



(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 I542866 B

(45)公告日：中華民國 105 (2016) 年 07 月 21 日

(21)申請案號：103124289

(22)申請日：中華民國 102 (2013) 年 02 月 01 日

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

G01B9/04 (2006.01)

G01B21/30 (2006.01)

(30)優先權：2012/02/02 美國

13/365,238

(71)申請人：應用材料以色列公司 (以色列) APPLIED MATERIALS ISRAEL, LTD. (IL)
以色列(72)發明人：崔瓦茲班德伊薛 SCHWARZBAND, ISHAI (IL)；衛柏格葉可夫 WEINBERG,
YAKOV (IL)

(74)代理人：蔡坤財；李世章

(56)參考文獻：

TW 201132968A

US 2008/0251868A1

F Marinello, P Bariani, E Savio, A Horsewell, and L De Chiffre,
"Critical factors in SEM 3D stereo microscopy," Measurement
Science and Technology, Vol. 19, 065705, 19 May, 2008.

審查人員：盧贊文

申請專利範圍項數：18 項 圖式數：8 共 44 頁

(54)名稱

用於使用掃描式電子顯微鏡圖像之三維映射之方法、設備及電腦軟體產品

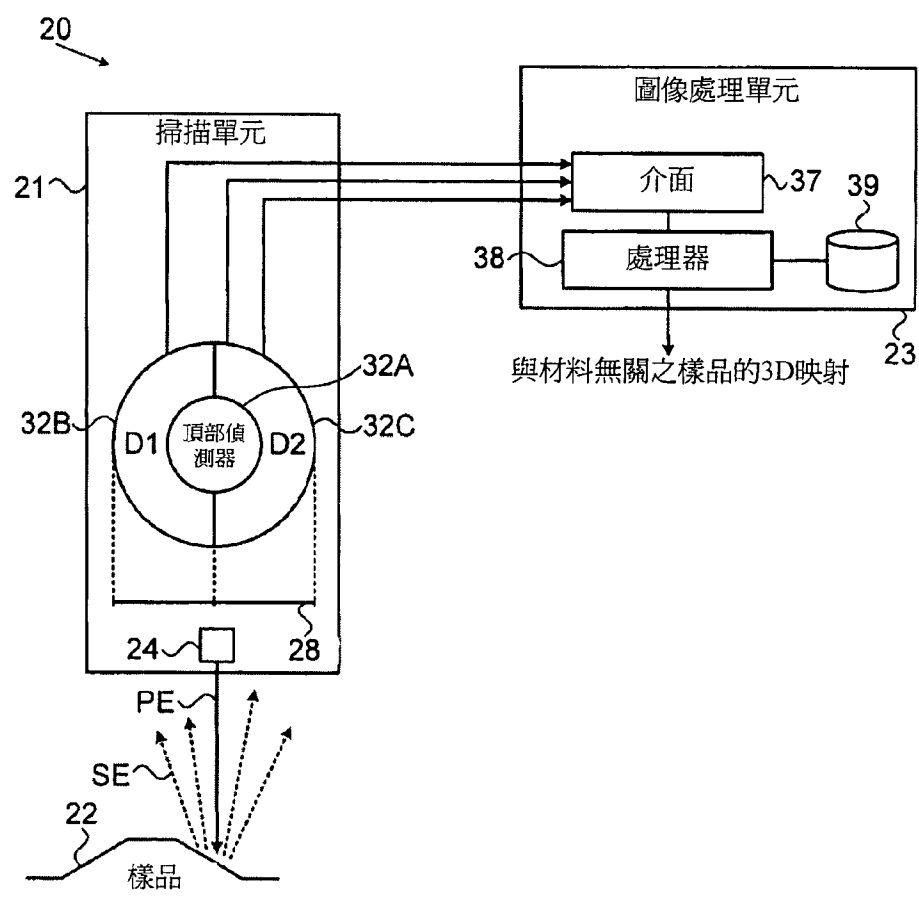
METHOD, APPARATUS, AND COMPUTER SOFTWARE PRODUCT FOR THREE-DIMENSIONAL
MAPPING USING SCANNING ELECTRON MICROSCOPE IMAGES

(57)摘要

本發明提供一種方法，該方法包括使用主要電子束照射樣品之表面，該表面係由多種類型之材料製成。使用多個偵測器偵測自該經照射樣品發射出之經發射電子，以便產生個別偵測器輸出，該多個偵測器相對於該樣品安置在個別不同位置處。藉由對於每一材料類型識別由該材料類型製成的該表面上之一或更多個水平區域及基於在該識別水平區域處之偵測器輸出中之至少一者計算材料類型之校準因數，計算校準因數以補償在該等類型之材料之間的經發射電子產率之變化。將校準因數應用於偵測器輸出。基於應用校準因數之偵測器輸出計算該表面之三維地形模型。

A method includes irradiating a surface of a sample, which is made-up of multiple types of materials, with a beam of primary electrons. Emitted electrons emitted from the irradiated sample are detected using multiple detectors that are positioned at respective different positions relative to the sample, so as to produce respective detector outputs. Calibration factors are computed to compensate for variations in emitted electron yield among the types of the materials, by identifying, for each material type, one or more horizontal regions on the surface that are made-up of the material type, and computing a calibration factor for the material type based on at least one of the detector outputs at the identified horizontal regions. The calibration factors are applied to the detector outputs. A three-dimensional topographical model of the surface is calculated based on the detector outputs to which the calibration factors are applied.

指定代表圖：



第1圖

符號簡單說明：

- 20 . . . 掃描式電子顯微鏡 (SEM) 系統、系統
- 21 . . . 掃描單元
- 22 . . . 樣品
- 23 . . . 圖像處理單元
- 24 . . . 電子源
- 28 . . . 偵測器陣列
- 32A . . . 頂部偵測器
- 32B . . . 側偵測器
- 32C . . . 側偵測器
- 37 . . . 介面
- 38 . . . 處理器
- 39 . . . 儲存裝置
- SE . . . 次級電子

發明摘要

公告本

※申請案號：103124289

※申請日：102 年 2 月 1 日

※IPC 分類：G01N 21/95 (2006.01)

原申請案號：102103929

G01B 9/04 (2006.01)

G01B 21/30 (2006.01)

【發明名稱】（中文/英文）

用於使用掃描式電子顯微鏡圖像之三維映射之方法、
設備及電腦軟體產品/ METHOD, APPARATUS, AND
COMPUTER SOFTWARE PRODUCT FOR
THREE-DIMENSIONAL MAPPING USING
SCANNING ELECTRON MICROSCOPE IMAGES

【中文】

本發明提供一種方法，該方法包括使用主要電子束照射樣品之表面，該表面係由多種類型之材料製成。使用多個偵測器偵測自該經照射樣品發射出之經發射電子，以便產生個別偵測器輸出，該多個偵測器相對於該樣品安置在個別不同位置處。藉由對於每一材料類型識別由該材料類型製成的該表面上之一或更多個水平區域及基於在經識別水平區域處之偵測器輸出中之至少一者計算材料類型之校準因數，計算校準因數以補償在該等類型之材料之間的經發射電子產率之變化。將校準因數應用於偵測器輸出。基於應用校準因數之偵測器輸出計算該表面之三維地形模型。

【英文】

A method includes irradiating a surface of a sample,

which is made-up of multiple types of materials, with a beam of primary electrons. Emitted electrons emitted from the irradiated sample are detected using multiple detectors that are positioned at respective different positions relative to the sample, so as to produce respective detector outputs. Calibration factors are computed to compensate for variations in emitted electron yield among the types of the materials, by identifying, for each material type, one or more horizontal regions on the surface that are made-up of the material type, and computing a calibration factor for the material type based on at least one of the detector outputs at the identified horizontal regions. The calibration factors are applied to the detector outputs. A three-dimensional topographical model of the surface is calculated based on the detector outputs to which the calibration factors are applied.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ 1 ）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

- 20 掃描式電子顯微鏡(SEM)系統、系統
- 21 掃描單元
- 22 樣品
- 23 圖像處理單元

24 電子源

28 偵測器陣列

32A 頂部偵測器

32B 側偵測器

32C 側偵測器

37 介面

38 處理器

39 儲存裝置

SE 次級電子

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無

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】(中文/英文)

用於使用掃描式電子顯微鏡圖像之三維映射之方法、
設備及電腦軟體產品 / METHOD, APPARATUS, AND
COMPUTER SOFTWARE PRODUCT FOR
THREE-DIMENSIONAL MAPPING USING
SCANNING ELECTRON MICROSCOPE IMAGES

【技術領域】

【0001】本發明之實施例大體而言係關於處理掃描式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope; SEM)圖像，且本發明之實施例特定言之係關於使用 SEM 圖像之三維映射的方法及系統。

【先前技術】

【0002】掃描式電子顯微鏡(SEM)圖像用於各種映射及成像應用中，諸如用於檢查半導體晶圓。已知在使用 SEM 圖像之樣品之三維(three-dimensional; 3D)映射技術中的若干技術。例如，檢查半導體裝置之習知技術利用藉由 SEM 獲得之多組量測資料以決定半導體裝置之維度參數。SEM 收集來自相對於裝置之不同角度方向之每一資料集。半導體裝置之維度參數係藉由分析 SEM 檢查角度與所收集資料集之間的關係來決定。

【0003】另一習知方法包括 3D 形狀量測，在該 3D 形狀

量測中，來自個別半導體元件之偵測訊號與樣品上之電子束的掃描訊框同步按順序切換。來自個別半導體元件之偵測訊號可按順序記錄於訊框記憶體中的記錄位址中，該等記錄位址對應於個別半導體元件。在四個電子束掃描會話之後，將用於 3D 形狀量測之每一圖像資料記錄於訊框記憶體中，且處理該每一圖像資料用於 3D 形狀量測。

【0004】作為再一實例，Marinello 等人在 2008 年第 6 期、第 19 卷之《量測科學與技術 (Measurement Science and Technology)》之「Critical Factors in SEM 3D Stereo Microscopy」中描述以使用經由立體攝影測量之表面地形之 3D 重建的 SEM 進行之維度量測，該內容以引用之方式併入本文。

【0005】一些習知 SEM 映射技術使用多個偵測器。例如，Harada 等人在 2010 年之 Photomask Japan（出版於 2011 年 2 月之 BACUS News 27:2 中）之「A New CDSEM Metrology Method for Thin Film Hardmasks Patterns using Multiple Detectors」中描述多偵測器 SEM 量測。

【發明內容】

【0006】本發明提供一種方法，該方法包括用主要電子束照射樣品之表面，該表面係由多種類型之材料製成。使用多個偵測器偵測自經照射樣品發射出之經發射電子，以便產生個別偵測器輸出，該多個偵測器相對於該樣品安置在個別不同位置處。藉由對於每一材料類型識別由該材料類型製成的表面上之一或更多個水平區域及基於在經識別水平區域處之

偵測器輸出中之至少一者計算材料類型之校準因數，計算校準因數以補償在該等類型之材料之間的經發射電子產率之變化。將校準因數應用於偵測器輸出。基於應用校準因數之偵測器輸出計算表面之三維地形模型。

【0007】 在一些實施例中，偵測器包括頂部偵測器及兩個或兩個以上側偵測器，該頂部偵測器垂直地安置在樣品之一平面之上，該等側偵測器相對於樣品之平面以傾斜角度安置。在一實施例中，識別水平區域包括：將表面分割成由個別類型之材料製成的多個區段，及識別在該等區段中之每一區段內的水平區域中之一或更多者。

【0008】 在一個實施例中，計算三維地形模型包括：估計在表面上之多個點處之高度梯度，及積分該等高度梯度以產生三維地形模型。估計該等高度梯度可包括：對於在表面上之給定點，定義將偵測器輸出表示為個別反射函數之函數之一組方程式，及藉由求解該組方程式得出在給定點處之高度梯度。在一實施例中，該方法包括：藉由將經發射電子產率之角度分佈積分在藉由該給定偵測器擷取之一角度範圍內，評估給定偵測器之反射函數。估計高度梯度可包括：藉由應用一準則來解決高度梯度之分量中之含糊性，該準則要求使在該表面上之閉環路徑上的高度梯度積分為零。

【0009】 在一些實施例中，應用校準因數包括：使用對於材料類型計算之校準因數使給定偵測器之反射函數正規化，在由該材料類型製成的表面上之一點處估計該反射函數。在一實施例中，偵測器包括頂部偵測器及四個側偵測器，該頂

部偵測器垂直地安置在該樣品之平面之上，該等側偵測器相對於樣品之平面以傾斜角度安置，偵測該等經發射電子包括組合經選擇之側偵測器對之偵測器輸出；且計算三維地形模型包括基於經組合偵測器輸出計算該模型。

【0010】根據本發明之實施例，另外提供了一設備，該設備包括電子源、多個偵測器及處理器。電子源經設置以使用主要電子束照射樣品之表面，該表面係由多種類型之材料製成。偵測器相對於樣品安置在個別不同位置處，且經設置以偵測自經照射之樣品發射出的經發射電子，以便產生個別偵測器輸出。處理器經設置以藉由對於每一材料類型識別在由該材料類型製成之表面上之一或更多個水平區域及基於在經識別水平區域處之偵測器輸出中之至少一者計算該材料類型之校準因數，計算校準因數以補償在該等類型之材料之間的經發射電子產率之變化；該處理器經設置以將校準因數應用於偵測器輸出；並且該處理器經設置以基於應用校準因數之偵測器輸出計算表面之三維地形模型。

【0011】根據本發明之實施例，亦提供了包括介面及處理器之設備。該介面經設置以自相對於一樣品安置在個別不同位置處之個別偵測器接收多個偵測器輸出，該樣品係由多種類型之材料製成，其中該等偵測器輸出指示回應於藉由主要電子束對樣品之照射自該樣品發射出的經發射電子。處理器經設置以藉由對於每一材料類型識別在由該材料類型製成之表面上之一或更多個水平區域及基於在經識別水平區域處之偵測器輸出中之至少一者計算該材料類型之校準因數來計算

校準因數以補償在該等類型之材料之間的經發射電子產率之變化；該處理器經設置以將校準因數應用於偵測器輸出；並且該處理器經設置以基於應用校準因數之偵測器輸出計算表面之三維地形模型。

【0012】根據本發明之實施例，進一步提供一種電腦軟體產品，該產品包括有形非暫態電腦可讀媒體，在該有形非暫態電腦可讀媒體中儲存程式指令，該等程式指令在由電腦讀取時，引起電腦接收來自相對於一樣品安置在個別不同位置處之個別偵測器的多個偵測器輸出，該樣品係由多種類型之材料製成，其中該等偵測器輸出指示回應於藉由主要電子束對樣品之照射自該樣品發射出之經發射電子；引起電腦藉由對於每一材料類型識別由該材料類型製成之表面上之一或更多個水平區域及基於在該等經識別水平區域處之偵測器輸出中之至少一者計算材料類型之校準因數，來計算校準因數以補償在該等類型之材料之間的經發射電子產率之變化；引起電腦將校準因數應用於偵測器輸出；且引起電腦基於應用校準因數之該等偵測器輸出來計算表面之三維地形模型。

【圖式簡單說明】

【0013】將自本發明實施例之以下詳細描述與附圖一起更加充分地理解本發明，在該等附圖中：

【0014】第1圖為示意地圖示根據本發明之實施例之用於樣品的三維(3D)映射之系統之方塊圖；

【0015】第2圖為示意地圖示根據本發明之替代實施例之偵測器陣列的示圖；

【0016】 第 3 圖及第 4 圖為圖示用於描述本發明之實施例之幾何約束的示圖；

【0017】 第 5 圖為圖示根據本發明之實施例用於計算高度梯度映射之函數的圖形；及

【0018】 第 6 圖及第 7 圖為示意地圖示根據本發明之實施例之用於樣品的 3D 映射之方法之流程圖。

【0019】 第 8 圖為圖示根據一實施例之電腦系統之一實施例的方塊圖。

【實施方式】

概覽

【0020】 本發明之實施例提供用於計算藉由多個偵測器擷取之來自樣品之多個掃描式電子顯微鏡(SEM)圖像的樣品表面之三維(3D)地形模型之方法及系統。特定言之，所揭示之校準製程在樣品表面係由多個類型之材料製成時防止 3D 模型之失真。

【0021】 在一些實施例中，用主要電子束照射樣品。相對於樣品安置在不同位置處之多個偵測器偵測自經照射樣品發射出之次級電子及背向散射電子。例如，偵測器可包含直接安置於樣品之上的頂部偵測器，加上兩個或兩個以上側偵測器。

【0022】 每一偵測器產生個別偵測器輸出，該偵測器輸出指示藉由偵測器擷取之次級電子之產率。處理器藉由處理多個偵測器輸出來重建樣品之 3D 地形模型。通常，處理器估計橫跨樣品之表面高度梯度，且處理器隨後積分該等梯度以產

生 3D 地形模型。

【0023】在許多實際應用中，樣品表面係由多個類型之材料製成。除非考慮到，否則材料類型之差異可能使 3D 重建失真，因為特定方向上之次級電子之產率不僅取決於表面地形，而且取決於該表面地形之材料成分。

【0024】在一實施例中，處理器計算校準因數以補償不同材料類型之間的次級電子產率之變化。處理器在計算表面之 3D 地形模型時將校準因數應用於偵測器輸出。在示例性實施例中，對於每一材料類型，處理器識別實質上水平之表面之一或更多個區域。處理器對在水平區域處之不同材料類型進行參考產率量測，且處理器使用該等量測計算校準因數。隨後，處理器將該等校準因數應用於偵測器之輸出，該等輸出在樣品之其他區域中產生。因此，3D 地形模型不受樣品表面之不同材料類型影響。

【0025】不管可存在於樣品表面上之各種材料類型如何，本文所述之方法及系統皆產生樣品之高度精確 3D 模型。揭示之技術可用於檢查具有多種材料之樣品之各種應用中，諸如用於半導體晶圓之臨界尺寸(Critical Dimension; CD)量測、缺陷復查(Defect Review; DR)及自動缺陷分類(Automatic Defect Classification; ADC)中。

系統描述

【0026】第 1 圖為示意地圖示根據本發明之實施例之用於三維(3D)映射之掃描式電子顯微鏡(SEM)系統 20 之方塊圖。在本實例中，系統 20 包含掃描單元 21，掃描單元 21 由以下

各者組成，其中包括：SEM 管柱系統（未圖示）、偵測系統（未圖示）及搬運系統（未圖示），用於搬運樣品、使用 SEM 掃描樣品及偵測訊號，該等訊號指示（例如）樣品之形狀、設計、材料及其他特徵。

【0027】系統 20 進一步包含圖像處理單元 23，該圖像處理單元 23 處理藉由掃描單元 21 中之偵測器產生之數位圖像。然而，正如下文將解釋，此種劃分並非強制性的，並且系統 20 之功能可視情況在單個單元中實施或在多個單元之間分開實施。

【0028】系統 20 可用於各種應用中，諸如用於臨界尺寸 (CD) 測量、缺陷復查 (DR) 或任何其他適當應用中。在本文所述之實施例中，藉由系統 20 映射之樣品包含半導體晶圓。然而，或者，系統 20 可用於任何其他適當類型之樣品之 3D 映射，該等樣品諸如半導體遮罩及主光罩、平面顯示面板、太陽能面板及更多樣品。

【0029】系統 20 中之掃描單元 21 掃描樣品 22，該樣品 22 具有某一高度輪廓或表面地形。例如，樣品可包含圖案化半導體晶圓，在該等圖案化半導體晶圓上安置電子組件、導體及其他元件。單元 21 使用電子束照射樣品 22、偵測回應於該照射自樣品發射出之次級電子且使用該次級電子偵測以使用下文詳述之方法產生樣品表面之 3D 模型。

【0030】本實例中之單元 21 包含電子源 24，該電子源 24 用主要電子 (Primary Electrons; PE) 束照射樣品 22。通常，PE 束在任何給定時間照射樣品表面上之某一點，且光束（例如）

以光柵圖案掃描樣品。回應於 PE 之照射，次級電子(SE)自樣品上之經照射點發射出。該 SE 係以各種角度發射出且該 SE 係藉由偵測器陣列 28 偵測。

【0031】 在本實施例中，陣列 28 包含頂部偵測器 32A 及分別表示為 D1 及 D2 之兩個側偵測器 32B 及 32C。頂部偵測器垂直地安置在樣品之平面之上，而側偵測器相對於樣品平面以傾斜角度安置。在以下第 2 圖中圖示具有四個側偵測器之替代偵測器設置。在以下第 7 圖中圖示操作四個側偵測器之輸出之示例性技術。（樣品 22、電子源 24 及陣列 28 在圖中係以側視圖圖示。然而，為了清楚起見，陣列 28 中之偵測器 32A 至偵測器 32C 之設置係以俯視圖圖示。）

【0032】 每一偵測器相對於照射點在某一角度範圍中擷取 SE。在第 1 圖之實例中，頂部偵測器 32A 擷取在某一圓錐扇形之內發射出的 SE，該圓錐扇形之頂點為照射點。側偵測器 32B 及側偵測器 32C 中之每一者以個別不同角度及在能量扇形中擷取 SE。

【0033】 通常，頂部偵測器用於將樣品表面之圖像分割成具有不同材料成分之區域，如將在下文進一步解釋。與對地形對比更敏感之側偵測器不同，頂部偵測器最適合用於此任務，因為頂部偵測器對於材料對比高度敏感。與 SE 之傾斜收集不同，在 SE 之垂直收集（藉由頂部偵測器執行）中，在所收集圖像中之每一點準確地指示樣品表面之單個照射點且該每一點較不受來自照射點之圍繞物貢獻的影響。

【0034】 因此，當分析頂部偵測器之輸出時，不與圖案之

邊緣相關聯之強度差異通常指示材料成分差異。因此，所揭示之技術產生材料相關資訊且將此資訊用於產生樣品之 3D 模型，例如，高度映射。材料相關資訊係藉由處理經由頂部偵測器產生之訊號產生。當進行材料分割時，通常忽視邊緣資訊。然而，在替代實施例中，頂部偵測器亦可用於其他目的。

【0035】 在一示例性實施例中，電子源 24 包含電子槍，且偵測器 32A 至偵測器 32C 中之每一者包含閃爍器及光電倍增管(Photo-Multiplier Tube; PMT)之組合。偵測器陣列 28 安置在樣品之上（例如）120 mm 處，頂部偵測器 32A 之直徑為（例如）約 14 mm，且側偵測器 32B 及側偵測器 32C 之外徑為（例如）約 25 mm。然而，該等實施細節僅藉由舉例之方式給出。在替代實施例中，可以使用任何其他適當設置。通常，每一偵測器在由幾何形狀決定之某一個別角度及能量範圍中擷取 SE。

【0036】 每一偵測器產生一訊號，該訊號取決於在藉由偵測器擷取之角度扇形之內的次級電子之產率。隨著 PE 光束掃描樣品，每一偵測器產生一訊號，該訊號作為時間之函數取決於來自樣品上當前照射點之每一偵測器的個別角度扇形之內的 SE 產率。

【0037】 在第 1 圖之實例中，圖像處理單元 23 基於藉由偵測器 32A 至偵測器 32C 產生之訊號產生樣品 22 之表面之 3D 模型（例如，高度映射）。單元 23 包含介面 37 及處理器 38，介面 37 接收藉由偵測器產生之訊號，且處理器 38 實行

本文所述之映射方法。特定言之，處理器 38 校準由偵測器產生之訊號，以使得 3D 模型不受樣品表面之材料成分之差異的影響。儘管本文所述之實施例主要涉及具有兩個不同材料類型之樣品表面，但是所揭示之技術可用於表面係由任何所要數目之材料類型製成的映射樣品。

【0038】 在一些實施例中，單元 23 包含用於儲存偵測器輸出之數位表示、所得高度映射及/或任何其他適當資訊之儲存裝置 39。通常，處理器 38 包含通用電腦，該通用電腦以軟體程式化以實行本文所述之功能。例如，軟體可經由網路以電子形式下載至電腦；或者，替代地或另外地，可在非暫態有形媒體上提供及/或儲存軟體，該媒體諸如磁性、光學或電子記憶體。

【0039】 第 2 圖為示意地圖示根據本發明之替代實施例之偵測器陣列的示圖。在本實例中，陣列包含頂部偵測器及表示為 D1 至 D4 之四象限側偵測器。可使用第 2 圖之陣列代替系統 20 中之陣列 28。進一步替代地，系統 20 可包含以任何其他適當幾何設置佈置之任何其他適當數目之偵測器。在以下第 7 圖中描述操作偵測器 D1 至偵測器 D4 之輸出之示例性方法。

【0040】 上文第 1 圖之系統設置為示例性設置。在替代實施例中，系統 20 可以任何其他適當設置實施。例如，所揭示之實施例涉及具有兩個或四個側偵測器之設置。然而，所揭示之技術並不限於該等設置，且替代實施例可使用任何其他適當數目之側偵測器。

【0041】作為另一實例，所揭示之技術可「在工具上 (on-tool)」執行，亦即藉由系統 20 之圖像處理單元 23 執行。在該等實施例中，處理器 38 有可能與系統 20 之其他圖像處理功能一起實行所揭示之映射技術。在替代實施例中，所揭示之技術可藉由單獨、專用的系統或處理器實行。為了清楚起見，已自圖中省略不是理解所揭示技術所必需的系統元件。

幾何約束

【0042】第 3 圖為圖示用於隨後描述中之幾何約束的示圖。本文使用之特定幾何記號決不用於限制，且本文使用之特定幾何記號僅為使概念清晰。

【0043】在相對於 x 軸、 y 軸及 z 軸之某一平面中安置樣品 22。向量 n 標記對此平面之法線。換言之，向量 n 垂直於樣品 22。樣品相對於 X - Y 平面之傾斜，亦即在 n 與 Z 軸之間的角度，表示為 θ 。坐標系之原點 ($x=y=z=0$) 標記一點，在該點處，在給定時間用 PE 光束照射樣品。光束沿著 Z 軸自上而下照射樣品。

【0044】作為照射之結果，SE 在各個方向自樣品發射出。通常根據 $y=y(\cos(\theta))$ ，SE 之產率 y 取決於傾斜角 θ 。表示為 v 之 SE 之速度向量係通常根據朗伯定律（亦即 $p \propto \cos(\varphi)$ ）來分佈，其中 φ 表示在 v 與 n 之間的角度。

基於多個偵測器訊號之高度輪廓之 3D 重建

【0045】令 H 表示樣品 22 之高度輪廓，亦即，晶圓表面之高度作為晶圓上之位置之函數。藉由表示為 E_i 之第 i 個偵測器產生之訊號位準取決於高度輪廓之梯度，且取決於在偵

測器與照射點之間的相對方向。吾人可以寫下：

$$[1] \quad E_i = k_i \cdot Y_0 \cdot R_i(\bar{g}, \{\bar{d}_1, \bar{d}_2, \dots\})$$

其中 $\bar{g}$ 表示高度輪廓 $\bar{g} = \nabla H$ 之梯度，且 $\bar{d}_i$ 表示自照射點至第 i 個偵測器之向量。 R_i 表示反射函數， Y_0 表示來自水平表面之總 SE 產率，且 k 表示機器相關常數。

【0046】對於兩側偵測器之情況，對於給定照射點藉由偵測器產生之訊號可寫為：

$$[2] \quad E_1 = E_1(\bar{g}, \bar{d}_1, \bar{d}_2), \quad E_2 = E_2(\bar{g}, \bar{d}_1, \bar{d}_2)$$

【0047】一旦量測值 E_1 及量測值 E_2 自偵測器可得，就可求解該方程式系統以得出在照射點處之高度梯度 $\bar{g}$ 之兩個分量。對於不同數目之偵測器，可以定義且求解類似方程式系統。

【0048】在一些實施例中，處理器 38 自偵測器接受量測訊號位準 E_i ，且處理器 38 求解方程式系統[2]以得出高度梯度 $\bar{g}$ 。系統 20 對樣品 22 上之多個照射點重複此過程，以便產生樣品之高度梯度映射。隨後，處理器 38 藉由實施任何適當重建方法來根據高度梯度映射重建樣品之高度輪廓 H 。通常，處理器 38 藉由將高度梯度映射積分在兩個維度中來重建高度輪廓。

【0049】第 i 個偵測器之反射函數 R_i 可寫為：

$$[3] \quad R_i(\bar{g}, \bar{d}) = y(|\bar{g}|) \cdot \eta_i(\bar{g}, \bar{d}_1, \bar{d}_2)$$

其中 y 表示總相對 SE 產率，且 η_i 表示藉由第 i 個偵測器擷取之 SE 之一小部分。在方程式[3]中之項 $y(|\bar{g}|)$ 對所有偵測器共用。項 $\eta_i(\bar{g}, \bar{d}_1, \bar{d}_2)$ 表示在不同偵測器之間所擷取之 SE 的相對

分佈。

【0050】在各種實施例中，處理器 38 可使用 y 對 θ 之依賴之各種已知模型。在一示例性實施例中，處理器 38 使用反余弦依賴，亦即 $y = \frac{1}{\cos\theta}$ 。在另一實施例中，處理器 38 使用依賴 $y = (\cos\theta)^{-\alpha}$ 。在再一實施例中，處理器 38 使用依賴 $y = \frac{\xi - \cos\theta}{[1 + (\xi - 2) \cdot \cos\theta]}$ 。此外，處理器 38 可使用 y 對 θ 之任何其他適當依賴。因為 $y = y(\cos(\theta))$ ，所以項 $y(g)$ 可寫為 $y(g) = y(\sqrt{1 + |g|^2})$ 。

【0051】在一些實施例中，處理器 38 藉由將朗伯分佈函數在藉由第 i 個偵測器擷取之角度扇形上（以 ϕ/ψ 極坐標）積分來計算方程式[3]之反射函數中之每一 η_i 項。

【0052】第 4 圖為圖示根據本發明之示例性實施例用於積分朗伯分佈函數之幾何記號之示圖。在此表示中，平面 44 通過原點（照射點）且平面 44 相對於偵測器 D1 及偵測器 D2 對稱地安置。換言之，平面 44 通過原點且平面 44 與連接偵測器 D1 及偵測器 D2 之接線垂直。落在平面 44 之與偵測器 D1 相同側上之子空間標記為 Ω_1 ，且落在平面 44 之與 D2 相同側上之子空間標記為 Ω_2 。

【0053】輪廓線 40 標記朗伯，朗伯表示次級電子產率之空間分佈。輪廓線 52 標記朗伯 40 與平面 44 之相交。角度 2ω 表示藉由頂部偵測器 32A 擷取之圓錐扇形之頂角，亦即，系統 20 之固定物理性質。輪廓線 48 標記圓頂，該圓頂係藉由此圓錐扇形與朗伯 40 之相交界定。落在平面 44 之 D1 側上之

圓頂 48 的一部分表示為 T1，且落在平面 44 之 D2 側上之圓頂 48 的一部分表示為 T2。

【0054】如自該等定義可見，將朗伯分佈函數在圓頂上（亦即，在輪廓線 48 之內部體積上）積分給出了藉由頂部偵測器擷取之次級電子產率。因此，可將 η_1 及 η_2 寫為：

$$\begin{aligned} [4] \quad \eta_1 &= \iint_{\Omega_1 - T_1} \sin\varphi \cos\varphi \cdot d\varphi d\psi \\ \eta_2 &= \iint_{\Omega_2 - T_2} \sin\varphi \cos\varphi \cdot d\varphi d\psi \end{aligned}$$

【0055】通常，處理器 38 以數字計算方程式[4]之積分，因為通常沒有該等積分之閉合形式表達式。在已計算了上述方程式[3]之反射函數 R_i 後，處理器 38 可求解方程式[3]以得出高度梯度映射 $\bar{g}$ 。

考慮到表面材料之 3D 映射之校準

【0056】到目前為止，上述過程不考慮橫跨樣品 22 之表面之材料成分的差異。然而，在許多實際情況中，樣品 22 之表面包含由不同材料製成的不同特徵或結構。例如，表面之一些區域可包含諸如矽之基板材料，而其他區域可包含金屬導體、其他半導體材料或任何其他適當材料。

【0057】可瞭解，在特定方向上之次級電子之產率取決於高度梯度及在照射點處之材料成分兩者。因此，藉由系統 20 之偵測器產生之訊號 E_i 亦取決於該等兩個因數。除非考慮到材料成分中之差異，否則會使高度梯度映射 $\bar{g}$ 之估計失真，且因此使藉由系統 20 計算之樣品之 3D 模型失真。

【0058】在本發明之一些實施例中，處理器 38 實行校準

製程，該校準製程提取出樣品表面之材料成分之因數。所揭示之校準製程在影響 SE 產率之兩個因數-表面地形及表面材料之間進行區分。當使用此校準製程時，所得樣品 22 之 3D 模型實質上不受材料成分差異之影響，且因此較佳地再現樣品表面地形。

【0059】藉由第 i 個偵測器產生之訊號 E_i 係藉由上述方程式 [1] 定義。方程式 [1] 中之項 $R_i(\bar{g}, \{\bar{d}_1, \bar{d}_2, \dots\})$ 僅取決於表面地形。然而，當樣品表面包含不同材料時，方程式 [1] 中之項 $k_i \cdot Y_0$ 為未知先驗，且因為 Y_0 取決於材料之類型，所以項 $k_i \cdot Y_0$ 可由於照射點不同而不同。

【0060】在一些實施例中，處理器 38 藉由校準對於給定照射點之反射函數 R_i 以考慮到在彼點之實際材料來解決此問題。對於完全水平之平面，吾人可寫下：

$$[5] \quad y = 1, \quad \eta_i = \eta_H$$

【0061】其中 η_H 表示自水平面擷取之 SE 之小部分-取決於偵測器幾何形狀之常數。因此，回應於照射水平面藉由第 i 個偵測器產生之訊號係藉由下式給出：

$$[6] \quad E_{iH} = k_i \cdot Y_0 \cdot \eta_H$$

【0062】處理器 38 可藉由選擇已知為水平 ($\bar{g} = 0$) 之樣品 22 上之參考照射點及量測照射此點時之偵測器訊號來獲得 E_{iH} 。已獲得 E_{iH} 後，處理器 38 可根據方程式 [6] 得出 $k_i \cdot Y_0$ 。此得出給出了在參考（水平）照射點處之特定材料之 $k_i \cdot Y_0$ 值。因此，應通常對存在於樣品表面上之每一類型之材料重複選擇圖像中之參考照射點及得出 E_{iH} 之過程。

【0063】 當以後量測給定照射點時，處理器 38 使用 E_{iH} 值將反射函數 R_i 正規化，該 E_{iH} 值適用於在給定照射點處之材料之類型：

$$[7] \quad R_i = \frac{E_i}{E_{iH}} \cdot \eta_H$$

【0064】 因為 E_i 及 E_{iH} 兩者取決於材料之類型，所以正規化 R_i 僅取決於表面地形而不取決於材料。根據正規化後之反射函數 R_i ，處理器 38 能夠得出在照射點處之高度梯度 $\bar{g}$ 。此所得出之 $\bar{g}$ 值與材料類型無關。隨後之描述解釋了根據 R_i 得出 $\bar{g}$ 之示例性方案。

【0065】 因此，在本上下文中，將不同材料類型之經量測參考 E_{iH} 值視為校準因數，處理器 38 在計算樣品表面之 3D 地形模型時將該等校準因數應用於偵測器輸出。在替代實施例中，處理器 38 可計算且應用任何其他適當類型之校準因數，該等校準因數補償不同材料之次級電子產率中之差異。

【0066】 可以表明，可將 R_i 寫為：

$$[8] \quad R_i = \gamma(|\bar{g}|) \cdot \eta_i(\gamma)$$

其中由下式定義 γ ：

$$[9] \quad \gamma \equiv \cos(\angle \bar{n}, \Delta \bar{d}) = \frac{(\bar{g} \cdot \Delta \bar{d})}{\sqrt{1 + |\bar{g}|^2}}$$

其中 $\bar{n}$ 表示在照射點處垂直（正交）於樣品表面之單位向量，且 $\Delta \bar{d}$ 表示沿著連接兩個側偵測器之接線的單位向量。項 $(\bar{g} \cdot \Delta \bar{d})$ 表示兩個向量之純量積。

【0067】 可以表明，梯度 $\bar{g}$ 係藉由下式給出：

$$[10] \quad |\bar{g}| = \gamma^{-1} \left(\frac{R_1}{V_1(r_{1z})} \right), \quad (\bar{g} \cdot \Delta \bar{d}) = F^{-1}(r_{1z}) \cdot \sqrt{1 + |\bar{g}|^2}$$

其中

$$[11] \quad r_{1z} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{\eta_1(\gamma)}{\eta_2(\gamma)} = F(\gamma) \Rightarrow \gamma = F^{-1}(r_{1z})$$

$$[12] \quad R_1 = y(|\bar{g}|) \cdot \eta_1(F^{-1}(r_{1z})) = y(|\bar{g}|) \cdot V_1(r_{1z})$$

【0068】 在一些實施例中，處理器 38 根據方程式[10]計算 $\bar{g}$ 之兩個分量。函數 F^{-1} 及函數 V_1 取決於 ω （藉由頂部偵測器擷取之圓錐扇形之頂角）。通常，處理器 38 保存該等函數之值之預定義表格，且使用該等表格以在計算 $\bar{g}$ 時評估函數。

【0069】 第 5 圖為圖示根據本發明之示例性實施例用於計算高度梯度映射之函數 F^{-1} 及函數 V_1 之曲線圖。圖式中之上圖圖示對於 ω 之各種值之函數 V_1 ，且下圖圖示對於 ω 之不同值之函數 F^{-1} 。在替代實施例中，例如，對於其他偵測器幾何形狀，可以使用任何其他適當函數。

【0070】 在一些實施例中，處理器 38 計算沿著連接兩個側偵測器 D1 及 D2 之接線之高度梯度 $\bar{g}$ 的一個分量以及垂直於此接線之該梯度之另一分量。該兩個分量分別表示為 g_d 及 $g_{d\perp}$ ，且該兩個分量係由下式給出：

$$[13] \quad g_d = (\bar{g} \cdot \Delta \vec{d}), \quad g_{d\perp} = \pm \sqrt{|\bar{g}|^2 - g_d^2}$$

【0071】 應注意，垂直梯度分量 $g_{d\perp}$ 是含糊的，亦即垂直梯度分量 $g_{d\perp}$ 具有理論上可能的兩個解。解決此含糊性之一可能方式為使用梯度函數之可積分性質。通常，梯度函數在閉環上之積分為零：

$$[14] \quad C = \oint_S (\bar{g} \cdot d\vec{s}) = 0$$

其中 S 可表示在樣品表面上之任何閉環路徑。藉由選擇具有與 g_d 平行之兩側且與 $g_{d\perp}$ 平行之兩側的矩形路徑，方程式

[14]之必要條件可寫為：

$$[15] \quad C = \int g_d \cdot dy - \int g_{d\perp} \cdot dx = 0$$

自方程式[15]，可以看出

$$[16] \quad \int g_d \cdot dy > 0 \Rightarrow g_{d\perp} > 0$$

【0072】 在一些實施例中，處理器 38 測試方程式[15]及方程式[16]之測試中之兩個假設(方程式[13]中之 $g_{d\perp}$ 的正值及負值兩者)。選擇方程式[15]之積分更接近零之假設作為 $g_{d\perp}$ 之正確值。

【0073】 當高度輪廓斜率平行於連接偵測器 D1 與偵測器 D2 之接線時，上述含糊的解測試可能無法正常運作。一種可能解決方案為安置樣品 22，以使得樣品 22 之特徵相對於連接偵測器之接線傾斜地定向。在一示例性實施例中，置放樣品以使得該樣品之軸線相對於連接偵測器之接線成 45° 角（在 X-Y 平面中）。

【0074】 在計算於樣品表面上之每一照射點處之梯度 $\bar{g}$ 的兩個分量之後，處理器 38 在兩個維度中積分梯度以重建樣品之高度映射 H。然而，實務上，經計算之梯度分量可能並不易於積分，因為該等經計算之梯度分量常常為近似的且與理想梯度函數偏離。因此，可將積分梯度之任務視為發現二維純量映射之任務，該二維純量映射之二維梯度儘可能地接近所計算之梯度。在一些實施例中，處理器 38 發現該純量映射且處理器 38 將該純量映射作為樣品之重建高度映射輸出。

【0075】 在本技術中已知用於將純量映射配適於給定梯度映射之各種方法，且任何該方法可藉由處理器 38 使用。示

例性方法係藉由 Frankot 及 Chellappa 描述於 1988 年 7 月之第 4 期、第 10 卷的《IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence》之第 439 頁至第 451 頁的"A Method for Enforcing Integrability in Shape from Shading Algorithms" 中。根據此論文，高度映射可藉由下式計算：

$$[17] \quad F_H(\omega) = \frac{-j\omega_x F_{gx} - j\omega_y F_{gy}}{\omega_x^2 + \omega_y^2}$$

其中 $F_H(\omega)$ 表示高度映射 H 之傅立葉變換，且 F_{gx} 及 F_{gy} 表示梯度分量之傅立葉變換。

【0076】 3D 映射方法描述

【0077】 第 6 圖為示意地圖示根據本發明之實施例用於藉由檢查、測量或復查系統（例如第 1 圖中所示之系統 20）實行之樣品（例如第 1 圖中所示之晶圓樣品 22）之 3D 映射的方法之流程圖。在掃描步驟 60 處，方法以系統 20 用主要電子(PE)束掃描樣品 22 開始。在掃描期間，在偵測步驟 64 處，偵測器 32A 至偵測器 32C 偵測對於在樣品表面上之每一照射點自樣品發射出的次級電子(SE)。將偵測器訊號之數位表示經由介面 37 提供至映射單元 36 之處理器 38。

【0078】 處理器 38 產生樣品之多個 SEM 圖像，每一偵測器產生一個圖像。給定偵測器之圖像包含二維值陣列，該二維值陣列指示藉由彼偵測器自樣品表面上之各照射點擷取之 SE 產率。在第 1 圖之示例性設置中，處理器 38 產生對應於偵測器 32A 至偵測器 32C（頂部偵測器加上兩個側偵測器）之三個圖像。處理器 38 使用該等圖像以計算樣品 22 之 3D 高度映射、考慮且補償製成樣品表面之材料之類型。

【0079】 在一些實施例中，在分割步驟 68 處，處理器 38 取決於表面材料將樣品表面劃分成個別區段。每一區段包含由個別材料製成之樣品表面上的點。例如，一區段可包含在由矽製成之樣品表面上之位置，且另一區段可包含在由金屬導體製成之樣品表面上之位置。處理器 38 可使用用於實行此分割之任何適當圖像處理方案。處理器可基於任何單個圖像或基於多個圖像進行分割。在一實施例中，為此目的，處理器使用頂部偵測器 32A 之圖像。

【0080】 對於每一類型之材料，在區域識別步驟 72 處，處理器 38 識別在實質上水平之樣品表面上之一或更多個區域。處理器 38 可以各種方式識別水平區域。在一示例性實施例中，除可藉由處理由偵測器產生之 SEM 圖像中的一或更多者偵測到之特徵邊緣之外，大部分樣品表面為水平的。處理器 38 可識別圖像中之一者中的邊緣，以及使用該等經識別邊緣分割圖像。處理器可基於每一區段中之經量測電子產率區分由不同材料製成的水平區域。通常，儘管並非必需，為此目的，處理器使用頂部偵測器 32A 之圖像。

【0081】 對於每一類型之材料，處理器 38 使用在此材料之水平區域中之一或更多個點來估計 E_{iH} ，如上文相對於方程式[6]所解釋。處理器儲存每一材料類型之經估計 E_{iH} 以便以後用於校準。

【0082】 對於樣品表面上之每一照射點，處理器 38 基於多個圖像中之相應圖像點計算高度映射之梯度 $\bar{g}$ 。在一些實施例中，在反射計算步驟 76 處，處理器 38 計算反射函數 R_i 且

使用預先計算之 E_{ih} 值校準該等反射函數 R_i 以便提取出材料之類型的因數。處理器 38 可藉由以下步驟計算給定照射點之反射函數：(i)識別在給定照射點處之材料之類型，及(ii)使用經識別材料類型之 E_{ih} 值正規化給定照射點之反射函數 R_i 。

【0083】隨後，在梯度計算步驟 80 處，處理器 38 根據正規化反射函數 R_i 計算梯度映射 $\bar{g}$ 。該計算可（例如）在以上方程式[8]至方程式[13]之過程之後。在此階段，處理器 38 具有樣品之梯度映射，該梯度映射不受不同材料類型影響。現在，在高度映射得出步驟 84 處，處理器 38 根據梯度映射得出樣品之高度映射 H 。該得出可（例如）在以上方程式[14]至方程式[17]之過程之後。隨後，提供高度映射作為輸出。在一些實施例中，可將高度映射呈現給使用適當圖形使用者介面(Graphical User Interface; GUI)之操作者。另外地或替代地，可將高度映射提供給另一系統或應用程式用於後續處理，例如，用於量測樣品之臨界尺寸(Critical Dimensions; CD)或用於缺陷復查(Defect Review; DR)。

【0084】本文所述之實施例涉及校準藉由多個偵測器產生之訊號以提取出製成樣品表面之多個材料之效應的因數。然而，在替代實施例中，所揭示之校準方案可應用於偵測器之任何適當直接或間接輸出，諸如應用於藉由處理器 38 自偵測器訊號產生之圖像。

【0085】第 7 圖為示意地圖示根據本發明之替代實施例之用於樣品之 3D 映射之方法的流程圖。第 7 圖之方法係結合以上第 2 圖之四個側偵測器之設置使用。在本實施例中，在配對

步驟 90 處，方法以處理器 38 選擇側偵測器對開始。通常，處理器選擇相鄰側偵測器對，例如，D1+D2 及 D3+D4。

【0086】在配對組合步驟 94 處，處理器 38 組合藉由每一對中之側偵測器產生之輸出（圖像）。在一實施例中，在重配對步驟 98 處，處理器 38 重複對不同對之側偵測器之配對及組合過程。例如，處理器 38 最初（步驟 90）可將偵測器 D1+D2 及偵測器 D3+D4 配對，且隨後處理器 38（步驟 98）可將偵測器 D1+D4 及偵測器 D2+D3 配對。

【0087】在求和步驟 102 處，處理器 38 將兩個配對操作之結果求和以形成單個合成圖像。隨後，在處理步驟 106 處，處理器 38 處理此單個圖像以產生樣品之 3D 高度映射。此處理可使用（例如）上文第 6 圖之方法。

【0088】第 8 圖圖示呈電腦系統 800 之示例性形式之機器的圖示，在該電腦系統 800 之內，可執行引起機器進行本文論述之方法中之任何一或多個方法的指令集。在替代實施例中，機器可連接（例如，網路連接）至區域網路(LAN; local area network)、內部網路、商際網路或網際網路中之其他機器。機器可以主從網路環境中之伺服器或客戶端機器之能力操作，或機器可作為同級間（或分佈式）網路環境中之對等機器操作。機器可為個人電腦(personal computer; PC)、平板 PC、視訊轉換器(set-top box; STB)、個人數位助理(Personal Digital Assistant; PDA)、蜂巢式電話、網路設備(web appliance)、伺服器、網路路由器、交換器或橋接器，或任何能夠（順序地或以其他方式）執行一組指令之機器，該組指令規定待由彼

機器採取之動作。進一步，雖然僅圖示單個機器，但是亦應採用術語「機器」以包括任何機器之集合，該機器之集合個別地或共同地執行一組（或多組）指令以進行本文論述之方法中之任何一或更多個方法。在一實施例中，電腦系統 800 可表示為運行圖像轉換器 110 之伺服器，該伺服器諸如伺服器 102。

【0089】 示例性電腦系統 800 包括處理裝置 802、主記憶體 804（例如，唯讀記憶體(ROM)、快閃記憶體、動態隨機存取記憶體(DRAM)（諸如同步 DRAM (SDRAM)或 Rambus DRAM(RDRAM)等）、靜態記憶體 806（例如，快閃記憶體、靜態隨機存取記憶體(SRAM)，等等）及資料儲存裝置 818，上述各者經由匯流排 830 彼此通信。通過本文所述之各種匯流排提供之訊號中的任一者可與其他訊號時間多工且通過一或更多個共用匯流排提供。另外，在電路元件或區塊之間的互連可圖示為匯流排或圖示為單個訊號接線。匯流排中之每一者可或者為一或更多個單個訊號接線，且單個訊號接線中之每一者可或者為匯流排。

【0090】 處理裝置 802 表示一或更多個通用處理裝置，諸如微處理器、中央處理單元，等等。更特定言之，處理裝置可為複雜指令集計算(complex instruction set computing; CISC)微處理器、精簡指令集電腦(reduced instruction set computer; RISC)微處理器、超長指令字(very long instruction word; VLIW)微處理器，或實施其他指令集之處理器或實施指令集組合之處理器。處理裝置 802 亦可為一或更多個專用處理裝置，

諸如特殊應用積體電路(application specific integrated circuit; ASIC)、現場可程式化閘陣列(field programmable gate array; FPGA)、數位訊號處理器(digital signal processor; DSP)、網路處理器，等等。處理裝置 802 經設置以執行用於進行本文論述之操作及步驟之處理邏輯 826。

【0091】電腦系統 800 可進一步包括網路介面裝置 808。電腦系統 800 亦可包括視訊顯示單元 810(例如，液晶顯示器(liquid crystal display; LCD)或陰極射線管(cathode ray tube; CRT))、字母數字輸入裝置 812(例如，鍵盤)、游標控制裝置 814(例如，滑鼠)及訊號產生裝置 816(例如，揚聲器)。

【0092】資料儲存裝置 818 可包括機器可讀儲存媒體 828，在該機器可讀儲存媒體 828 上儲存一或更多個指令集 822(例如，軟體)，該一或更多個指令集 822 實施本文所述之功能之方法中的任何一或更多個方法。指令 822 亦可在藉由電腦系統 800 執行該等指令期間完全地或至少部分地常駐於主記憶體 804 之內及/或常駐於處理裝置 802 之內；主記憶體 804 及處理裝置 802 亦構成機器可讀儲存媒體。指令 822 可進一步經由網路介面裝置 808 通過網路 820 傳輸或接收。

【0093】雖然機器可讀儲存媒體 828 在示例性實施例中圖示為單個媒體，但是應採用術語「機器可讀儲存媒體」包括儲存一或更多個指令集之單個媒體或多個媒體(例如，集中式或分散式資料庫，及/或相關聯快取記憶體及伺服器)。機器可讀媒體包括用於儲存呈機器(例如，電腦)可讀形式(例如，軟體、處理應用程式)的資訊之任何機制。機器可讀媒

體可包括但不限於：磁性儲存媒體(例如，軟碟)；光學儲存媒體(例如，緊密光碟-唯讀記憶體(Compact Disk-Read Only Memory; CD-ROM))；磁光儲存媒體；唯讀記憶體(read-only memory; ROM)；隨機存取記憶體(random-access memory; RAM)；可抹除可程式化記憶體(例如，EPROM 及 EEPROM)；快閃記憶體；或適用於儲存電子指令之另一類型之媒體。

【0094】前述描述闡述了諸如特定系統、元件、方法等之實施例的許多特定細節，以提供對本發明之若干實施例之良好理解。然而，熟習該項技術者顯而易見，可在無該等特定細節之情況下實踐本發明之至少一些實施例。在其他情況下，並未詳細描述眾所熟知之元件或方法，且將該等元件或方法以簡單方塊圖形式呈現以避免不必要地模糊本發明。因此，闡述之特定細節僅為示例性的。特定實施可能不同於該等示例性細節，且仍預期該等特定實施在本發明之範疇之內。

【0095】在整個說明書中對「一實施例」或「實施例」之指代意謂結合實施例描述之特定特徵、結構或特性係包括於至少一個實施例中。因此，在整個說明書中各處出現之用語「在一實施例中」或「在實施例中」不一定皆指代相同實施例。此外，術語「或」意欲意謂包括性「或」而非排除性「或」。

【0096】儘管以特定次序圖示且描述本文方法之操作，但是可改變每一方法之操作次序以便某些操作可以相反次序執行或以便某些操作可至少部分地與其他操作並行地執行。在另一實施例中，不同操作之指令或子操作可以間歇及/或交替方式進行。

【0097】 儘管本文所述之實施例主要地解決半導體晶圓之檢查，但是本文所述之方法及系統亦可用於其他應用中，諸如用於檢查遮罩中。

【0098】 因此，應瞭解，如上所述之實施例僅藉由舉例之方式引用，且本發明不限於已在上文中特定圖示且描述之內容。更確切而言，本發明之範疇包括如上文所述之各種特徵之組合及子組合兩者，以及該等組合及子組合之變化及修改，該等變化及修改將在熟習該項技術者閱讀上述描述之後由熟習該項技術者想到且該等變化及修改並未揭示於先前技術中。將以引用之方式併入本專利申請案之檔視為本申請案之組成部分，除了到任何術語以與在本說明書中顯式或隱式進行的定義衝突的方式定義於該等經併入檔中之程度之外，否則應考慮僅在本說明書中之定義。

【符號說明】

【0099】

20 掃描式電子顯微鏡(SEM)系統、系統

21 掃描單元

22 樣品

23 圖像處理單元

24 電子源

28 偵測器陣列

32A 頂部偵測器

32B 側偵測器

32C 側偵測器

- 37 介面
- 38 處理器
- 39 儲存裝置
- 40 輪廓線
- 44 平面
- 48 輪廓線
- 52 輪廓線
- 60 掃描步驟
- 64 偵測步驟
- 68 分割步驟
- 72 區域識別步驟
- 76 反射計算步驟
- 80 梯度計算步驟
- 84 高度映射得出步驟
- 90 配對步驟
- 94 配對組合步驟
- 98 重配對步驟
- 102 求和步驟
- 106 處理步驟
- 800 電腦系統
- 802 處理裝置
- 804 主記憶體
- 806 靜態記憶體
- 808 資料儲存裝置

- 810 視訊顯示單元
- 812 字母數字輸入裝置
- 814 游標控制裝置
- 816 訊號產生裝置
- 818 資料儲存裝置
- 820 網路
- 822 指令
- 826 處理邏輯
- 828 機器可讀儲存媒體
- 830 匯流排
- SE 次級電子

【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

【序列表】(請換頁單獨記載)

無

申請專利範圍

1. 一種用於處理掃描式電子顯微鏡圖像之方法，該方法包含以下步驟：

用一主要電子(primary electron)束照射一樣品之一表面，該表面係由多種類型之材料所製成；

使用多個偵測器來偵測自該經照射樣品所發射之經發射電子，以便產生個別的偵測器輸出，該等多個偵測器安置在相對於該樣品的個別不同位置處；

計算校準因數以補償在該等類型之該等材料之間的經發射電子產率(yield)之變化；

應用該等校準因數於該等偵測器輸出；以及

基於應用該等校準因數之該等偵測器輸出，來計算該表面之一三維地形模型(topographical model)。

2. 如請求項 1 所述之方法，其中該等偵測器包含一頂部偵測器及兩個或兩個以上側偵測器，該頂部偵測器擷取對該樣品之該表面為垂直地發射的電子，該等側偵測器擷取相對於該樣品之該表面以傾斜角度發射的電子。

3. 如請求項 1 所述之方法，其中計算該三維地形模型之步驟包含以下步驟：估計在該表面上之多個點處之高度梯度，及積分該等高度梯度以產生該三維地形模型。

4. 如請求項 3 所述方法，其中估計該等高度梯度之步驟包含以下步驟：針對在該表面上之一給定點，來定義將該等偵測器輸出表示為個別反射函數(reflectance function)之函數之一組方程式，及藉由求解該組方程式來得出在該給定點處之一高度梯度。
5. 如請求項 4 所述之方法，該方法包含以下步驟：藉由對由一給定偵測器所擷取的一角度範圍來積分該經發射電子產率之一角度分佈，來評估該給定偵測器之一反射函數。
6. 如請求項 3 所述之方法，其中估計該等高度梯度之步驟包含以下步驟：藉由應用一準則來解決該等高度梯度之一分量之一含糊性(ambiguity)，該準則要求使在該表面上之對一閉環路徑的該等高度梯度之一積分為零。
7. 如請求項 1 所述之方法，其中應用該等校準因數之步驟包含以下步驟：使用針對一材料類型所計算之一校準因數來正規化一給定偵測器之一反射函數，在由該材料類型製成之該表面上之一點處估計該反射函數。
8. 如請求項 1 所述之方法，其中該等偵測器包含一頂部偵測器及四個側偵測器，該頂部偵測器垂直地安置在該樣品之一平面之上，該等側偵測器相對於該樣品之該平面以傾斜角度安置，其中偵測該等經發射電子之步驟包含以

下步驟：組合該等側偵測器之選擇對(selected pairs)之該等偵測器輸出，且其中計算該三維地形模型之步驟包含以下步驟：基於該等經組合偵測器輸出來計算該模型。

9. 一種用於處理掃描式電子顯微鏡圖像之設備，該設備包含：

一電子源，該電子源經設置以用一主要電子束照射一樣品之一表面，該表面係由多種類型之材料所製成；

多個偵測器，該等多個偵測器安置在相對於該樣品的個別不同位置處且經設置以偵測自該經照射樣品所發射之經發射電子，以便產生個別的偵測器輸出；以及

一處理器，該處理器經設置以計算校準因數以補償在該等類型之該等材料之間的經發射電子產率之變化；該處理器經設置以應用該等校準因數於該等偵測器輸出；並且該處理器經設置以基於應用該等校準因數之該等偵測器輸出，來計算該表面之一三維地形模型。

10. 如請求項 9 所述之設備，其中該等偵測器包含一頂部偵測器及兩個或兩個以上側偵測器，該頂部偵測器擷取對該樣品之該表面為垂直地發射的電子，該等側偵測器擷取相對於該樣品之該表面以傾斜角度發射的電子。

11. 如請求項 9 所述之設備，其中該處理器經設置以藉由估計在該表面上之多個點處之高度梯度及積分該等高度梯度以產生該三維地形模型，來計算該三維地形模型。
12. 如請求項 11 所述之設備，其中該處理器經設置以針對在該表面上之一給定點來定義將該等偵測器輸出表示為個別反射函數之函數之一組方程式，且該處理器經設置以藉由求解該組方程式來得出在該給定點處之一高度梯度。
13. 如請求項 12 所述之設備，其中該處理器經設置以藉由對由一給定偵測器所擷取的一角度範圍來積分該經發射電子產率之一角度分佈，來評估該給定偵測器之一反射函數。
14. 如請求項 11 所述之設備，其中該處理器經設置以藉由應用一準則來解決該等高度梯度之一分量之一含糊性，該準則要求使在該表面上之對一閉環路徑的該等高度梯度之一積分為零。
15. 如請求項 9 所述之設備，其中該處理器經設置以藉由使用針對該材料類型所計算之一校準因數來正規化一給定偵測器之一反射函數，來應用該等校準因數，在由一材料類型製成之該表面上之一點處估計該反射函數。

16. 如請求項 9 所述之設備，其中該等偵測器包含一頂部偵測器及四個側偵測器，該頂部偵測器垂直地安置在該樣品之一平面之上，該等側偵測器相對於該樣品之該平面以傾斜角度安置，其中該處理器經設置以組合該等側偵測器之選擇對之該等偵測器輸出，且該處理器經設置以基於該等經組合偵測器輸出來計算該三維地形模型。

17. 一種用於處理掃描式電子顯微鏡圖像之設備，該設備包含：

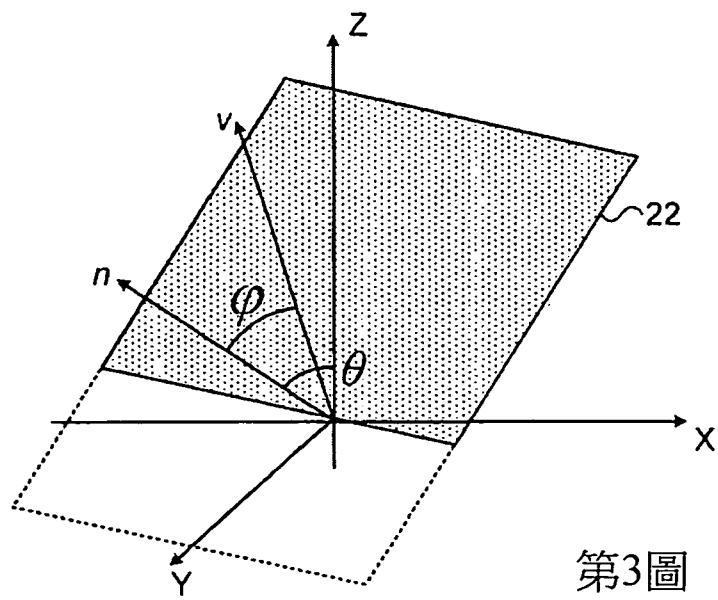
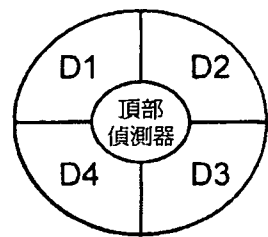
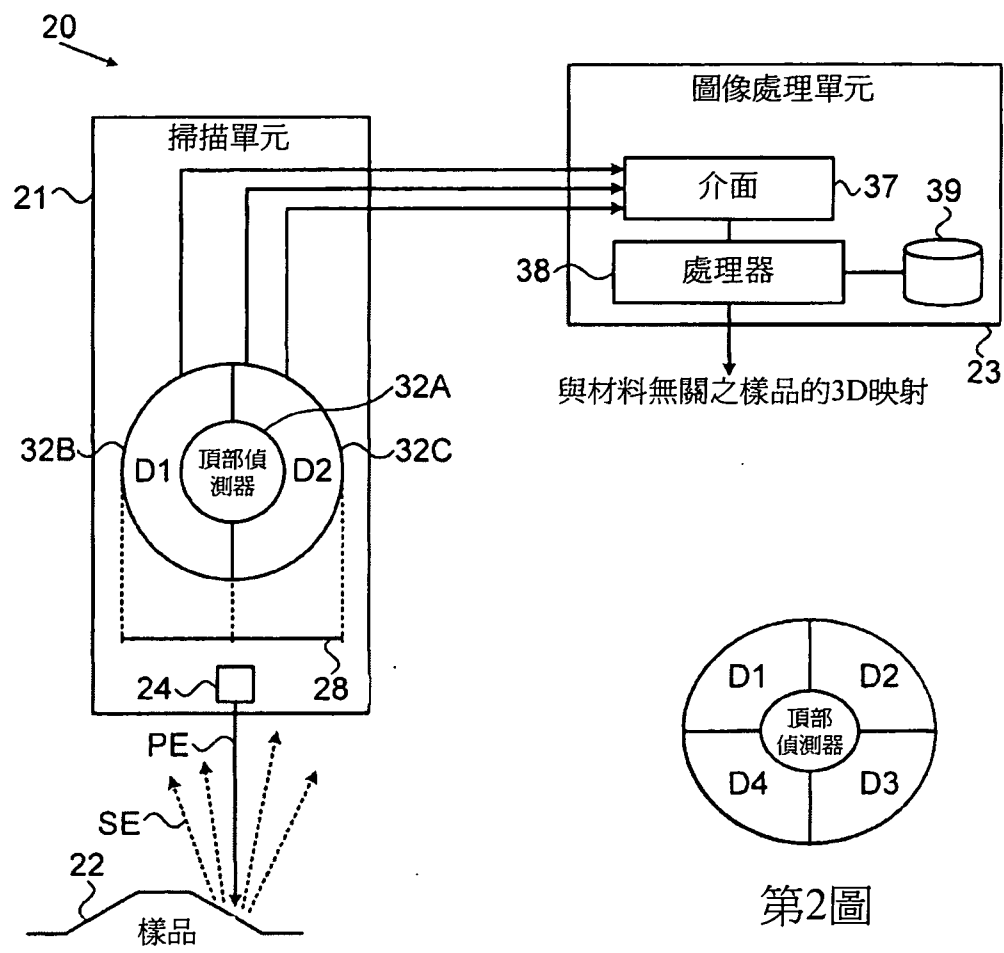
一介面，該介面經設置以自安置在相對於一樣品的個別不同位置處之個別偵測器來接收多個偵測器輸出，該樣品係由多種類型之材料製成，其中該等偵測器輸出指示響應於由於一主要電子束對該樣品之照射而自該樣品所發射的經發射電子；以及

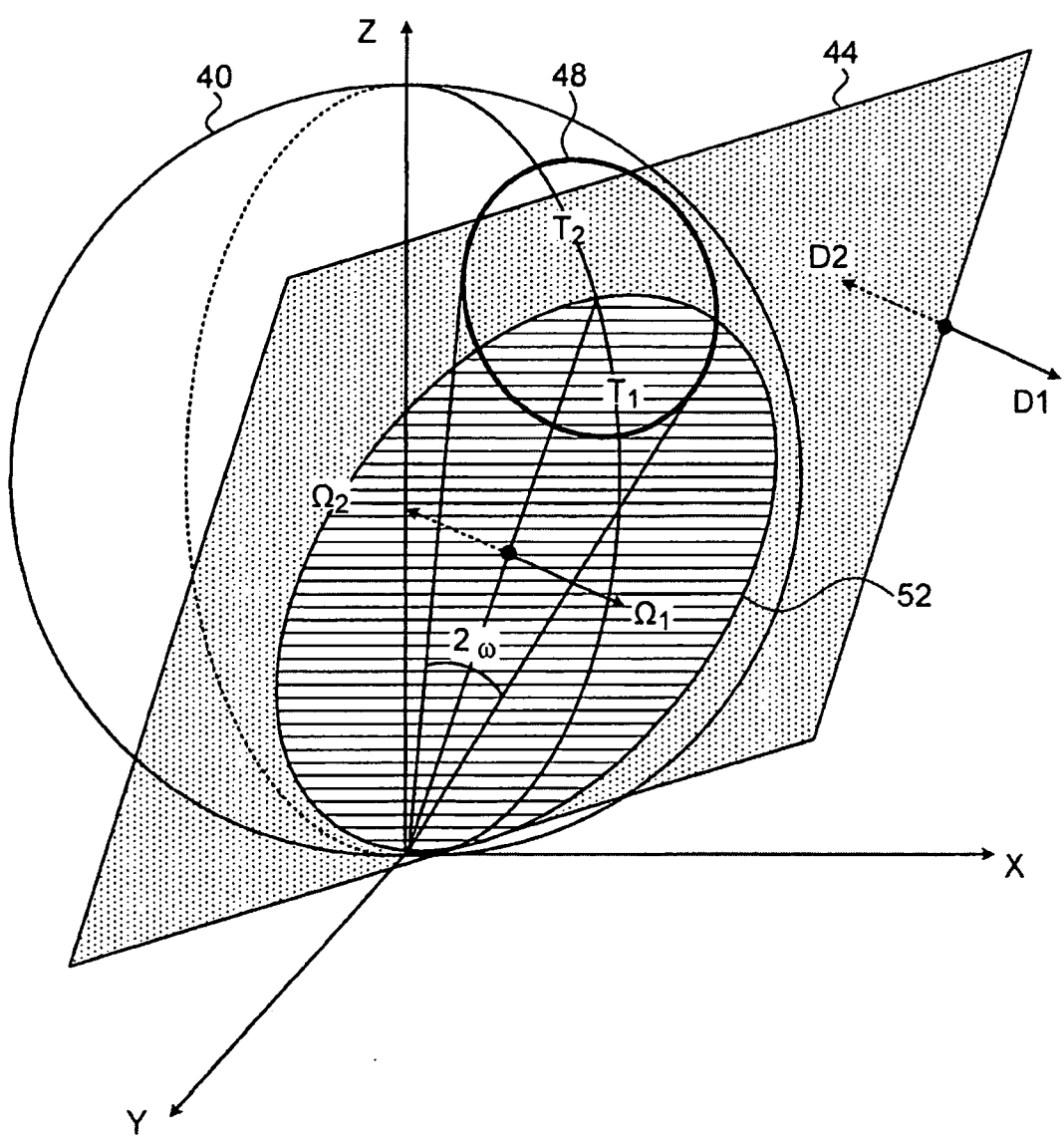
一處理器，該處理器經設置以計算校準因數以補償在該等類型之該等材料之間的經發射電子產率之變化，該處理器經設置以應用該等校準因數於該等偵測器輸出，並且該處理器經設置以基於應用該等校準因數之該等偵測器輸出，來計算該表面之一三維地形模型。

18. 一種電腦軟體產品，該產品包含一有形體非暫態電腦可讀媒體，在該有形體非暫態電腦可讀媒體中儲存程式指令，當該等程式指令由一電腦讀取時：可引起該電腦接

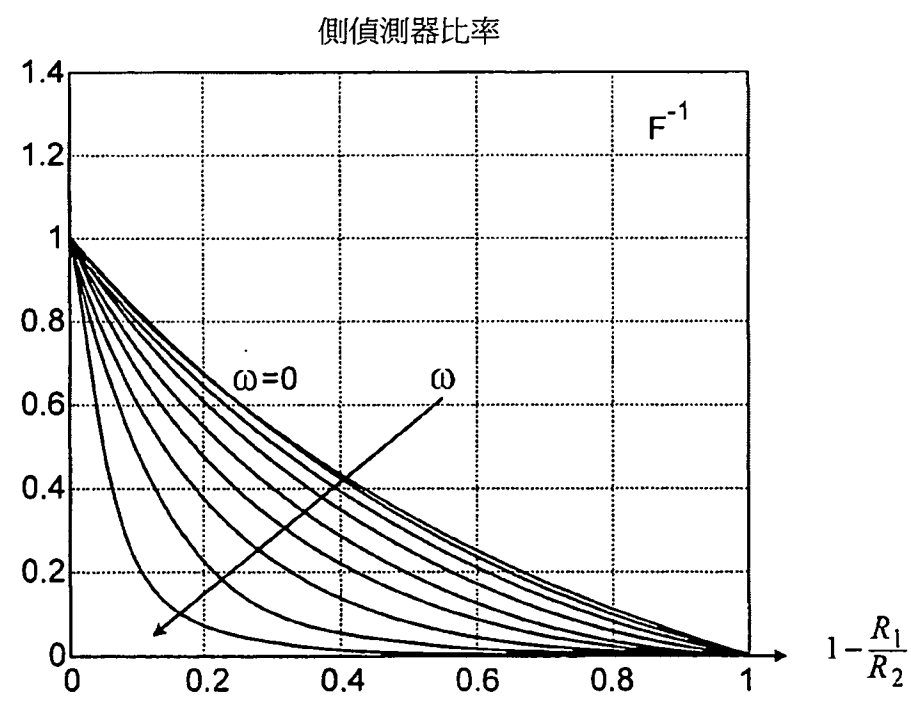
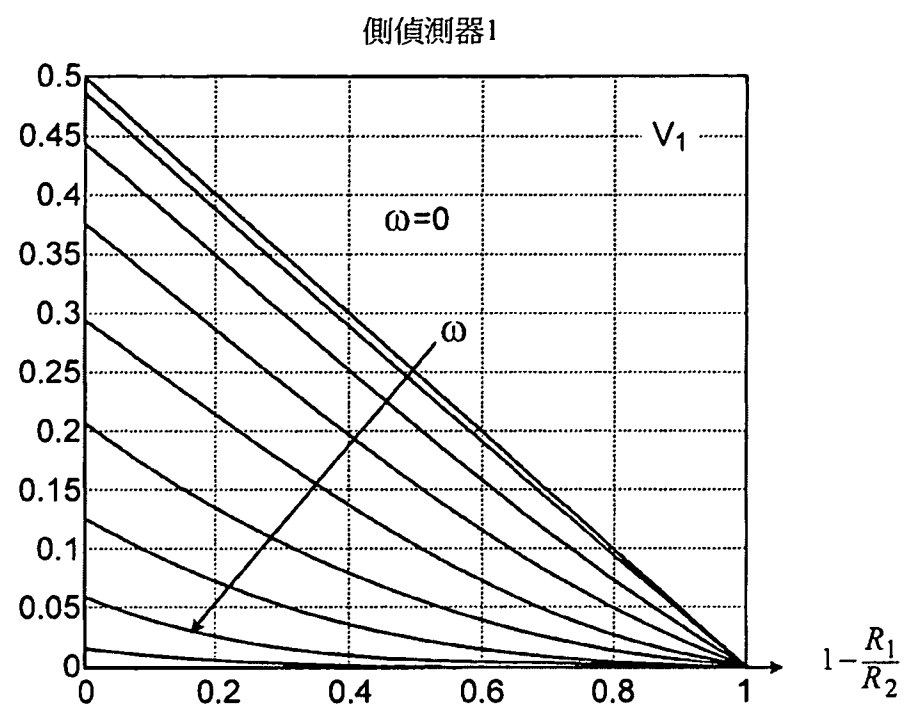
收來自安置在相對於一樣品的個別不同位置處之個別偵測器的多個偵測器輸出，該樣品係由多種類型之材料製成，其中該等偵測器輸出指示響應於由於一初級電子束對該樣品之照射而自該樣品所發射之經發射電子；可引起該電腦計算校準因數以補償在該等類型之該等材料之間的經發射電子產率之變化；可引起該電腦應用該等校準因數於該等偵測器輸出；且可引起該電腦基於應用該等校準因數之該等偵測器輸出，來計算該表面之一三維地形模型。

圖式

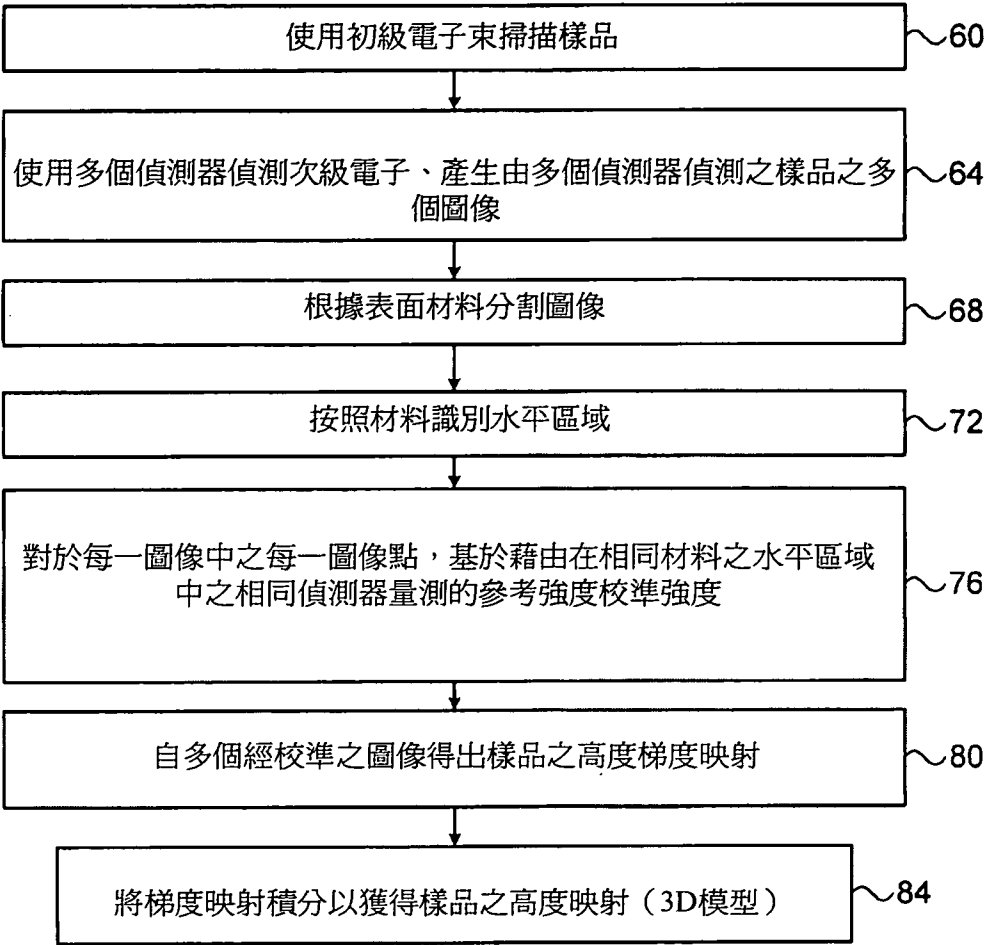




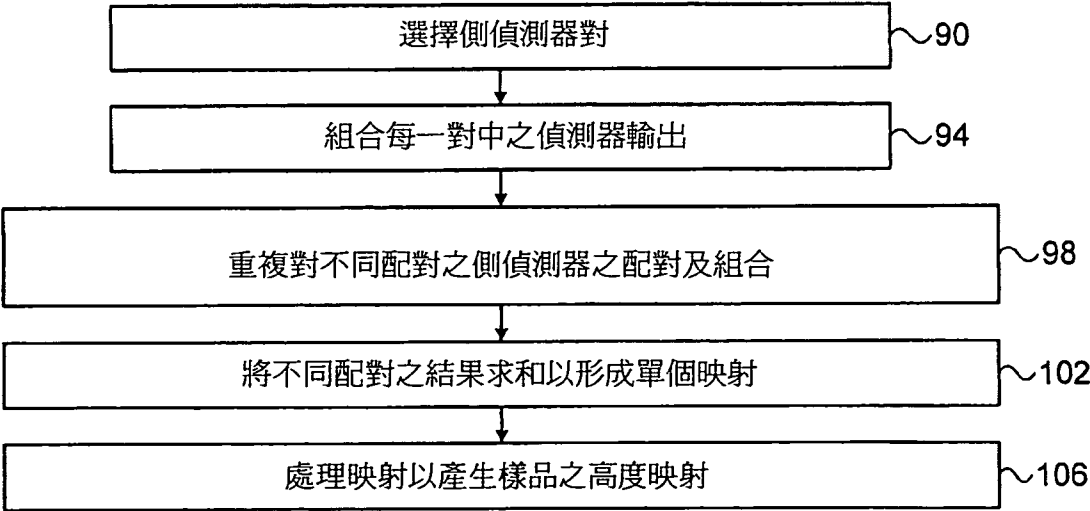
第4圖



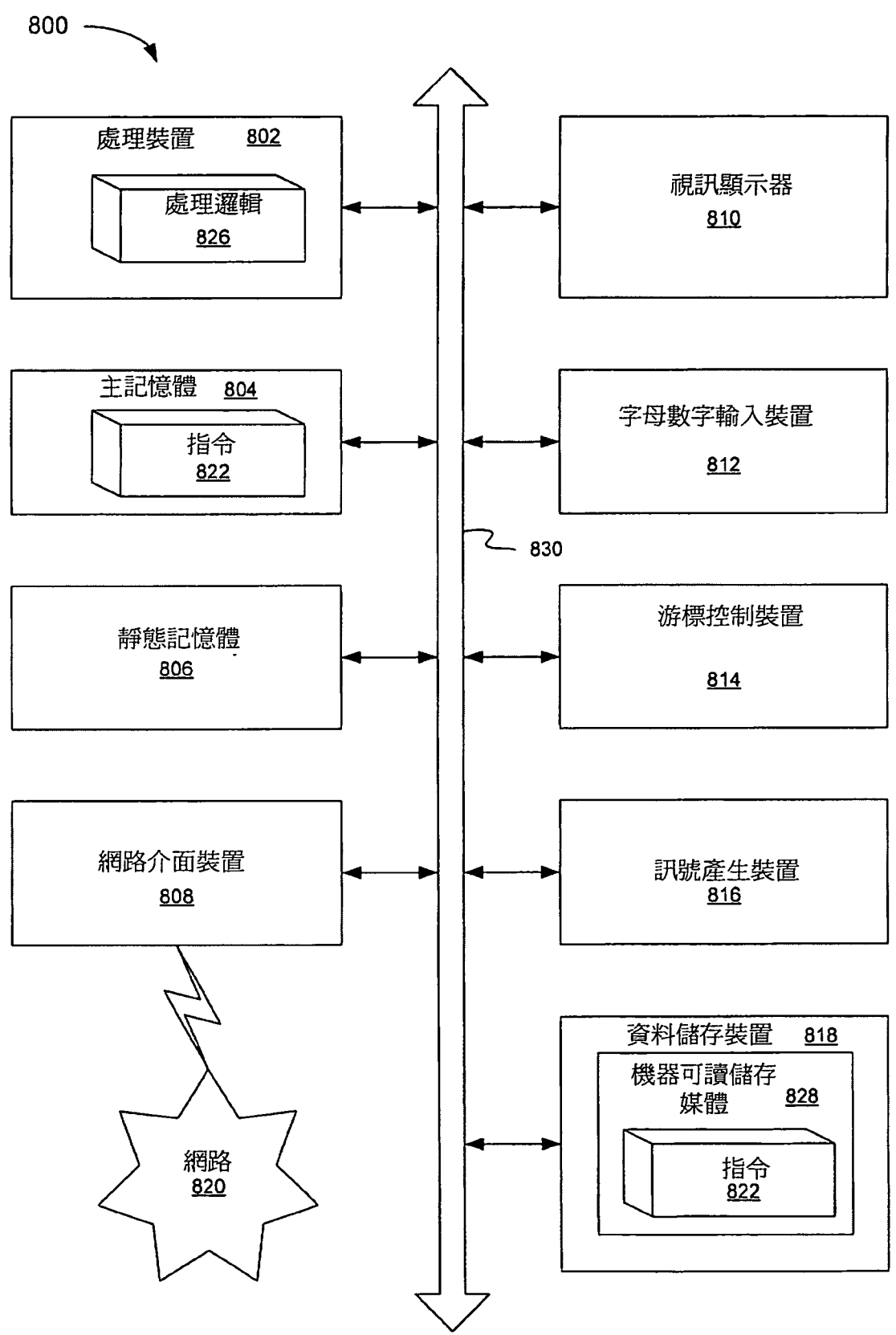
第5圖



第6圖



第7圖



第8圖