

(21)申請案號：108121582

(22)申請日：中華民國 108 (2019) 年 06 月 20 日

(51)Int. Cl. : **G01N21/45 (2006.01)**

G02B6/122 (2006.01)

(30)優先權：2018/06/21 美國

62/687.833

(71)申請人：以色列商魯姆斯有限公司(以色列) LUMUS LTD (IL)

以色列

(72)發明人：格爾貝格 喬納森 GELBERG, JONATHAN (IL)；魯賓 尤瓦爾 RUBIN, YUVAL (IL)；阿德爾 邁克爾 ADEL, MICHAEL (IL)

(74)代理人：廖俊龍

(56) 參考文獻：

TW 201502491A

EP 1510812A1

JP 2013-231652A

審查人員：陳勇志

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：15 共 36 頁

(54)名稱

光導光學元件 (LOE) 的板之間折射率不均勻性的測量技術

(57)摘要

用於測量光導光學元件(LOE)的板之間的折射率不均勻性的系統和方法，其使用創新測量技術，該創新測量技術基於通常用於觀察干涉及測試光束的準直的剪切干涉技術。當前實現方式的另一個特徵是用於分析所生成的干涉圖的特徵以表徵 LOE 中相鄰板之間的差異的創新方法。

指定代表圖：

符號簡單說明：

R' . . . 折射/反射
光線

20 · · · 光導

 n_1 · · · 第一折射率 $n_2 \cdots$ 第二折射率

26 . . . 第一(後，
主)表面

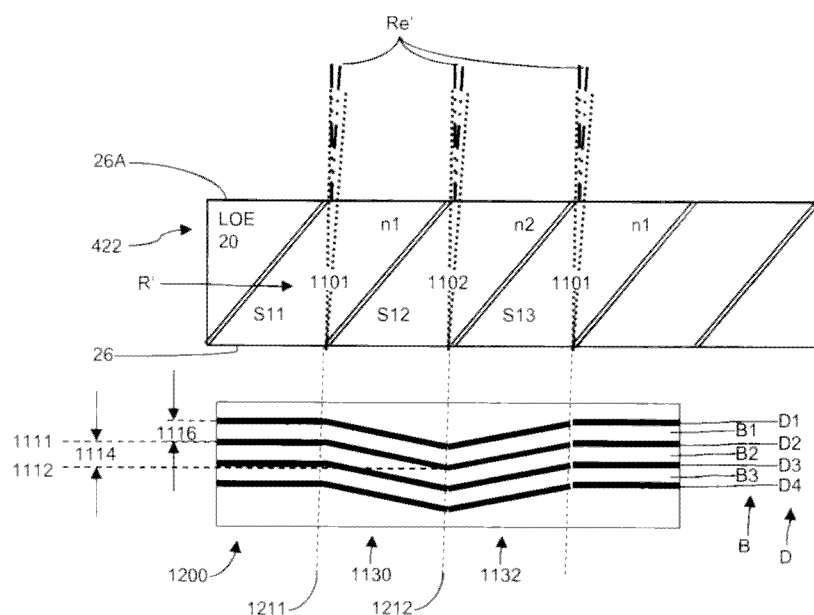
26A . . . 第二(前,
主)表面

422 · · · 塗覆板

Re' . . . 外部反射
光線

B、B1、B2、

B3 . . . 條紋(帶)



第 11 圖

D、D1、D2、D3、
D4 . . . 黑色區域或
暗區域(暗區域)
S11、S12、
S13 . . . 板
1130、1132 . . . 斜
率
1101、1102 . . . 光
線路徑
1200 . . . 干涉圖
1111 . . . 第一點
1112 . . . 第二點
1114、1406 . . . 條
紋跳躍
1211 . . . 折射率 n_1
的特性
1212 . . . 折射率 n_2
的特性

I819008

發明摘要

※ 申請案號：

※ 申請日：

※ IPC 分類：

【發明名稱】（中文/英文）

光導光學元件（LOE）的板之間折射率不均勻性的測量技術

【中文】

用於測量光導光學元件（LOE）的板之間的折射率不均勻性的系統和方法，其使用創新測量技術，該創新測量技術基於通常用於觀察干涉及測試光束的準直的剪切干涉技術。當前實現方式的另一個特徵是用於分析所生成的干涉圖的特徵以表徵 LOE 中相鄰板之間的差異的創新方法。

【英文】

【代表圖】

【本案指定代表圖】： 第 (11) 圖

【本代表圖之符號簡單說明】：

R'	折射/反射光線	26	第一（後，主）表面
20	光導	26A	第二（前，主）表面
n ₁	第一折射率	422	塗覆板
n ₂	第二折射率	Re'	外部反射光線
B、B1、B2、B3 條紋(帶)			
D、D1、D2、D3、D4 黑色區域或暗區域 (暗區域)			
S11、S12、S13 板			
1130、1132	斜率	1211	折射率 n1 的特性
1101、1102	光線路徑	1212	折射率 n2 的特性
1200	干涉圖		
1111	第一點		
1112	第二點		
1114、1406	條紋跳躍		

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

光導光學元件 (LOE) 的板之間折射率不均勻性的測量技術

【技術領域】

【0001】 本發明一般涉及光學測試，尤其涉及折射率差的非接觸測量技術。

【先前技術】

【0002】 生產光導光學元件 (LOE) 的製造挑戰之一是實現折射率的均勻性。不均勻性導致圖像品質下降。當光線穿過刻面特別是相對於刻面的法線成大角度時，如果各個板的折射率不能很好地匹配，則將會引入角度偏差。

【發明內容】

【0003】 根據本實施方式的教導，提供了一種用於測量折射率不均勻性的方法，包括以下步驟：將投射光投射到光導的前表面上，光導包括：彼此平行的第一對外表面，該外表面包括該前表面和後表面，以及一組塗覆板，該一組塗覆板：彼此平行、在該第一對外表面之間、以及相對於該第一對外表面成非平行角度以及每個板具有對應的折射率；以及捕獲干涉圖案的干涉圖像以測量板之間的折射率不均勻性，干涉圖案在折射/反射光線與外部反射光之間，該折射/反射光線是投射光穿過光導，在光導內部反射，然後經由前表面離開光導的結果，以及該外部反射光是投射光從前表面反射的結果。

【0004】 在可選實施方式中，投射相對於前表面成傾斜角度。在另一可選實施方式中，投射相對於前表面垂直。在另一可選實施方式中，干涉圖像與板的折射率之間的折射率不均勻性對應。

【0005】 在另一可選實施方式中，還包括：確定條紋的一個或更多個部分與條紋的另一個或更多個部分之間的偏差，每個部分與板中的一個或更多個對應，偏差與板的折射率之間的折射率差（不均勻性）對應。

【0006】 根據本實施方式的教導，提供了一種用於確定折射率不均勻性的方法，包括以下步驟：提供干涉圖，干涉圖包括一個或更多個條紋，干涉圖由以下操作生成：將投射光投射到光導的前表面上，光導包括：彼此平行的第一對外表面該外表面包括前表面和後表面，以及一組板，該一組板：彼此平行，在第一對外表面之間，以及相對於第一對外表面成非平行角度以及每個板具有對應的折射率；以及捕獲干涉圖案的干涉圖像以測量板之間的折射率不均勻性，干涉圖案在折射/反射光線與外部反射光之間，折射/反射光線是投射光穿過光導，在光導內部反射，然後經由前表面離開光導的結果，以及外部反射光是投射光從前表面反射的結果；以及確定條紋的一個或更多個部分與條紋的另一個或更多個部分之間的偏差，每個部分與板中的一個或更多個對應，偏差與板的折射率之間的折射率不均勻性對應。

【0007】 在可選實施方式中，條紋的每個部分與板中的一個對應。在另一可選實施方式中，偏差是相鄰的板之間的。在另一可選實施方式中，偏差是跨多個板的。在另一可選實施方式中，偏差是跨所有板的。

【0008】 在另一可選實施方式中，確定偏差包括確定干涉圖中有多少條紋跳躍。

【0009】 在另一可選實施方式中，還包括基於偏差計算通過/未通過度量的步驟。

【0010】 在另一可選實施方式中，偏差是使用選自包括以下的組中的至少一種技術確定的：分析干涉圖以確定干涉圖的軸，旋轉和/或轉換干涉圖，將干涉圖分成與條紋正交的 N 個離散信號陣列，其中 N 明顯大於 LOE 中的刻面數，以及通過使用選自包括以下的組的相位提取演算法計算信號陣列 $n=1$ 到 N 的相位：三桶方法或四桶方法，以及小波變換。

【0011】 在另一可選實施方式中，從通過整個干涉圖確定的偏差得出通過/未通過度量，然後從相鄰板之間的偏差得出其他通過/未通過度量。

【0012】 在另一可選實施方式中，偏差通過以下步驟確定：將干涉圖分成與條紋正交的 N 個離散信號陣列，通過使用相位提取演算法計算信號陣列 $n=1$ 到 N 的相位，以及根據 n 繪製相位，以及確定相點陣圖中的總體最大值與最小值之間的最大相位差。

【0013】 在另一可選實施方式中，偏差通過以下操作確定：使用條紋之一的一部分，對條紋之一的該部分進行最佳擬合外推，以及將外推與條紋的另一部分進行比較。

【0014】 在另一可選實施方式中，偏差通過以下操作確定：外推條紋之一以生成理想的條紋，計算條紋中的實際條紋與理想的條紋的偏離。

【0015】 在另一可選實施方式中，投射光是略微散焦的準直光。在另一可選實施方式中，投射光是單色光。在另一可選實施方式中，投射光在可見光譜中。

【0016】 根據本實施方式的教導，提供了一種用於測量折射率不均勻性的系統，該系統包括：顯示源，準直光學器件，光導以及擷取裝置，光導包括：彼此平行的第一對外表面，該外表面包括前表面和後表面；以及一組板該一組板：彼此平行，在第一對外表面之間，以及相對於第一對外表面成非平行角度以及每個板具有對應的折射率，該擷取裝置被佈置成捕獲干涉圖案的干涉圖像，以測量板之間的折射率不均勻性，干涉圖案在折射/反射光線與外部反射光之間：折射/反射光線是投射光穿過光導，在光導內部反射，然後經由前表面離開光導的結果，外部反射光是投射光從前表面反射的結果。

【0017】 在可選實施方式中，該系統還包括包含一個或更多個處

理器的處理系統，該處理系統被配置成確定條紋的一個或更多個部分與條紋的另一個或更多個部分之間的偏差，每個部分與板中的一個或更多個對應，偏差與板的折射率之間的折射率不均勻性對應。

【0018】 根據本實施方式的教導，提供了一種用於確定折射率不均勻性的系統，該系統包括包含一個或更多個處理器的處理系統，該處理系統被配置成：處理干涉圖，該干涉圖包括一個或更多個條紋，該干涉圖由以下生成：將投射光投射到光導的前表面上，該光導包括：彼此平行的第一對外表面，該外表面包括前表面和後表面，以及一組板，該一組板：彼此平行，在第一對外表面之間，以及相對於第一對外表面成非平行角度，以及每個板具有對應的折射率；以及捕獲干涉圖案的干涉圖像以測量板之間的折射率不均勻性，該干涉圖案在折射/反射光線與外部反射光之間：折射/反射光線是投射光穿過光導，在光導內部反射，然後經由前表面離開光導的結果，以及外部反射光是從前表面反射投射光的結果；以及確定條紋的一個或更多個部分與條紋的另一個或更多個部分之間的偏差，每個部分與板中的一個或多個對應，偏差與板的折射率之間的折射率不均勻性對應。

【0019】 根據本實施方式的教導，提供了一種非暫態電腦可讀存儲介質，其上嵌有用於測量折射率不均勻性的電腦可讀代碼，該電腦可讀代碼包括用於執行任何上述方法的程式碼。

【0020】 根據本實施方式的教導，提供了一種非暫態電腦可讀存儲介質，其上嵌有用於確定折射率不均勻性的電腦可讀代碼，該電腦可讀代碼包括用於執行任何上述方法的程式碼。

【0021】 根據本實施方式的教導，提供了一種電腦程式，該電腦程式可以被載入到通過網路連接到用戶端電腦的伺服器上，使得運行電腦程式的伺服器構成根據任何上述公開內容的系統中的處理系統。

【圖式簡單說明】**【0022】**

參照附圖僅通過示例的方式來描述實施方式，在附圖中：

第 1 圖示出了傳統的現有技術折疊光學佈置。

第 2 圖是示例性光導光學元件（LOE）的側視圖。

第 3A 圖和第 3B 圖示出了選擇性反射表面的期望反射行為。

第 4 圖是將光耦入到基板中然後耦出到觀看者的眼睛中的選擇性反射表面陣列的詳細截面圖。

第 5 圖示出了嵌入標準眼鏡框架中的 LOE 的示例。

第 6 圖示出了用於製造選擇性反射表面陣列的方法。

第 7 圖是用於製造選擇性反射表面陣列的方法的進一步細節。

第 8 圖是 LOE 測試的示例性部分的概圖。

第 9 圖是示例性測試設置的高級側視概圖。

第 10A 圖是如何形成條紋的側視概圖。

第 10B 圖是干涉的詳細概圖。

第 11 圖是產生 LOE 的各個區域的整體圖案的概圖。

第 12 圖是良好條紋圖案的照片。

第 13 圖是差條紋圖案的照片。

第 14 圖是非常差的條紋圖案的照片。

第 15 圖是被配置成實現本發明的處理模組的示例性系統的高級局部框圖。

【0023】

為便於參考，本部分包含本文檔中使用的縮寫、首字母

縮寫詞和簡短定義的簡要列表。本部分不應視為限制。更全面的描述可以在下面和適用的標準中找到。

One Direction , 1D - 一維

Second Dimension , 2D - 二維

Charge-coupled Device , CCD - 電荷耦合器件

Cathode ray tube , CRT - 陰極射線管

Digital Micromirror Device , DMD - 數位微鏡器件

Eye-motion-box, EMB - 眼動盒

Field of View , FOV - 視野

Head-mounted display , HMD - 頭戴式顯示器

Head Up Display, HUD - 平視顯示器

liquid-crystal display , LCD - 液晶顯示器

Liquid Crystal on Silicon , LcoS - 矽上液晶

Light-emitting diode , LED - 發光二極體

Light-guide Optical Element , LOE - 光導光學元件

OrganicLight-Emitting Diode , OLED - 有機發光二極體陣列

Optical path length, OPL - 光程長度

Spatial Light Modulator , SLM - 空間光調製器

Total internal reflection , TIR - 全內反射

【實施方式】

【0024】 參照圖式和所附描述可以更好地理解根據本實施方式的系統的原理和操作。本發明是一種用於測量光導光學元件（LOE）的板之間的折射率不均勻性的系統和方法。新的測量技術基於通常用於觀察干

涉及測試光束的準直的已知剪切干涉技術。當前實現方式的另一個特徵是用於分析所生成的干涉圖的特徵以表徵 LOE 中相鄰板之間的差異的創新方法。

【0025】 生產 LOE 的製造挑戰之一是實現折射率的均勻性。不均勻性導致圖像品質下降。當光線穿過刻面特別是相對於刻面的法線成大角度時，如果各個板的折射率不能很好地匹配，則將會引入角度偏差。

【0026】 基本技術-第 1 圖至第 7 圖

【0027】 第 1 圖示出了傳統的現有技術折疊光學佈置，其中，基板 2 從顯示源 4 接收光。顯示器由準直光學器件 6（例如，透鏡）準直。來自顯示源 4 的光通過第一反射表面 8 耦入到基板 2 中，使得主光線 11 平行於基板平面。第二反射表面 12 將光耦出基板並且進入觀看者 14 的眼睛。儘管這種構型緊湊，但這種構型存在明顯的缺點。特別地，只能實現非常有限的 FOV 視野和眼動盒（EMB）。

【0028】 現在參考第 2 圖，第 2 圖是示例性光導光學元件（LOE）的側視圖。為了減輕上述限制，可以使用在光導光學元件（LOE）內製造的選擇性反射表面的陣列。第一反射表面 16 由從位於設備後面的光源（未示出）發出的準直顯示光線（入射光線束）18 照射。為了簡化當前圖，總體描繪了僅一條光線，即（入射光線束）18（也稱為“光束”或“入射光”）。諸如光束 18A 和 18B 的其他入射光線可以用於指定入射光瞳孔的邊緣，例如，入射光瞳孔的左邊緣和右邊緣。通常，在此處通過光束表示圖像的情況下，應當注意，光束是圖像的樣本光束，其通常由略微不同角度處的多個光束形成，每個與圖像的點或圖元對應。除了特別稱為圖像的末端的地方之外，所示的光束通常是圖像的質心。

【0029】 第一反射表面 16 通常是 100% 反射（全鏡）並且反射來自源的入射光，使得光通過全內反射被俘獲在光導 20 內。光導 20 也稱為“平面基板”和“透光基板”。光導 20 包括彼此平行的至少兩個（主）表面，在當前圖中示為第一（後，主）表面 26 和第二（前，主）表面

26A。注意，關於主表面（26、26A）的“第一”和“第二”的指定是為了便於參考。可以從各種表面（例如，前邊緣、後邊緣、側邊緣或任何其他期望的耦入幾何結構）耦入到光導。

【0030】 入射光線 18 在基板的近端（圖的右側）進入基板。光朝向光導的遠端（圖的左側）傳播通過光導和一個或更多個刻面（通常至少多個刻面並且典型地為幾個、多於 3 個或 4 個刻面）。光在傳播的初始反射方向 28 和傳播的另一方向 30 兩者中傳播通過光導。

【0031】 俘獲的光傳播通過光導，從光導 20 的內表面反射並且穿過選擇性反射表面 22 的陣列。選擇性反射表面 22 通常是部分反射耦出刻面，其中的每一個將一部分光耦出基板進入觀看者的眼睛 24。

【0032】 內部部分反射表面，例如，選擇性反射表面 22 在本文檔的上下文中通常稱為“刻面”。對於增強現實應用，刻面部分地反射，允許來自現實世界的光經由第二前表面 26A 進入，穿過包括刻面的基板，並且經由第一後表面 26 離開基板到觀看者的眼睛 24。刻面的部分反射還允許傳播光的一部分繼續傳播到後續刻面。內部部分選擇性反射表面 22 通常以與光導 20 的伸長方向成傾斜角度（即，既不平行也不垂直）至少部分地穿過光導 20。部分反射可以通過多種技術實現，包括但是不限於傳輸一定百分比的光和/或使用偏振。

【0033】 第 3A 圖和第 3B 圖示出了選擇性反射表面的期望反射率行為。在第 3A 圖中，光線 32 從刻面 34 部分反射並且耦出光線 38 光導 20。在第 3B 圖中，光線 36 透過刻面 34 而沒有任何顯著的反射。

【0034】 第 4 圖是選擇性反射表面陣列的詳細截面圖，該選擇性反射表面將光耦入到基板中，然後耦出到觀看者的眼睛中。可以看出，來自顯示源 4 的入射光線束 18 照射在第一反射表面 16 上，並且反射光線 42 通過全內反射耦入到基板中。俘獲的光線通過另外兩個示例性部分反射表面 22 在點 44 處逐漸從基板耦出。第一反射表面 16 的塗層特性不一定類似於其他選擇性反射表面 22、46 的塗層特性。這種塗層可以是完全反射的

或者是金屬分光板、二向色分光板或混合金屬二向色分光板。

【0035】 第 5 圖示出了嵌入標準眼鏡框架 107 中的 LOE 20a/20a' 和 LOE 20b 的示例。顯示源 4 以及折疊和準直光學器件 6 緊鄰 LOE 20a/20a' 組裝在眼鏡框架的臂部 112 內，LOE 20a/20a' 位於第二 LOE 20b 的邊緣。對於顯示源是電子元件（例如，小型 CRT、液晶顯示器（LCD）、矽上液晶（LCoS）、數位微鏡器件（DMD）、微型 LED 陣列或者 OLED）的情況，用於顯示源的驅動電子器件 114 可以組裝在眼鏡框架的臂部 112 的後部內。電源和資料介面 116 可通過引線 118 或包括無線電或光傳輸的其他通信裝置連接到眼鏡框架的臂 112。替選地，電池和微型資料連結電子器件可以集成在眼鏡框架中。當前圖是示例，並且可以構造其他可能的頭戴式顯示器佈置，包括其中顯示源平行於 LOE 平面或者在 LOE 的前部安裝的組件。

【0036】 該基本技術的其他細節可以在美國專利 7,643,214 中找到。

【0037】 第 6 圖示出了製造部分反射表面陣列的方法。多個透明平板（422R，示為五個示例性板 S1 至板 S5）的表面塗覆有所需塗層 440，然後將板（S1 至 S5）接合在一起以形成堆疊形式 442。然後通過切割、研磨和拋光將段 444 從堆疊形式切下以產生所需的反射表面陣列 446，然後反射表面陣列 446 可以與其他元件組裝以實現整個 LOE。根據塗覆板（S1 至 S5）的實際尺寸和 LOE 的所需尺寸，可以從每個段 444 製造多於一個陣列 446。

【0038】 第 7 圖是用於製造選擇性反射表面陣列的方法的進一步細節。切片的光導反射表面陣列 446 沿著將成為光導的近端處的虛線 420A 以及沿著將成為光導的遠端處的虛線 420B 切割（例如沿著兩側垂直切割）。這產生光導 420。可選地，光導 424 和光導 426 分別附接到光導 420 的近端和遠端，並且（光導 420、光導 424 和光導 426 的）組合被拋光以產生光導（LOE）429。替選地，端板（S1 和 S5）可以比中間板（S2、

S3、S4) 厚，導致切片的光導反射表面陣列 446 具有類似於光導 429 的結構，其中附接的光導 424 和光導 426 的區域來自端板 (S1 和 S5)。

【0039】 通常，原始透明平板 422R 中的每一個產生一組塗覆板 422 的板。每個塗覆板 422 具有三對面，每對面平行於板的外表面。一對面 (在當前圖中示為左側和右側) 被塗覆並且接合到相鄰的板以形成光導 (LOE) 的主軸。然後分別研磨和拋光另一對面 (“端部”，在當前圖中示為在頂部和底部處) 以形成主外表面 (包括前表面 26A 和後表面 26)。該組塗覆板包括在板相遇處產生的刻面，因此該組板包括一組刻面。該組刻面彼此平行，在該對主外表面 (26A, 26) 之間，並且相對於主外表面 (26A, 26) 成非平行的角度。

【0040】 雖然當前圖示出了具有非交疊刻面的 LOE，但這不是限制性的，並且本發明的實現方式也可以應用於交疊刻面，例如，雙重交疊和三重重交疊 (未示出，參見在 2018 年 1 月 8 日提交的 PCT/IL2018/050025，其全部內容通過引用併入本文)。

【0041】 第一實施方式的詳細描述 (第 8 圖至第 15 圖)

【0042】 現在參考第 8 圖，第 8 圖是 LOE 光導 20 的測試的示例性部分的概圖。當前示例性實現方式使用如上面參照第 2 圖所述的 LOE。在操作中，入射光線 18 可以在近端 54 處進入 LOE 光導 20。在當前的測試設置中，如本領域中已知的，顯示源 804 將光輸出到準直光學器件 806 以產生用於測試的光線 (如投射光 R 的測試光線所示)。測試光線 (投射光 R) 可以是準直的，但通常不是嚴格準直的，而是稍微散焦以產生用於測試的投射光 R。測試首選地使用單色光 (即，單個波長的光) 來執行，但是也可以用任何波長 (通常在可見光譜中) 執行。該實現方式不是限制性的，可以使用其他波長，例如，紅外線。為了定向，在當前圖中，前表面 26A 朝向入射光線 R，通常以如下圖所示的角度 (第 9 圖至第 10B 圖)。在這種情況下，入射光線以與 LOE 光導 20 的第二前表面 26A 成向下的角度從頁面出來。通常以如圖所示相對於第二前表面 26A 成傾斜角度

朝向第二前表面 26A 投射投射光 R。該示例性實現方式不是限制性的，並且可以替選地相對於第二前表面 26A 垂直地朝向第二前表面 26A 投射投射光 R。

【0043】 折射/反射光線 R' 和外部反射光線 Re' 以向上的角度從第二前表面 26A 傳播出頁面。通過查看第 9 圖（如下所述）中的測試設置 900 可以更好地理解這一點。

【0044】 投射光線 R 被示為示例性測試光線 R1 至測試光線 R7，其作為相應的示例性折射/反射光線 R'（如 R1' 至 R7' 所示）穿過和離開 LOE。LOE 光導 20 包括選擇性反射表面 22，選擇性反射表面 22 在第二主表面（前表面 26A 和後表面 26）之間示出為雙線。注意，為了清楚起見，簡化了折射/反射光線 R1' 至折射/反射光線 R7' 的路徑。如下所述，在選擇性反射表面 22 處每個折射/反射光線 R' 的光程長度將由於刻面兩側的板之間的不匹配（不均勻性）而變化。

【0045】 投射光線 R 也將被第一外表面（前表面 26A）反射為外部反射光 Re'。為清楚起見，在當前圖中僅示出了一個示例性的外部反射光 R7e' 光線（為清楚起見，顯然未處在正確的反射角度處）。

【0046】 在當前圖中示出的是示例性板 422，其包括具有第一折射率 n_1 的板 1 S1、具有第二折射率 n_2 的板 2 S2、具有第三折射率 n_3 的板 3 S3、具有第四折射率 n_4 的板 4 S4、具有第五折射率 n_5 的板 5 S5 和具有第六折射率 n_6 的板 6 S6。還示出了示例性刻面：板 1 S1 與板 2 S2 之間的刻面 F12、板 2 S2 與板 3 S3 之間的刻面 F23、板 3 S3 與板 4 S4 之間的刻面 F34、板 4 S4 與板 5 S5 之間的刻面 F45 以及板 5 S5 與板 6 S6 之間的刻面 F56。替選地，可以將板描述為在刻面之間，例如，板 2 S2 在刻面 F12 與刻面 F23 之間。

【0047】 理想情況下，每個板的折射率的指數應匹配，即，指數應該是均勻的： $n_1=n_2=n_3=n_4=n_5=n_6$ 。然而，實際上在一個或更多個指數之間通常存在一些不同。在示例性情況下，第一組（ n_1 、 n_2 、 n_4 、 n_6 ）都具有

不同的指數，以及第二組（ n_3 、 n_5 ）具有與第一組的指數不同的同一指數。在當前情況下，示例性測試光線 R1 將經由具有折射率 n_2 的板 2 S2 穿過 20% 的 LOE，在刻面 F23 處折射以經由具有折射率 n_3 的板 3 S3 穿過 80% 的（剩餘寬度），從第一後表面 26 作為折射/反射光線 R1' 經由具有折射率 n_3 的板 3 S3 穿過 80% 的 LOE，在刻面 F23 處折射以經由具有折射率 n_2 的板 2 S2 穿過 LOE 的剩餘 20% 的寬度，並且經由第二前表面 26A 離開 LOE。

【0048】 類似地，示例性測試光線 R2 至測試光線 R7 將作為各自的反射光線 R2' 至反射光線 R7' 穿過 LOE，如下（對於每個板的括弧中的對應折射率，僅描述一個方向）：

R2 作為 100% 經由板 3 S3 (n_3) 的 R2'，

R3 作為 80% 經由板 3 S3 (n_3) 和 20% 經由板 4 S4 (n_4) 的 R3'，

R4 作為 50% 經由板 3 S3 (n_3) 和 50% 經由板 4 S4 (n_4) 的 R4'，

R5 作為 20% 經由板 3 S3 (n_3) 和 80% 經由板 4 S4 (n_4) 的 R5'，

R6 作為 100% 經由板 4 S4 (n_4) 的 R6'，以及

R7 作為 100% 經由板 5 S5 (n_5) 的 R7'。

【0049】 在當前情況下，由於 $n_3=n_5$ ，因此示例性測試光線 R2 和測試光線 R7（以及對應的折射/反射光線 R2' 和折射/反射光線 R7'）的有效光程長度、從第一前表面 26A 和第二後表面 26 反射的光線的部分之間的相位差應相似。然而，隨著不均勻基板（板）的比率變化，示例性測試光線 R2 至測試光線 R6 的光程長度和所得相位差應變化。

【0050】 現在參考第 9 圖，第 9 圖是示例性測試設置的高級側視示意圖。測試設置 900 示出了用於測試的示例性配置。為了清楚起見，圖中使用雙點劃線示出了外部反射光 Re'，並且使用點劃線示出了折射/反射光線 R'。顯示源 804 將光輸出到準直光學器件 806 以產生投射光 R。折射/反射光線 R' 從 LOE 光導 20 輸出並且由擷取裝置 1002 接收。外部

反射光 Re' 從 LOE 光導 20 的外表面反射並且由擷取裝置 1002 接收。擷取裝置 1002 捕獲折射/反射光線 R' 與外部反射光 Re' 之間的所得干涉信號的圖像。為方便起見，由折射/反射光線 R' 產生並且由擷取裝置 1002 捕獲的干涉圖像在本說明書中將稱為干涉圖，即由波干涉形成的圖案，尤其是在照片或圖中表示的圖案，如下所述。

【0051】 干涉圖案用於塗覆板 422 之間的折射率不均勻性。干涉圖案在折射/反射光線 (R') 與外部反射光 (Re') 之間。折射/反射光線 (R') 是投射光 R 穿過光導 20，在光導 20 內部反射，然後經由第一前表面 26A 離開光導 20 的結果。外部反射光 (Re') 是從第二前表面 26A 反射投射光 R 的結果。

【0052】 擷取裝置可以包括各種實現方式（如對於特定期望測試方便且充分的）。例如，可以將干涉信號（光線 R' ， Re' ）投射到螢幕上，並且使用手持攝像裝置來拍攝所得干涉圖的圖片。在另一個示例中，可以定位 CCD（電荷耦合器件）以直接捕獲光線 (R' ， Re') 的干涉。干涉圖可選地由處理模組 1004 存儲和處理。

【0053】 現在參考第 10A 圖，第 10A 圖是如何形成條紋的側視圖。當從第一 LOE 光導 20 前表面 26A 反射的參考光線（投射測試光線 R ）（外部反射光 Re' ）與對應的折射/反射光線 R' （其進入 LOE 光導 20，從後表面 26 反射）時形成條紋，然後從 LOE 光導 20 傳到螢幕（擷取裝置 1002）。在當前圖中，（參考測試光線 R ）的示例性部分被示出為第一部分 Ra 和第二部分 Rb 。第一部分 Ra 穿過、反射、折射並且作為反射光線 Ra' 離開 LOE 光導 20。第二部分 Rb 作為外部反射光線 Rb' 從 LOE 光導 20 的第一前表面 26a 反射。當來自（自動）準直器系統的出射光束（測試光線 R ）稍微散焦時，觀察到條紋。準直器 806 的散焦不會影響條紋偏差的相對變化。與準直器 806 的較少的散焦將導致進一步分開的相對較少的條紋相比，準直器 806 的更大的散焦將導致更靠近在一起的更多的條紋。如果準直器未散焦，則所得到的生成的干涉圖將是單個條紋，

即，全部一個陰影。通常，準直器 806 被調整（散焦）為足以觀察足夠的條紋以識別條紋跳躍，但是沒有調整（散焦）太多，如條紋將在數量上增加並且變得更靠近並且條紋的形狀改變（條紋的形式）將是可辨別的。通常，光導 20 的外表面（第二前表面 26A 和第一後表面 26）被加工到高精度，並且不有助於條紋。

【0054】 作為參考，第 8 圖中光線 R1 至 R7 “堆疊” 在第 10A 圖中所示的頁面中，其中，當前第 10A 圖中的 LOE 光導 20 的視圖來自第 8 圖的 LOE 光導 20 的左側。

【0055】 現在參考第 10B 圖，第 10B 圖是干涉的詳細概圖。螢幕上的信號（捕獲圖像）的出現表示當前圖的外部反射光線 Re' （雙點劃線）與反射/折射光線 R' （點劃線）光線之間的光程差。當前圖是空氣與 S-TIM8 玻璃（ $n=1.5955$ ）之間介面處折射的示例，因此 LOE 光導 20 內部的折射角為 26.3° 。

【0056】 現在參考第 11 圖，第 11 圖是產生 LOE 的各個區域的整體圖案的概圖。由於條紋圖案包括不穿過 LOE 20 的光（外部反射光 Re' ）與穿過 LOE 光導 20 的光（折射/反射光線 R' ）之間的干涉，整體圖案顯示出穿過 LOE 光導 20 的各個區域（即，不同的板）的光線的比較資訊。在當前圖中，板 S11、S12、S13 具有各自的折射率（ n_1 、 n_2 、 n_1 ）。這在當前圖中示出，其中，光線路徑 1101 和光線路徑 1102 通過具有潛在不同折射率的不同板穿過 LOE 光導 20。當前圖示出了這些光線路徑（1101、1102）。在先前第 10B 圖的取向中，光線路徑 1101 和光線路徑 1102 交疊，並且示為反射/折射光線 R' 。得到的干涉圖 1200 示出了外部反射光線 Re' 與反射/折射的 1101/1102 光線路徑之間的光程差異作為帶 B 或者黑色區域或暗區域 D 之間的“條紋”。示出了四個示例性暗區域 D1、D2、D3、D4 之間的三個示例性帶 B1、B2、B3。在使用氦氖紅色鐳射源的情況下，帶 B 在黑色區域 D 之間將是紅色。替選地，可以使用灰度圖像或黑/白圖像，例如，當前圖的當前黑色區域 D 和白色條紋 B。

【0057】 條紋（帶 B）是從干涉圖的暗區域的中心延伸通過亮區域並返回到下一個暗區域的中心的區域。例如，條紋 B1 是暗區域 D1 與暗區域 D2 之間的亮區域。當來自兩個不同路徑的光線重合並且彼此同相時，出現亮區域。即，光線的光程長度被整個波長分開，並且發生相長干涉。因此，當來自兩個不同路徑的光線重合並且彼此異相時，即，光程長度被 $(n+1/2)$ 個波長分開，發生相消干涉並且該區域將是暗的。因此，所得條紋圖案是 LOE 中相對路徑長度的直接指示，其又是折射率變化的指示。

【0058】 在當前圖中，條紋通常是水準帶，與沿著 LOE 光導 20 的主軸的對準對應。示出了兩個斜率：斜率 1130，其與用於板 S11 和板 S12 的 LOE 光導 20 的區域對應，以及斜率 1132，其與用於板 S12 和板 S13 的 LOE 光導 20 的區域對應。干涉圖 1200 中的斜率表示光線路徑（反射/折射光線 R'，如參照第 8 圖所述）在兩個板之間逐漸分開的區域（當前圖中 n_1 和 n_2 的變化比率）。標記為折射率 n_1 的特性 1211 的線定義了 n_1 的特性（板 S11 具有折射率 n_1 ，其中光線 100% 經由板 S11（即，100% n_1 ）穿過 LOE）。類似地，標記為折射率 n_2 的特性 1212 的線定義了 n_2 的特性（板 S12 具有折射率 n_2 ，其中折射/反射的光線 100% 經由板 S12/100% n_2 穿過 LOE）。

【0059】 如果板（S11、S12、S13）的折射率之間存在差異，那麼 1101/1102 光線將具有不同的光程長度（OPL），並且相位的變化將反映在條紋圖案的偏差中。（通常相鄰的）板的特徵之間的這種差異被稱為“條紋跳躍”。通過第一水準位置處的條紋的一部分與另一水準位置處的條紋的另一部分之間的垂直差異，可以在干涉圖 1200 中看到條紋跳躍。作為非限制性示例，可以從示例性條紋 B2 看出具有條紋跳躍 1114。通常，條紋（條紋尺寸、條紋寬度）將與條紋尺寸 1116 所示的尺寸相同。通常，條紋尺寸和條紋跳躍可以從條紋中的任何點測量，例如，從暗區域 D 的中點或條紋 B 的中點測量。在當前示例中，從線 1212 處具有第一點 1111 的第

一部分到線 1212 處具有第二點 1112 的第二部分測量條紋跳躍 1114。在這種情況下，從板 S11 到板 S12 的光程長度差異導致約一個條紋的條紋之間的差異（一個條紋 1116 的條紋跳躍 1114）。

【0060】 作為示例性計算，具有 1×10^{-4} 的不均勻性的相鄰板的條紋差異將如何？

【0061】 材料內部的折射角度由以下公式計算：

$$\sin\theta_1 = \frac{\sin 45^\circ}{n_1} \quad \sin\theta_2 = \frac{\sin 45^\circ}{n_2}$$

【0062】 其中 θ_1 是 n_1 的板處的折射角，以及 θ_2 是 n_2 的板處的折射角。

【0063】 $\Delta \text{Optical path} = 2 \frac{d}{\cos\theta_2} n_2 - 2 \frac{d}{\cos\theta_1} n_1 = m\lambda$ 將是：

【0064】 其中 d 是切片厚度（LOE 光導 20 的寬度）， m 是所得條紋跳躍的數量，以及 λ 是測試光線 R 的波長。

【0065】 對於參數 $n_1 = 1.5955$ $n_2 = 1.5956$ $d = 1.5\text{mm}$
 $\Delta n = 1 \cdot 10^{-4}$

$$\lambda = 632.8 \cdot 10^{-9}$$

$$\rightarrow m = 0.40$$

【0066】 因此， 1×10^{-4} 的板中的折射率不均勻性將表示為 0.40 條紋的條紋跳躍。

【0067】 現在參考第 12 圖，第 12 圖是良好條紋圖案的照片。在當前圖中，干涉圖示出了最大條紋跳躍小於條紋的 0.3。這表示不均勻性小於 1×10^{-4} 。

【0068】 現在參考第 13 圖，第 13 圖是差條紋圖案的照片。在該示例中，“差”條紋圖案表示不均勻性大於被測設備（LOE 光導 20）的特定應用的最大允許不均勻性。在當前圖的干涉圖的左側，可以看到幾乎

整個條紋的條紋跳躍。這與約 2×10^{-4} 的不均勻性對應。

【0069】 現在參考第 14 圖，第 14 圖是非常差的條紋圖案的照片。這種顯著的不均勻性導致使用該測試的 LOE 光導 20 觀看到的圖案中明顯可見的跳躍。

【0070】 在當前圖上繪製的垂直線 1400 表示刻面邊界。由點 1402 表示的條紋分離表示最大不均勻性。在當前的干涉圖中，六個板中的每個都具有明顯的折射率差異。在最壞的情況下，條紋跳躍是兩個整條紋（水平線 1404 之間的條紋跳躍 1406）。這與約 5×10^{-4} 的不均勻性對應。

【0071】 確定條紋跳躍

【0072】 確定條紋的一個或更多個部分與條紋的另一個或更多個部分之間的偏差與板的折射率之間的折射率不均勻性對應。可以使用各種方法計算干涉圖中條紋跳躍的量（數量）以及所得的偏差計算（不均勻性）。如在影像處理領域中已知的，人通常不可能執行解釋或計算，並且必須利用處理器（例如，處理器 602）來完成任務，例如，處理計算的總量、準確度和/或複雜度。使用用於干涉圖分析的軟體可以促進這些步驟，並且通常需要實現分析干涉圖的方法以表徵 LOE 中相鄰板之間的差異。

【0073】 當前的實現方式包括用於確定光導光學元件（LOE）內的板的不均勻性的非接觸測量技術、確定不均勻性的干涉圖的定性評估的方法。可以使用條紋的偏差來計算 LOE 的不均勻性的通過/未通過度量。

【0074】 生成的干涉圖示出由輸入測試光線的波干涉圖案產生的條紋或“抖動”。

【0075】 可以分析干涉圖像以便提取通過/未通過度量，其在本文檔的上下文中稱為“定量刻面指數增量”（AFID）度量。度量可以在相鄰板之間，並且通常是所有板上的增量。

【0076】 分析干涉圖並且確定條紋之間的條紋跳躍量的一個示例性實現方式是外推條紋的一部分，最佳地擬合條紋，然後將該外推與干涉

圖的另一部分進行比較。

【0077】 另一示例性實現方式是外推條紋以構建（生成）“理想”條紋。然後，計算來自干涉圖的實際條紋（多個）與“理想”條紋相比的偏離（誤差、跳躍）。偏離的測量可以在條紋的部分中進行。然後可以使用偏離的測量來計算 LOE 光導 20 的不均勻性。

【0078】 舉例來說，在可以包括以下步驟的全部或子集的序列中分析圖像（干涉圖）：

1. 分析干涉圖以確定干涉圖的軸，即，完美 LOE 的均勻路徑差的方向。
2. 圖像旋轉變換（該步驟可以通過影像處理或通過光學裝置完成）。
3. 將干涉圖分成與條紋正交的 N 個離散信號陣列，其中 N 明顯大於 LOE 中的刻面數，例如，大一個數量級。
4. 通過使用諸如以下的已知的相位提取演算法來計算信號陣列 $n=1$ 到 N 的相位
 - a. 3 桶方法或 4 桶方法，
 - b. 小波變換，或者
 - c. 其他已知方法。
5. 繪製根據 n 的相位，並且確定相點陣圖中的整體最大值和最小值之間的最大相位差，即，計算 AFID 度量。

【0079】 在另一實施方式中，根據上面的步驟 1 至步驟 4 來計算 AFID 度量，然後針對 LOE 中的每對相鄰板塊成對地計算。

【0080】 雖然關於 LOE 光導 20 描述了當前實施方式，但是可以預見，基於該描述，所公開的技術可以用於測試其他設備，例如，包括多個板構造和/或折射組合的設備。

【0081】 第 15 圖是被配置成實現本實施方式的處理模組 1004 的

示例性系統 600 的高級局部框圖。系統（處理系統）600 包括都經由公共匯流排 612 進行通信的處理器 602（一個或更多個）和四個示例性記憶體設備：隨機存取記憶體（RAM）604、引導唯讀記憶體（ROM）606、大型存放區設備（硬碟）608 和快閃記憶體 610。如本領域所公知的，處理和記憶體可以包括存儲軟體的任何電腦可讀介質和/或固件和/或任何硬體元件（多個），包括但不限於現場可程式設計邏輯陣列（FPLA）元件（多個）、硬連線邏輯元件（多個）、現場可程式設計陣列（FPGA）元件（多個）和專用積體電路（ASIC）元件（多個）。可以在處理器 602 中使用任何指令集架構，包括但不限於縮簡指令集電腦（RISC）架構和/或複雜指令集電腦（CISC）架構。模組（處理模組）614 在大型存放區設備 608 上示出，但是對於本領域技術人員明顯的是，模組（處理模組）614 可以位於任何記憶體設備上。

【0082】 大型存放區設備 608 是承載用於實現本文描述的測量技術方法的電腦可讀代碼的非暫態電腦可讀存儲介質的非限制性示例。這樣的電腦可讀存儲介質的其他示例包括諸如承載有這樣的代碼的 CD 的唯讀記憶體。

【0083】 系統 600 可以具有存儲在存放裝置上的作業系統，ROM 可以包括用於系統的引導代碼，以及處理器可以被配置用於：執行引導代碼以將作業系統載入到 RAM 604；執行作業系統以將電腦可讀代碼複製到 RAM 604 並且執行代碼。

【0084】 網路連接 620 提供到系統 600 和來自系統 600 的通信。通常，單個網路連接向本地和/或遠端網路上的其他設備提供一個或更多個鏈路，包括虛擬連接。替選地，系統 600 可以包括多於一個網路連接（未示出），每個網路連接將一個或更多個鏈路提供給其他設備和/或網路。

【0085】 系統 600 可以實現為分別通過網路連接到用戶端或伺服器的伺服器或用戶端。

【0086】 注意，根據應用，可以使用模組和處理的各種實現方

式。模組優選地以軟體實現，但也可以以硬體和固件、在單個處理器或分散式處理器上、在一個或更多個位置處實現。上述模組功能可以組合以及實現為更少的模組或者分成子功能以及實現為更多數量的模組。基於以上描述，本領域技術人員將能夠設計針對特定應用的實現方式。

【0087】 注意，上述示例、使用的數字和示例性計算用於說明本實施方式的描述。無意的印刷錯誤、數學錯誤和/或簡化計算的使用不會減損本發明的實用性和基本優點。

【0088】 就所附申請專利範圍是在沒有多項引用的情況下撰寫的而言，這僅僅是為了適應不允許這樣的多項引用的管轄區域中的形式要求。注意，通過實現這樣的多項引用而暗示的所有可能的特徵組合被明確地設想到並且應被認為是本發明的一部分。

【0089】 應當理解，以上描述僅旨在用作示例，並且許多其他實施方式也可能在所附申請專利範圍中限定的本發明的範圍內。

【符號說明】

【0090】			
1D	一維	26	第一（後，主）表面
2D	二維	26A	第二（前，主）表面
CCD	電荷耦合器件	28	傳播的初始反射方向
CRT	陰極射線管	30	傳播的另一方向
DMD	數位微鏡器件	22、46	選擇性反射表面
EMB	眼動盒	24	觀看者的眼睛
FOV	視野	32、36	光線
HMD	頭戴式顯示器	900	測試設置
HUD	平視顯示器	42	反射光線
LCD	液晶顯示器	107	眼鏡框架
LcoS	矽上液晶	44	點
LED	發光二極體	112	眼鏡框架的臂部
LOE	光導光學元件	114	驅動電子器件
OLED	有機發光二極體陣列	116	資料介面
2	基板	118	引線
4、804	顯示源	440	塗層

6、806	準直光學器件	442	堆疊形式
8、16	第一反射表面	444	段
11	主光線	446	反射表面陣列
12	第二反射表面	420A	光導的近端處的虛線
14	觀看者	420B	光導的遠端處的虛線
18	入射光線束	422	塗覆板
18A、18B	光束	54	近端
34、F12、F23、F34、F45、F56	刻面		
R'、R1'、R2'、R3'、R4'、R5'、R6、R7'、Ra'、Rb'	折射/反射光線		
20、420、424、426、429	光導		
S2、S3、S4	中間板	S1、S5	端板
422R	原始透明平板	Re'、R7e'	外部反射光線
B、B1、B2、B3	條紋(帶)		
D、D1、D2、D3、D4	黑色區域或暗區域(暗區域)		
422、1 S1、2 S2、3 S3、4 S4、5 S5、6 S6、S11、S12、S13	板		
R1、R2、R3、R4、R5、R6、R7	示例性測試光線		
Ra	第一部分	n_1	第一折射率
Rb	第二部分	n_2	第二折射率
R	投射光	n_3	第三折射率
n_5	第五折射率	n_4	第四折射率
1002	擷取裝置	n_6	第六折射率
1004	處理模組	1130、1132	斜率
1101、1102	光線路徑	1114、1406	條紋跳躍
1200	干涉圖	1116	條紋尺寸
1212	線	604	隨機存取記憶體(RAM)
1111	第一點	606	引導唯讀記憶體(ROM)
1112	第二點	608	大型存放區設備(硬碟)
θ_1	n_1 的板處的折射角	610	快閃記憶體
θ_2	n_2 的板處的折射角	FPLA	現場可程式設計邏輯陣列
1400	垂直線	FPGA	現場可程式設計閘陣列
1402	點	ASIC	專用積體電路
1404	水平線	RISC	縮簡指令集電腦
602	處理器	614	模組(處理模組)
AFID	定量刻面指數增量	608	大型存放區設備
1004	處理模組	620	網路連接
600	系統	602	處理器
612	公共匯流排	1211	折射率 n_1 的特性
38	耦出後的光線	1212	折射率 n_2 的特性

申請專利範圍

1. 一種用於測量折射率不均勻性的方法，包括：

(a) 將投射光 (R) 投射到光導 (20) 的第二前表面 (26A) 上，所述光導 (20) 包括：

(i) 彼此平行的第一對外表面，所述外表面包括所述第二前表面 (26A) 和第二後表面 (26)，以及

(ii) 一組塗覆板 (422)，所述一組板 (422)：

(A) 彼此平行，

(B) 在所述第一對外表面之間，以及

(C) 相對於所述第一對外表面成非平行角度，以及

(iii) 每個所述板 (422) 具有對應的折射率 (n)，以及

(b) 捕獲干涉圖案的干涉圖圖像 (1200) 的條紋以測量所述板 (422) 之間的折射率不均勻性，所述干涉圖案在折射/反射光線 (R') 與外部反射光 (Re') 之間，

(i) 所述折射/反射光線 (R') 是所述投射光 (R) 穿過具有相同或不同折射率值的不同板，從所述後表面向內部反射，然後經由所述前表面 (26A) 離開所述光導 (20) 的結果，以及

(ii) 所述外部反射光 (Re') 是所述投射光 (R) 從所述前表面 (26A) 反射的結果。

2. 根據申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中，所述投射相對於所述前表面 (26A) 成傾斜角度。

3. 根據申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中，所述干涉圖圖像（1200）與所述板（422）的所述折射率（ n ）之間的折射率不均勻性對應。

4. 根據申請專利範圍第 1 項所述的方法，還包括：確定所述條紋的一個或更多個部分與所述條紋的另一個或更多個部分之間的偏差，每個所述部分與所述板中的一個或更多個對應，所述偏差與所述板的所述折射率之間的折射率差對應。

5. 根據申請專利範圍第 4 項所述的方法，其中，所述條紋的每個所述部分與所述板中的一個對應。

6. 根據申請專利範圍第 4 項所述的方法，其中，所述偏差是相鄰的所述板之間的。

7. 根據申請專利範圍第 4 項所述的方法，其中，所述偏差是跨多個所述板的。

8. 根據申請專利範圍第 4 項所述的方法，其中，所述偏差是跨所有所述板的。

9. 根據申請專利範圍第 4 項所述的方法，其中，所述確定偏差包括確定所述干涉圖中有多少條紋跳躍。

10. 根據申請專利範圍第 4 項所述的方法，還包括基於所述偏差計算通過/未通過度量的步驟。

11. 根據申請專利範圍第 4 項所述的方法，其中，所述偏差是使用選自包括以下的組中的至少一種技術確定的：

（a）分析所述干涉圖以確定所述干涉圖的軸，

（b）旋轉和/或轉換所述干涉圖，

(c) 將所述干涉圖分成與所述條紋正交的 N 個離散信號陣列，其中 N 大於所述光導中的刻面數，以及

(d) 通過使用選自包括以下的組的相位提取演算法計算信號陣列 $n=1$ 到 N 的相位：

(i) 三桶方法或四桶方法，以及

(ii) 小波變換。

12. 根據申請專利範圍第 4 項所述的方法，其中，從通過整個所述干涉圖確定的所述偏差得出通過/未通過度量，然後從相鄰所述板之間的偏差得出其他通過/未通過度量。

13. 根據申請專利範圍第 4 項所述的方法，其中，所述偏差通過以下操作確定：

(a) 將所述干涉圖分成與所述條紋正交的 N 個離散信號陣列，

(b) 通過使用相位提取演算法計算所述信號陣列 $n=1$ 到 N 的相位，以及

(c) 根據 n 繪製所述相位，以及確定所述相點陣圖中的總體最大值與最小值之間的最大相位差。

14. 根據申請專利範圍第 4 項所述的方法，其中，所述偏差通過以下操作確定：

(a) 使用所述條紋之一的一部分，

(b) 對所述條紋之一的所述部分進行最佳擬合外推，以及

(c) 將所述外推與所述條紋的另一部分進行比較。

15. 根據申請專利範圍第 4 項所述的方法，其中，所述偏差通過以下操作確定：

- (a) 外推所述條紋之一以生成理想的條紋，
- (b) 計算所述條紋中的實際條紋與所述理想的條紋的偏離。

16. 根據申請專利範圍第 1 項至第 15 項中任一項所述的方法，其中，所述投射光是略微散焦的準直光。

17. 根據申請專利範圍第 1 項至第 15 項中任一項所述的方法，其中，所述投射光是單色光。

18. 根據申請專利範圍第 1 項至第 15 項中任一項所述的方法，其中，所述投射光在可見光譜中。

19. 一種用於測量折射率不均勻性的系統，所述系統包括：

- (a) 顯示源 (804) ，
- (b) 準直光學器件 (806) ，
- (c) 光導 (20) ，所述光導 (20) 包括：
 - (i) 彼此平行的第一對外表面，所述第一對外表面包括前表面 (26A) 和後表面 (26) ，以及
 - (ii) 一組板 (422) ，所述一組板 (422) ：
 - (A) 彼此平行，
 - (B) 在所述第一對外表面之間，以及
 - (C) 相對於所述第一對外表面成非平行角度，以及

每個所述板（422）具有對應的折射率（ n ），以及

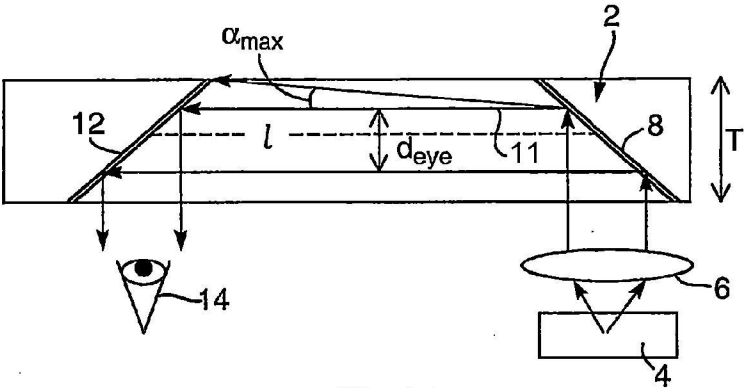
（d）擷取裝置（1002），被佈置成捕獲干涉圖案的干涉圖圖像（1200）的條紋，以測量所述板（422）之間的折射率不均勻性，所述干涉圖案在折射/反射光線（ R' ）與外部反射光（ Re' ）之間，

（i）所述折射/反射光線（ R' ）是所述投射光（ R ）穿過具有相同或不同折射率值的不同板，從所述後表面向內部反射，然後經由所述前表面（26A）離開所述光導（20）的結果，

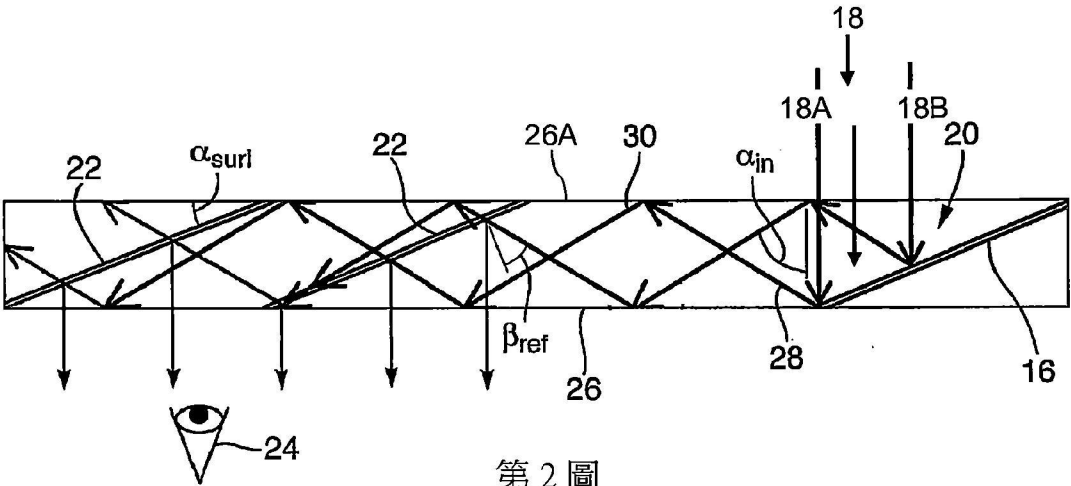
（ii）所述外部反射光（ Re' ）是所述投射光（ R ）從所述前表面（26A）反射的結果。

20. 根據申請專利範圍第 19 項所述的系統，還包括包含一個或更多個處理器的處理系統（600），所述處理系統（600）被配置成確定所述條紋的一個或更多個部分與所述條紋的另一個或更多個部分之間的偏差，每個所述部分與所述板中的一個或更多個對應，所述偏差與所述板的所述折射率之間的折射率不均勻性對應。

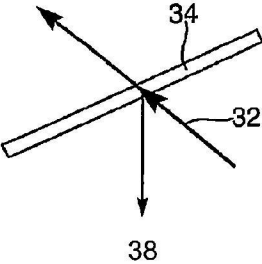
圖式



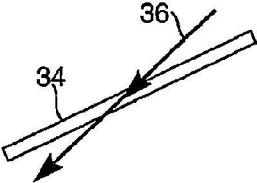
第 1 圖
(現有技術)



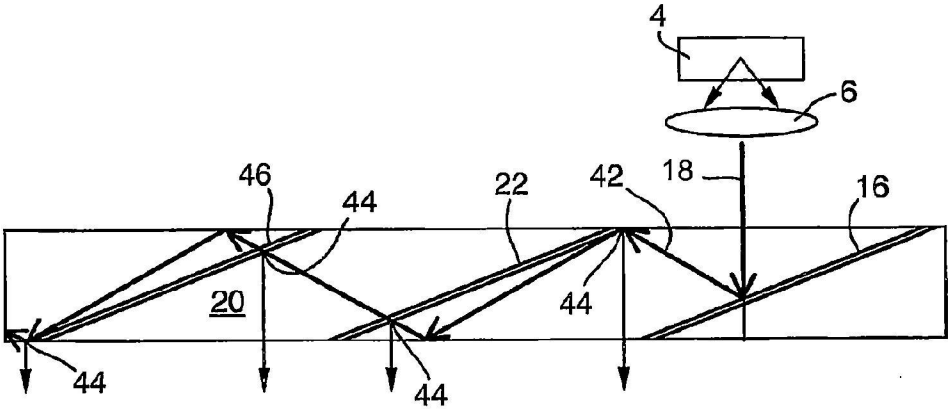
第 2 圖



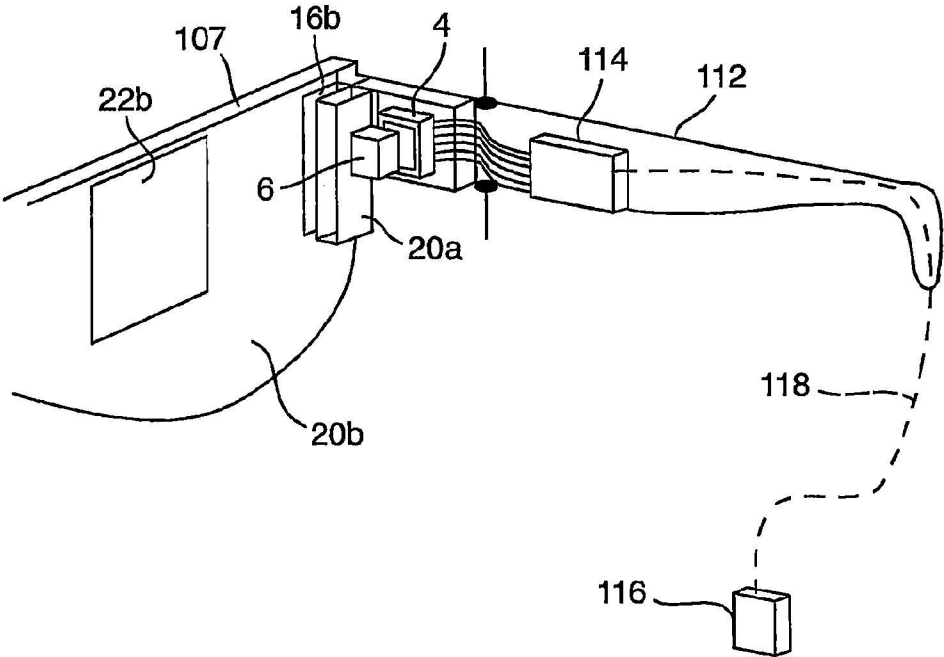
第 3A 圖



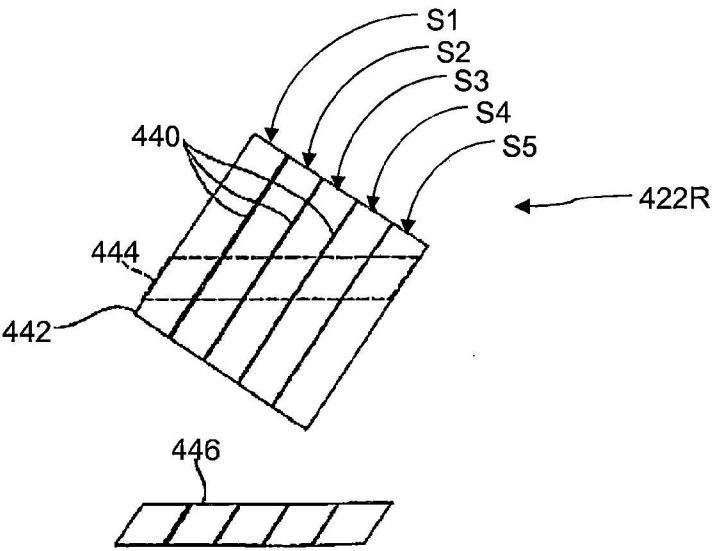
第 3B 圖



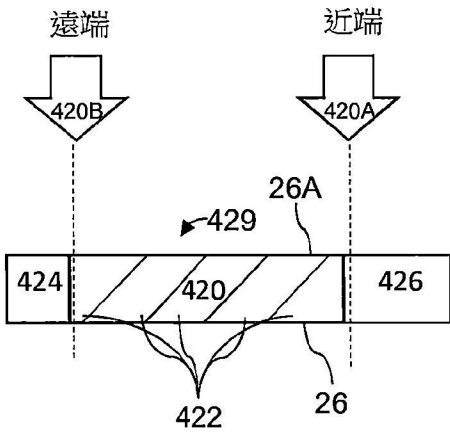
第 4 圖



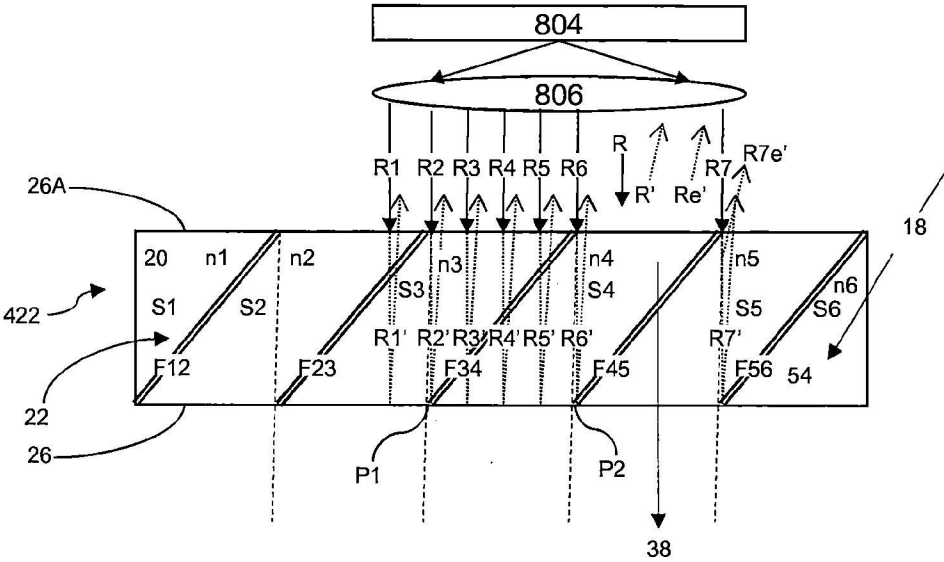
第 5 圖



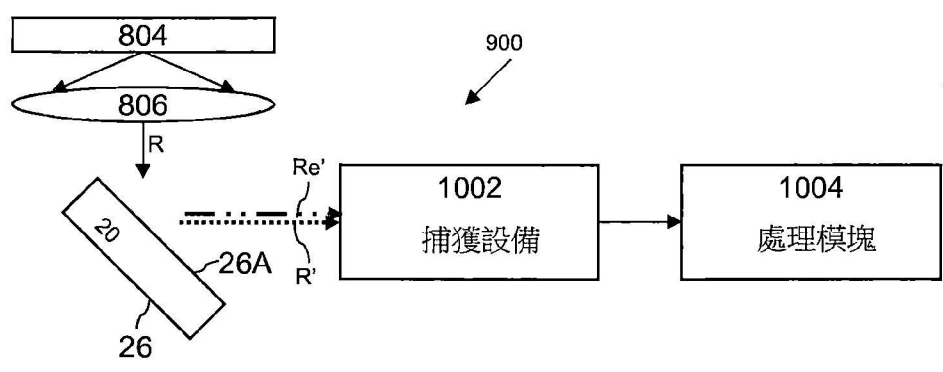
第 6 圖



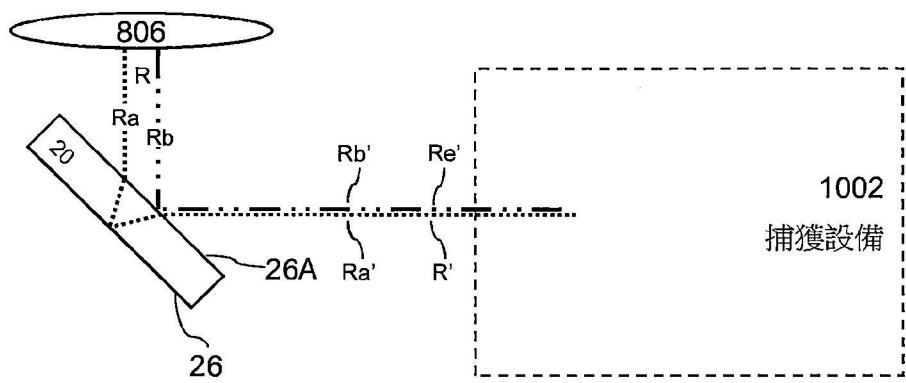
第 7 圖



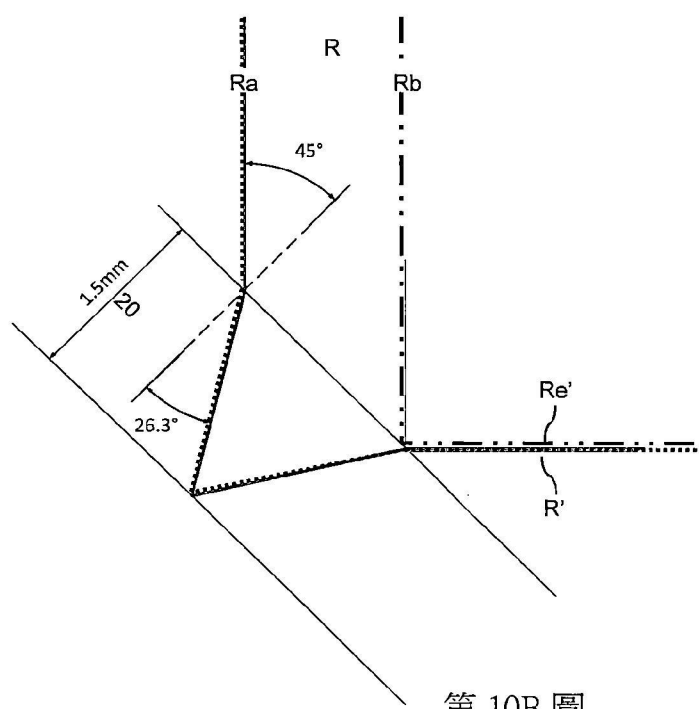
第 8 圖



第 9 圖

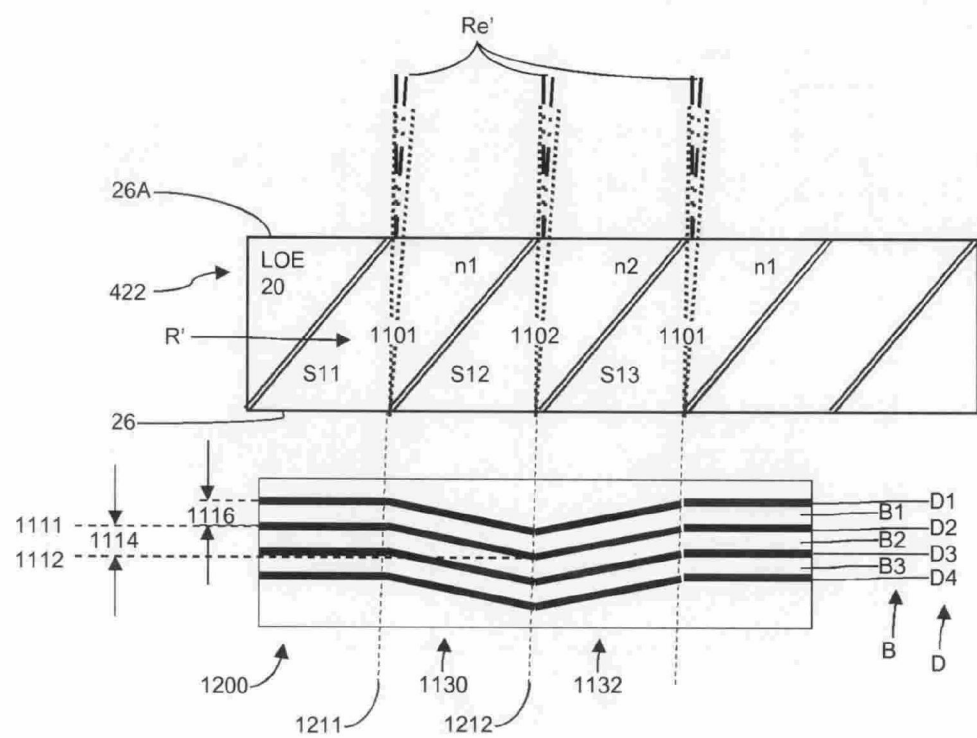


第 10A 圖

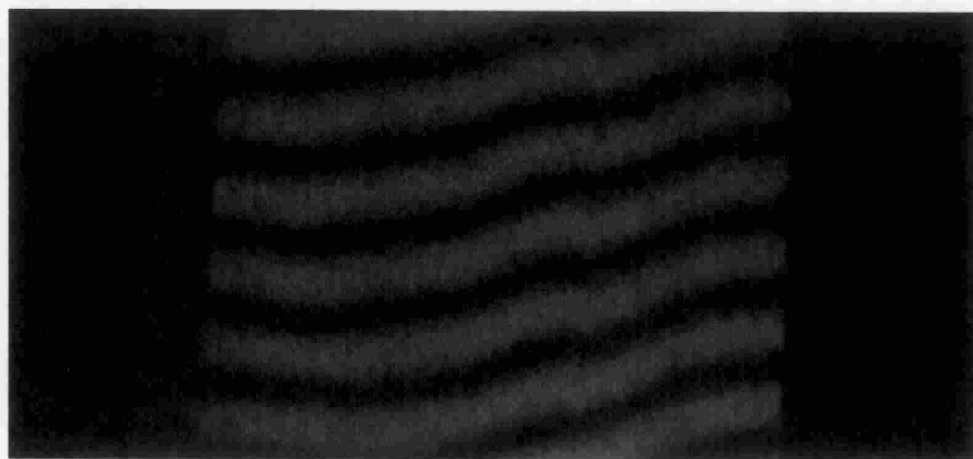


第 10B 圖

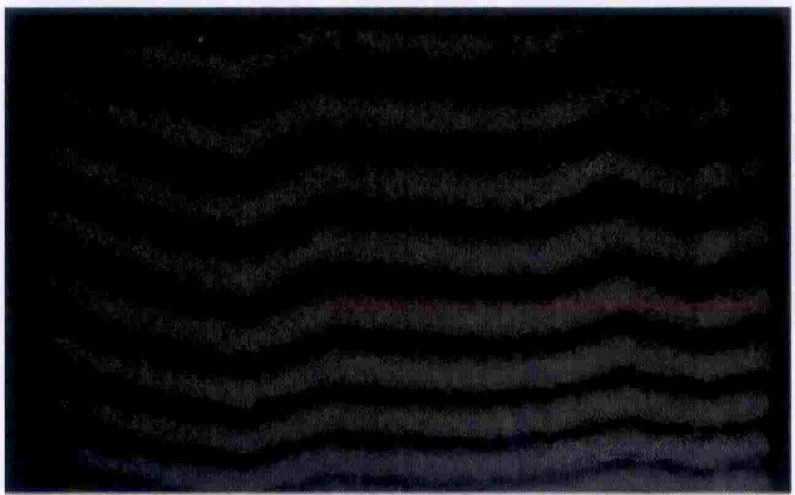




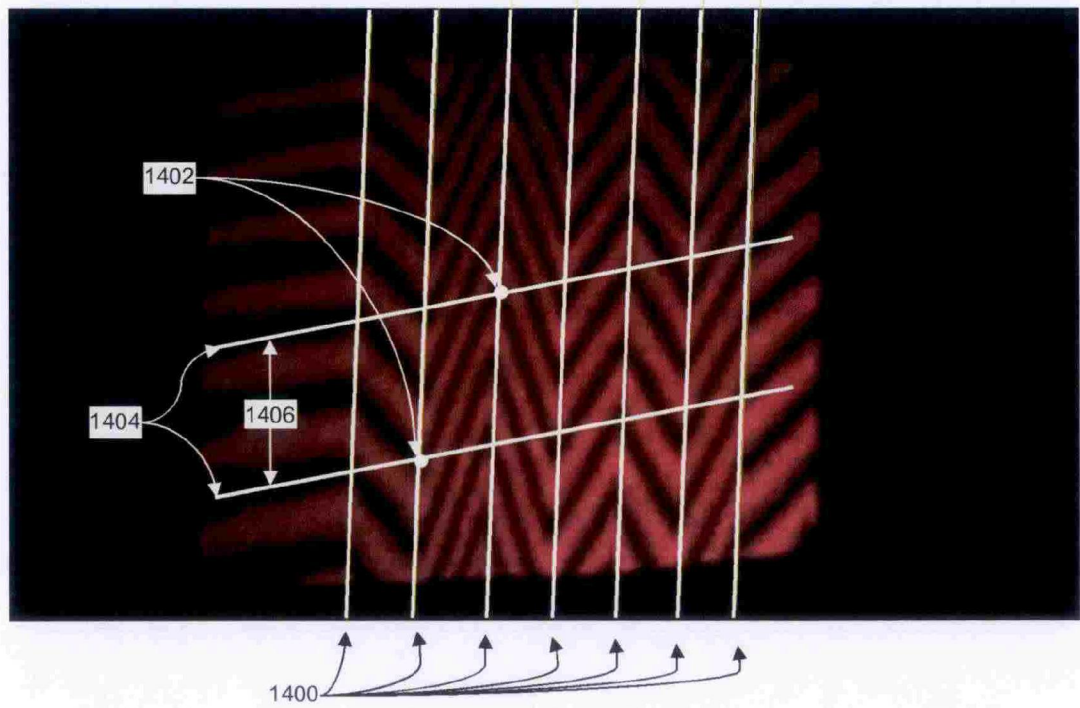
第 11 圖



第 12 圖

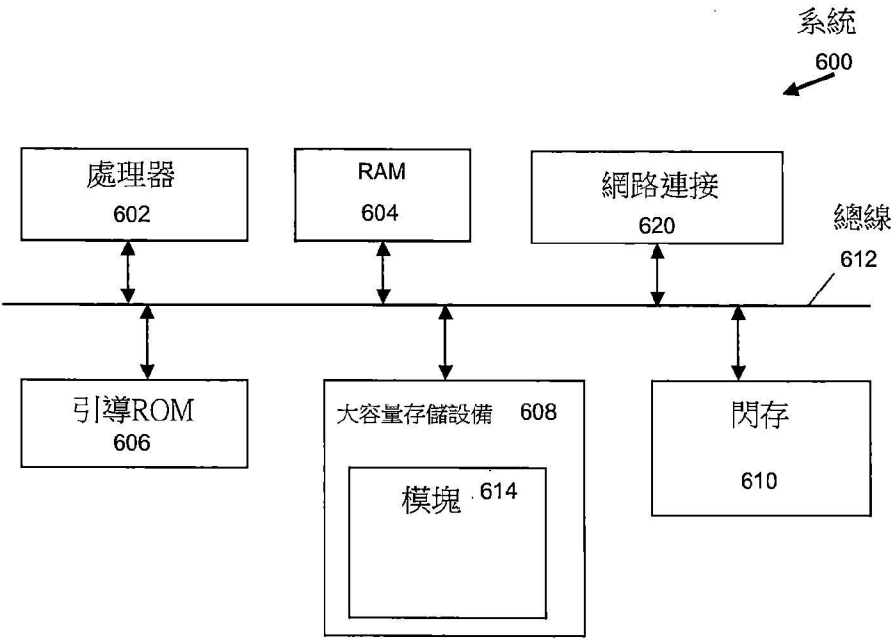


第 13 圖



第 14 圖





第 15 圖