



(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 I755987 B

(45)公告日：中華民國 111 (2022) 年 02 月 21 日

(21)申請案號：109145524

(22)申請日：中華民國 105 (2016) 年 05 月 19 日

(51)Int. Cl. : G03F7/20 (2006.01)

(30)優先權：2015/05/19 美國 62/163,783

2015/09/23 美國 62/222,724

(71)申請人：美商克萊譚克公司 (美國) KLA-TENCOR CORPORATION (US)

美國

(72)發明人：朗維司基 維拉得摩 LEVINSKI, VLADIMIR (IL)；帕斯卡維爾 尤瑞 PASKOVER, YURI (IL)；馬那森 阿農 MANASSEN, AMNON (IL)；夏里波 尤尼 SHALIBO, YONI (IL)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW 201447622A US 2004/0235205A1

US 2007/0134563A1 US 2013/0094077A1

US 2014/0111791A1

審查人員：李科

申請專利範圍項數：6 項 圖式數：10 共 57 頁

(54)名稱

具有用於疊對測量之形貌相位控制之光學系統

(57)摘要

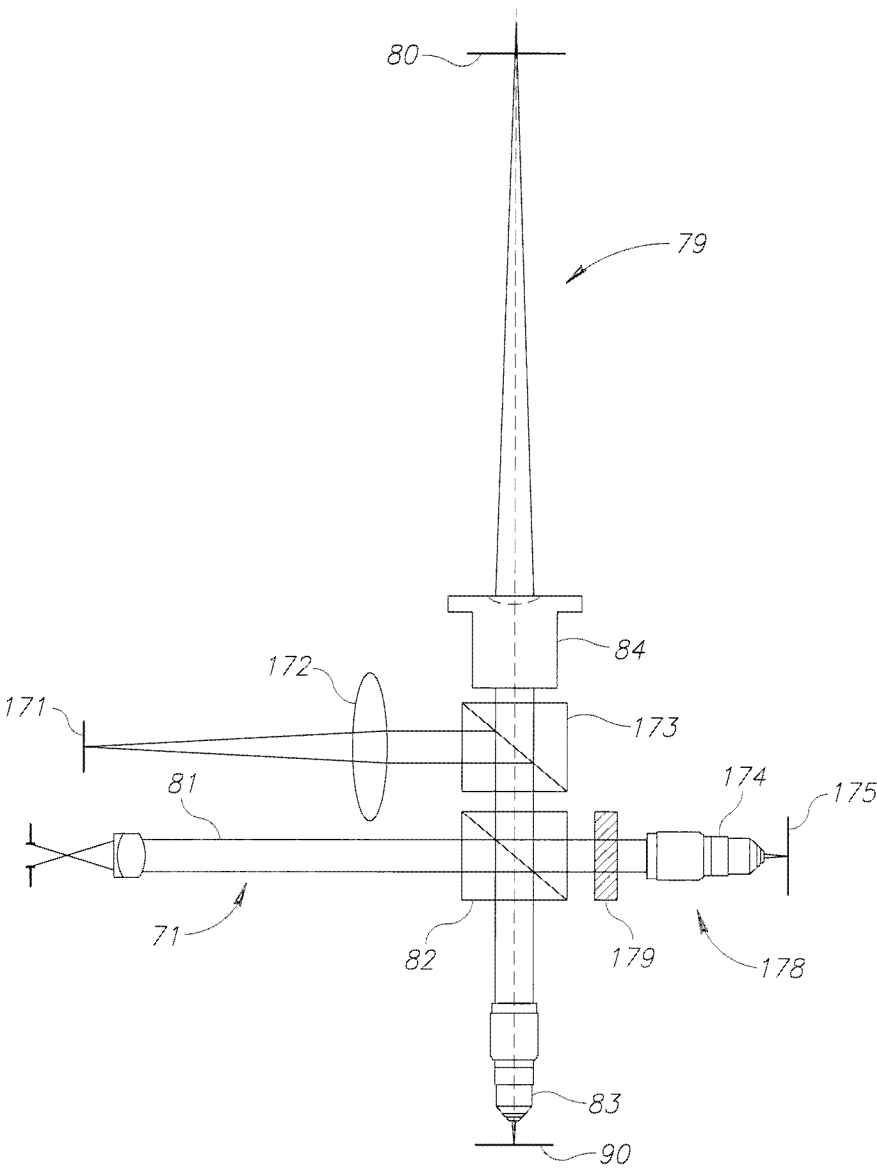
提供度量工具及方法，其等估計對應於自週期性目標上之光散射產生之不同繞射階之形貌相位之效應，及調整測量條件以改良測量準確度。在成像中，可藉由基於對比函數行為之分析選擇適當測量條件、改變照明條件(減小光譜寬度及照明 NA)、使用偏光目標及/或光學系統、使用多個散焦位置等而減小疊對誤差放大。可使用額外測量或額外目標單元在成像或散射測量中執行測量結果之即時校準。

Metrology tools and methods are provided, which estimate the effect of topographic phases corresponding to different diffraction orders, which result from light scattering on periodic targets, and adjust the measurement conditions to improve measurement accuracy. In imaging, overlay error magnification may be reduced by choosing appropriate measurement conditions based on analysis of contrast function behavior, changing illumination conditions (reducing spectrum width and illumination NA), using polarizing targets and/or optical systems, using multiple defocusing positions etc. On-the-fly calibration of measurement results may be carried out in imaging or scatterometry using additional measurements or additional target cells.

指定代表圖：

符號簡單說明：

- 71:照明路徑
- 79:收集路徑
- 80:偵測器
- 81:照明光
- 82:光學件/光學分離器
- 83:物鏡
- 84:光學件
- 90:成像目標
- 170:光學系統
- 171:照明源
- 172:光學件/聚焦透鏡
- 173:光學件/光束分離器
- 174:參考物鏡
- 175:可調整鏡
- 178:可調整參考路徑
- 179:衰減器



【圖6】



公告本

I755987

【發明摘要】

【中文發明名稱】

具有用於疊對測量之形貌相位控制之光學系統

【英文發明名稱】

OPTICAL SYSTEMS HAVING TOPOGRAPHIC PHASE

CONTROL FOR OVERLAY MEASUREMENT

【中文】

提供度量工具及方法，其等估計對應於自週期性目標上之光散射產生之不同繞射階之形貌相位之效應，及調整測量條件以改良測量準確度。在成像中，可藉由基於對比函數行為之分析選擇適當測量條件、改變照明條件(減小光譜寬度及照明NA)、使用偏光目標及/或光學系統、使用多個散焦位置等而減小疊對誤差放大。可使用額外測量或額外目標單元在成像或散射測量中執行測量結果之即時校準。

【英文】

Metrology tools and methods are provided, which estimate the effect of topographic phases corresponding to different diffraction orders, which result from light scattering on periodic targets, and adjust the measurement conditions to improve measurement accuracy. In imaging, overlay error magnification may be reduced by choosing appropriate measurement conditions based on analysis of contrast function behavior, changing illumination conditions (reducing spectrum width and illumination NA), using polarizing targets and/or optical systems, using multiple defocusing positions etc. On-the-fly calibration of measurement

results may be carried out in imaging or scatterometry using additional measurements or additional target cells.

【指定代表圖】

圖6

【代表圖之符號簡單說明】

71:照明路徑

79:收集路徑

80:偵測器

81:照明光

82:光學件/光學分離器

83:物鏡

84:光學件

90:成像目標

170:光學系統

171:照明源

172:光學件/聚焦透鏡

173:光學件/光束分離器

174:參考物鏡

175:可調整鏡

178:可調整參考路徑

179:衰減器

【發明說明書】

【中文發明名稱】

具有用於疊對測量之形貌相位控制之光學系統

【英文發明名稱】

OPTICAL SYSTEMS HAVING TOPOGRAPHIC PHASE
CONTROL FOR OVERLAY MEASUREMENT

【技術領域】

本發明係關於度量領域，且更特定言之，係關於疊對度量。

【先前技術】

用於光學疊對測量之當前方法依賴於兩種主要技術：成像及散射測量。在成像中，在光學系統之視域中測量週期性目標之位置且從在不同層中印刷之目標之位置推斷疊對(OVL)。散射測量利用藉由印刷於不同層處之週期性疊對標記(具有週期性結構之目標)散射之電磁(EM)波之間的干擾以推斷該等層之相對位移。在兩種情況中，對散射EM波之繞射階之振幅及相位之一控制可提供對疊對測量之準確度及精確度之一關鍵影響。

【發明內容】

下文係提供對本發明之一初步理解之一簡化概述。該概述未必識別關鍵元素，亦不限制本發明之範疇，而僅充當下列描述之一介紹。

本發明之一項態樣提供度量工具及方法，其等估計對應於自週期性目標上之光散射產生之不同繞射階之形貌相位之效應，及調整測量條件以改良測量準確度。在成像中，可藉由基於對比函數行為之分析選擇適當測量條件、改變照明條件(減小光譜寬度及照明NA)、使用偏光目標及/或光學系統、使用多個散焦位置等而減小疊對誤差放大。可使用額外測量或額

外目標單元在成像或散射測量中執行測量結果之即時校準。

本發明之此等、額外及/或其他態樣及/或優點在下列實施方式中闡述；可能可自實施方式推導；及/或可藉由本發明之實踐而學習。

【圖式簡單說明】

為更佳理解本發明之實施例且展示可如何實行該等實施例，現將純粹藉由實例參考隨附圖式，其中貫穿全文相同數字指定對應元件或區段。

在隨附圖式中：

圖1係根據本發明之一些實施例之典型基於成像疊對(IFO)度量中之繞射階之一高階示意圖。

圖2A係根據本發明之一些實施例之藉由作為具有不同中心之對稱矩形區域之一總和之一結構近似在右側上具有一小側壁角之一不對稱光柵之一高階示意圖。

圖2B及圖2C示意性繪示根據本發明之一些實施例之圖2A中之模型之例示性模擬結果，其等將疊對誤差與散焦相關聯。

圖2D示意性繪示根據本發明之一些實施例之使用一小照明數值孔徑之例示性模擬結果，其等將疊對誤差與對比函數相關聯。

圖3A至圖3C係根據本發明之一些實施例之一對應光學系統之高階示意圖。

圖4A至圖4C係根據本發明之一些實施例之用於同時測量多個焦點位置之光學系統之高階示意圖。

圖5A係根據本發明之一些實施例之偏光控制目標之一高階示意圖。

圖5B係根據本發明之一些實施例之一光學系統之一高階示意圖。

圖6係根據本發明之一些實施例之一光學系統之一高階示意圖。

圖7係根據本發明之一些實施例之作為形貌相位控制之準則之對比函數之一高階示意圖。

圖8係根據本發明之一些實施例之典型基於繞射疊對(DBO)度量中之繞射階之一高階示意圖。

圖9係根據本發明之一些實施例之藉由一度量工具測量之具有輔助單元之一SCOL目標之一高階示意圖。

圖10係繪示根據本發明之一些實施例之用於一光學系統之一方法之一高階流程圖。

【實施方式】

相關申請案之交叉參考

本申請案主張2015年5月19日申請之美國臨時專利申請案第62/163,783號及2015年9月23日申請之美國臨時專利申請案第62/222,724號之權利，該等申請案之全文以引用之方式併入本文中。

在下列描述中，描述本發明之各種態樣。為解釋之目的，闡述特定組態及細節以便提供對本發明之一透徹理解。然而，熟習此項技術者亦將明白，可在無本文呈現之特定細節的情況下實踐本發明。此外，可能已省略或簡化眾所周知的特徵以不致使本發明模糊。具體參考圖式，強調所展示之細節僅係藉由實例且僅為本發明之闡釋性討論之目的，且係為提供據信為本發明之原理及概念性態樣之最有用且容易理解之描述之目的而呈現。就此而言，未嘗試比基本理解本發明所需更詳細地展示本發明之結構細節，結合圖式進行之描述使熟習此項技術者瞭解本發明之若干形式可如何在實踐中體現。

在詳細解釋本發明之至少一項實施例前，應理解本發明在其應用方

面並不限制於在下列描述中闡述或在圖式中繪示之構造細節及組件配置。本發明可應用於可以各種方式實踐或執行之其他實施例以及所揭示之實施例之組合。同樣地，應理解在本文採用之短語及術語係為描述之目的且不應被視為限制性的。

除非另外具體指出，否則如從以下討論將明白，應瞭解，貫穿說明書討論，利用諸如「處理」、「運算」、「計算」、「判定」、「增強」或類似術語之術語係指一電腦或運算系統或類似電子運算器件之行動及/或程序，其將表示為該運算系統之暫存器及/或記憶體內之物理(諸如電子)量之資料操縱及/或轉換為類似地表示為該運算系統之記憶體、暫存器或其他此等資訊儲存、傳輸或顯示器件內之物理量之其他資料。

提供度量工具及方法，其等估計對應於自週期性目標上之光散射產生之不同繞射階之形貌相位之效應，及調整測量條件以改良測量準確度。在成像中，可藉由以下方式減小疊對誤差放大：基於對比函數行為之分析選擇適當測量條件、改變照明條件(減小光譜寬度及照明NA)、使用偏光目標及/或光學系統、使用多個散焦位置等。可使用額外測量或額外目標單元在成像或散射測量中執行測量結果之即時校準。

本發明之實施例提供用於依更佳準確度執行成像及/或散射測量度量測量之高效率且經濟之方法及機構。在具有大於數百奈米之典型尺度(節距)之經特殊設計之「代理」度量目標上執行度量疊對(OVL)測量。器件設計規則節距未藉由成像且散射測量疊對光學工具解析，且器件節距(< 90 nm)與度量目標節距之間間隙隨時間增加。由於依據器件尺度最佳化微影處理步驟，故該等度量目標並非完全係程序相容的，此導致所有類型之目標不對稱性出現在OVL目標中。在大多數情況中，幾何不對稱性(如

目標邊緣之側壁角(SWA)中之不對稱性)不大(約1 nm)且導致OVL之界定中在容許公差內之一些模糊性。然而，在不成功的測量條件下之成像及散射測量OVL方法兩者可將目標不對稱性之效應放大達導致OVL測量中之顯著誤差之數量級。視為用於改良OVL測量之準確度之方法包括：(i)在無需任何充分之測量工具修改的情況下，尋求最佳測量條件之一配方最佳化；(ii)提供一工具修改，其容許在排除目標不對稱效應之任何放大外之條件下之OVL測量；(iii)使用一雙光束成像方案，其解決目標不對稱性放大之問題，但需要在收集光瞳平面中使用一阻擋器；及(iv)在下文中討論之特殊照明條件下執行測量。

控制基於繞射疊對(DBO)及基於成像疊對(BO)兩者之光學疊對度量之敏感度及準確度兩者之主要參數係干擾產生測量信號之EM場之間的相位差。圖8及圖1分別係根據本發明之一些實施例之典型DBO及BO度量中之繞射階之高階示意圖。DBO中之形貌相位(圖8，在下文中討論)經定義為藉由一SCOL目標90A之上光柵及下光柵(分別為91B (U)及91A (L))繞射至相同繞射階(-1、+1)之電磁(EM)場之間的平均相位差。在BO情況(圖1)中，控制測量品質之形貌相位係從一成像目標90繞射之零階與對稱(例如，第±1階)繞射階(DO)之間的平均相位。

兩種技術遭受與對目標之不對稱性之敏感度類似的不準確度機制。主要由於大節距疊對目標對針對較小節距器件之生產最佳化之程序之不相容性造成之此等不對稱性表現為繞射階之相位及振幅兩者之不平衡。相位不平衡無法與光柵位移(疊對)區分，但相位不平衡之效應受限於簡單的幾何模糊性。然而，振幅不平衡之效應可經極度放大，且僅藉由構成信號之場之干擾控制。目標不對稱性放大之機制在WIPO專利公開案第

PCT/US15/62523號中詳細描述，該案之全部內容以引用之方式併入本文及下文中。在兩種技術中，當形貌相位表現造成成像OVL之一顯著信號對比減小或散射測量OVL之差分信號減小時，目標不對稱性之效應增大。因此，形貌相位表現之控制可在改良OVL測量之準確度中起關鍵作用。在下文中，針對形貌相位控制揭示若干可能性，包含修改測量硬體及專用目標設計，以及用於建立改良OVL測量準確度所需之最佳測量條件之各種方法。

舉例而言，在IBO情況(圖1)中，針對具有小NA (數值孔徑， $NA < 0.2$)照明條件(表示為I之照明射線)之一成像工具提供零繞射階與第一繞射階之間的相位差對OVL測量之準確度之效應之一估計。在圖1中展示光瞳中之繞射階之位置，其中 θ_0 表示照明角度且 θ_1 表示藉由具有一週期P之一週期性結構(成像目標90)上之散射提供之第一繞射階之角度，兩個角度皆相對於目標平面之一法線。 θ_1 及 θ_0 在方程式1中相關，其中 λ 表示照明波長。

$$\sin \theta_1 = -\sin \theta_0 + \frac{\lambda}{P} \Rightarrow \sin \theta_1 \cong -\theta_0 + \frac{\lambda}{P}; \cos \theta_1 = \sqrt{1 - (-\theta_0 + \frac{\lambda}{P})^2} \cong \sqrt{1 - (\frac{\lambda}{P})^2} + \frac{\theta_0 \frac{\lambda}{P}}{\sqrt{1 - (\frac{\lambda}{P})^2}}$$

方程式1

將第一繞射階及零繞射階之間的形貌相位差表示為 Ψ ，方程式2定義補償形貌相位 Ψ 所需之對應散焦 ΔF 及在光瞳中之對應形貌相位展開(phase spread)(針對 $\lambda/P=1/2$ 且 $\Psi \sim \pi/2$ 之情況(最壞情況)估計)。

$$\frac{2\pi}{\lambda} \Delta F \cdot \left(1 - \sqrt{1 - (\frac{\lambda}{P})^2}\right) = \Psi \Rightarrow \Delta F = \frac{\lambda \Psi}{2\pi \left(1 - \sqrt{1 - (\frac{\lambda}{P})^2}\right)} \quad \text{方程式2}$$

$$\frac{2\pi}{\lambda} \Delta F \frac{\theta_0 \frac{\lambda}{P}}{\sqrt{1 - (\frac{\lambda}{P})^2}} = \frac{\theta_0 \frac{\lambda}{P} \Psi}{\left(1 - \sqrt{1 - (\frac{\lambda}{P})^2}\right) \cdot \sqrt{1 - (\frac{\lambda}{P})^2}} \cong \frac{2\theta_0 \Psi}{(1 - \frac{\sqrt{3}}{2})\sqrt{3}} \sim 4\pi \cdot NA$$

甚至對於小照明 $NA \sim 0.2$ ， $\sim \pi$ 之大形貌相位展開意謂，當照明點之中心部分處於最佳對比位置中時，周邊照明點在零對比位置周圍，此導致目標不對稱性對OVL測量之準確度之效應的大幅放大且無法控制散射光之形貌相位可造成不準確的OVL測量。此效應隨著較大照明NA而顯著增大。

有利地，所揭示系統及方法克服標準成像工具及散射測量工具之主要缺點，即，當使用不適當測量條件時存在之目標不對稱性效應之不可控制放大。

在下文中，詳細分析目標不對稱性對精確度預算的貢獻。對於影像平面中之電場之振幅之運算式可如在方程式4所寫，其中 f, g 係光瞳座標，其等與實際尺寸光瞳座標 ξ, η 相關為 $f = \frac{\xi}{R} \frac{NA}{\lambda}, g = \frac{\eta}{R} \frac{NA}{\lambda}$ ，其中 R 係透鏡半徑， $E(f, g)$ 係光瞳平面中之電場之振幅且 $e^{2\pi i(1-\cos\theta)\Delta z/\lambda}$ 描述散焦 Δz 對光瞳平面中之電場之振幅之效應。

$$E(x, y) = \iint_{\sqrt{f^2 + g^2} \leq \frac{NA}{\lambda}} E(f, g) \cdot e^{2\pi i(1-\cos\theta)\Delta z/\lambda} \cdot e^{-2\pi i(fx + gy)} df dg$$

方程式4

在最簡單、非限制性、光學組態中(其中藉由透鏡僅捕獲 ± 1 及0繞射階)，方程式4可簡化為方程式5，其中 P 表示X方向上之目標節距，其中 a_0 、 a_1 及 a_{-1} 係繞射階之複合振幅(取決於程序變動及目標不對稱性)， GP 表示光柵位置且 ΔF 表示散焦。

$$E(x) = a_0 e^{i \frac{2\pi \Delta F}{\lambda} [1 - \cos(\theta_0)]} + a_1 e^{i \frac{2\pi}{P} (x - GP) + i \frac{2\pi \Delta F}{\lambda} [1 - \cos(\theta_1)]} + a_{-1} e^{-i \frac{2\pi}{P} (x - GP) + i \frac{2\pi \Delta F}{\lambda} [1 - \cos(\theta_{-1})]}$$

方程式5

圖2A係根據本發明之一些實施例之藉由作為具有不同中心之對稱矩形區域94A之一總和之一結構94近似在右側上具有一小側壁角之一不對稱光柵92之一高階示意圖。不對稱光柵92之散射近似為來自結構94中之區域94A之散射之總和。

各繞射階之振幅係對應於來自不同矩形區域94A之散射之平面波之一總和。舉例而言，方程式6表示針對 ± 1 第一繞射階之振幅 $A^{(1)}$ 、 $A^{(-1)}$ ，其中 $A_0^{(1)}$ 表示無目標不對稱性之第一繞射階之振幅， $A_n^{(1)}$ 表示來自區域94A之振幅，及 $\delta_{\text{Re}}^{(1)} + i\delta_{\text{Im}}^{(1)}$ 表示目標不對稱性對第一繞射階之振幅之效應。 Δ_n 表示第n個區域相對於對應於無對稱性的光柵之標稱區域長度之延伸，及 ψ_n 表示第n個區域之形貌相位。

$$A^{(1)} = \sum_n A_n^{(1)} e^{i\psi_n + 2\pi i \frac{x + \Delta_n/2}{P}} \cong \sum_n A_n^{(1)} e^{i\psi_n + 2\pi i \frac{x}{P}} (1 + \pi i \frac{\Delta_n}{P}) = A_0^{(1)} e^{i\psi^{(1)} + 2\pi i \frac{x}{P}} (1 + \delta_{\text{Re}}^{(1)} + i\delta_{\text{Im}}^{(1)})$$

$$A^{(-1)} = A_0^{(-1)} e^{i\psi^{(-1)} - 2\pi i \frac{x}{P}} (1 - \delta_{\text{Re}}^{(-1)} - i\delta_{\text{Im}}^{(-1)}) \quad \text{方程式6}$$

在法線照明條件下，方程式7表達方程式5及6之簡化，其中 $\sin \theta_1 = \frac{\lambda}{P}$

及 $\Delta\psi = \psi^{(1)} - \psi^{(0)} - 2\pi(1 - \cos \theta_1)\Delta z / \lambda$ ，且假定 $A^{(1)} = A^{(-1)}$ ， $\psi^{(1)} = \psi^{(-1)}$ ， $\delta_{\text{Re}}^{(1)} = \delta_{\text{Re}}^{(-1)}$ ， $\delta_{\text{Im}}^{(1)} = \delta_{\text{Im}}^{(-1)}$ ，及對應場強度(近似於首階(為簡化而忽略第一繞射階振幅之平方))：

$$E(x) \sim A^{(0)} e^{i\psi^{(0)}} + A_0^{(1)} e^{i\psi^{(1)} - 2\pi i(1 - \cos \theta_1)\Delta z / \lambda} [(1 + \delta_{\text{Re}} + i\delta_{\text{Im}}) e^{2\pi i \frac{x}{P}} + (1 - \delta_{\text{Re}} - i\delta_{\text{Im}}) e^{-2\pi i \frac{x}{P}}] =$$

$$= A^{(0)} e^{i\psi^{(0)}} + 2A_0^{(1)} e^{i\psi^{(1)} - 2\pi i(1 - \cos \theta_1)\Delta z / \lambda} [\cos\left(2\pi \frac{x}{P}\right) + i \cdot (\delta_{\text{Re}} + i\delta_{\text{Im}}) \sin\left(2\pi \frac{x}{P}\right)] \sim$$

$$\sim A^{(0)} + 2A_0^{(1)} e^{i\Delta\psi} [\cos\left(2\pi \frac{x}{P} - \delta_{\text{Im}}\right) + i \cdot \delta_{\text{Re}} \sin\left(2\pi \frac{x}{P}\right)]$$

$$I(x) \cong \text{Constant} + 2A^{(0)} A_0^{(1)} \cos(\psi^{(1)} - \psi^{(0)} - 2\pi(1 - \cos \theta_1)\Delta z / \lambda) \cdot$$

$$\cos\left[\frac{2\pi}{P}x - \delta_{\text{Im}} - \delta_{\text{Re}} \cdot \tan(\psi^{(1)} - \psi^{(0)} - 2\pi(1 - \cos \theta_1)\Delta z / \lambda)\right]$$

方程式7

有關方程式7，歸因於目標不對稱性，在目標中心之位置中存在數量級 $\Theta\left(\frac{P}{2\pi}\{\delta_{\text{Re}}, \delta_{\text{Im}}\}\right)$ 之一自然模糊性。然而，錯誤的工具測量條件可將此目標幾何模糊性放大達 $\tan(\psi^{(1)} - \psi^{(0)} - 2\pi(1 - \cos\theta_1)\Delta z/\lambda)$ 倍。此倍數在最佳對比位置中幾乎為零，但在零對比位置中趨近無窮。此倍數之值可藉由測量焦點位置之一正確選擇而控制，然而，遇到下列問題：(i)各照明光瞳位置及各波長提供其等自身之形貌相位，且因此提供其等自身之最佳對比焦點位置。由於場影像係對應於不同照明點及波長之影像之一總和，故其可收集大幅放大目標不對稱性效應之影像。此第一問題幾乎無法藉由改變測量焦點位置而解決，此係因為針對相對大照明NA，對應於不同照明角度之最佳對比位置之展開可大至微米。由於經測量焦點位置與照明角之一部分之最佳對比位置之間的距離可大至半微米，故任何經選擇之測量焦點位置中存在目標準確度放大。(ii)最佳對比位置隨著程序變動而變動。若焦點獲取程序提供與最佳對比位置非強相關之一測量焦點位置，則其變為劣化OVL測量準確度之一額外因素。

在模擬中例示此等問題，假定SWA=88° (對應於針對<100 nm之一層高度之<±1 nm之OVL模糊性)，從而導致在圖2B中展示之關係，其中對於特定測量條件(例如， λ)及測量焦點位置，在特定模擬條件下，成像工具提供在±5 nm之範圍內之OVL誤差，即，成像工具將源自SWA之OVL誤差增強達5倍。圖2C繪示另一模擬實例，其展示甚至更大之放大倍數。

提出之解決方案包括下列方法之任一者：(i)最佳對比焦點位置與光柵位置重合之測量條件之一適當選擇；(ii)光譜範圍及照明NA之減小；(iii)擷取在各位點上之不同焦點位置中的若干影像且找到最佳焦點位置；(iv)使用大照明波長；且(v)同時擷取在不同焦點位置中的若干影像。在下

文中詳細討論此等方法。

大幅減小光譜範圍(例如，低於10 nm)及照明NA (例如，低於NA~0.1)(方法(ii))將最佳對比位置之展開減小至200至300 nm。圖2D繪示使用0.1之一小照明NA之模擬結果，其中點105經識別為具有低OVL誤差放大之最佳對比位置且點95經識別為零對比位置。如在圖2D中繪示，OVL誤差係小的且隨繞最佳對比位置(105)之焦點改變而緩慢改變，而OVL誤差隨繞零對比位置(95)之焦點改變而更大幅地變動。位置105及95表示不同類型之零OVL誤差測量點，在零對比位置95中，零OVL誤差因第一諧波之振幅恰為零且使用通常比第一諧波之振幅小得多之第二諧波測量OVL之事實而產生。零對比位置95處之測量在下文討論，且需要度量工具之硬體(HW)修改(例如，收集路徑中之一零階阻擋器，如在圖3A中繪示)。

圖3A係根據本發明之一些實施例之一理論模型及一光學系統110之一高階示意圖。照明81 (在照明路徑71中)進入系統110且經由光學件82 (例如，一光束分離器)及物鏡83被引導至目標90上，繞射信號從該目標90被收集且經由光束分離器82及光學件84 (例如，一鏡筒透鏡)(在收集路徑79中，亦稱為偵測路徑)被引導至一偵測器80 (例如，一CCD-電荷耦合式器件)。可引入一空間濾光器115以理想地在傅立葉平面(光瞳平面120)處阻擋零階繞射信號。以一非限制性方式，僅繪示第一繞射階。

系統110可根據下列規範組態以減小或消除準確度誤差放大：一低NA源(諸如一雷射)可用來提供對光均勻性之寬鬆要求；可僅傳遞一階繞射以提供清楚之兩光束干擾及大焦點深度；程序及光阻信號兩者(即，來自不同目標層之繞射信號)可被傳遞穿過光瞳平面120之相同部分以消除像

差；及可即時執行聚焦，注意，良好之影像對比容許測量而不實施適應性雜訊減小演算法(ANRA)以達成一短MAM (移動獲取測量)時間，例如，低於200 msec。

特定言之，下列所揭示演算方法克服與不透明零階阻擋器115之引入相關及收集光瞳中繞射階之良好分離之要求中所涉及之困難，從而避免零階洩漏至影像中或更高DO之急劇截斷。發明者注意到，此要求將最小目標尺寸限制至大於10至15 μm 以提供小繞射尾巴(tail)。另一方面，零階阻擋器115之非常有限之尺寸需要非常小之照明NA從而造成一光預算問題。特定言之，照明NA超出一特定臨限值之減小(凡瑟特-冊尼克(van Cittert-Zernike)定理)導致空間延伸之相干效應(振鈴(ringing))使影像失真。然而，發明者已發現，下列演算法在維持圖3A中繪示之光學方案中固有之優點的同時藉由不使用零階阻擋器115(可能要求較小的硬體修改)而克服上文列出之限制，從而達成成像OVL測量中之一優異準確度、改良工具效能且減小程序變動之效應。特定言之，發明者已發現，僅針對OVL測量選擇偶數諧波及/或使用穿過焦點平均化以減小偶數繞射階對偶數信號諧波之貢獻——提供此等優勢，如下文解釋。

圖3B及圖3C分別係根據本發明之一些實施例之度量工具85及光學系統110之高階示意圖。度量工具85示意性繪示為包括帶具有對應照明及收集數值孔徑(分別為 NA_{IL} 及 NA_{C})之照明路徑71及收集路徑79之光學系統110、偵測器80及與(諸)處理器88相關聯之(諸)度量模組87。光學系統110如在圖3A中般示意性繪示，但無零階阻擋器115，且經組態用於執行高形貌堆疊測量，其中選擇其等之收集及照明數值孔徑以具有小於 $2\lambda/P$ 之一總和，及/或光學系統110經組態以整合在其多個焦點位置上由其捕獲之多個

影像，以平均化不對稱貢獻，如下文解釋。在此等組態下，度量工具85及光學系統110模擬本文在上文及下文揭示之兩光束組態，而藉由僅包含具有如下文解釋之特定 λ/P 比之第二諧波而避免零階阻擋。

所揭示之光學方案之主要要求係(i)可調整照明光譜範圍及收集NA (NA_c)以確保對於任何經選擇目標節距，物鏡83僅收集零繞射階及 ± 1 (第一)繞射階；及(ii)一相對小之照明NA以提供大DOF (焦點深度)。具體言之，可選擇 NA_c 及 NA_{IL} 以滿足條件 $2\lambda/P > NA_c + NA_{IL}$ ，其中 λ 表示照明波長且 P 表示(目標90)之光柵節距。在此等條件下，測量信號之第二諧波僅因 ± 1 繞射階之間的干擾形成，且在此意義上，其完全等效於使用零階阻擋器115測量之信號(除應藉由其他硬體構件解決之精確度問題外)。

有關 DOF，在目標 90 上散射後，斜平面波係按藉由 $\sin(\vartheta_{l-1}) = -\sin(\vartheta_0) \pm \lambda/P$ 界定之角度傳播之 ± 1 繞射階，其中 ϑ_0 表示照明角度。在零照明 NA ($NA_{IL}=0$) 及一法線照明條件($\vartheta_0 = 0$)之精確履行的情況中，其遵循 $\cos(\vartheta_l) \equiv \cos(\vartheta_{-l})$ 及兩個平面波之間的相對相位不隨焦點改變，即，對應於無窮大之DOF。歸因於照明環之有限尺寸，僅可近似滿足法線照明條件。然而，由於在此情況中，DOF藉由照明NA (NA_{IL})而非如在一般情況中藉由收集NA (NA_c)判定，故可展示小照明NA之DOF之值可近似為 $DOF \cong \frac{P\sqrt{1-(\lambda/P)^2}}{2.5 \cdot NA_{IL}}$ 。舉例而言，對於 $P=1800$ nm， $\lambda/P \sim 0.5$ 及 $NA_{IL}=0.2$ 產生一 $DOF > 3\mu m$ ，其容許用一單一擷取測量高形貌堆疊。

替代地或補充地，可整合在多個焦點位置上的多個影像以平均化不對稱貢獻。可使用第 ± 1 階(或任何其他對稱階對)之間的干擾圖案之大DOF實施深堆疊單一擷取測量。隨著物體(目標90)移動穿過焦點，平均化利用任何不對稱DO對之間的干擾之對比反轉，而對稱階之間的干擾不改變對

比正負號。可藉由軟體及/或藉由硬體實施整合，從而容許曝光期間之焦點測量。如此，單一擷取深堆疊測量可在忽略波長對節距比及收集NA的情況下進行。

有關準確度，如上文及下文展示，目標不對稱性放大之機制 (OVL測量不準確度之主要來源)經連接至形成該影像之繞射階之間的形貌相位差之值。當對應於法線照明條件之繞射階之間的相位差幾乎為零時最準確測量完成。此條件針對藉由 ± 1 繞射階之間的干擾形成之影像自動滿足，從而提供高準確度。

返回上文呈現之五種方法，擷取在各位點上之不同焦點位置中的若干影像(例如，作為一非限制性實例之三個影像)(方法(iii))可用來使用(例如)針對各擷取影像計算之對比值之一拋物線近似來即時(見方法(ii)中之最後一點)找到最佳對比位置。由於不準確度放大倍數繞最佳對比位置(圖2D中之點105、95處)改變其正負號，故可使用適當權重將針對影像計算之OVL值與在相對於最佳對比位置之不同側上之焦點位置組合而獲得一準確OVL測量。此方法提供位點間程序變動之一解決方案。

使用大照明波長(方法(iv))容許光譜範圍及照明NA之延伸，此係因為形貌相位隨著波長及照明角度之改變速率大幅減小。此方法需要大節距，例如，約2000 nm。

同時擷取在不同焦點位置中的若干影像(方法(v))可用來克服因以下事實產生之困難：由於在具有不同最佳對比位置之兩個層之間測量OVL，故可在各層之對稱位置之中心在其本身之最佳對比位置中被測量到的情況下達成最準確測量。在此情況中，合成核(或由於內插至對應於此層之最佳焦點位置之焦點位置之合成OVL值)係對應於擷取影像之各一者之信號

之一不同組合。因此，所得OVL包含在影像擷取期間可影響OVL測量之精確度的載台運動的效應。為自OVL測量方法消除此效應，可改變成像工具光學組態以容許在不同焦點位置中同時擷取若干影像。下文中描述方法(v)之一個可能實施方案之細節。

所關注之層之各一者處印刷之目標在其本身最佳對比焦點中的擷取(方法(v))有利地提供多層目標之程序穩健量測，此確保在足夠小之照明NA及足夠窄之照明頻帶之條件下消除測量是程序變動之敏感性起因之形貌相位。

圖4A至圖4C係根據本發明之一些實施例之用於同時測量多個焦點位置之光學系統110之高階示意圖。圖4A係一成像度量工具85之一高階示意圖，其具有光學系統110及與其相關聯且可能藉由一或多個處理器操作之一校準模組112 (見圖9)。

校準模組112可經組態以導出一疊對誤差放大對散焦之一位準之一相依性，且光學系統110可經組態以依一窄光譜範圍($\Delta\lambda \leq 10 \text{ nm}$)、依一窄照明數值孔徑($NA \leq 0.1$)且在根據導出之相依性對應於零疊對誤差放大之一焦點位置處操作(見上文之方法(ii))。

光學系統110可替代地或補充地經組態以擷取在對應複數個焦點位置處的複數個度量目標影像，及校準模組112可經組態以估計擷取影像之一不準確度放大倍數且藉由識別不準確度放大倍數相對於焦點位置之一正負號改變而判定一最佳對比位置，其中成像度量工具85經重新組態以在經判定最佳對比位置處操作(見上文之方法(iii))。校準模組112可經組態以在定期度量工具操作期間即時操作。

光學系統110可經組態以在多個de-foci (焦點位置)中實現目標90之同

時測量，而度量工具85中之校準模組112 (圖4A)可經組態以提供一特定每層擷取定中心(per-layer grab centering)而無妥協精確度之風險(見上文之方法(iv))。

光學系統110可具有度量工具85中之一收集路徑79 (藉由物鏡83及光學件84示意性繪示)之一第一偵測焦點位置131C且包括沿著收集路徑79之至少兩個光束分離元件132、134，該至少兩個光束分離元件132、134經定位以提供具有不同於第一偵測焦點位置131C之收集路徑長度之至少兩個對應額外焦點位置131A、131B。

舉例而言，光學系統110可包括(圖4B)一光學總成130，該光學總成130包括光束分離器132、134 (例如，分別為BS 30/70及BS 50/50)，其後緊隨一鏡136，該鏡136經組態以提供近似在偵測平面89處之三個各自焦點位置(foci) 131A至131C。光學總成130之例示性組態提供具有相等功率且對應於可藉由相同偵測器80偵測而無任何機械漂移之三個不同焦點位置之三個影像。因此，光學系統110可經設計以具有一靜態多次擷取架構。光學系統110中之參數之量化(將 ΔZ_o 定義為物體之縱向位移， ΔZ_i 定義為影像之縱向位移， M 定義為成像系統之放大且 n_o 及 n_i 定義為相應在物體及影像介質中之折射率)藉由方程式8提供且經例示用於度量目標90之典型尺寸(即， $L = 30\mu m$ 之側向尺寸及125之放大)(影像之間無疊對)以提供可在圖4B中繪示之光學系統110中測量之最小 ΔZ_o 。

$$\frac{\Delta Z_i}{\Delta Z_o} = \frac{n_i}{n_o} M^2; \quad \frac{L}{M} = \Delta Z_o = \mathbf{240nm} \text{ 方程式8}$$

在另一實例中，光學系統110可包括(圖4C)一光學總成130，該光學總成130包括在一場光闌(例如，等效於偵測器平面89之一平面89A)處之一光罩140、光學件133及經組態以提供(例如)藉由三個對應偵測器80A至

80C偵測之三個各自焦點位置(foci) 131A至131C之光束分離器132、134。偵測器80A至80C可係單獨的且依不同軸向位移捕獲影像或可至少部分係統一的且實現來自不同晶圓層之目標之同時成像(雙重或更多次擷取)。

主要藉由來自晶圓(目標90)之照明光81之鏡面反射照明光罩140，使得光罩140之照明NA ($NA_{reticle}$)可使用場深之已知估計 $\Delta Z = \lambda/NA_{reticle}^2$ 依據照明NA (NA_{ill})及可使用在圖4C中繪示之光學系統110覆蓋之foci之範圍(ΔZ_o)估計，如在方程式9中表達。

$$NA_{reticle} = \frac{NA_{ill}}{M} \quad ; \quad \Delta Z_o = \frac{\Delta Z_i}{M^2} = \frac{\lambda}{NA_{ill}^2} \quad \text{方程式9}$$

舉例而言，使用例示性資料 $\lambda=700 \text{ nm}$ 及 $NA_{ill}=0.2$ 產生 $\Delta Z_o=17.5 \text{ }\mu$ 之散焦範圍，其對於覆蓋若干層之目標之間的焦點差異係令人滿意的。(諸如)在圖4C中繪示之光學系統110克服對可係例如 100 nm 之偵測器之側向位置之機械穩健性之要求，以在使用單獨影像來偵測單獨目標層之各一者之位移的同時，維持可容許之精確度(1 nm)。場光闌中之光罩140充當用於判定影像中之層之各一者之位移之一相互參考中心。

有利地，所提出之多次擷取穿過焦點測量架構之組態克服先前技術自動聚焦技術中之缺點：諸如(i)依自干涉焦點之一恆定偏移測量跨晶圓之所有位點及(ii)循序多次擷取獲取穿過焦點之多個影像，接著單獨判定當前及程序層之目標位置，以用於稍後計算該等位置之間的疊對。這兩種方法遭受明顯缺點。方法(i)依賴跨晶圓之所有程序參數之一致性且已表明與最佳對比焦點位置相差達數百奈米，此繼而導致疊對判定中之多個奈米之不準確度。歸因於載體在影像獲取之間的不自主漂移(達到幾奈米)，方法(ii)遭受明顯之精確度挑戰。

新的光學組態容許在成像OVL測量中達成一優異準確度、改良工具效能且減小程序變動之效應。特定言之，成像組態具有一小照明NA及一窄光譜範圍，基於在不同焦點位置中擷取之數個同時影像使用一新的即時OVL測量演算法，及/或引入容許對應於不同焦點位置之影像之即時對準之光學組態中之改變。本發明可實施在任何現有度量平台中用於OVL控制。

參考圖1，揭示用於獲得成像OVL中之形貌相位控制之額外方式：(i) 偏光目標；(ii)波長控制；及(iii)干擾控制。

圖5A係根據本發明之一些實施例之偏光控制目標150之一高階示意圖。特定實施例包括成像度量目標150，其包括具有沿著一測量方向(X)依一節距 p (p_x)之元件151之至少一個週期性結構，其中元件151沿著垂直於測量方向(X)之一方向(Y)按一未解析節距(p_y)分段。選擇未解析節距(p_y)以提供係 π 之一整數倍數之目標150之一形貌相位，如下文解釋。

偏光控制目標150(i)可經設計以(例如)使用藉由測量工具次解析之一小分段節距 P_y 來提供對磁場之水平及垂直偏光(相對於目標週期性方向表示為X及Y)之不同回應。

舉例而言，若入射平面之軸與目標150之主軸重合，則使用未解析節距 P_y 分段之線(或溝渠) 151之有效介電常數可使用有效介質近似法描述為有效地等效於具有在方程式10中表達之方向介電常數向量之一各向異性薄膜，其中 ϵ_1 係一種材料之介電常數， ϵ_2 係另一材料之介電常數， η 係y方向上之分段之作用時間循環且 $\epsilon_x \neq \epsilon_y$ 。

$$\epsilon_x = \epsilon_z = \frac{\epsilon_1 + \eta\epsilon_2}{1 + \eta}; \quad \epsilon_y = \frac{\epsilon_1 \cdot \epsilon_2 (1 + \eta)}{\epsilon_2 + \eta\epsilon_1} \quad \text{方程式10}$$

可選擇提供對於電場之垂直及水平偏光之不同回應之複數個可能目

標設計之任一者。可基於具有不同參數之測試晶圓目標上之形貌相位之模擬及/或測量而選擇實際分段節距。圖5B係根據本發明之一些實施例之一光學系統160之一高階示意圖。在一度量工具之光學系統160中，線性偏光之方向可用於改變自目標150散射之光之繞射階之間的相位。光學系統160亦可包括：在照明路徑71中之一偏光器161 (例如，(例如)使用具有不同角度及遲滯參數之一波板提供圓形偏光)；及收集路徑79中之一分析器169，以在目標不同地回應於照明光81之不同偏光條件的情況中藉由改變分析器169之角度而提供散射光之形貌相位之更有效控制。

替代地或補充地，(ii)可修改照明波長以控制形貌相位。發明者已發現針對大多數堆疊改變大約50 nm之波長提供等效於形貌相位中之 π 之改變之對比反轉。因此，甚至大約 ± 10 nm之照明光譜之小偏移可用於提供形貌相位之明顯改變，使光譜控制成為可用來改良OVL測量條件之一額外因數。再者，由於光阻及程序層可使用不同波長測量(如上文展示之一實例之雙重擷取)，故可針對光阻及程序層獨立執行形貌相位校正。

圖6係根據本發明之一些實施例之一光學系統170之一高階示意圖。光學系統170可用於成像度量工具中以用於OVL測量。光學系統170包括一可調整參考路徑178，其具有整合在光學系統170之一收集路徑79中之一參考信號。參考路徑178經組態以提供參考信號之一可調整相位，光學系統170經組態以調整參考信號之相位以修改一成像度量目標之一形貌相位而使該形貌相位為 π 之一整數倍數。可調整參考路徑178可經整合作為一Linnik干涉儀，其具有等同於成像度量光學系統170之一主物鏡83之一參考物鏡174及一可調整鏡175，如在下文中詳細解釋。

光學系統170包括照明路徑71、主物鏡83及收集路徑79，且進一步包

括具有帶可控制振幅及相位之一參考信號之參考路徑178，該可控制振幅及相位經組態以最小化來自目標90之至少兩個目標層之零階繞射信號與一階繞射信號之間的一形貌相位差。照明路徑71及收集路徑79可經由光束分離器82而與物鏡83相關聯，及參考路徑178可經由光束分離器82整合於光學系統170中。在一Linnik干涉儀組態中之例示性實施例中，參考路徑178可包括具有鏡175之物鏡174（物鏡174等同於主物鏡83），以及相關聯之照明源171及光學件172、173（例如，聚焦透鏡172及光束分離器173）。參考信號之振幅可受控於一衰減器179（例如，藉由一中性密度(ND)濾光器），及物鏡174及/或鏡175可移動以控制參考信號之相位。所得零繞射階場表現為自晶圓之第一層及第二層(目標90之光柵)反射之零繞射階(表示為 $A \cdot e^{i\alpha}$ 及 $B \cdot e^{i\beta}$)；及自參考鏡175反射之零繞射階(表示為 $C \cdot e^{i\gamma}$)之一相干總和。因此，可如在方程式11中表達般描述零階場。

$$A \cdot e^{i\alpha} + C \cdot e^{i\gamma} = \sqrt{A^2 + C^2 + 2AC\cos(\alpha - \gamma)} \cdot e^{i\arctg\left[\frac{A \cdot \sin\alpha + C \cdot \sin\gamma}{A \cdot \cos\alpha + C \cdot \cos\gamma}\right]}$$

$$B \cdot e^{i\beta} + C \cdot e^{i\gamma} = \sqrt{B^2 + C^2 + 2BC\cos(\beta - \gamma)} \cdot e^{i\arctg\left[\frac{B \cdot \sin\beta + C \cdot \sin\gamma}{B \cdot \cos\beta + C \cdot \cos\gamma}\right]}$$

方程式11

分別將第一光柵及第二光柵之第一繞射階之形貌相位表示為 φ_1 及 φ_2 ，參考信號之振幅及相位可經組態以最小化來自目標90之至少兩個目標層之零階繞射信號與一階繞射信號之間的一形貌相位差。自方程式11可得，可藉由最小化方程式12之運算式而找到最佳操作條件。

$$\min\left\{\left[\frac{A \cdot \sin\alpha + C \cdot \sin\gamma}{A \cdot \cos\alpha + C \cdot \cos\gamma} - \tg(\varphi_1)\right]^2 + \left[\frac{B \cdot \sin\beta + C \cdot \sin\gamma}{B \cdot \cos\beta + C \cdot \cos\gamma} - \tg(\varphi_2)\right]^2\right\}$$

方程式12

同時針對兩個光柵減小一階與零階之間的形貌相位差，將兩個層之最佳對比位置提供至靠近彼此，以容許在相同焦點位置中測量兩個層。

一補充方法將暗場成像度量設定為出發點。雖然亮場成像使用收集路徑中之零繞射階及第一繞射階，但暗場成像阻擋零階且僅使用更高繞射階(通常將第一繞射階用於影像形成)，從而達成疊對測量之優異精確度及準確度。亮場及暗場成像之共同限制為低繞射效率，即，當藉由目標90繞射至第一繞射階中之EM波之振幅非常低時。亮場(BF)及暗場(DF)成像強度在方程式13中表達，其中 $I_{BF}(x)$ 表示在偵測器80處觀測到之強度， a_0 、 a_1 及 a_{-1} 分別係第0、第+1及第-1繞射階之振幅； Ψ 係光瞳平面處在第0與第 ± 1 繞射階之間之平均相位， δa_1 係正階及負階之振幅之差，及 $\delta\phi$ 係相位差。

$$\begin{aligned}
 I_{BF}(x) = & |a_0|^2 + |a_1|^2 + |a_{-1}|^2 \\
 & + 4a_0\overline{a_1} \cos[\Psi] \cos\left[\frac{2\pi(x-x_0)}{p} + \delta\phi + \delta a_1 \tan \Psi\right] \\
 & + a_1 a_{-1} \cos\left[\frac{4\pi(x-x_0)}{p} + 2\delta\phi\right] \\
 I_{DF}(x) = & |a_1|^2 + |a_{-1}|^2 + 2a_1 a_{-1} \cos\left[2\frac{2\pi(x-x_0)}{p} + 2\delta\phi\right]
 \end{aligned}$$

方程式13

在亮場成像中，展示相位干擾引入受目標本身之幾何模糊性限制之一誤差，而項 $\delta a_1 \tan \Psi$ 可引入超過幾奈米之誤差(若在不當條件($\Psi \rightarrow \pm \frac{\pi}{2}$ ，見上文之求導)中測量)。雖然暗場成像解決不準確度問題，但暗場成像通常遭受顯著缺光以及光學系統之雜散光及重像之效應，此係因為暗場成像之信號僅由高繞射階構成。

在低繞射效率的情況中，在任一類型之成像中之光柵位置測量之精確度可如在方程式14中表達，其中 α 及 β 分別係光源及偵測器之雜訊性質，及 A_0 及 A_{Signal} 分別係零階調變頻率及基頻諧波(pitch harmonic)之振幅。一般運算式近似表示亮場成像(假設零階處之強度主導偵測器雜訊)及暗場成像。

$$\Delta x \propto \frac{\text{PixelSize}}{P} \frac{\sqrt{\alpha A_0 + \beta}}{A_{\text{Signal}}}$$

$$\Delta x_{BF} \propto \frac{\text{PixelSize}}{P} \frac{\sqrt{\alpha a_0^2 + \beta}}{a_0 \bar{a}_1} \approx \frac{\text{PixelSize}}{P} \frac{\sqrt{\alpha}}{\bar{a}_1}$$

$$\Delta x_{DF} \propto \frac{\text{PixelSize}}{P} \frac{\sqrt{\alpha \bar{a}_1^2 + \beta}}{\bar{a}_1^2} \approx \frac{\text{PixelSize}}{P} \frac{\sqrt{\beta}}{\bar{a}_1^2}$$

方程式14

因此，一旦目標之繞射效率下降至由偵測器雜訊主導信號之位準，則亮場測量變得比暗場成像有利。然而，總信號受偵測器之動態範圍限制，使得攝影機之不飽和度需要履行方程式15中表達之條件，其中 Γ 表示攝影機(偵測器)之飽和位準。

$$|a_0|^2 + 4a_0\bar{a}_1 < \Gamma \quad \text{方程式15}$$

方程式16在振幅及強度方面表達以收集光瞳為路徑之零階EM場之振幅之所得限制。

$$a_0^2 < a_1^2 \left[\sqrt{\frac{\Gamma}{a_1^2} + 4} - 2 \right]^2; \quad \frac{I_0}{I_1} < \left(\sqrt{\frac{\Gamma}{I_1} + 4} - 2 \right)^2 \quad \text{方程式16}$$

此求導暗示若干實施方案：(i)參考圖3A，空間濾光器115可實施為一洩漏阻擋器(例如)以使用一可調整ND濾光器作為空間濾光器115來控制零階之振幅，同時使用窄照明NA以確保零繞射階與更高繞射階之間的分離。由於測量準確度需要零繞射階與第一繞射階之間的特定相位關係，故可在收集光瞳區域120處藉由帶狀相位板實施相位控制。(ii)參考圖3A，空間濾光器115可實施為經組態以提供同時相位及振幅控制之一適應性光學元件，例如，一DLP (數位光處理器件，諸如經個別致動之微鏡之一陣列或可變形鏡膜)，其藉由表面調整(例如，鏡角度及器件形貌)提供相位及振幅控制。(iii)參考圖6，衰減器179可能係可變化的，且根據下列求導

實施。

方程式17將零階信號表達為自目標90及自鏡175反射之信號之一總和，其中 a_w 表示自晶圓(目標90)反射之零階之振幅，及 a_r 表示自參考鏡175反射之EM場之振幅；且其中 Ψ 表示相對於第一繞射階之零階之形貌相位，及 Φ_r 表示在光瞳平面處之參考EM場之相位。有效零階信號使用 a_0' 及 Ψ_0' 表達。

$$E_0 = a_w e^{i\Psi} + a_r e^{i\Phi_r} = a_0' e^{i\Psi'};$$

$$a_0' = \sqrt{a_w^2 + a_r^2 + 2a_w a_r \cos(\Psi - \Phi)}; \quad \Psi' = \tan^{-1} \frac{a_w \sin \Psi + a_r \sin \Phi}{a_w \cos \Psi + a_r \cos \Phi}$$

方程式17

因此，使用衰減器179來控制參考臂178之振幅 a_r 及相位 Φ_r 提供將在偵測器80處收集之任何任意零階場且根據上文揭示之原理，藉此在基於成像疊對(IFO)測量中提供優異之準確度及精確度以及經改良之對比及信號強度。

圖7係根據本發明之一些實施例之作為形貌相位控制之準則之對比函數之一高階示意圖。經定義為依據透鏡焦點位置之光柵對比之對比函數呈現為成像中之形貌相位控制之實用成功準則。如上文展示(見(例如)方程式2)，焦點透鏡位置自光柵位置之任何偏差導致不同照明角度之相位展開的增大，從而導致對比減小(偏差愈大，對比減小程度愈大)。成像中之最佳測量條件對應於零繞射階與第一繞射階之間的一相位差，其為 π 之整數倍數。在此情況中，光柵焦點位置與測量信號之最佳對比位置重合，且不同光瞳照明點之間不存在形貌相位展開(由散焦引發)。在此等條件下，對比函數(在圖7中藉由「 π 」標記)係具有一個精確區分之峰值之一對稱函數。在相反的的最差測量條件中，零繞射階與第一繞射階之間的相位差為

$\pi/2$ ，且在對應於 $\pi/2$ 之相位差之對比反轉位置中達成等效對比。對比函數之對應行為具有兩個相等之峰值(在圖7中藉由「 $\pi/2$ 」標記)。任何中間條件提供一不對稱對比函數(在圖7中藉由「中間」標記)。對比函數可用於最佳化成像測量條件。

包括光學系統110及校準模組112之度量工具85 (見圖4A)可經組態以透過光學系統110導出一成像目標之一對比函數，及調整光學系統110之測量條件，以修改經導出之對比函數以具有一單一峰值(如在圖7中)。度量工具85可經組態以在經調整測量條件下執行成像度量測量。

在散射測量疊對(SCOL)度量中，與上文呈現類似之考慮適用於成像度量。特定言之，結合波長及偏光之選擇之類似目標設計考慮係同樣適用的。再者，由於在光瞳座標中測量SCOL信號(在光瞳平面120處之入射角多工)，故恰當AOI (光瞳像素)之測量後選擇可達到最準確測量條件。

針對對於疊對及準確度之最佳敏感性(對不對稱性及墊間變動之穩健性)，場之間的較佳相位為 $\pm\frac{\pi}{2}$ ，如在下列求導中展示。圖8係根據本發明之一些實施例之一散射測量光柵疊置目標90之一高階示意圖。SCOL目標90包括至少兩個單元90A (「+單元」)、90B (「-單元」)，其等分別具有頂部光柵91B相對於底部光柵91A之相反偏移 $+f_0$ 及 $-f_0$ (藉由 Δ 標記光柵節距)。針對依相同繞射階(-1、+1)藉由一SCOL目標單元之上光柵及下光柵(分別為91B(U)及91A(L))繞射之經繞射電磁(EM)場呈現一單元模型90C。DBO (基於繞射疊對度量)中之形貌相位定義為藉由上光柵及下光柵繞射之電磁(EM)場之間的平均相位差。繞射階近似表示於方程式18中。 $U_{\pm 1}^+$ 及 $U_{\pm 1}^-$ 分別表示藉由第一(正偏移)單元90A及第二(負偏移)單元90B之上光柵91B散射之總場。上標中之正負號指示單元之偏移，下標指示散射

階。 $L_{\pm 1}^+$ 及 $L_{\pm 1}^-$ 表示藉由下(程序)光柵91A繞射之場。 $u_{\pm 1}^+$ 及 $l_{\pm 1}^+$ 表示場之振幅， $\psi_{\pm 1}^+$ 表示藉由上光柵91B繞射之場之形貌相位(如藉由對應上標及下標指示之單元及階)，及 $\phi_{\pm 1}^+$ 表示藉由下光柵91A繞射之場之總相位(相對於上光柵91B之形貌+光學路徑差(OPD))。 $I_{\pm 1}^+$ 及 $I_{\pm 1}^-$ 表示對應信號強度。星號(*)將複共軛性表示為一運算，及c.c.代表額外複共軛項。

$$\begin{aligned} U_{\pm 1}^+ &\approx u_{\pm 1}^+ e^{i\left(\pm \frac{2\pi(\Delta + f_0)}{p} + \psi_{\pm 1}^+\right)}; L_{\pm 1}^+ = l_{\pm 1}^+ e^{i\phi_{\pm 1}^+}; \\ U_{\pm 1}^- &\approx u_{\pm 1}^- e^{i\left(\pm \frac{2\pi(\Delta - f_0)}{p} + \psi_{\pm 1}^-\right)}; L_{\pm 1}^- = l_{\pm 1}^- e^{i\phi_{\pm 1}^-}; \\ I_{\pm 1}^+ &= |u_{\pm 1}^+|^2 + |l_{\pm 1}^+|^2 + U_{\pm 1}^+ \times L_{\pm 1}^{+*} + c.c. \\ &= u_{\pm 1}^+ l_{\pm 1}^+ \cos\left(\pm \frac{2\pi(\Delta + f_0)}{p} + \psi_{\pm 1}^+ - \phi_{\pm 1}^+\right) \\ I_{\pm 1}^- &= |u_{\pm 1}^-|^2 + |l_{\pm 1}^-|^2 + U_{\pm 1}^- \times L_{\pm 1}^{-*} + c.c. = u_{\pm 1}^- l_{\pm 1}^- \cos\left(\pm \frac{2\pi(\Delta - f_0)}{p} + \psi_{\pm 1}^- - \phi_{\pm 1}^-\right) \end{aligned}$$

方程式18

方程式19引入且定義四個物理變數。在下列求導中，為簡化起見省略恆定項 $|u_{\pm 1}^+|^2 + |l_{\pm 1}^+|^2$ ，假定單元與光柵之對稱性之間存在足夠相似性。

$\mathcal{A}^\pm$ -對應單元之平均干擾項振幅。

$$\mathcal{A}^\pm = \frac{u_{+1}^\pm l_{+1}^\pm + u_{-1}^\pm l_{-1}^\pm}{2}$$

$\mathcal{B}^\pm$ -散射至該等階之各者之光之振幅之間的不對稱性。

$$\mathcal{B}^\pm = \frac{u_{+1}^\pm l_{+1}^\pm - u_{-1}^\pm l_{-1}^\pm}{2}$$

$\alpha^\pm$ -在上光柵及下光柵處散射後到達偵測器之EM波之間的平均相位差。

$$\alpha^\pm = \frac{(\psi_{+1}^\pm - \phi_{+1}^\pm) + (\psi_{-1}^\pm - \phi_{-1}^\pm)}{2}$$

$\beta^\pm$ -藉由光柵散射至第+1或-1階之EM波之相位差之不對稱性。

$$\beta^\pm = \frac{(\psi_{+1}^\pm - \phi_{+1}^\pm) - (\psi_{-1}^\pm - \phi_{-1}^\pm)}{2}$$

方程式19

使用 $\mathcal{A}^\pm$ 、 $\mathcal{B}^\pm$ 、 $\alpha^\pm$ 、 $\beta^\pm$ ，在方程式20中表達單元90A、90B之差分信

號。差分信號以一般形式表達，忽略來源於多次再散射且不同地取決於光柵之間的相對位移之項，此係因為此等項之相對強度取決於實際上不超過幾個百分比之光柵之繞射效率(DE)之高次冪。

$$D^{\pm} = I_{+1}^{\pm} - I_{-1}^{\pm} = \mathcal{A}^{\pm} \sin \left[\frac{2\pi(\Delta \pm f_0)}{P} + \beta^{\pm} \right] \sin \alpha^{\pm} + B^{\pm} \cos \left[\frac{2\pi(\Delta \pm f_0)}{P} + \beta^{\pm} \right] \cos \alpha^{\pm} =$$

$$D^{\pm} = \mathcal{A}^{\pm} \sin \alpha^{\pm} \left\{ \sin \left[\frac{2\pi(\Delta \pm f_0)}{P} + \beta^{\pm} \right] + \frac{B^{\pm}}{\mathcal{A}^{\pm} \tan \alpha^{\pm}} \cos \left[\frac{2\pi(\Delta \pm f_0)}{P} + \beta^{\pm} \right] \right\}$$

替代形式1：

$$D^{\pm} = \sqrt{(\mathcal{A}^{\pm} \sin \alpha^{\pm})^2 + (B^{\pm} \cos \alpha^{\pm})^2} \times \sin \left\{ \pm \frac{2\pi f_0}{P} + \frac{2\pi}{P} \left[\Delta + \frac{P}{2\pi} \left(\beta^{\pm} + \tan^{-1} \left[\frac{B^{\pm}}{\mathcal{A}^{\pm} \tan \alpha^{\pm}} \right] \right) \right] \right\}$$

替代形式2：

$$D^{\pm} = \mathcal{A}^{\pm} \sin \alpha^{\pm} \sqrt{1 + \left(\frac{B^{\pm}}{\mathcal{A}^{\pm} \tan \alpha^{\pm}} \right)^2} \times \sin \left\{ \pm \frac{2\pi f_0}{P} + \frac{2\pi}{P} \left[\Delta + \frac{P}{2\pi} \left(\beta^{\pm} + \tan^{-1} \left[\frac{B^{\pm}}{\mathcal{A}^{\pm} \tan \alpha^{\pm}} \right] \right) \right] \right\}$$

方程式20

由於單元(D[±])之各者處之差分信號充當一階SCOL中之主要可觀測項，故方程式20提供敏感性及誤差分析之基礎。

項 $\frac{P}{2\pi} \left(\beta^{\pm} + \tan^{-1} \left[\frac{B^{\pm}}{\mathcal{A}^{\pm} \tan \alpha^{\pm}} \right] \right)$ 歸因於目標不對稱性可經測量作為疊對之一相加項。依類似於成像中之情形之一方式(見方程式7)，相位不對稱性($\beta^{\pm}$)表現為恰當疊對之一線性相加項，而振幅不對稱性($\frac{B^{\pm}}{\mathcal{A}^{\pm}}$)之效應藉由由上下光柵及下光柵散射之階之形貌相位及OPD之一組合($\frac{1}{\tan \alpha}$)放大。在 $\rightarrow n\pi$ ($\tan \alpha \rightarrow 0$)之最壞的可能情況中，藉由振幅不對稱性引入之誤差可達到 $\pm \frac{P}{2}$ 。另一方面，在 $\alpha \rightarrow \pm \frac{\pi}{2}$ 之最佳情形中；放大誤差消失，此係因為 $\tan \alpha \rightarrow \infty$ 。應注意，產生最佳及最壞結果之形貌相位在散射測量中相對於成像係相反的，此係因為在SCOL中，測量差分信號(干擾項之差)，而在成像中，測量干擾項之一總和。

方程式21估計差分信號之量值 d 及其第一導數及第二導數。

$$\begin{aligned}
d &= (\mathcal{A} \sin \alpha)^2 + (\mathcal{B} \cos \alpha)^2 = \frac{1}{2}(\mathcal{A}^2 + \mathcal{B}^2) - \frac{1}{2}(\mathcal{A}^2 - \mathcal{B}^2) \cos 2\alpha; \\
d' &= \frac{d}{d\alpha} [(\mathcal{A} \sin \alpha)^2 + (\mathcal{B} \cos \alpha)^2] = (\mathcal{A}^2 - \mathcal{B}^2) \sin 2\alpha = 0 \Rightarrow \alpha = \frac{n\pi}{2}; \\
d'' &= \frac{d^2}{d\alpha^2} [(\mathcal{A} \sin \alpha)^2 + (\mathcal{B} \cos \alpha)^2] \\
&= 2(\mathcal{A}^2 - \mathcal{B}^2) \cos 2\alpha; \text{ assuming } \mathcal{B} < \mathcal{A} \\
&\text{for: } \alpha = 0, \pi \dots; d'' > 0 \Rightarrow D \text{ is at minimum}; \\
&\Rightarrow \text{for: } \alpha = \pm \frac{\pi}{2} \dots; d'' < 0 \Rightarrow D \text{ is at maximum.}
\end{aligned}$$

方程式21

類似於成像中之情形，應在對於測量最佳之相位關係下獲得最強信號。然而，難以使光柵之散射效率與藉由上光柵91B及下光柵91A繞射之EM場之間的相對相位脫離。由於 $\mathcal{A}$ 或 $\mathcal{B}$ 皆非先驗已知的，且由於對 α 一無所知；故無法公式化一可測量之量(例如，具有 α 之量值 $D^\pm$)之清楚行為。

當前SCOL演算法使用運算式 $S = \frac{D^+ + D^-}{D^+ - D^-}$ 來計算各像素處之信號。通常做出兩個假設，光柵係對稱的且照明幾乎係法線的，且目標單元90A、90B除偏移外係相同的。在方程式22中表達此等假設之模型隱含式。

$$\begin{aligned}
u_{+1}^\pm &= u_{-1}^\pm \wedge l_{+1}^\pm = l_{-1}^\pm \Rightarrow \mathcal{B}^\pm = 0 \\
\psi_{+1}^\pm &= \psi_{-1}^\pm \wedge \phi_{+1}^\pm = \phi_{-1}^\pm \Rightarrow \beta^\pm = 0 \\
D^\pm &= l_{+1}^\pm - l_{-1}^\pm = \mathcal{A}^\pm \sin \left[\frac{2\pi(\Delta \pm f_0)}{P} \right] \sin \alpha^\pm \\
\mathcal{A}^+ &= \mathcal{A}^- \equiv \mathcal{A}; \quad \alpha^+ = \alpha^- \equiv \alpha \\
D^\pm &= l_{+1}^\pm - l_{-1}^\pm = \mathcal{A} \sin \left[\frac{2\pi(\Delta \pm f_0)}{P} \right] \sin \alpha \\
S &= \frac{D^+ + D^-}{D^+ - D^-} = \tan \left(\frac{2\pi\Delta}{P} \right) \cot \left(\frac{2\pi f_0}{P} \right)
\end{aligned}$$

方程式22

然而，若光柵具有相同形狀但其等光學厚度不同，則方程式23表達模型隱含式。

$$u_{+1}^\pm = u_{-1}^\pm \wedge l_{+1}^\pm = l_{-1}^\pm \Rightarrow \mathcal{B}^\pm = 0; \Rightarrow \mathcal{A}^+ = \mathcal{A}^- \equiv \mathcal{A};$$

$$\begin{aligned}
 \psi_{+1}^+ &= \psi_{-1}^+ \neq \psi_{+1}^- = \psi_{-1}^- ; \phi_{+1}^+ = \phi_{-1}^+ \neq \phi_{+1}^- = \phi_{-1}^- ; \Rightarrow \beta^\pm = 0; \alpha^+ \neq \alpha^- ; \\
 D^\pm &= I_{+1}^\pm - I_{-1}^\pm = \mathcal{A}^\pm \sin \left[\frac{2\pi(\Delta \pm f_0)}{P} \right] \sin \alpha^\pm \\
 S &= \frac{D^+ + D^-}{D^+ - D^-} = \frac{\sin \left[\frac{2\pi(\Delta + f_0)}{P} \right] \sin \alpha^+ + \sin \left[\frac{2\pi(\Delta - f_0)}{P} \right] \sin \alpha^-}{\sin \left[\frac{2\pi(\Delta + f_0)}{P} \right] \sin \alpha^+ - \sin \left[\frac{2\pi(\Delta - f_0)}{P} \right] \sin \alpha^-} \\
 \sin \left[\frac{2\pi(\Delta \pm f_0)}{P} \right] &= \sin \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \cos \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \pm \cos \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \sin \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \Rightarrow \\
 S &= \frac{D^+ + D^-}{D^+ - D^-} \\
 &= \frac{\sin \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \cos \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \{ \sin \alpha^+ + \sin \alpha^- \} + \cos \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \sin \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \{ \sin \alpha^+ - \sin \alpha^- \}}{\sin \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \cos \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \{ \sin \alpha^+ - \sin \alpha^- \} + \cos \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \sin \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \{ \sin \alpha^+ + \sin \alpha^- \}}
 \end{aligned}$$

方程式23

使用表示法 $\alpha = \frac{\alpha^+ + \alpha^-}{2}$; $\gamma = \frac{\alpha^+ - \alpha^-}{2} \Rightarrow \alpha^\pm = \alpha \pm \gamma$; 且記住參數之物理含義 :

Δ 係兩個光柵之間的疊對, f_0 係兩個單元之間的刻意偏移, α 係藉由上光柵及下光柵散射至相同繞射階之階之間的相位(包含OPD), 及 γ 主要係單元之間的OPD差(歸因於額外假設), 該信號可如在方程式24中表達進一步求導, 從而導致下列簡化的運算式

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{D^+ + D^-}{D^+ - D^-} = \frac{\sin \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \cos \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \sin \alpha \cos \gamma + \cos \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \sin \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \cos \alpha \sin \gamma}{\sin \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \cos \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \cos \alpha \sin \gamma + \cos \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \sin \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \sin \alpha \cos \gamma} \\
 &= \frac{\tan \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \tan \alpha + \tan \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \tan \gamma}{\tan \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \tan \gamma + \tan \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \tan \alpha}
 \end{aligned}$$

方程式24

假設光柵之間的不同光學厚度之隱含式導致 $\tan \gamma \neq 0$, 否則返回至方程式 22 。 雖然若 $|\tan \alpha| \gg |\tan \gamma|$, 則維持一類似近似 (例如 , 當 $\tan \alpha \rightarrow \pm \infty$ 時, 此係因為 $\alpha \rightarrow \pm \frac{\pi}{2}$) , 但是針對幾乎任一 $\gamma \neq \pm \frac{\pi}{2}$ 之此近似清楚導致忽略來自標準模型的錯誤項。再者, 若 $\tan \alpha \rightarrow 0$ (下文稱為諧振條件), 則針對任一 γ (其中 $\tan \gamma \neq 0$) 之測量信號完全表現為預期信號 S 之

s^{-1} 。

結果係可藉由找到 $\alpha \cong \pm \frac{\pi}{2}$ 之條件而達成減小光學厚度(墊間)敏感度及光柵不對稱性放大效應(見上文針對方程式20之討論)。然而， $\alpha = \pm \frac{\pi}{2}$ 之期望條件與產生來自上光柵及下光柵之階之間的建設性或破壞性干擾之 $\alpha = \pm n\pi$ 之非所要條件相比未在光瞳影像中或差分信號中展示特殊特徵，且通常藉由光瞳影像處之清晰條紋(亮或暗)及對疊對之大幅減小之敏感性(差分信號中之暗條紋)指示。

圖9係根據本發明之一些實施例之藉由度量工具85測量之具有輔助單元185之一SCOL目標180之一高階示意圖。度量工具85包括光學系統110以及與一或多個處理器88相關聯之(諸)度量模組87 (適用於所揭示實施例之任一者)，其等可能具有(諸)光學系統110及(諸)度量模組87之所揭示組態。度量目標90可包括至少兩個單元，各者具有帶週期性結構之至少兩個目標層，該等週期性結構具有一節距 p 且在至少兩個單元中相對於彼此移位達一相反偏移。除SCOL目標單元90外，至少兩個輔助、特殊設計之測量單元185亦可被引入目標180中以基於逐個像素的基礎判定形貌相位。舉例而言，可引入分別具有四分之一節距 $\pm \frac{p}{4}$ 之刻意偏移之兩個輔助單元185A、185B，使得輔助單元具有在各自輔助單元處相對於彼此移位達 $\pm p/4$ 之目標90之週期性結構。輔助單元185之光瞳影像可用來執行方程式25中表達之 W 之計算，其中 α 表示形貌相位， $I_{+1}^{\frac{1}{4}}$ 及 $I_{-1}^{\frac{1}{4}}$ 表示針對在正疊對方向上具有 $\frac{p}{4}$ 之偏移之輔助單元185A之一階及第負一階(如藉由下標指示)測量之光瞳影像之強度。 $I_{+1}^{-\frac{1}{4}}$ 及 $I_{-1}^{-\frac{1}{4}}$ 表示在負疊對方向上具有偏移 $\frac{p}{4}$ 之輔助單元185B之各自強度， I_{+1}^0 及 I_{-1}^0 表示無特殊位移(即，具有帶標準 $\pm f_0$ 之標準設計之偏移)之(諸)標準SCOL單元90之各自強度。

$$W = \frac{\left(\frac{1}{I_{+1}^4} + \frac{1}{I_{-1}^4}\right) - \left(\frac{1}{I_{+1}^4} + \frac{1}{I_{-1}^4}\right)}{(I_{+1}^0 - I_{-1}^0)} = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \cong \cot \alpha \quad \text{方程式25}$$

應注意，在 $W = 0$ 之像素中 $\alpha = \pm \frac{\pi}{2}$ 。因此，選擇偵測器80之像素或區(對應於照明角度 θ)及/或對應於小 W 值(例如， $W \cong 0$)之波長 λ 藉由抑制目標對相鄰單元之間的層之厚度變動之敏感性以及光柵不對稱性之效應而提供準確度之顯著改良。

圖10係繪示根據本發明之一些實施例之一方法200之一高階流程圖。可相對於上文描述之系統及工具執行方法階段，該等系統及工具可視情況經組態以實施方法200。方法200可至少部分藉由至少一個電腦處理器(例如，在一度量模組中)實施。特定實施例包括電腦程式產品，其等包括一電腦可讀儲存媒體，該電腦可讀儲存媒體具有與其一起體現且經組態以實施方法200之相關階段之電腦可讀程式。特定實施例包括藉由方法200之實施例設計之各自目標之目標設計檔案。

此等方法階段相對於上文描述之系統及工具更詳細描述且視情況經組態以實施方法200。可根據指定要求組合本發明之不同態樣之方法階段。

方法200可包括在一成像度量工具之一光學系統中導出一疊對誤差放大對散焦之一位準之一相依性(階段210)，及使該光學系統依一窄光譜範圍($\Delta\lambda \leq 10 \text{ nm}$)、依一窄照明數值孔徑($NA \leq 0.1$)且在根據導出之相依性對應於零疊對誤差放大之一焦點位置處操作(階段220)。

方法200可包括擷取在對應複數個焦點位置處的複數個度量目標影像(階段230)，估計擷取影像之一不準確度放大倍數(階段250)，藉由識別不準確度放大倍數相對於焦點位置之一正負號改變而判定一最佳對比位置(階段260)，及使度量工具在經判定最佳對比位置處操作(階段270)。可同

時執行擷取230 (階段240)且可藉由將至少兩個光束分離元件沿著度量工具之一收集路徑定位而執行同時擷取240 (階段242)，以提供具有不同收集路徑長度之複數個焦點位置(階段244)。在特定實施例中，方法200進一步包括在度量工具之一場平面處使用一光罩，其經組態作為焦點位置處之目標影像之一參考(階段246)。

方法200可包括導出一成像度量目標之一形貌相位對一測量波長之一相依性(階段280)，調整測量波長以使形貌相位成為 π 之一整數倍數(階段290)(例如，在 ± 10 nm之一範圍中)，且依經調整測量波長執行成像度量目標之成像度量測量(階段300)。

方法200可包括在一成像度量光學系統之一收集路徑中整合包括一參考信號之一可調整參考路徑(階段320)及調整參考信號之一相位以修改一成像度量目標之一形貌相位而使該形貌相位為 π 之一整數倍數(330)。可調整參考路徑可在光學系統中組態為一Linnik干涉儀，其具有等同於成像度量光學系統之一物鏡之一參考物鏡及一可調整鏡(階段322)。方法200可包括(例如)根據方程式12最小化來自至少兩個目標層之零階繞射信號與一階繞射信號之間的形貌相位之一差(階段332)。

方法200可包括：將至少兩個輔助單元加至一散射測量目標，該至少兩個輔助單元之週期性結構與散射測量目標中之週期性結構具有相同之一節距 p ，相對於彼此移位達 $\pm p/4$ 之週期性結構(階段340)；且根據方程式25藉由測量來自至少兩個輔助單元之繞射信號而測量散射測量目標之一形貌相位(階段350)。

方法200可包括導出一成像目標之一對比函數(階段360)，調整測量條件以修改導出之對比函數以具有一單一峰值(階段370)且依經調整測量

條件執行成像度量測量(階段375)。

方法200可包括藉由以下方式執行高形貌堆疊測量(階段380)：選擇收集及照明數值孔徑(NA)以具有小於 $2\lambda/P$ 之一總和(階段382)，可能最小化照明NA以增大場深(DOF)(階段384)；及/或整合多個焦點位置上之多個影像以平均化不對稱貢獻(階段386)。

可藉由至少一個電腦處理器(諸如(諸)處理器88)執行方法200之資料處理階段之任一者(階段390)。

在上文參考根據本發明之實施例之方法、裝置(系統)及電腦程式產品之流程圖圖解及/或部分圖描述本發明之態樣。將理解，可藉由電腦程式指令實施流程圖圖解及/或部分圖之各部分及流程圖圖解及/或部分圖中之部分之組合。此等電腦程式指令可經提供至一通用電腦、專用電腦或其他可程式化資料處理裝置之一處理器以產生一機器，使得經由電腦或其他可程式化資料處理裝置之處理器執行之指令產生用於實施流程圖及/或部分圖或其等之部分中指定之功能/行為之構件。

此等電腦程式指令亦可儲存於一電腦可讀媒體中，該等電腦程式指令可引導一電腦、其他可程式化資料處理裝置或其他器件依一特定方式作用，使得儲存於電腦可讀媒體中之指令產生包含實施流程圖及/或部分圖或其等之部分中指定之功能/動作之指令之一製品。

電腦程式指令亦可載入至一電腦、其他可程式化資料處理裝置或其他器件上以使一系列操作步驟在電腦、其他可程式化裝置或其他器件上執行以產生一電腦實施程序，使得在電腦或其他可程式化裝置上執行之指令提供用於實施流程圖及/或部分圖或其等之部分中指定之功能/動作之程序。

前述流程圖及圖繪示根據本發明之各種實施例之系統、方法及電腦程式產品之可能實施方案之架構、功能性及操作。就此而言，流程圖或部分圖中之各部分可表示程式碼之一模組、區段或部分，其包括用於實施(諸)指定邏輯功能之一或多個可執行指令。亦應注意，在一些替代實施方案中，部分中提及之功能可不按圖中提及之順序發生。舉例而言，事實上，取決於所涉及之功能性，依序展示之兩個部分可實質上同時執行或該等部分有時可按相反順序執行。亦將注意，可藉由執行指定功能或行為之基於專用硬體之系統或專用硬體及電腦指令之組合實施部分圖及/或流程圖圖解之各部分及部分圖及/或流程圖圖解中之部分的組合。

在上文描述中，一實施例係本發明之一實例或實施方案。「一項實施例」、「一實施例」、「特定實施例」或「一些實施例」之各種出現並未必皆係指相同實施例。儘管本發明之各種特徵可在一單一實施例之背景內容中描述，但該等特徵亦可單獨提供或以任何適當組合提供。相反地，儘管為簡明起見，在本文中本發明可在單獨實施例之背景內容中描述，但本發明亦可在一單一實施例中實施。本發明之特定實施例可包含來自上文所揭示之不同實施例之特徵，且特定實施例可併入來自上文所揭示之其他實施例之元件。在一特定實施例之背景內容中之本發明之元件之揭示內容並不被視為限制其等單獨用於特定實施例中。此外，應理解，可以各種方式實行或實踐本發明且可在除在以上描述中概述之實施例外之特定實施例中實施本發明。

本發明不限於該等圖或對應描述。舉例而言，流程不必移動穿過各繪示之框或狀態，或不必要完全按如所繪示且描述之相同順序移動。除非另定義，否則本文使用之技術及科學術語之含義將被本發明所屬領域之一般

技術者普遍理解。雖然本發明已相對於一有限數目之實施例描述，但此等實施例不應被解釋為對本發明之範疇之限制，而應被解釋為一些較佳實施例之例示。其他可能的變動、修改及應用亦在本發明之範疇內。因此，本發明之範疇不應為目前為止已描述之內容所限制，而應為隨附申請專利範圍及其等合法等效物所限制。

【符號說明】

71:照明路徑

79:收集路徑

80:偵測器

80A:偵測器

80B:偵測器

80C:偵測器

81:照明光

82:光學件/光學分離器

83:物鏡

84:光學件

85:度量工具

87:度量模組

88:處理器

89:偵測平面

89A:平面

90:成像目標

90A:單元

90B:單元

91A:下光柵

91B:下光柵

92:不對稱光柵

94:結構

94A:對稱矩形區域

95:零對比位置

105:最佳對比位置

110:光學系統

112:校準模組

115:零階阻擋器/空間濾光器

120:光瞳平面

130:光學總成

131A:第一偵測焦點位置

131B:偵測焦點位置

131C:偵測焦點位置

132:光束分離元件

133:光學件

134:光束分離元件

136:鏡

140:光罩

150:目標

151:元件

160:光學系統
161:偏光器
169:分析器
170:光學系統
171:照明源
172:光學件/聚焦透鏡
173:光學件/光束分離器
174:參考物鏡
175:可調整鏡
178:可調整參考路徑
179:衰減器
180:SCOL目標
185:輔助單元
185A:輔助單元
185B:輔助單元
200:方法
210:階段
220:階段
230:階段
240:階段
242:階段
244:階段
246:階段

250:階段

260:階段

270:階段

280:階段

290:階段

300:階段

320:階段

322:階段

330:階段

332:階段

340:階段

350:階段

360:階段

370:階段

375:階段

380:階段

382:階段

384:階段

386:階段

390:階段

NA_C:收集數值孔徑

NA_{IL}:照明數值孔徑

P_x:節距

Py:節距

X:測量方向

Y:方向

Z:方向

【發明申請專利範圍】

【請求項1】

一種在一成像度量工具之光學系統，該光學系統包括：

一第一光束分離器；

一照明源，其沿著一第一照明路徑在該第一光束分離器處投射光；

一物鏡；

一第二光束分離器，其沿著該第一光束分離器及該物鏡之間的該光之一路徑；

一第二照明路徑，其在該第二光束分離器處投射光且經由該第二光束分離器而與該物鏡相關聯；

一收集路徑，其來自該第二光束分離器及該物鏡且相對該第一光束分離器；及

一可調整參考路徑，其具有整合於該收集路徑中之一參考信號，其中該可調整參考路徑經組態以提供該參考信號之一可調整相位及該光學系統經組態以調整該參考信號之該可調整相位以修改一成像度量目標之一形貌(topographic)相位而為 π 之一整數倍數，其中該可調整參考路徑直接接收來自該第二光束分離器之光，且其中該可調整參考路徑與該照明源相關聯。

【請求項2】

如請求項1之光學系統，其中該可調整參考路徑包含一Linnik干涉儀，其具有等同於該光學系統之該物鏡之一參考物鏡及一可調整鏡。

【請求項3】

如請求項1之光學系統，其進一步包括一中性密度濾光器(neutral density filter)及/或鏡，其經組態以控制該參考信號之振幅。

【請求項4】

一種在一成像疊對度量工具之光學系統，該光學系統包括：

一第一光束分離器；

一照明源，其沿著一第一照明路徑在該第一光束分離器處投射光；

一主物鏡；

一第二光束分離器，其沿著該第一光束分離器及該主物鏡之間的該光之一路徑；

一第二照明路徑，其在該第二光束分離器處投射光且經由該第二光束分離器而與該主物鏡相關聯；

一收集路徑，其來自該第二光束分離器及該主物鏡且相對該第一光束分離器；及

一參考路徑，其具有可控制振幅及相位之一參考信號，該可控制振幅及相位經組態以最小化來自至少兩個目標層之零階繞射信號與一階繞射信號之間的形貌相位之一差，其中該參考路徑直接接收來自該第二光束分離器之光，且其中該參考路徑與該照明源相關聯。

【請求項5】

如請求項4之光學系統，其中該參考路徑係以一Linnik干涉儀組態併入於該光學系統中。

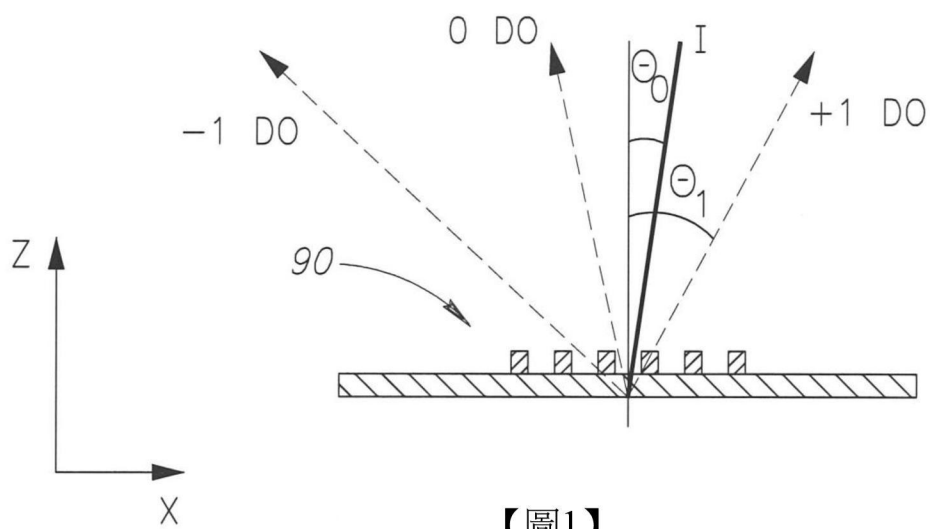
【請求項6】

如請求項4之光學系統，其中根據以下之方程式而執行該最小化：

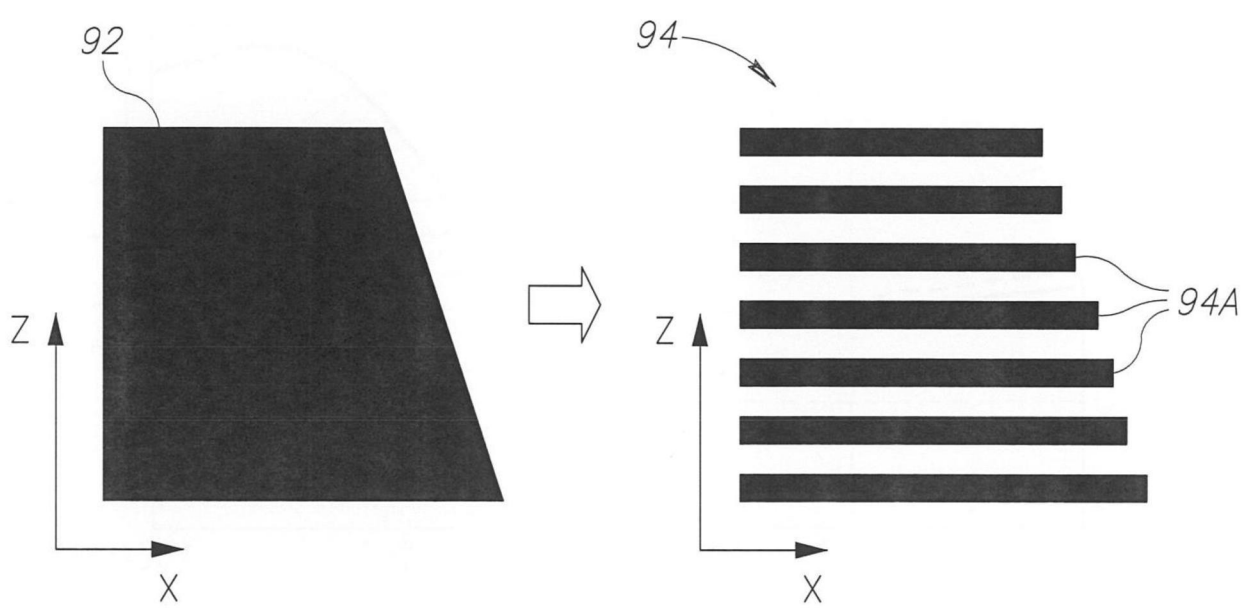
$$\min\left\{\left[\frac{A \cdot \sin\alpha + C \cdot \sin\gamma}{A \cdot \cos\alpha + C \cdot \cos\gamma} - \operatorname{tg}(\varphi_1)\right]^2 + \left[\frac{B \cdot \sin\beta + C \cdot \sin\gamma}{B \cdot \cos\beta + C \cdot \cos\gamma} - \operatorname{tg}(\varphi_2)\right]^2\right\}$$

其中 α 分別係該照明源之一雜訊性質； β 係一偵測器之一雜訊性質； φ_1 係一第一光柵之一第一繞射階之一形貌相位； φ_2 係一第二光柵之一第一繞射階之一形貌相位； g 係一光瞳座標； A 係反射自該晶圓之一第一層之零繞射階之一相干(coherent)總和； B 係反射自該晶圓之一第二層之零繞射階之一相干總和；及 C 係反射自一參考鏡之一零繞射階。

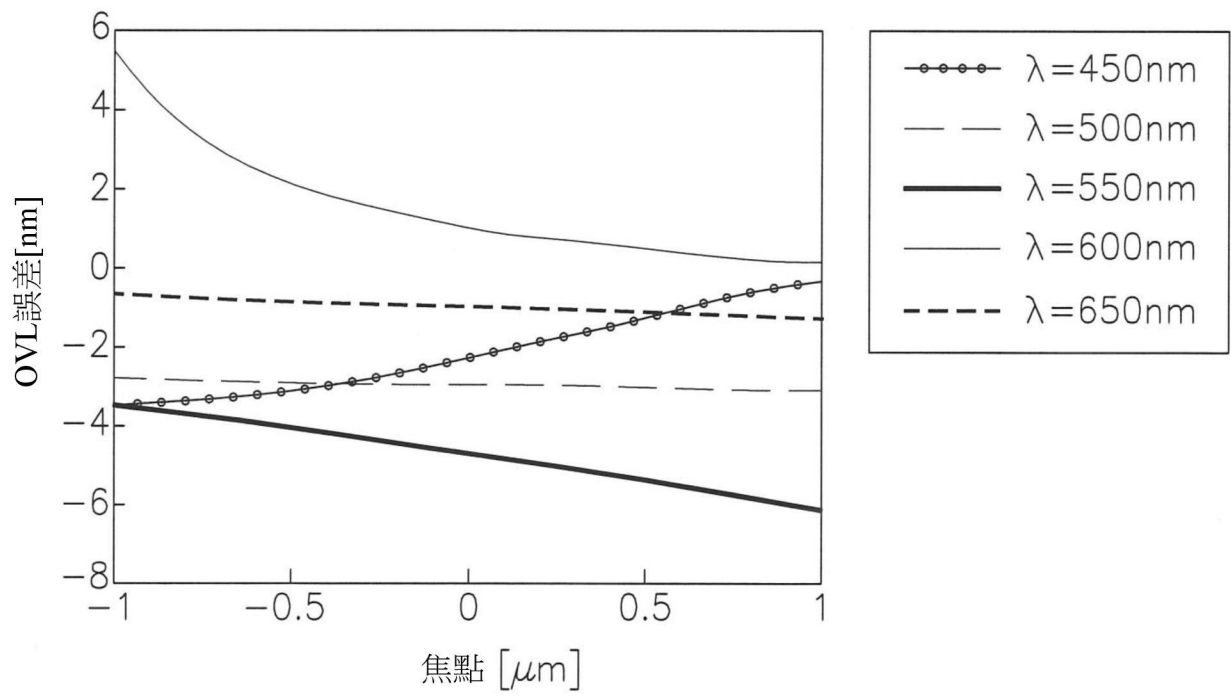
【發明圖式】



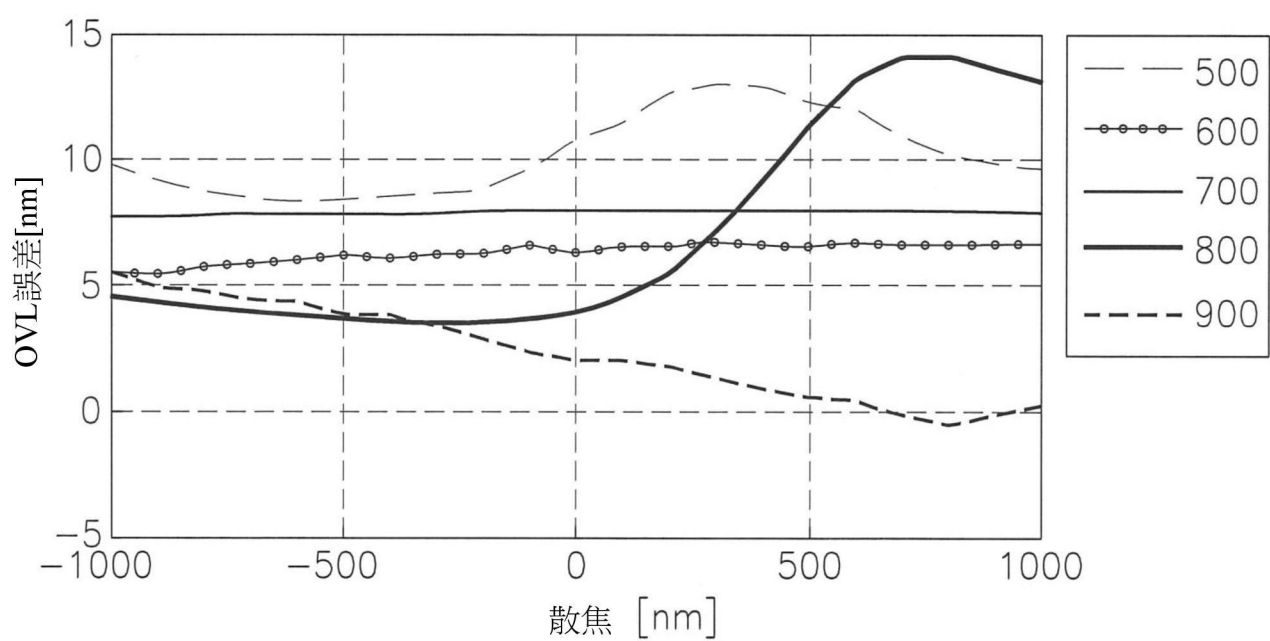
【圖1】



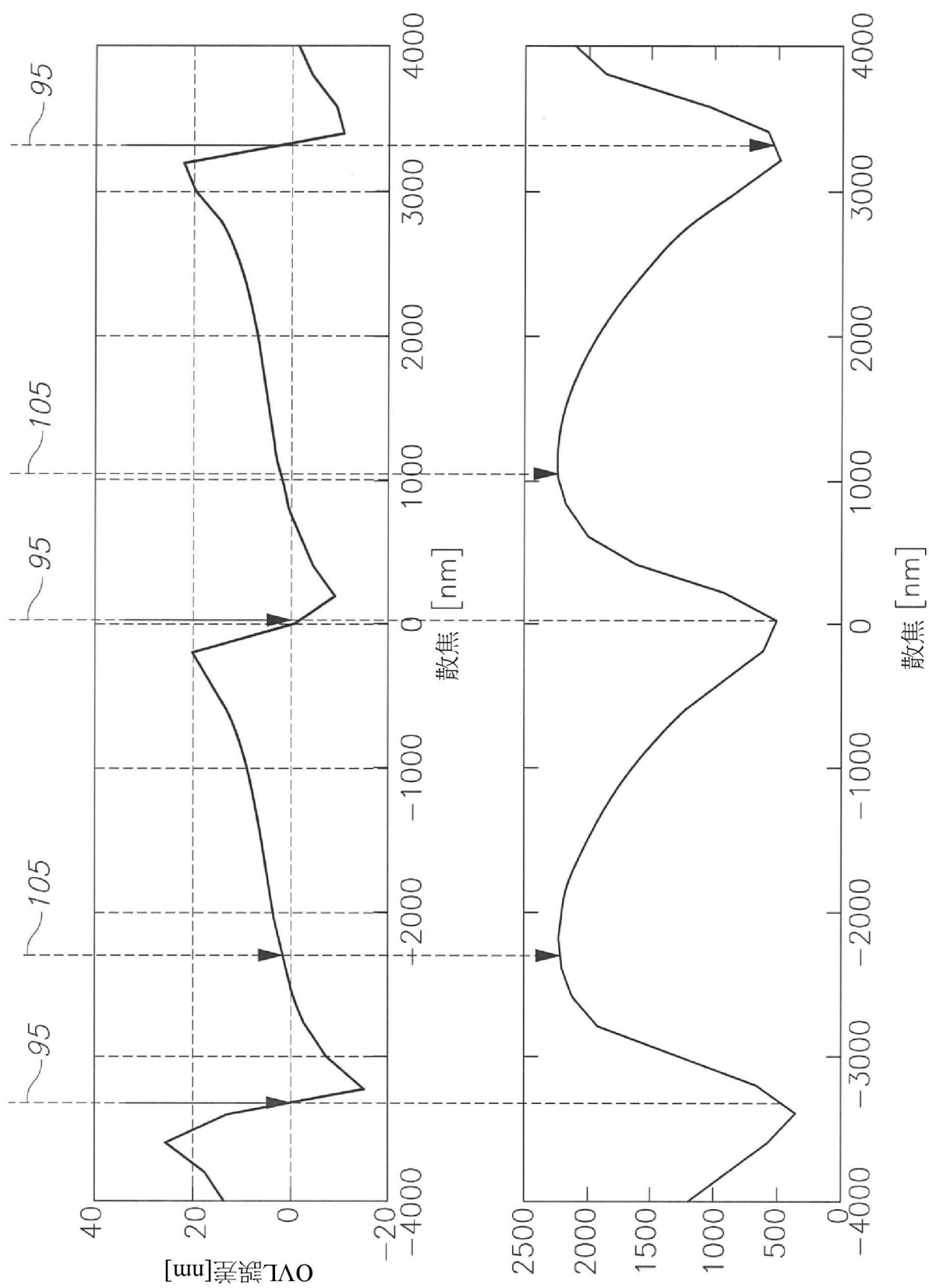
【圖2A】



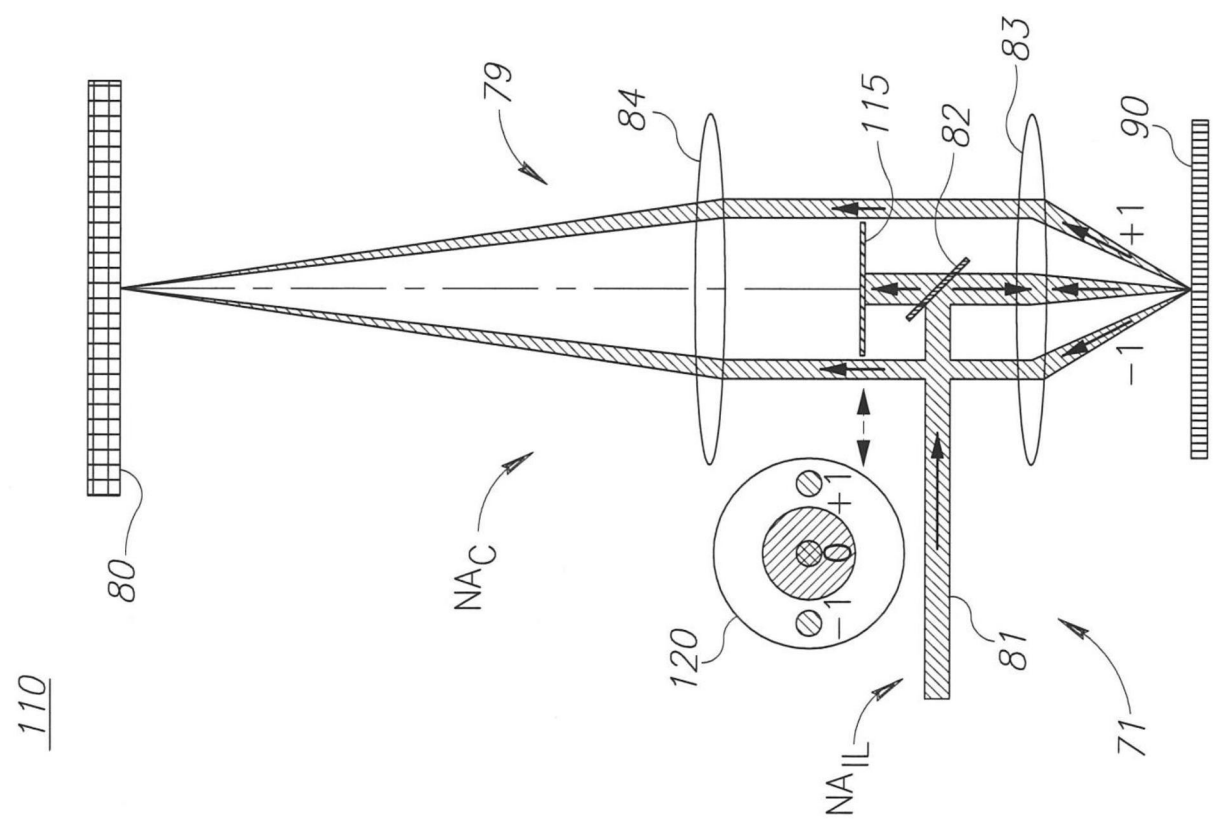
【圖2B】



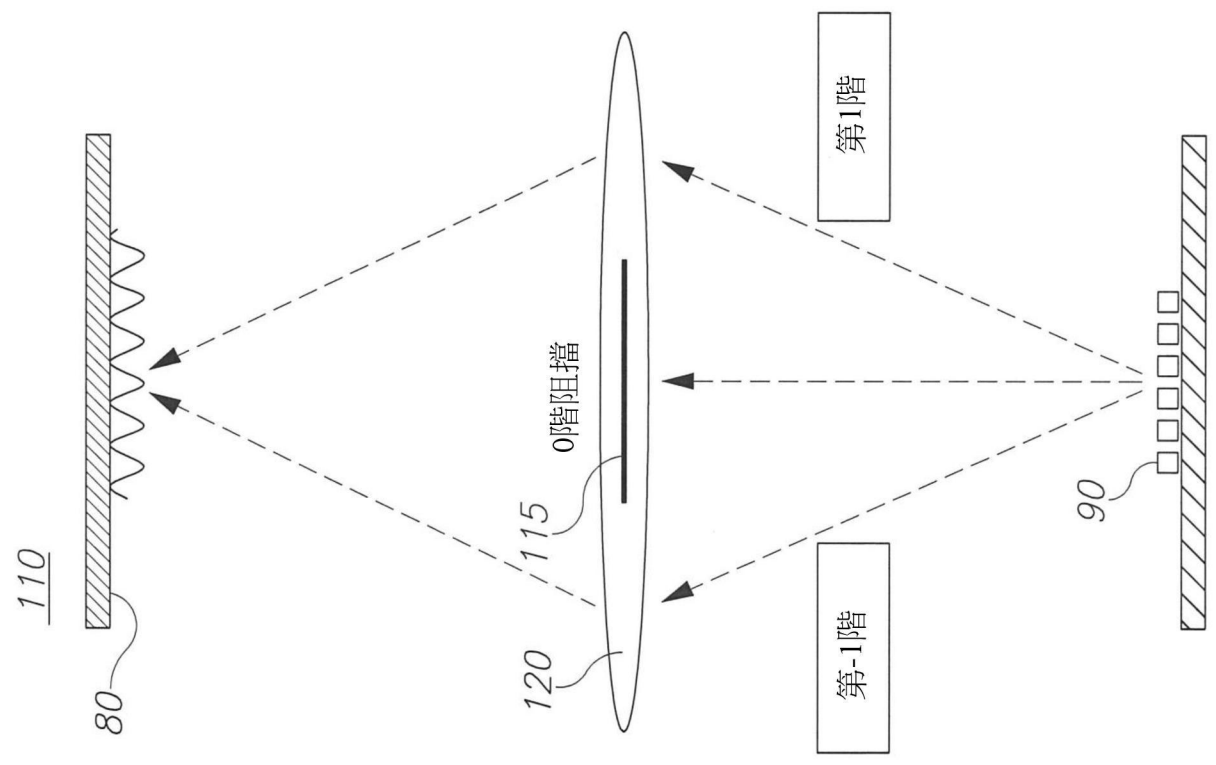
【圖2C】

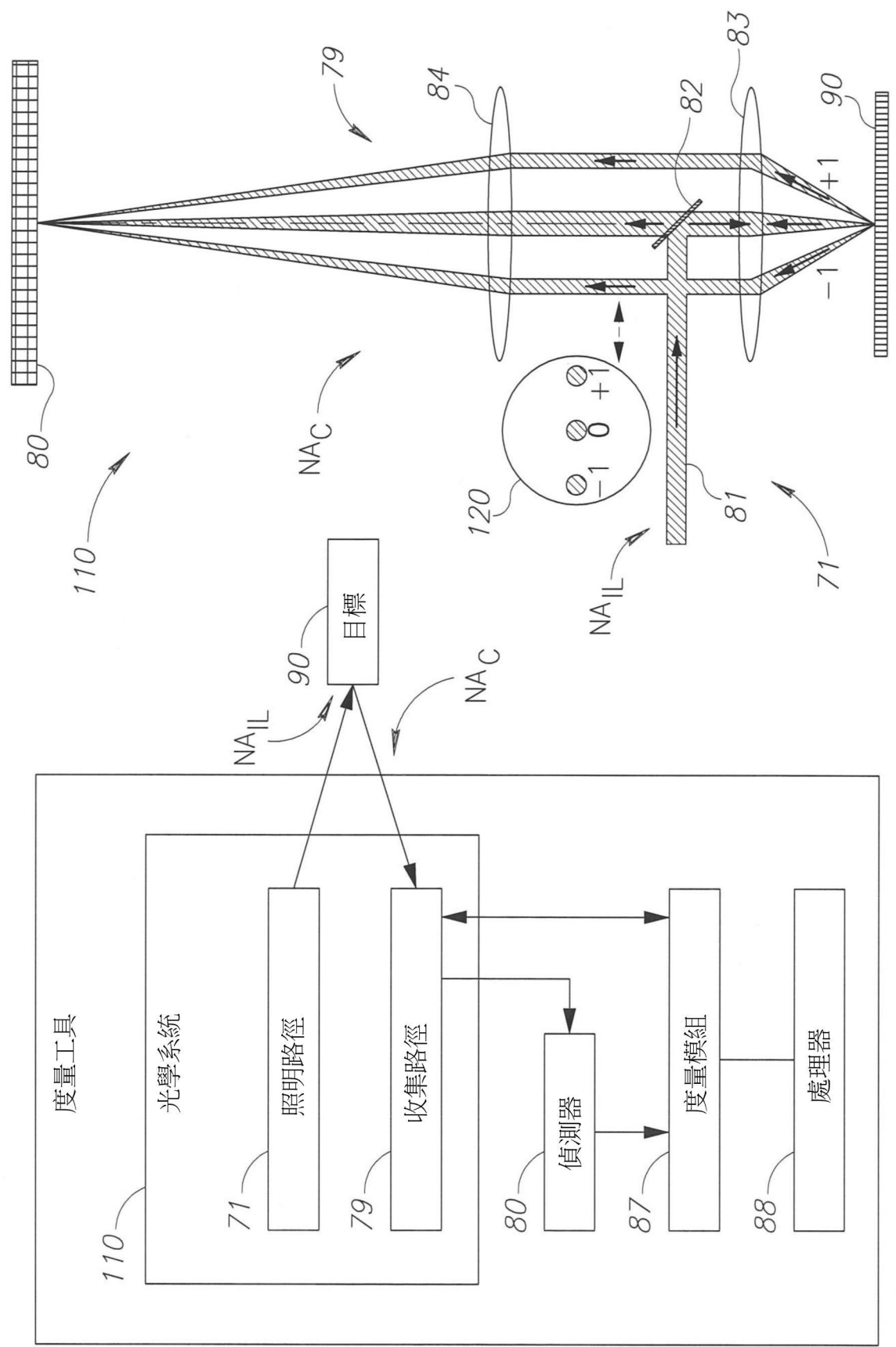


【圖2D】



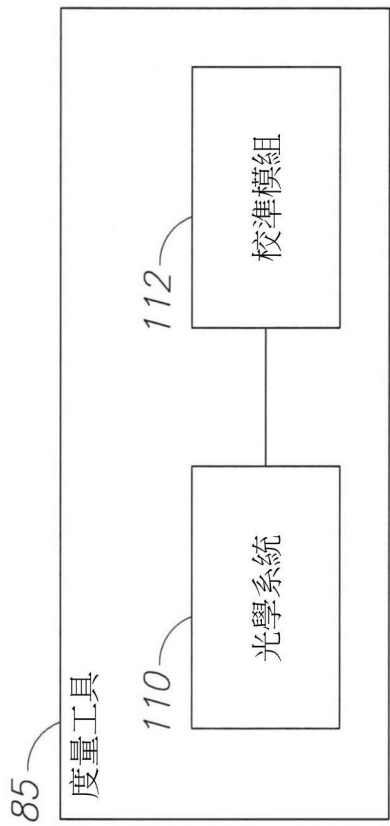
【圖3A】



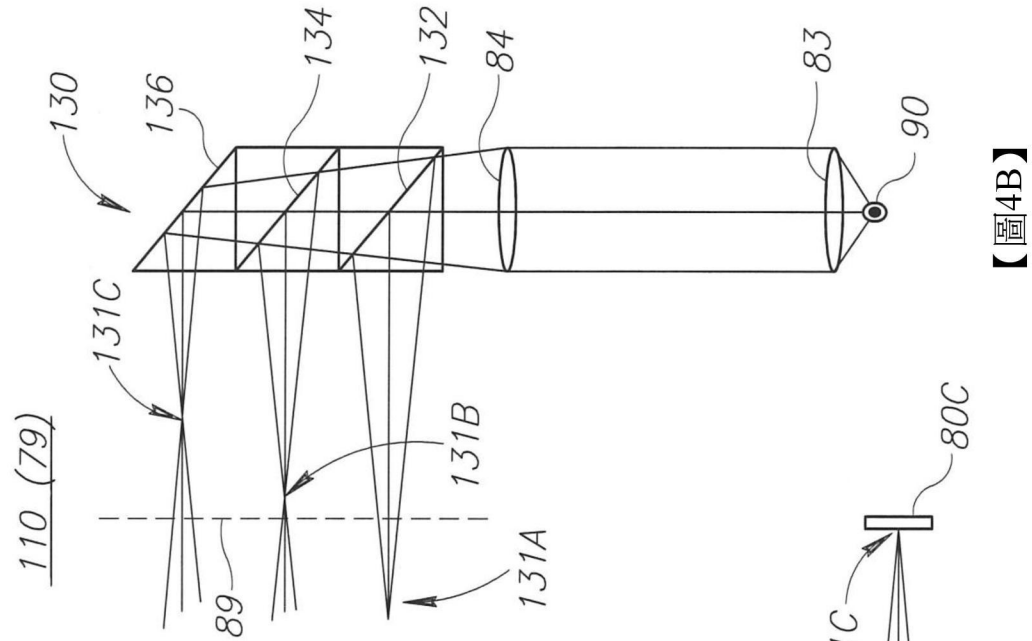


【圖3C】

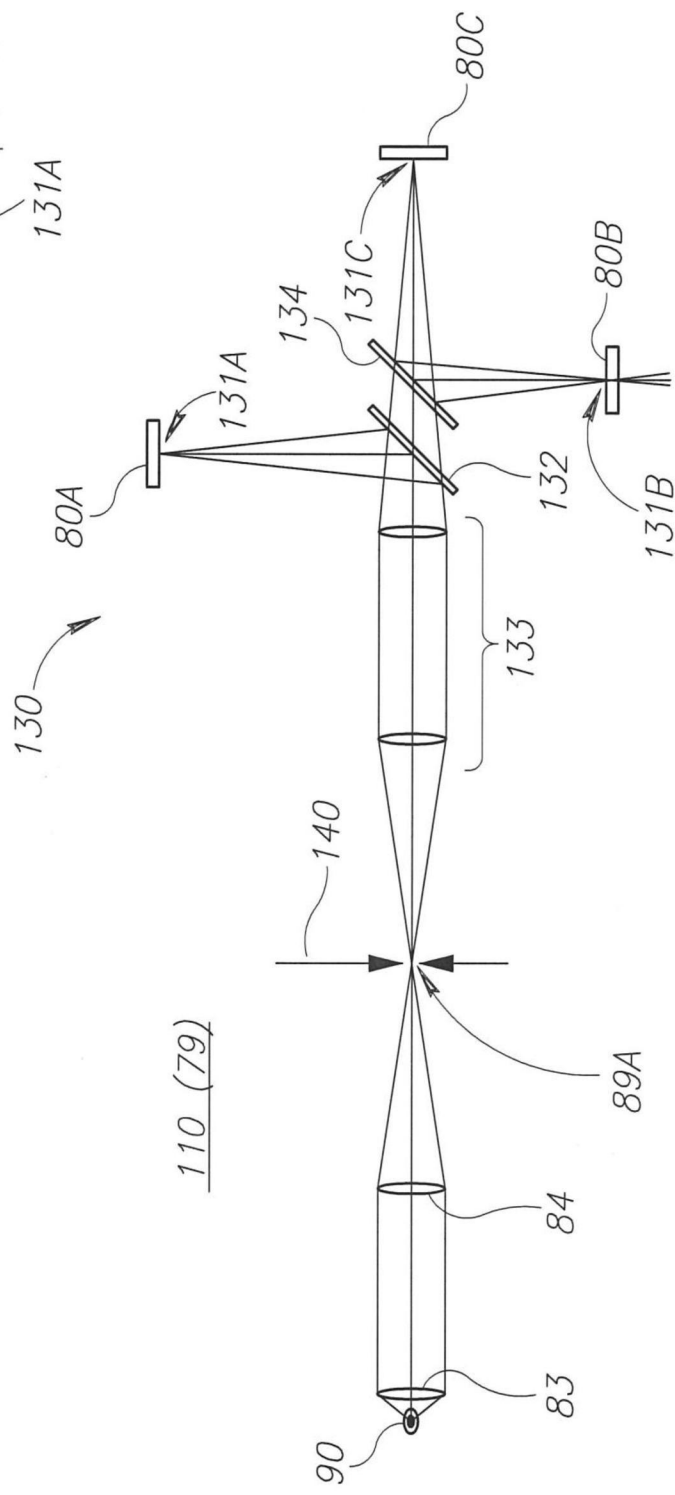
【圖3B】



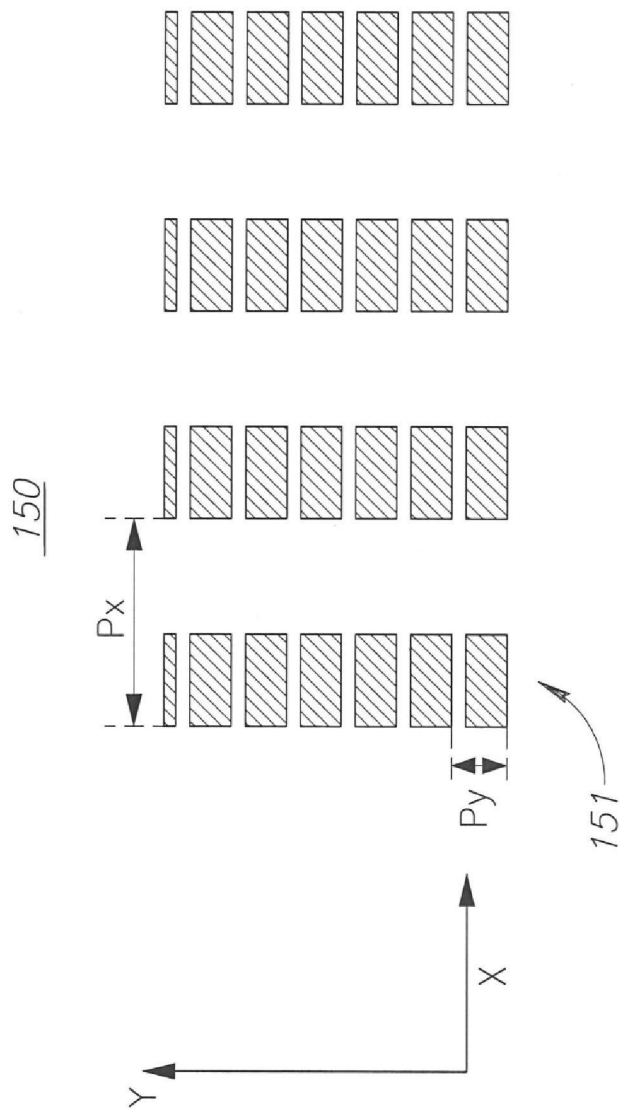
【圖4A】



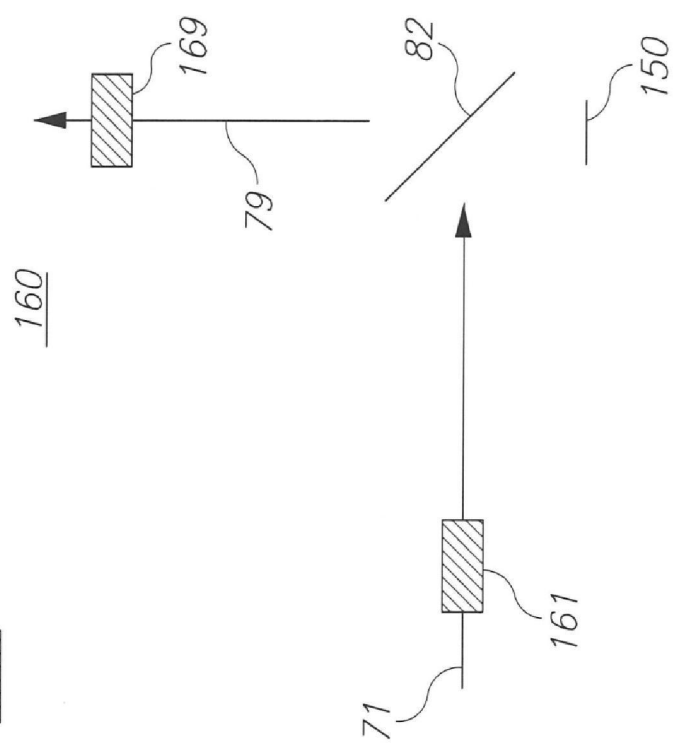
【圖4B】



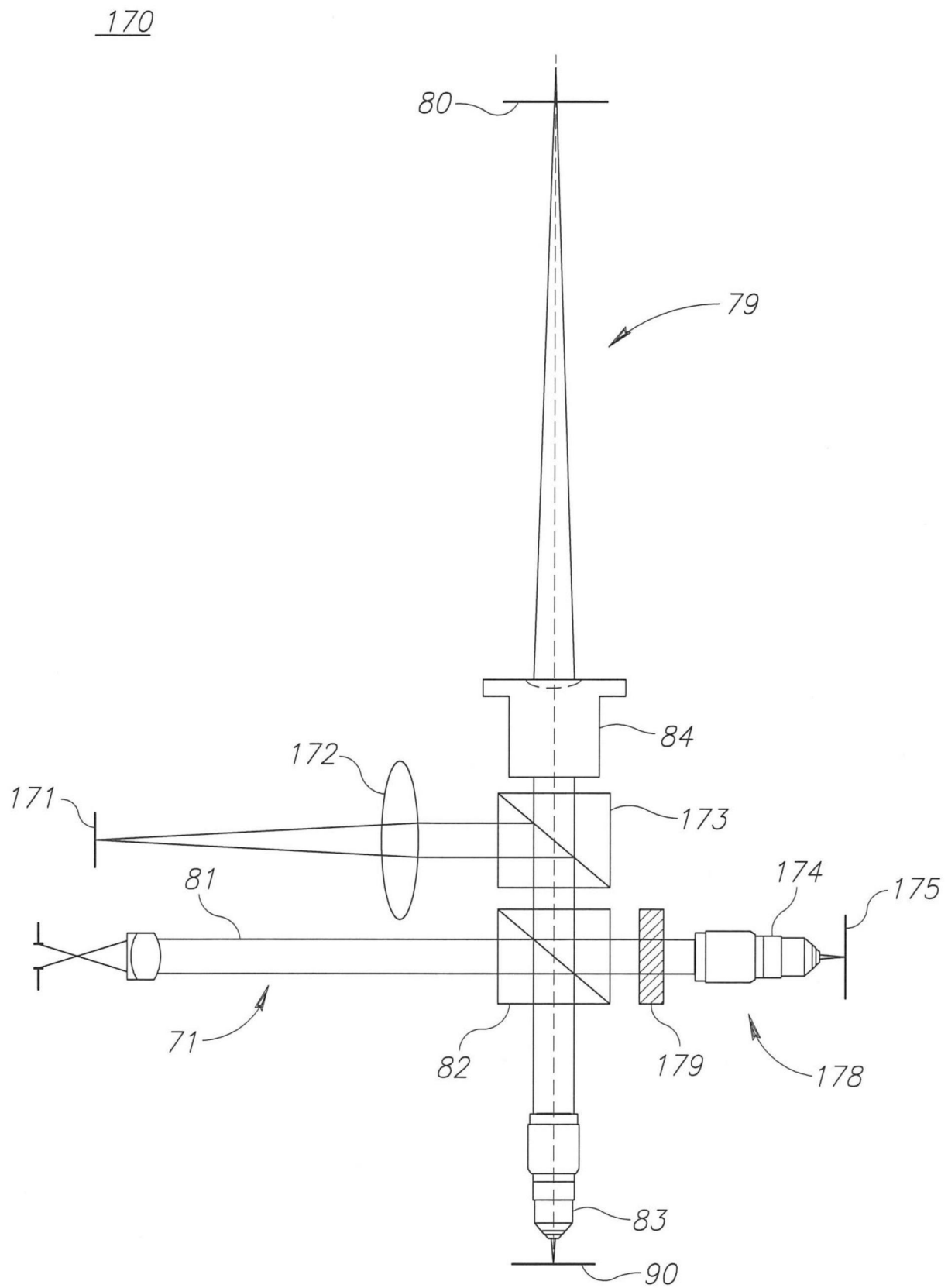
【圖4C】



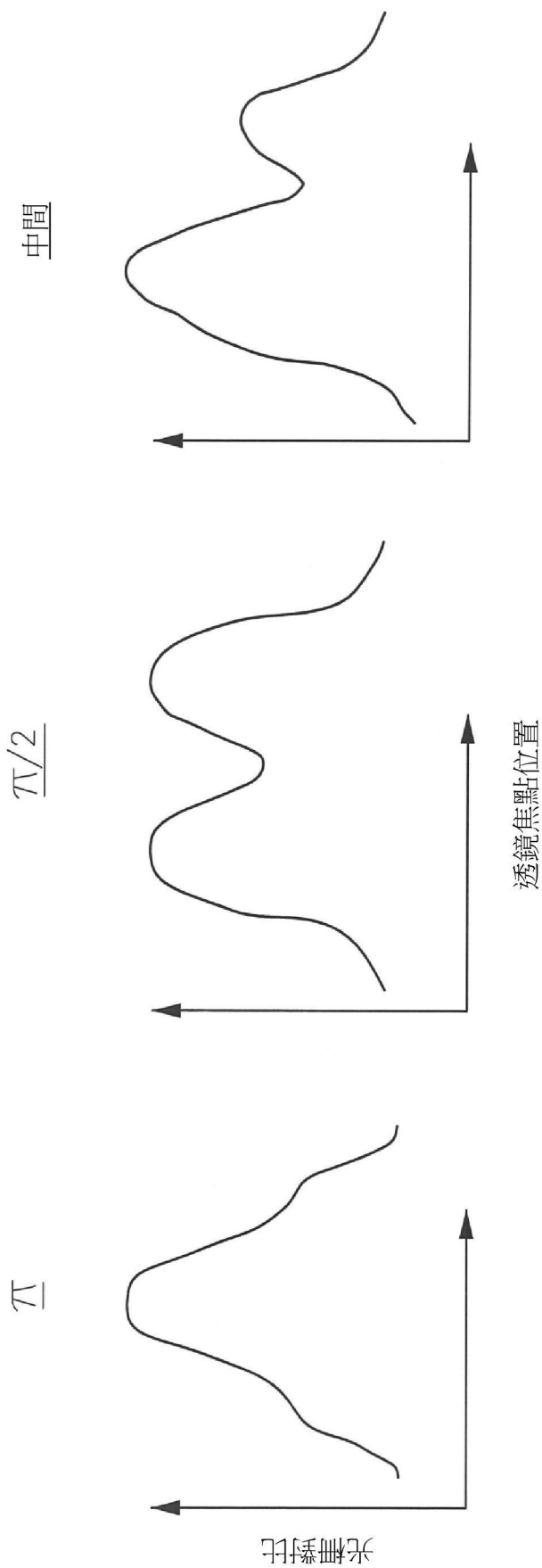
【圖5A】



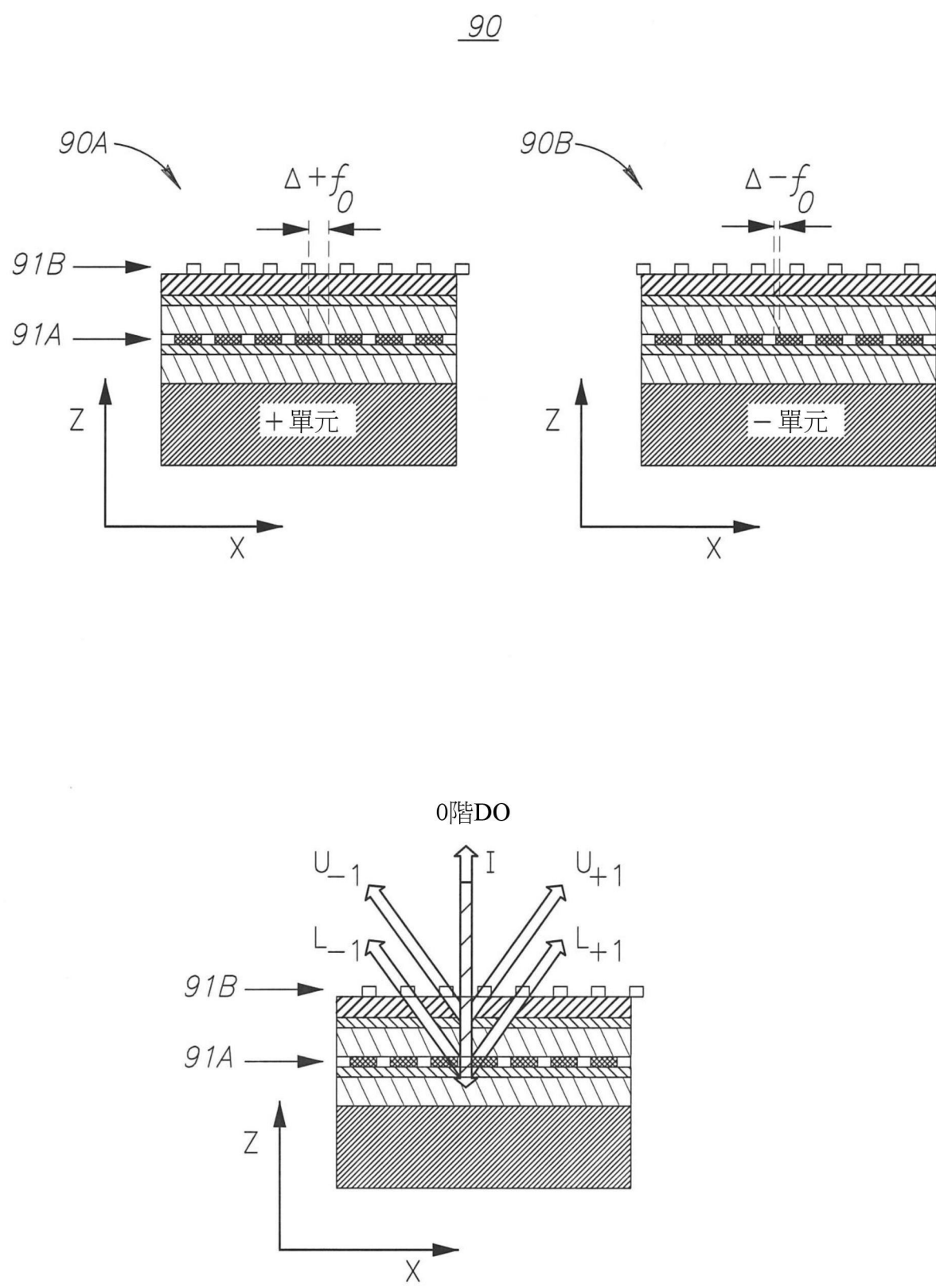
【圖5B】



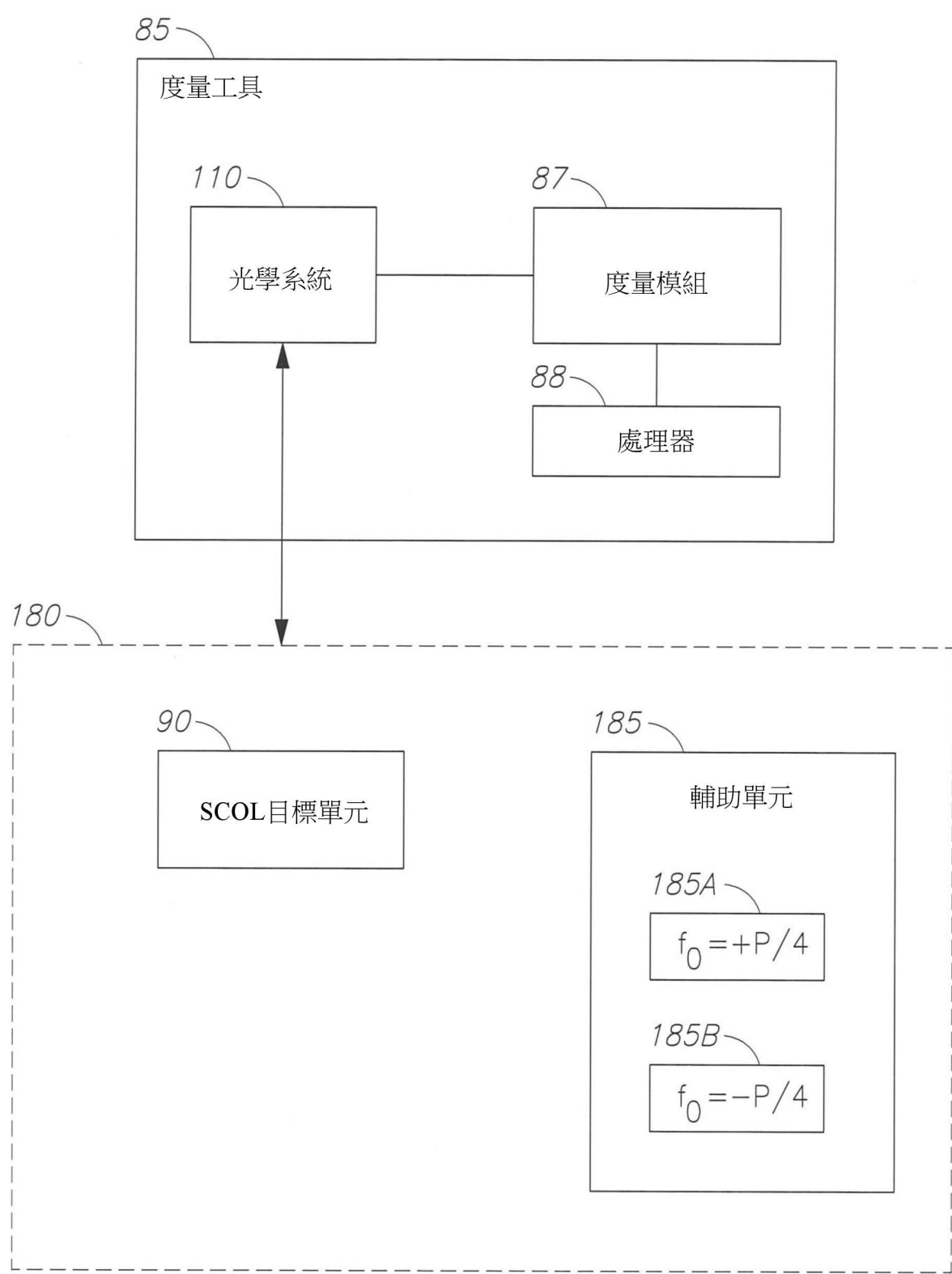
【圖6】



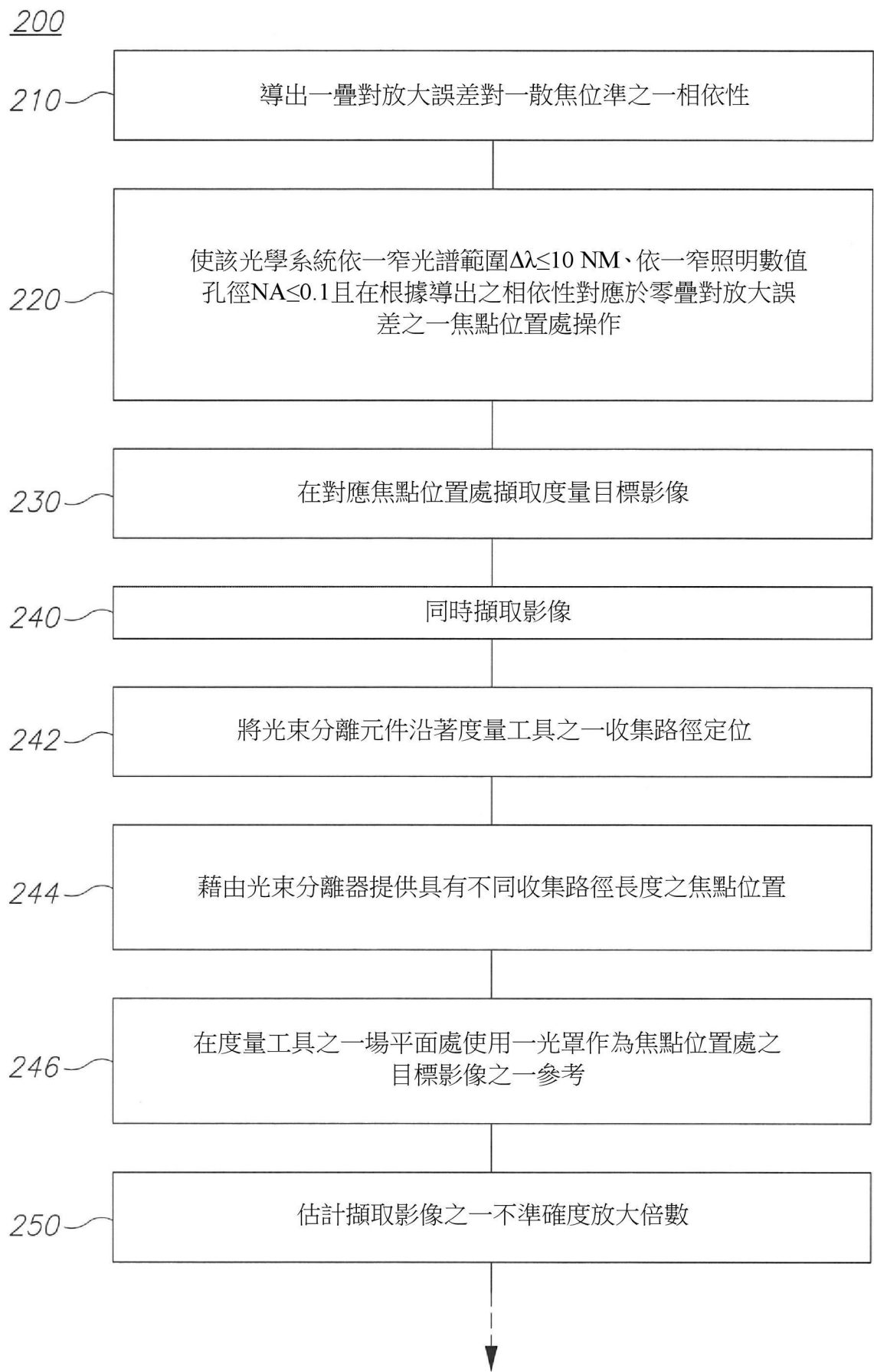
【圖7】



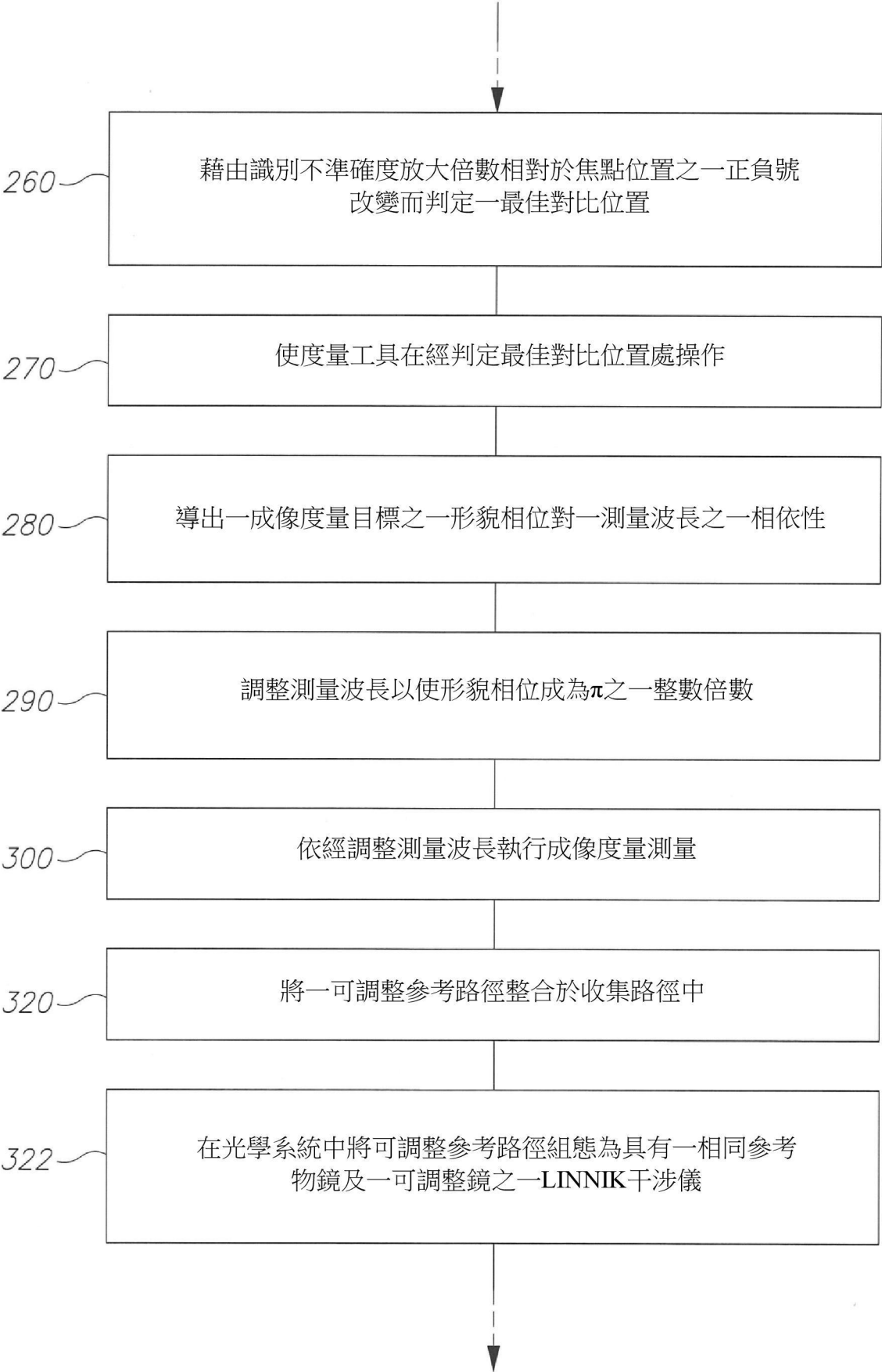
【圖8】



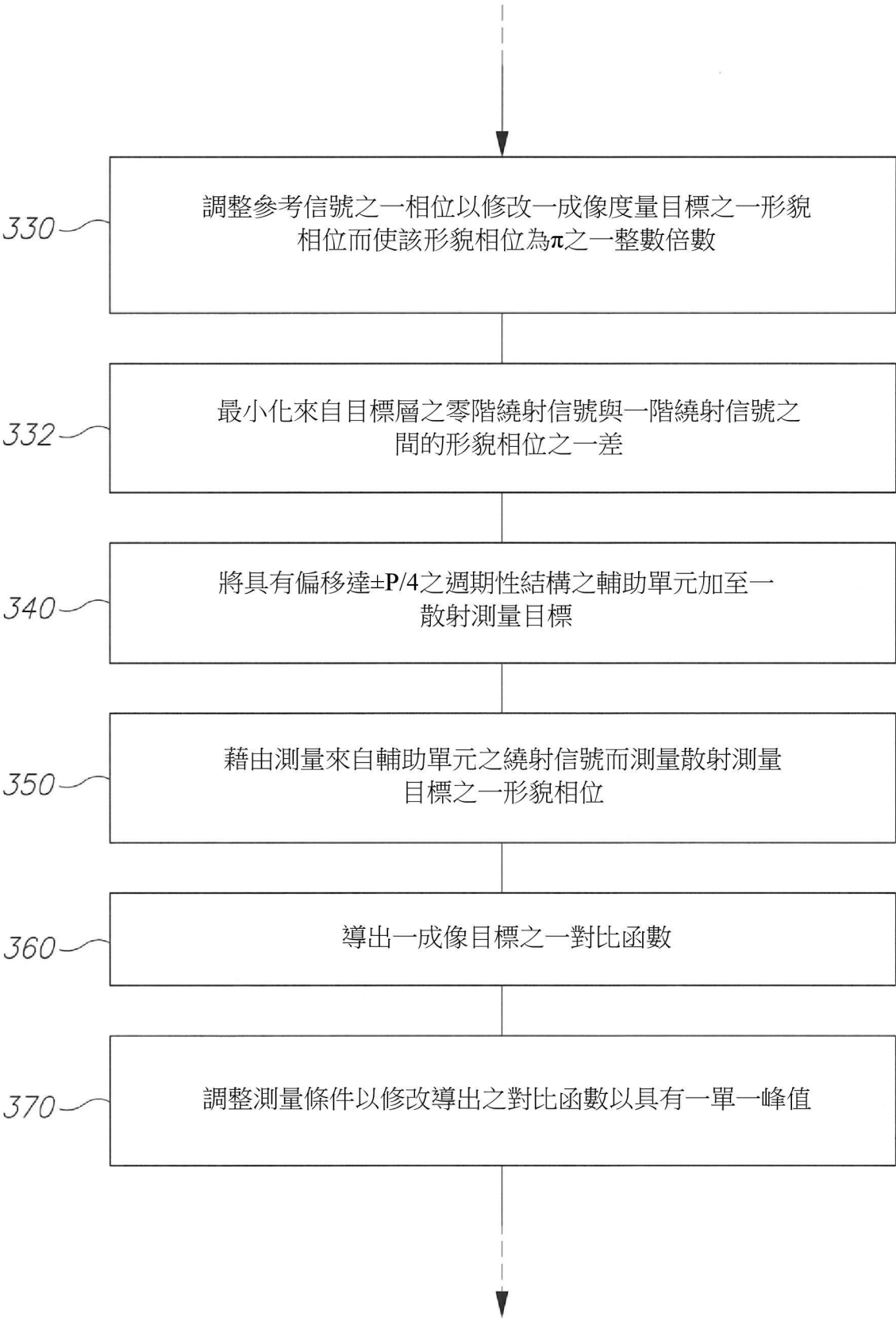
【圖9】



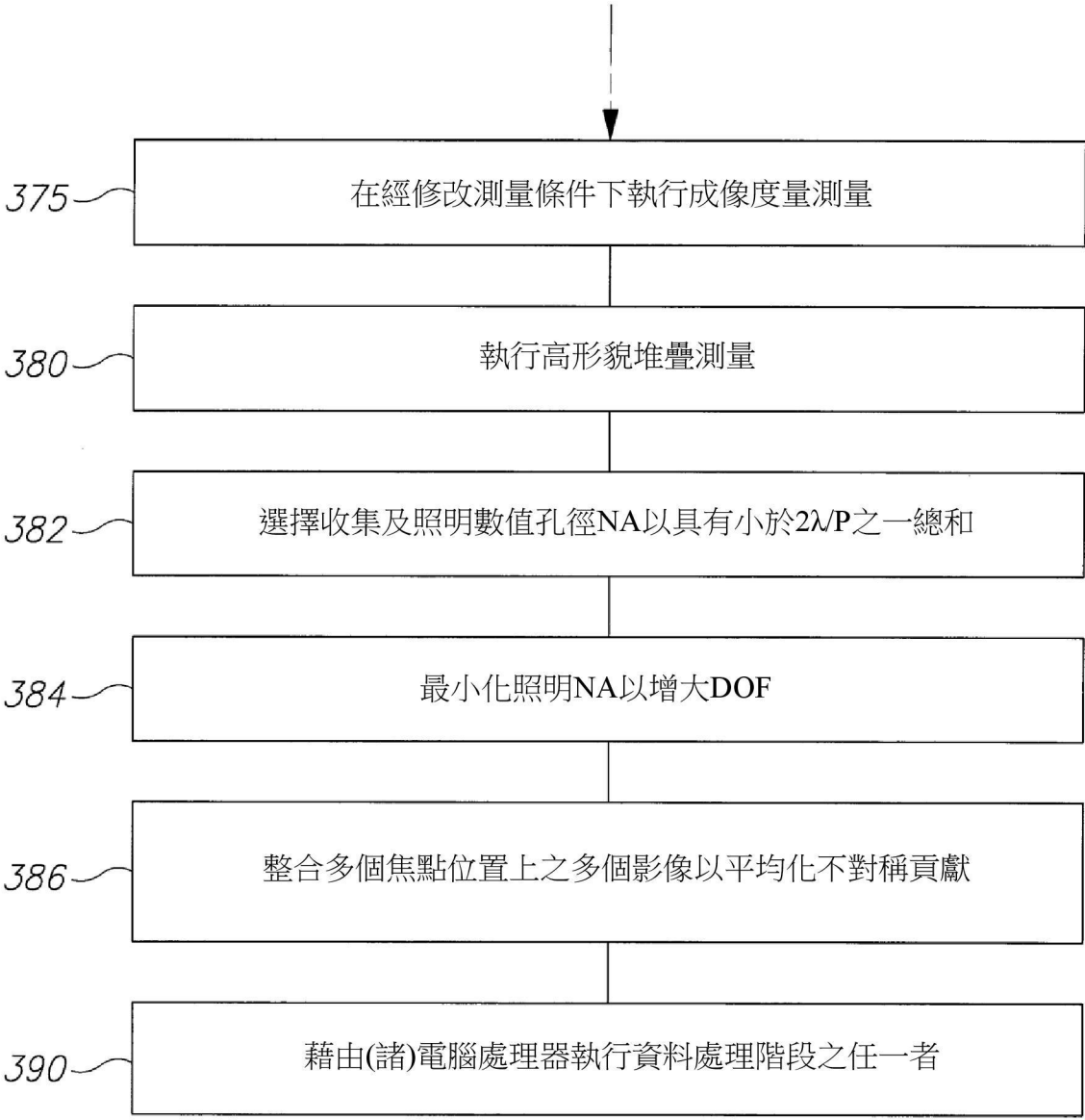
【圖10】



【圖10】(續1)



【圖10】(續2)



【圖10】(續3)