂直於第一軸線

之第二軸線移動。色彩影像可包括複數個像素列，每一像素列對應於光學感測器沿第二軸線的感測器元件，該複數個像素列對應於光學感測器沿第一軸線之運動。可對色彩影像濾光以便僅沿第一軸線去除空間變化。對於每一像素列，濾光可包括對該像素列之亮度值取平均以提供該列之平均亮度值，以及將該像素列中之像素的強度值除以該列之平均亮度值。

【0012】 第一色彩通道及第二色彩通道選自包括色調、飽和度、亮度、X、Y、Z、紅色色度、綠色色度及藍色色度的色彩通道之群。

【0013】 光學感測器可定位在半導體製造工具之內嵌度量站中。半導體製造工具可包括化學機械研磨器。該工具可包括機器人以將基板傳送至內嵌度量站中。控制器可經配置以在藉由化學機械研磨器研磨基板之表面之前或之後使基板被量測。機器人可提供支撐件。光學感測器可經配置而在量測期間固定，且機器人使基板移動從而使得光學感測器在基板上進行掃描。

【0014】 可使用色彩照相機產生參考基板之參考色彩影像，且可自該參考色彩影像計算色彩校正矩陣。計算色彩校正矩陣可包括基於參考色彩影像來決定座標空間中之直方圖。

【0015】 在另一個態樣中，一種用於獲得代表基板上之層的厚度之量測值的系統包括：支撐件，該支撐件用以固持用於積體電路製造之基板；光學總成，該光學總成用以藉由

光以第一入射角照射基板來俘獲基板之由支撐件固持的至少一部分之第一色彩影像，及藉由光以不同的第二入射角照射基板來俘獲基板之由支撐件固持的該至少一部分之第二色彩影像；以及控制器。控制器經配置以自光學總成接收第一色彩影像及第二色彩影像；儲存函數，該函數根據在至少四個維度之座標空間中沿預定路徑的位置來提供代表厚度之值，該至少四個維度包括來自於第一色彩影像之第一色彩通道及第二色彩通道以及來自第二色彩影像之第三色彩通道及第四色彩通道；針對第一色彩影像之像素以及第二色彩影像中之對應像素，自第一色彩影像中針對該像素之色彩資料以及第二色彩影像中針對該對應像素之色彩資料來決定在座標空間中之座標；決定在預定路徑上最靠近該座標之點的位置；以及自該函數以及預定路徑上之該點的該位置來計算代表厚度之值。

【0016】 在其他態樣中，一種電腦程式包括用於使處理器執行控制器之操作的指令，且一種研磨方法包括鑒於色彩照相機來定位用於積體電路製造之基板，自色彩照相機產生基板之色彩影像，以及執行操作。

【0017】 該等態樣中之任一者的實施可包括以下特徵中之一或更多者。

【0018】 座標空間可為四維的，或座標空間可為六維的。第一色彩通道及第二色彩通道可選自包括第一色彩影像之色調、飽和度、亮度、X、Y、Z、紅色色度、綠色色度及藍色色度的色彩通道之群。第三色彩通道及第四色彩通道可

選自包括第二色彩影像之色調、飽和度、亮度、X、Y、Z、紅色色度、綠色色度及藍色色度的色彩通道之群。第一色彩通道及第三色彩通道可為紅色色度，且第二色彩通道及第四色彩通道可為綠色色度。

【0019】 第一入射角及第二入射角可均在約 20° 至 85° 之間。第一入射角可比第二入射角大至少 5° ，例如，大至少 10° 。

【0020】 在另一態樣中，一種研磨系統包括研磨站，該研磨站包括用以支撐研磨墊之平臺；用以固持基板之支撐件；內嵌度量站，該內嵌度量站用以在研磨站中研磨基板之表面之前及之後量測該基板；以及控制器。該內嵌度量站包括一或更多個細長的白光源，其各自具有縱向軸線並經配置而以非零入射角將光導向基板，從而在基板上形成照明區域，該照明區域在基板之掃描期間沿第一軸線延伸；具有偵測器元件之第一色彩線掃描照相機，該等偵測器元件經佈置以接收以第一入射角照射基板之自基板反射的光，並形成在基板之掃描期間沿第一軸線延伸的影像部分；具有偵測器元件之第二色彩線掃描照相機，該等偵測器元件經佈置以接收以不同的第二入射角照射基板之自基板反射的光，並形成在基板之掃描期間沿第一軸線延伸的第二影像部分；支撐一或更多個光源、第一色彩線掃描照相機及第二色彩線掃描照相機之框；以及馬達，該馬達導致框與支撐件之間沿垂直該第一軸線之第二軸線的相對運動，從而導致一或更多個光源、第一色彩線掃描照相機及第二色

彩線掃描照相機在基板上進行掃描。控制器經配置以自第一色彩線掃描照相機及第二色彩線掃描照相機接收色彩資料，自來自於第一色彩線掃描照相機之色彩資料產生第一二維色彩影像及自來自於第二色彩線掃描照相機之色彩資料產生第二二維色彩影像，以及基於第一二維色彩影像及第二二維色彩影像控制在研磨站處之研磨。

【0021】 在其他態樣中，一種電腦程式包括用於使處理器執行控制器之操作的指令，且一種研磨方法包括鑒於色彩照相機來定位用於積體電路製造之基板，自色彩照相機產生基板之色彩影像，以及執行操作。

【0022】 該等態樣中之任一者的實施可包括以下特徵中之一或更多者。

【0023】 一或更多個漫射器可定位在一或更多個細長白光源與基板之間的光路徑上。

【0024】 第一入射角及第二入射角可均在約 5° 至 85° 之間，例如，均在約 20° 至 75° 之間。第一入射角可比第二入射角大至少 5° ，例如，大至少 10° 。第一色彩線掃描照相機及第二線掃描照相機可經配置以使基板上之重合區域成像。一或更多個細長光源可包括用以產生以第一入射角照射基板之光的第一細長光源，及用以產生以第二入射角照射基板之光的第二細長光源。來自第一光源之光及來自第二光源之光可照射基板上之重疊區域，例如，重合區域。

【0025】 框可為固定的，且馬達可耦接至支撐件，且控制器可經配置以導致馬達使支撐件移動，而同時一或更多個細

長光源及第一色彩線掃描照相機及第二色彩線掃描照相機保持固定以便在基板上進行掃描。

【0026】 實施可包括以下潛在優勢中之一或更多者。可提高厚度量測之準確度。此資訊可用在用以控制研磨參數之前饋或反饋中，從而提供改良的厚度均勻性。用以決定變化之演算法可能簡單且具有低的計算負荷。

【0027】 在隨附圖式及以下描述中闡述一或更多個實施之細節。其他態樣、特徵及優勢將自描述及圖式以及自申請專利範圍顯而易見。

【圖式簡單說明】

【0028】 第 1 A 圖圖示內嵌光學量測系統之實例的示意圖。

【0029】 第 1 B 圖圖示原位光學量測系統之實例的示意圖。

【0030】 第 1 C 圖圖示量測系統之一部分之實例的示意圖。

【0031】 第 2 圖為決定層厚度之方法的流程圖。

【0032】 第 3 圖為基板之示意性俯視圖。

【0033】 第 4 圖為遮罩之示意圖。

【0034】 第 5 圖圖示實例曲線圖，該曲線圖示出在兩個色彩通道之座標空間中自基板反射之光的色彩演變。

【0035】 第 6 圖圖示實例曲線圖，該曲線圖示出在兩個色彩通道之座標空間中的預定路徑。

【0036】 第 7 圖為由色彩影像資料來決定層厚度之方法的流程圖。

【0037】 第 8 圖圖示實例曲線圖，該曲線圖示出自測試基板之色彩影像導出的兩個色彩通道之座標空間中的直方圖。

【0038】 第9A圖及第9B圖圖示實例曲線圖，該等曲線圖分別示出在色彩校正之前及之後兩個色彩通道之座標空間中的直方圖。

【0039】 在各種圖式中相同元件符號指示相同元件。

【實施方式】

【0040】 可在研磨之前或之後（例如，在內嵌的或獨立的度量站處）或在研磨期間（例如，藉由原位監控系統）以光學方式量測基板上之層的厚度。然而，一些光學技術（諸如，光譜測定法）需要昂貴的光譜儀及對光譜資料之計算繁重的操縱。即使除了計算負荷以外，在某些情況下，演算法結果還是無法滿足使用者不斷增長之準確度要求。

【0041】 一種量測技術為獲取基板之色彩影像，並在色彩空間中分析該影像以決定層之厚度。特定而言，二維色彩空間中沿路徑的位置可提供關於研磨之當前狀態的資訊，例如，去除量或剩餘材料的量。然而，在一些情況下，可能難以解析出影像中之色彩之間的差別。藉由對影像執行色彩校正，可增大色彩對比度。因此，可增強厚度解析度，且可提高厚度量測之可靠性及準確度。

【0042】 另一個問題是二維色彩空間中之路徑可能具有簡併性。藉由增加色彩空間之維數，可降低簡併的可能性。一種技術為使用一種類型之照相機（例如，高光譜照相機），其產生具有四個或更多個（例如，六至二十個）色彩通道之影像。另一技術為使用多個照相機，但以不同入

射角使用（由於以不同入射角穿過薄膜層之光線路徑的長度不同，會產生不同的侵害並因而產生不同的色彩）。

【0043】 參考第1圖，研磨設備100包括內嵌（亦稱作序列中）光學度量系統160，例如，色彩成像系統。

【0044】 研磨設備100包括一或更多個承載頭126（其中每一者經配置以承載基板10）、一或更多個研磨站106，及傳送站，該傳送站用以將基板裝載至承載頭及自承載頭卸載基板。每一研磨站106包括被支撐在平臺120上之研磨墊130。研磨墊130可為具有外研磨層及較軟背托層之兩層研磨墊。

【0045】 承載頭126可自支撐件128懸垂，且可在研磨站之間移動。在一些實施中，支撐件128為架空軌道，且承載頭126耦接至托架108，該托架108安裝至該軌道。架空軌道128允許將每一托架108選擇性地定位在研磨站106及傳送站之上方。或者，在一些實施中，支撐件128為可旋轉轉盤，且轉盤之旋轉使承載頭126同時沿圓形路徑移動。

【0046】 研磨設備100之每一研磨站106可包括埠（例如，在臂134之末端處），以將研磨液體136（諸如，磨蝕漿料）施配至研磨墊130上。研磨設備100之每一研磨站106亦可包括襯墊調節設備，以刮擦研磨墊130以便將研磨墊130維持在一致的磨蝕狀態。

【0047】 每一承載頭126可操作以將基板10固持成抵靠研磨墊130。每一承載頭126可具有對與每一相應基板相關聯之研磨參數（例如，壓力）的獨立控制。特定而言，每一

承載頭 1 2 6 可包括固定環 1 4 2，以將基板 1 0 固定在可撓性膜狀物 1 4 4 下方。每一承載頭 1 2 6 亦包括由膜狀物限定之複數個可獨立控制可加壓腔室（例如，三個腔室 1 4 6 a 至 1 4 6 c），該等腔室可將可獨立控制之加壓施加至可撓性膜狀物 1 4 4 上之相關聯區並因而施加至基板 1 0 上。儘管為了易於說明而僅在第 1 圖中圖示了三個腔室，但可能存在一個或兩個腔室，或四個或更多個腔室，例如，五個腔室。

【0048】 每一承載頭 1 2 6 自支撐件 1 2 8 懸垂，且藉由驅動軸 1 5 4 連接至承載頭旋轉馬達 1 5 6，以使得承載頭可圍繞軸線 1 2 7 旋轉。視情況，每一承載頭 1 2 6 可橫向地振蕩，例如，藉由驅動軌道 1 2 8 上之托架 1 0 8，或藉由轉盤自身之可旋轉振蕩。在操作中，平臺圍繞其中心軸線 1 2 7 旋轉，且每一承載頭圍繞其中心軸線 1 2 7 旋轉且在研磨墊之頂表面上橫向地平移。橫向掃動是在平行於研磨表面 2 1 2 之方向上。橫向掃動可為直線的或弧形的運動。

【0049】 控制器 1 9 0（諸如，可程式化電腦）連接至每一監控器，以獨立地控制平臺 1 2 0 及承載頭 1 2 6 之旋轉速率。舉例而言，每一馬達可包括編碼器，該編碼器量測相關聯驅動軸之角位置或旋轉速率。類似地，控制器 1 9 0 連接至每一托架 1 0 8 中之致動器及 / 或轉盤之旋轉馬達，以獨立地控制每一承載頭 1 2 6 之橫向運動。舉例而言，每一致動器可包括直線編碼器，該直線編碼器量測托架 1 0 8 沿軌道 1 2 8 之位置。

【0050】 控制器 190 可包括中央處理單元 (central processing unit; CPU)、記憶體，及支援電路，例如，輸入/輸出電路系統、電源供應器、時鐘電路、快取記憶體及其類似者。記憶體連接至 CPU。記憶體為非暫時性電腦可讀媒體，且可為一或更多種易獲取的記憶體，諸如，隨機存取記憶體 (random access memory; RAM)、唯讀記憶體 (read only memory; ROM)、軟碟、硬碟，或其他形式之數位儲存器。另外，儘管被圖示成單個電腦，但控制器 190 可為分散式系統，例如，包括多個獨立操作之處理器及記憶體。

【0051】 內嵌光學度量系統 160 定位於研磨設備 100 內，但不在研磨操作期間執行量測；而量測是在研磨操作之間（例如，在基板自一個研磨站移動至另一研磨站或自一個傳送站移動至另一傳送站的同時）收集的。

【0052】 內嵌光學度量系統 160 包括感測器總成 161，該感測器總成 161 被支撐在研磨站 106 中之兩者之間的一位置處（例如，在兩個平臺 120 之間）。特定而言，感測器總成 161 位於一位置處，以使得受支撐件 128 支撐之承載頭 126 可將基板 10 定位在感測器總成 161 之上方。

【0053】 在其中研磨設備 100 包括三個研磨站且按順序將基板自第一研磨站載運至第二研磨站、至第三研磨站之實施中，一或更多個感測器總成 161 可定位在傳送站與第一研磨站之間、在第一及第二研磨站之間、在第二及第三研磨站之間，及/或在第三研磨站與傳送站之間。

【0054】 感測器總成161可包括光源162、光偵測器164，以及用於在控制器190與光源162及光偵測器164之間發送及接收訊號的電路系統166。

【0055】 光源162可操作以發射白光。在一個實施中，所發射之白光包括具有200至800奈米之波長的光。適當光源為白光發光二極體(white-light light emitting diode; LED)之陣列，或氙氣燈或氙氣汞燈。光源162經定向以非零入射角 α 將光168導向至基板10之已暴露表面上。入射角 α 可為(例如)約30°至75°，例如，為50°。

【0056】 光源可照明橫跨基板10之寬度的大體上呈直線之細長區域。光源162可包括光學元件(例如，擴束器)，以使來自光源之光散佈至細長區域中。或者或另外，光源162可包括光源之直線陣列。光源162自身以及基板上被照明之區域可為細長的，且具有平行於基板表面之縱向軸線。

【0057】 來自光源162之光168可為部分準直的。

【0058】 可將漫射器170放置在光168之路徑上，或光源162可包括漫射器，以便在光到達基板10之前將光擴散。

【0059】 偵測器164可為對來自光源162之光敏感的色彩照相機。偵測器164包括用於每一色彩通道之偵測元件178的陣列。舉例而言，偵測器164可包括用於每一色彩通道之CCD陣列。在一些實施中，該陣列為偵測器元件178之單列。舉例而言，照相機可為線掃描照相機。偵測器元件之列可平行於光源162所照明之細長區域的縱向軸線或垂直於基板上之已照明區域的運動方向延伸(第1A圖示意性

地圖示元件178，但該等元件178可佈置成一排延伸至圖式之平面以外)。在一些實施中，偵測器為基於稜鏡之色彩照相機。偵測器164內部之稜鏡將光束168分成三個單獨光束，其中每一者被發送至單獨的偵測器元件陣列。

【0060】 在光源162包括發光元件之列的情況下，偵測器元件之列可沿平行於光源162之縱向軸線的第一軸線延伸。偵測器元件之列可包括1024個或更多個元件。

【0061】 決定偵測器元件之列的平行或垂直定位應慮及光束的反射，例如，藉由折疊鏡或自稜鏡面反射。

【0062】 偵測器164配置有合適的聚焦光學元件172，以將基板之視場投影至偵測器元件178之陣列上。視場可足夠長，以觀看基板10之整個寬度，例如，150 mm至300 mm長。感測器總成161（包括偵測器164及相關聯之光學元件172）可經配置以使得個別像素對應於具有等於或小於約0.5 mm之長度的區域。舉例而言，假設視場為約200 mm長且偵測器164包括1024個元件，則線掃描照相機所產生之影像可具有長度為約0.5 mm之像素。為了決定影像之長度解析度，視場(field of view; FOV)的長度可除以FOV成像至其上之像素的數目，以獲得長度解析度。

【0063】 偵測器164亦可經配置以使得像素寬度與像素長度相當。舉例而言，線掃描照相機之優勢為其非常快的圖框率。圖框率可為至少5 kHz。可將圖框率設定為一定的頻率，以使得當成像區域在基板10上掃描時，像素寬度與

像素長度相當，例如，等於或小於約0.3 mm。舉例而言，像素寬度及長度可為約0.1 mm至0.2 mm。

【0064】 光源162及光偵測器164可被支撐在臺180上。在光偵測器164為線掃描照相機的情況下，光源162及照相機164可相對於基板10移動，以使得成像區域可在整個基板長度上掃描。特定而言，相對運動可在平行於基板10之表面且垂直於線掃描照相機164之偵測器元件之列的方向上。

【0065】 在一些實施中，臺180為固定的，且承載頭126(例如)藉由托架108之運動或藉由轉盤之旋轉振蕩而移動。在一些實施中，臺180可移動，而承載頭126保持固定以用於影像獲取。舉例而言，臺180可藉由直線致動器182沿軌道184移動。在任一情形下，此准許當被掃描區域在基板10上移動時，光源162及照相機164相對於彼此停留在固定位置處。

【0066】 另外，基板可由機器人固持並移動經過固定光學總成161。舉例而言，在盒式介面單元或其他要素介面單元的情形下，基板可由機器人固持，該機器人用以將基板傳送至盒或自盒傳送基板(而不是支撐在單獨的臺上)。光偵測器可為盒式介面單元中之固定元件(例如，線掃描照相機)，且機器人可使基板移動經過光偵測器以掃描基板，從而產生影像。

【0067】 具有一起在基板上移動之線掃描照相機及光源的可能優勢在於(例如，如與習知2D照相機相比較而言)，

對於在晶圓上之不同位置，光源與照相機之間的相對角度保持恆定。因此，可減少或消除由視角之變化所引起的假影。另外，線掃描照相機可消除透視失真，而習知 2D 照相機表現出固有的透視失真，繼而需要藉由影像變換來校正該透視失真。

【0068】 感測器總成 161 可包括用以調整基板 10 與光源 162 及偵測器 164 之間的垂直距離之機構。舉例而言，感測器總成 161 可為用以調整臺 180 之垂直位置的致動器。

【0069】 視情況，偏光濾光片 174 可定位在光的路徑上，例如，在基板 10 與偵測器 164 之間。偏光濾光片 174 可為圓形偏光片 (circular polarizer; CPL)。典型 CPL 為直線偏光片與四分之一波板的組合。偏光濾光片 174 之偏光軸的恰當定向可減少影像中之霧度並銳化或增強期望的視覺特徵。

【0070】 可在偵測器 164 附近放置一或更多個擋板 188，以防止雜散光或環境光到達偵測器 164（參見第 1C 圖）。舉例而言，擋板可大體平行於光束 168 且在光束進入偵測器 164 之區域周圍延伸。另外，偵測器 164 可具有窄的允許角，例如， 1° 至 10° 。此些機構可藉由減少雜散光或環境光的影響而提高影像品質。

【0071】 假設基板上之最外層為半透明層（例如，介電層），則在偵測器 164 處偵測到之光的色彩取決於（例如）基板表面之成分、基板表面光滑度，及 / 或自基板上之一或更多個層（例如，介電層）的不同介面反射的光之間的干涉量。

【0072】 如上所述，光源 162 及光偵測器 164 可連接至計算裝置（例如，控制器 190），該計算裝置可操作以控制光源 162 及光偵測器 164 之操作並接收光源 162 及光偵測器 164 之訊號。

【0073】 內嵌光學度量系統 160 定位於研磨設備 100 內，但不在研磨操作期間執行量測；而量測是在研磨操作之間（例如，在基板自一個研磨站移動至另一研磨站或自一個傳送站移動至另一傳送站的同時）收集的。

【0074】 內嵌光學度量系統 160 包括感測器總成 161，該感測器總成 161 被支撐在研磨站 106 中之兩者之間的位置處（例如，在兩個平臺 120 之間）。特定而言，感測器總成 161 位於一位置處，以使得受支撐件 128 支撐之承載頭 126 可將基板 10 定位在感測器總成 161 之上方。

【0075】 參考第 1B 圖，研磨設備 100' 包括原位光學監控系統 160'，例如，色彩成像系統。原位光學監控系統 160' 與內嵌光學度量系統 160 構造類似，但感測器總成 161 之各種光學部件（例如，光源 162、光偵測器 164、漫射器 170、聚焦光學元件 172 及偏光濾光片 174）可定位在平臺 120 中之凹槽 122 中。當基板接觸研磨墊 130 並由研磨墊 130 研磨時，光束 168 可穿過窗口 132 以照射基板 10 之表面。平臺 120 之旋轉導致感測器總成 161（且因此導致光束 168）掃過基板 10。當感測器總成 161 掃動至基板 10 下方時，可自線影像之序列重構 2D 影像。臺 180 並非必需，因為感測器總成 161 之運動是由平臺 120 之旋轉提供的。

【0076】 參考第2圖，控制器將來自光偵測器164之個別影像線（無論是內嵌度量系統還是原位監控系統）組裝成二維色彩影像（步驟200）。作為色彩照相機，光偵測器164可包括用於紅色、藍色及綠色中之每一者的單獨偵測器元件。二維色彩影像可包括分別針對紅色、藍色及綠色色彩通道之單色影像204、206、208。

【0077】 控制器可將偏移及/或增益調整施加至每一色彩通道中之影像的強度值（步驟210）。每一色彩通道可具有不同的偏移及/或增益。

【0078】 為了設定增益，可藉由系統160、160'進行之量測使參考基板（例如，裸矽晶圓）成像。可接著設定針對每一色彩通道之增益，以使得參考基板在影像中呈現灰色。舉例而言，可設定增益以使得紅色、綠色及藍色通道可皆給出同一8位元值，例如， $RGB = (121, 121, 121)$ 或 $RGB = (87, 87, 87)$ 。可使用同一參考基板對多個系統執行增益校準。

【0079】 視情況，可將影像歸一化（步驟220）。舉例而言，可計算所量測影像與標準預定義影像之間的差別。舉例而言，控制器可為紅色、綠色及藍色色彩通道中之每一者儲存背景影像，且可自每一色彩通道之已量測影像中減去該背景影像。或者，可將已量測影像除以標準預定義影像。

【0080】 可對影像濾光以去除低頻空間變化（步驟230）。在一些實施中，影像自紅綠藍($red\ green\ blue; RGB$)色彩空間變換為色度飽和度亮度($hue\ saturation$

luminance; HSL) 色彩空間，在 HSL 色彩空間中應用濾光片，並接著將影像變換回紅綠藍 (RGB) 色彩空間。舉例而言，在 HSL 色彩空間中，可對亮度通道濾光以去除低頻空間變化，亦即，不對色調及飽和度通道進行濾光。在一些實施中，亮度通道用以產生濾光片，該濾光片接著被應用於紅色、綠色及藍色影像。

【0081】 在一些實施中，僅沿第一軸線執行平滑化。舉例而言，像素沿行進方向 186 之亮度值可一起進行平均，以提供平均亮度值，該平均亮度值僅為沿第一軸線之位置的函數。接著，影像像素之每一列可除以平均亮度值之對應部分，該平均亮度值為沿第一軸線之位置的函數。

【0082】 可執行色彩校正，以增大影像中之色彩對比度（步驟 235）。儘管被圖示成在步驟 230 之濾光之後，但色彩校正可在濾光之前執行，但在步驟 220 之歸一化之後。另外，可稍後執行色彩校正，例如，在厚度計算（在步驟 270 中）之前。

【0083】 可藉由將色彩空間中之值乘以色彩校正矩陣來執行色彩校正。這可表示為運算 $I_{CORR} = I_{ORIG} \times CCM$ ，其中 I_{ORIG} 為原始的未經校正之影像， CCM 為色彩校正矩陣，且 I_{CORR} 為經校正之影像。

【0084】 更正式言之，色彩校正可作為如下所表示之矩陣乘法來執行：

$$\begin{bmatrix} I_{C1} \\ I_{C2} \\ I_{C3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{O1} \\ I_{O2} \\ I_{O3} \end{bmatrix}$$

（方程式 1）

其中 I_{O1} 、 I_{O2} 及 I_{O3} 為來自色彩空間（例如，HSL 色彩空間、RGB 色彩空間，等等）之三個色彩通道的原始值， $a_{11} \dots a_{33}$ 為色彩校正矩陣之值，且 I_{C1} 、 I_{C2} 及 I_{C3} 為色彩空間中之三個色彩通道的經校正值。可使用伽馬函數而非具有恆定值之色彩校正矩陣。

【0085】 如第 9 A 圖及第 9 B 圖中所示，應用色彩校正導致直方圖之比例增大。此可能使得層厚度之決定更容易，因為在直方圖中區分不同點由於更大的分隔而變得更加容易。因此，可增強厚度解析度。

【0086】 可藉由製作具有多種預選色彩之參考基板的色彩影像而產生色彩校正矩陣。量測每一色彩通道之值，且接著計算用於將低對比度影像變換為較高對比度影像之最佳矩陣。

【0087】 控制器可使用影像處理技術來分析影像以在基板 10 上定位晶圓定向特徵 16（例如，晶圓凹口或晶圓片）（參見第 4 圖）（步驟 240）。影像處理技術亦可用以定位基板 10 之中心 18（參見第 4 圖）。

【0088】 基於此資料，將影像變換（例如，縮放及 / 或旋轉及 / 或平移）成標準影像座標系（步驟 250）。舉例而言，可平移影像以使得晶圓中心位元於影像之中心點處，及 / 或可縮放影像以使得基板之邊緣位於影像之邊緣，及 / 或可旋轉影像以使得在影像之 x 軸與連接晶圓中心與晶圓定向特徵的徑向區段之間存在 0° 角。

【0089】 視情況，可施加影像遮罩以篩選出影像資料之多個部分（步驟260）。舉例而言，參考第3圖，典型基板10包括多個晶粒12。劃線14可將晶粒12分離開。對於一些應用而言，可能有用的是僅處理對應於晶粒之影像資料。在此情形下，參考第4圖，影像遮罩可由控制器儲存，該控制器具有在空間位置上對應於晶粒12之未遮住區域22以及對應於劃線14之已遮罩區域24。對應於已遮罩區域24之影像資料在閾值化步驟期間未經處理或不使用。或者，已遮罩區域24可對應於晶粒以使得未遮住區域對應於劃線，或未遮住區域可僅為每一晶粒之一部分而每一晶粒之剩餘部分被遮罩，或未遮住區域可為（若干）特定晶粒而剩餘晶粒及劃線被遮罩，未遮住區域可僅為（若干）特定晶粒之一部分，而基板上之每一晶粒的剩餘部分被遮罩。在一些實施中，使用者可使用控制器190上之圖形使用者介面來定義遮罩。

【0090】 可使用此階段之色彩資料來計算代表厚度之值（步驟270）。此值可為厚度，或已去除材料的量，或指示研磨製程之進程量（例如，與參考研磨製程相比較而言）的值。可針對影像中之每一未遮住像素執行該計算。接著可在用以控制研磨參數之前饋或反饋演算法中使用此值，從而提供改良的厚度均勻性。舉例而言，可將每一像素之值與目標值進行比較以產生誤差信號影像，並且此誤差信號影像可用於前饋或反饋控制。

【0091】 將論述一些有助於理解值代表之計算的背景。對於來自色彩影像之任何給定像素而言，可自給定像素之色彩資料提取對應於兩個色彩通道之一對值。因此，每對值可定義第一色彩通道及不同的第二色彩通道之座標空間中的座標。可能的色彩通道包括色調、飽和度、亮度、X、Y、Z（例如，來自CIE 1931 XYZ色彩空間）、紅色色度、綠色色度及藍色色度。根據已知演算法，可根據來自其他通道之值的元組來計算此些色彩通道之此些值（例如，可自R、G及B來計算X、Y及Z）。

【0092】 參考第5圖，例如，當研磨開始時，值對（例如， V_{10} 、 V_{20} ）定義兩個色彩通道之座標空間500中的初始座標502。然而，因為反射光之光譜隨著研磨進行而改變，所以光的色彩組成改變，且兩個色彩通道中之值（ V_1 、 V_2 ）將改變。因此，隨著研磨進行，兩個色彩通道之座標空間內的座標位置將改變，從而在座標空間500中繪製出路徑504。

【0093】 參考第6圖及第7圖，為了計算代表厚度之值，儲存（例如，在控制器190之記憶體中）兩個色彩通道之座標空間500中的預定路徑604（步驟710）。該預定路徑是在基板之量測之前產生的。預定路徑604可自起點602行進至終點606。預定路徑604可表示整個研磨製程，其中起點602對應於基板上之層的開始厚度，且結束座標對應於該層之最終厚度。或者，該路徑可僅表示研磨製程之一部分，例如，在研磨終點處基板上之層厚度的預期分佈。

【0094】 在一些實施中，為了產生預定路徑 604，將已設置基板研磨至大致為將用於元件基板之目標厚度。使用光學度量系統 160 或光學監控系統 160' 來獲得已設置基板之色彩影像。因為基板上之研磨速率通常並不均勻，所以基板上之不同位置將具有不同厚度，且因而反射出不同色彩，且從而在第一色彩通道及第二色彩之座標空間內具有不同座標。

【0095】 參考第 8 圖，使用未遮住區域內所含之像素來計算二維 (2D) 直方圖。亦即，使用經色彩校正之色彩影像，使用來自經設置基板的未遮住部分之一些或全部像素的座標值，在第一色彩通道及第二色彩通道之座標空間中產生散點圖 800。散點圖中之每一點 802 為特定像素之針對兩個色彩通道之值對 (V1, V2)。散點圖 800 可顯示在控制器 190 或另一電腦之顯示器上。

【0096】 如上所述，可能的色彩通道包括色調、飽和度、亮度、X、Y、Z（例如，來自 CIE 1931 XYZ 色彩空間）、紅色色度、綠色色度及藍色色度。在一些實施中，第一色彩通道為紅色色度 (r) 且第二色彩通道為綠色色度 (g)，其可分別由 $r = \frac{R}{R+G+B}$ 及 $g = \frac{G}{R+G+B}$ 定義，其中 R、G 及 B 為色彩影像之紅色、綠色及藍色色彩通道的強度值。

【0097】 可由使用者（例如，半導體製造設施之操作者）使用圖形使用者介面結合電腦（例如，控制器 190）手動地產生厚度路徑 604。舉例而言，在顯示散點圖的同時，使

用者可手動構建遵循散點圖並覆蓋散點圖之路徑，例如，使用滑鼠操作以點選散點圖中之顯示的選定點。

【0098】 或者，可使用軟體自動產生厚度路徑 604，該軟體被設計成分析散點圖中之座標集合並（例如）使用拓撲骨架化來產生擬合散點圖 800 中之點的路徑。

【0099】 可藉由多種功能來提供厚度路徑 604，例如，使用單條線、多段線、一或更多個圓弧、一或更多個貝塞爾曲線，及其類似者。在一些實施中，藉由多段線來提供厚度路徑 604，該多段線為在座標空間中之離散點之間繪製的線段集合。

【0100】 返回第 6 圖，函數提供預定厚度路徑 604 上的位置與厚度值之間的關係。舉例而言，控制器 190 可儲存針對預定厚度路徑 604 之起點 602 的第一厚度值，及針對預定厚度路徑 604 之終點 606 的第二厚度值。

【0101】 可藉由使用習知厚度度量系統在對應於提供分別最靠近起點 602 及終點 606 的點 802 之像素的位置處量測基板層之厚度來獲得第一及第二厚度值。

【0102】 在操作中，控制器 190 可藉由基於自起點 602 至給定點 610 沿路徑 604 之距離在第一及第二值之間進行插值，來計算表示路徑 604 上之給定點 610 之厚度的值。舉例而言，若控制器可根據以下等式來計算給定點 610 之厚度 T：

$$T = T_1 + \frac{D}{L}(T_2 - T_1) ,$$

其中 T_1 為起點 602 之值， T_2 為終點 606 之厚度， L 為起點 602 與終點 606 之間沿該路徑之總距離，且 D 為起點 602 與給定點 610 之間沿該路徑之距離。

【0103】 作為另一實例，控制器 190 可儲存預定厚度路徑 604 上之每個頂點的厚度值，且基於兩個最近頂點之間的插值來計算表示該路徑上給定點之厚度的值。對於此配置而言，可藉由使用習知厚度度量系統在對應於提供最靠近頂點之的點 802 之像素的位置處量測基板層之厚度，來獲得頂點的各種值。

【0104】 使路徑上之位置與厚度相關之其他函數是可能的。

【0105】 另外，可基於光學模型進行計算而不是使用度量系統量測已設置基板之厚度，來獲得厚度值。

【0106】 若吾人基於已知的「已設置」晶圓使用理論模擬或經驗學習，則厚度值可為實際厚度值。或者，預定厚度路徑上給定點處之厚度值可為（例如）相對於基板之研磨程度的相對值。此後一個值可在下游製程中縮放以獲得經驗值，或可簡單地用於表示厚度之增加或減少而無需指定絕對厚度值。

【0107】 參考第 6 圖及第 7 圖，對於自基板之影像中分析的像素，自彼像素之色彩資料中提取兩個色彩通道之值（步驟 720）。此提供兩個色彩通道之座標系統 600 中的座標 620。

【0108】 接下來，計算在預定厚度路徑 604 上最靠近像素之座標 620 的點（例如，點 610）（步驟 730）。在此上下文

中，「最靠近」不一定指示幾何完美。可以各種方式定義「最靠近」點，且處理能力之局限性、為易於計算而選擇搜索函數、在搜索函數中存在多個局部最大值等等皆可阻止幾何理想的決定，但仍提供足以使用之結果。在一些實施中，將最靠近點定義成厚度路徑 604 上之定義了穿過像素的座標 620 之針對厚度路徑的法線向量的點。在一些實施中，藉由使歐幾里德距離最小化來計算最靠近點。

【0109】 接著，基於點 610 在路徑 604 上之位置自函數計算出表示厚度之值，如上所述（步驟 740）。最靠近點不一定為多段線之頂點中的一者。如上所述，在此情形下，使用插值來獲得厚度值（例如，基於多段線之最近頂點之間的簡單直線插值）。

【0110】 藉由針對彩色影像中之一些或全部像素重複步驟 720 至 740，可產生基板層之厚度圖。

【0111】 對於基板上之一些層堆疊而言，預定厚度路徑將自身交叉，此導致稱作簡併的情況。預定厚度路徑上之簡併點（例如，點 650）具有與其相關聯之兩個或更多個厚度值。因此，在無一些額外資訊的情況下，可能無法知曉哪一厚度值為正確值。然而，有可能分析與來自基板上給定物理區域（例如，在給定晶粒內）之像素相關聯的座標群集的性質，並使用此額外資訊來解決簡併。舉例而言，可假設基板之給定小區域內的量測值不會明顯變化，且因此將沿散佈圖佔據較小部分，亦即，不會沿兩個分支延伸。

【0112】 如此，控制器可分析與來自基板上之給定物理區域的像素相關聯之座標群集，該給定物理區域圍繞需要解決簡併之像素。特定而言，控制器可決定群集在座標空間中之主軸。可選擇預定厚度路徑之最接近地平行於群集之主軸的分支，並將其用以計算表示厚度之值。

【0113】 返回第2圖，視情況，可對基板之每一區域（例如，每一晶粒）或對整個影像執行均勻性分析（步驟280）。舉例而言，可將每個像素之值與目標值進行比較，且可針對晶粒計算晶粒內「失效」像素（亦即，不符合目標值）之總數目。可將此總數與閾值進行比較，以決定該晶粒是否為可接受的，例如，若總數小於閾值，則將該晶粒標記為可接受的。此給出了每一晶粒之通過/失效指示。

【0114】 作為另一實例，可計算在基板之未遮住區域內的「失效」像素之總數。可將此總數與閾值進行比較，以決定該基板是否為可接受的，例如，若總數小於閾值，則將該基板標記為可接受的。閾值可由使用者設定。此給出了基板之通過/失效指示。

【0115】 在晶粒或晶圓被決定為「失效」的情況下，控制器190可產生警報或使研磨系統100採取校正動作。舉例而言，可產生聲音或視覺警報，或可產生指示特定晶粒不可用之資料檔案。作為另一實例，可將基板送回進行返工。

【0116】 與通常由1024個或更多個強度值表示像素之光譜處理相反，在色彩影像中，可僅藉由三個強度值（紅、綠

及藍)表示像素，且僅需要兩個色彩通道來進行計算。因此，處理色彩影像之計算負荷明顯降低。

【0117】 然而，在一些實施中，光偵測器 164 為光譜儀而不是色彩照相機。舉例而言，光偵測器可包括高光譜照相機。此光譜照相機可為每一像素產生 30 至 200 個(例如，100 個)不同波長之強度值。接著，不是如上所述之二維色彩空間中的值對，而是將該技術(步驟 210 至 270)應用於具有帶有 N 個色彩通道之 N 維色彩空間的影像，其中 N 明顯大於 2，例如，10 至 1000 個維度。舉例而言，厚度路徑 604 可為 N 維色彩空間中之路徑。

【0118】 在一些實施中，在後續步驟中不會減少色彩空間之維數及色彩通道之數目；每一維度對應於藉由高光譜照相機量測強度值之波長。在一些實施中，色彩空間之維數及通道之數目減少了(例如)10 至 100 倍，例如，減少至 10 至 100 個維度及通道。可藉由僅選擇某些通道(例如，某些波長)或藉由組合通道(例如，組合(諸如，取平均)為多個波長量測之強度值)來減少通道數目。大體而言，較大的通道數目減少了路徑中簡併之可能性，但具有較大的電腦處理成本。可憑經驗決定合適的通道數目。

【0119】 用以增大色彩影像之維數的另一技術為使用具有不同入射角之多個光束。除了如下所述內容以外，此實施例可類似於第 1A 圖及第 1B 圖進行配置。參考第 1C 圖，(內嵌度量系統 160 或原位監控系統 160' 之)感測器總成 161 可包括多個光源，例如，兩個光源 162a、162b。每一光

源皆產生光束（例如，光束 168 a 及 168 b），該光束以不同入射角導向基板 10。光束 168 a 及 168 b 之入射角可至少間隔 5°，例如至少間隔 10°，例如至少間隔 20°。如第 1 C 圖中所示，光束 168 a、168 b 可照射基板 10 上之同一區域，例如，在基板 10 上重合。或者，光束可照射不同區域，例如，部分但不完全重疊之區域，或不重疊之區域。

【0120】 光束 168 a、168 b 自基板 10 反射，且分別藉由偵測器元件 178 a、178 b 之兩個不同陣列在多個像素處量測多個色彩之強度值。如第 1 C 圖中所示，偵測器元件 178 a、178 b 可由不同的光偵測器 164 a、164 b 提供。舉例而言，兩個偵測器 164 a、164 b 可各自為色彩線掃描照相機。然而，在一些實施中，存在具有二維陣列之單個光偵測器，且光束 168 a、168 b 照射偵測器之陣列的不同區域。舉例而言，偵測器可為 2 D 色彩照相機。

【0121】 使用具有不同入射角之兩個光束有效地使色彩影像之維數加倍。舉例而言，使用兩個光束 168 a、168 b（其中每一光偵測器 164 a、164 b 為色彩照相機），對於總共六個色彩通道而言，每一偵測器將藉由三個色彩通道（例如，分別為紅色、藍色及綠色色彩通道）輸出色彩影像。此提供了較大的通道數目並減少了路徑中簡併之可能性，但仍具有可管理之處理成本。

【0122】 儘管第 1 C 圖將每一光束 168 a、168 b 圖示為具有其自己的光學部件（例如，漫射器 170、聚焦光學元件 172 及偏光片 174），但亦有可能使該等束共享一些部件。舉

例而言，可在兩個光束 168a、168b 之路徑中放置單個漫射器 170 及 / 或單個偏光片 174。類似地，儘管示出多個光源 162a、162b，但來自單個光源之光可（例如，藉由部分反射鏡）分成多個束。

【0123】 可用通道之數目來縮放色彩校正。對於色彩校正步驟而言，不是 I_{ORIG} 為 1×3 矩陣且 CCM 為 3×3 矩陣，而是 I_{ORIG} 可為 $1 \times N$ 矩陣且 CCM 可為 $N \times N$ 矩陣。舉例而言，對於兩個光束以不同角度入射並由兩個色彩照相機量測之實施例而言， I_{ORIG} 可為 1×6 矩陣且 CCM 可為 6×6 矩陣。

【0124】 大體而言，可使用資料（諸如，基板上之層的已計算厚度）來控制 CMP 設備之一或更多個操作參數。操作參數包括（例如）平臺旋轉速度、基板旋轉速度、基板之研磨路徑、基板在板上之速度、施加在基板上之壓力、漿料成分、漿料流動速率，以及基板表面之溫度。可實時地控制操作參數，且可在不需要進一步人工幹預的情況下自動地調整該等操作參數。

【0125】 如在本說明書中所使用，術語基板可包括（例如）產品基板（例如，其包括多個記憶體或處理器晶粒）、測試基板、裸基板及閘控基板。基板可處於積體電路製造之各個階段，例如，基板可為裸晶圓，或它可包括一或更多個已沉積及 / 或經圖案化的層。術語基板可包括圓碟及矩形薄片。

【0126】 然而，以上所述之色彩影像處理技術在 3D 垂直 NAND (VNAND) 快閃記憶體之情形中可為尤其有用的。

特定而言，在VNAND製造中所使用之層堆疊如此複雜，以致於目前的度量方法（例如，Nova光譜分析）在偵測厚度不適當之區域時可能無法以足夠的可靠性執行。相反，色彩影像處理技術可具有出眾的處理量。

【0127】 本發明之實施例以及在本說明書中所描述之所有功能操作可在數位電子電路系統中實施，或在電腦軟體、韌體或硬體中（包括本說明書中所揭示之結構構件以及其結構等效物）實施，或在其組合中實施。可將本發明之實施例實施為一或更多個電腦程式產品，亦即，有形地體現在非暫時性電腦可讀儲存媒體中用於由資料處理設備（例如，可程式化處理器、電腦，或多個處理器或電腦）執行或用以控制該資料處理設備之操作的一或更多個電腦程式。

【0128】 相對定位的術語用以表示系統之部件相對於彼此之定位，而不一定是關於重力；應理解，可將研磨表面及基板固持在垂直定向或一些其他定向上。

【0129】 已描述了諸多實施。然而，將理解，可作出各種修改。舉例而言：

- 可使用使整個基板成像之照相機，而不是線掃描照相機。在此情形下，不需要照相機相對於基板之運動。
- 照相機可覆蓋小於基板之整個寬度。在此情形下，照相機需要在兩個垂直方向上進行運動（例如，被支撐在X-Y臺上），以便掃描整個基板。

- 光源可照明整個基板。在此情形下，光源不需要相對於基板移動。
- 儘管以上論述了在二維座標空間中由值對表示之座標，但該技術適用於具有由三個或更多個色彩通道定義之三個或更多個維度的座標空間。
- 感測器總成不需要定位在研磨站之間或研磨站與傳送站之間的內嵌系統。舉例而言，感測器總成可定位在傳送站內，定位在盒式介面單元中，或為獨立的系統。
- 均勻性分析步驟為可選的。舉例而言，可將藉由應用閾值變換而產生之影像饋入前饋過程中以調整對基板之後一處理步驟，或饋入反饋過程中以調整對後續基板之處理步驟。
- 對於原位量測而言，不構造影像，監控系統可簡單地偵測自基板上的光斑反射之白光束的色彩，並使用此色彩資料以使用上述技術來決定在彼光斑處之厚度。
- 儘管描述聚焦於研磨，但該等技術可應用於添加或去除層並可進行光學監控之其他種類的半導體製造製程，諸如，蝕刻（例如，濕式或乾式蝕刻）、沉積（例如，化學氣相沉積(chemical vapor deposition; CVD)、物理氣相沉積(physical vapor deposition; PVD)或原子層沉積(atomic layer deposition; ALD)）、旋塗介電質，或光阻劑塗層。

【0130】 因此，其他實施在申請專利範圍之範疇內。

【符號說明】

【0131】

10: 基板
12: 晶粒
14: 劃線
16: 晶圓定向特徵
18: 中心
22: 未遮住區域
24: 已遮罩區域
100: 研磨設備
100': 研磨設備
106: 研磨站
108: 托架
120: 平臺
122: 凹槽
126: 承載頭
127: 軸線
128: 支撐件
130: 研磨墊
132: 窗口
134: 臂
136: 研磨液體
142: 固定環
144: 可撓性膜狀物
146a: 腔室
146b: 腔室

- 1 4 6 c : 腔 室
- 1 5 4 : 驅 動 軸
- 1 5 6 : 承 載 頭 旋 轉 馬 達
- 1 6 0 : 光 學 度 量 系 統
- 1 6 0 ' : 原 位 光 學 監 控 系 統
- 1 6 1 : 感 測 器 總 成
- 1 6 2 : 光 源
- 1 6 2 a : 光 源
- 1 6 2 b : 光 源
- 1 6 4 : 光 偵 測 器
- 1 6 4 a : 偵 測 器
- 1 6 4 b : 偵 測 器
- 1 6 6 : 電 路 系 統
- 1 6 8 : 光
- 1 6 8 a : 光 束
- 1 6 8 b : 光 束
- 1 7 0 : 漫 射 器
- 1 7 2 : 聚 焦 光 學 元 件
- 1 7 4 : 偏 光 濾 光 片
- 1 7 8 : 偵 測 器 元 件
- 1 7 8 a : 偵 測 器 元 件
- 1 7 8 b : 偵 測 器 元 件
- 1 8 0 : 臺
- 1 8 2 : 直 線 致 動 器

184: 軌道
186: 行進方向
188: 擋板
190: 控制器
200: 步驟
210: 步驟
220: 步驟
230: 步驟
235: 步驟
240: 步驟
250: 步驟
260: 步驟
270: 步驟
280: 步驟
500: 座標空間
502: 初始座標
504: 路徑
602: 起點
604: 預定路徑
606: 終點
610: 給定點
620: 座標
650: 點
710: 步驟

720: 步驟

730: 步驟

740: 步驟

800: 散點圖

802: 點

【生物材料寄存】

國內寄存資訊(請依寄存機構、日期、號碼順序註記)

無

國外寄存資訊(請依寄存國家、機構、日期、號碼順序註記)

無

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種用於獲得代表一基板上之一層之一厚度之一量測值的系統，包括：

一支撐件，該支撐件用以固持用於積體電路製造之一基板；

一光學感測器，該光學感測器用以俘獲由該支撐件所固持之該基板之至少一部分之一色彩影像；以及

一控制器，該控制器經配置以

自該光學感測器接收該色彩影像，

對該色彩影像執行一色彩校正，以產生具有增大的色彩對比度之一經調整色彩影像，

儲存一函數，該函數根據至少兩個維度之一座標空間中沿一預定路徑之位置來提供代表一厚度之一值，該至少兩個維度包括一第一色彩通道及一第二色彩通道，

針對該經調整色彩影像之一像素，自該經調整色彩影像中針對該像素之色彩資料來決定該像素在該座標空間中之一座標，

決定在該預定路徑上最靠近該像素之該座標之一點的一位置，以及

自該函數以及該預定路徑上之該點的該位置來計算代表一厚度之一值。

【請求項2】 如請求項1所述之系統，其中該控制器經配置以使用一預定色彩校正矩陣來執行該色彩校正。

【請求項3】 如請求項2所述之系統，其中由該光學感測器產生之該色彩影像具有N個色彩通道。

【請求項4】 如請求項3所述之系統，其中該控制器經配置以計算該經調整色彩影像之一像素的經校正強度值 I_{C1}, \dots, I_{CN} ，該等經校正強度值滿足

$$\begin{bmatrix} I_{C1} \\ \vdots \\ I_{CN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{N1} & \dots & a_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{O1} \\ \vdots \\ I_{ON} \end{bmatrix}$$

其中 I_{O1}, \dots, I_{ON} 為該色彩影像之該像素的原始強度值，且 a_{11}, \dots, a_{NN} 為該色彩校正矩陣之值。

【請求項5】 如請求項1所述之系統，其中該控制器經配置以將一偏移及/或一增益及/或一伽馬校正施加至來自該光學感測器之原始影像資料，以產生該色彩影像。

【請求項6】 如請求項1所述之系統，其中該控制器經配置以將該色彩影像歸一化。

【請求項7】 如請求項1所述之系統，其中該控制器經配置以對該色彩影像濾光以便去除低頻空間變化。

【請求項8】 如請求項7所述之系統，其中該光學感測器包括一線掃描照相機以獲得沿一第一軸線之複數個像素，且包括一致動器以使該光學感測器沿垂直於該第一軸線之一第二軸線相對於該支撐件移動，使得該色彩影像包括複數個像素列，每一像素列對應於該光學感測器沿該第二軸線的感測器元件，該複數個像素列對應於該光學感測器沿該第一軸線之運動。

【請求項9】 如請求項8所述之系統，其中該控制器經配

置以對該色彩影像濾光以便僅沿該第一軸線去除空間變化。

【請求項10】如請求項9所述之系統，其中該控制器經配置以針對每一像素列藉由以下各者對該色彩影像濾光，對該像素列之亮度值取平均，以提供該列之一平均亮度值，以及

將該像素列中之像素的強度值除以該列之該平均亮度值。

【請求項11】如請求項1所述之系統，其中該第一色彩通道及該第二色彩通道選自包括色調、飽和度、亮度、X、Y、Z、紅色色度、綠色色度及藍色色度的色彩通道之一群。

【請求項12】如請求項1所述之系統，其中該光學感測器定位在一半導體製造工具之一內嵌度量站中。

【請求項13】如請求項12所述之系統，其中該半導體製造工具包括一化學機械研磨器，其中該工具包括一機器人以將該基板傳送至該內嵌度量站中，且其中該控制器經配置以在藉由該化學機械研磨器研磨該基板之一表面之前或之後使該基板被量測。

【請求項14】如請求項13所述之系統，其中該機器人提供該支撐件。

【請求項15】如請求項14所述之系統，其中該光學感測器經配置而在量測期間固定，且該機器人使該基板移動從而使得該光學感測器在該基板上進行掃描。

【請求項16】一種用於獲得代表一基板上之一層的一厚度之一量測值的電腦程式產品，該電腦程式產品有形地體現在一非暫時性電腦可讀媒體中，包括用於使一處理器進行以下各者之指令：

自一色彩照相機接收該基板之一色彩影像；

儲存一函數，該函數根據至少兩個維度之一座標空間中沿一預定路徑之一位置來提供代表一厚度之一值，該至少兩個維度包括一第一色彩通道及一第二色彩通道；

對該色彩影像執行一色彩校正，以產生具有增大的色彩對比度之一經調整色彩影像；

針對該經調整色彩影像之一像素，自該經調整色彩影像中針對該像素之色彩資料來決定該像素在該座標空間中之一座標；

決定在該預定路徑上最靠近該像素之該座標之一點的一位置；以及

自該函數以及該預定路徑上之該點的該位置來計算代表該基板上之一層的一厚度之一值。

【請求項17】一種用於獲得代表一基板上之一層的一厚度之一量測值的方法，包括以下步驟：

鑒於一色彩照相機來定位用於積體電路製造之一基板；

自該色彩照相機產生該基板之一色彩影像；

儲存一函數，該函數根據至少兩個維度之一座標空間中沿一預定路徑之一位置來提供代表一厚度之一值，該

至少兩個維度包括一第一色彩通道及一第二色彩通道；

對該色彩影像進行色彩校正，以產生具有增大的色彩對比度之一經調整色彩影像；

針對該經調整色彩影像之一像素，自該經調整色彩影像中針對該像素之色彩資料來決定該像素在該座標空間中之一座標；

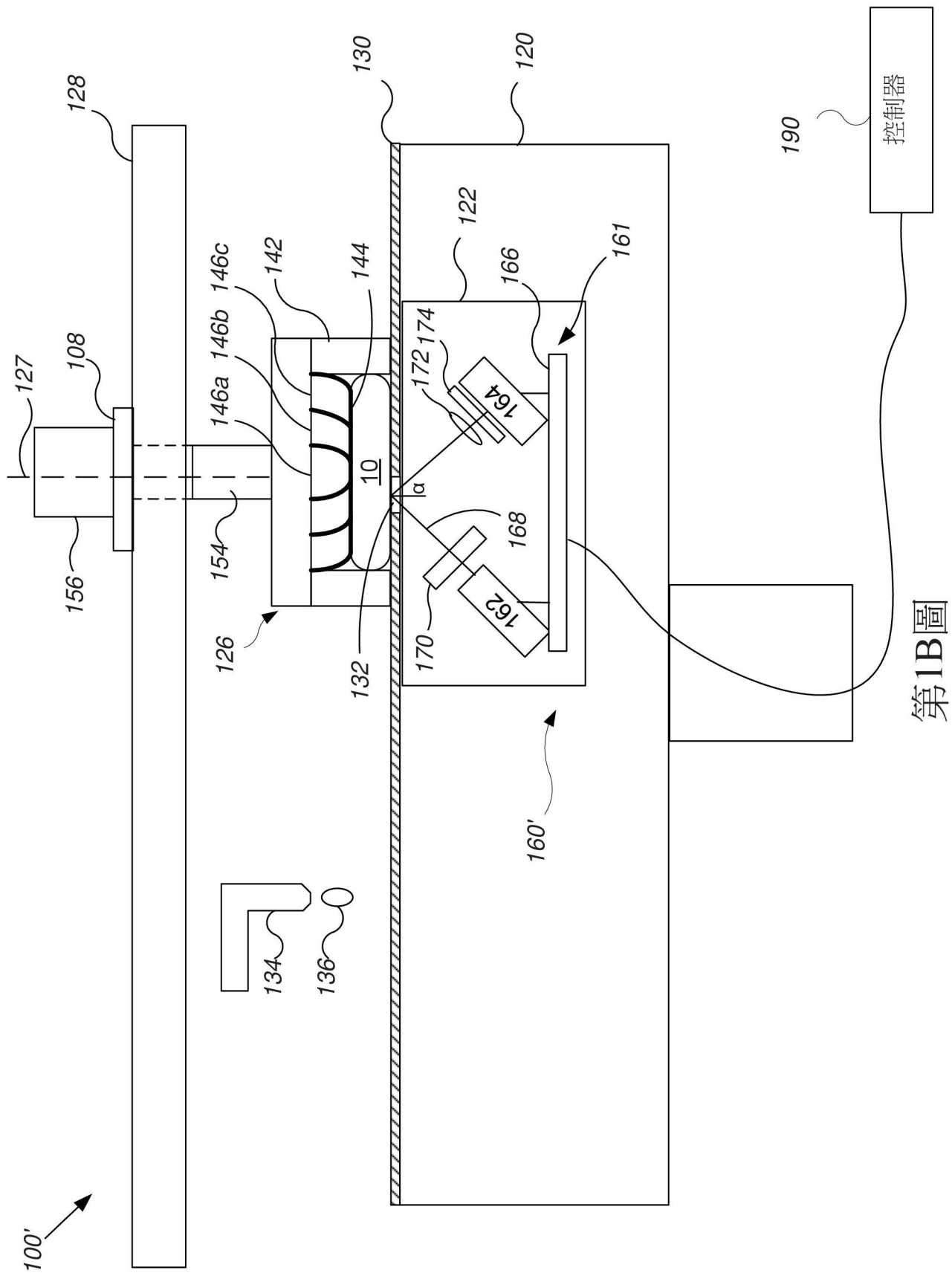
決定在該預定路徑上最靠近該像素之該座標之一點的一位置；以及

自該函數以及該預定路徑上之該點的該位置來計算代表該基板上之一層的一厚度之一值。

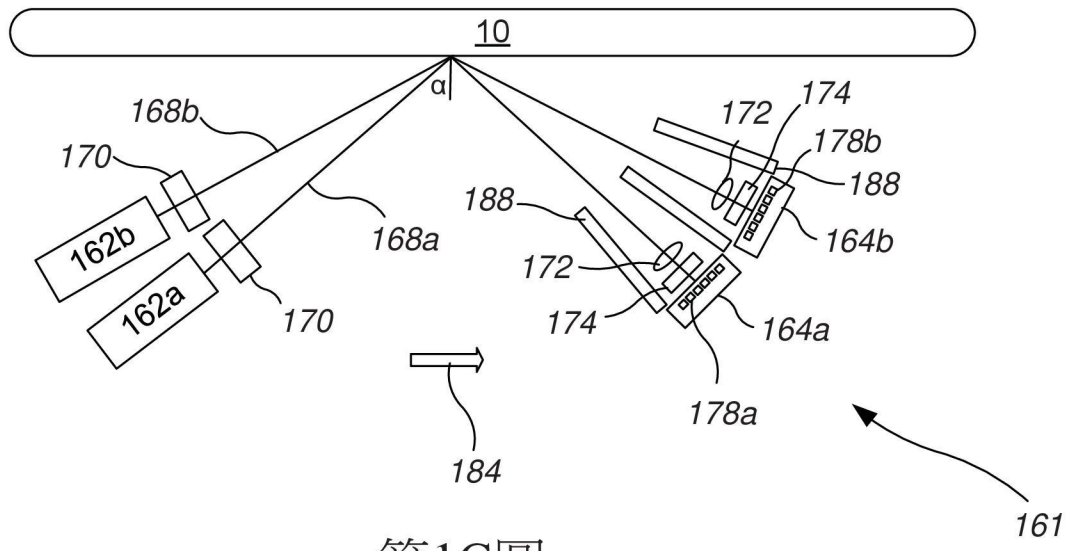
【請求項18】如請求項17所述之方法，進一步包括以下步驟：使用該色彩照相機產生一參考基板之一參考色彩影像，自該參考色彩影像計算一色彩校正矩陣，以及基於該色彩校正矩陣對該色彩影像進行色彩校正。

【請求項19】如請求項18所述之方法，其中計算該色彩校正矩陣之步驟包括以下步驟：基於該參考色彩影像來決定該座標空間中之一直方圖。

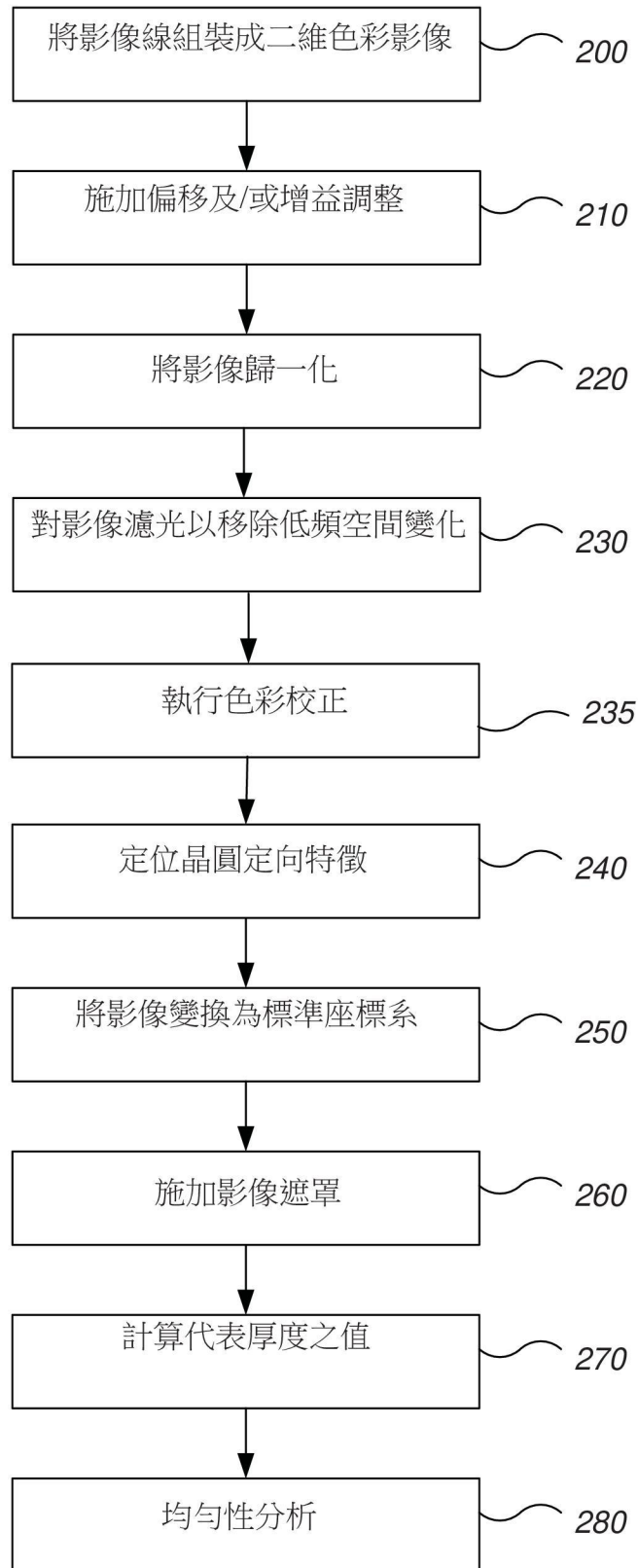
【請求項20】如請求項17所述之方法，其中該第一色彩通道及該第二色彩通道選自包括色調、飽和度、亮度、X、Y、Z、紅色色度、綠色色度及藍色色度的色彩通道之一群。



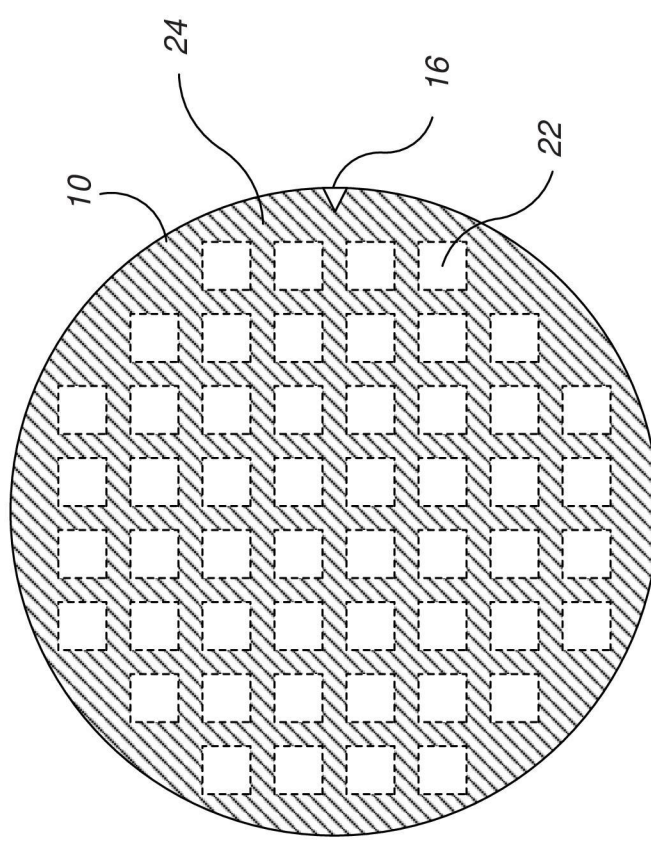
第1B圖



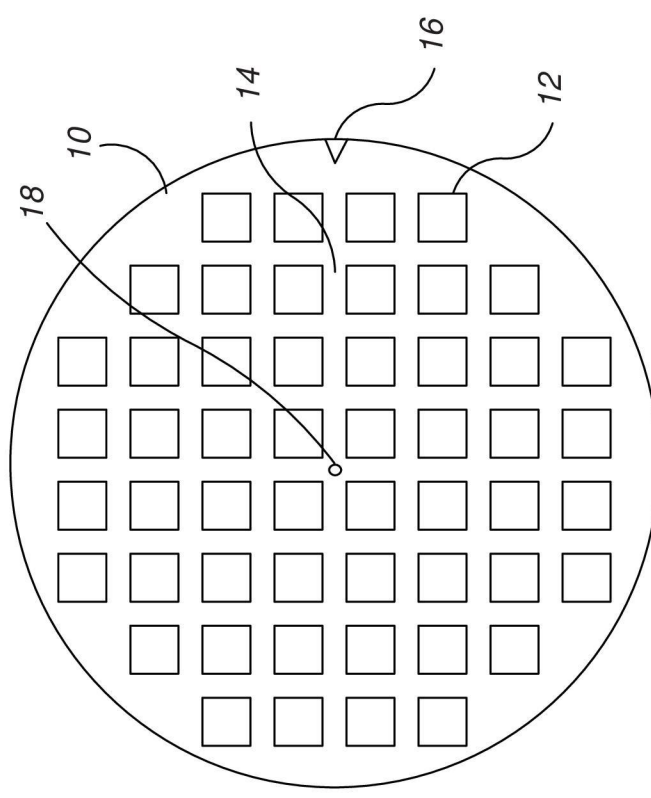
第1C圖



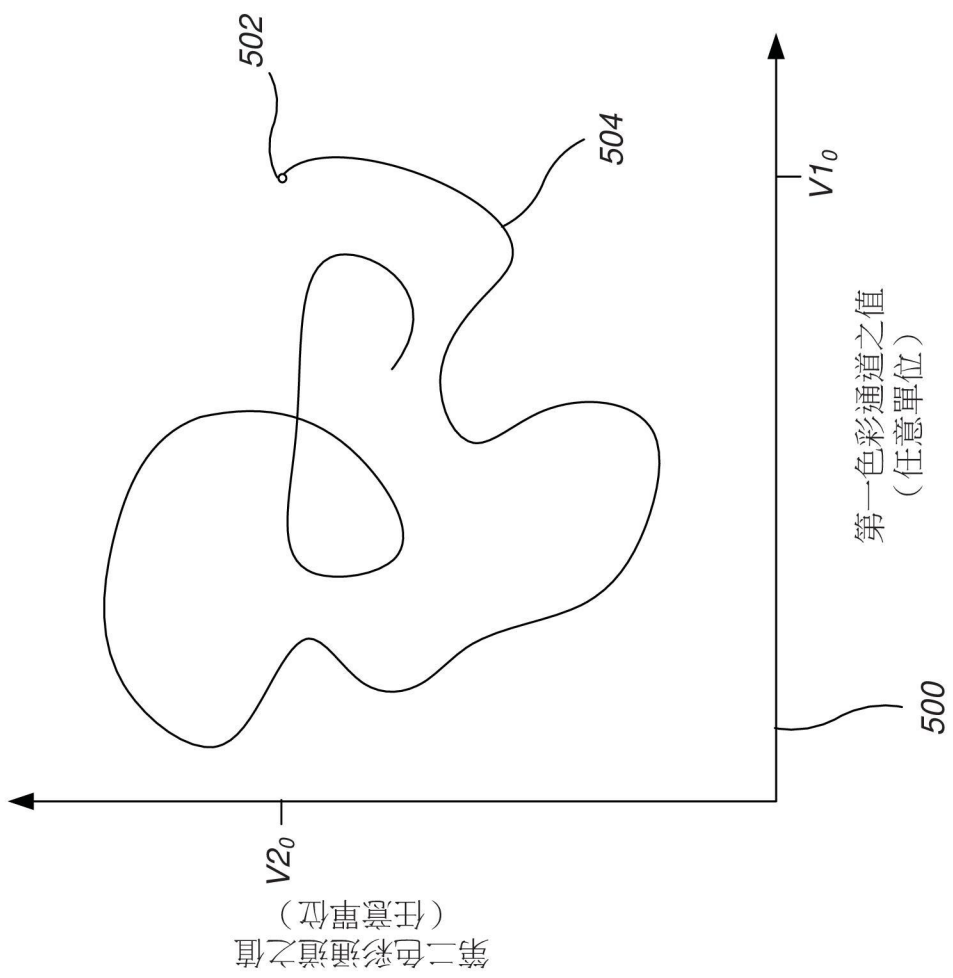
第2圖



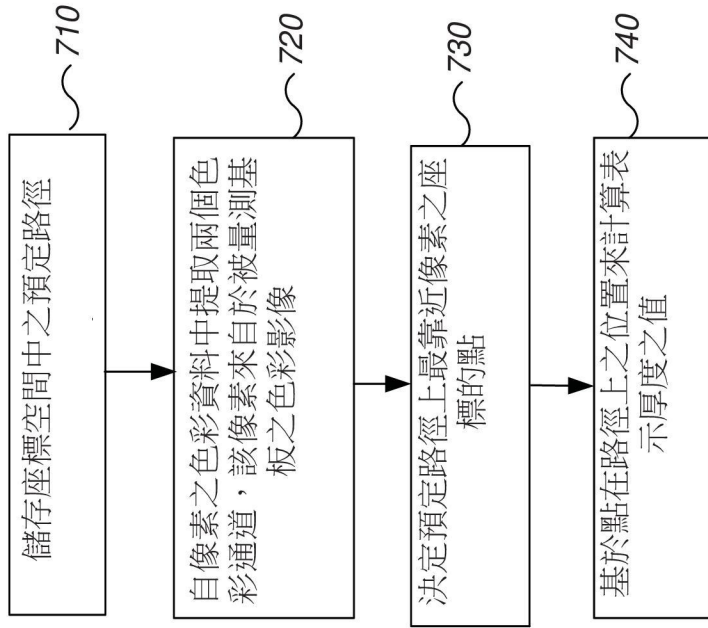
第4圖



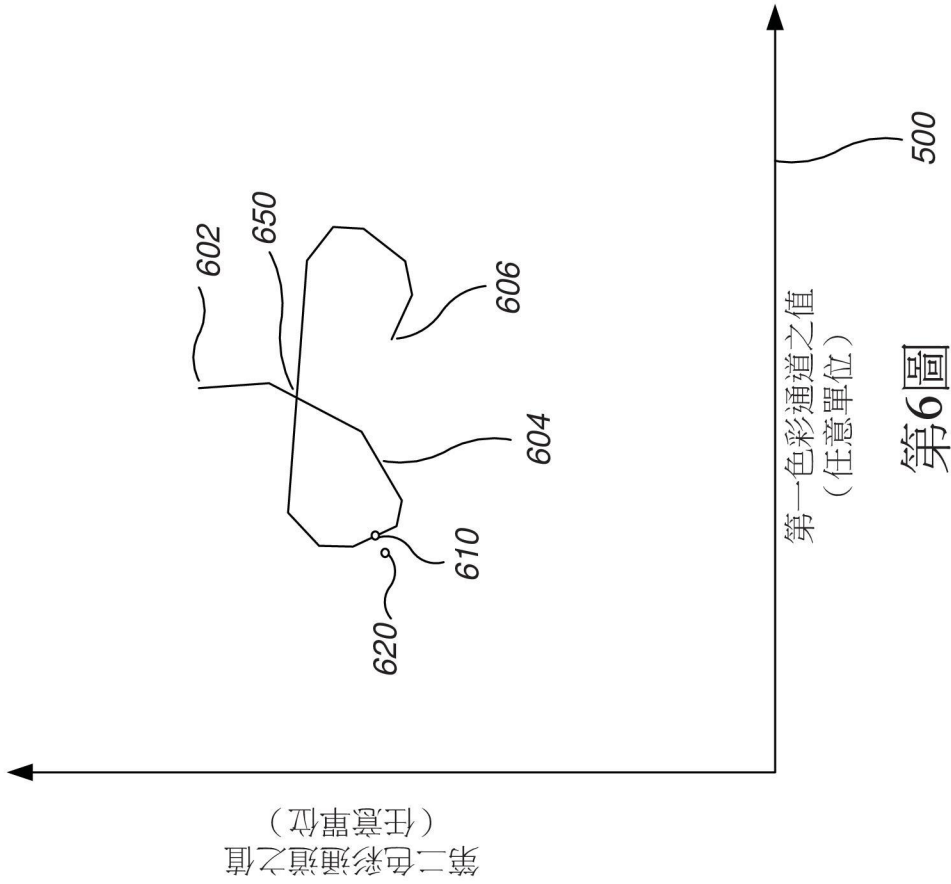
第3圖



第5圖



第7圖



第6圖

