



發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：91135414

※ 申請日期：91.12.6

※IPC 分類：G01B⁹²/₀₂.1/06¹¹/₃₀

壹、發明名稱：(中文/英文)

相位移干涉術之方法與系統/PHASE-SHIFTING INTERFEROMETRY
METHOD AND SYSTEM

貳、申請人：(共1人)

姓名或名稱：(中文/英文)

賽格股份有限公司/ZYGO CORPORATION

代表人：(中文/英文) 卡爾 A. 薩諾尼/Carl A. Zanoni

住居所或營業所地址：(中文/英文)

美國 06455-0448 康乃迪克州，密德菲爾得市，羅瑞爾、布魯克路 21 號

國籍：(中文/英文) 美國/USA

參、發明人：(共1人)

姓名：(中文/英文)

萊思禮 L. 迪克/Leslie L. Deck

住居所地址：(中文/英文)

美國康乃狄格州 06457，中央城市，山谷大道 48 號

國籍：(中文/英文) 美國/USA

肆、聲明事項：

本案係符合專利法第二十條第一項 第一款但書或 第二款但書規定之期間，其日期為： 年 月 日。

◎ 本案申請前已向下列國家（地區）申請專利 主張國際優先權：

【格式請依：受理國家（地區）；申請日；申請案號數 順序註記】

1. 美國；2001/12/10；60/339,214

2. 美國；2002/11/26；10/304,209

3.

4.

5.

主張國內優先權（專利法第二十五條之一）：

【格式請依：申請日；申請案號數 順序註記】

1.

2.

主張專利法第二十六條微生物：

國內微生物 【格式請依：寄存機構；日期；號碼 順序註記】

國外微生物 【格式請依：寄存國名；機構；日期；號碼 順序註記】

熟習該項技術者易於獲得，不須寄存。

玖、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係有關於干涉術，並且係特別有關於相位移干涉術。

【先前技術】

干涉光學技術已廣泛地用以量測光學厚度、平坦度及其它精密光學元件之幾何與折射率性質，像是應用於微影光罩之玻璃基板。

舉例而言，為了量測一待測表面之表面外觀，可以利用干涉儀將待測表面反射的量測波前與參考物表面反射的參考波前結合，形成一光學干涉圖案。此光學干涉圖案強度曲線之空間變化，就是待測表面相對於參考物表面之外觀變化，造成結合的量測波前與參考波前之間的相位變化。相位移干涉術(PSI)可用以精確地測定相位差以及待測表面之對應外觀。

利用 PSI，對於參考波前與待測波前之間的各個相位移，記錄其光學干涉圖以便產生一連串的光學干涉圖案，其跨越至少一完整循環的光學干涉(例如，從建設性干涉到破壞性干涉，並且又恢復至建設性干涉)。對於圖案之各個空間位置，光學干涉圖案測得一連串的強度值；對於其空間位置，每串強度值又正弦相關於相位移與相位偏移量，其中相位偏移量等於結合的量測波前與參考波前之間的相位差。應用已知的數值技術，對於各個空間位置的相位偏移量已自正弦狀的強度值取出，以便提供待測表面相對於參考表面之外觀。此種數值技術一般稱為相位移演算法。

於 PSI 中的相位移可藉由改變自待測表面至干涉儀相對於自參考表面至干涉儀的光路徑長度而獲得。例如，參考表面可相對於待測表面而移動。或者，藉由改變待測波前與參考波前之波長，相位移可為

一固定的、非零光路徑差。之後的申請案已揭露於波長調制 PSI，且已揭露於美國專利第 4,954,400 號。

【發明內容】

本發明提供一種方法與系統，其中 PSI 資料被轉換成一數域，其產生光譜狀分開的峰值，每一峰值對應藉由許多對表面定義的干涉腔室內的特定的一對表面。關於腔室內一特定對表面，每一峰值提供光路徑長度與表面反射資訊。結果，來自此腔室的干涉資料提供關於各種表面的即時資訊。例如，關於任何特定表面的資訊可被精確地測定。進一步，本發明之實施例對於不同的外觀表面提供三維相關的特徵。再者，即使對於藉由單一對表面形成的空穴，本發明之實施例不需要以特定的頻率發生干涉。尤其，資料可在不需要於相鄰資料點之間預設相位間隔的情況下被測定，其中相位間隔與特殊的腔室長度有關。

為了產生光譜分離的峰值，干涉信號可使用任何方法而相位移，其以不同頻率調制來自不同光路徑之腔室的貢獻值。例如，波長調制的 PSI 資料產生此種結果，因為光頻率的變化於干涉相位方面產生對應的變化，其正比於光路徑長度(OPL)。相同地，例如，干涉訊號可藉由改變照射於腔室的光束的傾斜角度而相位移。

於實施例中，相位移係大體與時間呈線性關係，轉換可為一頻率轉換(例如傅立葉轉換)，其將干涉訊號自時間域轉換至頻率域。於此種情形下，於轉換域內的每一頻率對應一特定的 OPL。於其它實施例中，干涉訊號被轉換成 OPL 域。此種轉換可藉由計算相位移分量(例如波長調制源的調制特徵)，以及對於任何非線性的相位移補償其頻率轉換而獲得。或者，相位移可即時被監視，例如使用一參考腔室以便提供干涉訊號直接轉換至 OPL 域(其將

接著被當作 OPL 轉換而參考)。

除了測定單一與許多表面外觀外，本發明之實施例揭露關於各種成雙的表面的使用資訊，以便測定光學厚度、物理厚度及本質特性(像是折射率變化)。此外，此技術可用以量測複雜的光學元件，像是弧形表面、高精密的腔室、稜鏡、楔型物及許多元件的光學組合，像是全反射角、介面及於此種結構中的缺陷。

一般而言，於一型態中，本發明提供一種干涉術之方法，其包括：i)將許多表面反射的光波前之不同部位結合，形成一光干涉影像；ii)隨著不同光波前之變化特性，造成多對具有不同光路徑之表面提供不同的干涉訊號，於光學干涉影像之不同部位，記錄一干涉訊號；iii)轉換至少一部位的干涉訊號，以便於光譜座標上產生對應每一對表面、具有一峰值的光譜；以及 iv)鑑別峰值的光譜座標，對應被選擇的每一對表面。

本發明之實施例可包括下列特徵。

許多表面可包括至少一參考表面與至少一待測物表面。此外，例如，選擇的表面可包括光學元件或光學組件的各個表面。再者，於某些實施例中，自選擇的表面之一反射的波前部位，自光學元件之內面經由反射被導引至另一表面。相同地，於其它實施例中，自選擇的表面之一反射的波前部位，自光學組件之兩個元件之間的介面，經由反射被導引至另一表面。

此方法可能更包括，對於各個位置，於對應被選擇的一對表面的峰值光譜座標，汲取得到干涉訊號的光譜相位。於某些實施例中，對於各個位置汲取得到干涉訊號的光譜相位，包括對於各個與峰值光譜座標有關的剩餘位置，其對應於被選擇的一對表面

而轉換干涉訊號。於其它實施例中，對於各個位置汲取得到干涉訊號的光譜相位，包括對於各個剩餘位置，將干涉訊號轉換，以便產生具有對應於被選擇的一對表面的峰值的光譜。

此方法可進一步包括，根據對於光學干涉影像的許多部位取得相位的變化，測量被選擇的一對表面之間的光路徑的變化。再者，此方法可進一步包括：根據測量得到的變化，計算被選擇的一對表面之一的表面外觀；根據測量得到的變化，計算被選擇的一對表面之間的光學厚度；根據測量得到的變化，計算被選擇的一對表面之間的物理厚度；且/或根據測量得到的變化，計算被選擇的一對表面之間的同質性。

隨著改變光波前的光頻率，干涉訊號可儲存於光學干涉影像的不同部位。

或者，隨著改變光波前的行進方向(例如傾斜角)，干涉訊號可儲存於光學干涉影像的不同部位。例如，光波前的行進方向變化可包括改變用以產生光波前的照明光源點的位置。再者，光波前的行進方向變化包括改變用以產生光波前的環狀光源的直徑。

可藉由將干涉訊號自時間維度轉換成頻率維度而產生光譜。或者，可藉由將干涉訊號轉換成光路徑差維度而產生光譜。

此方法可進一步包括，隨著自光波前的額外步位，監視自參考穴產生的參考相位。例如，根據監視的參考相位，藉由將干涉訊號轉換成光路徑差維度而產生光譜。於這類實施例中，光譜 S 相當於 $S D = |DPLT D|^2$ ，其中 D 係關於光路徑差的變數且 $OPLT D$ 係一 OPD 轉換，其可以表示成：

$$OPLTD = \sum_{j=0}^{N-1} I_j W_j \exp \left[1 - \varphi_{Mj} \frac{D}{D_M} \Delta \varphi_{Mj} \right]$$

其中，對於光波前變化特性，具有 N 個增加量； j 係 N 個增加量； I_j 係增加量 j 的干涉訊號； W_j 係增加量 j 的加權值； D_M 對應於參考穴的光路徑長度； φ_{Mj} 係增加量 j 的監視參考相位；以及 $\Delta \varphi_{Mj}$ 係相對應於增加量 j 的監視參考相位之增加量。於某些實施例中，並未應用加權的功能，例如 $W_j=1$ 。此方法更可包括，根據對應峰值的 OPD 座標，測量被選擇的一對表面之間的光路徑差。此 OPD 測量可對一個或多個位置執行。此方法亦可包括，對於每個位置，於對應於被選擇的一對表面的峰值光譜座標處，汲取得干涉訊號的光譜相位，此汲取得的相位 φ_T 可計算自 $\varphi_T D_T = \arg[OPLT D_T]$ ，其中 D_T 係峰值的光譜座標。

記錄的干涉訊號可進一步包括，於波前特性變化期間，監視光波前的強度變化，並且對於強度變化作補償。

此方法可進一步包括，於光譜中根據至少某些峰值的振幅，對於被選擇的一對表面之至少一者，計算關於表面反射率的資訊。

被選擇的一對表面可為高精確孔穴的表面。例如，高精確孔穴的表面可具有大於 70% 的反射率。

此方法可進一步包括，根據於許多部位的光譜，測量於被選擇的一對表面之間是否存在缺陷。缺陷的存在可對應於，許多部位之至少之一者的光譜出現的額外峰值。例如，被選擇的一對表面可為光學元件之前、後表面，缺陷可為光學元件中的氣泡，或者於光學元件中的雜質。

此方法可進一步包括，鑑別出對應於許多表面之第二對被選

擇表面的峰值光譜座標。再者，此方法進一步包括，對於每一位置，自對應於第一對被選擇表面的峰值座標以及對應於第二對被選擇表面的峰值座標中，汲取得的干涉訊號之光譜相位。例如，被選擇的表面可包括光學元件(例如稜鏡)的許多表面。此外，例如，被選擇的表面可包括光學構件的許多表面，其中許多表面之一者為光學構件之兩元件之間的介面。

於其他實施例中，被選擇的一對表面可包括一第一參考表面，一第一光學元件表面及一第二參考表面，其中波前部位之一，經由光學元件之至少一內部表面反射，指引向第二參考表面。於此情形中，此方法可進一步包括，根據汲取得的相位，測量光學元件之內部表面相對於光學元件之第一表面的角度方向。此外，此方法可進一步包括，根據汲取得的相位，測量光學元件之內角，其中至少一內部表面包括用以測量內角的兩個內部表面。例如，此光學元件可為一稜鏡(例如，直角稜鏡)。於某些實施例中，直角稜鏡具有兩個定義正交直角的兩個內部表面；以及至少一內部表面，其具有定義正交直角的兩個內部表面；並且光學元件之第一表面係直角稜鏡之正面。於其他實施例中，直角稜鏡具有定義正交直角的兩個表面，並且至少一內部表面係直角三角形的斜面，連接定義正交直角的兩個表面，以及光學元件之第一表面係定義正交直角的兩個表面之一者。

於其他型態中，本發明之特徵在於光學構件方法包括：將一第一光學元件與一第二光學元件結合，以便製作一光學構件；利用上述干涉術方法，測量得光學構件之干涉特徵；以及根據干涉特徵，將第一光學元件與第二光學元件重新結合。

一般而言，於其他型態中，本發明之特徵在於提出測量存在於光學元件內的缺陷的方法。此方法包括：i)藉由將自許多表面反射的光波前不同部位結合，形成光學干涉影像，其中許多表面包括光學元件之至少一表面；ii)隨著光波前特性改變，造成具有不同光路徑分隔的許多對表面產生不同的干涉訊號，記錄位於光干涉影像的不同部位之干涉訊號；iii)對於至少一位置轉換干涉訊號，對應於許多表面之每一對，於光譜座標產生具有不同峰值的光譜；以及iv)根據光譜，測量缺陷是否存在於光學元件中，其中缺陷係對應於光譜中許多位置之一者的異常峰值。舉例而言，缺陷可包括於光學元件中的一空氣泡、於光學元件中的雜質、且/或於光學元件之次元件之間的不完美結合之部位。

一般而言，於其他型態中，本發明特徵在於此系統包括：i)一光源，其具有一調制的構成元件，配置用以變化自光源產生的光波前特性；ii)一干涉計，於操作期間將光波前的不同部分導引至許多表面，並且將不同部分再結合以便形成一光干涉影像；iii)一複數單元的光檢知器，隨著經由調制構成元件改變光波前特性，設置用以記錄位於不同光干涉影像位置的干涉訊號，其中波前特性的變化造成具有不同光路徑分隔的許多對表面產生不同地干涉訊號；以及iv)一電子控制器，與光源及光檢知器耦接，其中，於操作期間，電子控制器：對於至少一位置轉換干涉訊號，以便於對應於每一複數表面對的光譜座標，產生具有峰值的光譜；以及鑑別對應於被選擇的複數對表面的峰值光譜座標。

系統的實施例可包括以下特徵。

干涉儀可包括至少一參考表面，其中複數表面包括至少一參

考表面以及至少一個表面的一測試目標物(例如，一光學元件或構件)。

對於每一不同位置，電子控制器可汲取得，位於對應至被選擇的一對表面的峰值座標處之干涉訊號光譜相位。舉例而言，藉由對於每一剩餘位置轉換干涉訊號，以便產生對應至被選擇的一對表面之具有峰值的對應光譜，控制器可對於每一位置汲取得干涉訊號之光譜相位。或者，舉例而言，藉由對於與峰值光譜座標有關的每一剩餘位置，其對應於被選擇的一對表面，轉換干涉訊號，控制器可對於每一位置汲取得干涉訊號之光譜相位。再者，控制器亦可根據對於光干涉影像之複數位置汲取得的相位變化，測量被選擇的表面對之間的光路徑距離變化。

光源可以是頻率可調制的光源，調制元件可為一驅動器改變光源的輸出頻率，以及藉由調制元件改變的波前特性可為波前頻率。

或者，調制元件可被設置用以改變波前入射許多表面的傾斜角度，並且藉由調制元件改變的波前特性可為傾斜角度。舉例而言，藉由改變光源之照射位置，調制元件可被設置用以改變傾斜角度。再者，光源可被設置用以產生環狀輸出，並且調制元件可被設置用以改變環狀輸出的直徑。

藉由自時間域轉換干涉訊號至頻率域，控制器可產生光譜。或者，藉由將干涉訊號轉換至光路徑差(OPD)域，控制器產生光譜。

干涉儀可包括一參考穴與一檢知器，其用以監視來自與光波前之額外部位有關之參考穴的參考相位。於此類實施例中，根據監視的參考相位，藉由將干涉訊號轉換成光路徑差(OPD)領域，控

對應於第二選擇表面對之峰值座標。

於此類實施例中，干涉儀包括一第一參考表面與一第二參考表面，其中複數表面包括該第一與第二參考表面以及一光學元件之一第一表面，並且該干涉儀配置用以導引波前部位之一，經由一反射自該光學元件之至少一內表面至該第二參考表面。再者，控制器可進一步根據汲取得的相位，測量光學元件之內表面相對於光學元件之第一表面的角度方向。此外，控制器可進一步根據汲取得的相位，測量光學元件之內角，其中至少一內表面包括定義該內角的兩個內表面。

一般而言，於另一種型態中，本發明之特徵在於提供一種用以測量光學元件中存在的缺陷的系統。該系統包括：i)一光源，其具有一調制元件，配置用以變化自光源產生的光波前特性；ii)一干涉計，於操作期間將光波前的不同部分導引至許多表面，並且將不同部分再結合以便形成一光干涉影像；iii)一複數單元的光檢知器，隨著經由調制元件改變光波前特性，設置用以記錄位於不同光干涉影像位置的干涉訊號，其中波前特性的變化造成具有不同光路徑分隔的許多對表面所產生不同的干涉訊號；以及iv)一電子控制器，與光源及光檢知器耦接，其中，於操作期間，電子控制器：對於至少一位置轉換干涉訊號，以便於對應於每一複數表面對的光譜座標，產生具有峰值的光譜；以及根據光譜，測量缺陷是否存在於光學元件中，其中缺陷對應於光譜中至少一位置的異常峰值。舉例而言，該光源可為一頻率調制光源；該調制元件可為一驅動器，其改變光源的輸出頻率；以及藉由調制元件變化的波前特性可為波前的頻率。

本發明的實施例可包括以下所有的優點。

相位移干涉計可執行線性或非線性相位移增加。本發明之某些實施例可對於凹處表面量測反射率，且/或描述高精密的凹處。本發明之某些實施例亦可以三維座標，標示缺陷位於光學元件之裡面或表面。本發明之某些系統或方法亦可執行內角量測，並且可描述複數元件的光學構件。描述的複數元件之光學構件可包括，例如，確認元件之間的介面是否完整，元件的角度，檢知元件內的缺陷，以及藉由比較構件被調整前及調整後之量測，可以計算/評定構件(構件之各零部件)之外觀。

除上述定義之外，所有在此被使用的技術與科學名詞，對於熟習此技術之人士可輕易地了解其具有相同的意義。在此被提及的所有的公開文獻、申請專利、專利及其他參考資料在此加入以供參考。如果發生衝突，將由本說明書包含定義來管制。

本發明之其他實施例之詳細說明將進一步伴隨著以下圖式與說明而說明之。本發明之其他特徵、目的及優點將藉由以下說明與圖式，以及申請專利範圍而更加清楚。

【實施方式】

本發明提供一種實施相位移干涉儀(PSI)之方法與系統，其利用，像是，於不同路徑的干涉儀(例如 Fizeau 干涉儀)中的光頻率調制，以便產生相位移。PSI 資料被轉換(例如，頻率轉換)產生光譜分離的峰值(例如，頻率峰值)，每一個對應位於藉由複數表面對定義的干涉凹處中的不同的表面對。干涉術之實施例在此參考當作頻率轉換相位移干涉術("FTPSI")。參考這類 FTPSI 實施例，不管使用何種特殊的轉換型式。例如，轉換可為以下描述的 OPL 轉換。

於兩表面凹處中，光頻率變化導致引起對應的干涉相位變化，其正比於光路徑長度(OPL)。相同地，於具有超過兩個表面的凹處中，複數反射表面將產生干涉圖案；對於相同光頻率變化，其具有不同的相位移。每一不同的相位移對應位於凹處內之每一表面對(例如，基本的兩個表面凹處)之間的光路徑差。結果，來自凹處的波長調制干涉資料被轉換成頻率域(例如藉由利用傅立葉轉換)，以便產生一組頻率分隔的頻率峰值。每一峰值對應凹處中特定的表面對，並且提供與表面對有關的光路徑長度資訊。再者，可設置本發明之實施例，因此於干涉儀中的每一表面對的干涉相位移頻率可彼此被區隔開。

每一凹處的峰值頻率可利用凹處微小的光學厚度及微小的光頻率調制率的資料而被量測。或者，每一凹處的峰值頻率可自頻率轉換干涉資料獲得。每一凹處的干涉相位可自分離的傅立葉轉換干涉資料而被測量，鑑定大體位於峰值頻率。跨越每一凹處的干涉相位分佈(或相位圖)可被用以測量，例如，每一凹處之光厚度變化。進一步，於相同的實施例中，相位圖可用以測量折射率變化(例如，折射率的橫向變化)，以及於凹處中的透明待測物的物理厚度變化。

再者，藉由頻率轉換資料之第一次取得的高解析度頻率光譜，其可以相關地測量每一凹處的峰值頻率之精確值。峰值頻率之精確值可以量測每一凹處之絕對光學厚度。於某些實施例中，其提供量測於凹處中的待測物之絕對物理厚度及絕對折射率。

干涉儀系統 100 之概要圖式顯示於第 1 圖中。系統 100 適合量測自透明待測物 101(例如，一光學層)之前表面 102 與後表面 103

之間的光干涉。量測的光干涉分別包括參考物 110 與 120 之表面 111 與 121 的額外反射的貢獻。例如，參考物 110 與 120 可為參考層，其具有已充分描述的表面。然而，藉由表面 111 與 121 定義的參考表面不需要已充分描述。表面 102 係藉由一狹縫 125 與表面 121 分隔，並且表面 103 係藉由另一狹縫 115 與表面 111 分隔。系統 100 包括一底座，相對於參考物 110 與 120 及電腦 190 設置待測物 101。系統 100 額外地包括一調制光源 140(例如一雷射二極體)、連結光源 140 用以調制其輸出光頻率之一驅動器 145、一光束分割器 150、一準直光學 130、一攝像光學 160、一 CCD 照相機 170 以及儲存藉由照相機 170 感知的影像的畫面捕捉器 180。於某些實施例中，一單一裝置可執行控制與量測兩種功能(例如，畫面捕捉器 180 可與電腦 190 結合)。經由與微小光頻率 ν 有關的頻率範圍 $\Delta\nu$ ，驅動器 145 調制光源 140 的光頻率 ν 。

於操作期間，控制器 190 使驅動器 145 控制自光源 140 發射的光頻率；並且使畫面捕捉器 180 儲存藉由 CCD 照相機 170 對於每一明確的光頻率拍攝的光干涉影像。畫面捕捉器 180 將每一影像傳送至控制器 190，其利用 PSI 運算法則分析它們。於某些實施例中，驅動器 145 線性地調制光源 140 的光頻率，如同一連串干涉影像被記錄。或者，於其他實施例中，驅動器可以分階段或根據其他功能調制光頻率。

於操作期間，光源 140 導引具有光頻率 ν 的光至光束分割器 150，接著導引光至準直透鏡 130 以便將光準直成一平面場。非必要地，一第二光束分割器(未顯示)導引一部分光至一光頻率監視器，以下將參考第 5 圖作進一步說明。表面 121 反射一第一部分

光並形成一第一參考波前 105a，並且待測物 101 之表面 102 與 103 反射光的額外部分並分別形成波前 105b 與 105c。表面 111 亦反射一部分光以便形成一第二參考波前 105d。透鏡 130 與 160 接著將波前 105a、105b、105c、105d 成像至 CCD 照相機 170 上，於其形成一光干涉圖案。光干涉圖案亦包括於凹處 109 內更高階反射的貢獻。更高階反射包括，例如，反射自表面 121 的光，與表面 102 第一次反射後接著自表面 121 反射再自表面 102 反射的光，其彼此之間的干涉。

於下列分析中，第一次考慮基本的兩表面干涉儀凹處，像是藉由表面 121 與表面 102 形成的凹處，其調制光頻率產生的光干涉圖案。該等表面利用一物理間距 L 分隔並且包含具有折射率 n 的一介質。例如狹縫可填滿空氣，其具有折射率大約為 1。折射率與狹縫厚度之乘積， nL ，標示當作光學厚度(對於空氣而言，物理厚度大體等於 L)。自表面 102 反射具有波數 k 的光束，與自表面 103 反射 p 次的光束之間的總相位差 ϕ ，接著表示成：

$$\phi(x, y) = 2pknL(x, y) + \Phi = 2pnl(x, y) \frac{2\pi\nu}{c} + \Phi \quad (1)$$

其中 ν 是光的光頻率， c 是光速，及 Φ 係總常數相位。與狹縫間隔 L 相關的 x 、 y 以及相位 ϕ 明確地顯示於等式(1)，並顯示空間變化的相位。於某些實施例中，折射率 n 亦具有 x 、 y 相關變數。相位變化或相位圖之汲取，一般係源自於 PSI 的資訊。為了簡潔的緣故，於下列等式中將省略明確的 x 、 y 變數。

調制光源頻率， ν ，產生干涉相位變化， $\dot{\phi}$ ，其與光頻率調制頻率， $\dot{\nu}$ ，及凹處之光路徑差 $2pnL$ 相關，並可表示成

$$\dot{\phi} = \frac{4\pi}{c} \frac{pnL\dot{\nu}}{c} [1 + \eta] \quad (2)$$

其中點表示對於時間微分。此項 $\eta = \frac{v}{n} \frac{\partial n}{\partial v}$ 係由於折射率色差(折射率隨著波長變化)。計算折射率色差可增加量測精確度，特別對於絕對的量測。因此，凹處干涉以頻率 f_c 變化，其可由等式表示

$$f_c = \frac{2pnLv}{c} [1 + \eta] \quad (3)$$

因此，於基本的凹處中，複數反射產生頻率的干涉，也就是第一階(就是 $p=1$)簡諧頻率。

於某些實施例中，假如光學厚度 nL 的微量值及光頻率調制率 v 為已知，頻率 f_c 可自等式(3)獲得。此外，頻率 f_c 可藉由利用 CCD 照相機 [17] 獲得的干涉強度資料轉換成頻率域(像是利用傅立葉轉換)而鑑別出來。此轉換產生一頻率光譜且鑑別光譜中對應峰值的頻率。

一旦 f_c 已經獲得，且對於大體線性的頻率調制，任何基本凹處的干涉相位可利用分裂傅立葉轉換(DFT)之干涉複雜振幅而重新獲得，對於該凹處計算各個第一階頻率 f_c ：

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Im}(DFT(f_c))}{\text{Re}(DFT(f_c))} \right) \quad (4)$$

其中

$$DFT(f_c) = \sum_{j=0}^{N-1} I_j W_j \exp[i \frac{2\pi j f_c}{f_s}] \quad (5)$$

於等式(5)中， I_j 係量測光頻率調制的第 j 個光頻率的強度樣本。 N 係需要的強度樣本之總數。 W_j 係與傅立葉函數 W 相關的取樣權重，以及 f_s 係取樣頻率。傅立葉函數 W 一般選擇用來抑制相位之貢獻，其計算來自與 f_c 不同的額外頻率以及來自有限次觀察間隔的效應。傅立葉函數的例子包括 Hamming 函數及 Tukey 函數。Turkey 函數於具有一個或多個靠近 f_c 的額外頻率峰值之實施例中

具有優點，例如函數之尖端寬度可被選擇對位於 f_c 的該等額外頻率有效地零權重。

相位 φ 的獲得係利用每一 CCD 像素對於凹處產生相位分布 $\varphi(x, y)$ (或相位圖)。光學厚度 (或與光學厚度相關) 的變化可自等式 1 獲得。此外，對於參考表面 121 之表面形狀為已知的情況，相位分布可用來測量表面 102 之表面外觀。請注意利用等式 4 與 5 定義的相位汲取結果產生相位模 2π 。利用習知的 2π 相位不明確展開技術，其已是習知技術，此等相位不明確可用來計算相位圖。

以上討論的相位汲取分析提供與凹處有關的資訊 (例如像素與像素之間的變化)。它亦可以測量關於凹處的所有資訊。根據等式 3，可以根據第一階峰值頻率 f_c 測量絕對光學厚度 nL 、頻率調制頻率 ν 及色差。然而，這些測量的精確性係根 f_c 與 ν 可被量測的精確度有關。再者，絕對光學厚度 nL 之 x 與 y 變數可藉由自對應 CCD 照相機 170 之每一像素的干涉強度資料分別鑑別出第一階頻率 f_c 而獲得。

於某些實施例中，可獲得凹處之一小部位的高解析頻率光譜 (例如，對應一個 CCD 像素)，以便精確地量測 f_c 。因此，對於凹處之絕對光學厚度之精確值可量測該凹處部位。利用相同的量測資訊，可以獲得整個凹處的低解析頻率光譜。利用等式 4 與 5，此資訊可用來測量相關的相位圖及凹處的相關光學厚度變化。整個凹處的絕對光學厚度接著可參考光學厚度關於量測小部分凹處之絕對光學厚度變化，而測量得到。影響頻率光譜解析度的參數將於以下討論。

以上描述的分析，其條件為待測物 101 為不透明，且只有考

量表面 102 與待測物 101 之反射。然而，於某些實施例中，待測物 101 為透明的，且必須考慮來自表面 121、102、103 的反射。於以下分析中，自參考層 110 表面的反射將被忽略。舉例而言，參考層 110 可被移除。現在具有三個第一階基本的兩表面凹處，其分別對應於表面對 121 與 102、121 與 103 及 102 與 103。表面 121 與表面 102 以距離 L (即狹縫 125) 分隔。以下描述中，狹縫 125 中假設填滿空氣並且折射率等於 1。待測物 101 具有厚度 T 與折射率 n 。假設已配置干涉儀，則所有的基本凹處具有獨特的 OPL's。接著第一階頻率係光譜分隔，並且任何基本凹處的干涉相位可利用頻率分解及等式 4 與 5 提供的相位汲取方式而獲得。因此，對於複數基本凹處，其光學厚度及其相關可同時獲得。

對於每一凹處而精確地測量峰值頻率 f_c ，有必要對於有興趣的每一峰值作光譜解析。傅立葉分解之光譜解析度限制係與觀察時間成倒數，因此最小的可解析干涉頻率為

$$f_{\min} = \frac{1+\mu}{\Delta t} = \frac{(1+\mu)f_s}{N} \quad (6)$$

所有第一階頻率分隔成 f_{\min} 以便被解析。參數 μ 被引入當作實用內容。當 $\mu=0$ 時，發生理論解析度限制，但是實際上，最小可解析頻率應稍微大於上述，以便對儀器潛在的缺失及相位失真敏感度負責處理。

設定 $f_c=f_{\min}$ ，等式 3 意味著對於調制範圍 Δv_{\max} 的最小可解析光路徑差可表示成

$$\Gamma = \frac{c(1+\mu)}{\Delta v_{\max}} \quad (7)$$

例如，假若 $\mu=0$ ，對於 80 gigahertz 的最大調制範圍，其結果是 3.75 millimeters。主要凹處狹縫應大於利用等式 7 規範的限制，以便將

第一階頻率分開。再者，對於絕對量測，假若其需要精確地測量第一階峰值頻率，調制範圍應更大於等式 7 的規範。

在此採用的分析方法理論可總結歸納：對於每一基本凹處，干涉儀凹處被建造成產生一獨特的 OPL，因此經由等式 3 確保獨特的干涉頻率。當光頻率變化時，接著對干涉圖像取樣。以每一像素儲存的干涉圖像接著利用頻率轉換而被光譜狀分解，例如一傅立葉轉換，並且對應基本凹處的第一階頻率峰值自轉換的資料中鑑別出來。最後，分布於每一重要的頻率峰值的光譜相位利用等式 4 與等式 5 汲取得到。

於某些實施例中，利用等式 5，位於明確的第一階頻率的頻率轉換，適用於某些資料以便分別計算每一基本凹處的相位圖(利用等式 4)。此相位圖可用以獲得資訊，舉例而言，一個或一個以上的凹處表面之表面外觀，且/或一個或一個以上的基本凹處之相對光學厚度。

或者，或此外，峰值頻率值本身可用以獲得對應於凹處的絕對光學厚度，其提供的調制範圍提供充分的解析度。關於光學厚度的資訊及每一凹處之光學厚度變化可結合起來以便獲得每一凹處之完整絕對光學厚度外觀。

於已知的光學厚度變化 Δv ，光學厚度亦可藉由相位變化 $\Delta\phi$ 而獲得。光學厚度可利用等式 2 計算而獲得如下

$$nL = \frac{\Delta\phi}{\Delta v} \frac{c}{4\pi(1+\eta)} \quad (8)$$

假設 $\Delta\phi$ 與 Δv 係對於相同的時間間隔 Δt 而量測得到的， ϕ 與 v 可分別利用微分式 $\frac{\partial\phi}{\partial t}$ 與 $\frac{\partial v}{\partial t}$ 而近似得到。

於某些實施例中，FTPSI 可用以測量不連續表面之表面外觀，例如，一階梯狀表面。例如，考慮顯示於第 2 圖中的待測物側面 420。側面 420 具有兩個平行面 420a 與 420b，以高度 h 分隔。表面 420a 與 420b 係大體平行於參考層表面 410。表面對 410 與 420a、及 410 與 420b 分別以狹縫 430 與 440 分隔開。

如上所述地，側面 20 之 FTPSI 分析將對於狹縫 430 與 440 產生不同的峰值頻率。關於表面 420a 與 420b 的表面外觀可利用如上所述的每一凹處光譜分析而獲得。此外，表面 420a 與 420b 之間的階梯高度可藉由比較狹縫 430 與 440 之間的光學厚度變化而獲得。此資訊可獲得具有兩個以上表面的凹處中的不連續表面。

上述分析可進一步延伸處理四表面的凹處，像是第 1 途中顯示的四表面凹處 109。此凹處產生六個第一階基本二表面凹處。簡而言之，例如藉由表面 102 與 103 限制的凹處被標示成 102:103。因此，六個第一階基本凹處分別為 121:102、121:103、121:111、102:103、102:111 及 103:111。主要狹縫 125 與 115 值必須被找出來，如此所有的基本腔穴具有獨特的 OPL's 及獨特的第一階頻率。狹縫 125 具有長度 L_1 (於處理三表面凹處中，此被標示成 L) 且狹縫 115 具有長度 L_2 。

根據等式 4 與等式 5，可解析的第一階頻率峰值可以汲取得空間相位變化及關於每一凹處的相對光學厚度。再者，提供的光頻率調制頻率 ν 為已知的，且頻率可被解析至非常精確，每一凹處之絕對光學厚度可利用等式 3 獲得。

再者，利用藉由 FTPSI 分析而獲得的資訊，其可以測量待測物 101 折射率變化或均勻性。假設折射率 \bar{n} 與層厚度 \bar{T} 的微小值可

獲得，便可獲得高精度的折射率變化。根據等式 1，於每一主要凹處觀察的總相位對應於：

$$\begin{aligned}\phi_{121:102} &= 2kL_1 \\ \phi_{102:103} &= 2knT \\ \phi_{103:111} &= 2kL_2\end{aligned}\quad (9)$$

其中 $k = \frac{2\pi\nu}{c}$ 。對於待測物 101 的 121:111 凹處相位變化，可

獲得相似的等式：

$$\phi_{103:111} = 2k(L_1 + T + L_2) \quad (10)$$

計算待測物 101 之折射率， n 產生

$$n = \frac{\phi_{102:103}}{\phi_{121:111} - \phi_{103:111} - \phi_{121:102}} \quad (11)$$

因為該等相位表示總相位，並且不是自 DFT 獲得 2π 模相位，對於任一凹處可描述成

$$\phi = 2k\bar{n}\bar{L} + \phi \quad (12)$$

其中 \bar{n} 與 \bar{L} 為折射率與狹縫的微小值，並且 ϕ 為與總相位的局部相位偏差值。對於等式 11 中的每一各個相位，代入等式 12 產生

$$n = \frac{2k\bar{n}\bar{T} + \phi_{102:103}}{2k\bar{T} + \phi_{121:111} - \phi_{103:111} - \phi_{121:102}} \quad (13)$$

舉例，當 $2k\bar{T} \gg \phi_{121:111} - \phi_{103:111} - \phi_{121:102}$ ，並且忽略更高於第一階的項 $\frac{1}{2k\bar{T}}$ ，待測物 101 之折射率變化 $\Delta n = n - \bar{n}$ 可表示成

$$\Delta n = \frac{\phi_{102:103} - \bar{n}(\phi_{121:111} - \phi_{103:111} - \phi_{121:102})}{2k\bar{T}} \quad (14)$$

ϕ 可自各個模 2π 相位圖而獲得，應注意 $\phi_{103:111}$ 為空凹處的相位圖。待測物 101 之物理厚度變化 $T - \bar{T}$ 測量，相同地依據，例如直接自等式 14 以及待測物 101 之光學厚度變化量測而獲得。

主要凹處 121 : 102、102 : 103 及 103 : 111 的相位圖同時以單一量測獲得。結果，空間相位變化之相關方向可被維持。因此，利用上述地 FTPSI 分析，可以測量待測物之均勻性(亦稱為均勻起因)的線性變化。

從頭到尾的量測維持完全相似的條件，於重複調制及凹處穩定性提出嚴格的需求。例如，自凹處 109 移除或加入待測物 101，可對於參考表面 121 與 111 之物理對準產生變化。接著，其導致於量測待測物 101 之均勻性產生錯誤。於某些實施例中，可預先準備凹處 109，因此待測物 101 出現的開口小於凹處的可觀察開口。於此種情形中，凹處 109 之一部分為兩表面凹處，同時包括待測物 101 的該部位將成為四表面的凹處。對應於兩表面凹處的部位對於量測具有控制/校正的功能，其中待測物 101 已被移除，於這些區域中的 121 : 111 凹處的光路徑長度之任何變化將對應至對齊排列的層 120 與 110 的變化。於兩種量測之間的任何現況變化與系統偏離可利用上述分析而補償。

其亦可以根據四表面凹處的量測，獲得待測物 101 的絕對折射率及絕對物理厚度。對於每一主要凹處，相位變化可表示成：

$$\dot{\phi}_{121:102} = \frac{4\pi\nu L_1}{c} \quad (15a)$$

$$\dot{\phi}_{102:103} = \frac{4\pi\nu nT}{c} \quad (15b)$$

$$\dot{\phi}_{103:111} = \frac{4\pi\nu L_2}{c} \quad (15c)$$

再一次，等式 15d 表示移除待測物 101 之 121 : 111 凹處的量測。解析折射率產生

$$n = \frac{\dot{\phi}_{102:103}}{\dot{\phi}_{121:111} - \dot{\phi}_{103:111} - \dot{\phi}_{121:102}} \quad (16)$$

其中 $\dot{\phi}$ 表示根據各個凹處及調制條件，觀察每一凹處的相位變化。利用等式 15b 與等式 16，待測物 101 之絕對物理厚度可經由下列式子獲得

$$T = \frac{c(\dot{\phi}_{121:111} - \dot{\phi}_{103:111} - \dot{\phi}_{121:102})}{4\pi\nu} \quad (17)$$

於某些實施例，其中各個第一階峰值的頻率解析度為充分的，均勻性與物理厚度的絕對量測可根據與各個凹處有關的等式 2 與 3，分別自等式 16 與 17 獲得。然而，於其他實施例中，這種絕對特性可利用一相位汲取技術，如同以下所述的兩個圖表，而獲得。

於等式 16 與 17 中，分子與分母兩者具有因子，皆為頻率。一般而言，頻率可以表示成微分式，例如 $\dot{\phi} = \Delta\phi / \Delta t$ 。因此，只需要計算等式 16 之各個相位的總變化，於相同週期，光頻率於一明確的範圍 $\Delta\nu$ 內調制，以便獲得待測物 10 之絕對折射率。相同地，於相同週期內，只需要計算於等式 17 之各個相位中的總變化量，光頻率於一明確的範圍 $\Delta\nu$ 內調制，以便獲得待測物 101 之絕對物理厚度。

可利用一光頻率監視器來測量光頻率調制 $\Delta\nu$ 。相位變化可利用傅立葉相位汲取技術，即已知的滑動窗相位分析，而獲得；藉此，相位自傅立葉分析的資料視窗群組汲取，並且當視窗於跨越所有資料組的時間上滑動，則獲得的相位演變。因此，一般需要的資料組遠大於相對光學厚度量測得的資料組。

使用光頻率監視器可包括：可重複調制特性的維度穩定及光頻率突波的即時控制。進一步，監視器應具有解析度，對於最長的干涉儀腔穴其足夠精密，且於整個調制範圍追蹤光頻率。

如上所述，光頻率監視器(再此亦可當作一波長監視器)亦可測量等式 17 中的頻率調制。進一步，於根據等式 3 的實施例中，頻率調制率 $\dot{\nu}$ 之精確方法可利用一光頻率監視器測量，因此基本凹處之絕對光學厚度可自其對應的第一階頻率獲得。可藉由具有已知的 OPL 的一監視凹處而提供頻率監視。

假設監視凹處具有藉由 D_M 提供的光狹縫，以及於調制期間經歷的相位變化 $\dot{\phi}_M$ ，等式 17 可改寫成：

$$T = \frac{D_M(\dot{\phi}_{121:111} - \dot{\phi}_{103:111} - \dot{\phi}_{121:102})}{\dot{\phi}_M} \quad (18)$$

對於上述等式 5 所述的 DFT 計算，監視凹處可同時減少線性調制的需要。藉由計算每一取樣之間的相位移變化，其可直接自監視相位變化而獲得。舉例而言，考慮具有一 OPL D_T 的一測試凹處，並且一監視凹處具有一故定的 OPL D_M 。用以測量待測相位的 DFT 為

$$DFT(f_c) = \sum_{j=0}^{N-1} I_j W_j \exp i \Delta \phi_{Tj} \quad (19)$$

其中，對於時間取樣 j ， $\Delta \phi_{Tj}$ 為待測凹處之所有干涉相位移。對於固定光調制率 $\dot{\nu}$

$$\Delta \phi_{Tj} = \frac{2\pi \dot{\nu} D_T}{c} \quad (20)$$

對於非固定的 $\dot{\nu}$ 而言，於時間取樣 j 的待測凹處的干涉相位移可經由

$$\Delta \phi_{Tj} = \Delta \phi_{Mj} \frac{D_T}{D_M} \quad (21)$$

而自監視器測得。

等式 19 至 21 發現，被轉換的 FTPSI 資料之頻率光譜等於一

光路徑長度光譜。藉由直接量測監視凹處的相位，可以將 FTPSI 資料直接轉換成 OPL 維度。藉由關於波長調制的線性等式 4 與 5，其額外提高需求。FTPSI 資料直接轉換成一 OPL 光譜，當作一 OPL 轉換(OPLT)，成為以下公式。對於傅立葉轉換以積分表示。

$$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} I(t)W(t) \exp(-i2\pi ft) dt \quad (22)$$

其中 $I(t)$ 為強度變化， $W(t)$ 為視窗功能且 f 係被分析的頻率。於干涉儀中，頻率 f 為待測凹處干涉頻率，其藉由以下公式規範

$$f = \frac{vD_T}{c} \quad (23)$$

其中 D_T 為待測凹處的 OPL。考慮 FTPSI 裝置，其包括具有已知為固定的 OPL D_M 的一監視凹處。監視器可量測 v ，其動用於兩個凹處。

$$v = \frac{cf_M}{D_M} \quad (24)$$

將等式 22、23 及 24 結合，可獲得

$$F(D_T) = \int_{-\infty}^{\infty} I(t)W(t) \exp\left(-i2\pi \frac{D_T}{D_M} f_M t\right) dt \quad (25)$$

注意監視相位漸近值 φ_M 為

$$\varphi_M = 2\pi f_M t \quad (26)$$

並且影響變數變換自 $t \rightarrow \varphi_M$

$$F(D_T) = \int_{-\infty}^{\infty} I(\varphi_M)W(\varphi_M) \exp\left(-i2\pi \frac{D_T}{D_M} \varphi_M\right) d\varphi_M \quad (27)$$

自連續的時間轉換成不連續的時間訊號，可獲得 OPLT

$$\text{OPLT}(D_T) = \sum_{j=0}^{N-1} I_j W_j \exp\left(-i\varphi_{Mj} \frac{D_T}{D_M}\right) \Delta\varphi_{Mj} \quad (28)$$

類似線性波長调制範例，於待測凹處中，單一像素(校正像素)經歷之強度時間可產生 OPL 光譜 S

$$S(D_T)=|\text{OPLT}(D_T)|^2 \quad (29)$$

每一峰值對應於一特殊凹處之 OPL。一但於光譜中的峰值被鑑別出來，位於特殊 OPL 峰值位置的每一像素之相位，決定對應凹處之空間相位變化。對於待測區域中的每一像素，利用類似等式 4 之公式計算空間相位變化

$$\varphi_T[D_T]=\arg[\text{OPLT}(D_T)] \quad (30)$$

其中 $\arg[\text{OPLT}(D_T)]$ 做為位於 D_T 處，返回的 OPL 峰值之複數振幅相位。

FTPSI 演算法經常假設一固定的光束強度。對於許多光源而言，當光束強度經常隨著許多內部與外部參數變化時，例如驅動電流及/或溫度，此為一近似值。由於 FTPSI 之光譜選擇特性，與大多數的 PSI 演算法比較，對於強度變化較為不靈敏；只要變化的頻率內涵與注意的干涉頻率足夠遠離即可。其亦可消除於分析期間的可能錯誤來源。首先要注意的是與兩干涉電場振幅 a 、 b 相同的已知(即時)振幅變化 r ，干涉正比於 r^2

$$(ra+rb)(ra+rb)^*=r^2(|a|^2+|b|^2+a^*b+ab^*) \quad (31)$$

所以假設可以量測變化，就可以簡單的分割出來。標準的光感測轉阻放大器模型提供其內部如何完成。標準模型假設產生的光電流 i_O 與(固定)漏電流 i_L 藉由乘上一固定的轉阻增益 G ，產生觀察電壓：

$$V(t)=Gi_O(t)+Gi_L \quad (32)$$

第二項導致產生一固定的電壓偏移，稱為基值。在此假設，數位處理過程產生至多一額外的固定偏移量，其可以被加至基值。

假設一監視感測器，於進入干涉凹處之前，藉由對於光束取

樣，量測光束強度變化 $V_M(t)$ 。對於具有光源的感測器取消量測的基值 O_M 。藉由一凹處感測器(例如照相機 170)量測的一干涉訊號 $S(t)$ ，可經由以下公式修正光束強度變化

$$S(t)_{Corrected} = \frac{S(t) - P}{V_M(t) - O_M} \quad (33)$$

其中 P 為凹處感測器之基值。此公式需要強度監視器與凹處感測器兩者被量測的基值，並且此兩者可同時藉由將雷射關閉取得資料而獲得。注意等式 33 根據 $V_M(t)$ 值再標示凹處資料。因為相位與頻率資訊(OPL)皆為與刻度無關的，對於 FTPSI 分析這不是問題。然而，某些基礎的儀器功能可能與刻度有關—像是光階控制與像素飽和檢查。此等功能應優先於等式 33 之處理。

於某些實施例中，此強度變化資訊可自波長監視器獲得，其不需要分開的強度感測器。與時間相關的波長調制強度變化之情形，其類似凹處干涉訊號，波長監視器提供量測強度變化之方法，只要該等變化出現隨著時間而變化，其明顯地與監視凹處干涉之時間相關特性無關。考慮包含一固定長度之干涉凹處的監視器，於調制期間，與時間相關聯的監視對比 $C(t)$ 可經由以下公式被測量(例如藉由一滑動視窗傅立葉轉換分析)

$$C(t) = C(f(t)) = \left| \sum_{j=0}^{N-1} I_j W_j \exp(i2\pi f(t) j / f_s) \right| \quad (34)$$

其中 f_s 為取樣頻率、 N 點為傅立葉窗之子窗、 W_j 為該窗的係數以及 $f(t)$ 為時間相關的干涉頻率。對比函數 $C(t)$ 與強度變化成正比，並且假若干涉光束與測試光束皆同樣受影響則其可用以修正變化。為了這目的，定義與干涉訊號不相干的一強度

$$I'_j = I_j / C_j \quad (35)$$

並且於所有分析(等式 29 與 30)中，使用此訊號代替 I_j 。

光頻率監視器可被包含於系統 100(參考第 1 圖)光路徑之任何部位。舉例而言，監視凹處可對應兩個參考面，其設置於待測物 101 之前面、後面或包圍該待測物。此外，例如，監視器凹處可為凹處 121:111，其藉由參考層 120 與 110 規範。或者，設置光束分割器以便導引來自光源 140 的一小部分光直接進入一分隔的監視凹處。

例如一光頻率監視器，於第 3 途中顯示該監視器 500。監視器 500 係一零差干涉儀，其包括一高精密平面鏡干涉儀(HSPMI)501 及一 90 度相位差感測器 505。HSPMI501 包括一偏振光束分光器 520、反射器 515 與 540、1/4 波板 514 與 516、角立方體回歸反射器 521 以及屋脊稜鏡(或分開的回歸反射器)522。90 度相位差感測器 505 包括四個感測器 590、591、592 與 593；光束分割器 570；偏振光束分光器 560 與 580 以及 1/4 波板 550。整個組件理想地固定於一低擴張板；例如形成自零擴張玻璃或鎳鐵合金。假如需要，該板可利用一抗加熱元件而執行熱控制。

來自光源 140 的一偏振輸入光束經由一反射器 511 被導引入 HSPMI501。屋脊稜鏡 522 設置於薄平面之下，因此至干涉儀的輸入光束通過它。於某些實施例中，輸入光束係以 45 度角線性偏振；或者其可為圓形偏振。光束分割器 520 將輸入光束分割成垂直偏振的參考光束與量測光束。未導引至屋脊稜鏡 522 之前，參考光束於鏡面 515 及角立方體回歸反射器 521 之間來回兩次行進。相同地，量測光束於鏡面 540 及角立方體回歸反射器 521 之間來回兩次行進。隨著兩次分別傳遞至鏡面 515 與 540，角立方體回歸反

射器 521 減弱至屋脊稜鏡 522 平面之參考光束與量測光束，因此造成光束兩次額外的傳遞至鏡面 515 與 540。之後，光束再一次結合成一輸出光束，其被導引至 90 度相位差感測器 505。

相對於發射自 HSPMI501 的兩個偏振，90 度相位差感測器 505 之光束分割平面係以 45 度。因此，結合偏振並且產生一光束，其包含正比於監視器 OPL 的干涉訊號及光頻率調制率。90 度相位差感測器 505 進一步產生四個複製的干涉光束，每一複製的干涉相位以 90 度偏移。藉由監視強度，即於調制期間每一複製的 D_x (其中 x 標示感測器)，監視凹處的相位可以自每一時間取樣的整個干涉相位移獲得

$$\phi = \arctan \left[\frac{D_{590} - D_{592}}{D_{593} - D_{591}} \right] \quad (36)$$

於其他實施例中，光頻率監視器並未被限制於上述的零差干涉儀。一般而言，於 FTPSI 測量過程中，任何一種可測量光頻率及光頻率調制率至要求精確度的監視器係可接受的。例如，零差干涉儀可執行此功能。

於所有實施例中，關注的第一階頻率與藉由干涉儀產生的所有干涉頻率及包括藉由複數干涉凹處(等式 3 中 $p > 1$)產生的頻率無關。以下略述的步驟具體說明干涉幾何術，一般保證對於第二階(於等式 3 中 $p = 2$)的頻率確實不相干。一 4 表面干涉儀在此當作一範例，但是步驟可應用於任意表面數量的干涉。

考慮一 4 表面凹處系統 100。四表面自 14 個拓撲分離光束路徑產生六個第一階頻率及二十七個第二階頻率。二十七個第二階頻率中的六個是可與第一階頻率完全相同且無法分開；但是其只有對於相位計算提供一整體 DC 偏移。第一階頻率並非全不相干，

所以沒有必要對六個都量測；然而一般而言，六個頻率係用來縮小與鄰近第二階頻率及彼此的干涉。關於六個第一階凹處與二十一個不同的第二階凹處的有效 OPL 已標示於第 4 圖的兩欄表中，以主要狹縫表示。於表中的狹縫可與等式 3 共同使用，以便獲得干涉頻率。

以同等式 7 所定義的最小可解析 OPL、 Γ 表示的主要 OPL 係非常方便的。在此定義比例 q 為

$$q = \frac{nT}{\Gamma} \quad (37)$$

並且主要狹縫 125、115 的長度 L_1 、 L_2 的比例，可以表示成

$$r = \frac{L_1}{nT} = \frac{L_1}{\Gamma q} \quad (38a)$$

$$s = \frac{L_2}{nT} = \frac{L_2}{\Gamma q} \quad (38b)$$

利用等式 3、6、7，可以使干涉頻率 f_c 相對於 f_{min} 正規化，並且可以使這些正規化的頻率以 r 及 q 函數表示。關於三表面凹處的正規化且不相干的第一階頻率及第二階頻率，列於第 4 圖之表中的第 3 欄。所有的頻率利用 q 縮小，因此改變調制率範圍以便消除此關係：

$$\Delta v = \frac{\Delta v_{max}}{q} \quad (39)$$

假如 nT 假設為最小的光狹縫，搜尋大於 1 的 r 與 s 值，其放大第二階頻率與第一階頻率的分割， $r=3$ 、 $s=9$ 便是一個組合例子。一般而言，一完整的分析顯示，最佳的凹處幾何為幾何術，其中任兩個主要狹縫的光長度之比例為三者中的主要放大率。假如不同的主要狹縫假設為最小的，以下說明類似的分析。

隨著調制範圍 Δv 及狹縫 L_1 與 L_2 被固定，只剩下測量取樣數

N 。這是經過選擇的，最大的第二階頻率(即 $(4r+4+4s)q$ 對應於 OPL $4L_1+4nT+4L_2$)被轉換成最小頻率，藉由至少兩次光譜解析限制仍舊大於最大的第一階頻率。此項限制，對於四表面凹處，其預測

$$N=(1+\mu)(6r+8+6s) \quad (40)$$

其中假若 $\mu=0$ ，可以計算至 80 個取樣。

等式 39 與 40 及 $r=3$ 、 $s=9$ 一起定義一最佳凹處幾何及第一階頻率。第 5 圖顯示說明該結構的干涉光譜 310。第二階凹處頻率 320 的光譜亦顯示標示出第一階與第二階峰值之間的良好分隔。

一般而言，四表面凹處有無限種可能的設置，其產生最佳的第一階頻率分隔。其對應凹處，其中比例 r 與 s 分別為 3^x 與 3^y ，其中 x 與 y 為整數且 $x \neq y \neq 0$ 。另一種可能的配置為 1，其中 r 與 s 兩者藉由大於一的常數縮小。

當然，本發明並未限制於具有最佳配置的凹處表面之設置。於某些實施例中，某些基本凹處(例如，主要的凹處)係最佳設置的。其餘的基本凹處可為非最佳化設置。舉例而言，其餘的基本凹處可設置以便具有非最佳 OPL's，其係大體與主要凹處之 OPL's 不同。

於上述中，FTPSI 係利用兩表面、三表面及四表面凹處說明。然而，本發明並未如此受限。此分析可延伸至任意數量的表面。具有任意數量表面的凹處可減少對應於每一對表面之基本兩表面凹處之組合。只要對應於主要二表面凹處的相位移頻率可被再解析，且充分與其他頻率不相干，此分析將產生與凹處有關的有用資訊。

關於相位移干涉系統的光源可為一雷射，例如一氣體雷射、

固體雷射、可調制染料雷射或半導體雷射。光源亦可為具有可調制窄波段光譜濾鏡的白色光源。此外，於某些實施例中，光源可以複數微小光頻率操作，以便自汲取得的相位圖中再次解析相位循環模糊處。舉例而言，光源可於 HeNe 雷射、Argon 雷射或二極體雷射之複數線之間，或者於商業應用的調制通訊雷射於不同的 ITU 網柵頻率之間調整操作。此外，於某些實施例中，光源可利用光纖耦合至干涉儀。光源的光頻率調制可以於光源內部或外部完成。舉例而言，雷射光源之凹處長度可為熱或壓電機械調制，以便調制雷射輸出的光頻率。相同地，雷射光源之增益介質的注入電流可以被調制，以便調整雷射輸出的光頻率。或者，舉例而言，雷射光源的光頻率輸出可利用聲光、電光或光機調制作外部調制。

於某些實施例中，關於 PSI 系統的光源可為一偏振的光源(例如線性偏振光)。舉例而言，系統 100 可包括一偏振元件，以便對於來自光源的光產生偏振。上述每一量測技術可執行光偏振狀態功能。舉例而言，折射率量測技術可執行複數不同已知的偏振狀態(至少兩種偏振狀態，像是正交偏振狀態)。折射率、光厚度或待測物 101 的相對光學厚度變化，如同一偏振函數，其與待測物 101 的光學各向異性相關。因此，於某些實施例中，FTPSI 技術可用以標示一待測物或凹處的光學各向異性(如雙折射、二色性等等)。

於某些實施例中，得知光的絕對波長係重要的。舉例而言，於一相關的量測中，外觀的缺失係直接正比於波長的缺失。當使用一通訊雷射(例如一 1550 nm 的二極體雷射)，該雷射調制經常包含稱為模態鎖定的裝置，其將雷射鎖定於 ITU(國際通訊單元)網柵

中的一特別波長。一般絕對精確度為 $\pm 1\text{GHz}$ (精確至 5 ppm)，一般已充分的精確了。

經由波長調制量測絕對長度可應用於量測絕對波長。此係藉由以下範例說明。首先，量測兩表面凹處的絕對長度；接著改變凹處長度，同時追蹤干涉(例如計算線條)之相位變化。一但得知凹處之絕對長度，再一次量測凹處的絕對長度。於凹處長度改變的期間，波長可表示成 $\lambda = 4\pi \frac{\Delta L}{\Delta \phi}$ 。

進一步，雖然第 1 圖中的相位移系統 100 包括一非左干涉儀，其他實施例中可使用不同型式的干涉儀，例如 Twyman Green、Mach Zehnder、Michelson、Fabry-Perot、掠角反射或非平衡 Mirau 干涉儀。此外，干涉儀可為一大口徑顯微鏡，或光纖感測干涉儀。

一般而言，待測物可呈現許多型式。舉例而言，待測物可為一光學平面、一光罩、一平面顯示器或一矽晶圓(其包含紅外線照明)。進一步，待測物可為結合的光學元件或空氣間隔的光學構建。待測物亦可為或包括一球面或非球面半球型物、隱形眼鏡、新月型透鏡或眼鏡鏡片。一般而言，對於光源的波長，待測物為透明的或部分透明的。再者，待測物可為任何結構，例如微機電矽晶片，其提供與待測物之表面及/或空間特徵相關的光學資訊。這些光學資訊可與待測物之選擇表面之拓撲相關，或與光學圖相關，其包含待測物之全部或被選擇部分之折射率均質性。以下將對於不同的待測物進行討論。

再者，雖然使用於上述分析的頻率轉換係一傅立葉轉換，本發明並未限定於此。實施例亦採用其他種型式的頻率轉換，像是 Hilbert 轉換。

雖然上述範例討論利用光頻率調制相位移一干涉訊號，本發明之實施例並未限制它。一般而言，干涉訊號可利用任一種方法而被相位移，其以不同頻率調制來自不同光路徑之凹處之貢獻。舉例而言，干涉訊號可藉由改變光束照射凹處的傾斜角度而被相位移。使用此相位移方法的實施例包括說明於美國專利申請案第 09/848,055 號，標題為 "Apparatus and Method for Reducing the Effects of Coherent Artifacts"，申請於 2001 年 5 月 3 日，在此列入參考。其中的一實施例將說明如下。

參考第 6 圖，利用非左幾何術的干涉儀 600 之 OPL 與光源之原始點位置 d 有關。干涉儀 6100 具有一凹處長度 L 及準直焦距長度 f 。照明光束之傾斜角度 α 係藉由 $\tan(\alpha)=d/2f$ 給定，例如對於小 α ，可利用 $\alpha=d/2f$ 近似。自參考表面 610 與待測表面 620 反射的光之間的相位差 $\Delta\phi$ ，為非左凹處內的 OPL 函數，如同光波長一樣。OPL 係測量自包含凹處之兩表面之間的距離 L ，和傾斜角度一樣。以下包括

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot OPD = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2L \cos(\alpha) \quad (41)$$

其可以調制相位差 $\Delta\phi$ ，並且藉由改變光源位置及照明光束之傾斜角度 α 相位移任何產生的干涉訊號。舉例而言，參考第 1 圖的實施例，傾斜角度可隨著沿垂直於光軸的方向移動光源 140 位置而改變，因此改變產生自透鏡 130 的準直光束之行進方向。可應用一換能器或馬達以便調制光源本身的位置，或者用以改變光束方向的次要光學元件或光學元件(例如一對楔型物)的位置。

如同申請案 09/848,055 所揭露，薄環狀空間延伸的光源經由空間平均後可用以縮小相干物之作用。假如由於空間平均作用於

空間解析度上產生共同少量的損失可被接受，此種光源亦可有利地使用 FTPSI。控制環狀光源的直徑可改變照明光束之傾斜角度。舉例而言，環狀光源可取代第 1 圖實施例中的光源 140，並且同樣地可以設置於透鏡 130 之後焦平面。

環狀光源之實施例可包括一收斂光束，其通過一圓錐鏡(axicon)或繞射物。藉由軸上偏移圓錐鏡或繞射物之位置，改變環的直徑。另一實施例包括一光纖束。參考第 7 圖，複數模態光纖束 700 可應用於一光源。光纖束 700 具有一圓形輸入側 711，及一環狀輸出側 712。經由一透鏡系統 704，雷射光源 702 照射於光纖輸入面。透鏡系統 704 係設計用以控制入射角度，且數值孔鏡與複數模態光纖 700 吻合，以便產生環狀照明 706，其可以進一步利用光學元件 708 控制並提供準直的環 710。例如，改變雷射進入多模態光纖 700 之條件，可選擇性的改變環 706 的直徑。

如上所述，FTPSI 可用以量測的特徵，例如表面外觀、物理與光學楔型物以及光學元件之相關均質性。到目前為止，此說明已經使用平行板當作一待測物的範例，以便說明量測是如何執行的。一般而言，FTPSI 可用以量測且得知各種簡單及複雜光學元件之特性。以下敘述將藉由範例說明 FTPSI 的某些功能。

FTPSI 可用以標示高精密凹處的特徵。當基本凹處之表面反射率相當高(例如至少 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、95%以及 99%)時，光功率轉換至更高能階，增加許多干涉，於第一階簡諧頻率產生更強的干涉。產生的變形條紋圖案經常使 PSI 演算混淆。FTPSI 將這些簡諧分離，因此第一階頻率可個別分析，產生表面大體失真外觀。第 8 圖顯示獲得自高精確凹

處的頻率光譜，其干涉圖案顯示於第 9 圖。

於高精密凹處分析中，設定凹處幾何形狀係很重要的，以確保混疊的頻率分出第一階簡諧。注意高精密凹處可利用分析任何簡諧頻率峰值或結合(例如線性結合)許多不同簡諧分析的結果，而得知特徵。

FTPSI 亦可用以顯示彎曲表面之外觀與特徵(例如球面或)。一般而言，可以被描繪任何一種表面形狀，利用干涉儀可提供量測表面，其係局部近似於平行該表面。換言之，量測波前之局部波向量大約垂直於彎曲待測表面。

一般而言，參考表面可具有任何形狀或曲率。使用參考表面係有益處的，其表面上遵照待測表面之形狀，這可以減少系統的動態範圍以便執行測量。

FTPSI 亦提供關於定義基本凹處的表面反射率的資訊。於 FTPSI 頻率光譜中的第一階峰值振幅提供定義相關基本凹處之表面反射量測。考慮三表面凹處(例如，定義三基本凹處的三表面)之範例。標記該等表面 S_1 、 S_2 與 S_3 。自每一表面反射的第一階電場振幅分別為 a_1 、 a_2 、 a_3 。於照相機感測的干涉訊號係正比於該等三個場振幅疊加之強度。對於第一階，強度為

$$I(t) = a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + 2a_1a_2 \cos(\omega_{12}t + \phi_{12}) + 2a_1a_3 \cos(\omega_{13}t + \phi_{13}) + 2a_2a_3 \cos(\omega_{23} + \phi_{23})$$

(42)

其中 ω_{mn} 與 ϕ_{mn} 為分別藉由表面 S_m 與 S_n 定義基本凹處產生 AC 之相位與頻率。該訊號之頻率光譜將清楚地維持峰值於 ω_{12} 、 ω_{13} 與 ω_{13} ，具有正比於各個場振幅乘積的每一峰值之強度(振幅)。藉由比較於頻率光譜中主要峰值之相對振幅，操作者可以獲得關於相對應凹

處表面之相關反射率的資訊。舉例而言，於等式 42 中，位於 ω_{12} 、 ω_{13} 與 ω_{13} 的峰值獨特地測量反射率係數 a_1 、 a_2 、 a_3 之相對值。此外，將場振幅正規化成輸入光束之強度，或對照一校正用參考面，產生每一表面之絕對反射率量測。

於 FTPSI，於凹處內的每一光介面產生一指示峰值給轉換光譜(假設調制改變量與範圍係適當的)。此特徵可用以感測光學元件內的光學缺陷。參考第 10 圖，一透明的平行板 901 利用 FTPSI 標示特徵。板 901 適當地相對於參考表面 910 設置。平行板表面 902 與 903，與參考表面 910 一起定義三個基本凹處。

於 FTPSI 標示特徵期間，一光束 920 被引進系統中。表面 902 與 903 及參考表面 910 分別反射光束 922、923 及 921。一 CCD 照相機 999 感測該等反射光束之疊加；並且產生正比於疊加強度之干涉訊號。強度訊號藉由上述說明分析。

包含於平行板 901 的是兩個缺陷 930 與 940。該等缺陷係位於平行板 901 內之區域中，具有不同於包圍材料的折射率，並且將入射光散射回感測器。於平行板 901 之材料內，缺陷之種類包括空氣泡泡或雜質。提供的缺陷係由足夠的尺寸與形狀所構成；背景散射分量，分別以光線 931 與 941 描述，藉由凹處內的其他表面形成類似於該等散設的平面波。於其發生的系統剖面內的特殊區域，缺陷 930 與 940 貢獻於 CCD 照相機 999 之感測疊加值；並且表現類似一表面，其定義額外的基本兩表面凹處的系統。

因此，像素共同調整不規則峰值發生處，標示於平面 901 中缺陷的旁邊位置。正比於“基本凹處”之 OPL 的頻率藉由缺陷定義；並且其他表面產生關於平板中的缺陷深度位置。因此，不只

是缺陷可利用 FTPSI，而且可以測量三維的精確位置。

更小的缺陷亦可利用 FTPSI 感測。藉由少量缺陷散射的光形成近似圓形波前，一部分將貢獻於感測器之干涉訊號。由於被散射波前之自然發散，自缺陷散射的光對於所有感測像素提供干涉訊號。結果，輕易的鑑別對應於頻率光譜產生的像素，並未輕易的允許鑑別缺陷的橫向位置。然而，缺陷可經由之後的 FTPSI 分析其提供的干涉圖像；例如藉由鑑別無法掩飾的環狀圖案之中心。

參考第 11 圖，量測各種光學元件之內角(例如稜鏡或立方體)亦可利用 FTPSI 得知。例如，第 11 圖顯示量測一直角稜鏡 1001 之 90 度角及角錐誤差。對於第一階，於離開凹處前，光線 1010 照射 4 表面(實際上，照射 2 表面兩次)。該等表面被標示為 1011、1012、1011' 及 1012'；上標指的是第二次自該表面反射。表面 1011(及 1011')係一參考表面。1011:1012 凹處提供量測表面 1012 之外觀與方向。表面 1012 之面方向對於角錐誤差提供非返回方向的參考值。於返回方向凹處 1011:1011' 之傾斜測量 90 度直角誤差。注意直接返回的光束回到照相機，一般需要使用具有良好動態範圍的照相機。1011 左邊的虛線標示光束停止器可以使用的位置，以便假如有需要可以移除直接返回的光束。傳統的 PSI 量測角度需要移除表面 1011 且量測凹處 1012:1012'；然而，幾何顯示其允許對照已知的參考表面同時量測表面 1012。一般而言，藉由量測源自參考波前的返回波前之誤差量，FTPSI 用以計算光學元件之內部角度。由於配置干涉系統，FTPSI 量測內部角度誤差之些微量角度。關於回歸反射器的例子，藉由已量測的光學元件自然的提供返回波前。關於非回歸反射器，一額外的表面，例如

參考表面或反射鏡，(利用既定的幾何)應被包含於凹處以便對於感測器提供返回波前。

上述 FTPSI 量測可參考簡易的光學系統(例如計算單一稜鏡之內角，或單一光學板之折射率的均勻性)。然而，於一單一次量測中，當 FTPSI 提供關於複數基本凹處之資訊，可利用 FTPSI 標示具有許多表面之複雜光學構件(例如至少五個表面、六個表面、七個表面、八個表面、九個表面、10 個表面)。舉例而言，於複雜光學構件中，FTPSI 可用以計算元件的對準與耦合。於製造複雜光學構件期間，元件之間的空間關係應被維持。於組合過程中，藉由量測各個步驟中該等關係，FTPSI 可個別檢測每一元件，量測部分完整構件並且檢測完整構件。FTPSI 亦可於部署與使用完整構件之後才使用，以便維持且/或再調教構件。於該等構件中，FTPSI 係用以同時量測光學元件之相對位置與表面外觀(例如平坦性)。再者，FTPSI 係用以計算光學耦合元件之間的介面。以下說明係 FTPSI 如何可以使用的說明範例。

參考第 12 圖，於一光學構件中的第一元件，一直角稜鏡 1201，係相對於參考表面 1210 設置。一光束經由參考表面 1210 被導引至稜鏡 1201。參考表面 1210 反射光束返回感測器 1299，提供參考光束 1211。稜鏡表面 1203 反射光束 1220 朝向稜鏡表面 1204。注意於感測器 1299 中，光學元件係用以準直光束，以及於第 12 圖省略用以導引它進入且通過凹處以避免圖式不必要地變複雜。於一般系統中可包括許多其它元件，第 12 圖描述的除外。

稜鏡表面 1202 與 1204 兩者反射部分光束 1220 返回至感測器 1299。該等部位分別顯示為光束 1230 與 1240。感測器 1299 感測

光束 1211、1230 與 1240 之疊加，並且於每一像素產生正比於疊加值的干涉訊號。一電腦系統，與感射器 1299 聯繫，接收與分析該訊號。

稜鏡表面 1202 與 1204 及參考表面 1210 定義三個基本凹處(藉由表面 1202 與 1204、1202 與 1210 及 1204 與 1210 構成的凹處)。從每一凹處提供的干涉訊號利用 FTPSI 分析。

FTPSI 頻率轉換產生一光譜，其包括頻率 f_1 、 f_2 與 f_3 的峰值。關於基本凹處對應於第一階干涉頻率的峰值，分別藉由表面 1210 與 1202、1210 與 1204、1202 與 1204(經由 1203)定義。頻率正比於關於每一基本凹處的總 OPL 及光頻率調制率。藉由應用等式 4 至來自表面 1202 與 1204 表面外觀的每一 f_1 、 f_2 與 f_3 ，一相位圖測量每一凹處；並且於光行進於稜鏡之不同部位內之路徑長度變化可被計算。

一第二參考表面 1250，例如一參考反射鏡，選擇性地包括於凹處中，以便將額外的量測光束經由稜鏡 1201 返回至感測器。例如使用上述方法，此提供使用者從微量值量測稜鏡角度之任何誤差。參考第 13 圖，一第二元件，例如一透明平行板，被加在稜鏡 1201 以便產生一兩元件光學構件。一透明平行板 1301 之第一表面 1302 耦合於稜鏡 1201 之表面 1203。耦合之前，透明平行板 1301 利用 FTPSI 標示特徵，以便獲得關於板表面 1302 與 1303 的表面外觀、楔型板(例如平行板剖面的厚度變化)以及板的折射率均勻性。

於該範例中，光學介面就是介面 1310(例如，於稜鏡 1201 與平行板 1301 之間具有一反射鍍膜或不吻合折射率)，一額外表面、

平行板表面 1303 加入系統，並且基礎雙表面凹處數量從 3 增加至 5。

此系統的 FTPSI 分析產生第一階轉換頻率 f_1 、 f_2 、 f_3 、 f'_2 、 f'_3 。相對於參考表面 1210 提供稜鏡之位置並未自先前量測位置改變，對應於原始三基本凹處的該等頻率加上兩個藉由表面 1210 與 1204(經由 1302)(至峰值 f'_2 對應的)及表面 1202 與 1204(經由 1302)(至峰值 f'_3 對應的)定義的額外基本凹處。一相位係利用等式 4 自每一頻率峰值獲得。注意， f_2 與 f'_2 對應藉由表面 1210 與 1204 定義的凹處；以及 f_3 與 f'_3 對應藉由表面 1202 與 1204 定義的凹處。因此，於該等雙凹處之間的相位圖中的任何差額係屬於平行板 1301 且/或稜鏡與平面之間的校準。當板 1301 已分開的 FTPSI 量測事先標示特徵，由於平板 1301 產生的該等相位圖中的差額可被計算，並且元件之間的任何錯位產生的貢獻可被量測。

或者，稜鏡 1201 與平行板 1301 係由光學相似材料(例如具有相同折射率)構成，以及元件係以完美光學耦合；稜鏡表面 1301 應沒有反射，並且沒有額外基本雙表面凹處加入該系統；然而，由於出現平行板，其頻率將對應增加的 OPL 而變化。

於此範例中，當稜鏡 1201 與平行板 1301 之間的耦合係理想的時，FTPSI 分析只產生頻率 f_1 、 f'_2 、 f'_3 ，其分別對應藉由表面對 1210 與 1202、1210 與 1204(經由 1302)以及 1202 與 1204(經由 1302)定義的基本凹處。利用等式 4，關於每一基本凹處的相位圖係對 f_1 、 f'_2 、 f'_3 測量。當相對於彼此的表面 1202 與 1204 之方向係已知(根據單一稜鏡量測)，於此方向中的任何偏移起因於表面 1302 非平行對準於表面 1203。位於 f_2 與 f_3 的任何不規則峰值表示介面

1319 不理想的耦合。藉由分析不規則峰值之強度及其位置，使用者可以決定該部位是否需要重新接合。注意，該等峰值只出現於介面的小面積，其可以自感測器像素座標位置測量得不規則峰值出現(例如，類似於上述缺陷分析)。再者，當峰值頻率正比於產生的基本凹處之 OPL，可以確定缺陷耦合之深度座標。當只有一個光學介面於構件中時；於此範例，當此資訊過多時，只要光學構件之複雜度增加，此資訊係非常有用的，只要其直接於三維空間指出缺陷介面之正確位置。

參考第 14 圖，此方法應用於擴張的複雜光學構件 1401，其包含稜鏡 1201 與平行板 1301。擴張的複雜光學構件 1401 係部份組合自習知技術。當每一新的部位被連接之後，對該構件執行 FTPSI 分析。如上所述，每一新的光學介面提供一反射光束以便疊加，並且增加系統中基本雙面凹處之數量。於複雜構件中，每一凹處之頻率相位產生關於每一介面之完善性。

於一部分已理想的光學耦合於先前的元件時的範例中，藉由表面定義的基本凹處之頻率應自頻率光譜中消失。觀察得的頻率峰值標示不完美的耦合，於其他元件接合於構件之前可以重新接合。

一般而言，此方法可應用於任何複雜的光學構件。於光學元件包括於光學構件之前或之後，利用 FTPSI 標示光學元件之特徵，當製造該構件時，提供於元件表面之光學表面完整性(例如位置、平坦度、反射率)之間做比較。對於所有凹處，於頻率光譜中顯示一峰值，光頻率調制率應相當大並足以解析構件中最短的基本凹處，並且於調制中的光頻率增加量應相當小，並在未超過 2π

相位移下足以提供最大的凹處。理想上，每一基本凹處應具有不同的 OPL，以便對於每一基本凹處的第一階頻率峰值的相位可獲得高度精確性。此外，所有先前提道的量測(例如表面反射率、高精確凹處、折射率同質性、缺陷分析)可應用於複雜的光學構件。

於上述任何實施例中，電腦可包括硬體、軟體，或結合控制其他元件之系統以及分析相位移影像，以便獲得關於待測物之需要資訊。上述分析可利用標準程式語言技術之電腦程式實施。此程式係設計用以執行程式化電腦，其包括一處理器、一資料儲存系統(包括記憶體及/或儲存單元)、至少一輸入裝置、至少一輸出裝置，像是顯示器或印表機。程式碼應用於輸入資料(像是，來自 CCD 照相機的相位移影像)以便執行在此描述的功能並且產生資訊(像是選擇表面的拓撲)，應用於一個或多個輸出裝置。每一電腦程式可執行高階程序或目的導向程式語言或組合語言或機械語言。每一電腦程式可儲存於電腦可讀取儲存媒體(例如，CCD ROM 或磁性磁碟機)，當藉由電腦讀取時可造成電腦中的處理器執行在此描述的分析。

已描述本發明之許多實施例。此外，依本發明申請專利範圍及發明說明書內容所作之簡單的等效變化與修飾，皆應仍屬本發明專利涵蓋之範圍內。

【圖式簡單說明】

第 1 圖是一種具有許多對表面之凹處的干涉計儀器之示意圖；

第 2 圖是具有不連續表面的干涉計凹處的示意圖；

第 3 圖是與第 1 圖之干涉計儀器之一種波長監視器之示意圖；

第 4 圖顯示藉由四個表面凹處產生的第一階與第二階頻率之

表格；

第 5 圖是一圖式，其顯示藉由四個表面凹處產生的第一階與第二階頻率之振幅；

第 6 圖顯示計算藉由自位於光源盤之邊緣，照射軸上的測試點而產生的干涉之間的光路徑長度(OPL)差；

第 7 圖顯示一照明系統之實施例的概要立體圖，其藉由調制照明角度產生相位移；

第 8 圖顯示源自一高精度凹處之干涉光譜圖；

第 9 圖顯示高精度邊界之範例；

第 10 圖顯示一腔室實施例，其係具有缺陷的光學元件；

第 11 圖顯示具有直角稜鏡之凹處的實施例；

第 12 圖顯示具有一稜鏡的凹處實施例；

第 13 圖顯示具有兩個耦接光學元件之腔室的實施例；以及

第 14 圖顯示具有一複雜光學構件之腔室的實施例。

於各種圖式中，相似的參考符號標示相似的元件。

符號說明：

- 100 …… 干涉儀系統
- 101 …… 待測物
- 102 …… 前表面
- 103 …… 後表面
- 105 …… 固定模板
- 105a …… 第一參考波前
- 105b …… 波前
- 105c …… 波前

- 105d 第二參考波前
- 109 腔室
- 110 參考物
- 111 參考表面
- 115 狹縫
- 120 參考物
- 121 參考表面
- 125 狹縫
- 130 準直光學元件
- 140 調制光源
- 145 驅動器
- 150 光束分割器
- 160 攝像光學元件
- 170 CCD 照相機
- 180 畫面捕捉器
- 190 電腦
- 310 干涉光譜
- 320 第二階頻率
- 410 參考層表面
- 420 待測物側面
- 420a 表面
- 420b 表面
- 430 狹縫
- 440 狹縫

- h····· 高度
- 500····· 零差干涉儀
- 501····· 高精密平面鏡干涉儀
- 505····· 90度相位差感測器
- 514····· 1/4波板
- 515····· 反射器
- 516····· 1/4波板
- 520····· 偏振光束分光器
- 521····· 角立方體回歸反射器
- 522····· 屋脊稜鏡
- 540····· 反射器
- 550····· 1/4波板
- 560····· 偏振光束分光器
- 570····· 光束分割器
- 580····· 偏振光束分光器
- 590····· 感測器
- 591····· 感測器
- 592····· 感測器
- 593····· 感測器
- 600····· 非左幾何術的干涉儀
- 610····· 參考表面
- 620····· 待測表面
- f····· 準直焦距長度
- L····· 間隔距離

- 700 光纖束
- 702 雷射光源
- 704 透鏡系統
- 706 環狀照明
- 708 光學元件
- 710 準直環狀光束
- 711 圓形輸入側
- 712 環狀輸出側
- 901 透明平行板
- 902 表面
- 903 表面
- 910 參考表面
- 920 光束
- 921 反射光束
- 922 反射光束
- 923 反射光束
- 930 缺陷
- 931 背景散射分量
- 940 缺陷
- 941 背景散射分量
- 999 CCD 照相機
- 1001 直角稜鏡
- 1010 光線
- 1011 表面

- 1011' 表面
- 1012 表面
- 1012' 表面
- 1201 直角稜鏡
- 1202 表面
- 1203 表面
- 1204 表面
- 1210 參考表面
- 1211 參考光束
- 1220 光束
- 1230 反射光束
- 1240 反射光束
- 1250 第二參考表面
- 1299 感測器
- 1301 透明平行板
- 1302 第一表面
- 1303 平行板表面
- 1310 光學介面
- 1401 複雜光學構件

伍、中文發明摘要：

一種干涉術之方法包括：i)藉由將反射自複數表面之一光波前之不同部位結合，形成一光學干涉影像；ii)隨著改變上述光波前特性，其引起具有不同光路徑分離之複數表面對提供不同的上述干涉訊號，記錄上述光學干涉影像之不同位置之一干涉訊號；iii)對於至少一上述位置轉換該干涉訊號，以便於光譜座標上，對應於該等複數表面對之每一對，產生具有一峰值之一光譜；以及iv)鑑別對應於該等複數表面對之一被選擇對的該峰值之光譜座標。

陸、英文發明摘要：

An interferometry method including: i)forming an optical interference image by combining different portions of an optical wave front reflected from multiple surfaces; ii)recording an interference signal at different locations of the optical interference image in response to varying a property of the optical wave front that causes pairs of the multiple surfaces that have different optical path separations to contribute differently to the interference signal; iii)transforming the interference signal for at least one of the locations to produce a spectrum having a peak at a spectral coordinate corresponding to each pair of the multiple surfaces; and iv)identifying the spectral coordinate of the peak corresponding to a selected pair of the multiple surfaces.

拾、申請專利範圍：

1.一種相位移干涉術之方法，其包括：

藉由將反射自複數表面之一光波前之不同部位結合，形成一光學干涉影像；

隨著改變上述光波前特性，其引起具有不同光路徑分離之複數表面對提供不同的上述干涉訊號，記錄上述光學干涉影像之不同位置之一干涉訊號；

對於至少一上述位置轉換該干涉訊號，以便於光譜座標上，對應於該等複數表面對之每一對，產生具有一峰值的一光譜；以及

鑑別對應於該等複數表面對之一被選擇對的該峰值之光譜座標。

2.如申請專利範圍第1項所述之相位移干涉術之方法，其中，更包括：對於每一位置，對應於該被選擇的表面對，取得位於該峰值之光譜座標中的該干涉訊號之光譜相位。

3.如申請專利範圍第1項所述之相位移干涉術之方法，其中，隨著改變上述光波前之光學頻率，於該光學干涉影像之不同位置上，記錄該干涉訊號。

4.如申請專利範圍第1項所述之相位移干涉術之方法，其中，隨著改變上述光波前之行進方向，於該光學干涉影像之不同位置上，記錄該干涉訊號。

5.如申請專利範圍第4項所述之相位移干涉術之方法，其中，改變該光學波前之行進方向包括，改變用以產生上述光波前之一照明光源之位置。

12.如申請專利範圍第10項所述之相位移干涉術之方法，其中，更包括自該對應峰值之OPD座標，測量該被選擇表面對之間的一光路徑差。

13.如申請專利範圍第11項所述之相位移干涉術之方法，其中，更包括對於每一位置，於對應該被選擇表面對的該峰值光譜座標中，取得該干涉訊號之光譜相位，其中取得的相位 φ_T 可自 $\varphi_T D_T = \arg[OPLT D_T]$ 計算得，其中 D_T 係該峰值之光譜座標。

14.如申請專利範圍第2項所述之相位移干涉術之方法，其中，對於每一位置取得該干涉訊號之光譜相位包括：對於每一剩餘位置轉換該干涉訊號，以便產生具有對應該被選擇表面對之該峰值的一對應光譜。

15.如申請專利範圍第2項所述之相位移干涉術之方法，其中，對於每一位置取得該干涉訊號之光譜相位包括：關於對應於該被選擇表面對之該峰值的光譜座標，對於每一剩餘位置轉換該干涉訊號。

16.如申請專利範圍第2項所述之相位移干涉術之方法，其中，更包括：對於該光學干涉影像之複數位置，根據取得的相位變化，於被選擇表面對之間，於一光路徑距離中測量變化。

17.如申請專利範圍第16項所述之相位移干涉術之方法，其中，更包括：根據該測量變化，計算被選擇表面對之一的一表面外觀。

18.如申請專利範圍第16項所述之相位移干涉術之方法，其中，更包括：根據該測量變化，計算被選擇表面對之間的一光學厚度外觀。

19.如申請專利範圍第16項所述之相位移干涉術之方法，其中，更包括：根據該測量變化，計算被選擇表面對之間的一物

理厚度外觀。

20.如申請專利範圍第16項所述之相位移干涉術之方法，其中，更包括：根據該測量變化，計算被選擇表面對之間的一均質性外觀。

21.如申請專利範圍第1項所述之相位移干涉術之方法，其中，該等複數表面包括至少一參考表面以及一待測物之至少一表面。

22.如申請專利範圍第1項所述之相位移干涉術之方法，其中，記錄上述干涉訊號包括：於該波前特性變化期間，監視該光波前之強度變化，以及對於強度變化補償該干涉訊號。

23.如申請專利範圍第1項所述之相位移干涉術之方法，其中，更包括：根據該光譜中的至少某些峰值之振幅，對於至少一被選擇表面對，計算關於表面反射率之資訊。

24.如申請專利範圍第1項所述之相位移干涉術之方法，其中，該被選擇表面對係一高精密凹處之表面，其具有大於70%的一反射率。

25.如申請專利範圍第15項所述之相位移干涉術之方法，其中，更包括：根據每一複數位置之光譜，測量一缺陷是否存在於被選擇表面對之間。

26.如申請專利範圍第25項所述之相位移干涉術之方法，其中，存在的缺陷對應一額外峰值，其位於至少一複數位置的該光譜中。

27.如申請專利範圍第25項所述之相位移干涉術之方法，其中，被選擇表面對為一光學元件之前、後表面，且其中的缺陷包括位於該光學元件中的一空氣泡。

28.如申請專利範圍第25項所述之相位移干涉術之方法，其

中，被選擇表面對為一光學元件之前、後表面，且其中的缺陷包括位於該光學元件中的一雜質。

29.如申請專利範圍第1項所述之相位移干涉術之方法，其中，更包括：

鑑別對應於該等複數表面之一第二選擇表面對的該峰值之光譜座標。

30.如申請專利範圍第29項所述之相位移干涉術之方法，其中，更包括：

對於每一位置，取得位於對應該第一被選擇表面對之峰值座標及未於該第二被選擇表面對之峰值座標的該干涉訊號之光譜相位。

31.如申請專利範圍第30項所述之相位移干涉術之方法，其中，該被選擇表面包括：一第一參考表面、一光學元件之一第一表面及一第二參考表面，其中該波前部位之一經由一反射，自該光學元件之至少一內部表面被引導至該第二參考表面。

32.如申請專利範圍第31項所述之相位移干涉術之方法，其中，更包括：根據取得的相位，測量該光學元件之內部表面相對於該光學元件之第一表面的一角度方向。

33.如申請專利範圍第31項所述之相位移干涉術之方法，其中，至少一內部表面包括：定義一內部角度的兩內部表面，且其中該方法更包括根據取得的相位測量該內部角度。

34.如申請專利範圍第31項所述之相位移干涉術之方法，其中，該光學元件係一稜鏡。

35.如申請專利範圍第34項所述之相位移干涉術之方法，其中，該光學元件係一直角稜鏡，其具有定義一直角的兩內部表面，且其中至少一內部表面包括定義該直角的兩內部表面，並

且該光學元件之第一表面係該直角稜鏡之一正面。

36.如申請專利範圍第34項所述之相位移干涉術之方法，其中，該光學元件係具有定義一直角之兩表面的一直角稜鏡，其中至少一內部表面係一直角三角形斜邊面，其連接定義該直角的兩表面，且該光學元件之第一表面係定義該直角之兩表面之一。

37.如申請專利範圍第30項所述之相位移干涉術之方法，其中，該被選擇表面包括一光學元件之複數表面。

38.如申請專利範圍第37項所述之相位移干涉術之方法，其中，該光學元件係一稜鏡。

39.如申請專利範圍第29項所述之相位移干涉術之方法，其中，該被選擇表面包括一光學構件之複數表面，且其中複數表面之一為該光學構件之兩元件之間的一介面。

40.如申請專利範圍第1項所述之相位移干涉術之方法，其中，該被選擇表面包括一光學元件之表面，且其中自該被選擇表面之一反射的該波前之部分，經由一反射自該光學元件之一內部表面導引至該表面。

41.如申請專利範圍第1項所述之相位移干涉術之方法，其中，該被選擇表面包括一光學構件之表面，且其中自該被選擇表面之一反射的該波前之部分，經由一反射自該光學構件之兩元件之間之一介面導引至該表面。

42.一種用以測量存在於光學元件中之缺陷的方法，包括：
藉由將反射自複數表面之一光波前之不同部位結合，形成一光學干涉影像，其中該等複數表面包括該光學元件之至少一表面；

隨著改變上述光波前特性，其引起具有不同光路徑分離之

柒、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第（ 1 ）圖。

(二)本代表圖之元件代表符號簡單說明：

100~干涉儀系統	101~待測物
102~前表面	103~後表面
105~固定模板	105a~第一參考波前
105b~波前	105c~波前
105d~第二參考波前	109~腔室
110~參考物	111~參考表面
115~狹縫	120~參考物
121~參考表面	125~狹縫
130~準直光學元件	140~調制光源
145~驅動器	150~光束分割器
160~攝像光學元件	170~CCD 照相機
180~畫面捕捉器	190 ~電腦

捌、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

95年4月17日修(更)正替換頁

制器可產生光譜。舉例而言，光譜 S 相當於 $S(D)=|DPLT(D)|^2$ ，其中 D 係關於光路徑差的變數且係一 OPD 轉換，其可以表示成：

$$OPLT(D) = \sum_{j=0}^{N-1} I_j W_j \exp \left[-i \varphi_{Mj} \frac{D}{D_M} \right] \Delta \varphi_{Mj}$$

其中，對於光波前變化特性，具有 N 個增加量； j 係 N 個增加量； I_j 係增加量 j 的干涉訊號； W_j 係增加量 j 的加權值； D_M 對應於參考凹處的光路徑長度； φ_{Mj} 係增加量 j 的監視參考相位；以及 $\Delta \varphi_{Mj}$ 係相對應於增加量 j 的監視參考相位之增加量。此方法更可包括，根據對應峰值的 OPD 座標，測量被選擇的一對表面之間的光路徑差。此 OPD 測量可對一個或多個位置執行。此方法亦可包括，對於每個位置，於對應於被選擇的一對表面的峰值光譜座標處，汲取得干涉訊號的光譜相位，此汲取得的相位 φ_T 可計算自 $\varphi_T D_T = \arg[OPLT D_T]$ ，其中 D_T 係峰值的光譜座標。

於波前特性變化期間，控制器監視光波前的強度變化，並且對於強度變化補償干涉訊號。

根據光譜中至少某些峰值的振幅，控制器對於至少一被選擇的表面對，計算關於表面反射率的資訊。

根據位於複數位置的每一個位置的光譜，控制器可測量缺陷是否存在於被選擇的表面對之中。存在的缺陷係對應於，位於許多位置之至少一位置的額外光譜。

控制器可進一步鑑別峰值的光譜座標，其對應於許多表面之第二選擇對表面。此外，對於每一位置，控制器可汲取得干涉訊號之光譜相位；其位於對應於第一選擇表面對之峰值座標，以及

6.如申請專利範圍第4項所述之相位移干涉術之方法，其中，改變該光學波前之行進方向包括，改變用以產生上述光波前之一環狀光源之直徑。

7.如申請專利範圍第1項所述之相位移干涉術之方法，其中，藉由將該干涉訊號自一時域轉換至一頻率域，產生上述光譜。

8.如申請專利範圍第1項所述之相位移干涉術之方法，其中，藉由將該干涉訊號轉換成一光路徑差(OPD)範疇，產生上述光譜。

9.如申請專利範圍第1項所述之相位移干涉術之方法，更包括：隨著上述光波前之一額外部分產生，監視來自一參考凹處之一參考相位。

10.如申請專利範圍第9項所述之相位移干涉術之方法，其中，根據上述監視的參考相位，藉由將該干涉訊號轉換成一光路徑差範疇(OPD)，產生該光譜。

11.如申請專利範圍第10項所述之相位移干涉術之方法，其中，該光譜 S 對應於 $S(D)=|OPLT(D)|^2$ ，其中 D 係關於光路徑差的變數且係一OPD轉換，其可以表示成

$$OPLT(D) = \sum_{j=0}^{N-1} I_j W_j \exp \left[-i \varphi_{Mj} \frac{D}{D_M} \right] \Delta \varphi_{Mj}$$

其中具有 N 個增加量以便改變該光波前特性， j 係關於 N 個增加量的下標， I_j 係位於增加量 j 的該干涉訊號， W_j 係於增加量 j 之權重函數之值， D_M 係對應於該參考凹處之一光路徑長度， φ_{Mj} 係位於增加量 j 的該監視參考相位，以及 $\Delta \varphi_{Mj}$ 係對應於增加量 j 的監視參考相位之一增加量。

複數表面對提供不同的上述干涉訊號，記錄上述光學干涉影像之不同位置之一干涉訊號；

對於至少一上述位置轉換該干涉訊號，以便於光譜座標上，對應於該等複數表面對之每一對，產生具有一峰值的一光譜；以及

根據該光譜，判斷該缺陷是否存在於該光學元件中，其中對於至少一該等位置，該缺陷對應於光譜中的一不規則峰值。

43.如申請專利範圍第42項所述之方法，其中，該缺陷包括位於該光學元件中的一空氣泡。

44.如申請專利範圍第42項所述之方法，其中，該缺陷包括位於該光學元件中的一雜質。

45.如申請專利範圍第42項所述之方法，其中，該缺陷包括位於該光學元件之兩次要元件之間的一不完美接合區域。

46.一種光學構件組合方法，包括：

將一第一光學元件與一第二光學元件黏合，以便製造一光學構件；

利用申請專利範圍第1項所述之相位移干涉術之方法干涉地標示出該光學構件之特徵；以及

根據該干涉的特徵，該第一光學元件與該第二光學元件重新接合。

47.一種相位移干涉術之系統，包括：

一光源，包括設置用以改變產生自該光源的一光波前特性之一調制元件；

一干涉儀，於操作期間導引該光波前之不同部位置複數表面，且再次結合該不同部位以便形成一光學干涉影像；

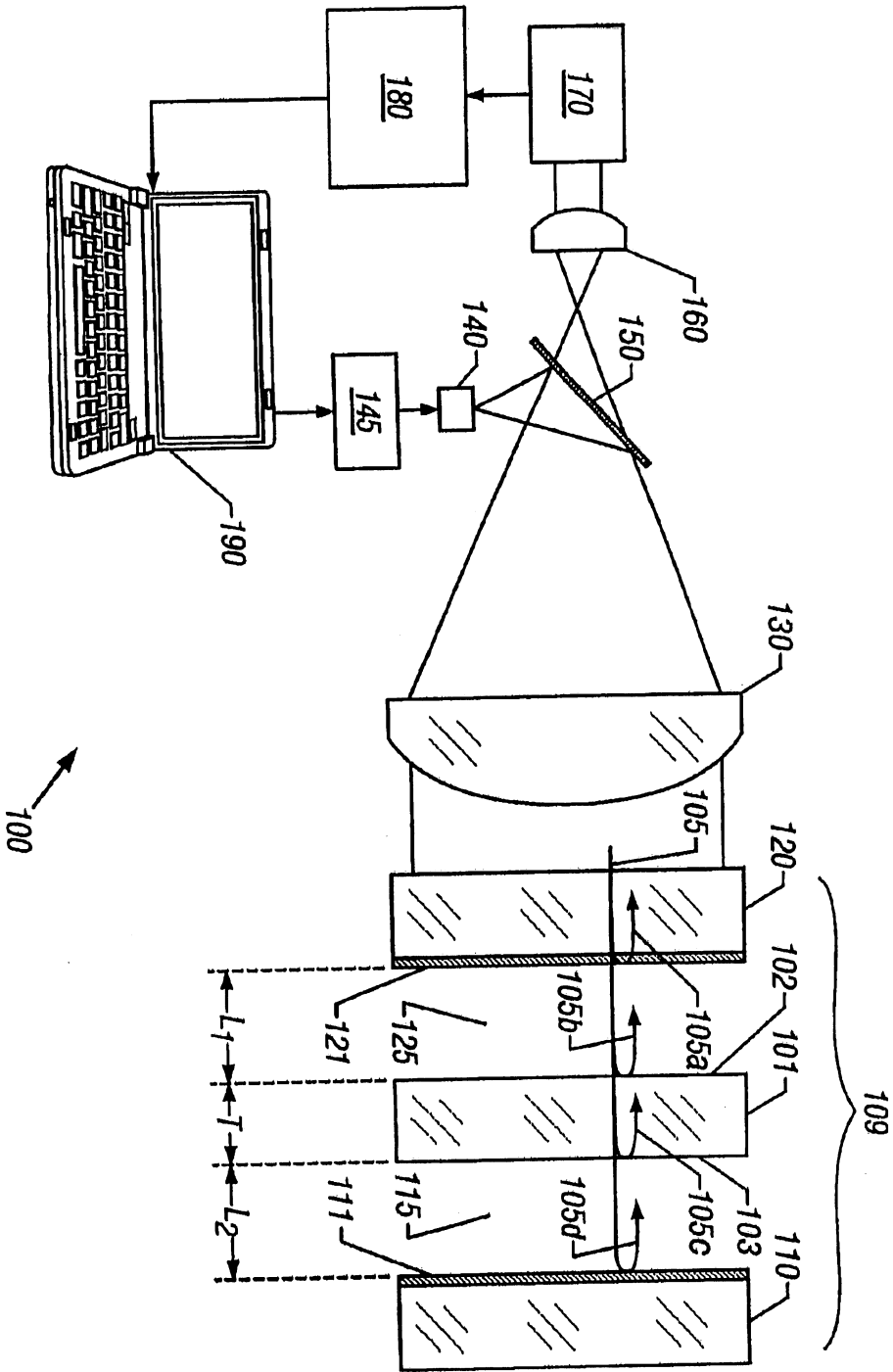
一複數單元光電感測器，隨著藉由該調制元件改變該光波前特性，其設置用以記錄位於該光學干涉影像之不同位置的一干涉訊號，其中該光波前特性變化造成具有不同光路徑分離之該等複數表面對，不同地提供該干涉訊號；以及

一電子控制器，與該光源及該光電感測器耦接，其中於操作該電子控制器期間：對於至少一上述位置轉換該干涉訊號，以便於光譜座標上，對應於該等複數表面對之每一對，產生具有一峰值的一光譜；以及鑑別對應於該等複數表面對之一被選擇對的該峰值之光譜座標。

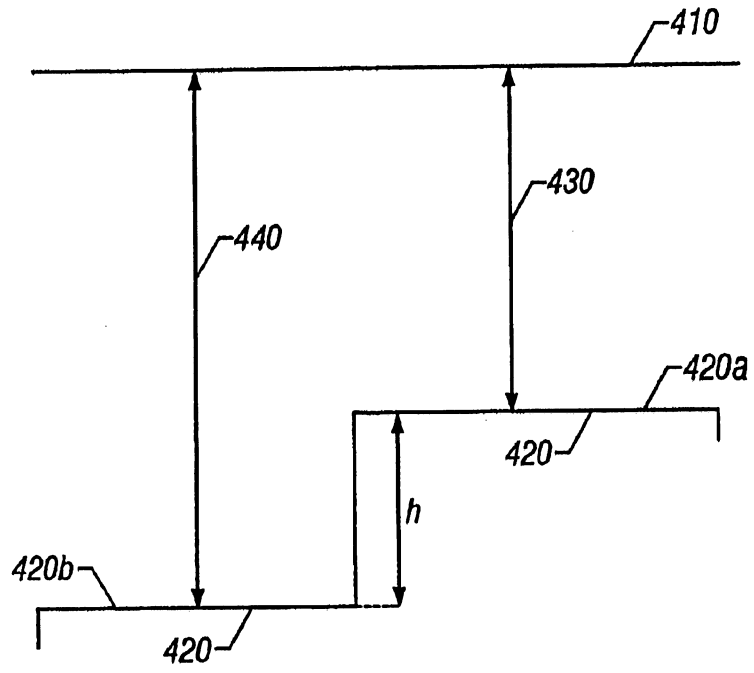
48. 如申請專利範圍第2項所述之相位移干涉術之方法，進一步包含依據該抽出相位中至少一部分來決定下列至少一者：

- i) 該待測表面之至少一者的表面外觀；及
- ii) 該待測表面中兩者之間的相對光學厚度。

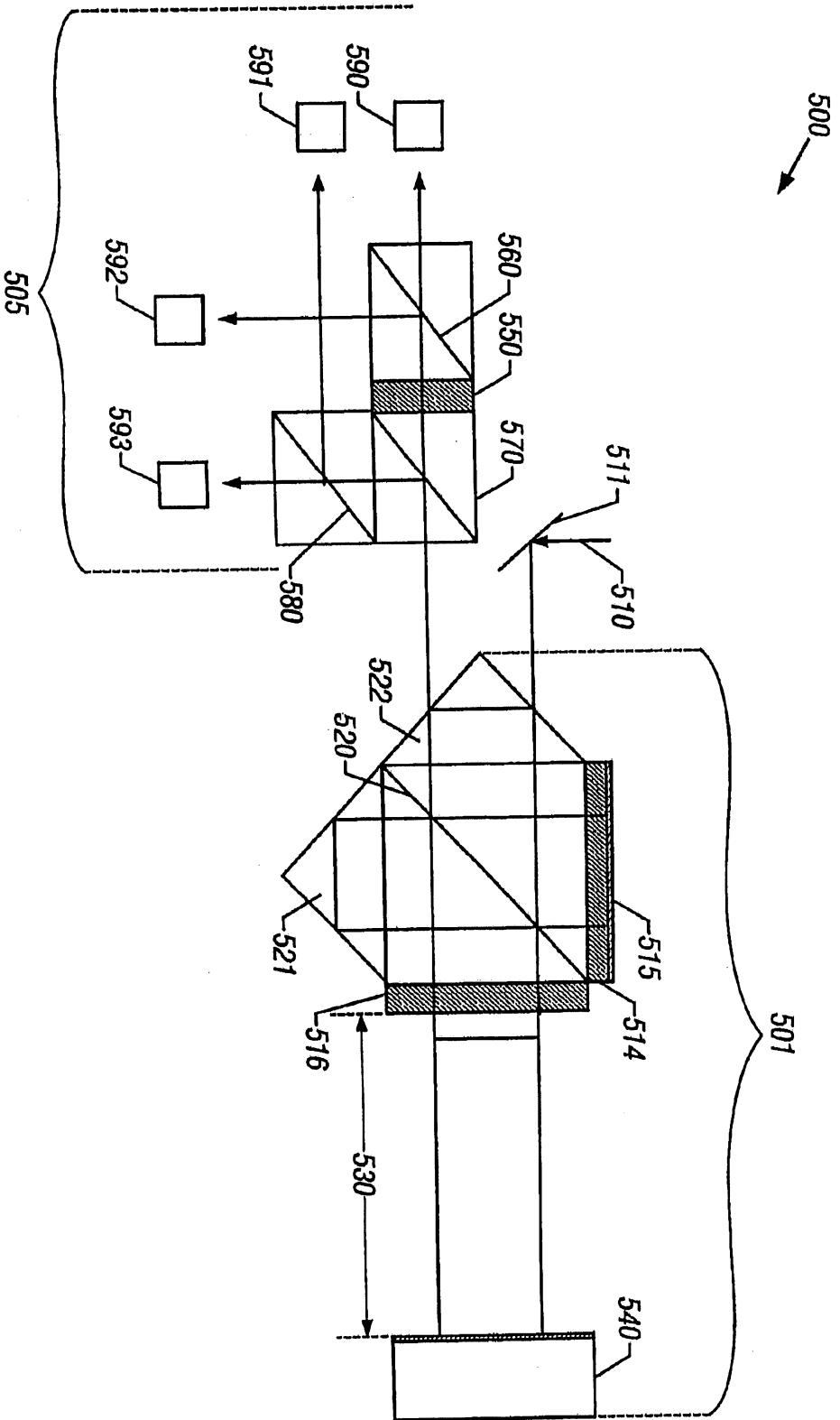
95年7月25日修(更)正本



第1圖



第2圖

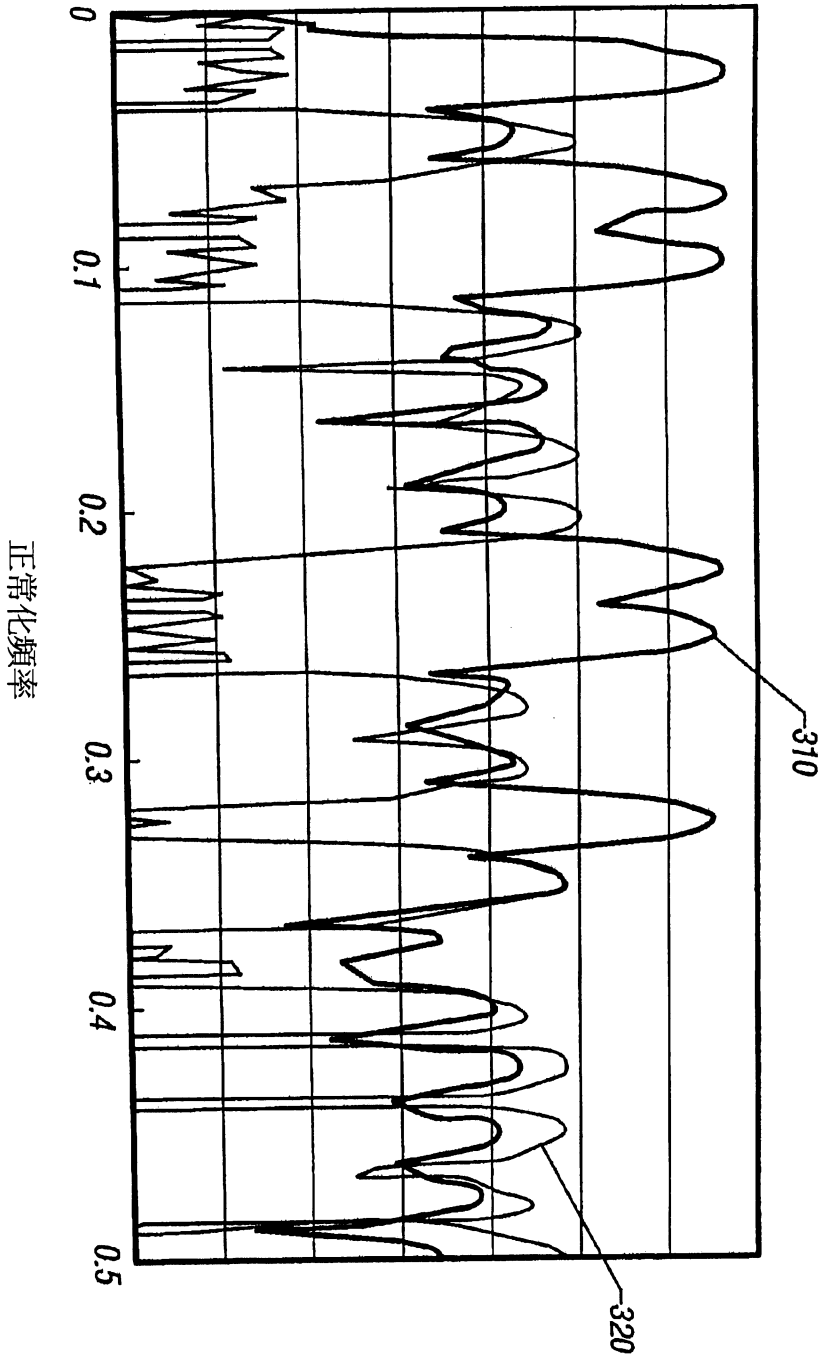


第3圖

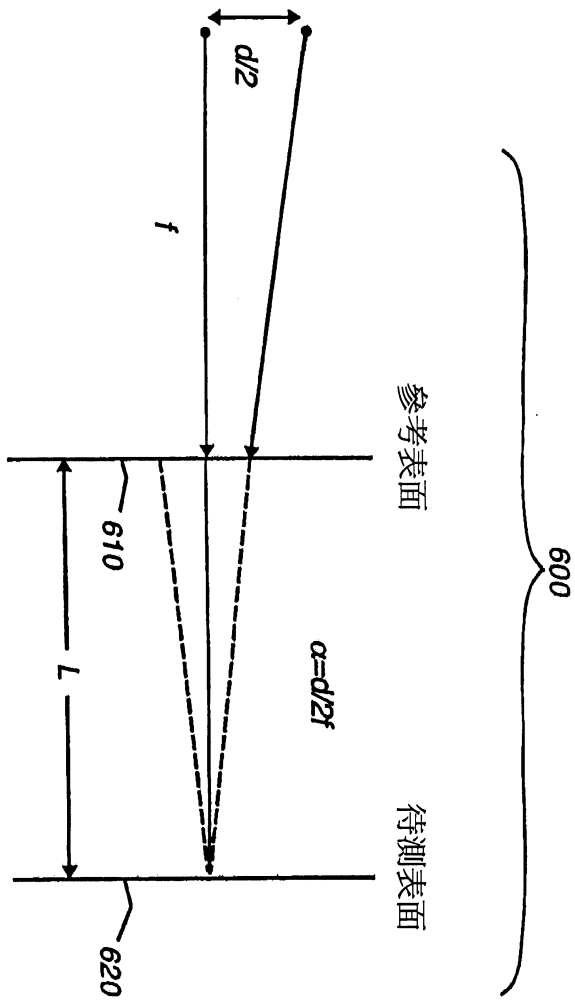
Order	OPD	fc/f_{min}
1st	$2nT$	$2q$
	$2L_1$	$2rq$
	$2L_2$	$2sq$
	$2L_1+2nT$	$(2+2r)q$
	$2nT+2L_2$	$(2+2s)q$
	$2L_1+2nT+2L_2$	$(2+2r+2s)q$
2nd	$4L_1$	$4rq$
	$4nT$	$4q$
	$4L_2$	$4sq$
	$4L_1+2nT$	$(4r+2)q$
	$4L_1+2nT+2L_2$	$(4r+2+2s)q$
	$4L_1+4nT$	$(4r+4)q$
	$4L_1+4nT+2L_2$	$4r+4+2s)q$
	$2L_1+4nT$	$(2r+4)q$
	$2L_1+4nT+2L_2$	$(2r+4+2s)q$
	$2L_1+2nT+4L_2$	$2r+2+4s)q$
	$2L_1+4nT+4L_2$	$(2r+4+4s)q$
	$4nT+2L_2$	$(4+2s)q$
	$2nT+4L_2$	$(2+4s)q$
	$4nT+4L_2$	$(4+4s)q$
	$2L_1+2nT$	$ 2r-2 q$
	$2L_1+2L_2$	$(2r+2s)q$
	$2L_1-2nT-2L_2$	$ 2-2r-2s q$
	$2L_1-2L_2$	$ 2r-2s q$
	$2L_1+2nT-2L_2$	$ 2+2r-2s q$
	$2nT-2L_2$	$ 2-2s q$
$4L_1+4nT-4L_2$	$(4r+4+4s)q$	

第4圖

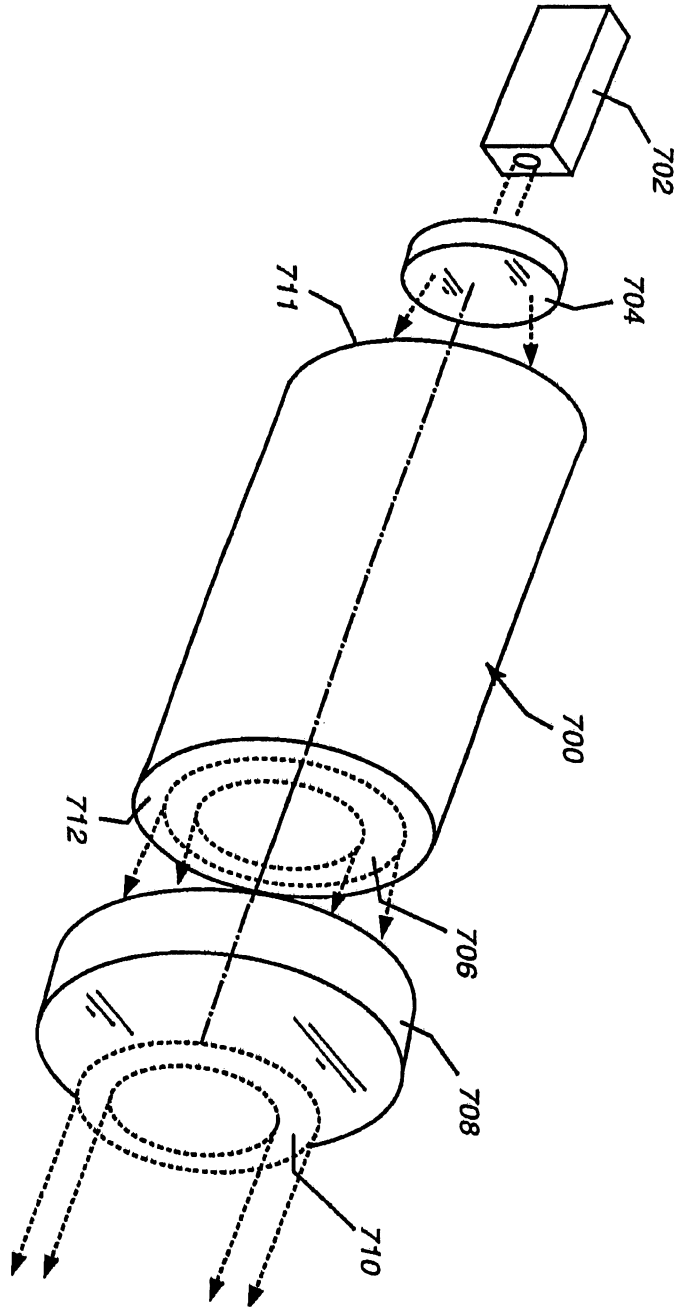
相對振幅



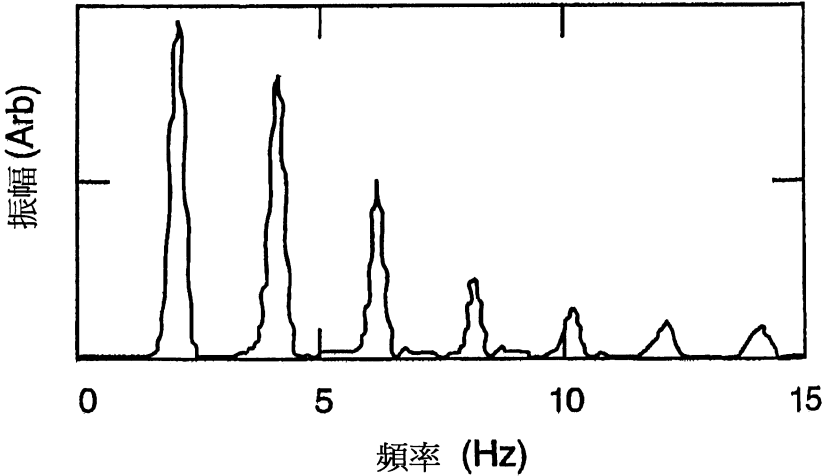
第5圖



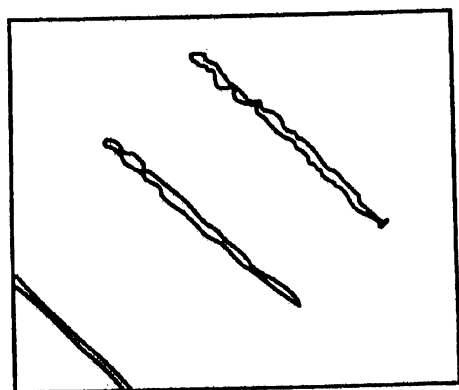
第6圖



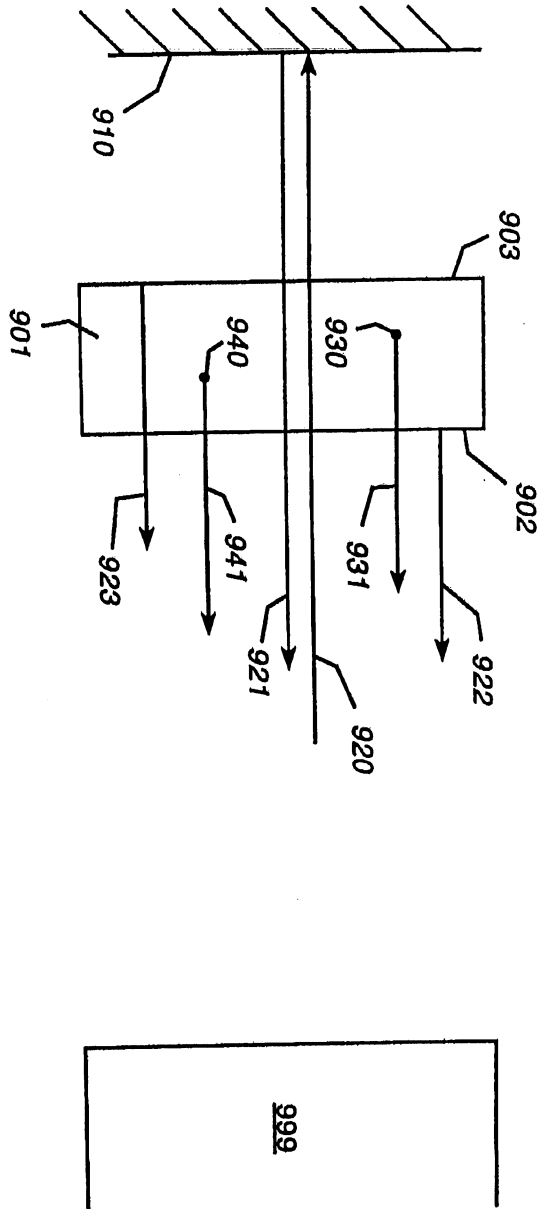
第7圖



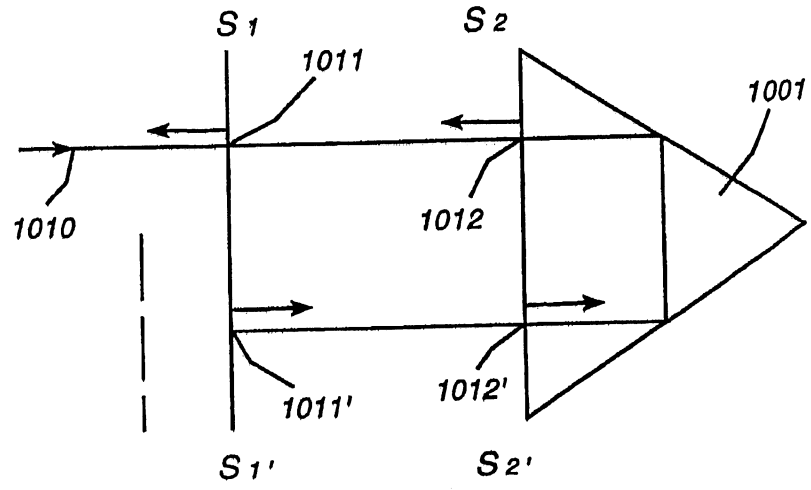
第8圖



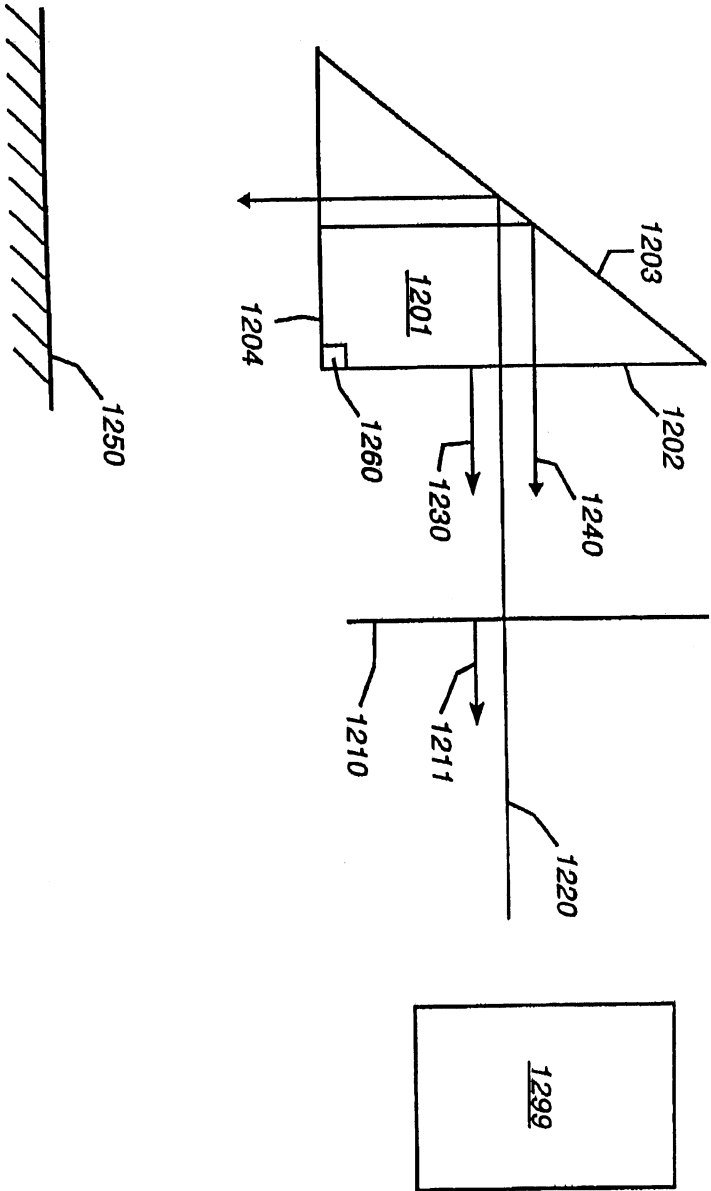
第9圖



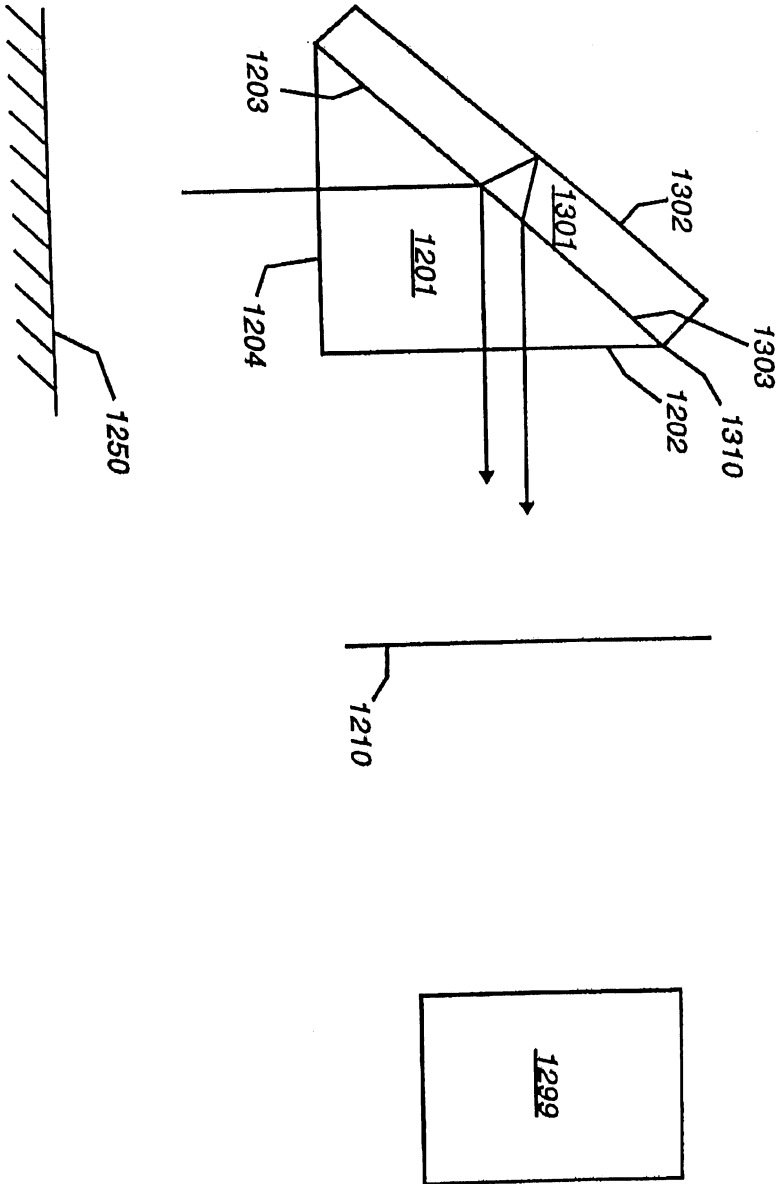
第10圖



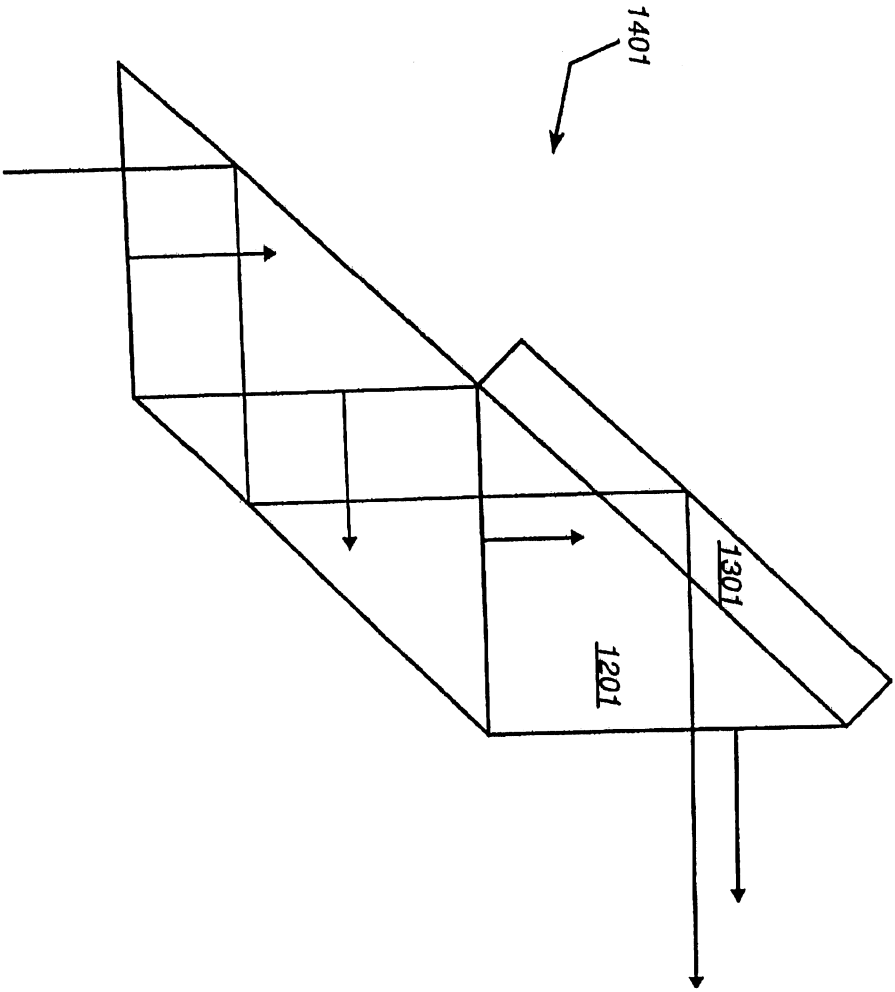
第11圖



第12圖



第13圖



第14圖