



(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 I558998 B

(45) 公告日：中華民國 105 (2016) 年 11 月 21 日

(21) 申請案號：103128501

(22) 申請日：中華民國 103 (2014) 年 08 月 19 日

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

G03F7/20 (2006.01)

(30) 優先權：2014/06/02 美國

62/006,524

(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：丹 包伊夫 亞歷 傑福瑞 DEN BOEF, ARIE JEFFREY (NL)；巴塔哈爾亞 卡司

徒夫 BHATTACHARYYA, KAUSTUVE (US)

(74) 代理人：林嘉興

(56) 參考文獻：

TW 201403257A

TW 201416806A

JP 2006-157023A

US 7061615B1

US 2010/0175033A1

審查人員：陳勇志

申請專利範圍項數：23 項 圖式數：21 共 53 頁

(54) 名稱

用於設計度量目標之方法、具有度量目標之基板、用於度量疊對之方法、用於微影程序中之一對圖案化器件、量測微影程序之一效能參數之方法、電腦程式產品及器件製造方法

METHOD OF DESIGNING METROLOGY TARGETS, SUBSTRATES HAVING METROLOGY TARGETS, METHOD OF MEASURING OVERLAY, PAIR OF PATTERNING DEVICES FOR USE IN LITHOGRAPHIC PROCESS, METHOD OF MEASURING A PERFORMANCE PARAMETER OF LITHOGRAPHIC PROCESS, COMPUTER PROGRAM PRODUCT, AND DEVICE MANUFACTURING METHOD

(57) 摘要

藉由一微影程序而形成度量目標，每一目標包含一底部光柵及一頂部光柵。可藉由運用輻射來照明每一目標且觀測繞射輻射中之不對稱性而量測該微影程序之疊對效能。選擇度量配方及目標設計之參數，以便最大化疊對量測準確度，而非再現性。方法包括演算(i)表示由該頂部光柵繞射之輻射之一第一輻射分量與(ii)表示在行進通過該頂部光柵及介入層之後由該底部光柵繞射之輻射之一第二輻射分量之間的一相對振幅及一相對相位中之至少一者。可修改頂部光柵設計以使該相對振幅接近於一。可調整該度量配方中之照明輻射之波長以使該相對相位接近於 $\pi/2$ 或 $3\pi/2$ 。

Metrology targets are formed by a lithographic process, each target comprising a bottom grating and a top grating. Overlay performance of the lithographic process can be measured by illuminating each target with radiation and observing asymmetry in diffracted radiation. Parameters of metrology recipe and target design are selected so as to maximize accuracy of measurement of overlay, rather than reproducibility. The method includes calculating at least one of a relative amplitude and a relative phase between (i) a first radiation component representing radiation diffracted by the top grating and (ii) a second radiation component representing radiation diffracted by the bottom grating after traveling through the top grating and intervening layers. The top grating design may be modified to bring the relative amplitude close to unity.

The wavelength of illuminating radiation in the metrology recipe can be adjusted to bring the relative phase close to $\pi/2$ or $3\pi/2$.

指定代表圖：

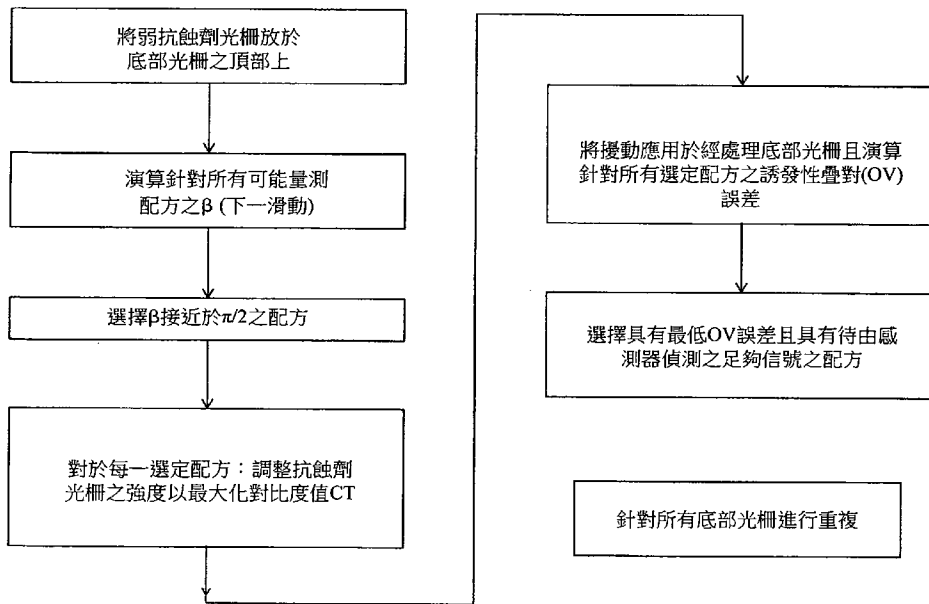


圖15

發明摘要

※ 申請案號：103128501

G01N 21/956 (2006.01)

※ 申請日：103年8月19日

※IPC 分類：G03F 7/20 (2006.01)

【發明名稱】

用於設計度量目標之方法、具有度量目標之基板、用於度量疊對之方法、用於微影程序中之一對圖案化器件、量測微影程序之一效能參數之方法、電腦程式產品及器件製造方法

METHOD OF DESIGNING METROLOGY TARGETS,
SUBSTRATES HAVING METROLOGY TARGETS, METHOD OF
MEASURING OVERLAY, PAIR OF PATTERNING DEVICES FOR
USE IN LITHOGRAPHIC PROCESS, METHOD OF MEASURING
A PERFORMANCE PARAMETER OF LITHOGRAPHIC PROCESS,
COMPUTER PROGRAM PRODUCT, AND DEVICE
MANUFACTURING METHOD

【中文】

藉由一微影程序而形成度量目標，每一目標包含一底部光柵及一頂部光柵。可藉由運用輻射來照明每一目標且觀測繞射輻射中之不對稱性而量測該微影程序之疊對效能。選擇度量配方及目標設計之參數，以便最大化疊對量測準確度，而非再現性。方法包括演算(i)表示由該頂部光柵繞射之輻射之一第一輻射分量與(ii)表示在行進通過該頂部光柵及介入層之後由該底部光柵繞射之輻射之一第二輻射分量之間的一相對振幅及一相對相位中之至少一者。可修改頂部光柵設計以使該相對振幅接近於一。可調整該度量配方中之照明輻射之波長以使該相對相位接近於 $\pi/2$ 或 $3\pi/2$ 。

【英文】

Metrology targets are formed by a lithographic process, each target comprising a bottom grating and a top grating. Overlay performance of the lithographic process can be measured by illuminating each target with radiation and observing asymmetry in diffracted radiation. Parameters of metrology recipe and target design are selected so as to maximize accuracy of measurement of overlay, rather than reproducibility. The method includes calculating at least one of a relative amplitude and a relative phase between (i) a first radiation component representing radiation diffracted by the top grating and (ii) a second radiation component representing radiation diffracted by the bottom grating after traveling through the top grating and intervening layers. The top grating design may be modified to bring the relative amplitude close to unity. The wavelength of illuminating radiation in the metrology recipe can be adjusted to bring the relative phase close to $\pi/2$ or $3\pi/2$.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（15）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

無

【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】

用於設計度量目標之方法、具有度量目標之基板、用於度量疊對之方法、用於微影程序中之一對圖案化器件、量測微影程序之一效能參數之方法、電腦程式產品及器件製造方法
METHOD OF DESIGNING METROLOGY TARGETS,
SUBSTRATES HAVING METROLOGY TARGETS, METHOD OF MEASURING OVERLAY, PAIR OF PATTERNING DEVICES FOR USE IN LITHOGRAPHIC PROCESS, METHOD OF MEASURING A PERFORMANCE PARAMETER OF LITHOGRAPHIC PROCESS, COMPUTER PROGRAM PRODUCT, AND DEVICE MANUFACTURING METHOD

【技術領域】

本發明係關於可用於(例如)藉由微影技術來製造器件之度量方法及裝置，且係關於使用微影技術來製造器件之方法。

【先前技術】

微影裝置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。微影裝置可用於(例如)積體電路(IC)之製造中。在彼情況下，圖案化器件(其替代地被稱作光罩或比例光罩)可用以產生待形成於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。

在微影程序中，需要頻繁地(例如)針對程序控制及驗證來進行所產生結構的量測。用於進行此等量測之各種工具係為吾人所知，包括常常用以量測臨界尺寸(CD)之掃描電子顯微鏡，及用以量測疊對(器件中兩個層之對準準確度)之特殊化工具。最近，已開發供微影領域

中使用的各種形式之散射計。此等器件將輻射光束引導至目標上且量測散射輻射之一或多個屬性——例如，作為波長之函數的在單一反射角下之強度；作為反射角之函數的在一或多個波長下之強度；或作為反射角之函數的偏振——以獲得可供判定目標之所關注屬性的「光譜 (spectrum)」。

在已知度量技術中，藉由在某些條件下將目標量測兩次，同時旋轉目標或改變照明模式或成像模式以分離地獲得-1繞射階強度及+1繞射階強度來獲得疊對量測結果。比較關於一給定光柵之此等強度會提供該光柵中之不對稱性之量測，且疊對光柵中之不對稱性可用作疊對誤差之指示符。

如吾人所知，每一產品及程序在度量目標之設計及將供執行疊對量測之適當度量「配方」之選擇時需要謹慎。已知工作方式旨在(例如)改良(例如)藉由「總量測不確定度」或TMU所量測的量測之再現性。本發明人已發現，此等已知設計技術在某些情形下並未完全成功，且可導致在其之間一致但不如其可在實際製造環境中準確的量測。

【發明內容】

需要提供一種準確度得以較好地界定及控制且相對於程序誘發性變化而穩固的用於疊對目標及度量配方之設計方法。

一第一實施例提供一種設計待藉由一微影程序而形成之度量目標之方法。每一目標包含待形成於一基板上之一下部層中之一第一週期性結構及在該基板上之一上部層中待形成於該第一週期性結構上方之一第二週期性結構，使得可藉由運用輻射來照明每一目標且觀測一所得繞射光譜之某些部分中之不對稱性而量測該微影程序之疊對效能。選擇用於該等度量配方參數及該等設計參數之值，以便在根據該等選定值之度量目標係藉由一微影程序而形成且被量測時最大化疊對

量測準確度，而非最大化再現性。

在另一實施例中，提供一種設計待藉由一微影程序而形成之度量目標之方法。每一目標包含待形成於一基板上之一下部層中之一第一週期性結構及在該基板上之一上部層中待形成於該第一週期性結構上方之一第二週期性結構，使得可藉由運用輻射來照明每一目標且觀測一所得繞射光譜之某些部分中之不對稱性而量測該微影程序之疊對效能。該方法包含界定表示待用於量測疊對之該照明輻射之屬性之一或多個度量配方參數；界定表示該目標之該設計之一或多個設計參數；演算(i)表示當由該第二週期性結構繞射時之該照明輻射之一第一輻射分量與(ii)表示當在行進通過該第二層而到達該第一層且返回至該第二層之後由該第一週期性結構繞射時之該照明輻射之一第二輻射分量之間的一相對振幅及一相對相位中之至少一者；及基於該所演算相對振幅及/或相對相位來選擇用於該等度量配方參數及該等設計參數之值，以便在根據該等選定值之度量目標係藉由一微影程序而形成且被量測時最大化疊對量測準確度。

該方法可進一步包含根據該等選定參數值而在一基板上形成度量目標。

另一實施例提供一種基板，該基板具備藉由一微影程序而形成之複數個度量目標。每一目標至少包含形成於該基板上之一下部層中之一第一週期性結構及在一上部層中形成於該第一週期性結構上方之一第二週期性結構，使得可藉由運用輻射來照明每一目標且觀測一所得繞射光譜之某些部分中之不對稱性而量測該第一週期性結構與該第二週期性結構之間的對準。該第二週期性結構為一經修改光柵，其被形成為相對於該繞射光譜之該等部分具有一縮減之繞射效率，使得對於一某一波長之輻射，由該第二週期性結構繞射之一輻射分量之一振幅經弱化為具有與由該第一週期性結構繞射之一輻射分量之一振幅之

階相同的階，由該第一週期性結構繞射之該輻射分量之該振幅已藉由行進通過該第二層之材料及一或多個介入層而弱化。

本發明在另外態樣中提供用於一微影程序中之一對圖案化器件；一種電腦程式產品及一種製造器件之方法，其中使用一微影程序而將一產品圖案序列施加至一系列基板，其皆如隨附申請專利範圍中所界定。

下文參看隨附圖式來詳細地描述本發明之另外特徵及優點，以及本發明之各種實施例之結構及操作。應注意，本發明不限於本文所描述之特定實施例。本文中僅出於說明性目的而呈現此等實施例。基於本文中所含有之教示，額外實施例對於熟習相關技術者將為顯而易見的。

【圖式簡單說明】

現在將僅藉由實例參考隨附圖式來描述本發明之實施例，在該等圖式中：

圖1描繪根據本發明之一實施例的微影裝置；

圖2描繪根據本發明之一實施例的微影製造單元或叢集；

圖3(a)至圖3(d)包含：3(a)用於根據本發明之實施例的使用第一對照明孔徑來量測目標之暗場散射計的示意圖；3(b)用於給定照明方向之目標光柵之繞射光譜的細節；3(c)在使用散射計以用於以繞射為基礎之疊對量測中提供另外照明模式的第二對照明孔徑；及3(d)將第一對孔徑與第二對孔徑組合之第三對照明孔徑；

圖4描繪多光柵目標之已知形式及基板上之量測光點之輪廓；

圖5描繪在圖3之散射計中所獲得的圖4之目標之影像；

圖6為根據本發明之第一實施例的展示使用圖3之散射計及新穎度量目標之疊對量測方法之步驟的流程圖；

圖7為一對疊對度量目標之示意性橫截面；

圖8說明在使用目標(諸如圖7所展示之彼等目標)之度量中貢獻於繞射信號的第一輻射分量及第二輻射分量；

圖9展示當對此等目標執行以繞射為基礎之疊對度量時獲得的經模擬強度信號；

圖10展示藉由實驗獲得的對應強度信號；

圖11說明當執行以繞射為基礎之疊對度量時第一輻射分量與第二輻射分量之間的相對相位之影響；

圖12說明在分析以繞射為基礎之疊對度量時相對相位對係數K之影響；

圖13說明用於演算用於疊對度量之信號品質指示符的值；

圖14(a)至圖14(d)說明藉由在疊對度量目標之設計中修改頂部光柵之信號對比度的改良；

圖15及圖16為根據本發明之一實施例的實例設計方法的流程圖；

圖17為展示三個不同品質指示符如何受到藉由圖15之方法而設計的疊對度量目標中之頂部光柵強度之變化影響的曲線圖；

圖18說明如用於圖15之方法中之度量目標之數學模型中之擾動的引入；

圖19(a)至圖19(f)展示六個參數相對於照明波長之曲線圖，其用以說明在圖15及圖16之方法中設計度量配方之程序；及

圖20及圖21說明使用大目標及使用圖3之散射計中之光瞳影像感測器之本發明的替代實施例。

【實施方式】

本說明書揭示併入有本發明之特徵之一或多個實施例。所揭示實施例僅僅例示本發明。本發明之範疇不限於所揭示實施例。本發明係由此處隨附之申請專利範圍界定。

所描述實施例及在本說明書中對「一實施例」、「一實例實施例」等等之參考指示所描述實施例可能包括一特定特徵、結構或特性，但每一實施例可能未必包括該特定特徵、結構或特性。此外，此類片語未必係指相同實施例。另外，當結合一實施例描述一特定特徵、結構或特性時，應瞭解：無論是否予以明確描述，結合其他實施例實現此特徵、結構或特性屬於熟習此項技術者之認識範圍內。

本發明之實施例可以硬體、韌體、軟體或其任何組合予以實施。本發明之實施例亦可被實施為儲存於機器可讀媒體上之指令，該等指令可由一或多個處理器讀取及執行。機器可讀媒體可包括用於儲存或傳輸呈可由機器(例如，計算器件)讀取之形式之資訊的任何機構。舉例而言，機器可讀媒體可包括唯讀記憶體(ROM)；隨機存取記憶體(RAM)；磁碟儲存媒體；光學儲存媒體；快閃記憶體器件；電學、光學、聲學或其他形式之傳播信號，及其他者。另外，韌體、軟體、常式、指令可在本文中描述為執行某些動作。然而，應瞭解，此等描述僅僅係出於方便起見，且此等動作事實上係由計算器件、處理器、控制器或執行韌體、軟體、常式、指令等等之其他器件引起。

在詳細地描述本發明之實施例之前，有指導性的是呈現可供實施本發明之實施例的實例環境。

圖1示意性地描繪微影裝置LA。該裝置包括：照明系統(照明器)IL，其經組態以調節輻射光束B(例如，UV輻射或DUV輻射)；圖案化器件支撐件或支撐結構(例如，光罩台)MT，其經建構以支撐圖案化器件(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該圖案化器件之第一定位器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)PS，其經組態以將由圖案化器件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，包括一或多個晶粒) 上。

照明系統可包括用於引導、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。

圖案化器件支撐件以取決於圖案化器件之定向、微影裝置之設計及其他條件(諸如，圖案化器件是否固持於真空環境中)的方式來固持圖案化器件。圖案化器件支撐件可使用機械、真空、靜電或其他夾持技術以固持圖案化器件。圖案化器件支撐件可為(例如)框架或台，其可根據需要而固定或可移動。圖案化器件支撐件可確保圖案化器件(例如)相對於投影系統處於所要位置。可認為本文中對術語「比例光罩」或「光罩」之任何使用皆與更一般之術語「圖案化器件」同義。

本文中所使用之術語「圖案化器件」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器件。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，則圖案可能不會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器件(諸如，積體電路)中之特定功能層。

圖案化器件可為透射的或反射的。圖案化器件之實例包括光罩、可程式化鏡面陣列，及可程式化LCD面板。光罩在微影中為吾人所熟知，且包括諸如二元、交變相移及衰減相移之光罩類型，以及各種混合式光罩類型。可程式化鏡面陣列之一實例使用小鏡面之矩陣配置，該等小鏡面中每一者可個別地傾斜，以便使人射輻射光束在不同方向上反射。傾斜鏡面將圖案賦予於由鏡面矩陣反射之輻射光束中。

本文中所使用之術語「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」之任何使用皆與更一般之術語「投影系統」同義。

如此處所描繪，裝置屬於透射類型(例如，使用透射光罩)。替代地，裝置可屬於反射類型(例如，使用如上文所提及之類型的可程式化鏡面陣列，或使用反射光罩)。

微影裝置可屬於具有兩個(雙載物台)或兩個以上基板台(及/或兩個或兩個以上光罩台)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。

微影裝置亦可屬於如下類型：其中基板之至少一部分可由具有相對較高折射率之液體(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裝置中之其他空間，例如，光罩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。如本文所使用之術語「浸潤」不意謂諸如基板之結構必須浸沒於液體中，而是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，當輻射源為準分子雷射時，輻射源及微影裝置可為分離實體。在此等狀況下，不認為輻射源形成微影裝置之部件，且輻射光束係憑藉包括(例如)合適引導鏡面及/或光束擴展器之光束遞送系統BD而自輻射源SO傳遞至照明器IL。在其他狀況下，舉例而言，當輻射源為水銀燈時，輻射源可為微影裝置之整體部件。輻射源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可包括用於調整輻射光束之角強度分佈之調整器AD。一般而言，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(通常分別稱作 σ 外部及 σ 內部)。另外，照明器IL可包括各種其他組件，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入射於被固持於圖案化器件支撐件(例如，光罩台MT)上之圖案化器件(例如，光罩) MA上，且係藉由該圖案化器件而圖案化。在已橫穿圖案化器件(例如，光罩) MA的情況下，輻射光束B傳遞通過投影系統PS，投影系統PS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，干涉量測器件、線性編碼器、2-D編碼器或電容性感測器)，可準確地移動基板台WT，例如，以使不同目標部分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中被明確地描繪)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之路徑準確地定位圖案化器件(例如，光罩) 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)來實現圖案化器件支撐件(例如，光罩台) 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，圖案化器件支撐件(例如，光罩台) MT可僅連接至短衝程致動器，或可固定。

可使用光罩對準標記M1、M2及基板對準標記P1、P2來對準圖案化器件(例如，光罩) 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器件(例如，光罩) MA上之情形中，光罩對準標記可位於該等晶粒之間。在器件特徵之中，小對準標記亦可包括於晶粒內，在該狀況下，需要使標記儘可能地小且無需任何與鄰近特徵不同的成像或程序條件。

所描繪裝置可用於多種模式中。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，同步地掃描圖案化器件支撐件(例如，光罩台) MT及基板台WT (亦即，單次動態曝光)。可藉由投影系統PS之放大率(縮小率)及影像反轉特性來判定基板台WT相對於圖案化器件支撐件(例如，光罩台) 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)。如在此項技術中為吾人所熟知，其他類型之微影裝置及操作模式係可能的。舉例而言，步進模式為吾人所知。在所謂「無光罩」微影中，可程式化圖案化器件被固持為靜止的(但其中圖案改變)，且移動或掃描基板台WT。

亦可使用對上文所描述之使用模式之組合及/或變化或完全不同的使用模式。

微影裝置LA為所謂雙載物台類型，其具有兩個基板台WTa、WTb及兩個站——曝光站及量測站——在該等站之間可交換基板台。在曝光站處曝光一基板台上之一基板的同時，可在量測站處將另一基板裝載至另一基板台上且進行各種預備步驟。預備步驟可包括使用位階感測器LS來映射基板之表面控制，及使用對準感測器AS來量測基板上對準標記之位置。

如圖2所展示，微影裝置LA形成微影製造單元LC (有時亦被稱作叢集)之部件，其亦包括用以對基板執行曝光前及曝光後程序之裝置。通常，此等裝置包括用以沈積抗蝕劑層之旋塗器SC、用以顯影經曝光抗蝕劑之顯影器DE、冷卻板CH，及烘烤板BK。基板處置器或機器人RO自輸入/輸出埠I/O1、I/O2拾取基板、在不同程序裝置之間移動基板，且接著將基板遞送至微影裝置之裝載匣LB。常常被集體地稱作塗佈顯影系統之此等器件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而控制微影裝置。因此，不同裝置可經操作以最大化產出率及處理效率。

已知散射計之實例包括US2006033921A1及US2010201963A1中所描述之類型之角解析散射計。由此等散射計使用之目標相對大(例如，40微米乘40微米)光柵，且量測光束產生小於光柵之光點(亦即，光柵填充不足)。使用繞射階之暗場偵測之以繞射為基礎之疊對度量實現對較小目標之疊對量測。可在國際專利申請案WO 2009/078708及WO 2009/106279中得知暗場度量之實例，該等申請案之文件之全文在此以引用方式併入。已在已發佈專利公開案US20110027704A、US20110043791A、US20120044470A、US20120123581A、US20130258310A及US20130271740A中且在美國專利申請案61/652,552及61/803,673中描述技術之進一步開發。此等目標可小於照明光點且可由晶圓上之產品結構環繞。可使用複合光柵目標在一個影像中量測多個光柵。所有此等申請案之內容亦以引用方式併入本文中。圖3(a)展示適於供本發明之實施例中使用的度量裝置(散射計)。圖3(b)更詳細地說明光柵目標T及繞射射線。US 2011027704及上文所提及之其他先前專利申請案提供裝置及其變型及使用之變化的更多細節。彼等先前專利、公開案及申請案之全文以引用方式併入本文中。散射計可為單獨器件，或(例如)在量測站處併入於微影裝置LA中或併入於微影製造單元LC中。貫穿裝置具有若干分支之光軸係由點線O表示。在此裝置中，由源11(例如，氙氣燈)發射之光係由包含透鏡12、14及接物鏡16之光學系統經由光束分裂器15而引導至基板W上。此等透鏡係以4F配置之雙重序列予以配置。可使用不同透鏡配置，其限制條件為：其仍將基板影像提供至偵測器上，且同時地允許存取中間光瞳平面以用於空間頻率濾光。因此，可藉由在呈現基板平面之空間光

譜的平面(此處被稱作(共軛)光瞳平面)中界定空間強度分佈來選擇輻射入射於基板上之角程。詳言之，可藉由在為接物鏡光瞳平面之背面投影式影像的平面中將合適形式之孔徑板13插入於透鏡12與透鏡14之間來進行此選擇。在所說明實例中，孔徑板13具有不同形式(被標註為13N及13S)，從而允許選擇不同照明模式。本實例中之孔徑板形成各種離軸照明模式。在第一照明模式中，孔徑板13N自僅出於描述起見而經指定為「北」之方向提供離軸照明。在第二照明模式中，孔徑板13S係用以提供相似照明，但自被標註為「南」之相對方向提供相似照明。藉由使用不同孔徑，其他照明模式係可能的。光瞳平面之其餘部分理想地係暗的，此係因為在所要照明模式外部之任何不必要的光皆將干涉所要量測信號。

如圖3(b)所展示，目標光柵T經置放為使基板W垂直於接物鏡16之光軸O。與軸線O成一角度而照射於目標T上之照明射線I引起一個零階射線(實線0)及兩個一階射線(單點鏈點線+1及雙點鏈點線-1)。應記住，在運用填充過度之小目標光柵的情況下，此等射線僅僅為覆蓋包括度量目標T及其他特徵之基板區域的許多平行射線中之一者。在提供複合光柵目標的情況下，該目標內之每一個別光柵將引起其自有繞射光譜。因為板13中之孔徑具有有限寬度(為接納有用量之光所必要)，所以入射射線I事實上將佔據一角度範圍，且繞射射線0及+1/-1將稍微散開。根據小目標之點散佈函數(point spread function)，每一階+1及-1將遍及一角度範圍而進一步散佈，而非如所展示之單一理想射線。應注意，光柵間距及照明角可經設計或調整成使得進入接物鏡之一階射線與中心光軸緊密地對準。圖3(a)及圖3(b)所說明之射線被展示為稍微離軸，以純粹地使其能夠在圖解中被更容易地區分。

由基板W上之目標繞射之至少0階及+1階係由接物鏡16收集，且被返回引導通過光束分裂器15。返回至圖3(a)，藉由指明被標註為北

(N)及南(S)之完全相對孔徑而說明第一照明模式及第二照明模式兩者。當入射射線I係來自光軸之北側時，亦即，當使用孔徑板13N來施加第一照明模式時，被標註為+1(N)之+1繞射射線進入接物鏡16。與此對比，當使用孔徑板13S來施加第二照明模式時，-1繞射射線(被標註為-1(S))為進入透鏡16之繞射射線。

第二光束分裂器17將繞射光束劃分成兩個量測分支。在第一量測分支中，光學系統18使用零階繞射光束及一階繞射光束在第一感測器19(例如，CCD或CMOS感測器)上形成目標之繞射光譜(光瞳平面影像)。每一繞射階射中感測器上之一不同點，使得影像處理可比較及對比若干階。由感測器19俘獲之光瞳平面影像可用於聚焦度量裝置及/或正規化一階光束之強度量測。光瞳平面影像亦可用於不對稱性量測以及用於諸如重新建構之許多量測目的，其並非本發明之主題。待描述之第一實例將使用第二量測分支以量測不對稱性。

在第二量測分支中，光學系統20、22在感測器23(例如，CCD或CMOS感測器)上形成基板W上之目標之影像。在第二量測分支中，在與光瞳平面共軛之平面中提供孔徑光闌21。孔徑光闌21用以阻擋零階繞射光束，使得形成於感測器23上的目標之影像係僅由-1或+1一階光束形成。將由感測器19及23捕捉之影像輸出至影像處理器及控制器PU，該影像處理器及控制器PU之功能將取決於正被執行之量測之特定類型。應注意，此處在廣泛意義上使用術語「影像」。因而，若僅存在-1階及+1階中之一者，則光柵線之影像將未形成於感測器23上。

圖3所展示之孔徑板13及場光闌21之特定形式純粹地為實例。在本發明之另一實施例中，使用目標之同軸照明，且使用具有離軸孔徑之孔徑光闌以將實質上僅一個一階繞射光傳遞至感測器。(在彼狀況下實際上調換13及21處所展示之孔徑)。在又其他實施例中，代替一階光束或除了一階光束以外，二階光束、三階光束及高階光束(圖3中

未繪示)亦可用於量測中。

為了使照明可適應於此等不同類型之量測，孔徑板13可包含圍繞一盤碟而形成之數個孔徑圖案，該盤碟旋轉以使所要圖案處於適當位置。替代地或另外，可提供及調換一組板13，以達成相同效應。亦可使用諸如可變形鏡面陣列或透射空間光調變器之可程式化照明器件。可使用移動鏡面或稜鏡作為用以調整照明模式之另一方式。

如剛才關於孔徑板13所解釋，替代地，藉由變更光瞳光闌21，或藉由取代具有不同圖案之光瞳光闌，或藉由運用可程式化空間光調變器來替換固定場光闌，可達成用於成像之繞射階之選擇。在彼狀況下，量測光學系統之照明側可保持恆定，而成像側具有第一模式及第二模式。實務上，存在量測方法之許多可能的類型，每一類型具有其自有優點及缺點。在一方法中，改變照明模式以量測不同階。在另一方法中，改變成像模式。在第三方法中，照明模式及成像模式保持不變，但使目標旋轉達180度。在每一狀況下，所要效應相同，即，用以選擇在目標之繞射光譜中彼此對稱地相對的非零階繞射輻射之第一部分及第二部分。

雖然在本實例中用於成像之光學系統具有受到場光闌21限定之寬入口光瞳，但在其他實施例或應用中，成像系統自身之入口光瞳大小可足夠小以限定至所要階，且因此亦用作場光闌。圖3(c)及圖3(d)中展示不同孔徑板，該等孔徑板可如下文進一步所描述予以使用。

通常，目標光柵將與其向南北或東西延行之光柵線對準。亦即，光柵將在基板W之X方向或Y方向上對準。應注意，孔徑板13N或13S可僅用以量測在一個方向(取決於設置而為X或Y)上定向之光柵。為了量測正交光柵，可能實施達90°及270°之目標旋轉。然而，更方便地，在使用圖3(c)所展示之孔徑板13E或13W的情況下，在照明光學件中提供來自東或西之照明。可分離地形成及互換孔徑板13N至

13W，或孔徑板13N至13W可為可旋轉90度、180度或270度之單一孔徑板。如已經提及，可在場光闌21中而非在照明孔徑板13中提供圖3(c)所說明之離軸孔徑。在彼狀況下，照明將同軸。

圖3(d)展示可用以組合第一對及第二對之照明模式的第三對孔徑板。孔徑板13NW具有處於北及西之孔徑，而孔徑板13SE具有處於南及東之孔徑。倘若此等不同繞射信號之間的串擾不太大，則可執行X光柵及Y光柵兩者之量測，而不改變照明模式。將在圖20及圖21之實例中說明另外多種孔徑板13Q。

以繞射為基礎之疊對量測——序言

圖4描繪根據已知實務形成於基板W上之複合度量目標。該複合目標包含四個個別疊對光柵32至35，該等個別疊對光柵32至35緊密地定位在一起使得其將皆在由度量裝置之照明光束形成之量測光點31內。此等光柵中每一者為一度量目標。該四個目標因此皆被同時地照明且同時地成像於感測器19及23上。在專用於疊對量測之實例中，光柵32至35自身為由在形成於基板W上之半導體器件之不同層中圖案化之上覆光柵而形成的複合光柵。光柵32至35可具有經不同偏置疊對偏移，以便促進經形成有複合光柵之不同部分之層之間的疊對之量測。光柵32至35亦可在其定向方面不同(如所展示)，以便使入射輻射在X方向及Y方向上繞射。在一實例中，光柵32及34為分別具有+d、-d之偏置之X方向光柵。此意謂光柵32使其上覆組件經配置成使得若其兩者確切地印刷於其標稱部位處，則該等組件中之一者將相對於另一者偏移達距離d。光柵34使其組件經配置成使得若其被極佳地印刷，則其將具有為d但在與第一光柵等等相對方向上的偏移。光柵33及35為分別具有偏移+d及-d之Y方向光柵。雖然說明四個光柵，但另一實施例可能需要更大矩陣以獲得所要準確度。舉例而言，九個複合光柵之3x3陣列可具有偏置-4d、-3d、-2d、-d、0、+d、+2d、+3d、+4d。可

在由感測器23俘獲之影像中識別此等光柵之分離影像。

為了產生每一目標，應瞭解，光柵圖案(週期性結構)形成於至少兩個層中，每一層之圖案係由諸如光罩之圖案化器件界定。在圖4之實例中，假定所有四個光柵形成於同一層對中，但此僅為一個選項。視需要，光柵32及34可形成為量測層1與層2之間的疊對，而光柵33及35可量測不同層(例如，層3與層4)之間的疊對。

圖5展示在使用來自圖3(d)之孔徑板13NW或13SE的情況下在圖3之裝置中使用圖4之目標而可形成於感測器23上且由感測器23偵測的影像之實例。雖然光瞳平面影像感測器19不能解析不同個別光柵32至35，但影像感測器23可解析不同個別光柵32至35。交叉影線矩形40表示感測器上之影像之場，在此場內，基板上之經照明光點31成像至對應圓形區域41中。理想地，該場係暗的。在此暗場影像內，矩形區域42至45表示個別光柵32至35之影像。若該等光柵位於產品區域中，則在此影像場之周邊中亦可看見產品特徵。雖然僅一個單一複合光柵目標被展示於圖5之暗場影像中，但實務上半導體器件或藉由微影製造之其他產品可具有多個層，且希望在不同層對之間進行疊對量測。對於層對之間的每一疊對量測，需要一或多個複合光柵目標，且因此，在影像場內可存在其他複合光柵目標。影像處理器及控制器PU使用圖案辨識來處理此等影像以識別光柵32至35之分離影像42至45。

一旦已識別光柵之分離影像，就可(例如)藉由對經識別區域內之選定像素強度值進行平均化或求和而量測彼等個別影像之強度。可將影像之強度及/或其他屬性彼此進行比較。可組合此等結果以量測微影程序之不同參數。疊對效能為此參數之一重要實例，且比較強度揭露可用作疊對之量測之不對稱性。在用於量測不對稱性且因此量測疊對之另一技術中，使用光瞳平面影像感測器19。將在稍後參看圖20及圖21描述使用此感測器之實例。

以繞射為基礎之疊對中之信號形成

為了理解序言中所提及之類型之誤差來源，首先考慮疊對量測之原點且進一步詳細地考慮用於演算中之信號如何形成於以繞射為基礎之疊對度量中將為有用的。如上文所解釋，疊對之量測係基於觀測到由目標在合適照明下形成的繞射光譜之相對部分之間的不對稱性而進行。該等部分包含高階繞射輻射，意謂非零階繞射輻射。此等實例中所選擇之部分包含實質上一階，但視需要又可包括高階。

圖7以橫截面說明一對疊對光柵目標。此等疊對光柵目標可(例如)為圖4所展示之形式的複合目標中之目標32及34。底部光柵包含特徵形成於基板W上之層L1中的週期性結構。具有相同間距P之頂部光柵形成於上部層L2中。上部光柵與下部光柵之間的位移X為待量測之疊對OV與經程式化偏移(在此實例中為+d或-d)之組合。對於每一光柵，在圖6之方法之步驟S5中，藉由減去+1繞射信號及-1繞射信號之強度來演算不對稱性 ΔI 。此等繞射信號可與位移X乘係數K有關，如以下公式所展示：

$$\Delta I_+ = K(OV + d) \text{ (對於 } +d \text{ 偏移) 及}$$

$$\Delta I_- = K(OV - d) \text{ (對於 } -d \text{ 偏移),}$$

其中假定OV及d遠小於間距P。自針對不同偏移之不對稱性量測之組合演算疊對OV，如由以下公式所展示：

$$OV = d \frac{\Delta I_+ + \Delta I_-}{\Delta I_+ - \Delta I_-}。$$

雖然以上公式為吾人所熟知且實務上得以應用，但效能亦取決於界定(例如)照明輻射之波長及偏振之最好度量「配方」之選擇。通常，最好的配方係藉由實驗判定。本發明人已認識到，藉由自第一原理重新考慮不對稱繞射信號如何，可藉由待描述之目標設計及配方選擇方法來揭露並處理測定疊對中之誤差之原因。詳言之，其可展示：

通常用於判定量測品質之準則在一些狀況下可能不給出最準確量測。

圖8示意性地展示入射輻射(中心光束) 800與層L1、L2中之底部光柵及頂部光柵之相互作用。每一層產生其自有繞射光譜，該繞射光譜包含(例如)由頂部光柵繞射之+1階光束802+及-1階光束802-以及由底部光柵繞射之光束804-及804+。此等輻射分量在遠場中干涉彼此以得到由檢測裝置量測之繞射信號。根據此實例，頂部光柵繞射輻射802+具有振幅A及相位 α ，而表示繞射光譜之相對部分之頂部光柵繞射輻射802-具有振幅A及相位 $-\alpha$ 。底部光柵繞射輻射804-及804+兩者係由振幅B及相位 β 界定。在此表達之形式中，相位 α 係與為待量測之光柵移位之X/P成比例。參數A、B及 β 完全地取決於光柵之特性、層之介入「堆疊」，及所應用之量測配方。簡言之，相位 β 表示可歸因於輻射在其與底部光柵自身相互作用之前及之後行進通過頂部光柵及任何介入層之需要的相位延遲。

在表達關於此兩個輻射分量之間的干涉方面之經偵測強度的情況下，吾人可撰寫以下方程式：

$$I_1 = |Ae^{j\alpha} + Be^{j\beta}|^2 = A^2 + B^2 + 2AB \times \cos[\beta + \alpha]$$

$$I_{-1} = |Ae^{-j\alpha} + Be^{j\beta}|^2 = A^2 + B^2 + 2AB \times \cos[\beta - \alpha]$$

圖9展示關於一實例目標之強度I+1及I-1相對於 α 的所演算值。注意兩個信號如何具有以正弦為基礎之大約非零平均值之形式。在此實例中 β 之值相對於移位X為1.14弧度(如所展示)。 β 之有效值將在下文中予以進一步論述。

圖10展示自實際產品量測之強度I+1及I-1的測定值。可看出，存在於所演算值之良好一致性。查看圖9及圖10之曲線圖，信號展示良好對比度。亦即，其展示對位移X之強相依性，且可被預期得到準確疊對量測。不利的是，此良好對比度並非在所有實際量測中皆明顯。對於此信號I+1或I-1之對比度值CT可由以下公式定義：

$$CT = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

其中 I_{\max} 及 I_{\min} 為相關強度信號對正弦變化之最大值及最小值。CT係在自零至為1之理論最大值之範圍內。在上述方程式中，在模型化頂部光柵信號與底部光柵信號之間的干涉之結果的情況下，項 $\cos(\beta + \alpha)$ 或 $\cos(\beta - \alpha)$ 隨著 α 遍及全循環而變化而在自+1至-1的範圍內。本發明人已觀測到，當 $A=B$ 時獲得測定強度信號之最好對比度。儘管簡單地陳述此情形，但此相依性在先前技術中尚未被明確地辨識，或尚未應用此相依性以改良目標設計。其導致令人感興趣的觀測。值B相比於實際目標中之A通常極小，此係因為底部光柵之輻射分量必須傳遞通過介入材料層兩次，而形成於未由任何其他材料覆蓋的新近開發抗蝕劑材料中之頂部光柵給出A之極強值。本文所揭示之方法亦可應用於「蝕刻後」疊對度量中，其中頂部光柵形成於產品層中。

本發明人已注意到，可僅在 $A=B$ 時獲得最好對比度($CT=1.0$)。在序言及申請專利範圍之語言中，亦即，第一輻射分量與第二輻射分量之相對振幅 $RA = A \div B$ 為1。若信號之相對振幅為2 (或 $\frac{1}{2}$)，則CT將縮減至0.8。若RA為4，則CT僅僅低於0.5，且若RA為10，則CT僅為0.2。

因此，提議用於疊對度量目標之設計方法，其中目標為不使每一光柵對所觀測繞射信號具有最強可能的貢獻，而是使每一光柵具有更等於埋入式底部光柵之貢獻的貢獻。此情形可涉及顯著地「弱化」光柵中之一者(通常為頂部光柵)，如將在下文所解釋。

每一強度信號之對比度除了受到相對振幅RA如此強影響以外，上述方程式亦揭露相對相位 β 之強影響，如現在將予以解釋。本文所揭示之目標設計方法(更準確地，目標及配方設計方法)尋求最佳化 β

之值。

圖11展示隨著強度信號 I_{+1} 及 I_{-1} 之固定分量 β 遍及半循環而變化該等強度信號 I_{+1} 及 I_{-1} 相對於移位 X 之間的相位關係(通常在相位 α 方面予以表達)。為了進行良好品質量測，強度應展示隨著 X 變化之對比行為。然而，如曲線圖展示，當 β 為大約 $\pi/2$ 時可存在對比行為，若 β 為大約零，則又完全不存在對比行為。因此，即使每一信號中之對比度 CT 極高，疊對量測亦取決於的對比行為也高度取決於相對相位 β 。本發明人已認識到，在某些生產狀況下存在由於 β 之值之度量之難度。

亦可分析地導出 β 與量測品質之間的此關係。自上述內容記得，疊對量測 OV 自強度值之所觀測到不對稱性 ΔI 之演算取決於係數 K 。以下方程式導出根據上文所定義之參數 A 、 B 及 β 之 K 之值。為了簡化表達式，假定 $X \ll P$ ，使得 $\sin(\alpha)$ 可由 $2\pi X/P$ 近似。

$$\begin{aligned}\Delta I &= I_1 - I_{-1} = 4AB \sin(\beta) \sin(\alpha) \approx \frac{8\pi}{P} AB \sin(\beta) X \\ &= K \cdot X\end{aligned}$$

$$K = \frac{8\pi}{P} AB \sin(\beta) \quad [W/(m^2 \cdot nm)]$$

圖12標繪藉由所導出公式演算的 K 相對於 β 之值。觀測到當 β 為大約零或 π 時 K 接近零且對 β 極敏感。吾人可自此觀測預測出，疊對之量測將具有不良敏感度且具有對程序變化之高相依性。另一方面，當 β 接近 $\pi/2$ 或 $3\pi/2$ 時，則 K 相對於歸因於程序變化之 β 之小變化係高的且相對穩定兩種情況。

現在，相對相位 β 為兩個項之函數：用於第二輻射分量之有效光學路徑差，及用於量測之輻射之波長 λ 。有效光學路徑差係藉由產品設計及程序要求判定，且作為目標設計程序之一部分通常不可被影響。波長項 λ 係作為設計程序之一部分而可選擇，且為度量配方中所

指定之參數。因此，所揭示之設計方法尋求使 β 儘可能地接近 $\pi/2$ 或 $3\pi/2$ 。雖然程序變化將意謂 β 並未極佳地可控制，但設計其以具有此等理想值中之一者將意謂疊對量測之品質更容許程序變化。

在實際設計問題中，目標設計及/或度量配方設計兩者可具有幾個可變參數。最佳設計解決方案將為所希望情形與在實務情形中可達成的情形之間的折衷。作為單一實例，現有度量裝置可不具有無限可調整波長，而是僅具有供選擇之幾個波長。偏振之選擇可有影響。為了簡化對最佳解決方案之搜尋，可界定一或多個品質量測以用於評估度量配方及目標設計之候選組合之成功。詳言之，可應用於實驗目標之品質之量測可有用。

圖13說明囊封對比度準則(相對振幅RA接近於1)及相對相位準則(相對相位 β 接近於 $\pi/2$ 或 $3\pi/2$)之信號品質指示符S的導出。亦可被稱作堆疊敏感度指示符的此指示符可用於對實際目標之實驗量測中，及/或用於經模擬量測中。在該曲線圖中，水平軸線表示與週期P成比例的移位X。強度信號 I_{+1} 及 I_{-1} 被標繪(對於 $OV=0$ 之理想狀況)。曲線之實線部分表示由典型一對經偏置光柵覆蓋之範圍。作為一實例，每一層中之光柵間距可為 $P=700$ 奈米且可應用偏置 $\pm d=\pm 20$ 奈米。可(自實際樣本或在模擬中)量測平均強度 I_m 及強度變化 ΔI 。出於實務目的， ΔI 可被定義為強度信號中之一者在兩個偏置值 $+d$ 與 $-d$ 之間的差或針對偏置值中之一者之兩個強度信號之間的差。 ΔI 之後一定義為該曲線圖中所說明之定義，但前一定義可方便地用於實驗中，此係因為任何未知疊對之影響將抵消。平均強度 I_m 僅僅為 $(I_{+1} + I_{-1})/2$ 。在將信號品質指示符S定義為 $\Delta I/I_m$ 的情況下，吾人可陳述：

$$S = 2 \frac{\Delta I}{I_{+1} + I_{-1}}$$

在代入上文針對根據參數A、B、 α 及 β 之強度所導出之表達式的

情況下，其可被展示為：

$$S \approx \frac{8\pi AB \sin(\beta)}{A^2 + B^2 + 2AB \cos(\beta)} \times \left(\frac{d}{P}\right)$$

應注意，此單一量測S將RA及 β 兩者之影響併入於單一量測中。最大信號品質(最大疊對量測準確度)將由值 $S=0.5$ 表示，但當然可採用任何標度。作為一準則，吾人可(例如)選擇 $S>0.2$ 作為對適當信號品質之測試。圖13之曲線圖亦說明用以驗證是否可實驗地驗證(吾人亦提及的)是否已達成 $\beta=\pi/2$ 或 $3\pi/2$ 之可能實驗方法。每一信號I+1及I-1在 $\alpha=0$ 處之強度應與該等信號I+1及I-1在 $\alpha=\pi$ 處之強度相同。若以「線上線」及「渠溝上線」兩種版本提供實驗目標，則可直接地測試此相等性。

關於實務設計方法，第一要求為能夠調整形成疊對度量目標之週期性結構中之一者或兩者的強度。通常，頂部光柵為應被調整之光柵，此係因為底部光柵貢獻已經較弱。

圖14在(a)處展示實例疊對度量目標之橫斷面，其中頂部光柵900在週期P內僅具有初級特徵902。此光柵為具有50%標記-空間比率之習知光柵。圖14(b)展示經修改目標，其中頂部光柵經修改以在每一週期P內具有初級特徵902及次級特徵904。次級特徵實際上將諧波引入至頂部光柵之週期性中。藉由此修改，輻射將轉向至由檢測裝置偵測之繞射光譜之部分外部的繞射光譜之高階。

初級特徵及次級特徵之相對尺寸可作為設計之參數予以調整。在實例實施中定義參數 ΔCD 。在 $\Delta CD=0$ 處，次級特徵及初級特徵具有相等大小。隨著 ΔCD 增加，次級特徵之尺寸減小，而初級特徵增加，直至僅保持初級特徵(圖14(a)之情形)為止。圖14(b)之情形係藉由 ΔCD 之中間值達成。用以弱化頂部光柵之修改之其他形式當然係可能的。一個實例將為在正交於週期性方向的方向上將光柵線次分段。舉例而

言，在X方向光柵中，每一線可形成為在Y方向上延行之線之經分段集合。

圖14(c)及圖14(d)圖形地展示此設計修改對用於疊對量測之信號品質之效應。再次，出於實例起見，目標經設計成具有 $P=700$ 奈米且 $d=20$ 奈米。亦假定對於此說明，已達成 $\beta = \pi/2$ 或 $3\pi/2$ 。應注意，(c)及(d)中之曲線圖具有不同垂直標度。對應於習知目標(a)之曲線圖(c)展示比對應於(b)處之經修改設計之曲線圖(d)之信號強度大得多的信號強度。然而，此並不指示較好量測。其可展示：對於習知目標，對比度CT僅為0.55，且信號品質指示符S僅為0.23。與此對比，對於經修改設計(b)，曲線圖(d)揭露為0.92之對比度CT及為0.35之信號品質指示符S。此等值比在使用習知目標的情況下之值好得多。

用於目標及度量配方之實例設計方法

圖15展示實施上文所識別之原理之設計方法的一個實例。在此實例中，假定不可根據設計來變更底部光柵及堆疊。假定頂部光柵待應用於抗蝕劑層中且可根據諸如 ΔCD 之設計參數而變化。又，度量配方具有可根據設計而變化之參數。此等參數之主要實例係波長及偏振，但實際檢測裝置可提供若干額外參數之控制。熟習此項技術者可易於預見其他方法，且本發明不限於此特定實例。界定以下步驟：

將可調整強度抗蝕劑光柵放於度量目標之數學模型中之底部光柵及堆疊之頂部上。

演算針對所有可用量測配方之 β (更詳細地參看圖16)。

選擇 β 接近於 $\pi/2$ 或 $3\pi/2$ 之配方。

對於每一選定配方：調整抗蝕劑光柵之強度直至觀測到之繞射階之「對比度」得以最大化為止。

將擾動(例如，底部光柵不對稱性BGA)應用於經處理底部光柵且

演算針對所有選定配方誘發性OV誤差。

選擇具有最低OV誤差且具有待由感測器偵測之足夠信號之配方。

擾動之應用係有效地用以確保選定設計允許在實際條件範圍下且並非僅在理性條件下的高量測品質。可針對希望有疊對目標之所有產品光柵重複上述步驟。如已經提及，可在不脫離本文所揭示之原理的情況下變化圖15及圖16之特定方法步驟。舉例而言，雖然所說明之方法之步驟隱含地導致信號品質指示符S之良好值，但一替代方法可能將明確地演算S且將此S用作用於評估候選設計及配方之基礎。

圖16更詳細地說明執行演算 β 之步驟之一種方式。此僅為一個說明性實例。該等步驟(藉由使用數學模型之計算所執行)為：

將抗蝕劑光柵放於 $X = -P/2$ 處且演算繞射光譜之觀測到部分(例如，一階)之第一繞射效率DEA。

將抗蝕劑光柵放於 $X = -P/4$ 處且演算第二繞射效率DEB。

將抗蝕劑光柵放於 $X = 0$ 處且演算第三繞射效率DEC。

將抗蝕劑光柵放於 $X = +P/4$ 處且演算第四繞射效率DED。

自所演算繞射效率DEA至DED演算相對相位 β 。

用於自四個繞射效率演算相對相位 β 之公式為：

$$\beta = \text{atan}\left(\frac{DE_B - DE_D}{DE_A - DE_C}\right)$$

圖17說明上述設計方法中所利用的品質指示符與當前應用於度量目標及配方之設計中之品質量測之間的差。再次，出於實例起見，目標經設計成具有 $P=700$ 奈米且 $d=20$ 奈米。該曲線圖展示三個品質參數相對於頂部光柵強度參數 ΔCD 的標繪圖。光柵強度自左側處之最小之變化至右側處之全強度(全強度在此實例中係由 $\Delta CD=100$ 奈米表示)。假定目標極佳(不具有擾動)，且 β 為大約 $\pi/2$ 。

該曲線圖上所標繪之品質指示符為：

光子散粒雜訊PN (以任意單位)。

以百分比項之整個目標之繞射效率DE (在任意標度上)。此處DE被定義為繞射至在度量方法中所觀測到的一階中之入射照明功率的比例。

如上文所定義的在0至1之標度上的對比度CT。

第一指示符在先前技術中被良好地辨識且尤其光子散粒雜訊常用作待增加之品質指示符。最小化PN會帶來如下益處：所得量測一致且對隨機誤差較不敏感。此一致性常常被表達為低「總量測不確定度」或TMU。然而，本發明人已認識到，TMU指示量測一致性，但並非總是為良好量測準確度之良好指示符。而工作之習知方式可能支持具有用以最小化PN及/或最大化DE之 ΔCD 參數集之設計。此情形將暗示選擇由 ΔCD 軸線上之開口圓表示之 ΔCD 值。基於最大化對比度CT之新設計方法表明：可在由實線圓表示之值處獲得較好結果。光子散粒雜訊之稍微增加將增加TMU，但量測將更準確且程序更穩固。

應用實例及結果

圖18說明其中 $p=700$ 奈米的實例目標及其中 ΔCD 已經最佳化以最大化對比度的經減弱頂部光柵。已引入某一底部光柵不對稱性 $BGA=1$ 奈米作為在實際製造程序中很可能出現的擾動之一實例。對於度量目標及度量配方之設計者之問題在於如何獲得相對於此等擾動相對穩固之疊對之準確量測。其現在將被展示：如何控制相對相位 β 為用以達成此目標之有效技術。應記得，實際上可藉由選擇用於度量中之輻射之波長 λ 來控制 β 。

圖19展示相對於波長 λ 之範圍而標繪的設計及量測方法之四個參數的曲線圖(a)至(d)。曲線圖(e)及(f)指示結果。所有此等量測係基於

圖18之目標，該目標具有其誘發性底部光柵不對稱性。可運用TE或TM偏振來進行量測，且分離地標繪此等量測。配方可經設計以使用TE及TM輻射中之任一者或兩者。在考慮前四個曲線圖的情況下，以下參數已經在上文予以論述且在此處被標繪為：

(a)展示如上文所定義之平均強度 $I_m = (I_{+1} + I_{-1})/2$ 。(b)展示如上文所定義之係數K。

(c)展示如上文所定義之堆疊敏感度S。

(d)以度數展示如上文所定義之相對相位 β 。

該等曲線圖確認在上述論述中所作出的觀測。舉例而言：測定信號之高平均強度不為高堆疊敏感度S之良好指示符(而是相反情況適用)；亦對 λ 之變化相對不敏感的K之高值對應於在 β 為大約90度的情況下之 λ 之值($\pi/2$ 弧度)。

轉至結果，曲線圖(e)展示量測之「再現性」。白色圓點指示旨在最小化TMU之習知設計程序將建議使用高於770奈米之某處的波長下之TE輻射。然而，曲線圖(f)指示由底部光柵不對稱性之擾動引起的疊對量測中之誤差。黑色圓點說明引起最小誤差之配方為使用TM輻射之配方。此外，該曲線圖展示：藉由選擇大約760奈米之波長，可將經設計操作點置放於疊對誤差相對於波長之曲線圖中之極廣泛最小值的中間。此情形不僅促進合適波長之選擇(在檢測裝置具有可用之僅有限波長的情況下)，而且其指示實際製造情形中之程序誘發性擾動之高容許度。

光瞳平面中之以繞射為基礎之疊對

參看圖20及圖21，新穎方法可不僅應用於小目標與暗場散射量測，而且應用於大目標及使用光瞳平面影像感測器19之角解析散射量測。對於此實例，使用13Q處所說明的對稱分段之照明剖面。被標註為a及b之兩個完全相對象限在此孔徑圖案中係明亮的(透明的)，而另

外兩個象限係暗的(不透明的)。此類型之孔徑係自己發佈專利申請案 US 20100201963在散射量測裝置中為吾人所知。如圖12之中心處所見，使用由照明光點31填充不足之目標光柵732。該圖式中未繪示的是，此光柵732為形成複合目標之組件光柵之較大光柵集合的一部分。藉由與圖8之實例類似，可存在組件疊對光柵732至735及輔助組件光柵732'至735'以及732"至735"。

而在圖4至圖6之實例中，偵測器23係用於對應於基板W之平面之影像平面中，圖12及圖13之方法使用經定位於與物鏡16之光瞳平面共軛的平面中之偵測器19。偵測器19可為影像感測器，例如，CCD攝影機感測器。替代地，可部署個別點偵測器代替影像感測器。雖然由孔徑板13Q提供之照明圖案在圖12之左側處具有被標註為a及b之明亮象限，但由感測器19看到之繞射圖案係在右側處被表示。在此圖案中，除了被標註為a0及b0之零階反射以外，亦可見一階繞射信號，其被標註為a-1、a+1、b-1及b+1。因為照明孔徑之其他象限係暗的且更通常因為照明圖案具有180°旋轉對稱性，所以繞射階a-1及b+1係「自由的」，此意謂其不與來自照明孔徑之其他部分之零階或高階信號覆蓋。可利用經分段照明圖案之此屬性以自繞射光柵(疊對目標)獲得間距為可在使用習知圓形對稱之照明孔徑的情況下成像之最小間距之一半的清晰一階信號。已知申請案US 20100201963描述此繞射圖案及其可被利用以用於散射量測之方式。

圖21為使用來自目標732等等之圖20之繞射光譜以獲得經校正用於解析度下失配之疊對量測之方法的流程圖。步驟S11至S15緊密地對應於圖6之方法之步驟S1至S6，且將不予以詳細描述。主要差異係如下。應記得，圖6之方法(例如)藉由比較如運用感測器23捕捉之第一影像及第二影像中所看到的光柵影像42之強度來獲得用於光柵32之不對稱性信號。相比而言，圖21之方法(例如)藉由比較自光瞳影像感測

器19上之相同繞射光譜內提取的+1繞射階及-1繞射階之強度來獲得用於光柵732之不對稱性信號。

本文所揭示之技術使能夠設計及使用度量目標及配方以達成大的疊對量測準確度。舉例而言，可應用該方法以相對於程序變化作出儘可能穩固的量測，且甚至在對於藉由當前工作方式進行解析具挑戰性的特定堆疊之狀況下使該等量測有效。

應理解，用於上述實例中之特定參數並非可被界定之僅有參數。可根據待用於度量之微影裝置及檢測裝置之限制而將額外及/或替代參數用於實際設計程序中。檢測裝置可為現有檢測裝置，其中照明模式及波長之選擇可受到限制。在具有(例如)雷射泵浦電漿光源之未來裝置之狀況下，可得到波長之較寬選擇，且此靈活性可藉由本文所揭示之設計方法充分利用。雖然上文所描述之目標結構為出於量測之目的而特定地設計及形成之度量目標，但在其他實施例中，可在為形成於基板上之器件之功能部件的目標上量測屬性。許多器件具有規則的類光柵結構。如本文所使用之術語「目標光柵」及「目標結構」並不要求已特定地針對正被執行之量測來提供該結構。

與如基板及圖案化器件上所實現的目標之實體光柵結構相關聯地，一實施例可包括含有機器可讀指令之一或多個序列的電腦程式，該等機器可讀指令描述在基板上設計及產生目標之方法，連同關聯度量配方。此電腦程式可(例如)在用於設計程序之分離電腦系統中執行。替代地，設計程序可在圖3之裝置中之單元PU及/或圖2之控制單元LACU內完全地或部分地執行。亦可提供經儲存有此電腦程式之資料儲存媒體(例如，半導體記憶體，磁碟或光碟)。

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。在壓印微影中，圖案化器

件中之構形(topography)界定產生於基板上之圖案。可將圖案化器件之構形壓入被供應至基板之抗蝕劑層中，在基板上，抗蝕劑係藉由施加電磁輻射、熱、壓力或其組合而固化。在抗蝕劑固化之後，將圖案化器件移出抗蝕劑，從而在其中留下圖案。

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中任一者或其組合，包括折射、反射、磁性、電磁及靜電光學組件。

對特定實施例之前述描述將因此充分地揭露本發明之一般性質：在不脫離本發明之一般概念的情況下，其他人可藉由應用熟習此項技術者所瞭解之知識針對各種應用而容易地修改及/或調適此等特定實施例，而無需進行不當實驗。因此，基於本文所呈現之教示及指導，此等調適及修改意欲在所揭示實施例之等效者的涵義及範圍內。應理解，本文中之措辭或術語係出於實例描述而非限制之目的，使得本說明書之術語或措辭待由熟習此項技術者按照該等教示及該指導進行解譯。

本發明之範圍及範疇不應受到上述例示性實施例中之任一者限制，而應僅根據以下申請專利範圍及其等效者進行界定。

應瞭解，【實施方式】章節而非【發明內容】及【中文發明摘要】章節意欲用以解譯申請專利範圍。【發明內容】及【中文發明摘要】章節可闡述如由本發明之發明人所預料的本發明之一或多個而非所有例示性實施例，且因此，不意欲以任何方式來限制本發明及隨附申請專利範圍。

上文已憑藉說明特定功能及該等功能之關係之實施之功能建置區塊來描述本發明。為了便於描述，本文已任意地界定此等功能建置區塊之邊界。只要適當地執行指定功能及其關係，便可界定替代邊界。

對特定實施例之前述描述將因此充分地揭露本發明之一般性質：在不脫離本發明之一般概念的情況下，其他人可藉由應用熟習此項技術者所瞭解之知識針對各種應用而容易地修改及/或調適此等特定實施例，而無需進行不當實驗。因此，基於本文所呈現之教示及指導，此等調適及修改意欲在所揭示實施例之等效者的涵義及範圍內。應理解，本文中之措辭或術語係出於描述而非限制之目的，使得本說明書之術語或措辭待由熟習此項技術者按照該等教示及該指導進行解譯。

本發明之範圍及範疇不應受到上述例示性實施例中之任一者限制，而應僅根據以下申請專利範圍及其等效者進行界定。

【符號說明】

0	零階射線/繞射射線
+1	一階射線/繞射射線
+1(N)	+1繞射射線
-1	一階射線/繞射射線
-1(S)	-1繞射射線
11	源
12	透鏡
13	孔徑板
13E	孔徑板
13N	孔徑板
13NW	孔徑板

13Q	孔徑板/對稱分段之照明剖面
13S	孔徑板
13SE	孔徑板
13W	孔徑板
14	透鏡
15	光束分裂器
16	接物鏡/透鏡/物鏡
17	第二光束分裂器
18	光學系統
19	第一感測器/光瞳平面影像感測器/偵測器
20	光學系統
21	孔徑光闌/光瞳光闌
22	光學系統
23	影像感測器
31	量測光點/經照明光點/照明光點
32	疊對光柵
33	疊對光柵
34	疊對光柵
35	疊對光柵
40	交叉影線矩形
41	圓形區域
42	矩形區域/光柵影像
43	矩形區域/影像
44	矩形區域/影像
45	矩形區域/影像
732	目標光柵/目標

800	入射輻射
802+	+1階光束/頂部光柵繞射輻射
802-	-1階光束/頂部光柵繞射輻射
804+	光束/底部光柵繞射輻射
804-	光束/底部光柵繞射輻射
900	頂部光柵
902	初級特徵
904	次級特徵
a	象限
a_0	零階反射
a_{-1}	一階繞射信號/繞射階
AD	調整器
AS	對準感測器
b	象限
b_0	零階反射
b_{+1}	一階繞射信號/繞射階
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
I	照明射線/入射射線
I_{+1}	強度/強度信號
I_{-1}	強度/強度信號

IF	位置感測器
IL	照明系統/照明器
IN	積光器
I/O1	輸入/輸出埠
I/O2	輸入/輸出埠
L1	層
L2	上部層
LA	微影裝置
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	光罩對準標記
M2	光罩對準標記
MA	圖案化器件
MT	圖案化器件支撐件或支撐結構/光罩台
O	光軸/軸線
P	間距
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	影像處理器及控制器
PW	第二定位器
RO	基板處置器/機器人
SC	旋塗器

SCS	監督控制系統
SO	輻射源
S1	步驟
S2	步驟
S3	步驟
S4	步驟
S5	步驟
S6	步驟
S11	步驟
S12	步驟
S13	步驟
S14	步驟
S15	步驟
T	光柵目標/度量目標
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. 一種設計待藉由一微影程序而形成之度量(metrology)目標之方法，每一目標包含待形成於一基板上之一下部層中之一第一週期性結構及在該基板上之一上部層中待形成於該第一週期性結構上方之一第二週期性結構，使得可藉由運用輻射來照明每一目標且觀測一所得繞射光譜之某些部分中之不對稱性而量測該微影程序之疊對效能，該方法包含：

界定表示待用於量測疊對之該照明輻射之屬性之一或多個度量配方參數；

界定表示該目標之該設計之一或多個設計參數；

演算(i)表示當由該第二週期性結構繞射時之該照明輻射之一第一輻射分量與(ii)表示當在行進通過該第二層而到達該第一層且返回至該第二層之後由該第一週期性結構繞射時之該照明輻射之一第二輻射分量之間的一相對振幅及一相對相位中之至少一者；

基於該所演算相對振幅及/或相對相位來選擇用於該等度量配方參數及該等設計參數之值，以便在根據該等選定值之度量目標係藉由一微影程序而形成且被量測時最大化疊對量測準確度。

2. 如請求項1之方法，其中選擇該等目標設計參數，使得該第一輻射分量之振幅與該第二輻射分量之振幅具有相同階。
3. 如請求項1或2之方法，其中該第二輻射分量之該振幅不大於該第一輻射分量之該振幅的十倍。
4. 如請求項1或2之方法，其中該第二輻射分量之該振幅不大於該第一輻射分量之該振幅的五倍。

5. 如請求項1或2之方法，其中該第二輻射分量之該振幅不大於該第一輻射分量之該振幅的兩倍。
6. 如請求項1或2之方法，其中該第二週期性結構在每一週期內包含初級特徵及次級特徵，且該選擇步驟包含調整該等初級特徵及該等次級特徵之相對尺寸以便使該照明輻射之一比例轉向至該繞射光譜之未觀測到部分中。
7. 如請求項1或2之方法，其中該第一輻射分量及該第二輻射分量實質上表示已由該等週期性結構以一階而繞射之輻射，該繞射光譜之該等未觀測到部分包括高於一階之階。
8. 如請求項1或2之方法，其中選擇度量配方參數及設計參數之該等值，以便使該第一輻射分量與該第二輻射分量之間的該相對相位接近於 $\pi/2$ 或 $3\pi/2$ 弧度而非接近於0或 π 。
9. 如請求項8之方法，其中該照明輻射之一波長為該等度量配方參數中之一者，且經調整以使該第一輻射分量與該第二輻射分量之間的該相對相位具有一所要值。
10. 如請求項1或2之方法，其中該相對相位之該所要值為 $\pi/2$ 或 $3\pi/2$ 弧度。
11. 如請求項1或2之方法，其中選擇用於該等度量配方參數及該等設計參數之值之該步驟包含：
 - 基於該所演算相對振幅及/或相對相位來識別至少一候選設計及複數個候選配方，
 - 對於每一配方，在將經模擬程序變化應用於該目標之數學模型中的同時演算經模擬疊對量測，及
 - 基於該等經模擬疊對量測中之量測誤差來選擇設計及配方之一最終組合。
12. 如請求項1或2之方法，其進一步包含形成用於一微影程序中之

一對圖案化器件，該等圖案化器件界定當順序地施加至一基板時將產生產品特徵及度量目標之圖案，該等度量目標具有根據藉由一如請求項1至11中任一項之方法所選擇之該等設計參數值而設計的週期性結構。

13. 一種具備藉由一微影程序而形成之複數個度量目標之基板，每一目標至少包含形成於該基板上之一下部層中之一第一週期性結構及在一上部層中形成於該第一週期性結構上方之一第二週期性結構，使得可藉由運用輻射來照明每一目標且觀測一所得繞射光譜之某些部分中之不對稱性而量測該第一週期性結構與該第二週期性結構之間的對準，其中該第二週期性結構為一經修改光柵，其被形成為相對於該繞射光譜之該等部分具有一縮減之繞射效率，使得對於一某一波長之輻射，由該第二週期性結構繞射之一輻射分量之一振幅經弱化為具有與由該第一週期性結構繞射之一輻射分量之一振幅之階(order)相同的階，由該第一週期性結構繞射之該輻射分量之該振幅已藉由行進通過該第二層之材料及一或多個介入層而弱化。
14. 如請求項13之基板，其中該第一輻射分量及該第二輻射分量實質上表示已由該等週期性結構以一階而繞射之輻射。
15. 如請求項13或14之基板，其中該第二輻射分量之該振幅不大於該第一輻射分量之該振幅的十倍。
16. 如請求項13或14之基板，其中該第二輻射分量之該振幅不大於該第一輻射分量之該振幅的五倍。
17. 如請求項13或14之基板，其中該第二輻射分量之該振幅不大於該第一輻射分量之該振幅的兩倍。
18. 如請求項13或14之基板，其中該第二週期性結構在每一週期內包含初級特徵及次級特徵，該等次級特徵經設計成使該照明輻

射之一比例轉向至該繞射光譜之其他部分中。

19. 如請求項13或14之基板，其中該複數個目標包括至少第一對目標，該第一對目標在該第一週期性結構與該第二週期性結構之間具有不同已知位置偏移。
20. 一種用於一微影程序中之一對圖案化器件，該等圖案化器件界定當順序地施加至一基板時將產生一如請求項13至19中任一項之基板之圖案。
21. 一種量測一微影程序之一效能參數之方法，該方法包含如下步驟：
 - (a) 藉由一如請求項1至11中任一項之方法來設計一度量目標及度量配方；
 - (b) 根據步驟(a)中所產生之該設計而執行該微影程序以在一基板上產生形成複數個度量目標之結構；
 - (c) 根據該配方而使用一檢測裝置以藉由觀測繞射輻射來量測該等目標中之兩者或兩者以上中之不對稱性；及
 - (d) 使用步驟(c)中所進行之該等不對稱性量測之結果來演算作為該微影程序之一效能參數的一疊對量測。
22. 一種包含機器可讀指令之電腦程式產品，該等機器可讀指令用於使一處理器執行一如請求項1至11中任一項之設計方法。
23. 一種製造器件之方法，其中使用一微影程序將一產品圖案序列施加至一系列基板，該方法包括：使用一如請求項21之方法而在該等基板中之至少一者上形成及檢測作為該等產品圖案之部分或除了該等產品圖案以外的複數個度量目標；及根據該所演算效能參數而針對後續基板來控制該微影程序。

圖式

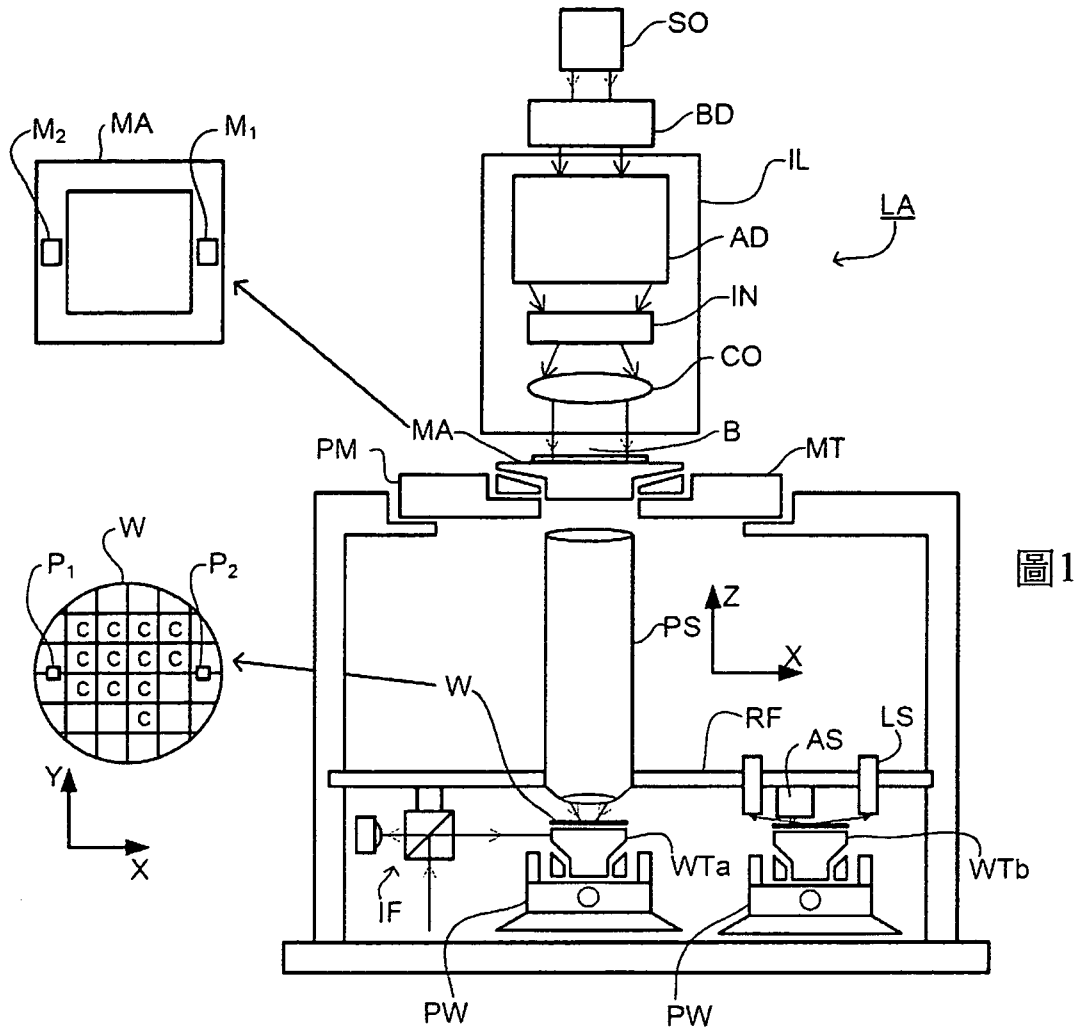


圖1

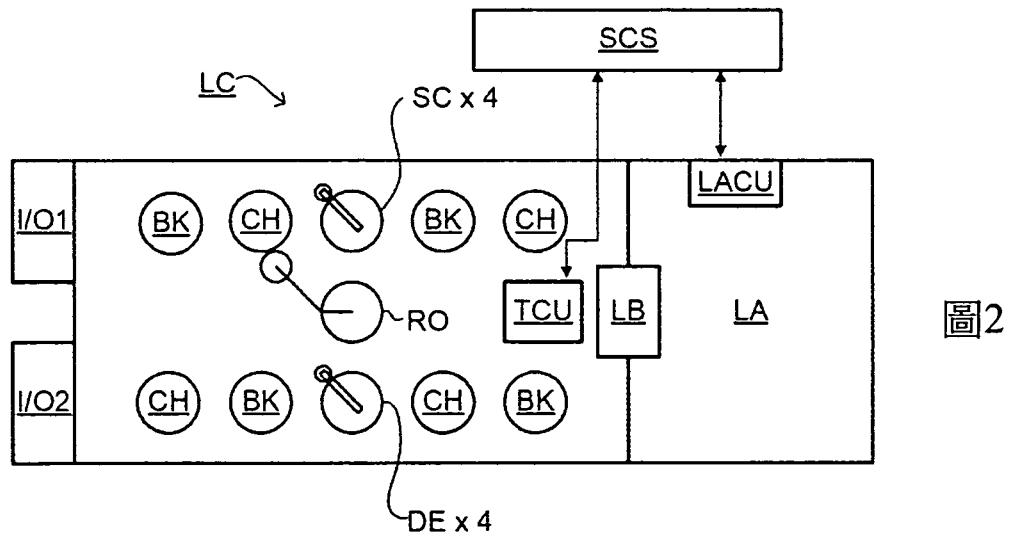


圖2

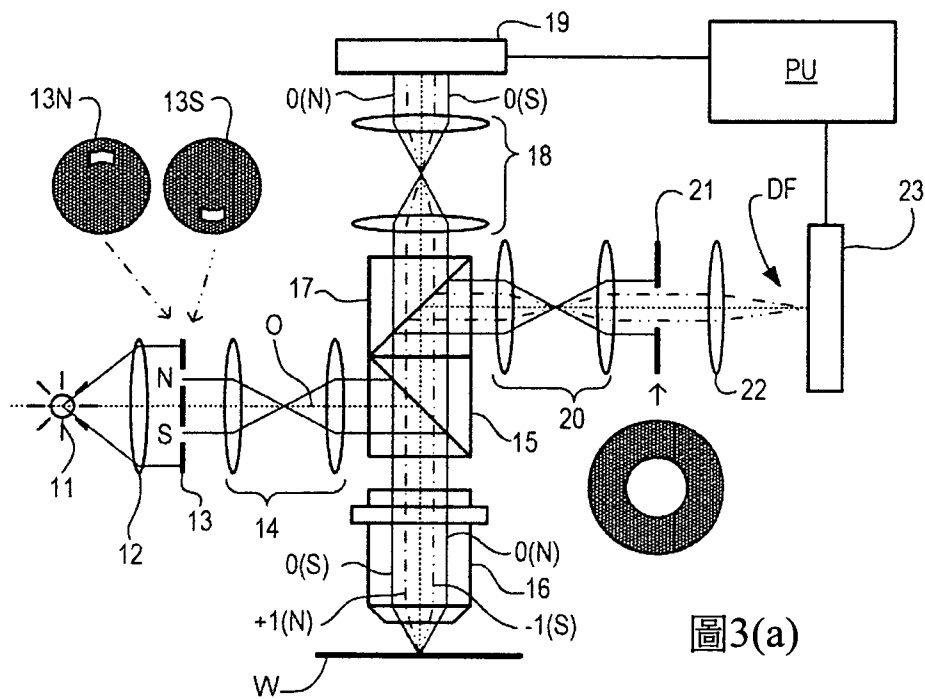


圖3(a)

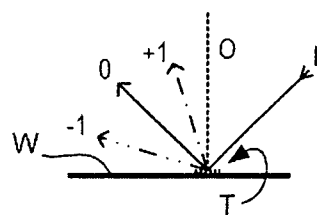


圖3(b)

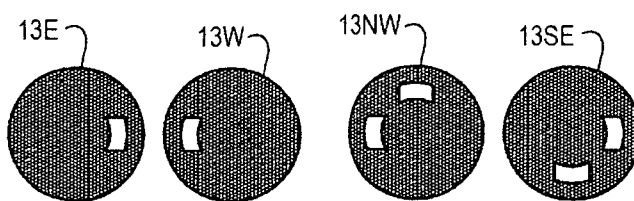


圖3(c)

圖3(d)

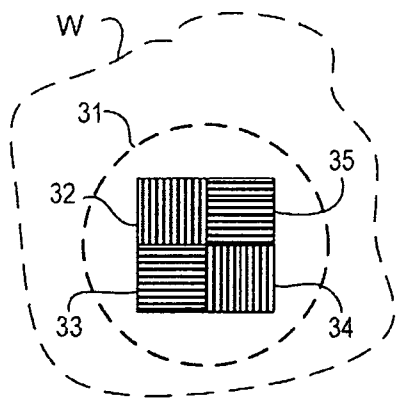


圖4

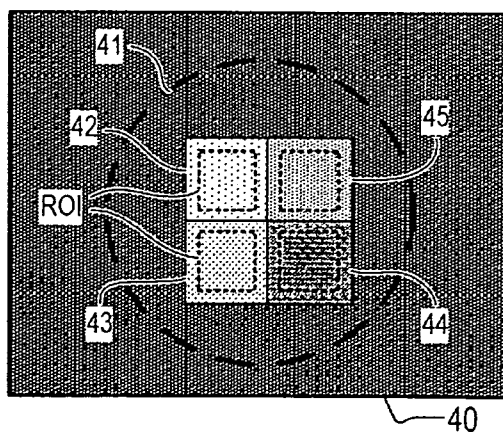


圖5

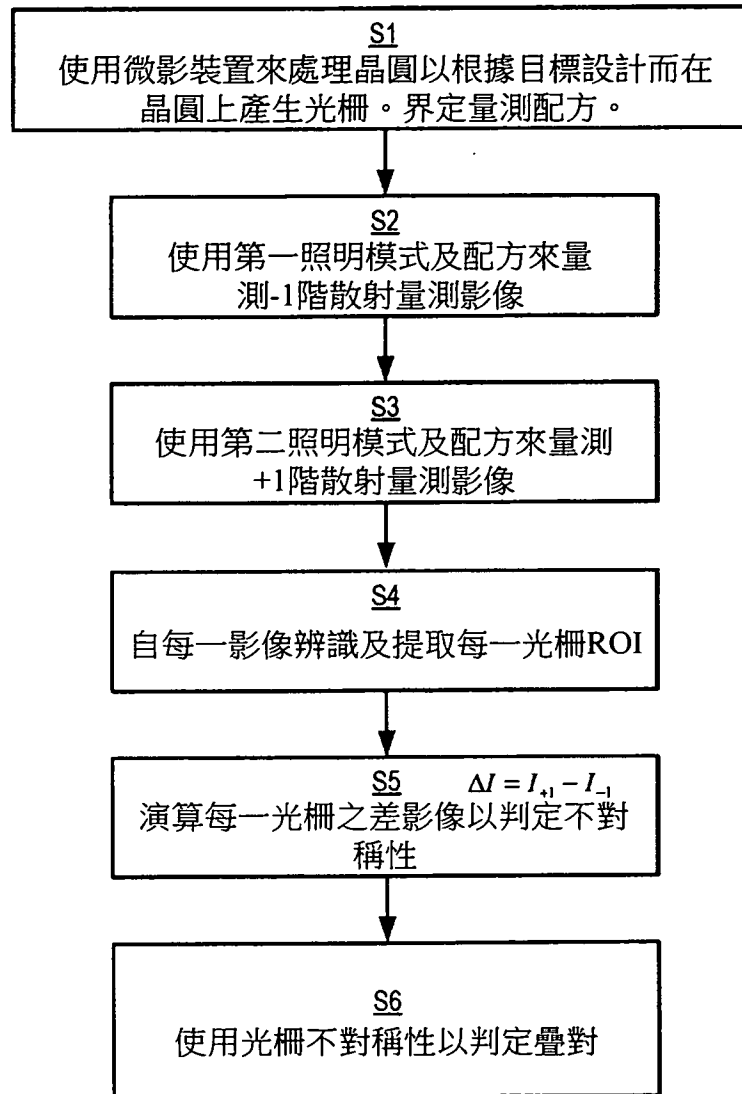


圖6

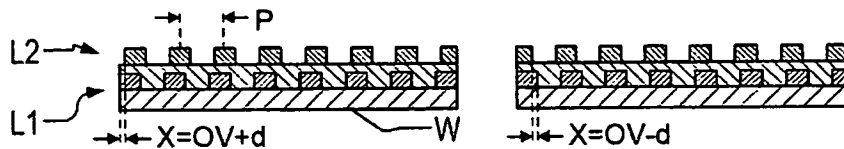


圖7

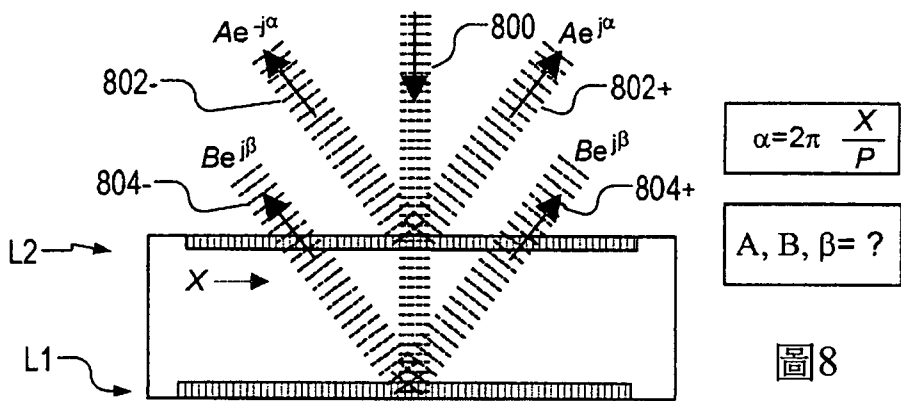


圖8

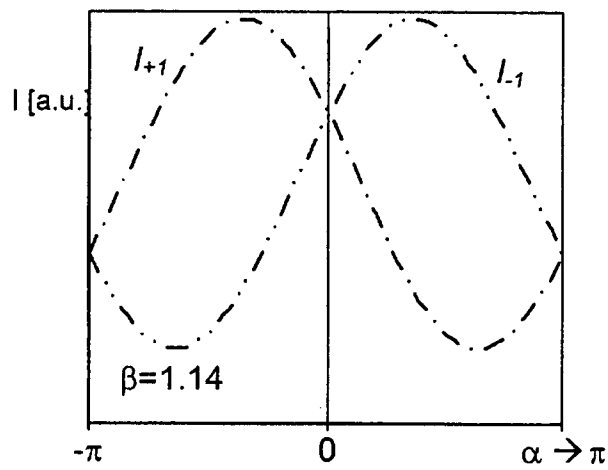


圖9

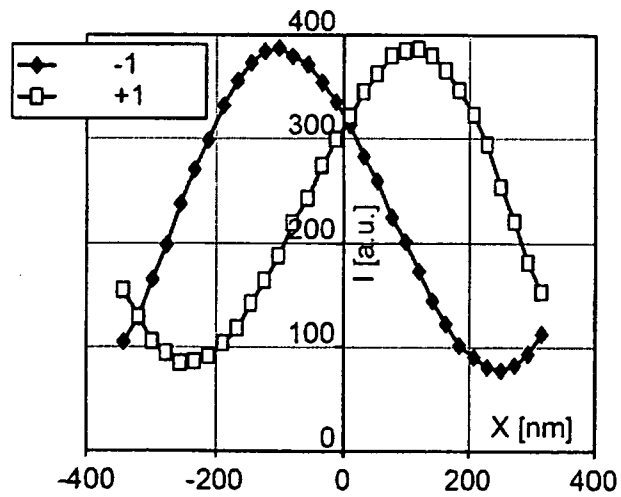


圖10

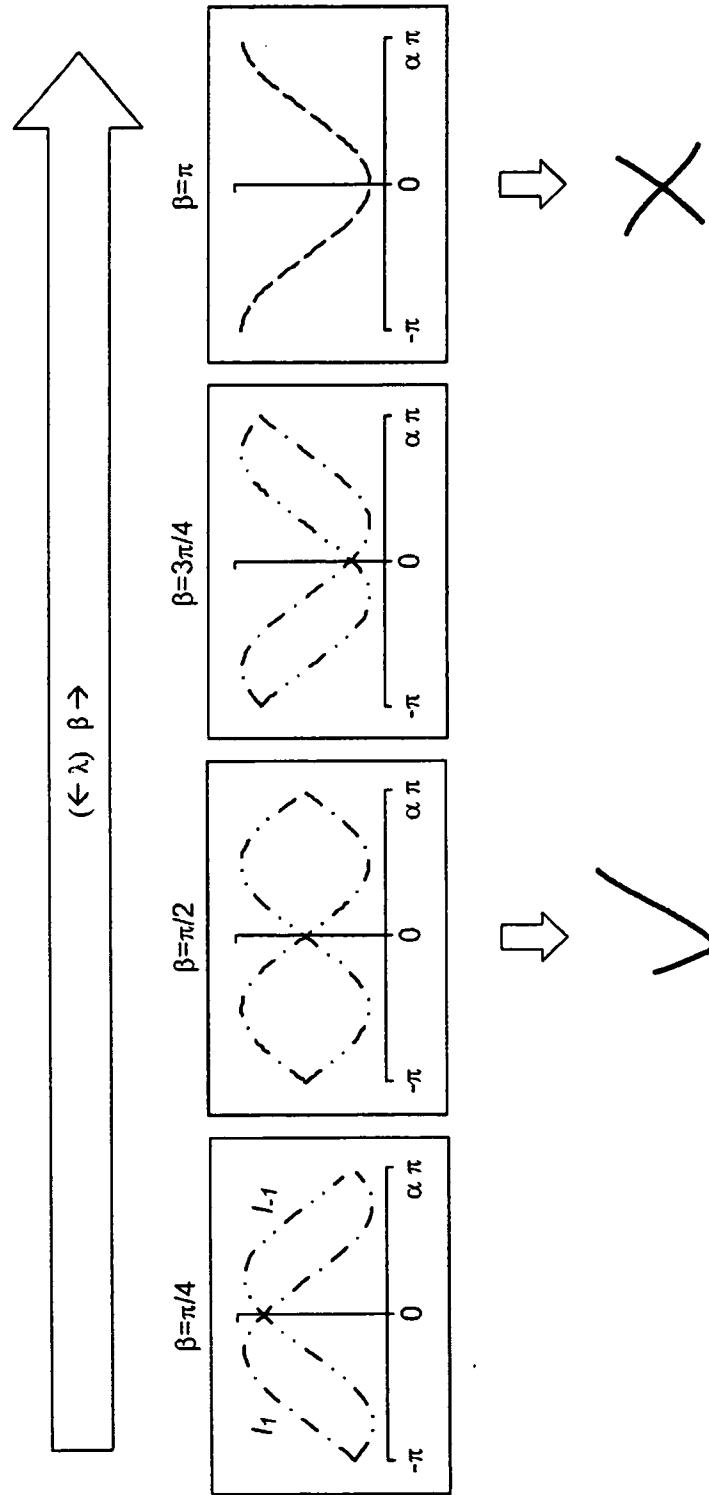


圖11

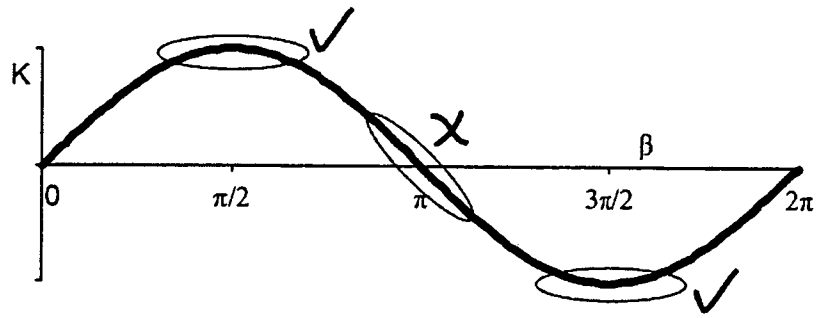


圖12

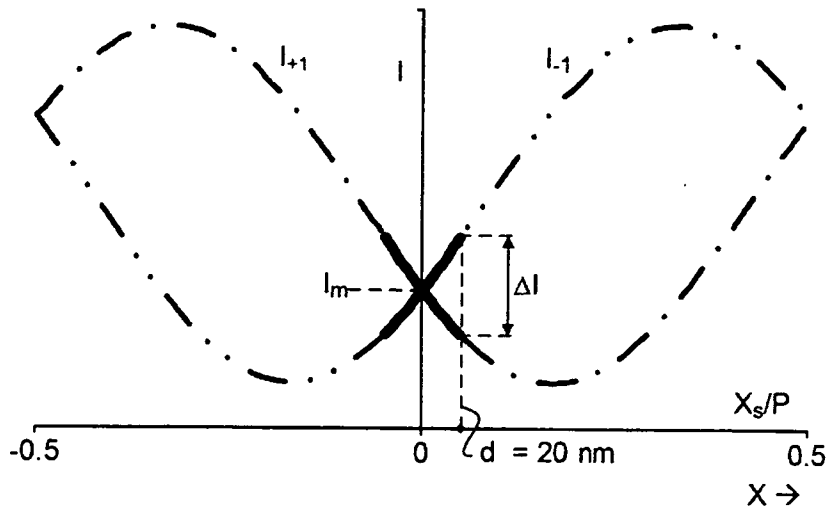


圖13

圖14(b)

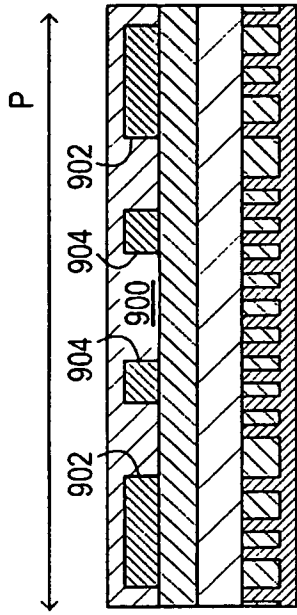


圖14(a)

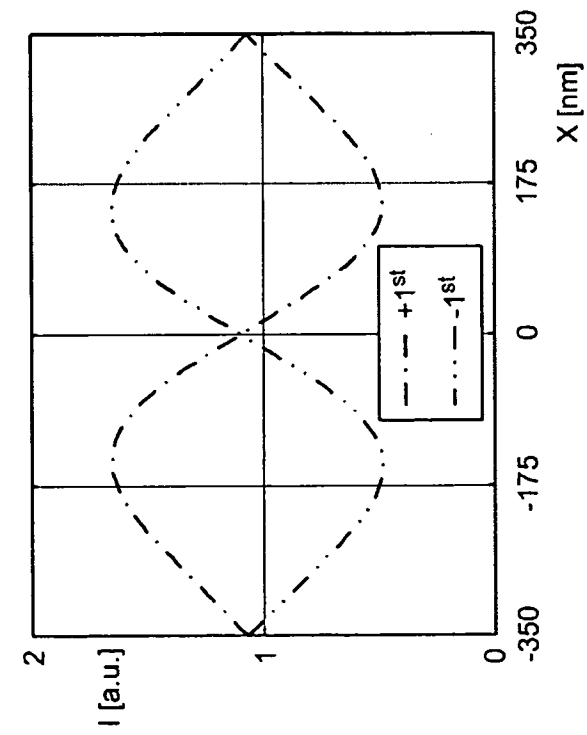
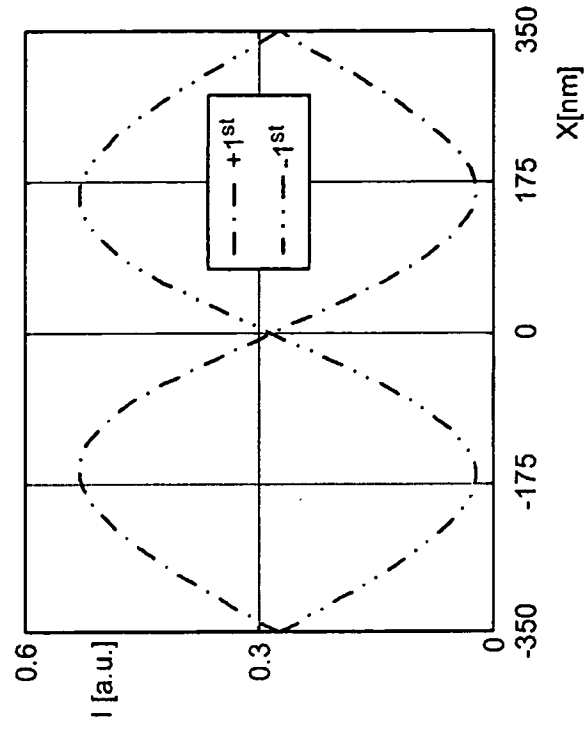
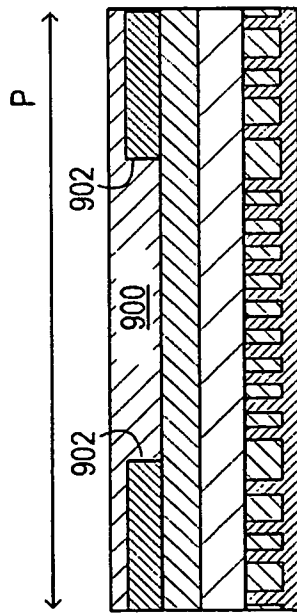


圖14(d)

圖14(c)

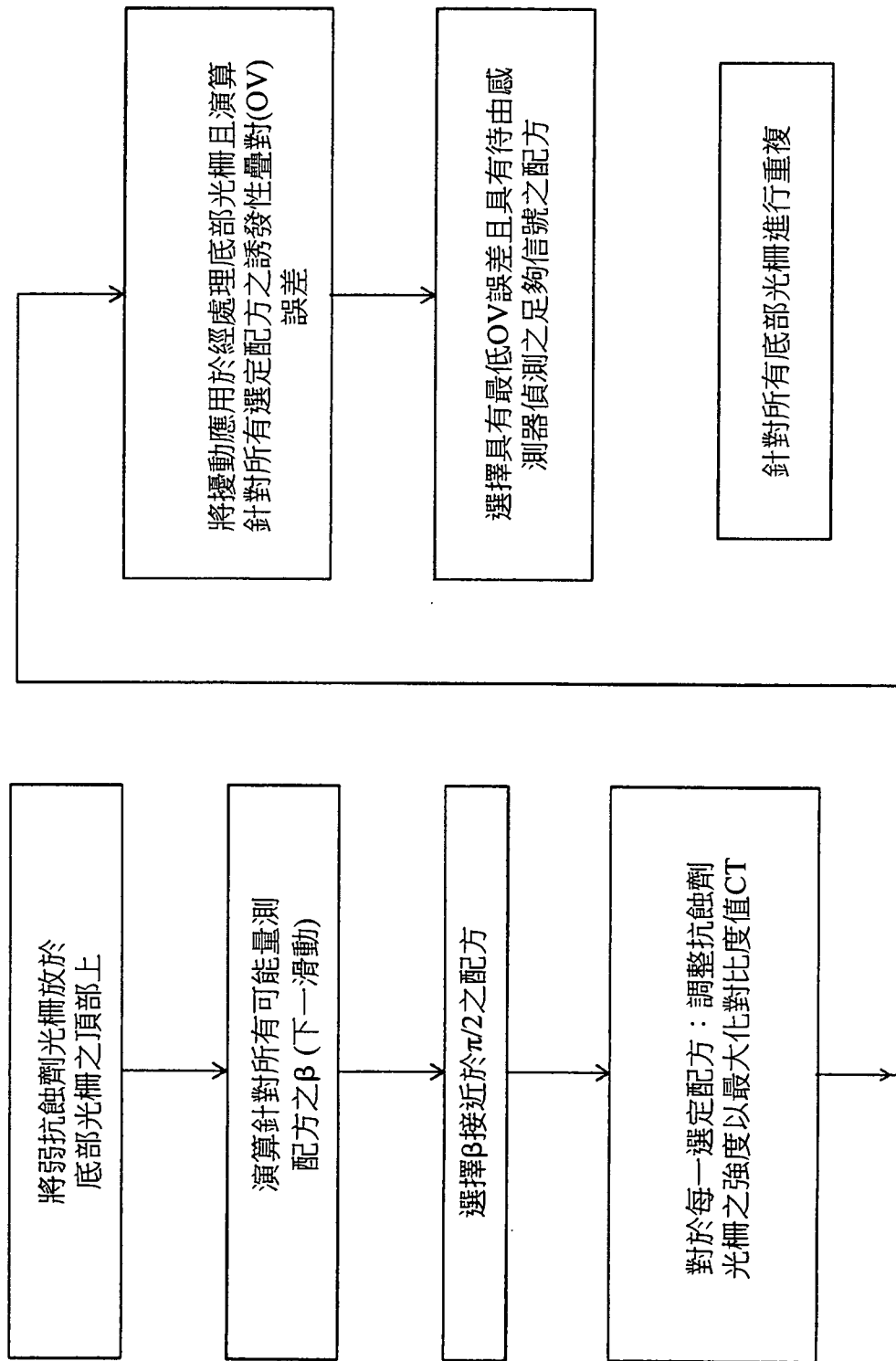


圖15

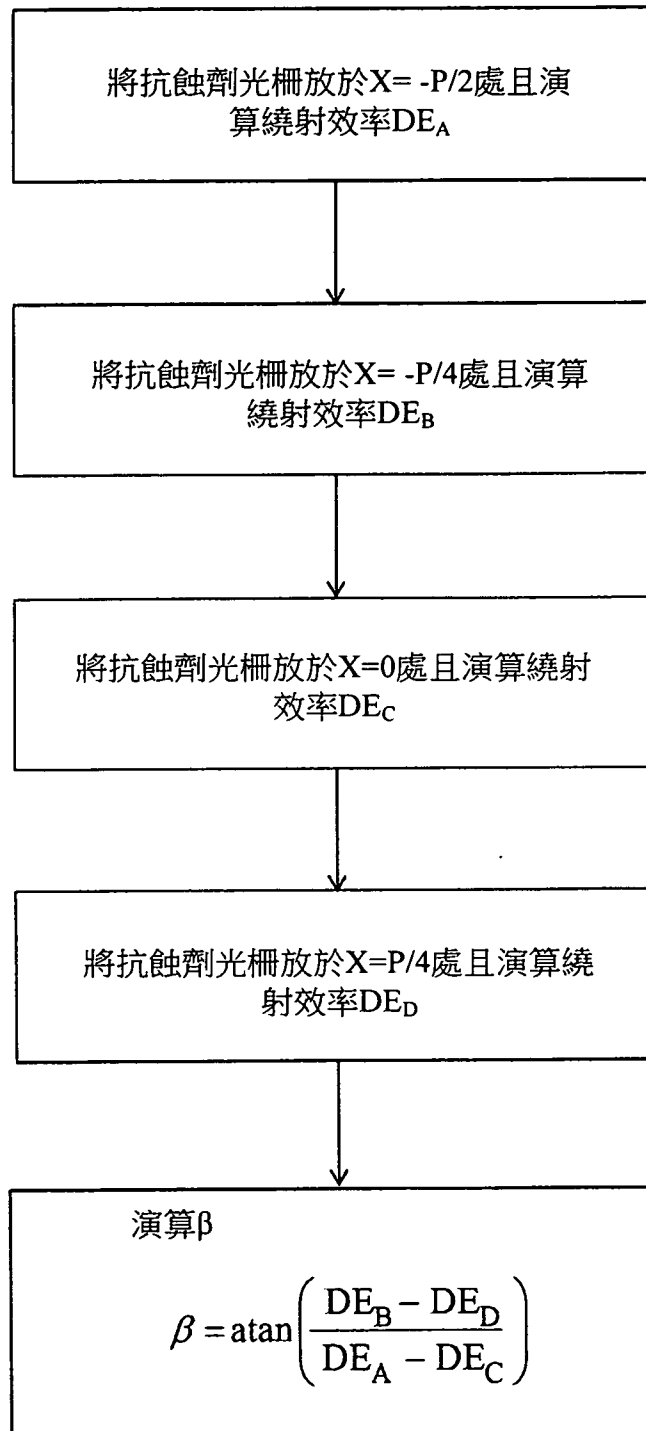


圖16

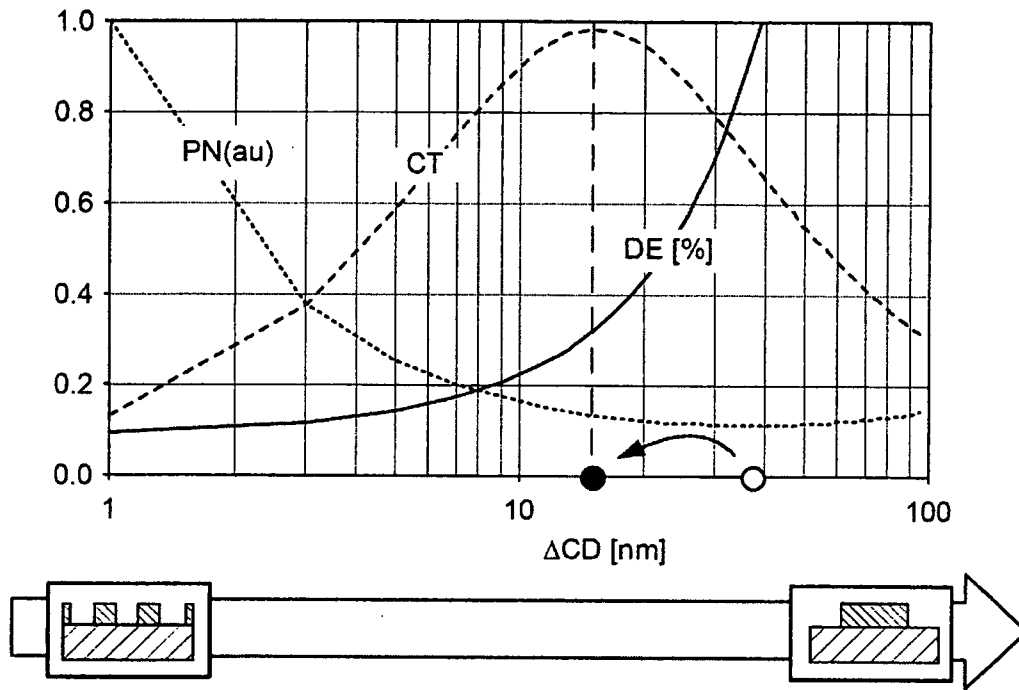


圖 17

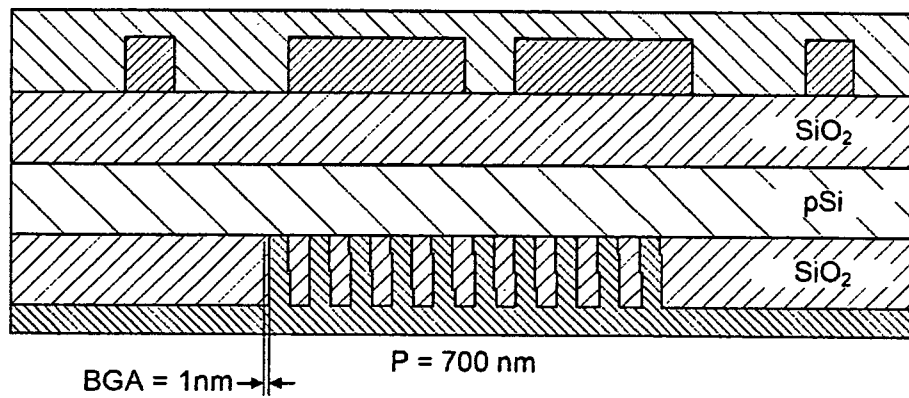


圖 18

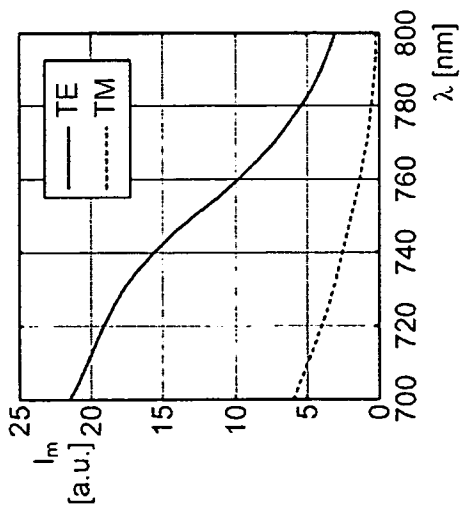


圖19(a)

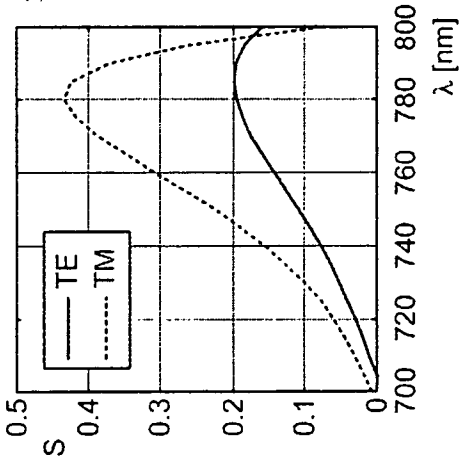


圖19(c)

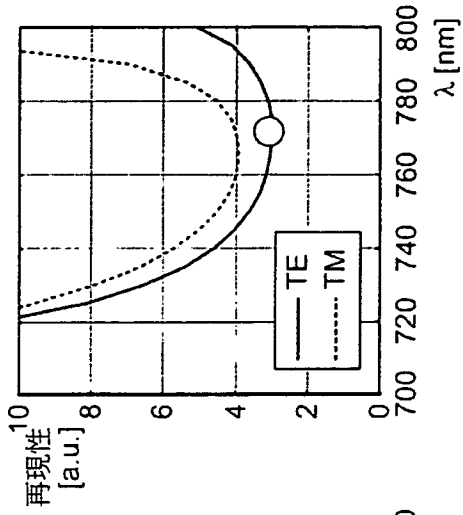


圖19(e)

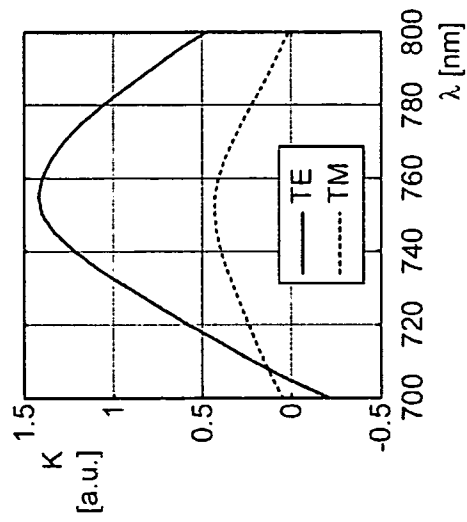


圖19(b)

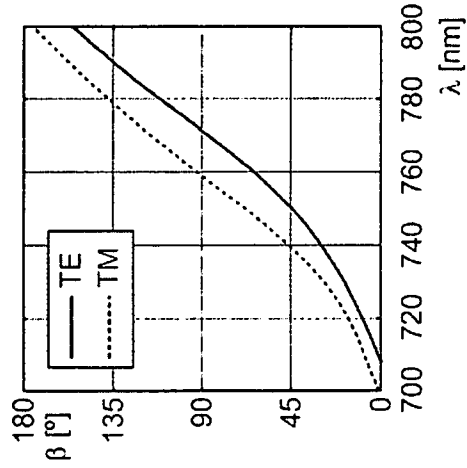


圖19(d)

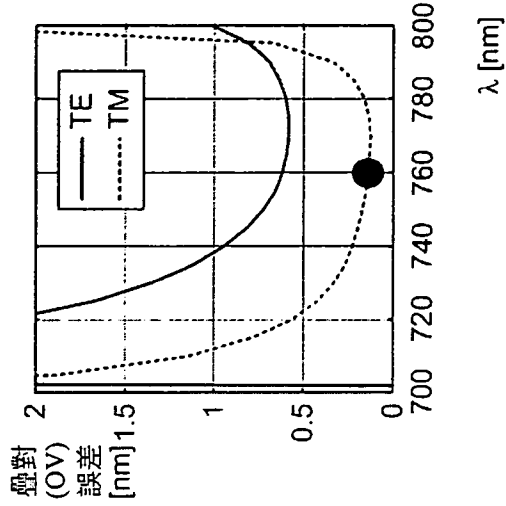


圖19(f)

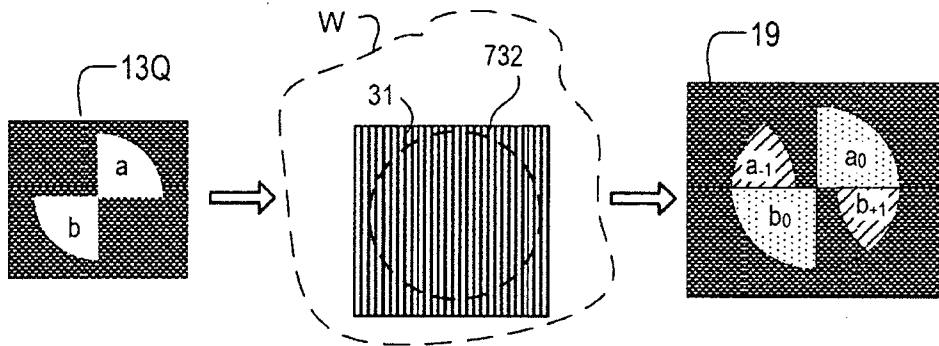


圖20

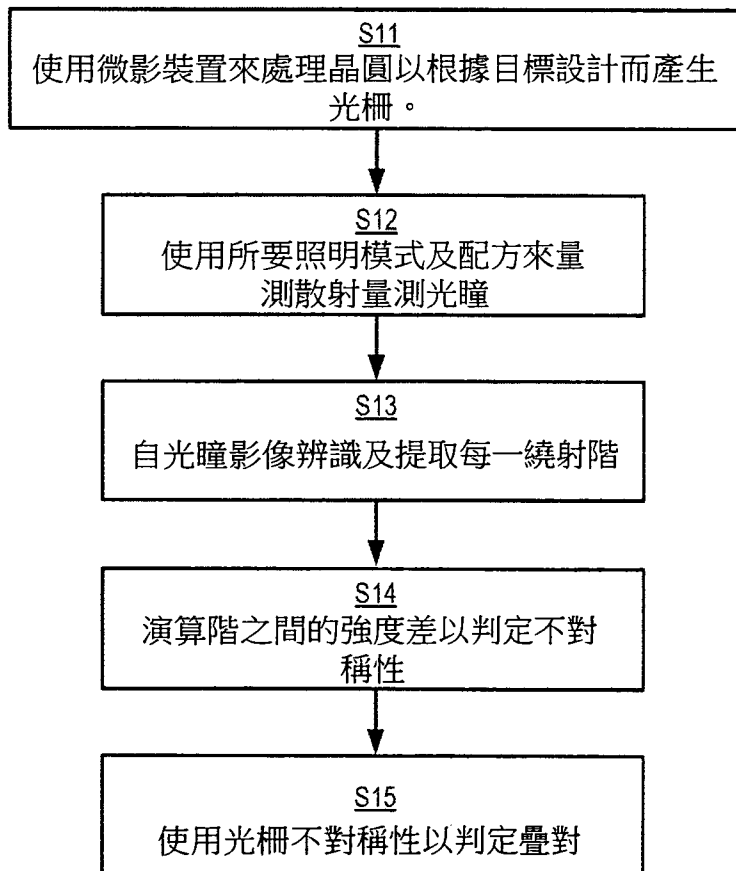


圖21