I862575

(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 I862575 B**

(45)公告日： 中華民國 113 (2024) 年 11 月 21 日

(21)申請案號：109113100 (22)申請日： 中華民國 109 (2020) 年 04 月 17 日

(51)Int. Cl.： ***G01B15/04 (2006.01)*** ***G01N23/20 (2018.01)***

(30)優先權：2019/04/19 美國 62/836,261

2020/04/13 美國 16/847,388

(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：里曼 克里斯多福 LIMAN, CHRISTOPHER (US)；吉里紐 安東尼歐 艾里昂 GELLINEAU, ANTONIO ARION (TT)；舒傑葛洛夫 安德烈 V SHCHEGROV, ANDREI V. (US)；劉 性哲 YOO, SUNGCHUL (US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW	201825867A	US	2003/0197872A1
US	2006/0133570A1	US	2013/0064442A1
US	2016/0011523A1	US	2017/0287751A1
US	2019/0049861A1		

審查人員：邱元玠

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：19 共 57 頁

(54)名稱

用於結合 X 射線度量資料集合以改良參數評估之方法及系統

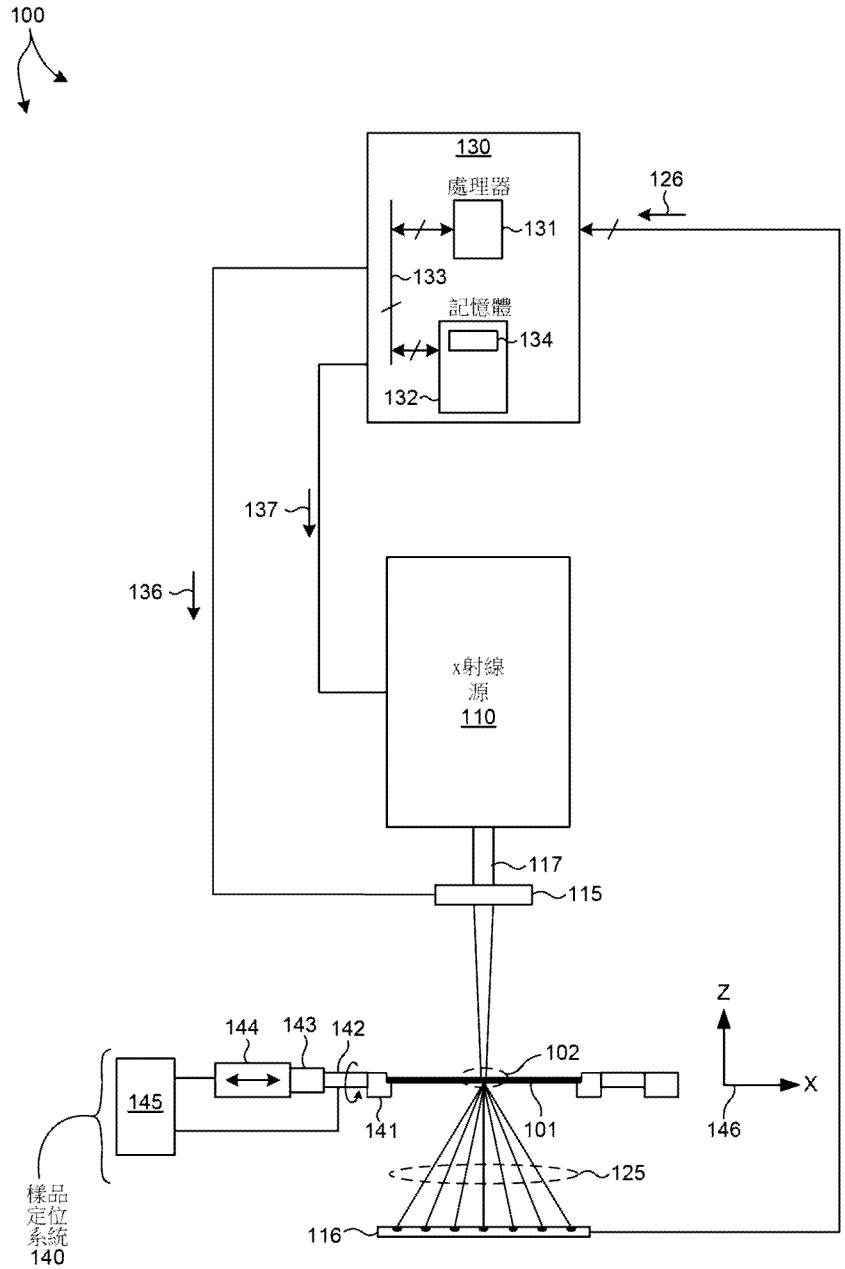
(57)摘要

本發明揭示用於基於在一關鍵程序步驟之前及之後之量測資料量測一複雜半導體結構之方法及系統。在一些實施例中，該量測係基於 x 射線散射測量量測資料。在一項態樣中，一量測係基於將經結合量測資料擬合至該經量測結構之一簡化幾何模型。在一些實施例中，該經結合量測資料由該關鍵程序步驟之前之一經量測繞射圖案自該關鍵程序步驟之後之一經量測繞射圖案之減法判定。在一些實施例中，該簡化幾何模型僅包含受該關鍵程序步驟影響之特徵。在另一態樣中，一量測係基於一經結合資料集合及一經訓練信號回應度量(SRM)模型。在另一態樣中，一量測係基於在該關鍵程序步驟之後之實際量測資料及在該關鍵程序步驟之前之經模擬量測資料。

Methods and systems for measuring a complex semiconductor structure based on measurement data before and after a critical process step are presented. In some embodiments, the measurement is based on x-ray scatterometry measurement data. In one aspect, a measurement is based on fitting combined measurement data to a simplified geometric model of the measured structure. In some embodiments, the combined measurement data is determined by subtraction of a measured diffraction pattern before the critical process step from a measured diffraction pattern after the critical process step. In some embodiments, the simplified geometric model includes only the features affected by the critical process step. In another aspect, a measurement is based on a combined data set and a trained signal response metrology (SRM) model. In another aspect, a measurement is based on actual measurement data after the critical process step and simulated measurement data before the critical process step.

TW I862575 B

指定代表圖：



【圖1】

符號簡單說明：

100:度量工具

101:樣品

102:量測區域

110:x 射線照明源

115:x 射線光學器件

116:偵測器

117:x 射線光束

125:x 射線輻射

126:輸出信號/x 射線散射測量資料/資料集合

130:運算系統

131:處理器

132:記憶體

133:匯流排

134:程式指令

140:樣品定位系統

公告本

I862575

【發明摘要】

【中文發明名稱】

用於結合X射線度量資料集合以改良參數評估之方法及系統

【英文發明名稱】

METHODS AND SYSTEMS FOR COMBINING X-RAY METROLOGY DATA SETS TO IMPROVE PARAMETER ESTIMATION

【中文】

本發明揭示用於基於在一關鍵程序步驟之前及之後之量測資料量測一複雜半導體結構之方法及系統。在一些實施例中，該量測係基於x射線散射測量量測資料。在一項態樣中，一量測係基於將經結合量測資料擬合至該經量測結構之一簡化幾何模型。在一些實施例中，該經結合量測資料由該關鍵程序步驟之前之一經量測繞射圖案自該關鍵程序步驟之後之一經量測繞射圖案之減法判定。在一些實施例中，該簡化幾何模型僅包含受該關鍵程序步驟影響之特徵。在另一態樣中，一量測係基於一經結合資料集合及一經訓練信號回應度量(SRM)模型。在另一態樣中，一量測係基於在該關鍵程序步驟之後之實際量測資料及在該關鍵程序步驟之前之經模擬量測資料。

【英文】

Methods and systems for measuring a complex semiconductor structure based on measurement data before and after a critical process step are presented. In some embodiments, the measurement is based on x-ray scatterometry measurement data. In one aspect, a measurement is based on fitting combined measurement data to a simplified geometric

model of the measured structure. In some embodiments, the combined measurement data is determined by subtraction of a measured diffraction pattern before the critical process step from a measured diffraction pattern after the critical process step. In some embodiments, the simplified geometric model includes only the features affected by the critical process step. In another aspect, a measurement is based on a combined data set and a trained signal response metrology (SRM) model. In another aspect, a measurement is based on actual measurement data after the critical process step and simulated measurement data before the critical process step.

【指定代表圖】

圖1

【代表圖之符號簡單說明】

100:度量工具

101:樣品

102:量測區域

110:x射線照明源

115:x射線光學器件

116:偵測器

117:x射線光束

125:x射線輻射

126:輸出信號/x射線散射測量資料/資料集合

130:運算系統

131:處理器

132:記憶體

133:匯流排

134:程式指令

140:樣品定位系統

【發明說明書】

【中文發明名稱】

用於結合X射線度量資料集合以改良參數評估之方法及系統

【英文發明名稱】

METHODS AND SYSTEMS FOR COMBINING X-RAY METROLOGY DATA SETS TO IMPROVE PARAMETER ESTIMATION

【技術領域】

【0001】 所述實施例係關於度量系統及方法且更特定言之，係關於用於特性化半導體結構之尺寸之參數之經改良量測之方法及系統。

【先前技術】

【0002】 諸如邏輯及記憶體裝置之半導體裝置通常係由應用於一樣品之一系列處理步驟製造。半導體裝置之各種特徵及多個結構層級係由此等處理步驟形成。例如，其中微影係涉及在一半導體晶圓上產生一圖案之一個半導體製造程序。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。多個半導體裝置可在一單一半導體晶圓上製造且接著分離成個別半導體裝置。

【0003】 在一半導體製造程序期間之各個步驟使用度量程序以偵測晶圓上之缺陷以促進較高良率。通常使用包含散射測量及反射量測實施方案以及相關聯之分析演算法之若干基於度量之技術以特性化臨界尺寸、膜厚度、組合物及奈米級結構之其他參數。

【0004】 傳統上，對由薄膜及/或重複週期性結構組成之目標執行散射測量臨界尺寸(SCR)量測。在裝置製造期間，此等膜及週期性結構通常表示實際裝置幾何形狀及材料結構或一中間設計。隨著裝置(例如，邏輯

及記憶體裝置)邁向更小奈米級尺寸，特性化變得更困難。併入複雜三維幾何形狀及具有多種物理性質之材料之裝置造成特性化困難。例如，現代記憶體結構通常係高高寬比三維結構，此使得光學輻射難以穿透至底層。利用紅外光至可見光之光學度量工具可穿透許多半透明材料層，但提供良好的穿透深度之較長波長不提供對小異常之足夠靈敏度。另外，特性化複雜結構(例如，FinFET)所需之增大數目個參數導致增大之參數相關性。因此，特性化目標之參數通常無法可靠地與可用量測解耦合。

【0005】 在一個實例中，已採用較長波長(例如，近紅外)以試圖克服利用多晶矽作為堆疊中之一個替代材料之3D FLASH裝置之穿透問題。然而，3D FLASH之鏡狀結構隨著照明更深地傳播至膜堆疊中而固有地引起減小之光強度。此引起深度下之靈敏度損耗及相關性問題。在此案例中，SCD僅能夠依高靈敏度及低相關性成功提取一精簡組之度量尺寸。

【0006】 在另一實例中，在現代半導體結構中愈來愈多地採用不透明高介電係數材料。光學輻射通常無法穿透由此等材料構成之層。因此，使用薄膜散射測量工具(諸如橢偏儀或反射計)之量測變得愈來愈具挑戰性。

【0007】 回應於此等挑戰，已開發更複雜的光學度量工具。例如，已開發具有多個照明角度、較短照明波長、較廣照明波長範圍及自反射信號之更完整資訊擷取(例如，除了較習知的反射率或橢偏量測信號之外，亦量測多個穆勒(Mueller)矩陣元素)之工具。然而，此等方法未可靠地克服與許多先進目標(例如，複雜3D結構、小於10 nm之結構、採用不透明材料之結構)之量測及量測應用(例如，線邊緣粗糙度及線寬度粗糙度量測)相關聯之根本挑戰。

【0008】 原子力顯微鏡(AFM)及掃描穿隧顯微鏡(STM)能夠達成原子解析度但其等僅可探測樣品之表面。另外，AFM及STM顯微鏡需要長掃描時間。掃描電子顯微鏡(SEM)達成中間解析度位準，但無法穿透結構至足夠深度。因此，未良好特性化高高寬比孔。另外，樣品所需之充電對成像效能具有一不利影響。x射線反射計亦遭受當量測高高寬比結構時限制其等之有效性之穿透問題。

【0009】 為了克服穿透深度問題，結合破壞性樣本製備技術(諸如聚焦離子束(FIB)加工、離子銑削、毯覆式或選擇性蝕刻等)採用傳統成像技術(諸如TEM、SEM等)。例如，透射電子顯微鏡(TEM)達成高解析度位準且能夠探測任意深度，但TEM需要樣品之破壞性分段。材料移除及量測之若干反覆通常提供貫穿一三維結構量測臨界度量參數所需之資訊。然而，此等技術需要樣本破壞及長程序時間。完成此等類型之量測之複雜性及時間歸因於蝕刻及度量步驟之漂移而引入大的不準確度。另外，此等技術需要引入配準誤差之若干反覆。

【0010】 x射線散射測量系統已展示出有希望解決具挑戰性的量測應用。散射級之量測提供用於判定一些所關注樣品性質之信號資訊。通常言之，在一關鍵程序步驟之後自一晶圓之量測收集一小角度x射線散射測量(SAXS)資料集合。資料集合包含具有以一或多個入射角之繞射圖案之影像。目標結構之整個單元胞之一幾何模型經產生且併入一量測模型中。一基於物理學之解算器產生量測模型之幾何及系統參數值之一給定值集合之經模擬繞射圖案。量測模型之數個參數在一迴歸分析中浮動以尋找最小化經量測繞射圖案與經模擬繞射圖案之間之殘差之參數值。導致最佳擬合之幾何參數值被視為與晶圓上之量測相關聯之經量測參數值。

【0011】 隨著晶圓前進通過半導體晶圓製造程序流程，在一晶圓上製造之結構變得日益複雜。因此，隨著施加至晶圓之程序之數目增加，在一晶圓上製造之週期性結構之整個單元胞之幾何模型變得日益複雜。

【0012】 通常言之，必須同時擬合許多參數以解析複雜幾何模型。在一些情況中，此使量測程序運算上昂貴或運算上難處理。一大且複雜單元胞需要許多繞射級之量測以考量繞射圖案中之全部信號資訊。再次，許多繞射級之處理運算上昂貴。最終，儘管進行最大努力，代表一複雜結構之一幾何模型可歸因於程序變動而遺漏細微特徵，或其可未能完整描述標稱結構。幾何模型中之缺陷可使擬合難處理或驅動擬合常式以評估非常不準確的參數值以補償模型不足。

【0013】 為了進一步改良裝置效能，半導體產業繼續關注於垂直整合而非橫向按比例調整。因此，複雜、完全三維結構之準確量測對於確保可行性及持續按比例調整改良至關重要。未來度量應用歸因於愈來愈小之解析度要求、多參數相關性、愈來愈複雜之幾何結構(包含高高寬比結構)及不透明材料之愈來愈多的使用而提出度量挑戰。因此，期望用於經改良x射線散射測量量測之方法及系統。

【發明內容】

【0014】 本發明揭示用於在一關鍵程序步驟之後量測一複雜半導體結構之方法及系統。一或多個所關注幾何參數之評估係基於在關鍵程序步驟之前及之後與複雜半導體結構相關聯之量測資料。在一關鍵程序步驟之前及之後兩者之量測資料之使用以減少之運算努力實現更快模型產生及模型擬合。在一些實例中，簡化量測模型實現所關注參數之比傳統複雜模型產生及擬合更準確之評估。

【0015】 在一項態樣中，在一關鍵程序步驟之後對一複雜半導體結構之量測係基於在關鍵程序步驟之前及之後兩者與複雜半導體結構相關聯之x射線散射測量量測資料。在一單元胞內之不同形狀與足以最小化相干效應之距離空間上分離之假定下，將經量測繞射圖案近似表示為各與一不同形狀相關聯之傅立葉(Fourier)分量之一線性結合。由關鍵程序步驟改變之一所關注幾何參數之一評估係基於將經結合量測資料擬合至經量測結構之一簡化幾何模型。在一些實施例中，經結合量測資料係基於關鍵程序步驟之前之繞射圖案自關鍵程序步驟之後之經量測繞射圖案之減法判定。在一些實施例中，經量測結構之簡化幾何模型僅包含受關鍵程序步驟影響之(若干)特徵。因此，相較於在關鍵程序步驟之後執行之量測中擷取之結構之一完整幾何模型，簡化幾何模型包含一更小數目個經浮動幾何參數。

【0016】 在另一態樣中，基於經結合x射線散射測量資料之度量涉及基於經結合資料集合及一經訓練信號回應度量(SRM)模型判定一樣本之尺寸。在此等實例中，在不使用一幾何模型之情況下，臨界尺寸與經結合資料集合直接相關。在一進一步態樣中，採用一經訓練信號回應度量模型以基於經結合量測信號評估具有未知值之所關注結構參數之值。

【0017】 在另一態樣中，在一關鍵程序步驟之後對一複雜半導體結構之一或多個所關注幾何參數之評估係基於在關鍵程序步驟之後與複雜半導體結構相關聯之實際x射線散射測量量測資料及在關鍵程序步驟之前與複雜半導體結構相關聯之經模擬x射線散射測量量測資料。

【0018】 前述係發明內容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，發明內容僅係闡釋性且不以任何方式限制。本文中所述之裝置及/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】

【0019】 圖1係繪示根據本文中呈現之例示性方法之用於量測一樣品之特性之一度量工具之一實施例之一簡化圖式。

【0020】 圖2係繪示用於基於在一關鍵程序步驟之前及之後兩者之x射線散射測量量測資料，評估特性化一複雜半導體結構之一或多個幾何參數之值之一模型建立及分析引擎之一實施例之一圖式。

【0021】 圖3係繪示一SRM模型訓練引擎之一圖式。

【0022】 圖4係繪示一SRM模型引擎之一圖式。

【0023】 圖5係繪示用於基於在一關鍵程序步驟之前及之後兩者之x射線散射測量量測資料來評估特性化一複雜半導體結構之一或多個幾何參數之值之一模型建立及分析引擎之另一實施例之一圖式。

【0024】 圖6係繪示在一項實施例中在一關鍵程序步驟之前之一半導體結構之一橫截面視圖之一簡化圖式。

【0025】 圖7係繪示在一關鍵程序步驟之後之圖6中描繪之多層結構之一橫截面視圖之一簡化圖式。

【0026】 圖8係繪示圖7中描繪之襯層結構之一橫截面視圖之一圖式。

【0027】 圖9係繪示在另一實施例中在一關鍵程序步驟之前之一半導體結構之一橫截面視圖之一圖式。

【0028】 圖10係繪示在一鎢凹入程序步驟之後之圖9中描繪之多層結構之一橫截面視圖之一圖式。

【0029】 圖11係繪示已藉由鎢凹入程序自一多層結構移除之鎢凹入

結構之一橫截面視圖之一圖式。

【0030】 圖12係繪示在另一實施例中在一關鍵程序步驟之前之一半導體結構之一俯視圖之一圖式。

【0031】 圖13係繪示在一個實例中來自由一x射線散射計量測的一結構之一繞射圖案的一影像。

【0032】 圖14係繪示在一狹縫移除程序步驟之後之圖12中描繪之結構之一俯視圖之一圖式。

【0033】 圖15係繪示來自由用於量測圖12中描繪之結構之x射線散射計量測的一結構之一繞射圖案的一影像。

【0034】 圖16係繪示包含無一孔圖案之一狹縫結構之一結構之一俯視圖之一圖式。

【0035】 圖17係繪示圖13中描繪之經量測繞射圖案自圖15中描繪之經量測繞射圖案之一逐像素減法之一影像。

【0036】 圖18係繪示來自由x射線散射計量測的一結構之一繞射圖案之一模擬的一影像。

【0037】 圖19繪示適合於藉由一度量系統(諸如本發明之圖1中繪示之度量系統100)實施之一方法。

【實施方式】

相關申請案之交叉參考

【0038】 本專利申請案根據35 U.S.C. §119規定主張2019年4月19日申請之標題為「Combining X-Ray Metrology Data Sets to Extract Critical Parameters More Efficiently」之美國臨時專利申請案第62/836,261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。

【0039】 現在將詳細參考本發明之背景實例及一些實施例，在隨附圖式中繪示其等之實例。

【0040】 本文中呈現用於在一關鍵程序步驟之後評估一複雜半導體結構之一或多個所關注幾何參數之值之方法及系統。特定言之，一或多個所關注幾何參數之評估係基於在關鍵程序步驟之前及之後與複雜半導體結構相關聯之量測資料。在一關鍵程序步驟之前及之後兩者之量測資料之使用以減少之運算努力實現更快模型產生及模型擬合。在一些實例中，簡化量測模型實現所關注參數之比傳統複雜模型產生及擬合更準確之評估。

【0041】 圖1繪示根據本文中呈現之例示性方法之用於量測一樣品之特性之一度量工具100之一實施例。如圖1中展示，系統100可用於在安置於一樣品定位系統140上之一樣品101之一量測區域102上方執行x射線散射測量量測。在一些實施例中，量測區域102具有八十微米或更小之一光點大小。在一些實施例中，量測區域102具有五十微米或更小之一光點大小。在一些實施例中，量測區域102具有四十微米或更小之一光點大小。

【0042】 在所描繪實施例中，度量工具100包含產生適用於x射線散射測量量測的x射線輻射之一x射線照明源110。在一些實施例中，x射線照明源110產生在0.01奈米與1奈米之間之波長。x射線照明源110產生入射於樣品101之量測區域102上之一x射線光束117。

【0043】 一般言之，可設想能夠在足以實現高處理能力、線內度量之通量位準下產生高亮度x射線之任何適合高亮度x射線照明源以供應用於如本文中描述之x射線散射測量量測之x射線照明。在一些實施例中，一x射線源包含使x射線源能夠依不同可選擇波長遞送x射線輻射之一可調諧單

色器。

【0044】 在一些實施例中，採用發射具有大於15 keV之光子能量之輻射之一或多個x射線源以確保x射線源供應容許穿過整個裝置以及晶圓基板的充分透射之波長之光。藉由非限制性實例，一粒子加速器源、一液體陽極源、一旋轉陽極源、一固定固體陽極源、一微聚焦源、一微聚焦旋轉陽極源及一逆康普頓(Compton)源之任何者可用作x射線源110。在一個實例中，可預期可購自(美國)加利福尼亞州，Palo Alto之Lyncean Technologies, Inc.之一逆康普頓源。逆康普頓源具有能夠在光子能量之一範圍內產生x射線，藉此使x射線源能夠依不同可選擇波長遞送x射線輻射之一額外優點。例示性x射線源包含經組態以轟擊固態或液態目標以模擬x射線輻射之電子束源。在一些實施例中，x射線照明源110係一基於液態金屬之x射線照明系統。產生包含一或多個元素之一液態金屬噴流。藉由非限制性實例，液態金屬噴流包含鋁、鎵、銦、錫、鉈及鉍之任何者。一電子束源(例如，電子槍)產生由電子光學器件引導至液態金屬噴流之一電子流。適合電子光學器件包含用於聚焦電子束且將光束引導至液態金屬噴流處之電磁體、永久磁體或電磁體及永久磁體之一結合。液態金屬噴流與電子流之重合產生入射於樣品101之量測區域102上之一x射線光束117。以此方式，液態金屬噴流產生對應於其成分元素之x射線。在一項實施例中，液態金屬噴流包含鎵及銦合金。

【0045】 在2011年4月19日頒予KLA-Tencor Corp.之美國專利第7,929,667號中描述用於產生高亮度、液態金屬x射線照明之方法及系統，該專利之全文以引用的方式併入本文中。

【0046】 在一項實施例中，入射x射線光束117係在24.2 keV之銦kα

線處。使用用於x射線散射測量量測之多層x射線光學器件將x射線光束向下準直至小於1毫弧度發散。

【0047】 在一些實施例中，本文中描述之x射線散射量測在不使用定位於x射線源與經量測樣品之間之一螢幕之情況下達成。在此等實施例中，在一系列入射角、多個波長或兩者之一結合內之光束之經量測強度提供足以解析經量測結構之一所要材料性質(例如，複折射率、電子密度或吸收率)之一分佈圖(例如，影像)之資訊。然而，在一些其他實例中，一針孔或另一孔隙定位於一另外不透明螢幕(其定位於x射線源與經量測樣品之間)上以改良x射線光束之準直。針對孔隙之若干位置量測繞射圖案之強度。在一些其他實施例中，使用具有一偽隨機孔隙圖案之一螢幕，且針對多個螢幕量測繞射圖案。亦可預期此等方法以提供用於解析經量測結構之所要材料性質之三維分佈之額外資訊。

【0048】 在一些實施例中，入射x射線光束之輪廓由兩個或兩個以上孔隙、狹縫或其等之一結合控制。在一進一步實施例中，孔隙、狹縫或兩者經組態以與樣品之定向協調旋轉以針對各入射角、方位角或兩者最佳化入射光束之輪廓。

【0049】 如圖1中描繪，x射線光學器件115將入射x射線光束117塑形且引導至樣品101。在一些實例中，x射線光學器件115包含一x射線單色器以使入射於樣品101上之x射線光束單色化。在一個實例中，採用一晶體單色器(諸如一Loxley-Tanner-Bowen單色器)以使x射線輻射之光束單色化。在一些實例中，x射線光學器件115使用多層x射線光學器件將x射線光束117準直或聚焦至樣品101之量測區域102上至小於1毫弧度發散。在一些實施例中，x射線光學器件115包含一或多個x射線準直鏡、x射線

孔隙、x射線光束光闌、折射x射線光學器件、繞射光學器件(諸如波帶片)、鏡面x射線光學器件(諸如掠入射橢球面鏡)、多毛細管光學器件(諸如中空毛細管x射線波導)、多層光學器件或系統或其等之任何結合。在美國專利公開案第2015/0110249號中描述進一步細節，該案之內容之全文以引用的方式併入本文中。

【0050】 一般言之，針對各量測應用最佳化照明光學器件系統之焦平面。以此方式，系統100經組態以取決於量測應用而將焦平面定位於樣品內之各種深度處。

【0051】 x射線偵測器116收集自樣品101散射之x射線輻射125且產生指示對入射x射線輻射靈敏之樣品101之性質之一輸出信號126。在一些實施例中，由x射線偵測器116收集經散射x射線125，同時樣品定位系統140定位且定向樣品101以產生角解析之經散射x射線。

【0052】 度量系統100包含具有高動態範圍(例如，大於10^5)之一或多個光子計數偵測器及吸收直接光束(即，零級光束)而無損害且具有最小寄生反向散射之厚、高度吸收晶體基板。適用於全光束x射線散射測量之例示性偵測器材料包含碲化鎘(CdTe)、鍺(Ge)及砷化鎵(GaAs)晶體及其他材料。在一些實施例中，選擇偵測器材料以提供在對應於源能量之一窄能帶中之高轉換效率。

【0053】 在一些實施例中，一單光子計數偵測器偵測經偵測光子之位置及數目。在一些實施例中，採用雙臨限值偵測器以改良SNR。

【0054】 x射線偵測器116解析一或多個x射線光子能量且針對各x射線能量分量產生指示樣品之性質之信號。在一些實施例中，x射線偵測器116包含一CCD陣列、一微通道板、一光電二極體陣列、一微帶比例計數

器、一充氣比例計數器、一閃爍器或一螢光材料之任何者。

【0055】 以此方式，除了像素位置及計數之數目之外，亦藉由能量鑑別偵測器內之x射線光子相互作用。在一些實施例中，藉由比較x射線光子相互作用之能量與一預定上臨限值及一預定下臨限值而鑑別x射線光子相互作用。在一項實施例中，經由輸出信號126將此資訊傳達至運算系統130用於進一步處理及儲存。

【0056】 一高高寬比、經垂直製造結構將一準直x射線光束繞射至諸繞射級。各繞射級在一特定可預測方向上行進。繞射級之角間距與樣品之晶格常數除以波長成反比。繞射級由放置於距晶圓某個距離處之一偵測器陣列偵測。偵測器之各像素輸出指示命中像素之光子之數目之一信號。

【0057】 繞射級之強度具有I(m,n, θ,φ,λ)形式，其中{m,n}係繞射級之整數指數，{θ,φ}係入射光束之仰角及方位角(即，入射主射線相對於固定至晶圓之一座標系統之極座標)，且λ係入射x射線之波長。

【0058】 若干雜訊源在照明光離開照明且傳播朝向樣品時擾動該照明光。例示性干擾包含電子束電流波動、溫度引發之光學器件漂移等。將受擾動入射通量表示為$F_0(1+n_1)$。

【0059】 目標以取決於入射光束之方位角及仰角之一方式散射入射輻射。可將光散射成級(m,n)之效率定義為$S_{mn}(\theta,\phi)$。隨著繞射光自樣品傳播至偵測器，光束穿過類似地影響全部級(具有某一變動$(1+n_2)$及寄生雜訊(n_3))之其他散射介質。以此方式，在一時間t量測的各級之總強度I_{mn}可由方程式(1)表達。

$$I_{mn} = S_{mn}(\theta,\phi)(1+n_2)(1+n_1)F_0 t + n_3 \qquad (1)$$

【0060】 可以許多方式提取各級之強度。在一些實施例中，繞射級

在偵測器處空間分離。在此等實施例中，由偵測器陣列個別地偵測繞射級，且結合(即，添加)與相同繞射級相關聯之像素的輸出。以此方式，藉由累積與各特定繞射級相關聯之像素的光子計數而鑑別經偵測繞射級。此案例更有可能在量測相對小間距特徵時或在使用具有一相對小發散之一光束量測時發生。

【0061】 在一些其他實施例中，繞射級在偵測器處空間上重疊，且無法簡單地結合像素輸出以判定與一特定繞射級相關聯之強度。在此等實施例中，採用一量測模型以解卷積繞射級以鑑別各經偵測繞射級之經量測強度。此案例更有可能在量測相對大間距特徵時或在使用具有一相對大發散之一光束量測時發生。

【0062】 如圖1中描繪，度量系統100包含經採用以擷取由偵測器116產生之信號126且至少部分基於經擷取信號判定所關注結構之性質之一運算系統130。

【0063】 在一項態樣中，在一關鍵程序步驟之後對一複雜半導體結構之一或多個所關注幾何參數之評估係基於在關鍵程序步驟之前及之後兩者與複雜半導體結構相關聯之x射線散射測量量測資料。在x射線散射之最簡單實體模型中，繞射圖案強度與單元胞內之形狀之平方外觀尺寸或等效地單元胞之平方傅立葉變換成線性比例。在單元胞內之不同形狀與足以最小化相干效應之距離空間上分離之假定下，可將經量測繞射圖案近似表示為各與一不同形狀相關聯之傅立葉分量之一線性結合。因此，在一關鍵程序步驟之後之經量測繞射圖案係在關鍵程序步驟之前之一繞射圖案及源自由關鍵程序步驟改變之(若干)形狀之一繞射圖案之總和。以此方式，可基於在關鍵程序步驟之前之繞射圖案自關鍵程序步驟之後之經量測繞射圖案

之減法進行由關鍵程序步驟改變之一所關注幾何參數之一評估。

【0064】 圖2描繪用於基於在一關鍵程序步驟之前及之後兩者之與複雜半導體結構相關聯之x射線散射測量量測資料來評估特性化一複雜半導體結構之一或多個幾何參數之值之一模型建立及分析引擎150之一實施例之一圖解。在一些實施例中，藉由一x射線散射測量系統(諸如圖1中描繪之度量系統100)自一晶圓收集x射線散射測量資料126及127。在對晶圓101執行一關鍵程序步驟之後收集x射線散射測量資料126，且在對晶圓101執行關鍵程序步驟之前收集x射線散射測量資料127。

【0065】 圖6描繪在一項實施例中在一關鍵程序步驟之前之一半導體結構之一橫截面視圖。圖6描繪包含穿過經重複氧化物層221A至221C及氮化物層222A至222B之一通道孔223之一多層結構220。

【0066】 圖7描繪在一關鍵程序步驟之後之圖6中描繪之多層結構之一橫截面視圖。在圖7中描繪之實施例中，關鍵程序步驟係將襯層226及襯層227沈積至通道孔223之側壁以產生多層結構225。

【0067】 圖8描繪圖7中描繪之襯層226及227之一橫截面視圖。在圖6至圖8中描繪之實施例中，襯層226之厚度CD1及襯層227之厚度CD2係所關注臨界尺寸。

【0068】 自收集自圖7中描繪之多層結構225之x射線散射測量資料之CD1及CD2之量測由多層結構220之存在複雜化。理想地，吾人將單獨自收集自襯層結構226及227之x射線散射測量資料量測CD1及CD2。然而，襯層結構226及227從未單獨存在於一實際晶圓上，此係因為襯層沈積程序在穿過多個層221及222之孔程序之後發生。如本文中描述，自收集自多層結構225之x射線散射測量資料減去收集自多層結構220之x射線

散射測量資料。以此方式，自與多層結構225相關聯之經量測繞射減去多個層221及222以及孔223對經量測繞射之影響。所得繞射圖案緊密表示襯層226及227之散射回應而不影響多個層221及222以及孔223。所得繞射圖案之分析以減少之運算努力產生CD1及CD2之一更準確評估。

【0069】 圖9描繪在另一實施例中在一關鍵程序步驟之前之一半導體結構之一橫截面視圖。圖9描繪包含垂直圖案化(交替氧化物層201A至201C及鎢層209A至209B)、通道孔207及使用鎢填充之一字線切割結構208之一多層結構210A。

【0070】 圖10描繪在一鎢凹入程序步驟之後之圖9中描繪之多層結構之一橫截面視圖。在圖10中描繪之實施例中，蝕刻鎢使得各鎢板片相對於氧化物板片凹入一小距離。

【0071】 圖11描繪已藉由鎢凹入程序自多層結構210移除之鎢凹入結構211之一橫截面視圖。在圖9至圖11中描繪之實施例中，凹入距離CD係所關注臨界尺寸。

【0072】 自收集自圖10中描繪之多層結構210B之x射線散射測量資料之CD之量測由多層結構210A之存在複雜化。理想地，吾人將單獨自收集自鎢凹入結構211之x射線散射測量資料量測CD。然而，鎢凹入結構211從未單獨存在於一實際晶圓上，此係因為鎢凹入程序在垂直圖案化程序、孔程序及字線切割程序之後發生。如本文中描述，自收集自多層結構210B之x射線散射測量資料減去收集自多層結構210A之x射線散射測量資料。以此方式，自與多層結構210B相關聯之經量測繞射減去多個層201及209、孔207及字線切割208對經量測繞射之影響。所得繞射圖案緊密表示鎢凹入結構211之散射回應而不影響多個層201及209、孔207及字線切割

208。所得繞射圖案之分析以減少之運算努力產生CD之一更準確評估。

【0073】 圖12描繪在另一實施例中在一關鍵程序步驟之前之一半導體結構之一俯視圖。圖12描繪包含一孔圖案203之一結構205。

【0074】 圖13描繪繪示來自由一x射線散射計(例如，度量系統100)量測的結構205之一繞射圖案206的一影像。

【0075】 圖14描繪在一狹縫移除程序步驟之後之圖12中描繪之結構之一俯視圖。在圖14中描繪之實施例中，蝕刻結構205使得形成一狹縫結構204，從而導致結構215A。

【0076】 圖15描繪繪示來自由用於量測圖12中描繪之結構205之x射線散射計(例如，度量系統100)量測的結構215A之一繞射圖案的一影像212。

【0077】 圖16描繪包含狹縫結構204之無孔圖案203之一結構215B之一俯視圖。在圖14及圖16中描繪之實施例中，狹縫結構204之寬度W係所關注臨界尺寸。

【0078】 自收集自圖14中描繪之多層結構215A之x射線散射測量資料之W之量測由多孔圖案203之存在複雜化。理想地，吾人將單獨自收集自結構215B之x射線散射測量資料量測W。然而，狹縫結構204從未單獨存在於一實際晶圓上，此係因為狹縫移除程序在孔程序之後發生。如本文中描述，自收集自多層結構215A之x射線散射測量資料減去收集自多層結構205之x射線散射測量資料。以此方式，自與多層結構215A相關聯之經量測繞射減去孔圖案203對經量測繞射之影響。所得繞射圖案緊密表示狹縫結構204之散射回應而不影響孔圖案203。所得繞射圖案之分析以減少之運算努力產生W之一更準確評估。

【0079】 圖17描繪繪示圖13中描繪之經量測繞射圖案206自圖15中描繪之經量測繞射圖案212之逐像素減法之一影像216。所得繞射圖案代表x射線散射計(例如，度量系統100)對理想結構215B之量測回應。

【0080】 圖18描繪繪示來自由用於量測結構205及215A之x射線散射計(例如，度量系統100)量測的結構215B之一繞射圖案之一模擬的一影像217。如圖17及圖18中繪示，結構215B對藉由x射線散射計之量測的經模擬回應由圖13中描繪之經量測繞射圖案206自圖15中描繪之經量測繞射圖案212之逐像素減法非常緊密地近似表示。

【0081】 在一些實施例中，x射線散射測量資料126、x射線散射測量資料127或兩者係相對於與各資料集合相關聯之度量系統100之系統參數值正規化。一般言之，在一關鍵程序步驟之前及之後收集之資料集合可能具有一或多個系統參數(例如，光束強度、光束中心、光束線定向等)之不同值。為了可靠地結合資料集合，校正一個或兩個資料集合以匹配與兩個資料集合相關聯之系統參數值。

【0082】 在一些實例中，為了正規化目的依賴於自度量系統自身可用之標稱系統參數值。然而，在許多量測案例中，由度量系統報告之標稱系統參數值不充分準確。在許多此等實例中，在使系統參數值浮動時基於量測資料之一基於模型之擬合判定與各資料集合相關聯之系統參數值。

【0083】 如圖2中描繪，正規化模組155接收在關鍵程序步驟之前收集之x射線散射測量資料127、在關鍵程序步驟之後收集之x射線散射測量資料126及與在關鍵程序步驟之前收集x射線散射測量資料127相關聯之一量測模型128。在使一或多個系統參數值浮動時執行x射線散射測量資料127之一基於模型之擬合及由量測模型128預測之量測資料。將經判定系

統參數值視為與x射線散射測量資料127相關聯之實際系統參數值。如先前描述，與由一關鍵程序步驟製造之一複雜半導體結構相關聯之一量測模型通常難以準確地模型化。在使一或多個系統參數值浮動時執行x射線散射測量資料126之一子集之一基於模型之擬合及由量測模型128預測之量測資料，而非嘗試在關鍵程序步驟之後準確地模型化複雜半導體結構之經量測回應。使用由複雜半導體結構之存在最小地影響之x射線散射測量資料126之一子集執行基於模型之擬合。在一個實例中，x射線散射測量資料126係來自由度量系統100量測的結構215A之一經量測繞射圖案。經量測繞射圖案由圖15之影像212繪示。此外，在圖18中描繪來自如由度量系統100量測的結構215B之經模擬繞射圖案。在此實例中，識別圖18中描繪之具有一非零值(例如，具有高於零之一強度值之像素)或相對小值(例如，具有大於一預定臨限值之一強度值之像素)之影像217之像素。接著，圖15中描繪之影像212之對應像素被指派一零值。在使一或多個系統參數值浮動時執行所得影像(即，x射線散射測量資料126)及由量測模型128預測之量測資料之一擬合以識別與資料集合126相關聯之系統參數值。

【0084】 校正資料集合126、127或兩者以匹配與兩個資料集合相關聯之系統參數值。在一個實例中，校正資料集合126以匹配與資料集合127相關聯之系統參數值。在另一實例中，校正資料集合127以匹配與資料集合126相關聯之系統參數值。在又一實例中，校正資料集合126及127兩者以匹配系統參數值之一預定集合。

【0085】 如圖2中描繪，將自資料集合126導出之正規化資料集合156及自資料集合127導出之正規化資料集合157傳達至資料差分模組158。資料差分模組結合正規化資料集合156及157以產生經傳達至擬合分

析模組160之經結合資料集合159。在一個實例中，資料差分模組判定資料集合156及157之間之一逐像素差作為經結合資料集合159。

【0086】 雖然正規化與一關鍵程序步驟之前及之後之一所關注結構之量測相關聯之x射線散射測量資料係較佳的，但一般言之，其並不需要。在此意義上，正規化區塊155係選用的。

【0087】 在一些實施例中，在一關鍵程序步驟之前及之後兩者自一x射線散射測量系統(例如，度量系統100)收集實際x射線散射測量資料。然而，在一些其他實施例中，基於在關鍵程序步驟之後自一x射線散射計系統(例如，度量系統100)收集之實際散射測量資料合成地產生在一關鍵程序步驟之前之x射線散射測量資料。例如，在一些實施例中，基於在關鍵程序步驟之後自x射線散射測量系統(例如，度量系統100)收集之x射線散射測量資料126合成地產生x射線散射測量資料127。在此等實施例中，在一關鍵程序步驟之前採用一圖案辨識演算法(諸如一圖塊匹配演算法)以產生一經模擬x射線散射測量資料集合。評估實際x射線散射測量資料(例如，x射線散射測量資料126)以識別與所關注結構(即，由關鍵程序改變之結構)相關聯之一或多個區域(例如，影像像素之群組)。一或多個區域內之經量測值由藉由產生與在一或多個所關注區域外部之經量測圖案連續之一繞射圖案之一圖塊匹配演算法識別之值替換。在一個實例中，圖15繪示來自由x射線散射計(例如，度量系統100)量測的結構215A之一經量測繞射圖案之一影像212。如圖14中描繪，結構215A包含孔結構203及所關注結構(狹縫結構204)兩者。圖18描繪繪示僅包含由x射線散射計(例如，度量系統100)量測的狹縫結構204之一繞射圖案之一模擬之一影像217。所關注區域包含具有可量測信號值之影像217之像素(例如，具有顯著大於x

射線散射測量系統之雜訊底限之值之像素)。來自影像217之經識別像素在圖15中描繪之影像212中由一圖塊匹配演算法替換。替換值產生與所關注區域外部之圖案連續之一繞射圖案。此外，所得繞射圖案代表僅具有孔結構且不具有狹縫結構之一結構之經量測回應。自資料集合126減去所得資料集合以藉由資料差分模組158產生經傳達至擬合分析模組160之經結合資料集合159。在此等實施例中，不需要正規化，此係因為基於自一x射線散射計系統收集之實際散射測量資料合成地產生在一關鍵程序步驟之前之x射線散射測量資料。在Barnes等人之標題為「PatchMatch: A Randomized Correspondence Algorithm for Structural Image Editing」之文章中描述一適合圖塊匹配演算法之額外描述，且該文章可在https://gfx.cs.princeton.edu/pubs/Barnes_2009_PAR/patchmatch.pdf處線上獲得。

【0088】 在一進一步態樣中，模型建立及分析引擎150包含簡化結構模型建立模組151。簡化結構模型建立模組151產生包含在關鍵程序步驟之後量測的結構之幾何特徵之一子集之一簡化幾何模型152。在一些實施例中，僅受關鍵程序步驟影響之一或多個特徵包含於簡化幾何模型152中。因此，相較於在關鍵程序步驟之後執行之量測中擷取之結構之一完整幾何模型，簡化幾何模型152包含一更小數目個經浮動幾何參數。

【0089】 在一個實例中，圖8描繪僅擷取襯層226及227之一簡化幾何模型。在另一實例中，圖11描繪僅擷取鎢凹入結構211之一簡化幾何模型。在又一實例中，圖16描繪僅擷取狹縫結構204之一簡化幾何模型。

【0090】 將簡化幾何模型152傳達至x射線散射測量回應函數模型建立模組153。x射線散射測量回應函數模型建立模組153基於簡化幾何模型

152產生一簡化量測回應模型154。簡化量測回應模型154模擬簡化幾何結構對藉由一x射線散射測量系統(例如，度量系統100)之量測的回應。將簡化量測回應模型154傳達至擬合分析模組160。

【0091】 藉由僅模型化受關鍵程序步驟影響之一或多個特徵，幾何模型及x射線量測回應模型更易於產生。此外，所得簡化量測回應模型比擷取在關鍵程序步驟之後藉由量測擷取之經量測結構之全部幾何特徵之一遠更複雜量測模型遠更易於擬合。

【0092】 在一些實例中，基於經結合x射線散射測量資料之度量涉及藉由使用經結合資料(例如，經結合資料集合159)之一簡化量測模型(例如，簡化量測回應模型154)之反解判定樣本之尺寸。量測模型包含數個(大約十個)可調整參數且代表所關注結構之幾何形狀及光學性質以及量測系統之光學性質。反解之方法包含(但不限於)基於模型之迴歸、斷層掃描、機器學習或其等之任何結合。以此方式，藉由解算最小化經結合資料與模型化結果之間之誤差之一參數化量測模型之值而評估目標輪廓參數。

【0093】 擬合分析模組160使用簡化量測回應模型154對經結合資料集合159執行一迴歸以評估一或多個臨界尺寸之值161。將經評估值161儲存於記憶體135中。使所關注幾何參數浮動。在一些實施例中，亦使額外參數(諸如各獨立級之強度)浮動以考量未受關鍵程序步驟影響之(若干)特徵之不完美移除。在一些實施例中，使用簡化量測回應模型154對經結合資料集合159執行一最小平方迴歸以評估一或多個臨界尺寸之值。

$$\sum_{pixels}\left(ChangedStruct_{Sim} - (SubsequentStruct_{Meas} - PriorStruct_{Meas})\right)^2 \quad (1)$$

【0094】 方程式(1)繪示在一個非限制性實例中之一最小平方迴歸之一例示性目標函數。如方程式(1)中繪示，項$ChangedStruct_{Sim}$係簡化量測

回應模型之輸出。此等係基於僅聚焦於由關鍵程序步驟改變之經量測結構之特徵之簡化幾何模型之經模擬繞射信號。項$SubsequentStruct_{Meas}$表示在關鍵程序步驟之後藉由x射線散射計系統量測之繞射信號，且項$PriorStruct_{Meas}$表示在關鍵程序步驟之前藉由x射線散射計系統量測之繞射信號。差項($SubsequentStruct_{Meas}$ - $PriorStruct_{Meas}$)係經結合資料集合。

【0095】 在另一態樣中，基於經結合x射線散射測量資料之度量涉及基於經結合資料集合及一經訓練信號回應度量(SRM)模型判定一樣本之尺寸。在此等實例中，在不使用一幾何模型之情況下，使臨界尺寸與經結合資料集合直接相關。

【0096】 圖3描繪繪示一SRM模型訓練引擎170之一圖式。如圖3中描繪，訓練資料包含在一關鍵程序步驟之後收集之x射線散射測量資料172及在關鍵程序步驟之前收集之x射線散射測量資料171。資料集合171及172對應於具有一或多個所關注參數179之已知值之結構。資料集合171及172由如前文描述之正規化模組155正規化且將經正規化資料集合173及174傳達至資料差分模組158。經結合資料集合175由資料差分模組158自正規化資料集合173及174產生，如前文描述。將經結合資料集合175及一或多個所關注參數179之對應已知值傳達至SRM訓練模組176。SRM訓練模組基於經結合資料集合175及一或多個所關注參數179之對應已知值產生一經訓練SRM模型177。將經訓練SRM模型177儲存於記憶體135中。

【0097】 一或多個所關注參數179之已知值由一受信任量測系統(諸如一掃描電子顯微鏡(SEM)、穿隧電子顯微鏡(TEM)、原子力顯微鏡(AFM))或能夠準確地量測參數值之一x射線量測系統(諸如一小角度x射線散射計(SAXS)或一x射線螢光(XRF)系統)量測。然而，通常言之，例如，

歸因於低處理能力、個別位點之量測之高量測不準確性等，參考度量系統通常缺乏用於作為一線內度量系統操作之能力。

【0098】 在一較佳實施例中，SRM量測模型經實施為一神經網路模型。在其他實例中，SRM量測模型可實施為一線性模型、一多項式模型、一回應表面模型、一決策樹模型、一隨機森林模型、一支援向量機器模型或其他類型之模型。

【0099】 在一些實例中，同步地產生訓練資料集合171及172。例如，可採用一程序模擬器，諸如可購自加利福尼亞州(美國)，Milpitas之KLA-Tencor Corporation之正光阻光學微影(PROLITH)模擬軟體。一般言之，可預期在本專利文獻之範疇內之任何程序模型化技術或工具(例如，可購自美國，北卡羅來納州(North Carolina)，Cary之Coventor, Inc.之Coventor模擬軟體)。在此等實施例中，經結合資料集合175係經結合合成繞射圖案且一或多個所關注參數179之已知值僅係用於同步繞射圖案之臨界尺寸。

【0100】 在一進一步態樣中，採用一經訓練信號回應度量模型以基於經結合量測信號評估具有未知值之所關注結構參數之值。

【0101】 圖4描繪繪示一SRM模型引擎180之一圖式。如圖4中描繪，在一關鍵程序步驟之後收集之x射線散射測量資料126及在關鍵程序步驟之前收集之x射線散射測量資料127由正規化模組155正規化，如前文描述。將正規化資料集合156及157傳達至資料差分模組158。經結合資料集合159由資料差分模組158自正規化資料集合156及157產生，如前文描述。將經結合資料集合159傳達至經訓練SRM信號回應模型177。SRM信號回應模型177產生一或多個所關注參數之經評估值178。將經評估值178

儲存於記憶體135中。

【0102】 在另一態樣中，在一關鍵程序步驟之後對一複雜半導體結構之一或多個所關注幾何參數之評估係基於在關鍵程序步驟之後與複雜半導體結構相關聯之實際x射線散射測量量測資料及在關鍵程序步驟之前與複雜半導體結構相關聯之經模擬x射線散射測量量測資料。

【0103】 圖5描繪用於基於在一關鍵程序步驟之前及之後兩者之與複雜半導體結構相關聯之x射線散射測量量測資料來評估特性化一複雜半導體結構之一或多個幾何參數之值之一模型建立及分析引擎200之一實施例之一圖解。

【0104】 如圖5中描繪，一先前結構模型建立模型190在關鍵程序步驟之前產生經量測結構之一幾何模型191。將幾何模型191傳達至基於幾何模型191產生一先前量測回應模型193之先前x射線散射測量回應函數建立模組192。先前量測回應模型193模擬經量測結構對在關鍵程序步驟之前藉由一x射線散射測量系統(例如，度量系統100)之量測之回應。將先前量測回應模型193傳達至擬合分析模組198。

【0105】 類似地，後續結構模型建立模型194在關鍵程序步驟之後產生經量測結構之一幾何模型195。將幾何模型195傳達至基於幾何模型195產生一後續量測回應模型197之後續x射線散射測量回應函數建立模組196。後續量測回應模型197模擬經量測結構對在關鍵程序步驟之後藉由一x射線散射測量系統(例如，度量系統100)之量測之回應。將後續量測回應模型197傳達至擬合分析模組198。

【0106】 藉由一x射線散射測量系統(諸如圖1中描繪之度量系統100)自一晶圓收集x射線散射測量資料126。在對晶圓101執行一關鍵程序

步驟之後收集x射線散射測量資料126且將x射線散射測量資料126傳達至擬合分析模組198。

【0107】 擬合分析模組198使用後續量測回應模型197及先前量測回應模型193對經量測資料集合126執行一迴歸以評估一或多個臨界尺寸之值199。將經評估值199儲存於記憶體135中。使所關注幾何參數浮動。在一些實施例中，亦使額外參數(諸如各獨立級之強度)浮動以考量未受關鍵程序步驟影響之(若干)特徵之不完美移除。在一些實施例中，藉由擬合分析模組198執行之一最小平方迴歸之一目標函數包含如由方程式(2)繪示之一誤差項及一正規化項兩者。

$$\sum_{pixels}\left(\left(SubsequentStruct_{Sim} - SubsequentStruct_{Meas}\right)\right)^2 + \left(\lambda \cdot PriorStruct_{Sim}\right)^2 \quad (2)$$

【0108】 如方程式(2)中繪示，項$SubsequentStruct_{Sim}$係後續量測回應模型197之輸出，且項$SubsequentStuct_{Meas}$係經量測資料126。此等項之間之差係驅動最佳化之誤差項。項$PriorStruct_{Sim}$係先前量測回應模型193之輸出。係數λ係有效地設定正規化項之加權之一純量值正規化因數。在此最佳化中，正規化項懲罰先前結構之強度貢獻。因此，強調歸因於由關鍵程序步驟改變之結構之部分(即，所關注幾何參數)之強度貢獻。

【0109】 一般言之，可對一或多個晶圓執行在一關鍵程序步驟之前與一經量測結構之例項相關聯之量測。類似地，可對一或多個晶圓執行在一關鍵程序步驟之後與一經量測結構之例項相關聯之量測。在一些實施例中，較佳在一個晶圓(例如，一「標準」晶圓)上之一關鍵程序步驟之前量測一結構之例項且對許多不同測試晶圓執行在關鍵程序步驟之後與經量測結構之例項相關聯之量測。

【0110】 在本文中描述，在一關鍵程序步驟之後對一複雜半導體結

構之一或多個所關注幾何參數之評估係基於在關鍵程序步驟之前及之後兩者與複雜半導體結構相關聯之x射線散射測量量測資料。一般言之，在一關鍵程序步驟之後對一複雜半導體結構之一或多個所關注幾何參數之評估可係基於在任何數目個程序步驟(關鍵及非關鍵兩者)之前及該數個程序步驟之後與複雜半導體結構相關聯之x射線散射測量資料。

【0111】 例如，除在凹槽蝕刻之後收集之量測資料之外，鎢凹入之量測亦可係基於在字線切割之前，在字線切割之後，或在使用鎢替換氮化物之後收集之量測資料。

【0112】 在一進一步實施例中，系統100包含用於執行如本文中描述之x射線散射測量量測之一或多個運算系統130。一或多個運算系統130通信地耦合至偵測器116。在一項態樣中，一或多個運算系統130經組態以接收與樣品101之結構之量測相關聯之量測資料126。在另一態樣中，一或多個運算系統130經組態以接收在任何先前程序步驟處與經量測結構之例項相關聯之量測資料。

【0113】 應認知，可由一單電腦系統130或替代地一多電腦系統130實行貫穿本發明描述之各個步驟。再者，系統100之不同子系統(諸如偵測器116或x射線源110)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，不應將前述描述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130可經組態以執行本文中描述之任何方法實施例之(若干)任何其他步驟。

【0114】 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偵測器116。例如，一或多個運算系統130可耦合至與偵測器116相關聯之運算系統。在另一實例中，偵測器116可由耦合至電腦系統130

之一單一電腦系統直接控制。

【0115】 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，偵測器116及類似者)接收及/或擷取資料或資訊。以此方式，傳輸媒體可用作電腦系統130與系統100之其他系統或子系統之間之一資料鏈路。

【0116】 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/或擷取資料或資訊(例如，量測結果、模型化輸入、模型化結果等)。以此方式，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、程序工具、一參考量測源或其他外部系統)之間之一資料鏈路。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)接收量測資料。例如，可將使用偵測器116獲得之量測結果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，可自板上記憶體或自一外部記憶體系統匯入光譜結果。再者，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，一量測模型或由電腦系統130判定之一結構參數值可經傳達且儲存於一外部記憶體(例如，記憶體135)中。在此方面，可將量測結果匯出至另一系統。

【0117】 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。

【0118】 可經由諸如一導線、電纜或無線傳輸鏈路之一傳輸媒體傳輸實施諸如本文中描述之方法之方法之程式指令134。例如，如圖1中繪

示，經由匯流排133將儲存於記憶體132中之程式指令134傳輸至處理器131。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。

【0119】 圖19繪示適合於藉由一度量系統(諸如本發明之圖1中繪示之度量系統100)實施之一方法300。在一項態樣中，應認知，可經由由運算系統130之一或多個處理器或任何其他通用運算系統執行之一預程式化演算法實行方法300之資料處理區塊。本文中應認知，度量系統100之特定結構態樣不表示限制且應僅解譯為闡釋性。

【0120】 在方塊301中，在一半導體製造程序流程之一關鍵程序步驟之後將一第一量之照明輻射提供至一複雜半導體結構之一或多個後續例項。

【0121】 在方塊302中，偵測回應於第一量之照明輻射而來自複雜半導體結構之一或多個後續例項之一第一量之輻射。

【0122】 在方塊303中，回應於第一量之經偵測輻射而產生一第一量之量測資料。

【0123】 在方塊304中，基於第一量之量測資料及指示複雜半導體結構之一或多個先前例項在製造程序流程之關鍵程序步驟之前藉由x射線散射計之一量測的一第二量之量測資料，評估複雜半導體結構之一或多個後續例項之一所關注結構參數之一值。

【0124】 一般言之，可預期在本專利文獻之範疇內之任何散射測量量測技術，或兩個或兩個以上散射測量量測技術之結合。例示性量測技術包含(但不限於)光譜橢偏量測，包含穆勒矩陣橢偏量測、光譜反射量測、

光譜散射測量、散射測量疊對、光束輪廓反射量測、角度解析及偏光解析兩者之光束輪廓橢偏量測、單或多離散波長橢偏量測、透射小角度x射線散射計(TSAXS)、小角度x射線散射(SAXS)、掠入射小角度x射線散射(GISAXS)、廣角x射線散射(WAXS)、x射線反射率(XRR)、x射線繞射(XRD)、掠入射x射線繞射(GIXRD)、高解析度x射線繞射(HRXRD)、x射線光電子光譜法(XPS)、x射線螢光(XRF)、掠入射x射線螢光(GIXRF)、低能電子引發之x射線輻射散射測量(LEXES)、x射線斷層掃描及x射線橢偏量測。一般言之，可預期適用於半導體結構之特性化之任何度量技術，包含基於影像之度量技術。額外感測器選項包含電感測器，諸如加偏壓於裝置且使用一光學感測器(或相反)或輔助光學技術(諸如XRD、XRF、XPS、LEXES、SAXS及泵探測技術)偵測所得偏壓之非接觸式電容/電壓或電流/電壓感測器。在一項實施例中，一二維光束輪廓反射計(光瞳成像器)可用於收集呈一小光點大小之角度解析及/或多光譜資料兩者。一UV Linnik干涉計亦可用作一穆勒矩陣光譜光瞳成像器。

【0125】 在一些實例中，本文中描述之模型建立、訓練及量測方法經實施為可購自美國加利福尼亞州，Milpitas之KLA-Tencor Corporation之一SpectraShape®光學臨界尺寸度量系統之一元件。以此方式，模型經產生且準備好緊接在DOE晶圓光譜由系統收集之後使用。

【0126】 在一些其他實例中，本文中描述之模型建立及訓練方法(例如)藉由實施可購自美國加利福尼亞州之Milpitas之KLA-Tencor Corporation之AcuShape®軟體之一運算系統離線實施。所得經訓練模型可作為可藉由執行量測的一度量系統存取之一AcuShape®程式庫之一元件併入。

【0127】 一般言之，用於執行本文中呈現之半導體度量之方法及系統可直接應用至實際裝置結構或至定位於晶粒中或刻劃道內之專屬度量目標(例如，代理伺服器結構)。

【0128】 在又一態樣中，本文中描述之量測技術可用於將主動回饋提供至一程序工具(例如，微影工具、蝕刻工具、沈積工具等)。例如，可將使用本文中描述之方法判定之結構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。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將主動回饋分別提供至蝕刻工具或沈積工具。

【0129】 一般言之，本文中描述之系統及方法可實施為一專屬度量工具之部分，或替代地實施為一程序工具(例如，微影工具、蝕刻工具等)之部分。

【0130】 如本文中描述，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)、任何兩個或兩個以上結構之間之一臨界尺寸(例如，兩個結構之間之距離)及兩個或兩個以上結構之間之一位移(例如，疊對光柵結構之間之疊對位移等)。結構可包含三維結構、圖案化結構、疊對結構等。

【0131】 如本文中描述，術語「臨界尺寸應用」或「臨界尺寸量測應用」包含任何臨界尺寸量測。

【0132】 如本文中描述，術語「度量系統」包含至少部分用以在任何態樣中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、焦點/劑量度量及組合物度量之量測應用。然而，此等技術術語不限制如本文中描述之術語「度量系統」之範疇。另外，一度量系統可經組態以量

測圖案化晶圓及/或未經圖案化晶圓。度量系統可組態為一LED檢測工具、邊緣檢測工具、背側檢測工具、巨集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)及受益於本文中描述之量測技術之任何其他度量或檢測工具。

【0133】 本文中針對可用於處理一樣品之一半導體處理系統(例如，一檢測系統或一微影系統)描述各項實施例。術語「樣品」在本文中用以指一晶圓、一倍縮光罩或可藉由此項技術中已知之構件處理(例如，印刷或檢測缺陷)之任何其他樣本。

【0134】 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廠中找到及/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。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。

【0135】 一「倍縮光罩」可為處於一倍縮光罩製程之任何階段之一倍縮光罩，或可為可或可未經釋放以於一半導體製造廠中使用之一完成倍縮光罩。一倍縮光罩或一「遮罩」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域之一實質上透射基板。基板可包含(例如)一玻璃材料，諸如非晶SiO_2。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覆蓋有光阻劑之晶圓上方，使得可將倍縮光罩上之圖案轉印至光阻劑。

【0136】 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意欲涵蓋其上製造此項技術中已知之任何類型的裝置之一晶圓。

【0137】 在一或多項例示性實施例中，所描述之功能可實施於硬體、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兩者，包含促進一電腦程式自一位置至另一位置之傳送之任何媒體。一儲存媒體可為可藉由一通用電腦或專用電腦存取之任何可用媒體。例如(且非限制)，此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電腦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，任何連接可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)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。上述組合亦應包含於電腦可讀媒體之範疇內。

【0138】 儘管上文為指導目的而描述某些特定實施例，但本專利文獻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

脫離如申請專利範圍中闡述之本發明之範疇之情況下，可實踐所描述之實施例之各種特徵之各種修改、調適及組合。

【符號說明】

【0139】

100:度量工具

101:晶圓/樣品

102:量測區域

110:x射線照明源

115:x射線光學器件

116:偵測器

117:x射線光束

125:x射線輻射

126:輸出信號/x射線散射測量資料/資料集合

127:x射線散射測量資料/資料集合

128:量測模型

130:運算系統

131:處理器

132:記憶體

133:匯流排

134:程式指令

135:記憶體

140:樣品定位系統

150:模型建立及分析引擎

151:簡化結構模型建立模組

152:簡化幾何模型

153:x射線散射測量回應函數模型建立模組

154:簡化量測回應模型

155:正規化模組/正規化區塊

156:正規化資料集合

157:正規化資料集合

158:資料差分模組

159:經結合資料集合

160:擬合分析模組

161:經評估值

170:SRM模型訓練引擎

171:x射線散射測量資料

172:x射線散射測量資料

173:正規化資料集合

174:正規化資料集合

175:經結合資料集合

176:SRM訓練模組

177:經訓練SRM模型

178:經評估值

179:所關注參數

180:SRM模型引擎

190:先前結構模型建立模型

191:幾何模型

192:先前x射線散射測量回應函數建立模組

193:先前量測回應模型

194:後續結構模型建立模型

195:幾何模型

196:後續x射線散射測量回應函數建立模組

197:後續量測回應模型

198:擬合分析模組

199:經評估值

200:模型建立及分析引擎

201A:氧化物層

201B:氧化物層

201C:氧化物層

203:孔圖案

204:狹縫結構

205:結構

206:繞射圖案

207:通道孔

208:字線切割結構

209A:鎢層

209B:鎢層

210A:多層結構

210B:多層結構

211:鎢凹入結構

212:影像

215A:結構

215B:結構

216:影像

217:影像

220:多層結構

221A:氧化物層

221B:氧化物層

221C:氧化物層

222A:氮化物層

222B:氮化物層

223:通道孔

225:多層結構

226:襯層

227:襯層

300:方法

301:方塊

302:方塊

303:方塊

304:方塊

CD:凹入距離

CD1:厚度

CD2:厚度

W:寬度

【發明申請專利範圍】

【請求項1】

一種度量系統，其包括：

一x射線散射計，其包括：

一照明源，其在一半導體製造程序流程之一關鍵程序步驟之後將一第一量之照明輻射提供至一複雜半導體結構之一或多個後續例項(subsequent instances)；及

一偵測器，其偵測回應於該第一量之照明輻射而來自該複雜半導體結構之該一或多個後續例項之一第一量之輻射且回應於該第一量之經偵測輻射而產生一第一量之量測資料；及

一運算系統，其經組態以基於該第一量之量測資料及指示該複雜半導體結構之一或多個先前例項在該製造程序流程之該關鍵程序步驟之前藉由該x射線散射計(x-ray scatterometer)之一量測的一第二量之量測資料，評估該複雜半導體結構之該一或多個後續例項的一所關注結構參數之一值。

【請求項2】

如請求項1之度量系統，該運算系統進一步經組態以：

結合該第一量之量測資料與該第二量之量測資料以產生一定量之經結合量測資料，其中該所關注結構參數之該值之該評估係基於該一定量之經結合量測資料。

【請求項3】

如請求項1之度量系統，該運算系統進一步經組態以：

產生包含受該關鍵程序步驟影響之一或多個幾何特徵且不包含不受

該關鍵程序步驟影響之一或多個幾何特徵之一幾何參數化量測回應模型，其中該所關注結構參數之該評估涉及最小化一目標函數，該目標函數包含一經結合量測資料集合與源自該幾何參數化量測模型之一經模擬資料集合之間之一差。

【請求項4】

如請求項2之度量系統，該照明源運算系統進一步經組態以：

在該半導體製造程序流程之該關鍵程序步驟之後將一第二量之照明輻射提供至具有該所關注結構參數之已知值之該複雜半導體結構之一或多個後續例項，

該偵測器進一步經組態以：

偵測回應於該第二量之照明輻射而來自該複雜半導體結構之該一或多個後續例項之一第二量之輻射且回應於該第二量之經偵測輻射而產生一實驗設計(DOE，Design Of Experiments)量測資料集合，且

該運算系統進一步經組態以：

結合該DOE量測資料集合與一第二量之DOE量測資料以產生一定量之經結合DOE量測資料，該第二量之DOE量測資料指示具有該所關注結構參數之已知值之該複雜半導體結構之一或多個先前例項在該製造程序流程之該關鍵程序步驟之前藉由該x射線散射計之一量測，及

基於該一定量之經結合DOE量測資料及該所關注結構參數之該等已知值訓練一信號回應度量模型。

【請求項5】

如請求項4之度量系統，其中該一定量之經結合量測資料經提供為至該經訓練信號回應度量模型之輸入，且其中對應於經提供為輸入之該一定

量之經結合量測資料之該經訓練信號回應度量模型之一輸出係該所關注結構參數之該值。

【請求項6】

如請求項2之度量系統，該運算系統進一步經組態以：

分別基於與該第一量之量測資料及該第二量之量測資料之量測相關聯的一或多個系統參數之值來正規化該第一量之量測資料及該第二量之量測資料。

【請求項7】

如請求項6之度量系統，其中用於產生該一定量之經結合量測資料的該第一量之量測資料與該第二量之量測資料之該結合涉及在一逐像素基礎上判定該第一量之量測資料與該第二量之量測資料之間之一差。

【請求項8】

如請求項1之度量系統，其中藉由該複雜半導體結構之該一或多個先前例項在該製造程序流程之該關鍵程序步驟之前憑藉該x射線散射計之一量測產生該第二量之量測資料。

【請求項9】

如請求項1之度量系統，其中藉由自該第一量之量測資料刪除一所關注區域且使用由一圖塊匹配演算法(patch matching algorithm)產生之信號替換該經刪除所關注區域而產生該第二量之量測資料。

【請求項10】

如請求項1之度量系統，其中該複雜半導體結構之該一或多個後續例項經安置於一或多個晶圓上。

【請求項11】

如請求項10之度量系統，其中該複雜半導體結構之該一或多個先前例項經安置於不同於該複雜半導體結構之該一或多個後續例項之一或多個晶圓上。

【請求項12】

如請求項10之度量系統，其中該複雜半導體結構之該一或多個先前例項經安置於該複雜半導體結構之該一或多個後續例項所安置之該一或多個晶圓上。

【請求項13】

如請求項1之度量系統，其中該照明源提供在相對於該複雜半導體結構之複數個不同定向上之該第一量之照明輻射。

【請求項14】

如請求項1之度量系統，其中該關鍵程序步驟係一微影程序步驟、一沈積程序步驟及一蝕刻程序步驟之任何者。

【請求項15】

如請求項1之度量系統，其中該所關注結構參數係在一沈積程序步驟之後的一膜厚度及在一蝕刻程序步驟之後的一材料凹入深度之任何者。

【請求項16】

如請求項1之度量系統，其中該所關注結構參數之該值之該評估涉及最小化包含一差項及一正規化項之一目標函數，該差項包含該第一量之量測資料與模擬該複雜半導體結構之該一或多個後續例項在該關鍵程序步驟之後藉由該x射線散射計之該量測的一第一量之經模擬量測資料之間的一差，且該正規化項包含模擬該複雜半導體結構之該一或多個先前例項在該關鍵程序步驟之前藉由該x射線散射計之該量測的一第二量之經模擬量測

資料。

【請求項17】

一種用於參數評估之方法，其包括：

在一半導體製造程序流程之一關鍵程序步驟之後將一第一量之照明輻射提供至一複雜半導體結構之一或多個後續例項；

偵測回應於該第一量之照明輻射而來自該複雜半導體結構之該一或多個後續例項之一第一量之輻射；

回應於該第一量之經偵測輻射而產生一第一量之量測資料；及

基於該第一量之量測資料及指示該複雜半導體結構之一或多個先前例項在該製造程序流程之該關鍵程序步驟之前藉由該x射線散射計之一量測的一第二量之量測資料，評估該複雜半導體結構之該一或多個後續例項的一所關注結構參數之一值。

【請求項18】

如請求項17之方法，其進一步包括：

結合該第一量之量測資料與該第二量之量測資料以產生一定量之經結合量測資料，其中該所關注結構參數之該值之該評估係基於該一定量之經結合量測資料，其中用於產生該一定量之經結合量測資料的該第一量之量測資料與該第二量之量測資料之該結合涉及在一逐像素基礎上判定該第一量之量測資料與該第二量之量測資料之間之一差。

【請求項19】

如請求項17之方法，其進一步包括：

分別基於與該第一量之量測資料及該第二量之量測資料之量測相關聯的一或多個系統參數之值來正規化該第一量之量測資料及該第二量之量

測資料。

【請求項20】

一種度量系統，其包括：

一x射線散射計，其包括：

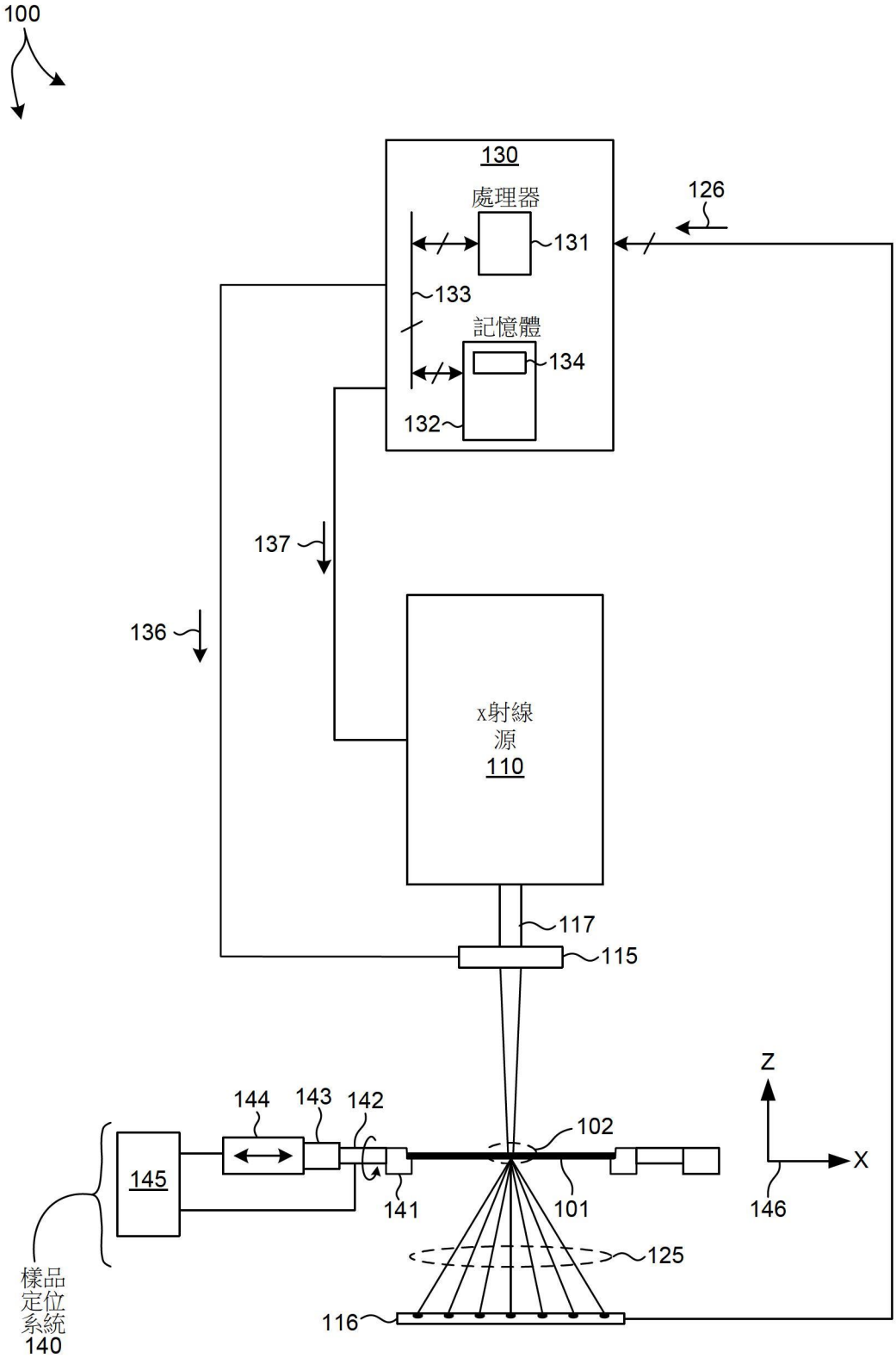
一照明源，其在一半導體製造程序流程之一關鍵程序步驟之後將一第一量之照明輻射提供至一複雜半導體結構之一或多個後續例項；及

一偵測器，其偵測回應於該第一量之照明輻射而來自該複雜半導體結構之該一或多個後續例項之一第一量之輻射且回應於該第一量之經偵測輻射而產生一第一量之量測資料；及

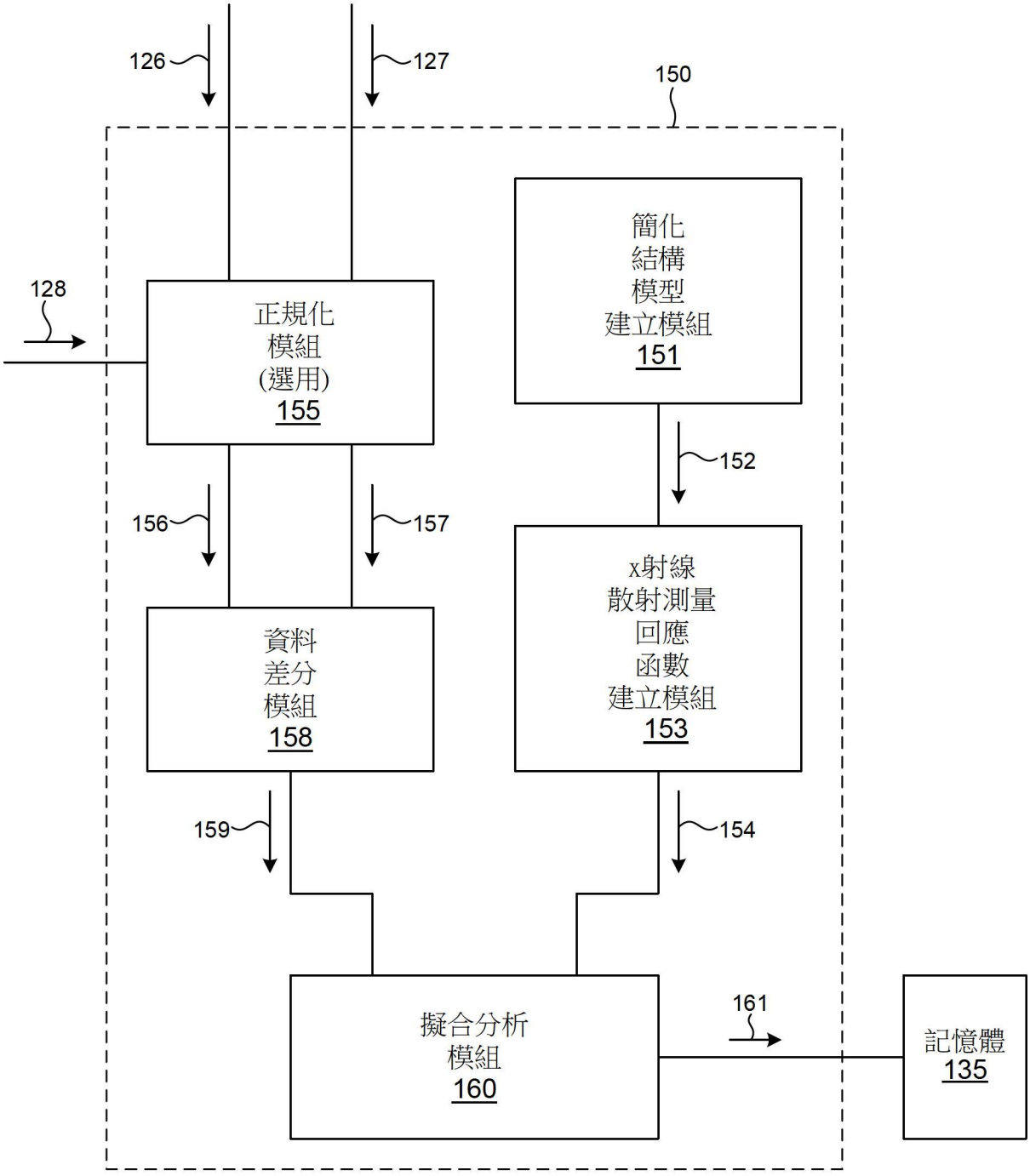
一非暫時性電腦可讀媒體，其包括：

用於引起一運算系統基於該第一量之量測資料及指示該複雜半導體結構之一或多個先前例項在該製造程序流程之該關鍵程序步驟之前藉由該x射線散射計之一量測的一第二量之量測資料，評估該複雜半導體結構之該一或多個後續例項的一所關注結構參數之一值之程式碼。

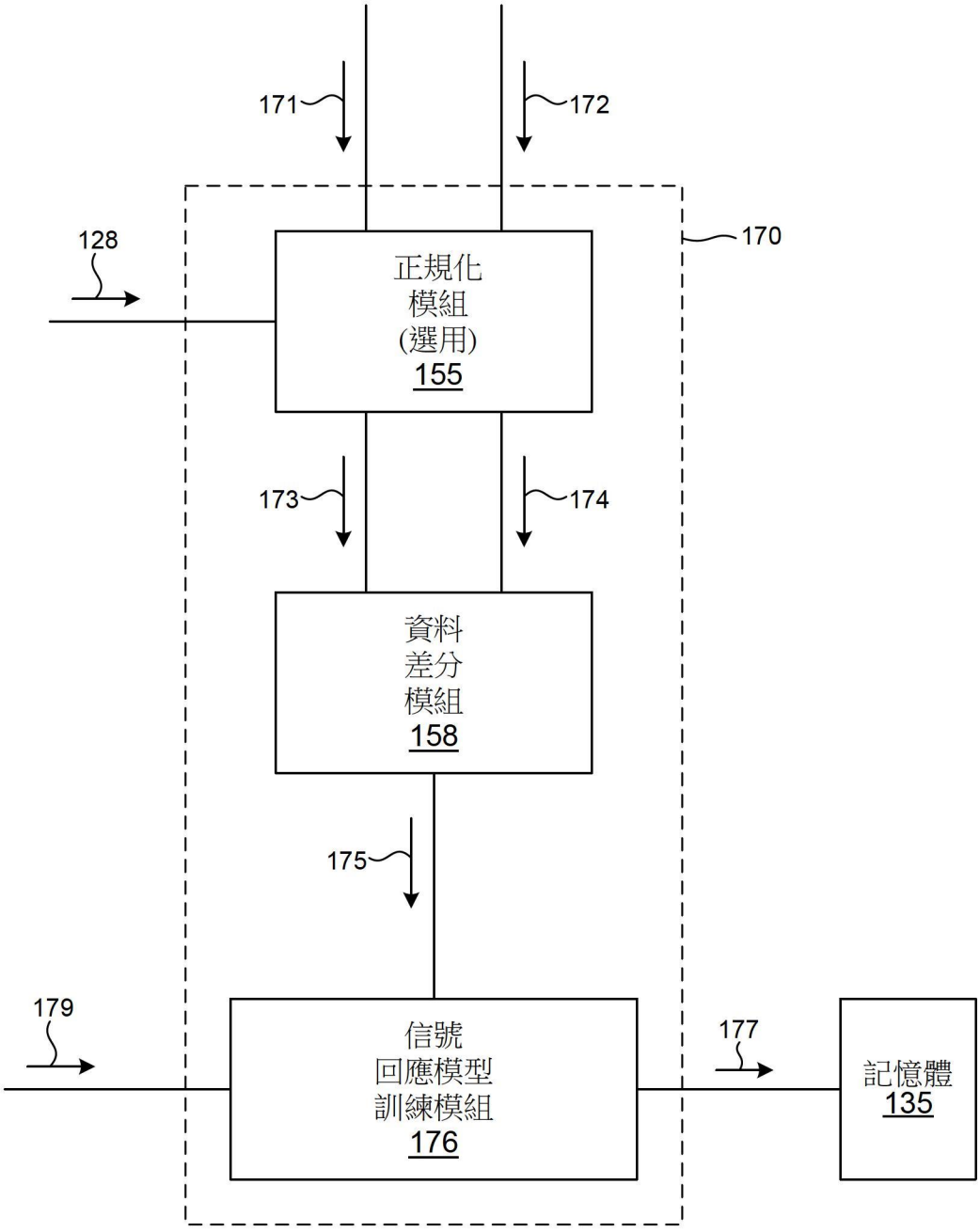
【發明圖式】


100
130
處理器
131
126
133
記憶體
134
132
137
136
x射線
源
110
117
115
Z
X
144
143
142
102
145
141
101
146
125
116
樣品
定位
系統
140

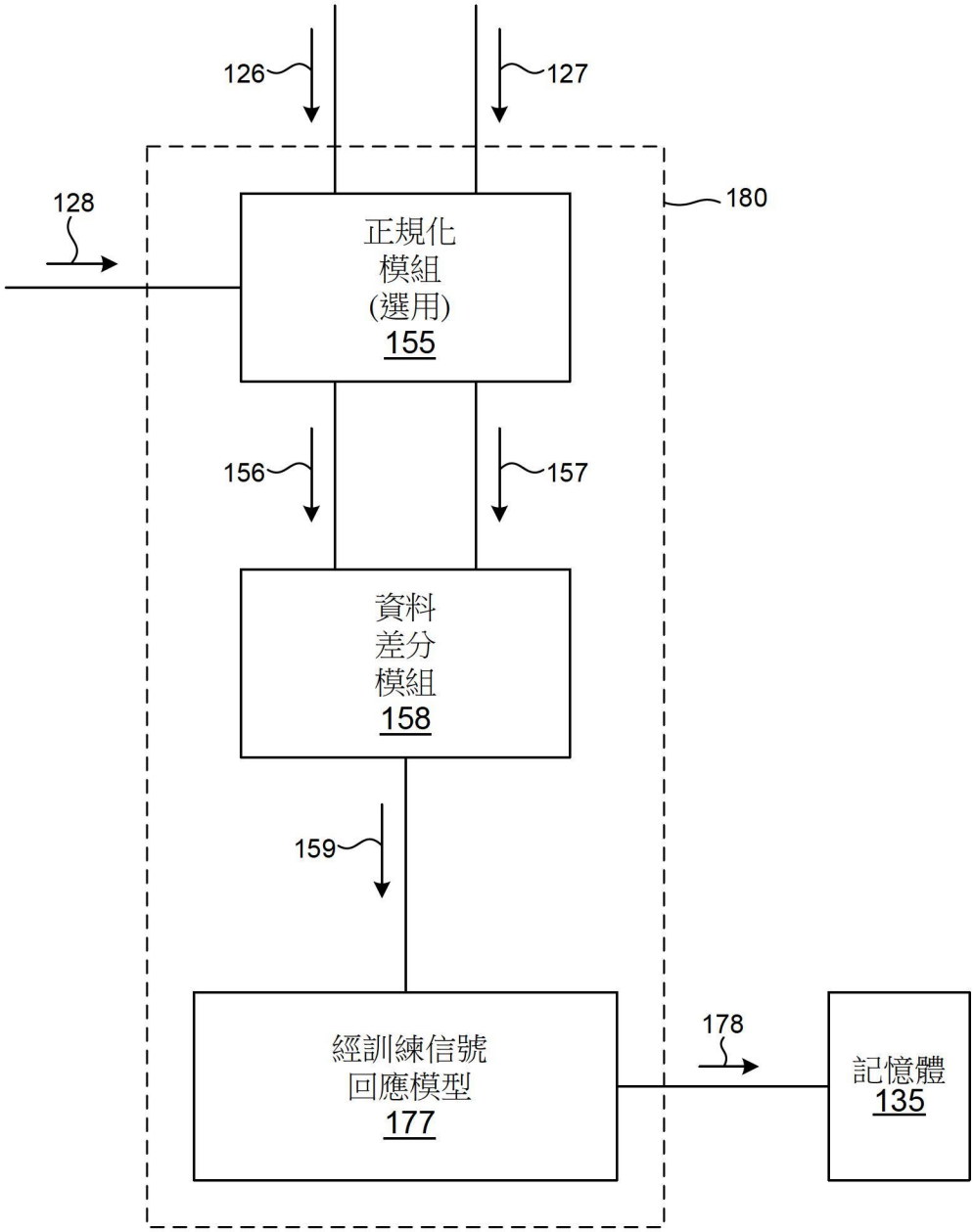
【圖1】


126
127
150
簡化
結構
模型
建立模組
151
128
正規化
模組
(選用)
155
152
156
157
資料
差分
模組
158
x射線
散射測量
回應
函數
建立模組
153
159
154
擬合分析
模組
160
161
記憶體
135

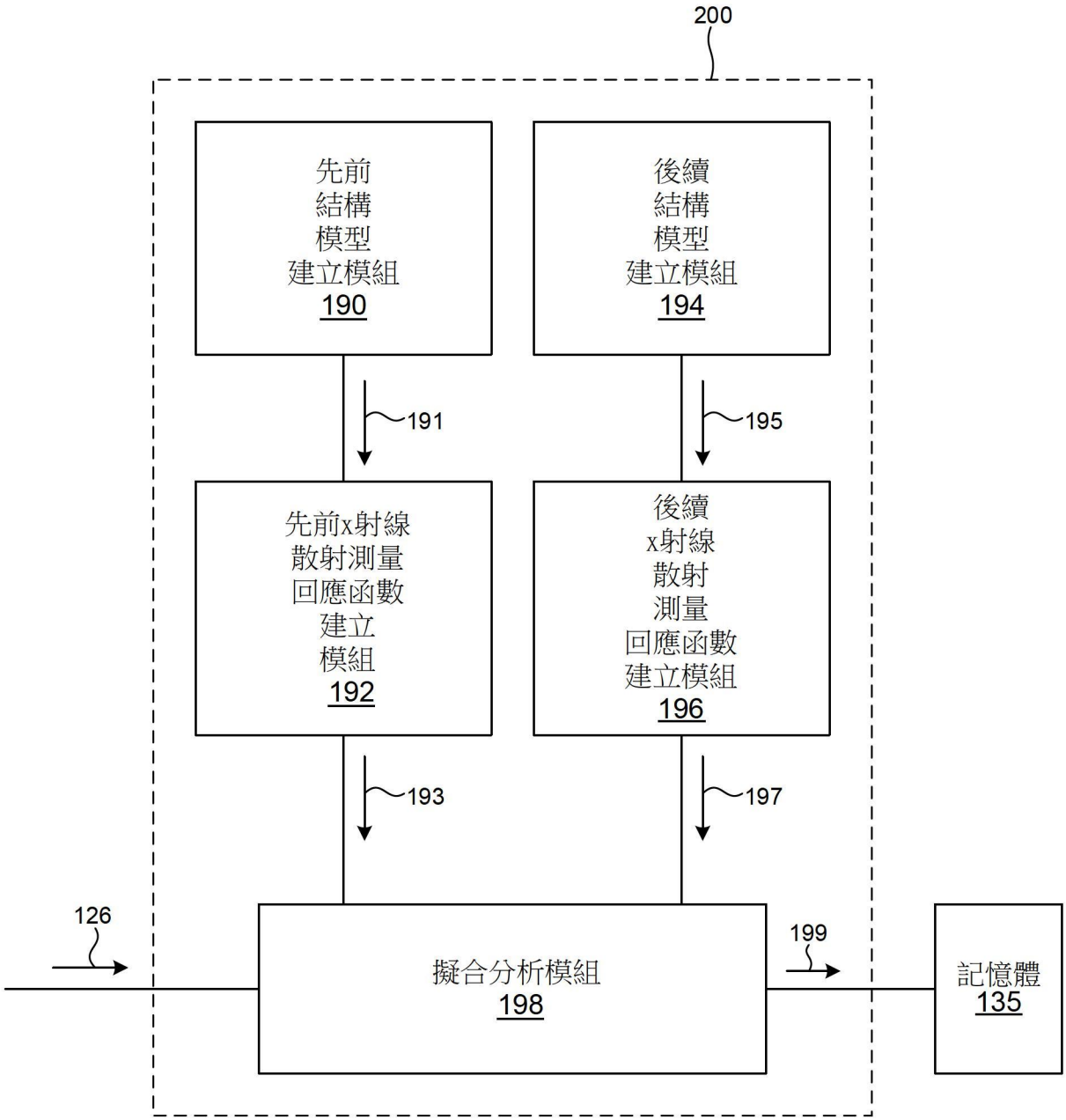
【圖2】


171
172
128
170
正規化
模組
(選用)
155
173
174
資料
差分
模組
158
175
179
信號
回應模型
訓練模組
176
177
記憶體
135

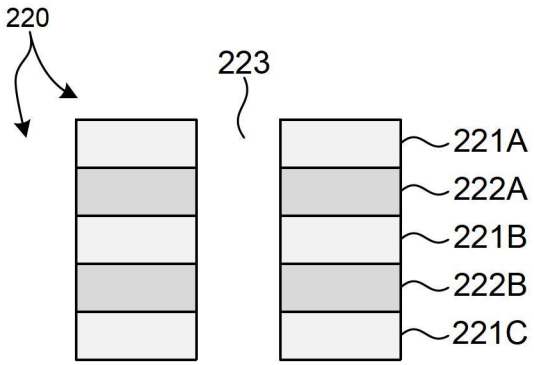
【圖3】


126
127
128
180
正規化
模組
(選用)
155
156
157
資料
差分
模組
158
159
經訓練信號
回應模型
177
178
記憶體
135

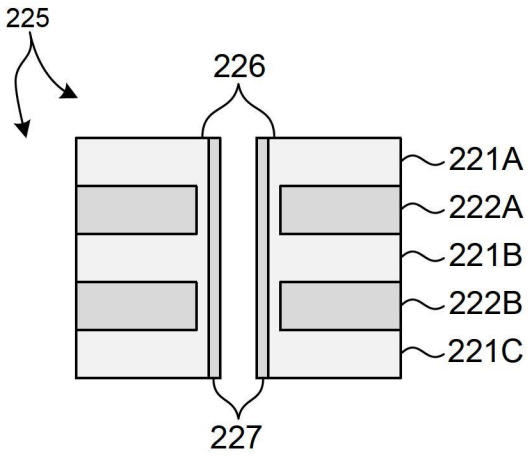
【圖4】


200
先前
結構
模型
建立模組
190
後續
結構
模型
建立模組
194
191
195
先前x射線
散射測量
回應函數
建立
模組
192
後續
x射線
散射
測量
回應函數
建立模組
196
193
197
126
擬合分析模組
198
199
記憶體
135

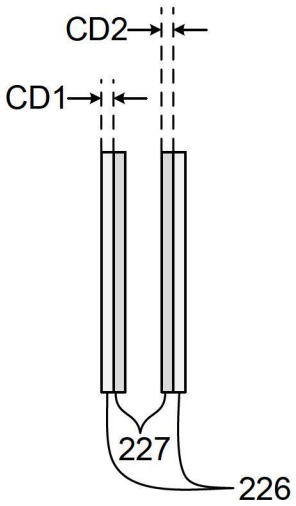
【圖5】


220
223
221A
222A
221B
222B
221C

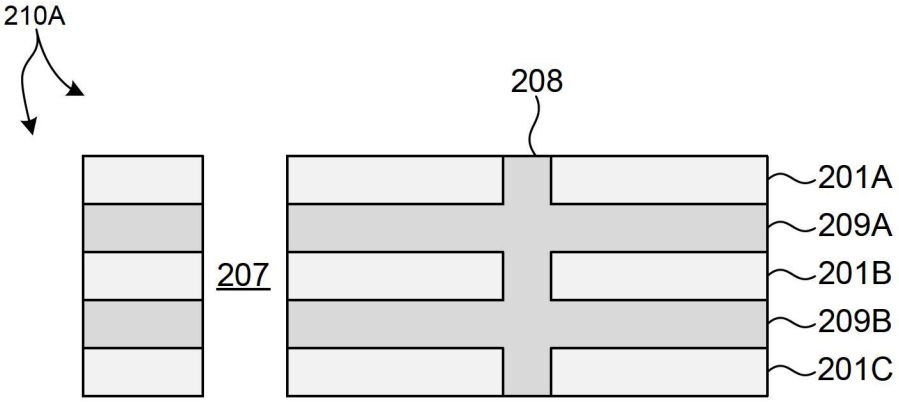
【圖6】


225
226
221A
222A
221B
222B
221C
227

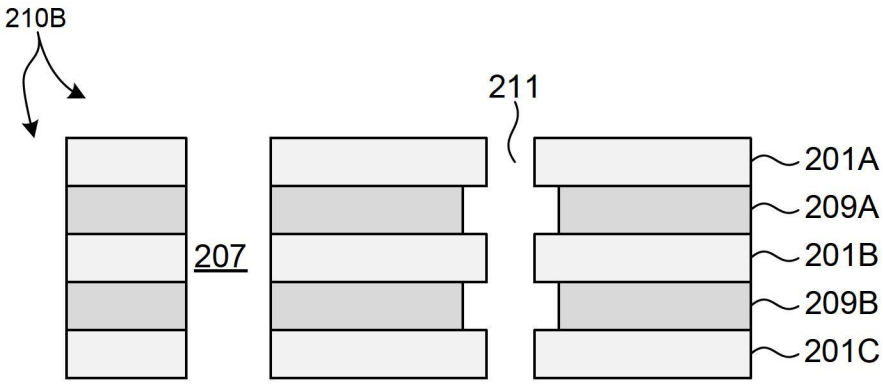
【圖7】


CD2
CD1
227
226

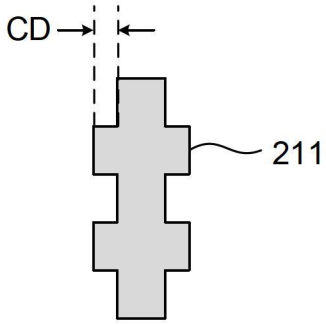
【圖8】


210A
208
201A
209A
207
201B
209B
201C

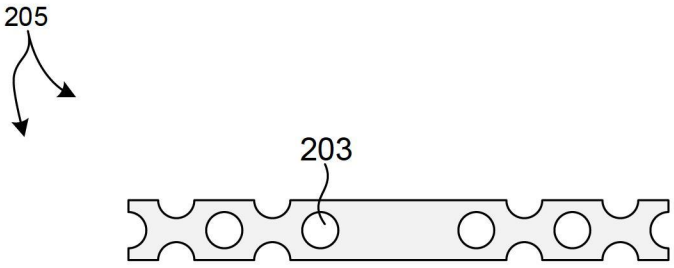
【圖9】


210B
211
201A
209A
207
201B
209B
201C

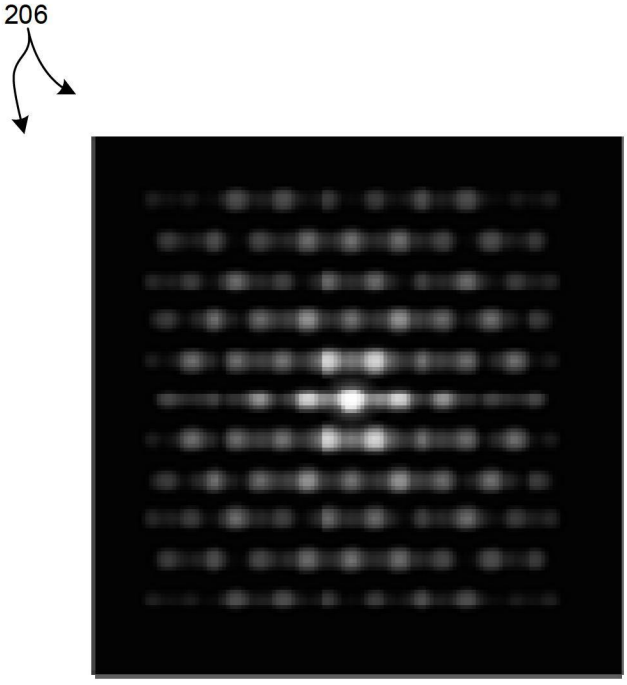
【圖10】


CD
211

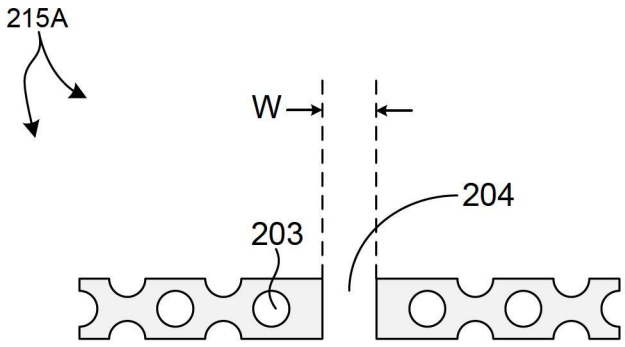
【圖11】



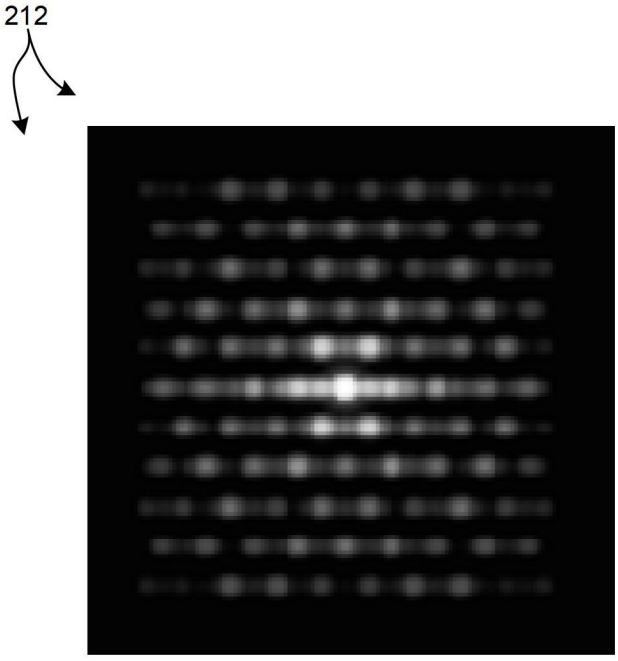
【圖12】



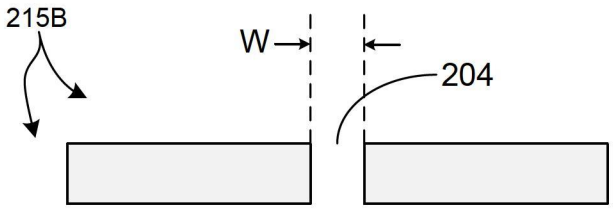
【圖13】



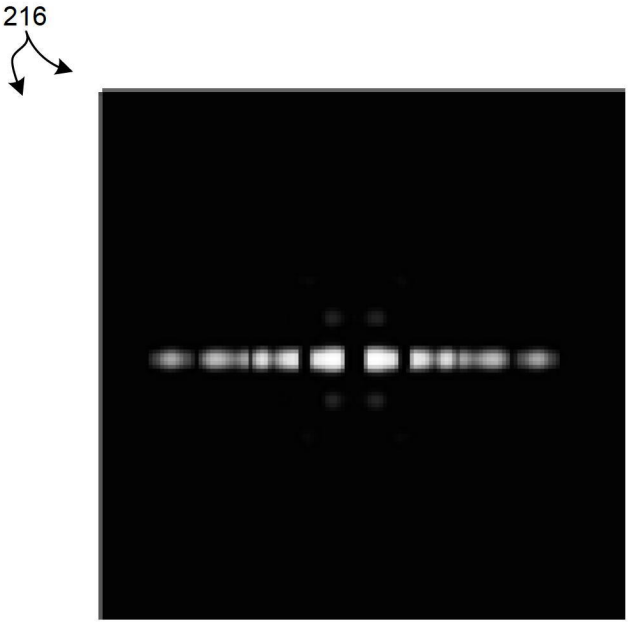
【圖14】



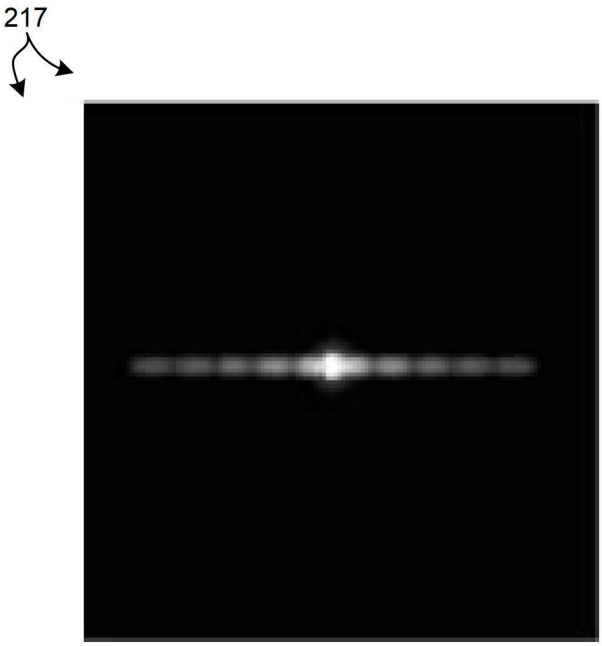
【圖15】



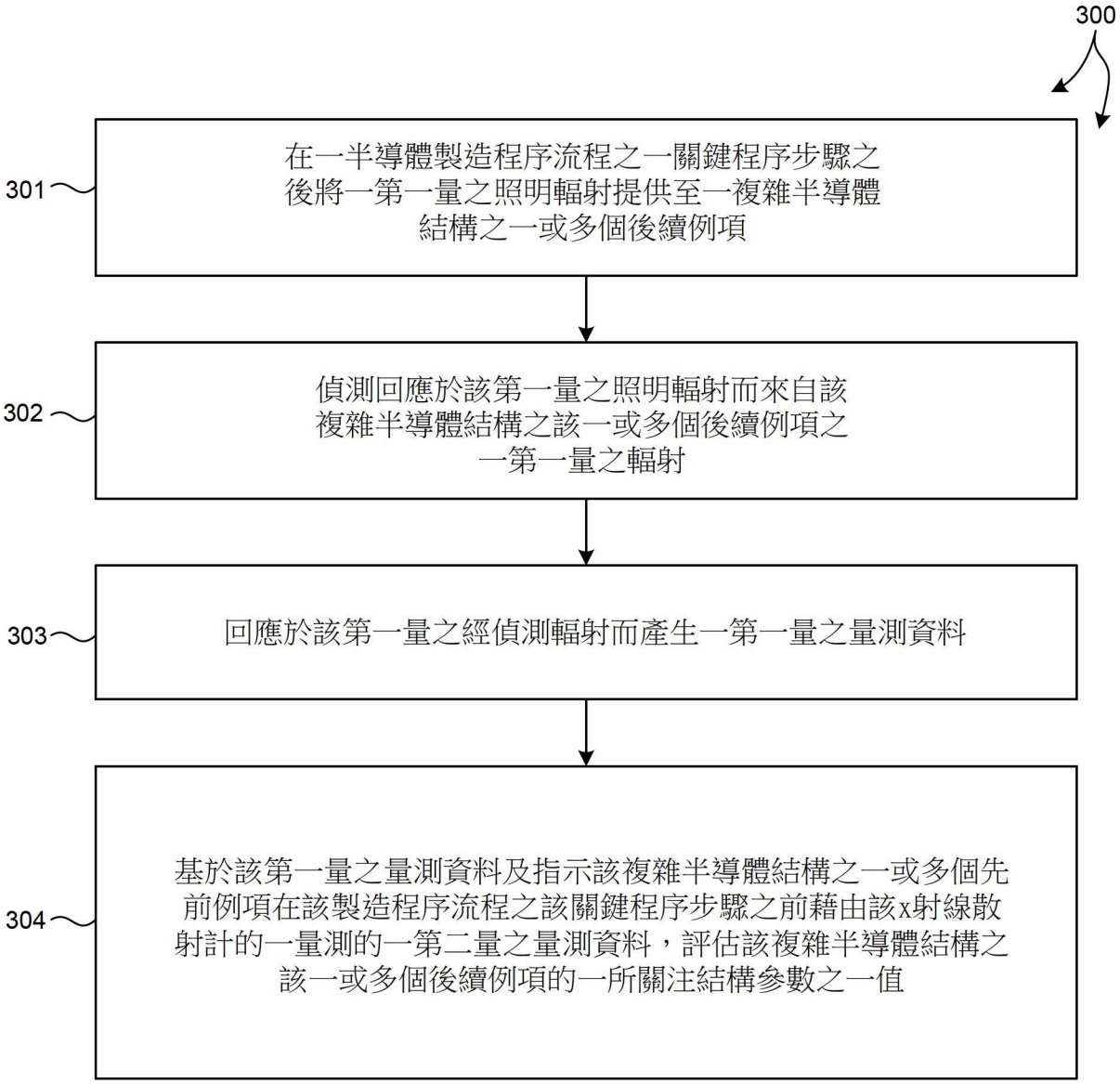
【圖16】



【圖17】



【圖18】


300
301
在一半導體製造程序流程之一關鍵程序步驟之後將一第一量之照明輻射提供至一複雜半導體結構之一或多個後續例項
302
偵測回應於該第一量之照明輻射而來自該複雜半導體結構之該一或多個後續例項之一第一量之輻射
303
回應於該第一量之經偵測輻射而產生一第一量之量測資料
304
基於該第一量之量測資料及指示該複雜半導體結構之一或多個先前例項在該製造程序流程之該關鍵程序步驟之前藉由該x射線散射計的一量測的一第二量之量測資料，評估該複雜半導體結構之該一或多個後續例項的一所關注結構參數之一值

【圖19】