



(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 I784265 B

(45) 公告日：中華民國 111 (2022) 年 11 月 21 日

(21) 申請案號：109113961

(22) 申請日：中華民國 109 (2020) 年 04 月 24 日

(51) Int. Cl. : **G01B11/00 (2006.01)****G02B27/42 (2006.01)****G02B27/44 (2006.01)**

(30) 優先權：2019/04/26

中國大陸

201910344621.4

(71) 申請人：大陸商上海微電子裝備（集團）股份有限公司（中國大陸）SHANGHAI MICRO ELECTRONICS EQUIPMENT(GROUP)CO., LTD. (CN)

中國大陸

(72) 發明人：吳萍 WU, PING (CN)

(74) 代理人：鄒純忻

(56) 參考文獻：

TW 200912385A

CN 106931887A

CN 107664482A

US 2018/0181006A1

審查人員：張耕誌

申請專利範圍項數：25 項 圖式數：8 共 53 頁

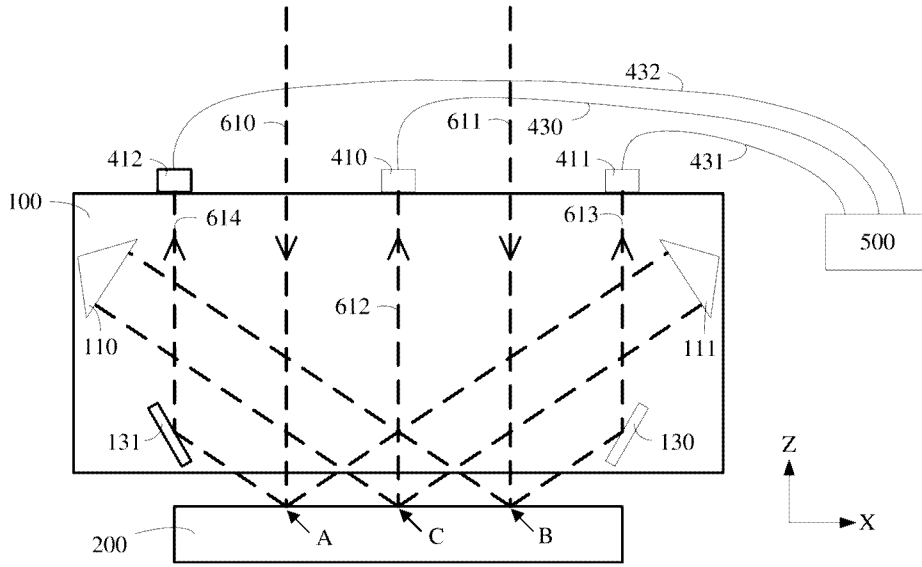
(54) 名稱

位移測量裝置、位移測量方法及光刻設備

(57) 摘要

本發明提供位移測量裝置、位移測量方法及光刻設備，所述位移測量裝置包括光源模組、衍射元件、讀頭組件、光探測模組以及信號分析模組，其中讀頭組件用於接收光源模組產生的兩個輸入光束，並引導它們平行地接觸衍射元件並均發生衍射，然後引導並組合經衍射的輸入光束以形成至少一個輸出光束，每個輸出光束包括從衍射元件的同一光斑位置出射且方向一致的分別對應於兩個輸入光束的衍射光信號，根據每個所述輸出光束的干涉信號的相位變化信息可以獲得所述衍射元件的位移信息。上述位移測量裝置以及位移測量方法可實現不同方向的獨立位移測量，並且有助於實現寬角度適應的位移測量，減小非線性誤差。所述光刻設備包括該位移測量裝置。

指定代表圖：



第 4 圖

符號簡單說明：

- 100: 讀頭組件
- 110: 第一反向回射元件
- 111: 第二反向回射元件
- 130: 第一反射元件
- 131: 第二反射元件
- 200: 衍射元件
- 410: 第三光探測模組
- 411: 第一光探測模組
- 412: 第二光探測模組
- 430: 第三信號傳輸光纖
- 431: 第一信號傳輸光纖
- 432: 第二信號傳輸光纖
- 500: 信號分析模組
- 610: 第一輸入光束
- 611: 第二輸入光束
- 612: 第三輸出光束
- 613: 第一輸出光束
- 614: 第二輸出光束



I784265

【發明摘要】

【中文發明名稱】 位移測量裝置、位移測量方法及光刻設備

【中文】

本發明提供位移測量裝置、位移測量方法及光刻設備，所述位移測量裝置包括光源模組、衍射元件、讀頭組件、光探測模組以及信號分析模組，其中讀頭組件用於接收光源模組產生的兩個輸入光束，並引導它們平行地接觸衍射元件並均發生衍射，然後引導並組合經衍射的輸入光束以形成至少一個輸出光束，每個輸出光束包括從衍射元件的同一光斑位置出射且方向一致的分別對應於兩個輸入光束的衍射光信號，根據每個所述輸出光束的干涉信號的相位變化信息可以獲得所述衍射元件的位移信息。上述位移測量裝置以及位移測量方法可實現不同方向的獨立位移測量，並且有助於實現寬角度適應的位移測量，減小非線性誤差。所述光刻設備包括該位移測量裝置。

【指定代表圖】 第4圖

【代表圖之符號簡單說明】

100:讀頭組件

110:第一反向回射元件

111:第二反向回射元件；

130:第一反射元件

131:第二反射元件

200:衍射元件

410:第三光探測模組

411:第一光探測模組

412:第二光探測模組

430:第三信號傳輸光纖

431:第一信號傳輸光纖

432:第二信號傳輸光纖

500:信號分析模組

610:第一輸入光束

611:第二輸入光束

612:第三輸出光束

613:第一輸出光束

614:第二輸出光束

【特徵化學式】無。

【發明說明書】

【中文發明名稱】 位移測量裝置、位移測量方法及光刻設備

【技術領域】

【0001】 本發明涉及位移測量技術領域，特別涉及一種位移測量裝置、一種位移測量方法以及一種光刻設備。

【先前技術】

【0002】 在精密機械的製造、加工和應用過程中，均需要對位移敏感的測量裝置或者感應裝置的配合，例如目前在積體電路（IC）、精密機械、微機電系統等領域都需要設置高分辨率、高精度的位移測量裝置（或者位移感應器）。以積體電路為例，隨著積體電路朝大規模、高整合度的方向飛躍發展，光刻機的套刻精度要求也越來越高，與之相應地，獲取工件台、遮罩台位置信息的精度也隨之提高。

【0003】 奈米測量技術包括奈米尺度的位移測量，近年來得到迅速發展。奈米測量方法包括光學方法和非光學方法。其中，光學方法是利用波長很短的雷射或X射線的干涉條紋測量，可以實現奈米量級的測量分辨率。然而，傳統干涉儀的測量精度受周圍環境影響（比如溫度、壓力等因素變化導致的測量誤差）較大，測量重複精度不高，難以滿足光刻機進一步提高套刻精度的要求。

【0004】 光柵尺（或光柵尺位移感應器）是一種利用光柵的光學原理工作的測量反饋裝置，可用作直線位移或者角位移的檢測，相比之下，利用光柵尺測量的光程和測量範圍無關，可以做到很小，測量光程通常為幾毫米，因此它

的測量精度對環境影響不敏感，具有測量穩定性高，結構簡單，易於小型化的特點，使其在奈米測量領域佔據重要的一席之地。在新一代光刻系統中已開始逐漸取代干涉儀，承擔高精度、高穩定性皮米精度測量任務。

【0005】 但是，習知基於光柵尺的位移測量系統仍然存在諸如水平方向和垂直方向的位移測量不獨立（存在耦合關係，需要算法解耦）、角度容差小以及讀頭中較多的共光路結構導致非線性誤差較大等問題。

【發明內容】

【0006】 為了實現寬角度適應的位移測量，使不同方向的位移測量相互獨立，減小非線性誤差，本發明提供了一種位移測量裝置。另外還提供了一種位移測量方法以及包括所述位移測量裝置的一種光刻設備。

【0007】 根據本發明的一個方面，提供了一種位移測量裝置，包括：

【0008】 光源模組，用於產生第一輸入光束和第二輸入光束；

【0009】 衍射元件，包括光接觸面以及沿平行於所述光接觸面的方向排布的多個重複衍射單元；

【0010】 讀頭組件，包括至少兩個反向回射元件，所述讀頭組件用於接收所述第一輸入光束和所述第二輸入光束，並引導所述第一輸入光束和所述第二輸入光束平行地接觸所述衍射元件的光接觸面並均發生衍射，然後所述至少兩個反向回射元件引導經衍射的第一輸入光束和第二輸入光束中的至少一者，使其與另一者組合形成至少一個輸出光束，每個所述輸出光束包括從所述衍射元件的光接觸面內的同一光斑位置出射且方向一致的、分別對應於所述第一輸入光束和所述第二輸入光束的衍射光信號；

【0011】 光探測模組，用於檢測每個所述輸出光束；以及

【0012】 信號分析模組，與所述光探測模組連接，用於根據每個所述輸出光束產生的干涉信號的相位變化信息獲得所述衍射元件的位移信息。

【0013】 可選的，所述讀頭組件引導所述第一輸入光束和所述第二輸入光束平行地接觸所述衍射元件的光接觸面時，所述第一輸入光束在第一光斑位置發生一次衍射，所述第二輸入光束在第二光斑位置發生一次衍射，所述第一輸入光束的一次衍射光束經所述反向回射元件和所述衍射元件來回反射後，在所述第二光斑位置與所述第二輸入光束的一次衍射光束至少部分重合並沿同一方向出射而形成第一輸出光束；所述第一輸出光束的干涉信號的相位變化信息反映了所述衍射元件沿光接觸面的法線方向上的垂向自由度的第一位移信息。

【0014】 可選的，所述讀頭組件引導所述第一輸入光束和所述第二輸入光束平行地接觸所述衍射元件的光接觸面時，所述第一輸入光束在第一光斑位置發生一次衍射，所述第二輸入光束在第二光斑位置發生一次衍射，所述第二輸入光束的一次衍射光束經所述反向回射元件和所述衍射元件來回反射後，在所述第一光斑位置與所述第一輸入光束的一次衍射光束至少部分重合並沿同一方向出射而形成第二輸出光束；所述第二輸出光束的干涉信號的相位變化信息反映了所述衍射元件沿光接觸面的法線方向上的垂向自由度的第二位移信息。

【0015】 可選的，所述第一輸出光束和所述第二輸出光束均包括衍射級次方向相同且位於同一衍射階且分別對應於所述第一輸入光束和所述第二輸入光束的一次衍射光信號；所述第一輸出光束與所述第二輸出光束的干涉相位相反。

【0016】 可選的，所述第一輸出光束包括所述第一輸入光束和所述第二輸入光束的+1衍射階一次衍射光信號，所述第二輸出光束包括所述第一輸入光束和所述第二輸入光束的-1衍射階一次衍射光信號。

【0017】可選的，所述信號分析模組還用於根據所述第一輸出光束和所述第二輸出光束的干涉信號的相位變化信息，獲得所述衍射元件沿以光接觸面內的軸偏轉的轉動自由度的位移信息。

【0018】可選的，所述讀頭組件引導所述第一輸入光束和所述第二輸入光束平行地接觸所述衍射元件的光接觸面後，所述第一輸入光束和所述第二輸入光束的一次衍射光束分別藉由所述反向回射元件回射並再次接觸所述衍射元件，並均發生二次衍射，所述第一輸入光束和所述第二輸入光束的二次衍射光束在所述衍射元件的第三光斑位置至少部分重合並沿同一方向出射而形成第三輸出光束；所述第三輸出光束的干涉信號的相位變化信息反映了所述衍射元件沿平行於所述光接觸面方向的水平自由度的第三位移信息。

【0019】可選的，所述衍射元件為一維光柵或二維光柵。

【0020】可選的，所述反向回射元件選自角錐稜鏡、直角稜鏡、貓眼反射器和道威稜鏡中的一種。

【0021】可選的，所述讀頭組件包括光束角度控制器。

【0022】可選的，所述光束角度控制器選自單個的楔角片、楔角片對、衍射光柵以及雙折射元件中的一種。

【0023】可選的，所述第一輸入光束和所述第二輸入光束為頻率不同的雷射束。

【0024】可選的，所述光源模組包括光纖傳輸雙頻雷射器；在沿平行方向接觸所述衍射元件前，所述讀頭組件還用於對接收到的所述第一輸入光束和所述第二輸入光束分別進行分光併合光以形成一遠程參考光束。

【0025】可選的，所述光源模組包括自由空間雙頻雷射器和分光元件，其中，所述自由空間雙頻雷射器用於產生雙頻光束，所述分光元件用於將所述雙頻光束分成兩個偏振方向正交的光束。

【0026】可選的，所述光源模組或所述讀頭組件包括偏振控制元件，所述偏振控制元件用於使每個所述輸出光束中分別對應於所述第一輸入光束和所述第二輸入光束的所述多個衍射光信號在進入所述光探測模組時的偏振方向相同。

【0027】可選的，所述第一輸入光束和所述第二輸入光束為頻率相同的雷射束。

【0028】可選的，所述光源模組或所述讀頭組件包括偏振控制元件，所述偏振控制元件用於使每個所述輸出光束中分別對應於所述第一輸入光束和所述第二輸入光束的所述多個衍射光信號在進入所述光探測模組時的偏振方向正交。

【0029】可選的，所述讀頭組件形成至少四個輸出光束，所述光探測模組在檢測到所述至少四個輸出光束後，還用於對每個所述輸出光束的干涉信號進行移相，以輸出依次相差90度的四路所述輸出光束。

【0030】根據本發明的另一方面，提供了一種位移測量方法，包括以下步驟：

【0031】提供一衍射元件，包括光接觸面以及沿平行於所述光接觸面的方向排布的多個重複衍射單元；

【0032】獲得第一輸入光束和第二輸入光束；

【0033】引導所述第一輸入光束和所述第二輸入光束平行地接觸所述衍射元件的光接觸面並均發生衍射，然後藉由至少兩個反向回射元件引導經衍射的第一輸入光束和第二輸入光束中的至少一者，使其與另一者組合形成至少一個輸出光束，每個所述輸出光束包括從所述衍射元件的光接觸面內的同一光斑位置出射且方向一致的、分別對應於所述第一輸入光束和所述第二輸入光束的衍射光信號；

【0034】 檢測所述輸出光束；以及

【0035】 根據每個所述輸出光束產生的干涉信號的相位變化信息獲得所述衍射元件的位移信息。

【0036】 可選的，所述第一輸入光束和所述第二輸入光束平行地接觸所述衍射元件的光接觸面時，所述第一輸入光束在第一光斑位置發生一次衍射，所述第二輸入光束在第二光斑位置發生一次衍射，所述第一輸入光束的一次衍射光束經所述反向回射元件和所述衍射元件來回反射後，在所述第二光斑位置與所述第二輸入光束的一次衍射光束至少部分重合並沿同一方向出射而形成第一輸出光束；所述第一輸出光束的干涉信號的相位變化信息反映了所述衍射元件沿光接觸面的法線方向上的垂向自由度的第一位移信息。

【0037】 可選的，所述第一輸出光束的干涉信號的相位變化與所述衍射元件沿垂向自由度的位移滿足關係式：

$$\varphi_1 = \frac{8\pi m}{\lambda} * \Delta Z_1 * \cos\theta$$

【0038】 其中， φ_1 為所述第一輸出光束的干涉信號的相位變化， ΔZ_1 為所述衍射元件在垂向自由度上的位移量， λ 為所述第一輸入光束和所述第二輸入光束的波長平均值， θ 為所述第一輸入光束和所述第二輸入光束平行地接觸所述衍射元件的光接觸面後發生的一次衍射的 m 級衍射角， m 為0以外的整數。

【0039】 可選的，所述第一輸入光束和所述第二輸入光束平行地接觸所述衍射元件的光接觸面時，所述第一輸入光束在第一光斑位置發生一次衍射，所述第二輸入光束在第二光斑位置發生一次衍射，所述第二輸入光束的一次衍射光束經所述反向回射元件和所述衍射元件來回反射後，在所述第一光斑位置與所述第一輸入光束的一次衍射光束至少部分重合並沿同一方向出射而形成第二輸出光束；所述第二輸出光束的干涉信號的相位變化信息反映了所述衍射元件

沿垂向自由度的第二位移信息；所述第一輸出光束與所述第二輸出光束的干涉相位相反。

【0040】可選的，所述位移測量方法還包括：

【0041】在檢測到所述第一輸出光束和所述第二輸出光束後，根據所述第一輸出光束和所述第二輸出光束的干涉信號所反映的所述衍射元件沿垂向自由度的位移信息，獲得所述衍射元件沿以光接觸面內的軸偏轉的轉動自由度的位移信息。

【0042】可選的，所述衍射元件與所述第一輸出光束對應的位移和與所述第二輸出光束對應的位移之間滿足關係式：

$$Ry = \frac{\Delta Z2 - \Delta Z1}{D_{f1f2}}$$

【0043】其中， $\Delta Z1$ 和 $\Delta Z2$ 分別為所述第一輸出光束反映的所述衍射元件沿垂向自由度的第一位移信息和所述第二輸出光束反映的所述衍射元件沿垂向自由度的第二位移信息， D_{f1f2} 為所述第一光斑位置和所述第二光斑位置的間距。

【0044】可選的，所述第一輸入光束和所述第二輸入光束平行地接觸所述衍射元件的光接觸面後，使所述第一輸入光束和所述第二輸入光束的一次衍射光束分別藉由所述反向回射元件回射並再次接觸所述衍射元件，並均發生二次衍射，所述第一輸入光束和所述第二輸入光束的二次衍射光束在所述衍射元件的第三光斑位置至少部分重合並沿同一方向出射而形成第三輸出光束；所述第三輸出光束的干涉信號的相位變化信息反映了所述衍射元件沿平行於所述光接觸面方向的水平自由度的第三位移信息。

【0045】可選的，所述第三輸出光束的干涉信號的相位變化與所述衍射元件在對應的水平自由度的位移滿足關係式：

$$\varphi x1 = -\frac{2\pi n}{P} * \Delta X * 2 - \frac{2\pi n}{P} * \Delta X * 2 = -\frac{8\pi n}{P} * \Delta X$$

【0046】其中， ϕ^{x1} 為所述第三輸出光束的干涉信號的相位變化， ΔX 為所述衍射元件在所述第一方向上的位移， P 為所述衍射元件的多個重複衍射單元沿所述水平自由度方向間距， m 為0以外的整數。

【0047】根據本發明的再一方面，本發明還包括一種光刻設備，所述光刻設備包括可相對移動的晶片平台和遮罩版平台，其特徵在於，所述光刻設備包括上述位移測量裝置，其中，所述衍射元件貼附於所述晶片平台或所述遮罩版平台中的一個，所述讀頭組件貼附於所述晶片平台或所述遮罩版平台中的另外一個。

【0048】本發明提供的位移測量裝置至少具有以下優點：第一，根據每個輸出光束的干涉信號的相位變化信息分別獲得衍射元件的位移信息，不需要進行算法解耦；第二，藉由使相互分離的第一輸入光束和第二輸入光束平行地接觸衍射元件發生衍射，且對經衍射的第一輸入光束和第二輸入光束進行引導並組合形成至少一個輸出光束，每個輸出光束包括對應於從所述衍射元件的光接觸面內的同一光斑位置出射且方向一致的分別對應於所述第一輸入光束和所述第二輸入光束的衍射光信號，有利於消除衍射元件偏轉（例如相對於光接觸面內的軸的偏轉）造成的相干光角度分離，即測量過程具備了寬角度適應能力，有助於減小衍射元件偏轉對干涉信息強度的影響，提高測量精度，此外還有助於提高裝置的角度容差，減小裝置的安裝和姿態控制難度；第三，輸入讀頭組件的兩個輸入光束之間相互分離（空間上），在測量的過程中，光束不發生相互影響，只在最終干涉前才進行合光；相對於藉由同一輸入光束易造成頻率混疊的測量系統來說，可以極大地減小甚至避免由於共光路結構導致的非線性誤差。

【0049】本發明提供的位移測量方法，與上述位移測量裝置屬一個總的構思，因而具有相同或類似的優點。

【0050】本發明提供的光刻設備，包括上述位移測量裝置，因而也具有與上述位移測量裝置相同或類似的優點。

【圖式簡單說明】

【0051】第1圖是本發明一實施例的位移測量裝置獲得第一輸出光束的示意圖。

第2圖（a）是本發明一實施例的位移測量裝置採用角錐稜鏡作為反向回射元件的示意圖。

第2圖（b）是本發明一實施例的位移測量裝置採用直角稜鏡作為反向回射元件的示意圖。

第2圖（c）是本發明一實施例的位移測量裝置採用道威稜鏡作為反向回射元件的示意圖。

第2圖（d）是本發明一實施例的位移測量裝置採用貓眼反射器作為反向回射元件的示意圖。

第3圖是本發明一實施例的位移測量裝置獲得第一輸出光束和第三輸出光束的示意圖。

第4圖是本發明一實施例的位移測量裝置獲得第一輸出光束、第二輸出光束以及第三輸出光束的示意圖。

第5圖是本發明另一實施例的位移測量裝置獲得第一輸出光束、第二輸出光束以及第三輸出光束的示意圖。

第6圖是本發明一實施例的位移測量裝置輸入光束為相同頻率時的示意圖。

第7圖是本發明一實施例的位移測量裝置輸入光束為不同頻率時的示意圖。
第8圖是本發明另一實施例的位移測量裝置輸入光束為不同頻率時的示意圖。

【實施方式】

【0052】如先前技術所述，針對習知基於光柵尺的位移測量系統存在的問題，例如不同方向（自由度）的測量信號不獨立、存在耦合關係，需要進一步藉由算法解耦才能獲得光柵尺在不同自由度上的位移的問題，以及由於光路設計的原因導致的角度容差小、系統安裝精度要求高的問題，還比如在光學編碼器讀頭中的光路中不同衍射信號存在大量的共光路結構時，會導致測量信號存在較大的非線性誤差的問題，本發明意圖提供具體的位移測量方案，以解決上述問題。

【0053】基於上述目的，本發明提供了一種位移測量裝置、一種位移測量方法以及一種包括所述位移測量裝置的光刻設備。其中，所述位移測量裝置至少包括以下幾個部分：光源模組、衍射元件、讀頭組件、光探測模組以及信號分析模組。

【0054】具體的，所述光源模組用於產生第一輸入光束和第二輸入光束。所述衍射元件包括光接觸面以及沿平行於所述光接觸面的方向排布的多個重複衍射單元。所述讀頭組件包括至少一組反向回射元件，所述讀頭組件用於接收所述第一輸入光束和所述第二輸入光束，並引導所述第一輸入光束和所述第二輸入光束平行地接觸所述衍射元件並均發生衍射（此處“平行”不包含重合情況），然後引導並組合經衍射的第一輸入光束和第二輸入光束以形成至少一個輸出光束，每個所述輸出光束包括從所述衍射元件的光接觸面內的同一光斑位

置（在此，同一光斑位置指同一個光斑所在的位置，即光斑所在的一定範圍內，例如以一個光斑的中心為圓心，0.5~1.5個光斑直徑的範圍內（即可以實現兩個光斑相交或相切的位置）作為所述的同一光斑位置）出射且方向一致的分別對應於所述第一輸入光束和所述第二輸入光束的衍射光信號，每個所述輸出光束產生的干涉信號的相位變化信息可以反映所述衍射元件沿二維或三維空間內的一個自由度的位移信息。所述光探測模組用於檢測所述讀頭組件形成的輸出光束。所述信號分析模組與所述光探測模組連接，所述信號分析模組用於根據每個所述輸出光束的干涉信號的相位變化信息獲得所述衍射元件的位移信息。需要說明的是，在應用中，上述幾個部分可以部分或全部的屬一光學編碼器系統的組件，其中衍射元件例如為光學編碼器系統的光柵尺，而讀頭組件例如是光學編碼器系統的編碼器頭（encoder head），光學編碼器系統可用於監控諸如光刻機等精密系統中可移動平台的移動。

【0055】 以下結合圖式和具體的實施例對本發明的位移測量裝置、位移測量方法及光刻設備作進一步詳細說明。應當理解，下述實施例僅是應用本發明的示例性的具體實施方式，並不構成對本發明保護範圍的限制。

【0056】 需說明的是，圖式均採用非常簡化的形式且均使用非精準的比例，僅用以方便、明晰地輔助說明本發明實施例的目的。除非另有其它說明，否則不同圖式中的相應的數字和標號通常涉及相應的部件。並且，下文中的術語“第一”“第二”等用於在類似要素之間進行區分，且未必是用於描述特定次序或時間順序。要理解，在適當情況下，如此使用的這些術語可替換，例如可使得本文所述的本發明實施例能夠不同於本文所述的或所示的其它順序來操作。類似的，如果本文所述的方法包括一系列步驟，且本文所呈現的這些步驟的順序並非必須是可執行這些步驟的唯一順序，且一些所述的步驟可被省略和/或一些本文未描述的其他步驟可被添加到該方法。

【0057】第1圖是本發明一實施例的位移測量裝置獲得第一輸出光束的示意圖。參照第1圖，對本實施例的位移測量裝置及獲得第一輸出光束613的光路（或方法）描述如下。

【0058】藉由光源模組（第1圖未示出）產生了第一輸入光束610和第二輸入光束611，本實施例中，第一輸入光束610和第二輸入光束611在空間上保持一定間隔距離被輸出。第一輸入光束610和第二輸入光束611例如均是雷射光束，二者的波長約在150nm至2000nm的範圍，更具體的，二者波長可在400nm至1500nm範圍內選擇，或者在1500至2000nm範圍內選擇，進一步的，第一輸入光束610和第二輸入光束611可以具有例如633nm、980nm或者1070nm的波長。第一輸入光束610和第二輸入光束611的頻率可以相同或者略有差別（頻率差例如小於等於10Hz）。該分離的第一輸入光束610和第二輸入光束611進入讀頭組件100，讀頭組件100引導第一輸入光束610和第二輸入光束611平行地接觸衍射元件200的光接觸面而發生衍射，在此，為了獲得第一輸入光束610和第二輸入光束611的衍射信號，第一輸入光束610和第二輸入光束611以相同的任意非利特羅（non-Littrow）角度接觸（或入射到）衍射元件200的光接觸面的不同位置並發生衍射。

【0059】衍射元件200包括沿平行於光接觸面的方向排布的多個重複衍射單元（第1圖未示出），清楚起見，第1圖示意了位移測量裝置在一笛卡爾坐標系中的剖面，本實施例中，以第1圖中的X軸方向作為衍射元件200的多個重複衍射單元（即多個相同的衍射單元）的一個排列方向。衍射元件200可以是一維或二維光柵，當是二維光柵時，垂直於第1圖中XZ平面的Y軸方向可以屬衍射元件200的多個重複衍射單元的另一個排列方向。對於光柵而言，可以採用正弦、矩形或鋸齒光柵，還可以採用較複雜的線性調頻脈衝光柵，但不限於此，在另一實施例中，衍射元件200還可以是全息衍射結構等其它衍射結構。無論採用哪種

衍射結構，均應包括上述重複衍射單元，以實現對以非利特羅角入射的第一輸入光束610和第二輸入光束611的衍射。本實施例中，衍射元件200對於第一輸入光束610和第二輸入光束611也具有反射作用。

【0060】 上述讀頭組件100包括至少兩個反向回射元件，如第1圖中的第一反向回射元件110和第二反向回射元件111，入射至反向回射元件內的光束經反向回射作用可以輸出與入射光束平行但傳播方向相反、且偏移一定距離的出射光束，從而可以藉由對反向回射元件的安裝位置和角度的改變，對第一輸入光束610和/或第二輸入光束611接觸衍射元件200後的衍射光束的光程和傳播方向進行調節。

【0061】 第2圖（a）至第2圖（d）分別示意了四種反向回射元件的結構。參照第2圖（a）至第2圖（d），第一反向回射元件110和第二反向回射元件111中的一個或兩個可以選用如第2圖（a）所示的角錐稜鏡、第2圖（b）所示的直角稜鏡、第2圖（c）所示的道威稜鏡以及第2圖（d）所示的貓眼反射器，其中，反向回射元件的入射光束621入射至相應的反向回射元件後，經反向回射後，反向回射元件的出射光束622被輸出。參照第2圖（d），貓眼反射器包括一個透鏡1301和一個凹面反射鏡1302，凹面反射鏡1302的球心置於透鏡1301的主點（薄透鏡中心）上，透鏡1301的焦點在凹面反射鏡1302的反射面上，入射光束621由透鏡1301會聚到凹面反射鏡1302上，被凹面反射鏡1302反射，再經過透鏡1301後出射光束622仍平行於原入射光束，但方向相反。本實施例中，讀頭組件100中的第一反向回射元件110和第二反向回射元件111例如是角錐稜鏡，其中，入射至角錐稜鏡的入射光束和出射光束在衍射元件200的入射點可以在光接觸面上的任意不重合位置。角錐稜鏡的位置可以根據需要設計和調節。

【0062】 上述讀頭組件100引導第一輸入光束610和第二輸入光束611平行地接觸衍射元件200時，第一輸入光束610在第一光斑位置A發生一次衍射（或第一次衍射），第二輸入光束611在第二光斑位置B發生一次衍射（或第一次衍射）。較佳的，所述第一光斑位置A和所述第二光斑位置B均位於相應的所述衍射單元的中心；或者，所述第一光斑位置A和所述第二光斑位置B兩處的衍射圖案是相同的，從而進一步提高測量精度。本實施例中，第一輸入光束610和第二輸入光束611的一次衍射級次方向相同。此處“衍射級次方向相同”指的是第一輸入光束610和第二輸入光束611的一次衍射的衍射級次均為正向衍射級次或均為負向衍射級次。可選實施方式中，參照第1圖，第二輸入光束611在第二光斑位置B產生+n級一次衍射光束（n為0以外的整數，例如±1、±2、±3、…，下同，+n表示正整數，即+1、+2、+3……），並經第一反射元件130反射後出射；第一輸入光束610在第一光斑位置A產生+m級一次衍射光束（m為0以外的整數，例如±1、±2、±3、…，下同，+m表示正整數，即+1、+2、+3……）。當角錐稜鏡110的位置經特殊設計後，對應於第一輸入光束610的一次衍射光束經第二反向回射元件111反向回射至衍射元件200，在衍射元件200的光接觸面反射後，進入第一反向回射元件110並再次反向回射至衍射元件200，在衍射元件200光接觸面的第二光斑位置B再次發生反射，使第一輸入光束610產生的一次衍射後反射光束與第二輸入光束611的一次衍射光束在第二光斑位置B至少部分重合並沿同一方向出射，形成第一輸出光束613。由讀頭組件100輸出的第一輸出光束613藉由第一光探測模組411檢測，第一光探測模組411可以採集第一輸出光束613的干涉信號的相位信息，進一步的，藉由第一信號傳輸光纖431，第一光探測模組411採集的相位信息可被傳輸至信號分析模組500，信號分析模組500藉由對第一輸出光束

613的干涉信號的相位信息進行分析，獲得相位變化信息，並藉由其與衍射元件200沿位於光接觸面的法線方向上的垂向自由度的位移之間的關係，得到衍射元件200在垂向自由度的位移信息。

【0063】 在另一可選實施方式中，參照第4圖，讀頭組件100引導第一輸入光束610和第二輸入光束611平行地接觸衍射元件200時，第一輸入光束610在第一光斑位置A發生-m級的一次衍射，所述第二輸入光束在第二光斑位置B發生-n級的一次衍射，對應於第二輸入光束611的一次衍射光束經第一反向回射元件110反向回射至衍射元件200，在衍射元件200的光接觸面反射後，進入第二反向回射元件111並再次反向回射至衍射元件200，在衍射元件200光接觸面的第一光斑位置A再次發生反射，使第二輸入光束611產生的一次衍射後反射光束與第一輸入光束610的一次衍射光束在第一光斑位置A至少部分重合並沿同一方向出射，經第二反射元件131反射後出射，形成第二輸出光束614。由讀頭組件100輸出的第二輸出光束614藉由第二光探測模組412檢測，第二光探測模組412可以採集第二輸出光束614的干涉信號的相位信息，進一步的，藉由第二信號傳輸光纖432，第二光探測模組412採集的相位信息可被傳輸至信號分析模組500，信號分析模組500藉由對第二輸出光束614的干涉信號的相位信息進行分析，獲得相位變化信息，並藉由其與衍射元件200沿位於光接觸面的法線方向上的垂向自由度的位移之間的關係，也可以獲得衍射元件200在垂向自由度的位移信息。此處“垂向”指的是衍射元件200光接觸面的法線方向，如第1圖和第4圖中的Z軸方向。

【0064】 本實施例中，上述第一輸出光束613和第二輸出光束614均包括衍射級次方向相同且位於同一衍射階且分別對應於第一輸入光束610和第二輸入光束611的一次衍射光信號；第一輸出光束613與第二輸出光束614的干涉相位相

反，即，第一輸出光束613中的干涉信號的相位與第二輸出光束614中的干涉信號的相位是相反的。較佳方案中，第一輸出光束613包括第一輸入光束610和第二輸入光束611的+1衍射階一次衍射光信號，第二輸出光束614包括第一輸入光束610和第二輸入光束611的-1衍射階一次衍射光信號。

【0065】光源模組產生的第一輸入光束610和第二輸入光束611較佳是平行光束，從而藉由上述光路設計可直接採集第一輸出光束613和第二輸出光束614的相位干涉信號，但本發明不限於此，當第一輸入光束610和第二輸入光束611在入射衍射元件200前為非平行時，可以藉由在讀頭組件100中設置光束角度控制器控制光束的方向。參照第1圖，為了使第一輸入光束610和第二輸入光束611較準確地平行入射至衍射元件200，可以在第一輸入光束610和第二輸入光束611中的一個的入射光路上設置第一光束角度控制器700，光束角度控制器可以控制光束方向，從而可用於調整第一輸入光束610和第二輸入光束611保持平行，類似的，為了第一輸入光束610和第二輸入光束611的一次衍射光信號在光接觸面的同一光斑位置至少部分重合（即，包括完全重合或者部分重合，相應的，形成了完全或者部分重合的輸出光束，在此，同一光斑位置是指光斑所在的一定範圍內，例如以一個光斑的中心為圓心，0.5~1.5個光斑直徑的範圍內（即可以實現兩個光斑相交或相切的位置）作為所述的同一光斑位置）並沿同一方向出射，可以在其中一個衍射光束的光路上設置第二光束角度控制器701。第一光束角度控制器700和第二光束角度控制器701可選自單個的楔角片、楔角片對、衍射光柵以及雙折射元件等光學結構中的一種。需要說明的是，本實施例中第一反射元件130和第二反射元件131僅為可選部件，可以根據讀頭組件100的安裝尺寸以及光探測模組的位置選擇性採用。

【0066】由於第一輸入光束610和第二輸入光束611平行入射至衍射元件200，且第一輸入光束610的一次衍射光束，經過反向回射元件兩次回射以及衍

射元件200兩次反射後，產生的反射光束與原始一次衍射光束平行。因此可知不論衍射元件200相對於讀頭組件100是否有角度變化，第一輸入光束610的衍射後反射光束，與第二輸入光束611的一次衍射光束，始終平行。也即，本實施例的位移測量裝置藉由上述光束傳輸採集第一輸出光束613和第二輸出光束614，有助於消除由於衍射元件200偏轉（尤其是相對於第1圖中坐標系的X軸和Y軸的偏轉）造成的相干光角度分離，從而可以顯著減小衍射元件200偏轉對輸出光束的干涉信號強度的影響，提高了測量精度，並且也有助於提高位移測量裝置的角度容差，因此本實施例中的垂向測量具有寬角度適應性。

【0067】 上述第一輸出光束613包括衍射級次的方向相同且位於同一衍射階且分別對應於第一輸入光束610和第二輸入光束611的一次衍射光信號，此處“一次衍射光信號”指的是第一輸入光束610和/或第二輸入光束611平行地接觸衍射元件200後產生的一次衍射光束中的光學相位信息，可以理解，所述一次衍射光束經反向回射元件和衍射元件反射後，可以改變光程及傳播方向，但可以保留一次衍射光束的光學相位信息。

【0068】 對第一輸出光束613的干涉信號的相位變化與衍射元件200的位移之間的關係說明如下。第一輸入光束610和第二輸入光束611平行地接觸衍射元件200時，第一輸入光束610在第一光斑位置A發生+m級的一次衍射，所述第二輸入光束611在第二光斑位置B發生+n級的一次衍射，從而第一輸出光束613包括第一輸入光束610的+m級一次衍射光信號與第二輸入光束611的+n級一次衍射光信號，當m=n時，沿第一輸出光束613的方向形成對應垂向位移的相位變化的干涉信號。為了獲得第一輸出光束613的干涉信號的相位變化 φ_{z1} 與對應的衍射元件200的垂向位移之間的關係，在此，設定第一輸出光束613中包含的第

一輸入光束610的衍射光信號相位為 $\varphi_{z1_{b1}}$ ，包含的第二輸入光束611的衍射光信號相位為 $\varphi_{z1_{b2}}$ ，兩束衍射光束干涉之後，干涉信號的相位變化 φ_{z1} 與對應的衍射元件200的垂向位移之間關係的計算過程如下：

$$\varphi_{z1_{b1}} = -\frac{2\pi m}{p} \cdot \Delta X + \frac{2\pi m}{\lambda} \cdot \Delta Z1 \cdot (1 + 5 \cdot \cos\theta)$$

$$\varphi_{z1_{b2}} = -\frac{2\pi m}{p} \cdot \Delta X + \frac{2\pi m}{\lambda} \cdot \Delta Z1 \cdot (1 + \cos\theta)$$

$$\varphi_{z1} = \varphi_{z1_{b1}} - \varphi_{z1_{b2}} = \frac{8\pi m}{\lambda} \cdot \Delta Z1 \cdot \cos\theta$$

從而得到式（1）， $\varphi_{z1} = \frac{8\pi m}{\lambda} * \Delta Z1 * \cos\theta$ （1）

【0069】根據前述說明，第二輸出光束614包括第一輸入光束610的-m級一次衍射光信號和第二輸入光束611的-n極一次衍射光信號（ $m=n$ ）。類似的，可以得到第二輸出光束614的干涉信號的相位變化 φ_{z2} 與衍射元件200的垂向位移之間的關係滿足式（2），

$$\varphi_{z2} = -\frac{8\pi m}{\lambda} * \Delta Z2 * \cos\theta$$
 （2）

【0070】式（1）和式（2）中， λ 為第一輸入光束610和第二輸入光束611的波長（如果二者頻率不同，則是平均波長）， θ 為第一輸入光束610和第二輸入光束611平行入射衍射元件200後發生一次衍射形成的m級衍射角（m為 ± 1 、 ± 2 、 ± 3 、 \dots ）， ΔX 為假設衍射元件200在X軸方向的位移， $\Delta Z1$ 為與第一輸出光束613對應的衍射元件200在Z軸方向的位移， $\Delta Z2$ 為與第二輸出光束614對應的衍射元件200在Z軸方向的位移。

【0071】本實施例的位移測量裝置不僅可以形成對應於垂向自由度位移測量的第一輸出光束613和第二輸出光束614，還可以形成用於測量衍射元件200沿平行於光接觸面方向的水平自由度的位移信息的輸出光束。

【0072】第3圖是本發明一實施例的位移測量裝置獲得第一輸出光束和第三輸出光束的示意圖。參照第3圖，本實施例的位移測量裝置中，讀頭組件100可用於輸出相互分離的第一輸出光束613和第三輸出光束612。關於第一輸出光束613的設計可參見上面的描述。以下主要對第三輸出光束612進行說明。

【0073】本實施例中，第一輸入光束610和第二輸入光束611平行地接觸衍射元件200後，產生衍射級次方向相反的一次衍射光束，例如以任意非利特羅角度在不同的入射點入射衍射元件200後，第一輸入光束610在第一光斑位置A產生+m級一次衍射光束，第二輸入光束611在第二光斑位置B產生-n級一次衍射光束，兩個一次衍射光束分別經不同的反向回射元件反射回射後再次與衍射元件200接觸，並分別發生與一次衍射的衍射級次方向相同的二次衍射，並且，在第三光斑位置C產生了對應於第一輸入光束610的+m極二次衍射光束以及對應於第二輸入光束611的-n級二次衍射光束，也即，藉由對讀頭組件100的結構設計，可使得對應於第一輸入光束610的二次衍射光束和對應於第二輸入光束611的二次衍射光束在衍射元件的同一光斑位置至少部分重疊並以同一方向出射，從而形成第三輸出光束612。

【0074】進一步的，由讀頭組件100輸出的第三輸出光束612可藉由第三光探測模組410檢測，第三光探測模組410可以採集第三輸出光束612的干涉信號的相位信息，進一步的，藉由第三信號傳輸光纖430，第三光探測模組410採集的相位信息可被傳輸至信號分析模組500，信號分析模組500藉由對接收到的相位信息進行分析，藉由第三輸出光束612的干涉信號的相位變化信息獲得衍射元件

200沿平行於光接觸面的方向上的水平自由度的位移信息。參照第3圖，當衍射元件200為沿X軸方向的一維衍射結構時，藉由第三輸出光束612可以獲得衍射元件200在X軸方向上的位移信息。而當衍射元件200為沿X軸方向和Y軸方向（即垂直於XZ平面的方向）的二維衍射結構時，將第3圖中的讀頭組件100和光探測模組以Z軸為中心旋轉90度，則可以獲得衍射元件200在Y軸方向上的位移信息。

【0075】 上述位移測量裝置獲得第三輸出光束612的光路結構中，平行入射至衍射元件200的第一輸入光束610產生的一次衍射光束經第二反向回射元件111反射、第二輸入光束611產生的一次衍射光束經第一反向回射元件110反射回射後，第一輸入光束610的二次衍射光束與發生一次衍射前的第一輸入光束610平行，第二輸入光束611的二次衍射光束與發生一次衍射前的第二輸入光束611平行，從而兩個二次衍射光束平行，因此可知不論衍射元件200相對於讀頭組件100是否有角度變化（尤其是相對於X軸和Y軸的角度變化），第一輸入光束610的二次衍射光束與第二輸入光束611的二次衍射光束始終平行，從而有助於消除衍射元件200例如光柵偏轉造成的相干光角度分離，極大減小光柵偏轉對干涉信號強度的影響，有助於提高裝置的角度容差以及提高測量精度，因此利用本實施例的位移測量裝置，針對水平方向的測量也具有寬角度適應性。

【0076】 上述第三輸出光束612包括衍射級次的方向相反且位於同一衍射階且分別對應於第一輸入光束610和第二輸入光束611的二次衍射光束，對第三輸出光束612的干涉信號的相位變化與衍射元件的位移之間的關係說明如下。經過兩次衍射，讀頭組件100產生了對應於第一輸入光束610的+m級二次衍射光束，以及對應於第二輸入光束611的-n級二次衍射光束，當 $m=n$ 時，沿第三輸出光束612方向形成了對應水平位移的相位變化的干涉信號。為了獲得第三輸出光

束612的干涉信號的相位變化與對應的水平方向位移信息的相位變化 φ_{x1} 之間的關係，在此，設定第三輸出光束612中包含的第一輸入光束610的衍射光信號相位為 φ_{x1b1} ，包含的第二輸入光束611的衍射光信號相位為 φ_{x1b2} ，兩束衍射光束干涉之後，干涉信號的相位變化 φ_{x1} 與對應的衍射元件200的水平位移之間關係的計算過程如下：

$$\varphi_{x1b1} = -\frac{2\pi m}{P} \cdot \Delta X \cdot 2 + \frac{4\pi m}{\lambda} \cdot \Delta Z1 \cdot (1 + \cos\theta)$$

$$\varphi_{x1b2} = +\frac{2\pi m}{P} \cdot \Delta X \cdot 2 + \frac{4\pi m}{\lambda} \cdot \Delta Z1 \cdot (1 + \cos\theta)$$

$$\varphi_{x1} = \varphi_{x1b1} - \varphi_{x1b2} = -\frac{8\pi m}{P} \cdot \Delta X$$

從而得到式(3)，
$$\varphi_{x1} = -\frac{2\pi m}{P} * \Delta X * 2 - \frac{2\pi m}{P} * \Delta X * 2 = -\frac{8\pi m}{P} * \Delta X \quad (3)$$

【0077】式(3)中，P為衍射元件200在X軸方向上排布的重複衍射單元之間間距，m為衍射級次，例如可以取±1、±2、±3等0以外的整數， ΔX 為待測的衍射元件200在X軸方向的位移量。

【0078】水平方向的位移也可以藉由相反衍射級次的二次衍射光束獲得。例如，在另一實施例中，第一輸入光束610產生了-m級二次衍射光束，第二輸入光束611產生了+n級二次衍射光束，從而得到的第三輸出光束的相位與式(3)中的 φ_{x1} 相位相反。

【0079】本實施例中，衍射元件200還可以包括沿第3圖中垂直於XZ平面的Y軸方向排布的多個重複衍射單元，Y軸方向與X軸方向相互垂直。基於與上述第三輸出光束612的測試目的類似的考量，上述讀頭組件100還可以藉由對第一輸入光束610和第二輸入光束611的引導組合，形成與獲得第三輸出光束612的光路結構類似的設計，在Y軸方向經一次衍射、反向回射元件反射回射以及二次衍

射之後組合形成第四輸出光束（圖中未示出），所述第四輸出光束包括從衍射元件200光接觸面的同一光斑同一方向出射的二次衍射光束。所述第四輸出光束的干涉信號的相位變化信息反映了衍射元件200在Y軸方向上的位移信息。在某一實施例中，可將讀頭組件100沿第3圖中Z軸轉動90度，從而可在平行於第三輸出光束612的方向上檢測到對應於Y軸方向位移的輸出光束，進而可以獲得衍射元件200在Y軸方向上的位移信息。

【0080】 根據上述描述可知，本實施例所述的位移測量裝置可同時測量衍射元件200的沿平行於光接觸面的水平方向上的自由度的位移測量和沿光接觸面的法線方向上的垂向自由度的位移測量。當衍射元件200採用二維衍射結構時，至少可以實現三個自由度的位移測量。進一步的，藉由適當組合兩個或兩個以上具有上述光路設計的輸入光束、讀頭組件及光探測模組，可以實現對衍射元件200在三個以上的自由度上的位移測量，例如可以實現對X軸方向、Y軸方向、Z軸方向、 R_x 方向（即沿X軸偏轉方向）、 R_y 方向（即沿Y軸偏轉方向）、 R_z 方向（即沿Z軸偏轉方向）六個自由度的位移測量。

【0081】 本實施例的位移測量裝置，具有以下幾個方面優點：第一，可實現水平向和垂向位移的獨立測量，不需要計算解耦，即對於只需要單獨測X軸方向位移或單獨測Z軸方向位移的應用需求時，可以獨立的只採集一路干涉信號即可計算出相應位移；第二，對水平向和垂向測量均有寬角度適應範圍，有助於提高裝置的角度容差，提高測量精度，減小位移測量裝置的安裝和姿態控制難度；第三，由於測量信號均為自平行光束，不需精確調整，整合簡便；第四，測量系統結構簡單，冗餘空間大，可擴展性高；第五，位移測量裝置的元件種類較少，成本低；第六，由於干涉信號在合光前不共光路，因此不受器件分光、

偏振性能影響，本方案從測量原理上可知基本無非線性誤差；第七，本實施例中，輸入光束在衍射元件的光接觸面發生衍射後，衍射光束均被光探測模組收集，用於水平向和垂向位移信號探測，沒有雜散光溢出位移測量裝置；第八，由於無雜散光溢出，因此位移測量裝置的光功率利用率非常高。

【0082】第4圖是本發明一實施例的位移測量裝置獲得第一輸出光束、第二輸出光束以及第三輸出光束的示意圖。參照第4圖，本實施例中，讀頭組件100同時形成了上述第一輸出光束613、第二輸出光束614以及第三輸出光束612。根據上述描述，藉由這三個輸出光束進行檢測並分析後，可以實現水平方向（如第4圖中X軸方向）和雙軸垂向（如第4圖中Z軸方向）的位移測量。關於第一輸出光束613、第二輸出光束614以及第三輸出光束612的光路結構可參見上面的描述。

【0083】藉由採集並分析兩路由衍射元件200上不同光斑位置出射且均對應垂向自由度的輸出光束，可得到兩個垂向位移測量結果，其技術效果在於，一方面可以補償環境對測量光路的影響（例如兩路Z軸輸出光束在不同的環境下測量時），有助於提高位移測量的準確性，提升測量精度；另一方面，藉由這兩個垂向位移測量結果，可以進一步計算衍射元件200沿位於光接觸面內的軸旋轉的轉動自由度的位移信息。具體說明如下。

【0084】以第4圖中均在XZ平面分佈的第一輸出光束613和第二輸出光束614為例，當分別藉由第一光探測模組411和第二光探測模組412對二者進行相位採集並傳輸至信號分析模組500後，得到分別根據第一輸出光束613獲得的衍射元件200在Z軸方向的位移量 $\Delta Z1$ 和根據第二輸出光束614獲得的衍射元件200在Z軸方向的位移量 $\Delta Z2$ 。 $\Delta Z1$ 和 $\Delta Z2$ 滿足式（4）的關係，

$$R_y = \frac{\Delta Z_2 - \Delta Z_1}{D_{f1f2}} \quad (4)$$

【0085】式(4)中， ΔZ_1 和 ΔZ_2 分別為藉由第一輸出光束613和第二輸出光束614測得的垂向位移， D_{f1f2} 為第一輸出光束和所述第二輸出光束平行地接觸所述衍射元件時的間距(如第4圖中第一光斑位置A與第二光斑位置B的距離)。

【0086】根據式(4)的關係，當第一輸出光束和第二輸出光束均在YZ平面分佈時，藉由採集兩個包括垂向位移信息的輸出光束並進行計算，可以獲得衍射元件200沿第4圖中以X軸為軸線的偏轉量，即可以獲得Rx自由度的位移信息。

【0087】第5圖是本發明另一實施例的位移測量裝置得到第一輸出光束、第二輸出光束以及第三輸出光束的示意圖。參照第4圖和第5圖，讀頭組件100在接收第一輸入光束610和第二輸入光束611後，引導二者平行入射至衍射元件200光接觸面並發生衍射，進而利用第一反向回射元件110和第二反向回射元件111實現對衍射光束的反射和衍射元件200光接觸面對入射光束的反射，採集與第4圖中衍射級次反向的衍射光束，得到與第4圖所示輸出光束對應的衍射級次反向的第一輸出光束613、第二輸出光束614以及第三輸出光束612。該實施例的信號傳輸光纖和信號分析模組的功能與第4圖結構相同，因此未在第5圖中示出。

【0088】以第三輸出光束612為例，該實施例中，第一輸入光束610在衍射元件200光接觸面產生的-m級一次衍射光束經反向回射元件反射回衍射元件200，再次產生-m級衍射(第二次衍射)，第二輸入光束611在衍射元件200光接觸面產生的+n級一次衍射光束經反向回射元件反射回衍射元件200，再次產生+n級衍射(第二次衍射)，第一輸入光束610的二次衍射光束與第二輸入光束611的二次衍射光束在同一光斑位置至少部分重合並沿同一方向出射，當m=n時，形

成第三輸出光束612，第三輸出光束612包括對應於X軸方向位移信息的相位變化，並滿足式(5)所示關係：

$$\varphi_{x2} = \frac{2\pi m}{P} * \Delta X * 2 + \frac{2\pi n}{P} * \Delta X * 2 = \frac{8\pi m}{P} * \Delta X \quad (5)$$

【0089】其中，P為衍射元件200例如光柵在X軸方向的柵距，m為衍射級次，例如可以取±1、±2、±3等0以外的整數， ΔX 為待測的衍射元件200沿X軸方向的位移。參照第5圖，該實施例中，利用與Z軸位移相關的兩個輸出光束採集的相位數據與第4圖對應的相位數據也相反。實際中具體採用哪種衍射級次方向進行光路設計，可以根據讀頭組件100的形狀及安裝空間等設計要求考量，並且，藉由對應於不同自由度的輸出光束所對應的干涉信號的相位變化信息，均可以獲得衍射元件200在相應自由度的位移信息。由於多個輸出光束在信號探測端合光之前均不共路，干涉信號藉由不受器件分光不理想、偏振混疊等因素影響，位移測量裝置的輸出信號藉由較好。

【0090】本實施例中，光源模組可以採用單頻雷射器實現，從而光源模組產生的上述第一輸入光束610和第二輸入光束611的頻率相同。當採用單頻雷射器時，光源模組的尺寸較小，可以直接放在讀頭組件100附近，也可以藉由光纖傳輸至讀頭組件100。或者，光源模組和光探測模組均可整合在讀頭組件100的內部，即形成可以實現光源輸出、光束引導組合以及光探測的一體化結構，一體化結構使用場景靈活，可極大降低現場應用整合和維護難度，提高效率，適用於各種高、低精度位移測量場景中。

【0091】當讀頭組件100接收的兩個輸入光束為相同頻率時，可以採用四通道移相檢測方法實現相位探測，第6圖是本發明一實施例的位移測量裝置輸入光束為相同頻率時的示意圖。參照第6圖，用於接收第一輸出光束613的第一光

探測模組411和用於接收第三輸出光束612的第三光探測模組410均包括四分之一波片、非偏振分光鏡以及偏振分光鏡的組合，以利用光學方法對干涉信號進行移相，得到依次相差90度的四路信號輸出，用於後續位移計算。以第一光探測模組411為例，其包括四分之一波片481、非偏振分光鏡482、第一偏振分光鏡483、第二偏振分光鏡484、第一光耦合器485、第二光耦合器486、第三光耦合器487以及第四光耦合器488，以執行上述四通道移相的功能。

【0092】 採用四通道移相檢測方法時，與衍射元件位移信息對應的輸出光束中，兩個分別對應於第一輸入光束610和第二輸入光束611的衍射光信號在輸入光探測模組之前應滿足偏振方向相互垂直（即正交）的要求。因而，可以設置第一輸入光束610和第二輸入光束611到達讀頭組件100之前就具有彼此正交的偏振方向，也可以在讀頭組件100接收之後，藉由在讀頭組件100中沿第一輸入光束610和第二輸入光束611中的一個的光路上設置偏振控制元件，以便於輸出至相應的光探測模組之前，輸出光束包括的分別對應於第一輸入光束610和第二輸入光束611的兩個衍射光束（或衍射光信號）的偏振方向正交，目的是使在進入光探測模組時兩個衍射光束的偏振方向正交。所述偏振控制元件例如是波片或偏振片。

【0093】 本實施例中，光源模組也可以採用光纖傳輸雙頻雷射器實現，使產生的第一輸入光束610和第二輸入光束611的頻率不同（通常二者頻率差限定於較小範圍內）。

【0094】 第7圖是本發明一實施例的位移測量裝置輸入光束為不同頻率時的示意圖。參照第7圖，本實施例中，光源模組300為光纖傳輸雙頻雷射器，所述光纖傳輸雙頻雷射器的構造可包括以下光學元件：單頻雷射器311、隔離器322、第一聲光頻移器323、第二聲光頻移器324、第一分光鏡330、第二分光鏡331、第三分光鏡332以及第四分光鏡333、第一反射鏡334、第二反射鏡335、第

一擋光板325、第二擋光板326以及第三擋光板327、第三光束角度控制器370、第一保偏光纖耦合器340、第二保偏光纖耦合器341以及多模光纖耦合器350。上述光纖傳輸雙頻雷射器輸出雙頻光束的原理如下。

【0095】單頻雷射器311產生的單頻雷射分為兩束，分別藉由兩個驅動頻率不同的聲光頻移器移頻，產生頻率分別為第一頻率和第二頻率的兩束雷射束，這兩束雷射束中大部分能量藉由保偏光纖耦合器耦合，並藉由保偏光纖輸入讀頭組件100，而少部分能量藉由反射鏡，分光鏡進行合束，形成雷射器的參考光信號。其中光束角度控制器可用於輔助調整第一頻率光束與第二頻率光束合成雷射器參考光信號，在另一實施例中，也可以使用第二偏振分光鏡，或者光柵衍射方式進行合束。

【0096】經過上述光纖傳輸雙頻雷射器，光源模組300輸出的第一頻率光束經第一保偏光纖470輸入至第一保偏光纖準直器450，並進入讀頭組件100形成前述的第一輸入光束610，光源模組300輸出的第二頻率光束經第二保偏光纖471輸入至第二保偏光纖準直器451，並進入讀頭組件100形成前述的第二輸入光束611。為了得到不同自由度上的輸出光束，第一輸入光束610和第二輸入光束611經讀頭組件100引導後，在衍射元件200的光接觸面發生一次或兩次衍射，從而可獲得本實施例在前描述的第一輸出光束613、第二輸出光束614以及第三輸出光束612，並分別藉由第一光探測模組411、第二光探測模組412以及第三光探測模組410檢測，第一光探測模組411將採集的第一輸出光束613的干涉信號藉由第一信號傳輸光纖431傳輸至信號分析模組500，第二光探測模組412將採集的第二輸出光束614的干涉信號藉由第二信號傳輸光纖432傳輸至信號分析模組500，第三光探測模組410將採集的第二輸出光束612的干涉信號藉由第三信號傳輸光纖430傳輸至信號分析模組500。此外，上述光纖傳輸雙頻雷射器還輸出一路基本

參考光束，所述基本參考光束從多模光纖耦合器350出來後，不被讀頭組件100接收，而是直接藉由信號傳輸光纖傳輸至信號分析模組500。

【0097】 由於採用光纖傳輸雙頻雷射束，光纖的相位隨環境溫度、壓力、振動情況變化導致的相位變化需要補償。參照第7圖，一種補償的方法是在讀頭組件100的內部進行補償，當光纖傳輸的雙頻光束重新準直為自由空間光束後，在入射至衍射元件200光接觸面產生相位變化之前，可以藉由分別由頻率不同的第一輸入光束610和第二輸入光束611分出一小部分光能量，並進行合光而形成遠程參考光信號（利用到的光學元件如第7圖中的第三反射元件132、第一分光元件133、第二分光元件134、第三分光元件135、第四光束角度控制器702、第四擋光板136），並藉由第四光探測模組413檢測所述遠程參考光信號，進而藉由第四信號傳輸光纖433輸出至信號分析模組500。信號分析模組500將藉由第一輸出光束613、第二輸出光束614、第三輸出光束612直接測得的對應不同自由度的位移信息分別與藉由遠程參考光信號對應的位移信息相減，即可獲得不受光纖傳輸影響的實際不同自由度的位移信息。在另一實施例中，遠程參考光信號也可以採用分光鏡方式或者偏振分光鏡方式獲取，並且也可以採用光柵衍射方式實現兩光束合光。本實施例中，可根據需要在讀頭組件100中設置一個或一個以上的光束角度控制器。參照第7圖，第一光束角度控制器700可用於輔助調整入射讀頭組件100的具有不同頻率的第一輸入光束610和第二輸入光束611平行，第三光束角度控制器702可用於輔助調整上述遠程參考光信號的平行度。

【0098】 位移測量裝置的光源模組採用光纖傳輸雙頻雷射器具有如下優點：

【0099】 在測量衍射元件位移時，兩個頻率的輸入光束在信號探測端合光之前均不共路，干涉信號藉由不受器件分光不理想、偏振混疊等因素影響，測

量系統基本不存在非線性誤差，因而不需要在光信號處理過程中補償非線性誤差；

【0100】 當光源模組輸出的兩入射頻率光束的偏振方向相同時，所形成的水平向和垂向信號可直接探測，不需要在光相位採集部分用偏振片合成干涉信號，避免偏振片使用導致的能量損失，此次信號強度最佳，光功率利用率可達100%，並且對光束光學性能影響小，元件製造難度小，當兩個輸入光束的偏振方向不完全正交時，所形成的水平向和垂向信號也可直接探測，不需要在光相位採集部分放置偏振片，此時信號強度稍弱，光功率損耗稍大；當偏振方向正交時，所形成的水平向和垂向信號不能直接探測，需要在光探測模組前放置偏振片進行探測，由於偏振片的作用，此時光功率損耗約50%；

【0101】 利用光纖傳輸雙頻雷射器作為光源模組，讀頭組件可以任意放置到所需測量位置，使用場景靈活，可極大降低現場應用整合和維護難度，提高效率，例如可用於將讀頭組件安裝在運動台上跟隨運動台移動，而衍射元件安裝在固定不動的系統中。

【0102】 為了提供不同頻率的輸入光束，本發明的位移測量裝置中，光源模組也可包括自由空間雙頻雷射器。第8圖是本發明另一實施例的位移測量裝置輸入光束為不同頻率時的示意圖。參照第8圖，該實施例中，光源模組300包括自由空間雙頻雷射器，具體的，光源模組300可包括：自由空間雙頻雷射器310、第二偏振分光鏡321以及偏振態調節元件320。光源模組300利用自由空間雙頻雷射器310輸出雙頻光束的原理如下。

【0103】 通常自由空間雙頻雷射器含有兩束頻率稍有偏差的雷射束：分別為第一頻率的雷射束和第二頻率的雷射束，且這兩束雷射束的偏振方向正交，設第一頻率的雷射束偏振方向為S偏振，第二頻率的雷射束偏振方向為P偏振。當雷射束經第二偏振分光鏡321作用後，第一頻率的S偏振光束在偏振分光面上

發生反射，形成前述的第一輸入光束610；第二頻率的P偏振光束在偏振分光面上透射，並由第二偏振分光鏡321的反射面反射後，與第一輸入光束610平行但偏移了一定距離，該光束經偏振態調節元件320作用後，偏振方向由P偏振變為S偏振而形成前述的第二輸入光束611。由此光源模組300可輸出兩束傳播方向平行，且偏振方向相同的雙頻輸入光束。

【0104】 根據前面的描述，第一輸入光束610和第二輸入光束611被讀頭組件100接收後，經過其引導和組合，可形成第一輸出光束613、第二輸出光束614以及第三輸出光束612，繼而藉由光探測模組進行檢測以及藉由信號分析模組可以獲得衍射元件200在不同自由度的位移信息。由於使用第二偏振分光鏡321進行分光，可能存在少量非線性誤差，在此情況下，可藉由對信號分析模組500的設計和選擇，使其具有非線性誤差補償的光電探測及信號處理功能，以補償上述少量的非線性誤差。上述偏振態調節元件320可以採用一個二分之一波片、兩個四分之一波片或者本領域習知的其它偏振控制和調節元件，以實現光束偏振態的改變。

【0105】 上述採用了自由空間雙頻雷射器的位移測量裝置，由於光源模組較大，較佳用於衍射元件200隨運動台運動、讀頭組件固定不動的測量場景，從而實現衍射元件200在多個自由度的位移測量。此外，相對於上述光纖傳輸雙頻雷射器的情形，光源模組採用自由空間雙頻雷射器時，讀頭組件100不需要形成遠程參考光信號，具有光路傳輸結構簡單，測量軸數少的優點，可以提高裝置的光功率利用率，降低結構複雜度。

【0106】 本實施例還包括一種光刻設備，所述光刻設備包括可相對移動的晶片平台和遮罩版平台。所述光刻設備包括上述位移測量裝置。

【0107】 光刻是半導體製程的關鍵製程，其工作包括引導空間圖案輻射到塗覆光阻的晶片（例如玻璃或矽片）上，其中包括確定晶片的哪些位置接收輻

射（稱為“對準”）和哪些位置施加光輻射到光阻上（稱為“曝光”）的過程，在引導晶片相對於空間圖案輻射對準時，通常設置支撐塗覆有光阻的晶片的晶片平台為可移動平台（包括平移和轉動），以移動晶片，從而光輻射至晶片的正確位置，在晶片平台移動時，定位遮罩版的遮罩版平台通常為靜止，而基於不同設計的光刻設備中，在曝光期間，遮罩版平台被設置為帶動遮罩版與晶片平台協同移動。光刻設備也是製作半導體器件及包括半導體器件的產品的製程設備，例如可用於製造半導體晶片、液晶面板、OLED面板、CCD感應器等。

【0108】 上述位移測量裝置可以作為光刻設備的編碼器系統，編碼器系統用來在光刻設備的曝光工作中精確地測量晶片的位置。具體的，如第1圖至第8圖所示的衍射元件200（例如為光柵）可貼附於所述晶片平台或所述遮罩版平台中的一個，讀頭組件100可貼附於所述晶片平台或所述遮罩版平台中的另外一個。由於晶片平台和遮罩版平台在光刻設備工作中相對移動，可以根據具體安裝容許的重量及尺寸考慮具體光柵和讀頭組件的貼附方式。

【0109】 由於上述位移測量裝置具備寬角度適應性，可以提高位移測量裝置以及編碼器系統的角度容差，減小衍射元件偏轉對干涉信息強度的影響，也有助於減小安裝和姿態控制難度，減小甚至避免由於共光路結構導致的非線性誤差，提高測量精度以及光刻設備的系統精度。

【0110】 本實施例還包括一種位移測量方法，可採用上述位移測量裝置。具體而言，所述位移測量方法包括以下步驟：

【0111】 步驟一：提供一衍射元件，包括光接觸面以及沿平行於所述光接觸面的方向排布的多個重複衍射單元；

【0112】 步驟二：獲得第一輸入光束和第二輸入光束；

【0113】 步驟三：引導所述第一輸入光束和所述第二輸入光束平行地接觸所述衍射元件並均發生衍射，然後藉由至少兩個反向回射元件引導並組合經衍

射的第一輸入光束和第二輸入光束以形成至少一個輸出光束，每個所述輸出光束包括從所述衍射元件的光接觸面內的同一光斑位置出射且方向一致的分別對應於所述第一輸入光束和所述第二輸入光束的衍射光信號；

【0114】 步驟四：檢測所述輸出光束；

【0115】 步驟五：根據每個所述輸出光束的干涉信號的相位變化信息獲得所述衍射元件的位移信息。

【0116】 參照第1圖至第8圖，本實施例的位移測量方法中，第一輸入光束610和第二輸入光束611平行地接觸衍射元件200時，第一輸入光束610在第一光斑位置A發生一次衍射，第二輸入光束611在第二光斑位置B發生衍射級次方向相同的一次衍射，對與第一輸入光束610（另一實施方式為第二輸入光束611）的一次衍射光束進行引導，使一次衍射光束在反向回射元件和衍射元件200被來回反射，例如依次被一個反向回射元件、衍射元件200、另一個反向回射元件反射回射後，在衍射元件200的光接觸面再次反射，並在同一光斑位置與第二輸入光束611（另一實施方式為第一輸入光束610）至少部分重合並沿同一方向出射，從而形成第一輸出光束613（另一實施方式為第二輸出光束614），第一輸出光束613與第二輸出光束614的干涉相位相反，第一輸出光束613與第二輸出光束614的干涉信號的相位變化信息反映了衍射元件200沿位於光接觸面的法線方向的垂向自由度上的位移信息。第一輸出光束613的干涉信號的相位變化與對應的衍射元件200的垂向位移之間滿足本實施例前述的式（1），第二輸出光束614的干涉信號的相位變化與對應的衍射元件200的垂向位移之間滿足本實施例前述的式（2）。

【0117】 較佳方案中，利用上述方法同時形成上述第一輸出光束613和第二輸出光束614，即實現了垂向雙軸位移測量。在檢測到第一輸出光束613和第二輸出光束614後，參照前述的式（4），藉由第一輸出光束613和第二輸出光束

614的干涉信號所反映的所述衍射元件200在垂向自由度上的位移信息，一方面可以補償環境對測量光路的影響，提升測量精度，另一方面還可以藉由式（4）得到衍射元件200沿位於光接觸面內的軸旋轉的轉動自由度的位移信息。

【0118】 利用本實施例的位移測量方法不僅獲得衍射元件200垂向自由度的位移信息，還可以獲得衍射元件200水平自由度的位移信息（本實施例以第1圖中XY平面為“水平”），具體說明如下。

【0119】 在上述第一輸入光束610和第二輸入光束611平行地接觸衍射元件200後，使第一輸入光束610和第二輸入光束611的一次衍射光束各自藉由反向回射元件回射並再次接觸衍射元件200，並均發生二次衍射，並且，對應於第一輸入光束610和第二輸入光束611的二次衍射光束在衍射元件200光接觸面的第三光斑位置C至少部分重合並沿同一方向出射而形成第三輸出光束612，第三輸出光束612的干涉信號的相位變化信息反映了衍射元件200沿平行於光接觸面方向的水平自由度的位移信息。第三輸出光束612的干涉信號的相位變化滿足前述的式（3）。本實施例中，用於形成第三輸出光束612的第一輸入光束610和第二輸入光束611的一次衍射光束的衍射級次方向相反，對應於同一輸入光束，第二次衍射和第一次衍射的衍射級次方向相同。第三輸出光束612中分別對應第一輸入光束610和第二輸入光束611的衍射光信號對應於同一衍射階，例如第三輸出光束612可包括對應第一輸入光束610的+1階二次衍射光束（或二次衍射光信號）和對應第二輸入光束611的-1階二次衍射光束（或二次衍射光信號），或者，在另一實施例中，第三輸出光束612可包括對應第一輸入光束610的-1階二次衍射光束和對應第二輸入光束611的+1階二次衍射光束。

【0120】 藉由適當組合兩個或兩個以上具有上述獲得輸出光束的過程，可以實現對衍射元件200在三個以上的自由度上的位移測量，例如可以實現對X軸

方向、Y軸方向、Z軸方向、RX方向（即沿X軸偏轉方向）、Ry方向（即沿Y軸偏轉方向）、RZ方向（即沿Z軸偏轉方向）六個自由度的位移測量。

【0121】在獲得諸如上述第一輸出光束613、第二輸出光束614、第三輸出光束612等反映衍射元件200在不同自由度位移信息的輸出光束後，可以利用光學探測（或相位探測）元件對所述輸出光束進行檢測，並進一步可以藉由信號傳輸光纖將檢測到的光信號進行分析，根據每個所述輸出光束的干涉信號的相位變化信息獲得衍射元件200在對應的自由度上的位移信息。

【0122】本實施例的位移測量方法，第一輸入光束610和第二輸入光束611平行地接觸衍射元件200並均發生衍射（第一次衍射）後，經反射作用使分別對應於第一輸入光束610和第二輸入光束611的衍射光信號從衍射元件200的光接觸面內的同一光斑出射且方向重合，從而形成獨立的關聯一個自由度上衍射元件位移信息的至少一個輸出光束。藉由多個輸出光束可以獲得衍射元件在不同自由度上的位移信息，不需要進行算法解耦，有利於消除衍射元件偏轉（例如相對於光接觸面內軸的偏轉）造成的相干光角度分離，減小衍射元件偏轉對干涉信息強度的影響，提高測量精度，即具備了寬角度適應能力，同時也有助於提高應用該方法的位移測量裝置的角度容差，減小裝置的安裝和姿態控制難度；並且，由於形成的多個輸出光束之間相互獨立，檢測每個輸出光束的干涉信號並分析可單獨獲得衍射元件在某一自由度（或方向）上的位移信息，有利於簡化計算過程。此外，相對於藉由同一輸出光束進行算法解耦得到不同自由度上位移的測量方法來說，利用本實施例的位移測量方法可以顯著減小甚至避免由於共光路結構導致的非線性誤差。

【0123】本實施例的位移測量方法與上述位移測量裝置基於一個總的構思，相關之處可參照關於位移測量裝置的描述。

【0124】 上述描述僅是對本發明較佳實施例的描述，並非對本發明權利範圍的任何限定，任何所屬技術領域具有通常知識者在不脫離本發明的精神和範圍內，都可以利用上述揭示的方法和技術內容對本發明技術方案做出可能的變動和修改，因此，凡是未脫離本發明技術方案的內容，依據本發明的技術實質對以上實施例所作的任何簡單修改、等同變化及修飾，均屬本發明技術方案的保護範圍。

【符號說明】

- 【0125】** 100:讀頭組件
- 110:第一反向回射元件
- 111:第二反向回射元件；
- 130:第一反射元件
- 131:第二反射元件
- 132:第三反射元件
- 133:第一分光元件
- 134:第二分光元件
- 135:第三分光元件
- 136:第四擋光板
- 200:衍射元件
- 300:光源模組
- 310:自由空間雙頻雷射器
- 311:單頻雷射器
- 320:偏振態調節元件

- 321:第二偏振分光鏡
- 322:隔離器
- 323:第一聲光頻移器
- 324:第二聲光頻移器
- 325:第一擋光板
- 326:第二擋光板
- 327:第三擋光板
- 330:第一分光鏡
- 331:第二分光鏡
- 332:第三分光鏡
- 333:第四分光鏡
- 334:第一反射鏡
- 335:第二反射鏡；
- 340:第一保偏光纖耦合器
- 341:第二保偏光纖耦合器
- 350:多模光纖耦合器
- 370:第三光束角度控制器
- 410:第三光探測模組
- 411:第一光探測模組
- 412:第二光探測模組
- 413:第四光探測模組
- 430:第三信號傳輸光纖
- 431:第一信號傳輸光纖
- 432:第二信號傳輸光纖

- 433:第四信號傳輸光纖
- 450:第一保偏光纖準直器
- 451:第二保偏光纖準直器
- 470:第一保偏光纖
- 471:第二保偏光纖
- 481:四分之一波片
- 482:非偏振分光鏡
- 483:第一偏振分光鏡
- 484:第二偏振分光鏡
- 485:第一光耦合器
- 486:第二光耦合器
- 487:第三光耦合器
- 488:第四光耦合器
- 500:信號分析模組
- 610:第一輸入光束
- 611:第二輸入光束
- 612:第三輸出光束
- 613:第一輸出光束
- 614:第二輸出光束
- 621:反向回射元件的入射光束
- 622:反向回射元件的出射光束
- 700:第一光束角度控制器
- 701:第二光束角度控制器
- 702:第三光束角度控制器

1301:透鏡

1302:凹面反射鏡

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種位移測量裝置，其包括：

一光源模組，用於產生一第一輸入光束和一第二輸入光束；

一衍射元件，包括一光接觸面以及沿平行於該光接觸面的方向排布的複數個重複衍射單元；

一讀頭組件，包括至少兩個反向回射元件，該讀頭組件用於接收該第一輸入光束和該第二輸入光束，並引導該第一輸入光束和該第二輸入光束平行地接觸該衍射元件的光接觸面並均發生衍射，然後該至少兩個反向回射元件引導經衍射的第一輸入光束和第二輸入光束中的至少一者，使其與另一者組合形成至少一個輸出光束，每個該輸出光束包括從該衍射元件的光接觸面內的同一光斑位置出射且方向一致的、分別對應於該第一輸入光束和該第二輸入光束的衍射光信號；

一光探測模組，用於檢測每個該輸出光束；以及

一信號分析模組，與該光探測模組連接，用於根據每個該輸出光束產生的干涉信號的相位變化信息獲得該衍射元件的位移信息；

其中該讀頭組件引導該第一輸入光束和該第二輸入光束平行地接觸該衍射元件的光接觸面時，該第一輸入光束在一第一光斑位置發生一次衍射，該第二輸入光束在一第二光斑位置發生一次衍射，該第一輸入光束的一次衍射光束經該反向回射元件和該衍射元件來回反射後，在該第二光斑位置與該第二輸入光束的一次衍射光束至少部分重合並沿同一方向出射而形成一第一輸出光束；該第一輸出光束的干涉信號的相

位變化信息反映了該衍射元件沿光接觸面的法線方向上的垂向自由度的第一位移信息。

【請求項2】 如請求項 1 所述的位移測量裝置，其中該讀頭組件引導該第一輸入光束和該第二輸入光束平行地接觸該衍射元件的光接觸面時，該第一輸入光束在該第一光斑位置發生一次衍射，該第二輸入光束在該第二光斑位置發生一次衍射，該第二輸入光束的一次衍射光束經該反向回射元件和該衍射元件來回反射後，在該第一光斑位置與該第一輸入光束的一次衍射光束至少部分重合並沿同一方向出射而形成一第二輸出光束；該第二輸出光束的干涉信號的相位變化信息反映了該衍射元件沿光接觸面的法線方向上的垂向自由度的第二位移信息。

【請求項3】 如請求項 2 所述的位移測量裝置，其中該第一輸出光束和該第二輸出光束均包括衍射級次方向相同且位於同一衍射階且分別對應於該第一輸入光束和該第二輸入光束的一次衍射光信號；該第一輸出光束與該第二輸出光束的干涉相位相反。

【請求項4】 如請求項 3 所述的位移測量裝置，其中該第一輸出光束包括該第一輸入光束和該第二輸入光束的+1 衍射階一次衍射光信號，該第二輸出光束包括該第一輸入光束和該第二輸入光束的-1 衍射階一次衍射光信號。

【請求項5】 如請求項 2 所述的位移測量裝置，其中該信號分析模組進一步用於根據該第一輸出光束和該第二輸出光束的干涉信號的相位變化信息，獲得該衍射元件沿以光接觸面內的軸偏轉的轉動自由度的位移信息。

【請求項6】 如請求項 1 至 4 中任一項所述的位移測量裝置，其中該讀頭

組件引導該第一輸入光束和該第二輸入光束平行地接觸該衍射元件的光接觸面後，該第一輸入光束和該第二輸入光束的一次衍射光束分別藉由該反向回射元件回射並再次接觸該衍射元件，並均發生二次衍射，該第一輸入光束和該第二輸入光束的二次衍射光束在該衍射元件的第三光斑位置至少部分重合並沿同一方向出射而形成一第三輸出光束；該第三輸出光束的干涉信號的相位變化信息反映了該衍射元件沿平行於該光接觸面方向的水平自由度的第三位移信息。

【請求項7】 如請求項 1 所述的位移測量裝置，其中該衍射元件為一維光柵或二維光柵。

【請求項8】 如請求項 1 所述的位移測量裝置，其中該反向回射元件選自角錐稜鏡、直角稜鏡、貓眼反射器和道威稜鏡中的一種。

【請求項9】 如請求項 1 所述的位移測量裝置，其中該讀頭組件包括光束角度控制器。

【請求項10】 如請求項 9 所述的位移測量裝置，其中該光束角度控制器選自單個的楔角片、楔角片對、衍射光柵以及雙折射元件中的一種。

【請求項11】 如請求項 1 所述的位移測量裝置，其中該第一輸入光束和該第二輸入光束為頻率不同的雷射束。

【請求項12】 如請求項 11 所述的位移測量裝置，其中該光源模組包括一光纖傳輸雙頻雷射器；在沿平行方向接觸該衍射元件前，該讀頭組件還用於對接收到的該第一輸入光束和該第二輸入光束分別進行分光併合光以形成一遠程參考光束。

【請求項13】 如請求項 11 所述的位移測量裝置，其中該光源模組包括一

自由空間雙頻雷射器和一分光元件，其中，該自由空間雙頻雷射器用於產生一雙頻光束，該分光元件用於將該雙頻光束分成兩個偏振方向正交的光束。

【請求項14】 如請求項 11 至 13 中任一項所述的位移測量裝置，其中該光源模組或該讀頭組件包括一偏振控制元件，該偏振控制元件用於使每個該輸出光束中分別對應於該第一輸入光束和該第二輸入光束的該複數個衍射光信號在進入該光探測模組時的偏振方向相同。

【請求項15】 如請求項 1 所述的位移測量裝置，其中該第一輸入光束和該第二輸入光束為頻率相同的雷射束。

【請求項16】 如請求項 15 所述的位移測量裝置，其中該光源模組或該讀頭組件包括一偏振控制元件，該偏振控制元件用於使每個該輸出光束中分別對應於該第一輸入光束和該第二輸入光束的該複數個衍射光信號在進入該光探測模組時的偏振方向正交。

【請求項17】 如請求項 16 所述的位移測量裝置，其中該讀頭組件形成至少四個輸出光束，該光探測模組在檢測到該至少四個輸出光束後，進一步用於對每個該輸出光束的干涉信號進行移相，以輸出依次相差 90 度的四路該輸出光束。

【請求項18】 一種位移測量方法，其包括：

提供一衍射元件，包括一光接觸面以及沿平行於該光接觸面的方向排布的複數個重複衍射單元；

獲得一第一輸入光束和一第二輸入光束；

引導該第一輸入光束和該第二輸入光束平行地接觸該衍射元件的光接觸面並均發生衍射，然後藉由至少兩個反向回射元

件引導經衍射的第一輸入光束和第二輸入光束中的至少一者，使其與另一者組合形成至少一個輸出光束，每個該輸出光束包括從該衍射元件的光接觸面內的同一光斑位置出射且方向一致的、分別對應於該第一輸入光束和該第二輸入光束的衍射光信號；

檢測該輸出光束；以及

根據每個該輸出光束產生的干涉信號的相位變化信息獲得該衍射元件的位移信息；

其中該第一輸入光束和該第二輸入光束平行地接觸該衍射元件的光接觸面時，該第一輸入光束在第一光斑位置發生一次衍射，該第二輸入光束在第二光斑位置發生一次衍射，該第一輸入光束的一次衍射光束經該反向回射元件和該衍射元件來回反射後，在該第二光斑位置與該第二輸入光束的一次衍射光束至少部分重合並沿同一方向出射而形成一第一輸出光束；該第一輸出光束的干涉信號的相位變化信息反映了該衍射元件沿光接觸面的法線方向上的垂向自由度的第一位移信息。

【請求項19】 如請求項 18 所述的位移測量方法，其中該第一輸出光束的干涉信號的相位變化與該衍射元件沿垂向自由度的位移滿足關係式：

$$\varphi_{z1} = \frac{8\pi m}{\lambda} * \Delta Z1 * \cos \theta$$

其中， φ_{z1} 為該第一輸出光束的干涉信號的相位變化， $\Delta Z1$ 為該衍射元件在垂向自由度上的位移量， λ 為該第一輸入光束和該第二輸入光束的波長平均值， θ 為該第一輸入光束和該第二

輸入光束平行地接觸該衍射元件的光接觸面後發生的一次衍射的 m 級衍射角， m 為 0 以外的整數。

【請求項20】 如請求項 18 所述的位移測量方法，其中該第一輸入光束和該第二輸入光束平行地接觸該衍射元件的光接觸面時，該第一輸入光束在第一光斑位置發生一次衍射，該第二輸入光束在第二光斑位置發生一次衍射，該第二輸入光束的一次衍射光束經該反向回射元件和該衍射元件來回反射後，在該第一光斑位置與該第一輸入光束的一次衍射光束至少部分重合並沿同一方向出射而形成一第二輸出光束；該第二輸出光束的干涉信號的相位變化信息反映了該衍射元件沿垂向自由度的第二位移信息；該第一輸出光束與該第二輸出光束的干涉相位相反。

【請求項21】 如請求項 20 所述的位移測量方法，其進一步包括：

在檢測到該第一輸出光束和該第二輸出光束後，根據該第一輸出光束和該第二輸出光束的干涉信號所反映的該衍射元件沿垂向自由度的位移信息，獲得該衍射元件沿以光接觸面內的軸偏轉的轉動自由度的位移信息。

【請求項22】 如請求項 21 所述的位移測量方法，其中該衍射元件與該第一輸出光束對應的位移和與該第二輸出光束對應的位移之間滿足關係式：

$$R_y = \frac{\Delta Z 2 - \Delta Z 1}{D_{f1f2}},$$

其中， $\Delta Z 1$ 和 $\Delta Z 2$ 分別為該第一輸出光束反映的該衍射元件沿垂向自由度的第一位移信息和該第二輸出光束反映的該衍射元件沿垂向自由度的第二位移信息， D_{f1f2} 為該第一光斑位置和該第二光斑位置之間距。

【請求項23】 如請求項 18 至 22 中任一項所述的位移測量方法，其中該第一輸入光束和該第二輸入光束平行地接觸該衍射元件的光接觸面後，使該第一輸入光束和該第二輸入光束的一次衍射光束分別藉由該反向回射元件回射並再次接觸該衍射元件，並均發生二次衍射，該第一輸入光束和該第二輸入光束的二次衍射光束在該衍射元件的第三光斑位置至少部分重合並沿同一方向出射而形成一第三輸出光束；該第三輸出光束的干涉信號的相位變化信息反映了該衍射元件沿平行於該光接觸面方向的水平自由度的第三位移信息。

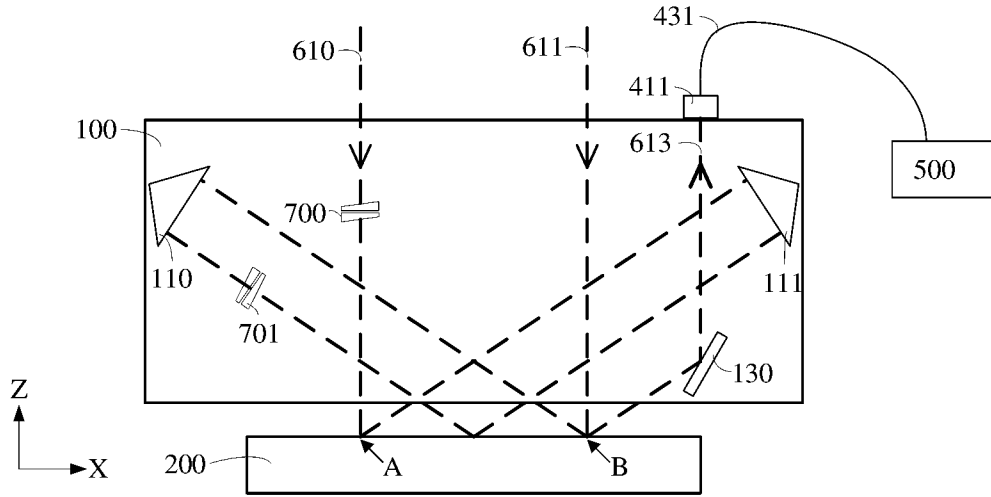
【請求項24】 如請求項 23 所述的位移測量方法，其中該第三輸出光束的干涉信號的相位變化與該衍射元件在對應的水平自由度的位移滿足關係式：

$$\varphi_{x1} = -\frac{2\pi m}{P} * \Delta X * 2 - \frac{2\pi m}{P} * \Delta X * 2 = -\frac{8\pi m}{P} * \Delta X ,$$

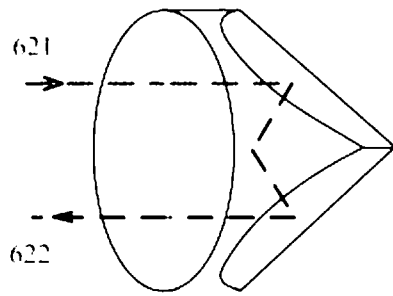
其中， φ_{x1} 為該第三輸出光束的干涉信號的相位變化， ΔX 為該衍射元件在第一方向上的位移， P 為該衍射元件的複數個重複衍射單元沿該水平自由度方向間距， m 為 0 以外的整數。

【請求項25】 一種光刻設備，該光刻設備包括可相對移動的晶片平台和遮罩版平台，其中該光刻設備包括如請求項 1 至 17 中任一項所述的位移測量裝置，其中，該衍射元件貼附於該晶片平台或該遮罩版平台中的一個，該讀頭組件貼附於該晶片平台或該遮罩版平台中的另外一個。

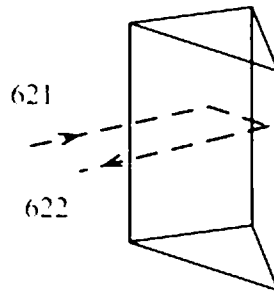
【發明圖式】



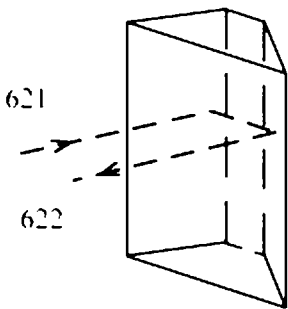
第 1 圖



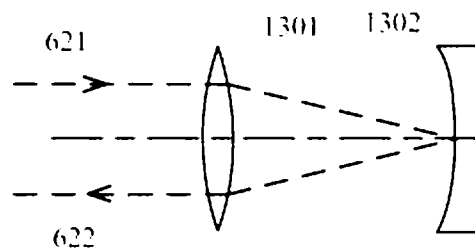
(a)



(b)

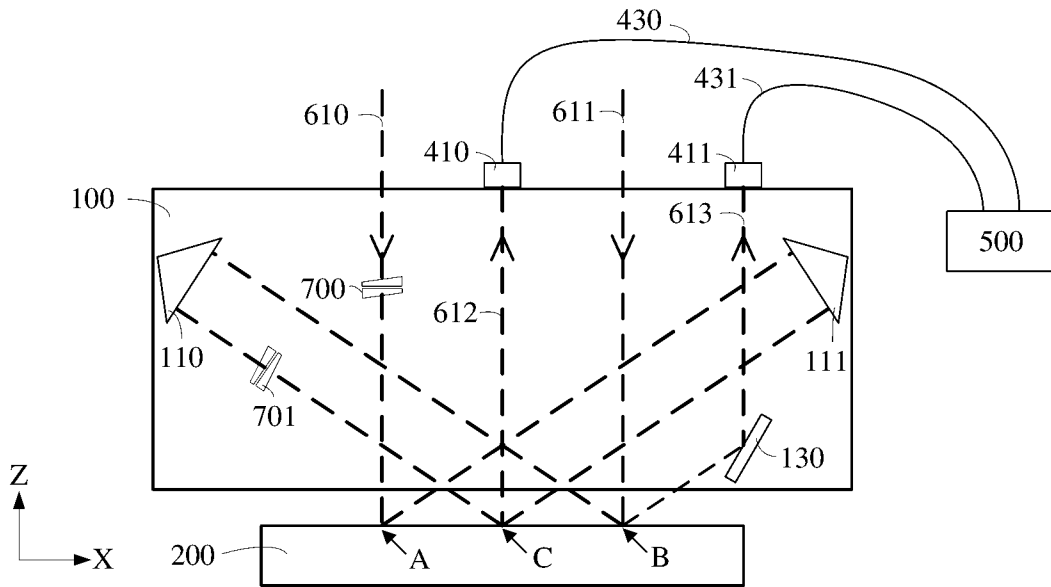


(c)

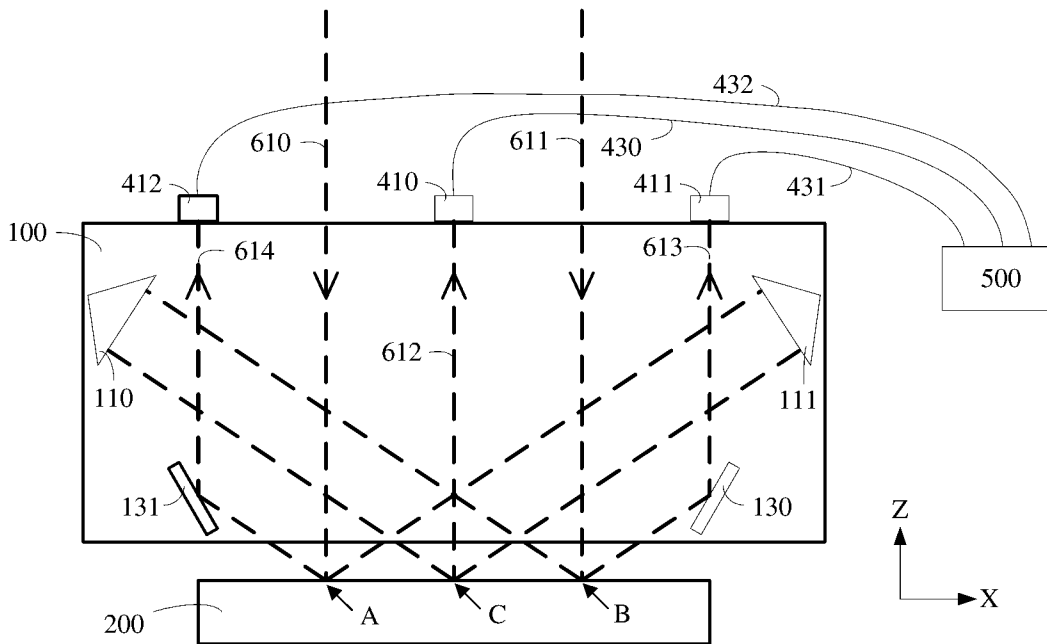


(d)

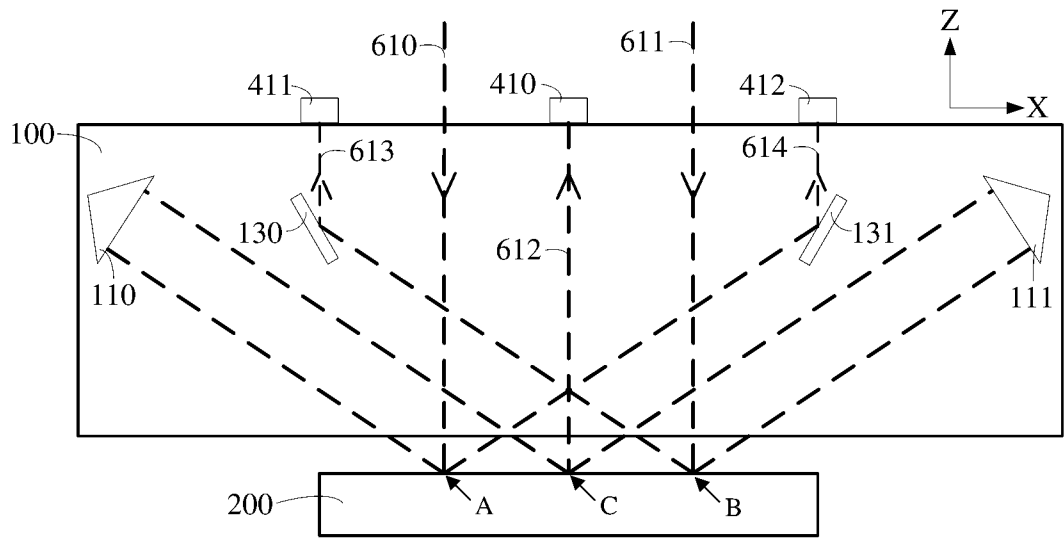
第 2 圖



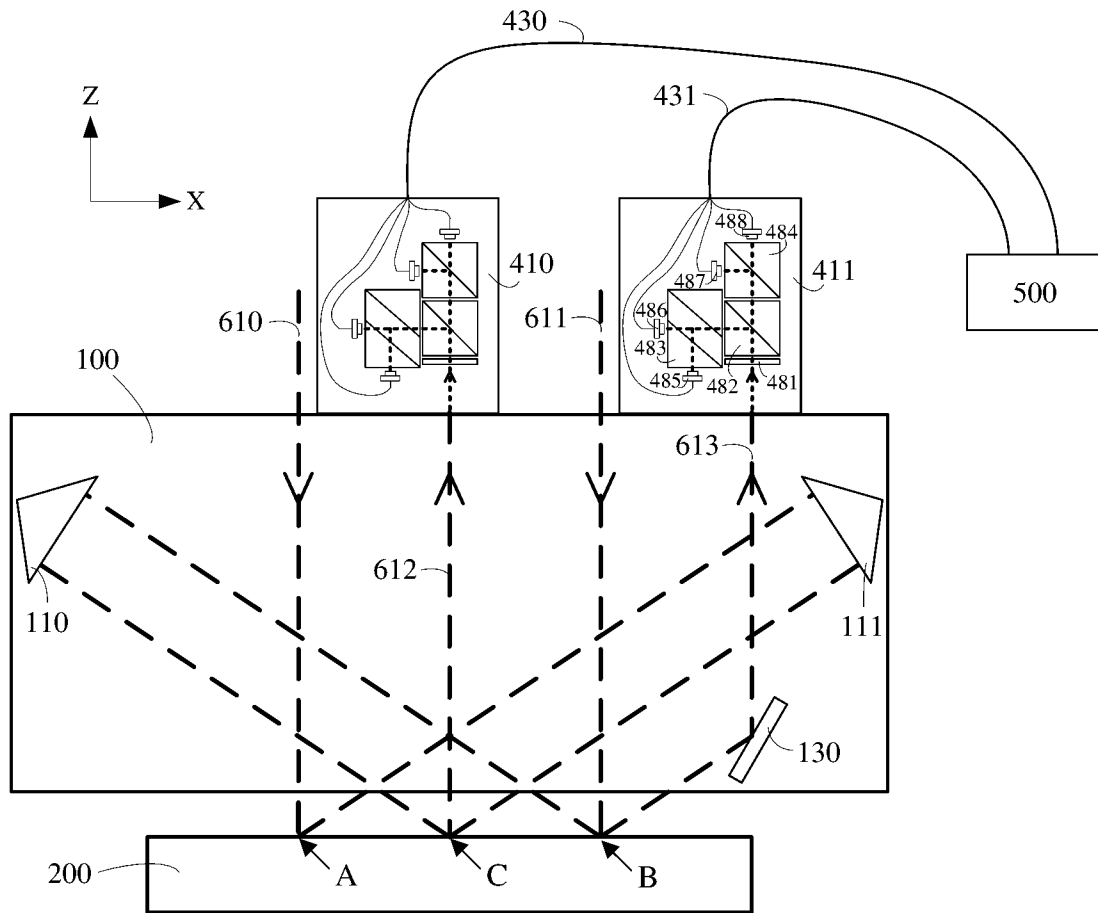
第 3 圖



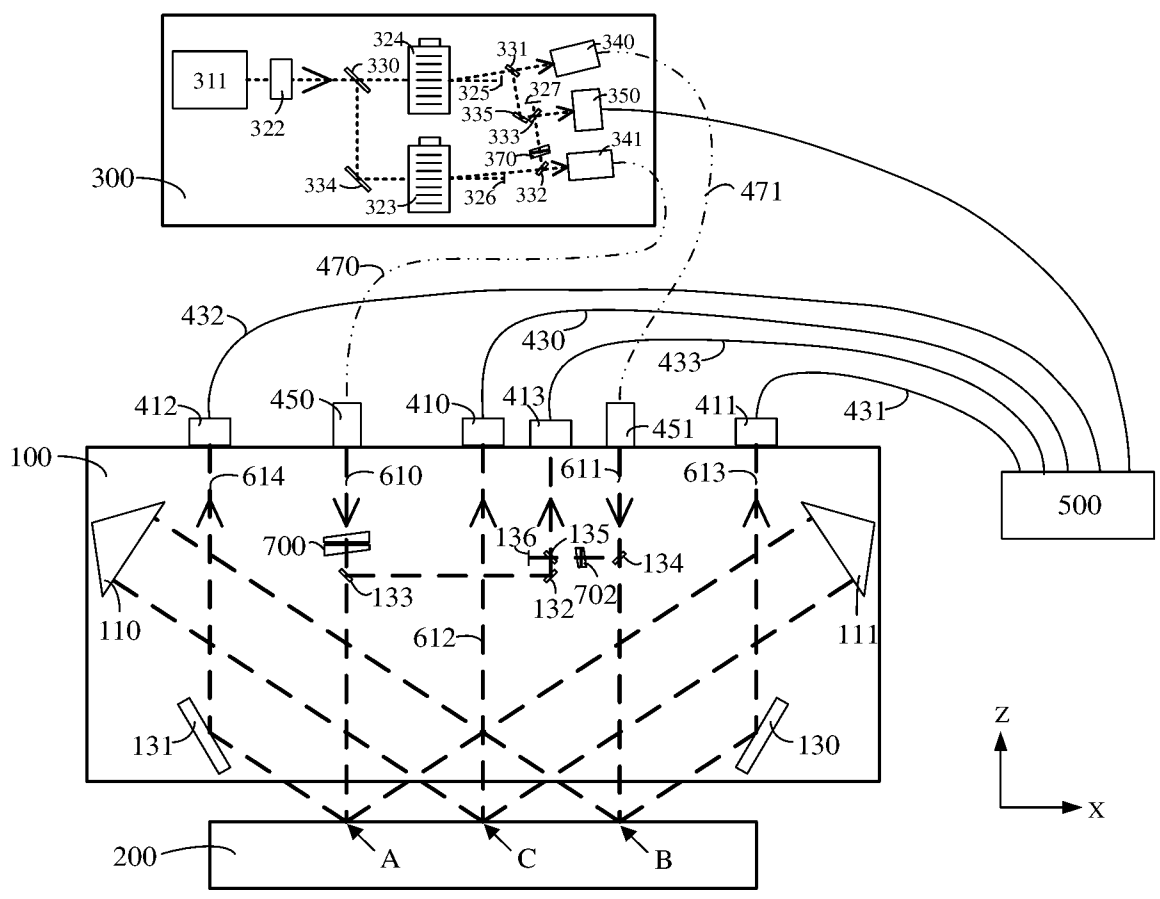
第 4 圖



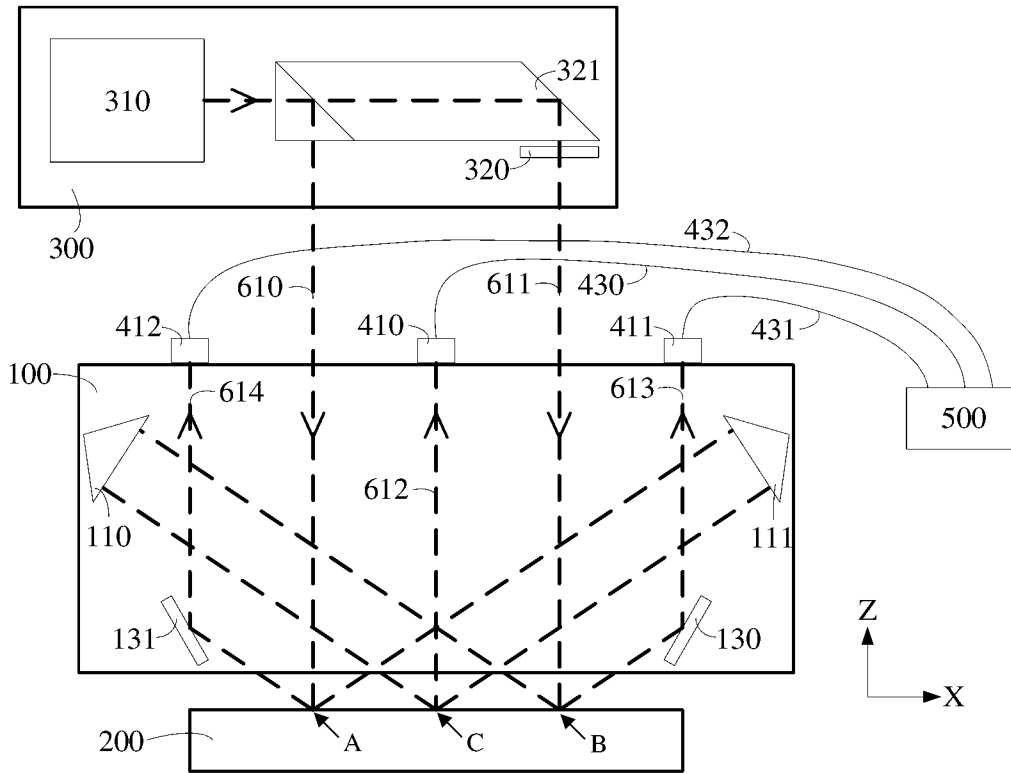
第 5 圖



第 6 圖



第 7 圖



第 8 圖