

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係有關於一種連續波前感測器。

【先前技術】

波前感測器是用於測量一光束之波前形狀的裝置(例如參見 US4141652)。在多數情況下，一波前感測器可測量一波前自一參考波前或一理想波前，像是一平面波前，的離開情形。一波前感測器可用來測量各種光學成影系統，像是人眼，的低階與高階偏差兩者(參見 J. Liang 等人(1994)的「Objective measurement of the wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wave-front sensor」, J. Opt. Soc. Am. A 11, 1949 年-1957 年；T. Dave (2004)的「Wavefront aberrometry Part 1: Current theories and concepts」, Optometry Today, 2004 年 11 月 19 日，第 41-45 頁)。此外，一波前感測器亦可運用於調適性光學，其中可測量出經扭曲之波前，並且利用例如一像是可變形反射鏡之光學波前補償裝置而按即時方式予以補償。而此補償作業的結果即為能夠獲得一銳利影像(例如參見 US5777719)。

目前，多數為測量因人眼之偏差所設計的波前感測器為 Shack-Hartmann 型式，其中會將所測得波前按一平行格式同時地分割成多個子波前。此一感測器之基本元件包含一光源或輸入光束、一微小透鏡陣列(稱為小透鏡陣列)，

以及一相機或是一些其他用以記錄該小透鏡陣列所構成之光點影像的樣式及位置(又稱為中心點)之裝置。

第 1 圖顯示一用於人眼偏差測量作業的示範性先前技藝 Shack-Hartmann 感測器。一般說來是會使用一 SLD (超亮度二極體) 102 作為光源，並且透過人眼光學元件(包含角膜 104 及水晶透鏡 106)，將光線遞送至網膜 108 上之一相當微小的區域處。而來自於該網膜 108 的散射光線行旅經過該眼部的光學成影系統(包含該角膜 104 及該水晶透鏡 106)，並且自瞳孔浮現如一偏差波前 110。為壓制來自於該角膜 104 以及其他像是，除該網膜 108 以外，該水晶透鏡 106 之光學介面的光線干擾，所輸入的相當狹窄光束通常是被一第一偏光器 112 按一第一方向所偏光。給定經該網膜所散射之光線為遠較去偏光，故通常是會以一第二正交分析器 114 按一第二正交偏光方向來測量該網膜散射光線。

可利用一其中含有一組透鏡之中繼光學系統，即如該 116 者，以將該偏差波前放大或去放大或僅傳透在一小透鏡陣列 118 上。若該小透鏡陣列 118 係在一瞳孔共軛平面(該瞳孔之一影像平面)內，則在該小透鏡平面處的波前將與在眼睛瞳孔處之波前形狀等同，或者將為其一經放大或去放大的版本。接著，該小透鏡陣列 118 在該 CCD 相機 120 上構成出一點狀影像陣列。若該眼睛確為一完美光學系統，則在該小透鏡陣列平面處的波前會為完美平坦(即如由該虛線 122 所示者)，並且會由位在該小透鏡陣列之焦點

平面處的 CCD 相機 120 記錄下一均勻分佈的影像點陣列。

然另一方面，若該眼睛並非完美，則在該小透鏡陣列處的波前 124 將不再是完美地平坦，同時將具有不規則的彎曲形狀。從而，該 CCD 相機 120 上的點狀影像將會偏離於對應到無偏差情況下的位置。透過該 CCD 相機 120 上之影像點位置的資料處理，可決定出該眼睛的低階及高階偏差兩者(例如參見 J. Liang 等人的「Objective measurement of the wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wave-front sensor」, J. Opt. Soc. Am. A 11, 1949-1957)。

波前感測器雖可測量出一光學成影系統的低階及高階偏差兩者，然對於像是人眼的非靜態成影系統而言，既已顯示只有對應到自該眼睛之中央部分處所測量出的球形-圓柱誤差之低階偏差才會相當地一致(例如參見 Ginis HS 等人之「Variability of wavefront aberration measurements in small pupil sizes using a clinical Shack-Hartmann aberrometer」, BMC Ophthalmol, 2004 年 2 月, 11:4:1)。

實作上，對於多數的眼睛偏差測量與校正作業，以及對於多數的眼底成影光學系統而言，需要進行測量且校正的光學偏差即為球形-圓柱誤差(又稱為失焦和散光)。熟諳本項技藝之人士眾知可利用繞於該輸入波前之一輪狀環的微少數量子波前以測量出該等偏差。在此一情況下，將會廢棄掉大部分的 CCD 相機讀取值。而為要節省成本，可在繞於一偏差波前之輪狀環處排置數個(通常是 8 或 16 個)

四分偵測器，藉以僅須對於該等子波前進行測量(例如參見US4141652，茲將該案，連同於其他所引述的參考文件，依其整體而按參考方式併入本專利申請案)。

不過，此種排置方式仍會需要使用多個四分偵測器，這些雖共集地比起大區域的CCD相機而較不昂貴，然其成本仍會較一單一四分偵測器為高。此外，數個四分偵測器的校齊作業比起一單一四分偵測器亦將是遠較困難。

【發明內容】

【實施方式】

現將詳細地參照於本發明之各式具體實施例。該等具體實施例之範例係於隨附圖式中所說明。本發明雖為經併同於該等具體實施例所描述，然應瞭解此非為以將本發明限制於任何具體實施例。相反地，目的是為以涵蓋可經納入於如後載申請專利範圍中所定義之本發明精神與範圍內的各種替代、修改及等同項目。在底下說明中列述出眾多特定細節，藉此供以通徹瞭解各種具體實施例。然而，無該等特定細節之部分或整體亦可實作本發明。在其他實例裡，並未對眾知的處理程序操作加以描述，藉此避免非必要地模糊本發明。

本發明之一具體實施例即為一循序波前感測器，其中含有一光束掃描模組、一子波前聚焦透鏡、一具有一個以

上之光敏區域的偵測器，以及一處理器，其用以計算出距該等子波前而經循序獲得之聚焦光點的中心點，藉此決定該輸入波前的偏差。在此本發明具體實施例裡，該子波前聚焦透鏡及該偵測器在空間上係經固定，並且以該光束掃描模組掃描一輸入光束，藉以將不同的波前部分從一輸入光束或該波前之複製項，循序地投射至該子波前聚焦透鏡及該偵測器。該處理器可為一電腦或一可程式化電子板，而能夠用以計算出在一 $x-y$ 平面上的中心點跡線或樣式。

第 2 圖顯示一該循序波前感測器 200 之具體實施例的示範性略圖。一具有波前 202 之線性偏光輸入光束被該第一透鏡 204 所聚焦。該聚焦光束行旅經過一偏光光束分割器 (PBS) 206，此者所經排置之方式係為使得其穿通偏光方向與該入方光束的偏光方向相對齊。因此，線性偏光斂聚光束將會通過該 PBS 206。一四分波平板 208 係經放置在該 PBS 206 的後方而具快速軸向，因此在穿過該四分波平板 208 之後即出現一圓形偏光光束。一針孔 210 係經設置在該四分波平板 208 的後方而正對面著該掃描反射鏡 212，其目的是用以排除不是直接地來自於該光束之所欲波前的光線。

該輸入斂聚光束在通過該針孔 210 之後，即被聚焦於一傾斜掃描反射鏡 212 的反射表面上，此者係經架置於一馬達軸 214 上。該反射鏡所反射之光束為發散，而其光束中央主射線則被改變至一根據該掃描反射鏡 212 之傾斜角以及該馬達 214 之旋轉位置而定的方向。可預期的是該反

射光束仍為圓形偏光，然該圓形偏光的旋轉方向則會被從左旋改變成右旋，或者是從右旋改變成左旋。從而，當在其回返路徑上第二次通過該四分波平面 208 時，該光束會再度地成為線性偏光，然其偏光方法旋轉至一相對於該原始入方光束為正交的方向上。因此，在該偏光光束分割器 206 處，該回返光束多數將會是反射回到左方，即如第 2 圖中的虛線光線射線所示者。

一第二透鏡 216 經放置在次於該 PBS 206 的左方，藉以平行校齊該反射發散光束，並以產生一該原始輸入波前的複製項。由於該掃描反射鏡的傾斜性之故，因此該複製波前會依行旅方式而平移。一孔徑 218 係經設置在該第二透鏡 216 的後方，而正面對著該子波前聚焦透鏡 220，藉此選擇該複製波前的一微小部分。該子波前聚焦透鏡 220 將所選定之子波前聚焦於一位置感測裝置 222 上，此者是用來決定自該等經循序選定之子波前所產生的經聚焦光點之中心點。藉由按照步進方式以旋轉該馬達 214 並且改變該掃描反射鏡 212 的傾斜角，即可控制該複製波前之放射及方位角平移的量值，使得能夠選擇該複製波前的任何部分而按一循序方式穿過該孔徑 218。因此，可將該原始入方光束的整體波前特徵描述如對於一標準 Hartmann-Shack 波前感測器的情況，而除了現在是以一循序，而非平行，的方式來獲取各個子波前的中心點以外。

在另一具體實施例裡，該掃描反射鏡的傾斜角為固定，並且該馬達為連續地按多個步階而旋轉。因此，將僅

會選擇並特徵描述繞於該波前之輪形環的選定數量個子波前。這種掃描模式對於決定出該原始波前的球形-圓柱誤差，或是失焦及散光，極為有用，即如在「發明背景」乙節所討論者。第3圖顯示該等複製波前(302、304、306及308)在各次旋轉的4個對稱性停止馬達位置處而相對於該孔徑310的放射及方位角平移，其中各者係對應於該孔徑310繞於該原始波前之一輪形環320所選擇的4個子波前(312、314、316、318)。

可瞭解到，即針對於所使用之元件而言，確可存在多項變化項目而不致悖離本發明範圍。例如，四分波平板可為一非零階之四分波平板，並且可將該者替換為一法拉第旋轉器，而此裝置可將一回返光束的偏光方向旋轉至一正交方向。同時，該輸入光束並非必須為經線性偏光，並且無需將該光束分割器限制為一偏光光束分割器。可使用一常用的光學術分割器，同時在此一情況下，可將該四分波平面或法拉第旋轉器移除。雖對於該偵測器的光學功率效益會被降低，然此並不必然地會影響到該波前感測器的效能，只要是將足夠的光學功率遞送至該偵測器即可。

該位置感測裝置(PSD)係一感測器，此者係用以測量一按各種尺寸之光點的中心點。該位置感測裝置可為，然不限於此，一四分偵測器、PSD感測器，或是一具有多個光敏區域，像是一微小區域2D偵測器陣列，的偵測器。此等偵測器包含該CCD區域偵測器以及該CMOS區域偵測器。該等所用透鏡，包含204、216、220在內，各者並非

必須受限於一單一透鏡，並且可為一透鏡組合，即如熟諳該項技藝之人士所廣知者。而若是該子波前聚焦透鏡係如一單一小透鏡般微小，則可將在該子波前聚焦透鏡前方的孔徑移除。否則，最好是需要一孔徑，並且該孔徑之目的係為以在當位於該孔徑後方所使用之子波前聚焦透徑為相對龐大時，可選擇該波前之一微小部分以供聚焦在該偵測器上。該孔徑並非必要地受限於此一具固定大小的組態。一可變大小孔徑可供在其操作過程中選擇敏感性及解析度。

此外，可將該子波前聚焦透鏡代換為任何可獲致該聚焦功能的光學元件，例如亦可使用一光柵指數透鏡或一聚焦反射鏡。同時，用於各種馬達解析度的停阻數量並不需要受限於4個，而是可為任意數量。並且，該馬達可連續地旋轉，該光源可為短脈衝化而在不同時刻處開啟。該掃描反射鏡的傾斜角亦可按即時方式動態地改變，因此可選擇該波前的不同輪狀環部分。事實上，在此雖使用該詞彙「傾斜反射鏡」，然應瞭解該詞彙亦包含零反射鏡傾斜角的情況，亦即該輸入光束係法向於該反射鏡，因此該反射光束係與該輸入光束同軸，因為會將該原始波前之中央部分導引至該偵測器。

亦可將馬達旋轉及掃描反射鏡傾斜之序列順序顛倒或混合，因此可按照任何所欲序列來選擇子波前。此外，可將該掃描反射鏡及該馬達代換為，然非受限於此，一 MEMS (微機電系統) 反射鏡，此者目前正被引入市場，或是任何

其他的可變形反射鏡，只要該者能夠改變該反射光束的方向即可。利用一 MEMS 反射鏡的優點在於，由於該可移動反射鏡質量的低重量之故，因此該者具有一相當高頻率的響應，從而可達到高速循序波前感測處理。此外，可簡易地控制該 MEMS 反射鏡的傾斜角。

可瞭解到，針對於系統組態，確亦存在多項變化項目而不致悖離本發明之範圍。例如，並非絕對地需要先將該波前朝後反射，接著再將該光束偏折至側邊。

即如一替代項目，亦可將該掃描反射鏡取代為一非傳統的多面鼓型反射鏡 412，而各個反射表面具有一所欲空間指向，使得當在位置上按一步進或連續方式旋轉各個反射表面時，會將該斂聚輸入光束反射，而該中央主射線則跡行繞於一角錐。第 4 圖顯示一此種組態 400 的截面外觀略圖，其中該反射光束係以行旅方式朝上平移。應注意到該反射光束亦可為朝下、朝左或朝右平移，或是朝往任意方位角方向而按任意的放射平移量。這是因為該多面鼓狀鏡 412 並非一對稱多角形，而當各個表面在位置上被移動以反射該輸入斂聚光束時，該者會將該光束反射至不同的空間方向，使得能夠藉由該為以聚焦於該偵測器上之孔徑，選擇該複製波前的某一所欲部分。

此外，可在該多面反射鏡之前沿該輸入光線路徑上再度地設置一針孔，藉以排除並非來自於該輸入光束之所欲方向或位置的光線。注意到可如前述般利用一 MEMS 反射鏡以實作出相同的組態，藉此取代該多面反射鏡而提供所

有的優點。同時注意到該多面鼓型反射鏡可具有一種微面指向排置，即當該鼓型物連續地按多重步階而旋轉時，可選擇數個繞於該波前之一輪形環的子波前以聚焦於該偵測器上。

即如另一替代方式，該系統亦可經組態設定為一種完全透光模式，而非一反射模式。第 5 圖顯示此一組態，其中該多面鼓型反射鏡是由透光性光束掃描器 512a 及 512b 所取代。目前在市場上可購得多款不同的透光性光束掃描器，這些範例包含音響-光學調變器、電子-光學或磁性-光學光束掃描器以及液晶光束掃描器，該等是如 512a 表示。在此一情況下，一光束掃描器應能夠掃描該光束，而按二維方式依照該透光性掃描之窗口側而定可為經聚焦或非經聚焦，藉此循序地導引該波前的數個所欲部分以進行特徵化。

或另者，亦可為此一目的使用一多楔區段碟片 512b。應瞭解，即如對於在反射情況下的多面鼓型反射鏡，用於透光情況下的多楔區段碟片 512b 亦應為一非對稱碟片，而當一楔片區段在位置上旋轉以偏折經聚焦或非經聚焦之光束時，該楔片角度將會決定此出現光束方向，並因而由該孔徑 518b 所選定的波前部分。各個楔片區段應具有一不同的楔片角度指向，藉以對一序列之所欲子波前加以特徵化。注意到若該透光性掃描器之窗口為微小，則需要將該輸入光束聚焦在該透光性掃描器的位置處，同時在此情況下，應使用一第一透鏡以聚焦該輸入光束，並且應使用一

第二透鏡以將該所傳透光束平行校齊，藉此產生該輸入波前在空間上按行旅方式而平移的複製項。

在本發明之另一具體實施例裡，可將此一按行旅方式循序平移該輸入光束波前之概念進一步地擴展為包含該輸入光束之導引行旅平移的情況，而其中並未對該輸入光束進行聚焦然後重新平行校齊。相反地，是對該輸入光束進行導引行旅方式平移，藉以將該波前之一所欲部分導引至該孔徑(618a, 618b)。此一法則之優點在於將會需要較少的光學元件，並因此可更加簡化該光線掃描模組。第6圖顯示此一範例，其中可將數個具有不同所欲空間指向的平行光學區塊(612a, 612b)循序地切換至該光束路徑內，藉以按行旅方式平移該光束。

或另者，該透光性光束掃描器可為一多面透光性多邊形，此者可經步進旋轉以中截該光束路徑，藉此按行旅方式平移該光束。同時注意到並不必然地需要由機械性裝置來進行光束的行旅平移。例如，可為此一光束行旅平移之目的運用一液晶胞格、一電子-光學胞格及一磁性-光學胞格，在此情況下，有效折射指數的變化就將會改變該行旅光束的平移量。即如在反射光束掃描器的情況下，可製作該透光性光束掃描器，藉此能夠選擇繞於該波前之一輪狀環的數個子波前，而供聚焦於該偵測器上以進行失焦及散光偏差感測處理。

可將上述的波前感測器運用在大量的運用項目。第一種主要應用項目是調適性光學裝置，其中可利用像是一可

變形反射鏡陣列之波前補償裝置，按即時方式來補償所測得的經扭曲波前。在此情況下，掃描該光束的速度需要相當地迅捷，並因此應該最好是使用高速度的光束掃描器或平移器，像是 MEMS 反射鏡及電子-光學或磁性-光學胞格。

上述具體實施例的第二種主要應用項目是自動對焦及/或散光校正作業。由於僅僅需要將少量(例如 8 個)繞於一輪狀環之子波前加以特徵化，藉此導算出一像是人眼之成影系統的失焦及散光之事實，因此該光束掃描模組並不需要具有非常高的頻率響應，並從而低成本的光束掃描器，像是如第 4 圖中所顯示一經架置於一步進馬達上的傾斜反射鏡，將為足夠。例如，可將上述的波前感測器運用於一眼底相機，藉以進行眼睛成影系統的即時失焦及/或散光校正作業，即如在 US6361167 及 US6685317 中所描述者，因而可獲得一高解析度眼底影像。

上述波前感測器之另一特性在於，當將此者施用於僅失焦及/或散光的特徵化作業時，一四分偵測器將即可足夠，並對其輸出進行處理以產生一循序樹或樣式，且將此顯示在一監視器上，以利按即時方式來表示出位於該波前感測器正對面之光學成影像系統是否確為成焦、距離該焦點多遠、該失焦究係為收斂或發散、散光量以及散光軸線。

假設現有一如第 7 圖所示，具有四個光敏區域 A、B、C 及 D 的四分偵測器 702。若該子波前係按一相對於在該四分偵測器面前之子波前聚焦透鏡為法向角度而入射，則在該四分偵測器上的影像點 704 將會位於中央處，並且該

等四個光敏區域將會收到相同的光線量，而各區域產生出具有相同強度的信號。另一方面，若是該子波前以一傾斜角而偏離於該法向入射（即如朝著右上方而指向），則在該四分偵測器上的影像點將會構形在偏離於該中央處（朝著右上方象限而移動，即如由該影像點 706 所顯示者）。可利用下列等式來特徵描述該中心點距該中央處（ $x=0$, $y=0$ ）的離出（ x , y ）：

$$\begin{aligned} x &= \frac{(B+C)-(A+D)}{A+B+C+D} \\ y &= \frac{(A+B)-(C+D)}{A+B+C+D} \end{aligned} \quad (1)$$

其中 A 、 B 、 C 及 D 代表該四分偵測器之各個相對應光敏區域的信號強度，而利用分母（ $A+B+C+D$ ）將該測量結果正範化，從而抵銷掉光學來源強度波動的影響。

當數個繞於一光束之輪形環的對稱波前（例如 4、8 或 16 個）循序地（例如按一順時針方向）投射在該子波前聚焦透鏡及該四分偵測器上時，依等式（1）之（ x , y ）所表而距該四分偵測器的中心點離出將會在一 x - y 平面上跡畫出一樣式，可將該樣式顯示在一監視器上並按數位方式加以處理，藉以表示出該失焦及散光狀態。

第 8 圖顯示多項良好成焦、失焦及散光之代表性情況，在該四分偵測器上於該子波前聚焦透鏡之後的相關影像點樣式，以及當顯示於一監視器上時相對應之中心點位置的循序移動。注意到不是繪出投射數個波前而數個不同子波前在相同的子波前聚焦透鏡及四分偵測器上，我們是

採取如第 3 圖所顯示的等同表示方式，其中數個子波前經繪示為繞於相同的輪狀環，並因此數個四分偵測器經繪示為繞於相同的輪狀環，藉以表示出將一波前之不同部分掃描至一子波前聚焦透鏡及一單一四分偵測器的情況。

假設我們是從頂部的子波前而繞於該波前輪狀環開始掃描，並且按一順時針方向移動至右方的第二子波前等等，即如箭頭 809 所表示。可自第 8 圖中看出，當該波前係一平面波 801 時，這表示該光學系統為良好成焦而無任何偏差，而所有的子波前(例如 802)將會在該四分偵測器 804 的中央處構成一影像點 803，並因此在一監視器 806 上的中心點跡線 805 亦將會總是位在該 $x-y$ 平面的中央處。從而，可利用所有在該 $x-y$ 平面中央的中心點樣式或跡線來表示該良好成焦狀態。

不過，對於較為廣義的情況來說，可能總是會有一些輸入波前偏差，這會將部分的中心點移離於該 $x-y$ 平面中央處，像是即如後文中所隨即討論的散光情況。因此，當出現偏差時，即可利用將中心點自該 $x-y$ 平面之散射的最小化處理作為自動對焦或輔助對焦的準則。在此一情況下，可將該中心點散射定義為一從各中心點至一共同中央之絕對距離的總和，並且可利用此信號作為一用於自動對焦之封閉迴路控制中的回饋信號。

當該輸入波前如 811 所示般為發散時，各個子波前 812 之影像點 813 的中央會在自該波前之中央的放射朝外側上，而具有距該四分偵測器 814 之中央等量的離出，並因

此該監視器 816 上的跡線 815 將為一順時針圓形，即如箭頭 818 所表示而自該頂部位置 817 開始。另一方面，若該輸入波前如 821 所示般為收斂，則各個子波前 822 之影像點 823 的中央會在相對於該波前之中央的放射朝內側上，而具有距該四分偵測器 824 之中央等量的離出，並因此該監視器 826 上的跡線 825 將仍為一圓形，但將自該底部位置 827 開始，並且仍為順時針方向，即如箭頭 828 所示。因此，當偵測到一對於該 x 軸中心點位置及該 y 軸中心點位置兩者的符號變化時，此即表示該輸入波前正在從一發散光束變化至一收斂光束或是相反方式。此外，亦可利用該中心點跡線的開始來作為一表示該輸入波前究係為發散或收斂的準則。

此符號變化或開始點變化準則可因此用來作為一回饋，藉以表示該波前感測器所面對之光學系統是否確為良好成焦。在實作上，可能會出現其他的波前偏差，並因而所有中心點位置的符號變化可能不會同時地發生。一種較佳實作可為定義一面對該波前感測器之光學系統中的焦點調整準則量，使得若確位在經預設的焦點調整範圍之內，則所有或多數的中心點符號已改變，則可將該波前視為是成焦。在本發明之一具體實施例裡，此符號變化可因此用來作為一項為以進行自動對焦或輔助對焦的準則，其中可將一高速焦點調整光學元件或模組，像是一由一高速馬達按一封閉迴路控制方式所軸向驅動的可移動透鏡，設置在面對著該波前感測器的光學系統之內，而藉由將該系統鎖

定在該符號變化點處，以維持該光學系統總是在成焦狀態下。或另者，亦可為該相同目的而採用其他型態的焦點調整透鏡，像是一液態表面張力透鏡、一液晶透鏡或一音響-光學透鏡。

對於發散及收斂球形輸入波前兩者的情況，該循序中心點跡線在該 $x-y$ 平面上的旋轉方向是與該子波前繞於該輸入波前之輪形環的掃描方向相同。在此一本發明具體實施例裡，我們定義此相同旋轉方向為正常。即如後文中所隨即討論者，對於一散光輸入波前的情況，會發生，當相較於該子波前繞於該輸入波前之輪狀環的掃描方向時，該循序中心點跡線在該 $x-y$ 平面上的旋轉方向為相反，我們將此相反射旋轉方向定義為異常。

對於在 $x-y$ 平面上的正常中心點跡線旋轉之情況，若該跡線為圓形，則很明顯地可利用圓形跡線(815, 825)的直徑來表示失焦的程度。實作上，由於總是會有一些其他的偏差，並因此該中心點跡線可能不會是完美的圓形，所以一良好實作可為將該中心點跡線配合於一圓形，然後再導算出該跡線的平均直徑或半徑。在本發明之一具體實施例裡，達到一中心點跡線之最小平均直徑或半徑的準則是用來輔助對焦或自動對焦處理，其中可將一高速焦點調整光學元件或模組，像是一由一高速馬達按一封閉迴路控制方式所軸向驅動的可移動透鏡(930)，設置在面對著該波前感測器的光學系統之內，藉以維持該光學系統總是在成焦狀態下，即如第9圖所示。或另者，亦可為該相同目的而

採用一焦點可調整透鏡，像是一液態表面張力透鏡、一液晶透鏡或一音響-光學透鏡。

亦可自第 8 圖中看出，當該輸入波前為散光時，會發生當該輸入波前係粗略地在成焦狀態下時，該波前可為在垂直方向上發散，即如 831a 所示，並且在水平方向上為收斂，即如 831b 所示，因此該垂直子波前 833a 的中心點位置將為相對於該輸入波前的中央而放射朝外定位，同時該水平子波前 833b 的中心點位置將為相對於該輸入波前的中央而放射朝內定位。因此之故，在該監視器 836 上的中心點跡線 835 將會從該頂部位置 837 開始然為按逆時針方向移動，即如箭頭 838 所示，從而該中心點跡線旋轉現為異常。注意到當我們說該散光波前係粗略地在成焦狀態下時，意思是沿著該散光波前之一軸線，子波前為發散，而沿著該散光波前之另一軸線，子波前則為收斂。在本發明之一具體實施例裡，可利用這種中心點跡線的異常旋轉方法來來首先表示該輸入波前為散光，其次是表示該散光波前係粗略地在成焦狀態下。而該異常中心點跡線之圓形性質亦可用來表示該散光輸入波前是否確為相當地良好成焦。

另一方面，若該輸入波前為散光，然而所有的子波前為完全地發散或完全地收斂，則依據對於發散及收斂失焦波前所提出的類似論點，該中心點跡線的旋轉將為順時針方向(亦即正常)，不過，對於散光的情況，該中心點在監視器上的跡線將為橢圓形而非圓形，這是由於沿一散光軸

線上的子波前比起沿另一軸線者會較為發散或收斂。對於更一般性的散光波前，該中心點跡線將按一異常方向旋轉，且該跡線會是橢圓形或圓形；或者該中心點跡線將按一正常方向旋轉，然該跡線將為橢圓形。該橢圓形之軸線可為相對於該波形的中央而按任何放射方向，這會表示該散光軸線。在此情況下，4 個繞於該輪狀環之子波前或許並不足夠，而是可將更多的子波前(像是 8 或 16 個，而非 4 個)投射在該子波前聚焦透鏡及該四分偵測器上，並且可予特徵描述。

在本發明之一具體實施例裡，是利用一正常中心點跡線的橢圓形性，或是在兩條橢圓軸線之長度上的相對差異，來表示該散光的程度。在本發明之另一具體實施例裡，是利用一正常橢圓形中心點跡線的軸線來表示該散光軸線。又在本發明之另一具體實施例裡，可利用該波前感測器來提供一項回饋信號，藉以校正面對著該波前感測器模組之光學系統的散光性。在此一情況下，該旋轉方向、橢圓形軸線與該中心點跡線的橢圓形性皆可用來作為一封閉迴線路控制系統中的回饋，藉此啟動一散光校正元件，像是以供按一合併元件之方式旋轉兩個圓柱形透鏡 1030、1031 (即如第 10 圖中所示)。在此一情況下，若該中心點跡線旋轉為正常，則可將該中心點跡線的橢圓形性最小化，並因而將該跡線的圓形性最大化，以達到自動散光校正的功能。另一方面，若該中心點跡線旋轉為異常，則一為以校正該散光性的良好準則即為，首先將兩條橢圓形跡

線軸線的其中一者縮短，以將該中心點跡線轉成正常旋轉，而然後再延長該相同軸線以將該中心點跡線圓形化。因此，亦可達到自動散光校正的功能。

在本發明之另一具體實施例裡，該自動對焦的操作模式係經合併於該自動散光校正操作模式，因此可獲致對於一光學成影系統，像是人眼，之失焦與散光兩者的即時性校正作業。一較佳實作會為首先進行散光校正，然後再校正失焦問題。然而，這並不意味著無法逆反該序列，事實上，可利用一迭遞處理程序以於兩項校正作業之間切換，一直到觸抵某一準則為止。即如在本申請案文之背景說明乙節中所述，失焦及散光為兩個主要偏差，而這些會顯著地影響到一光學成影系統的品質。因此，藉由利用上述的波前感測器來校正這兩項主要偏差，即可獲得一高品質影像，像是一人眼的眼底影像。

在前文中對於特徵化及校正失焦與散光的討論雖係利用一四分偵測器以說明該運作原理，然亦可利用其他的偵測器，只要該等確能提供中心點位置之資訊即可。先前已提及該偵測器可為一區域 CCD 或一區域 CMOS 偵測器陣列。顯然地，亦可利用該等偵測器來取代該四分偵測器，藉以特徵描述並校正如前所討論的失焦及散光問題。

除用來作為一眼底相機內以供自動對焦及散光校正的先進感測器之外，前文所述之感測器亦可具有許多其他的應用項目。例如，此者可運用於一光學校齊工具，而該核心技術亦可用來作為一新式自動折射器的基礎。該感測器

亦可在任何應用項目裡用以作為一般性聚焦感測器。

本發明可部分地按如程式碼所實作，並經儲存在一電腦可讀取媒體上，而由一數位電腦加以執行。該電腦可讀取媒體可包含，除其他項目之外，磁性媒體、光學媒體、電子-磁場編碼數位資訊等等。

可瞭解本發明較佳具體實施例的說明僅為示範之目的。熟諳本項技藝之人士可認知到其他等同於本文所述者的具體實施例；而該等等同項目應經涵蓋於後載之申請專利範圍內。例如，前文說明係針對於其中使用一單一子波前聚焦透鏡及一單一四分偵測器之情況，然此並非意味著不可將對一波前進行掃描以投射出該波前之不同位置的相同原理施用於兩個以上四分偵測器或其他偵測模組的情況。該光線掃描模組亦可將該輸入波前的多個部分投射在數個偵測模組上，藉以進一步縮短為以完成一系列子波前特徵化作業的時間。例如，可將該等原理擴展至一種情況，即其中將一線性小透鏡陣列按與一線性四分偵測器陣列相平行之方式加以排置，並因而可藉由依一垂直於該線性小透鏡及四分偵測器陣列之方向掃描該波前，俾進行該輸入波前的循序掃描處理。

【圖式簡單說明】

第 1 圖顯示一用於眼睛偏差測量作業的示範性先前技藝 Shack-Hartmann 感測器。

第 2 圖顯示一循序波前感測器之具體實施例的示範性

略圖。

第 3 圖顯示一經複製波前在 4 個非對稱位置處的相對放射及方位角平移，此者對應於 4 個由一繞於該原始波前之輪狀環的孔徑所選擇之子波前。

第 4 圖顯示該循序波前感測器之一替代性具體實施例，其中該反射光束被該掃描反射鏡導引至側邊，而非初始地經導引至朝後。

第 5 圖顯示該循序波前感測器之另一替代性具體實施例，其中使用一透光性的光束掃描器。

第 6 圖顯示該循序波前感測器之又另一替代性具體實施例，其中可循序地將數個具有不同所欲空間指向的平行光學區塊切換至該光束路徑內，藉以按行旅方式平移該光束。

第 7 圖顯示一具有四個光敏區域 A、B、C 及 D 的四分偵測器，以及在該四分偵測器上對於一正常入射子波前與一非正常入射波前的影像點。

第 8 圖顯示多項良好成焦、失焦及散光之代表性情況，在該四分偵測器上於一子波前聚焦透鏡之後的相關影像點樣式，以及當顯示於一監視器上時相對應之中心點位置的循序移動。

第 9 圖描繪一系統，其中一高速焦點調整光學元件或模組是按一封閉迴路控制方式由一高速馬達所驅動，藉此將該光學系統維持為成焦狀態。

第 10 圖描繪一系統，其中該中心點跡線的旋轉條件可

用來作為一封閉迴路控制系統中的回饋以旋轉兩個圓柱形透鏡，藉此控制並校正散光問題。

【主要元件符號說明】

- 102 SLD (超亮度二極體)光源
- 104 角膜
- 106 水晶透鏡
- 108 網膜
- 110 偏差波前
- 112 第一偏光器
- 114 第二正交分析器
- 116 中繼光學系統
- 118 小透鏡陣列
- 120 CCD 相機
- 122 虛線(完美平坦性)
- 124 波前
- 200 循序波前感測器
- 202 波前
- 204 第一透鏡
- 206 偏光光束分割器(PBS)
- 208 四分波平板
- 210 針孔
- 212 掃描反射鏡
- 214 馬達軸

- 216 第二透鏡
- 218 孔徑
- 220 子波前聚焦透鏡
- 222 位置感測裝置
- 302 複製波前
- 304 複製波前
- 306 複製波前
- 308 複製波前
- 310 孔徑
- 312 子波前
- 314 子波前
- 316 子波前
- 318 子波前
- 320 輪形環
- 400 組態
- 412 多面鼓狀反射鏡
- 512a 透光性光束掃描器
- 512b 透光性光束掃描器
- 518b 孔徑
- 612a 光學區塊
- 612b 光學區塊
- 618a 孔徑
- 618b 孔徑

- 702 四分偵測器
- 704 影像點
- 706 影像點
- 801 平面波
- 802 子波前
- 803 影像點
- 804 四分偵測器
- 805 中心點跡線
- 806 監視器
- 809 箭頭
- 811 發散輸入波前
- 812 子波前
- 813 影像點
- 814 四分偵測器
- 815 中心點跡線
- 816 監視器
- 817 頂部位置
- 818 箭頭
- 821 收斂輸入波前
- 822 子波前
- 823 影像點
- 824 四分偵測器
- 825 中心點跡線
- 826 監視器

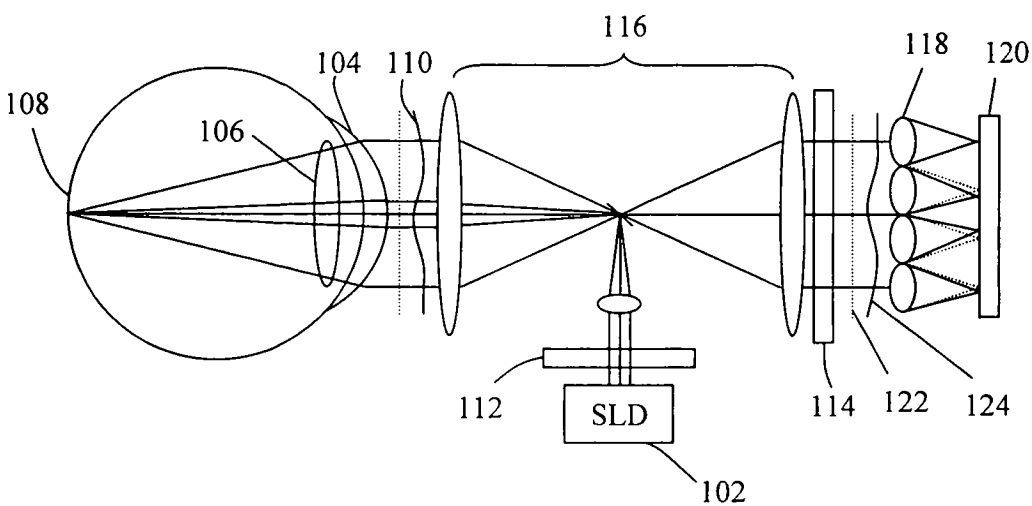
- 827 底部位置
- 828 箭頭
- 829 箭頭
- 831a 垂直方向發散波前
- 831b 水平方向收斂波前
- 833a 垂直子波前
- 833b 水平子波前
- 835 中心點跡線
- 836 監視器
- 837 頂部位置
- 838 箭頭
- 1030 圓柱形透鏡
- 1031 圓柱形透鏡

五、中文發明摘要：

一種循序波前感測器，其中含有一光束掃描模組、一子波前聚焦透鏡、一具有一個以上之光敏(photosensitive)區域的偵測器，以及一處理器，其用以計算出距該等子波前之數個聚焦光點之經循序獲得的中心點(centroids)，藉此決定該輸入波前的偏差(aberration)。一種循序波前感測方法，其中包含如下步驟：將數個子波前循序地投射(projecting)在一子波前聚焦透鏡與一具有多於一光敏區域的偵測器上，計算該距各個子波前之聚焦光點的中心點，以及處理該中心點資訊俾決定該輸入波前的偏差。特別是，一種用於自動對焦及/或自動散光校正作業之方法，其中包含如下步驟，即將數個繞於一波前之輪型環(annular ring)的子波前循序地投射在一子波前聚焦透鏡及一偵測器上；計算該聚焦光點距各子波前之中心點，以算出該中心點跡線(trace)並因此產生失焦及/或散光性現象；調整位在該波前感測器之前的光學影像系統之失焦及/或散光現象，因而將該所測得之失焦及/或散光現象最小化。

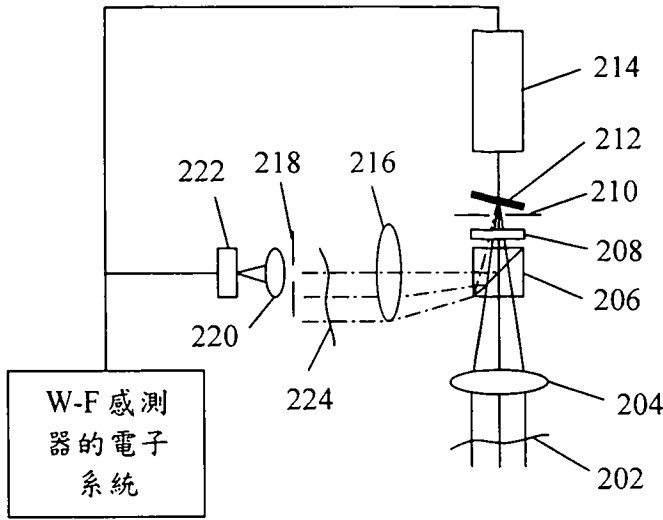
六、英文發明摘要：

A sequential wavefront sensor comprises a light beam scanning module, a sub-wavefront focusing lens, a detector with more than one photosensitive area and a processor for calculating the sequentially obtained centroids of a number focused light spots from the sub-wavefronts to determine the aberration of the input wavefront. A sequential wavefront sensing method comprises the steps of; sequentially projecting a number of sub-wavefronts onto a sub-wavefront focusing lens and a detector with more than one photosensitive areas, calculating the centroid of the focused light spot from each sub-wavefront, and processing the centroid information to determine the aberration of the wavefront. In particular, a method for auto-focusing and/or auto-astigmatism-correction comprises the steps of sequentially projecting a number of sub-wavefronts around an annular ring of a wavefront to a sub-wavefront focusing lens and a detector, calculating the centroid of focused light spot from each sub-wavefront to figure out the centroid trace and hence the defocus and/or astigmatism, adjusting the defocus and/or astigmatism of the optical imaging system before the wavefront sensor so that the measured defocus and/or astigmatism is minimized.

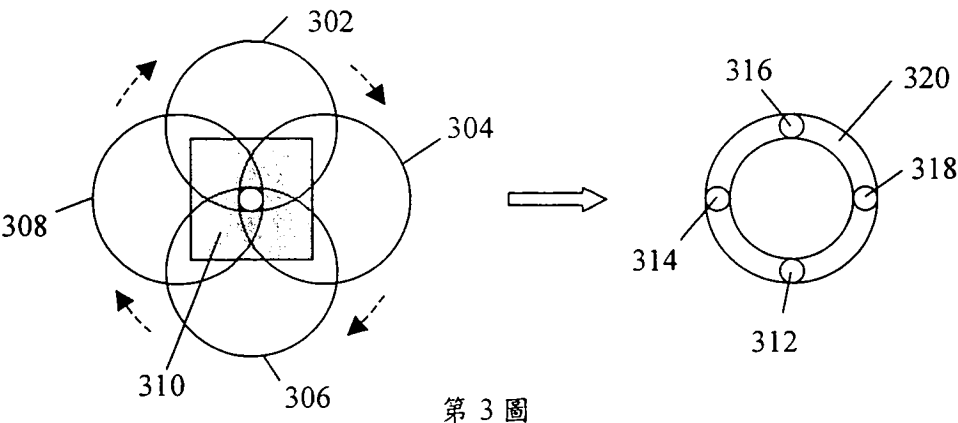


第 1 圖 (先前技藝)

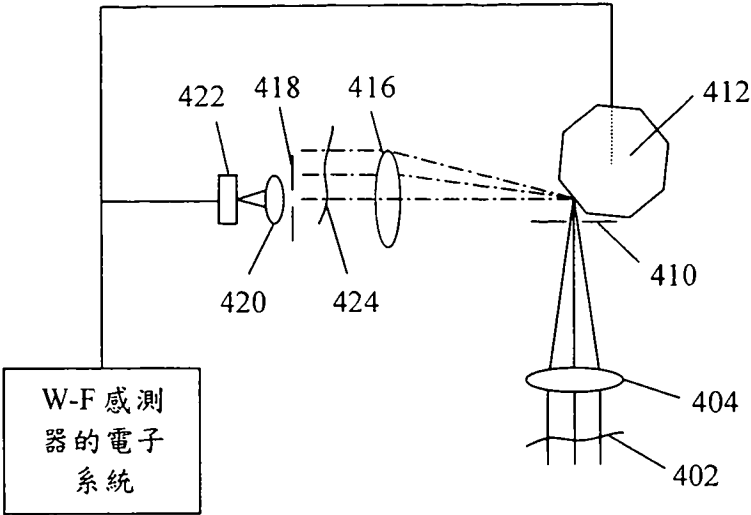
200



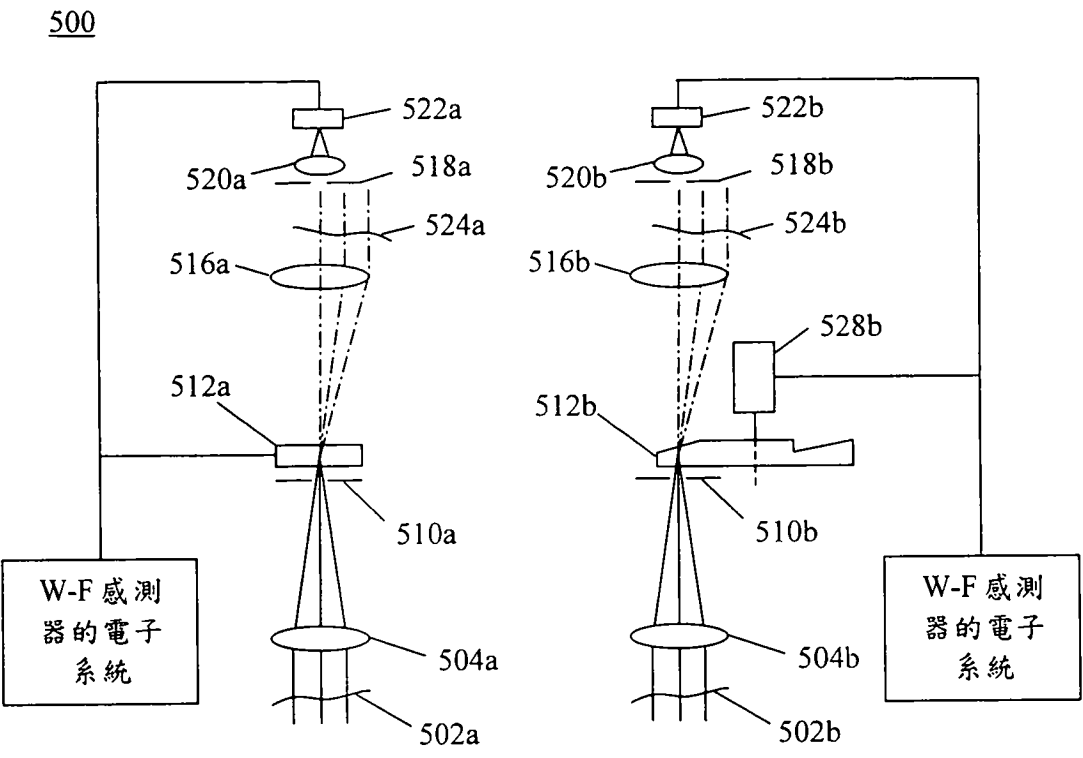
第 2 圖



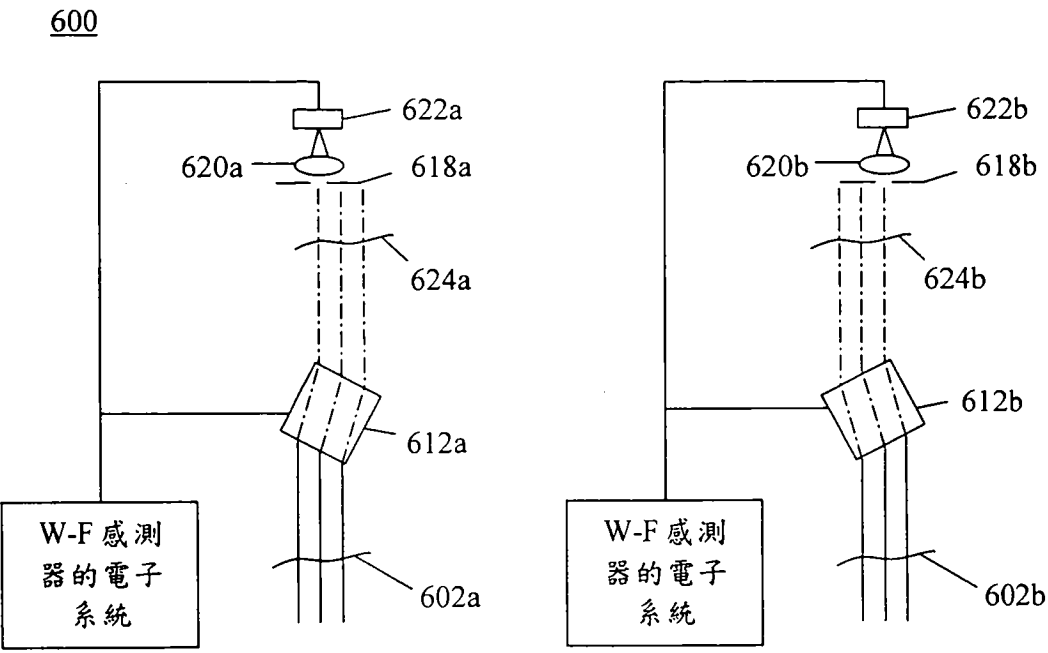
400



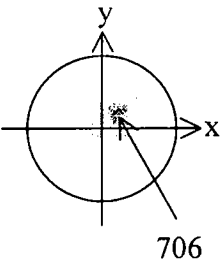
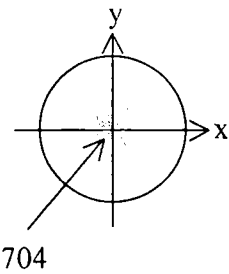
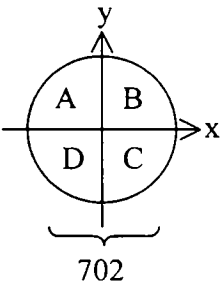
第 4 圖



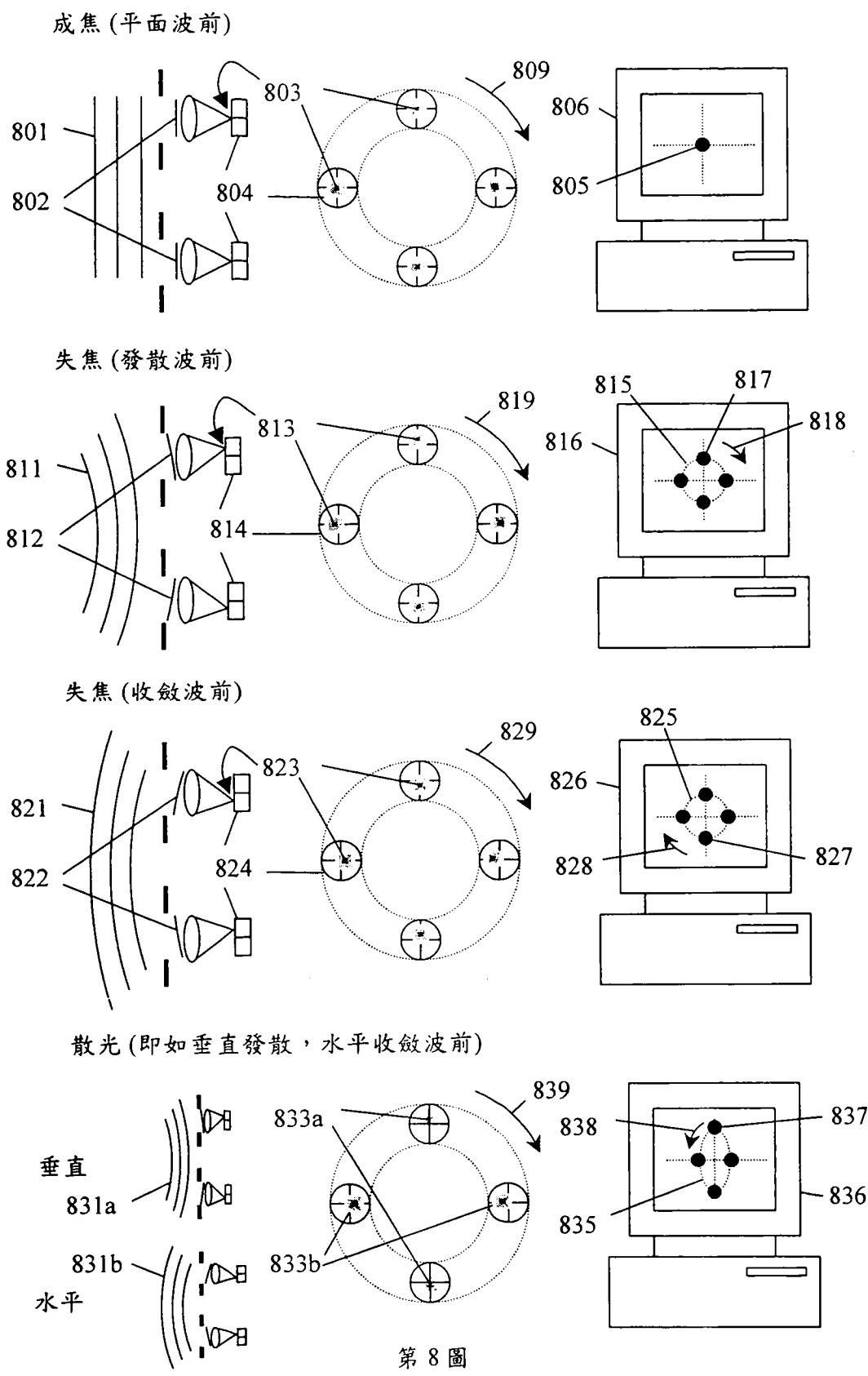
第 5 圖



第 6 圖

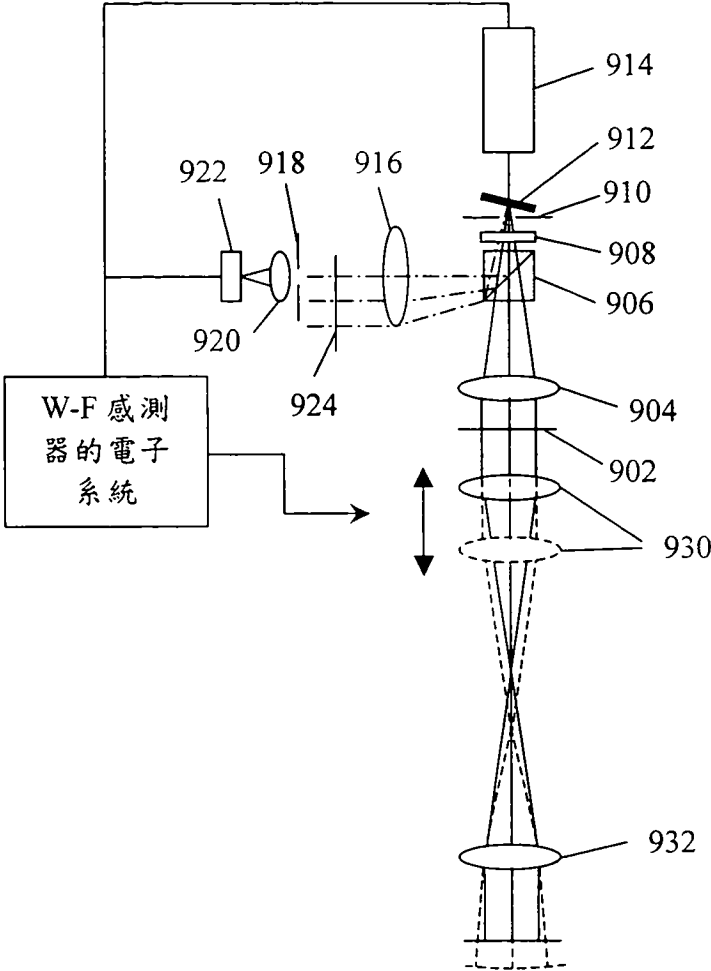


第 7 圖



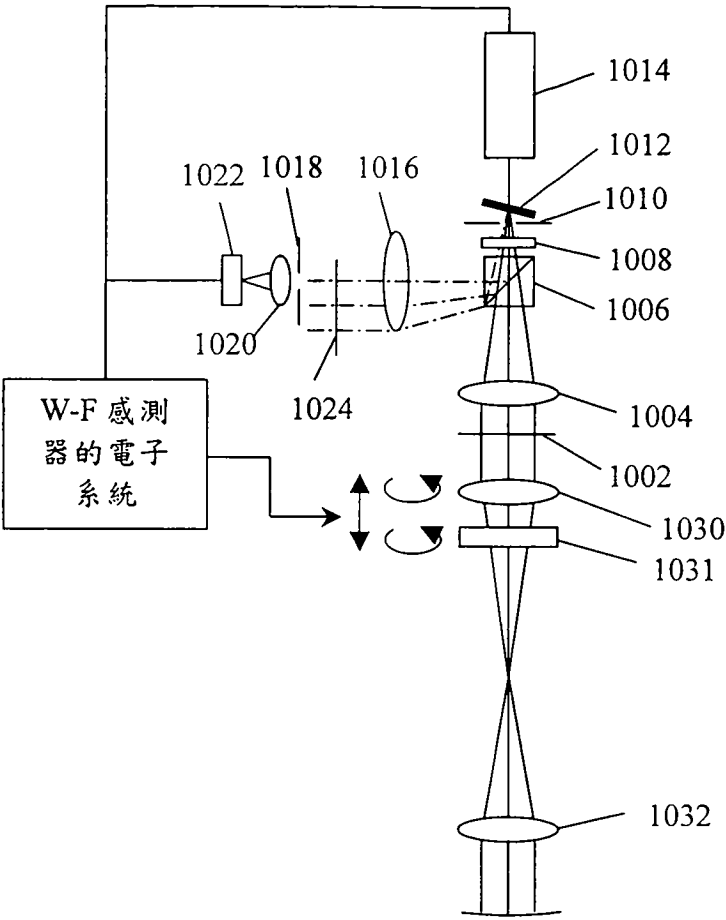
第 8 圖

900



第 9 圖

1000



第 10 圖

七、指定代表圖：

(一)、本案指定代表圖為：第(2)圖。

(二)、本代表圖之元件代表符號簡單說明：

200	循序波前感測器	212	掃描反射鏡
202	波前	214	馬達軸
204	第一透鏡	216	第二透鏡
206	偏光光束分割器(PBS)	218	孔徑
208	四分波平板	220	子波前聚焦透鏡
210	針孔	222	位置感測裝置

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無

發明專利說明書**公告本**

(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：96100968

※申請日期：2007年1月10日

※IPC分類：A61B^{3/14}
G02B^{27/50}**一、發明名稱：**(中文/英文)連續波前感測器、波前補償系統、以及使用相同感測器及系統來偵測
及補償入射波前之偏差的方法SEQUENTIAL WAVEFRONT SENSOR, WAVEFRONT COMPENSATION
SYSTEM, AND METHODS OF DETECTING AND COMPENSATING
ABERRATIONS OF AN INCIDENT WAVEFRONT USING THE SAME**二、申請人：**(共1人)

姓名或名稱：(中文/英文)

美商·克萊提醫學系統

Clarity Medical Systems

代表人：(中文/英文)

蘇維

SU, WEI

住居所或營業所地址：(中文/英文)

美國加州普利桑頓市西勞伯西塔斯大街 5775 號 200 室

5775 West Law Positas Boulevard, Suite 200, Pleasanton, CA 94588, U.S.A.

國籍：(中文/英文)

美國/USA

三、發明人：(共3人)

姓名：(中文/英文)

1. 蘇維/SU, WEI

2. 周顏/ZHOU, YAN

3. 趙慶春/ZHAO, QING CHUN

國 籍：(中文/英文)

1. 中華人民共和國/PROC
2. 新加坡/Singapore
3. 美國/USA

四、聲明事項：

☐ 主張專利法第二十二條第二項 ☐ 第一款或 ☐ 第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

☒ 申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

☒ 有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

美國；2006 年 1 月 20 日；11/335,980

☐ 無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

☐ 主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

☐ 主張專利法第三十條生物材料：

☐ 須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

☐ 不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

國 籍：(中文/英文)

1. 中華人民共和國/PROC
2. 新加坡/Singapore
3. 美國/USA

四、聲明事項：

☐ 主張專利法第二十二條第二項 ☐ 第一款或 ☐ 第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

☒ 申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

☒ 有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

美國；2006 年 1 月 20 日；11/335,980

☐ 無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

☐ 主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

☐ 主張專利法第三十條生物材料：

☐ 須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

☐ 不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

十、申請專利範圍：

1. 一種循序波前感測器，其中包含：

一波前掃描裝置，其適用以在一第一維度中以第一位移以及在一第二維度中以第二位移，循序地平移一入射波前；

一孔徑，其經放置以截取並經設置以選擇由該循序掃描裝置所平移之該入射波前之一部份；

一聚焦元件，其經設置以將由該孔徑所選擇之該平移入射波前之該部分，聚焦到一位置感測裝置上；以及

其中該位置感測裝置，係經設置成表示量自該平移入射波前之該部分之一參考點的二維平移，而該平移入射波前之該部分係由該聚焦元件所聚焦到該位置感測裝置上。

2. 如申請專利範圍第1項所述之循序波前感測器，其中該波前掃描裝置進一步包含：

一波前掃描器，其用以依一橫向方向上循序地平移該入射波前。

3. 如申請專利範圍第2項所述之循序波前感測器，其中該波前掃描器包含：

一 電動馬達，其具有一軸 (shaft)；以及
一 傾斜反射鏡，其位在該軸上。

4. 如申請專利範圍第 3 項所述之循序波前感測器，其中：

該電動馬達係一步進馬達，並且該傾斜反射鏡係按一固定角度所架置在該軸之末端上，因此當旋轉該軸時，可選擇繞於該入射波前之一輪狀環的一定數量子波前。

5. 如申請專利範圍第 2 項所述之循序波前感測器，其中該波前掃描器包含：

一 電動馬達，其具有一軸；以及

一 非對稱多面鼓型反射鏡，其係架置於該軸上。

6. 如申請專利範圍第 1 項所述之循序波前感測器，其中該位置感測裝置係一具有四個光敏區域的四分 (quad) 偵測器。

7. 如申請專利範圍第 2 項所述之循序波前感測器，其中該波前掃描器包含：

一 MEMS 式掃描器。

8. 如申請專利範圍第2項所述之循序波前感測器，其中該波前掃描器包含：

一透光性光學光束掃描器。

9. 如申請專利範圍第1項所述之循序波前感測器，其中：

該孔徑為一可變孔徑，其用於控制該所選入射波前之部分的尺寸。

10. 一種用於偵測一入射波前之偏差的方法，該方法包含以下步驟：

在一第一維度中以第一位移以及在一第二維度中以第二位移，循序地平移一入射波前；

用一孔徑來截取並選擇一平移入射波前之一部份；

將由該孔徑所選擇之該平移入射波前之該部分，聚焦到一位置感測裝置上；以及

決定距該位置感測裝置上之一參考點到在該位置感測裝置上所聚焦之該入射波前之該部分間的二維偏差。

11. 如申請專利範圍第10項所述之方法，進一步包含以下步驟：

分析複數之二維偏差，以特徵化描述該入射波前的偏差。

12. 如申請專利範圍第 11 項所述之方法，其中該位置感測裝置係一具有一參考點的四分偵測器，並且該決定該偏離之步驟進一步包含：

計算出在該四分偵測器上所聚焦之該入射波前之該部分的二維偏差座標。

13. 如申請專利範圍第 12 項所述之方法，其中該選擇步驟進一步包含：

循序地選擇繞著該入射波前之一輪狀環所佈置的一平移入射波前之一部份，且其中該分析步驟進一步包含：

決定該二維偏差的散射(scattering)情況。

14. 如申請專利範圍第 12 項所述之方法，其中該選擇步驟進一步包含：

循序地選擇繞著該入射波前之一輪狀環所佈置的一平移入射波前之一部份，且其中該分析步驟進一步包含：

偵測在一聚焦部分之位置處的一符號變化，以表示一輸入波形在一收斂波形與一發散波形之間的變化。

15. 如申請專利範圍第 10 項所述之方法，進一步包含：

脈衝或激發一產生該波前之光源。

16. 如申請專利範圍第 11 項所述之方法，進一步包含：

顯示該等二維偏離，以在一顯示裝置上形成一樣式。

17. 如申請專利範圍第 12 項所述之方法，其中該位置感側裝置為一具有一參考點之四分偵測器，而其中顯示該等偏離之步驟進一步包含：

基於其所計算座標，而顯示各個已聚焦部分。

18. 如申請專利範圍第 14 項所述之方法，進一步包含：

即時地在一顯示裝置上顯示二維偏離。

19. 一種用於補償一入射波前之偏差的方法，該方法包含：

在一第一維度中以第一位移以及在一第二維度中以第二位移，循序地平移一入射波前；

用一孔徑來截取並選擇一平移入射波前之一部份；

將由該孔徑所選擇之該平移入射波前之該部分，聚焦到一位置感測裝置上；以及

測量距該位置感測裝置上之一參考點到在該位置感測裝置上所聚焦之該入射波前之該聚焦部分間的二維偏差，以決定該入射波前的偏差；以及

依據該入射波前之該聚焦部分之二維偏差構成一回饋準則 (feedback criteria)。

20. 如申請專利範圍第 19 項所述之方法，進一步包含：

藉該回饋準則來控制一光學波前補償裝置，以補償該入射波前的偏差。

21. 如申請專利範圍第 19 項所述之方法，其中選擇步驟進一步包含：

繞著該入射波前之一輪型環而循序地選擇該經平移入射波前之一些部分。

22. 如申請專利範圍第 21 項所述之方法，進

一步包含：

即時地在一顯示裝置上顯示該等二維偏離。

23. 如申請專利範圍第 21 項所述之方法，其中該構成一回饋準則之步驟進一步包含：

將偏離之散射最小化，而作為一更正該波前之失焦的準則。

24. 如申請專利範圍第 21 項所述之方法，其中該構成一回饋準則之步驟進一步包含：

偵測該一聚焦部分之偏離的符號變化，而作為表示一當面對著該波前之光學系統在成焦 (in focus) 狀態時的一準則。

25. 如申請專利範圍第 21 項所述之方法，其中該構成一回饋準則之步驟進一步包含：

偵測一偏離形成樣式 (deflection-formed pattern) 距一圓形的偏移，而作為更正該波前之散光的一回饋準則。

26. 如申請專利範圍第 21 項所述之方法，其中該構成一回饋準則之步驟進一步包含：

偵測一偏離形成樣式之異常旋轉，而作為更正一散光波前的一回饋準則。

27. 如申請專利範圍第21項所述之方法，其中該構成一回饋準則之步驟進一步包含：

偵測該偏離形成樣式的橢圓形性，而作為進行散光校正作業的一回饋準則。

28. 一種波前補償系統，其中包含：

一波前掃描裝置，其適用以在一第一維度中以第一位移以及在一第二維度中以第二位移，循序地平移一入射波前；

一孔徑，其經放置以截取並經設置以選擇由該循序掃描裝置所平移之該入射波前之一部份；

一聚焦元件，其經設置以將由該孔徑所選擇之該平移入射波前之該部分，聚焦到一位置感測裝置上；以及

其中該位置感測裝置，係經設置成表示量自該平移入射波前之該部分之一參考點的二維平移，而該平移入射波前之該部分係由該聚焦元件所聚焦到該位置感測裝置上；

一波前偏差分析裝置，其可依據該等經平移入射波前之循序所選部分的所偵得位置，而產生一回饋信號；以及

一波前補償裝置，其用以在一封閉迴路控制系統中，運用該回饋信號以啟動補償作業，藉此補償該波前內的偏差。

29. 如申請專利範圍第 28 項所述波前補償系統，其中該波前補償裝置進一步包含：

一軸向式(axially)驅動光學透鏡，此者係用於將該波前聚焦。

30. 如申請專利範圍第 28 項所述波前補償系統，其中該波前補償裝置進一步包含：

一旋轉式(rotationally)驅動之散光校正元件。

31. 一種循序波前感測器，其至少包含：

一波前掃描裝置，其適用以循序地平移一入射波前，以便取樣一輪型環；

一孔徑，其經放置以截取並經設置以選擇由該波前掃描裝置所平移之該入射波前之一部份；

一聚焦元件，其經設置以將由該孔徑所選擇之該平移入射波前之該部分，聚焦到一位置感測裝置上；以及

其中該位置感測裝置，係經設置成表示量

自該平移入射波前之該部分之一參考點的二維平移，而該平移入射波前之該部分係由該聚焦元件所聚焦到該位置感測裝置上。

32. 一種循序波前感測器，其至少包含：

一波前掃描裝置，其適用以在一第一維度中以第一位移以及在一第二維度中以第二位移，循序地平移一入射波前；

一可變孔徑，其經放置以截取並經設置以選擇由該波前掃描裝置所平移之該入射波前之一部份，其中該孔徑的尺寸為可變，使得該感測度及解析度可被控制；

一聚焦元件，其經設置以將由該孔徑所選擇之該平移入射波前之該部分，聚焦到一位置感測裝置上；以及

其中該位置感測裝置，係經設置成表示量自該平移入射波前之該部分之一參考點的二維平移，而該平移入射波前之該部分係由該聚焦元件所聚焦到該位置感測裝置上。

33. 一種循序波前系統，其至少包含：

一位置感測裝置，其設置以表示一入射影像點之二維位移；

一孔徑，其設置成穿透過一波前之一部分，

以投射一影像點到該位置感測裝置上；以及

一掃描裝置，其設置成循序地導引一入射波前肢任何部分來穿透過該孔徑。

34. 如申請專利範圍第33項所述之系統，其中該掃描裝置包含：

一反射元件，其設置成按隨機放射狀以及方位角 (azimuthal) 的方向而步進。

35. 如申請專利範圍第33項所述之系統，其中該掃描裝置包含：

一反射元件，其設置成按隨機放射狀以及方位角的方向持續地平移該入射波前。

36. 一種循序波前設備，其至少包含：

一孔徑，其延著一孔徑平面所布置；

一光學系統，其設置成複製一入射波前到該孔徑平面上；

一含括在該光學系統內之波前定位裝置，其設置成用一所選二維行旅位移將該入射波前投射到該孔徑平面上，使得該入射波前之被投影複製之任何部分可被選來穿透過該孔徑；

一聚焦元件，其設置成將被選來穿透過該

孔徑之該入射波前之被投影複製之部分，聚焦到一位置感測裝置上；

其中該位置感測裝置，係經設置成表示量自該入射波前之該部分之一參考點的二維平移，而該平移入射波前之該部分係由該聚焦元件所聚焦到該位置感測裝置上。