



(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 I771499 B

(45)公告日：中華民國 111 (2022) 年 07 月 21 日

(21)申請案號：107134112

(22)申請日：中華民國 107 (2018) 年 09 月 27 日

(51)Int. Cl. : G01N21/956 (2006.01)

G01N21/25 (2006.01)

G01J4/00 (2006.01)

(30)優先權：2017/09/27 美國

62/564,119

2018/09/21 美國

16/138,813

(71)申請人：美商克萊譚克公司 (美國) KLA-TENCOR CORPORATION (US)

美國

(72)發明人：阿金斯 菲利浦 R ATKINS, PHILLIP R. (US) ; 戴奇 DAI, QI (CN) ; 李 萊寬

LEE, LIEQUAN (US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW I485394

TW 201113514A

TW 201710668A

審查人員：林佑霖

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：12 共 49 頁

(54)名稱

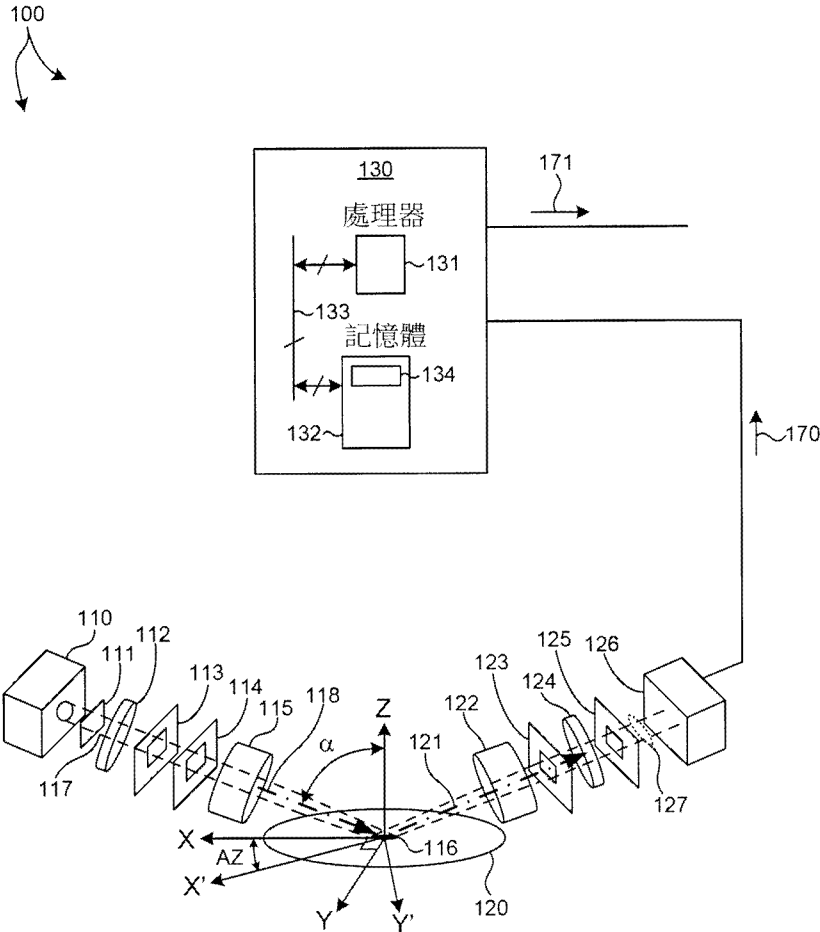
非對稱結構之尺寸之偵測與測量

(57)摘要

本文中提出用於執行半導體結構之非對稱特徵之光譜測量之方法及系統。在一個態樣中，按兩個或更多個方位角執行測量以確保對一任意定向之非對稱特徵之敏感度。在波長上對與對非對稱性敏感之一或多個非對角線穆勒矩陣元素相關聯之光譜求積分以判定一或多個光譜回應度量。在一些實施例中，在經選擇以增加信雜比之一或多個波長子區域上執行該積分。基於該等光譜回應度量及藉由傳統基於光譜匹配之技術測量之臨界尺寸參數判定特性化一非對稱特徵之參數值。

Methods and systems for performing spectroscopic measurements of asymmetric features of semiconductor structures are presented herein. In one aspect, measurements are performed at two or more azimuth angles to ensure sensitivity to an arbitrarily oriented asymmetric feature. Spectra associated with one or more off-diagonal Mueller matrix elements sensitive to asymmetry are integrated over wavelength to determine one or more spectral response metrics. In some embodiments, the integration is performed over one or more wavelength sub-regions selected to increase signal to noise ratio. Values of parameters characterizing an asymmetric feature are determined based on the spectral response metrics and critical dimension parameters measured by traditional spectral matching based techniques.

指定代表圖：



【圖1】

符號簡單說明：

- 100 . . . 度量系統
- 110 . . . 照明源/光源
- 111 . . . 光學濾光器
- 112 . . . 偏光組件
- 113 . . . 場光闌
- 114 . . . 孔徑光闌
- 115 . . . 照明光學器件
- 116 . . . 測量點
- 117 . . . 照明光束
- 118 . . . 主光線
- 120 . . . 晶圓/樣品
- 121 . . . 主光線
- 122 . . . 收集光學器件
- 123 . . . 收集孔徑光闌
- 124 . . . 偏光元件
- 125 . . . 收集場光闌
- 126 . . . 光譜儀
- 127 . . . 收集光束/收集光
- 130 . . . 運算系統/電腦系統
- 131 . . . 處理器
- 132 . . . 記憶體
- 133 . . . 匯流排
- 134 . . . 程式指令
- 170 . . . 輸出信號/測量光譜/測量資料
- 171 . . . 幾何參數/估計參數值



I771499

【發明摘要】

【中文發明名稱】

非對稱結構之尺寸之偵測與測量

【英文發明名稱】

DETECTION AND MEASUREMENT OF DIMENSIONS OF
ASYMMETRIC STRUCTURES

【中文】

本文中提出用於執行半導體結構之非對稱特徵之光譜測量之方法及系統。在一個態樣中，按兩個或更多個方位角執行測量以確保對一任意定向之非對稱特徵之敏感度。在波長上對與對非對稱性敏感之一或多個非對角線穆勒矩陣元素相關聯之光譜求積分以判定一或多個光譜回應度量。在一些實施例中，在經選擇以增加信雜比之一或多個波長子區域上執行該積分。基於該等光譜回應度量及藉由傳統基於光譜匹配之技術測量之臨界尺寸參數判定特性化一非對稱特徵之參數值。

【英文】

Methods and systems for performing spectroscopic measurements of asymmetric features of semiconductor structures are presented herein. In one aspect, measurements are performed at two or more azimuth angles to ensure sensitivity to an arbitrarily oriented asymmetric feature. Spectra associated with one or more off-diagonal Mueller matrix elements sensitive to asymmetry are integrated over wavelength to determine one or more spectral response metrics. In some embodiments, the integration is performed over one or more wavelength sub-regions

selected to increase signal to noise ratio. Values of parameters characterizing an asymmetric feature are determined based on the spectral response metrics and critical dimension parameters measured by traditional spectral matching based techniques.

【指定代表圖】

圖1

【代表圖之符號簡單說明】

- | | |
|-----|--------|
| 100 | 度量系統 |
| 110 | 照明源/光源 |
| 111 | 光學濾光器 |
| 112 | 偏光組件 |
| 113 | 場光闌 |
| 114 | 孔徑光闌 |
| 115 | 照明光學器件 |
| 116 | 測量點 |
| 117 | 照明光束 |
| 118 | 主光線 |
| 120 | 晶圓/樣品 |
| 121 | 主光線 |
| 122 | 收集光學器件 |
| 123 | 收集孔徑光闌 |
| 124 | 偏光元件 |
| 125 | 收集場光闌 |

- 126 光譜儀
- 127 收集光束/收集光
- 130 運算系統/電腦系統
- 131 處理器
- 132 記憶體
- 133 匯流排
- 134 程式指令
- 170 輸出信號/測量光譜/測量資料
- 171 幾何參數/估計參數值

【發明說明書】

【中文發明名稱】

非對稱結構之尺寸之偵測與測量

【英文發明名稱】

DETECTION AND MEASUREMENT OF DIMENSIONS OF
ASYMMETRIC STRUCTURES

【技術領域】

【0001】 所描述實施例係關於度量系統及方法，且更特定而言係關於用於半導體結構之改良式測量之方法及系統。

【先前技術】

【0002】 半導體裝置(諸如邏輯及記憶體裝置)通常藉由應用於一樣品之一系列處理步驟來製造。藉由此等處理步驟形成半導體裝置之各種特徵及多個結構層級。例如，微影術尤其係一種涉及在一半導體晶圓上產生一圖案之半導體製程。半導體製程之額外實例包含但不限於化學機械拋光、蝕刻、沈積及離子植入。多個半導體裝置可經製造在單個半導體晶圓上，且接著被分成個別半導體裝置。

【0003】 在一半導體製程期間之各個步驟使用度量程序來偵測晶圓上之缺陷以促成更高良率。光學度量技術提供高處理能力而無樣本毀壞之風險之潛力。數種基於光學度量之技術(包含散射測量及反射測量實施方案以及相關聯分析演算法)通常用來特性化奈米級結構之臨界尺寸、膜厚度、組合物、疊對及其他參數。

【0004】 許多光學度量系統間接測量一樣品之實體性質。在大多數情況下，經測量光學信號無法用來直接判定所關注之實體性質。

【0005】傳統上，測量程序包括制定一度量模型，該度量模型試圖基於測量目標與特定度量系統之互動之一模型預測經測量光學信號。測量模型包含根據所關注測量目標之實體性質(例如，膜厚度、臨界尺寸、折射率、光柵節距等)對結構之一參數化。另外，該測量模型包含測量工具本身之一參數化(例如，波長、入射角、偏光角等)。例如，機器參數係用來特性化度量工具本身之參數。例示性機器參數包含入射角(AOI)、檢偏鏡角(A_0)、偏光器角(P_0)、照明波長、數值孔徑(NA)等。樣品參數係用來特性化樣品之幾何及材料性質之參數。針對一薄膜樣品，例示性樣品參數包含折射率、介電函數張量、所有層之標稱層厚度、層序列等。

【0006】出於測量目的，將機器參數視為已知固定參數且將樣品參數或樣品參數之一子集視為未知浮動參數。藉由一擬合程序(例如，回歸、庫匹配等)解析浮動參數，該擬合程序產生自測量模型導出之理論預測光譜資料與經測量光譜資料之間的最佳擬合。改變未知樣品參數且計算模型化光譜並以一反覆方式比較模型化光譜與經測量光譜資料，直至判定一樣品參數值集合，從而導致模型化光譜與經測量光譜之間的一緊密匹配。

【0007】此傳統基於模型之測量方法已應用於描述非對稱結構特徵及對稱結構特徵之參數之估計。在一些實例中，藉由強調與特定非對角線穆勒元素相關聯之匹配的模型化光譜及經測量光譜來改良描述非對稱結構特徵之參數之估計。此方法在Rabello等人之美國專利第8,525,993號中進一步詳細描述，該專利之全文內容以引用方式併入本文中。

【0008】不幸的是，在許多情況下，一些所關注參數(尤其描述非對稱結構特徵之參數)與經測量光譜回應弱相關。在此等情況下，描述一非

對稱結構特徵之參數之變化不導致所得光譜之顯著變化。此歸因於測量模型中之測量雜訊及誤差兩者而增加此等參數之回歸值之不確定性。

【0009】 此外，光譜擬合方法通常涉及達成若干模型參數之最佳擬合。在搜尋提供經模擬光譜與經測量光譜之間的最佳匹配之參數集合時改變多個模型參數。此增加最佳擬合之搜尋空間之尺寸且通常不強調與經測量光譜回應弱相關之參數，尤其描述非對稱結構特徵之參數。

【0010】 另外，所關注參數之基於模型之測量通常基於來自單個入射平面之所關注結構之一測量。若非對稱特徵沿入射平面鋪設，則所得光譜信號(例如，一或多個非對角線穆勒信號)可對非對稱性不敏感。

【0011】 因此，通常無法藉由使用傳統技術匹配模型化光譜與經測量光譜來可靠地判定描述非對稱結構特徵之參數。

【0012】 總之，特徵大小之不斷減小及結構特徵之增加深度對光學度量系統提出困難要求。針對日益複雜目標，光學度量系統必須以高處理能力滿足高精度及準確度要求以保持成本效益。許多所關注結構特徵展現非對稱性。特定而言，先進記憶體結構之製造涉及經常展現非對稱性之深孔。在此內容背景中，非對稱結構特徵之可靠測量已成為光學度量系統之有效性之一重要因素。因此，期望克服與非對稱結構特徵之測量相關聯之限制之經改良度量系統及方法。

【發明內容】

【0013】 本文中提出用於執行半導體結構之非對稱特徵之光譜測量之方法及系統。處理經測量光譜以強調由先進半導體結構之製造引起之對稱性破壞缺陷之測量。

【0014】 在一個態樣中，基於藉由光譜匹配可靠地估計之一或多個

臨界尺寸參數之值及一或多個光譜回應度量判定描述所關注結構之一非對稱特徵之一或多個幾何參數之值。光譜回應度量係自與一或多個非對角線穆勒矩陣元素相關聯之光譜導出之純量值。一般而言，光譜回應度量取決於非對稱特徵及藉由光譜匹配可靠地判定之其他臨界尺寸。

【0015】 在一些實施例中，一經訓練線性模型將一非對稱性參數與一或多個光譜回應度量及藉由光譜匹配可靠地判定之一或多個臨界尺寸相關。藉由該經訓練模型之回歸判定非對稱性參數之一估計值。

【0016】 在一些實施例中，一經訓練神經網路模型將經測量光譜回應度量及臨界尺寸參數映射至非對稱性參數之值。

【0017】 在一些實施例中，採用一模型組合(諸如一經訓練線性模型及一經訓練神經網路模型)來估計一或多個非對稱性參數之值。

【0018】 在一進一步態樣中，按兩個或更多個不同方位角執行一所關注結構之光譜測量。採用所得測量來估計特性化該結構之一非對稱特徵之一或多個幾何參數。在一較佳實施例中，按彼此正交之兩個方位角執行光譜測量。多個正交測量之組合實現特性化所關注結構之一非對稱特徵及該非對稱特徵鋪設所沿之軸之幾何參數之精確估計。

【0019】 在另一進一步態樣中，藉由對與穆勒矩陣之一或多個非對角線元素相關聯之經測量光譜求積分來判定光譜回應度量。一光譜回應度量係歸因於非對稱性之光譜回應之一純量量度。對經測量光譜求積分減少雜訊且增加與穆勒矩陣元素或穆勒矩陣元素組合相關聯之信號強度。

【0020】 在另一進一步態樣中，選擇與穆勒矩陣之一或多個非對角線元素相關聯之一或多個波長子範圍。此外，藉由跨選定波長子範圍對與穆勒矩陣之一或多個非對角線元素相關聯之光譜求積分來判定光譜回應度

量。在一些實例中，基於可用經測量光譜之選定部分判定一光譜回應度量增加光譜回應度量對描述非對稱性特徵之(若干)參數之敏感度。此係藉由強調對非對稱特徵具有最大敏感度之波長及經由積分減輕隨機雜訊之影響來達成。

【0021】 在一進一步態樣中，例如藉由用一不同常數縮放各光譜回應度量來不同地加權不同光譜回應度量。以此方式，對特定非對稱性參數較敏感之光譜回應度量比對特定非對稱性參數不太敏感之光譜回應度量更重地加權。

【0022】 在又一態樣中，將本文中所描述之測量結果作為主動回饋提供給一製程工具(例如，微影工具、蝕刻工具、沈積工具等)。

【0023】 前文係一概述且因此必然包含細節之簡化、概括及省略；因此，熟習此項技術者將明白，該概述僅係闡釋性的且絕不係限制性的。本文中所描述之裝置及/或程序之其他態樣、發明特徵及優點將在本文中所闡述之非限制性詳細描述中變得顯而易見。

【圖式簡單說明】

【0024】 圖1描繪在一項實施例中用於執行非對稱結構特徵之光譜測量之一度量系統100。

【0025】 圖2描繪包含一傾斜孔特徵150之圖1中所描繪之晶圓120之一俯視圖。

【0026】 圖3描繪圖2中所描繪之區段A之一橫截面視圖。

【0027】 圖4描繪包含多個孔區段之圖2中所描繪之區段A之一截面視圖。

【0028】 圖5描繪與穆勒矩陣元素 M_{02} 及 M_{20} 之和相關聯之一光譜回

應153之一圖解。

【0029】圖6描繪模擬結果之一圖表，其繪示相關聯於模擬之實際傾斜角與由本文中所描述之一經訓練線性模型估計之傾斜角之回歸值之間的一比較。

【0030】圖7描繪模擬結果之一圖表，其繪示相關聯於圖6中所描繪之相同模擬之實際定向角與由本文中所描述之一經訓練線性模型估計之定向角之回歸值之間的一比較。

【0031】圖8描繪模擬結果之一圖表，其繪示實際傾斜角與由一神經網路模型及一經訓練線性模型之一組合估計之傾斜角之回歸值之間的一比較。

【0032】圖9描繪模擬結果之一圖表，其繪示實際定向角與由一神經網路模型及一經訓練線性模型之一組合估計之定向角之回歸值之間的一比較。

【0033】圖10描繪模擬結果之一圖表，其繪示實際傾斜角與由一經訓練神經網路模型估計之傾斜角之回歸值之間的一比較。

【0034】圖11描繪一例示性所關注高縱橫比NAND結構。

【0035】圖12繪示在至少一個新穎態樣中執行非對稱結構特徵之光譜測量之一方法200。

【實施方式】

【0036】本專利申請案根據35 U.S.C. §119規定主張2017年9月27日申請之標題為「Detection And Measurement of Dimensions of Asymmetric Structures」之美國臨時專利申請案第62/564,119號之優先權，該案之標的物之全文以引用方式併入本文中。

【0037】 現將詳細參考本發明之背景實例及一些實施例，其等實例係在隨附圖式中繪示。

【0038】 本文中提出用於執行半導體結構之非對稱特徵之光譜測量之方法及系統。處理經測量光譜以強調由先進半導體結構之製造引起之對稱性破壞缺陷之測量。例如，控制蝕刻深孔之程序已成為製造高縱橫比記憶體結構(例如，三維NAND記憶體)中之一關鍵程序要求。按兩個或更多個方位角執行一所關注結構之測量以確保對一任意定向之非對稱特徵之敏感度。選擇與對非對稱性敏感之一或多個非對角線穆勒矩陣元素相關聯之光譜以進行進一步分析。將選定光譜進一步細分為經選擇以增加信雜比之一或多個波長子區域。在選定波長子區域內對選定光譜求積分以產生與非對角線穆勒矩陣元素相關聯之光譜回應度量。基於光譜回應度量及藉由傳統基於光譜匹配之技術測量之臨界尺寸參數判定特性化一非對稱特徵之幾何形狀之參數值。此等特徵個別地或組合地實現具有高處理能力、精度及準確度之高縱橫比結構(例如，具有1微米或更大深度之結構)之非對稱特徵之高處理能力測量。

【0039】 圖1描繪用於執行半導體結構之非對稱結構特徵之測量之一例示性度量系統100。在一些實例中，半導體結構包含至少一個高縱橫比(HAR)結構。如圖1中所描繪，度量系統100經組態為一寬頻光譜橢偏儀。然而，一般而言，度量系統100可經組態為一光譜反射計、散射計、橢偏儀或其等任何組合。

【0040】 度量系統100包含一照明源110，照明源110產生入射於一晶圓120上之一照明光束117。在一些實施例中，照明源110係發射紫外線、可見光及紅外線光譜中之照明光之一寬頻照明源。在一項實施例中，

照明源110係一雷射維持電漿(LSP)光源(又稱雷射驅動電漿源)。LSP光源之泵浦雷射可為連續波或脈衝。一雷射驅動電漿源可跨自150奈米至2000奈米之整個波長範圍產生顯著多於氙燈之光子。照明源110可為單個光源或複數個寬頻或離散波長光源之一組合。由照明源110產生之光包含自紫外線至紅外線(例如，真空紫外線至中紅外線)之一連續光譜或一連續光譜之部分。一般而言，照明源110可包含一超連續雷射源、一紅外線氦氖雷射源、一弧光燈或任何其他合適光源。

【0041】 在一進一步態樣中，一定量之照明光係包含跨越至少500奈米之一波長範圍之寬頻照明光。在一個實例中，寬頻照明光包含低於250奈米之波長及高於750奈米之波長。一般而言，寬頻照明光包含120奈米與3,000奈米之間的波長。在一些實施例中，可採用包含超過3,000奈米之波長之寬頻照明光。

【0042】 如圖1中所描繪，度量系統100包含經組態以將照明光117引導至形成於晶圓120上之一或多個結構之一照明子系統。該照明子系統被展示為包含光源110、一或多個光學濾光器111、偏光組件112、場光闌113、孔徑光闌114及照明光學器件115。一或多個光學濾光器111用來控制來自該照明子系統之光度、光譜輸出或兩者。在一些實例中，一或多個多區濾光器用作光學濾光器111。偏光組件112產生離開該照明子系統之所要偏光狀態。在一些實施方案中，該偏光組件係一偏光器、一補償器或兩者，且可包含任何合適市售偏光組件。該偏光組件可固定，可旋轉至不同固定位置，或連續旋轉。儘管圖1中所描繪之照明子系統包含一個偏光組件，但該照明子系統可包含一個以上偏光組件。場光闌113控制該照明子系統之視場(FOV)且可包含任何合適市售場光闌。孔徑光闌114控制該照

明子系統之數值孔徑(NA)且可包含任何合適市售孔徑光闌。透過照明光學器件115引導來自照明源110之光聚焦於晶圓120上之一或多個結構(圖1中未展示)上。該照明子系統可包含光譜橢偏測量、反射測量及散射測量技術中已知之任何類型及配置之(若干)光學濾光器111、偏光組件112、場光闌113、孔徑光闌114及照明光學器件115。

【0043】 如所描繪，在圖1中，隨著照明光束117自照明源110傳播至晶圓120，該光束穿過(若干)光學濾光器111、偏光組件112、場光闌113、孔徑光闌114及照明光學器件115。光束117在一測量點116上方照明晶圓120之一部分。

【0044】 度量系統100亦包含經組態以收集由一或多個結構與入射照明光束117之間的相互作用產生之光之一收集光學子系統。由收集光學器件122自測量點116收集一收集光束127。收集光127穿過收集光學子系統之收集孔徑光闌123、偏光元件124及場光闌125。

【0045】 收集光學器件122包含用來自形成於晶圓120上之一或多個結構收集光之任何合適光學元件。收集孔徑光闌123控制該收集光學子系統之NA。偏光元件124分析所要偏光狀態。偏光元件124係一偏光器或一補償器。偏光元件124可固定，可旋轉至不同固定位置，或連續旋轉。儘管圖1中所描繪之收集子系統包含一個偏光元件，但該收集子系統可包含一個以上偏光元件。收集場光闌125控制該收集子系統之視場。該收集子系統自晶圓120獲取光且引導光穿過收集光學器件122及偏光元件124以使其聚焦於收集場光闌125上。在一些實施例中，收集場光闌125用作偵測子系統之光譜儀之一光譜儀狹縫。然而，收集場光闌125可定位於偵測子系統之光譜儀之一光譜儀狹縫處或附近。

【0046】該收集子系統可包含光譜橢偏測量、反射測量及散射測量技術中已知之任何類型及配置之收集光學器件122、孔徑光闌123、偏光元件124及場光闌125。

【0047】在圖1中所描繪之實施例中，該收集光學子系統將光引導至光譜儀126。光譜儀126回應於自由該照明子系統照明之一或多個結構收集之光而產生輸出。在一個實例中，光譜儀126之偵測器係對紫外光及可見光(例如，具有190奈米與860奈米之間的波長之光)敏感之電荷耦合裝置(CCD)。在其他實例中，光譜儀126之偵測器之一或多者係對紅外光(例如，具有950奈米與2500奈米之間的波長之光)敏感之一光偵測器陣列(PDA)。然而，一般而言，可預期其他偵測器技術(例如，一位置敏感偵測器(PSD)、一紅外線偵測器、一光伏打偵測器等)。各偵測器將入射光轉換成指示入射光之光譜強度之電信號。一般而言，光譜儀126產生指示被測結構對照明光之光譜回應之輸出信號170。

【0048】度量系統100亦包含運算系統130，運算系統130經組態以接收指示所關注結構之經測量光譜回應之信號170且基於經測量光譜回應估計描述(若干)經測量結構之一非對稱特徵之一或多個幾何參數171之值。

【0049】一般而言，所關注結構之經測量光譜回應包含與用來特性化經測量回應之一穆勒矩陣表述之元素相關聯之光譜。斯托克斯穆勒(Stokes-Mueller)形式描述一介質對由偏光激發之回應。方程式(1)繪示一穆勒矩陣 M ，其描述藉由斯托克斯(Stokes)向量 S_I 特性化之入射光束與藉由斯托克斯向量 S_R 特性化之反射光束之間的關係。

$$S_R = MS_I \quad (1)$$

【0050】一般而言，斯托克斯向量表示一光波之偏光狀態。舉例而

言，方程式(2)繪示一斯托克斯向量 S ，其中 I 係總強度， I_0 係由相對於垂直於傳播方向之平面中之 P 偏光軸定向成一 0 度角之一線性偏光器透射之強度， I_{45} 係由相對於垂直於傳播方向之一平面中之 P 偏光軸定向成一 45 度角之一線性偏光器透射之強度， I_{-45} 係由相對於垂直於傳播方向之一平面中之 P 偏光軸定向成一 -45 度角之一線性偏光器透射之強度， I_R 係由一右圓偏光器透射之強度，且 I_L 係由一左圓偏光器透射之強度。括號中之數量在空間及時間上平均化。

$$S = \begin{bmatrix} I \\ \langle I_0 - I_{90} \rangle \\ \langle I_{45} - I_{-45} \rangle \\ \langle I_R - I_L \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

【0051】 針對一特定光譜測量，程式化入射光束之照明強度及偏光性質。因此，與入射光束相關聯之斯托克斯向量 S_I 之一些或所有元素係先驗已知的。此外，由光譜儀(即，光譜儀126)測量反射光束之強度及偏光性質。因此，測量與反射光束相關聯之斯托克斯向量 S_R 之一些或所有元素。因此，分別基於入射光及反射光之已知性質及測量性質解析一些或所有穆勒矩陣元素。方程式[3]繪示穆勒矩陣之元素以及其等分別與斯托克斯向量 S_I 及 S_R 之已知元素及測量元素之關係。

$$S_R = \begin{bmatrix} M_{00} & M_{01} & M_{02} & M_{03} \\ M_{10} & M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{20} & M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{30} & M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} S_I \quad (3)$$

【0052】 基於方程式[3]中所繪示之線性關係，可自斯托克斯向量 S_I 及 S_R 之已知元素直接判定穆勒矩陣之一些或所有元素。是否判定一些或所有穆勒矩陣元素取決於入射光之已知強度及偏光性質以及反射光之測量強度及偏光性質。例如，若偏光器112經組態為一旋轉偏光器且偏光器124經組態為一旋轉檢偏鏡，則可判定穆勒矩陣之前三列及前三行之元素。

另外，若在度量系統100之照明路徑及收集路徑中採用旋轉補償器，則可判定4x4穆勒矩陣之所有元素。

【0053】 在一進一步態樣中，基於一模型化光譜回應對與穆勒矩陣之一或多個元素相關聯之經測量光譜回應之一擬合判定一或多個臨界尺寸參數之值。通常，基於跨一或多個穆勒矩陣元素之光譜匹配可靠地估計未描述一被測結構之非對稱特徵之許多臨界尺寸參數。然而，即使在採用與穆勒矩陣之特定非對角線元素相關聯之光譜匹配之情況下，通常亦無法藉由光譜匹配可靠地估計描述一結構之非對稱特徵之幾何參數。

【0054】 在一個態樣中，基於藉由光譜匹配可靠地估計之一或多個臨界尺寸參數之值及一或多個光譜回應度量判定描述所關注結構之一非對稱特徵之一或多個幾何參數之一值。光譜回應度量係自與一或多個非對角線穆勒矩陣元素相關聯之光譜導出之純量值。一般而言，光譜回應度量取決於非對稱特徵及藉由光譜匹配可靠地判定之其他臨界尺寸。發明人已發現，將經由光譜匹配之臨界尺寸參數之估計與非對稱性參數值之估計解耦合改良非對稱性參數值之測量。在一些實施例中，一經訓練線性模型將一非對稱性參數與一或多個光譜回應度量及藉由光譜匹配可靠地判定之一或多個臨界尺寸相關。藉由經訓練模型之回歸判定非對稱性參數之一估計值。在一些實施例中，一經訓練神經網路模型將經測量光譜回應度量及臨界尺寸參數映射至非對稱性參數之值。在一些實施例中，採用一模型組合(諸如一經訓練線性模型及一經訓練神經網路模型)來估計一或多個非對稱性參數之值。一般而言，可採用任何合適模型化方法來估計一或多個非對稱性參數之值。

【0055】 圖2描繪製造於晶圓120上之一非對稱孔特徵150。如圖2中

所描繪，一X-Y座標系經附接至晶圓120。使X-Y座標系之X軸與晶圓120之刻劃道154對準。如圖2中所描繪，孔特徵150不法向於晶圓120之表面。孔特徵之偏斜方向相對於晶圓120之刻劃道154之方向定向成一角度OA。類似地，該孔特徵之偏斜方向相對於附接至晶圓120之X-Y座標系之X方向成一定向角OA。

【0056】 圖3描繪與圖1中所描繪之孔特徵150之偏斜方向對準之橫截面視圖A-A。具體而言，圖3描繪緊接於晶圓120之表面下方之一頂層或層序列120A。如圖3中所描繪，孔特徵150相對於晶圓120之一表面法線以一角度TA傾斜。在圖2及圖3中所描繪之實例中，非對稱孔特徵150係由兩個非對稱性參數描述：定向角OA及傾斜角TA。

【0057】 圖4描繪與圖1中所描繪之孔特徵150之偏斜方向對準之橫截面視圖A-A。具體而言，圖4描繪緊接於晶圓120之表面下方之一頂層或層序列120A，及緊接於(若干)層120A下方之一埋藏層或層序列120B。如圖4中所描繪，孔區段150相對於晶圓120之一表面法線以一角度TA₁傾斜且孔區段152相對於晶圓120之表面法線以一角度TA₂傾斜。另外，孔區段152相對於孔區段150水平地(即，沿平行於晶圓120之表面之一方向)移位達一疊對偏移OL。在圖4中所描繪之實例中，非對稱孔區段150及152係由四個非對稱性參數描述：定向角OA、傾斜角TA₁及TA₂、及疊對偏移OL。

【0058】 藉由非限制性實例提供傾斜孔區段150及152。一般而言，許多不同結構可展現非對稱特徵。此外，可藉由不同非對稱性參數集合描述相同非對稱特徵。在一個實例中，亦可藉由孔之橢圓形狀參數化非對稱孔特徵。

【0059】 在一進一步態樣中，按兩個或更多個不同方位角執行一所

關注結構之光譜測量。所得測量用來估計特性化如本文中所描述之所關注結構之一非對稱特徵之一或多個幾何參數。在一較佳實施例中，按彼此正交之兩個方位角執行光譜測量。多個正交測量之組合實現特性化所關注結構之一非對稱特徵及該非對稱特徵鋪設所沿之軸之幾何參數之精確估計。例如，若該非對稱特徵沿一次測量之入射平面鋪設，則正交測量將對非對稱性敏感。

【0060】如圖1中所描繪，Z軸定向成法向於晶圓120之表面。X及Y軸與晶圓120之表面共面，且因此垂直於Z軸。類似地，X'及Y'軸與晶圓120之表面共面，且因此垂直於Z軸。X'及Y'軸相對於X及Y軸旋轉達一方位角AZ。該方位角指定光繞Z軸遞送至晶圓120之定向。照明光束117之主光線118及收集光束127之主光線121界定一入射平面。X'軸與入射平面對準且Y'軸正交於入射平面。以此方式，入射平面位於X'Z平面中。照明光束117以相對於Z軸之一入射角 α 入射於晶圓120之表面上且位於入射平面內。

【0061】一般而言，一非對稱特徵相對於被測晶圓之定向係先驗未知的。按多個方位角之測量確保測量之至少一者對非對稱特徵敏感。另外，按兩個正交方位角執行測量增加準確判定非對稱性軸之可能性。此例如藉由測量一非對稱特徵相對於一第一組測量之入射平面之方位角及測量非對稱特徵相對於與一第二組測量相關聯之一第二入射平面之方位角來達成。由於與兩次測量相關聯之入射平面相對於晶圓之定向係已知的，所以自兩次測量直接判定非對稱特徵相對於晶圓之定向角。在許多測量案例中，兩次測量提供相對於晶圓之定向角之一獨立估計。然而，在其中非對稱特徵與一特定測量之入射平面對準之一些案例中，測量對非對稱性不敏

感。在此等案例中，正交測量對相同非對稱特徵最敏感，且因此提供非對稱特徵相對於晶圓之定向角之最可靠估計。

【0062】 一般而言，按多個不同方位角之測量增加可用信號資訊且增強非對稱特徵之測量準確度。因此，儘管本文中提供涉及按兩個正交角測量之實例，但一般而言，可採用按不同方位角之任何數目次測量以根據本文中所描述之方法增強測量準確度。

【0063】 在一進一步態樣中，藉由對與穆勒矩陣之一或多個非對角線元素相關聯之經測量光譜求積分來判定各與穆勒矩陣之一或多個非對角線元素相關聯之一或多個光譜回應度量。一光譜回應度量係歸因於非對稱性之光譜回應之一純量量度。對經測量光譜求積分減少雜訊且增加與穆勒矩陣元素或穆勒矩陣元素組合相關聯之信號強度。

【0064】 在由方程式(4)所繪示之一個實例中，在波長上對與穆勒矩陣元素 M_{30} 相關聯之光譜求積分。

$$SRM_{M_{30}} = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} (M_{30}) d\lambda \quad (4)$$

【0065】 在一些實例中，對穆勒矩陣之多個元素之和執行積分。方程式(5)繪示藉由對與穆勒矩陣元素 M_{20} 及 M_{02} 之和相關聯之光譜求積分來判定之一光譜回應度量。

$$SRM_{M_{02}+M_{20}} = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} (M_{02} + M_{20}) d\lambda \quad (5)$$

【0066】 在一較佳實施例中，採用非對角線穆勒矩陣元素 M_{02} 及 M_{20} 之和作為一光譜回應度量，此係因為在缺少非對稱性之情況下和 $M_{02}+M_{20}$ 等於零。因而，非對稱性之量度係由 $SRM_{M_{02}+M_{20}}$ 與零之偏差表達。類似地，在一較佳實施例中，採用非對角線穆勒矩陣元素 M_{30} 作為一光譜回應度量，此係因為在缺少非對稱性之情況下 M_{30} 等於零。因而，非對稱性之

量度係由 $SRM_{M_{30}}$ 與零之偏差表達。在另一較佳實施例中，採用光譜回應度量 $SRM_{M_{02}+M_{20}}$ 及 $SRM_{M_{30}}$ 兩者來估計描述如本文中所描述之一所關注結構之一非對稱特徵之一或多個幾何參數之一值。

【0067】 儘管本文中具體描述基於 M_{30} 及和 $(M_{02}+M_{20})$ 之光譜回應度量，但一般而言，在本專利文件之範疇內可預期基於任何合適穆勒矩陣元素或穆勒矩陣元素組合之光譜回應度量。例如，可基於 M_{03} 、和 $(M_{12}+M_{21})$ 等判定一光譜回應度量。

【0068】 在另一態樣中，將與穆勒矩陣之一或多個非對角線元素相關聯之光譜細分為一或多個波長子範圍。此外，藉由跨一或多個波長子範圍對與穆勒矩陣之一或多個非對角線元素相關聯之光譜求積分來判定光譜回應度量。在一些實例中，基於可用測量光譜之選定部分判定一光譜回應度量增加光譜回應度量對描述非對稱性特徵之(若干)參數之敏感度。此係藉由強調對非對稱特徵具有最大敏感度之波長及經由積分減輕隨機雜訊之影響來達成。

【0069】 圖5描繪與和 $(M_{02}+M_{20})$ 相關聯之一闡釋性光譜回應153。如圖5中繪示，信號回應之光譜之顯著部分係於測量之雜訊底限內，而光譜之其他部分展現顯著超過測量之雜訊底限之一信號回應。在一個實例中，自光譜選擇超過一預定臨限值 T 之光譜部分以識別超過雜訊底限之信號回應。在所繪示實例中，自可用光譜選擇波長子範圍 λ_{12} 及 λ_{34} 。此外，藉由僅在選定子範圍內對和 $(M_{02}+M_{20})$ 求積分來判定與和 $(M_{02}+M_{20})$ 相關聯之一光譜回應度量，如由方程式(6)所繪示。

$$SRM = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (M_{02} + M_{20}) d\lambda + \int_{\lambda_3}^{\lambda_4} (M_{02} + M_{20}) d\lambda \quad (6)$$

【0070】 在圖2及圖3中所描繪之實例中，一傾斜孔150之非對稱性

藉由傾斜角TA及定向角OA特性化。另外，該傾斜孔藉由不描述孔特徵之非對稱性之其他臨界尺寸(諸如孔之高度H及孔之直徑CD)特性化。定向角OA係相對於圖1中所描繪之X軸之正方向定義。因此，當定向角為零時，非對稱特徵沿X軸之正方向偏斜。類似地，當定向角為90度時，非對稱特徵沿Y軸之正方向偏斜。當孔之中心軸法向於晶圓(即，未偏斜)時，傾斜角TA被定義為零。

【0071】 在一個實例中，採用度量系統100以按兩個正交方位角執行傾斜孔150之光譜測量。在一次測量中，照明光之入射平面與圖1中所描繪之X軸對準。在另一測量中，照明光之入射平面與圖1中所描繪之Y軸對準。

【0072】 由運算系統130接收按兩個方位角與所有可用穆勒矩陣元素相關聯之經測量光譜170。運算系統130基於經測量光譜判定若干光譜回應度量。在一個實例中，運算系統130藉由針對兩個方位角對穆勒元素 M_{30} 之選定部分及穆勒矩陣元素之和($M_{20}+M_{02}$)求積分來判定光譜回應度量。方程式(7)至(10)分別繪示藉由對以下各者求積分來判定之光譜回應度量：按一180度方位角測量之($M_{20}+M_{02}$)之可用光譜之 $N\lambda$ 段；按180度方位角測量之 M_{30} 之可用光譜之 $N\lambda$ 段；按一90度方位角測量之($M_{20}+M_{02}$)之可用光譜之 $N\lambda$ 段；及按一90度方位角測量之 M_{30} 之可用光譜之 $N\lambda$ 段。下標a表示穆勒矩陣元素之和($M_{20}+M_{02}$)且下標b表示穆勒矩陣元素 M_{30} 。儘管由方程式(7)至(10)所繪示之光譜回應度量各藉由對可用光譜之 $N\lambda$ 段求積分來判定，但一般而言，針對積分選擇之波長段對於各光譜回應度量而言可為唯一的。

$$SRM_{a,180} = \sum_{i=1}^{N_{\lambda}} \int_{\lambda_{i,Min}}^{\lambda_{i,Max}} (M_{20} + M_{02}) d\lambda \quad (7)$$

$$SRM_{b,180} = \sum_{i=1}^{N_{\lambda}} \int_{\lambda_{i,Min}}^{\lambda_{i,Max}} M_{30} d\lambda \quad (8)$$

$$SRM_{a,90} = \sum_{i=1}^{N_{\lambda}} \int_{\lambda_{i,Min}}^{\lambda_{i,Max}} (M_{20} + M_{02}) d\lambda \quad (9)$$

$$SRM_{b,90} = \sum_{i=1}^{N_{\lambda}} \int_{\lambda_{i,Min}}^{\lambda_{i,Max}} M_{30} d\lambda \quad (10)$$

【0073】 運算系統130亦藉由基於模型之光譜匹配使用可用穆勒矩陣元素之任何組合來估計孔高度H、孔直徑CD、孔傾斜角TA及定向角OA之值。如前文中所論述，自基於模型之光譜匹配預期H及CD之可靠估計，但TA及OA之估計值通常不準確。

【0074】 運算系統130基於參考方程式(7)至(10)所描述之光譜回應度量以及藉由光譜匹配估計之CD及H之值來估計TA及OA之值。

【0075】 在一些實例中，運算系統130產生一經訓練線性模型，該經訓練線性模型隨後用來估計TA及OA之值。

【0076】 假定光譜回應度量SRM之值取決於CD、H、TA及OA。一般而言，對CD及H之相依性可不獨立於對TA及OA之相依性。方程式(11)繪示一光譜回應度量SRM取決於CD、H、TA及OA之假定，但相依性可表達為取決於CD及H之一函數g與取決於TA及OA之一函數h之一組合。

$$SRM(CD, Height, TA, OA) = g(CD, Height) \cdot h(TA, OA) \quad (11)$$

【0077】 假定函數h與沿各自光軸之傾斜角度TA成正比，如方程式(12)至(13)中所繪示。

$$h_{90}(TA, OA) \propto \cos(OA) \cdot Height \cdot \tan(TA) \quad (12)$$

$$h_{180}(TA, OA) \propto \sin(OA) \cdot Height \cdot \tan(TA) \quad (13)$$

【0078】 假定函數g對TA及OA不敏感，且此函數之考量可有效地與函數h之考量解耦合。另外，發明人已發現，函數g對於四個光譜回應度量SRM_{a,180}、SRM_{b,180}、SRM_{a,90}及SRM_{b,90}之各者而言大致相同。

【0079】 函數 h 與所關注參數 OA 及 TA 之間的關係可針對 CD 及 H 之標稱值來判定，但該關係不適用於任意 CD 及 H 。為解決此問題，運算系統130執行線性最小平方回歸以將與 CD 及 H 之一般值相關聯之光譜回應度量 SRM 映射至與 CD 及 H 之已知標稱值相關聯之正規化光譜回應度量 SRM' ，其中由方程式(14)繪示 SRM' 。

$$SRM' = SRM(CD_{Nom}, H_{Nom}, TA, OA) = g(CD_{Nom}, H_{Nom}) \cdot h(TA, OA) \quad (14)$$

【0080】 一光譜回應度量 SRM 藉由正規化因子 $g(CD, H)/g(CD_{Nom}, H_{Nom})$ 與正規化光譜回應度量 SRM' 相關，如由方程式(15)所繪示。

$$SRM(CD, H, TA, OA) = SRM'(TA, OA) \frac{g(CD, H)}{g(CD_{Nom}, H_{Nom})} \quad (15)$$

【0081】 假定 TA 及 OA 之標稱非平凡(non-trivial)值，則運算系統130產生與具有 CD 之 N 個不同值及 H 之 M 個不同值之孔特徵之測量相關聯之數個光譜回應度量 SRM ，及與 CD 及 H 之選定標稱值之一孔特徵之測量相關聯之一光譜回應度量集。

【0082】 使用線性最小平方回歸解析方程式(16)中所繪示之未知係數 $(C_0, \dots, C_N)$ 及 $(D_0, \dots, D_M)$ 以獲得正規化因子 $g(CD, H)/g(CD_{Nom}, H_{Nom})$ 之一模型。

$$\begin{bmatrix} 1 & CD & \dots & CD^N & H & \dots & H^M \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_0 & C_1 & \dots & C_N & D_0 & \dots & D_M \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} C_0 \\ \vdots \\ C_N \\ D_0 \\ \vdots \\ D_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} SRM(CD, H, TA_{Nom}, OA_{Nom}) \\ \vdots \\ SRM(CD_{Nom}, H_{Nom}, TA_{Nom}, OA_{Nom}) \end{bmatrix} = \frac{g(CD, H)}{g(CD_{Nom}, H_{Nom})} \quad (16)$$

【0083】 假定 CD 及 H 之標稱值，則運算系統130產生與 TA 及 OA 之變化值相關聯之數個正規化光譜回應度量 SRM' 。

【0084】 使用線性最小平方回歸解析方程式(17)中所繪示之未知係數 A_1 及 A_2 。

$$\begin{bmatrix} \text{SRM}'_{a,180} + \text{SRM}'_{a,90} & \text{SRM}'_{b,180} + \text{SRM}'_{b,90} \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [H \cdot \tan(TA)]^2 \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (17)$$

【0085】亦使用線性最小平方回歸解析方程式(18)中所繪示之未知係數 B_1 及 B_2 。

$$\begin{bmatrix} \text{SRM}'_{a,180} & \text{SRM}'_{b,180} \\ \text{SRM}'_{a,90} & \text{SRM}'_{b,90} \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(OA) \cdot H \cdot \tan(TA) \\ \cos(OA) \cdot H \cdot \tan(TA) \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (18)$$

【0086】組合方程式(11)至(18)之結果以獲得一經訓練線性模型，該經訓練線性模型將所關注非對稱性參數 OA 及 TA 與自非對稱結構之測量導出之光譜回應度量相關。以此方式，由方程式(19)至(21)繪示該經訓練線性模型之值。

$$\text{SRM}'_{(a,b),(90,180)} = \frac{\text{SRM}_{(a,b),(90,180)}(CD,H,TA,OA)}{C_0 + C_1 \cdot CD + \dots + C_N \cdot CD^N + D_1 \cdot H + \dots + D_M \cdot H^M} \quad (19)$$

$$TA = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{A_1 \cdot (\text{SRM}'_{a,180} + \text{SRM}'_{a,90}) + A_2 \cdot (\text{SRM}'_{b,180} + \text{SRM}'_{b,90})}}{H} \right) \quad (20)$$

$$OA = \text{atan2}(B_1 \cdot \text{SRM}'_{a,180} + B_2 \cdot \text{SRM}'_{b,180}, B_1 \cdot \text{SRM}'_{a,90} + B_2 \cdot \text{SRM}'_{b,90}) \quad (21)$$

【0087】圖6描繪模擬結果之一圖表155，其繪示相關聯於模擬之實際傾斜角156與使用參考方程式(11)至(21)所描述之經訓練線性模型之傾斜角157之回歸值之間的比較。圖7描繪模擬結果之一圖表160，其繪示相關聯於相同模擬之實際定向角161與使用參考方程式(11)至(21)所描述之經訓練線性模型之定向角162之回歸值之間的比較。在此實例中，傾斜孔特徵之 CD 及 H 在5%範圍內隨機變化，傾斜角自 0° 變化至 0.5° ，且定向角自 0° 變化至 360° 。使用隨機高斯雜訊注入經模擬測量信號，且使用單波長子區段來判定光譜回應度量。如圖6中所描繪，傾斜角之估計值充分接近實際傾斜角值。類似地，如圖7中所示描繪，定向角之估計值充分接近實際定向角值。

【0088】 在一些實例中，運算系統130產生一經訓練神經網路模型，該經訓練神經網路模型隨後用來估計TA及OA之值。

【0089】 在一些實例中，訓練一神經網路模型以將前文中所描述之光譜回應度量及可靠回歸臨界尺寸映射至特性化一被測非對稱特徵之一或多個幾何參數之值。

【0090】 在一個實例中，一神經網路模型之訓練輸入包含參考方程式(7)至(10)所描述之四個光譜回應度量(即， $SRM_{a,180}$ 、 $SRM_{b,180}$ 、 $SRM_{a,90}$ 及 $SRM_{b,90}$)以及CD及高度之可靠回歸值。訓練輸出包含正規化因子 $g(CD,H)/g(CD_{NOM},H_{NOM})$ 。在一些實例中，採用前文中所描述使用由經訓練神經網路判定之正規化因子之線性最小平方回歸。

【0091】 在一個實例中，訓練具有2個隱藏層之20個神經元之一神經網路以預測正規化因子 $g(CD,H)/g(CD_{NOM},H_{NOM})$ 。以相同於參考圖6及圖7所描述之方式自與CD、高度、TA及OA之隨機變化值相關聯之合成光譜產生輸入資料。自訓練資料中之單個隨機輪廓選取標稱CD及高度。採用前文中所描述使用由經訓練神經網路判定之正規化因子之線性最小平方回歸。

【0092】 圖8描繪模擬結果之一圖表165，其繪示用三角形參考標記所描繪之實際傾斜角與用方形參考標記所描繪之回歸傾斜角值之間的一比較。由標繪線166繪示實際值與回歸值之間的差。在此實例中，傾斜角之實際值與回歸值之間的差之三西格瑪值(即，標準偏差之三倍)係0.00298。

【0093】 圖9描繪模擬結果之一圖表175，其繪示用三角形參考標記所描繪之實際定向角與用方形參考標記所描繪之回歸定向角值之間的一比

較。由標繪線176繪示實際值與回歸值之間的差。在此實例中，定向角之實際值與回歸值之間的差之三西格瑪值(即，標準偏差之三倍)係0.19000。

【0094】 在另一實例中，代替採用線性回歸來估計非對稱性參數之值，訓練又一神經網路模型以基於正規化因子及經測量輸入判定TA及OA。

【0095】 在另一實例中，一神經網路模型之訓練輸入包含參考方程式(7)至(10)所描述之四個光譜回應度量(即， $SRM_{a,180}$ 、 $SRM_{b,180}$ 、 $SRM_{a,90}$ 及 $SRM_{b,90}$)以及CD及高度之可靠回歸值。訓練輸出包含TA及OA之對應值。

【0096】 圖10描繪採用一經訓練神經網路模型以自四個光譜回應度量以及CD及高度之可靠回歸值直接估計TA及OA之模擬結果之一圖表180。圖10繪示用三角形參考標記所描繪之實際傾斜角與用方形參考標記所描繪之回歸傾斜角值之間的一比較。由標繪線181繪示實際值與回歸值之間的差。在此實例中，傾斜角之實際值與回歸值之間的差之三西格瑪值(即，標準偏差之三倍)係0.00783。

【0097】 在又一實例中，一神經網路模型之訓練輸入包含參考方程式(7)至(10)所描述之四個光譜回應度量，但不包含CD及高度之可靠回歸值。訓練輸出包含TA及OA之對應值。驗證此方法之模擬結果展示，傾斜角之實際值與回歸值之間的差之三西格瑪值係0.18000，此不如先前所描述方法有效。

【0098】 一般而言，以一反覆方式有效地應用判定描述本文中所描述之一所關注結構之一非對稱特徵之一或多個幾何參數之值之方法。在一

些實例中，將非對稱性參數之估計值前饋至光譜匹配分析以獲得一或多個臨界尺寸之改良估計。臨界尺寸之此等改良估計用來更新光譜回應度量，光譜回應度量繼而用來產生非對稱參數之改良估計。此反覆繼續直至收斂於非對稱性參數之值。將非對稱性參數之估計值保存於一記憶體(例如，記憶體132)中。

【0099】 在一些實施例中，多個不同光譜回應度量各基於一不同非對角線穆勒矩陣元素或穆勒矩陣元素組合(例如， M_{30} 及和 $(M_{20}+M_{02})$)來判定。在一進一步態樣中，例如藉由用一不同常數縮放各光譜回應度量來不同地加權不同光譜回應度量。以此方式，對特定非對稱性參數較敏感之光譜回應度量比對特定非對稱性參數不太敏感之光譜回應度量更重地加權。

【0100】 圖12繪示在至少一個新穎態樣中執行非對稱參數之光譜測量之一方法200。方法200適於藉由一度量系統(諸如本發明之圖1中所繪示之度量系統100)來實施。在一個態樣中，應認知，方法200之資料處理區塊可經由由運算系統130或任何其他通用運算系統之一或多個處理器執行之一預程式化演算法來實行。本文中應認知，度量系統100之特定結構態樣不表示限制且僅應被解釋為闡釋性。

【0101】 在區塊201中，使用一定量之寬頻光學輻射以兩個或更多個相異方位角之各者照明製造於一半導體晶圓上之一所關注結構。

【0102】 在區塊202中，回應於以兩個或更多個方位角之各者照明半導體晶圓而自半導體晶圓偵測一測量光量。

【0103】 在區塊203中，基於各經偵測測量光量判定所關注結構對以兩個或更多個方位角之各者提供之照明之一經測量光譜回應。各經測量光譜回應包含與一穆勒矩陣之多個元素相關聯之光譜。

【0104】 在區塊204中，基於一模型化光譜回應對與兩個或更多個方位角相關聯之經測量光譜回應之一擬合而估計一或多個臨界尺寸參數之值。

【0105】 在區塊205中，選擇與各經測量光譜回應相關聯之穆勒矩陣之一或多個非對角線元素之至少一個光譜之一或多個波長子範圍。

【0106】 在區塊206中，跨選定一或多個波長子範圍對穆勒矩陣之一或多個非對角線元素之至少一個光譜求積分以產生一或多個光譜回應度量。

【0107】 在區塊207中，基於一或多個臨界尺寸參數之值及一或多個光譜回應度量估計描述所關注結構之一非對稱特徵之一或多個幾何參數之值。

【0108】 可如本文中所描述般組態之例示性測量技術包含但不限於光譜橢偏儀(SE) (包含穆勒矩陣橢偏儀(MMSE)、旋轉偏光器SE(RPSE)、旋轉偏光器-旋轉補償器SE (RPRC)、旋轉補償器-旋轉補償器SE (RCRC))、光譜反射計(SR) (包含偏光SR、非偏光SR、光譜散射測量、散射測量疊對、光束輪廓反射測量、角度解析及偏光解析兩者、光束輪廓橢偏測量、單或多離散波長橢偏測量等)。一般而言，可預期在測量信號中包含寬範圍之角度資訊之任何度量技術(個別地或以任何組合方式)。例如，可預期適用於半導體結構之特性化之任何SR或SE技術，包含基於影像之度量技術(個別地或以任何組合方式)。

【0109】 在一進一步實施例中，系統100包含用以基於根據本文中所描述之方法收集之光譜測量資料執行實際裝置結構之測量之一或多個運算系統130。一或多個運算系統130可通信地耦合至光譜儀。在一個態樣

中，一或多個運算系統130經組態以接收與樣品120之結構之測量相關聯之測量資料170。

【0110】 應認知，貫穿本發明所描述之一或多個步驟可由單電腦系統130或替代地多電腦系統130來實行。此外，系統100之不同子系統可包含適於實行本文中所描述之步驟之至少一部分之一電腦系統。因此，上述描述不應被解釋為限制本發明，而是應被解釋為一圖解。

【0111】 另外，電腦系統130可以此項技術中已知之任何方式通信地耦合至光譜儀。例如，一或多個運算系統130可耦合至與光譜儀相關聯之運算系統。在另一實例中，光譜儀可由耦合至電腦系統130之單電腦系統直接控制。

【0112】 度量系統100之電腦系統130可經組態以藉由可包含有線及/或無線部分之一傳輸媒體自系統之子系統(例如，光譜儀及類似者)接收及/或獲取資料或資訊。以此方式，該傳輸媒體可用作電腦系統130與系統100之其他子系統之間的一資料鏈路。

【0113】 度量系統100之電腦系統130可經組態以藉由可包含有線及/或無線部分之一傳輸媒體自其他系統接收及/或獲取資料或資訊(例如，測量結果、模型化輸入、模型化結果、參考測量結果等)。以此方式，該傳輸媒體可用作電腦系統130與其他系統(例如，板上記憶體度量系統100、外部記憶體或其他外部系統)之間的一資料鏈路。例如，運算系統130可經組態以經由一資料鏈路自一儲存媒體(即，記憶體132或一外部記憶體)接收測量資料。例如，使用本文中所描述之光譜儀獲得之光譜結果可儲存於一永久或半永久記憶體裝置(例如，記憶體132或一外部記憶體)中。在此方面，光譜結果可自板上記憶體或自一外部記憶體系統匯入。此外，電腦

系統130可經由一傳輸媒體將資料發送至其他系統。例如，可傳達由電腦系統130判定之一測量模型或一估計參數值171且將其儲存於一外部記憶體中。在此方面，可將測量結果匯出至另一系統。

【0114】 運算系統130可包含但不限於一個人電腦系統、主機電腦系統、工作站、影像電腦、平行處理器或此項技術已知之任何其他裝置。一般而言，術語「運算系統」可廣義地被定義為涵蓋具有執行來自一記憶體媒體之指令之一或多個處理器之任何裝置。

【0115】 可透過一傳輸媒體(諸如一電線、電纜或無線傳輸鏈路)傳輸實施方法(諸如本文中所描述之方法)之程式指令134。例如，如圖1中所繪示，透過匯流排133將儲存於記憶體132中之程式指令134傳輸至處理器131。將程式指令134儲存於一電腦可讀媒體(例如，記憶體132)中。例示性電腦可讀媒體包含唯讀記憶體、一隨機存取記憶體、一磁碟或光碟、或一磁帶。

【0116】 在一些實例中，本文中所描述之測量模型被實施為可購自美國加利福尼亞州苗必達市KLA-Tencor公司之SpectraShape®光學臨界尺寸度量系統之一元件。以此方式，產生模型且準備好緊接在由系統收集光譜之後使用。

【0117】 在一些其他實例中，例如由實施可購自美國加利福尼亞州苗必達市KLA-Tencor公司之AcuShape®軟體之一運算系統離線實施本文中所描述之測量模型。所得經訓練模型可作為可由執行測量之一度量系統存取之AcuShape®程式庫之一元素併入。

【0118】 在另一態樣中，用於本文中所描述之半導體裝置之光譜度量之方法及系統應用於高縱橫比(HAR)結構、大橫向尺寸結構或兩者之非

對稱特徵之測量。所描述實施例實現包含以下各者之半導體裝置之非對稱特徵之度量：三維NAND結構，(諸如Samsung Inc. (韓國)、SK Hynix Inc. (韓國)、Toshiba Corporation (日本)及Micron Technology, Inc. (美國)等)製造之垂直NAND (V-NAND)結構、動態隨機存取記憶體結構(DRAM)等。圖11描繪可包含非對稱特徵缺陷之一例示性高縱橫比NAND結構190。具有寬頻能力及寬範圍方位角之一光譜橢偏儀適於測量此等高縱橫比結構。HAR結構通常包含硬遮罩層以促進HAR之蝕刻程序。如本文中所描述，術語「HAR結構」係指藉由超過10:1且可高達100:1或更高之一縱橫比特性化之任何結構。

【0119】 在又一態樣中，將本文中所描述之測量結果作為主動回饋提供給一製程工具(例如，微影工具、蝕刻工具、沈積工具等)。例如，將基於本文中所描述之測量方法判定之測量參數之值傳達至一微影工具以調整微影系統以達成一所要輸出(即，降低之非對稱性誤差等)。以一類似方式，分別基於測量參數對蝕刻工具或沈積工具之主動回饋調整蝕刻參數(例如，蝕刻時間、擴散率等)或沈積參數(例如，時間、濃度等)。在一些實例中，將對基於經測量非對稱參數判定之程序參數之校正傳達至一微影工具、蝕刻工具、沈積工具等。作為回應，一製造工具調整半導體製程之一控制參數以減少藉由經測量非對稱性特性化之結構缺陷。

【0120】 如本文中所描述，術語「臨界尺寸」包含一結構之任何臨界尺寸(例如，底部臨界尺寸、中間臨界尺寸、頂部臨界尺寸、側壁角、光柵高度等)、任何兩個或更多個結構之間的一臨界尺寸(例如，兩個結構之間的距離)及兩個或更多個結構之間的一位移(例如，疊對光柵結構之間的疊對位移等)。結構可包含三維結構、圖案化結構、疊對結構等。

【0121】如本文中所描述，術語「臨界尺寸應用」或「臨界尺寸測量應用」包含任何臨界尺寸測量。

【0122】如本文中所描述，術語「度量系統」包含至少部分地用來在任何方面特性化一樣品之任何系統，包含諸如臨界尺寸度量、疊對度量、聚點/劑量度量及組合物度量之測量應用。然而，此等技術術語不限制如本文中所描述之術語「度量系統」之範疇。另外，度量系統100可經組態用於測量圖案化晶圓及/或未圖案化晶圓。度量系統可經組態為一LED檢查工具、邊緣檢查工具、背側檢查工具、宏觀檢查工具或多模式檢查工具(涉及同時來自一或多個平台之資料)及得益於基於臨界尺寸資料對系統參數進行校準之任何其他度量或檢查工具。

【0123】本文中描述可用於在任何半導體處理工具(例如，一檢查系統或一微影術系統)內測量一樣品之一半導體測量系統之各項實施例。術語「樣品」在本文中用來係指一晶圓、一主光罩、或可藉由此項技術中已知之方式處理(例如，印刷或檢查缺陷)之任何其他樣本。

【0124】如本文中所使用，術語「晶圓」通常係指由一半導體或非半導體材料形成之基板。實例包含但不限於單晶矽、砷化鎵及磷化銦。通常可在半導體製造設施中找到及/或處理此等基板。在一些情況下，一晶圓可僅包含基板(即，裸晶圓)。替代地，一晶圓可包含形成於一基板上之一或多個不同材料層。形成於一晶圓上之一或多個層可「經圖案化」或「未圖案化」。例如，一晶圓可包含具有可重複圖案特徵之複數個晶粒。

【0125】一「主光罩」可為一主光罩製程之任何階段之一主光罩，或可經釋放或可未經釋放以於一半導體製造設施中使用之一成品主光罩。一主光罩或一「遮罩」通常被定義為其上形成有實質上半透明區域且組態

成一圖案之一實質上透明基板。該基板可包含例如一玻璃材料，諸如非晶 SiO_2 。在一微影程序之一曝光步驟期間，可將一主光罩安置於一光阻劑覆蓋晶圓上方，使得該主光罩上之圖案可轉印至該光阻劑。

【0126】 形成於一晶圓上之一或多個層可經圖案化或未圖案化。例如，一晶圓可包含複數個晶粒，各晶粒具有可重複圖案特徵。此等材料層之形成及處理可最終導致成品裝置。可在一晶圓上形成許多不同類型之裝置，且如本文中所使用之術語晶圓意欲於涵蓋其上製造此項技術中已知之任何類型之裝置之一晶圓。

【0127】 在一或多項例示性實施例中，所描述功能可以硬體、軟體、韌體或其等任何組合來實施。若以軟體實施，則可將該等功能作為一或多個指令或程式碼儲存於一電腦可讀媒體上或透過一電腦可讀媒體傳輸。電腦可讀媒體包含電腦儲存媒體及通信媒體兩者，包含促進將一電腦程式自一個地方傳送至另一地方之任何媒體。一儲存媒體可為可由一通用或專用電腦存取之任何可用媒體。舉例而言且非限制，此電腦可讀媒體可包含RAM、ROM、EEPROM、CD-ROM或其他光碟儲存裝置、磁碟儲存裝置或其他磁性儲存裝置、或可用來呈指令或資料結構之形式攜帶或儲存所要程式碼構件且可由一通用或專用電腦或一通用或專用處理器存取之任何其他媒體。再者，任何連接適當地稱為電腦可讀媒體。例如，若使用一同軸電纜、光纖光纜、雙絞線、數位用戶線(DSL)或無線技術(諸如紅外線、無線電及微波)自一網站、伺服器或其他遠端源傳輸軟體，則媒體之定義中包含該同軸電纜、光纖光纜、雙絞線、DSL或無線技術(諸如紅外線、無線電及微波)。如本文中所使用，磁碟及光碟包含光碟(CD)、雷射光碟、光學碟、數位多功能光碟(DVD)、軟碟及藍光光碟，其中碟通常磁

性地重現資料，而光碟用雷射光學地重現資料。上述媒體之組合亦可包含於電腦可讀媒體之範疇內。

【0128】 儘管上文出於指導目的描述某些特定實施例，但本專利文件之教示具有普遍適用性且不限於上文所描述之特定實施例。據此，在不脫離申請專利範圍中所闡述之本發明之範疇之情況下，可實踐所描述實施例之各種特徵之各種修改、改編及組合。

【符號說明】

【0129】

100	度量系統
110	照明源/光源
111	光學濾光器
112	偏光組件
113	場光闌
114	孔徑光闌
115	照明光學器件
116	測量點
117	照明光束
118	主光線
120	晶圓/樣品
120A	頂層或層序列
120B	埋藏層或層序列
121	主光線
122	收集光學器件

123	收集孔徑光闌
124	偏光元件
125	收集場光闌
126	光譜儀
127	收集光束/收集光
130	運算系統/電腦系統
131	處理器
132	記憶體
133	匯流排
134	程式指令
150	孔特徵/孔區段
152	孔區段
153	光譜回應
154	刻劃道
155	圖表
156	實際傾斜角
157	傾斜角
160	圖表
165	圖表
161	實際定向角
162	定向角
166	標繪線
170	輸出信號/測量光譜/測量資料

171 幾何參數/估計參數值

175 圖表

176 標繪線

180 圖表

181 標繪線

190 高縱橫比NAND結構

200 方法

201 區塊

202 區塊

203 區塊

204 區塊

205 區塊

206 區塊

207 區塊

【發明申請專利範圍】

【第1項】

一種度量系統，其包括：

一照明源，其經組態以產生一定量之寬頻光學輻射(optical radiation)；

一或多個光學元件，其以兩個或更多個方位角(azimuth angles)之各者將該一定量之寬頻光學輻射自該照明源引導至一半導體晶圓之一表面上之一測量點；

一光譜儀，其經組態以回應於以該兩個或更多個方位角之各者照明該半導體晶圓而自該半導體晶圓偵測一測量光量且基於各經偵測測量光量判定一所關注結構對該照明之一經測量光譜回應，其中各經測量光譜回應包含與一穆勒矩陣(Mueller matrix)之多個元素相關聯之光譜；及

一運算系統，其經組態以：

基於一模型化光譜回應對與該兩個或更多個方位角相關聯之該等經測量光譜回應之一擬合(fitting)而估計特性化該所關注結構之一或多個臨界尺寸參數之值；

選擇與各經測量光譜回應相關聯之該穆勒矩陣之一或多個非對角線(off-diagonal)元素之至少一個光譜之一或多個波長子範圍(sub-ranges)；

跨該選定一或多個波長子範圍對該穆勒矩陣之該一或多個非對角線元素之該至少一個光譜求積分(integrate)以產生一或多個光譜回應度量(metrics)；及

基於該一或多個臨界尺寸參數之該等值及該一或多個光譜回應度

量估計描述該所關注結構之一非對稱特徵之一或多個幾何參數之值。

【第2項】

如請求項1之度量系統，該運算系統進一步經組態以：

將該一或多個幾何參數之該等值傳達至一半導體製造工具，其中該半導體製造工具基於該一或多個幾何參數之該等值調整一半導體製程之一控制參數以減少藉由經測量非對稱性特性化之結構缺陷。

【第3項】

如請求項1之度量系統，其中該兩個或更多個方位角包含彼此垂直之兩個方位角。

【第4項】

如請求項1之度量系統，其中該穆勒矩陣之該一或多個非對角線元素包含該穆勒矩陣之 M_{30} 元素。

【第5項】

如請求項1之度量系統，其中該穆勒矩陣之該一或多個非對角線元素包含該穆勒矩陣之 M_{20} 元素及 M_{02} 元素之一和。

【第6項】

如請求項1之度量系統，其中該選擇該穆勒矩陣之一或多個非對角線元素之至少一個光譜之該一或多個波長子範圍涉及選擇具有一光譜回應之一或多個波長子範圍，該光譜回應超過該一或多個波長子範圍內之一預定臨限值。

【第7項】

如請求項1之度量系統，其中該估計該一或多個幾何參數之該等值係

基於複數個光譜回應度量，其中不同地加權該複數個光譜回應度量之各者。

【第8項】

如請求項1之度量系統，其中描述該所關注結構之一非對稱特徵之該一或多個幾何參數包含一孔特徵之一傾斜角及一定向角之任一者。

【第9項】

如請求項1之度量系統，其中該所關注結構係一高縱橫比記憶體結構。

【第10項】

如請求項1之度量系統，其中該估計該一或多個幾何參數之該等值涉及一經訓練神經網路模型，該經訓練神經網路模型將該一或多個臨界尺寸參數之該等值及該一或多個光譜回應度量與該一或多個幾何參數之該等值相關。

【第11項】

如請求項1之度量系統，其中該估計該一或多個幾何參數之該等值涉及一線性回歸模型，該線性回歸模型將該一或多個臨界尺寸參數之該等值及該一或多個光譜回應度量與該一或多個幾何參數相關。

【第12項】

一種度量方法，其包括：

使用一定量之寬頻光學輻射以兩個或多個方位角之各者照明製造於一半導體晶圓上之一所關注結構；

回應於以該兩個或更多個方位角之各者照明該半導體晶圓而自該半導體晶圓偵測一測量光量；

基於各經偵測測量光量判定該所關注結構對以該兩個或更多個方位角之各者提供之該照明之一經測量光譜回應，其中各經測量光譜回應包含與一穆勒矩陣之多個元素相關聯之光譜；

基於一模型化光譜回應對與該兩個或更多個方位角相關聯之該等經測量光譜回應之一擬合而估計一或多個臨界尺寸參數之值；

選擇與各經測量光譜回應相關聯之該穆勒矩陣之一或多個非對角線元素之至少一個光譜之一或多個波長子範圍；

跨該選定一或多個波長子範圍對該穆勒矩陣之該一或多個非對角線元素之該至少一個光譜求積分以產生一或多個光譜回應度量；及

基於該一或多個臨界尺寸參數之該等值及該一或多個光譜回應度量估計描述該所關注結構之一非對稱特徵之一或多個幾何參數之值。

【第13項】

如請求項12之度量方法，其進一步包括：

將該一或多個幾何參數之該等值傳達至一半導體製造工具，其中該半導體製造工具基於該一或多個幾何參數之該等值調整一半導體製程之一控制參數以減少藉由經測量非對稱性特性化之結構缺陷。

【第14項】

如請求項12之度量方法，其中該兩個或更多個方位角包含彼此垂直之兩個方位角。

【第15項】

如請求項12之度量方法，其中該選擇該穆勒矩陣之一或多個非對角線元素之至少一個光譜之該一或多個波長子範圍涉及選擇具有一光譜回應之一或多個波長子範圍，該光譜回應超過該一或多個波長子範圍內之一預

定臨限值。

【第16項】

如請求項12之度量方法，其中該估計一或多個幾何參數之該等值涉及一經訓練神經網路模型，該經訓練神經網路模型將該一或多個幾何參數與該一或多個臨界尺寸參數之該等值及該一或多個光譜回應度量相關。

【第17項】

如請求項12之度量方法，其中該估計一或多個幾何參數之該等值涉及一線性回歸模型，該線性回歸模型將該一或多個幾何參數與該一或多個臨界尺寸參數之該等值及該一或多個光譜回應度量相關。

【第18項】

如請求項12之度量方法，其中該穆勒矩陣之該一或多個非對角線元素包含該穆勒矩陣之至少兩個元素之一和。

【第19項】

一種度量系統，其包括：

一或多個光學元件，其將一定量之寬頻光學輻射自一照明源引導至一半導體晶圓之一表面上之一測量點；

一光譜儀，其經組態以回應於該照明該半導體晶圓而自該半導體晶圓偵測一測量光量且基於該經偵測測量光量判定一所關注結構之一經測量光譜回應，其中該經測量光譜回應包含與一穆勒矩陣之多個元素相關聯之光譜；及

一電腦可讀媒體，其包括在由一或多個處理器執行時引起該一或多個處理器進行以下操作之指令：

基於一模型化光譜回應對該經測量光譜回應之一擬合而估計一或

多個臨界尺寸參數之值；

選擇與該經測量光譜回應相關聯之該穆勒矩陣之一或多個非對角線元素之至少一個光譜之一或多個波長子範圍；

跨該選定一或多個波長子範圍對該穆勒矩陣之該一或多個非對角線元素之該至少一個光譜求積分以產生一或多個光譜回應度量；及

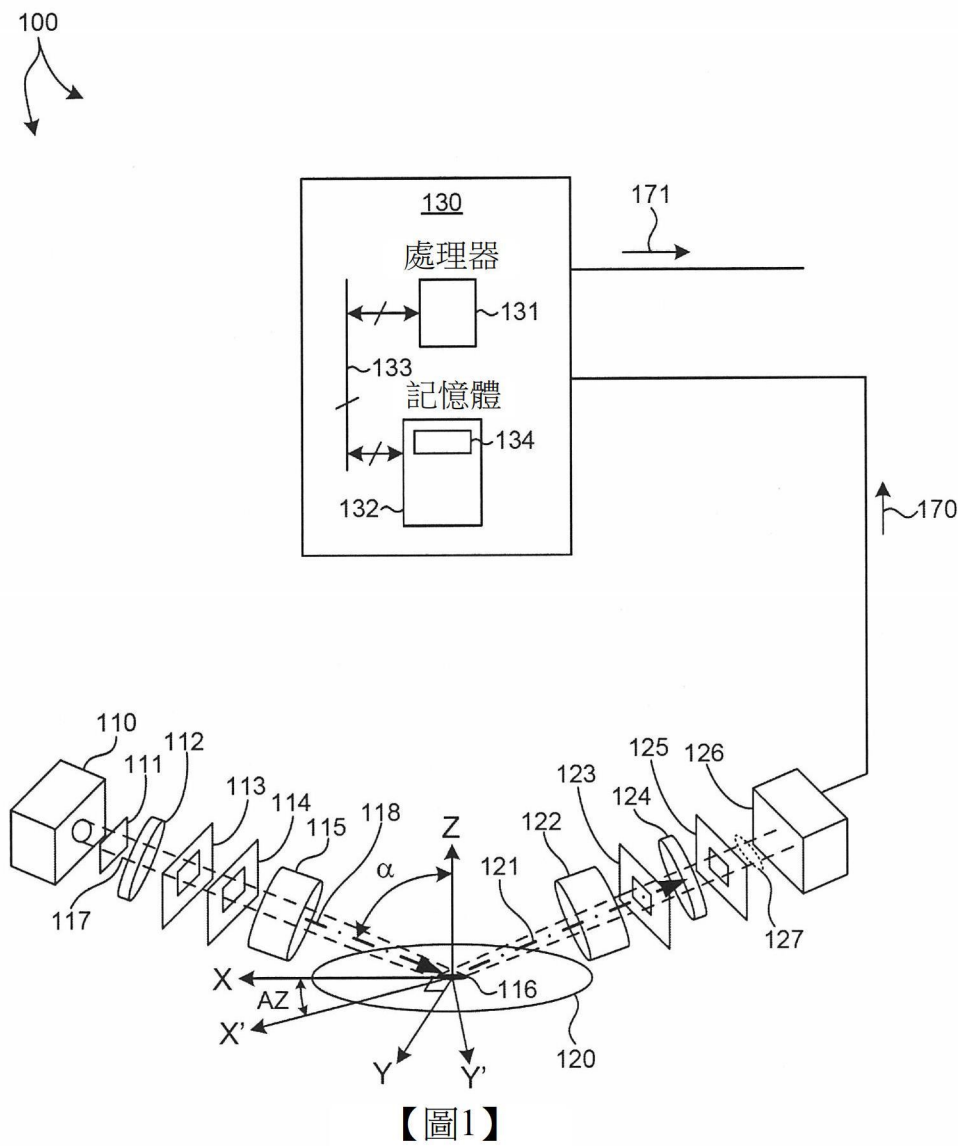
基於該一或多個臨界尺寸參數之該等值及該一或多個光譜回應度量估計描述該所關注結構之一非對稱特徵之一或多個幾何參數之值。

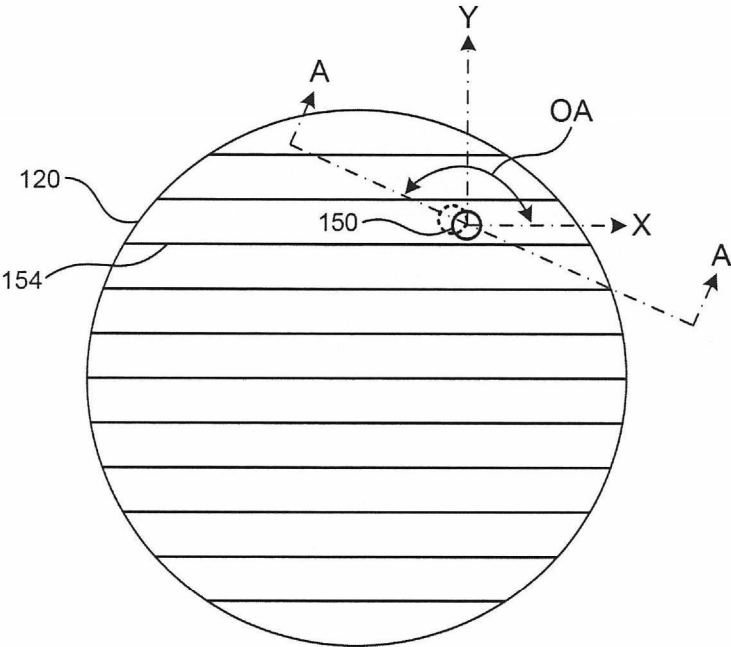
【第20項】

如請求項19之度量系統，該電腦可讀媒體進一步包括在由該一或多個處理器執行時引起該一或多個處理器進行以下操作之指令：

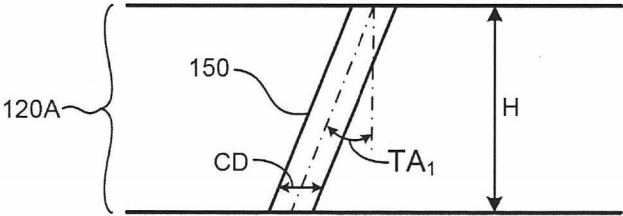
將該一或多個幾何參數之該等值傳達至一半導體製造工具，其中該半導體製造工具基於該一或多個幾何參數之該等值調整一半導體製程之一控制參數以減少藉由經測量非對稱性特性化之結構缺陷。

【發明圖式】

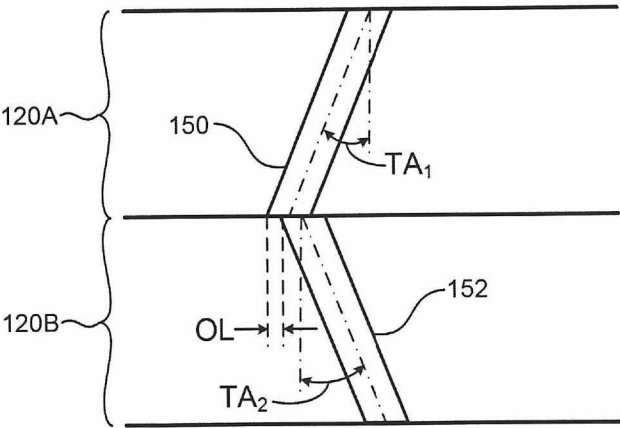




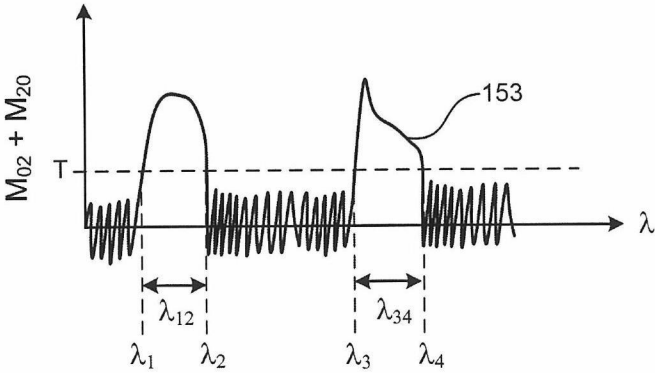
【圖2】



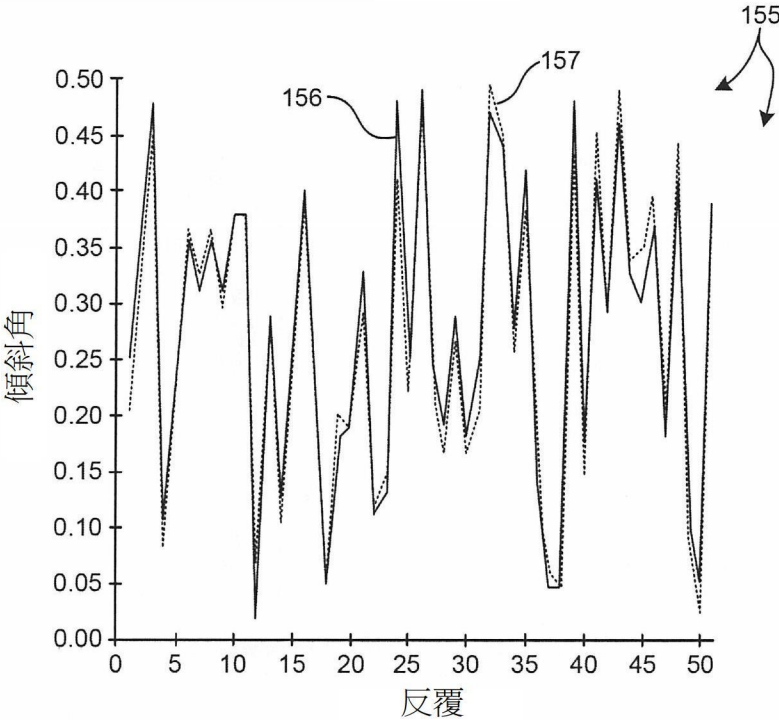
【圖3】



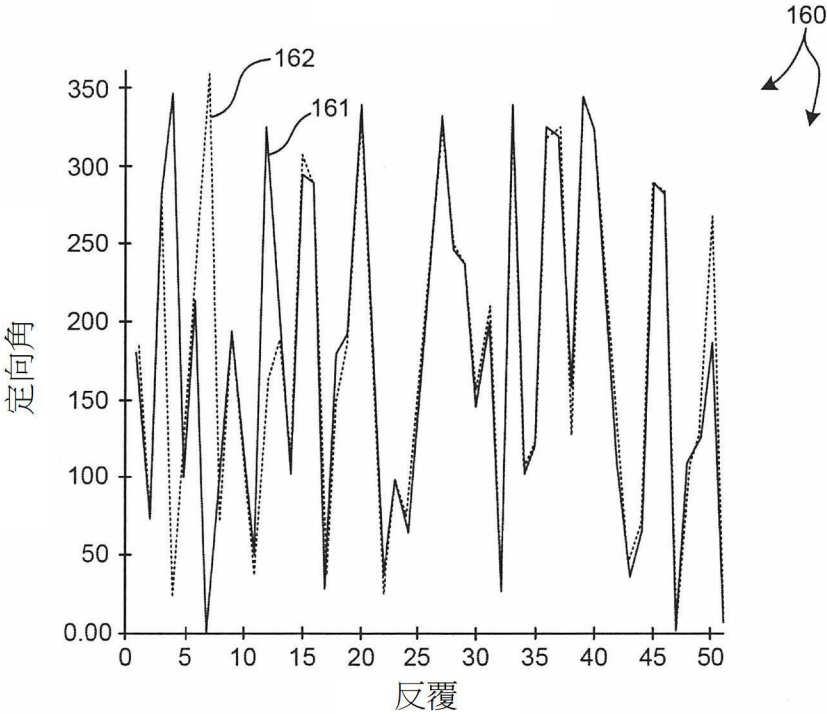
【圖4】



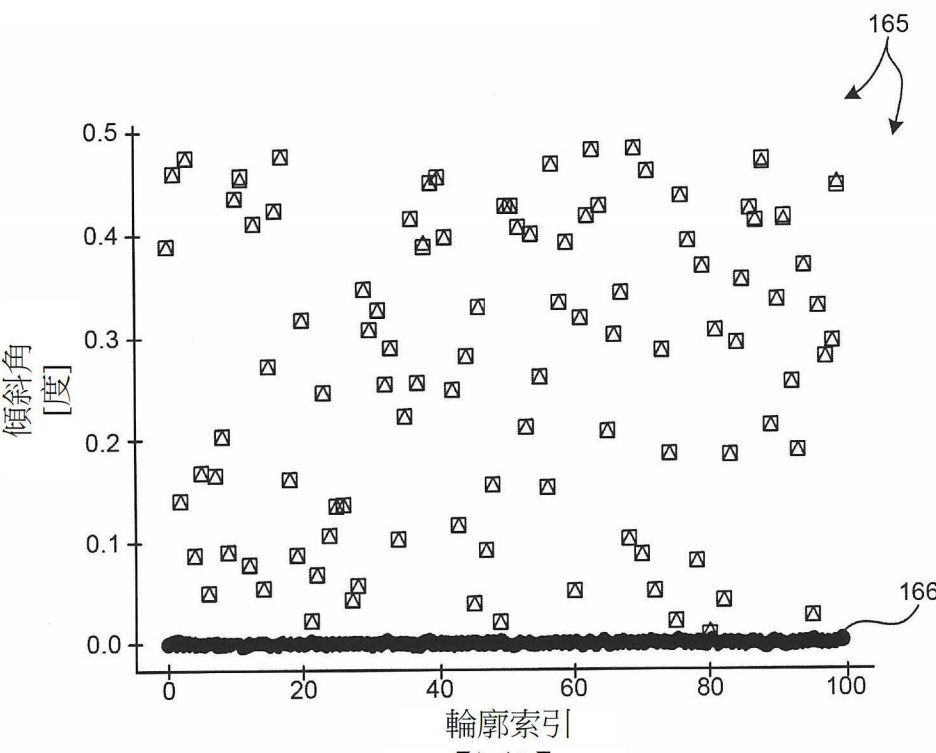
【圖5】



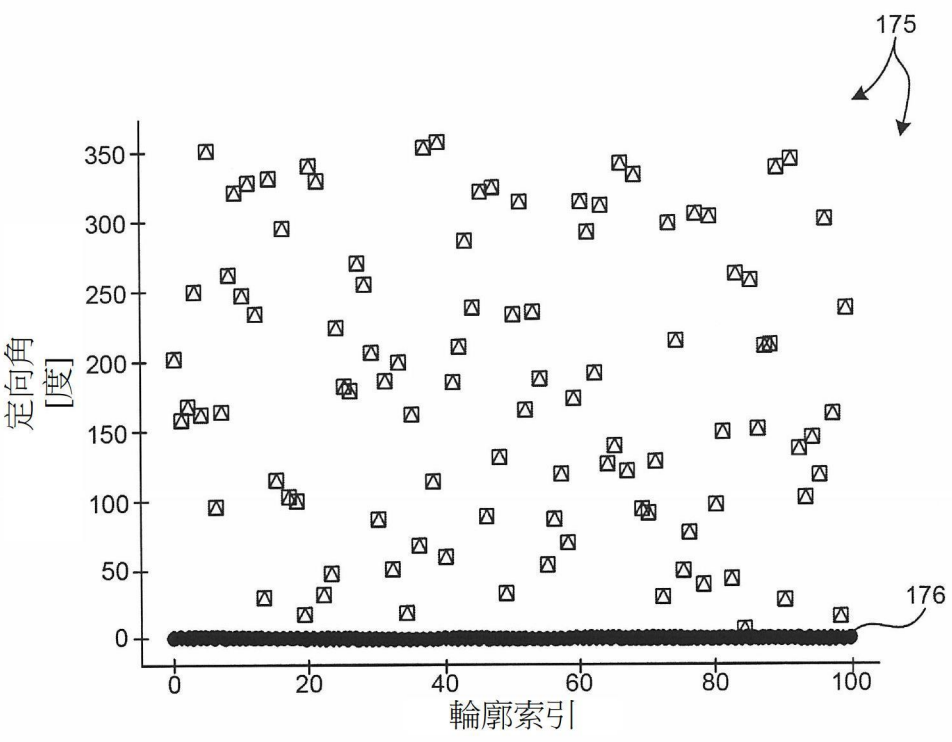
【圖6】



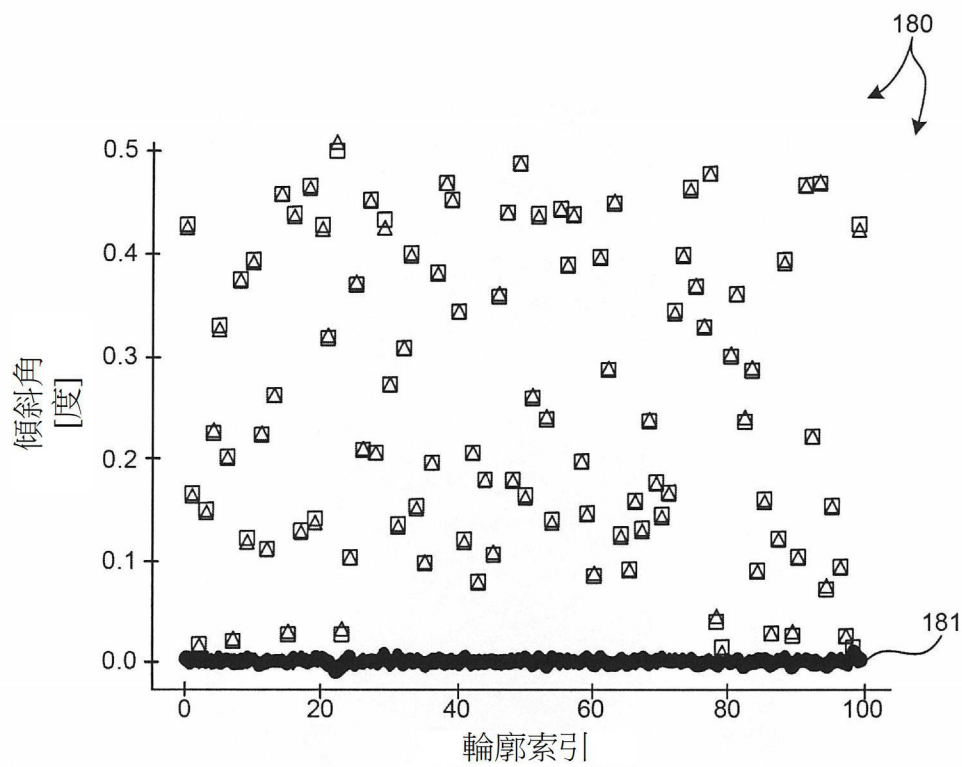
【圖7】



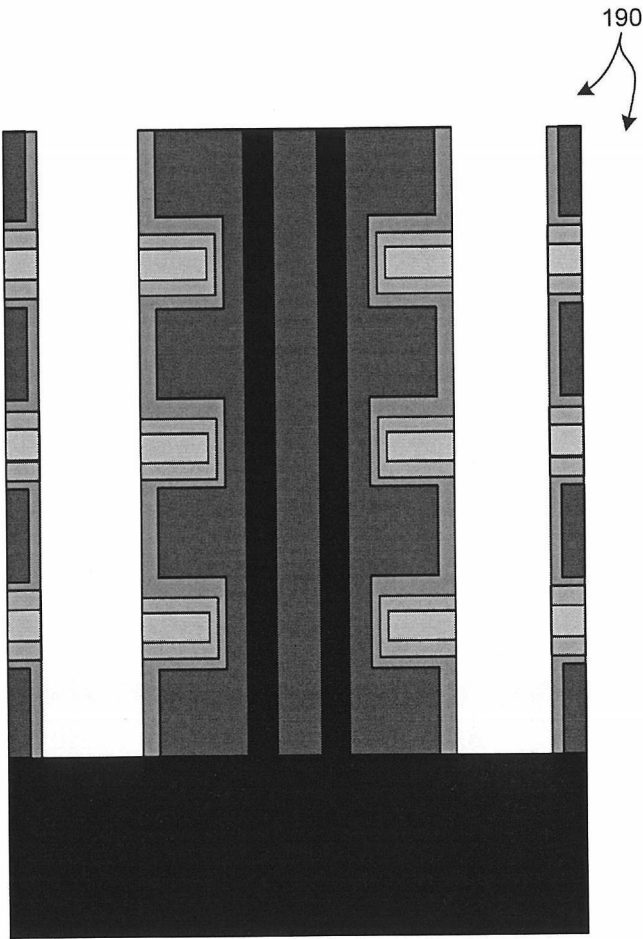
【圖8】



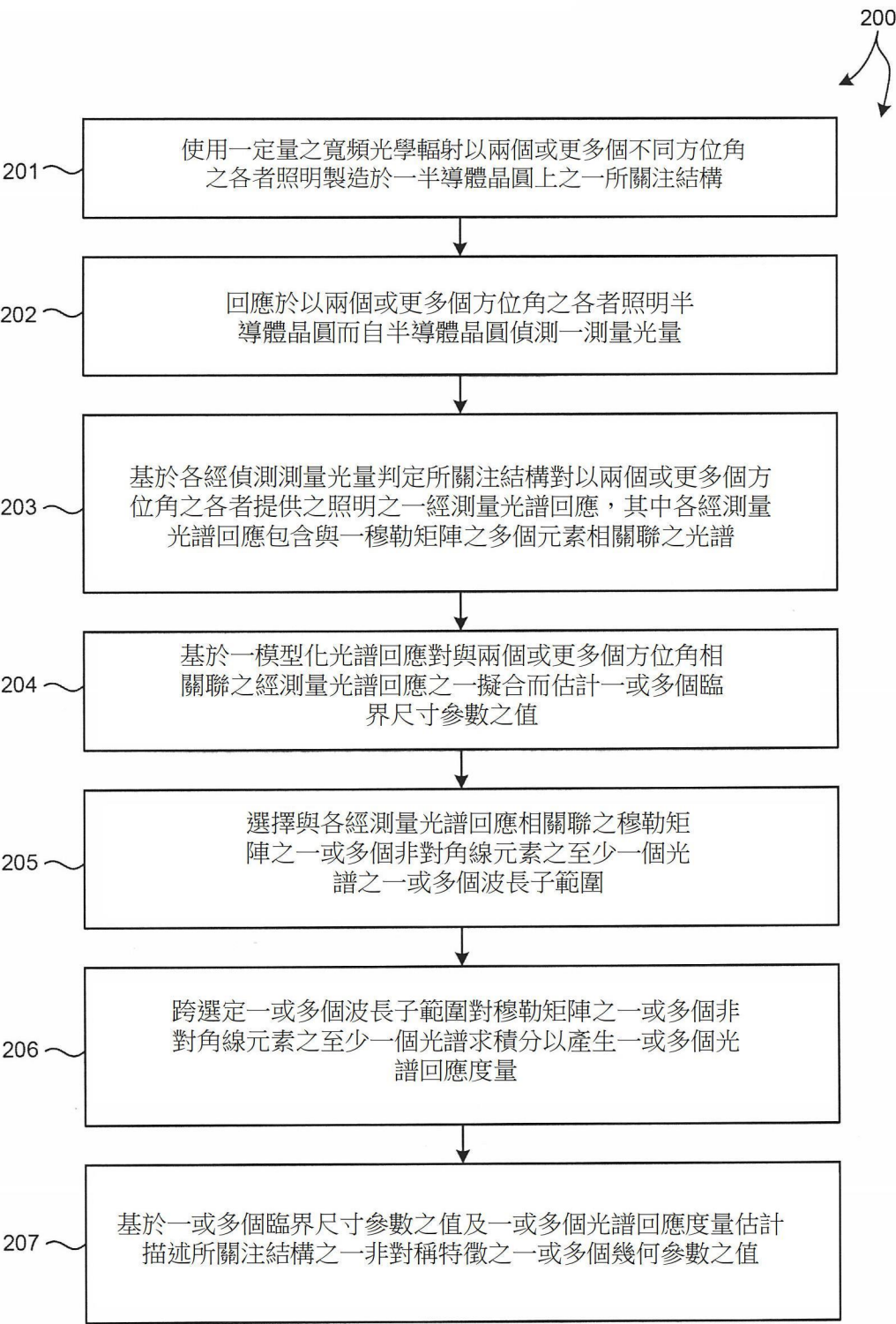
【圖9】



【圖10】



【圖11】



【圖12】