202420458

(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本 (11)公開編號：TW 202420458 A

(43)公開日： 中華民國 113 (2024) 年 05 月 16 日

(21)申請案號：112136190 (22)申請日： 中華民國 112 (2023) 年 09 月 22 日

(51)Int. Cl.： *H01L21/66 (2006.01)* *G01N21/88 (2006.01)*
G01N21/93 (2006.01)

(30)優先權：2022/09/26 美國 63/409,842
2023/09/11 美國 18/244,749

(71)申請人：美商科磊股份有限公司 (美國) KLA CORPORATION (US)
美國

(72)發明人：林家暉 LIN, BRIAN C. (TW) ；吳峻陞 WU, DAVID (TW) ；吳松 WU, SONG (CN) ；詹天榮 ZHAN, TIANRONG (CN) ；邱筑涵 CHIU, EMILY (TW) ；拉勾德辛斯基 安卓 LAGODZINSKI, ANDREW (US)

(74)代理人：陳長文；呂光；邵而康

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：20 項 圖式數：9 共 43 頁

(54)名稱

基於線上晶圓量測資料之參數量測模型之校準

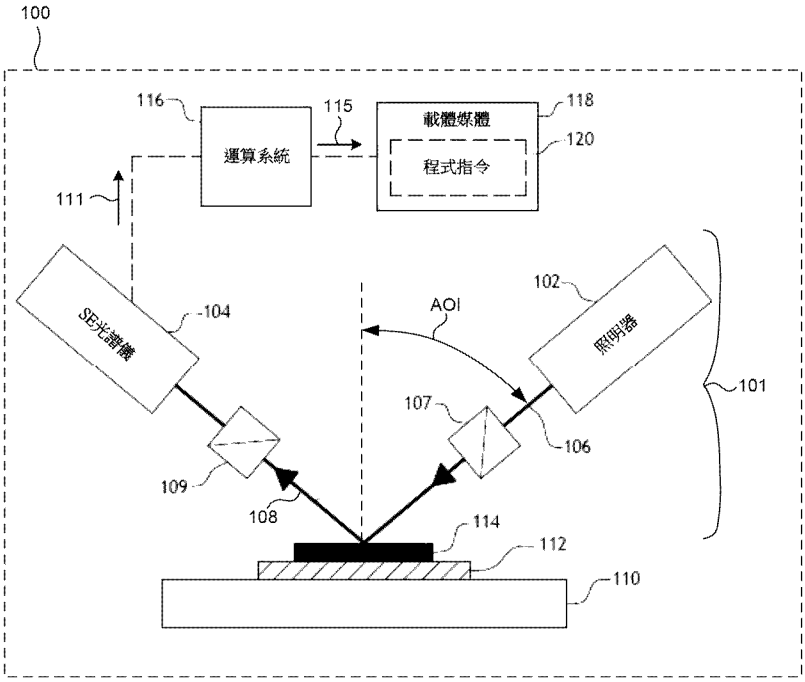
(57)摘要

本文中描述用於校準由一參數量測模型產生之模擬量測信號之方法及系統。使用一參數模型執行對真實量測信號之迴歸。該等真實量測信號與由該參數模型產生之模擬量測信號之間之殘餘擬合誤差特性化該參數模型在一或多個浮動參數之估計值之各集合下之誤差。模擬量測信號由該參數模型在該等浮動參數之指定值下產生。與在該等浮動參數之該等指定值下產生之該等模擬量測信號相關聯之一殘餘擬合誤差係自藉由對該等真實量測信號之該等迴歸計算之該等殘餘擬合誤差導出。藉由將該殘餘擬合誤差添加至未校準模擬量測信號而校準該等模擬量測信號。該等經校準模擬量測信號改良量測之準確度及量測配方開發。

Methods and systems for calibrating simulated measurement signals generated by a parametric measurement model are described herein. Regression on real measurement signals is performed using a parametric model. The residual fitting error between the real measurement signals and simulated measurement signals generated by the parametric model characterizes the error of the parametric model at each set of estimated values of the one or more floating parameters. Simulated measurement signals are generated by the parametric model at specified values of the floating parameters. A residual fitting error associated with the simulated measurement signals generated at the specified values of the floating parameters is derived from the residual fitting errors calculated by the regression on the real measurement signals. The simulated measurement signals are calibrated by adding the residual fitting error to the uncalibrated, simulated measurement signals. The calibrated, simulated measurement signals improve the accuracy of measurements and measurement recipe development.

指定代表圖：

TW 202420458 A



【圖1】

符號簡單說明：

100:度量衡系統

101:光譜橢偏儀(SE)

102:照明器

104:光譜儀

106:偏振照明射束

107:偏振狀態產生器

108:收集射束

109:偏振狀態分析器

110:晶圓定位系統

111:經量測光譜

112:半導體晶圓/樣品

114:結構

116:運算系統

118:載體媒體

120:程式指令

【發明摘要】

【中文發明名稱】

基於線上晶圓量測資料之參數量測模型之校準

【英文發明名稱】

CALIBRATION OF PARAMETRIC MEASUREMENT MODELS BASED ON IN-LINE WAFER MEASUREMENT DATA

【中文】

本文中描述用於校準由一參數量測模型產生之模擬量測信號之方法及系統。使用一參數模型執行對真實量測信號之迴歸。該等真實量測信號與由該參數模型產生之模擬量測信號之間之殘餘擬合誤差特性化該參數模型在一或多個浮動參數之估計值之各集合下之誤差。模擬量測信號由該參數模型在該等浮動參數之指定值下產生。與在該等浮動參數之該等指定值下產生之該等模擬量測信號相關聯之一殘餘擬合誤差係自藉由對該等真實量測信號之該等迴歸計算之該等殘餘擬合誤差導出。藉由將該殘餘擬合誤差添加至未校準模擬量測信號而校準該等模擬量測信號。該等經校準模擬量測信號改良量測之準確度及量測配方開發。

【英文】

Methods and systems for calibrating simulated measurement signals generated by a parametric measurement model are described herein. Regression on real measurement signals is performed using a parametric model. The residual fitting error between the real measurement signals and simulated measurement signals generated by the parametric model characterizes the error of the parametric model at each set of estimated

values of the one or more floating parameters. Simulated measurement signals are generated by the parametric model at specified values of the floating parameters. A residual fitting error associated with the simulated measurement signals generated at the specified values of the floating parameters is derived from the residual fitting errors calculated by the regression on the real measurement signals. The simulated measurement signals are calibrated by adding the residual fitting error to the uncalibrated, simulated measurement signals. The calibrated, simulated measurement signals improve the accuracy of measurements and measurement recipe development.

【指定代表圖】

圖1

【代表圖之符號簡單說明】

100: 度量衡系統

101: 光譜橢偏儀(SE)

102: 照明器

104: 光譜儀

106: 偏振照明射束

107: 偏振狀態產生器

108: 收集射束

109: 偏振狀態分析器

110: 晶圓定位系統

111: 經量測光譜

112: 半導體晶圓/樣品

114: 結構

116: 運算系統

118: 載體媒體

120: 程式指令

【發明說明書】

【中文發明名稱】

基於線上晶圓量測資料之參數量測模型之校準

【英文發明名稱】

CALIBRATION OF PARAMETRIC MEASUREMENT MODELS BASED ON IN-LINE WAFER MEASUREMENT DATA

【技術領域】

【0001】 所述實施例係關於用於晶圓度量衡之系統，且更特定言之，係關於半導體結構及材料之特性化及缺陷偵測。

【先前技術】

【0002】 半導體裝置(諸如邏輯及記憶體裝置)通常由應用於一樣品之一序列處理步驟製造。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，微影尤其為涉及一種在一半導體晶圓上產生一圖案之半導體製造程序。半導體製造程序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。多個半導體裝置可製造於一單一半導體晶圓上且接著被分成個別半導體裝置。

【0003】 在一半導體製造程序期間之各個步驟使用度量衡程序來偵測晶圓上之缺陷以促進較高良率。度量衡技術提供高處理能力之可能性而不具有樣本破壞之風險。通常使用包含散射量測、橢偏量測及反射量測實施方案以及相關聯分析演算法之數個光學及基於x射線之技術來特性化奈米級結構之臨界尺寸、膜厚度、組合物及其他參數。

【0004】 適用於以高處理能力量測半導體結構之許多度量衡技術係基於模型的。度量衡技術係量測受檢測樣品之物理性質之間接方法，即，

經量測值無法用於直接判定樣品之物理性質。在此等情況中，標稱量測程序由制定估計一給定量測案例之經量測值之一量測模型組成。量測模型特性化樣品與量測系統之互動。量測模型包含由各種幾何及材料參數(例如，膜厚度、臨界尺寸等)參數化之受量測結構之一參數模型及由各種機器參數(例如，波長、入射角、偏振角等)參數化之量測系統之一模型。

【0005】 受量測結構之參數模型包含浮動參數及固定參數。浮動參數之值在量測程序期間變化，而固定參數之值在量測程序期間保持為恆定標稱值。一般言之，固定參數表示不針對一特定量測應用顯著變化之結構特徵之尺寸，而浮動參數表示針對一特定量測應用顯著變化且對量測信號之量值(例如，經量測影像、光譜等)具有一顯著效應之結構特徵之尺寸。

【0006】 在量測程序中直接採用受量測結構之參數模型。在一些實例中，一電磁模擬引擎在一受量測結構之一參數模型上操作以產生合成量測資料。在一基於模型之量測應用中，採用一迴歸程序(例如，普通最小平方迴歸)以識別最小化合成量測資料與實驗量測值之間之差之樣品參數值。為了量測目的，將系統參數及一些結構參數視為已知固定參數且將一些結構參數視為未知浮動參數。浮動參數藉由產生合成量測資料與實驗量測值之間之最佳擬合之一迭代程序(例如，迴歸)求解。

【0007】 另外，在量測程序中間接採用受量測結構之參數模型。廣泛採用基於一受量測結構之一參數模型產生之合成量測資料以模擬量測信號針對不同製造程序條件之變動。繼而採用經判定靈敏度以特性化量測能力及相關量測效能。以此方式，受量測結構之參數模型對於用於一量測應用之一特定量測配方之開發係關鍵的。

【0008】 隨著裝置(例如，邏輯及記憶體裝置)朝向更小奈米級尺寸

發展，特性化變得更困難。併入複雜三維幾何形狀及具有不同物理性質之材料之裝置促成特性化困難。隨著裝置變得更複雜，且量測要求變得更嚴格，參數模型變得更複雜且易於出錯。因而，參數模型化誤差係用於複雜量測應用之量測配方開發及量測執行中之一顯著限制。

【0009】 參數模型誤差包含系統誤差及結構特性化誤差。系統誤差包含量測系統之硬體組態之特性化(例如，入射角、方位角等)之誤差。為了最小化此等誤差，擾動系統參數直至實現合成量測資料與實際量測資料之間之一最佳匹配。結構特性化誤差反映參數模型充分特性化受量測結構之一失效。例如，由真實程序條件引發之結構變動可未由一特定參數模型捕獲。

【0010】 傳統上，結構特性化誤差之最小化以與系統誤差相同之方式實現，即，藉由擾動固定結構參數之一集合直至實現合成量測資料與實際量測資料之間之一最佳匹配。此需要識別參數模型之固定參數之一集合且定義表示由真實製造程序條件引發之實際結構變動之參數之擾動值之一範圍。

【0011】 不幸地，此方法被證明為對於愈來愈複雜的參數模型無效。更具體言之，愈來愈難以識別要擾動之固定參數之一集合且亦難以判定將準確地表示實際程序變動之參數之擾動值之一範圍。此外，使用合成光譜以特性化基於一量測庫、迴歸或兩者之量測能力受一不準確參數模型損及。更具體言之，難以在未適當校準參數模型誤差時使用經合成產生之量測資料重現真實量測資料。

【0012】 參數模型化誤差之適當校準正在成為用於複雜量測應用之量測配方開發及執行中之一挑戰。研究及開發以及製造環境兩者中之程序

及良率控制需要參數模型之經改良校準以滿足半導體製造行業之要求。因此，期望用於參數模型之經改良校準之方法及系統。

【發明內容】

【0013】 本文中描述用於校準由一參數量測模型產生之模擬量測信號之方法及系統。自製造於半導體晶圓上之一或多個結構之不同例項之量測擷取真實量測信號。在較佳實施例中，半導體晶圓係捕獲由真實製造程序引發之結構變動之線上生產晶圓。使用真實量測信號之各集合之一參數模型執行對真實量測信號之一迴歸。各迴歸導致浮動參數之估計值之一集合及真實量測信號與由參數模型在浮動參數之估計值下產生之模擬量測信號之間之一殘餘擬合誤差。殘餘誤差特性化真實量測信號與模擬量測信號之間之剩餘差。在此意義上，殘餘誤差特性化參數模型在一或多個浮動參數之估計值之各集合下之誤差。

【0014】 模擬量測信號由參數模型在浮動參數之指定值下產生。與在浮動參數之指定值下產生之模擬量測信號相關聯之一殘餘擬合誤差係自藉由對真實量測信號之迴歸計算之殘餘擬合誤差導出。藉由將與浮動參數之指定值相關聯之殘餘擬合誤差添加至模擬量測信號之值而校準模擬量測信號。以此方式，經校準模擬量測信號更準確地重現與藉由浮動參數之指定值特性化之結構之量測相關聯之真實量測信號之預期值。

【0015】 在一些實施例中，選擇最緊密匹配對應於一或多個浮動參數之指定值之模擬量測信號之集合之真實量測信號之一或多個集合，且基於對應於真實量測信號之一或多個選定集合之殘餘誤差估計與一或多個浮動參數之指定值相關聯之殘餘誤差。

【0016】 在一些此等實施例中，基於真實量測信號之集合之一k最

近鄰搜尋選擇最緊密匹配模擬量測信號之集合之真實量測信號之一或多個集合。K最近鄰搜尋識別最緊密匹配受考量模擬量測信號之集合之真實量測信號之k個不同集合。

【0017】 一般言之，k可為任何正整數值。在一些實施例中，k等於1。在此等實例中，藉由將與真實量測信號之選定集合相關聯之殘餘誤差添加至與一或多個浮動參數之指定值相關聯之經模擬信號而校準與一或多個浮動參數之指定值相關聯之經模擬信號。在一些其他實施例中，k係大於1之一正整數值。在此等實例中，藉由將與真實量測信號之選定集合相關聯之平均殘餘誤差添加至與一或多個浮動參數之指定值相關聯之經模擬信號而校準與一或多個浮動參數之指定值相關聯之經模擬信號。

【0018】 在一些其他實施例中，基於真實量測信號之值之一統計模型估計與一或多個浮動參數之指定值相關聯之殘餘誤差。在與一或多個浮動參數之指定值相關聯之模擬量測信號之集合下評估統計模型以判定與一或多個浮動參數之指定值相關聯之殘餘誤差。

【0019】 在一進一步態樣中，跨參數量測模型之一或多個浮動參數之估計值之集合判定參數量測模型之一或多個浮動參數之各者之值之一變動。以此方式，基於線上生產晶圓上之一或多個結構之例項之真實量測估計(若干)受量測結構之幾何輪廓之變動範圍。

【0020】 在一進一步態樣中，基於經判定變動產生一或多個浮動參數之各者之值之一擴展集合。值之各擴展集合大於估計值之對應集合。在此等實施例中，採用基於真實量測估計之幾何輪廓參數之值之變動以判定由浮動參數之指定值跨越之結構變動之範圍。

【0021】 在另一進一步態樣中，藉由在一或多個浮動參數之各者之

值之擴展集合之值之各者下評估參數量測模型而產生模擬量測信號之一擴展集合。在一些實施例中，採用經校準模擬量測信號以產生一擴展量測庫。

【0022】 前文係概述且因此必然含有細節之簡化、概括及省略。因此，熟習此項技術者將瞭解，該概述僅係闡釋性且不以任何方式限制。本文中描述之裝置及/或程序之其他態樣、發明特徵及優點將在本文中所陳述之非限制性詳細描述中變得顯而易見。

【圖式簡單說明】

【0023】 圖1係繪示可根據如本文中描述之模擬量測信號之校準之方法操作之一度量衡系統100之一簡化圖。

【0024】 圖2係繪示針對製造於線上生產晶圓上之結構之數個不同量測例項之經量測光譜信號 α之值之一曲線圖130。

【0025】 圖3係繪示在與圖2中描繪之真實量測信號擬合之後之經模擬光譜信號 α之值之一曲線圖131。

【0026】 圖4係繪示與圖3中描繪之經模擬光譜信號之值與圖4中描繪之真實量測信號之擬合相關聯之殘餘誤差之一曲線圖132。

【0027】 圖5係繪示與浮動參數之指定值相關聯之經模擬光譜信號 α之值之一曲線圖133。

【0028】 圖6係繪示與在圖5中繪示之浮動參數之指定值相關聯之殘餘誤差之值之一曲線圖134。

【0029】 圖7係繪示與圖5中繪示之浮動參數之指定值相關聯之經校準合成光譜之值之一曲線圖135。

【0030】 圖8係繪示基於使用實際量測光譜、未校準模擬量測光譜

與經校準模擬量測光譜作為輸入光譜之最大量測偏差之一評估的一相對小庫與一相對大庫之間之效能差異之一表140。

【0031】 圖9係繪示如本文中描述之校準模擬量測信號之一方法200之一流程圖。

【實施方式】

相關申請案之交叉參考

【0032】 本專利申請案根據35 U.S.C. §119規定主張2022年9月26日申請之標題為「Methods for Calibrating the Error of Parametric Models in Simulated Synthetic Spectra Using Inline Wafers for Optical-Based Metrology」之美國臨時專利申請案第63/409,842號之優先權，該案之標的物之全文以引用的方式併入本文中。

【0033】 現將詳細參考本發明之背景實例及一些實施例，在隨附圖式中繪示該等實施例之實例。

【0034】 本文中描述用於估計參數模型誤差且校準由參數模型產生之模擬量測信號之方法及系統。自製造於半導體晶圓上之一或多個結構之不同例項之量測擷取真實量測信號。在較佳實施例中，半導體晶圓係捕獲由真實製造程序引發之結構變動之線上生產晶圓。針對真實量測信號之各集合(即，各量測例項)，使用一參數模型執行對真實量測信號之一迴歸。將參數模型之浮動參數視為迴歸參數。各迴歸導致浮動參數之估計值之一集合及真實量測信號與由參數模型在浮動參數之估計值下產生之模擬量測信號之間之一殘餘擬合誤差。

【0035】 模擬量測信號由參數模型在浮動參數之指定值下產生。估計嵌入模擬量測信號中之參數模型誤差作為與浮動參數之指定值相關聯之

一殘餘擬合誤差。殘餘擬合誤差係自在對真實量測信號之迴歸期間計算之殘餘擬合誤差導出。

【0036】 藉由將與浮動參數之指定值相關聯之殘餘擬合誤差添加至模擬量測信號之值而校準模擬量測信號。以此方式，經校準模擬量測信號更準確地重現與藉由浮動參數之指定值特性化之結構之量測相關聯之真實量測信號之預期值。在一些實例中，經校準模擬量測信號更準確地重現起因於實際晶圓之量測之量測信號之變動。如本文中描述之經校準模擬量測信號可改良基於模型之量測、量測配方開發或兩者之效能。

【0037】 圖1繪示用於根據本文中呈現之例示性方法量測一半導體晶圓之特性的一度量衡系統100。如圖1中展示，系統100可用於執行安置於一晶圓定位系統110上之一半導體晶圓112之一或多個結構114之光譜橢偏測量。在此態樣中，系統100可包含裝備有一照明器102及一光譜儀104之一光譜橢偏儀(SE) 101。系統100之照明器102經組態以產生一選定波長範圍(例如，150 nm至850 nm、190 nm至850 nm、240 nm至850 nm等)之照明且將該照明引導至安置於半導體晶圓112之表面上之結構114。繼而，光譜儀104經組態以接收自半導體晶圓112之表面反射之照明。進一步應注意，使用一偏振狀態產生器107使自照明器102出射之光偏振以產生一偏振照明射束106。由安置於晶圓112上之結構114反射之輻射行進穿過一偏振狀態分析器109且至光譜儀104。關於偏振狀態分析收集射束108中由光譜儀104接收之輻射，從而容許藉由光譜儀對由分析器傳遞之輻射進行光譜分析。將經量測光譜111傳達至運算系統116以進行結構114之分析。

【0038】 在一進一步實施例中，度量衡系統100係可包含用於根據

本文中描述之方法執行模擬量測信號之校準之一或多個運算系統116之一量測系統100。一或多個運算系統116可通信地耦合至光譜儀104。在一個態樣中，一或多個運算系統116經組態以接收與樣品112之結構114之一量測相關聯之量測資料111。在一個實例中，量測資料111包含由目標量測系統100基於來自光譜儀104之一或多個取樣程序量測之樣品之光譜回應之一指示。

【0039】 應認知，貫穿本發明描述之各種元件可藉由一單一電腦系統116或替代地多個電腦系統116實行。再者，系統100之不同子系統(諸如光譜橢偏儀101)可包含適用於實行本文中描述之步驟之至少一部分之一電腦系統。因此，前述描述不應被解譯為對本發明之一限制而僅為一圖解。此外，一或多個運算系統116可經組態以執行本文中描述之方法實施例之任一者之(若干)任何其他步驟。再者，一或多個運算系統116之一些或全部可遠離晶圓量測之位點定位。例如，經組態以執行本文中描述之任何校準方塊之運算系統116之元件可定位於遠離量測晶圓之位點而定位之另一設施處。

【0040】 在此方面，不要求光譜資料之光譜擷取及後續分析必須同時或在空間接近之情況下執行。例如，光譜資料可儲存於記憶體中以供隨後進行分析。在另一例項中，光譜結果可經獲得並傳輸至定位於一遠端位置處之一運算系統以供分析。

【0041】 另外，電腦系統116可以此項技術中已知之任何方式通信地耦合至光譜儀104及橢偏儀101之照明器子系統102。例如，一或多個運算系統116可耦合至橢偏儀101之光譜儀104之一運算系統及照明器子系統102之一運算系統。在另一實例中，光譜儀104及照明器102可由一單一電

腦系統控制。以此方式，系統100之電腦系統116可耦合至一單一橢偏儀電腦系統。

【0042】 系統100之電腦系統116可經組態以藉由可包含有線及/或無線部分之一傳輸媒體接收及/或擷取來自系統之子系統(例如，光譜儀104、照明器102及類似者)之資料或資訊。以此方式，傳輸媒體可用作電腦系統116與系統100之其他子系統之間的一資料鏈路。此外，運算系統116可經組態以經由一儲存媒體(即，記憶體)接收量測資料。例如，使用橢偏儀101之一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(未展示)中。在此方面，光譜結果可自一外部系統匯入。

【0043】 再者，電腦系統116可經由一傳輸媒體將資料發送至外部系統。系統100之電腦系統116可經組態以藉由可包含有線及/或無線部分之一傳輸媒體接收及/或擷取來自其他系統之資料或資訊(例如，來自一檢測系統之檢測結果或來自一度量衡系統之度量衡結果)。以此方式，傳輸媒體可用作電腦系統116與系統100之其他子系統之間的一資料鏈路。再者，電腦系統116可經由一傳輸媒體將資料發送至外部系統。

【0044】 運算系統116可包含但不限於一個人電腦系統、主機電腦系統、工作站、基於雲端之運算系統、影像電腦、平行處理器或此項技術中已知之任何其他裝置。一般言之，術語「運算系統」可廣泛地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。

【0045】 實施諸如本文中所描述之方法之方法的程式指令120可經由載體媒體118傳輸或儲存於載體媒體118上。載體媒體可為一傳輸媒體，諸如一導線、電纜或無線傳輸鏈路。載體媒體亦可包含一電腦可讀媒體，諸如一唯獨記憶體、一隨機存取記憶體、一固態記憶體、一磁碟或光

碟或一磁帶。

【0046】 可如本文中描述般進一步組態圖1中繪示之系統100之實施例。另外，系統100可經組態以執行本文中描述之(若干)方法實施例之任一者之(若干)任何其他方塊。

【0047】 如圖1中繪示，來自照明器102之寬頻輻射之一射束在偏振狀態產生器107中線性偏振，且線性偏振射束接著入射於樣品112上。在自樣品112反射之後，射束以一經改變偏振狀態朝向偏振狀態分析器109傳播。在一些實例中，反射射束具有橢圓偏振。反射射束傳播穿過偏振狀態分析器109至光譜儀104中。在光譜儀104中，具有不同波長之射束分量在不同方向上折射(例如，在一稜鏡光譜儀中)或繞射(例如，在一光柵光譜儀中)至不同偵測器。偵測器可係光電二極體之一線性陣列，其中各光電二極體量測在一不同波長範圍內之輻射。

【0048】 在一個實例中，運算系統116接收來自各偵測器之經量測資料(例如，原始量測資料)且使用軟體程式化以依一適當方式處理其接收之資料。可藉由以此項技術中已知之任何數目個方式分析回應於具有已知偏振狀態之入射輻射而自樣本反射之輻射之偏振之改變而判定一樣品之經量測光譜回應。

【0049】 偏振狀態產生器107及偏振狀態分析器109之任一者可經組態以在一量測操作期間繞其等光學軸旋轉。在一些實例中，運算系統116經程式化以產生控制信號以控制偏振狀態產生器107及/或偏振狀態分析器109或系統100之其他元件(例如，樣品112擱置於其上之晶圓定位系統110)之角度定向。運算系統116亦可接收來自與偏振狀態分析器109之一分析器位置感測器之指示偏振狀態分析器109之角度定向之資料。類似

地，運算系統116亦可接收來自與偏振狀態產生器107相關聯之一偏振器位置感測器之指示偏振狀態產生器107之角度定向之資料。運算系統116可使用軟體程式化以依一適當方式處理此定向資料。

[0050] 在一項實施例中，偏振狀態產生器107係經控制使得其以一恆定速度旋轉之一線性偏振器，且偏振狀態分析器係不旋轉之一線性偏振器(「分析器」)。在光譜儀104之各偵測器處接收之信號(即，原始量測資料)將係由方程式(1)給示之一時變強度，

$$I(t) = I_0[1 + \alpha\cos(2\omega t - 2P_0) + \beta\sin(2\omega t - 2P_0)] \quad (1)$$

其中I_0係取決於由照明器102發射之輻射之強度之一常數，ω係偏振狀態產生器107之角速度，P_0係偏振狀態產生器107之光學軸與在一初始時間($t = 0$)之入射平面(例如，圖1之平面)之間之角度，且α及β係如由方程式(2)及(3)給示般定義之值，

$$\alpha = [\tan^2\Psi - \tan^2(A - A_0)]/[\tan^2\Psi + \tan^2(A - A_0)] \quad (2)$$

及

$$\beta = [2(\tan\Psi)(\cos\Delta)(\tan(A - A_0))]/[\tan^2\Psi + \tan^2(A - A_0)] \quad (3)$$

其中$\tan(\Psi)$係樣本之p及s反射係數之複比率之振幅，且Δ係樣本之p及s反射係數之複比率之相位。「p」分量表示其電場在圖1之平面中之偏振輻射之分量，且「s」表示其電場垂直於圖1之平面之偏振輻射之分量。A係標稱分析器角度(例如，例如由與偏振狀態分析器109相關聯之上文提及之分析器位置感測器供應之定向角度之一經量測值)。A_0係偏振狀態分析器109之實際定向角度由讀數「A」之偏移(例如，歸因於機器未對準，A_0可係非零的)。

[0051] 一般言之，一樣品對一量測之光譜回應由度量衡系統其於

光譜資料S之函數及系統參數值之一子集P_{sys1}計算，如以方程式(4)及(5)給示。

$$\alpha_{mcas} = m(P_{sys1}, S) \quad (4)$$

$$\beta_{mcas} = n(P_{sys1}, S) \quad (5)$$

〔0052〕系統參數值之子集P_{sys1}係判定樣品對藉由度量衡系統執行之量測之光譜回應所需之彼等系統參數。

〔0053〕針對參考圖1描述之實施例，系統參數之子集包含方程式(1)至(3)之機器參數。α_{mcas}及β_{mcas}之值係基於度量衡系統100對一特定樣品之一量測及系統參數值之一子集判定，如以方程式(1)至(3)描述。

〔0054〕一般言之，橢偏量測係量測受檢測樣品之物理性質之一間接方法。在大多數情況下，經量測值(例如，α_{mcas}及β_{mcas})無法用於直接判定樣品之物理性質。標稱量測程序由創定估計一給定量測案例之經量測值(例如，α_{mcas}及β_{mcas})之一參數量測模型組成。量測模型特性化樣品與量測系統之互動。量測模型包含結構(例如，膜厚度、臨界尺寸等)及機器(例如，波長、入射角、偏振角等)之一參數化。如方程式(6)及(7)中給示，量測模型包含與機器相關聯之參數($P_{machine}$)及與樣品相關聯之參數($P_{specimen}$)。

$$\alpha_{mdl} = f(P_{machine}, P_{specimen}) \quad (6)$$

$$\beta_{mdl} = g(P_{machine}, P_{specimen}) \quad (7)$$

〔0055〕機器參數係用於特性化度量衡工具(例如，橢偏儀101)之參數，且可包含參考方程式(4)及(5)描述之系統參數之子集之一些或全部。例示性機器參數包含入射角(AOI)、分析器角度(A_0)、偏振器角度(P_0)、照明波長、數值孔徑(NA)等。

〔0056〕樣品參數係用於特性化樣品(例如，包含結構114之樣品

112)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、全部層之標稱層厚度、層序列等。為了量測目的，將機器參數視為已知固定參數且將樣品參數之一些或全部視為未知浮動參數。浮動參數由產生理論預測與實驗資料之間之最佳擬合之一迭代程序(例如，迴歸)求解。改變未知樣品參數$P_{specimen}$且計算模型輸出值(例如，α_{model}及β_{model})直至判定導致模型輸出值與實驗量測值(例如，α_{meas}及β_{meas})之間之一緊密匹配之樣品參數值之一集合。

【0057】 在一基於模型之量測應用(諸如光譜橢偏量測)中，採用一迴歸程序(例如，普通最小平方迴歸)以識別最小化機器參數值之固定值之一集合與未被視為未知浮動參數之任何樣品參數之固定值之一集合之模型輸出值與實驗量測值之間之差之樣品參數值。

【0058】 在一個態樣中，呈現用於校準由一參數量測模型產生之模擬量測信號之方法及系統。以此方式，經校準模擬量測信號更準確地重現與藉由浮動參數之指定值特性化之結構之量測相關聯之真實量測信號之預期值。在圖1中描繪之實施例中，運算系統116進一步經組態以基於經校準模擬量測信號判定與一受量測結構相關聯之至少一個樣品參數之一值。

【0059】 在一進一步態樣中，由一度量衡系統(例如，度量衡系統100)產生之真實量測信號由一運算系統(例如，運算系統116)接收。真實量測信號與製造於一或多個半導體晶圓上之一或多個結構之複數個例項之各者之量測相關聯。方程式(8)繪示包含量測信號m_i之n個集合之真實量測信號M，其中i係自1至n之一索引，其中n係任何正整數。量測信號之各集合對應於一或多個受量測結構之一量測例項。

$$M = \{m_1, m_2, \ldots, m_n\} \quad (8)$$

【0060】 在圖1中描繪之實施例中，量測信號116係自製造於晶圓112上之一或多個結構114之不同例項收集之真實量測信號，即，光譜。一或多個結構包含一度量衡目標、裝置結構、代理結構等。一或多個結構之不同例項包含同一受量測標稱結構之重複例項。在較佳實施例中，真實量測信號係自表示用於製造受量測結構之程序之實際變動之線上生產晶圓收集。

【0061】 此外，判定與一或多個結構之複數個例項之量測之各者相關聯之一參數量測模型之一或多個浮動參數之估計值之一集合。估計值之各集合由使用模擬實際量測之一參數量測模型對真實量測資料之一迴歸判定。參數量測模型之浮動參數之值由迴歸求解以最小化管控迴歸之誤差函數。誤差函數特性化真實量測信號與模擬量測信號之間之差。方程式(9)繪示包含對應於方程式(8)中繪示之真實量測信號m_i之模擬量測信號s_i之n個集合之模擬量測信號S。在迴歸之最終迭代處在一或多個浮動參數之估計值下判定模擬量測信號S之值。

$$S = \{s_1, s_2, \ldots, s_n\} \qquad (9)$$

【0062】 在迴歸終止時，一殘餘誤差特性化真實量測信號與模擬量測信號之間之剩餘差。在此意義上，殘餘誤差特性化參數模型在一或多個浮動參數之估計值之各集合下之誤差。方程式(10)繪示包含對應於方程式(8)中繪示之真實量測信號m_i之模擬量測信號r_i之n個集合之殘餘誤差信號R。如由方程式(11)繪示，計算殘餘誤差信號r_i之各集合作為真實量測信號m_i與對應模擬量測信號s_i之間之差。

$$R = \{r_1, r_2, \ldots, r_n\} \qquad (10)$$

$$r_i = m_i - s_i \qquad (11)$$

【0063】 例如，與一光譜量測相關聯之殘餘誤差係在各波長(即，一

殘餘誤差光譜)下真實量測信號與模擬量測信號之間之差。在另一實例中，與一基於影像之量測(例如，一散射量測影像)相關聯之殘餘誤差係在影像(即，一殘餘誤差影像)之各像素下之真實量測信號與模擬量測信號之間之差。

【0064】 將真實量測信號之各集合、一或多個浮動參數之估計值之對應集合及對應殘餘誤差儲存於一記憶體(例如，載體媒體118)中。在較佳實施例中，真實量測信號之集合、對應浮動參數值及對應殘餘誤差跨越與受量測結構相關聯之程序變動空間，且因此捕獲跨程序空間之參數模型誤差資訊。

【0065】 在一進一步態樣中，藉由在一或多個浮動參數之指定值之不同集合下評估參數量測模型而判定模擬量測信號之集合。模擬量測信號之集合在未校準之情況下進行評估，且因此，包含參數量測模型固有之誤差。方程式(12)繪示包含模擬量測信號之m個集合之模擬量測信號T。

$$T = \{t_1, t_2, \ldots, t_m\} \qquad (12)$$

【0066】 在許多實例中，浮動參數之指定值不同於在對量測信號之迴歸期間判定之浮動參數之估計值。然而，一般言之，指定值可係與在對量測信號之迴歸期間判定之浮動參數之估計值相同或不同之值。

【0067】 此外，在許多實例中，指定值之集合之數目遠大於真實量測信號之集合之數目，即，m大於n。在許多實例中，指定值之集合由度量衡系統之一使用者合成產生以依高於真實量測信號之可用集合之解析度跨越一或多個受量測結構之幾何輪廓之預期範圍。例如，真實量測信號之可用集合之數目可為數百，而指定值之集合之數目可為數千或數萬。

【0068】 在一進一步態樣中，基於與一或多個結構之複數個例項之

量測之各者相關聯之殘餘誤差判定與一或多個浮動參數之指定值相關聯之一殘餘誤差。此外，藉由將與浮動參數之指定值相關聯之殘餘誤差添加至模擬量測信號之集合而校準模擬量測信號之各集合。基於自線上生產晶圓之真實量測導出之殘餘誤差校正與模擬量測信號之各集合相關聯之誤差(即，在浮動參數之值之各集合下評估之參數量測模型固有之誤差)。以此方式，經校準合成光譜更準確地重現真實量測信號之變動。

【0069】 與一或多個浮動參數之指定值之各集合相關聯之誤差由方程式(13)繪示。

$$E = \{e_1, e_2, \ldots, e_m\} \qquad (13)$$

【0070】 計算經校準模擬量測信號c_k之各集合作為未校準模擬量測信號t_k與對應誤差e_k之總和，如由方程式(14)繪示，其中k係自1至m之一索引，其中m係任何正整數。

$$c_k = t_k + e_k \qquad (14)$$

【0071】 經校準模擬量測信號C之所得集合由方程式(15)繪示。

$$C = \{c_1, c_2, \ldots, c_m\} \qquad (15)$$

【0072】 在一些實施例中，選擇最緊密匹配對應於一或多個浮動參數之指定值之模擬量測信號之集合之真實量測信號之一或多個集合，且基於對應於真實量測信號之一或多個選定集合之殘餘誤差估計與一或多個浮動參數之指定值相關聯之殘餘誤差。

【0073】 在一些此等實施例中，基於真實量測信號M之集合之一K最近鄰搜尋選擇最緊密匹配模擬量測信號之集合之真實量測信號之一或多個集合。M之K最近鄰搜尋識別最緊密匹配受考量模擬量測信號之集合之真實量測信號之k個不同集合。一般言之，k可為任何正整數值。在一些實

施例中，k等於1。在此等實例中，將與真實量測信號之選定集合相關聯之殘餘誤差視為與一或多個浮動參數之指定值相關聯之殘餘誤差。在此等實例中，藉由將與真實量測信號之選定集合相關聯之殘餘誤差添加至與一或多個浮動參數之指定值相關聯之經模擬信號而校準與一或多個浮動參數之指定值相關聯之經模擬信號。在一些其他實施例中，k係大於1之一正整數值。在此等實例中，平均化與真實量測信號之選定集合相關聯之殘餘誤差，且將平均殘餘誤差視為與一或多個浮動參數之指定值相關聯之殘餘誤差。在此等實例中，藉由將與真實量測信號之選定集合相關聯之平均殘餘誤差添加至與一或多個浮動參數之指定值相關聯之經模擬信號而校準與一或多個浮動參數之指定值相關聯之經模擬信號。

【0074】 在一些其他實施例中，基於一統計模型估計與一或多個浮動參數之指定值相關聯之殘餘誤差。在此等實施例中，產生特性化真實量測信號之各集合與模擬量測信號之對應集合之間之差之殘餘誤差之一統計模型。統計模型係真實量測信號之值之一函數。

【0075】 在一個實例中，產生與真實量測信號相關聯之殘餘誤差之一高斯(Gaussian)模型。高斯模型指定跨真實量測信號之值之一範圍之殘餘誤差之值。例如，針對光譜量測，高斯模型指定針對各波長跨一光譜信號(例如， α)之值之一範圍之殘餘誤差之值。方程式(16)在一個實例中繪示高斯模型，其中N係在波長λ下與光譜信號 α相關聯之殘餘誤差之值之高斯分佈，μ係高斯分佈N之均值，且σ係高斯分佈N之標準偏差。

$$N(\mu, \sigma; \lambda, \alpha) \qquad (16)$$

【0076】 針對基於影像之量測，高斯模型指定針對各像素跨經量測強度之值之一範圍之殘餘誤差之值。

【0077】 在與一或多個浮動參數之指定值相關聯之模擬量測信號之集合下評估統計模型以判定與一或多個浮動參數之指定值相關聯之殘餘誤差。

【0078】 在一進一步態樣中，跨參數量測模型之一或多個浮動參數之估計值之集合判定參數量測模型之一或多個浮動參數之各者之值之一變動。以此方式，基於線上生產晶圓上之一或多個結構之例項之真實量測估計(若干)受量測結構之幾何輪廓之變動範圍。

【0079】 在一進一步態樣中，基於經判定變動產生一或多個浮動參數之各者之值之一擴展集合。值之各擴展集合大於估計值之對應集合。在此等實施例中，採用基於真實量測估計之幾何輪廓參數之值之變動以判定由浮動參數之指定值跨越之結構變動之範圍。

【0080】 在另一進一步態樣中，藉由在一或多個浮動參數之各者之值之擴展集合之值之各者下評估參數量測模型而產生模擬量測信號之一擴展集合。

【0081】 圖2係繪示針對數個不同量測例項之經量測光譜信號 α 之值之一曲線圖130。經量測光譜信號係製造於線上生產晶圓上之結構之真實量測信號。

【0082】 圖3係繪示在與圖2中描繪之真實量測信號擬合之後之經模擬光譜信號 α 之值之一曲線圖131。

【0083】 圖4係繪示與圖3中描繪之經模擬光譜信號之值與圖4中描繪之真實量測信號之擬合相關聯之殘餘誤差(即，經模擬光譜信號與真實量測信號之值之間之差)之一曲線圖132。

【0084】 圖5係繪示與浮動參數之指定值相關聯之經模擬光譜信號

α之值之一曲線圖133。

【0085】 圖6係繪示與在圖5中繪示之浮動參數之指定值相關聯之殘餘誤差之值之一曲線圖134。

【0086】 圖7係繪示與圖5中繪示之浮動參數之指定值相關聯之經校準合成光譜之值之一曲線圖135。產生經校準合成光譜作為圖5中繪示之未校準模擬光譜信號與圖6中繪示之殘餘誤差之總和。如圖6中描繪，跨波長範圍及全部信號頻道之殘餘誤差在+/-0.1之一範圍內變化。在圖7中描繪之經校準合成光譜中考量此等非平凡誤差。

【0087】 在一些實施例中，採用經校準模擬量測信號以產生一擴展量測庫。基於庫之解決方案係用於解決許多半導體度量衡模態固有之逆量測問題之一常見方法。然而，基於真實量測資料產生具有足夠跨度及密度之一量測庫通常係不實際的。為了克服此限制，通常合成地產生量測庫資料。不幸地，在所得量測庫中反映存在於合成量測資料中之誤差。因此，重要的是確保用於產生一量測庫之合成量測資料之準確度。

【0088】 在一個實例中，評估兩個不同量測庫以判定量測庫之品質。第一庫相對小，且第二庫相對大。藉由擴展第一庫之參數範圍而產生第二庫。

【0089】 藉由針對輸入光譜與儲存於一庫中之光譜之間之最緊密匹配搜尋該庫而執行一基於庫之量測。與具有與輸入光譜之最緊密匹配之經儲存光譜相關聯之所關注參數之值係所關注參數之經量測值。藉由使用兩個庫執行自相同輸入光譜之基於庫之量測且評估所關注參數之估計值之間之差而評估量測偏差。

【0090】 在一個實例中，基於最大量測偏差評估庫之相對品質。藉

由採取由原始及擴展庫兩者估計之一所關注參數之值之差之最大值而計算最大量測偏差。若最大量測偏差大，則擴展庫提供與原始庫相比之一顯著效能優點。若最大量測偏差小，則擴展庫不提供一顯著效能優點。

【0091】 圖8係繪示基於使用實際量測光譜、未校準模擬量測光譜與經校準模擬量測光譜作為輸入光譜之最大量測偏差之一評估的一相對小庫與一相對大庫之間之效能差異之一表140。

【0092】 如圖8中描繪，與原始庫及擴展庫之評估相關聯之一所關注參數之最大偏差在基於真實量測光譜評估時係10，在基於未校準模擬光譜評估時係0.0008，且在基於經校準模擬光譜評估時係2.3。此等結果繪示當使用真實量測光譜評估時，兩個庫之間存在一顯著效能差異，且在使用經校準模擬光譜評估庫時，亦捕獲此顯著效能差異。然而，在基於未校準模擬資料評估庫時，未捕獲此效能差異。因此，如本文中描述之經校準模擬光譜可用於以未校準模擬光譜不能之方式有效地評估量測庫效能。

【0093】 圖8亦繪示使用實際量測光譜、未校準模擬量測光譜及經校準模擬量測光譜作為輸入光譜之擴展庫之擬合優度。在此實例中，擬合優度被量化為一CHI^2值。基於輸入光譜與具有與輸入光譜之一最緊密擬合之庫光譜之間之殘餘差評估擬合優度。針對許多樣本(即，100個不同輸入光譜)評估殘餘。藉由平均化與各樣本相關聯之CHI^2值而計算平均化CHI^2值。如圖8中繪示，平均化CHI^2值在基於真實量測光譜評估時係45，在基於未校準模擬光譜評估時係30，且在基於經校準模擬光譜評估時係47。此等結果繪示，當使用真實量測光譜及經校準模擬光譜評估時，如藉由擬合優度特性化之擴展庫之效能被判斷為類似的。然而，當使用未校準模擬光譜評估時，效能被判斷為更佳，即，擬合優度之更低值指示更佳擬

合結果。此暗示使用未校準模擬光譜評估一量測庫可指示高於在採用庫來對實際量測資料執行量測時將實現之效能。此外，使用真實量測光譜及經校準模擬光譜評估一量測庫指示一類似效能位準，且與在用於對實際量測資料執行量測時量測庫之預期效能一致。又，如本文中描述之經校準模擬光譜可用於以未校準模擬光譜不能之方式有效地評估量測庫效能。

【0094】 儘管本文中參考由一光譜橢偏量測系統(即，度量衡系統100)產生之光譜量測資料描述模擬量測資料之校準，但一般言之，本文中描述之校準技術可應用至用作一基於模型之量測之部分之任何半導體度量衡資料。例示性系統包含但不限於基於光學之光譜量測系統(諸如橢偏量測、反射量測及角度解析反射量測系統)、基於影像之散射量測系統(諸如基於x射線之散射量測系統)等。

【0095】 一般言之，經校準模擬量測信號可用於量測與不同半導體製造程序相關聯之結構及材料特性(例如，結構及膜之材料組合物、尺寸特性等)。更具體言之，經校準模擬量測信號可用作對實際量測資料之一迴歸、對實際量測資料之一基於庫之迴歸、量測庫合成及評估、量測配方開發等之部分。

【0096】 圖9繪示適於藉由本發明之度量衡系統100實施之一方法200。在一個態樣中，應認知，方法200之資料處理方塊可經由藉由運算系統116之一或多個處理器執行之一經預程式化演算法實行。雖然以下描述係在度量衡系統100之背景內容中呈現，但本文中應認知，度量衡系統100之特定結構態樣不表示限制且應僅被解譯為闡釋性的。

【0097】 在方塊201中，藉由一運算系統接收真實量測信號。真實量測信號與製造於一或多個半導體晶圓上之一或多個結構之複數個例項之

各者之量測相關聯。

【0098】 在方塊202中，判定一參數量測模型之一或多個浮動參數之估計值之一集合。估計值之集合與一或多個結構之複數個例項之量測之各者相關聯。一或多個浮動參數之估計值之各集合最小化一殘餘誤差。各殘餘誤差特性化對應真實量測信號與藉由參數量測模型在一或多個浮動參數之估計值之集合之各者下產生之模擬量測信號之一對應集合之間之一差。

【0099】 在方塊203中，藉由在一或多個浮動參數之指定值之一集合下評估參數量測模型而判定模擬量測信號之一集合。

【0100】 在方塊204中，基於與一或多個結構之複數個例項之量測之各者相關聯之殘餘誤差估計與一或多個浮動參數之指定值相關聯之一殘餘誤差。

【0101】 在方塊205中，藉由將與浮動參數之指定值相關聯之殘餘誤差添加至模擬量測信號之集合而校準模擬量測信號之集合。

【0102】 在方塊206中，將模擬量測信號之經校準集合儲存於一記憶體(例如，載體媒體118)中。

【0103】 如前文論述，不要求如本文中描述之量測資料之量測資料擷取及後續分析必須同時或在空間接近之情況下執行。例如，量測資料可儲存於記憶體中以供隨後進行分析。在另一例項中，量測資料可經獲得並傳輸至定位於一遠端位置處之一運算系統以供分析。

【0104】 在一些實例中，經量測光譜回應之指示係藉由如在上文參考方程式(1)至(3)論述之此項技術中已知之方法自量測資料導出之α_{meas}及β_{meas}值。在其他實例中，可審慎考慮經量測光譜回應之其他指示(例如，

$\tan\Psi$及Δ等)。前述光譜回應指示係藉由非限制性實例提供。可審慎考慮其他指示或指示之組合。應注意，一光譜指示係基於樣品之光譜回應，而非可自樣品之光譜回應導出之特定度量(例如，膜厚度、折射率、介電常數等)。

【0105】 在又一態樣中，本文中描述之量測結果可用於向一程序工具(例如，微影工具、蝕刻工具、沈積工具等)提供主動回饋。例如，基於本文中描述之量測方法判定之經量測參數之值可傳達至一微影工具以調整微影系統以達成一所要輸出。以一類似方式，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)可包含於一量測模型中以分別向蝕刻工具或沈積工具提供主動回饋。在一些實例中，對基於經量測裝置參數值判定之程序參數之校正及一經訓練量測模型可傳達至一微影工具、蝕刻工具或沈積工具。

【0106】 經組態以量測介電及金屬膜及結構之幾何形狀及材料性質之度量衡系統可採用本文中描述之方法。藉由非限制性實例，此等量測包含膜性質及尺寸、CD、疊對及組合物量測。此等度量衡系統可包含任何數目個照明源，包含但不限於燈、雷射、雷射驅動源、x射線源及EUV源。此等度量衡系統可採用數個量測技術，包含但不限於橢偏儀之全部實施方案(包含寬頻光譜或單波長、單或多角度或角度解析，使用固定或旋轉偏振器及補償器)、反射計之全部實施方案(包含光譜或單波長、單或多角度或角度解析)、差分量測(諸如干涉儀)及基於x射線之度量衡。

【0107】 如本文中描述，在任何態樣中，術語「度量衡系統」包含至少部分用於特性化一樣品之任何系統。在此項技術中使用之例示性術語可包含一「缺陷檢測」系統或一「檢測」系統。然而，此等技術術語不限

制如本文中描述之術語「度量衡系統」之範疇。另外，度量衡系統100及400可經組態以用於圖案化晶圓及/或未經圖案化晶圓之檢測。度量衡系統可經組態為一LED檢測工具、邊緣檢測工具、背側檢測工具、巨觀檢測工具或多模式檢測工具(涉及同時來自一或多個平台之資料)及獲益於基於一參考與一目標度量衡工具之間之誤差光譜之差之系統參數之校準之任何其他度量衡或檢測工具。

【0108】 本文中描述可用於處理一樣品之一半導體處理系統(例如，一度量衡系統或一微影系統)之各項實施例。術語「樣品」在本文中使用以指代一晶圓、一倍縮光罩或可藉由此項技術中已知之方法處理(例如，印刷或檢測缺陷)之任何其他樣本。

【0109】 如本文中使用，術語「晶圓」大體上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。此等基板通常可在半導體製造設施中找到及/或處理。在一些情況中，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。

【0110】 一或多個層可形成於一晶圓上。例如，此等層可包含但不限於一光阻劑、一介電材料、一導電材料及一半導電材料。許多不同類型之此等層在此項技術中係已知的，且如本文中使用之術語晶圓旨在涵蓋其上可形成全部類型之此等層之一晶圓。

【0111】 形成於一晶圓上之一或多個層可「經圖案化」或「未經圖案化」。例如，一晶圓可包含具有可重複圖案特徵之複數個晶粒。此等材料層之形成及處理最終可導致完成裝置。許多不同類型的裝置可形成於一晶圓上，且如本文中使用之術語晶圓旨在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。

【0112】一典型半導體程序包含按批次處理之晶圓。如本文中使用，一「批次」係一起處理之晶圓之一群組(例如，25個晶圓之群組)。批次中之各晶圓包括來自微影處理工具(例如，步進器、掃描器等)之許多曝光場。在各場內可存在多個晶粒。一晶粒係最終變為一單一晶片之功能單元。形成於一晶圓上之一或多個層可經圖案化或未經圖案化。例如，一晶圓可包含各具有可重複圖案化特徵之複數個晶粒。此等材料層之形成及處理最終可導致完成裝置。許多不同類型的裝置可形成於一晶圓上，且如本文中使用之術語晶圓旨在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。

【0113】一「倍縮光罩」可為處於一倍縮光罩製造程序之任何階段之一倍縮光罩，或為可經釋放或可能未經釋放以於一半導體製造設施中使用之一完成倍縮光罩。一倍縮光罩或一「遮罩」被大體上定義為具有形成於其上且以一圖案組態之實質上不透明區的一實質上透明基板。基板可包含例如一玻璃材料，諸如石英。可在一微影程序之一曝光步驟期間將一倍縮光罩安置於一光阻劑覆蓋之晶圓上方，使得可將倍縮光罩上之圖案轉印至光阻劑。

【0114】在一或多項例示性實施例中，所述功能可經實施於硬體、軟體、韌體或其等之任何組合中。若在軟體中實施，則功能可作為一或多個指令或程式碼儲存於一電腦可讀媒體上或經由該電腦可讀媒體傳輸。電腦可讀媒體包含電腦儲存媒體及通信媒體(包含促進一電腦程式自一個位置至另一位置之傳送之任何媒體)兩者。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。藉由實例且非限制地，此等電腦可讀媒體可

包括RAM、ROM、EEPROM、CD-ROM或其他光碟儲存器、磁碟儲存器或其他磁性儲存裝置或可用於載送或儲存呈指令或資料結構之形式之所要程式碼構件且可藉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，任何連接被適當地稱為一電腦可讀媒體。例如，若使用一同軸電纜、光纖電纜、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，則同軸電纜、光纖電纜、雙絞線、DSL或無線技術(諸如紅外線、無線電及微波)被包含於媒體之定義中。如本文中使用，磁碟及光碟包含光碟(CD)、雷射光碟、光碟、數位多功能光碟(DVD)、軟碟及藍光光碟，其中磁碟通常磁性地重現資料而光碟用雷射光學地重現資料。上述組合亦應被包含於電腦可讀媒體之範疇內。

【0115】 雖然上文為指導目的而描述某些特定實施例，但本專利文件之教示具有一般適用性且不限於上文中描述之特定實施例。因此，在不脫離如發明申請專利範圍中闡述之本發明之範疇之情況下，可實踐所述實施例之各種特徵之各種修改、調適及組合。

【符號說明】

【0116】

100: 度量衡系統

101: 光譜橢偏儀(SE)

102: 照明器

104: 光譜儀

106: 偏振照明射束

107: 偏振狀態產生器

108: 收集射束

109: 偏振狀態分析器

110: 晶圓定位系統

111: 經量測光譜

112: 半導體晶圓

114: 結構

116: 運算系統

118: 載體媒體

120: 程式指令

130: 曲線圖

131: 曲線圖

132: 曲線圖

133: 曲線圖

134: 曲線圖

135: 曲線圖

140: 表

200: 方法

201: 方塊

202: 方塊

203: 方塊

204: 方塊

205: 方塊

206: 方塊

【發明申請專利範圍】

【請求項1】

一種方法，其包括：

接收與製造於一或多個半導體晶圓上之一或多個結構之複數個例項之各者之量測相關聯之真實量測信號；

判定與該一或多個結構之該複數個例項之該等量測之各者相關聯之一參數量測模型之一或多個浮動參數之估計值之一集合，其中該一或多個浮動參數之估計值之各集合最小化一殘餘誤差，各殘餘誤差特性化該等對應真實量測信號與藉由該參數量測模型在該一或多個浮動參數之估計值之該等集合之各者下產生之模擬量測信號之一對應集合之間之一差；

藉由在該一或多個浮動參數之指定值之一集合下評估該參數量測模型而判定模擬量測信號之一集合；

基於與該一或多個結構之該複數個例項之該等量測之各者相關聯之該等殘餘誤差估計與該一或多個浮動參數之該等指定值相關聯之一殘餘誤差；

藉由將與該等浮動參數之該等指定值相關聯之該殘餘誤差添加至模擬量測信號之該集合而校準模擬量測信號之該集合；及

將模擬量測信號之該經校準集合儲存於一記憶體中。

【請求項2】

如請求項1之方法，其中該一或多個半導體晶圓係線上生產晶圓。

【請求項3】

如請求項1之方法，其中製造於一或多個半導體晶圓上之一或多個結構之複數個例項之各者之該等量測係基於光學之光譜量測或基於影像之散

射量測。

【請求項4】

如請求項1之方法，其進一步包括：

跨與該一或多個結構之該複數個例項之該等量測相關聯之該參數量測模型之該一或多個浮動參數之估計值之該等集合判定該參數量測模型之該一或多個浮動參數之各者之值之一變動。

【請求項5】

如請求項4之方法，其進一步包括：

基於該等經判定變動產生該一或多個浮動參數之各者之值之一擴展集合，其中值之各擴展集合大於估計值之該對應集合。

【請求項6】

如請求項5之方法，其進一步包括：

藉由在該一或多個浮動參數之各者之值之該擴展集合之該等值之各者下評估該參數量測模型而產生模擬量測信號之一擴展集合。

【請求項7】

如請求項1之方法，其中該估計與該一或多個浮動參數之該等指定值相關聯之該殘餘誤差涉及：

選擇最緊密匹配對應於該一或多個浮動參數之該等指定值之模擬量測信號之該集合之真實量測信號之一或多個集合；及

基於對應於真實量測信號之該一或多個選定集合之該等殘餘誤差估計與該一或多個浮動參數之該等指定值相關聯之該殘餘誤差。

【請求項8】

如請求項7之方法，其中該選擇最緊密匹配模擬量測信號之該集合之

真實量測信號之該一或多個集合涉及真實量測信號之該等集合之一K最近鄰搜尋。

【請求項9】

如請求項1之方法，其中該估計與該一或多個浮動參數之該等指定值相關聯之該殘餘誤差涉及：

產生依據該等真實量測信號之值而變化之特性化該等對應真實量測信號與模擬量測信號之該對應集合之間之該差之該等殘餘誤差之一統計模型；及

在與該一或多個浮動參數之該等指定值相關聯之模擬量測信號之該集合下評估該統計模型以判定與該一或多個浮動參數之該等指定值相關聯之該殘餘誤差。

【請求項10】

一種度量衡系統，其包括：

一照明源，其經組態以產生引導至製造於一半導體晶圓上之一或多個結構之一定量之照明光；

一偵測器，其經組態以偵測回應於該一定量之照明光而來自該一或多個結構之一定量之光且產生指示該經偵測光之真實量測信號；及

一或多個電腦系統，其經組態以：

接收與製造於一或多個半導體晶圓上之該一或多個結構之複數個例項之各者之量測相關聯之真實量測信號；

判定與該一或多個結構之該複數個例項之該等量測之各者相關聯之一參數量測模型之一或多個浮動參數之估計值之一集合，其中該一或多個浮動參數之估計值之各集合最小化一殘餘誤差，各殘餘誤

差特性化該等對應真實量測信號與藉由該參數量測模型在該一或多個浮動參數之估計值之該等集合之各者下產生之模擬量測信號之一對應集合之間之一差；

藉由在該一或多個浮動參數之指定值之一集合下評估該參數量測模型而判定模擬量測信號之一集合；

基於與該一或多個結構之該複數個例項之該等量測之各者相關聯之該等殘餘誤差估計與該一或多個浮動參數之該等指定值相關聯之一殘餘誤差；且

藉由將與該等浮動參數之該等指定值相關聯之該殘餘誤差添加至模擬量測信號之該集合而校準模擬量測信號之該集合。

【請求項11】

如請求項10之度量衡系統，其中該一或多個半導體晶圓係線上生產晶圓。

【請求項12】

如請求項10之度量衡系統，其中製造於一或多個半導體晶圓上之一或多個結構之複數個例項之各者之該等量測係基於光學之光譜量測或基於影像之散射量測。

【請求項13】

如請求項10之度量衡系統，該一或多個運算系統進一步經組態以：

跨與該一或多個結構之該複數個例項之該等量測相關聯之該參數量測模型之該一或多個浮動參數之估計值之該等集合判定該參數量測模型之該一或多個浮動參數之各者之值之一變動。

【請求項14】

如請求項13之度量衡系統，該一或多個運算系統進一步經組態以：

基於該等經判定變動產生該一或多個浮動參數之各者之值之一擴展集合，其中值之各擴展集合大於估計值之該對應集合。

【請求項15】

如請求項14之度量衡系統，該一或多個運算系統進一步經組態以：

藉由在該一或多個浮動參數之各者之值之該擴展集合之該等值之各者下評估該參數量測模型而產生模擬量測信號之一擴展集合。

【請求項16】

如請求項10之度量衡系統，其中該估計與該一或多個浮動參數之該等指定值相關聯之該殘餘誤差涉及：

選擇最緊密匹配對應於該一或多個浮動參數之該等指定值之模擬量測信號之該集合之真實量測信號之一或多個集合；及

基於對應於真實量測信號之該一或多個選定集合之該等殘餘誤差估計與該一或多個浮動參數之該等指定值相關聯之該殘餘誤差。

【請求項17】

如請求項16之度量衡系統，其中該選擇最緊密匹配模擬量測信號之該集合之真實量測信號之該一或多個集合涉及真實量測信號之該等集合之一K最近鄰搜尋。

【請求項18】

如請求項10之度量衡系統，其中該估計與該一或多個浮動參數之該等指定值相關聯之該殘餘誤差涉及：

產生依據該等真實量測信號之值而變化之特性化該等對應真實量測信號與模擬量測信號之該對應集合之間之該差之該等殘餘誤差之一統計模

型；及

在與該一或多個浮動參數之該等指定值相關聯之模擬量測信號之該集合下評估該統計模型以判定與該一或多個浮動參數之該等指定值相關聯之該殘餘誤差。

【請求項19】

一種度量衡系統，其包括：

一照明源，其經組態以產生引導至製造於一半導體晶圓上之一或多個結構之一定量之照明光；

一偵測器，其經組態以偵測回應於該一定量之照明光而來自該一或多個結構之一定量之光且產生指示該經偵測光之真實量測信號；及

一非暫時性電腦可讀媒體，其儲存指令，該等指令在藉由一或多個處理器執行時引起該一或多個處理器：

接收與製造於一或多個半導體晶圓上之該一或多個結構之複數個例項之各者之量測相關聯之真實量測信號；

判定與該一或多個結構之該複數個例項之該等量測之各者相關聯之一參數量測模型之一或多個浮動參數之估計值之一集合，其中該一或多個浮動參數之估計值之各集合最小化一殘餘誤差，各殘餘誤差特性化該等對應真實量測信號與藉由該參數量測模型在該一或多個浮動參數之估計值之該等集合之各者下產生之模擬量測信號之一對應集合之間之一差；

藉由在該一或多個浮動參數之指定值之一集合下評估該參數量測模型而判定模擬量測信號之一集合；

基於與該一或多個結構之該複數個例項之該等量測之各者相關聯

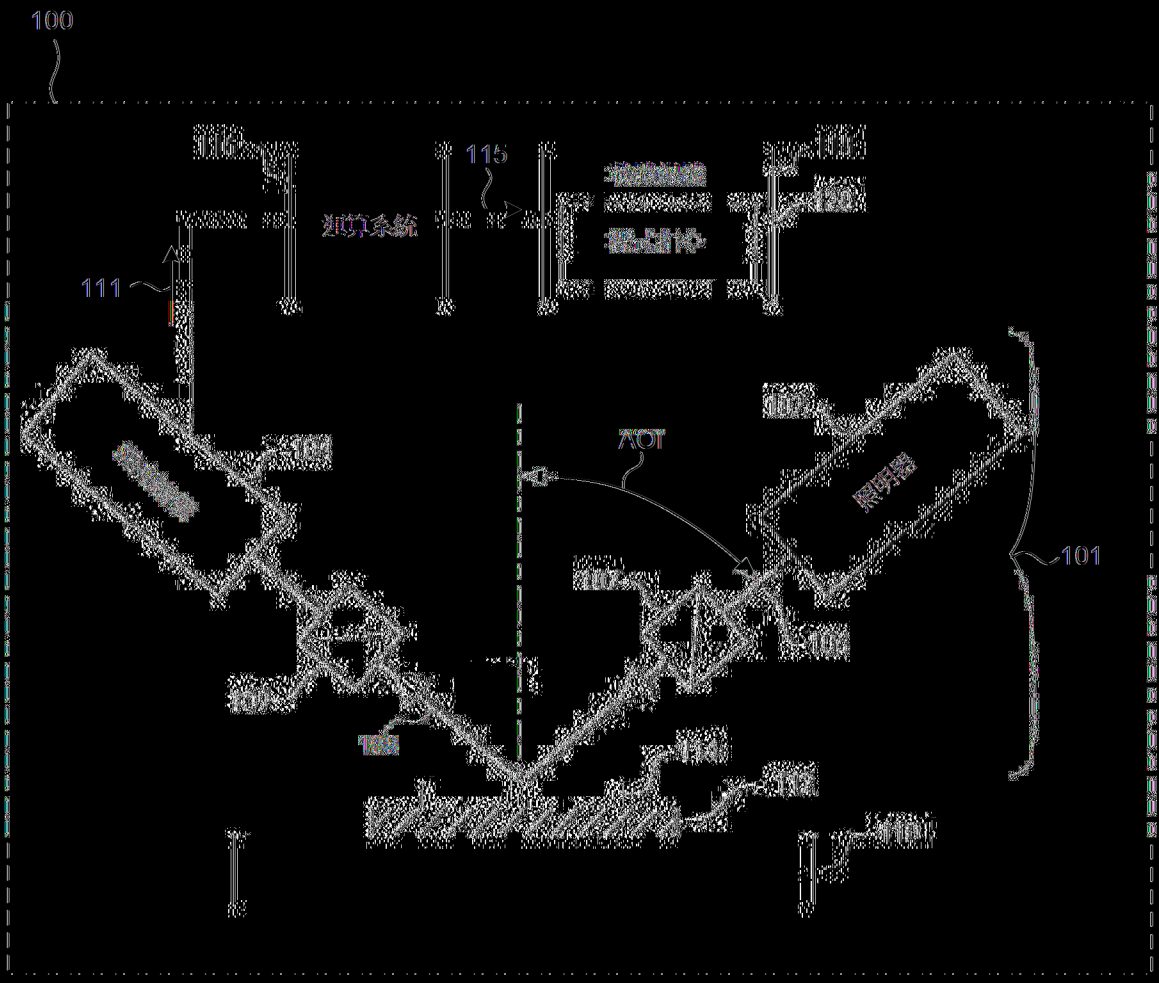
之該等殘餘誤差估計與該一或多個浮動參數之該等指定值相關聯之一殘餘誤差；且

藉由將與該等浮動參數之該等指定值相關聯之該殘餘誤差添加至模擬量測信號之該集合而校準模擬量測信號之該集合。

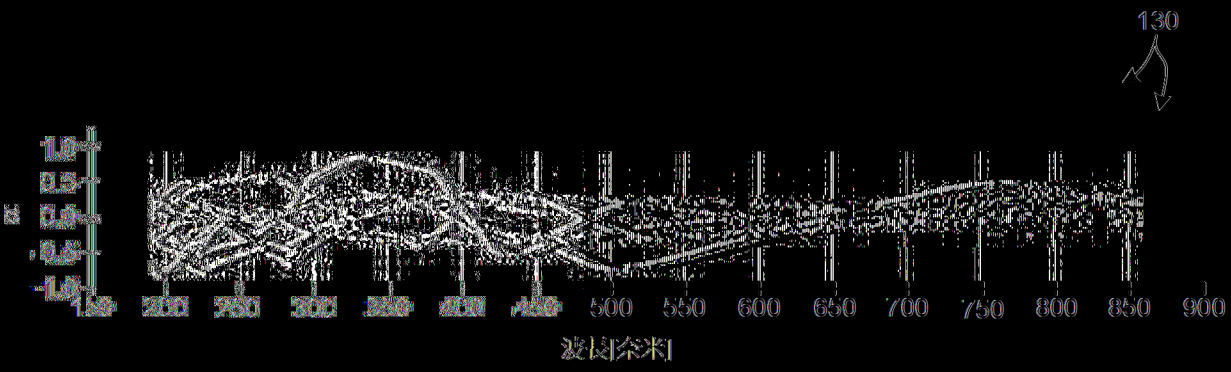
【請求項20】

如請求項19之度量衡系統，其中該一或多個半導體晶圓係線上生產晶圓，且其中製造於一或多個半導體晶圓上之一或多個結構之複數個例項之各者之該等量測係基於光學之光譜量測或基於影像之散射量測。

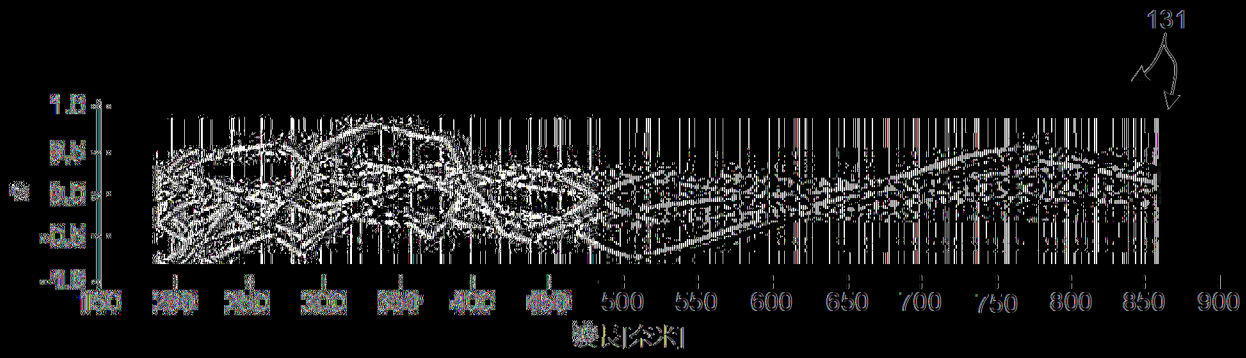
【發明圖式】



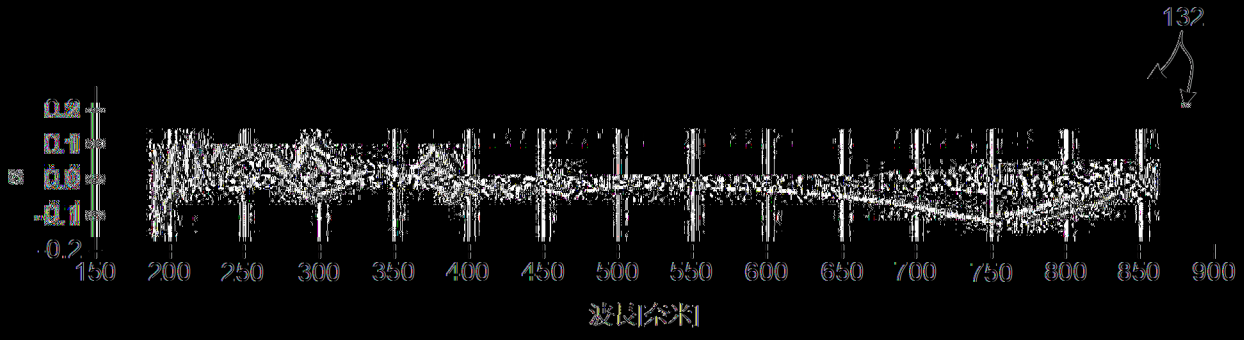
【圖1】


130
1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0
150
200
250
300
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800
850
900
波長[奈米]

圖(2)


131
1.0
0.5
0.0
-0.5
-1.0
150
200
250
300
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800
850
900
波長[奈米]

圖(3)


132
0.2
0.1
0.0
-0.1
-0.2
150
200
250
300
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800
850
900
波長[奈米]

圖(4)

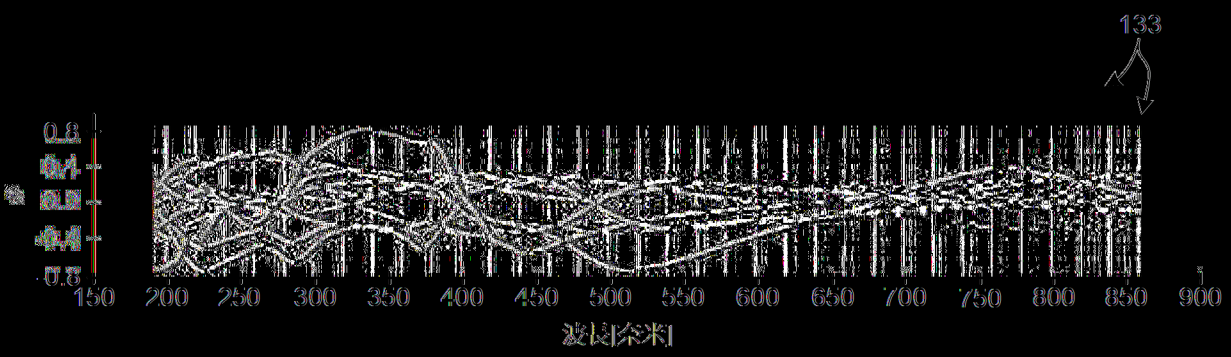

133
0.8
0.6
0.4
0.2
150 200 250 300 350 400 450 500 550 600 650 700 750 800 850 900
波長[奈米]

圖5

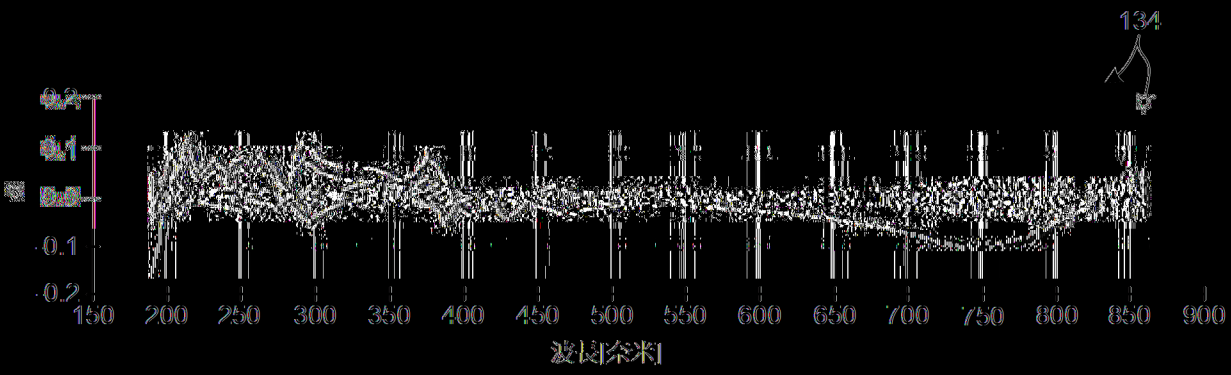

134
0.2
0.1
0.1
0.2
150 200 250 300 350 400 450 500 550 600 650 700 750 800 850 900
波長[奈米]

圖6

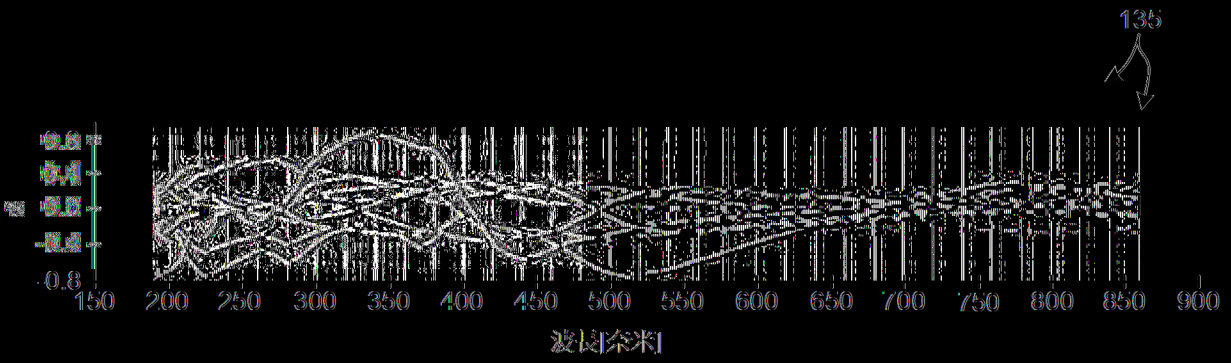

135
0.8
0.6
0.4
0.2
0.8
150 200 250 300 350 400 450 500 550 600 650 700 750 800 850 900
波長[奈米]

圖7

140

	參數之最大偏差	平均化CO_2
經量測光譜	10	45
在未校準之情況下之合成光譜	0.0008	30
在校準之情況下之合成光譜	2.3	47

|(圖8)|

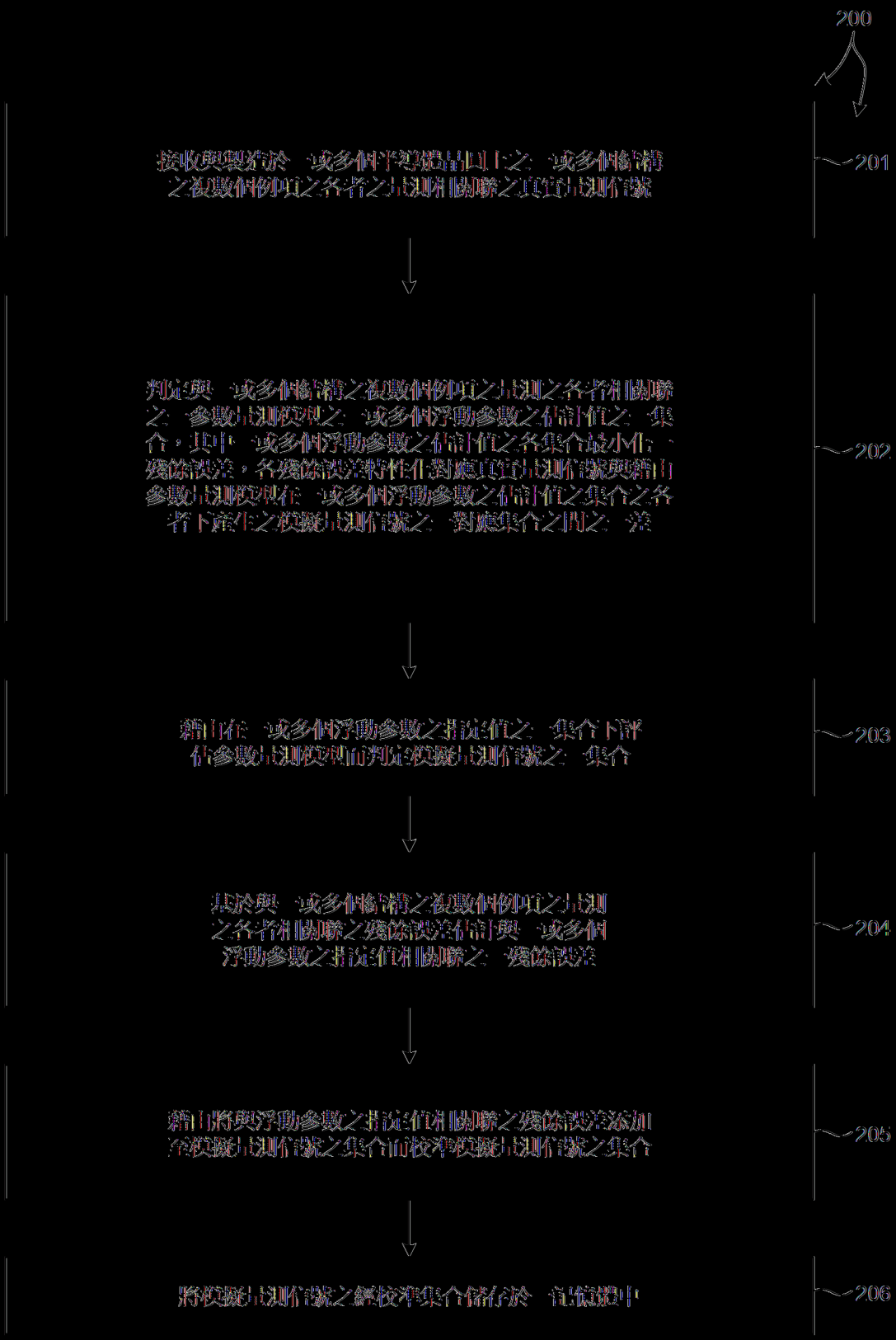

200
接收與製造於一或多個半導體晶圓上之一或多個結構之複數個例項之各者之量測相關聯之真實量測信號
201
判定與一或多個結構之複數個例項之量測之各者相關聯之一參數量測模型之一或多個浮動參數之估計值之一集合，其中一或多個浮動參數之估計值之各集合最小化一殘餘誤差，各殘餘誤差特性化對應真實量測信號與藉由參數量測模型在一或多個浮動參數之估計值之集合之各者下產生之模擬量測信號之一對應集合之間之一差
202
藉由在一或多個浮動參數之指定值之一集合下評估參數量測模型而判定模擬量測信號之一集合
203
基於與一或多個結構之複數個例項之量測之各者相關聯之殘餘誤差估計與一或多個浮動參數之指定值相關聯之一殘餘誤差
204
藉由將與浮動參數之指定值相關聯之殘餘誤差添加至模擬量測信號之集合而校準模擬量測信號之集合
205
將模擬量測信號之經校準集合儲存於一記憶體中
206

圖9