



(21)申請案號：112101712 (22)申請日：中華民國 110 (2021) 年 06 月 29 日  
 (51)Int. Cl. : **G06F30/27 (2020.01)** **G01B11/06 (2006.01)**  
 (30)優先權：2020/06/29 美國 63/045,782  
 (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：迪漢達潘尼 席維庫瑪 DHANDAPANI, SIVAKUMAR (IN)；阿拉高利保羅拉尼  
 阿拉錫 ALAHGHOLIPOURMRANI, ARASH (US)；班維紐 多明尼克 J  
 BENVENU, DOMINIC J. (US)；錢 隽 QIAN, JUN (US)；許瑞斯薩 奇蘭拉爾  
 SHRESTHA, KIRAN LALL (NP)  
 (74)代理人：李世章；彭國洋  
 (56)參考文獻：  
 TW 201940833A CN 108966674A  
 US 2017/0177997A1 US 2018/0061032A1  
 US 2019/0072482A1  
 審查人員：陳泰龍  
 申請專利範圍項數：19 項 圖式數：4 共 37 頁

## (54)名稱

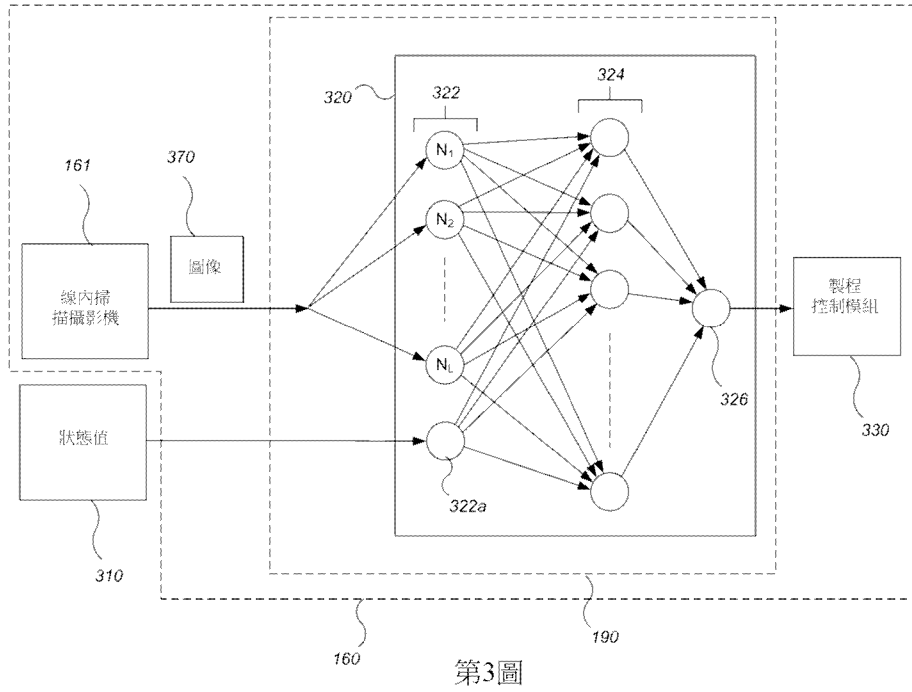
根據基於機器學習的基板圖像處理作膜厚度估測的電腦可讀媒體、方法、電腦程式產品及裝置

## (57)摘要

藉由在複數個位置獲得校準基板的頂層的地面真實厚度量測結果來訓練神經網路以用於基板厚度量測系統，每一位置為在基板上製造的晶粒的定義位置。獲取校準基板的複數個彩色圖像，每一彩色圖像對應於在基板上製造的晶粒的一區域。訓練神經網路以將晶粒區域的彩色圖像自線內基板成像器轉化為晶粒區域中頂層的厚度量測結果。使用訓練資料執行訓練，訓練資料包括複數個彩色圖像及地面真實厚度量測結果，每一各別的彩色圖像與與和該各別彩色圖像相關聯的晶粒區域的地面真實厚度量測結果成對。

A neural network is trained for use in a substrate thickness measurement system by obtaining ground truth thickness measurements of a top layer of a calibration substrate at a plurality of locations, each location at a defined position for a die being fabricated on the substrate. A plurality of color images of the calibration substrate are obtained, each color image corresponding to a region for a die being fabricated on the substrate. A neural network is trained to convert color images of die regions from an in-line substrate imager to thickness measurements for the top layer in the die region. The training is performed using training data that includes the plurality of color images and ground truth thickness measurements with each respective color image paired with a ground truth thickness measurement for the die region associated with the respective color image.

指定代表圖：



符號簡單說明：

160:光學計量系統

161:感測器組件

190:控制器

320:神經網路

322:輸入節點

322a:節點

324:隱藏節點

326:輸出節點

330:製程控制模組



I874890

## 【發明摘要】

【中文發明名稱】根據基於機器學習的基板圖像處理作膜厚度估測的電腦可讀媒體、方法、電腦程式產品及裝置

【英文發明名稱】COMPUTER READABLE MEDIUM, METHOD, COMPUTER PROGRAM PRODUCT AND APPARATUS OF FILM THICKNESS ESTIMATION FROM MACHINE LEARNING BASED PROCESSING OF SUBSTRATE IMAGES

## 【中文】

藉由在複數個位置獲得校準基板的頂層的地面真實厚度量測結果來訓練神經網路以用於基板厚度量測系統，每一位置為在基板上製造的晶粒的定義位置。獲取校準基板的複數個彩色圖像，每一彩色圖像對應於在基板上製造的晶粒的一區域。訓練神經網路以將晶粒區域的彩色圖像自線內基板成像器轉化為晶粒區域中頂層的厚度量測結果。使用訓練資料執行訓練，訓練資料包括複數個彩色圖像及地面真實厚度量測結果，每一各別的彩色圖像與與和該各別彩色圖像相關聯的晶粒區域的地面真實厚度量測結果成對。

## 【英文】

A neural network is trained for use in a substrate thickness measurement system by obtaining ground truth thickness measurements of a top layer of a calibration substrate at a plurality of locations, each location at a defined position for a die being fabricated on the substrate. A plurality of color images of the calibration substrate are obtained, each color image corresponding to a region for a die being fabricated on the substrate. A neural network is trained to convert color images of die regions from an in-line substrate imager to thickness measurements for the top layer in the die region. The

training is performed using training data that includes the plurality of color images and ground truth thickness measurements with each respective color image paired with a ground truth thickness measurement for the die region associated with the respective color image.

【指定代表圖】第（ 3 ）圖。

【代表圖之符號簡單說明】

1 6 0 : 光 學 計 量 系 統

1 6 1 : 感 測 器 組 件

1 9 0 : 控 制 器

3 2 0 : 神 經 網 路

3 2 2 : 輸 入 節 點

3 2 2 a : 節 點

3 2 4 : 隱 藏 節 點

3 2 6 : 輸 出 節 點

3 3 0 : 製 程 控 制 模 組

【特徵化學式】

無

## 【發明說明書】

【中文發明名稱】根據基於機器學習的基板圖像處理作膜厚度估測的電腦可讀媒體、方法、電腦程式產品及裝置

【英文發明名稱】COMPUTER READABLE MEDIUM, METHOD, COMPUTER PROGRAM PRODUCT AND APPARATUS OF FILM THICKNESS ESTIMATION FROM MACHINE LEARNING BASED PROCESSING OF SUBSTRATE IMAGES

### 【技術領域】

【0001】 本揭示案係關於光學量測，例如係關於使用機器學習方法偵測基板上層的厚度。

### 【先前技術】

【0002】 通常藉由在矽晶圓上順序地沉積導電、半導體或絕緣層來在基板上形成積體電路。在積體電路製造期間，為了移除填料層或提高光微影平面性可能需要對基板表面進行平面化。

【0003】 化學機械研磨 (chemical mechanical polishing; CMP) 是一種可接受的平面化方法。此平面化方法通常需要將基板安裝於載體或研磨頭上。通常將基板的受曝露表面放置抵靠於旋轉研磨墊。載體頭提供對基板的可控負載，以將基板推抵於研磨墊。通常將研磨拋光漿料供應至研磨墊的表面。

【0004】 可 (例如) 在線內或獨立的計量站使用多種光學計量系統 (例如光譜的或橢圓偏振的) 量測研磨前及研磨後的基板層的厚度。

**【0005】** 作為平行的問題，諸如圖形處理單元 (Graphical Processing Unit; GPU) 及張量處理單元 (Tensor Processing Unit; TPU) 的硬體資源的發展導致深度學習演算法及其應用的巨大進步。深度學習的不斷發展的領域中之一者是電腦視覺及圖像識別。此類電腦視覺演算法主要設計用於圖像分類或分割。

**【發明內容】**

**【0006】** 在一態樣中，訓練用於基板厚度量測系統的神經網路的方法包括在複數個位置獲取校準基板的頂層的地面真實厚度量測結果，每一位置為在基板上製造的晶粒的一定義位置。獲取校準基板的複數個彩色圖像，每一彩色圖像對應於在基板上製造的晶粒的一區域。訓練神經網路，將晶粒區域的彩色圖像自線內基板成像器轉化為晶粒區域中頂層的厚度量測結果。使用訓練資料執行訓練，訓練資料包括複數個彩色圖像及地面真實厚度量測結果，每一各別的彩色圖像與和該各別彩色圖像相關聯的晶粒區域的地面真實厚度量測結果成對。

**【0007】** 在另一態樣中，控制研磨的方法包括：在研磨系統的線內監測站獲取第一基板的第一彩色圖像；使用晶粒遮罩將第一彩色圖像分割為複數個第二彩色圖像，以使得每一第二彩色圖像對應於在第一基板上製造的晶粒的一區域；產生一或多個位置的厚度量測結果；及基於厚度量測結果確定第一基板或後續第二基板的研磨參數。一或多個

位置中的每一各別位置對應於在第一基板上製造的晶粒的一各別區域。為產生一區域的厚度量測結果，藉由使用訓練資料訓練的神經網路處理對應於區域的第二彩色圖像，訓練資料包括校準基板的晶粒的複數個第三彩色圖像及校準基板的地面真實厚度量測結果，每一各別第三彩色圖像與和該各別彩色圖像相關聯的晶粒區域的地面真實厚度量測結果成對。

**【0008】** 實施方式可包括以下潛在優點中之一或多者。可快速量測基板上多個晶粒的厚度。舉例而言，線內計量系統可在不影響產量的情況下基於基板的彩色圖像確定基板的厚度。可在多變數批次控制方案中直接使用估測厚度。

**【0009】** 可使用所描述的方法訓練模型以產生厚度量測結果，該量測結果與實際膜厚度的誤差小於5%。雖然可自具有三個彩色通道的彩色圖像得到厚度量測結果，但可在基板成像器系統中增加高光譜攝影機以為模型提供更高維度的特徵輸入。這可有利於訓練更複雜的模型，以理解膜堆疊的更多物理性質。

**【0010】** 計量系統中的深度學習可具有高推斷速度，且仍能夠在基板上實現厚度剖面的高解析度量測。其使得計量系統成為記憶體應用的快速、低成本的計量前及計量後的量測工具，且厚度準確度更高。

**【0011】** 以下的附圖及描述闡述一或多個實施方式的細節。其他態樣、特徵及優點將自描述、圖式及申請專利範圍中顯而易見。

**【圖式簡單說明】**

**【0012】** 第 1 圖圖示線內光學量測系統的實例的視圖。

**【0013】** 第 2 A 圖圖示用於模型訓練的基板的示例性圖像的實例。

**【0014】** 第 2 B 圖為電腦資料儲存系統的示意性說明。

**【0015】** 第 3 圖圖示用作研磨裝置的控制器的一部分的神經網路。

**【0016】** 第 4 圖圖示使用深度學習方法偵測基板上層的厚度的方法的流程圖。

**【0017】** 各圖中的相同的元件符號表示相同的元件。

**【實施方式】**

**【0018】** 由於CMP製程中發生的研磨速率之變化，因此在CMP處理中使用乾式計量系統的薄膜厚度量測結果。此類乾式計量量測技術常常使用光譜的或橢圓偏振的方法，其中膜堆疊的光學模型中的變數符合所收集的量測結果。此類量測技術通常需要將感測器精確對準基板的量測點，以確保模型適用於所收集的量測結果。因此，量測基板上的大量點可能耗時，並且收集高解析度厚度剖面不可行。

**【0019】** 然而，使用機器學習可實現用減少的時間量測基板上膜的厚度。藉由使用來自基板的晶粒的彩色圖像及由其他可靠計量系統的相關厚度量測結果來訓練深度神經網路，可藉由將輸入圖像應用至神經網路而量測晶粒的膜厚

度。例如對於低成本記憶體應用，此系統可用作高產量且經濟的解決方案。除了厚度推斷以外，可使用此技術使用圖像分割對基板上的殘留物位準分級。

**【0020】** 參考第1圖，研磨裝置100包括：一或多個載體頭126，每一載體頭126經配置以承載基板10；一或多個研磨站106；及傳送站，其將基板裝載至載體頭，以及自載體頭卸載基板。每一研磨站106包括研磨墊130，研磨墊130支撐於平臺120上。研磨墊130可為兩層研磨墊，其具有外研磨層及較軟背托層。

**【0021】** 載體頭126可由支撐件128懸置，且可在研磨站之間移動。在一些實施方式中，支撐件128為懸軌，每一載體頭126耦接至托架108，托架108安裝至軌道，以便每一托架108可在研磨站124與傳送站之間選擇性移動。或者，在一些實施方式中，支撐件128為可旋轉料架，旋轉料架的旋轉沿圓形路徑同時移動載體頭126。

**【0022】** 研磨裝置100的每一研磨站106可在臂134的一端包括一埠，以將諸如研磨漿料的研磨液體136分配至研磨墊130上。研磨裝置100的每一研磨站106亦可包括墊調節裝置以磨光研磨墊130，以將研磨墊130保持於一致的研磨狀態。

**【0023】** 可操作每一載體頭126，以使基板10保持相抵於研磨墊130。每一載體頭126可獨立控制研磨參數，例如與每一各別基板相關聯的壓力。特定而言，每一載體頭126可包括保持環142，其將基板10保持於撓性膜144下方。

每一載體頭 126 亦可包括由膜界定的複數個獨立可控的增壓腔室（例如三個腔室 146a 至 146c），其可對撓性膜 144 上的關聯區施加獨立可控的壓力，且由此對基板 10 施加獨立可控的壓力。雖然為了便於說明，在第 1 圖中僅圖示三個腔室，但可存在一或兩個腔室，或四個或更多個腔室，例如五個腔室。

【0024】 每一載體頭 126 由支撐件 128 懸置，且由驅動軸 154 連接至載體頭旋轉馬達 156，從而載體頭可圍繞軸 127 旋轉。可選地，每一載體頭 126 可例如藉由在軌道上驅動托架 108 或藉由旋轉料架自身的旋轉振盪而側向振盪。在操作中，平臺圍繞其中心軸旋轉，每一載體頭圍繞其中心軸 127 旋轉且在研磨墊的頂表面上側向移動。

【0025】 將諸如可程式電腦的控制器 190 連接至每一馬達，以獨立地控制平臺 120 及載體頭 126 的旋轉速率。控制器 190 可包括中央處理單元 (central processing unit; CPU) 192、記憶體 194 及支援電路 196，例如輸入/輸出電路、電源、時鐘電路、快取記憶體及類似者。記憶體連接至 CPU 192。記憶體為非暫時性電腦可讀媒體，且可為一或多個容易獲得的記憶體，例如隨機存取記憶體 (random access memory; RAM)、唯讀記憶體 (read-only memory; ROM)、軟碟、硬碟或另一形式的數位儲存器。另外，雖然圖示為單一電腦，但控制器 190 可為分散式系統，例如包括多個獨立操作的處理器及記憶體。

**【0026】** 研磨裝置 100 亦包括線內（亦稱為按序）的光學計量系統 160。線內光學計量系統 160 的彩色成像系統位於研磨裝置 100 內，但在研磨操作期間不執行量測，而在研磨操作之間（例如當將基板自一研磨站移動至另一研磨站時，或在研磨前或研磨後，例如當將基板自傳送站移動至研磨站或相反時）收集量測結果。另外，線內光學計量系統 160 可位於晶圓廠介面單元中或可自晶圓廠介面單元進入的模組中，以在自盒匣取出基板之後但在將基板移動至研磨單元之前量測基板，或在清洗基板之後但在基板返回至盒匣之前量測基板。

**【0027】** 線內光學計量系統 160 包括感測器組件 161，其提供基板 10 的彩色成像。感測器組件 161 可包括光源 162、光偵測器 164 及電路系統 166，電路系統 166 用於在控制器 190 及光源 162 與光偵測器 164 之間發送及接收訊號。

**【0028】** 可操作光源 162 以發射白光。在一個實施方式中，所發射的白光包括具有 200 至 800 奈米的波長的光。合適的光源為白光發光二極體 (light emitting diode; LED)、氙燈或氙汞燈的陣列。光源 162 經定向以將光 168 以非零的入射角  $\alpha$  引導至基板 10 的曝露表面。入射角  $\alpha$  可為（例如）約 30° 至 75°，例如 50°。

**【0029】** 光源可照亮基本上線性的狹長區域，其跨越基板 10 的寬度。舉例而言，光源 162 可包括光學器件，例如射束放大器，其使光自光源擴展至狹長區域。替代地或另外

地，光源 162 可包括光源的線性陣列。光源 162 自身及基板上照亮的區域可延長，且具有平行於基板表面的縱軸。

**【0030】** 可將擴散器 170 放置於光 168 的路徑中，或光源 162 可包括擴散器，在光到達基板 10 之前使光擴散。

**【0031】** 偵測器 164 為彩色攝影機，其對來自光源 162 的光敏感。攝影機包括偵測器元件的陣列。舉例而言，攝影機可包括 CCD 陣列。在一些實施方式中，陣列為單列偵測器元件。舉例而言，攝影機可為線掃描攝影機。該列偵測器元件可平行於由光源 162 照亮的狹長區域的縱軸而延伸。在光源 162 包括一系列發光元件的情況下，該列偵測器元件可沿平行於光源 162 的縱軸的第一軸延伸。一系列偵測器元件可包括 1024 個或更多個元件。

**【0032】** 攝影機 164 配置有適當的聚焦光學器件 172，以將基板的視場投射至偵測器元件的陣列上。視場可足夠長以可觀察基板 10 的整個寬度，例如 150 至 300 mm 長。可配置包括相關光學器件 172 的攝影機 164，以使得個別的像素對應於具有等於或小於約 0.5 mm 的長度的區域。舉例而言，假定視場約為 200 mm 長且偵測器 164 包括 1024 個元件，則由線掃描攝影機產生的圖像可具有長度約為 0.5 mm 的像素。為確定圖像的長度解析度，可用視場 (field of view; FOV) 的長度除以 FOV 成像至其上的像素的數量，以得到長度解析度。

**【0033】** 亦可配置攝影機 164，以使得像素寬度與像素長度相當。舉例而言，線掃描攝影機的優點是其極高的圖框

率。圖框率可為至少 5 kHz。可將圖框率設定為一頻率，以使得當成像區域掃描基板 10 時，像素寬度與像素長度相當，例如等於或小於約 0.3 mm。

**【0034】** 光源 162 及光偵測器可支撐於平臺 180 上。在光偵測器 164 為線掃描攝影機的情況下，光源 162 及攝影機 164 可相對於基板 10 移動，以使得成像區域可掃描基板的長度。特定而言，相對運動可在平行於基板 10 的表面之一方向上且垂直於線掃描攝影機 164 的一系列偵測器元件。

**【0035】** 在一些實施方式中，平臺 182 是靜止的，而基板的支撐件移動。舉例而言，載體頭 126 可移動，例如藉由托架 108 的運動或旋轉料架的旋轉振盪移動，或將基板保持於工廠介面單元中的機器手臂可使基板 10 移動經過線掃描攝影機 182。在一些實施方式中，當載體頭或機器手臂保持為靜止以用於圖像擷取時，平臺 180 是可移動的。舉例而言，平臺 180 可藉由線性致動器 182 沿軌道 184 移動。在任一情況下，這允許當經掃描的區域移動經過基板 10 時，光源 162 及攝影機 164 彼此相對保持於固定的位置。

**【0036】** 使線掃描攝影機及光源在基板上一起移動的可能優點是，例如相比於常規的 2D 攝影機，光源與攝影機之間的相對角對於晶圓上的不同位置保持不變。因此，可減少或消除由視角變化導致的假影。另外，線掃描攝影機可消除透視變形，而常規的 2D 攝影機表現出固有的透視變形，該透視變形則需要藉由圖像轉換來校正。

【0037】 感測器組件 161 可包括機構，以調整基板 10 及光源 162 與偵測器 164 之間的垂直距離。舉例而言，感測器組件 161 可包括致動器，以調整平臺 180 的垂直位置。

【0038】 可選地，偏振濾光器 174 可位於光的路徑中，例如在基板 10 與偵測器 164 之間。偏振濾光器 174 可為圓形極化器 (circular polarizer; CPL)。典型的 CPL 是線性極化器與四分之一波板的組合。對偏振濾光器 174 的極化軸進行適當的定向，可減少圖像中的霧度，銳化或增強所要的視覺特徵。

【0039】 假定基板上的最外層為半透明層 (例如介電層)，偵測器 164 處偵測的光的顏色取決於 (例如) 基板表面的組成、基板表面的平滑度，及 / 或基板上一或多層 (介電層) 的不同介面反射的光之間的干擾量。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，可操作控制器 190 以控制光源 162 及光偵測器 164 的操作且接收其訊號。可將執行各個功能以將彩色圖像轉化為厚度量測結果的計算裝置視為計量系統 160 的一部分。

【0040】 參考第 2A 圖，展示了用線內光學計量系統 160 收集的基板 10 的圖像 202 之實例。線內光學計量系統 160 產生高解析度彩色圖像 202，例如具有至少三個彩色通道 (例如 RGB 通道) 的至少  $720 \times 1080$  像素的圖像，例如至少  $2048 \times 2048$  像素的圖像。任一特定像素處的顏色取決於對應於該像素的基板區域中一或多層 (包括頂層) 的厚度。

**【0041】** 將圖像 202 分割為一或多個區域 208，每一區域對應於基板上製造的晶粒 206。提供區域 208 的圖像的部分可為圖像中的預定區域，或可基於圖像用演算法自動確定提供區域 208 的部分。

**【0042】** 作為圖像中的預定區域的實例，控制器可儲存晶粒遮罩，其對於每一區域 208 識別圖像中的位置及區域。舉例而言，對於矩形區域，可用圖像中的右上及左下坐標界定區域。由此，遮罩可為資料檔案，其包括每一矩形區域的一對右上及左下坐標。在其他情況下，在區域為非矩形的情況下，可使用更複雜的功能。

**【0043】** 在一些實施方式中，可確定基板的定向及位置，可相對於圖像對準晶粒遮罩。可用凹口探測器或藉由彩色圖像 202 的圖像處理來確定基板定向，例如以確定圖像中劃線的角度。亦可藉由彩色圖像 202 的圖像處理，例如藉由偵測圓形基板邊緣且隨後確定圓形的中心來確定基板位置。

**【0044】** 作為自動確定區域 208 的實例，圖像處理演算法可分析圖像 202 並偵測劃線。隨後可將圖像 202 分割為所識別劃線之間的區域。

**【0045】** 藉由分割初始彩色圖像，可自基板 10 收集個別區域 208 的複數個彩色圖像 204。如上所述，每一彩色圖像 204 對應於基板上製造的晶粒 206。可將所收集的彩色圖像輸出為 PNG 圖像，但可能使用許多其他格式，例如 JPEG 等。

**【0046】** 可將彩色圖像 204 提供至圖像處理演算法，以產生彩色圖像 204 中所示晶粒的厚度量測結果。將圖像用作已訓練（例如藉由受監控的深度學習方法）的圖像處理演算法的輸入資料，以基於彩色圖像估測層厚度。受監控的基於深度學習的演算法確立彩色圖像與厚度量測結果之間的模型。圖像處理演算法可包括神經網路作為基於深度學習的演算法。

**【0047】** 將彩色圖像 204 的每一像素的每一彩色通道的強度值鍵入至圖像處理演算法中，例如鍵入至神經網路的輸入神經元。基於此輸入資料，可計算彩色圖像的層厚度量測結果。由此，將彩色圖像 204 輸入至圖像處理演算法得到估測厚度的輸出。例如對於低成本記憶體應用，此系統可用作高產量且經濟的解決方案。除了厚度推斷，可使用此技術使用圖像分割對基板上的殘留物位準分級。

**【0048】** 為了使用受監控的深度學習方法訓練圖像處理演算法（例如神經網路），可如上文所論述獲取一或多個校準基板的晶粒的校準圖像。亦即，可用線內光學計量系統 160 的線掃描攝影機掃描每一校準基板，以產生初始校準圖像，可將初始校準圖像分割為校準基板上的個別區域的複數個彩色圖像。

**【0049】** 在收集初始彩色校準圖像之前或之後，使用高準確度計量系統（例如線內或獨立計量系統）在校準基板上的多個位置處收集地面真實厚度量測結果。高準確度計量系統可為乾式光學計量系統。地面真實量測結果可來自離

線反射量測法、橢圓偏振法、散射量測法或更先進的TEM量測法，儘管其他技術亦可適合。可自Nova Measuring Instruments Inc. 或 Nanometrics Inc. 獲得此類系統。每一位置對應於所製造的晶粒中之一者，亦即個別區域中之一者。

**【0050】** 舉例而言，參考第2B圖，對於每一校準基板上的每一個別區域，使用光學計量系統160的線內感測器收集彩色校準圖像212。對於校準基板上的對應晶粒，每一彩色校準圖像與地面真實厚度量測結果214相關聯。可將圖像212及相關的地面真實厚度量測結果214儲存於資料庫220中。舉例而言，可將資料儲存為記錄210，其中每一記錄包括校準圖像212及地面真實厚度量測結果214。

**【0051】** 隨後使用所組合的資料集218訓練基於深度學習的演算法，例如神經網路。當訓練模型時，將對應於用乾式計量工具量測的對應於晶粒中心的厚度量測結果用作輸入圖像的標籤。舉例而言，可對自具有廣泛後厚度的基板上的五個晶粒收集的約50,000個圖像訓練模型。

**【0052】** 第3圖圖示用作研磨裝置100的控制器190的一部分的神經網路320。神經網路320可為深度神經網路，其用於對校準基板的輸入圖像的RGB強度值及地面真實厚度量測結果進行回歸分析，以產生模型來基於一區域的彩色圖像預測基板的彼區域的層厚度。

**【0053】** 神經網路320包括複數個輸入節點322。神經網路320可包括與輸入彩色圖像的每一像素相關聯的每一彩

色通道的輸入節點、複數個隱藏節點 3 2 4（下文亦稱為「中間節點」）及輸出節點 3 2 6，其將產生層厚度量測值。在具有單層隱藏節點的神經網路中，每一隱藏節點 3 2 4 可耦接至每一輸入節點 3 2 2，而輸出節點 3 2 6 可耦接至每一隱藏節點 3 2 0。然而，作為實際問題，用於圖像處理的神經網路可能具有許多層隱藏節點 3 2 4。

**【0054】** 通常，隱藏節點 3 2 4 輸出一值，其為來自輸入節點 3 2 2 或與隱藏節點 3 2 4 連接的先前層隱藏節點的值的加權和的非線性函數。

**【0055】** 舉例而言，可將第一層中的隱藏節點 3 2 4（標為節點  $k$ ）的輸出表示為：

$$\tanh (0.5 * a_{k 1}(I_1) + a_{k 2}(I_2) + \dots + a_{k M}(I_M) + b_k)$$

其中， $\tanh$  為雙曲正切， $a_{k x}$  為第  $k$  中間節點與第  $x$  輸入節點（ $M$  個輸入節點的）之間的連接的加權，且  $I_M$  為第  $M$  輸入節點處的值。然而，可用其他非線性函數代替  $\tanh$ ，例如糾正線性單元 (rectified linear unit; ReLU) 函數及其變體。

**【0056】** 神經網路 3 2 0 由此對於與輸入彩色圖像的每一像素相關聯的每一彩色通道包括輸入節點 3 2 2，例如其中具有  $J$  個像素及  $K$  個彩色通道，則  $L = J * K$  是輸入彩色圖像中強度值的數量，且神經網路 3 2 0 將包括至少輸入節點  $N_1$ ,  $N_2 \dots, N_1$ 。

由此，在輸入節點數量對應於彩色圖像中強度值數量的情況下，可將隱藏節點 3 2 4（標為節點  $k$ ）的輸出  $H_k$  表示為：

$$H_k = \tanh (0.5 * a_{k1}(I_1) + a_{k2}(I_2) + \dots + a_{kL}(I_L) + b_k)$$

【0057】 假定用行矩陣  $(i_1, i_2, \dots, i_L)$  表示所量測的彩色圖像  $S$ ，可將中間節點 3 2 4（標為節點  $k$ ）的輸出表示為：

$$H_k = \tanh (0.5 * a_{k1}(V_1 \cdot S) + a_{k2}(V_2 \cdot S) + \dots + a_{kL}(V_L \cdot S) + b_k)$$

，其中  $V$  為加權的值  $(v_1, v_2, \dots, v_L)$ ， $V_x$  為彩色圖像的  $L$  個強度值中之第  $x$  強度值的加權。

【0058】 輸出節點 3 2 6 可產生特性值  $CV$ ，例如厚度，其為隱藏節點的輸出的加權和。舉例而言，可將此表示為

$$CV = C_1 * H_1 + C_2 * H_2 + \dots + C_L * H_L$$

，其中  $C_k$  為第  $k$  隱藏節點的輸出的加權。

【0059】 然而，神經網路 3 2 0 可視情況包括一或多個其他輸入節點（例如節點 3 2 2 a）以接收其他資料。此其他資料可來自：用原位監測系統對基板的先前量測結果，例如在處理基板早期收集的像素強度值；對先前基板的量測結果，例如在處理另一基板期間收集的像素強度值；研磨系統中的另一感測器，例如用溫度感測器對墊或基板的溫度的量測結果；由用於控制研磨系統的控制器儲存的研磨配方，例如研磨參數，諸如用於研磨基板的載體頭壓力及平臺旋轉速率；用控制器追蹤的變數，例如改變墊之後的若干基板；或非研磨系統一部分的感測器，例如用計量站對下層膜厚度的量測結果。這允許神經網路 3 2 0 在計算層厚度量測值時考慮其他處理或環境變數。

【0060】 將輸出節點 3 2 6 處產生的厚度量測結果提供至製程控制模組 3 3 0。製程控制模組可基於一或多個區域的厚

度量測結果調整製程參數，例如載體頭壓力、平臺旋轉速率等。可對將在基板或下一基板上執行的研磨製程執行調整。

**【0061】** 在用於例如基板量測結果之前，需配置神經網路 320。

**【0062】** 作為配置程序的一部分，控制器 190 可接收複數個校準圖像。每一校準圖像具有多個強度值，例如校準圖像的每一彩色通道、每一像素的強度值。控制器亦接收每一校準圖像的特性值，例如厚度。舉例而言，可在一或多個校準或測試基板上製造的特定晶粒處量測彩色校準圖像。另外，可使用乾式量測設備（例如接觸表面輪廓儀或橢圓儀）在特定晶粒位置執行厚度的地面真實量測。地面真實厚度量測結果因此可與基板上同一晶粒位置的彩色圖像相關。可藉由如上文論述分割校準基板的圖像，自例如五至十個校準基板產生複數個彩色校準圖像。關於神經網路 320 的配置程序，使用在校準基板上製造的每一晶粒的彩色圖像及特性值訓練神經網路 320。

**【0063】**  $V$  對應於彩色圖像中之一者，且因此與特性值相關聯。當神經網路 320 在訓練模式（例如後向傳播模式）下操作時，將值  $(v_1, v_2, \dots, v_L)$  提供至各別的輸入節點  $N_1, N_2, \dots, N_L$ ，同時將特性值  $CV$  提供至輸出節點 326。對於每一列可重複此過程。此過程設定上文方程式 1 或 2 中的  $a_{k1}$  等的值。

【0064】 系統現在準備操作。使用線內監測系統160自基板量測彩色圖像。可用行矩陣  $S = (i_1, i_2, \dots, i_L)$  表示所量測的彩色圖像，其中  $i_j$  表示  $L$  個強度值中之第  $j$  強度值的強度值，當圖像總共包括  $n$  個像素且每一像素包括三個彩色通道時， $L = 3n$ 。

【0065】 當在推斷模式下使用神經網路320時，將此等值  $(S_1, S_2, \dots, S_L)$  作為輸入提供至各別輸入節點  $N_1, N_2, \dots, N_L$ 。由此，神經網路320在輸出節點326處產生特性值，例如層厚度。

【0066】 神經網路320的架構可在深度及寬度上變化。舉例而言，雖然所示的神經網路320具有單行中間節點324，但其可包括多行。中間節點324的數量可等於或大於輸入節點322的數量。

【0067】 如上所述，控制器190可使各個彩色圖像與基板上的不同晶粒（見第2圖）相關聯。可基於收集圖像時基板上感測器的位置將每一神經網路320的輸出分類為屬於晶粒中之一者。這允許控制器190對於每一晶粒產生單獨的量測值順序。

【0068】 在一些實施方式中，控制器190可經配置以具有神經網路模型結構，該神經網路模型結構由多個不同類型的構建區塊組成。舉例而言，神經網路可為殘餘神經網路，其架構中包括殘餘區塊特徵。殘餘神經網路可利用跨越連接或捷徑來跳過一些層。可將殘餘神經網路實施有（例如）

ResNet 模型。在殘餘神經網路的情境中，可將非殘餘神經網路描述為普通網路。

**【0069】** 在一些實施方式中，神經網路可經訓練以在計算期間考慮堆疊的下置層厚度，這能夠改善由於厚度量測下層變化導致的誤差。可藉由將下置層的厚度的彩色圖像的強度值作為額外輸入提供至模型，來減輕膜堆疊的下置厚度變化的影響以提高模型的性能。

**【0070】** 可藉由將所計算的厚度量測結果與量測值對比，然後確定計算值與原始量測值的差，來評估所計算的厚度量測結果的可靠度。隨後可使用此深度學習模型在緊接掃描新的測試基板之後，在推斷模式下預測厚度。此新方法提高整個系統的產量，且使得可對一批中的所有基板執行厚度量測。

**【0071】** 參考第4圖，一種藉由機器學習技術產生的圖像處理演算法，其用於基板厚度量測系統。此圖像處理演算法可接收由整合式線掃描攝影機檢驗系統收集的RGB圖像，且以快很多的速度實現膜厚度估測。對約2000個量測點的推斷時間約為幾秒，與使用乾式計量的2小時形成對比。

**【0072】** 方法包括控制器將來自光偵測器164的個別圖像線組合為二維彩色圖像(500)。控制器可對每一彩色通道中的圖像的強度值施加偏移及/或增益調整(510)。每一彩色通道可具有不同的偏移及/或增益。可視情況對圖像進行歸一化(515)。舉例而言，可計算所量測圖像與標準預定義圖像之間的差。舉例而言，控制器可儲存紅、綠及藍色

通道中之每一者的背景圖像，可自每一彩色通道的所量測圖像減去背景圖像。替代地，標準預定義圖像可分割所量測圖像。可對圖像進行濾波以去除低頻空間變化(530)。在一些實施方式中，使用亮度通道產生濾波器，隨後將濾波器應用於紅色、綠色及藍色圖像。

**【0073】** 將圖像轉換(例如調整大小及/或旋轉及/或平移)至標準圖像坐標系(540)。舉例而言，可平移圖像使得晶粒中心位於圖像的中心點，及/或可調整圖像的大小使得基板的邊緣在圖像的邊緣處，及/或可旋轉圖像使得圖像的x軸與連接基板中心及基板定向特徵的徑向段之間為 $0^\circ$ 角。

**【0074】** 選擇基板上的一或多個區域，對於每一所選擇的區域產生一圖像(550)。可使用上文所描述的技術執行此步驟，例如區域可為預定區域，或藉由演算法自動確定提供區域208的部分。

**【0075】** 將由圖像的每一像素的每一彩色通道提供的強度值視為用作受監控的深度學習訓練的圖像處理演算法的輸入。圖像處理演算法輸出特定區域的層厚度量測結果(560)。

**【0076】** 在小晶粒測試圖案化基板上訓練且驗證各個深度模型架構，目標是減少量測結果中的誤差。考慮下置層特性的模型具有較小的誤差。另外，藉由用在一個工具上收集的資料訓練模型並將其用於推斷來自其他工具的資料，來執行初步的工具至工具的匹配驗證。可將結果與訓練來自同一工具的資料且用其推斷相比。

**【0077】** 總體而言，可使用資料控制CMP裝置的一或多個操作參數。操作參數包括例如平臺旋轉速度、基板旋轉速度、基板研磨路徑、平臺上的基板速度、施加於基板上的壓力、漿料組成、漿料流動速率及基板表面的溫度。可即時控制操作參數，且可在無需另外人為干預的情況下自動調整操作參數。

**【0078】** 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的各個階段，例如基板可為裸晶圓，或其可包括一或多個沉積及/或圖案化層。術語基板可包括圓盤及矩形片。

**【0079】** 然而，上文所述的彩色圖像處理技術在3D垂直NAND(VNAND)快閃記憶體的情境中可尤其有用。特定而言，VNAND製造中使用的層堆疊極其複雜，以至於當前的計量方法（例如Nova光譜分析）無法以充分的可靠性執行偵測厚度不合適的區域。相比之下，彩色圖像處理技術在此應用中可具有更高的可靠性。

**【0080】** 本發明的實施例及本說明書中描述的功能操作中之所有者可在數位電子電路系統中實施，或在電腦軟體、韌體或硬體中實施，包括本說明書中揭示的結構構件及其結構等效物或其組合。本發明的實施例可實施有一或多個電腦程式產品，亦即一或多個電腦程式，其在非暫時性機器可讀儲存媒體中有形地存在，由資料處理裝置（例如可

程式處理器、電腦或多個處理器或電腦)執行或控制資料處理裝置的操作。

**【0081】** 使用相對位置的術語表示系統組件彼此的相對位置(不一定為相對於重力);應理解可按垂直定向或一些其他定向保持研磨表面及基板。

**【0082】** 已描述若干實施方式。然而,將理解可作出各種修改。舉例而言:

- 相比於線掃描攝影機,可使用使整個基板成像的攝影機。在此情況下,不需要攝影機相對於基板的運動。

- 攝影機可覆蓋小於基板的整個寬度。在此情況下,攝影機將需要經歷兩個垂直方向的運動(例如支撐於X-Y平臺),從而掃描整個基板。

- 光源可照亮整個基板。在此情況下,光源不需要相對於基板移動。

- 光偵測器可為分光計而非彩色攝影機;可隨後將光譜資簡化成至RGB彩色空間。

- 感測組件不需要位於研磨站之間或研磨站與傳送站之間的線內系統。舉例而言,感測組件可位於傳送站內,位於盒匣介面單元中,或為獨立的系統。

- 視情況使用均勻性分析步驟。舉例而言,可將藉由應用臨界轉換產生的圖像提供至前饋過程,調整基板的後一處理步驟,或提供至回饋過程以調整後續基板的處理步驟。

**【0083】** 因此,其他實施方式在申請專利範圍的範疇內。

## 【符號說明】

### 【0084】

- 1 0 : 基板
- 1 0 0 : 研磨裝置
- 1 0 6 : 研磨站
- 1 0 8 : 托架
- 1 2 0 : 平臺
- 1 2 6 : 載體頭
- 1 2 7 : 軸
- 1 2 8 : 支撐件
- 1 3 0 : 研磨墊
- 1 3 4 : 臂
- 1 3 6 : 研磨液體
- 1 4 2 : 支撐環
- 1 4 4 : 撓性膜
- 1 4 6 a : 腔室
- 1 4 6 b : 腔室
- 1 4 6 c : 腔室
- 1 5 4 : 驅動軸
- 1 5 6 : 載體頭旋轉馬達
- 1 6 0 : 光學計量系統
- 1 6 1 : 感測器組件
- 1 6 2 : 光源
- 1 6 4 : 光偵測器

- 166: 電路系統
- 168: 光
- 170: 擴散器
- 172: 光學器件
- 174: 偏振濾光器
- 180: 平臺
- 182: 線掃描攝影機
- 184: 軌道
- 190: 控制器
- 192: 中央處理單元
- 194: 記憶體
- 196: 支援電路
- 202: 圖像
- 204: 彩色圖像
- 206: 晶粒
- 208: 區域
- 210: 記錄
- 212: 校準圖像
- 214: 地面真實厚度量測結果
- 218: 資料集
- 220: 資料庫
- 320: 神經網路
- 322: 輸入節點
- 322a: 節點

3 2 4 : 隱 藏 節 點

3 2 6 : 輸 出 節 點

3 3 0 : 製 程 控 制 模 組

5 0 0 : 二 維 彩 色 圖 像

**【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】 一種非暫時性電腦可讀媒體，該非暫時性電腦可讀媒體編碼有一電腦程式產品，該電腦程式產品包括指令以使一或多個處理器：

在複數個位置獲得一校準基板的一頂層的地面真實殘留物量測結果，每一位置為在該基板上製造的一晶粒的一定義位置；

獲取該校準基板的複數個彩色圖像，每一彩色圖像對應於在該基板上製造的一晶粒的一區域；及

訓練一神經網路，以將晶粒區域的彩色圖像自一線內基板成像器轉換為該晶粒區域中的該頂層的殘留物量測結果，其中訓練該神經網路的該等指令包括使用訓練資料的指令，該訓練資料包括該複數個彩色圖像及地面真實殘留物量測結果，每一各別彩色圖像與和該各別彩色圖像相關聯的該晶粒區域的一地面真實殘留物量測結果成對。

【請求項 2】 如請求項 1 所述之電腦可讀媒體，其中獲取該複數個彩色圖像的該等指令包括自該線內基板成像器接收該校準基板的一掃描的指令。

【請求項 3】 如請求項 1 所述之電腦可讀媒體，其中獲取該複數個彩色圖像的該等指令包括接收該校準基板的一彩色圖像且基於一晶粒遮罩將該彩色圖像分割為該複數個彩色圖像的指令。

【請求項 4】 如請求項 1 所述之電腦可讀媒體，包含獲取

複數個校準基板的頂層的地面真實殘留物量測結果且獲取該等校準基板中之每一者的複數個彩色圖像的指令。

【請求項5】 如請求項1所述之電腦可讀媒體，其中獲取該等地面真實殘留物量測結果的該等指令包含在該複數個位置中之每一者接收一殘留物量測結果的指令。

【請求項6】 如請求項1所述之電腦可讀媒體，其中該定義位置為該晶粒的一中心。

【請求項7】 如請求項1所述之電腦可讀媒體，包含自一基板中的所有晶粒獲取量測結果的指令。

【請求項8】 如請求項1所述之電腦可讀媒體，包含在化學機械平面化之前及之後自一批中的所有基板獲取量測結果的指令。

【請求項9】 一種訓練一神經網路以用於一基板殘留物量測系統的方法，包含以下步驟：

在複數個位置獲得一校準基板的一頂層的地面真實殘留物量測結果，每一位置為在該基板上製造的一晶粒的一定義位置；

獲取該校準基板的複數個彩色圖像，每一彩色圖像對應於在該基板上製造的一晶粒的一區域；及

訓練一神經網路，以將晶粒區域的彩色圖像自一線內基板成像器轉換為該晶粒區域中的該頂層的殘留物量測結果，使用訓練資料執行該訓練，該訓練資料包括該複數個彩色圖像及地面真實殘留物量測結果，每一各別彩色圖像與和該各別彩色圖像相關聯的該晶粒區域的一地

面真實殘留物量測結果成對。

**【請求項 10】** 一種電腦程式產品，包含一非暫時性電腦可讀媒體，該非暫時性電腦可讀媒體編碼有指令以使一或多個處理器：

自一研磨系統的一線內監測站接收一第一基板的一第一彩色圖像；

使用一晶粒遮罩將該第一彩色圖像分割為複數個第二彩色圖像，以使得每一第二彩色圖像對應於在該第一基板上製造的一晶粒的一區域；

產生一或多個位置的殘留物量測結果，該一或多個位置中之每一各別位置對應於在該第一基板上製造的一晶粒的一各別區域，其中產生一區域的該殘留物量測結果的該等指令包括指令以藉由使用訓練資料訓練的一神經網路處理對應於該區域的一第二彩色圖像，該訓練資料包括一校準基板的晶粒的複數個第三彩色圖像及該校準基板的地面真實殘留物量測結果，每一各別第三彩色圖像與和該各別第三彩色圖像相關聯的一晶粒區域的一地面真實殘留物量測結果成對；及

基於該等殘留物量測結果確定該第一基板或一後續第二基板的一研磨參數的一值。

**【請求項 11】** 如請求項 10 所述之電腦程式產品，包含在一研磨站研磨該第一基板之後接收該第一基板的該第一彩色圖像的指令。

**【請求項 12】** 如請求項 11 所述之電腦程式產品，包含基

於該等殘留物量測結果確定該後續第二基板的該研磨站的該研磨參數的指令。

【請求項 13】如請求項 10 所述之電腦程式產品，包含在一研磨站研磨該第一基板之前接收該第一基板的該第一彩色圖像的指令。

【請求項 14】如請求項 13 所述之電腦程式產品，包含基於該等殘留物量測結果確定該第一基板的該研磨站的該研磨參數的指令。

【請求項 15】如請求項 10 所述之電腦程式產品，其中該研磨參數包含該載體頭中的一腔室的一壓力。

【請求項 16】一種研磨裝置，包含：

一研磨站，該研磨站包括一平臺以支撐一研磨墊，及一載體頭以將一第一基板保持相抵於該研磨墊；

一線內量測站，該線內量測站具有一彩色攝影機以產生該第一基板的一彩色圖像；及

一控制系統，該控制系統經配置以

自一研磨系統的一線內監測站接收該第一基板的一第一彩色圖像，

使用一晶粒遮罩將該第一彩色圖像分割為複數個第二彩色圖像，以使得每一第二彩色圖像對應於在該第一基板上製造的一晶粒的一區域；

產生一或多個位置的殘留物量測結果，該一或多個位置中之每一各別位置對應於在該第一基板上製造的一晶粒的一各別區域，其中產生一區域的該殘留物量

測結果的該等指令包括指令以藉由使用訓練資料訓練的一神經網路處理對應於該區域的一第二彩色圖像，該訓練資料包括一校準基板的晶粒的複數個第三彩色圖像及該校準基板的地面真實殘留物量測結果，每一各別第三彩色圖像與和該各別第三彩色圖像相關聯的一晶粒區域的一地面真實殘留物量測結果成對；及

基於該等殘留物量測結果確定該第一基板或一後續第二基板的一研磨參數的一值；

使該研磨站使用該確定的研磨參數研磨該第一基板或該後續第二基板。

【請求項 17】如請求項 16 所述之裝置，其中該研磨參數包含該載體頭中的一腔室的一壓力。

【請求項 18】如請求項 16 所述之裝置，其中該控制系統經配置以在一研磨站研磨該第一基板之後接收該第一基板的該第一彩色圖像。

【請求項 19】一種控制研磨的方法，包含以下步驟：

在一研磨系統的一線內監測站獲取一第一基板的一第一彩色圖像；

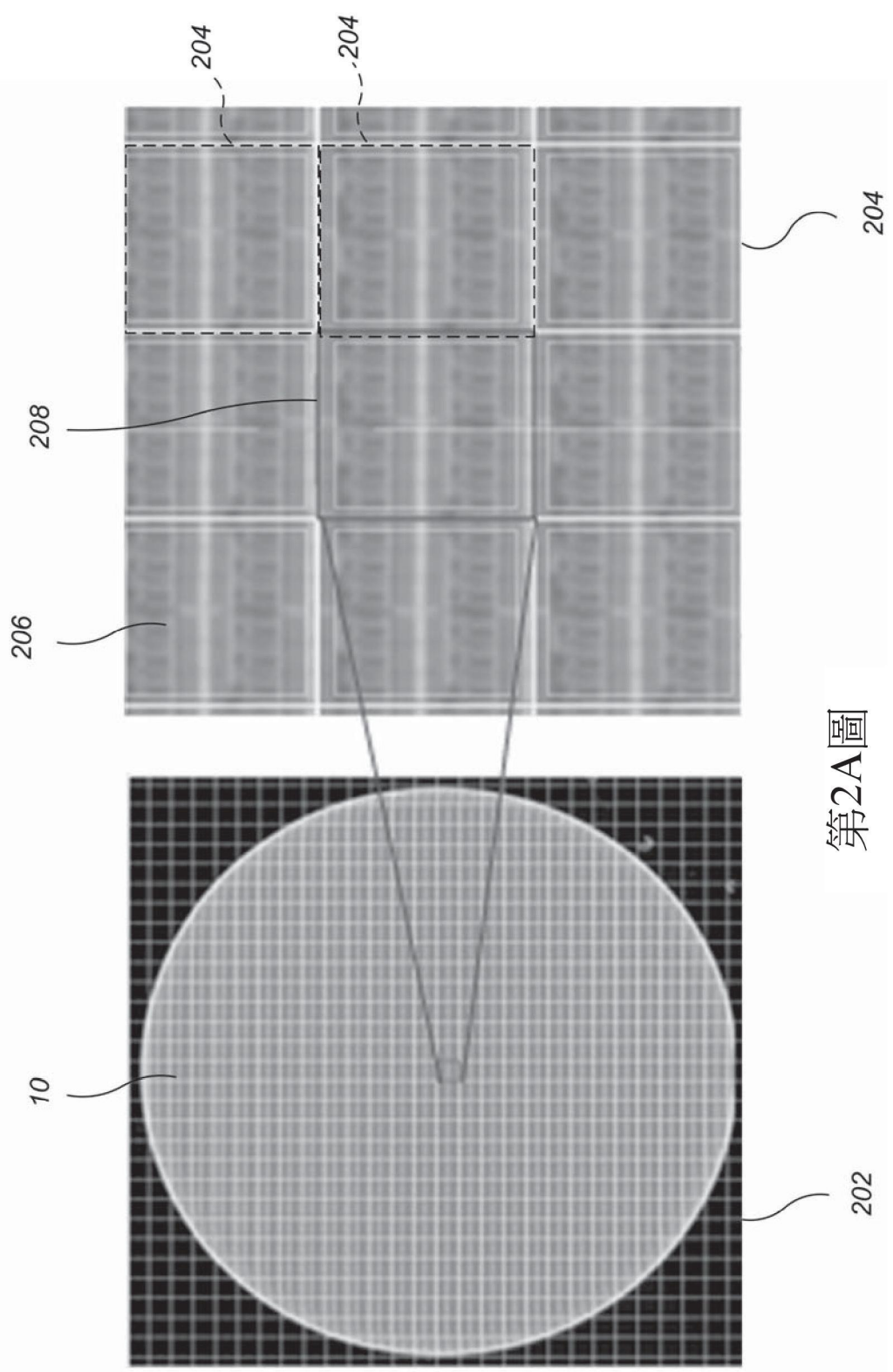
使用一晶粒遮罩將該第一彩色圖像分割為複數個第二彩色圖像，以使得每一第二彩色圖像對應於在該第一基板上製造的一晶粒的一區域；

產生一或多個位置的殘留物量測結果，該一或多個位置中之每一各別位置對應於在該第一基板上製造的一晶粒的一各別區域，其中產生一區域的一殘留物量測結果

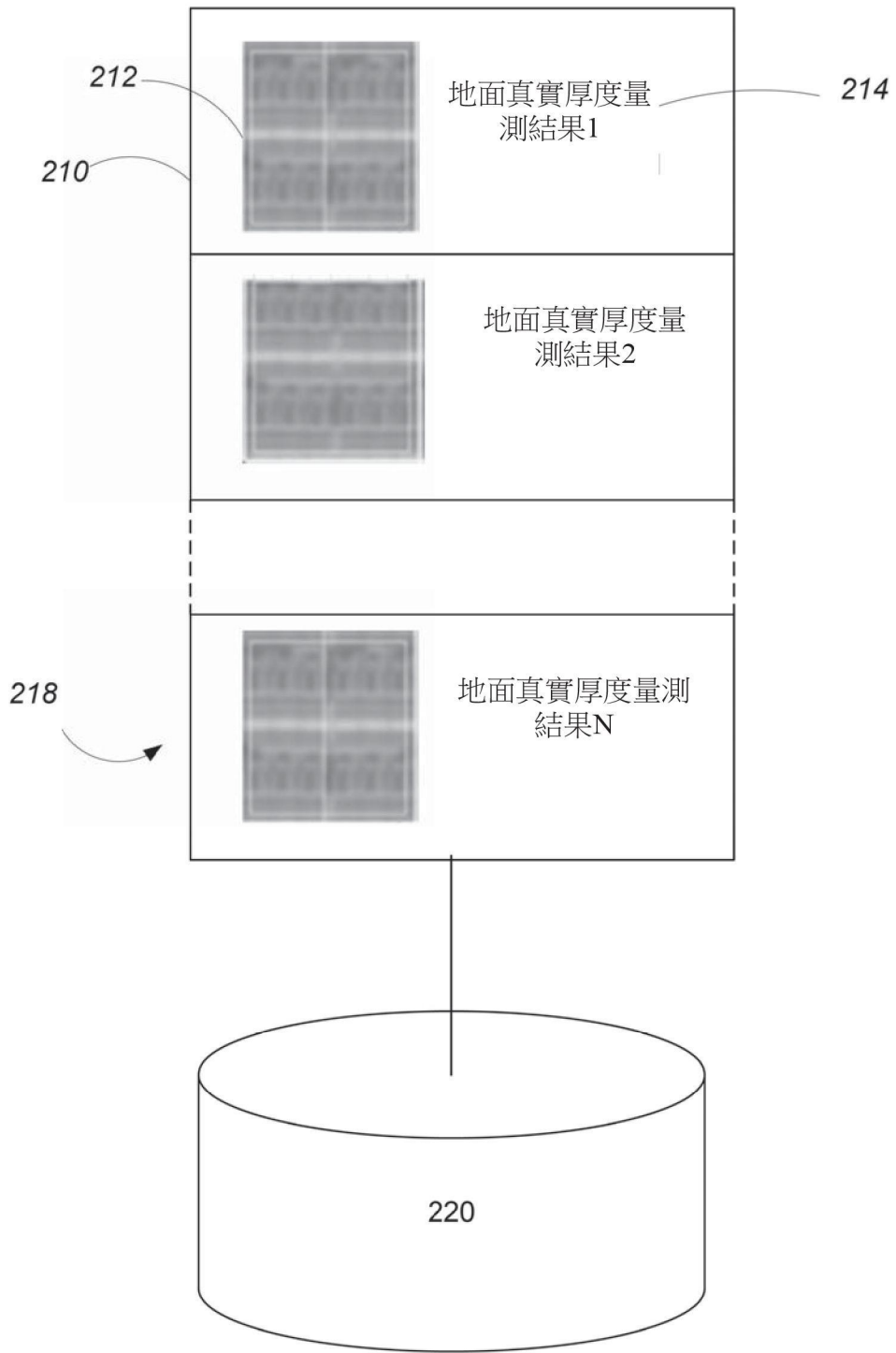
包括藉由使用訓練資料訓練的一神經網路處理對應於該區域的一第二彩色圖像，該訓練資料包括一校準基板的晶粒的複數個第三彩色圖像及該校準基板的地面真實殘留物量測結果，每一各別第三彩色圖像與和該各別第三彩色圖像相關聯的一晶粒區域的一地面真實殘留物量測結果成對；及

基於該等殘留物量測結果確定該第一基板或一後續第二基板的一研磨參數的一值。

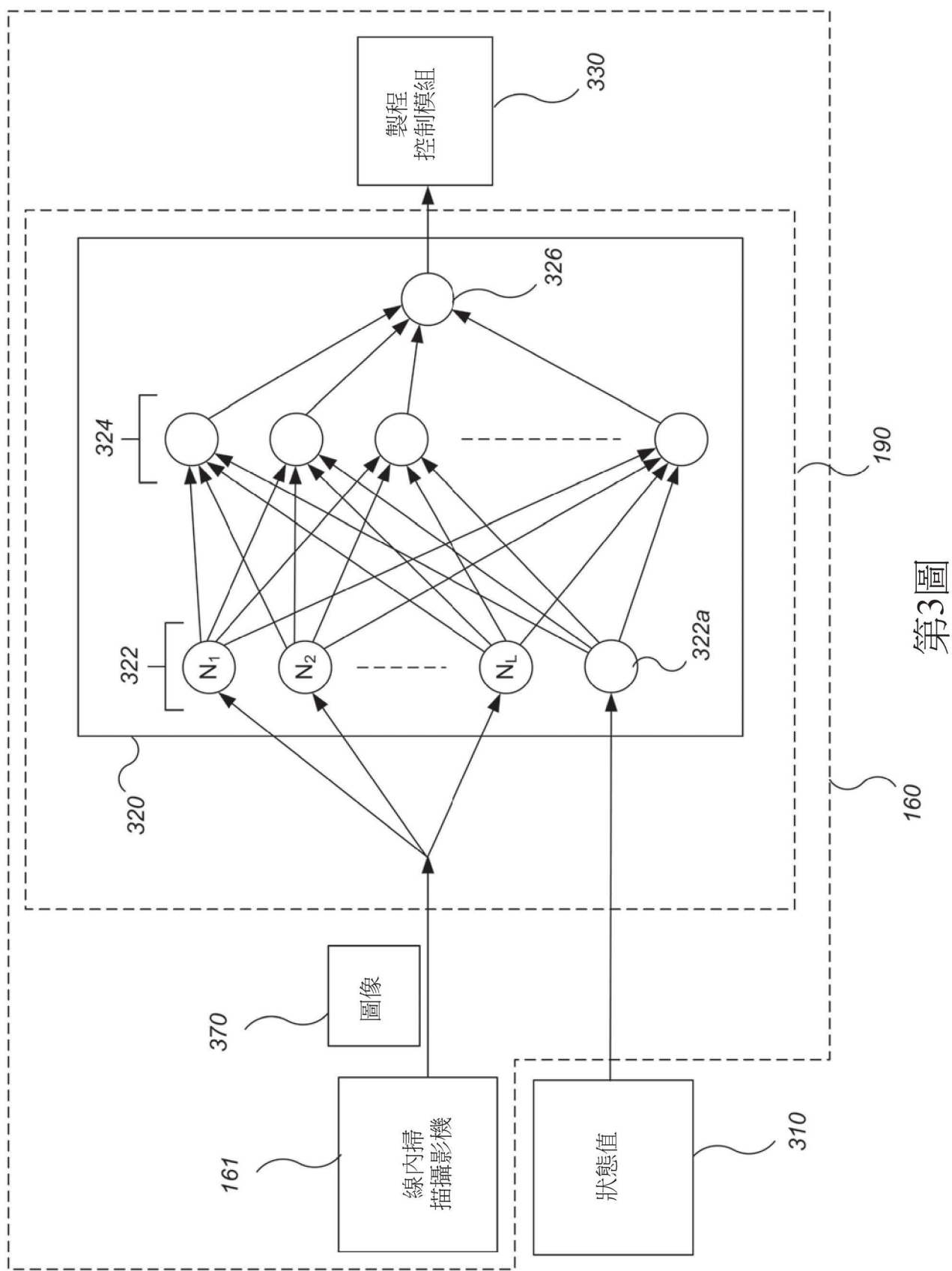




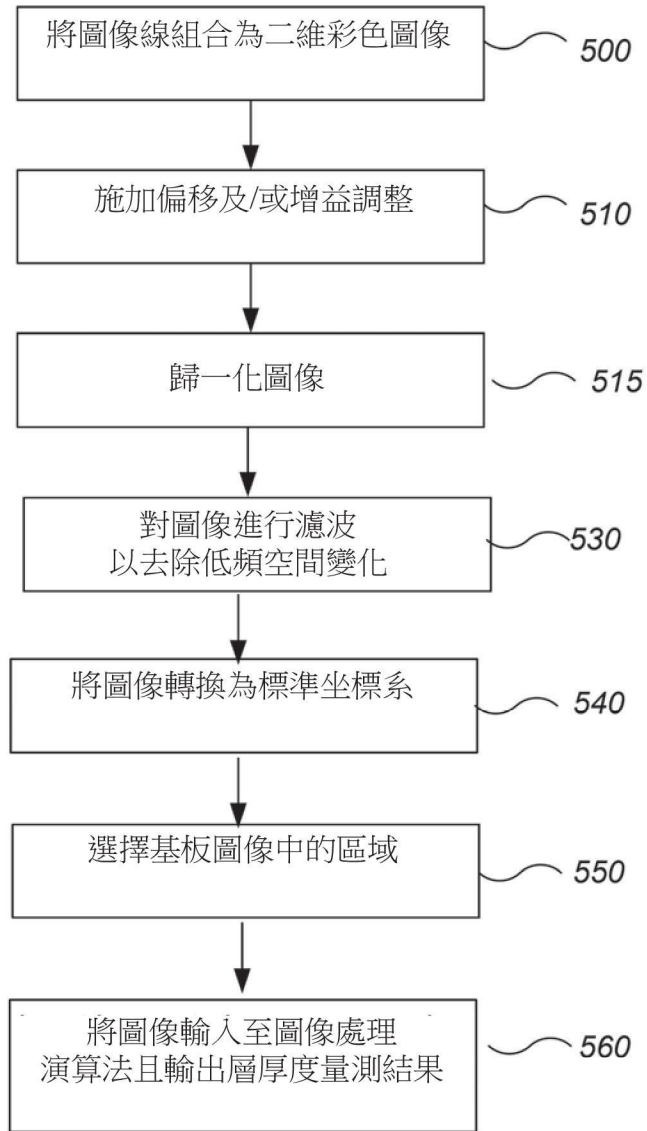
第2A圖



第2B圖



第3圖



第4圖