



(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 201713938 A

(43)公開日：中華民國 106 (2017) 年 04 月 16 日

(21)申請案號：105122276

(22)申請日：中華民國 105 (2016) 年 07 月 14 日

(51)Int. Cl.：

*G01N21/956 (2006.01)**G03F7/20 (2006.01)**G01B11/30 (2006.01)*

(30)優先權：2015/07/17

美國

62/194,042

(71)申請人：A S M L 荷蘭公司 (荷蘭) ASML NETHERLANDS B. V. (NL)

荷蘭

(72)發明人：凡 登 波斯 西特喜 希巨門 VAN DER POST, SIETSE THIJMEN (NL)；塞吉

普 飛瑞 ZIJP, FERRY (NL)；盧波 山德 巴斯 ROOBOL, SANDER BAS (NL)

(74)代理人：林嘉興

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：15 項 圖式數：15 共 72 頁

(54)名稱

用於檢測及度量衡的方法與設備

METHOD AND APPARATUS FOR INSPECTION AND METROLOGY

(57)摘要

一種涉及使用與一目標相隔一間隙之一光學組件量測用於該目標之一輻射強度分佈之方法，該方法包括：使用該經量測輻射強度分佈及描述該目標之一數學模型來判定一所關注參數之一值，該模型包括對於該光學組件或其一部分之一表面之粗糙度之一有效介質近似。

A method involving a radiation intensity distribution for a target measured using an optical component at a gap from the target, the method including: determining a value of a parameter of interest using the measured radiation intensity distribution and a mathematical model describing the target, the model including an effective medium approximation for roughness of a surface of the optical component or a part thereof.

指定代表圖：

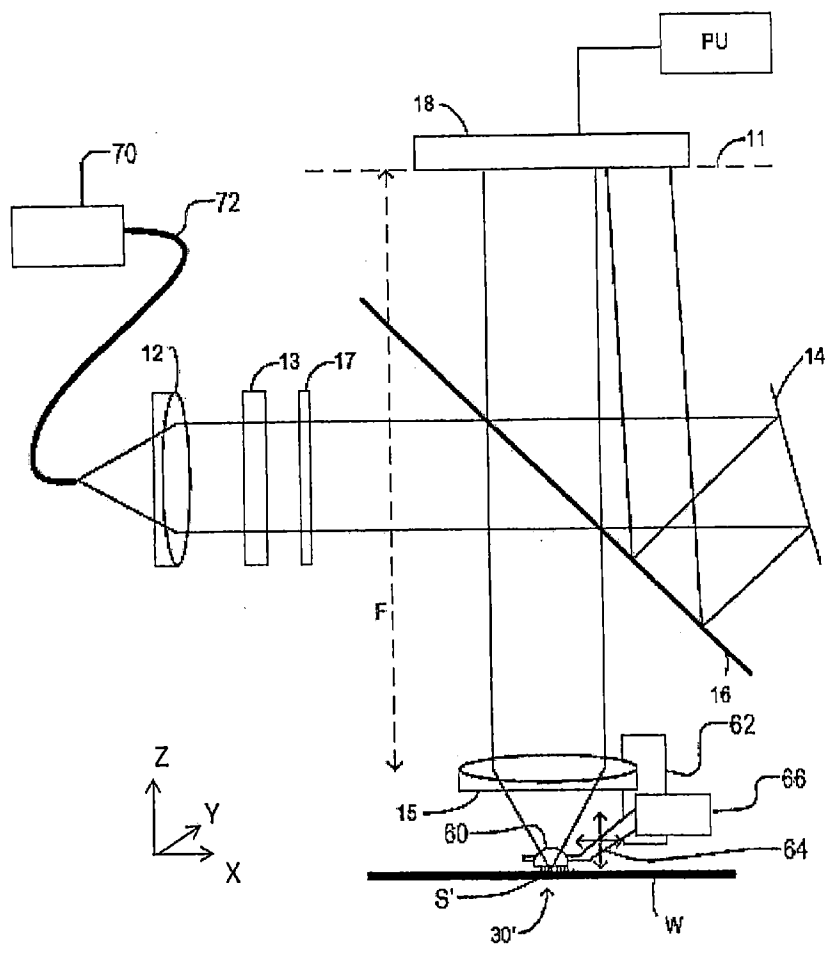


圖8

符號簡單說明：

- 11 . . . 背向投影式
焦平面
- 12 . . . 透鏡系統/照
明配置/照明光學件
- 13 . . . 干涉濾光器/
照明配置
- 14 . . . 參考鏡面
- 15 . . . 接物鏡/透鏡
系統/可移動物鏡
- 16 . . . 部分反射表
面
- 17 . . . 偏振器/照明
配置
- 18 . . . 偵測器
- 30' . . . 目標
- 60 . . . 透鏡元件/固
體浸潤透鏡(SIL)
- 62 . . . 框架/組件
- 64 . . . 臂/組件
- 66 . . . 致動器/組件
- 70 . . . 雷射輻射源
- 72 . . . 光纖
- PU . . . 處理器
- S' . . . 光點
- W . . . 基板

※ 申請案號：105122776

※ 申請日：105.7.14

※IPC 分類：G01N 21/956 (2006.01)
G03F 7/20 (2006.01)
G01B 11/30 (2006.01)

【發明名稱】

用於檢測及度量衡的方法與設備

METHOD AND APPARATUS FOR INSPECTION AND
METROLOGY

【中文】

一種涉及使用與一目標相隔一間隙之一光學組件量測用於該目標之一輻射強度分佈之方法，該方法包括：使用該經量測輻射強度分佈及描述該目標之一數學模型來判定一所關注參數之一值，該模型包括對於該光學組件或其一部分之一表面之粗糙度之一有效介質近似。

【英文】

A method involving a radiation intensity distribution for a target measured using an optical component at a gap from the target, the method including: determining a value of a parameter of interest using the measured radiation intensity distribution and a mathematical model describing the target, the model including an effective medium approximation for roughness of a surface of the optical component or a part thereof.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（8）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

11	背向投影式焦平面
12	透鏡系統/照明配置/照明光學件
13	干涉濾光器/照明配置
14	參考鏡面
15	接物鏡/透鏡系統/可移動物鏡
16	部分反射表面
17	偏振器/照明配置
18	偵測器
30'	目標
60	透鏡元件/固體浸潤透鏡(SIL)
62	框架/組件
64	臂/組件
66	致動器/組件
70	雷射輻射源
72	光纖
PU	處理器
S'	光點
W	基板

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

（無）

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】

用於檢測及度量衡的方法與設備

METHOD AND APPARATUS FOR INSPECTION AND
METROLOGY

【技術領域】

本發明之描述係關於一種用於校正自度量衡目標捕捉之經量測輻射分佈中之誤差的方法及設備。

【先前技術】

微影設備為將所要圖案施加至基板上(通常施加至基板之目標部分上)之機器。微影設備可用於(例如)積體電路(IC)之製造中。在彼情況下，圖案化裝置(其替代地被稱作光罩或倍縮光罩)可用於產生待形成於IC之個別層上之電路圖案。可將此圖案轉印至基板(例如，矽晶圓)上之目標部分(例如，包括晶粒之部分、一個晶粒或若干晶粒)上。通常經由成像至提供於基板上之輻射敏感材料(抗蝕劑)層上而進行圖案之轉印。一般而言，單一基板將含有經順次地圖案化之鄰近目標部分之網路。已知微影設備包括：所謂步進器，其中藉由一次性將整個圖案曝光於目標部分上來輻照每一目標部分；及所謂掃描器，其中藉由在給定方向(「掃描」方向)上經由輻射光束而掃描圖案同時平行或反平行於此方向而同步地掃描基板來輻照每一目標部分。亦有可能藉由將圖案壓印至基板上而將圖案自圖案化裝置轉印至基板。

為了監視微影程序之一或多個步驟(亦即，涉及微影之裝置製造程序，包括(例如)抗蝕劑處理、蝕刻、顯影、烘烤等等)，檢測經圖案化基板且量測經圖案化基板之一或多個參數。該一或多個參數可包括

(例如)形成於經圖案化基板中或上之順次層之間的疊對誤差，及/或經顯影感光性抗蝕劑之臨界線寬。可對產品基板自身之目標及/或對提供於基板上之專用度量衡目標執行此量測。存在用於對在微影程序中形成之微觀結構進行量測之各種技術，包括使用掃描電子顯微鏡及/或各種特殊化工具。

快速且非侵入之形式的特殊化檢測工具為散射計，其中將輻射光束導向至基板之目標上，且量測經散射光束或經反射光束之屬性。藉由比較光束在其已自基板反射或散射之前及之後的一或多個屬性，可判定基板之一或多個屬性。兩種主要類型之散射計已為熟知。光譜散射計將寬頻帶輻射光束導向至基板上且量測散射至特定窄角度範圍中之輻射之光譜(依據波長而變化的強度)。角度解析散射計使用單色輻射光束且量測依據角度而變化的散射輻射之強度。

散射量測之特定應用係在週期性目標內之特徵不對稱性之量測中。此散射量測可用作(例如)疊對誤差之量度，但其他應用亦已為熟知。在角度解析散射計中，可藉由比較繞射光譜之對置部分(例如，比較週期性光柵之繞射光譜中的-1階及+1階)來量測不對稱性。此量測可簡單地在角度解析散射量測中進行，如(例如)在美國專利申請公開案US2006-066855中所描述。

【發明內容】

隨著微影處理中之實體尺寸縮減，需要(例如)增加量測準確度/精度及/或縮減由專用於度量衡之目標佔據之空間。以影像為基礎之散射量測已經設計為允許藉由依次使用-1階輻射與+1階輻射獲得目標之分離影像而使用較小目標。在已公佈美國專利申請公開案第US2011-0027704號、第US2011-0043791號及第US2012-0044470號中描述此以影像為基礎之技術之實例，該等公開案之全文以引用方式併入本文中。

然而，持續需要目標大小之進一步縮減及改良之準確度或精度，且現有技術遭受使得難以維持準確度及/或縮減目標之大小之各種約束。用以改良檢測及量測技術之另一方式為使用固體浸潤透鏡(SIL)作為最接近目標表面(例如，基板)之光學元件。SIL與目標表面(例如，基板)之極近接引起大於1之極高有效數值孔徑(NA)。使用具有此SIL之非相干或相干的輻射源會允許檢測極小目標。

為了利用增加之數值孔徑，應將SIL與基板之間的間隙設定為所要值。舉例而言，間隙可在10奈米至50奈米之範圍內以使SIL與基板進行有效的光學接觸。實例光學間隙量測方法及設備可涉及偵測高數值孔徑元件中之偏振之交叉分量。接著由偵測器記錄交叉偏振信號，且可將該交叉偏振信號用作至間隙控制程序中之輸入參數。在另一實例中，可藉由參考經反射雷射輻射強度來控制間隙。如應瞭解，可使用其他方法及設備以獲得表示間隙(例如，表示其大小或表示其自標稱大小之變化)之信號。

無論藉由任何偵測方法，SIL (或其他組件)與基板(或其他表面)之間的間隙通常應由關聯致動器及控制系統建立且維持在所要間隙距離或距離範圍。此係因為自由目標重新導向且使用SIL (或其他光學耦接組件)而獲得的輻射導出之量測資料(例如，強度資料、影像等等)取決於間隙，且在假定資料獲取期間之基本上恆定間隙距離的情況下將自經量測資料重新建構任何所關注參數(例如，目標圖案之一部分之高度、目標圖案之一部分之寬度、目標圖案之一或多個各種層之厚度等等)以及間隙距離自身。

但不管用以建立及維持所要間隙之控制機構，已發現，SIL頂端之表面自其預期完美扁平或彎曲表面之變化(下文中為粗糙度)可得到量測結果中之誤差。且已發現，甚至SIL頂端之小粗糙度在判定自量測資料導出之所關注一或多個參數時亦可造成不可接受的大誤差。因

此，舉例而言，需要提供用以校正使用SIL (或其他組件)針對SIL頂端之粗糙度而獲得的資料之量測及/或計算之一或多個方法及設備。

在一實施例中，提供一種涉及使用一目標相隔一間隙之一光學組件量測用於該目標之一輻射強度分佈之方法，該方法包含：使用該經量測輻射強度分佈及描述該目標之一數學模型來判定一所關注參數之一值，該模型包含對於該光學組件或其一部分之一表面之粗糙度之一有效介質近似(effective medium approximation)。

在一實施例中，提供一種涉及描述一量測目標之一數學模型之方法，該模型包含對於用以量測該目標之一光學元件之一表面之粗糙度之一有效介質近似，該方法包含：使用該光學元件運用輻射來照明一基準件之一表面；使用一偵測器量測該輻射；及在使用該經量測輻射的情況下，判定該模型中之該有效介質近似之一或多個參數。

在一實施例中，提供一種涉及使用與一表面相隔一間隙之一光學組件量測一輻射強度分佈之方法，該方法包含：使用該經量測輻射強度分佈及描述該表面之一數學模型來判定該光學組件、一基準件或一目標之一粗糙度參數，該模型包含對於一光學組件或其一部分之一表面之粗糙度之一有效介質近似。

【圖式簡單說明】

現在將參看隨附圖式而僅作為實例來描述實施例，在該等圖式中：

圖1示意性地描繪微影設備之一實施例；

圖2示意性地描繪微影製造單元或叢集之一實施例；

圖3示意性地描繪實例檢測設備及度量衡技術；

圖4示意性地描繪實例檢測設備；

圖5說明檢測設備之照明光點與度量衡目標之間的關係；

圖6示意性地描繪基於量測資料導出所關注參數的程序；

圖7示意性地描繪目標之週期性結構之特徵的實例單位製造單元模型(unit cell model)；

圖8描繪包含固體浸潤透鏡(SIL)之實例檢測設備；

圖9示意性地描繪目標之複數個特徵之超製造單元模型連同SIL之頂端之粗糙度的實例；

圖10展示使用包括具有粗糙度之SIL頂端之超製造單元模型而計算的光瞳與使用具有完美扁平SIL頂端之單位製造單元模型而計算的光瞳之間的差之經模擬結果；

圖11示意性地描繪目標之週期性結構之特徵的實例單位製造單元模型，其包括對於SIL頂端粗糙度之有效介質近似；

圖12示意性地描繪用於基準件之實例單位製造單元模型；

圖13描繪用以導出對於SIL頂端粗糙度之有效介質近似的程序之流程圖；

圖14描繪用以使用近接力或勁度計算來校準經量測間隙距離、間隙誤差信號及/或設定點值之程序的流程圖；及

圖15示意性地描繪基於使用SIL而獲得之經量測資料導出目標之一或多個所關注參數之程序的流程圖。

【實施方式】

在詳細地描述實施例之前，有指導性的是呈現可供實施實施例之實例環境。

圖1示意性地描繪微影設備LA。該設備包含：

- 照明系統(照明器) IL，其經組態以調節輻射光束B (例如，UV輻射、DUV輻射或EUV輻射)；
- 支撐結構(例如，光罩台) MT，其經建構以支撐圖案化裝置(例如，光罩) MA，且連接至經組態以根據某些參數來準確地定位圖案化裝置之第一定位器PM；

- 基板台(例如，晶圓台) WT，其經建構以固持基板(例如，抗蝕劑塗佈晶圓) W，且連接至經組態以根據某些參數來準確地定位該基板之第二定位器PW；及

- 投影系統(例如，折射投影透鏡系統) PL，其經組態以將由圖案化裝置MA賦予至輻射光束B之圖案投影至基板W之目標部分C (例如，包含一或多個晶粒)上，該投影系統被支撐於參考框架(RF)上。

照明系統可包括用於導向、塑形或控制輻射的各種類型之光學組件，諸如折射、反射、磁性、電磁、靜電或其他類型之光學組件或其任何組合。

支撐結構以取決於圖案化裝置之定向、微影設備之設計及其他條件(諸如，圖案化裝置是否被固持於真空環境中)的方式來支撐圖案化裝置。支撐結構可使用機械、真空、靜電或其他夾持技術以固持圖案化裝置。支撐結構可為(例如)框架或台，其可根據需要而固定或可移動。支撐結構可確保圖案化裝置(例如)相對於投影系統處於所要位置。可認為本文中對術語「倍縮光罩」或「光罩」之任何使用皆與更一般術語「圖案化裝置」同義。

本文中所使用之術語「圖案化裝置」應被廣泛地解譯為係指可用以在輻射光束之橫截面中向輻射光束賦予圖案以便在基板之目標部分中產生圖案的任何裝置。應注意，舉例而言，若被賦予至輻射光束之圖案包括相移特徵或所謂輔助特徵，則該圖案可不確切地對應於基板之目標部分中之所要圖案。通常，被賦予至輻射光束之圖案將對應於目標部分中所產生之裝置(諸如，積體電路)中之特定功能層。

圖案化裝置可為透射的或反射的。圖案化裝置之實例包括光罩、可程式化鏡面陣列及可程式化LCD面板。光罩在微影中為所熟知，且包括諸如二元、交變相移及衰減相移之光罩類型，以及各種混合光罩類型。可程式化鏡面陣列之一實例使用小鏡面之矩陣配置，該

等小鏡面中之每一者可個別地傾斜，以便使入射輻射光束在不同方向上反射。傾斜鏡面在由鏡面矩陣反射之輻射光束中賦予圖案。

本文所使用之術語「投影系統」應被廣泛地解譯為涵蓋適於所使用之曝光輻射或適於諸如浸潤液體之使用或真空之使用之其他因素的任何類型之投影系統，包括折射、反射、反射折射、磁性、電磁及靜電光學系統或其任何組合。可認為本文中對術語「投影透鏡」之任何使用與更一般術語「投影系統」同義。

如此處所描繪，設備屬於透射類型(例如，使用透射光罩)。替代地，設備可屬於反射類型(例如，使用上文所提及之類型之可程式化鏡面陣列，或使用反射光罩)。

微影設備可屬於具有兩個(雙載物台)或多於兩個台(例如，兩個或多於兩個基板台 WTa、WTb、兩個或多於兩個圖案化裝置台、在無專用於(例如)促進量測及/或清潔等等之基板的情況下在投影系統下方之基板台 WTa及台 WTb)之類型。在此等「多載物台」機器中，可並行地使用額外台，或可在一或多個台上進行預備步驟，同時將一或多個其他台用於曝光。舉例而言，可進行使用對準感測器 AS 之對準量測及/或使用位階感測器 LS 之位階(高度、傾角，等等)量測。

微影設備亦可屬於如下類型：其中基板之至少一部分可由具有相對高折射率之液體(例如，水)覆蓋，以便填充投影系統與基板之間的空間。亦可將浸潤液體施加至微影設備中之其他空間，例如，圖案化裝置與投影系統之間的空間。浸潤技術在此項技術中被熟知用於增加投影系統之數值孔徑。如本文中所使用之術語「浸潤」並不意謂諸如基板之結構必須浸沒於液體中，而僅意謂液體在曝光期間位於投影系統與基板之間。

參看圖 1，照明器 IL 自輻射源 SO 接收輻射光束。舉例而言，當源為準分子雷射時，源與微影設備可為分離實體。在此等狀況下，不認

為源形成微影設備之部件，且輻射光束係憑藉包含(例如)合適導向鏡面及/或光束擴展器之光束遞送系統BD而自源SO傳遞至照明器IL。在其他狀況下，舉例而言，當源為水銀燈時，源可為微影設備之整體部件。源SO及照明器IL連同光束遞送系統BD (在需要時)可被稱作輻射系統。

照明器IL可包含經組態以調整輻射光束之角強度分佈之調整器AD。通常，可調整照明器之光瞳平面中之強度分佈的至少外部徑向範圍及/或內部徑向範圍(通常分別被稱作 σ 外部及 σ 內部)。另外，照明器IL可包含各種其他組件，諸如，積光器IN及聚光器CO。照明器可用以調節輻射光束，以在其橫截面中具有所要均一性及強度分佈。

輻射光束B入射於被固持於支撐結構(例如，光罩台) MT上之圖案化裝置(例如，光罩) MA上，且係由該圖案化裝置而圖案化。在已橫穿圖案化裝置MA的情況下，輻射光束B傳遞通過投影系統PL，投影系統將該光束聚焦至基板W之目標部分C上。憑藉第二定位器PW及位置感測器IF (例如，干涉量測裝置、線性編碼器、2D編碼器或電容性感測器)，可準確地移動基板台WT，例如以便使不同目標部分C定位於輻射光束B之路徑中。相似地，第一定位器PM及另一位置感測器(其未在圖1中明確地描繪)可用以(例如)在自光罩庫之機械擷取之後或在掃描期間相對於輻射光束B之路徑來準確地定位圖案化裝置MA。一般而言，可憑藉形成第一定位器PM之部件之長衝程模組(粗略定位)及短衝程模組(精細定位)來實現支撐結構MT之移動。相似地，可使用形成第二定位器PW之部件之長衝程模組及短衝程模組來實現基板台WT之移動。在步進器(相對於掃描器)之狀況下，支撐結構MT可僅連接至短衝程致動器，或可固定。可使用圖案化裝置對準標記M1、M2及基板對準標記P1、P2來對準圖案化裝置MA及基板W。儘管所說明之基板對準標記佔據專用目標部分，但該等標記可位於目標部分之

間的空間中(此等標記被稱為切割道對準標記)。相似地，在一個以上晶粒提供於圖案化裝置MA上之情形中，圖案化裝置對準標記可位於該等晶粒之間。

所描繪設備可用於以下模式中之至少一者中：

1. 在步進模式中，在將被賦予至輻射光束之整個圖案一次性投影至目標部分C上時，使支撐結構MT及基板台WT保持基本上靜止(亦即，單次靜態曝光)。接著，使基板台WT在X及/或Y方向上移位，使得可曝光不同目標部分C。在步進模式中，曝光場之最大大小限制單次靜態曝光中所成像之目標部分C之大小。

2. 在掃描模式中，在將被賦予至輻射光束之圖案投影至目標部分C上時，同步地掃描支撐結構MT及基板台WT (亦即，單次動態曝光)。可藉由投影系統PL之放大率(縮小率)及影像反轉特性來判定基板台WT相對於支撐結構MT之速度及方向。在掃描模式中，曝光場之最大大小限制單次動態曝光中之目標部分之寬度(在非掃描方向上)，而掃描運動之長度判定目標部分之高度(在掃描方向上)。

3. 在另一模式中，在將被賦予至輻射光束之圖案投影至目標部分C上時，使支撐結構MT保持基本上靜止，從而固持可程式化圖案化裝置，且移動或掃描基板台WT。在此模式中，通常使用脈衝式輻射源，且在基板台WT之每一移動之後或在一掃描期間的順次輻射脈衝之間根據需要而更新可程式化圖案化裝置。此操作模式可易於應用於利用可程式化圖案化裝置(諸如，上文所提及之類型之可程式化鏡面陣列)之無光罩微影。

亦可使用對上文所描述之使用模式之組合及/或變化或完全不同之使用模式。

如圖2所展示，微影設備LA可形成微影製造單元LC (有時亦被稱作叢集)之部件，微影製造單元LC亦包括用以對基板執行曝光前程序

及曝光後程序之設備。習知地，此等設備包括用以沈積一或多個抗蝕劑層之一或多個旋塗器SC、用以顯影經曝光抗蝕劑之一或多個顯影器DE、一或多個冷卻板CH及/或一或多個烘烤板BK。基板處理器或機器人RO自輸入/輸出通口I/O1、I/O2拾取一或多個基板，將其在不同程序設備之間移動且將其遞送至微影設備之裝載匣LB。常常被集體地稱作塗佈顯影系統(track)之此等設備係在塗佈顯影系統控制單元TCU之控制下，塗佈顯影系統控制單元TCU自身受到監督控制系統SCS控制，監督控制系統SCS亦經由微影控制單元LACU而控制微影設備。因此，不同設備可經操作以最大化產出率及處理效率。

為了正確且一致地曝光由微影設備曝光之基板，需要檢測經曝光基板以量測一或多個屬性，諸如後續層之間的疊對誤差、線厚度、臨界尺寸(CD)等等。因此，微影製造單元LC位於其中之製造設施通常亦包括度量衡系統MET，度量衡系統MET收納已在微影製造單元中經處理之基板W中之一些或全部。度量衡系統MET可為微影製造單元LC之部件，例如，其可為微影設備LA之部件。

可將度量衡結果直接或間接地提供至監督控制系統SCS。若偵測到誤差，則可對後續基板之曝光(尤其在可足夠迅速且快速地進行檢測以使得該批量之一或多個其他基板仍待曝光的情況下)及/或對經曝光基板之後續曝光進行調整。又，已經曝光之基板可被剝離及重工以改良良率，或被捨棄，藉此避免對已知有缺陷之基板執行進一步處理。在基板之僅一些目標部分有缺陷之狀況下，可僅對良好的彼等目標部分執行進一步曝光。

在度量衡系統MET內，檢測設備係用以判定基板之一或多個屬性，且詳言之，判定不同基板之一或多個屬性如何變化或同一基板之不同層在不同層間如何變化。檢測設備可整合至微影設備LA或微影製造單元LC中，或可為單機裝置。為了實現快速量測，需要使檢測

設備緊接在曝光之後量測經曝光之抗蝕劑層中之一或多個屬性。然而，抗蝕劑中之潛影具有低對比度--在已曝光於輻射的抗蝕劑之部分與尚未曝光於輻射的抗蝕劑之部分之間僅存在極小折射率差--且並非所有檢測設備皆具有足夠敏感度以進行潛影之有用量測。因此，可在曝光後烘烤步驟(PEB)之後採取量測，PEB通常為對經曝光基板進行之第一步驟且增加抗蝕劑之經曝光部分與未經曝光部分之間的對比度。在此階段，抗蝕劑中之影像可被稱作半潛影(semi-latent)。亦有可能進行經顯影抗蝕劑影像之量測--此時，抗蝕劑之經曝光部分或未經曝光部分已被移除--或在諸如蝕刻之圖案轉印步驟之後進行經顯影抗蝕劑影像之量測。後者可能性限制重工有缺陷基板之可能性，但仍可提供有用資訊。

圖3描繪實例檢測設備(例如，散射計)。該檢測設備包含將輻射投影至基板W上之寬頻帶(白光)輻射投影儀2。將反射輻射傳遞至光譜儀偵測器4，光譜儀偵測器量測鏡面反射輻射之光譜10(依據波長而變化的強度)，如展示於(例如)在左下方之曲線圖中。根據此資料，可藉由處理器PU(例如)藉由嚴密耦合波分析及非線性回歸或藉由與圖3之右下方所展示之經模擬光譜庫的比較來重新建構導致偵測到之光譜的結構或剖面。一般而言，對於重新建構，結構之一般形式已為熟知，且根據藉以製造結構之程序之知識來假定一些參數，從而僅留下結構之幾個參數待根據經量測資料予以判定。此檢測設備可經組態為正入射檢測設備或斜入射檢測設備。

圖4中展示可使用之另一檢測設備。在此裝置中，由輻射源2發射之輻射係使用透鏡系統12而準直且透射通過干涉濾光器13及偏振器17、由部分反射表面16反射且經由接物鏡15而聚焦至基板W上之光點S中，接物鏡具有高數值孔徑(NA)，理想地為至少0.9或至少0.95。浸潤檢測設備(使用相對高折射率流體，諸如水)甚至可具有大於1之數

值孔徑。

如在微影設備LA中一樣，可在量測操作期間提供一或多個基板台以固持基板W。該等基板台可在形式上與圖1之基板台WTa、WTb相似或相同。在檢測設備與微影設備整合之實例中，該等基板台可甚至為同一基板台。可將粗略定位器及精細定位器提供至第二定位器PW，第二定位器經組態以相對於量測光學系統來準確地定位基板。提供各種感測器及致動器(例如)以獲取所關注目標之位置，且將所關注目標帶入至接物鏡15下方之位置。通常將橫越基板W在不同部位處對目標進行許多量測。可在X及Y方向上移動基板支撐件以獲取不同目標，且可在Z方向上移動基板支撐件以獲得目標相對於光學系統之焦點之所要部位。舉例而言，當實務上光學系統可保持實質上靜止(通常在X及Y方向上，但可能亦在Z方向上)且僅基板移動時，方便地將操作考慮並描述為如同接物鏡被帶入至相對於基板之不同部位。倘若基板及光學系統之相對位置正確，則原則上無關緊要的係，基板與光學系統中之哪一者在真實世界中移動，或其兩者皆移動，抑或光學系統之一部分之組合移動(例如，在Z方向及/或傾斜方向上)，其中光學系統之剩餘部分靜止且基板移動(例如，在X及Y方向上，且視情況亦在Z方向及/或傾斜方向上)。

由基板W重新導向之輻射接著通過部分反射表面16傳遞至偵測器18中以便使光譜被偵測。偵測器18可位於背向投影式焦平面11處(亦即，位於透鏡系統15之焦距處)，或平面11可運用輔助光學件(圖中未繪示)而再成像至偵測器18上。該偵測器可為二維偵測器，使得可量測基板目標30之二維角度散射光譜。偵測器18可為(例如) CCD或CMOS感測器陣列，且可使用為(例如)每圖框40毫秒之積分時間。

參考光束可用以(例如)量測入射輻射之強度。為了進行此量測，當輻射光束入射於部分反射表面16上時，使輻射光束之部分通過部分

反射表面16作為參考光束而透射朝向參考鏡面14。參考光束接著投影至同一偵測器18之不同部分上或替代地投影至不同偵測器(圖中未繪示)上。

一或多個干涉濾光器13可用以選擇在為(比如) 405奈米至790奈米或甚至更低(諸如, 200奈米至300奈米)之範圍內之所關注波長。干涉濾光器可為可調諧的, 而非包含不同濾光器之集合。可使用光柵代替干涉濾波器。孔徑光闌或空間光調變器(圖中未繪示)可提供於照明路徑中以控制目標上之輻射之入射角之範圍。

偵測器18可量測在單一波長(或窄波長範圍)下之重新導向輻射之強度、分離地在多個波長下之重新導向輻射之強度, 或遍及一波長範圍而整合之重新導向輻射之強度。此外, 偵測器可分離地量測橫向磁偏振輻射及橫向電偏振輻射之強度, 及/或橫向磁偏振輻射與橫向電偏振輻射之間的相位差。

基板W上之目標30可為1-D光柵, 其經印刷成使得在顯影之後, 長條(bar)係由固體抗蝕劑線形成。目標30可為2-D光柵, 其經印刷成使得在顯影之後, 光柵係由抗蝕劑中之固體抗蝕劑導柱或通孔形成。長條、導柱或通孔可經蝕刻至基板中或基板上(例如, 經蝕刻至基板上之一或多個層中)。(例如, 長條、導柱或通孔之)圖案對微影投影設備(特別是投影系統PS)中之光學像差敏感, 且照明對稱性及此像差之存在將顯現在經印刷光柵中之變化。因此, 印刷光柵之經量測資料用以重新建構光柵。可根據印刷步驟及/或其他檢測程序之知識, 將1-D光柵之諸如線寬及/或形狀之一或多個參數或2-D光柵之諸如導柱或通孔寬度或長度或形狀之一或多個參數輸入至藉由處理器PU執行之重新建構程序。

除了藉由重新建構進行參數之量測以外, 角度解析散射量測亦用於產品及/或抗蝕劑圖案中之特徵之不對稱性之量測。不對稱性量

測之一特定應用係用於疊對之量測，其中目標30包含疊置於另一組週期性特徵上的一組週期性特徵。舉例而言，在美國專利申請公開案US2006-066855中描述使用圖3或圖4之器具進行之不對稱性量測之概念，該申請公開案之全文併入本文中。簡單地陳述，雖然目標之繞射光譜中之繞射階的位置僅藉由目標之週期性而判定，但繞射光譜中之不對稱性指示構成目標之個別特徵中的不對稱性。在圖4之器具中(其中偵測器18可為影像感測器)，繞射階中之此不對稱性直接呈現為由偵測器18記錄之光瞳影像中之不對稱性。可藉由單元PU中之數位影像處理來量測此不對稱性，且相對於已知疊對值來校準此不對稱性。

圖5說明典型目標30之平面圖，及圖4之設備中之照明光點S的範圍。為了獲得擺脫來自環繞結構之干涉的繞射光譜，在一實施例中，目標30為大於照明光點S之寬度(例如，直徑)之週期性結構(例如，光柵)。光點S之寬度可小於目標之寬度及長度。換言之，目標係由照明「填充不足」，且繞射信號基本上不含來自目標自身外部之產品特徵及其類似者之任何信號。照明配置2、12、13、17可經組態以提供橫越物鏡15之背焦平面之均一強度的照明。替代地，藉由(例如)使在照明路徑中包括孔徑，照明可限於同軸或離軸方向。

圖6示意性地描繪基於使用度量衡獲得之量測資料判定目標圖案之一或多個所關注參數的實例程序。由偵測器18偵測到之輻射提供用於目標30'之經量測輻射分佈108。此經量測輻射分佈108含有用以使得能夠導出所關注參數之資訊，所關注參數諸如，形成於基板中或上之順次層之間的疊對誤差及/或(例如)經顯影感光性抗蝕劑之臨界尺寸。圖7描繪目標(諸如目標30、30')之一部分的實例單位製造單元模型，以及構成該目標及與該目標相關聯的各種材料之實例層。舉例而言，該目標可包含：由片段710表示之氮化矽(Si_3N_4)層，該層可形成上覆(例如)裸矽基板之光柵特徵；或由片段700表示之其他層。上覆

層710可為由片段720表示TEOS (正矽酸乙酯)層。上覆層720為由一或多個片段730表示之一另外氮化矽(Si_3N_4)層，該層可形成另外光柵特徵(例如，用於量測疊對之光柵特徵)。上覆層730為由片段740表示之真空或非固體介質間隙，諸如氣體(例如，空氣)。且另外上覆層730為由片段750表示之光學元件，輻射自該片段750通過真空/介質740而發散朝向層730。在圖7中，層730及真空/介質740被展示為分段成複數個片段以促進計算，而實際上層730及/或真空/介質740通常為連續的。相似地，層750、720、710及700係由單一片段表示，但可由複數個片段表示。

對於給定目標30'，可根據用於目標30'之圖案之經參數化模型206(諸如，圖7之單位製造單元)使用(例如)數值馬克士威求解程序210來計算/模擬輻射分佈208。經參數化模型206可包括圖7中所識別之片段之參數中的一或多者，諸如，一或多個層之厚度、層中之一或多者之折射率(例如，實折射率或複折射率、折射率張量等等)、一或多個層之側壁角、一或多個層之吸收率等等，以及其任何部分(諸如，一或多個部分或部分之組合)(諸如，針對層730及真空/介質740所識別之片段)之參數中的一或多者。參數之初始值可為針對經量測之目標所預期的值。接著在212處比較經量測輻射分佈108與所計算之輻射分佈208以判定兩者之間的差。若存在差，則可變化經參數化模型206之參數中之一或多者的值，計算新的所計算輻射分佈208且將其與經量測輻射分佈108比較直至在經量測輻射分佈108與所計算之輻射分佈208之間存在足夠匹配為止。彼時，經參數化模型206之參數之值提供實際目標30'之幾何形狀的良好或最佳匹配。經參數化模型之彼等參數中之一者(例如，CD)可由使用者使用以評估微影程序或其他製造程序之一或多個步驟。另外或替代地，可自經參數化模型之值中之一或多者導出所關注參數。

但，需要縮減由度量衡目標佔據之空間。

舉例而言，需要縮減習知地已定位有度量衡目標之基板上之目標部分C之間的「切割道」之寬度。另外或替代地，需要(例如)使在裝置圖案自身內包括度量衡目標，以允許諸如CD及/或疊對之參數之變化的更準確及/或精確監視及校正。為此目的，最近已設計以繞射為基礎之度量衡的替代方法。舉例而言，在以影像為基礎之度量衡中，製造目標之兩個影像，每一影像使用繞射光譜之不同選定階。比較該兩個影像，可獲得不對稱性資訊。藉由選擇影像之部分，可將目標信號與其環境分離。可使目標較小且目標無需為方形，使得可在同一照明光點內包括若干目標。美國專利申請公開案US2011-0027704、US2011-0043791及US2012-0044470中描述此技術之實例。

除了縮減由度量衡目標佔據之空間以外或對縮減由度量衡目標佔據之空間之替代，亦需要改良量測自身之性質，諸如，量測之準確度及/或精度。舉例而言，需要(例如)獲得量測之較高敏感度。另外或替代地，需要(例如)獲得上文所描述之重新建構中之各種參數之間的較佳解耦。舉例而言，需要藉由縮減或消除與影響另一所關注參數之一個所關注參數相關聯的量測之效應而獲得用於特定所關注參數中之每一者的較佳值。

隨著對於大小縮減及/或準確度之需求持續，現有技術可遇到一些技術限制。舉例而言，一些方法需要捕捉至少 ± 1 繞射階。在考量物鏡15之數值孔徑的情況下，此情形約束目標之週期性結構之間距(L)。為了改良敏感度及/或縮減目標大小，可考慮使用較短波長 λ 。此外，目標不能太小，否則目標將不具有足夠特徵以被認為是週期性結構。因此，使用尺寸遠大於產品(例如，裝置)佈局之尺寸的週期性結構特徵(例如，線)來量測疊對(作為一實例)，從而使疊對量測較不可靠。理想地，特徵線及間距應具有與產品特徵相似之尺寸。

圖8展示其中可實現量測自身之性質(例如，準確度及/或精度)改良及/或目標大小縮減的檢測設備。在圖8中，可將光點S' (其在(例如)需要較小目標之情況下可小於習知大小)應用於目標30' (其在(例如)需要較小目標之情況下可小於習知大小，例如具有較小間距之特徵)。類似元件符號貫穿諸圖係指類似組件。

比較圖8之設備與圖4之設備，第一差異為提供接近於目標30'之額外透鏡元件60。此額外透鏡為小型固體浸潤透鏡(SIL)，其具有僅大約毫米之寬度(例如，直徑)，例如，在1毫米至5毫米之範圍內，例如約2毫米。在一實例中，SIL包含半球體材料，其接收與其表面成實質上正入射角之輻射射線。在一實施例中，SIL可為不同形狀，諸如超半球體。在一實施例中，SIL係由折射率為 n 之材料製成，諸如，玻璃、晶體、熔融石英、材料之組合等等。在SIL材料內，原始射線之數值孔徑(NA)增加。所接收射線開始聚焦於半球體之約中心處或超半球體之等光程點處，且形成相比於在不存在SIL之情況下將已形成之光點小達原先之 $1/n$ (針對半球體)或 $1/n^2$ (針對等光程超半球體)的光點。舉例而言，具有 $n=2$ 之典型玻璃半球體將把經聚焦光點之寬度縮減為原先的 $1/2$ 。在一實施例中，SIL 60之頂端可呈截圓錐或金字塔狀之形式，其在面向目標之頂點側處具有大體上扁平表面。

光學元件浸潤於液體中已用以增加顯微法及光微影中之解析度。固體浸潤透鏡可達成相似增益或甚至更大增益，而無液體浸潤不便性/問題。然而，為了確保增加之NA實際上確實增加系統之解析度，SIL之底部必須與目標30接觸抑或極接近其定位。

亦可使用所謂微SIL。此SIL之寬度(例如，直徑)小許多倍，例如，寬度約2微米來代替約2毫米。在圖8設備中之SIL 60為微SIL之實例中，該微SIL可具有小於或等於10微米、可能小於或等於5微米之寬度(例如，直徑)。

無論使用小型SIL 60抑或使用微SIL 60，其皆可附接至可移動支撐件使得控制與基板之對準及近接比在具有較大寬度之透鏡之狀況下簡單得多。舉例而言，圖8中之SIL 60安裝至框架62。在一實施例中，框架62可移動。可提供致動器以移動框架62。在一實施例中，框架62支撐物鏡15。因此，在一實施例中，框架62可一起移動物鏡15及SIL 60兩者。在一實施例中，用於框架62之致動器可經組態以在實質上Z方向上移動框架62（及SIL 60）。在一實施例中，用於框架62之致動器可經組態以圍繞X軸及/或Y軸移動框架62（及SIL 60）。在一實施例中，SIL 60處於相對於框架62之相對固定位置中。此可被稱作單一載物台配置，其中物鏡15及SIL 60相對於彼此固定且由框架62之致動器移動。在此狀況下，益處可為SIL可機械地定位於物鏡之焦點中。

如上文所提及，圖8中之SIL 60安裝至框架62，在一實施例中，該框架62支撐物鏡15。當然，SIL 60可安裝於與彼支撐物鏡15分離之框架上。在一實施例中，SIL 60經由臂64及致動器66連接至框架（例如，框架62）。致動器66在操作中可為（例如）壓電的或經音圈致動。SIL 60具有致動器以造成可移動物鏡15與SIL 60之間的相對移動之配置可被稱作雙載物台配置。在雙載物台中，可將某些功能性分離。舉例而言，（相對大）物鏡載物台包含相對重物鏡且可具有相對大運動範圍。在一實施例中，物鏡載物台可實質上僅在Z方向（實質上垂直於表面）上移動。另外，物鏡載物台可具有對於相對長位移範圍而言足夠，但對於抑制小位置干擾而言可能不足夠（例如，過低頻寬）的某一頻寬（例如，~100 Hz）。（相對小）SIL載物台包含相對輕SIL且可具有相對小運動範圍。在一實施例中，SIL載物台可在至少3個自由度中（例如，在Z方向上及圍繞X軸及/或Y軸）移動，以將SIL定為成實質上平行於表面。另外，SIL載物台可具有用以抑制小位置干擾之某一頻寬（例如，足夠高）（例如，高達幾百奈米）。SIL載物台可不具有足以涵

蓋所要全部行進範圍之機械範圍。因此，SIL載物台可用以將SIL定位於表面上方約10奈米至50奈米處，而物鏡載物台可將物鏡定位於相對於表面之焦點處。

致動器66可結合一或多個其他致動器來操作，從而相對於目標將物鏡作為整體而定位。關於(例如)上文所提及之粗略定位器及精細定位器，致動器66可被視為超精細定位器。此等不同定位器之伺服控制迴路可彼此整合。組件62、64及66連同基板台及定位器(上文提及，但圖8中未展示)形成用於將SIL及目標T定位成彼此緊鄰之支撐設備。如上文所提及，原則上，SIL 60可穩固地安裝至框架62及/或可具有較大寬度。分離之臂及致動器允許較容易控制極小間隙，如下文更詳細地予以論述。

使包括SIL 60會開啟(例如)聚焦至小得多的光點S'之可能性。SIL藉由運用傳播波及消散波兩者來照明目標且自該目標捕捉近場輻射(包括在間隙中消散之波)來起作用，且為此目的，SIL經定位成比來自目標結構之輻射之一個波長(λ)實質上更近，通常比一半波長更近，例如為大約 $\lambda/20$ 。距離愈近，近場信號至器具中之耦合愈強。因此，SIL 60與目標30'之間の間隙可小於100奈米，例如，介於10奈米與50奈米之間。因為檢測設備之NA得以有效地增加，所以敏感度及參數解相關性得以增強使得可縮減目標週期性結構之間距。

在將使用微SIL之實例中，習知地用於(例如)散射計中的類型之空間上非相干輻射不能聚焦至小達微SIL的成微米大小之光點。因此，在此實施例中或在使用巨型SIL (亦即，大於微SIL的SIL)之實施例中，輻射源2可改變至空間上相干源。因此，雷射源70經由光纖72而耦接至照明光學件12等等。對基板上之光點大小之限制係藉由聚焦透鏡系統之數值孔徑以及雷射波長設定。作為使用空間上相干輻射之額外益處，具有雷射輻射源70之器具可用以執行不同類型之散射量測

或量測。舉例而言，相干傅立葉散射量測(CFS)可用以量測目標。

如上文所強調，應維持SIL與目標之間的小間隙(例如，在10奈米至50奈米之範圍內之值，例如，20奈米、25奈米、30奈米或35奈米)。但不管用以建立及維持所要間隙之控制機構，已發現，SIL頂端之表面自其預期完美扁平或彎曲表面之變化(下文中為粗糙度)可得到量測結果中之誤差。且已發現，甚至SIL頂端之小粗糙度在判定自量測資料導出之所關注一或多個參數時亦可造成不可接受的大誤差。

如上文所論述，可使用運用固體浸潤透鏡(SIL)之以輻射為基礎之度量衡(例如，散射量測)來量測微影目標之所關注參數(例如，臨界尺寸(CD))。SIL之下部表面(SIL頂端)保持與目標相隔小距離(例如，在10奈米至50奈米之範圍內之間隙)。自目標經由SIL頂端反射之輻射在(例如)接物鏡之背向焦平面中形成強度分佈(強度光瞳)，該強度分佈成像至偵測器(例如，CCD攝影機)上且使用該偵測器來量測該強度分佈。經量測光瞳中之強度分佈取決於間隙之大小以及經量測之目標之幾何及光學屬性。

如上文所論述，在經參數化模型(例如，諸如圖7中之模型)中捕捉目標之幾何及光學屬性，該經參數化模型之一或多個所關注參數(例如，CD參數)形成子集。在使用(例如)馬克士威求解程序的情況下，在被稱為重新建構的經記錄光瞳之計算後處理中重新建構用於經量測目標之模型參數之值。

在一實施例中，模型可包括作為待重新建構之浮動參數之間隙。在一實施例中，SIL頂端可被表示為完美扁平的。

在一實施例中，為了實現使用(例如)前向模型馬克士威求解程序之相對快速計算，通常模型化目標之週期性結構之僅一個或若干特徵。接著使用週期性邊界條件以近似全部週期性結構。圖7中展示用於此等計算的週期性結構之單一特徵之模型的實例，圖7描繪SIL頂端

750、目標特徵及關聯層700、710、720、730，及SIL頂端750與目標特徵之間の間隙740。如應瞭解，SIL、間隙、目標特徵及/或層可具有如在圖7實例中由不同圖案填充粗略表示的不同折射率(例如，實折射率或複折射率、折射率張量等等)。

但如上文所論述及圖7中所展示，完美扁平或均一SIL頂端750之模型之假定並不正確。在製造中，藉由習知拋光、化學-機械平坦化(CMP)及/或其他處理方法來產生SIL頂端750之表面。經拋光/經平坦化表面將總是在表面粗糙度及/或波紋度之形式上具有一定量之粗糙度。表面粗糙度為在小於所使用之輻射波長的橫向尺寸上之表面不規則性(高度變化)。波紋度為在大於所使用之輻射波長的橫向尺寸上之表面不規則性。SIL頂端750之粗糙度針對良好拋光之SIL頂端750在振幅方面為大約數奈米或高達10奈米至20奈米。在下文中，依據表面粗糙度論述粗糙度，但本文所描述之技術亦可或替代地用於SIL頂端750之波紋度。在一實施例中，SIL頂端750之波紋度實務上可在獲得良好結果方面問題會少一些。

因此，因為光瞳中之強度分佈至少部分地取決於間隙740，所以用於一給定目標之光瞳針對完美扁平之SIL頂端750相比於針對擁有某一粗糙度之SIL頂端750將稍微不同。因為在(例如)圖7之模型中省略粗糙度，所以在重新建構期間必須考量歸因於由於SIL頂端粗糙度之間隙距離之差的強度之差。實際上，此情形導致經重新建構模型參數自在SIL頂端實際上完美扁平之情況下將已具有的值之偏差。因為度量衡方法旨在準確量測一或多個所關注參數，所以此變化不當且應縮減或最小化此變化。

為了考量及表示粗糙度，可將高度剖面添加至SIL頂端750之模型。可藉由(例如)SIL 60之頂端之量測來判定高度剖面。然而，如上文所提及，計算利用目標之一或多個週期性結構之週期性性質以便加

速計算時間，亦即，以在將評估許多目標且因此將需要評估許多週期性結構特徵之條件下相對快速地獲得結果。因此，為了執行包括粗糙度剖面之實際計算(例如，模擬)，應將經模型化域延伸為與在橫向尺寸上之輻射波長至少一樣大。對於小週期性特徵(間距)，此可意謂20至80個週期性結構特徵包括於重新建構模型中。此多特徵模型可被稱為超製造單元，以區別於模型僅含有一個特徵之單位製造單元。但在運用(例如)數值馬克士威求解程序的情況下，計算時間以非線性方式(例如，以經模型化域之三次冪)縮放。因此，對於50個週期性結構特徵，此意謂計算時間增加125000倍，從而得到數天來計算一個光瞳且很可能數周或數月來對專用電腦進行單一重新建構。

圖9中描繪具有額外SIL頂端粗糙度910之十個特徵910之超製造單元模型的實例。圖10展示兩個經模擬光瞳(差量光瞳)之間的差，第一光瞳針對45奈米間距光柵使用相似於圖9之超製造單元模型來計算，其中在該模型中具有10個光柵線，且SIL頂端具有為0.2奈米之RMS之隨機粗糙度；且第二光瞳針對相同光柵使用相似於圖7之單位製造單元模型來計算，其中在該模型中具有單一光柵線，且具有完美扁平SIL頂端。如在圖10中可看到，在光瞳之間存在顯著變化。基於超製造單元光瞳使用具有扁平SIL頂端之單位製造單元模型進行的例如CD之參數之重新建構可得到經重新建構參數之大達一個百分比的變化。另外，預期此等變化針對所使用之較小間距及/或較短量測光束波長而增加。此外，為0.2奈米之SIL頂端粗糙度之RMS可佳於當前先進技術針對SIL頂端可得到的值。因此，SIL頂端粗糙度將對參數重新建構之準確度有顯著(消極)影響。

因此，在一實施例中，粗糙度之光學效應可藉由有效介質近似(EMA)而模型化，其中該粗糙度在模型中用具有有效折射率(例如，實折射率或複折射率、折射率張量等等)之一或多個連續片段替換。

舉例而言，參看圖11，可藉由具有有效折射率(例如，實折射率或複折射率、折射率張量等等)之單層片段1100來模型化粗糙度。在一實施例中，粗糙度可由複數個片段(例如，分層片段)表示，每一片段具有一各別有效複折射率(例如，實折射率或複折射率、折射率張量等等)。該一或多個片段可另外具有關聯厚度。

此EMA之一實例為布魯格曼之EMA (Bruggeman's EMA)，其中粗糙度係由具有厚度 T 及有效折射率 n_{eff} 之單層替換。其他EMA包括馬克士威-加內特理論(Maxwell-Garnett Theory) EMA、朱路(Drude) EMA、體積平均化理論(Volume Averaging Theory) EMA、勞侖茲-勞侖次(Lorentz-Lorenz) EMA、並列(Parallel) EMA及/或串列(Series) EMA。任何EMA模型係藉由將被稱作EMA參數之一組參數予以判定。

在使用運用應用於比如圖9中之超製造單元中的已知粗糙度之模擬及使用比如圖11中之單位製造單元模型(其中使用相同粗糙度而參數化EMA)之模擬的情況下，發現各別光瞳之間的良好定性協議。另外，定量地，光瞳歸因於所選EMA模型而以一比例因數(其基本上恆定)不同。已發現，比例因數獨立於基準件(如下文進一步所論述)之類型、間隙或粗糙度RMS。

在一實施例中，可藉由計算及/或量測估計EMA參數之值(例如， T 及 n_{eff} 之值)。為了進行此估計，將需要關於表面形態之相對詳細知識。在一實施例中，可量測表面粗糙度及/或折射率且將其用作至適用EMA模型中之一者中之輸入，且因此，可判定EMA參數之值。

在一實施例中，可自相對快速且低成本之校準程序獲得EMA參數之值(例如， T 及 n_{eff} 之值)。此校準方法亦可允許使用較複雜EMA模型。實例為：(1)多分段模型，其中每一片段層具有一不同有效折射率及/或厚度；或(2)密度梯度，其中折射率(例如，實折射率或複折射

率、折射率張量等等)具有例如藉由經參數化函數而判定之距離(例如，高度、厚度等等)之函數。

在一實施例中，為了校準某一模型幾何形狀之EMA參數且為了縮減獲得EMA參數時之數學及/或量測複雜度，使用為大體上平面且具有準確已知光學參數的參考樣本表面(基準件)。輻射接著通過SIL 60 (及其粗糙頂端)而傳遞至基準件上。重新導向輻射傳遞至偵測器，其中量測此重新導向輻射之一或多個強度光瞳。接著，可使用諸如相似於如本文所論述之數學重新建構程序(諸如關於圖6)的數學計算程序以導出EMA模型之一或多個參數。

因此，在一實施例中，基準件經模型化為基本上或完美地扁平。圖12展示用於基準件之實例單位製造單元模型。圖12描繪由片段1210表示之基準件與由片段750表示之SIL頂端間隔一間隙(由片段740表示)。圖12進一步展示用於由片段1200表示之SIL頂端之EMA。如應瞭解，片段1200可包含(例如)多個分層片段及/或具有一梯度。因此，在假定基準件之基本上完美平坦度之此模型中，僅有浮動參數為間隙740及用於EMA片段1200之EMA參數。

因此，為了使基本上完美平坦度之假定成立，基準件應理想地遍及SIL 60之整個頂端原子級扁平，其在寬度(例如，直徑)上可為數十(若不高達數百)微米。因此，在一實施例中，基準件表面包含固體材料及/或液體材料。

在一實施例中，用於基準件之固體材料包含Ag、GaP、Si、SiC、BP、Cu、Ta₂O₅及/或Al。在一實施例中，固體材料包含晶體，諸如雲母。在一實施例中，固體材料包含金屬。此等材料可直接形成基準件表面，抑或可充當用於下文中所描述之一或多個層之支撐件。原子平坦度可藉由(例如)裂解(例如，諸如雲母之晶體)、機械拋光(例如，矽及/或金屬)、化學拋光(例如，矽及/或金屬)及/或熱處理(例

如，在超高真空中)來達成。

在一實施例中，用於基準件之液體材料包含液體金屬。在一實施例中，液體金屬包含GaInSn或Hg。因此，在一實施例中，為了改良基準件之可製造性及/或處置，可使用液體金屬以產生原子級扁平基準件之至少一部分，該液體金屬可歸因於其高遷移率而具有有利自清潔屬性。

在一實施例中，可將一或多個層(例如，塗層、薄膜等等)提供於固體或液體材料之頂部上。該一或多個層可包括順次地用以產生相對厚多層堆疊之具有相同材料或不同材料的重複之兩個或多於兩個層。該等層可促進(例如)改變折射率、改良平坦度、改良惰性/穩定性，及/或改良處置簡易性。為了改變折射率，需要相對厚層。舉例而言，本文所描述之固體材料中之一或多者。出於其他原因，薄膜可足夠，其中為了限制對折射率之效應，愈薄愈佳。

在一實施例中，層中之一或多者可包含金屬，例如，Al、Cu、Ag、及/或Au。在一實施例中，層中之一或多者可包含氧化物，例如，Si上自然SiO₂、Si上熱SiO₂、Al上自然Al₂O₃，或NiAl(110)上磊晶Al₂O₃。在一實施例中，層中之一或多者可包含2維奈米材料，諸如，單層或多層石墨烯、六邊形氮化硼或過渡金屬二硫屬化物奈米層，例如MoS₂、WS₂。在一實施例中，層中之一或多者可包含有機材料或有機金屬材料。

在一實施例中，雲母或其他表面可用作一模板以產生諸如金及/或銀之原子級扁平金屬層，作為原子級扁平基準件之全部或部分。在一實施例中，原子級扁平基準件之全部或部分可具有砒。

在一實施例中，基準件之材料應經選擇為使得經偵測光瞳對SIL頂端之粗糙度最敏感。在一實施例中，此敏感度分離地隨著基準件之複折射率之實數部分 nf 及虛數部分 kf 而縮放。但然而，與複折射率之

實數部分 nf 及虛數部分 κf 相關聯的光瞳中之所得強度變化具有相對正負號。因此，可藉由使用包含具有1)高 nf 及低 κf 或2)低 nf 及高 κf 的一或多個材料之基準件，以幫助防止 nf 及 κf 兩者之貢獻部分相消來達成最高敏感度。

因此，提議用於形成基準件之一或多個不同材料。此外，在不同量測光束波長下理想地使用各種材料中之某些材料。在一實施例中，Ag、GaP、Si、SiC及/或BP為特別用於可見波長區之適當材料(高 nf 、低 κf)。在一實施例中，Cu為特別用於具有大約700奈米之波長之輻射的適當材料(高 κf 、低 nf)。在一實施例中，Ta₂O₅為特別用於UV波長及可見波長兩者之適當材料(相對高 nf 、極低 κf)。在一實施例中，Al為特別用於UV區中之輻射之適當材料(高 κf 、低 nf)。

此等材料中之許多材料與氧(諸如，在空氣中)反應。舉例而言，曝光於氧之Si、Al及Cu可變得覆蓋有薄氧化物膜。氧化程序通常將增加基準件之粗糙度且因此影響校準。諸如Ag及Au之非氧化金屬吸引來自環境(例如，空氣)之有機/有機硫污染，此將以相似方式影響校準。因此，在一實施例中，基準件可在其上具有某一材料之一或多個層使得基準件變得(例如)較有惰性及/或較容易處置，而不會毀壞基準件之平坦度。實例包括具有自然氧化物之Al晶體、具有磊晶氧化鋁層之NiAl(110)晶體，及/或具有銅層與單石墨烯層之藍寶石。在此等狀況下，基準件應經模型化為多層堆疊(例如，片段1200包含多個分層片段，每一片段表示基準件堆疊中之不同材料)，而可能減低校準方法之準確度。

此等各種材料及技術並非詳盡的。可使用其他材料及/或技術以提供具有適當光學屬性且形成(例如)在操作條件下穩定之基本上原子級扁平表面之基準件。

亦可為如下情況：用於基準件之某一材料擁有良好光學屬性，

但不可容易獲得足夠大原子級扁平表面區域或足夠扁平表面。在此狀況下，第二EMA可用於模型中以模仿基準件表面粗糙度。舉例而言，位於圖12中之片段1210上方之一片段相似於片段1200以模型化基準件之粗糙度。運用(例如)有效折射率(例如，實折射率或複折射率、折射率張量等等)、厚度等等之值來將該第二EMA參數化。類似於用於SIL頂端之EMA，該第二EMA可為多片段及/或具有梯度。可運用(例如)原子力顯微法及/或相差顯微法量測基準件之粗糙度，以獲得對基準件之粗糙度之EMA模型化的校準。倘若基準件之折射率接近於SIL 60材料之折射率，則可存在EMA參數之兩個集合之間的串擾。對於高 κ f基準件材料，此串擾可相對容易地解析，此係因為SIL具有相對高 n 且可具有低(接近於零) κ 。另外，可獲得強度光瞳之不同量測以用於EMA參數之兩個集合之解相關。

因此，概言之且參看圖13，粗糙度校準程序可包含在S101處選擇具有高 κ 或高 n 材料之原子級扁平基準件(或良好特性化之非扁平基準件)，該原子級扁平基準件提供於具有SIL 60頂端之檢測設備中，需要判定針對該SIL 60頂端之表示該SIL 60頂端之粗糙度的EMA。在S102處，將用於基準件之具有適當波長之輻射傳遞通過SIL 60且傳遞至基準件上，且使用偵測器量測由基準件重新導向之輻射以獲得一或多個強度光瞳。在S103處，可針對不同照明波長及/或偏振狀態重複步驟S101及S102。舉例而言，不同波長可需要不同基準件。

在S104處，使用模型來計算每波長及/或偏振狀態之經記錄光瞳，該模型在一實施例中僅含有用於基準件、SIL及EMA之片段，諸如圖12之模型。EMA參數(例如，光學及/或厚度參數)中之一或多者及SIL與基準件之間間隙為模型之經變化以獲得對應於經記錄光瞳之光瞳之計算的浮動參數。經記錄光瞳與所計算光瞳之間的匹配指示一或多個EMA參數接近地估計對SIL 60頂端之粗糙度之光學回應。

在一實施例中，可在檢測設備已用以量測一或多個目標之後的後續時間段重複步驟S101及S102、步驟S101、S102及S103或步驟S101、S102、S103及S104。因此，在一實施例中，可在量測一或多個目標之檢測設備之使用週期之後重新校準檢測設備之EMA參數。

在S105處，將諸如圖11中之片段1100之EMA提供至諸如圖11中所描繪之週期性結構模型(單位製造單元)，以用於重新建構待量測之目標週期性結構(例如，目標光柵)之一或多個參數。用於片段1100之EMA參數係基於在步驟S104中獲得之針對用於目標週期性結構之一或多個特定量測光束波長及/或偏振狀態之值。換言之，將用於待用以量測目標週期性結構之一特定量測光束波長之經記錄及所計算光瞳的匹配集合之EMA參數應用於模型中之EMA 1100 (諸如，在圖11中)，該模型用以重新建構使用該特定量測光束波長而量測之該目標週期性結構。

在S106處，將一或多個目標週期性結構曝光於一或多個量測光束波長，且量測重新導向輻射以獲得一或多個經量測強度光瞳。接著將經量測強度光瞳用作針對一或多個量測光束波長使用S105之模型進行之重新建構的部分。重新建構可引起導出經量測目標週期性結構之一或多個參數，諸如CD。

在一實施例中，EMA可用以「後向」導出光學組件(例如，不同光學組件)、基準件或目標之一或多個粗糙度參數(例如，Ra、RMS、等等)。亦即，可在與表面相隔之間隙處使用光學組件來量測輻射強度分佈。接著，可使用經量測輻射強度分佈及描述表面之數學模型來判定粗糙度參數，該模型包含針對光學組件或其部分之表面之粗糙度的有效介質近似。

對於給定SIL 60或檢測設備，可將經判定EMA參數或經量測基準件資料中之一或多者儲存於記憶體中(諸如，在使用檢測設備以量測

一或多個基板上之一或多個目標之後隨著時間推移而獲得的一或多個經判定EMA參數或經量測基準件資料)，使得此一或多個參數/資料或自其導出之一或多個參數(例如，統計資料)可用於一或多個EMA參數之一或多個後續判定中或供一或多個其他評估技術使用。舉例而言，一或多個經判定EMA參數或經量測基準件資料或自其導出之一或多個參數可用於機器學習或統計技術中，以進行用於SIL 60頂端之一或多個EMA參數之一或多個後續建構或導出。此技術可為貝葉斯正則化。因此，舉例而言，一或多個先前經判定EMA參數或經量測基準件資料或自其導出之一或多個參數(例如，一或多個統計資料)可用於貝葉斯正則化中以導出EMA參數之新值。

在一實施例中，經判定EMA參數或經量測基準件資料中之一或多者或自其導出之一或多個參數(例如，一或多個統計資料)可用作用於SIL頂端及/或基準件之品質指示符。舉例而言，EMA參數或經量測基準件資料中之一或多者或自其導出之一或多個參數可給出關於SIL頂端及/或基準件之平坦度/粗糙度之指示符。在一實施例中，當發現一或多個經判定EMA參數或經量測基準件資料或自其導出之一或多個參數在預設界限外或超越臨限值時(例如，當一或多個EMA參數或經量測基準件資料不同於該一或多個EMA參數之早先值而多於或等於3%、5%、10%、15%、20%、25%或30%時)，可給出信號。在一實施例中，可給出作為診斷(例如)以警告SIL及/或基準件之合意性，或造成SIL及/或基準件之服務(例如，清潔)或替換的信號。舉例而言，信號可用以觸發或控制用以清潔SIL 60及/或基準件之清潔單元(例如，磨光帶、微纖維擦拭工具、SIL及/或基準件附近之(經離子化)清洗氣體噴嘴、電漿清潔單元等等)之一或多個參數。亦即，在一實施例中，信號藉由SIL及/或基準件之清潔單元而觸發清潔，或控制SIL及/或基準件之清潔單元之一或多個清潔參數。在一實施例中，清潔

單元可位於檢測設備內部。在一實施例中，可給出應停止或暫停使用基板進行之量測之信號。另外，在使用經儲存一或多個經判定EMA參數或經量測基準件資料的情況下，有可能藉由外插在該一或多個經判定EMA參數或經量測基準件資料中之趨勢而預測出何時一或多個EMA參數或經量測基準件資料被預期在預設界限外(且因此，起始用於(例如)SIL及/或基準件之服務之信號)。亦即，在一實施例中，一或多個經判定EMA參數或經量測基準件資料可用以預測該一或多個EMA參數或經量測基準件資料是否及/或何時將超越臨限值且提供其信號(例如，需要SIL及/或基準件之服務之信號)。

另外，為了有效控制組件相對於表面之定位，需要準確知曉組件與表面之間的間隙。舉例而言，在藉由以SIL為基礎之量測進行之目標量測期間，間隙誤差信號(GES)可用以控制SIL 60頂端與目標之間的間隙。

但在真實系統中，量測信號可不準確，關於系統之假定(例如，組件大小)可並非總是有效，等等。舉例而言，組件(例如，SIL)與目標表面之間的間隙可由間隙誤差信號(GES)表示。若控制係基於GES，則可需要校準以幫助確保組件與目標表面之間的間隙為某一預期間隙(例如，以便避免碰撞且達到所要量測條件)。

另外，間隙之量測可強烈地取決於目標表面上(例如，經蝕刻於基板表面上)之結構。亦即，GES可強烈地取決於目標表面上之結構。詳言之，GES之偏移可實質上隨著目標結構之類型而變化，此情形引入(例如)SIL與目標碰撞之嚴重風險。舉例而言，若將GES控制處於對應於(例如)用於給定結構之20奈米或50奈米之值，則可能將彼結構控制為接近於所要20奈米或50奈米。然而，彼GES處之另一結構可已經觸摸SIL。因此，(例如)由於錯誤的使用者輸入，結構之偏差可使得GES自預期值顯著地變化。此偏差可引起(例如)SIL撞擊目標

表面，因此使得設備及目標表面易受不可接受的損害風險影響。

因此，提供校準GES、經量測間隙距離及/或設定點值之方法。

為了實現校準，在一實施例中，根據控制迴路中之一或多個其他可量測信號或自該一或多個可量測信號導出之一或多個信號(諸如，控制誤差信號，該控制誤差信號為組件與表面之間的經量測間隙距離與組件與表面之間的所要間隙距離之差之量度)產生觸發信號。在一實施例中，控制誤差信號為GES或基於GES，例如，間隙距離之設定點值與基於GES之經量測間隙距離之間的差。替代控制誤差或除了控制誤差以外，控制迴路中之一或多個其他可量測信號或自該一或多個可量測信號導出之一或多個信號亦可用作觸發信號。

在小間隙(亦即， $<\lambda/4$ 奈米)下之GES之斜率針對不同結構保持近似恆定。因此，GES為用於逐漸減低組件與表面之間的間隙之合適控制信號。另外，當逐漸減低SIL與目標表面之間的間隙時，GES之誤差(亦即，控制誤差)在其遇到不穩定性時突然開始非線性地增加。

此不穩定性可歸因於凡得瓦爾力相互作用、靜電相互作用或在亞微米距離處出現的其他相互作用(本文中通常為近接力或勁度)。詳言之，對於完美導電平行板，此凡得瓦爾力相互作用引起藉由以下方程式給出之近似吸引開斯米力(Casimir force)：

$$F_{cas} = \frac{\hbar c \pi^2 A}{240 z^4} \quad \text{方程式(1)}$$

其中 $\hbar$ 為約化普朗克常數且等於 $\frac{h}{2\pi}$ ， h 為普朗克常數 $=6.624e^{-34}\text{Js}$ ， c 為光速($3e^8\text{ m/s}$)， A 為接近目標表面之SIL頂端表面之面積，且 z 為將SIL頂端表面與目標表面分離之間隙。應注意，如下文所論述，可需要變化來自方程式(1)之結果以考量不同材料、不同構形等等。此外，在兩個板之極小分離度(例如，至多約幾百奈米)下，力可在 $1/z^3$ 下代替 $1/z^4$ 來縮放，參見(例如) Rodriguez等人之全文以引

用方式併入本文中「The Casimir effect in microstructured geometries」(Nature Photonics, 第5卷, 第211至221頁(2011年))。

此近似吸引開斯米力可經進一步表達為具有由以下方程式給出之勁度 k_{cas} 之彈簧之結果：

$$k_{cas}(z) = \frac{\partial F_{cas}}{\partial z} = -\frac{\hbar c \pi^2 A}{60 z^5} \quad \text{方程式(2)}$$

除藉由以上方程式(1)及(2)給定出之開斯米力及勁度之外，歸因於靜電相互作用之力及勁度亦在此等小間隙處變得顯著。對於完美導電平行板之間的靜電力，SIL頂端表面與目標表面之間的靜電力近似由以下方程式給出：

$$F_{es} = \frac{\epsilon_0 A V^2}{2 z^2} \quad \text{方程式(3)}$$

其中 V 為SIL頂端表面與目標表面之間的電壓差， z 為將SIL頂端表面與目標表面、表面分離之間隙， A 為接近目標表面之SIL頂端表面之面積，且 $\epsilon_0 = 8.85e^{-12}$ 法拉/公尺。因此，靜電勁度為：

$$k_{es}(z) = \frac{\partial F_{es}}{\partial z} = -\frac{\epsilon_0 A V^2}{z^3} \quad \text{方程式(4)}$$

因此，GES之誤差(亦即，控制誤差)之不穩定性可歸因於一個或多個近接勁度，例如，開斯米勁度或開斯米勁度及靜電勁度之組合。在許多情況下，靜電力為未知的，此係因為SIL與基板之間的電壓差為未知的。但，靜電力在存在時為開斯米力之額外成份。因此，舉例而言，單獨地基於開斯米力之臨限值作為(例如)安全觸發為有效的，即使存在靜電力亦如此。

亦即，在一實施例中，可評估觸發信號是否通過一臨限值以判定組件與表面之近接度。因此，不穩定性及/或非線性可用以適時地判定組件與表面之臨限近接(例如，組件撞到目標表面中之風險)。因此，控制誤差可用以感測組件與目標表面之近接度，該近接度可(例如)觸發(例如)收縮組件或中斷其移動之安全機構。可將適當臨限值應用於信號以判定發生不穩定性之時刻或恰好在不穩定性之前的時刻。

在使用SIL之光學系統中，增加SIL與目標表面之間的間隙可為當遇到控制迴路之不穩定性時所採取之動作。然而，在一些實施例中，可執行其他動作，諸如停止SIL之運動及/或分析與SIL相互作用之目標表面上之結構。

在一實施例中，GES信號就其遠場強度而言可為正規化信號。結果，用於控制之正規化GES信號值可介於0與1之間，實質上獨立於照明之屬性。

在一實施例中，觸發信號在不穩定性接近時相對突然地增加或減低。突然改變係由近接勁度中之一或多者(諸如，分別由方程式(2)及(4)給出之開斯米勁度及/或靜電勁度)之相對極非線性特性造成。

在一實施例中，觸發信號可針對某一移動時間窗(例如，類似於移動平均值)為信號(例如，控制誤差)之最大絕對值。在一實施例中，觸發信號可為信號之大小之以範數為基礎之量化，諸如，信號(例如，控制誤差)針對彼信號之移動時間窗之最大絕對值。觸發信號之其他實例包括信號(例如，控制誤差)針對彼信號之移動窗之均方根(RMS)值，及/或用於指示控制迴路不穩定性之一或多個特定頻率之信號(例如，控制誤差)針對彼信號之移動窗之能量含量(例如，RMS)。在一實施例中，移動窗係在0毫秒至100毫秒之範圍內，例如，0毫秒至20毫秒，例如1毫秒、2毫秒或10毫秒。所應用窗大小可取決於SIL相對於表面之接近速度及SIL與表面之間的相對振動之頻率含量。在一些實施例中可正規化觸發信號。藉由基於控制誤差之相對改變產生觸發信號，可使(例如，基板或檢測設備之)振動對控制誤差之影響相消。

除了使用作為「安全」機制之觸發信號以外或替代使用作為「安全」機制之觸發信號，亦可將不穩定性及/或非線性用於校準。亦即，理想地，經量測間隙距離與實際間隙距離相同。然而，實際

上，由於各種原因經量測間隙距離可不同於實際間隙距離。在此等狀況下，可需要使用校準或校正因數來校正經量測間隙距離、間隙誤差信號及/或設定點值。因而，本文中揭示用於校準經量測間隙距離、間隙誤差信號及/或設定點值之方法。

如上文所提及，在認識到在組件緊密地接近表面時發生控制迴路中之不穩定性(其顯現在GES中)且此不穩定性由此等小距離之間隙處之微觀力引起的情況下，該不穩定性可用作用以校準間隙誤差信號、經量測間隙距離及/或設定點值之手段。

實際上，理想地，若已知結構，則已知GES。因此，可無需基於諸如開斯米力及/或靜電力之近接力之校準。但，若並未完全已知結構，則GES可具有(顯著)誤差。因此，可基於適用近接力或勁度之計算來校準GES。但，歸因於開斯米勁度對間隙之強相依性及對結構之相對弱相依性，預期開斯米勁度具有小誤差。因此，開斯米勁度可為在(例如)並未完全已知結構的情況下校準(例如)GES之方式。

因此，在一實施例中，對於已知表面積之組件，分別由方程式(2)及(4)給出之開斯米勁度及/或靜電勁度僅取決於組件與表面之間隙。因此，可使用方程式(2)及/或方程式(4)根據使用於定位組件之控制迴路不穩定之勁度之值計算組件與表面之間的絕對間隙之所估計值(亦即，所估計間隙距離)。但更一般而言，在一實施例中，可使用控管近接勁度之一或多個其他方程式根據使用於定位組件之控制迴路不穩定之勁度之值計算組件與表面之間的絕對間隙之所估計值(亦即，所估計間隙距離)。

如上文所論述，此等所計算值可由一常數或參數變更以考量組件及/或表面之一或多個特性及/或該一或多個特性之變化。可藉由模擬及/或校準導出該常數或參數。

另外，可評估指示組件與表面之間隙距離之間隙信號以識

別控制迴路中之不穩定性，該不穩定性顯現於間隙信號中。歸因於在大約數奈米至數百奈米之小距離下起作用之力而發生彼不穩定性。在間隙信號中之不穩定性下之間隙距離可被稱為參考間隙距離。在一實施例中，間隙信號可為(例如)來自用於相對於表面定位組件之控制迴路之GES或控制誤差信號，或來自如上文所論述之控制迴路之其他經量測或經導出信號。在一些實施例中，可自控制誤差信號(例如，上文所論述之觸發信號)進一步導出間隙信號。舉例而言，間隙信號可為經量測或經導出信號針對彼信號之移動窗之大小的以範數為基礎之量化，諸如經量測或經導出信號(例如，控制誤差)針對彼信號之移動窗之最大絕對值，經量測或經導出信號(例如，控制誤差)針對彼信號之移動窗之均方根值，及/或用於指示控制迴路不穩定性之特定頻率之經量測或經導出信號針對彼信號之移動窗之能量含量。

接著將參考間隙距離與所估計間隙距離相對於彼此進行評估。在理想系統中，參考間隙距離等於基於一或多個近接勁度(例如，開斯米勁度及/或靜電勁度)公式而計算的所估計間隙距離。因此，若其相等，則已經校準過系統。然而，因為系統可偏離理想行為，所以參考間隙距離可不同於所估計間隙距離。因此，可因此在參考間隙距離與所估計間隙距離不同的情況下判定校正或校準因數。舉例而言，可根據參考間隙距離與所估計間隙距離之間的差判定校正或校準因數，且可將校正或校準因數應用於GES信號、經量測間隙距離及/或控制迴路之設定點值。作為另一實例，對應GES值可經設定為用於基板上之給定結構之較低設定點(亦即，臨限值)，且因此可用以(例如)觸發安全機構以避免組件與表面撞到。

取決於目標/基板/批量之間的所預期結構變化，可每度量衡/檢測目標、每基板或每基板批量判定校正或校準因數一次。

在一實施例中，可需要將開斯米力(或一或多個其他近接力)隔離

為造成組件之GES之不穩定性的唯一顯著力，且因此，可僅需要針對開斯米效應(或其他近接效應)而計算之參考距離。為此，在一實施例中，可消除組件與表面之間的電壓差，藉此消除可歸因於組件與表面之間的電壓差之靜電勁度。可藉由任何已知方法(諸如，將導電塗層提供於組件之表面及/或目標表面上且將兩個表面接地)消除電壓差。

在一實施例中，代替消除組件與表面之間的電壓差，可提供已知的電壓差或可判定電壓差。在此實施例中，若與目標表面相互作用的組件之表面之面積已為熟知，則總勁度(亦即，近接勁度之組合)仍取決於組件與表面之間的間隙。因此，對於已知或經量測電壓差，仍可基於使間隙信號不穩定之勁度之值計算參考距離。因為針對靜電勁度之非線性低於(例如)開斯米勁度之非線性(-3之冪相對於-5之冪)，所以使用靜電勁度及一或多個其他近接勁度之組合進行的間隙距離之計算可不如單獨使用非靜電近接勁度一樣穩固。已知的電壓差應足夠低以避免組件與表面之間的電壓崩潰。

圖14描繪用以校準經量測間隙距離、間隙誤差信號及/或設定點值之程序的實例流程圖。該方法包括在區塊1300處，針對使用於相對於表面定位組件之控制信號不穩定之勁度值，基於組件與表面之間的一或多個近接(例如，開斯米及/或靜電)勁度而計算該組件與該表面之間的所估計間隙距離。在區塊1310處，評估關於組件與表面之間的間隙距離之間隙信號以識別該間隙信號中之不穩定性，該不穩定性下之該間隙距離為參考間隙距離。在區塊1320處，評估參考間隙距離相對於所估計間隙距離以獲得用於相對於表面定位組件之校正因數。

因此，在一實施例中，提供藉由利用一或多個近接力或勁度而使用「絕對間隙量測」以校準GES中之偏移之方法。在此方法中，實際上，藉由控制迴路偵測一或多個近接勁度，自該控制迴路可使用一或多個適用理論近接力或勁度公式導出絕對間隙。此方法歸因於與間

隙之非線性關係而對近接勁度中之估計誤差相對穩固，其中估計誤差可歸因於(1)對目標類型之(相對小)相依性及(2)理論近接力或勁度與實際近接力或勁度之間的偏差而出現。

但在一實施例中，使用近接力或勁度計算之此校準方法可受益於一另外校準，在該校準中可藉由(例如)以恆定縮放因數將理論近接力或勁度公式「校準」至特定應用而以足夠準確度位準獨立地獲得間隙。

因此，在一實施例中，因為上文所描述之粗糙度校準之邊界條件經良好界定(原子級扁平表面、基準件之良好界定之光學屬性等等)且「目標」(亦即，基準件)簡單(例如，其不具有具多個層之光柵結構)，所以根據校準計算判定之間隙之預期準確度大。因此，如以上所描述之基準件校準可提供間隙之獨立判定，以在校準方法中使用近接力或勁度計算校準一或多個參數。

圖15示意性地描繪使用一模型進行重新建構之程序的流程圖，該模型包含使用SIL量測之目標之一或多個參數之有效介質近似。在1400處，設置用於目標結構之標稱參數模型(例如，具有與目標相關聯之一或多個層之尺寸、一或多個層之一或多個折射率、用於量測之標稱間隙值、經量測輻射波長及/或偏振，等等)。在1402處，視情況執行使用如本文所描述之基準件之校準方法，以導出SIL頂端之粗糙度之有效介質近似之一或多個參數。在1404處，標稱參數模型包括SIL頂端之粗糙度之有效介質近似，該有效介質近似可使用SIL頂端之量測予以參數化及/或使用來自1402之一或多個參數予以參數化。

在1406處，使用1404之參數模型計算自使用SIL運用量測光束來量測目標而預期的理想光瞳(輻射分佈)。在1408處，使用SIL針對目標量測輻射強度分佈。

在1410處，將輻射強度分佈應用於重新建構程序以導出目標之

一或多個所關注參數(1412)。舉例而言，可將圖6之程序用於1410處。若使用圖6之程序，則1404之參數模型可替代經參數化模型206。

因此，在一實施例中，將SIL頂端粗糙度之有效介質近似用於模型化中，例如，用於自經量測輻射進行所關注參數之重新建構。另外，在一實施例中，可使用基準件校準方法來判定有效介質近似之一或多個參數。因此，實施例可實現經重新建構所關注參數之較佳精度。

因此，在一實施例中，使用有效介質理論以模型化(例如)檢測設備中之SIL頂端之粗糙度。粗糙度之模型可為描述SIL及待使用SIL而量測之量測目標之數學模型的部分。在一實施例中，高 n 或高 κ 折射率材料基準件可用以校準有效介質模型之一或多個參數。在一實施例中，可在機器學習或統計技術中使用一或多個經判定EMA參數或經量測基準件資料或自其導出之一或多個參數(例如，一或多個統計資料)以導出一或多個新EMA參數。舉例而言，一或多個先前經判定EMA參數或經量測基準件資料或自其導出之一或多個參數(例如，一或多個統計資料)可用於貝葉斯正則化中以導出EMA參數之新值。在一實施例中，可評估一或多個經判定EMA參數或經量測基準件資料以判定是否超越臨限值，於是可給出作為診斷以(例如)警告SIL之合意性，或造成SIL之服務或替換之信號。在一實施例中，該信號藉由SIL清潔單元觸發清潔，或控制SIL清潔單元之一或多個清潔參數。在一實施例中，SIL清潔單元位於檢測設備中。在一實施例中，一或多個經判定EMA參數或經量測基準件資料可用以預測是否及/或何時一或多個EMA參數或經量測基準件資料將超越臨限值，且提供其信號(例如，需要SIL之服務之信號)。在一實施例中，使用基準件之經重新建構之間隙以使用近接力或勁度計算來校準校準方法之一或多個參數。

因此，在一實施例中，SIL頂端粗糙度(表面粗糙度及/或波紋度)之模型化可放寬SIL之設計規格，其可允許SIL之可製造性改良及/或引起較低製造成本。在一實施例中，一旦SIL頂端經校準，該SIL頂端就將具有較高準確度。因為超NA工具敏感，所以經校準頂端可使能夠量測目標表面上之小特徵及/或不規則性。在一實施例中，使用基準件可實現工具服務之改良之可預測性，且因此潛在地縮減停工時間。在一實施例中，使用基準件可能夠改良工具清潔，且因此實現歸因於不必要清潔動作之產出率損耗。在一實施例中，使用基準件之校準可實現改良之間隙控制。在一實施例中，可藉由使用基準件校準不同工具中之每一者而縮減該等工具之間的失配。

雖然本文中之各種實施例主要描述SIL相對於基板/目標表面之位置控制，但所揭示方法及設備可用以控制任何組件(諸如，微型懸臂支架)相對於任何表面之位置。另外，雖然本文中之論述已集中於微影程序，但本文所描述之技術可用於其他製造程序(例如，蝕刻、抗蝕劑顯影等等程序)中。

如上文所描述，在一實施例中，提供用以藉由基於一或多個特定量測信號之技術控制間隙之各種技術。該等技術在諸如如下各者之光學度量衡或檢測設備中具有特定適用性：散射計、對準感測器(其判定對準標記之間的對準)、編碼器或干涉計(其實現位置量測)，及/或高度或位階感測器(其使能夠量測表面之位置)。因此，雖然本文中所揭示之實施例將光學度量衡用作所揭示技術之應用，但該技術可應用於SIL之其他應用中，諸如，用以基於由SIL捕捉之輻射而重新建構結構；或應用於一物件經定位及/或經維持成極接近於另一物件(例如，在低於400奈米範圍內)之任何其他應用中。無需獨佔地應用該技術，且該技術可結合一或多個其他技術來應用。

在一實施例中，提供一種涉及使用與目標相隔一間隙之光學組

件量測用於該目標之輻射強度分佈之方法，該方法包含：使用該經量測輻射強度分佈及描述該目標之數學模型來判定所關注參數之值，該模型包含對於光學組件或其一部分之表面之粗糙度的有效介質近似。

在一實施例中，有效介質近似(EMA)為選自如下各者中之一或多者：布魯格曼之EMA、馬克士威-加內特理論EMA、朱路EMA、體積平均化理論EMA、勞侖茲-勞侖次EMA、並列EMA及/或串列EMA。在一實施例中，有效介質近似包含多個有效近似，其各自具有不同實折射率或複折射率、折射率張量及/或厚度，及/或包含依據距離而變化的折射率之梯度。在一實施例中，數學模型為表示目標之週期性結構之週期的單位製造單元模型。在一實施例中，該方法包含：使用數學模型計算輻射強度分佈；及自所計算輻射強度分佈與經量測輻射強度分佈之比較而導出參數之值。在一實施例中，該方法進一步包含：使用光學元件運用輻射來照明基準件之表面；使用偵測器量測輻射；及在使用經量測輻射的情況下，判定模型中之有效介質近似之一或多個參數。在一實施例中，基準件表面材料之折射率具有實數部分 n_f 及虛數部分 κ_f ，其中該表面材料具有(1)高 n_f 及低 κ_f 或(2)低 n_f 及高 κ_f 。在一實施例中，該方法包含一另外數學模型，該另外數學模型包含對於光學元件之表面之粗糙度的有效介質近似及基準件表面之運用已知參數之表示，且該方法進一步包含：使用該另外數學模型計算輻射強度分佈；及自所計算輻射強度分佈與使用基準件而量測的輻射強度分佈之比較導出有效介質近似之一或多個參數之值。在一實施例中，所關注參數包含目標之參數。

在一實施例中，提供一種涉及描述量測目標之數學模型之方法，該模型包含對於用以量測目標之光學元件之表面之粗糙度的有效介質近似，該方法包含：使用光學元件運用輻射來照明基準件之表面；使用偵測器量測輻射；及在使用經量測輻射的情況下，判定模型

中之有效介質近似之一或多個參數。

在一實施例中，基準件表面材料之折射率具有實數部分 n_f 及虛數部分 κ_f ，其中該表面材料具有(1)高 n_f 及低 κ_f 或(2)低 n_f 及高 κ_f 。在一實施例中，基準件表面包含供接收輻射之基本上原子級扁平表面。在一實施例中，基準件表面包含供接收輻射之具有粗糙度的表面。在一實施例中，基準件表面材料包含選自如下各者中之一或多者：Ag、GaP、Si、SiC、BP、Cu、Ta₂O₅及/或Al。在一實施例中，其中基準件表面包含晶體。在一實施例中，晶體包含裂解晶體。在一實施例中，其中晶體包含雲母。在一實施例中，基準件表面包含金屬。在一實施例中，基準件表面材料包含液體金屬。在一實施例中，液體金屬包含GaInSn或Hg。在一實施例中，基準件表面包含頂部上具有一層之材料。在一實施例中，該方法包含材料頂部上之複數個層。在一實施例中，層包含金屬。在一實施例中，金屬包含Al、Cu、Ag及/或Au。在一實施例中，層包含氧化物。在一實施例中，氧化物包含Si上自然SiO₂、Si上熱SiO₂、Al上自然Al₂O₃，或NiAl(110)上磊晶Al₂O₃。在一實施例中，層包含2維奈米材料。在一實施例中，2維材料包含單層或多層石墨烯、六邊形氮化硼，或過渡金屬二硫屬化物奈米層。在一實施例中，該方法包含一另外數學模型，該另外數學模型包含對於光學元件之表面之粗糙度的有效介質近似及基準件表面之運用已知參數之表示，且該方法進一步包含：使用該另外數學模型計算輻射強度分佈；及自所計算輻射強度分佈與使用基準件而量測的輻射強度分佈之比較導出有效介質近似之一或多個參數之值。在一實施例中，該方法包含一另外數學模型，該另外數學模型包含對於光學元件之表面之粗糙度的有效介質近似及對於基準件表面之粗糙度之一另外經參數化有效介質近似，且該方法進一步包含：使用該另外數學模型計算輻射強度分佈；及自所計算輻射強度分佈與使用基準件而量測的輻射強度分

佈之比較導出對於光學元件之表面之粗糙度的有效介質近似之一或多個參數之值。在一實施例中，該方法進一步包含重複照明及量測以獲得經量測基準件資料之複數個值，及/或重複照明、量測及判定以獲得有效介質近似之一或多個參數之複數個值。在一實施例中，該方法進一步包含在機器學習或統計技術中使用有效介質近似之一或多個經判定參數及/或一或多個經量測基準件資料或自其導出之一或多個參數的複數個值，以導出有效介質近似之一或多個參數之一或多個新值。在一實施例中，該技術包含貝葉斯正則化。在一實施例中，該方法進一步包含評估該有效介質近似之一或多個經判定參數或經量測基準件資料或自其導出之一或多個參數的複數個值中之一或多個值，以判定是否超越一臨限值，於是可給出作為診斷之信號。在一實施例中，該信號指示光學組件及/或基準件之服務或替換。在一實施例中，該方法進一步包含：基於藉由光學組件及/或基準件之清潔單元進行之信號清潔而觸發一或多個清潔參數，或控制光學組件及/或基準件之清潔單元之一或多個清潔參數。在一實施例中，清潔單元位於容納光學組件及/或基準件之檢測設備外殼中。在一實施例中，該方法進一步包含評估有效介質近似之一或多個經判定參數或經量測基準件資料或自其導出之一或多個參數的複數個值中之一或多個值，以預測是否及/或何時有效介質近似之一或多個經判定參數或經量測基準件資料或自其導出之一或多個參數將超越臨限值，於是可給出作為診斷之信號。在一實施例中，信號指示光學組件之服務或替換。在一實施例中，該方法進一步包含使用經量測輻射以重新建構間隙大小；及使用經重新建構間隙大小以使用近接力或勁度計算來校準校準方法之一或多個參數。

在一實施例中，提供一種涉及使用與表面相隔一間隙之光學組件量測輻射強度分佈之方法，該方法包含：使用經量測輻射強度分佈

及描述表面之數學模型來判定光學組件、基準件或目標之粗糙度參數，該模型包含對於光學組件或其一部分之表面之粗糙度的有效介質近似。

在一實施例中，有效介質近似(EMA)為選自如下各者中之一或多者：布魯格曼之EMA、馬克士威-加內特理論EMA、朱路EMA、體積平均化理論EMA、勞侖茲-勞侖次EMA、並列EMA及/或串列EMA。

在一實施例中，提供一種製造裝置之方法，其中使用微影程序將一裝置圖案施加至一系列基板，該方法包括：使用如本文所描述之方法來檢測作為該裝置圖案之部分或在該裝置圖案近旁而形成於基板中之至少一者上的至少一目標；及根據該方法之結果而針對稍後基板來控制該微影程序。

在一實施例中，提供一種包含機器可讀指令之非暫時性電腦程式產品，該等機器可讀指令用於使一處理器執行本文中之一方法。

在一實施例中，提供一種系統，其包含：一檢測設備，其經組態以將光束提供於基板上之量測目標上且偵測由該目標重新導向之輻射以判定微影程序之參數；及如本文所描述之一非暫時性電腦程式產品。

在一實施例中，該系統進一步包含一微影設備，該微影設備包含：一支撐結構，其經組態以固持用以調變輻射光束之圖案化裝置；及一投影光學系統，其經配置以將該經調變投影至輻射敏感基板上。

本發明之實施例可採取如下形式：電腦程式，其含有描述如本文中所揭示之方法的機器可讀指令之一或多個序列；或資料儲存媒體(例如，半導體記憶體、磁碟或光碟)，其具有儲存於其中之此電腦程式。另外，可以兩個或多於兩個電腦程式來體現機器可讀指令。該兩個或多於兩個電腦程式可儲存於一或多個不同記憶體及/或資料儲存媒體上。

本文所描述之任何控制器可在一或多個電腦程式由位於微影設備之至少一個組件內之一或多個電腦處理器讀取時各自或組合地可操作。該等控制器可各自或組合地具有用於接收、處理及發送信號之任何合適組態。一或多個處理器經組態以與該等控制器中之至少一者通信。舉例而言，每一控制器可包括用於執行包括用於上文所描述之方法之機器可讀指令的電腦程式之一或多個處理器。該等控制器可包括用於儲存此等電腦程式之資料儲存媒體，及/或用以收納此媒體之硬體。因此，控制器可根據一或多個電腦程式之機器可讀指令而操作。儘管在本文中可特定地參考檢測設備在IC製造中之使用，但應理解，本文中所描述之檢測設備可具有其他應用，諸如，製造整合式光學系統、用於磁疇記憶體之導引及偵測圖案、平板顯示器、液晶顯示器(LCD)、薄膜磁頭，等等。熟習此項技術者應瞭解，在此等替代應用之內容背景中，可認為本文對術語「晶圓」或「晶粒」之任何使用分別與更一般術語「基板」或「目標部分」同義。可在曝光之前或之後在(例如)塗佈顯影系統(通常將抗蝕劑層施加至基板且顯影經曝光抗蝕劑之工具)、度量衡工具及/或檢測工具中處理本文中所提及之基板。適用時，可將本文之揭示內容應用於此等及其他基板處理工具。另外，可將基板處理一次以上，例如，以便產生多層IC，使得本文中所使用之術語基板亦可指已經含有多個經處理層之基板。

在以下編號條項中提供根據本發明之另外實施例：

1. 一種涉及使用與一目標相隔一間隙之一光學組件量測用於該目標之一輻射強度分佈之方法，該方法包含：

使用該經量測輻射強度分佈及描述該目標之一數學模型來判定一所關注參數之一值，該模型包含對於該光學組件或其一部分之一表面之粗糙度之一有效介質近似。

2. 如條項1之方法，其中該有效介質近似(EMA)為選自如下各者

中之一或多者：布魯格曼之EMA、馬克士威-加內特理論EMA、朱路EMA、體積平均化理論EMA、勞侖茲-勞侖次EMA、並列EMA及/或串列EMA。

3. 如條項1或條項2之方法，其中該有效介質近似包含多個有效近似，其各自具有一不同實折射率或複折射率、折射率張量及/或厚度，及/或包含依據距離而變化的折射率之一梯度。

4. 如條項1至3中任一項之方法，其中該數學模型為表示該目標之一週期性結構之一週期的一單位製造單元模型。

5. 如條項1至4中任一項之方法，其包含：使用該數學模型計算一幅射強度分佈；及自該所計算輻射強度分佈與該經量測輻射強度分佈之比較而導出該參數之該值。

6. 如條項1至5中任一項之方法，其進一步包含：

使用該光學元件運用輻射來照明一基準件之一表面；

使用一偵測器量測該輻射；及

在使用該經量測輻射的情況下，判定該模型中之該有效介質近似之一或多個參數。

7. 如條項6之方法，其中該基準件表面材料之一折射率具有一實數部分 n_f 及一虛數部分 κ_f ，其中該表面材料具有(1)高 n_f 及低 κ_f 或(2)低 n_f 及高 κ_f 。

8. 如條項6或條項7之方法，其包含一另外數學模型，該另外數學模型包含對於該光學元件之該表面之粗糙度的該有效介質近似及該基準件表面之運用已知參數之一表示，且該方法進一步包含：使用該另外數學模型計算一幅射強度分佈；及自該所計算輻射強度分佈與使用該基準件而量測的輻射強度分佈之比較導出該有效介質近似之該一或多個參數之值。

9. 如條項1至8中任一項之方法，其中該所關注參數包含該目標

之一參數。

10. 一種涉及描述一量測目標之一數學模型之方法，該模型包含對於用以量測該目標之一光學元件之一表面之粗糙度之一有效介質近似，該方法包含：

使用該光學元件運用輻射來照明一基準件之一表面；

使用一偵測器量測該輻射；及

在使用該經量測輻射的情況下，判定該模型中之該有效介質近似之一或多個參數。

11. 如條項10之方法，其中該基準件表面材料之一折射率具有一實數部分 nf 及一虛數部分 κf ，其中該表面材料具有(1)高 nf 及低 κf 或(2)低 nf 及高 κf 。

12. 如條項10或條項11之方法，其中該基準件表面包含供接收該輻射之一基本上原子級扁平表面。

13. 如條項10至12中任一項之方法，其中該基準件表面包含供接收該輻射之具有一粗糙度之一表面。

14. 如條項10至13中任一項之方法，其中該基準件表面材料包含選自如下各者中之一或多者：Ag、GaP、Si、SiC、BP、Cu、Ta₂O₅及/或Al。

15. 如條項10至14中任一項之方法，其中該基準件表面包含一晶體。

16. 如條項15之方法，其中該晶體包含一裂解晶體。

17. 如條項15或條項16之方法，其中該晶體包含雲母。

18. 如條項10至17中任一項之方法，其中該基準件表面包含一金屬。

19. 如條項10至18中任一項之方法，其中該基準件表面材料包含一液體金屬。

20. 如條項19之方法，其中該液體金屬包含GaInSn或Hg。
21. 如條項10至20中任一項之方法，其中該基準件表面包含頂部上具有一層之一材料。
22. 如條項21之方法，其包含該材料頂部上之複數個層。
23. 如條項21或條項22之方法，其中該層包含一金屬。
24. 如條項23之方法，其中該金屬包含Al、Cu、Ag及/或Au。
25. 如條項21至24中任一項之方法，其中該層包含氧化物。
26. 如條項25之方法，其中該氧化物包含Si上自然SiO₂、Si上熱SiO₂、Al上自然Al₂O₃，或NiAl(110)上磊晶Al₂O₃。
27. 如條項21至26中任一項之方法，其中該層包含一2維奈米材料。
28. 如條項27之方法，其中該2維材料包含單層或多層石墨烯、六邊形氮化硼，或一過渡金屬二硫屬化物奈米層。
29. 如條項10至28中任一項之方法，其包含一另外數學模型，該另外數學模型包含對於該光學元件之該表面之粗糙度的該有效介質近似及該基準件表面之運用已知參數之一表示，且該方法進一步包含：使用該另外數學模型計算一幅射強度分佈；及自該所計算輻射強度分佈與使用該基準件而量測的輻射強度分佈之比較導出該有效介質近似之該一或多個參數之值。
30. 如條項10至29中任一項之方法，其包含一另外數學模型，該另外數學模型包含對於該光學元件之該表面之粗糙度的該有效介質近似及對於該基準件表面之該粗糙度之一另外經參數化有效介質近似，且該方法進一步包含：使用該另外數學模型計算輻射強度分佈；及自該所計算輻射強度分佈與使用該基準件而量測的該輻射強度分佈之比較導出對於該光學元件之該表面之粗糙度的該有效介質近似之該一或多個參數之該值。

31. 如條項10至30中任一項之方法，其進一步包含重複該照明及該量測以獲得經量測基準件資料之複數個值，及/或重複該照明、該量測及該判定以獲得該有效介質近似之一或多個參數之複數個值。

32. 如條項31之方法，其進一步包含在一機器學習或統計技術中使用該有效介質近似之一或多個經判定參數及/或一或多個經量測基準件資料或自其導出之一或多個參數的該複數個值，以導出該有效介質近似之一或多個參數之一或多個新值。

33. 如條項32之方法，其中該技術包含一貝葉斯正則化。

34. 如條項31至33中任一項之方法，其進一步包含評估該有效介質近似之該一或多個經判定參數或經量測基準件資料或自其導出之一或多個參數的該複數個值中之一或多個值，以判定是否超越一臨限值，於是可給出作為一診斷之一信號。

35. 如條項34之方法，其中該信號指示該光學組件及/或該基準件之服務或替換。

36. 如條項34或條項35之方法，其進一步包含基於藉由該光學組件及/或該基準件之一清潔單元進行之信號清潔而觸發一或多個清潔參數，或控制該光學組件及/或該基準件之一清潔單元之一或多個清潔參數。

37. 如條項36之方法，其中該清潔單元位於容納該光學組件及/或該基準件之一檢測設備外殼中。

38. 如條項31至37之方法，其進一步包含評估該有效介質近似之該一或多個經判定參數或經量測基準件資料或自其導出之一或多個參數的該複數個值中之一或多個值，以預測是否及/或何時該有效介質近似之一或多個經判定參數或經量測基準件資料或自其導出之一或多個參數將超越一臨限值，於是可給出作為一診斷之一信號。

39. 如條項38之方法，其中該信號指示該光學組件之服務或替

換。

40. 如條項10至39中任一項之方法，其進一步包含：使用該經量測輻射以重新建構間隙大小；及使用該經重新建構間隙大小以使用一近接力或勁度計算來校準一校準方法之一或多個參數。

41. 一種涉及使用與一表面相隔一間隙之一光學組件量測一輻射強度分佈之方法，該方法包含：

使用該經量測輻射強度分佈及描述該表面之一數學模型來判定該光學組件、一基準件或一目標之一粗糙度參數，該模型包含對於一光學組件或其一部分之一表面之粗糙度之一有效介質近似。

42. 如條項41之方法，其中該有效介質近似(EMA)為選自如下各者中之一或多者：布魯格曼之EMA、馬克士威-加內特理論EMA、朱路EMA、體積平均化理論EMA、勞侖茲-勞侖次EMA、並列EMA及/或串列EMA。

43. 一種製造裝置之方法，其中使用一微影程序將一裝置圖案施加至一系列基板，該方法包括：使用如條項1至42中任一項之方法來檢測作為該裝置圖案之部分或在該裝置圖案近旁而形成於該等基板中之至少一者上的至少一目標；及根據該方法之結果而針對稍後基板來控制該微影程序。

44. 一種包含機器可讀指令之非暫時性電腦程式產品，該等機器可讀指令用於使一處理器執行如條項1至43中任一項之方法。

45. 一種系統，其包含：

一檢測設備，其經組態以將一光束提供於一基板上之一量測目標上且偵測由該目標重新導向之輻射以判定一微影程序之一參數；及該如條項44之非暫時性電腦程式產品。

46. 如條項45之系統，其進一步包含一微影設備，該微影設備包含：一支撐結構，其經組態以固持用以調變一輻射光束之一圖案化

裝置；及一投影光學系統，其經配置以將該經調變投影至一輻射敏感基板上。

儘管上文可特定地參考在光學微影之內容背景中對本發明之實施例之使用，但應瞭解，本發明可用於其他應用(例如，壓印微影)中，且在內容背景允許時不限於光學微影。本文所使用之術語「輻射」及「光束」涵蓋所有類型之電磁輻射，包括紫外線(UV)輻射(例如，具有為或為約365奈米、355奈米、248奈米、193奈米、157奈米或126奈米之波長)及極紫外線(EUV)輻射(例如，具有在5奈米至20奈米之範圍內之波長)；以及粒子束(諸如，離子束或電子束)。

術語「透鏡」在內容背景允許時可指各種類型之光學組件(包括折射、反射、磁性、電磁及靜電光學組件)中之任一者或其組合。

雖然上文已描述本發明之特定實施例，但應瞭解，可以與所描述之方式不同之其他方式來實踐本發明。舉例而言，本發明可採取如下形式：電腦程式，其含有描述如上文所揭示之方法的機器可讀指令之一或多個序列；或資料儲存媒體(例如，半導體記憶體、磁碟或光碟)，其具有儲存於其中之此電腦程式。

以上之描述意欲為說明性而非限制性的。因此，對於熟習此項技術者將顯而易見，可在不脫離下文所闡明之申請專利範圍之範疇的情況下對所描述之本發明進行修改。

【符號說明】

2	寬頻帶輻射投影儀/輻射源/照明配置
4	光譜儀偵測器
10	光譜
11	背向投影式焦平面
12	透鏡系統/照明配置/照明光學件
13	干涉濾光器/照明配置

14	參考鏡面
15	接物鏡/透鏡系統/可移動物鏡
16	部分反射表面
17	偏振器/照明配置
18	偵測器
30	基板目標
30'	目標
60	透鏡元件/固體浸潤透鏡(SIL)
62	框架/組件
64	臂/組件
66	致動器/組件
70	雷射輻射源
72	光纖
108	輻射分佈
206	經參數化模型
208	輻射分佈
210	數值馬克士威求解程序
212	步驟
700	片段/層
710	片段/上覆層
720	片段/上覆層
730	片段/上覆層
740	片段/真空/介質/間隙
750	片段/層/固體浸潤透鏡(SIL)頂端
910	固體浸潤透鏡(SIL)頂端粗糙度/特徵
1100	單層片段/有效介質近似(EMA)

1200	有效介質近似(EMA)片段
1210	片段
1300	區塊
1310	區塊
1320	區塊
1400	步驟
1402	步驟
1404	步驟
1406	步驟
1408	步驟
1410	步驟
1412	步驟
S101	步驟
S102	步驟
S103	步驟
S104	步驟
S105	步驟
S106	步驟
AD	調整器
AS	對準感測器
B	輻射光束
BD	光束遞送系統
BK	烘烤板
C	目標部分
CH	冷卻板
CO	聚光器

DE	顯影器
IF	位置感測器
IL	照明系統/照明器
IN	積光器
I/O1	輸入/輸出通口
I/O2	輸入/輸出通口
LA	微影設備
LACU	微影控制單元
LB	裝載匣
LC	微影製造單元
LS	位階感測器
M1	圖案化裝置對準標記
M2	圖案化裝置對準標記
MA	圖案化裝置
MET	度量衡系統
MT	支撐結構
P1	基板對準標記
P2	基板對準標記
PM	第一定位器
PS	投影系統
PU	處理器
PW	第二定位器
RF	參考框架
RO	基板處置器或機器人
S	照明光點
S'	光點

SC	旋塗器
SCS	監督控制系統
SO	輻射源
TCU	塗佈顯影系統控制單元
W	基板
WTa	基板台
WTb	基板台

申請專利範圍

1. 一種涉及使用與一目標相隔一間隙之一光學組件量測用於該目標之一輻射強度分佈之方法，該方法包含：

使用該經量測輻射強度分佈及描述該目標之一數學模型來判定一所關注參數之一值，該模型包含對於該光學組件或其一部分之一表面之粗糙度之一有效介質近似。

2. 如請求項1之方法，其中該有效介質近似(EMA)為選自如下各者中之一或多者：布魯格曼之EMA (Bruggeman's EMA)、馬克士威-加內特理論 (Maxwell-Garnett Theory) EMA、朱路 (Drude) EMA、體積平均化理論 (Volume Averaging Theory) EMA、勞侖茲-勞侖次 (Lorentz-Lorenz) EMA、並列 (Parallel) EMA 及/或串列 (Series) EMA。

3. 如請求項1或請求項2之方法，其中該有效介質近似包含多個有效近似，其各自具有一不同實折射率或複折射率、折射率張量及/或厚度，及/或包含依據距離而變化的折射率之一梯度。

4. 如請求項1或2之方法，其中該數學模型為表示該目標之一週期性結構之一週期的一單位製造單元模型。

5. 如請求項1或2之方法，其包含：使用該數學模型計算一輻射強度分佈；及自該所計算輻射強度分佈與該經量測輻射強度分佈之比較而導出該參數之該值。

6. 如請求項1或2之方法，其進一步包含：

使用該光學元件運用輻射來照明一基準件之一表面；

使用一偵測器量測該輻射；及

在使用該經量測輻射的情況下，判定該模型中之該有效介質近似之一或多個參數。

7. 一種涉及描述一量測目標之一數學模型之方法，該模型包含對於用以量測該目標之一光學元件之一表面之粗糙度之一有效介質近似，該方法包含：
 - 使用該光學元件運用輻射來照明一基準件之一表面；
 - 使用一偵測器量測該輻射；及
 - 在使用該經量測輻射的情況下，判定該模型中之該有效介質近似之一或多個參數。
8. 如請求項7之方法，其包含一另外數學模型，該另外數學模型包含對於該光學元件之該表面之粗糙度的該有效介質近似及該基準件表面之運用已知參數之一表示，且該方法進一步包含：使用該另外數學模型計算一幅射強度分佈；及自該所計算輻射強度分佈與使用該基準件而量測的輻射強度分佈之比較導出該有效介質近似之該一或多個參數之值。
9. 如請求項7或請求項8之方法，其包含一另外數學模型，該另外數學模型包含對於該光學元件之該表面之粗糙度的該有效介質近似及對於該基準件表面之粗糙度之一另外經參數化有效介質近似，且該方法進一步包含：使用該另外數學模型計算輻射強度分佈；及自該所計算輻射強度分佈與使用該基準件而量測的該輻射強度分佈之比較導出對於該光學元件之該表面之粗糙度的該有效介質近似之該一或多個參數之該值。
10. 如請求項7或8之方法，其進一步包含重複該照明及該量測以獲得經量測基準件資料之複數個值，及/或重複該照明、該量測及該判定以獲得該有效介質近似之一或多個參數之複數個值。
11. 如請求項7或8之方法，其進一步包含：使用該經量測輻射以重新建構間隙大小；及使用該經重新建構間隙大小以使用一近接力或勁度計算來校準一校準方法之一或多個參數。

12. 一種製造裝置之方法，其中使用一微影程序將一裝置圖案施加至一系列基板，該方法包括：使用如請求項1至11中任一項之方法來檢測作為該裝置圖案之部分或在該裝置圖案近旁而形成於該等基板中之至少一者上的至少一目標；及根據該方法之結果而針對稍後基板來控制該微影程序。
13. 一種包含機器可讀指令之非暫時性電腦程式產品，該等機器可讀指令用於使一處理器執行如請求項1至12中任一項之方法。
14. 一種系統，其包含：
 - 一檢測設備，其經組態以將一光束提供於一基板上之一量測目標上且偵測由該目標重新導向之輻射以判定一微影程序之一參數；及
 - 如請求項13之非暫時性電腦程式產品。
15. 如請求項14之系統，其進一步包含一微影設備，該微影設備包含：一支撐結構，其經組態以固持用以調變一幅射光束之一圖案化裝置；及一投影光學系統，其經配置以將該經調變投影至一幅射敏感基板上。

圖式

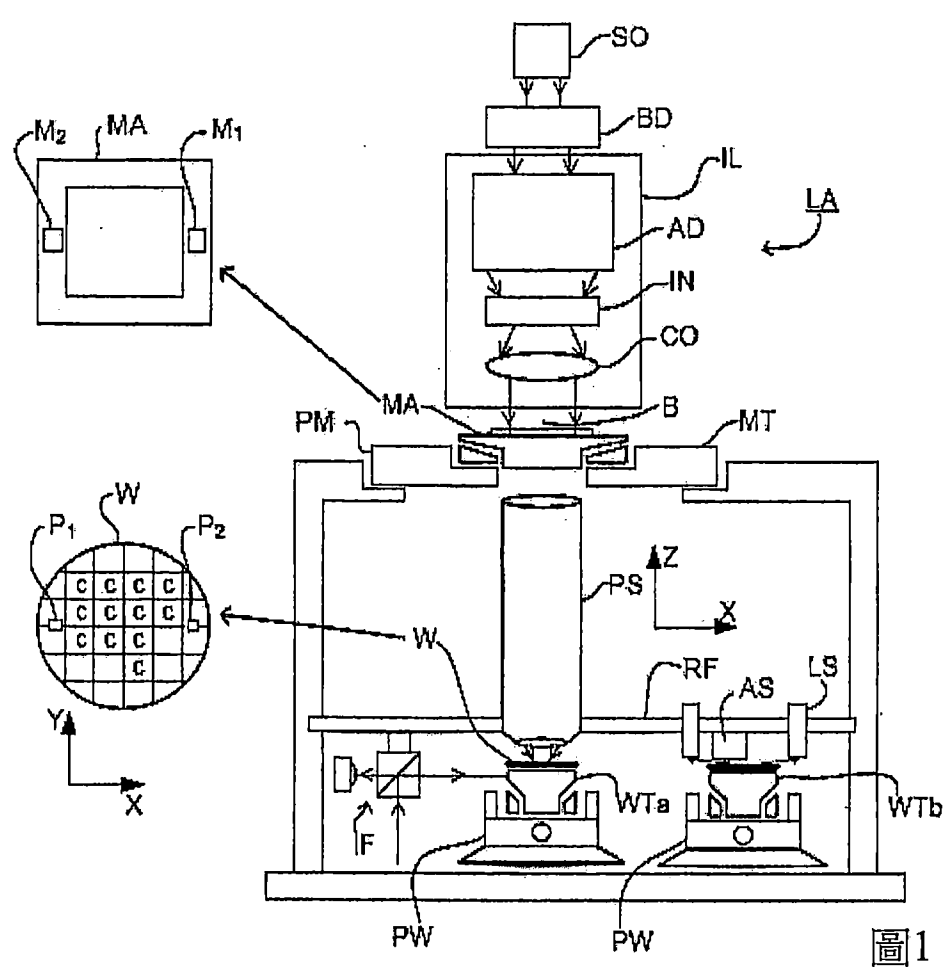


圖1

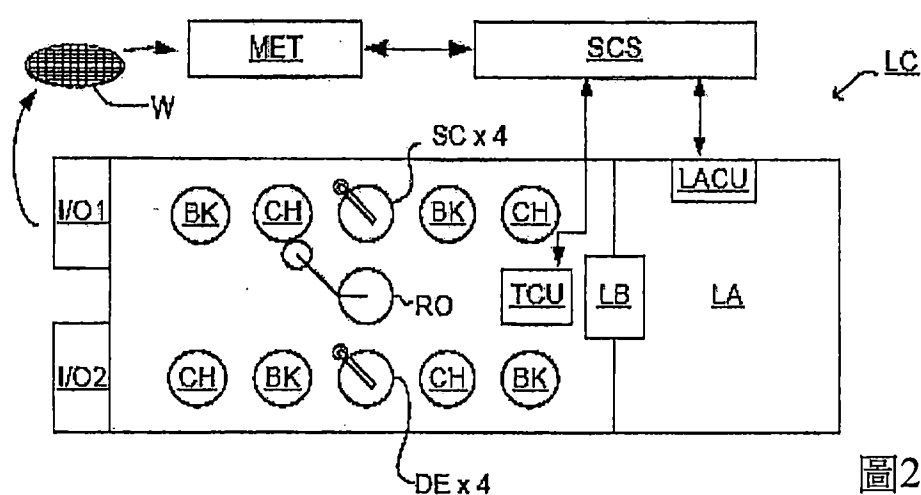


圖2

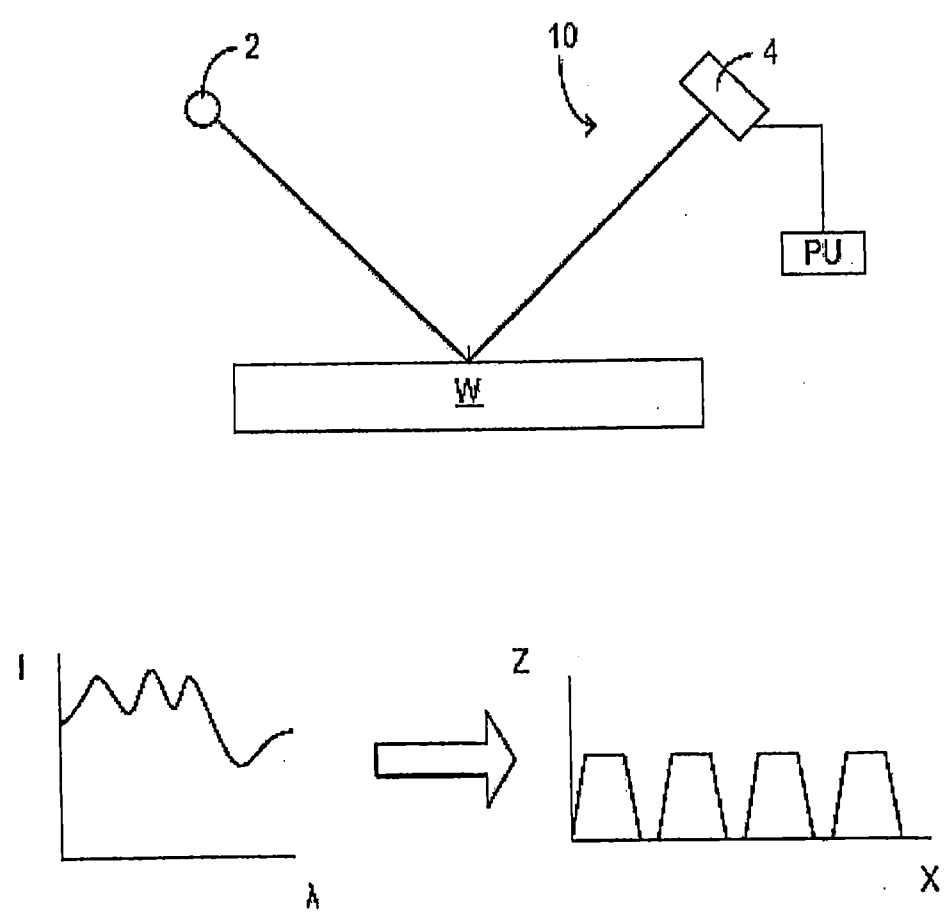


圖3

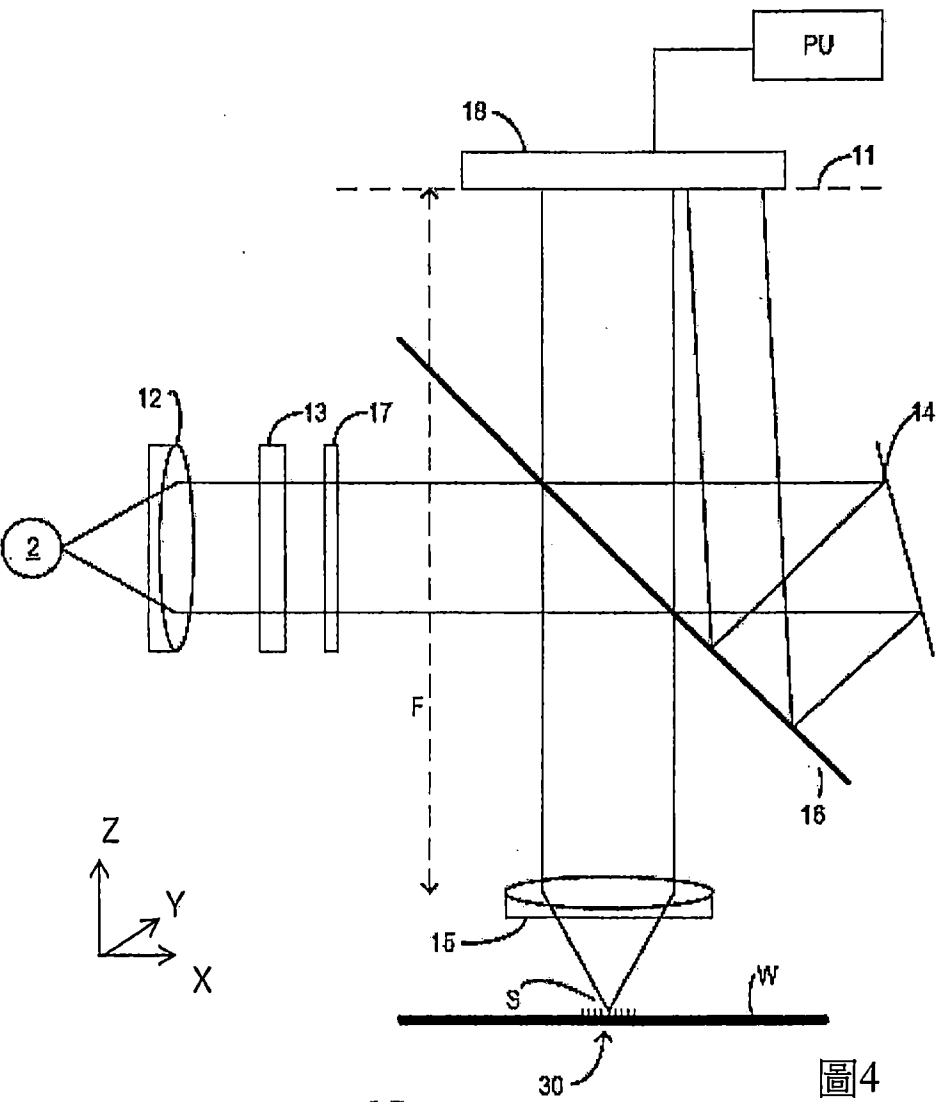


圖4

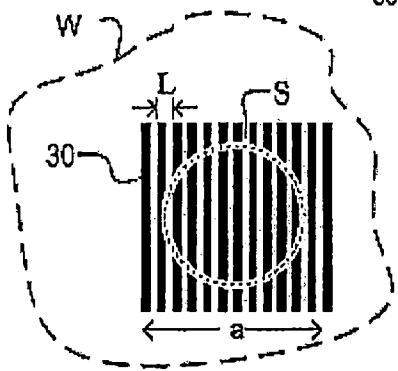


圖5

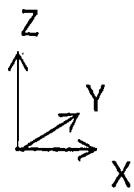
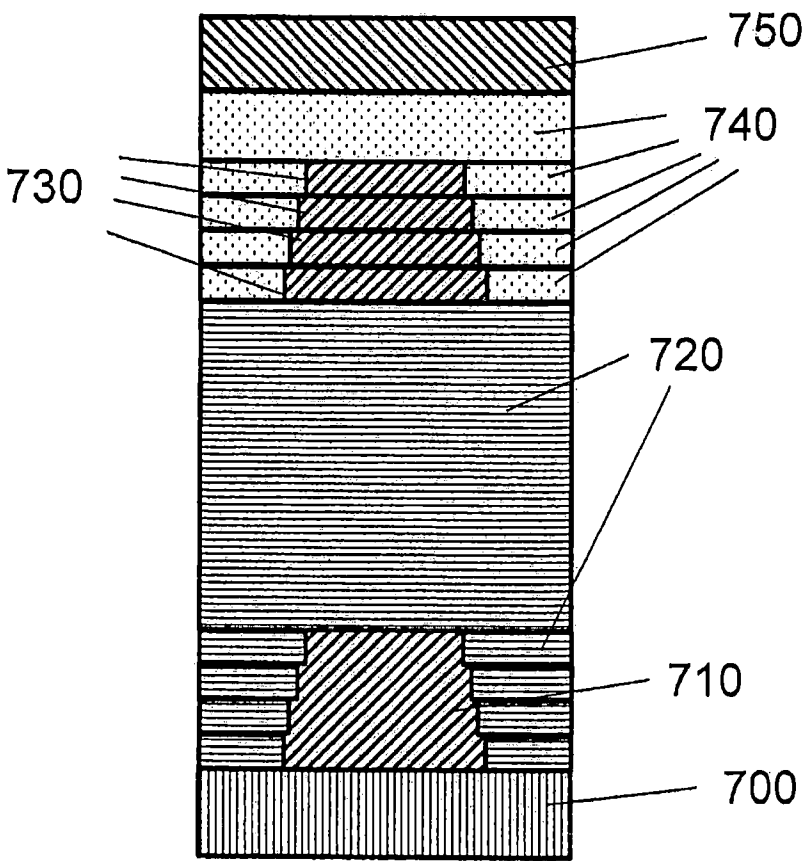


圖 7

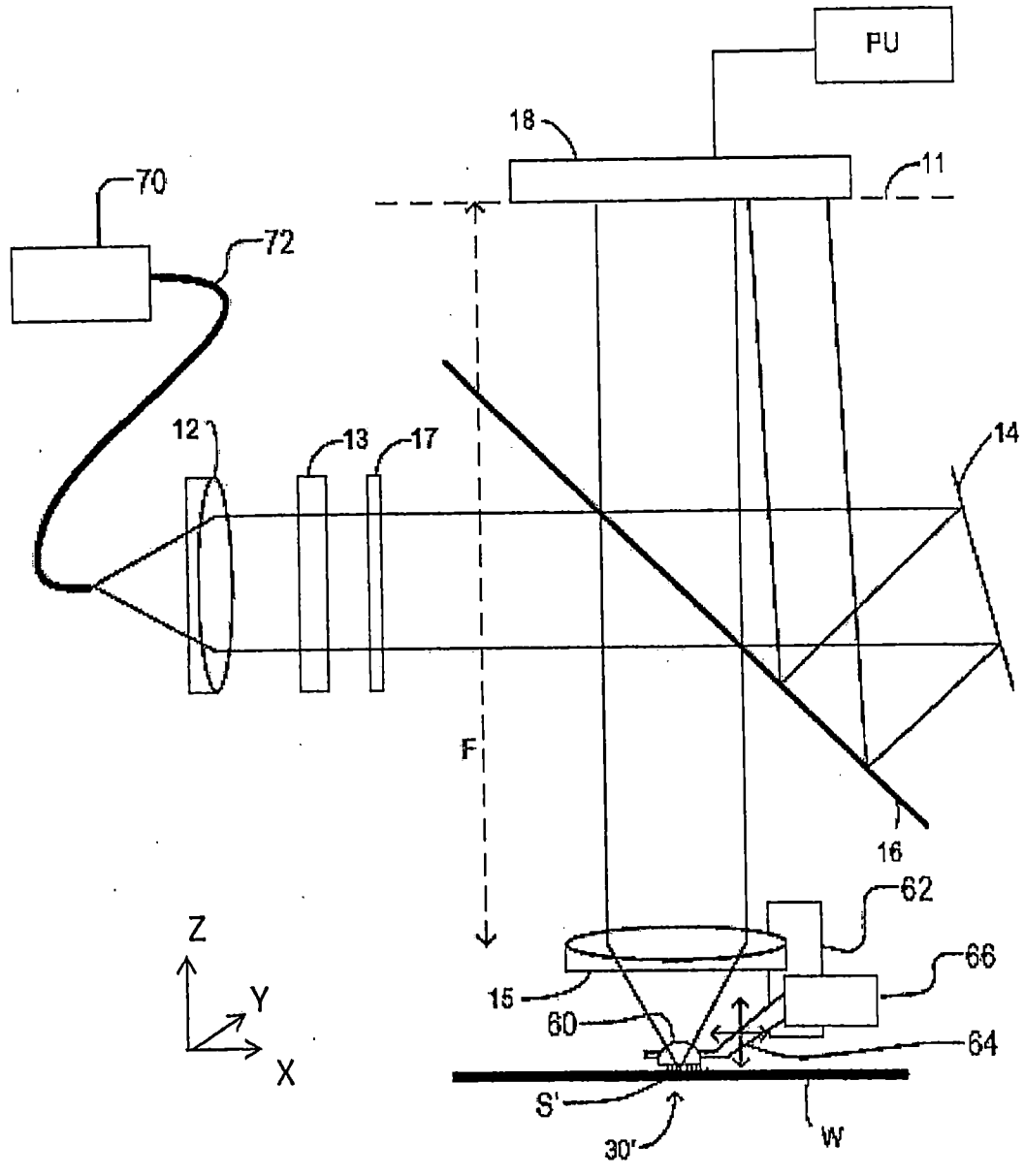


圖 8

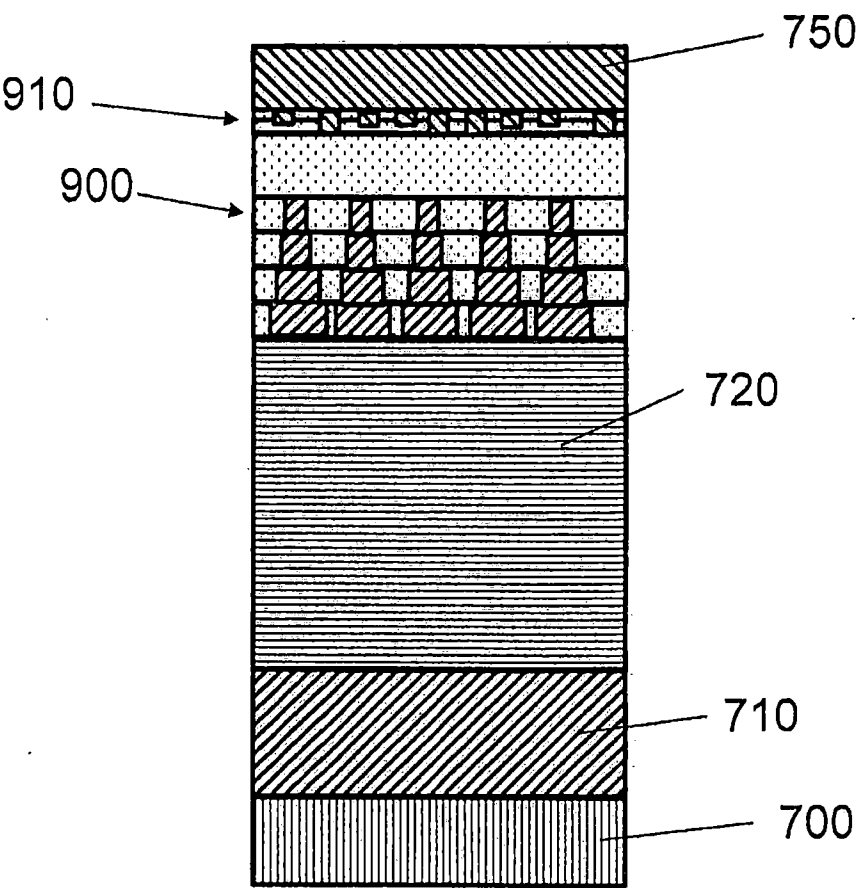


圖9

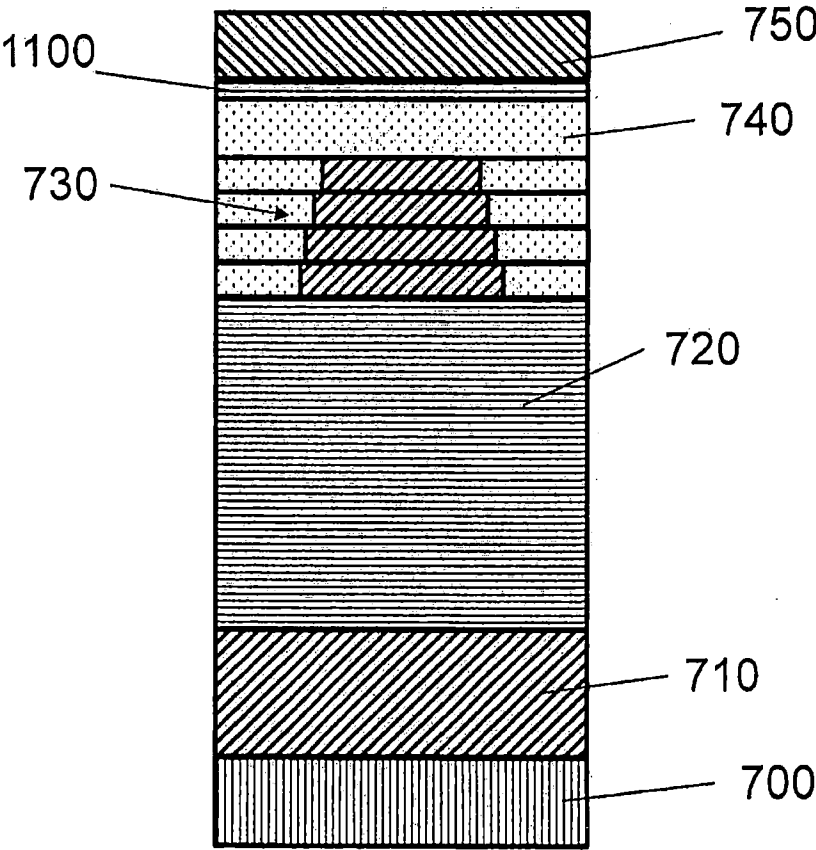


圖11

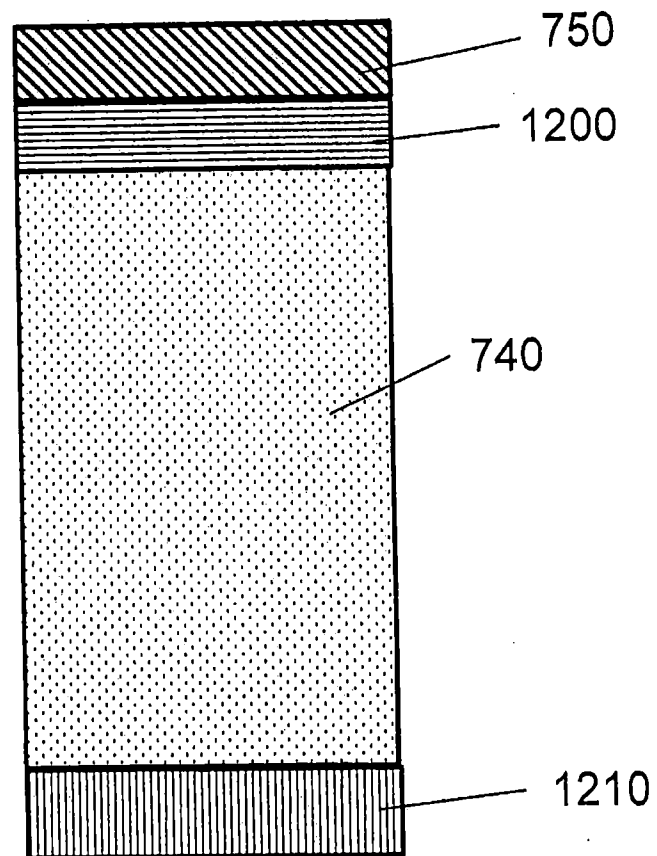


圖12

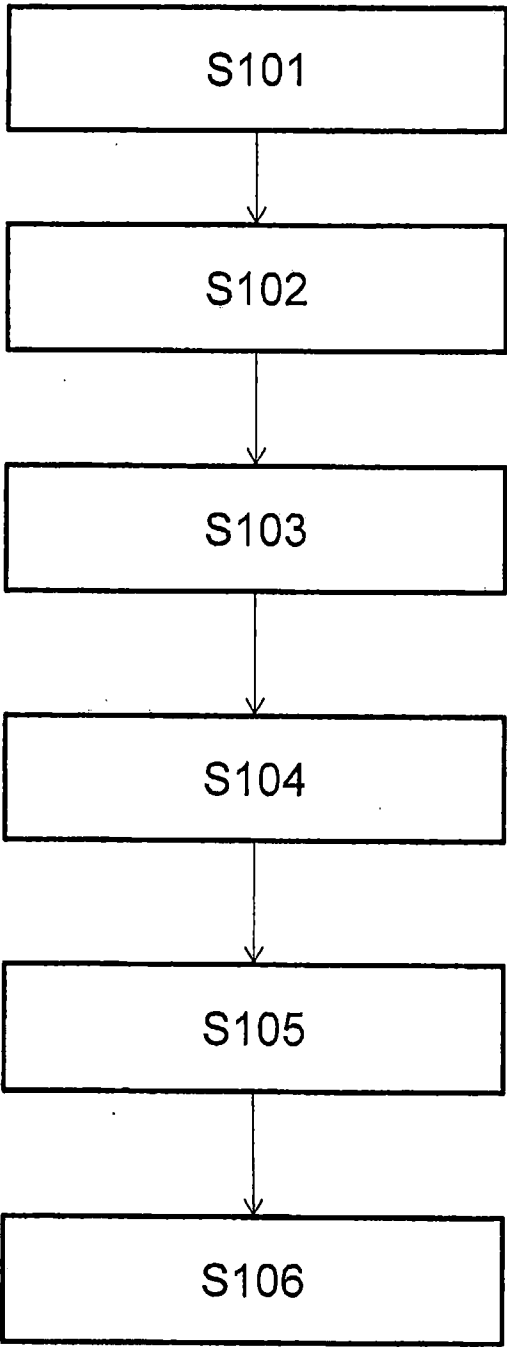


圖13

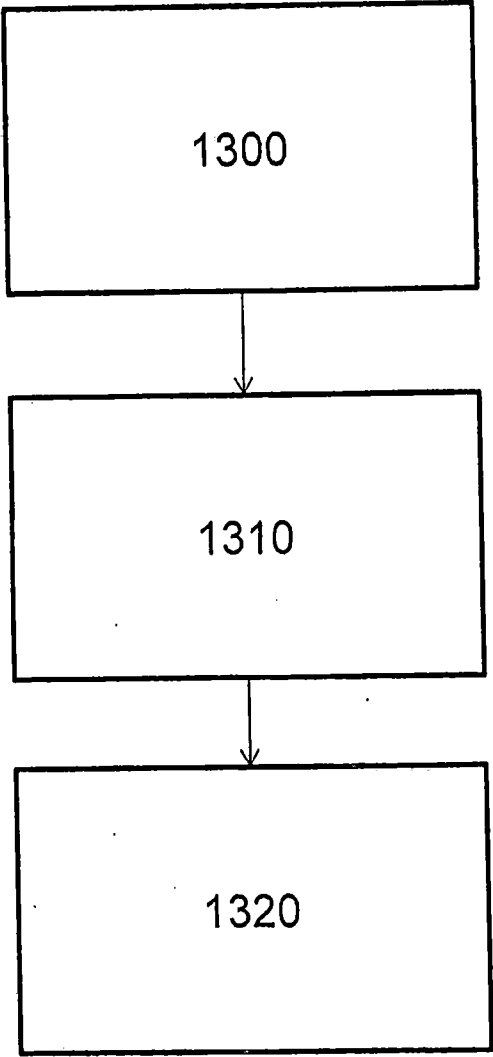


圖14

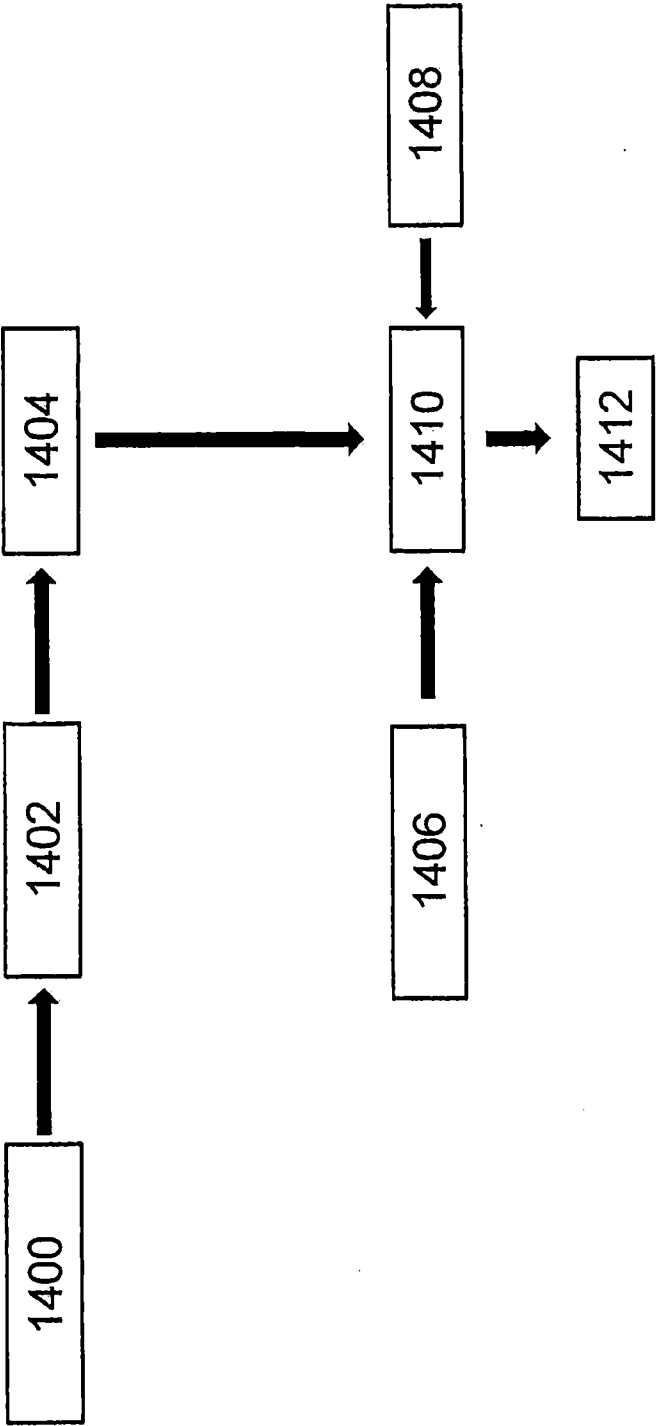


圖15