



(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 I781300 B

(45)公告日：中華民國 111 (2022) 年 10 月 21 日

(21)申請案號：108108973 (22)申請日：中華民國 108 (2019) 年 03 月 15 日

(51)Int. Cl. : H01L21/66 (2006.01) G01R31/309 (2006.01)

(30)優先權：2018/03/15 美國 62/643,322

2019/03/13 美國 16/352,776

(71)申請人：美商克萊譚克公司(美國) KLA-TENCOR CORPORATION (US)  
美國(72)發明人：舟艾柏 浩山姆 CHOUAIB, HOUSSAM (US)；庫茲尼斯夫 亞歷山大  
KUZNETSOV, ALEXANDER (US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

US 2007/0081169A1 US 2008/0170242A1

US 2015/0051877A1 US 2015/0199463A1

審查人員：謝介銘

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：22 共 87 頁

(54)名稱

基於可重複使用子結構之奈米線半導體結構之測量模型

(57)摘要

在本文中呈現用於基於可重複使用參數模型而產生基於奈米線之半導體結構之測量模型之方法及系統。採用此等模型之計量系統經組態以測量與奈米線半導體製作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)。基於奈米線之半導體結構之該等可重複使用參數模型達成實質上更簡單、更不易於出錯且更準確之測量模型產生。因此，尤其在將複雜基於奈米線之結構模型化時，達成有用測量結果之時間顯著減少。基於奈米線之半導體結構之該等可重複使用參數模型對於針對光學計量及 x 射線計量兩者而產生測量模型係有用的，該 x 射線計量包含軟 x 射線計量及硬 x 射線計量。

Methods and systems for generating measurement models of nanowire based semiconductor structures based on re-useable, parametric models are presented herein. Metrology systems employing these models are configured to measure structural and material characteristics (e.g., material composition, dimensional characteristics of structures and films, etc.) associated with nanowire semiconductor fabrication processes. The re-useable, parametric models of nanowire based semiconductor structures enable measurement model generation that is substantially simpler, less error prone, and more accurate. As a result, time to useful measurement results is significantly reduced, particularly when modelling complex, nanowire based structures. The re-useable, parametric models of nanowire based semiconductor structures are useful for generating measurement models for both optical metrology and x-ray metrology, including soft x-ray metrology and hard x-ray metrology.

指定代表圖：

符號簡單說明：

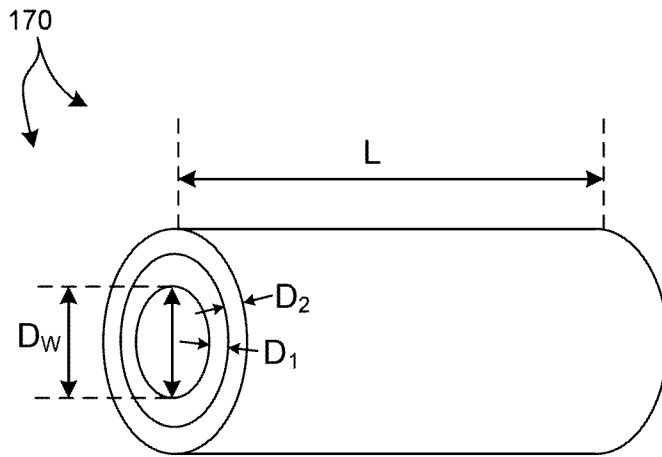
170 . . . 可重複使用  
參數子結構模型/模型

$D_1$  . . . 形狀參數/厚  
度

$D_2$  . . . 形狀參數/厚  
度

$D_w$  . . . 直徑

$L$  . . . 長度



【圖14】



I781300

**【發明摘要】****【中文發明名稱】**

基於可重複使用子結構之奈米線半導體結構之測量模型

**【英文發明名稱】**

MEASUREMENT MODELS OF NANOWIRE SEMICONDUCTOR  
STRUCTURES BASED ON RE-USABLE SUB-STRUCTURES

**【中文】**

在本文中呈現用於基於可重複使用參數模型而產生基於奈米線之半導體結構之測量模型之方法及系統。採用此等模型之計量系統經組態以測量與奈米線半導體製作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)。基於奈米線之半導體結構之該等可重複使用參數模型達成實質上更簡單、更不易於出錯且更準確之測量模型產生。因此，尤其在將複雜基於奈米線之結構模型化時，達成有用測量結果之時間顯著減少。基於奈米線之半導體結構之該等可重複使用參數模型對於針對光學計量及x射線計量兩者而產生測量模型係有用的，該x射線計量包含軟x射線計量及硬x射線計量。

**【英文】**

Methods and systems for generating measurement models of nanowire based semiconductor structures based on re-useable, parametric models are presented herein. Metrology systems employing these models are configured to measure structural and material characteristics (e.g., material composition, dimensional characteristics of structures and films, etc.) associated with nanowire semiconductor

fabrication processes. The re-useable, parametric models of nanowire based semiconductor structures enable measurement model generation that is substantially simpler, less error prone, and more accurate. As a result, time to useful measurement results is significantly reduced, particularly when modelling complex, nanowire based structures. The re-useable, parametric models of nanowire based semiconductor structures are useful for generating measurement models for both optical metrology and x-ray metrology, including soft x-ray metrology and hard x-ray metrology.

【指定代表圖】

圖14

【代表圖之符號簡單說明】

170	可重複使用參數子結構模型/模型
$D_1$	形狀參數/厚度
$D_2$	形狀參數/厚度
$D_w$	直徑
L	長度

## 【發明說明書】

### 【中文發明名稱】

基於可重複使用子結構之奈米線半導體結構之測量模型

### 【英文發明名稱】

MEASUREMENT MODELS OF NANOWIRE SEMICONDUCTOR  
STRUCTURES BASED ON RE-USABLE SUB-STRUCTURES

### 【技術領域】

【0001】 所闡述實施例係關於計量系統及方法，且更特定而言係關於用於經改良測量準確度之方法及系統。

### 【先前技術】

【0002】 通常藉由施加至一樣品之一處理步驟序列來製作諸如邏輯及記憶體裝置之半導體裝置。藉由此等處理步驟而形成該等半導體裝置之各種特徵及多個結構層級。舉例而言，尤其微影術係涉及在一半導體晶圓上產生一圖案之一個半導體製作程序。半導體製作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。可在一單個半導體晶圓上製作多個半導體裝置，且然後將該多個半導體裝置分離成個別半導體裝置。

【0003】 在一半導體製造程序期間在各個步驟處使用計量程序來偵測晶圓上之缺陷以促成較高良率。光學及基於x射線之計量技術在不具有樣本損毀之危險之情況下提供高吞吐量之可能性。通常使用包含散射測量及反射測量實施方案及相關聯分析演算法之若干種技術來表徵奈米尺度結構之臨界尺寸、膜厚度、組合物及其他參數。

【0004】 隨著裝置(例如，邏輯及記憶體裝置)朝較小奈米尺度尺寸

進展，表徵變得更困難。裝置併入有複雜三維幾何結構以及具有迥異物理性質之材料導致表徵困難。裝置形狀及輪廓正在發生巨大改變。在一項實例中，最近構思之基於奈米線之半導體裝置併入有新複雜三維幾何結構以及具有迥異定向及物理性質之材料。特定而言關於光學計量，奈米線裝置尤其難以表徵。

**【0005】** 回應於此等挑戰，已開發了更複雜計量工具。在大範圍之數個機器參數(例如，波長、方位角及入射角等)內且通常同時執行若干測量。因此，測量時間、計算時間及用以產生可靠結果(包含測量方法及準確測量模型)之總體時間顯著增加。

**【0006】** 現有基於模型之計量方法通常包含用以將結構參數模型化且然後測量該等結構參數之一系列步驟。通常，自一樣本或晶圓集、一特定計量目標、一測試臨界尺寸目標、一單元內實際裝置目標、一SRAM記憶體目標等收集測量資料(例如，DOE光譜)。來自此等複雜結構之光學回應之一準確模型包含幾何特徵、色散參數之一模型，且用公式表示測量系統。通常，執行一迴歸以精細化幾何模型。另外，執行模擬近似(例如，平板化(slabbing)、嚴格耦合波分析(RCWA)等)以避免引入過大誤差。定義離散化及RCWA參數。執行一系列模擬、分析及迴歸以精細化幾何模型且判定哪些模型參數浮動。產生一合成光譜庫。最後，使用該庫或迴歸與幾何模型即時地執行測量。

**【0007】** 當前，所測量之裝置結構之模型由一測量模型化工具之一使用者自基元結構構建塊組裝而成。此等基元結構構建塊係組裝在一起以近似更複雜結構之簡單幾何形狀(例如，正方形截頭錐體)。該等基元結構構建塊由使用者定大小且有時基於使用者輸入而定製以指定每一基元結構

構建塊之形狀細節。在一項實例中，每一基元結構構建塊包含一整合式定製控制面板，使用者在該整合式定製控制面板處輸入判定該等形狀細節之特定參數以匹配所模型化之一實際實體結構。類似地，基元結構構建塊藉由亦由使用者手動地輸入之約束而結合在一起。舉例而言，使用者輸入將一個基元構建塊之一頂點繫結至另一構建塊之一頂點之一約束。此允許使用者在一個構建塊之大小改變時構建表示一系列實際裝置幾何結構之模型。基元結構構建塊之間的使用者定義之約束達成廣泛模型化彈性。舉例而言，不同基元結構構建塊之厚度或高度可在多目標測量應用中約束至一單個參數。此外，基元結構構建塊具有簡單幾何參數化，使用者可將該等簡單幾何參數化約束至應用特定之參數。舉例而言，可將一抗蝕線之側壁角度手動地約束至表示一微影程序之焦點及劑量之參數。

**【0008】** 儘管自基元結構構建塊構造之模型提供一寬廣範圍之模型化彈性及使用者控制，但模型構建程序在將基於奈米線之半導體結構模型化時變得非常複雜且易於出錯。一使用者需要準確地將基元結構構建塊組裝到一起，確保其正確地經約束，且以一幾何上一致方式將模型參數化。完成此操作並非一容易任務，且使用者花費顯著量之時間來確保其模型係正確的。在諸多情形中，使用者未認識到其模型係不一致的且不正確的，此乃因難以理解所有基元結構構建塊如何在參數空間中改變形狀及位置。具體而言，判定針對一給定參數值集係結構上一致之模型是否針對另一參數值集保持結構上一致係非常困難的。

**【0009】** 圖1A繪示組裝在一起以形成圖1B中所繪示之一光學臨界尺寸(OCD)模型10之十二個不同基元結構構建塊11至22。每一基元結構構建塊係矩形形狀。為構造OCD模型10，一使用者必須手動定義該模型之

所要尺寸、約束及獨立參數(例如，經受變化之參數)。基於基元結構構建塊(亦即，諸如矩形之基本形狀)而構造之模型通常需要大數目個基元、約束及獨立參數，使用者必須針對該等基元、約束及獨立參數來定義變化範圍。此使模型構建非常複雜且易於發生使用者錯誤。

**【0010】** 此外，模型複雜性使得一個使用者難以理解由另一使用者構建之模型。使用者需要能夠理解初始模型擁有者之意圖且此隨著基元結構構建塊、約束及獨立參數之數目增加而變得愈來愈具挑戰性。因此，轉移模型之所有權(例如，自應用程式工程師至程序工程師)係一耗時且困難程序。模型之複雜性在諸多情形中導致同事之間的挫敗感，且在某些情形中阻止轉移程序完全地完成。在某些實例中，一使用者依據基元結構構建塊產生一新模型以模仿由一同事產生之一模型。在諸多情形中，所得模型係稍微不同的，且因此遞送因電腦上之浮點運算之非交換性質而產生之稍微不同結果。在某些其他實例中，一使用者藉由讓另一家公司開發模型而放棄知識產權或冒著失去知識產權之風險。

**【0011】** 現有基元結構構建塊經設計以將平面互補金屬氧化物半導體(CMOS)結構及垂直FinFET結構模型化。對於此等應用，當前基元結構構建塊提供一寬廣範圍之模型化彈性且以良好測量準確度提供實際幾何結構之一公平近似。此等傳統結構中之實體間隙係有限的，且現有基元結構構建塊一直係有效的。

**【0012】** 不幸地，現有基元結構構建塊不足以將使用奈米線製作程序製作之基於奈米線之半導體結構模型化。關於現有基元結構構建塊之模型構建程序係非常複雜的且易於出錯的。基於奈米線之半導體結構之形貌不同於現有平面結構或垂直結構。現有基元結構構建塊並非足夠撓性的而

不能準確地表示奈米線製作程序所遇到之形狀。因此，模型準確度受損。即使一使用者準確地將數個基元結構構建塊組裝到一起，不出錯地設定正確約束，且以一種一致方式將模型重新參數化，所得模型亦不足夠準確而不能表示真正的基於奈米線之半導體結構。另外，用當前可用結構構建塊來構建一基於奈米線之半導體結構之一近似模型係一易出錯任務。使用者花費顯著量之時間來確保其模型按計劃及設計來實施。在諸多情形中，可用結構構建塊之複雜總成產生不一致且不正確模型。在諸多情形中，無法使用現有結構構建塊來準確地將奈米線半導體結構之模型模型化。此外，根本無法使用現有結構構建塊來將某些層模型化。

**【0013】** 總之，用現有結構構建塊來將基於奈米線之半導體結構模型化需要指定大數目個結構基元、約束及獨立參數。使用者花費顯著量之時間來構建一近似結構。該程序係易於出錯的且無彈性的。使用者手動定義所要尺寸，設定約束，且指定獨立參數之值。不管此努力如何，在諸多實例中，所得模型皆不能夠以任何有用準確度將基於奈米線之製作程序模型化。

**【0014】** 直至最近，計量結構保持足夠簡單，使得通常針對每一項目而設計新模型。然而，新興基於奈米線之半導體結構之模型化已產生具有令人不滿意結果之愈來愈複雜化模型。隨著基於奈米線之半導體結構變得更常見，且每一項目之時間更少，期望經改良模型化方法及工具。

#### **【發明內容】**

**【0015】** 在本文中呈現用於基於可重複使用參數模型而產生基於奈米線之半導體結構之測量模型之方法及系統。採用此等模型之計量系統經組態以測量與奈米線半導體製作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)。基於奈米線之半導體結構之該等可重複使用參數模型達成實質上更簡單、更不易於出錯且更準確之測量模型產生。因此，尤其在將複雜基於奈米線之結構模型化時，達成有用測量結果之時間顯著減少。基於奈米線之半導體結構之該等可重複使用參數模型對於針對光學計量及x射線計量(例如，軟x射線計量及硬x射線計量)兩者而產生測量模型係有用的。

**【0016】** 在一項態樣中，一模型構建工具包含可用作一複雜基於奈米線之半導體裝置之一模型中之構建塊之複雜裝置子結構之可重複使用參數模型。此使模型構建程序更直觀且不易於出錯。此外，由於該等可重複使用參數子結構模型針對基於奈米線之半導體結構及測量應用而最佳化，因此所得離散化測量模型比傳統模型在計算上更高效。另外，可保存且在不同項目及不同使用者當中共用該等參數子結構模型。

**【0017】** 一可重複使用參數子結構模型完全由模型構建工具之使用者所輸入之獨立參數之值來定義。與模型形狀及在構成幾何元件當中之內部約束相關聯之所有其他變數預定義於該模型內。因此，除獨立參數之值以外，不需要其他使用者輸入來完全定義該可重複使用參數子結構模型。此大大簡化模型構建程序。

**【0018】** 在一額外態樣中，闡述一新參數子結構模型(亦即，基元奈米線構建塊)集。採用此等基元奈米線構建塊以基於奈米線製作程序而準確地將下一代半導體裝置之幾何結構模型化。每一基元奈米線構建塊完全由使用者所輸入之獨立參數之值定義。不需要其他使用者輸入來定義基元奈米線構建塊之形狀。此顯著地簡化與基於奈米線之半導體結構相關聯之模型構建程序。此引起以較少錯誤更加快速地將複雜基於奈米線之半導體

裝置模型化。

**【0019】** 在本文中呈現數個不同基元奈米線構建塊，該等不同基元奈米線構建塊包含一圓柱形基元奈米線構建塊、一正方形基元奈米線構建塊、一矩形或板形基元奈米線構建塊、一六角形基元奈米線構建塊、具有修圓邊緣之一正方形奈米線構建塊、一橢圓形基元奈米線構建塊、具有兩個不同剖面之一階梯狀基元奈米線構建塊及具有兩個不同剖面之一伸長奈米線構建塊。一般而言，每一奈米線構建塊可橫向地或垂直地定向。

**【0020】** 在某些實施例中，一模型構建工具基於若干個基元奈米線構建塊之一合成而產生一可重複使用參數子結構模型(例如，一複合奈米線構建塊)，或產生由一使用者指示之若干較簡單可重複使用參數子結構模型(例如，複合奈米線構建塊)。該合成將個別模型之集合改變成可用作一測量模型之一元件(好像其係一基元構建塊)之一單個可重複使用參數子結構模型。該模型構建工具保存該子結構模型以供稍後使用。在內部，該子結構模型包含完全整合所有基本幾何基元所必要之約束。此等約束經保存為該子結構模型之一部分且在該子結構模型之每個例項處經執行。以此方式，使用者可以預定義約束形成常用複雜形狀之一集合。該子結構模型可經卸載且保存至檔案中，重新裝載至一項目中且被使用，且在使用者當中共用。

**【0021】** 在本文中呈現數個不同複合奈米線構建塊，該等不同複合奈米線構建塊包含一均勻厚度包覆件、一非均勻厚度包覆件、一均勻保形襯裡-包覆件、一非均勻保形襯裡-包覆件、一保形間隔件-包覆件及一內間隔件。

**【0022】** 在另一額外態樣中，一模型構建工具將一或多個可重複使

用參數模型整合成一複雜基於奈米線之半導體裝置之一測量模型。在某些實施例中，一模型構建工具接收來自一使用者之輸入以組合幾何基元與一可重複使用參數子結構模型以形成一測量模型。在某些其他實施例中，一半導體裝置之一測量模型完全由一個可重複使用參數模型闡述。在某些其他實施例中，一半導體裝置之一測量模型完全由兩個或兩個以上可重複使用參數模型之一組合闡述。

**【0023】** 由該模型構建工具產生之該等可重複使用參數子結構模型使得一使用者或使用者群組能夠產生可重複使用之一子結構庫。使用同一子結構模型之不同例項之不同使用者可預期達成相同數值結果。

**【0024】** 在另一額外態樣中，該模型構建工具產生複雜裝置子結構之可重複使用參數模型且使該等可重複使用參數模型可加以利用，該等可重複使用參數模型包含嵌入至其設計中的特定半導體程序之關鍵特性。

**【0025】** 在另一額外態樣中，該模型構建工具產生複雜裝置子結構之可重複使用參數模型且使該等可重複使用參數模型可加以利用，該等可重複使用參數模型包含測量應用特定細節(例如，自特定應用導出之約束、尺寸等)。

**【0026】** 在再一態樣中，該模型構建工具包含安全特徵以控制與特定使用者共用敏感知識產權。

**【0027】** 前述內容係一發明內容且因此必須含有細節之簡化、概述及省略；因此，熟習此項技術者將瞭解，發明內容僅為說明性的且不以任何方式為限制性的。在本文中所陳述之非限制性實施方式中，本文中所闡述之裝置及/或程序之其他態樣、發明性特徵及優點將變得顯而易見。

#### **【圖式簡單說明】**

【0028】 圖1A係圖解說明組裝在一起以形成圖1B中所繪示之一光學臨界尺寸(OCD)模型10之十二個不同基元結構構建塊11至22之一圖式。

【0029】 圖1B係圖解說明一光學臨界尺寸(OCD)模型10之一圖式。

【0030】 圖2係圖解說明如本文中所闡述之用於基於包含基於奈米線之半導體結構之可重複使用參數子結構模型之測量模型而測量一半導體晶圓之特性之一系統100之一實施例之一圖式。

【0031】 圖3係圖解說明如本文中所闡述之經組態以產生基於奈米線之半導體結構之可重複使用參數子結構模型之一模型構建與分析引擎130之一實施例之一圖式。

【0032】 圖4係圖解說明如本文中所闡述之用於基於包含基於奈米線之半導體結構之可重複使用參數子結構模型之測量模型而測量一半導體晶圓之特性之一系統300之一實施例之一圖式。

【0033】 圖5係圖解說明如本文中所闡述之經組態以產生基於奈米線之半導體結構之可重複使用參數子結構模型之一模型構建與分析引擎350之一實施例之一圖式。

【0034】 圖6係圖解說明一基於奈米線之半導體結構150之一圖式。

【0035】 圖7係圖解說明一圓柱形基元奈米線構建塊160之一圖式。

【0036】 圖8係圖解說明具有修圓邊緣之一正方形基元奈米線構建塊161之一圖式。

【0037】 圖9係圖解說明一矩形或板形基元奈米線構建塊162之一圖式。

【0038】 圖10係圖解說明一六角形基元奈米線構建塊163之一圖式。

【0039】 圖11係圖解說明一橢圓形基元奈米線構建塊164之一圖式。

【0040】 圖12係圖解說明具有兩個不同剖面之一階梯狀基元奈米線構建塊165之一圖式。

【0041】 圖13係圖解說明具有兩個不同剖面之一伸長基元奈米線構建塊166之一圖式。

【0042】 圖14係圖解說明表示包覆在一奈米線上之兩個保形層之一可重複使用參數子結構模型170之一圖式。

【0043】 圖15A至圖15B分別圖解說明一非均勻厚度包覆件構建塊171之一透視圖及一端視圖。

【0044】 圖16A至圖16C分別繪示保形襯裡-包覆件構建塊180之一等距視圖、一正面圖及一側視圖。

【0045】 圖17A至圖17C分別繪示非均勻保形襯裡-包覆件構建塊190之一等距視圖、一正面圖及一側視圖。

【0046】 圖18A至圖18C分別繪示保形間隔件-包覆件構建塊200之一等距視圖、一正面圖及一側視圖。

【0047】 圖19A繪示在一內間隔件程序步驟之前之一奈米線結構210。

【0048】 圖19B繪示在內間隔件程序步驟之後之一奈米線結構220。

【0049】 圖20A至圖20C分別繪示內間隔件構建塊連同對應奈米線之一陣列220之一正面圖、一側視圖及一等距視圖。

【0050】 圖21圖解說明如本文中所闡述之用於基於用可重複使用參數幾何構建塊產生之測量模型而測量基於奈米線之半導體結構之一方法

400。

【0051】 圖22係圖解說明如本文中所闡述之用於基於包含基於奈米線之半導體結構之可重複使用參數子結構模型之測量模型而測量一半導體晶圓之特性之一系統500之一實施例之一圖式。

#### 【實施方式】

相關申請案之交叉參考

【0052】 本專利申請案依據35 U.S.C. §119主張來自2018年3月15日提出申請之標題為「Methods And Tools For Generating Semiconductor Device Models With Nanowire Sub Structures」之第62/643,322號美國臨時專利申請案之優先權，該美國臨時專利申請案之標的物以其全文引用方式併入本文中。

【0053】 現在將詳細參考背景技術實例及本發明之某些實施例，本發明之實例圖解說明於附圖中。

【0054】 對臨界尺寸(CD)、薄膜厚度、光學性質及組合物、疊對、微影焦點/劑量等之基於散射測量之計量通常需要測量基本結構之一幾何模型。此測量模型包含結構之實體尺寸、材料性質及參數化。

【0055】 在本文中呈現用於基於可重複使用參數模型而產生基於奈米線之半導體結構之測量模型之方法及系統。採用此等模型之計量系統經組態以測量與奈米線半導體製作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)。基於奈米線之半導體結構之該等可重複使用參數模型達成實質上更簡單、更不易於出錯且更準確之測量模型產生。因此，尤其在將複雜基於奈米線之結構模型化時，達成有用測量結果之時間顯著減少。基於奈米線之半導體結構之該等可重複使用參數模型

對於針對光學計量及x射線計量(例如，軟x射線計量及硬x射線計量)兩者而產生測量模型係有用的。

**【0056】** 圖2圖解說明用於測量一半導體晶圓之特性之一系統100。如圖2中所展示，系統100可用於對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執行光譜橢圓偏光測量。在此態樣中，系統100可包含配備有一照射器102及一光譜儀104之一光譜橢圓偏光計。系統100之照射器102經組態以產生一選定波長範圍(例如，150 nm至4500 nm)之照射並將其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經組態以接收來自半導體晶圓112之表面之光。進一步應注意，使用一偏光狀態產生器107來將自照射器102射出之光偏光以產生一經偏光照射射束106。由安置於晶圓112上之結構114反射之輻射通過一偏光狀態分析器109且到達光譜儀104。關於偏光狀態而分析由光譜儀104在收集光束108中接收之輻射，從而允許對由分析器傳遞之輻射進行光譜分析。此等光譜111經傳遞至運算系統116以用於對結構114進行分析。

**【0057】** 在一額外實施例中，計量系統100係包含經組態以根據本文中所提供之說明執行模型構建與分析工具130之一或多個運算系統116之一測量系統100。在較佳實施例中，模型構建與分析工具130係儲存於一載體媒體118上之一程式指令120集。由運算系統116讀取且執行儲存於載體媒體118上之程式指令120以實現如本文中所闡述之模型構建與分析功能性。一或多個運算系統116可以通信方式耦合至光譜儀104。在一項態樣中，一或多個運算系統116經組態以接收與樣品112之結構114之一測量(例如，臨界尺寸、膜厚度、組合物、程序等)相關聯之測量資料111。在一項實例中，測量資料111包含由測量系統100基於來自光譜儀104之一

或多個取樣程序而測量的樣品之光譜回應(例如，隨波長而變之所測量強度)之一指示。在某些實施例中，一或多個運算系統116進一步經組態以依據測量資料111判定結構114之樣品參數值。

**【0058】** 在某些實施例中，基於光學散射測量之計量涉及藉由以所測量資料對一預定測量模型之反解而判定樣本之尺寸。該測量模型包含幾個(大約十個)可調整參數且表示樣品之幾何結構及光學性質以及測量系統之光學性質。反解方法包含但不限於基於模型之迴歸、斷層掃描、機器學習或其任一組合。以此方式，藉由對一參數化測量模型之值求解來估計目標輪廓參數，該等值最小化所測量光學強度與經模型化結果之間的誤差。

**【0059】** 在一額外態樣中，運算系統116經組態以產生一樣品之一所測量結構之一結構模型(例如，幾何模型、材料模型或經組合幾何與材料模型)，產生包含來自該結構模型之至少一個幾何參數之一光學回應模型，且藉由執行光學測量資料與光學回應模型之一擬合分析而解析至少一個樣品參數值。分析引擎用於比較所模擬光學回應信號與所測量資料，藉此允許判定樣本之幾何以及材料性質。在圖2中所繪示之實施例中，運算系統116經組態為經組態以實施如本文中所闡述之模型構建與分析功能性之一模型構建與分析引擎130。

**【0060】** 圖3係圖解說明由運算系統116實施之一例示性模型構建與分析引擎130之一圖式。如圖3中所繪示，模型構建與分析引擎130包含一結構模型構建模組131，結構模型構建模組131部分地基於使用者輸入113而產生安置於一樣品上之一所測量基於奈米線之半導體結構之一結構模型132。在某些實施例中，結構模型132亦包含樣品之材料性質。接收結構模型132作為至光學回應函數構建模組133之輸入。光學回應函數構建模

組133至少部分地基於結構模型132而產生一光學回應函數模型135。

【0061】 接收光學回應函數模型135作為至擬合分析模組137之輸入。擬合分析模組137比較經模型化光學回應與對應所測量資料111以判定樣品之幾何以及材料性質。

【0062】 在某些實例中，擬合分析模組137藉由對光學測量資料111與光學回應模型135執行一擬合分析而解析至少一個樣品參數值。

【0063】 光學計量資料之擬合對於提供對所關注幾何及/或材料參數之敏感度之任一類型之光學計量技術係有利的。樣品參數可係判定性的(例如，CD、SWA等)或統計的(例如，側壁粗糙度之rms高度、粗糙度相關長度等)，只要使用闡述與樣品之光相互作用之恰當模型即可。

【0064】 一般而言，運算系統116經組態以採用即時臨界尺寸標注(RTCD)來即時存取模型參數，或其可存取預計算模型之庫以判定與樣品112相關聯之至少一個樣品參數值之一值。一般而言，可使用某種形式之CD引擎來評估一樣品之經指派CD參數與相關聯於所測量樣品之CD參數之間的差。至KLA-Tencor公司之2010年11月2日發佈之第7,826,071號美國專利中闡述用於計算樣品參數值之例示性方法及系統，該美國專利之全文以引用方式併入本文中。

【0065】 另外，在某些實施例中，一或多個運算系統116進一步經組態以自諸如一圖形使用者介面、鍵盤等之一使用者輸入源103接收使用者輸入113。一或多個電腦系統進一步經組態以組態如本文中所闡述之可重複使用參數子結構模型以產生受測量之基於奈米線之半導體結構之一結構模型(例如，結構模型132)。

【0066】 在某些實施例中，測量系統100進一步經組態以將一或多

個可重複使用參數子結構模型115儲存於一記憶體(例如，載體媒體118)中。

**【0067】** 圖4圖解說明用於根據本文中所呈現之例示性方法測量一樣品之特性之一x射線計量工具300之一實施例。如圖4中所展示，系統300可用於在安置於一樣品定位系統340上之一樣品301之一檢驗區302內執行x射線散射測量。在某些實施例中，檢驗區302具有五百微米或小於五百微米之一光點大小。在某些實施例中，檢驗區302具有五十微米或小於五十微米之一光點大小。

**【0068】** 在所繪示實施例中，計量工具300包含經組態以產生適合於x射線散射測量之x射線輻射之一x射線照射源310。在某些實施例中，x射線照射系統310經組態以產生介於0.01奈米與1奈米之間的波長。X射線照射源310產生入射於樣品301之檢驗區302上之一x射線射束317。

**【0069】** 一般而言，可預期能夠以足以達成高吞吐量計量之通量位準產生高亮度x射線之任何適合高亮度x射線照射源以供應用於x射線散射測量之x射線照射。在某些實施例中，一x射線源包含使得x射線源能夠遞送處於不同可選擇波長之x射線輻射之一可調諧單色儀。

**【0070】** 在某些實施例中，採用發射具有大於15keV之光子能量之輻射之一或多個x射線源來確保x射線源以允許穿過整個裝置以及晶圓基板之充足透射之波長來供應光。藉由非限制性實例之方式，可採用一粒子加速器源、一液態陽極源、一旋轉陽極源、一固定固態陽極源、一微焦源、一微焦旋轉陽極源及一逆康普頓(Compton)源中之任一者作為x射線源310。在一項實例中，可預期可自Lyncean Technologies公司(帕洛阿爾托，加利福尼亞州(美國))購得之一逆康普頓源。逆康普頓源具有能夠在

一光子能量範圍內產生x射線藉此使得x射線源能夠遞送處於不同可選擇波長之x射線輻射之一額外優點。在某些實施例中，一x射線源包含經組態以轟擊固態或液態目標以模擬x射線輻射之一電子射束源。

**【0071】** 在一項實施例中，入射x射線射束317處於24.2keV之鉬 $k\alpha$ 線。使用用於x射線散射測量之多層x射線光學器件將該x射線射束縮小準直為小於一毫弧度發散度。

**【0072】** 在某些實施例中，藉由一或多個孔隙、狹縫或其一組合來控制入射x射線射束之輪廓。在一額外實施例中，孔隙、狹縫或兩者經組態以與樣品之定向協調地旋轉以針對每一入射角、方位角或兩者最佳化入射射束之輪廓。

**【0073】** 如圖4中所繪示，x射線光學器件315將入射x射線射束317整形並引導至樣品301。在某些實例中，x射線光學器件315包含用以將入射於樣品301上之x射線射束單色化之一x射線單色儀。在一項實例中，採用一晶體單色儀(諸如一洛克斯利-坦納-博文(Loxley-Tanner-Bowen)單色儀)來將x射線輻射射束單色化。在某些實例中，x射線光學器件315使用多層x射線光學器件將x射線射束317準直或聚焦至樣品301之檢驗區302上為小於1毫弧度發散度。在某些實施例中，x射線光學器件315包含一或多個x射線準直鏡、x射線孔隙、x射線射束截捕器、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(諸如空心毛細管x射線波導)、多層光學器件或系統或者其任一組合。在第2015/0110249號美國專利申請案中闡述額外細節，該美國專利申請案之內容以其全文引用方式併入本文中。

**【0074】** 一般而言，照射光學器件系統之焦平面針對每一測量應用

而最佳化。以此方式，系統300經組態以取決於測量應用而將焦平面定位於樣品內之各種深度處。

**【0075】** X射線偵測器316收集自樣品301散射之x射線輻射325且根據一x射線散射測量模態產生指示對入射x射線輻射敏感的樣品301之性質之一輸出信號326。在某些實施例中，x射線偵測器316收集經散射x射線325，而樣品定位系統340將樣品301定位且定向以產生以角度方式解析之經散射x射線。

**【0076】** 在某些實施例中，一x射線散射測量系統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以及在不具有破壞之情況下且在具有最少寄生反向散射之情況下吸收直射射束(亦即，零級射束)之厚的高度吸收性晶體基板。在某些實施例中，一單個光子計數偵測器偵測所偵測光子之位置及數目。

**【0077】** 在某些實施例中，x射線偵測器解析一或多個x射線光子能量且針對每一x射線能量分量產生指示樣品之性質之信號。在某些實施例中，x射線偵測器316包含以下各項中之任一者：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、一以氣體填充之比例計數器、一閃爍器或一螢光材料。

**【0078】** 以此方式，除像素位置及計數數目之外，亦按照能量來區別偵測器內之X射線光子相互作用。在某些實施例中，藉由比較X射線光子相互作用之能量與一預定上部臨限值及一預定下部臨限值而區別X射線光子相互作用。在一項實施例中，經由輸出信號326將此資訊傳遞至運算系統330以用於進一步處理及儲存。

**【0079】** 在一額外態樣中，採用x射線散射測量系統300以基於一或

多個所測量強度而判定一樣品之性質(例如，結構參數值)。如圖4中所繪示，計量系統300包含一運算系統330，採用運算系統330以獲取由偵測器316產生之信號326且至少部分地基於該等所獲取信號而判定樣品之性質。

**【0080】** 在一x射線散射測量中，一結構(例如，一高縱橫比、垂直製造之結構)使一經準直或經聚焦X射線射束繞射成若干繞射級。每一繞射級在一特定可預測方向上行進。繞射級之角間隔與樣品之晶格常數除以波長成反比。可由放置於與晶圓相距某一距離處之一偵測器陣列偵測繞射級。偵測器之每一像素輸出指示命中該像素之光子之數目之一信號。

**【0081】** 繞射級之強度係為形式 $I(m,n,\theta,\phi,\lambda)$ ，其中 $\{m,n\}$ 係繞射級之整數指數， $\{\theta,\phi\}$ 係入射射束之仰角及方位角(亦即，入射主射線相對於固定至晶圓之一座標系之極座標)，且 $\lambda$ 係入射X射線之波長。

**【0082】** 數個雜訊源在其離開照射且朝向樣品傳播時擾亂照射光。例示性擾動包含電子射束電流波動、溫度引發之光學漂移等。經擾亂入射通量表示為 $F_0(1+n_1)$ 。

**【0083】** 目標使入射輻射以取決於入射射束之方位角及仰角之一方式散射。光散射成若干級 $(m,n)$ 之效率可定義為 $S_{mn}(\theta,\phi)$ 。當所繞射光自樣品傳播至偵測器時，射束在具有某一變化 $(1+n_2)$ 及寄生雜訊 $(n_3)$ 之情況下穿過類似地影響所有級之其他散射媒體。以此方式，在一時間 $t$ 中所測量之每一級之總強度 $I_{mn}$ 可由方程式(1)表達。

$$I_{mn} = S_{mn}(\theta,\phi)(1+n_2)(1+n_1)F_0t+n_3 \quad (1)$$

**【0084】** 在某些實施例中，期望在由圍繞圖4中所繪示之座標系346所指示之x軸及y軸之旋轉闡述之不同定向處執行測量。此藉由擴展可用於

分析之資料集之數目及多樣性以包含各種大角度平面外定向而增加所測量參數之精確度及準確度且降低參數當中之相關性。測量具有一較深、較多樣資料集之樣品參數亦降低參數當中之相關性且改良測量準確度。舉例而言，在一法向定向中，x射線散射測量能夠解析一特徵之臨界尺寸，但在很大程度上對一特徵之側壁角度及高度不敏感。然而，藉由在一寬廣平面外角度位置範圍內收集測量資料，可解析一特徵之側壁角度及高度。

**【0085】** 如圖4中所圖解說明，計量工具300包含經組態以在相對於散射計之一大平面外角度定向範圍內做出將樣品301對準及將樣品301定向兩個操作之一樣品定位系統340。換言之，樣品定位系統340經組態以使樣品301圍繞與樣品301之表面平面內對準之一或多個旋轉軸線在一大角度範圍內旋轉。在某些實施例中，樣品定位系統經組態以使樣品301圍繞與樣品301之表面平面內對準之一或多個旋轉軸線在至少120度之一範圍內旋轉。以此方式，由計量系統300在樣品301之表面上之任一數目個位置內收集對樣品301之經角度解析測量。在一項實例中，運算系統330將指示樣品301之所要位置之命令信號傳遞至樣品定位系統340之運動控制器345。作為回應，運動控制器345產生至樣品定位系統340之各種致動器之命令信號以達成樣品301之所要定位。

**【0086】** 藉由非限制性實例之方式，如圖4中所圖解說明，樣品定位系統340包含用以將樣品301固定地附接至樣品定位系統340之一邊緣夾持卡盤341。一旋轉致動器342經組態以使邊緣夾持卡盤341及所附接樣品301相對於一周邊框架343旋轉。在所繪示實施例中，旋轉致動器342經組態以使樣品301圍繞圖4中所圖解說明之座標系346之x軸旋轉。如圖4中所繪示，樣品301圍繞z軸之一旋轉係樣品301之一平面內旋轉。圍繞x軸及y

軸(未展示)之旋轉係使樣品301之表面相對於計量系統300之計量元件有效地傾斜的樣品之平面外旋轉。雖然未圖解說明，但一第二旋轉致動器經組態以使樣品301圍繞y軸旋轉。一線性致動器344經組態以使周邊框架343在x方向上平移。另一線性致動器(未展示)經組態以使周邊框架343在y方向上平移。以此方式，樣品301之表面上之每一位置皆可用於在一平面外角度位置範圍內之測量。舉例而言，在一項實施例中，在相對於樣品301之法向定向之-45度至+45度之一範圍內跨過數個角度增量測量樣品301之一位置。

**【0087】** 一般而言，樣品定位系統340可包含用以達成所要線性及角度定位效能之機械元件之任何適合組合，包含但不限於測角置物台、六腳置物台、有角度置物台及線性置物台。

**【0088】** 在某些實例中，基於x射線散射測量之計量涉及藉由以所測量資料對一預定測量模型之反解而判定樣本之尺寸。該測量模型包含幾個(大約十個)可調整參數且表示樣品之幾何結構及光學性質以及測量系統之光學性質。反解方法包含但不限於基於模型之迴歸、斷層掃描、機器學習或其任一組合。以此方式，藉由對一參數化測量模型之值求解來估計目標輪廓參數，該等值最小化所測量經散射x射線強度與經模型化結果之間的誤差。

**【0089】** 在一額外態樣中，運算系統330經組態以產生一樣品之一所測量結構之一結構模型(例如，幾何模型、材料模型或經組合幾何與材料模型)，產生包含來自該結構模型之至少一個幾何參數之一x射線散射測量回應模型，且藉由執行x射線散射測量資料與x射線散射測量回應模型之一擬合分析而解析至少一個樣品參數值。使用分析引擎來比較所模擬x射

線散射測量信號與所測量資料，藉此允許判定樣本之幾何以及材料性質（諸如電子密度）。在圖4中所繪示之實施例中，運算系統330經組態為經組態以實施如本文中所闡述之模型構建與分析功能性之一模型構建與分析引擎350。

**【0090】** 圖5係圖解說明由運算系統330實施之一例示性模型構建與分析引擎350之一圖式。如圖5中所繪示，模型構建與分析引擎350包含一結構模型構建模組351，結構模型構建模組351部分地基於自一使用者輸入源303（例如，一圖形使用者介面、鍵盤等）接收之使用者輸入313而產生安置於一樣品上之一所測量基於奈米線之半導體結構之一結構模型352。在某些實施例中，結構模型352亦包含樣品之材料性質。接收結構模型352作為至x射線散射測量回應函數構建模組353之輸入。X射線散射測量回應函數構建模組353至少部分地基於結構模型352而產生一x射線散射測量回應函數模型355。在某些實例中，x射線散射測量回應函數模型355基於x射線形式因子。

$$F(\bar{q}) = \int \rho(\bar{r}) e^{-i\bar{q} \cdot \bar{r}} d\bar{r} \quad (2)$$

其中F係形式因子，q係散射向量，且 $\rho(\mathbf{r})$ 係球面座標中的樣品之電子密度。然後，x射線散射強度由以下方程式給出

$$I(\bar{q}) = F^*F. \quad (3)$$

接收X射線散射測量回應函數模型355作為至擬合分析模型357之輸入。擬合分析模型357比較經模型化x射線散射測量回應與對應所測量資料326以判定樣品之幾何以及材料性質。

**【0091】** 在某些實例中，藉由最小化一卡方值而達成經模型化資料與實驗資料之擬合。舉例而言，針對x射線散射測量，可將一卡方值定義

為

$$\chi_{\text{SAXS}}^2 = \frac{1}{N_{\text{SAXS}}} \sum_j^{N_{\text{SAXS}}} \frac{(S_j^{\text{SAXS model}(v_1, \dots, v_L)} - S_j^{\text{SAXS experiment}})^2}{\sigma_{\text{SAXS},j}^2} \quad (4)$$

【0092】 其中  $S_j^{\text{SAXS experiment}}$  係「通道」j中之所測量x射線散射測量信號326，其中指數j闡述一系統參數集，諸如繞射級、能量、角座標等。 $S_j^{\text{SAXS model}(v_1, \dots, v_L)}$  係針對「通道」j之經模型化x射線散射測量信號 $S_j$ ，針對一結構(目標)參數集  $v_1, \dots, v_L$  經評估，其中此等參數闡述幾何(CD、側壁角度、疊對等)及材料(電子密度等)。 $\sigma_{\text{SAXS},j}$  係與第j個通道相關聯之不確定因素。 $N_{\text{SAXS}}$  係x射線計量中之通道之總數目。 $L$  係表徵計量目標之參數之數目。

【0093】 方程式(4)假定與不同通道相關聯之不確定因素係不相關的。在其中與不同通道相關聯之不確定因素係相關之實例中，可計算該等不確定因素之間的一協方差。在此等實例中，可將x射線散射測量之一卡方值表達為

$$\chi_{\text{SAXS}}^2 = \frac{1}{N_{\text{SAXS}}} \left( \bar{S}_j^{\text{SAXS model}(v_1, \dots, v_M)} - \bar{S}_j^{\text{SAXS experiment}} \right)^T V_{\text{SAXS}}^{-1} \left( \bar{S}_j^{\text{SAXS model}(v_1, \dots, v_M)} - \bar{S}_j^{\text{SAXS experiment}} \right) \quad (5)$$

其中  $V_{\text{SAXS}}$  係SAXS通道不確定因素之協方差矩陣，且T表示移項。

【0094】 在某些實例中，擬合分析模型357藉由對x射線散射測量資料326與x射線散射測量回應模型355執行一擬合分析而解析至少一個樣品參數值。在某些實例中， $\chi_{\text{SAXS}}^2$  係最佳化的。

【0095】 如上文中所闡述，藉由最小化卡方值而達成x射線散射測量資料之擬合。然而，一般而言，可藉由其他函數達成x射線散射測量資料之擬合。

【0096】 x射線散射測量計量資料之擬合對於提供對所關注幾何及/或材料參數之敏感度之任一類型之x射線散射測量技術係有利的。樣品參數可係判定性的(例如，CD、SWA等)或統計的(例如，側壁粗糙度之rms高度、粗糙度相關長度等)，只要使用闡述與樣品之x射線散射測量射束相互作用之恰當模型即可。

【0097】 一般而言，運算系統330經組態以採用即時臨界尺寸標注(RTCD)來即時存取模型參數，或其可存取預計算模型之庫以判定與樣品301相關聯之至少一個樣品參數值之一值。一般而言，可使用某種形式之CD引擎來評估一樣品之經指派CD參數與相關聯於所測量樣品之CD參數之間的差。至KLA-Tencor公司之2010年11月2日發佈之第7,826,071號美國專利中闡述用於計算樣品參數值之例示性方法及系統，該美國專利之全文以引用方式併入本文中。

【0098】 圖22圖解說明用於測量一樣品之特性之一軟x射線反射測量(SXR)計量工具500之一實施例。在某些實施例中，在一定範圍之波長、入射角及方位角內以一小射束光點大小(例如，跨越有效照射光點之小於50微米)執行一半導體晶圓之SXR測量。在一項態樣中，關於軟x射線區域(亦即，30eV至3000eV)中之x射線輻射以在5度至20度之範圍內入射之掠射角G執行SXR測量。針對一特定測量應用之掠射角G經選擇以達成至受測量之結構中之一所要穿透且最大化具有一小射束光點大小(例如，小於50微米)之測量資訊內容。

【0099】 如圖22中所圖解說明，系統500在由一入射照射射束光點照射之一樣品501之一測量區502內執行SXR測量。

【0100】 在所繪示實施例中，計量工具500包含一x射線照射源

510、聚焦光學器件511、射束發散度控制狹縫512及狹縫513。x射線照射源510經組態以產生適合於SXR測量之軟X射線輻射。X射線照射源510係一多色、高亮度、大展度源。在某些實施例中，x射線照射源510經組態以產生在介於30電子伏特至3000電子伏特之間的一範圍中之x射線輻射。一般而言，可預期能夠以足以達成高吞吐量直列式計量之通量位準產生高亮度軟X射線之任何適合高亮度x射線照射源以供應用於SXR測量之x射線照射。

**【0101】** 在某些實施例中，一x射線源包含使得x射線源能夠遞送處於不同可選擇波長之x射線輻射之一可調諧單色儀。在某些實施例中，採用一或多個x射線源來確保x射線源供應在允許至受測量之樣品中之充足穿透之波長下之光。

**【0102】** 在某些實施例中，照射源510係一高次諧波(HHG) x射線源。在某些其他實施例中，照射源510係一擺動器/波蕩器同步輻射源(SRS)。在第8,941,336及8,749,179號美國專利中闡述一例示性擺動器/波蕩器SRS，該等美國專利之內容以其全文引用方式併入本文中。

**【0103】** 在某些其他實施例中，照射源510係一雷射產生電漿(LPP)光源。在此等實施例中之某些實施例中，LPP光源包含氫、氮、氫、氬及氫發射材料中之任一者。一般而言，一適合LPP目標材料之選擇在共振軟X射線區域中針對亮度而最佳化。舉例而言，由氫發射之電漿在矽K邊緣處提供高亮度。在另一實例中，由氫發射之電漿遍及(80eV至3000eV)之整個軟X射線區域提供高亮度。如此，當期望寬頻軟X射線照射時，氫係發射材料之一良好選擇。

**【0104】** LPP目標材料選擇亦可針對可靠且長壽命光源操作而最佳

化。諸如氫、氦及氬之稀有氣體目標材料係惰性的且可在具有最少或不具有去污染處理之一閉環操作中重複使用。在第15/867,633號美國專利申請案中闡述一例示性軟X射線照射源，該美國專利申請案之內容以其全文引用方式併入本文中。

**【0105】** 在一額外態樣中，由照射源(例如，照射源510)發射之波長係可選擇的。在某些實施例中，照射源510係由運算系統530控制以最大化一或多個選定光譜區域中之通量之一LPP光源。目標材料處之雷射峰值強度控制電漿溫度且因此控制所發射輻射之光譜區域。藉由調整脈衝能量、脈衝寬度或兩者而使雷射峰值強度變化。在一項實例中，一100皮秒脈衝寬度適合於產生軟X射線輻射。如圖22中所繪示，運算系統530將致使照射源510調整自照射源510發射之波長之光譜範圍的命令信號536傳遞至照射源510。在一項實例中，照射源510係一LPP光源，且該LPP光源調整一脈衝持續時間、脈衝頻率及目標材料組合物中之任一者以實現自該LPP光源發射之波長之一所要光譜範圍。

**【0106】** 藉由非限制性實例之方式，可採用一粒子加速器源、一液態陽極源、一旋轉陽極源、一固定固態陽極源、一微焦源、一微焦旋轉陽極源、一基於電漿之源及一逆康普頓源中之任一者作為x射線照射源510。

**【0107】** 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射線輻射之電子射束源。至KLA-Tencor公司之2011年4月19日發佈之第7,929,667號美國專利中闡述用於產生高亮度液態金屬x射線照射之方法及系統，該美國專利之全文以引用方式併入本文中。

**【0108】** X射線照射源510在具有有限橫向尺寸(亦即，正交於射束

軸線之非零尺寸)之一源區內產生x射線發射。在一項態樣中，照射源510之源區由小於20微米之一橫向尺寸表徵。在某些實施例中，該源區由10微米或更小之一橫向尺寸表徵。小源大小使得能夠以高亮度照射樣品上之一小目標區，因此改良測量精確度、準確度及吞吐量。

**【0109】** 一般而言，x射線光學器件將x射線輻射整形並引導至樣品501。在某些實施例中，該等x射線光學器件使用多層x射線光學器件將x射線射束準直或聚焦至樣品501之測量區502上為小於1毫弧度發散度。在某些實施例中，該等x射線光學器件包含一或多個x射線準直鏡、x射線孔隙、x射線射束截捕器、折射x射線光學器件、繞射光學器件(諸如波帶片)、施瓦式(Schwarzschild)光學器件、Kirkpatrick-Baez光學器件、Montel光學器件、Wolter光學器件、鏡面x射線光學器件(諸如橢球面鏡)、多毛細管光學器件(諸如空心毛細管x射線波導)、多層光學器件或系統或者其任一組合。在第2015/0110249號美國專利申請案中闡述額外細節，該美國專利申請案之內容以其全文引用方式併入本文中。

**【0110】** 如圖22中所繪示，聚焦光學器件511將源輻射聚焦至位於樣品501上之一計量目標上。有限橫向源尺寸在目標上產生由來自源之邊緣之射線516及射束狹縫512及513所提供之任何射束整形定義之有限光點大小502。

**【0111】** 在某些實施例中，聚焦光學器件511包含橢圓形聚焦光學元件。在圖22中所繪示之實施例中，聚焦光學器件511在橢圓之中心處之倍率係大致1。因此，投影至樣品501之表面上之照射光點大小係與照射源大致相同之大小，該大小由於標稱掠入射角(例如，5度至20度)而針對射束展度經調整。

【0112】 在一額外態樣中，聚焦光學器件511收集源發射且選擇一或多個離散波長或光譜頻帶，且在範圍5度至20度中之掠入射角將選定光聚焦至樣品501上。

【0113】 標稱掠入射角經選擇以達成計量目標之一所要穿透以最大化信號資訊內容同時保持在計量目標邊界內。硬x射線之臨界角度係非常小的，但軟x射線之臨界角度顯著較大。作為此額外測量彈性之一結果，SXR測量在對掠入射角之精確值具有較小敏感度之情況下更深入地探測結構。

【0114】 在某些實施例中，聚焦光學器件511包含選擇所要波長或波長範圍以投影至樣品501上之漸變式多層。在某些實例中，聚焦光學器件511包含選擇一個波長且在一入射角範圍內將該選定波長投影至樣品501上之一漸變式多層結構(例如，層或塗層)。在某些實例中，聚焦光學器件511包含選擇一波長範圍且在一個入射角內將該等選定波長投影至樣品501上之一漸變式多層結構。在某些實例中，聚焦光學器件511包含選擇一波長範圍且在一入射角範圍內將該等選定波長投影至樣品501上之一漸變式多層結構。

【0115】 漸變式多層光學器件係較佳的以最小化在單層光柵結構太深時發生之光損失。一般而言，多層光學器件選擇經反射波長。選定波長之光譜頻寬最佳化提供至樣品501之通量、所測量繞射級中之資訊內容，且透過偵測器處之角分散及繞射峰值重疊來阻止信號降級。另外，採用漸變式多層光學器件來控制發散度。在每一波長下之角發散度針對偵測器處之通量及最少空間重疊而最佳化。

【0116】 在某些實例中，漸變式多層光學器件選擇波長以增強來自

特定材料介面或結構尺寸之繞射信號之反差及資訊內容。舉例而言，該等選定波長可經選擇以橫跨元素特定之共振區域(例如，矽K邊緣、氮、氧K邊緣等)。另外，在此等實例中，照射源亦可經調諧以最大化選定光譜區域中之通量(例如，HHG光譜調諧、LPP雷射調諧等)。

**【0117】** 在某些實施例中，聚焦光學器件511包含各自具有一橢圓形表面形狀之複數個反射光學元件。每一反射光學元件包含一基板及經調諧以反射一不同波長或波長範圍之一個多層塗層。在某些實施例中，各自反射一不同波長或波長範圍之複數個反射光學元件(例如，1至5)以各入射角來配置。在一額外實施例中，各自反射一不同波長或波長範圍之多個反射光學元件集(例如，2至5)各自以一不同入射角來配置。在某些實施例中，該多個反射光學元件集在測量期間同時將照射光投影至樣品501上。在某些其他實施例中，該多個反射光學元件集在測量期間依序將照射光投影至樣品501上。在此等實施例中，採用主動快門或孔隙來控制投影至樣品501上之照射光。

**【0118】** 在某些實施例中，聚焦光學器件511將在多個波長、方位角及AOI下之光聚焦於同一計量目標區上。

**【0119】** 在一額外態樣中，藉由主動地定位聚焦光學器件之一或多個鏡元件而調整投影至同一計量區上之波長、AOI、方位角或其任一組合之範圍。如圖22中所繪示，運算系統530將致使致動器系統515調整聚焦光學器件511之光學元件中之一或多者之位置、對準或兩者的命令信號傳遞至致動器系統515以達成投影至樣品501上之所要範圍之波長、AOI、方位角或其任一組合。

**【0120】** 一般而言，入射角係針對每一波長而選擇的以最佳化照射

光在受測量之計量目標中之穿透及吸收。在諸多實例中，測量多層結構且入射角經選擇以最大化與所要所關注層相關聯之信號資訊。在疊對計量之實例中，波長及入射角經選擇以最大化因自先前層之散射與自當前層之散射之間的干擾而產生之信號資訊。另外，方位角亦經選擇以最佳化信號資訊內容。另外，方位角經選擇以確保偵測器處之繞射峰值之角距。

**【0121】** 在一額外態樣中，一RSAX計量系統(例如，計量工具500)包含一或多個射束狹縫或孔隙以將入射於樣品501上之照射射束514整形且選擇性地阻擋將以其他方式照射受測量之一計量目標之照射光之一部分。一或多個射束狹縫界定射束大小及形狀，使得x射線照射光點裝配於受測量之計量目標之區內。另外，一或多個射束狹縫界定照射射束發散度以最小化偵測器上之繞射級之重疊。

**【0122】** 在另一額外態樣中，一RSAX計量系統(例如，計量工具500)包含一或多個射束狹縫或孔隙以選擇同時照射受測量之一計量目標之一照射波長集。在某些實施例中，包含多個波長之照射同時入射於受測量之一計量目標上。在此等實施例中，一或多個狹縫經組態以使包含多個照射波長之照射通過。一般而言，受測量之一計量目標之同時照射係較佳的以增加信號資訊及吞吐量。然而，在實務上，偵測器處之繞射級之重疊限制照射波長範圍。在某些實施例中，一或多個狹縫經組態以使不同照射波長依序通過。在某些實例中，在較大角發散度下之順序照射提供較高吞吐量，此乃因當射束發散度較大時順序照射之信雜比與同時照射相比較可係較高的。當依序執行測量時，繞射級重疊問題並非一問題。此增加測量彈性且改良信噪比。

**【0123】** 圖22繪示位於在聚焦光學器件511與射束整形狹縫513之間

的射束路徑中之一射束發散度控制狹縫512。射束發散度控制狹縫512限制提供至受測量之樣品之照射之發散度。射束整形狹縫513位於在射束發散度控制狹縫512與樣品501之間的射束路徑中。射束整形狹縫513進一步將入射射束514整形且選擇入射射束514之照射波長。射束整形狹縫513位於緊接在樣品501之前之射束路徑中。在一項態樣中，射束整形狹縫513之狹縫位於緊密接近於樣品501處以最小化入射射束光點大小由於有限源大小所定義之射束發散度而發生之放大。

**【0124】** 在某些實施例中，射束整形狹縫513包含多個獨立經致動之射束整形狹縫。在一項實施例中，射束整形狹縫513包含四個獨立經致動之射束整形狹縫。此四個射束整形狹縫有效地阻擋傳入射束之一部分且產生具有一盒形照射剖面之一照射射束514。

**【0125】** 射束整形狹縫513之狹縫由最少化散射且有效地阻擋入射輻射之材料構造。例示性材料包含單晶材料，諸如鍺、砷化鎵、磷化銦等。通常，狹縫材料沿著一結晶方向裂開，而非鋸開，以跨越結構邊界最小化散射。另外，狹縫相對於傳入射束而定向，使得傳入輻射與狹縫材料之內部結構之間的相互作用產生最小量之散射。晶體附接至由高密度材料(例如，鎢)製成之每一狹縫固持器以達成在狹縫之一個側上完全阻擋x射線射束。

**【0126】** X射線偵測器519收集自樣品501散射之x射線輻射518且根據一SXR測量模態產生指示對入射x射線輻射敏感的樣品501之性質之一輸出信號535。在某些實施例中，x射線偵測器519收集經散射x射線518，而樣品定位系統540將樣品501定位且定向以產生以角度方式解析之經散射x射線。

【0127】 在某些實施例中，一SXR系統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。在某些實施例中，一單個光子計數偵測器偵測所偵測光子之位置及數目。

【0128】 在某些實施例中，x射線偵測器解析一或多個x射線光子能量且針對每一x射線能量分量產生指示樣品之性質之信號。在某些實施例中，x射線偵測器119包含以下各項中之任一者：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、一以氣體填充之比例計數器、一閃爍器或一螢光材料。

【0129】 以此方式，除像素位置及計數數目之外，亦按照能量來區別偵測器內之X射線光子相互作用。在某些實施例中，藉由比較X射線光子相互作用之能量與一預定上部臨限值及一預定下部臨限值而區別X射線光子相互作用。在一項實施例中，經由輸出信號535將此資訊傳遞至運算系統530以用於進一步處理及儲存。

【0130】 因用多個照射波長同時照射一週期性目標產生之繞射圖案由於繞射之角分散而在偵測器平面處經分開。在此等實施例中，採用積分偵測器。使用區偵測器(例如，真空相容背側CCD或混合像素陣列偵測器)來測量該等繞射圖案。角取樣針對布拉格峰值積分而最佳化。若採用像素位準模型擬合，則角取樣針對信號資訊內容而最佳化。取樣速率經選擇以阻止零階信號之飽和。

【0131】 在一額外態樣中，採用一SXR系統以基於所散射光之一或多個繞射級而判定一樣品之性質(例如，結構參數值)。如圖22中所繪示，計量工具500包含一運算系統530，採用運算系統530以獲取由偵測器519產生之信號535且至少部分地基於該等所獲取信號而判定樣品之性質。

【0132】 期望在大範圍之波長、入射角及方位角下執行測量以增加所測量參數值之精確度及準確度。此方法藉由擴展可用於分析之資料集之數目及多樣性而降低參數當中之相關性。

【0133】 收集對經繞射輻射之強度隨照射波長及相對於晶圓表面法線之x射線入射角而變之測量。含納於多個繞射級中之資訊通常在正在考量之各模型參數之間係唯一的。因此，x射線散射以小誤差及經降低參數相關性產生所關注參數值之估計結果。

【0134】 在一項態樣中，計量工具500包含固定地支撐晶圓501且耦合至樣品定位系統540之一晶圓卡盤503。樣品定位系統540經組態以主動地將樣品501相對於照射射束514以六個自由度定位。在一項實例中，運算系統530將指示樣品501之所要位置之命令信號(未展示)傳遞至樣品定位系統540。作為回應，樣品定位系統540產生至樣品定位系統540之各種致動器之命令信號以達成樣品501之所要定位。

【0135】 在一額外態樣中，一SXR系統之聚焦光學器件以至少5之一倍率(亦即，0.2或更小之倍率因子)將照射源之一影像投影至受測量之樣品上。如本文中所闡述之一SXR系統採用具有由20微米或更小之一橫向尺寸表徵之一源區之一軟x射線照射源(亦即，源大小係20微米或更小)。在某些實施例中，以至少5之一縮倍因子採用聚焦光學器件(亦即，將源之一影像投影至比源大小小四倍之晶圓上)從而以4微米或更小之一入射照射光點大小將照射投影至一樣品上。

【0136】 在某些實例中，基於SXR之計量涉及藉由以所測量資料對一預定測量模型之反解而判定樣本之尺寸。該測量模型包含幾個(大約十個)可調整參數且表示樣品之幾何結構及光學性質以及測量系統之光學性

質。反解方法包含但不限於基於模型之迴歸、斷層掃描、機器學習或其任一組合。以此方式，藉由對一參數化測量模型之值求解來估計目標輪廓參數，該等值最小化所測量經散射x射線強度與經模型化結果之間的誤差。

**【0137】** 在第2019/0017946號美國專利申請案中提供對基於軟x射線之計量系統之額外說明，該美國專利申請案之內容以其全文引用方式併入本文中。

**【0138】** 在另一額外態樣中，運算系統530經組態以產生一樣品之一所測量結構之一結構模型(例如，幾何模型、材料模型或經組合幾何與材料模型)，產生包含來自結構模型之至少一個幾何參數之一SXR回應模型，且藉由執行SXR測量資料與SXR回應模型之一擬合分析而解析至少一個樣品參數值。使用分析引擎來比較所模擬SXR信號與所測量資料，藉此允許判定樣本之幾何以及材料性質(諸如電子密度)。在圖22中所繪示之實施例中，運算系統530經組態為一模型構建與分析引擎(例如，模型構建與分析引擎350)，該模型構建與分析引擎經組態以實施如參考圖5所闡述之模型構建與分析功能性。

**【0139】** 在某些實例中，模型構建與分析引擎130及350藉由側饋分析、前饋分析及並行分析之任一組合而改良所測量參數之準確度。側饋分析係指採取關於同一樣品之不同區域之多個資料集且將自第一資料集判定之共同參數傳遞至第二資料集上以供分析。前饋分析係指採取關於不同樣品之資料集且使用一逐步複製確切參數前饋方法將共同參數向前傳遞至後續分析。並行分析係指將一非線性擬合方法並行或同時應用於之多個資料集，其中在擬合期間耦合至少一個共同參數。

**【0140】** 多重工具與結構分析係指基於回歸、一查找表(亦即，

「庫」匹配)或多個資料集之另一擬合程序而進行之前饋、側饋或並行分析。至KLA-Tencor公司之於2009年1月13日發佈之第7,478,019號美國專利闡述用於多重工具與結構分析之例示性方法及系統，該美國專利以其全文引用方式併入本文中。

**【0141】** 應認識到，可藉由單電腦系統116、330及530或另一選擇係多電腦系統116、330及530來實施本發明通篇中所闡述之各個步驟。此外，系統100、300及500之不同子系統(諸如光譜橢圓偏光計101)可包含適合於實施本文中所闡述之步驟之至少一部分之一電腦系統。因此，前述說明不應解釋為對本發明之一限制而僅為一圖解說明。此外，一或多個運算系統116可經組態以執行本文中所闡述之方法實施例中之任一者之任一(任何)其他步驟。

**【0142】** 運算系統116、330及530可包含但不限於一個人電腦系統、大型電腦系統、工作站、影像電腦、並行處理器或此項技術中已知之任一其他裝置。一般而言，術語「運算系統」可廣義地定義為囊括具有執行來自一記憶體媒體之指令之一或多個處理器的任一裝置。一般而言，運算系統116、330及530可分別與諸如測量系統100、300及500之一測量系統整合在一起，或另一選擇係，可與任一測量系統分開。在這個意義上，運算系統116、330及530可遠端地定位且分別自任何測量源及使用者輸入源接收測量資料及使用者輸入。

**【0143】** 實施諸如本文中所闡述之彼等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。該載體媒體可係一傳輸媒體，諸如一導線、電纜或無線傳輸鏈路。該載體媒體亦可包含一電腦可讀媒體，諸如一唯讀記憶體、一隨機存取記憶體、一磁碟或光碟或者一

磁帶。

【0144】 類似地，實施諸如本文中所闡述之彼等方法之方法之程式指令334可經由一傳輸媒體(諸如一導線、纜線或無線傳輸鏈路)傳輸。舉例而言，如圖4中所圖解說明，儲存於記憶體332中之程式指令經由匯流排333傳輸至處理器331。程式指令334儲存於一電腦可讀媒體(例如，記憶體332)中。例示性電腦可讀取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。

【0145】 可經由一傳輸媒體(諸如一導線、電纜或無線傳輸鏈路)傳輸實施諸如本文中闡述之彼等方法之方法之程式指令534。舉例而言，如圖22中所圖解說明，儲存於記憶體532中之程式指令經由匯流排533傳輸至處理器531。程式指令534儲存於一電腦可讀媒體(例如，記憶體532)中。例示性電腦可讀取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。

【0146】 基於奈米線之半導體裝置亦稱為閘極全包覆裝置。半導體通道係奈米線。該奈米線由形成裝置之閘極之一系列材料全包覆地包覆。該等包覆件材料包含諸如二氧化矽、氧化鉛、氮化鈦、氮化鉍等之材料。使用形成全包覆奈米線通道之一包覆閘極之一原子層沈積程序將該等包覆件材料沈積於奈米線上。

【0147】 圖6繪示一基於奈米線之半導體結構150。結構150包含奈米線151A至151C、源極/漏極結構152及153以及介電材料154。如圖6中所圖解說明，奈米線151A至151C在源極/漏極結構152及153之間無支撐地延伸。因此，毗鄰奈米線之間存在空隙。

【0148】 在一項態樣中，一模型構建工具(例如，模型構建與分析引

擎130及350)包含可用作一複雜基於奈米線之半導體裝置之一模型中之構建塊之複雜基於奈米線之半導體裝置子結構之可重複使用參數模型。此使模型構建程序更直觀且不易於出錯。此外，由於可重複使用參數子結構模型針對特定基於奈米線之結構及測量應用而最佳化，因此所得離散化測量模型比傳統模型在計算上更高效。另外，可保存且在不同項目及不同使用者當中共用該等參數子結構模型。

**【0149】** 在一項態樣中，闡述經採用以基於奈米線製作程序而準確地將下一代半導體裝置之幾何結構模型化之一新參數子結構模型(亦即，基元奈米線構建塊)集。在某些實例中，此等基元奈米線構建塊允許一使用者構建以高準確度表示實際奈米線幾何結構且允許所有可能自由度之測量模型。在某些實例中，計量系統採用此等模型來執行與不同奈米線製作程序相關聯之幾何參數、材料特性等之基於模型之測量。

**【0150】** 在一額外態樣中，該可重複使用參數子結構模型完全由模型構建工具之使用者所輸入之獨立參數之值來定義。與模型形狀及在構成幾何元件當中之內部約束相關聯之所有其他變數預定義於該模型內。因此，除獨立參數之值以外，不需要其他使用者輸入來完全定義該可重複使用參數子結構模型。此大大簡化模型構建程序。

**【0151】** 每一基元奈米線構建塊完全由使用者所輸入之獨立參數之值定義。不需要其他使用者輸入來定義基元奈米線構建塊之形狀。此顯著地簡化與基於奈米線之半導體結構相關聯之模型構建程序。此引起以較少錯誤更加快速地將複雜基於奈米線之半導體裝置模型化。

**【0152】** 藉由非限制性實例之方式，圖7至圖13繪示數個不同基元奈米線構建塊。

【0153】 圖7繪示一圓柱形基元奈米線構建塊160。藉由一長度 $L$ 、一直徑 $D$ 、在與晶圓基板之表面平行之一平面中之一定向角及一或多個材料參數來將圓柱形奈米線構建塊160參數化。該定向角判定圓柱形奈米線160在與晶圓基板之表面平行之一平面中之定向。

【0154】 圖8繪示具有修圓邊緣之一正方形基元奈米線構建塊161。藉由一長度 $L$ 、一剖面高度 $H$ 、一剖面寬度 $W$ 、在每一角落處之一圓角半徑 $R$ 、在與晶圓基板之表面平行之一平面中之一定向角及一或多個材料參數來將正方形奈米線構建塊161參數化。

【0155】 圖9繪示一矩形或板形基元奈米線構建塊162。藉由一長度 $L$ 、一剖面高度 $H$ 、一剖面寬度 $W$ 、在與晶圓基板之表面平行之一平面中之一定向角及一或多個材料參數來將板形奈米線構建塊162參數化。

【0156】 圖10繪示一六角形基元奈米線構建塊163。藉由一長度 $L$ 、剖面側長度 $S$ 、在與晶圓基板之表面平行之一平面中之一定向角及一或多個材料參數來將六角形奈米線構建塊163參數化。

【0157】 圖11繪示一橢圓形基元奈米線構建塊164。藉由形狀參數 $D_1$ 及 $D_2$  (亦即，分別為長半軸及短半軸之兩倍)、長度 $L$ 、在與晶圓基板之表面平行之一平面中之一定向角及一或多個材料參數來將橢圓形奈米線構建塊164參數化。

【0158】 圖12繪示一階梯狀基元奈米線構建塊165。階梯狀奈米線構建塊165具有兩個不同剖面。一個剖面定義階梯狀塊之一中間區段且另一剖面定義在該中間區段之兩個端上之端區段。藉由形狀參數 $S_{inner}$ 及長度 $L_{inner}$ 來將該中間區段參數化。藉由一較小形狀參數 $S_{outer}$ 及長度 $L_{outer}$ 來將該等端區段參數化。階梯狀塊165自該中間剖面突然地過渡至該等端剖

面。亦藉由在與晶圓基板之表面平行之一平面中之一定向角及一或多個材料參數來將階梯狀塊165參數化。

【0159】 圖13繪示一伸長基元奈米線構建塊166。伸長奈米線構建塊166具有兩個不同剖面。一個剖面定義伸長形塊之一中間區段且另一剖面定義在該中間區段之兩個端上之端區段。藉由一直徑 $D_{inner}$ 及長度 $L_{inner}$ 來將該中間區段參數化。藉由一較小直徑 $D_{outer}$ 及長度 $L_{outer}$ 來將該等端區段參數化。伸長形塊166自該中間剖面平滑地錐形化至該等端剖面。亦藉由在與晶圓基板之表面平行之一平面中之一定向角及一或多個材料參數來將伸長形塊166參數化。

【0160】 一般而言，每一奈米線塊可經定向使得奈米線之中央軸線(例如，圓柱形奈米線160之中央軸線A)平行於晶圓基板之表面(亦即，一橫向奈米線)。此類似於圖6中所繪示之奈米線151A至151C之定向。在某些其他實例中，一奈米線可經定向使得奈米線之中央軸線垂直於晶圓基板之表面(亦即，一垂直奈米線)。

【0161】 奈米線之形狀將顯著影響裝置效能。取決於應用，可期望一個奈米線形狀甚於另一形狀。因此，奈米線構建塊應係撓性的且可定製的以考量所有預期形狀。

【0162】 一般而言，一使用者與一奈米線結構模型構建模組(例如，模型構建與分析引擎130之結構模型構建模組131或模型構建與分析引擎350之結構模型構建模組351)之一圖形使用者介面互動以選擇一所要基元奈米線構建塊且藉由輸入獨立參數之適當值而定義特定形狀。

【0163】 如圖7至圖13中所繪示，完全由僅幾個獨立參數定義之一單個可重複使用參數子結構模型替換包含諸多幾何基元以及許多約束及形

狀參數值之一模型。

【0164】 相比之下，圖7至圖13中所繪示之奈米線之一結構模型將需要諸多現有基元構建塊(例如，正方形截頭椎體)以及構建塊中之每一者間之其相互關係及約束之定義來將一類似奈米線結構模型化。因此，與使用現有基元構建塊來構建一複雜奈米線裝置結構相關聯之困難係顯然的。

【0165】 在一奈米線半導體製作程序中，舉例而言，在圖6中所繪示之閘極中沈積交替材料層。在一項實例中，沈積矽及矽鍺之交替層。在移除假性閘極材料(例如，多晶矽)之後，釋放奈米線。奈米線釋放係一高度選擇性蝕刻程序，其中(舉例而言)排他地蝕刻矽鍺層，從而留下矽奈米線，例如，圖6中所繪示之奈米線151A至151C。在奈米線釋放之後，在沈積金屬之前在閘極上沈積一系列超薄材料。此等材料通常係非常薄的且意欲全圍地包覆奈米線。在一項實例中，一10埃厚之二氧化矽層全圍奈米線而沈積。此二氧化矽包覆件自身由一高K材料包覆件包覆。該高K材料包覆件隨後由一10埃厚之氮化鈦包覆件、然後5至10埃之一障壁金屬氮化鉭包覆件、然後另一個氮化鈦包覆件、然後一個碳化鈦鋁包覆件及然後一個氮化鈦包覆件包覆。藉由原子層沈積(ALD)而形成沈積。PMOS及NMOS需要可改變臨界層數目之不同高k金屬閘極(HKMG)程序流程。HKMG程序在CMOS裝置之前段製程(FEOL)迴圈結束時。在閘極周圍之包覆件數目以及其厚度可取決於技術節點或裝置類型(例如，N或P)而變化。

【0166】 在某些實施例中，可重複使用參數子結構模型係結構特定的。圖14繪示表示包覆在一奈米線上之兩個保形層之一可重複使用參數子結構模型170。如圖14中所繪示，定義模型之形狀之獨立參數係每一保形

層之厚度 $D_1$ 及 $D_2$ 、奈米線之直徑 $D_w$ 及經包覆奈米線結構之長度 $L$ 。視情況，與層中之每一者相關聯之材料參數可定義為可由一使用者定義之獨立變數。

**【0167】** 模型構建工具之一使用者僅需要輸入此等參數之值來完全定義表示一經包覆奈米線之此可重複使用參數子結構模型170之幾何結構。與模型形狀及內部約束相關聯之所有其他變數預定義於該模型內，且不需要額外輸入來完全定義模型170之形狀。

**【0168】** 一般而言，基本奈米線之形狀定義包覆件之形狀，例如，圓柱形、矩形、橢圓形等。預設地，當使用者將一包覆件添加至奈米線時，包覆件保形於奈米線形狀。一包覆件定義包含一基礎構建塊，亦即，包覆件在其上保形之一構建塊。與一包覆件相關聯之該基礎構建塊排他地係一奈米線或一先前包覆件。

**【0169】** 在圖14中所繪示之實施例中，每一包覆件全包围基本基礎塊(例如，基本奈米線或先前包覆件)且沿著該基本基礎塊以一均勻厚度係保形的。

**【0170】** 然而，高 $K$ 金屬閘極(HKMG)程序係非均勻的。全包围包覆件取決於定向而具有不同厚度。舉例而言，預期一給定高 $K$ 包覆件層之厚度在奈米線之頂部側上比奈米線之底部側大。

**【0171】** 在一額外態樣中，一複合奈米線構建塊包含一非均勻厚度包覆件。圖15A至圖15B分別繪示一非均勻厚度包覆件構建塊171之一透視圖及一端視圖。如圖15A中所繪示，藉由具有一直徑 $D_w$ 及一長度 $L$ 之一圓柱形奈米線將非均勻厚度包覆件構建塊171之幾何結構參數化。如圖15B中所繪示，亦藉由具有在奈米線上面之一厚度 $D_{T1}$ 及在奈米線下面之

一厚度 $D_{B1}$ 的在圓柱形奈米線周圍之一包覆件而將非均勻厚度包覆件構建塊171之幾何結構參數化。類似地，藉由在奈米線上面之一厚度 $D_{T2}$ 及在奈米線下面之一厚度 $D_{B2}$ 而將在第一包覆件周圍之一包覆件參數化。在奈米線上面及下面之厚度之差內插在奈米線之頂部與底部之間的定向處。

【0172】 在另一額外態樣中，一複合奈米線構建塊包含一均勻保形襯裡-包覆件。圖16A至圖16C分別繪示保形襯裡-包覆件構建塊180之一等距視圖、一正面圖及一側視圖。跨越晶圓沈積上文中所闡述之HKMG材料。因此，材料不僅包裹在奈米線上，而且保形於結構形貌之形狀。保形襯裡-包覆件構建塊將材料在所有經曝露結構上之沈積(例如，在閘極頂部表面184上之沈積、在閘極壁表面183及奈米線181A至181B周圍之包覆物182上之沈積)模型化。圖16B繪示經包覆奈米線181A至181B之間的空隙。如圖16B中所繪示，襯裡-包覆件材料之厚度 $T$ 在所有表面上方係均勻的。因此，均勻保形襯裡-包覆件構建塊由所沈積材料之厚度 $T$ 及材料性質定義。

【0173】 在另一額外態樣中，一複合奈米線構建塊包含一非均勻保形襯裡-包覆件。圖17A至圖17C分別繪示非均勻保形襯裡-包覆件構建塊190之一等距視圖、一正面圖及一側視圖。跨越晶圓沈積上文中所闡述之HKMG材料。因此，材料不僅包裹在奈米線上，而且保形於結構形貌之形狀。然而，不可在所有表面上均勻地沈積材料。非均勻保形襯裡-包覆件構建塊將材料在所有經曝露結構上之非均勻沈積(例如，在閘極頂部表面194上之沈積、在閘極壁表面193及奈米線191A至191B周圍之包覆物192上之沈積)模型化。圖17B繪示經包覆奈米線191A至191B之間的空隙。如圖17B中所繪示，襯裡之閘極頂部表面194處之襯裡-包覆件材料之厚度 $T_2$

不同於閘極壁表面193之厚度 $T_1$ 。如圖17C中所繪示，在奈米線191A至191B周圍之包覆件之厚度係 $T_3$ 。因此，非均勻保形襯裡-包覆件構建塊190由頂部襯裡厚度 $T_2$ 、閘極壁襯裡厚度 $T_1$ 、包覆件厚度 $T_3$ 及材料性質來定義。在某些實施例中，非均勻保形襯裡-包覆件構建塊190之底部閘極厚度亦由一使用者獨立地選擇。

**【0174】** 在圖16A至圖16C及圖17A至圖17C中所繪示之實施例中，每一襯裡-包覆件全包圍基本基礎塊(例如，基本奈米線或先前包覆件)且沿著該基本基礎塊係保形的。

**【0175】** 在某些實施例中，一襯裡-包覆件經定義使得襯裡-包覆件複合構建塊定義在 $N$ 個導線周圍之 $M$ 個包覆件以及覆蓋閘極壁、閘極底部及閘極頂部之一單個襯裡。

**【0176】** 在另一額外態樣中，一複合奈米線構建塊包含一保形間隔件-包覆件。圖18A至圖18C分別繪示保形間隔件-包覆件構建塊200之一等距視圖、一正面圖及一側視圖。跨越晶圓沈積上文中所闡述之HKMG材料。在沈積之後，最佳化材料之高度。更具體而言，蝕除襯裡之頂部且形狀成為一間隔件與一包覆件之一組合。保形間隔件-包覆件構建塊將材料在所有經曝露結構上之蝕刻(例如，在閘極壁表面203及奈米線201A至201B周圍之包覆物202上之蝕刻)模型化。圖18B繪示經包覆奈米線201A至201B之間的空隙。圖18B繪示在襯裡之頂部附近之厚度 $T$ 。圖18C繪示在蝕刻之後間隔件-包覆件之高度 $H$ 。因此，保形間隔件-包覆件構建塊200由襯裡厚度 $T$ 、間隔件高度 $H$ 及材料性質定義。在某些實施例中，間隔件-包覆件厚度係非均勻的。在某些實例中，底部閘極厚度、閘極壁厚度及包覆件厚度中之任一者亦由一使用者獨立地選擇。

【0177】 在圖18A至圖18C中所繪示之實施例中，每一間隔件-包覆件全包圍基本基礎塊(例如，基本奈米線或先前包覆件)且沿著該基本基礎塊係保形的。

【0178】 在某些實施例中，一間隔件-包覆件經定義使得間隔件-包覆件複合構建塊定義在N個導線周圍之M個包覆件以及覆蓋閘極壁及閘極底部之一單個間隔件。

【0179】 一般而言，基元構建塊經整合且約束在一起以將諸如襯裡-包覆件180及190以及間隔件-包覆件200之複合構建塊模型化。每一獨立複合構建塊之必要約束在內部預定義且作為複合構建塊之一部分嵌入至其設計中。在每次使用複合構建塊時強制執行該等約束。

【0180】 內間隔件係特定用於基於奈米線之裝置之一技術程序。需要內間隔件來減少奈米線通道與延伸區域中之源極/漏極結構之間的寄生電容。內間隔件係在鰭片蝕刻之後填充源極/漏極區域中之兩個奈米線之間間隙之一低K材料。圖19A繪示在內間隔件程序步驟之前之一奈米線結構210。如圖19A中所繪示，空隙211A至211C存在於毗鄰奈米線之間。圖19B繪示在內間隔件程序步驟之後之奈米線結構220。如圖19B中所繪示，空隙211A至211C填充有內間隔件221A至221C。

【0181】 在另一額外態樣中，一複合奈米線構建塊包含一內間隔件。用於內間隔件構建塊之基礎塊係奈米線構建塊。預設地，當沈積於奈米線上時，內間隔件填充每兩個毗鄰奈米線之間的空氣間隙且保形於空氣間隙形狀。在某些實例中，內間隔件厚度、高度及CD係自動約束的。在某些其他實例中，自動約束方程式係可編輯的。在一項實例中，內間隔件之厚度係可編輯的，亦即，可由使用者獨立地選擇，以將其中內間隔件在

橫向方向(亦即，平行於奈米線之長度軸線之方向)上未填滿空氣間隙之用例模型化。

**【0182】** 圖20A至圖20C分別繪示內間隔件構建塊連同對應奈米線之一陣列220之一正面圖、一側視圖及一等距視圖。圖20A至圖20C繪示在奈米線釋放程序步驟之後相對於奈米線之內間隔件。如圖20A至圖20C中所繪示，每一內間隔件定位於兩個矽奈米線之間。如圖20A至圖20B中所繪示，每一內間隔件之幾何結構由以下六個參數定義：在橫向方向上之厚度 $T$ 、內間隔件 $CD$ 、內間隔件高度 $H$ 、將兩個橫向內間隔件分開之間距 $P$ 、內間隔件之側壁角度及材料參數。預設地，內間隔件之厚度約束至空氣間隙厚度，內間隔件 $CD$ 約束至空氣間隙 $CD$ ，且高度 $H$ 係兩個毗鄰奈米線之間的垂直空間。間距亦係奈米線間距。在某些實例中，內間隔件之厚度及材料性質係由使用者選擇之僅有獨立參數，且其餘的係自動約束的，亦即，由內間隔件構建於其上之基礎塊定義。

**【0183】** 在圖20A至圖20C中所繪示之實施例中，每一內間隔件構建於基本基礎塊(例如，基本奈米線或先前包覆件)上。

**【0184】** 可重複使用參數子結構模型170、171、180、190、200、210及220係複合奈米線構建塊之實例。一複合奈米線構建塊包含多個基元奈米線構建塊之一組合。在某些實例中，一複合奈米線構建塊包含在一或多個方向上彼此間隔開一使用者指定距離之多個奈米線(例如， $N$ 個奈米線)。舉例而言，圖20C繪示包含奈米線及內間隔件之一個三維陣列之一內間隔件複合構建塊。

**【0185】** 在另一額外態樣中，一模型構建工具將一或多個可重複使用參數模型整合成一複雜基於奈米線之半導體裝置之一測量模型。在某些

實施例中，一模型構建工具接收來自一使用者之輸入以組合幾何基元與一可重複使用參數子結構模型以形成一測量模型。在某些其他實施例中，一半導體裝置之一測量模型完全由一個可重複使用參數模型闡述。在某些其他實施例中，一半導體裝置之一測量模型完全由兩個或兩個以上可重複使用參數模型之一組合闡述。

**【0186】** 在另一態樣中，一模型構建工具基於來自一使用者之輸入而產生一複合奈米線構建塊模型。

**【0187】** 在某些實施例中，一模型構建工具基於若干個基元奈米線構建塊之一合成而產生一可重複使用參數子結構模型(例如，一複合奈米線構建塊)，或產生由一使用者指示之若干較簡單可重複使用參數子結構模型(例如，複合奈米線構建塊)。該合成將個別模型之集合改變成可用作一測量模型之一元件(好像其係一基元構建塊)之一單個可重複使用參數子結構模型。該模型構建工具保存該子結構模型以供稍後使用。在內部，該子結構模型包含完全整合所有基本幾何基元所必要之約束。此等約束經保存為該子結構模型之一部分且在該子結構模型之每個例項處經執行。以此方式，使用者可以預定義約束形成常用複雜形狀之一集合。該子結構模型可經卸載且保存至檔案中，重新裝載至一項目中且被使用，且在使用者當中共用。

**【0188】** 由該模型構建工具產生之該等可重複使用參數子結構模型使得一使用者或使用者群組能夠產生可重複使用之一子結構庫。使用同一子結構模型之不同例項之不同使用者可預期達成相同數值結果。

**【0189】** 可以不同方式產生可重複使用參數子結構模型。在一項實施例中，一使用者藉由使用者產生之電腦程式碼指導模型構建工具來組合且

約束一或多個幾何基元、一或多個現有子結構模型或任一組合。此引起由於經減少數目個離散化點而產生一計算上更高效測量模型之一較平滑模型離散化。一般而言，含有較少幾何構建塊及較少約束之模型引起一較快離散化，此乃因離散化引擎不再需要透過如此多之幾何構建塊及約束來剖析。在某些實施例中，一第一可重複使用參數模型之離散化點在基本運算系統之一浮點精度內與一第二可重複使用參數模型之離散化點對準以確保來自經組合模型之可重複計算結果。

**【0190】** 在某些其他實例中，一使用者可與允許一使用者選擇一或多個幾何基元、一或多個現有子結構模型或任一組合之一圖形使用者介面(GUI)互動，且然後指示使用者期望將此等元件分組到一起且選擇所要獨立參數。作為回應，模型構建工具自動產生適當約束以實現一完全整合式參數子結構模型。該使用者然後可將新創建之參數子結構模型輸出至可由其他者使用之一檔案中。在另一實例中，新創建之參數子結構模型可在模型構建工具中作為可由一使用者選擇以構造一測量模型之一可用構建塊或再一更複雜參數子結構模型而列出。可重複使用參數子結構模型允許多個使用者對一複雜模型之不同部分協作地工作且在最後階段將其組裝到一起。

**【0191】** 藉由組合兩個或兩個以上可重複使用參數子結構模型而非幾何基元來顯著減少組裝一複雜裝置模型所需要之組件數目。此外，亦顯著減少必須由使用者指定之組件間之關係之數目。此簡化初始模型構建程序，使其不易於出錯，且使在不同使用者之間轉移模型為簡單的。

**【0192】** 在另一額外態樣中，該模型構建工具產生複雜裝置子結構之可重複使用參數模型且使該等可重複使用參數模型可加以利用，該等可

重複使用參數模型包含嵌入至其設計中的特定半導體程序之關鍵特性。更具體而言，一可重複使用參數子結構模型包含允許使用者指定藉由一或多個程序步驟形成之晶圓人工製品之控制件。

**【0193】** 在一項實施例中，一可重複使用參數模型表示多個程序步驟。此外，使用者能夠選擇將哪一程序步驟模型化。舉例而言，若一使用者想要首先將一溝渠蝕刻程序步驟模型化，則該使用者控制該可重複使用參數模型以包含形成溝渠蝕刻所需要之程序(亦即，膜沈積及溝渠蝕刻步驟)。該使用者將定義在膜沈積步驟中使用之材料，定義所沈積膜之厚度，且定義溝渠之尺寸。若使用者想要將一平坦化步驟模型化，則使用者以先前定義之溝渠蝕刻模型開始且然後控制可重複使用參數模型以包含形成平坦化結構所需要之程序(亦即，保形沈積及平坦化步驟)。使用者將定義保形沈積數目且針對每一沈積之材料/厚度定義平坦化之深度。以此方式，使用者能夠個別地控制由可重複使用參數模型表示之程序步驟中之每一者。因此，可利用一單個模型來測量多個程序步驟。

**【0194】** 在某些微影焦點/劑量應用中，堆疊式裝置結構之抗蝕線經模型化為以如下方式約束之堆疊梯形：1)毗鄰梯形之頂部臨界尺寸(TCD)及底部臨界尺寸(BCD)經約束為相等的，2)個別梯形之高度經約束為相等的，3)個別臨界尺寸經約束為使用者定義之焦點及劑量參數之函數，及4)個別梯形之高度經約束為前述焦點及劑量參數之一函數。傳統上，所有此等約束需要由使用者設定。

**【0195】** 在另一額外態樣中，該模型構建工具產生複雜裝置子結構之可重複使用參數模型且使該等可重複使用參數模型可加以利用，該等可重複使用參數模型包含測量應用特定細節(例如，自特定應用導出之約

束、尺寸等)。

【0196】 在某些實例中，模型構建工具讀取含有個別尺寸之方程式之一檔案。通常藉由諸如可自KLA-Tencor公司(密歇根市，加利福尼亞州(USA))購得之PROLITH軟體之一微影模擬器來產生此檔案。基於此應用資訊，模型構建工具自動設定可重複使用參數子結構模型之參數化及約束。

【0197】 在另一實例中，亦可採用模型構建工具來產生闡述在某些光學計量應用中所使用之場增強元件之可重複使用參數子結構模型。在指派給KLA-Tencor公司之第8,879,073號美國專利中進一步詳細地闡述場增強元件，該美國專利之標的物以其全文引用方式併入本文中。可採用模型構建工具來針對每一類型之場增強元件及不同應用產生可重複使用參數子結構模型。

【0198】 在再一實例中，亦採用一模型構建工具來產生闡述由計量目標設計或疊對設計軟體產生之計量目標之可重複使用參數子結構模型。在一項實例中，模型構建工具接收由一軟體模擬器產生之圖形資料庫系統(GDS)資料且自動產生預測間隔件間距分裂之形態之可重複使用參數子結構模型。

【0199】 在再一態樣中，模型構建工具包含安全特徵以控制與特定使用者共用敏感知識產權。舉例而言，可期望一實體與另一實體共用一測量模型，但不共用包含敏感知識產權的該測量模型之特定態樣。在某些實例中，模型構建工具允許一使用者向顯示器隱藏一或多個可重複使用參數子結構模型之全部或一部分以允許與其他實體共用該等模型。在某些實例中，模型構建工具允許一使用者省略一或多個可重複使用參數子結構模型

之全部或一部分以阻止與另一實體共用此等敏感元素。在某些其他實例中，模型構建工具允許一使用者包含密碼保護以控制對一或多個可重複使用參數子結構模型之全部或一部分之存取以將敏感元素之共用限制於經授權實體。以此方式，嵌入於可重複使用參數子結構模型之特定特徵中之敏感知識產權可由使用者保持私密的。

**【0200】** 雖然參考系統100及300闡釋本文中所論述之方法，但可採用經組態以照射一樣品並偵測自該樣品反射、透射或繞射之光的任何光學或x射線計量系統來實施本文中所闡述之例示性方法。例示性系統包含一角度解析反射計、一散射計、一反射計、一橢圓偏光計、一光譜反射計或橢圓偏光計、一射束分佈型反射計、一多波長二維射束分佈型反射計、一多波長二維射束分佈型橢圓偏光計、一旋轉補償器光譜橢圓偏光計、一透射x射線散射計、一反射x射線散射計等。藉由非限制性實例之方式，一橢圓偏光計可包含一單個旋轉補償器、多個旋轉補償器、一旋轉偏振器、一旋轉分析器、一調變元件、多個調變元件或不包含調變元件。

**【0201】** 應注意，來自一源及/或目標測量系統之輸出可以使得測量系統使用不止一種技術之一方式來組態。事實上，一應用程式可經組態以採用在一單個工具內或跨越若干個不同工具之可用計量子系統之任一組合。

**【0202】** 亦可以若干種不同方式來組態實施本文中所闡述之方法之一系統。舉例而言，可預期一寬廣範圍之波長(包含可見、紫外、紅外及X射線)、入射角、偏光狀態及同調狀態。在另一實例中，系統可包含若干個不同光源(例如，一直接耦合光源、一雷射維持電漿光源等)中之任一者。在另一實例中，系統可包含用以調節引導至樣品或自樣品收集之光之

元件(例如，切趾器、濾光器等)。

**【0203】** 一般而言，受測量之基於奈米線之半導體結構之光學色散性質可近似為各向同性的。在此假定下，經提供為至基於奈米線之構建塊之輸入之材料參數係純量值。另一選擇係，可更準確地將受測量之基於奈米線之半導體結構之光學色散性質模型化為各向異性的。在此假定下，經提供為至基於奈米線之構建塊之輸入之材料參數將係不同值之一矩陣，而非一純量值。在第2018/0059019號美國專利申請案中闡述關於受測量之各向異性結構之處理之額外細節，該美國專利申請案以其全文引用方式併入本文中。

**【0204】** 圖21圖解說明適合於藉由本發明之計量系統100、300及500來實施之一方法400。在一項態樣中，認識到，方法400之資料處理方塊可經由運算系統116、330或530之一或多個處理器所執行之一預程式化演算法執行。儘管在計量系統100、300及500之內容脈絡中呈現以下說明，但在本文中認識到，計量系統100、300及500之特定結構態樣不表示限制且應僅解釋為說明性的。

**【0205】** 在方塊401中，在一或多個測量位點中之每一者處以一定量之輻射照射一基於奈米線之半導體結構。

**【0206】** 在方塊402中，響應於該一定量之照射輻射而偵測與該基於奈米線之半導體結構之測量相關聯之一定量之測量資料。

**【0207】** 在方塊403中，接收一第一使用者對用以闡述該基於奈米線之半導體結構之至少一第一部分之一第一可重複使用參數模型之一選擇之一指示。該第一可重複使用參數模型包含多個幾何元件且完全由一第一獨立參數值集定義。

【0208】 在方塊404中，接收對該第一獨立參數值集之一選擇之一指示。

【0209】 在方塊405中，基於一測量模型與和該一或多個測量位點中之每一者相關聯之該一定量之測量資料之一擬合而估計表徵該一或多個測量位點中之每一者處之該基於奈米線之半導體結構之一所關注參數之一值。該測量模型包含該第一可重複使用參數模型。

【0210】 如本文中所闡述，術語「臨界尺寸」包含一結構(例如，底部臨界尺寸、中間臨界尺寸、頂部臨界尺寸、側壁角度、光柵高度等)之任一臨界尺寸、任何兩個或兩個以上結構之間的一臨界尺寸(例如，兩個結構之間的距離)、兩個或兩個以上結構之間的一位移(例如，疊對光柵結構之間的疊對位移等)及在該結構或該結構之一部分中使用之一材料之一色散性質值。結構可包含三維結構、經圖案化結構、疊對結構等。

【0211】 如本文中所闡述，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。

【0212】 如本文中所闡述，術語「計量系統」包含經至少部分地採用以表徵任何態樣中之一樣品之任何系統。然而，此等技術術語並不限制如本文中所闡述之術語「計量系統」之範疇。另外，計量系統100可經組態以用於經圖案化晶圓及/或未經圖案化晶圓之測量。計量系統可經組態為一LED檢驗工具、邊緣檢驗工具、背側檢驗工具、宏觀檢驗工具或多模式檢驗工具(涉及同時來自一或多個平臺之資料)，以及自基於臨界尺寸資料而校準系統參數獲益之任何其他計量或檢驗工具。

【0213】 本文中闡述可用於處理一樣品之一半導體處理系統(例如，一檢驗系統或一微影系統)之各種實施例。術語「樣品」在本文中用於係

指在一晶圓、一光罩或可藉由此項技術中已知之手段來處理(例如，印刷或檢驗缺陷)之任何其他樣本上之一位點或若干位點。在某些實例中，樣品包含具有一或多個測量目標之一單個位點，該一或多個測量目標之同時經組合測量被視為一單個樣品測量或參考測量。在某些其他實例中，樣品係一位點聚合，其中與經聚合測量位點相關聯之測量資料係與多個位點中之每一者相關聯之資料之一統計聚合。此外，此多個位點中之每一者可包含與一樣品或參考測量相關聯之一或多個測量目標。

**【0214】** 如本文中所使用，術語「晶圓」一般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。此等基板通常可存在於半導體製作設施中及/或在其中處理。在某些情形中，一晶圓可僅包含基板(即，裸晶圓)。另一選擇係，一晶圓可包含形成於一基板上之不同材料之一或多個層。形成於一晶圓上之一或多個層可係「經圖案化」或「未圖案化」的。舉例而言，一晶圓可包含具有可重複圖案特徵之複數個晶粒。

**【0215】** 一「光罩」可係在一光罩製作程序之任何階段處之一光罩或者可或不釋放以供在一半導體製作設施中使用之一完成光罩。一光罩或一「遮罩」一般定義為具有在其上形成且組態成一圖案之實質上不透明區域之一實質上透明基板。基板可包含(舉例而言)諸如非晶 $\text{SiO}_2$ 之一玻璃材料。一光罩可在一微影程序之一曝光步驟期間安置於一抗蝕劑覆蓋之晶圓上面，使得可將該光罩上之圖案轉印至該抗蝕劑。

**【0216】** 形成於一晶圓上之一或多個層可係經圖案化或未圖案化的。舉例而言，一晶圓可包含各自具有可重複圖案特徵之複數個晶粒。此些材料層之形成及處理可最終產生完成裝置。可在一晶圓上形成諸多不同

類型之裝置，且如本文中所使用之術語晶圓意欲涵蓋其上製作有此項技術中已知之任何類型之裝置之一晶圓。

**【0217】** 在一或多個例示性實施例中，所闡述之功能可以硬體、軟體、韌體或其任何組合實施。若以軟體實施，則該等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者經由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。一儲存媒體可係可由一個一般用途或特殊用途電腦存取之任何可用媒體。藉由實例而非限制方式，此類電腦可讀媒體可包括：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者可用於以指令或資料結構之形式載運或儲存所要程式碼構件且可由一個一般用途或特殊用途電腦或者一個一般用途或特殊用途處理器存取之任何其他媒體。並且，可將任何連接恰當地稱為一電腦可讀媒體。舉例而言，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，則該同軸電纜、光纖電纜、雙絞線、DSL或無線技術(諸如紅外線、無線電及微波)皆包含於媒體之定義內。如本文中所使用，磁碟及光碟包含：壓縮光碟(CD)、雷射光碟、光學光碟、數位多功能光碟(DVD)、軟碟及藍光碟，其中磁碟通常以磁性方式再現資料，而光碟藉助雷射以光學方式再現資料。以上各項之組合亦應包含於電腦可讀取媒體之範疇內。

**【0218】** 儘管在上文中出於指導性目的而闡述了某些特定實施例，但本專利文件之教示內容具有一般適用性且不限於上文所闡述之特定實施例。因此，可在不背離如申請專利範圍中所陳述之本發明之範疇之情況下

實踐對所闡述實施例之各種特徵之各種修改、改動及組合。

【符號說明】

【0219】

- |     |              |
|-----|--------------|
| 10  | 光學臨界尺寸模型     |
| 11  | 基元結構構建塊      |
| 12  | 基元結構構建塊      |
| 13  | 基元結構構建塊      |
| 14  | 基元結構構建塊      |
| 15  | 基元結構構建塊      |
| 16  | 基元結構構建塊      |
| 17  | 基元結構構建塊      |
| 18  | 基元結構構建塊      |
| 19  | 基元結構構建塊      |
| 20  | 基元結構構建塊      |
| 21  | 基元結構構建塊      |
| 22  | 基元結構構建塊      |
| 100 | 系統/計量系統/測量系統 |
| 101 | 光譜橢圓偏光計      |
| 102 | 照射器          |
| 103 | 使用者輸入源       |
| 104 | 光譜儀          |
| 106 | 經偏光照射射束      |
| 107 | 偏光狀態產生器      |

- 108 收集光束
- 109 偏光狀態分析器
- 110 晶圓定位系統
- 111 光譜/測量資料/所測量資料/光學測量資料
- 112 半導體晶圓/晶圓/樣品
- 113 使用者輸入
- 114 結構
- 115 可重複使用參數子結構模型
- 116 運算系統/單電腦系統/多電腦系統
- 118 載體媒體
- 120 程式指令
- 130 模型構建與分析引擎/模型構建與分析工具
- 132 結構模型
- 133 光學回應函數構建模組
- 135 光學回應函數模型
- 137 擬合分析模組
- 150 半導體結構/結構
- 151A 奈米線
- 151B 奈米線
- 151C 奈米線
- 152 源極結構
- 153 漏極結構
- 154 介電材料

- 160 圓柱形基元奈米線構建塊/圓柱形奈米線構建塊/圓柱形奈米線
- 161 正方形基元奈米線構建塊/正方形奈米線構建塊
- 162 矩形或板形基元奈米線構建塊/板形奈米線構建塊
- 163 六角形基元奈米線構建塊
- 164 橢圓形基元奈米線構建塊/橢圓形奈米線構建塊
- 165 階梯狀基元奈米線構建塊/階梯狀奈米線構建塊/階梯狀塊
- 166 伸長基元奈米線構建塊/伸長奈米線構建塊/伸長形塊
- 170 可重複使用參數子結構模型/模型
- 171 非均勻厚度包覆件構建塊/可重複使用參數子結構模型
- 180 保形襯裡-包覆件構建塊/襯裡-包覆件/可重複使用參數子結構模型
- 181A 奈米線/經包覆奈米線
- 181B 奈米線/經包覆奈米線
- 182 包覆物
- 183 閘極壁表面
- 184 閘極頂部表面
- 190 非均勻保形襯裡-包覆件構建塊/襯裡-包覆件/可重複使用參數子結構模型
- 191A 奈米線/經包覆奈米線
- 191B 奈米線/經包覆奈米線
- 192 包覆物
- 193 閘極壁表面

- 194 閘極頂部表面
- 200 保形間隔件-包覆件構建塊/間隔件-包覆件/可重複使用參數子結構模型
- 201A 奈米線/經包覆奈米線
- 201B 奈米線/經包覆奈米線
- 202 包覆物
- 203 閘極壁表面
- 210 奈米線結構/可重複使用參數子結構模型
- 211A 空隙
- 211B 空隙
- 211C 空隙
- 220 奈米線結構/陣列/內間隔件構件塊陣列/可重複使用參數子結構模型
- 221A 內間隔件
- 221B 內間隔件
- 221C 內間隔件
- 300 系統/x射線計量工具/計量工具/x射線散射測量系統/計量系統/測量系統
- 301 樣品
- 302 檢驗區
- 303 使用者輸入源
- 310 x射線照射源/x射線照射系統
- 313 使用者輸入

- 315 x射線光學器件
- 316 x射線偵測器/偵測器
- 317 x射線射束/入射x射線射束
- 325 x射線輻射/經散射x射線
- 326 輸出信號/信號/所測量資料/所測量x射線散射測量信號/x射線散射測量資料
- 330 運算系統/單電腦系統/多電腦系統
- 331 處理器
- 332 記憶體
- 333 匯流排
- 334 程式指令
- 340 樣品定位系統
- 341 邊緣夾持卡盤
- 342 旋轉致動器
- 343 周邊框架
- 344 線性致動器
- 345 運動控制器
- 346 座標系
- 350 模型構建與分析引擎
- 351 結構模型構建模組
- 352 結構模型
- 353 x射線散射測量回應函數構建模組
- 355 x射線散射測量回應函數模型

- 357 擬合分析模型
- 400 方法
- 401 方塊
- 402 方塊
- 403 方塊
- 404 方塊
- 405 方塊
- 500 系統/軟x射線反射測量計量工具/計量工具/測量系統
- 501 樣品/晶圓
- 502 測量區/有限光點大小
- 503 晶圓卡盤
- 510 x射線照射源/照射源
- 511 聚焦光學器件
- 512 射束發散度控制狹縫/射束狹縫
- 513 狹縫/射束狹縫/射束整形狹縫
- 514 照射射束/入射射束
- 515 致動器系統
- 516 射線
- 518 x射線輻射/經散射x射線
- 519 x射線偵測器/偵測器
- 530 運算系統/單電腦系統/多電腦系統/系統
- 531 處理器
- 532 記憶體

533	匯流排
534	程式指令
535	輸出信號/信號
536	命令信號
540	樣品定位系統
A	中央軸線
D	直徑
D <sub>1</sub>	形狀參數/厚度
D <sub>2</sub>	形狀參數/厚度
D <sub>B1</sub>	厚度
D <sub>B2</sub>	厚度
D <sub>T1</sub>	厚度
D <sub>T2</sub>	厚度
D <sub>INNER</sub>	直徑
D <sub>OUTER</sub>	直徑
D <sub>W</sub>	直徑
H	剖面高度
L	長度
L <sub>INNER</sub>	長度
L <sub>OUTER</sub>	長度
P	間距
R	圓角半徑
S	剖面側長度

$S_{\text{INNER}}$	形狀參數
$S_{\text{OUTER}}$	形狀參數
$T$	厚度
$T_1$	厚度/閘極壁襯裡厚度
$T_2$	厚度/頂部襯裡厚度
$T_3$	包覆件厚度
$W$	剖面寬度

## 【發明申請專利範圍】

### 【第1項】

一種計量系統，其包括：

一照射子系統，其經組態以在一或多個測量位點中之每一者處以一定量之輻射照射一基於奈米線之半導體結構；

一偵測器，其經組態以響應於該一定量之輻射而偵測與該基於奈米線之半導體結構之測量相關聯之一定量之測量資料；及

一運算系統，其經組態以：

接收一第一使用者對用以闡述該基於奈米線之半導體結構之至少一第一部分之一第一可重複使用參數模型之一選擇之一指示，其中該基於奈米線之半導體結構是一半導體通道，其中該基於奈米線之半導體結構在一半導體源極結構與一半導體汲極結構之間無支撐地延伸，以及其中該第一可重複使用參數模型包含多個幾何元件且完全由一第一獨立參數值集定義；

接收對該第一獨立參數值集之一選擇之一指示；及

基於一測量模型與和該一或多個測量位點中之每一者相關聯之該一定量之測量資料之一擬合而估計表徵該一或多個測量位點中之每一者處之該基於奈米線之半導體結構之一所關注參數之一值，其中該測量模型包含該第一可重複使用參數模型。

### 【第2項】

如請求項1之計量系統，其中該基於奈米線之半導體結構包括一實際半導體裝置之至少一部分。

### 【第3項】

如請求項1之計量系統，其中該基於奈米線之半導體結構之該測量模型完全由該第一可重複使用參數模型闡述。

**【第4項】**

如請求項1之計量系統，其中該運算系統進一步經組態以：

接收該第一使用者對用以闡述該基於奈米線之半導體結構之至少一第二部分之一第二可重複使用參數模型之一選擇之一指示，其中該第二可重複使用參數模型包含多個幾何元件且完全由一第二獨立參數值集定義；

接收對該第二獨立參數值集之一選擇之一指示；

至少部分地基於該第一可重複使用參數模型與該第二可重複使用參數模型之一組合而判定該基於奈米線之半導體結構之該測量模型；及

將該測量模型儲存於一記憶體中。

**【第5項】**

如請求項4之計量系統，其中該第一可重複使用參數模型之複數個離散化點在該運算系統之一浮點精度內與該第二可重複使用參數模型之複數個離散化點對準。

**【第6項】**

如請求項1之計量系統，其中由該第一使用者做出對定義該第一可重複使用參數模型之該第一獨立參數值集之該選擇。

**【第7項】**

如請求項1之計量系統，其中該運算系統進一步經組態以：

接收由一程序模擬工具產生之一輸出檔案；及

依據該輸出檔案判定該第一獨立參數值集。

**【第8項】**

如請求項1之計量系統，其中該第一可重複使用參數模型包含一橫向奈米線或一垂直奈米線之一參數幾何模型。

**【第9項】**

如請求項1之計量系統，其中該參數幾何模型闡述具有以下各項中之任一者之橫向奈米線或垂直奈米線：一圓柱形剖面、一矩形剖面、具有倒圓角落之一矩形剖面、一橢圓形剖面、一六角形剖面、一階梯式剖面及一錐形剖面。

**【第10項】**

如請求項1之計量系統，其中該第一可重複使用參數模型係包含整合至一單個參數幾何模型中之多個基元幾何元件之一複合奈米線構建塊。

**【第11項】**

如請求項10之計量系統，其中該複合奈米線構建塊包含一均勻保形包覆件模型、一非均勻保形包覆件模型、一均勻保形襯裡-包覆件模型、一非均勻保形襯裡-包覆件模型、一保形間隔件-包覆件模型及一內間隔件模型中之任一者。

**【第12項】**

如請求項10之計量系統，其中該複合奈米線構建塊包含奈米線、包覆件、襯裡-包覆件、間隔件-包覆件、內間隔件或其任一組合之一陣列之一模型。

**【第13項】**

如請求項1之計量系統，其中該照射子系統及該偵測器包括一光學計量系統或一基於x射線之計量系統。

**【第14項】**

如請求項1之計量系統，其中該基於奈米線之半導體結構之至少一第一一部分之該第一可重複使用參數模型包含一特定測量應用所特有之幾何特徵及幾何特徵間之相互關係。

**【第15項】**

一種計量系統，其包括：

一照射子系統，其經組態以在一或多個測量位點中之每一者處以一定量之輻射照射一基於奈米線之半導體結構；

一偵測器，其經組態以響應於該一定量之輻射而偵測與該基於奈米線之半導體結構之測量相關聯之一定量之測量資料；及

一運算系統，其經組態以：

接收一使用者對複數個基元幾何模型化元件之一選擇之一指示；

自該使用者接收指示該複數個基元幾何模型化元件中之每一者相對於其他基元幾何模型化元件之一所要位置之一指示；

自該使用者接收指示該複數個基元幾何模型化元件之一所要參數化之一指示；

基於該複數個基元幾何元件之一組合而判定該基於奈米線之半導體結構之至少一部分之一第一可重複使用參數模型，其中該基於奈米線之半導體結構是一半導體通道，其中該基於奈米線之半導體結構在一半導體源極結構與一半導體汲極結構之間無支撐地延伸，以及其中該第一可重複使用參數模型完全由與該所要參數化相關聯之一獨立參數集定義；及

將該第一可重複使用參數模型儲存於一記憶體中。

**【第16項】**

如請求項15之計量系統，其中該第一可重複使用參數模型之該判定涉及產生將該複數個基元幾何模型化元件完全整合至完全由該獨立參數集定義之該可重複使用參數模型中之一約束關係集。

**【第17項】**

如請求項15之計量系統，其中該運算系統進一步經組態以：

接收該使用者對該第一可重複使用參數模型之一選擇之一指示；

接收該使用者對一第二可重複使用參數模型之一選擇之一指示，其中該第二可重複使用參數模型包含多個幾何元件且完全由一第二獨立參數值集定義；

至少部分地基於該第一可重複使用參數模型與該第二可重複使用參數模型之一組合而判定該基於奈米線之半導體結構之一測量模型；及

將該第一測量模型儲存於一記憶體中。

**【第18項】**

一種計量方法，其包括：

在一或多個測量位點中之每一者處以一定量之輻射照射一基於奈米線之半導體結構；

響應於該一定量之輻射而偵測與該基於奈米線之半導體結構之測量相關聯之一定量之測量資料；

接收一第一使用者對用以闡述該基於奈米線之半導體結構之至少一第一部分之一第一可重複使用參數模型之一選擇之一指示，其中該基於奈米線之半導體結構是一半導體通道，其中該基於奈米線之半導體結構在一半導體源極結構與一半導體汲極結構之間無支撐地延伸，以及其中該第一可重複使用參數模型包含多個幾何元件且完全由一第一獨立參數值集定義；

接收對該第一獨立參數值集之一選擇之一指示；及

基於一測量模型與和該一或多個測量位點中之每一者相關聯之該一定量之測量資料之一擬合而估計表徵該一或多個測量位點中之每一者處之該基於奈米線之半導體結構之一所關注參數之一值，其中該測量模型包含該第一可重複使用參數模型。

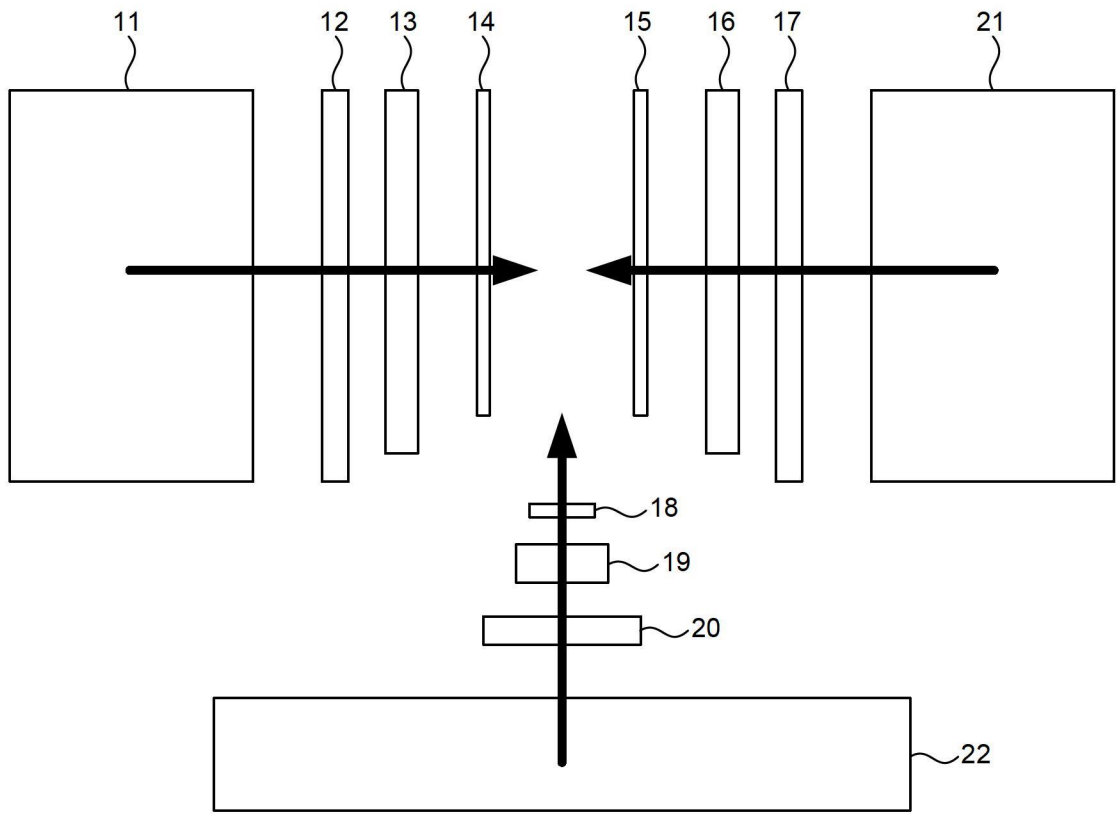
**【第19項】**

如請求項18之方法，其中該第一可重複使用參數模型包含一橫向奈米線或一垂直奈米線之一參數幾何模型。

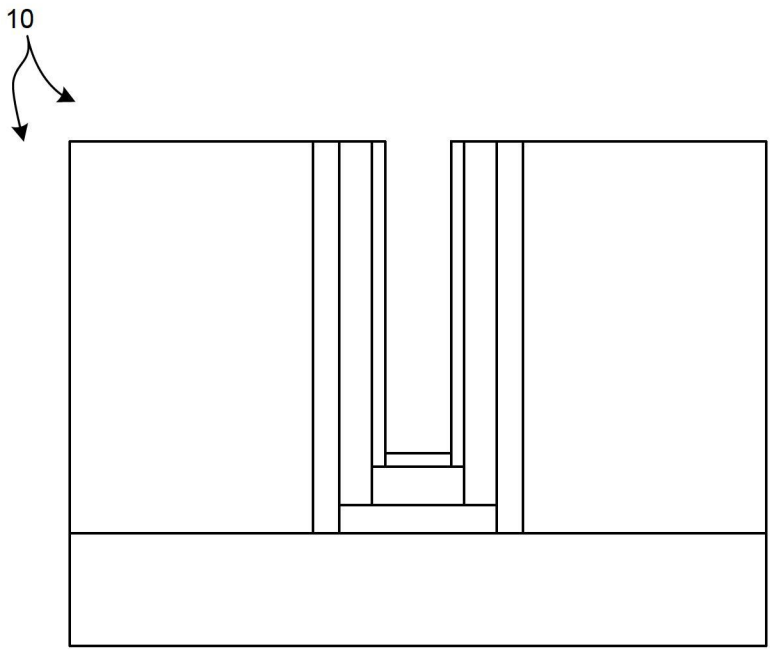
**【第20項】**

如請求項19之方法，其中該參數幾何模型闡述具有以下各項中之任一者之該橫向奈米線或該垂直奈米線：一圓柱形剖面、一矩形剖面、具有倒圓角落之一矩形剖面、一橢圓形剖面、一六角形剖面、一階梯式剖面及一錐形剖面。

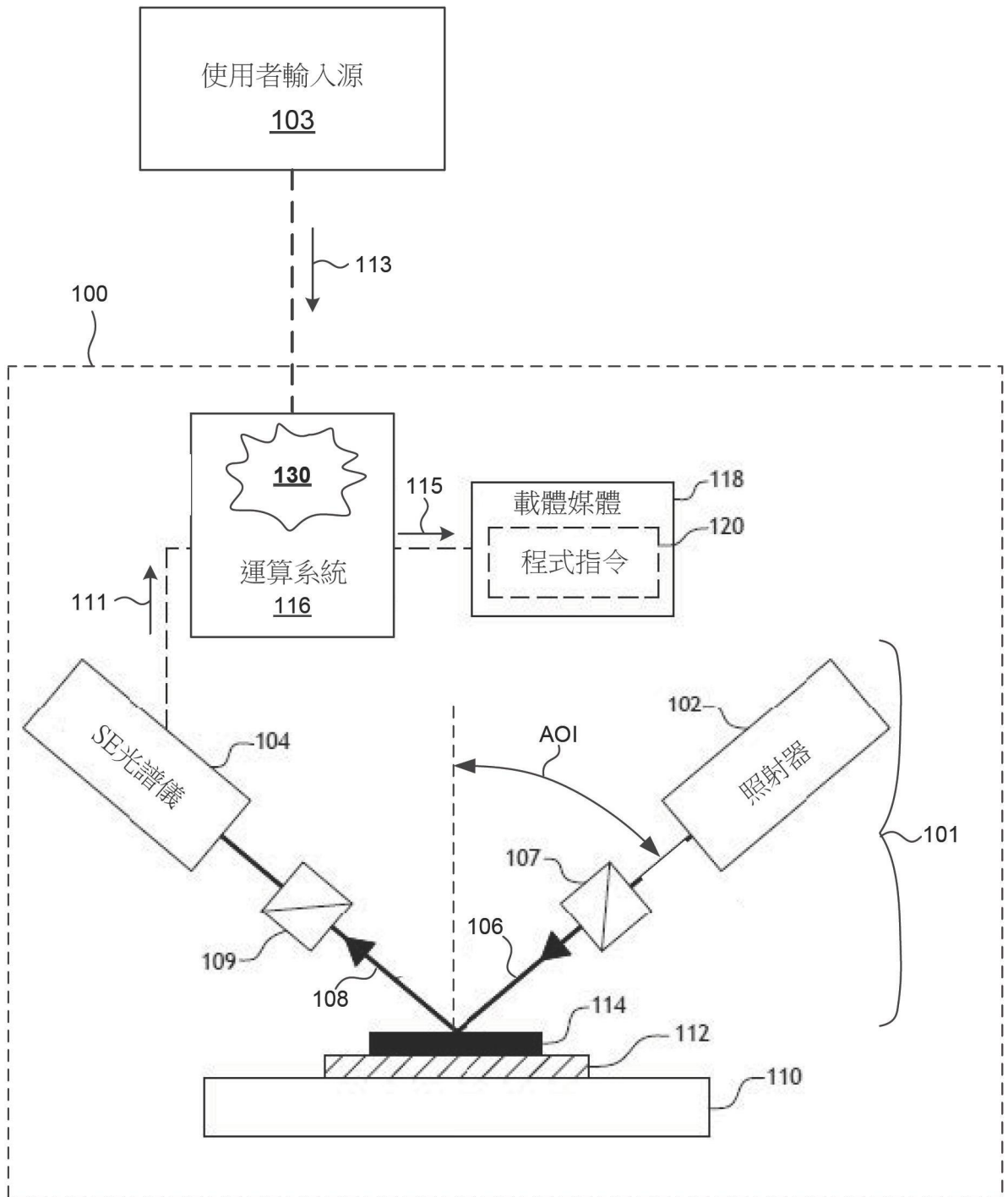
【發明圖式】



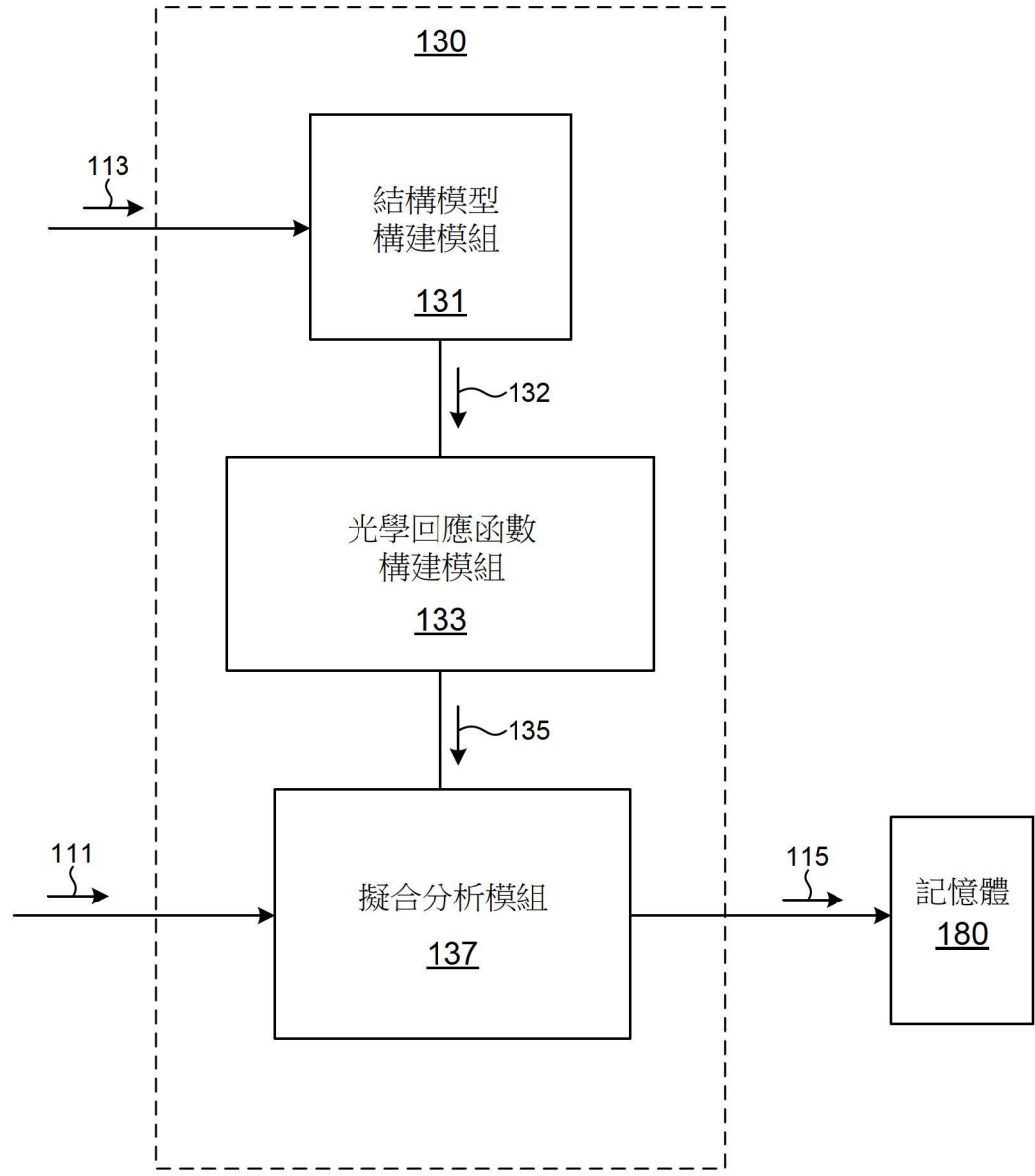
【圖1A】



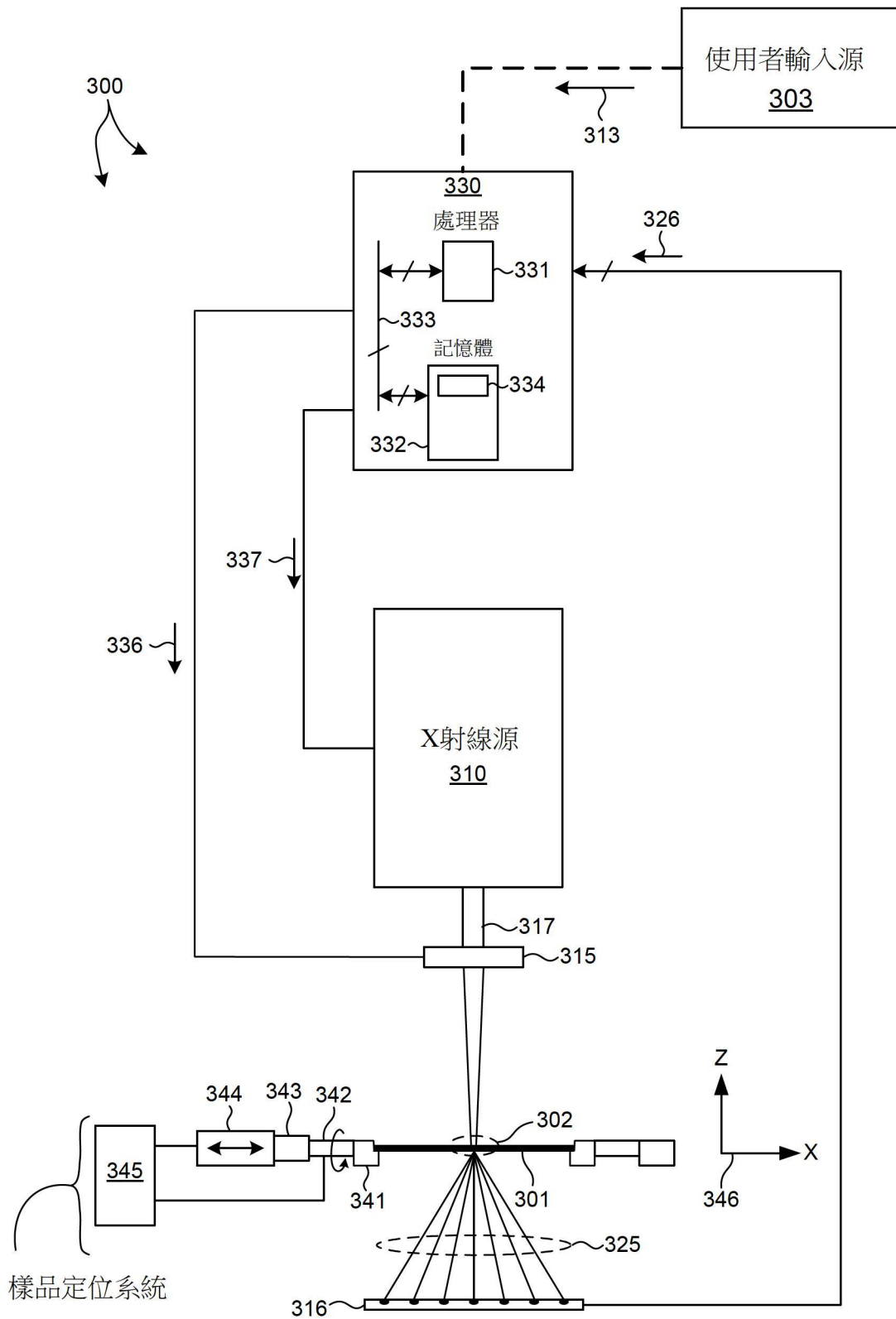
【圖1B】



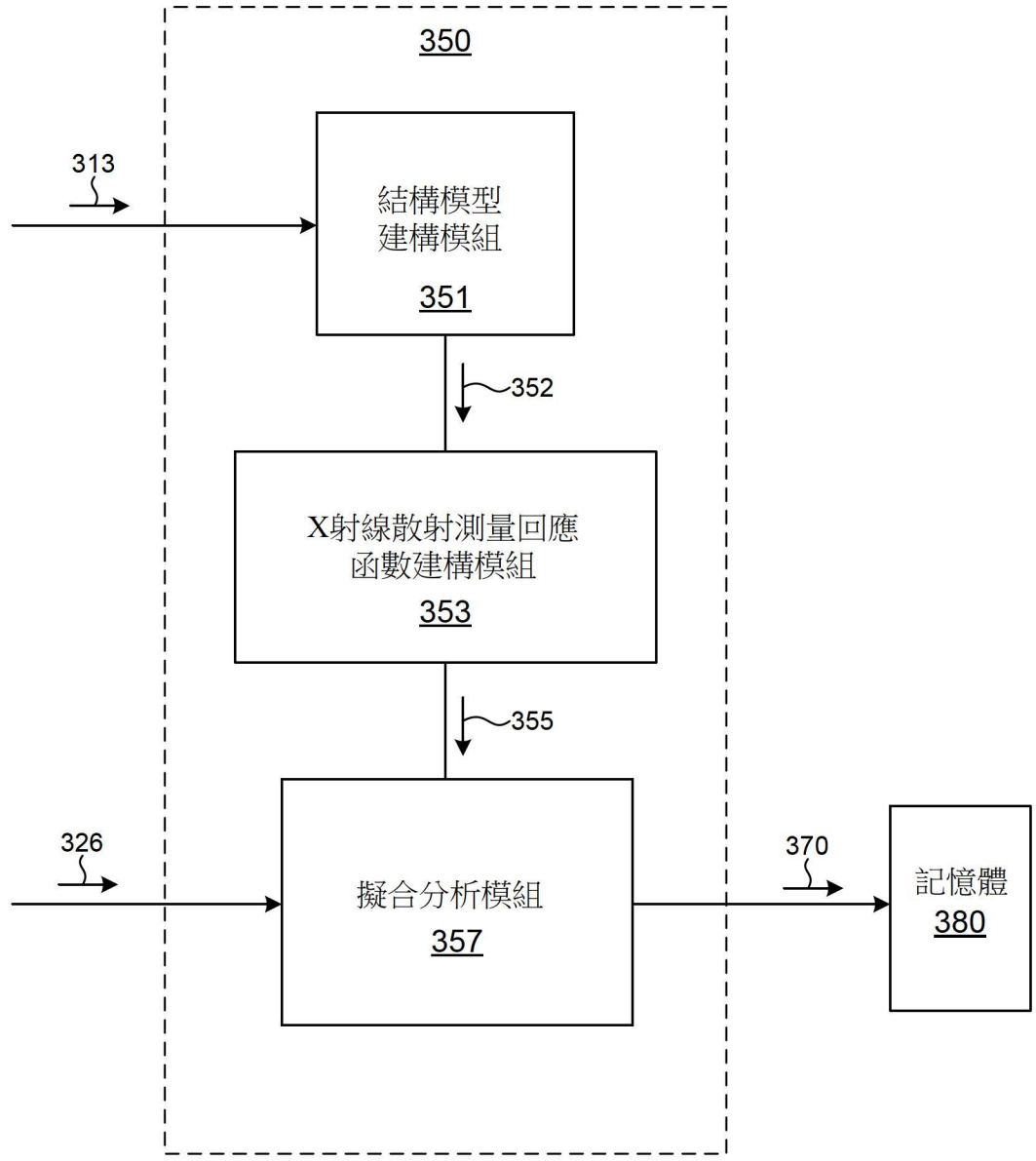
【圖2】



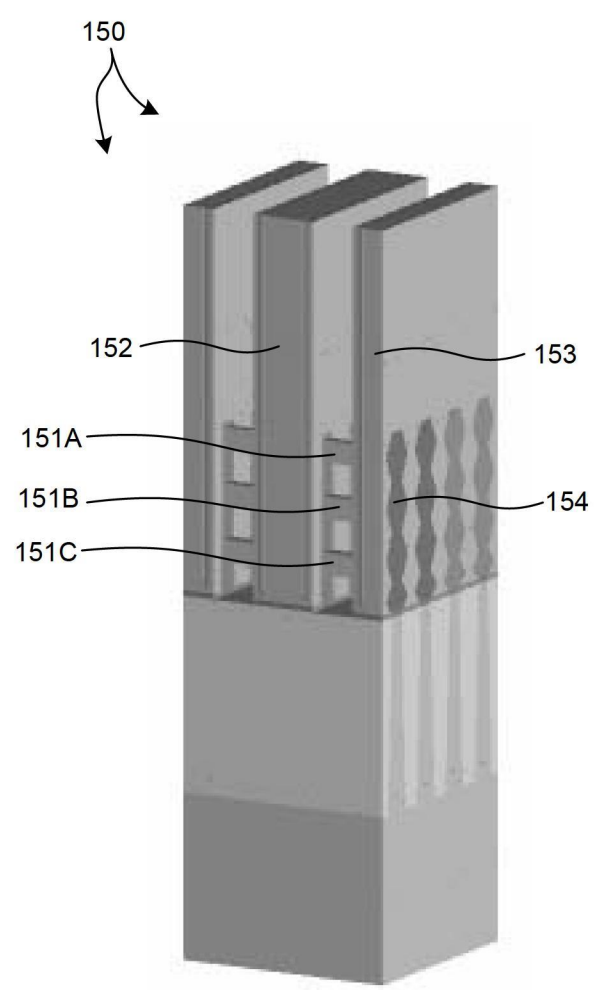
【圖3】



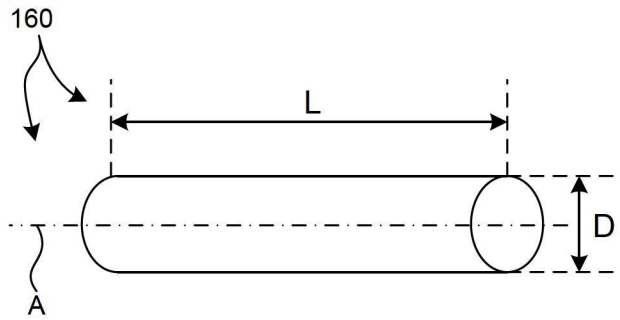
【圖4】



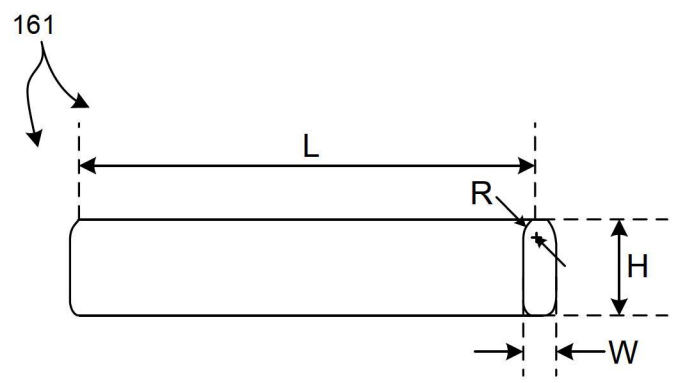
【圖5】



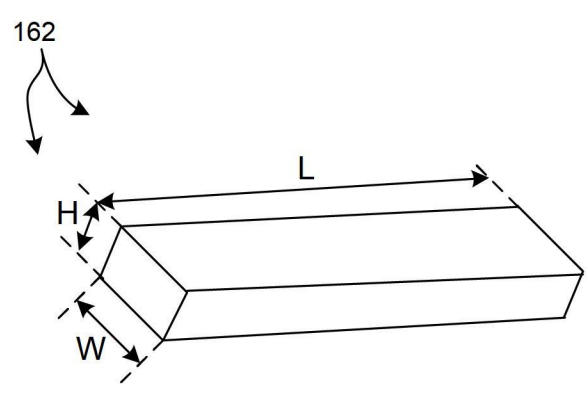
【圖6】



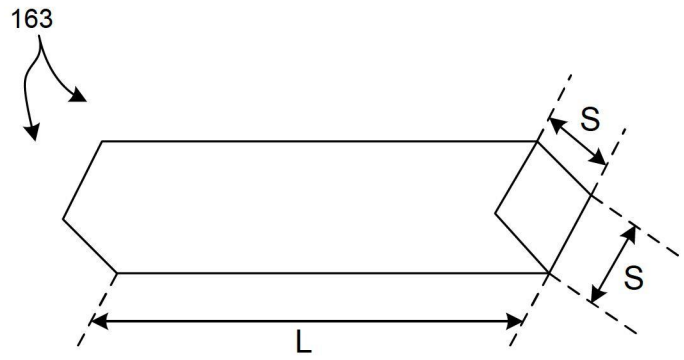
【圖7】



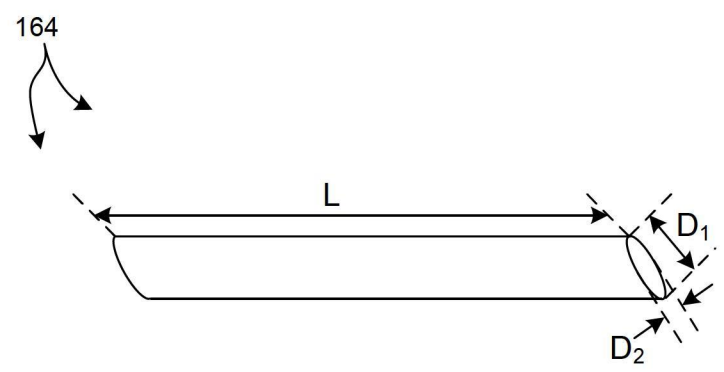
【圖8】



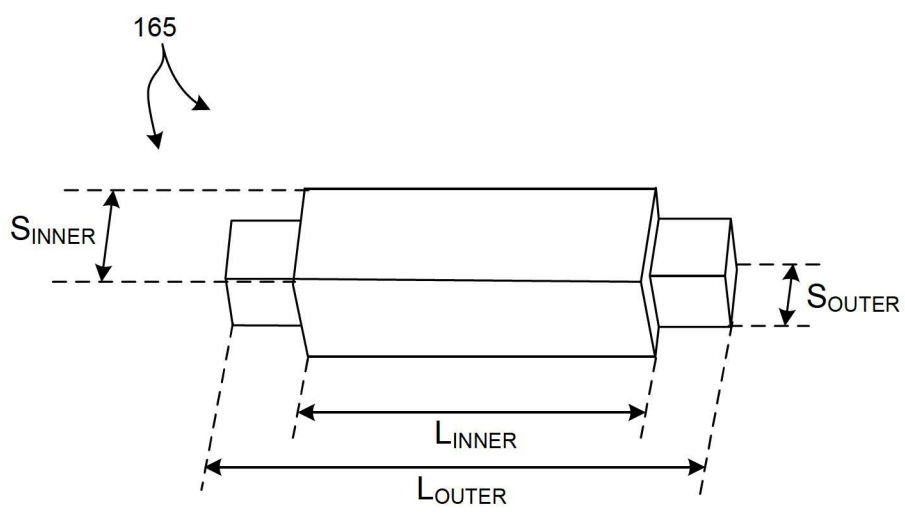
【圖9】



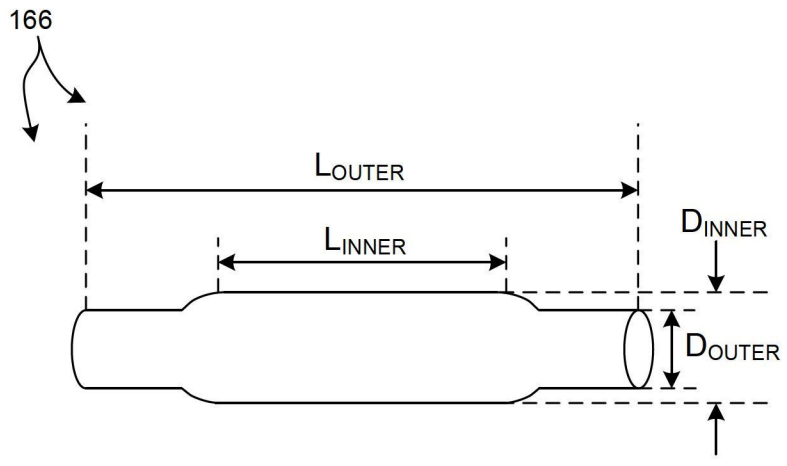
【圖10】



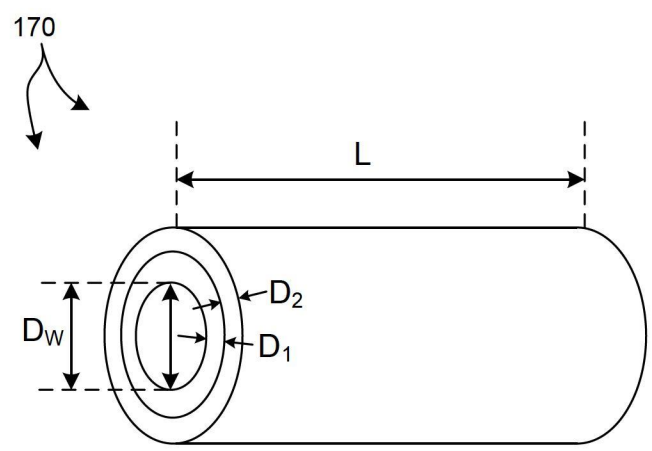
【圖11】



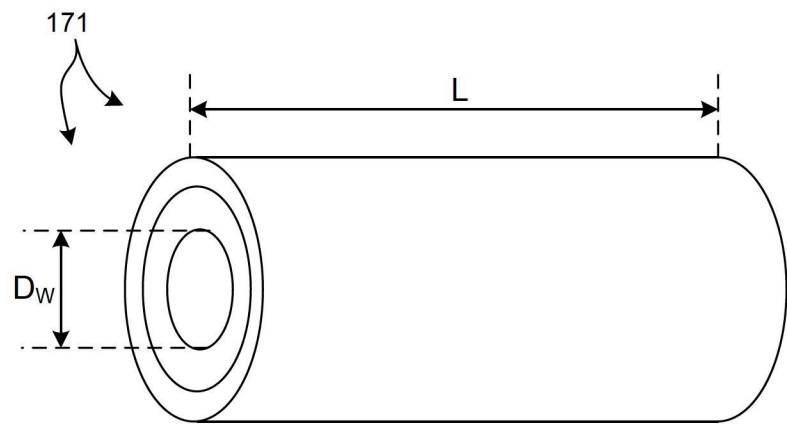
【圖12】



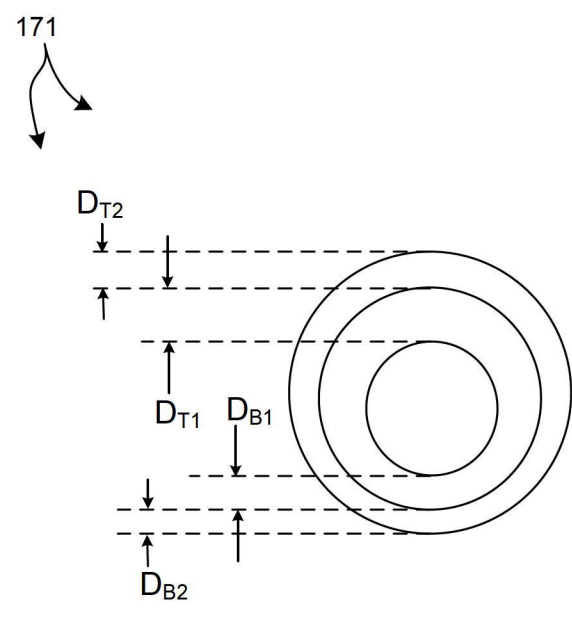
【圖13】



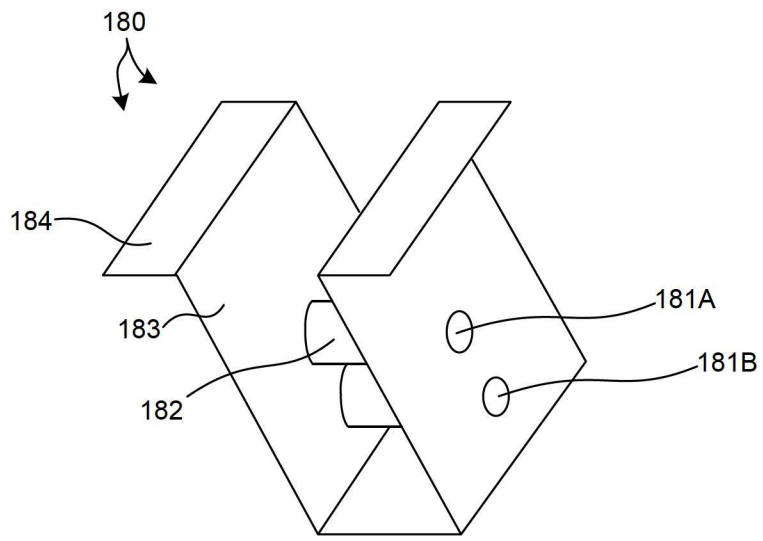
【圖14】



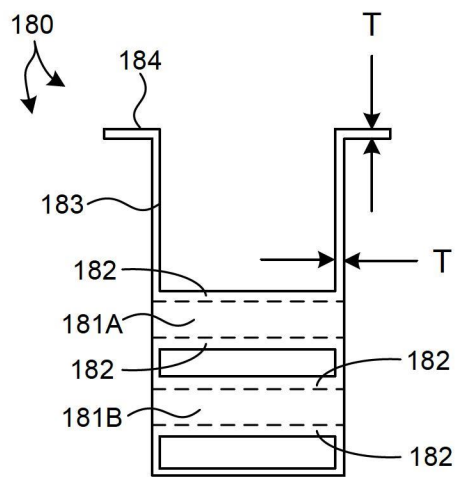
【圖15A】



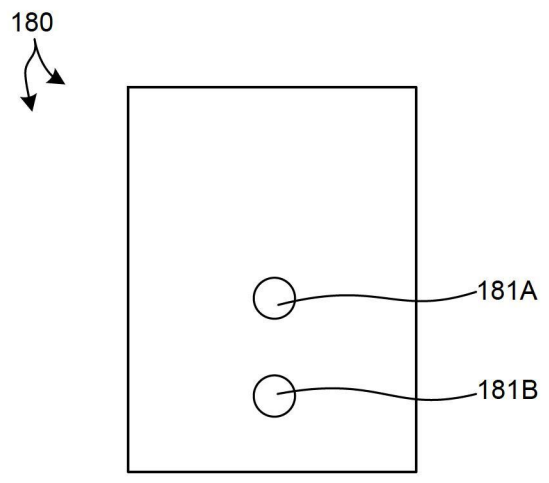
【圖15B】



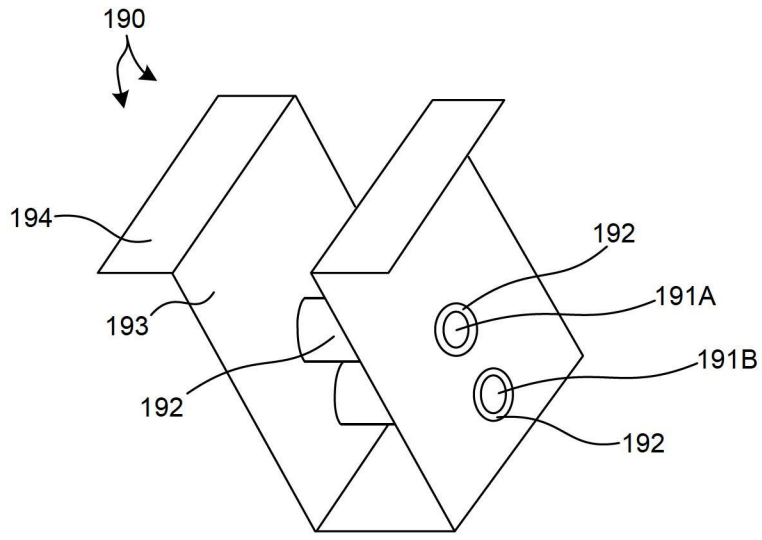
【圖16A】



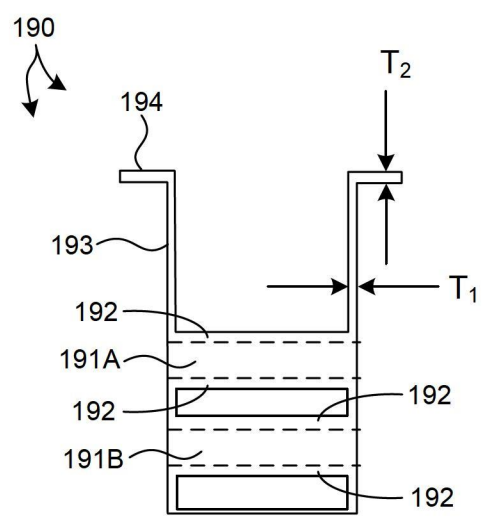
【圖16B】



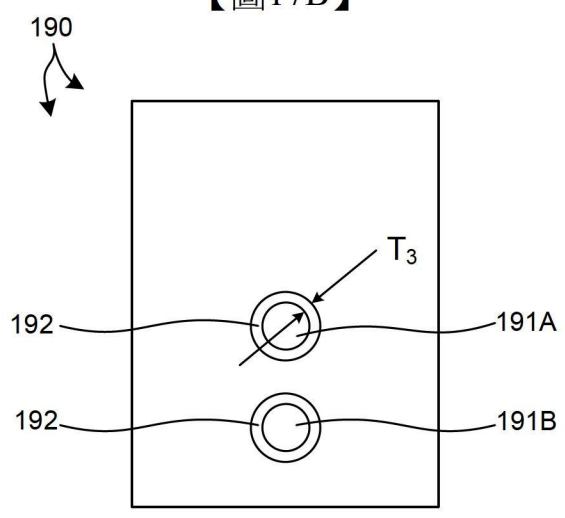
【圖16C】



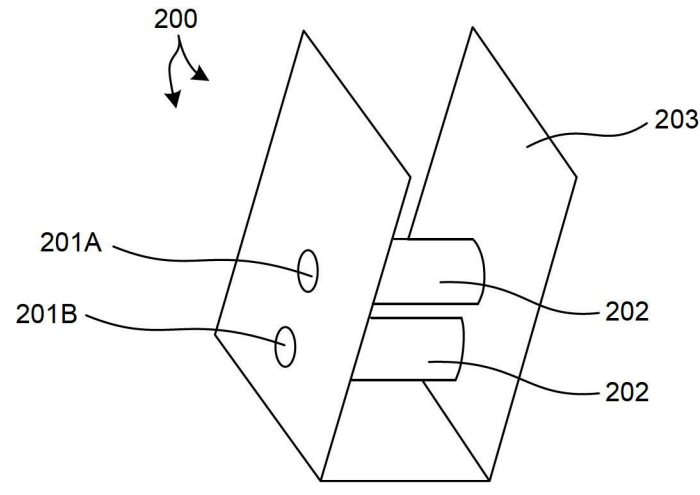
【圖17A】



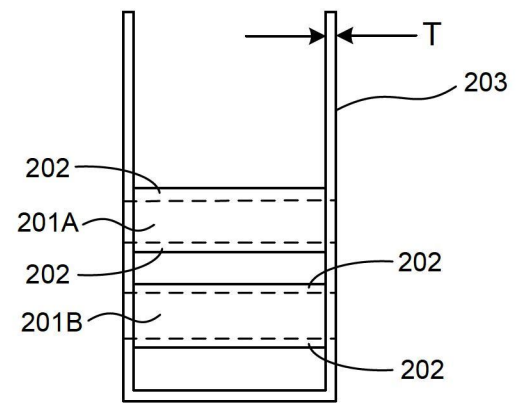
【圖17B】



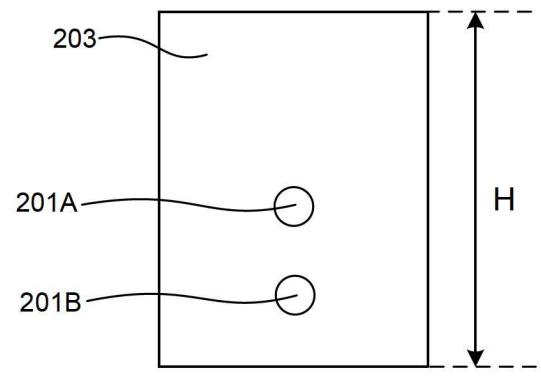
【圖17C】



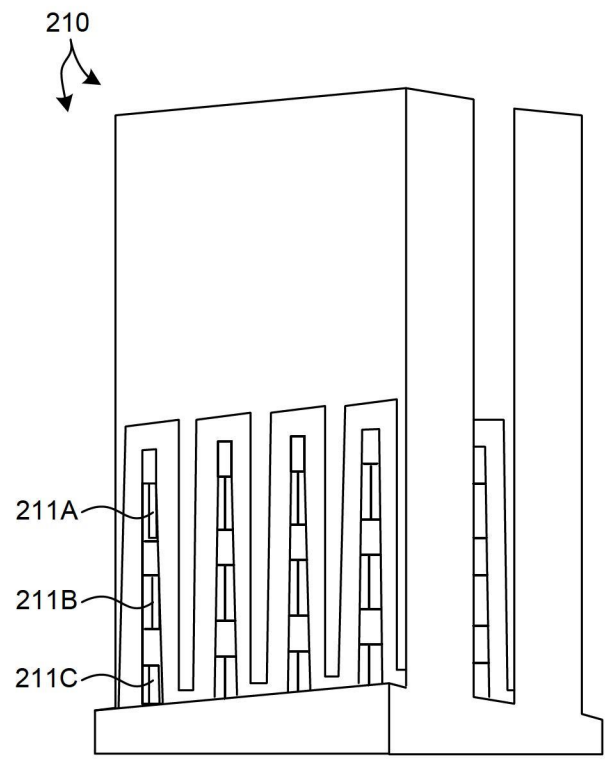
【圖18A】



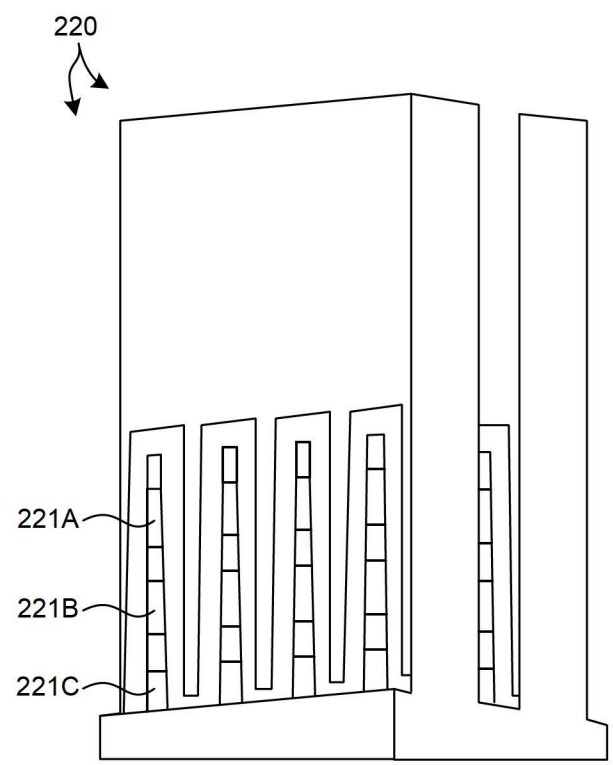
【圖18B】



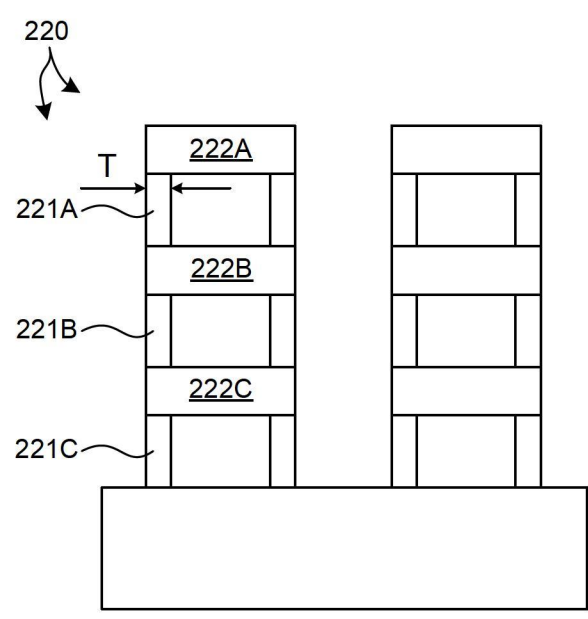
【圖18C】



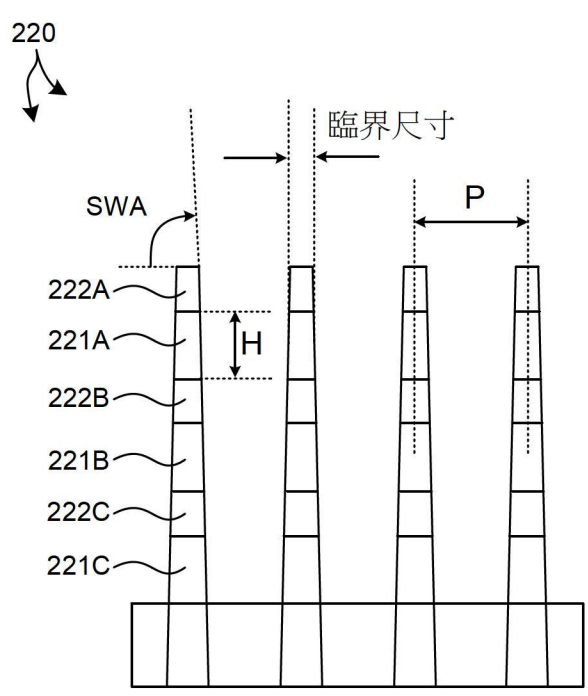
【圖19A】



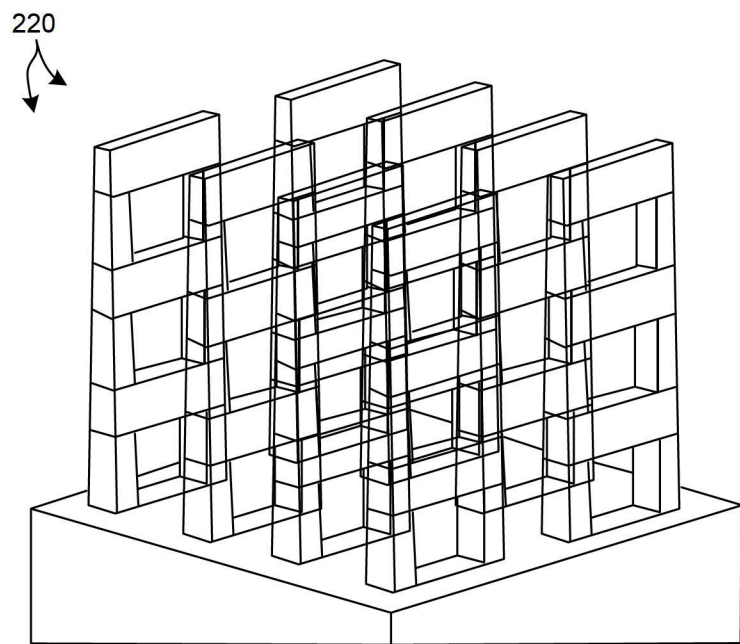
【圖19B】



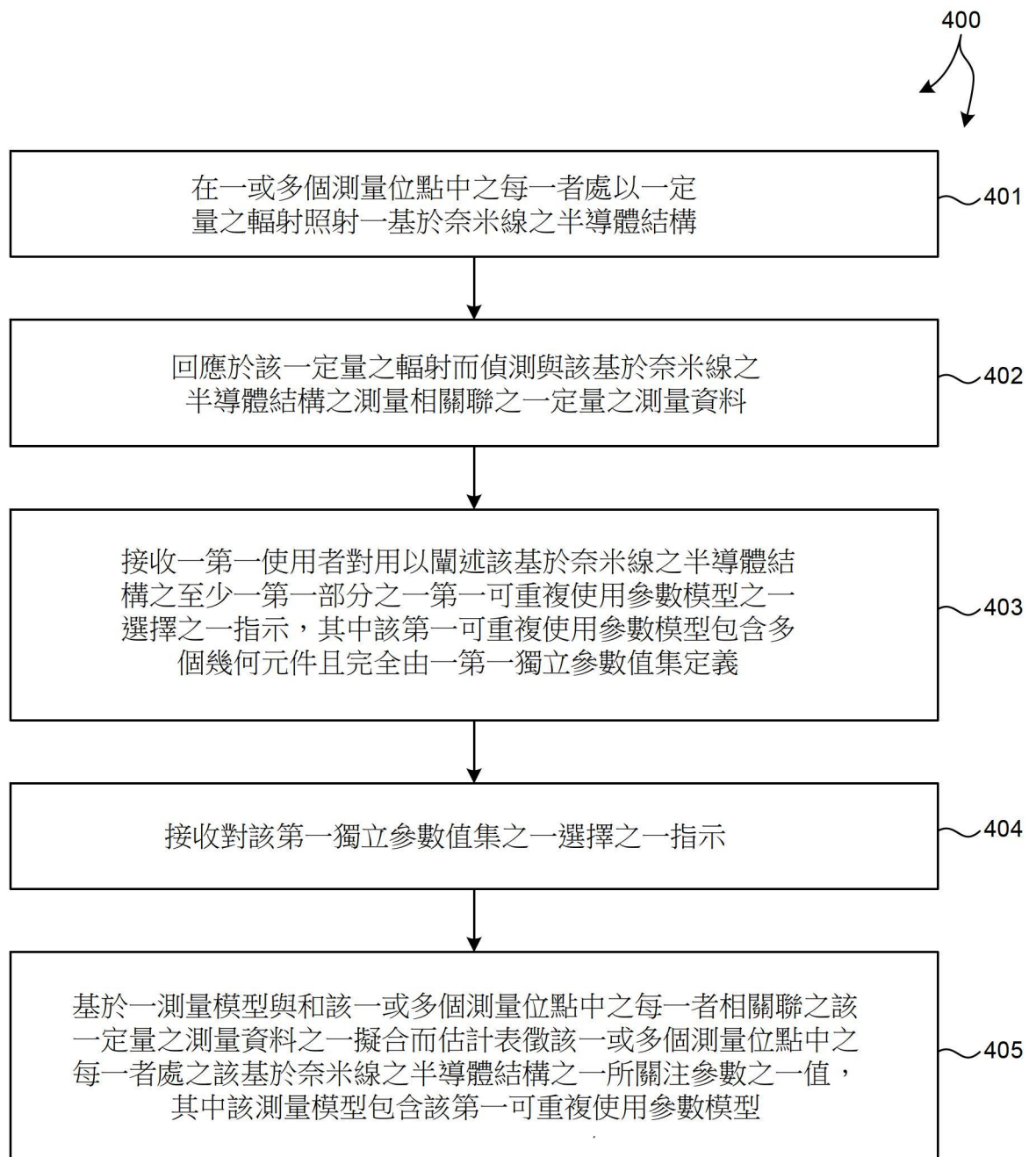
【圖20A】



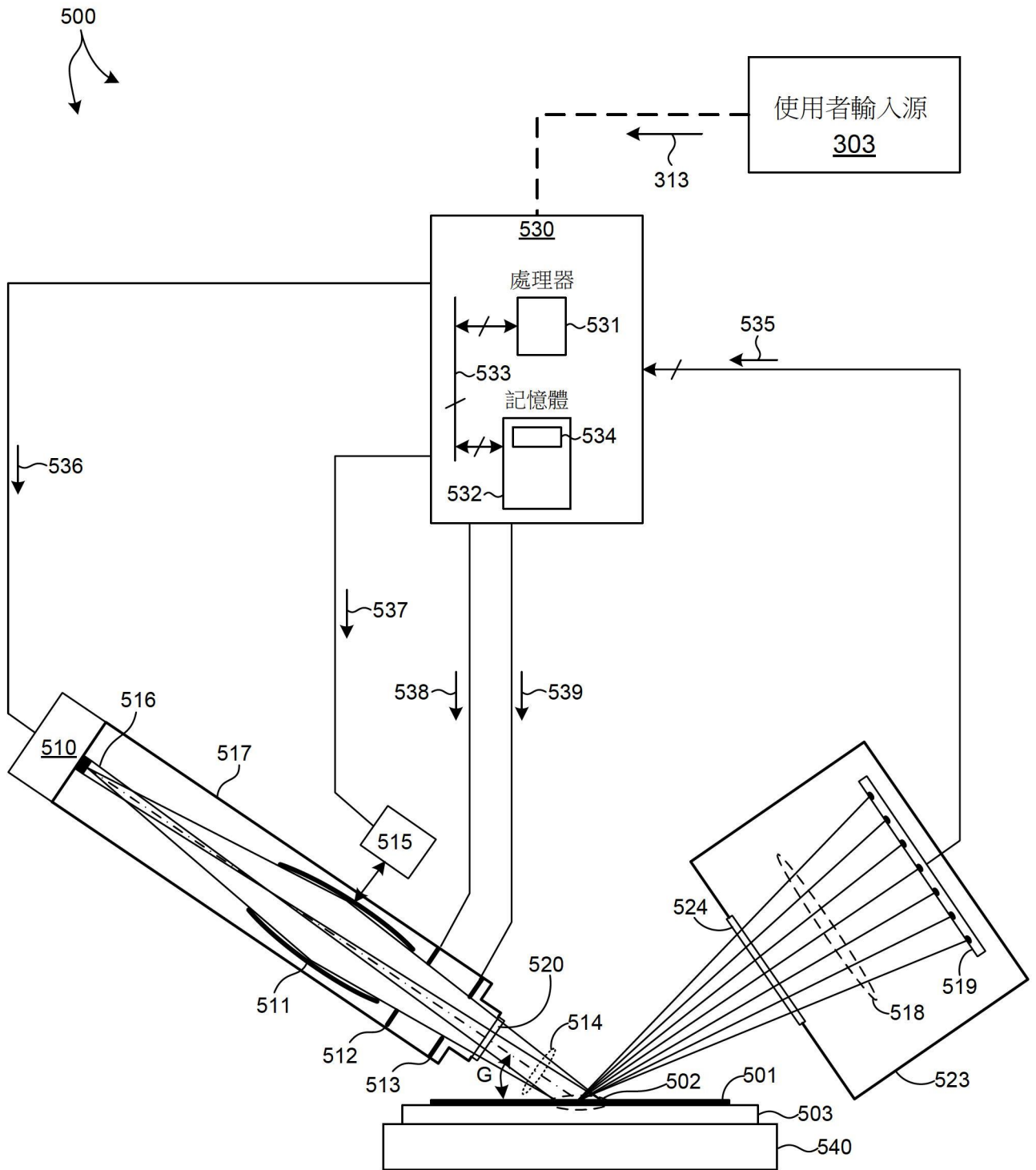
【圖20B】



【圖20C】



【圖21】



【圖22】