



(21) 申請案號：112116808

(22) 申請日：中華民國 112 (2023) 年 05 月 05 日

(51) Int. Cl. :

**B81C99/00 (2010.01)****G01B11/22 (2006.01)****G06T7/00 (2017.01)****G06T7/521 (2017.01)****G06T7/60 (2017.01)**

(30) 優先權：2022/05/19

歐洲專利局

22305745.6

(71) 申請人：法商統一半導體公司 (法國) UNITY SEMICONDUCTOR (FR)

法國

(72) 發明人：伊夫 沃夫岡格 亞歷山大 IFF, WOLFGANG ALEXANDER (FR)；寇提維黎 艾

倫 COURTEVILLE, ALAIN (FR)

(74) 代理人：閻啓泰；林景郁

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：17 項 圖式數：4 共 31 頁

(54) 名稱

用於通過基板特徵化結構之方法和系統

(57) 摘要

本發明係關於一種用於特徵化在諸如晶圓之基板 (102) 中蝕刻的結構 (104) 之方法 (200, 300, 400)，該方法 (200, 300) 包含以下步驟：

- 運用自光源 (130) 發出之照明光束照明 (202) 至少一個結構 (104) 之底部 (105)，該光源發射具有適於透射通過該基板 (102) 之波長的光，
- 運用定位於該基板 (102) 之底面 (108) 上之成像裝置 (120, 122, 124) 通過該基板 (102) 獲取 (204, 206) 該至少一個結構 (104) 之底部 (105) 的至少一個影像，及
- 自該至少一個所獲取影像量測 (210) 與該至少一個 HAR 結構 (104) 之該底部 (105) 之側向尺寸相關的至少一個資料，被稱為側向資料。

本發明進一步係關於一種實施此方法之系統。

The invention relates to a method (200, 300, 400) for characterizing structures (104) etched in a substrate (102), such as a wafer, the method (200, 300) comprising the following steps:

- illuminating (202) the bottom (105) of at least one structure (104) with an illumination beam issued from a light source (130) emitting light with a wavelength adapted to be transmitted through the substrate (102),
- acquiring (204, 206), with an imaging device (120, 122, 124) positioned on the bottom side (108) of said substrate (102), at least one image of a bottom (105) of said at least one structure (104) through the substrate (102), and
- measuring (210) at least one data, called lateral data, relating to a lateral dimension of the bottom (105) of said at least one HAR structure (104) from the at least one acquired image.

The invention further relates to a system implementing such a method.

指定代表圖：

符號簡單說明：

200:方法

202:照明步驟

204:底部影像獲取步驟

206:獲取步驟

208:識別步驟

210:影像處理步驟

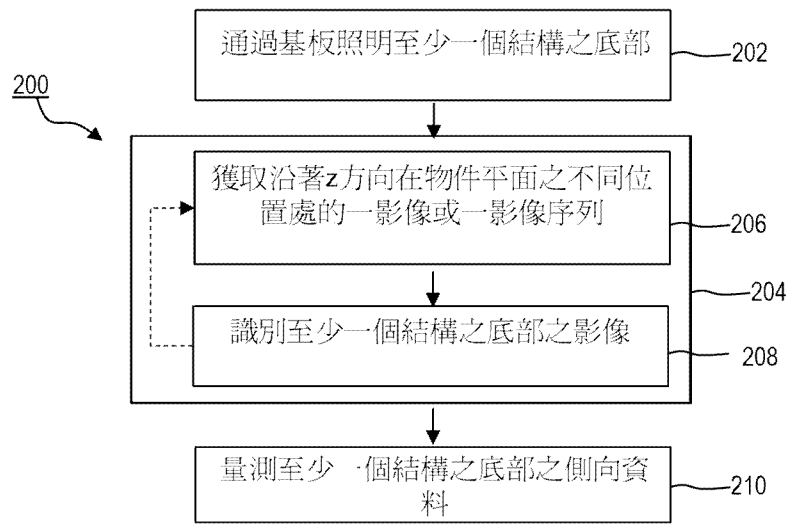


圖2

## 【發明摘要】

【中文發明名稱】 用於通過基板特徵化結構之方法和系統

【英文發明名稱】 A METHOD AND A SYSTEM FOR CHARACTERISING  
STRUCTURES THROUGH A SUBSTRATE

### 【中文】

本發明係關於一種用於特徵化在諸如晶圓之基板(102)中蝕刻的結構(104)之方法(200, 300, 400)，該方法(200, 300)包含以下步驟：

- 運用自光源(130)發出之照明光束照明(202)至少一個結構(104)之底部(105)，該光源發射具有適於透射通過該基板(102)之波長的光，
- 運用定位於該基板(102)之底面(108)上之成像裝置(120, 122, 124)通過該基板(102)獲取(204, 206)該至少一個結構(104)之底部(105)的至少一個影像，及
- 自該至少一個所獲取影像量測(210)與該至少一個HAR結構(104)之該底部(105)之側向尺寸相關的至少一個資料，被稱為側向資料。

本發明進一步係關於一種實施此方法之系統。

### 【英文】

The invention relates to a method (200, 300, 400) for characterizing structures (104) etched in a substrate (102), such as a wafer, the method (200, 300) comprising the following steps:

- illuminating (202) the bottom (105) of at least one structure (104) with an illumination beam issued from a light source (130) emitting light with a wavelength adapted to be transmitted through the substrate (102),

- acquiring (204, 206), with an imaging device (120, 122, 124) positioned on the bottom side (108) of said substrate (102), at least one image of a bottom (105) of said at least one structure (104) through the substrate (102), and
- measuring (210) at least one data, called lateral data, relating to a lateral dimension of the bottom (105) of said at least one HAR structure (104) from the at least one acquired image.

The invention further relates to a system implementing such a method.

【指定代表圖】 圖2

【代表圖之符號簡單說明】

200:方法

202:照明步驟

204:底部影像獲取步驟

206:獲取步驟

208:識別步驟

210:影像處理步驟

【特徵化學式】

無

## 【發明說明書】

【中文發明名稱】 用於通過基板特徵化結構之方法和系統

【英文發明名稱】 A METHOD AND A SYSTEM FOR CHARACTERISING  
STRUCTURES THROUGH A SUBSTRATE

### 【技術領域】

【0001】 本發明係關於一種用於特徵化在基板中蝕刻之結構且尤其是高縱橫比結構的方法。本發明亦關於一種用於實施此方法之系統。

【0002】 本發明之領域為對基板中蝕刻的結構進行檢測及特徵化之領域，這些結構諸如高縱橫比結構，例如在諸如半導體晶圓之基板中蝕刻的矽穿孔（Through-Silicon Vias；TSV）或溝槽。

### 【先前技術】

【0003】 在半導體行業中，例如在微機電系統（「Microelectromechanical system；MEMS」）行業中，許多程序步驟涉及在諸如矽之基板中蝕刻有時具有高縱橫比的結構。具有高縱橫比的此類結構，在下文中為「HAR結構」，可包含例如矽穿孔（TSV），這些矽穿孔通常為例如用於在高級封裝技術中之互連的盲孔，具有窄寬度及細長長度之溝槽以及更複雜之特徵。其可藉由例如深輻射離子蝕刻（深RIE）或光微影技術來實現。

【0004】 HAR結構之縱橫比係藉由深度與側向尺寸之間的比率界定，其亦稱為HAR結構之「關鍵尺寸（critical dimension；CD）」。一些HAR結構可具有大於5或10或20之縱橫比，其中側向（關鍵）尺寸為窄至5  $\mu\text{m}$ 或更小。一些非限制性實例包含在矽基板中蝕刻的呈圓柱形孔形式之TSV，這些孔之直徑為2至3  $\mu\text{m}$ 且深度為40至50  $\mu\text{m}$ 。

【0005】 需要藉由量測例如在嵌入至基板中之結構之底部處之結構之關鍵尺寸來量測及特徵化各結構。此底部CD可不同於結構之頂部處之關鍵尺寸(頂部CD)，且因此為重要資訊。已知技術在Yi-Sha Ku之「*Spectral reflectometry for metrology of three-dimensional through-silicon vias*」(J. Micro/Nanolith. MEMS MOEMS 13 (1) 011209 (2014年3月6日))中進行了描述，其允許藉由光譜反射量測術來量測TSV陣列之深度剖面。然而，此方法並不允許個別地特徵化TSV或其他結構，而僅藉由使用覆蓋複數個TSV之光點來特徵化TSV之密集陣列。另外，此方法需要量測信號之準確模型化，此實務上難以達成。

#### 【發明內容】

【0006】 本發明之目的為克服已知技術之缺點中之至少一者。

【0007】 本發明之另一目的為提供一種用以藉由量測結構(且尤其是HAR結構)之底部處之關鍵尺寸(底部CD)來特徵化這些結構的解決方案。

【0008】 本發明之另一目的為提供一種用以藉由量測結構(且尤其是HAR結構)之深度來特徵化這些結構的解決方案。

【0009】 本發明之另一目的為提供一種用以個別地特徵化結構，且尤其是HAR結構的解決方案。

【0010】 本發明之另一目的為提供一種用以特徵化結構，且尤其是具有小關鍵尺寸之HAR結構的解決方案。

【0011】 本發明之目的亦為提供一種用以更高效及/或更快地特徵化結構，且尤其是HAR結構的解決方案。

【0012】 此等目標中之至少一者係藉由一種用於特徵化在諸如一晶圓之一基板中蝕刻的結構且尤其是高縱橫比(HAR)結構的方法來達成，該方法包含以下步驟：

- 運用自一光源發出之一照明光束照明該至少一個結構，該光源發射具有適於透射通過該基板之一波長的光，
- 運用定位於該基板之底面上之一成像裝置通過該基板獲取該至少一個結構之一底部的至少一個影像，及
- 自該至少一個所獲取影像量測與該至少一個結構之該底部之一側向尺寸相關的至少一個資料，被稱為側向資料。

【0013】 根據本發明之方法提議量測與結構相關之側向資料，且尤其是在此等結構之底部處蝕刻於基板中的HAR結構，此歸功於定位於基板之底面處的成像裝置且藉由處理藉由此成像裝置捕獲之至少一個影像來進行。該側向資料表示當特徵化此等結構時之有價值的資訊。特定言之，HAR結構之底部之側向尺寸可不同於其在頂部處之側向尺寸。底部側向尺寸可因此有利地完成針對一個個別結構或HAR結構獲得之深度及/或頂部側向尺寸資料。

【0014】 根據本發明之方法使用發射具有至少一個波長或波長範圍之光的光源來實施，該至少一個波長或波長範圍適於透射通過基板之材料。藉此，對基板之底部進行成像係通過該基板自該基板之底面來實現。可接著藉由應用諸如影像分段、特徵提取或識別或斑點 (blob) 偵測之任何已知影像處理方法而自所獲取影像獲得在結構之底部處的結構之側向資料。

【0015】 在本發明文件中，「高縱橫比結構」或「HAR結構」指定具有大於或等於5或10或甚至20之縱橫比的結構。

【0016】 舉例而言，諸如HAR結構之結構可為在諸如晶圓之基板中蝕刻之矽穿孔 (Through Silicon Via ; TSV)、溝槽及更複雜特徵。

【0017】 在本文件中，術語基板「頂面」或「頂部表面」對應於該 (這些) 結構經蝕刻之側面或經蝕刻至之表面。術語「底面」對應於基板之與頂面相對的側面。另外，術語「結構之底部」指定通孔、溝槽或任何其他經蝕刻結構的底部，

或換言之，基板中之結構的最深部分。

**【0018】** 在本文件中，「至少一個結構或HAR結構的底部之側向尺寸」可指定：

- 孔或通孔（TSV）之底部處的直徑或截面，
- 溝槽在其底部處之寬度，或
- 在底部處之經蝕刻結構之各種圖案元素內或圖案元素之間的任何尺寸。

此側向尺寸或關鍵尺寸亦被稱為底部CD。

**【0019】** 可自由成像裝置捕獲之單一影像推導出與一個單一結構或與若干結構相關之側向資料。替代地或另外，可自由成像裝置捕獲之若干影像推斷出與一個單一結構或若干結構相關之側向資料。

**【0020】** 由成像裝置捕獲之至少一個影像可僅與一個單一結構相關：在此狀況下，所捕獲影像僅包含關於此單一結構之資訊且不包含關於基板之任何其他結構之資訊。

**【0021】** 替代地或另外，由成像裝置捕獲之至少一個影像可與基板之若干或所有結構相關：在此狀況下，所捕獲影像包含關於這些結構中之各者的資訊，使得有可能藉由處理該所捕獲影像來判定用於這些結構中之各者的側向資料。

**【0022】** 根據一具體實例，獲取至少一個結構之底部之至少一個影像的步驟可包含例如運用該成像裝置沿著對應於該結構之一深度方向的一方向z掃描該至少一個結構及/或該至少一個結構下方之該基板的一步驟。

**【0023】** 歸功於該掃描步驟，確保了一結構之底部經成像，而非在彼結構之頂部與底部之間的該結構之另一部分經成像。掃描步驟特別地允許自該結構或該基板之其他部分之影像研究及識別底部之影像。

**【0024】** 根據一實例，該掃描步驟可包含：

- 沿著該z方向移動與該成像裝置之一影像平面光學共軛的一物件平面，

- 獲取沿著該z方向在該物件平面之不同位置處的該物件平面之一影像或一影像序列，及
- 識別運用定位於該至少一個結構之一底部處之該物件平面獲取的該至少一個結構之一底部之至少一個影像。

【0025】 該掃描可在HAR結構內自基板之頂部表面開始遵循一深度方向實現。

【0026】 掃描亦可在基板內自基板之底部表面開始朝向HAR結構之底部來實現。

【0027】 識別一底部之至少一個影像之該步驟可包含以下步驟中之至少一者：

- 偵測該至少一個結構與其下方之該基板之間的該影像序列之一轉變，例如以確保識別對應於該底部的該結構之最深影像，
- 量測該所獲取影像之清晰度或空間頻率，例如以識別該底部之焦點對準的影像。

【0028】 當然，可使用其他影像處理技術以識別結構之底部之影像。

【0029】 根據一具體實例，該方法可進一步包含量測與該至少一個結構之一深度相關的至少一個深度資料的一步驟。

【0030】 除了量測結構之底部的側向資料之外，對深度資料之量測亦允許完成所考慮結構之特徵化。

【0031】 根據一具體實例，可使用該經量測深度資料來實現獲取該至少一個結構之一底部之至少一個影像的該步驟。

【0032】 特定言之，深度資料可用以將成像裝置之物件平面定位在結構之底部上或接近此底部。此允許限制物件平面之掃描範圍，或甚至藉由能夠將成像裝置之物件平面直接定位於結構之底部處而避免了掃描步驟。成像裝置之物件

平面可因此更快速且更高效地定位於結構之底部上。

【0033】 根據一些具體實例，量測與至少一個結構之深度相關之至少一個深度資料的步驟可運用定位於基板操作之頂面上的低相干性干涉計來進行。

【0034】 根據一具體實例，此干涉計可在全場中操作。

【0035】 根據一具體實例，此干涉計可具有一點量測光束。在彼狀況下，該干涉計能夠量測單一結構之深度。

【0036】 根據一實例，該至少一個側向資料可包含與該至少一個結構之該底部之一位置相關之一位置資料，該方法進一步包含根據該位置資料而調整該干涉計之該量測光束在該基板之一頂部表面上之位置的一步驟。

【0037】 獲取至少一個影像之步驟因此藉由處理由成像裝置獲取之至少一個影像而提供關於結構之底部之位置的資訊，且藉此提供結構自身之位置的資訊。接著將該結構在基板上之位置用於較快速且較準確地定位低相干性干涉計之量測光束。接著相比於已知技術更快速且更準確地進行結構之深度之量測。

【0038】 根據另一實例或另外，該至少一個側向資料可包含與該底部處之該至少一個結構之一側向尺寸相關之一底部CD資料，該方法進一步包含根據該底部CD資料調整該量測光束之一直徑的一步驟。

【0039】 獲取至少一個影像之步驟因此提供底部CD資料，其接著在調整步驟期間被使用以用於調整量測光束之直徑。

【0040】 因此，根據本發明之方法允許在尚未知曉這些結構之底部CD資料時，及/或在基板包含具有不同底部CD之不同結構時更快速且更準確地量測基板中之結構的深度。

【0041】 當使用具有點量測光束之低相干性干涉計時，根據結構之底部CD且尤其是HAR結構之底部CD來對量測光束之直徑進行此調整會允許使大部分入射量測光束進入結構，而僅小部分入射量測光束在頂部表面處經反射。實際

上，由於結構之側向尺寸與所施加波長之比率相當小（通常低於15）（此引起強繞射效應），且通常亦由於所涉及材料（例如矽）之吸收屬性或更大體而言，由於至此等結構中之傳播條件，此等結構內部之損耗較高，且僅小部分入射光自結構之底部反射且耦合回至干涉計中。

**【0042】** 干涉量測之敏感度因此藉由調整量測光束之直徑使得大部分入射功率用以補償結構中之高損耗而最佳化。此允許以例如較高對比度或較大調變振幅獲得更平衡之干涉信號。

**【0043】** 待聚焦至結構中之干涉計光之最佳部分特別地取決於結構內部之光的損耗。此等損耗特別地取決於側向尺寸或直徑（例如，頂部CD及底部CD）、深度及結構之形狀（例如，底部之形狀及側壁之形狀）。舉例而言，具有較小直徑及較大深度之結構導致較高損耗且需要將較大部分之功率耦合至結構中。因此，可根據此等約束調適基板上之量測光束大小。

**【0044】** 可例如調整或界定頂部表面上之量測光束的直徑，使得至少75%或80%或90%之入射功率耦合至結構中。

**【0045】** 對量測光束之大小進行調整的另一優點為：量測光束足夠有限以僅覆蓋一個結構，即使對於彼此接近之結構陣列亦如此，此允許確保可個別地特徵化結構。

**【0046】** 可藉由改變以下各者而調整量測光束之直徑：

- 置放於干涉計與基板之間的至少一個光學元件，諸如透鏡或光束擴展器；
- 置放於干涉計與基板之間的諸如透鏡或變焦排列之光學元件之至少一個焦距；及/或
- 量測光束之數值孔徑。

**【0047】** 可藉由任何手段實現對光學元件之改變。舉例而言，可用移動或

支撐該至少一個光學元件之迴轉台來實現對光學元件之改變。

**【0048】** 可藉由改變該光學元件之變焦比率或構成該光學元件之變焦排列之組件之位置來進行該光學元件之焦距改變。

**【0049】** 替代地或除了先前選項中之至少一者以外，亦可藉由改變頂部表面上之量測光束的數值孔徑來進行量測光點在頂部表面上之直徑的調整。可藉由在準直光束路徑或孔徑光闌中使用光束擴展器來改變量測光束之數值孔徑。

**【0050】** 根據同一發明之另一態樣，提議一種用於特徵化在諸如晶圓之基板中蝕刻的結構且尤其是高縱橫比（HAR）結構的系統，該系統包含：

- 至少一個光源，其用於照明一結構，該至少一個光源發射具有適於透射通過該基板之一波長的光；
- 一成像裝置，其定位於該基板之底面上以用於通過該基板獲取該結構之底部的至少一個影像；及
- 影像處理構件，其用於自該至少一個所獲取影像量測與該HAR結構之該底部之一側向尺寸相關的至少一個資料，被稱為側向資料。

**【0051】** 該影像處理構件可提供至少一個側向資料，該至少一個側向資料包含關於例如在該影像中或相對於該基板的至少一個結構之底部之一位置的一位置資料或存在於該位置資料中。

**【0052】** 替代地或另外，該影像處理構件可提供至少一個側向資料，該至少一個側向資料包含與該底部處之該至少一個結構之一側向尺寸相關的一底部CD資料或存在於該底部CD資料中。

**【0053】** 根據一具體實例，該系統可進一步包含聚焦控制構件，該聚焦控制構件經配置以：

- 沿著z方向移動與該成像裝置之一影像平面光學共軛的一物件平面，
- 獲取沿著該z方向在該物件平面之不同位置處的該物件平面之一影像，及

- 識別運用定位於該至少一個結構之一底部處之該物件平面獲取的該至少一個結構之一底部之至少一個影像。

【0054】 該聚焦控制構件因此確保了實際上結構之底部經成像，而非結構之任何其他部分經成像。

【0055】 在一些具體實例中，該至少一個光源可定位於該基板之一底面上。

【0056】 在此狀況下，至少一個結構之底部之照明係在反射中進行。

【0057】 替代地或另外，至少一個光源可定位於基板之頂面上。

【0058】 在此狀況下，至少一個結構之底部之照明係在透射中進行。

【0059】 對於兩個照明方案，必須通過基板獲取至少一個影像，因此至少一個光源應具有能夠透射通過此基板之波長。

【0060】 作為一實例，在矽基板之狀況下，光源應具有波長長於900 nm或1000 nm的紅外光譜。

【0061】 根據一具體實例，該成像裝置可包含一攝影機及光學成像構件。

【0062】 該成像裝置有利地經配置以對該至少一個結構之該底部進行成像，而非該至少一個結構之在其頂部與底部之間的一部分進行成像。此係重要的，此係因為結構之尺寸可自頂部至底部變化。因此，該成像裝置有利地經配置以僅對底部處之至少一個結構的窄切片進行成像，使得經量測之側向資料對應於彼切片，而非對應於遍及該結構之較大部分之平均化資料。

【0063】 舉例而言，該成像裝置可經配置以具有小於在量測時之結構或 HAR 結構之深度的1/5或1/10的景深。此準則可例如應用於量測深度為約50  $\mu\text{m}$ 之 HAR 結構，此產生小於5  $\mu\text{m}$ 至10  $\mu\text{m}$ 之景深（depth of field；DoF）。

【0064】 根據一實例，該成像裝置可包含一共焦成像排列。

【0065】 此排列允許僅對結構之極薄層進行成像。

【0066】 根據另一實例，該成像裝置可包含在物件處具有等於或高於0.4之數值孔徑（numerical aperture；NA）的成像排列。

【0067】 因此，該成像裝置具有極窄景深。

【0068】 在本發明之配置中，通過較厚基板層獲取結構之底部之影像。對於一些晶圓，舉例而言，可通過725  $\mu\text{m}$ 之矽層獲取影像。在彼狀況下，其可遭受光學像差，諸如球面像差。

【0069】 因此，成像裝置可包含經配置以補償由通過基板之光之路徑誘發之像差（諸如球面像差）的光學補償構件。

【0070】 成像裝置可特別地包含具有球面像差之補償器之物鏡。

【0071】 此補償器可藉由引入與由於給定基板層引起之像差互補之球面像差的光學透鏡排列來獲得。

【0072】 有利地，根據本發明之系統可進一步包含用於運用量測光束量測與結構之深度相關之至少一個深度資料的低相干性干涉計。

【0073】 干涉計可為例如時域干涉計。在彼狀況下，其包含發射多色光之寬頻帶源。其進一步包含允許變化兩個光束之間的光徑差之光學延遲線。當分別在結構之頂部及底部處反射之光束之間的光徑差或在此等各別光束與參考光束之間的光徑差由延遲線再現時，可在光偵測器上觀測到干涉叢發或條紋，從而允許量測此光徑差。自該光徑差推斷出結構之深度。

【0074】 干涉計亦可為光譜域干涉計。在彼狀況下，其包含發射多色光之寬頻帶源及用於反射光之光譜分析之光譜儀。藉由在光譜儀上組合分別由結構之頂部及底部反射之光獲得的光譜展現熟知圖案，諸如調變，其分析可提供疊加光束之間的光徑差。自該光徑差推導出結構之深度。

【0075】 干涉計亦可包含掃頻源干涉計，其具有可調諧雷射，該可調諧雷射發射光學頻率在光譜範圍內在時間上變化的單色光。反射光之強度藉由光偵

測器量測，以便重建光譜，其分析亦允許量測反射光束之間的光徑差，且因此量測結構之深度。

**【0076】** 在一些具體實例中，干涉計可耦接至傳送量測光束及反射光之光纖。此光纖可較佳地為單模光纖。

**【0077】** 干涉計可為例如類似於以WO2007/042676號公開之文件中所描述之干涉計。

### **【圖式簡單說明】**

**【0078】** 在對絕非限制性的具體實例之詳細描述及附圖進行檢查時，其他優點及特性將變得顯而易見，其中：

[圖1及圖1a]為根據本發明之系統之非限制性實例的圖解表示；

[圖2至圖4]為根據本發明之方法之非限制性實例的圖解表示。

**【0079】** 應很好地理解，下文將描述之具體實例決非限制性的。特定言之，有可能設想本發明之變體僅包含下文中所描述之特性之選擇，與所描述之其他特性隔離（若此特性選擇足以賦予技術優點或區分本發明與先前最新技術）。若此部分單獨足以賦予技術優點或關於先前技術區分本發明，則此選擇包含至少一個（較佳地功能性）特徵，而無結構性細節或僅具有結構性細節的一部分。

**【0080】** 在諸圖中，若干圖共有的元件可保持相同編號。

### **【實施方式】**

**【0081】** 圖1為根據本發明之系統之非限制性實例的圖解表示。

**【0082】** 圖1中所表示之系統100可用於特徵化在諸如晶圓之基板中蝕刻的結構，且尤其是HAR結構。更特定言之，系統100可用以量測基板中蝕刻之結構底部的側向資料。

【0083】 如圖1中所表示，系統100用以特徵化經蝕刻於諸如晶圓之基板102中之結構。在圖1中，為了易於理解，僅表示一個結構104。當然，基板可包含多於一個結構。結構104可例如為在基板102中自基板102之頂部表面106蝕刻的溝槽。基板102亦包含與頂部表面相對之底部表面108。

【0084】 圖1a繪示待對基板102中蝕刻之結構104進行量測之資訊，即，底部CD 150及可能深度152。在所繪示之實例中，結構104可為例如孔或TSV，且側向資料或底部CD資料150可表示該結構在其底部105處之內徑。結構104亦可為細長溝槽，且其底部105處的底部CD 150可為其最小橫向尺寸或其寬度。

【0085】 系統100包含：成像裝置，其用於通過基板102獲取至少一個影像，更特定言之獲取在基板102中蝕刻之結構104之底部105的至少一個影像；及影像處理構件，其用於該至少一個經捕獲影像以用於判定關於基板102之至少一個結構之至少一個第一資料。

【0086】 成像裝置定位於基板102之底部表面108的側面上。如圖1之非限制性實例中所表示，成像裝置包含攝影機122、背面透鏡120及鏡筒透鏡124以對基板102之底部表面108在攝影機122上進行成像。

【0087】 成像裝置經配置以具有極窄景深，以便確保僅對底部處之結構的窄切片進行成像，使得經量測之側向資料對應於彼切片，而並不對應於遍及結構之較大部分之平均化資料。因此，成像裝置使用具有0.4或更高之數值孔徑（numerical aperture；NA）的背面透鏡120，諸如具有更高20倍放大率的顯微鏡接物鏡。

【0088】 背面透鏡120亦可包含補償構件（圖中未示），該補償構件經配置以補償像差，且尤其是由光通過基板102之路徑誘發的球面像差。否則，所獲取影像可具有降級解析度，尤其是在通過厚基板層（諸如（例如）725  $\mu\text{m}$ 之矽）獲取影像的情況下。補償構件可包含例如引入具有相反效應之球面像差的光學排

列。

【0089】 系統100亦包含排列於基板102之背面或底面處之光源130。由光源130發射之波長適於透射通過基板之材料。舉例而言，若基板為矽，則光源應發射具有長於1  $\mu\text{m}$ 或1.1  $\mu\text{m}$ 之波長的光。光源130以反射方式照明基板102之背面，且因此照明在基板102中蝕刻的結構104之一或多個底部105。

【0090】 替代地或另外，光源131亦可排列於基板之頂面上。在此狀況下，波長必須亦適於透射通過基板之材料。舉例而言，若基板為矽，則光源應發射具有長於1  $\mu\text{m}$ 或1.1  $\mu\text{m}$ 之波長的光。光源131照明基板102之頂部表面106且因此照明基板102中蝕刻之一或多個結構104。因此，此等結構104且尤其是其底部105，通過結構自身且通過周圍基板以透射方式被照明。

【0091】 攝影機122經配置以捕捉/獲取在基板102中蝕刻的至少一個結構104之底部之至少一個影像。藉由由處理模組126執行之標準影像處理技術處理所獲取之影像，以用於量測關於至少一個結構104之底部105之側向尺寸的側向資料。處理模組126可為諸如處理器或晶片之硬體模組，或諸如電腦程式之軟體模組。影像之處理可特別地包含分段及/或圖案偵測以識別影像中之結構。

【0092】 有利地，系統100進一步包含聚焦控制器。聚焦控制器較佳地藉由處理模組126實施。替代地，其亦可在第二單獨的處理模組（圖中未示）中予以實施。使用聚焦控制器以便確保在對結構104之底部105進行成像時，實際上是對結構104之底部105進行成像，而非對結構104之另一部分進行成像。

【0093】 聚焦控制器經配置以沿著z方向移動與成像裝置之影像平面（例如，在攝影機上）光學共軛的物件平面。為了移動物件平面，根據一實例，可使背面透鏡120沿著z方向移動。替代地，成像裝置可相對於基板102全局地移動或沿著z方向反向地移動。聚焦控制器經進一步配置以控制沿著z方向在物件平面之不同位置處對物件平面之影像的獲取，且識別結構104之底部105之至少一個影

像，亦即，用定位於至少一個結構104之底部105處之物件平面獲取之影像。

【0094】 如圖1中所表示之根據具體實例之系統100視情況進一步包含置放於基板102之頂部表面106之側上的低相干性干涉計110。該低相干性干涉計110用以量測關於結構104之深度之至少一個資料，且尤其用以量測結構104之深度。

【0095】 低相干性干涉計110因此在基板相對於成像裝置之相對側處排列。

【0096】 干涉計110可為例如時域干涉計。在彼狀況下，其包含發射多色光之寬頻帶源（圖中未示）。其進一步包含允許變化兩個光束之間的光徑差之光學延遲線。當分別在結構104之頂部及底部處反射之光束之間的光徑差或在此等各別光束與參考光束之間的光徑差由延遲線再現時，可在光偵測器上觀測到干涉叢發或條紋，從而允許量測此光徑差。自該光徑差推導出結構104之深度。

【0097】 干涉計亦可為光譜域干涉計。在彼狀況下，其包含發射多色光之寬頻帶源（圖中未示）及用於反射光之光譜分析之光譜儀。藉由在光譜儀上組合分別由結構104之頂部及底部反射之光獲得的光譜展現熟知圖案，諸如調變，其分析可提供疊加光束之間的光徑差。自該光徑差推導出結構104之深度。

【0098】 干涉計110亦可包含掃頻源干涉計，其具有可調諧雷射，該可調諧雷射發射光學頻率在光譜範圍內在時間上變化的單色光。反射光之強度藉由光偵測器量測，以便重建光譜，其分析亦允許量測反射光束之間的光徑差，且因此量測結構104之深度。

【0099】 干涉計110可例如類似於在WO 2007/042676中所描述之干涉計。

【0100】 視情況但較佳地，由干涉計110發射之量測光束及自基板102接收到之反射光可使用耦接至干涉計110之單模光纖112自干涉計110傳送及傳送至該干涉計。

【0101】 為了量測窄結構，諸如具有小於 $5\ \mu\text{m}$ 之直徑的TSV，量測光源可例如發射在可見光譜範圍內（例如 $< 900\ \text{nm}$ ）之光，以用於更好地傳播至此等結構中，尤其是具有高縱橫比（HAR）的結構。

【0102】 系統100亦包含固持器114，諸如晶圓夾盤，其與諸如旋轉載台之位移構件116相關聯，以在x-y方向且視情況在z方向上移動及定位基板102。

【0103】 當實施干涉計110時，系統100亦包含用於調整由干涉計110發射之量測光束在基板之頂部表面106上的直徑以便將該量測光束之直徑調整至在檢測中之結構的構件。

【0104】 在圖1中所展示之實例中，可藉由光纖112之芯或射出光纖之光之模場直徑以及由準直透鏡118與前側透鏡119之組合提供的放大率來判定量測光束之直徑。可改變此等透鏡118、119中之至少一者以便改變放大率，且因此調整量測光束在頂部表面106上之直徑。

【0105】 調整構件可例如包含用於改變透鏡118、119中之至少一者及/或變化透鏡118、119中之一者之焦距以相應地改變放大率的迴轉台（圖中未示）。

【0106】 調整構件亦可包含在量測光束經準直之區段中，諸如在準直透鏡118與前側透鏡119之間的光束擴展器（圖中未示）。光束擴展器修改光束直徑且因此修改光束聚焦之數值孔徑（numerical aperture；NA）。此最終界定在頂部表面106上之量測光束之直徑。

【0107】 系統100包含控制單元132。控制單元132經配置以用於控制用於調整量測光束之直徑之構件。控制單元132可例如控制迴轉台以用於改變透鏡118、119中之至少一者。控制單元132亦經配置以用於控制由干涉計110發射之量測光束在結構104上之定位。在圖1中所繪示之具體實例中，控制單元132控制/命令固持器114及/或載台116。

【0108】 對於至少一個結構，側向資料可包含在基板102之平面中的結構

104之底部105的位置。在此狀況下，當使用干涉計110時，HAR結構104之底部105之位置可傳達至調整構件以命令/控制固持器114及/或載台116，以用於相對於HAR結構104準確地定位由干涉計110發射之量測光束。

【0109】 替代地或另外，對於至少一個HAR結構，側向資料可包含結構104之底部CD。在此狀況下，當使用干涉計110時，結構104之底部CD可傳達至調整構件以命令/控制迴轉台調整由干涉計110發射之量測光束之直徑。

【0110】 系統100可實施於根據本發明之方法中，以便特徵化在基板中蝕刻之結構，且尤其是HAR結構。

【0111】 圖2為根據本發明之方法之非限制性實例的圖解表示。該方法可藉由根據本發明之系統，且尤其是圖1中所表示之系統100來進行。

【0112】 圖2中所展示之方法200可用以特徵化在諸如晶圓之基板中蝕刻的結構，且尤其是高縱橫比HAR結構。更特定言之，圖2之方法100可用以量測在基板中蝕刻之結構之底部的側向資料。

【0113】 方法200包含照明至少一個結構，且尤其是至少一個結構之底部的步驟202。照明可藉助於定位於基板之頂面及/或底面上的光源來實現，且該光源之發射光具有適於透射通過基板之波長。

【0114】 在照明步驟202之後，方法100包含底部影像獲取步驟204。在此步驟204期間，至少一個結構之底部的至少一個影像由成像裝置捕獲。所捕獲影像可包含屬於在基板中蝕刻之一或多個或所有結構的一或多個或所有底部。

【0115】 如先前所解釋，成像裝置包含攝影機及諸如顯微鏡排列之光學成像構件。

【0116】 底部影像獲取步驟204包含獲取步驟206，其用於獲取在沿著深度或z方向之不同位置處的一個影像或影像序列。此係藉由在沿著z方向之不同位置處定位與成像裝置之影像平面（諸如攝影機之影像平面）光學共軛的物件平面來

達成。為此，例如藉由使透鏡（諸如圖1之背面透鏡120）或成像裝置相對於基板或沿著z方向反向地移動來移動物件平面。

**【0117】** 底部影像獲取步驟亦包含識別步驟208，其中在影像序列當中識別至少一個結構之底部的影像，或在僅獲取一個影像的情況下驗證至少一個結構之底部的影像。此識別可根據已知影像處理技術實現。

**【0118】** 根據一具體實例，其包含以下步驟：

- 在一序列之影像當中識別顯示結構之影像以將這些影像與針對位於該結構下方之基板中的物件平面所獲取之影像進行區分，其中該結構係離焦的。此可使用諸如影像分段、特徵提取或斑點分析之影像處理技術來完成以在所獲取影像中定位結構；

- 識別該影像序列中之對應於至少一個結構與其下方之基板之間在z上之轉變的影像；

- 在該轉變區域中找到影像或最深的影像，其顯示該結構且可能匹配（最多）一些品質準則，諸如清晰度或高空間頻率下之內容，該影像可被認為是結構之底部之最佳表示，或針對與結構之底部重合之物件平面所獲取的影像。

**【0119】** 亦歸功於成像系統之景深小，可以肯定的是，以此方式識別之影像顯示結構之底部，而非結構之另一部分。當然，若存在具有不同深度之若干結構或具有不同深度之若干底部的複雜結構，則可保留對應於此等不同深度之若干影像。

**【0120】** 根據一實例，物件平面在步驟206期間自基板之底部表面開始移動通過基板，直至結構之底部出現在所獲取影像中為止。基板之底部表面具有表面易於在影像中發現之優點。接著，在步驟208中，識別顯示結構之底部之最佳表示的影像，如上文所解釋。

**【0121】** 根據另一實例，物件平面在步驟208期間例如自基板之頂部表面

開始移動通過一結構，直至該結構自影像消失為止。接著，在步驟208中，識別顯示結構之底部之最佳表示的影像，如上文所解釋。

**【0122】** 根據另一實例，執行步驟206及208，如先前所解釋，但其中圍繞結構之預識別底部位置定位窄得多的z掃描範圍。為此，使用結構深度之先驗知識，甚至近似知識。彼資訊可為例如藉由設計已知之標稱或預期深度。其亦可藉由使用例如干涉計來量測結構之深度而獲得，如下文所解釋。深度資訊允許相對於基板之頂部表面定位結構之底部。另外，亦可使用基板之總厚度，其亦可自設計資訊或例如藉由干涉計之厚度量測導出。在彼狀況下，亦可相對於基板之底面定位結構之底部。此方法允許更快且亦更精確的量測，尤其藉由限制底部錯誤偵測之風險。

**【0123】** 根據又一實例，亦使用如先前所解釋而獲得的底部位置之先驗知識，在步驟206處直接在底部之所估計位置處獲取一個影像。接著如之前所解釋在步驟208處藉由定位結構及檢查品質準則來驗證該影像。若影像不滿足一些準則，則可針對鄰域中之另一z獲取另一影像，並對其進行分析等等，直至發現匹配品質準則之影像為止。在彼狀況下，可實施基於鄰域中之影像之一些準則的演進之掃描策略以最佳化掃描程序。

**【0124】** 一旦捕獲底部之至少一個影像，就在處理步驟210中處理影像，以便獲得至少一個結構之底部的側向資料。處理步驟210可包含使用諸如影像分段、特徵提取或識別或斑點偵測之通常已知之影像處理方法或使用如在前一步驟中獲得之彼資訊來識別對應於結構之底部的影像之區的步驟。

**【0125】** 側向資料可包含例如與結構底部處的結構之側向尺寸相關的資訊，或底部CD資訊。彼底部CD資訊可例如與孔或通孔（TSV）之底部處之直徑或截面相關，或與底部處之溝槽之寬度相關，或與經蝕刻結構在其底部處之各種圖案元素之間的任何尺寸相關。為了獲得彼底部CD資訊，在結構之經識別底部

上之影像中根據適於所關注結構之量測圖案來進行尺寸量測。

【0126】 在至少一個所捕獲影像包含複數個底部之狀況下，影像處理允許判定底部中之各者的側向資料。

【0127】 圖3為根據本發明之方法之另一非限制性實例的圖解表示。

【0128】 圖3中所展示之方法300可用以量測或特徵化在諸如晶圓之基板中蝕刻的結構或HAR結構。更特定言之，圖3之方法300可用以量測在基板中蝕刻之結構或HAR結構之底部的側向資料以及這些結構之深度。

【0129】 方法300包含照明步驟202、底部影像獲取步驟204及影像處理步驟210。如參考圖2所描述，實現照明步驟202、底部影像獲取步驟204及影像處理步驟210。

【0130】 方法300進一步包含針對至少一個結構進行之干涉量測步驟212，在此期間，藉由光學干涉法來量測與該結構之深度相關的深度資料。

【0131】 干涉量測係藉由排列於基板之頂面上的低相干性光學干涉計(諸如參看圖1之系統所描述之干涉計)進行。

【0132】 如關於圖1所解釋，量測步驟212提供干涉信號，可接著處理該干涉信號以獲得深度資料。

【0133】 視情況，若設計並未知曉，則該方法亦可包含藉由同一干涉計或另一干涉計來量測基板之總厚度的步驟。

【0134】 干涉量測步驟212可在用於獲得結構之底部之側向資料的方法300之其他步驟之前、之後或與之同時實現。

【0135】 若首先進行干涉量測步驟212，則在底部影像獲取步驟204中，可使用結構之深度資料及視情況在量測步驟212中獲得的基板之厚度資訊以調整成像裝置之物件平面在彼結構之底部上的位置。特定言之，圖1之系統之聚焦控制器126可使用由量測步驟212提供之結構之深度資訊及可能基板之厚度資訊，

以便將成像裝置之物件平面定位於結構之底部上，或至少藉由僅通過經預識別之底部位置周圍之窄鄰域進行掃描來限制在步驟206處要獲取之掃描範圍或影像之數目，如關於圖2所解釋。

【0136】 圖4為根據本發明之方法之另一非限制性實例的圖解表示。

【0137】 圖4中所表示之方法400可用以特徵化在諸如晶圓之基板中蝕刻的結構，且尤其是HAR結構。更特定言之，圖4之方法400可用以量測在基板中蝕刻之結構之底部的側向資料以及這些結構之深度。

【0138】 方法400包含照明結構之步驟202及獲取底部影像之步驟204，類似於方法200及300。方法400亦包含方法300之干涉量測步驟212。

【0139】 方法400進一步包含影像處理步驟230，其包含方法200及300之影像處理步驟210的所有步驟。特定言之，在步驟216處，以與方法100中所描述相同的方式，自側向資料獲得底部CD資訊。

【0140】 影像處理步驟230亦可視情況包含處理步驟214，其中獲得與位置資料相關之側向資料。彼位置資料對應於影像中可見之至少一個結構之底部的位置。其可藉由在影像中找到結構底部之座標、諸如結構重心之指示器的座標來獲得。

【0141】 在一些具體實例中，可僅進行處理步驟216。在一些具體實例中，可進行兩個處理步驟214及216。在此後者狀況下，可在單個處理步驟期間進行處理步驟214及216。

【0142】 方法400可包含選用步驟218，其用於根據在步驟214處判定之位置資料來調整干涉計之量測光束在頂部表面上的位置，使得量測光束準確地定位於經特徵化之結構上。可藉由相對於基板之頂部表面之平面移動干涉計及/或藉由相對於干涉計移動基板來調整量測光束在頂部表面上之位置。

【0143】 如圖4中所表示之方法400進一步包含用於根據底部CD資料調整

用於干涉量測之量測光束之直徑的步驟220。調整量測光束之直徑以便確保量測光束進入結構且到達結構（尤其是針對HAR結構）之底部，以便恰當地量測該結構之深度。

**【0144】** 方法400接著包含如方法300中所描述之干涉量測步驟212以量測結構之深度。一旦在步驟220且視情況在步驟218處恰當地調整量測光束，就進行此步驟。

**【0145】** 當然，本發明不限於上文所描述之實例。

### **【符號說明】**

#### **【0146】**

100:系統

102:基板

104:結構

105:底部

106:頂部表面

108:底部表面

110:低相干性干涉計

112:單模光纖

114:固持器

116:位移構件/載台

118:準直透鏡

119:前側透鏡

120:背面透鏡

122:攝影機

124:鏡筒透鏡  
126:處理模組  
130:光源  
131:光源  
132:控制單元  
150:底部CD  
152:深度  
200:方法  
202:照明步驟  
204:底部影像獲取步驟  
206:獲取步驟  
208:識別步驟  
210:影像處理步驟  
212:干涉量測步驟  
214:處理步驟  
216:處理步驟  
218:選用步驟  
220:步驟  
230:影像處理步驟  
300:方法  
400:方法

## 【發明申請專利範圍】

【請求項1】一種用於特徵化在諸如晶圓之基板（102）中蝕刻的結構（104）之方法（200，300，400），該方法（200，300）包含以下步驟：

運用自光源（130，131）發出之照明光束照明（202）至少一個結構（104），該光源發射具有適於透射通過該基板（102）之波長的光，

運用定位於該基板（102）之底面（108）上之成像裝置（120，122，124）通過該基板（102）獲取（204）該至少一個結構（104）之底部（105）的至少一個影像，及

自該至少一個所獲取影像量測（210）與該至少一個結構（104）之該底部（105）之側向尺寸相關的至少一個資料，被稱為側向資料。

【請求項2】如請求項1之方法（200，300，400），其中獲取該至少一個結構（104）之底部（105）之至少一個影像的該步驟（204）包含沿著對應於該結構（104）之深度方向的方向z掃描該至少一個結構（104）及/或該至少一個結構（104）下方之該基板（102）的步驟（206）。

【請求項3】如請求項2之方法（200，300，400），其中獲取該底部之至少一個影像之該步驟（204）包含：

沿著該z方向移動（206）與該成像裝置（122）之影像平面光學共軛的物件平面，

獲取（206）沿著該z方向在該物件平面之不同位置處的該物件平面之影像或影像序列，及

識別（208）運用定位於該至少一個結構（104）之底部（105）處之該物件平面獲取的該至少一個結構（104）之底部（105）之至少一個影像。

【請求項4】如請求項3之方法（200，400），其中識別底部（105）之至少一個影像之該步驟（208）包含以下步驟中之至少一者：

偵測該至少一個結構 (104) 與其下方之該基板 (102) 之間的該影像序列之轉變，

量測這些所獲取影像之清晰度或空間頻率。

【請求項5】如請求項1至4中任一項之方法 (300, 400)，其中其進一步包含量測與該至少一個結構 (104) 之深度相關的至少一個深度資料之步驟 (212)。

【請求項6】如請求項5之方法 (300, 400)，其中獲取該至少一個結構 (104) 之底部 (105) 之至少一個影像的該步驟 (204, 206) 係使用經量測的該深度資料來實現。

【請求項7】如請求項5之方法，其中量測與該至少一個結構 (104) 之深度相關之至少一個深度資料的該步驟 (212) 係運用定位於該基板 (102) 之頂面 (106) 上且具有點量測光束的低相干性干涉計 (110) 來進行。

【請求項8】如請求項7之方法 (400)，其中該至少一個側向資料包含與該至少一個結構 (104) 之該底部 (105) 之位置相關的位置資料，該方法 (300, 400) 進一步包含根據該位置資料調整該量測光束在該基板 (102) 之頂部表面 (106) 上之位置的步驟 (218)。

【請求項9】如請求項7之方法 (300, 400)，其中該至少一個側向資料包含與該底部 (105) 處之該至少一個結構 (104) 之側向尺寸相關的底部CD資料，該方法 (300, 400) 進一步包含根據該底部CD資料調整該量測光束之直徑的步驟 (220)。

【請求項10】一種用於特徵化在諸如晶圓之基板 (102) 中蝕刻之結構 (104) 的系統 (100)，該系統 (100) 包含：

至少一個光源 (130)，其用於照明結構 (104)，該至少一個光源 (130, 131) 發射具有適於透射通過該基板 (102) 之波長的光；

成像裝置 (120, 122, 124)，其定位於該基板 (102) 之底面 (108) 上以用

於通過該基板（102）獲取該結構（104）之底部（105）的至少一個影像；及  
影像處理構件（126），其用於自該至少一個所獲取影像量測與該結構（104）  
之該底部（105）之側向尺寸相關的至少一個資料，被稱為側向資料。

**【請求項11】**如請求項10之系統（100），其中其進一步包含聚焦控制構件  
（126），該聚焦控制構件經配置以：

沿著z方向移動與該成像裝置（120，122，124）之影像平面光學共軛的物件  
平面，

獲取沿著該z方向在該物件平面之不同位置處的該物件平面之影像，及

識別運用定位於該至少一個結構（104）之底部（105）處之該物件平面獲取的  
該至少一個結構（104）之底部（105）之至少一個影像。

**【請求項12】**如請求項10或11之系統（100），其中該至少一個光源（130）  
定位於該基板（102）之底面（108）上。

**【請求項13】**如請求項10或11之系統（100），其中該至少一個光源定位於該  
基板（102）之頂面（106）上。

**【請求項14】**如請求項10或11之系統（100），其中該成像裝置（120，122，  
124）包含共焦成像排列。

**【請求項15】**如請求項10或11之系統（100），其中該成像裝置（120，122，  
124）包含在該物件處具有等於或高於0.4之數值孔徑的成像排列。

**【請求項16】**如請求項10或11之系統（100），其中該成像裝置（120，122，  
124）包含具有球面像差之補償器的物鏡（120）。

**【請求項17】**如請求項10或11之系統（100），其進一步包含用於運用量測光  
束量測與該結構（104）之深度相關之至少一個深度資料的低相干性干涉計  
（110）。



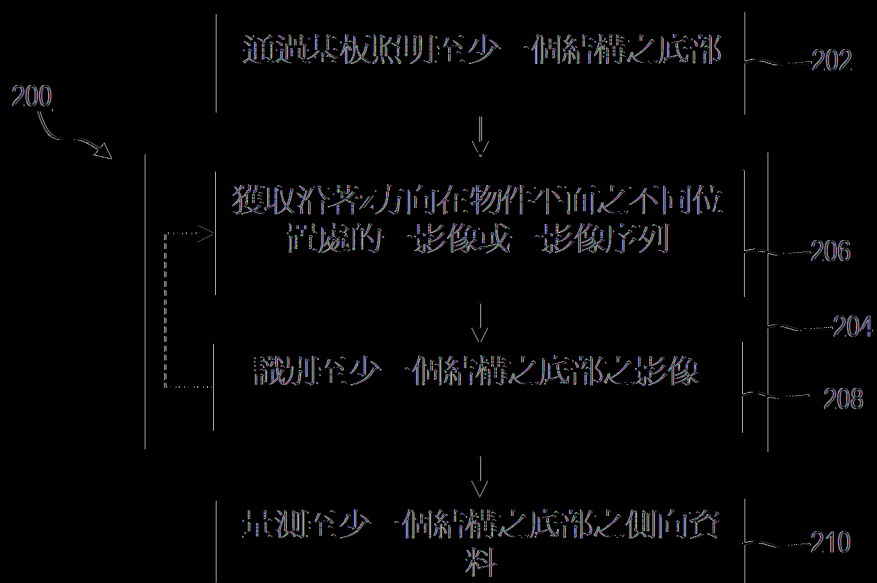


圖2



