



(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 I883167 B

(45)公告日：中華民國 114 (2025) 年 05 月 11 日

(21)申請案號：110112118

(22)申請日：中華民國 110 (2021) 年 04 月 01 日

(51)Int. Cl. : G02B26/08 (2006.01)

G02B7/04 (2021.01)

(30)優先權：2020/04/07 歐洲專利局

20168421.4

(71)申請人：瑞士商西克帕控股有限公司 (瑞士) SICPA HOLDING SA (CH)
瑞士(72)發明人：史沃柏格 由利 SCHWARTZBURG, YULIY (US)；特斯屋 羅曼 TESTUZ,
ROMAIN (CH)；卡勒嘉里 安德雅 CALLEGARI, ANDREA (CH)

(74)代理人：李世章；彭國洋

(56)參考文獻：

TW 201808669A

TW 201840443A

CN 102326102B

CN 109562636A

CN 110450560A

US 10369832B2

審查人員：林韋廷

申請專利範圍項數：11 項 圖式數：9 共 58 頁

(54)名稱

設計焦散層的防複製光重定向表面的方法、包含該防複製光重定向表面的光學安全元件、經標記物品、鑑別該經標記物品的用途和方法

(57)摘要

本發明係關於一種包括焦散層和遮罩層的防複製光學元件，此焦散層和遮罩層經配置成在使用光源照射光學元件時，則同時顯示再現參考圖像的可見圖像並形成包含再現參考圖案的可見焦散圖案的投影圖像，該投影圖像與該參考圖像不同。本發明亦係關於一種用於設計與遮罩層的透射特性一致的該焦散層的光重定向表面的浮雕圖案的方法。

The invention relates to an anti-copy optical element comprising a caustic layer and a mask layer configured to simultaneously display a visible image reproducing a reference image and form a projected image containing a visible caustic pattern reproducing a reference pattern, upon illumination of the optical element with a light source, the projected image being distinct from the reference image. The invention also relates to a method for designing a relief pattern of a light-redirecting surface of said caustic layer consistently with the transmission properties of the mask layer.

指定代表圖：

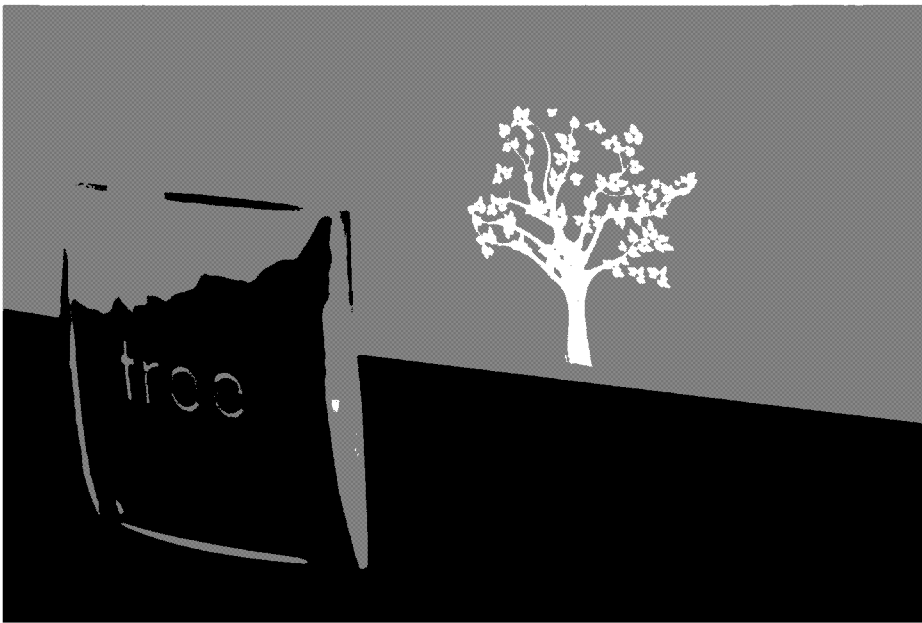


圖3C



I883167

【發明摘要】

【中文發明名稱】設計焦散層的防複製光重定向表面的方法、包含該防複製光重定向表面的光學安全元件、經標記物品、鑑別該經標記物品的用途和方法

【英文發明名稱】 A METHOD OF DESIGNING AN ANTI-COPY LIGHT-REDIRECTING SURFACE OF A CAUSTIC LAYER, AN OPTICAL SECURITY ELEMENT COMPRISING THE ANTI-COPY LIGHT-REDIRECTING SURFACE, A MARKED OBJECT, USE AND METHOD OF AUTHENTICATING THE OBJECT

【中文】

本發明係關於一種包括焦散層和遮罩層的防複製光學元件，此焦散層和遮罩層經配置成在使用光源照射光學元件時，則同時顯示再現參考圖像的可見圖像並形成包含再現參考圖案的可見焦散圖案的投影圖像，該投影圖像與該參考圖像不同。本發明亦係關於一種用於設計與遮罩層的透射特性一致的該焦散層的光重定向表面的浮雕圖案的方法。

【英文】

The invention relates to an anti-copy optical element comprising a caustic layer and a mask layer configured to simultaneously display a visible image reproducing a reference image and form a projected image containing a visible caustic pattern reproducing a reference pattern, upon illumination of the optical element with a light source, the projected image being distinct from the reference image. The invention also relates to a method for designing a relief pattern of a light-redirecting surface of said caustic layer consistently with the transmission properties of the mask layer.

【指定代表圖】第（ 3C ）圖。

【代表圖之符號簡單說明】

無

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】設計焦散層的防複製光重定向表面的方法、包含該防複製光重定向表面的光學安全元件、經標記物品、鑑別該經標記物品的用途和方法

【英文發明名稱】A METHOD OF DESIGNING AN ANTI-COPY LIGHT-REDIRECTING SURFACE OF A CAUSTIC LAYER, AN OPTICAL SECURITY ELEMENT COMPRISING THE ANTI-COPY LIGHT-REDIRECTING SURFACE, A MARKED OBJECT, USE AND METHOD OF AUTHENTICATING THE OBJECT

【技術領域】

【0001】 本發明係關於焦散光學元件設計的技術領域，特定言之係關於焦散層的折射透明或部分透明的光重定向表面（或反射光重定向表面）的設計及可操作以在適當的照明下投射焦散圖案的折射/反射光學安全元件。

【先前技術】

【0002】 需要物品上的安全特徵，且該等安全特徵可由所謂的「街上的人」使用常用可得手段進行鑑別。該等常用可得手段包括使用五種感官－主要是視覺和觸覺－及使用普遍的工具，例如手機。

【0003】 安全特徵的一些常見實例是法醫纖維、線或箔（例如結合到如紙張的基材中）、浮水印、凹版印刷或微縮印刷（可能用光學可變墨水印刷在基材上），該等實例可在鈔票、信用卡、身份證、票據、證書、文件及護照等上找到。該等安全特徵可包括光學可變墨水、不可見墨水或發光墨水（在特定激發光的適當照明下發出螢光或磷光）、

全息圖及/或觸覺特徵。安全特徵的一個主要態樣是，安全特徵具有一些非常難以偽造的物理特性（光學效應、磁效應、材料結構或化學成分），使得若可（視覺上或藉由特定設備）觀察或揭示屬性，則可以可靠地將標有此種安全特徵的物品視為真品。

【0004】 然而，當物品透明或部分透明時，該等特徵可能不適用。事實上，出於美觀或功能原因，透明物品通常要求具有所需安全特徵的安全元件不改變其透明度或外觀。值得注意的實例可包括用於藥品的泡罩和小瓶。例如，最近聚合物和混合鈔票在其設計中加入了透明窗口，因此產生了對其兼容的安全特徵的需求。用於文件、鈔票、安全票據及護照等的大多數的現有安全特徵並未專門針對透明物品/區域開發，因此該等大多數的現有安全特徵並不非常適合此類應用。其他特徵（例如，彼等用隱形和螢光墨水獲得的特徵）需要特定的激發工具及/或偵測工具，而「街上的人」可能不容易獲得該等特定的激發工具及/或偵測工具。

【0005】 半透明的光學可變特徵（例如液晶塗層或來自表面結構的潛像）是已知的且可提供此種功能。不幸的是，通常必須在黑暗/均勻的背景下觀察包含此種安全特徵的標記，才能使效果清晰可見。

【0006】 其他已知特徵是繞射光學元件，如非金屬化表面全息圖。該等特徵的缺點是，當直接查看時，該等特徵顯示出非常低的對比視覺效果。此外，當與單色光源結合使

用以投射圖案時，該等特徵通常需要雷射才能獲得令人滿意的結果。此外，光源、繞射光學元件和使用者的眼睛需要相當精確的相對空間佈置，以提供清晰可見的光學效果。

【0007】 雷射雕刻的微型文本及/或微型代碼已用於例如玻璃小瓶。然而，該等微型文本及/或微型代碼需要用於其實施的昂貴模具及用於其偵測的特定放大工具。

【0008】 藉由引入使用具有折射透明或部分透明的光重定向表面的焦散層的設計方法，以適用於透明或部分透明物品的光學（安全）元件克服了上述問題，其中焦散層具有浮雕圖案，經調適成重定向從光源接收的入射光並形成包含焦散圖案的投影圖像，焦散圖案再現目標參考圖案。

【0009】 此種方法允許藉由塑造焦散層的表面來控制焦散圖案。已開發出基於光傳輸的計算工具，以藉由從目標圖像開始最佳化（計算）焦散光學元件的折射或反射表面的幾何形狀來形成幾乎任何所需的形狀。先前技術中已揭露了焦散表面和從目標參考圖像開始計算該等焦散表面的方法，例如：

- 歐洲專利申請案 EP 2 711 745 A 2 揭露了將生成的表面離散化為網格，接著對網格進行變形以調整圖像相應區域的亮度。然後確定與網格相關聯的法向場並對其進行積分以找到相應的焦散表面。然而，給定一個任意圖像，有必要採取額外的預防措施，以便相應的法向場將是可積的。

- 歐洲專利申請案 EP 2 963 464 A 1 採用類似的方法來確定最佳傳輸圖 (OTM)，且同樣地需要計算和整合法向場。

- 美國專利案 US 9 188 783 B 2 和美國專利申請案 US 2016041398 A 1 將生成的表面劃分為一組微貼片，每個微貼片負責投影焦散高斯核，其中核的疊加近似於所需的圖像。然而，此方法遭受離散化失真且難以解析低強度區域。也需要整合普通欄位。

- 國際專利申請案 WO 2019063778 A 1 和 WO 2019063779 A 1 揭露了一種光學安全元件，其包括具有浮雕圖案之折射的光重定向表面，可操作此光重定向表面以重定向來自光源的入射光並在投影表面上形成投影圖像，此投影圖像包括焦散圖案，此焦散圖案再現了人容易在視覺上識別的參考圖案。

【0010】 然而，該等具有焦散表面的光學元件具有一些缺點。除了易受磨損和磨耗外，可藉由鑄造其浮雕圖案來複製焦散表面。此外，焦散面的存在在一定程度上改變了物品的外觀，可能使物品不那麼美觀及 / 或引起對焦散圖像投射機制的關注。在某些情況下，可能僅從表面的形狀就可猜測出投影圖像，此降低了必須使用光學元件（例如，藉由觀察光學元件）的人的驚喜效果（特別是若此種「驚喜」效果與光學元件將要提供的安全態樣相關聯的話）。

【0011】 因此，本發明的目的是提供一種具有焦散表面的防複製光學元件，其克服了上述缺點。

【0012】 本發明的另一個目的是提供一種標記物品，其選自包括消費品、有價文件（例如證書、護照、身份證件及

駕駛執照 … …) 和鈔票的組合；此標記物品包括改進的光學元件。

【0013】 本發明的另一個目的是提供一種使用通常可用的手段對標有光學元件的物品進行視覺鑑別的方法。

【0014】 本發明的另一個目的是使用光學元件來鑑別選自包括消費品、有價文件和鈔票的組合中的物品，或防止偽造此物品。

【發明內容】

【0015】 根據一個態樣，本發明係關於一種包括焦散層的光學元件，焦散層由一反射、或折射透明、或部分透明的第一光學材料片製成且具有光重定向表面，光重定向表面具有浮雕圖案，其中：

- 光學元件包括遮罩層，遮罩層分別設置在光學元件的光學表面上或在光學元件內，遮罩層包括遮罩圖案並具有可變的光透射係數，遮罩層經調適成至少部分地透射用點狀光源照射光學元件時的人射光；及

- 焦散層的光重定向表面的浮雕圖案經配置為重定向由光學元件從點狀光源接收的人射光並形成包含可見焦散圖案的投影圖像，可見焦散圖案再現參考圖案。

【0016】 遮罩層可經配置為在用點狀光源照射光學元件時顯示可見圖像，可見圖像再現參考圖像，可見圖像不同於投影圖像。

【0017】 較佳地，浮雕圖案的深度的輪廓具有突然變化，突然變化係藉由根據計算出的具有不連續性的浮雕圖案輪

廓對第一光學材料片的表面進行機械加工而形成，經機械加工的突然變化對應於不連續性。浮雕圖案的輪廓可具有小於或等於 $250\ \mu\text{m}$ 的最大深度。

【0018】 然而，浮雕圖案的輪廓可較佳地具有小於或等於 $30\ \mu\text{m}$ 的最大深度。根據本發明的一種實施模式，光學元件的光重定向表面經設置在平坦的基底上，且光學元件的總厚度小於或等於 $100\ \mu\text{m}$ 。光重定向表面的浮雕圖案較佳地經調適成重定向從光源接收到的與光重定向表面距離為 d_s 的入射光，及在距光重定向表面距離為 d_i 的牆壁表面上形成包含焦散圖案的投影圖像， d_i 值小於或等於30公分，及 d_s/d_i 比值大於或等於5。

【0019】 根據另一種實施模式，光學元件進一步包括透鏡元件，透鏡元件與焦散層相鄰且由折射透明或部分透明的第二光學材料製成，透鏡元件經配置為重定向來自光源由該元件接收的入射光，以形成包含可見焦散圖案的投影圖像，可見焦散圖案再現參考圖案。光重定向表面可具有焦距 f_c ，及透鏡元件具有焦距 f_L ，焦距 f_L 經配置為在經由光學元件觀看光源的觀察者的視網膜上直接形成包含可見焦散圖案的投影圖像。光學元件可包括以下之一者：

- a) 具有正焦距($f_c > 0$)的焦散層和具有負焦距($f_L < 0$)的透鏡元件，或
- b) 具有負焦距($f_c < 0$)的焦散層和具有正焦距($f_L > 0$)的透鏡元件。

【0020】 較佳地，透鏡元件的焦距 f_L 與焦散層的焦距 f_C 的關係滿足下式：

$$R - \left(\frac{1}{f_L} + \frac{1}{f_C} - \frac{1}{d_s} \right)^{-1} \geq d_R,$$

其中：

R 是焦散層和觀察者眼睛之間的距離；

d_s 是光源與光學元件之間的距離；及

d_R 是距離眼睛的舒適閱讀距離，其至少為 25 公分。

【0021】 根據本發明的光學元件可用於標記從包括以下各項的一群組中選擇的一物品：消費品、有價文件、印花稅票和鈔票。

【0022】 根據另一態樣，本發明涉及一種由觀察者視覺鑑別標有上述光學元件和遮罩層的物品的方法，包括以下步驟：

- 用點狀光源照射光學元件；
- 視覺觀察包含可見焦散圖案的投影圖像，可見焦散圖案再現參考圖案；及
- 根據觀察者評估焦散圖案與參考圖案視覺上相似，確定物品是真的。

【0023】 在較佳的實施模式中，其中，在用點狀光源照射光學元件時，遮罩層經配置為顯示可見圖像，可見圖像再現參考圖像，該方法包括進一步的步驟：視覺觀察可見圖像，可見圖像再現參考圖像，且其中確定該物品是真的步驟包括以下步驟：由觀察者進一步驗證可見圖像與焦散圖案視覺上不同。

【0024】 本發明的另一態樣涉及一種設計焦散層的光重定向表面的浮雕圖案的方法，焦散層由一片折射透明或部分透明或反射的第一光學材料製成，焦散層包括遮罩層，遮罩層分別設置在光學元件的光學表面上或在光學元件內，遮罩層包括遮罩圖案並具有可變的光透射係數，遮罩層經調適成至少部分地透射在用點狀光源照射光學元件時的人射光，焦散層經調適成重定向從點狀光源接收的人射光並形成包含焦散圖案的投影圖像，方法包括以下電腦實施的步驟：

- 提供參考圖案的輸入目標圖像的離散表示，離散表示包括圖像平面中坐標為 $\{(x_i, y_i)\}$ 的 N 個圖像像素 p_i 的集合 P 及相關的非零目標光強度 $\{I_i\}$ ， $i = 1, \dots, N$ ，此等相關的非零目標光強度 $\{I_i\}$ 分佈在目標圖像的給定區域內及對應目標圖像的目標焦散圖案；

- 基於光重定向表面的表示來計算焦散層的光重定向表面 $z = F(x, y)$ 的分段表示，其中高度 z 在 (x, y) 坐標平面上方，其係藉由使表面分段 $z = f_i(x, y)$ ， $i = 1, \dots, N$ 相交，分段係分別從焦散層折射或反射並聚焦在圖像平面坐標 (x_i, y_i) ， $i = 1, \dots, N$ 的點 $P(i)$ 上的光線的光學路徑長度的平穩性中獲得，其中每一表面分段 $z = f_i(x, y)$ 是繞一軸旋轉的表面，該軸穿過該點 $P(i)$ 並具有在點 (x_i, y_i, z_i) 處的頂點，其中高度 $z_i = f_i(x_i, y_i)$ ， $i = 1, \dots, N$ ，與 N 個頂點的各個高度值相關聯的光重定向表面的分段表示由對應

的 N 個表面 $z = f_i(x, y)$, $i = 1, \dots, N$ 的相交的包絡線形成；

- 對於一組給定的 N 個表面的頂點的高度 z_1, \dots, z_N 的相應值，計算相應的一組光強度值 $I(1), \dots, I(N)$ ，該組光強度值藉由焦散層根據遮罩圖案的可變光透射係數經由相關的分段光重定向表面重定向入射光而分別聚焦在點 $P(1), \dots, P(N)$ 上；及

- 計算對應的 N 個表面的 N 個頂點的該等 N 個高度 z_1, \dots, z_N 的相應值，此計算最小化所計算的光強度 $I(1), \dots, I(N)$ 的各個值之間的差，所計算的光強度的各個值經由相關的光重定向表面和目標光強度 I_1, \dots, I_N 的相應對應值而聚焦在點 $P(1), \dots, P(N)$ 上；

- 從而獲得具有一浮雕圖案的該光重定向表面，該浮雕圖案經調適成重定向由該包括該遮罩層的光學元件從該光源接收的入射光並形成包含該目標焦散圖案的一投影圖像，該目標焦散圖案再現該參考圖案。

【0025】 藉由在近軸近似內採用 k 階的泰勒展開式來近似每段表面 $z = f_i(x, y)$, $i = 1, \dots, N$, k 階的泰勒展開式大於或等於兩個從光學路徑長度的平穩性獲得的表面分段的表達式。可藉由無梯度最佳化方法來執行計算高度 z_i 的步驟，此計算高度 z_i 的步驟最小化計算出的光強度 $I(i)$ 和對應的目標光強度 I_i 之間的差， $i = 1, \dots, N$ 。或者，可藉由憑藉計算相關代價函數及其導數的冪圖的最佳化方法來執行計算高度 z_i 的步驟，此計算高度 z_i 的步驟最小化計算出的

光強度 $I(i)$ 和對應的目標光強度 I_i 之間的差， $i = 1, \dots, N$ 。

【0026】 經設計的光重定向表面可用於生成機器兼容表示，以用於控制機械加工模具來機械加工焦散層的光重定向表面。此機器兼容表示可使用例如行業標準格式，如 *StereoLithography (STL)* 或初始圖形交換規範 (*IGES*)。特定言之，機器兼容表示亦可用於控制機械加工模具來機械加工中間基材的光重定向表面，此中間基材進一步用於藉由複製的焦散層的大量製造（此種複製可包括卷對卷、箔對箔、UV 澆鑄和壓花）。此外，設計浮雕圖案的方法可包括以下步驟：配置遮罩層，以在用點狀光源照射光學元件時顯示可見圖像的預備步驟，此可見圖像再現與參考圖案不同的參考圖像。

【0027】 下文將參考附圖更全面地描述本發明，其中圖示了本發明的突出態樣和特徵。

【圖式簡單說明】

【0028】 圖 1 圖示了在沒有遮罩層的常見情況下用於投射焦散圖案的折射光學元件的光學配置。

【0029】 圖 2 圖示了根據本發明之用於投影焦散圖案的光學元件的實例，其中存在遮罩層且有助於確定投影圖案。

【0030】 圖 3 A 圖示了根據本發明的具有組合遮罩層和焦散層的光學元件，遮罩層具有與投影圖像（蒙娜麗莎的焦散圖案）不同的參考圖像（李奧納多達文西的肖像）。

【0031】 圖 3 B 對應於圖 3 A 的光學元件，當移除遮罩層時：在投影圖像上可見失真和虛假特徵。

【0032】 圖 3 C 圖示了根據本發明的光學元件，其中遮罩層具有不同於（樹的）投影圖像的參考圖像「樹」，光學元件形成在透明 P M M A 塊上。

【0033】 圖 4 A 圖示了根據本發明的具有組合遮罩層和焦散層的光學元件，遮罩層具有參考圖像「 $E = m c^2$ 」，此參考圖像與投影圖像（愛因斯坦肖像的焦散圖案）不同。

【0034】 圖 4 B 對應於圖 4 A 的光學元件，當移除遮罩層時：在投影圖像上可見失真和虛假特徵。

【0035】 圖 5 圖示了根據本發明之作為透明元件的光學元件，其具有組合的遮罩層和焦散層，以用具有負焦距的透鏡元件和具有正焦距的焦散層將焦散圖案直接投射到觀察者的視網膜上。

【0036】 圖 6 圖示了根據本發明之作為透明元件的另一光學元件，其具有組合的遮罩層和焦散層，以用具有正焦距的透鏡元件和具有負焦距的焦散層將焦散圖案直接投射到觀察者的視網膜上。

【0037】 圖 7 圖示了圖 2 的折射光學元件的細節圖。

【0038】 圖 8 圖示了平行光線，此等平行光線以均勻強度照射由遮罩圖案的一部分覆蓋的焦散層的人射面的一部分，並形成圖像點。

【0039】 圖 9 圖示了平行光線，此等平行光線以均勻強度照射由遮罩圖案的一部分覆蓋的焦散層的人射面的一部分，其具有光重定向表面的分段近似，並形成複數個圖像點。

【實施方式】

【0040】 在光學中，術語「焦散」是指被一個或多個表面折射或反射的光線包絡線，其中至少一個表面是彎曲的，及此種光線投射到另一個表面上。更具體地說，焦散線是與每條光線相切的曲線或表面，其將光線包絡線的邊界定義為集中光線的曲線。例如，由水池底部的陽光形成的光圖案是一個焦散的「圖像」或由單個光重定向表面（波浪形的空氣-水界面）形成的圖案，而穿過水杯的曲面的光在當其穿過兩個或多個重定向其路徑的表面（例如空氣-玻璃、玻璃-水、空氣-水）時，會在水杯所在的桌上創建一個尖點狀圖案。

【0041】 在下文中，在不限制更一般的配置情況下，光學元件的（折射）焦散層由一個（彎曲）表面或光重定向表面和一個平坦表面限制的最常見配置將作為實例。當焦散層的適當成形的光學表面（其具有光重定向表面，此光重定向表面具有適當的浮雕圖案）重定向來自光源的光以將光從例如螢幕（投影表面）的某些區域轉移，並將光以預定的光圖案集中在螢幕的其他區域上（亦即，從而形成「焦散圖案」）時，此處將更一般的「焦散圖案」（或「焦散圖像」）稱為形成在螢幕上的光圖案，重定向是指相對於在不存在焦散層的情況下從光源到螢幕的路徑而言，在存

在焦散層的情況下來自光源的光線路徑發生變化。焦散層(折射或反射)因此是一片具有光重定向表面的第一光學材料，此光重定向表面具有浮雕圖案，此浮雕圖案經調適成重定向從光源接收的光以形成焦散圖像。根據本發明的光學元件包括焦散層，且可進一步包括(多個)參與光重定向的附加光學元件(例如，透鏡或支撐基材)。

【0042】 反過來，光重定向光學表面將稱為「浮雕圖案」，且由此表面限制的第一光學材料片將稱為焦散層。應該注意的是，焦散圖案可能是光由一個以上的表面和一個以上的物品重定向的結果，儘管可能以增加複雜性為代價。此外，用於生成焦散圖案的浮雕圖案不得與繞射圖案混淆(例如，在安全全息圖中)。

【0043】 本發明的概念可例如應用於普通物品，如消費品、ID/信用卡及鈔票等。為此，需要大幅縮小光學元件的尺寸，特別是使浮雕圖案的浮雕深度低於可接受的值。為此，擁有高效的工作流程特別有用，因為高效的工作流程允許進行多次的設計迭代，直到滿足所有操作限制為止。

【0044】 在本說明書中，「浮雕」應理解為表面的最高點和最低點之間存在高度差(沿光學元件的光軸量測)，類似於山谷底部與山頂之間的高度差(亦即「峰谷」比例)。雖然根據本發明的方法不限於特定的浮雕，但對於預期的許多應用，光學元件的浮雕圖案的最大深度通常小於或等於 $250\ \mu\text{m}$ ，或更較佳地小於或等於 $30\ \mu\text{m}$ ，同時高於由超

精密加工 (UPM) 和複製處理所施加的限制，亦即約 $0.2 \mu\text{m}$ 。

【0045】 根據此描述，光重定向表面上浮雕圖案的最高點和最低點之間的高度差被稱為浮雕深度 ε 。

【0046】 應將形成數位圖像的近似值的焦散圖案（圖像）理解為當由合適的點狀光源照射光學元件時由光學元件投射的光圖案。如上所述，應將光學元件理解為負責產生焦散圖案的折射（或反射）材料板。

【0047】 （多個）光重定向表面是（光學元件的）焦散層的表面（或多個表面），其負責將來自光源的入射光重定向到其中形成焦散圖案的螢幕或（較佳地，平坦的）投影表面上。

【0048】 用於製作光學元件的焦散層的第一光學材料基材是一種原材料基材，從此原材料基材特別形成表面從而具有浮雕圖案，並因此形成光重定向表面。在反射光重定向表面的情況下，第一光學材料基材不一定是均質的或透明的；此同樣適用於僅用於進一步複製的主表面的情況。例如，材料可以對可見光不透明，且可藉由所形成表面的經典金屬化來獲得反射率。在折射光重定向表面的情況下，原材料基材是透明的、或部分透明的且為均勻的，其具有折射率 n （對於人眼可見光譜的光子），且將相應的光重定向表面命名為「折射率為 n 的折射透明或部分透明的光重定向表面」。

【0049】 根據此描述的主要光重定向表面是根據計算的光重定向表面的光重定向表面的第一物理實現。可將此主要光重定向表面複製到多個副本（模具）中，然後用於大規模複製。

【0050】 本說明書中使用的點狀光源（見圖1至圖2）是一種光源 S ，其角尺寸（從光學元件的角度來看）足夠小，以至於可將光視為源自在距光重定向表面的距離 d_s 處的單個點。根據經驗，此意味著以下量： $(\text{源直徑}) \times d_i / d_s$ ，其小於距離光重定向表面的距離 d_i 處的投影圖像上的目標焦散圖案的所需解析度（例如 $0.05 - 0.1 \text{ mm}$ ）。應將螢幕理解為焦散圖案投射在其上的表面。亦將光源與光重定向表面之間的距離稱為光源距離 d_s ，將光重定向表面與螢幕之間的距離稱為圖像距離 d_i 。

【0051】 術語「模具」（或「複製模具」，當需要消除歧義時）主要用於承載用於大規模複製的光重定向表面輪廓的物理物品。例如，模具可用於例如製作主光重定向表面的副本（藉由壓花或注入從主要承載相應的反向浮雕來複製原始浮雕）。對於用於機械加工光重定向表面的浮雕圖案的模具，術語「加工模具」用於消除歧義。

【0052】 圖1是用於投射焦散圖案的折射光學元件的典型光學配置的示意圖，焦散圖案再現（有意義的）參考圖案。一種光學元件(1)，由一折射透明或部分透明的第一光學材料片製成並包括具有折射表面(3)的焦散層(2)；光學元件(1)將來自點狀光源 S 的光重定向並將其投射到合適的螢幕

(4)，螢幕(4)可以是任何物品的任何表面等，其中形成(由觀察者)可識別的焦散圖案(5)。圖像可以是例如標誌、圖片、數字或在特定上下文中可能相關的任何其他資訊。較佳地，螢幕是平坦的投影面或任何物品的平坦部分。光重定向表面(3)的特殊設計可允許在彎曲表面上投射(可識別的)焦散圖案。

【0053】 圖1的配置顯示焦散層(2)的光重定向表面(3)的適當形狀的浮雕圖案重定向由光學元件(1)從光源S接收的光。例如，從汽車頭燈的反射表面、LED照明的反射器和透鏡、雷射光學、投影器和相機中的光學系統中就可了解到此種總體思路。然而，通常目標是將光的非均勻分佈轉換為均勻分佈。

【0054】 相比之下，如圖2所示，本發明的目標是獲得非均勻光圖案，亦即焦散圖案(5)；當光學元件(1)進一步包括具有遮罩圖案(7)的遮罩層(6)時，焦散圖案(5)(近似地)再現參考圖案的一些相對亮度區域(例如，如參考圖案的數位圖像所示)，遮罩圖案(7)修改從光源S接收的光穿過光學元件(1)的透射(根據遮罩圖案)。因此，光重定向表面(3)的浮雕圖案必須具體調適成遮罩圖案的透射特性，以提供可見焦散圖案(5)，可見焦散圖案(5)焦散再現(近似)給定的參考圖案。形成遮罩層(6)的遮罩圖案(7)的光學材料可以是不透明的(亦即，不透射光)或對光源S發出的可見光或多或少透明。當然，若遮罩圖案(7)的光學材料是不透明的，遮罩層(6)必須包括可根據(非零)光學透射係數透射光

的非不透明部分。關於光透射，遮罩層(6)因此可由可變光透射係數 t 表徵，可變光透射係數 t 可局部地從零(在入射光由遮罩圖案的不透明部分阻擋的情況下)到一(在入射光穿過焦散層的未遮罩部分的全部透射的情況下)變化。在遮罩圖案(7)的相應局部部分是部分透明的情況下，透射係數 $0 < t < 1$ 的中間局部值是可能的。遮罩層(6)可以是一些特定光學材料的層。遮罩層(6)可具有恆定的厚度，同時包括具有不同透射係數的材料並根據遮罩圖案(7)的輪廓鄰接的兩個不同部分。然而，遮罩層可能僅由光學元件本身的光學材料的光學透射特性的(局部)修改(形成遮罩圖案)產生，或遮罩圖案可能由遮罩層的第一光學材料的光學透射特性的局部修改產生：例如，藉由對第一光學材料片的表面進行局部噴砂，以根據遮罩圖案局部修改其透射係數 t 。可將遮罩層(6)設置在光學元件(1)的入射光學表面上(相對於來自光源 S 的入射光)、或另一光學表面上、或光學元件本身內(亦即，作為內部層)，或在光重定向面(3)上(見圖2)：在後一種情況下，遮罩層(6)可進一步保護光重定向面(3)(以例如防止磨損)。在圖2所示的實例中，將遮罩層(6)設置在光學元件(1)的入射面上，遮罩圖案(7)具有十字形(亦即「X」)的形狀，且已計算出焦散層(2)的光重定向表面(3)的薄浮雕圖案，以便在螢幕(4)上提供投影的焦散圖案(5)，投影的焦散圖案(5)代表象徵性外觀，此十字沒有可很容易地由觀察者識別為再現(已知)參考模式的十字。此外，若遮罩層丟失(例如被移除，

或在焦散層的假冒浮雕圖案的情況下），浮雕圖案接著投射（修改的）焦散圖案（5'），此（修改的）焦散圖案（5'）表示由十字X所劃掉的象徵性外觀。在此種情況下，觀察者可很容易地偵測到光學元件不是真的光學元件，因為可見的焦散圖案不能再現正確的參考圖案。

【0055】 較佳地（見圖3至圖4），遮罩圖案（7）包括再現參考圖像（例如肖像、標誌等）的可見圖像（8），其可由觀看遮罩層（6）的觀察者看見，特別是當光源S照亮光學元件（1）時。更較佳地，可見圖像（8）看起來不像可見焦散圖案（5），從而對觀看被照亮的遮罩層（6）和投影的焦散圖案（5）的觀察者引起驚奇的效果。

【0056】 因此，本發明的一個優點是配備有遮罩層（6）的光學元件很難被偽造。例如，若真的光學元件的遮罩層（6）經設置在此光學元件（1）的入射面上（亦即，在首先接收由光源S發射的光的光學元件的表面上，如圖2所示）或在光學元件的折射透明或部分透明材料片內，則偽造者願意藉由再現真的焦散層（2）的浮雕圖案（例如，藉由鑄造浮雕圖案以獲得用於複製光學元件的模具）來製造能提供與參考圖案一致的可見焦散圖案的光學元件，但在沒有非常精確地佈置相應的遮罩圖案（亦即與浮雕圖案對齊）的情況下或不提供遮罩層的情況下，偽造者將無法獲得令人信服地再現正確參考圖案之所需的可見焦散圖案。因此，即使在光學元件的遮罩層沒有經設計成顯示特定的可見圖像的情況下，若發光浮雕圖案（3）與其遮罩層（6）一起允許在螢幕

(4)上形成焦散圖案(5)，焦散圖案(5)以足夠的品質(可能因整體強度比例因子而有所不同)再現已知的參考圖案，則僅憑視覺觀察螢幕上的焦散圖案的人將很容易看出焦散圖案(5)是否構成參考圖案的有效再現，並且在焦散圖案與參考圖案足夠相似的情況下，僅憑視覺觀察螢幕上的焦散圖案的人將認為光學元件或標有此光學元件的物品是(極有可能)真的。

【0057】 圖3A至圖3B和圖4A至圖4B圖示了從光學元件去除遮罩層並再現參考圖像的效果，已根據考慮遮罩層的存在的设计而機械加工光學元件的焦散層的浮雕圖案。已將該等實例的遮罩層施加在光學元件的表面上，以便可易於移除。圖3B和圖4B亦圖示了由沒有複製相應遮罩層的偽造者複製光學元件(特別是其光重定向表面)的情況。圖3A顯示了由光源照射的光學元件(1)，在其入射面上設置有遮罩層(6)，遮罩層(6)代表了著名的李奧納多達文西的肖像(參考圖像)，而經調適成遮罩層的焦散的浮雕圖案(在光學元件的背面，未顯示)投射出可見的焦散圖案(5)，可見的焦散圖案(5)代表著名的蒙娜麗莎肖像(參考圖案)。觀看顯示的可見圖像和投影的焦散圖案的觀察者可藉由視覺評估可見圖像確實與參考圖像相似且投影的焦散圖案確實與參考圖案相似，而很容易地鑑別光學元件(或標有此種光學元件的物品)。然而，若從光學元件的入射面去除遮罩層，如圖3B所示，則當然沒有參考圖像的可見圖像，且投影的可見圖案現在顯圖示參考圖案之明顯衰

減的表示。在後一種情況下，觀察者將至少會清楚地偵測到投影的焦散圖案與參考圖案不相似。圖 3 C 對應於形成在 $100 \times 100 \times 20 \text{ mm}$ 的透明 PMMA 塊上的光學元件，此光學元件已由 CNC 以半球形金剛石模具銑削加工而獲得樹的投影圖像（在照明下）且具有對應於「樹 (tree)」一詞的遮罩圖案區域，此遮罩圖案區域藉由非常小的模具蝕刻形成以獲得磨砂效果，此磨砂效果因此僅在此區域阻擋光線。因此，結果是有一個在其上有清晰可讀的詞「樹 (tree)」的入射面，而投影圖像顯示一棵樹（在照明下）。

【0058】 圖 4 A 展示了另一個引人注目的實例，其中遮罩層的遮罩圖案代表著名的愛因斯坦公式 $E = mc^2$ （參考圖像），而相應的焦散層的浮雕圖案經調適成投影著名的阿爾伯特愛因斯坦的肖像（參考圖案）：在去除遮罩層的情況下，在照射光學元件的入射面時不會出現可見圖像，且投影的焦散圖案現在顯示阿爾伯特愛因斯坦的肖像，但明顯被劃掉了公式 $E = mc^2$ 的焦散圖案。在此處，觀察者也可很容易地偵測到是否缺失遮罩層，及入射面上的圖像和投影的焦散圖案在視覺上是否分別與參考圖像和參考圖案相似。

【0059】 根據圖 2 的實施例，來自（點狀）光源 S 的光線以具有浮雕圖案的光重定向表面（3）的源距離 d_s 傳播到折射光學元件（1）。光學元件在此由折射率為 n 的透明或部分透明的均質材料製成。以距光學元件（1）的光重定向表面（3）的圖像距離 d_i 將焦散圖案（5）投影在螢幕（4）上。可由

觀察者藉由視覺檢查投影焦散圖案(5)和已知參考圖案之間的相似度來直接評估光學元件的真實性(及進而是標有此元件的物品的真實性)。

【0060】 較佳地，從參考圖案的指定目標數位圖像開始計算浮雕圖案(3)。根據計算出的浮雕圖案，可在合適的光學材料基材的表面上，亦即折射率為 n 的透明或部分透明材料(或在反射光學元件的情況下為不透明材料的反射面)上，例如使用超精密加工(U P M)或灰度光刻來創建相應的物理浮雕圖案。若在不透明的光學材料基材的表面上機械加工浮雕以形成反射面，則可藉由材料本身的適當特性或藉由在浮雕上沉積金屬薄層(金屬化)的進一步常規操作來獲得良好的反射率。U P M 使用金剛石加工模具和奈米技術模具來實現非常高的精度，使公差可達到「亞微米」級或甚至是奈米級。與此相對的是，傳統機械加工中的「高精度」是指個位數的微米級公差。在表面上創建物理浮雕圖案的其他可能合適的技術是雷射燒蝕和灰度光刻。正如在微加工領域所知，該等技術中的每一者在成本、精度、速度、解析度等方面都有不同的優勢和局限性。

【0061】 用於折射光重定向光學元件的合適的光學材料基底應該是光學透明的、透明的或至少部分透明的，且為機械穩定的。通常，透射率 $T \geq 50\%$ 是較佳的，及 $T \geq 90\%$ 是最佳的。此外，可使用 $H \leq 10\%$ 的低霧度，但 $H \leq 3\%$ 是較佳的，及 $H \leq 1\%$ 是最佳的。光學材料在機械加工處理中亦應表現正確，以提供光滑和無缺陷的表面。合適基材的一個

例子是光學透明的 PMMA 板（也以 Plexiglas、Lucite 及 Perspex 等的商業名稱已知）。對於反射的焦散光重定向光學元件，合適的光學材料基材應該是機械穩定的，且應可賦予合適的光學材料基材鏡面般的光潔度。合適的基材的一個實例是金屬，如用於刻劃光柵和雷射鏡的母版的彼等金屬，合適的基材或可為可經進一步金屬化的非反射性基材。

【0062】 對於大規模生產，需要在目標物品上創建模具和大量複製光學元件的進一步步驟。從母版創建模具的合適製程為例如電鑄。大量複製光學元件的合適製程為例如聚合物薄膜的熱壓印或光聚合物的 UV 澆鑄，可在卷對卷或箔對箔製程中進一步實施該等製程。出於大量複製的目的，母版或自母版衍生的模具皆不需要是光學透明的，因此即使最終產品是折射光學元件，也可使用不透明材料（尤其是金屬）。然而，在某些情況下，母版是透明的可能是有利的，因為此允許在繼續以模具製造和大量複製之前確認焦散圖像的品質。

【0063】 使用具有以浮雕圖案和遮罩層作為安全特徵的光重定向表面的光學元件的一個關鍵態樣是光學元件的物理尺寸，光學元件的物理尺寸必須與要標記的目標物品及投射焦散圖像所需的光學配置圖像兼容。

【0064】 一般來說，光學元件的最大橫向尺寸受物品整體尺寸的限制，在不太理想的情況下，其範圍通常可從幾公分到小於 1 公分。對於某些用途，例如鈔票，目標總厚度可

能非常小（大約 $100\ \mu\text{m}$ 或更小）。此外，由於各種原因，允許的厚度變化（浮雕）甚至更小，此等各種原因包括機械限制（與較薄區域相關的弱點）和操作考量（例如，當堆疊鈔票時，鈔票堆會相應於鈔票堆的較厚的部分隆起，此使處理和存儲複雜化）。通常，對於總厚度為約 $100\ \mu\text{m}$ 的鈔票，要包括在此鈔票中的光學元件的浮雕圖案的目標厚度可以為約 $30\ \mu\text{m}$ 。對於約 1mm 厚度的信用卡或 ID 卡，包含在此信用卡 / ID 卡中的光學元件的浮雕圖案的目標厚度將小於約 $400\ \mu\text{m}$ ，較佳不超過約 $250\ \mu\text{m}$ 。

【0065】 此外，源距離和圖像距離通常受使用者舒適度的限制，只有幾十公分。值得注意的例外是太陽或安裝在天花板上的聚光燈，但在某些情況下不太容易獲得。此外，兩個距離之間的比值 d_s / d_i 通常大於 5 到 10，以便獲得更易於識別的更清晰的圖像（且具有良好的對比度）。此外，比值 $d_s / d_i \geq 5$ 及光源 S 較佳為點狀（例如，傳統行動電話的照明 LED）允許考慮光源實際上近似「在無限遠」，因此，投影表面僅在約與光學元件的焦距處才將適合清晰觀看投影的焦散圖案。因此，使用者良好視覺觀察的條件不需要光源、光學元件和使用者眼睛的相對空間佈置過於嚴格。

【0066】 雖然此處只描述了透射式焦散光學元件的配置，但同樣的推理也可應用於反射配置，只有很小的變化（特別是關於費馬原理 (Fermat's principle) 的應用)。

【0067】 根據本發明的變體，如圖 5 至圖 6 所示，(折射)光學元件可以是具有焦散層及焦距為 f_L 的相鄰透鏡元件的

透視元件，此焦散層具有給定深度的浮雕圖案和焦距 f_c 的光重定向表面，及此焦距為 f_L 的相鄰透鏡元件經配置為重定向從點狀光源接收的入射光通過此相鄰透鏡元件並直接在通過光學元件觀看點狀光源的觀察者的視網膜上形成投影焦散圖案。較佳地，光學元件包括下列之一者：

- a) 焦散層具有正焦距 ($f_c > 0$)，及透鏡元件具有負焦距 ($f_L < 0$)，如圖 5 所示，或
- b) 焦散層具有負焦距 ($f_c < 0$)，及透鏡元件具有正焦距 ($f_L > 0$)，如圖 6 所示。

【0068】 在圖 5 所示的示例中，光學元件具有經設置在入射面上的遮罩層 (6)，且為了在光源 S 的照射下用眼睛 (9) 看到投射焦散圖案 (5)，焦散層 (2) 的峰谷高度 $\Delta h = 30 \mu\text{m}$ 且其焦距為 40 mm ，並與插入其旁邊的負透鏡元件 (10) 組合在一起。光源 S 位於距焦散層 (2) 至少 400 mm 的距離處。設置保持在眼睛 (9) 的前面，距離約為 $20 - 30 \text{ mm}$ ，此被視為眼距 R。亦顯示了視網膜上的焦散圖像 (5)。離開光學元件的光束是發散的；因此，眼睛虹膜限制了視野和可見的焦散圖像部分。光學元件離眼睛越近，視野越大，可見的焦散圖像部分也越大。

【0069】 在圖 6 所示的實例中，光學元件亦具有設置在入射面上的遮罩層 (6)，焦散層 (2)' 具有光重定向表面，此光重定向表面是圖 5 中所使用的原始元件的負片，因此具有 -40 mm 的負焦距。此光重定向表面與正透鏡元件 (10') 結合，且與圖 5 中的設置類似，與眼睛 (9) 的距離為 R。光

源 S 也位於距焦散元件 (2') 至少 400 mm 的距離處。在眼睛的視網膜上創建了相應的焦散圖案 (5)。如圖所示，與圖 5 中的焦散圖案相比，可看到較大部分的焦散圖案，因光學元件出口處的光線會聚且眼睛虹膜在到達視網膜之前截斷的光線較少。

【0070】 為便於描述，定義笛卡爾坐標系是方便的，其中 z 軸與光學元件的光軸對齊並從光源指向圖像，及平面 (x, y) 與光軸垂直。為了說明本發明的概念，考慮到「平凸」類型的簡單光學元件 (圖 2 和圖 7) 並用 (基本上) 平行的光束照射，其中設置遮罩層在焦散層的第一光學材料之內或之上。圖 7 圖示了圖 2 實例的詳細視圖，其中將遮罩層 (6) 施加在平凸光學元件 (1) 的入射面上，及遮罩圖案 (7) 具有形狀「X」。遮罩層 (6) 以根據給定遮罩圖案的形狀基本上垂直於光軸延伸，此給定遮罩圖案允許遮罩層阻擋或至少減少入射光線穿過焦散層 (2) 某些 (多個) 部分的光透射，同時讓入射光線穿過焦散層的 (多個) 部分。藉由添加類似透鏡的元件直接擴展到有限距離光源的情況，將有限距離光源轉換為無限遠的虛擬光源。類似透鏡的元件的功能最終可直接結合到焦散光學元件中。x 軸和 y 軸因此位於光學元件的平面上 (亦即，平行於光學元件的入射面)。給定在光學元件的坐標點 (x, y) 處之從參考平面 $z = 0$ 開始至表面的距離 z，由純量函數 $z = F(x, y)$ 數學地描述對應於光重定向表面 (3) 的浮雕圖案的焦散面。為方便後續說明，此平面可位於光學元件 (1) 的背面，此時 $z = F(x, y)$

等於光學元件的厚度（見圖7）。在圖7所示的實例中，此平面平行於焦散圖案的平面。

【0071】 同樣地，給定螢幕上的圖像平面上的坐標 (x', y') 點（或像素）處的發光強度 $I(x', y')$ ，由純量函數 $I(x', y')$ 描述焦散圖案。

【0072】 應該注意的是，使用笛卡爾坐標是為了方便起見，也可使用其他系統代替（例如，在焦散面是彎曲物品的一部分或由彎曲物品支撐的情況下）。同樣地，光學元件的後表面不必是平坦的，但顯然在計算中必須考慮到這一點。

【0073】 本發明的實施例係利用光沿著固定光程長度的路徑傳播的特性，其中光程長度是關於路徑中任何小的變化的局部極值（亦即，費馬原理）。對於焦散圖案的任何給定點 (x_0, y_0) ，會聚在其上的一束小橫截面的光線經過相同光程長度的路徑。通常，焦散層(2)的光重定向表面(3)的浮雕圖案的浮雕深度 ε 與焦散層和其上形成焦散圖像的圖像平面之間的距離 d 相比非常小（見圖7）：實際上，通常 ε 的結果值小於 $300 \mu\text{m}$ ，而 d 大於 5cm （因此， $\varepsilon/d < 6 \cdot 10^{-3}$ ），浮雕深度 ε 經定義為浮雕圖案的最高點及最低點之間的高度差。焦散層(2)的總厚度為 $(e + \varepsilon)$ ，其中 e 是焦散層的光學材料的均質部分的厚度。通常，厚度 e 與觀察距離 d 相比也非常小，亦即，通常 e 小於一公厘（因此， $e/d \leq 2 \cdot 10^{-2}$ ，且 $(e + \varepsilon)/d \leq 2.6 \cdot 10^{-2}$ ）。然而，對應於作為純平行光線的人射光線在焦散層內的傳播的厚度 e 的層對光路

的差異沒有影響，因此將忽略厚度 e 的層。考慮到圖 7 所示的焦散層 (2)，對於位於無限遠的光源 S (為簡化起見故我們有平行的入射光線；然而，僅考慮將有限距離源轉換為無限遠的虛擬源的光學透鏡，擴展到有限距離的光源的情況很簡單)， $(s_i = \infty, d_i = d)$ ，我們考慮光程 (i) 及 (ii) 之間的差，其中 (i) 為直線光線的光程 $l(x_0, y_0)$ ，其在點 (x_0, y_0) 處進入焦散層 (2) 的平面 (在水平 $z = 0$ 處)、穿過在折射率為 n 的第一光學材料中的焦散層直到函數 $= F(x, y)$ 的光重定向表面的水平 z_0 處的點 (x_0, y_0) 為止，及到達螢幕 (4) 上的圖像平面的焦點 (x_0, y_0) ，及 (ii) 為光線的光程 $l(x, y)$ ，其在接近點 (x_0, y_0) 的點 (x, y) 進入焦散層的平面 (在水平 $z = 0$ 處)、穿過焦散層直到光重定向表面的水平 z 處的點 (x, y) 為止，及經偏轉到圖像平面的點 (x_0, y_0) 。

【0074】 若 r 是點 (x_0, y_0) 和 (x, y) 之間的距離，亦即 $r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$ ，則得到：

$$\Delta l \equiv l(x_0, y_0) - l(x, y) = n(z_0 - z) + (d - z_0) - \sqrt{r^2 + (d - z)^2}.$$

【0075】 根據費馬原理，必須得到 $\Delta l = 0$ ；因此，求解 z 的二次函數，得到：

$$\frac{z_0 - z}{d - z_0} = \frac{1}{n + 1} \left(\sqrt{1 + \frac{r^2}{(d - z_0)^2} \frac{n + 1}{n - 1}} - 1 \right)$$

,

其中，鑑於 $\varepsilon \ll d$ ，得到 $d - z_0 \approx d$ 。因此，所述 $z = f_0(x, y)$ ，其指定表面 $z = F(x, y)$ 的局部表示（亦即，圍繞點 (x_0, y_0) ），且 $z_0 = f_0(x_0, y_0)$ 為頂點處的引號，則得到：

$$z = f_0(x, y) = f_0(x_0, y_0) + \frac{d}{n+1} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{n+1}{n-1} \left(\frac{r}{d}\right)^2} \right],$$

上式表示圍繞 z 軸旋轉的表面，其具有為 (x_0, y_0, z_0) 的頂點。

【0076】 因此，若考慮到圖像平面上的任何一個焦點 (x_i, y_i) ($i = 1, \dots, N$)，而不是焦點 (x_0, y_0) ，則可藉由下式來定義 $F(x, y)$ 的局部近似值（亦即，頂點位於點 (x_i, y_i) ）：

$$z = f_i(x, y) = f_i(x_i, y_i) + \frac{d}{n+1} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{n+1}{n-1} \left(\frac{r_i}{d}\right)^2} \right],$$

其中 $z_i = f_i(x_i, y_i)$ 及 $r_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}$ 。因此，給定焦散層(2)的光重定向表面(3)的整體形狀，藉由為包絡線的分段表面可局部表示函數 $F(x, y)$ ，其與上述光路的平穩性一致，此包絡線由在圖像平面上（在螢幕(4)上）之具有「基本形狀函數」 $z = f_i(x, y)$ 的多片表面在與給定點 (x_i, y_i) 對應的頂點 (x_i, y_i) 周圍相交產生， $i = 1, \dots, N$ 。

【0077】 本發明進一步利用了觀察到的優勢；在近軸近似中（亦即， $r \ll d$ ），因此 $\delta_i = \left(\frac{r_i}{d}\right)^2 \ll 1$ ，可用方括號內的泰勒展開式的表達式的前幾個非零項在 (x_i, y_i) 附近進一步計算此種焦散面的局部表示的近似值：

$$1 - \sqrt{1 + \frac{n+1}{n-1} \delta_i^2} \approx -\frac{n+1}{2(n-1)} \delta_i^2 + \frac{(n+1)^2}{8(n-1)^2} \delta_i^4 + \dots$$

【0078】 例如，若考慮點 (x_i, y_i) 周圍 $F(x, y)$ 的局部逼近 $f_i(x, y)$ 且只考慮泰勒展開式的第一個非零項，則得到局部表示的簡化近似值：

$$f_i(x, y) \approx f_i(x_i, y_i) - \frac{d}{2(n-1)} \left(\frac{r_i}{d}\right)^2$$

上式描述圍繞以 (x_0, y_0) 為中心的軸的旋轉拋物面，如圖 8 所示，其具有相對於在 $z=0$ 處的 (x, y) 平面的「高度」 $z_i = f_i(x_i, y_i)$ ，及此「高度」 z_i 對應於拋物面的頂點（空間坐標 (x_i, y_i, z_i) ）。對於到下一個非零階（ $k=4$ ）的泰勒展開式，得到點 (x_i, y_i) 周圍的局部表示的近似值：

$$z = f_i(x, y) \approx f_i(x_i, y_i) - \frac{d}{2(n-1)} \left(\frac{r_i}{d}\right)^2 + \frac{d(n+1)}{8(n-1)^2} \left(\frac{r_i}{d}\right)^4$$

【0079】 當考慮由接近局部表示 $f_i(x, y)$ 的第一非零階的近似值給出的 $F(x, y)$ 的分段拋物面近似值時，兩個此類（圓形）拋物面（其分別具有高於點 (x_i, y_i) 的高度 z_i 及高於相鄰點 (x_j, y_j) 的高度 z_j ）的相交通常在垂直於連接兩點 (x_i, y_i) 和 (x_j, y_j) 的直線的平面中定義拋物線。因此，對於圖像平面的一組點 $\{(x_i, y_i), i=1, \dots, N\}$ 及相應的一組拋物面的頂點的高度 $\{z_i, i=1, \dots, N\}$ （其分別與該等點相關聯），該等拋物面的相交的所得（外）包絡線（定義分段的光重定向表面）由以尖銳拋物線曲線為界的拋物面的部分形成。可藉由求解單純的二階代數方程來計算該

等曲線。在 $k = 4$ 或更高階的泰勒展開式的情況下，相應的「基本形狀函數」 $z = f_i(x, y)$ 比單純的拋物面更複雜，且分段表面的相交線（當設置該等表面的頂點不同高度時）的計算變得更加費力。

【0080】 在圖 8 所示的實例中，因存在具有（局部）光透射係數 $t(x, y)$ 的遮罩圖案，故入射平行光線以有效的非均勻光強度 $I_M(x, y) = I_0 t(x, y)$ 照射焦散層的平面（進入面） $z = 0$ ，其中 I_0 是入射均勻光強度；因此，對於給定的光重定向表面 $z = F(x, y)$ 的分段近似，亦即，對於給定的一組 N 個頂點 (x_i, y_i, z_i) 和相應的基本形狀函數 $f_i(x, y)$ ， $i = 1, \dots, N$ ，來自初級分段表面的相交的包絡線之在圖像平面的點 (x_j, y_j) 處的強度 $I(j)$ 的貢獻（如圖 9 所示）可經數學地描述為下式：

$$I(j) = \iint I_0 t(x, y) \prod_{i=1, i \neq j}^N H[f_j(x, y) - f_i(x, y)] dx dy,$$

其使用如下式的「追蹤函數」（ i, j 屬於 $\{1, \dots, N\}$ ）：

$$\prod_{i=1, i \neq j}^N H[f_j(x, y) - f_i(x, y)]$$

其中函數 $H[X]$ 是著名的黑維塞 (Heaviside) 階躍函數，其經定義為 $H(X) = \begin{cases} 0, & X < 0 \\ 1, & X \geq 0 \end{cases}$ ，且其中積分取自焦散元件的支持域（亦即「窗口」或光收集區域）。請注意，原則上對窗口的形狀及 / 或大小沒有特定限制。然而，簡單的幾何形狀、緊湊的形狀和凸面形狀有利於計算和實際用途。

【0081】 因此，焦散面 $z = F(x, y)$ 的表示式的分段近似表達式（對於給定的 N 個圖像點 (x_i, y_i) ， $i = 1, \dots, N$ ）由下式給出：

$$F(x, y) \sim \sum_{j=1}^N f_j(x, y) \prod_{i=1, i \neq j}^N H[f_j(x, y) - f_i(x, y)]$$

【0082】 一旦獲得了光重定向表面 $z = F(x, y)$ 的分段近似值（對於給定的 N 個頂點的集合），則就需要估計在圖像平面的各個選定點 (x_i, y_i) ， $i = 1, \dots, N$ 處之相應的光強度分佈 $I(i)$ ， $i = 1, \dots, N$ ，及對於每個目標點 (x_i, y_i) 估計 $I(i)$ 與在對應於要再現的目標焦散圖案的一點處之給定（目標）強度 I_i 之間的差。因此，迭代設置頂點的高度 z_i ， $i = 1, \dots, N$ ，使得總和 $S = \sum_{i=1}^N |I(i) - I_i|^2$ 最小化。

【0083】 例如，若局部分段表面 $f_j(x, y)$ 由泰勒展開式的主項（亦即，拋物面）取近似，則在與剩餘的拋物面（其形成具有各自頂點 (x_i, y_i, z_i) ， $i \neq j$ ， $i \in \{1, \dots, N\}$ 的分段表面 F 且可能亦有焦散層窗口的邊界）相交後，僅在圖像平面上的點 (x_j, y_j) 處的非零強度 $I(j)$ 來自頂點 (x_j, y_j, z_j) 的拋物面的剩餘部分（亦即，拋物面 (j) ）。若拋物面 (j) 被至少一個拋物面 (i) 完全遮住（亦即，若 z_i 相對於 z_j 足夠大），則強度 $I(j)$ 為零。如上所述，兩個拋物面 (i) 和 (j) 的相交輪廓是垂直於連接兩點 (x_i, y_i) 和 (x_j, y_j) 的直線的平面中的拋物線，此平面平行於沿著 z 的光軸：此平面與 (x, y) 平面在 $z = 0$ 處的相交定義了一條直線段。當考慮拋物面 (j) 與

相鄰拋物面 (i) 的相交時，平面 $z = 0$ 上的相應直線段描繪了凸多邊形單元 Ω_j 。顯然，在圖像平面的點 (x_j, y_j) 處傳遞的光強度 $I(j)$ 僅來自穿過遮罩層の入射 (均勻) 平行光線 (由於局部透射係數 $t(x, y)$ 故此遮罩層對光通量密度進行加權) 並由單元 Ω_j 收集；因此，傳遞的光強度 $I(j)$ 與單元 Ω_j 的加權面積 $a(j)$ 成正比；此加權面積 $a(j)$ 亦即為由單元 Ω_j 上的遮罩層的透射係數的局部平均值加權的面積 (其對應於有效權重 $p_j = \iint_{\Omega_j} t(x, y) dx dy$)。當然，與所有相交拋物面的包絡線相關的單元的所有加權面積的總和必須等於完整的「有效」面積 A (在平面 $z = 0$ 上)；亦即，由遮罩透射： $\sum_{i=1}^N a(i) = A$ 。所加權的窗口面積。藉由選擇適當的正規化同時 (迭代地) 最小化總和 $S = \sum_{i=1}^N |I(i) - I_i|^2$ 來解釋此限制。(藉由增加或減少 N 個高度中的至少一者) 每次修改拋物面頂點高度之間的相對差，也相應地修改單元的面積；因此改變頂點的高度相當於改變單元的面積。若例如藉由將 z_j 改為 $z_j + \delta z_j$ (其他高度不變) 來修改對應於相鄰兩個點 (x_i, y_i) 和 (x_j, y_j) 的兩個拋物面的各自頂點的高度 z_i 和 z_j ，則若 δz_j 為正，單元 Ω_i (其與拋物面 (i) 相關) 和單元 Ω_j (其與拋物面 (j) 相關) 之間的邊界段將向單元 Ω_i 移動 (亦即加權面積 $a(i)$ 減小)；若 δz_j 為負則將向單元 Ω_j 移動 (亦即加權面積 $a(i)$ 增加)。此外，由於強度與單元的 (加權) 面積成正比，故最小化總和 S 等效於最小化總和 $\Sigma = \sum_{i=1}^N |a(i) - a_i|^2$ ，其中 a_i 為對應於目標強度 I_i ， $i = 1, \dots, N$ 的面積值。可將加權面積 $a(i)$ 看作是與單

元 Ω_i 相關的參數，及改變拋物面頂點的高度相當於修改形成窗口面積之分區的單元的參數。加權面積 $a(j)$ 來自拋物面的相交，且可藉由上述追蹤函數將加權面積 $a(j)$ 計算為下式（在窗口面積的 (x, y) 平面上進行積分）：

$$a(j) = \frac{I(j)}{I_0} = \iint t(x, y) \prod_{i=1, i \neq j}^N H[f_j(x, y) - f_i(x, y)] dx dy$$

【0084】 上述以拋物面為例的推理仍然成立，即使從光程的平穩性直接導出的表面分段的表達式沒有近似或藉由其泰勒展開式近似到任何（偶數）階 $k > 2$ （因結果表達式仍然描述了一個旋轉表面）：在最小化操作的迭代步驟 n 處，值集 $\{z_i^{(n)}, i = 1, \dots, N\}$ 確定了一組單元 $\{\Omega_i^{(n)}, i = 1, \dots, N\}$ 代表 N 個表面 $\{z = f_i^{(n)}(x, y), i = 1, \dots, N\}$ 的相交與對應的一組加權單元區域 $\{a^{(n)}(i), i = 1, \dots, N\}$ ，其中 $a^{(n)}(j) = \iint \prod_{i=1, i \neq j}^N t(x, y) H[f_j^{(n)}(x, y) - f_i^{(n)}(x, y)] dx dy$ ，限制條件是 $\sum_{i=1}^N a^{(n)}(i) = A$ 且代價函數是 $\sum_{i=1}^N |a^{(n)}(i) - a_i|^2$ 。藉由下式描述光重定向面的近似值：

$$F^{(n)}(x, y) \sim \sum_{j=1}^N f_j^{(n)}(x, y) \prod_{i=1, i \neq j}^N H[f_j^{(n)}(x, y) - f_i^{(n)}(x, y)]^2$$

【0085】 可根據任何已知的最小化方法執行函數（亦即代價函數） $\mathcal{E} = \sum_{i=1}^N |a(i) - a_i|^2$ 的最小化過程，此任何已知的最小化方法例如為（無導數）Nelder-Mead 單純形法（J A Nelder 和 R. Mead，「用於函數最小化的單純形法」，The Computer Journal, vol. 7 (4), 1965 年，第 308 至 313 頁）。當然，也可使用其他無導數最佳化方法，例如坐標下降法（參見：Stephen J. Wright，「坐標下降

演算法」，*Mathematical Programming*，vol.151(1)，2015年6月，第3至34頁)或多級坐標搜尋(「MCS」)方法(參見：W. Huyer和A. Neumaier，「藉由多級坐標搜尋進行全域最佳化」，*Journal of Global Optimization*，vol.14(4)，1999年6月，第331至355頁)。

【0086】 根據本發明及上述光重定向表面的分段表示，藉由以下步驟來求解計算包括遮罩層的焦散層的光重定向表面的技術問題，其中遮罩層經調適成重定向從光源接收的入射光以形成投影圖像，此投影圖像包含目標圖像的給定焦散圖案(亦即，非零光強度的給定分佈)，以下步驟為：

- 提供輸入目標圖像的離散表示，其包括一組 P 之在圖像平面中的坐標為 $\{(x_i, y_i)\}$ 的 N 個圖像像素 p_i ，其中 $i=1, \dots, N$ ，此等 N 個圖像像素 p_i 具有相關的非零目標光強度 $\{I_i\}$ ，此等相關的非零目標光強度 $\{I_i\}$ 分佈在目標圖像的給定區域內且對應於目標圖像的目標焦散圖案；
- 基於光重定向表面的表示來計算焦散層的分段光重定向表面 $z = F(x, y)$ ，其中高度 z 位於 (x, y) 坐標平面上方，此光重定向表面的表示係藉由使分段表面 $f_i(x, y)$ ， $i=1, \dots, N$ 相交的手段來表示，及此等表面分別由焦散層折射或反射並聚焦在圖像平面之坐標為 (x_i, y_i) ， $i=1, \dots, N$ 的點 $P(i)$ 上的光線的光程的平穩性獲得，其中每段表面 $z = f_i(x, y)$ 是圍繞軸旋轉的表面，此軸通穿過 $P(i)$ 並在點 (x_i, y_i, z_i) 處具有頂點，且每段表面 $z = f_i(x, y)$ 具有高度

$z_i = f_i(x_i, y_i)$, $i = 1, \dots, N$, 與 N 個頂點的各自高度值相關聯的分段光重定向表面由對應的 N 個分段表面的相交的包絡線形成；

- 對於給定的一組 N 個分段表面的頂點的各自高度 z_1, \dots, z_N 的值，計算相應的一組光強度值 $I(1), \dots, I(N)$ ，此組光強度值 $I(1), \dots, I(N)$ 藉由經由相關的分段光重定向表面重定向入射光的焦散層分別聚焦在點 $P(1), \dots, P(N)$ 上；及

- 計算對應的 N 個分段表面的 N 個頂點的 N 個高度 z_1, \dots, z_N 的相應值，此計算最小化所計算出的光強度 $I(1), \dots, I(N)$ 的各個值之間的差，所計算出的光強度的各個值經由相關的光重定向表面和目標光強度 I_1, \dots, I_N 的相應對應值而聚焦在點 $P(1), \dots, P(N)$ 上。

【0087】 例如，藉由 *Nelder* 和 *Mead* 的單純形法來最小化代價函數 Σ ，最佳化開始於一組 $N+1$ 個點 $Q(1), \dots, Q(N+1)$ 及對應的一組代價函數值 $\sum_{i=1}^{N+1} Q(i)$ ，此組 $N+1$ 個點 $Q(1), \dots, Q(N+1)$ 位於最佳化 N 維空間中的非退化單純形 S 的頂點處（亦即， N 個高度 z_1, \dots, z_N ）。此單純形法接著對工作單純形 S 執行一系列變換，其旨在降低其頂點處的代價函數值。在每一步驟中，藉由計算一個或多個測試點及其代價函數值，並將該等代價函數值與當前頂點的值進行比較，從而確定變換，其目的是用較好的頂點替換最差的頂點（亦即，其具有最大的代價函數值）。可根據四種啟發式演算法中的一者來選擇測試點：（*i*）反射；

或 (ii) 遠離最差的頂點的擴展；或 (iii) 縮減；或 (iv) 向 (多個) 最佳的頂點收縮。當工作單純形 S 變得足夠小或頂點處的代價函數值足夠接近時，最小化終止。藉由四種啟發式變換，Nelder-Mead 演算法通常每一步只需要一或兩個函數評估，而許多其他直接搜尋方法至少要使用 N 個代價函數評估。在紐約：劍橋大學出版社所出版的「數值食譜：科學的藝術計算(第3版)」(ISBN 978-0-521-88068-8) 中的「第10.5節多維度下坡單純形法(Press, WH; Teukolsky, SA; Vetterling, WT; 及 Flannery, BP 著，2007年)」中給出Nelder-Mead 演算法的直觀解釋：「下坡單純形法現在需要一系列步驟，大多數步驟只是將函數最大的單純形點（「最高點」）穿過單純形的相反面移動到較低點。該等步驟稱為反射，且該等步驟經構造成保持單純形的體積（從而保持其非簡併性）。當單純形法可以如此做時，單純形法在一方向或另一方向擴展單純形以採取更大步。當單純形法到達「谷底」時，單純形法會在橫向方向上自行收縮並試圖滲入谷底。若出現單純形試圖「穿過針眼」的情況，單純形法會在各個方向上自行收縮，將自己拉到最低（最佳）點附近。」

【0088】 根據本發明的較佳模式，藉由(廣義)幕圖法(也稱為 Voronoi 圖方法或 Laguerre/Voronoi 圖方法(參見 F. de Goes et al., 「藉由最佳傳輸的藍雜訊」, CAN Transactions on Graphics, Vol. 31 (6), (SIGGRAPH Asia) 2012) (另見有可用的源代碼的

網

站

<http://www.geometry.caltech.edu/BlueNoise/>)

)而有利地獲得最佳光重定向表面。確實，此種方法是強大的且證明了在對應於本發明的最佳化問題的情況下，因最小化權重的凹函數（不要與單元面積由於傳輸係數 $t(x, y)$ 所導致的權重混淆），權重 w_i 在此對應於高度 z_i ，容量 m_i 在此對應於單元加權面積 $a(i)$ （特別參見上文所引用的 F. de Goes 等人的文章），冪圖法是作為「.....對於任何規定的容量限制」的唯一解決方案。

【0089】 由於任何圖像都可藉由有限的像素集合來近似，故焦散面可藉由相應的分段表面（例如拋物面）的組合來近似。因此，給定目標圖像 $I_t(x', y')$ ，將計算生成此目標圖像的焦散面的問題簡化成為一組近似 $I_t(x', y')$ 的給定點找到合適的一組權重 $\{w_i\}$ 。

【0090】 在最佳傳輸假設下（參見上述提到的 F. de Goes 等人的文章），此相當於為位置 $\{(x_i, y_i)\}$ 的冪圖找到權重 $\{w_i\}$ （此處為高度 $\{z_i\}$ ），使得容量 $\{m_i\}$ （在此是加權單元面積 $\{a(i)\}$ ）與目標圖像強度 $\{I_t(x_i, y_i)\}$ 成正比。一旦藉由冪圖方法獲得一組最佳高度 $\{z_i, i = 1, \dots, n\}$ 和相應的單元邊界 $\partial \Omega_i$ （加權面積 $a(i)$ 的單元 Ω_i ），就藉由考慮圓柱體的相交來重建分段表面，此等分段表面沿 z 軸構建且其底由單元的邊界以對應的分段表面（其具有在該等所得到的高度處的頂點）形成。在一個較佳模式中，分段表面由拋物面近似：在此種情況下，單元 Ω_i 的邊界 $\partial \Omega_i$ 是

多邊形的，且大大簡化了點到邊界的距離與梯度的計算。在更一般的情況下（亦即，分段表面沒有近似值，或藉由大於2階的泰勒展開式取近似值），單元 Ω_i 的邊界 $\partial\Omega_i$ 仍然是閉合曲線但係由彎曲線組成，以上提到的點到邊界的距離和梯度的計算更複雜。

【0091】 可藉由單純的梯度下降演算法來解決函數 $\sum_i |m_i - I_i|^2$ 的 w_i 最小化（例如，參見上文提到的F. de Goes等人的文章）。方法從初始集合 $\{w_i\}$ 開始（最常見的是取所有值相等），接著朝著對應分區的最佳集合 $\{w_i\}$ 將其收斂到容量 m_i 的單元 Ω_i 。接著從得到的最佳集合 $\{w_i\}$ 得到拋物面元素的高度集合 $\{z_i\}$ ，並從得到的多邊形單元 Ω_i 的邊界 $\partial\Omega_i$ ，藉由使用拋物面之（沿 z ）垂直的基礎 $\partial\Omega_i$ 的圓柱體的相交，構建最終的分段焦散面。

【0092】 具有根據本發明計算和設計的光重定向表面的焦散層形成包括焦散圖案的投影圖像，焦散圖案再現人容易識別的參考圖案，此人不使用其他手段（亦即，用肉眼）或普通且容易獲得的手段，使得可很容易地讓人視覺驗證用此種光學安全元件標記的物品。折射光學安全元件的透明態樣使其特別適用於標記至少部分透明的基材（例如，玻璃或塑膠瓶、瓶蓋、手錶眼鏡、珠寶及寶石等）。

【0093】 所揭露的用於設計焦散層的折射透明或部分透明的光重定向表面或反射光重定向表面的方法是快速的、縮放的、可靠的且準確的。此方法能夠顯著減少從目標圖像

到相應表面所需的迭代次數，因為不需要校正或調整。此也減少了設計所需的總時間。

【0094】 此外，消除了計算和整合法向場的步驟，並提供了經由最小化容量限制的有效最佳化技術。

【0095】 此外，完全消除了超出指定目標圖像和接受結果表面的使用者干預。消除對使用者干預的需要顯著簡化了此方法在生產環境中的實施，在此種生產環境中，專業技能不一定為可用的。

【0096】 下文描述另一種設計包括遮罩層的焦散層的浮雕圖案的方法，以圖2所示的光學元件為例。此方法經調適自「反向焦散設計」方法，此「反向焦散設計」方法如 M. Pauly、R. Testuz 和 Y. Schwartzburg 的歐洲專利 EP 2 963 464 B1 中詳述的一般，其藉由引入具有可變局部透射係數（根據遮罩圖案）的遮罩層的存在。Pauly 等人的方法（參見 EP 2 963 464 B1，特別是圖2和段落 [0047] 至 [0073]）首先找到每個光線如何最佳映射（此最佳映射藉由光重定向表面的每個點的方向和強度定義），此最佳映射必須被轉向以在指定平面上產生給定的輸出光分佈。給定此映射，則可找到表面上每個點的法線方向，如此一來使用司乃耳定律，出射光線與指定的輸出點相交。此導致了目標法線場。然後，必須找到具有此法向場作為屬性的連續表面。此場通常是不可積分的：有必要找到一個盡可能匹配此場的表面，例如使用 Poisson 積分或求解類似的非線性方程式。然後迭代該等步驟直到收斂為止。

【0097】 自 P a u l y 等人的方法所調適的方法涉及以下步驟：

- 提供包括遮罩層的焦散層的折射或反射光重定向表面（參見 E P 2 9 6 3 4 6 4 B 1 的圖 2 的表面（5））的初始幾何形狀；
- 用網格離散化初始光重定向表面，此網格表示穿過此表面上的遮罩層的人射照明，其中網格頂點的每個位置 x_s 包括光線的人射方向和強度值；
- 生成初始光重定向表面上的網格的一組 S 個位置的 V o r o n o i 圖；
- 用網格離散化目標表面，其中從折射或反射光重定向表面和入射照明初始化網格頂點的位置和光線方向；
- 追蹤來自光源的光線穿過網格頂點的位置 x_s 處的折射或反射光重定向表面到接收器上（參見 E P 2 9 6 3 4 6 4 B 1 的圖 2 的接收器螢幕（3）和圖 7），以獲得接收器上源輻照度 E_s 的分段線性表示，其中接收器上 S 組位置中的每個位置 s_i 近似表示成相同量的通量 Φ_i ；
- 確定（參見 E P 2 9 6 3 4 6 4 B 1 的段落 [0047] - [0049]）離開焦散層的折射或反射光重定向表面的每條光線在接收器上的目標位置 x_R ，使得整體輻照度分佈在接收器上緊密匹配目標輻照度 E_T ，並確定光重定向表面上的 V o r o n o i 圖的每個 V o r o n o i 單元 C_i 需要如何變形和移動，使其通量 Φ_i 分佈成匹配目標分佈 E_T ，確定步驟包括以下步驟（參見 E P 2 9 6 3 4 6 4 B 1 的段落 [0023] 和 [0028]）：

(i) 根據每個光線的接收器上的目標位置 x_R ，使用司乃耳定律來為網格的每個頂點確定光重定向表面上的法線；

(ii) 移動頂點以最好地匹配目標表面法線，同時考慮通量密度 Φ_i ；

重複步驟 (i) 和 (ii)；及

- 在上述迭代收斂時，就對光重定向表面上的法線進行積分以獲得最佳化的目標表面（參見 EP 2 963 464 B1 的圖 2 的表面 (7)）。

【0098】 另一種設計包括遮罩層的焦散層的浮雕圖案的方法是基於 M. Papas、W. Jarosz、W. Jacob、S. Rusinkiewicz、W. Matusik 和 T. Weyrich 的方法：「基於目標的焦散」，此方法刊載於 2011 年所出版的 EUROGRAPHICS 2010 的第 30 卷第 2 期中，其係由 M. Chen 和 O. Deussen 擔任客座編輯。另見該等作者的美國專利案號 US 9,188,783 B2。該等文件揭露了用於設計和製造在被光源照射時產生所需圖像的表面的技術。所需圖像經分解成一組高斯核。確定對應於每個高斯核的微貼片透鏡的形狀，並且組裝所得微貼片透鏡以形成高度連續的表面，此表面將投射由複數個高斯焦散的總和形成的所需圖像的近似值。所揭露的技術可用於創建可修正以用於銑削或其他製造處理的光重定向表面的設計。

【0099】 具體來說，專利 US 9,188,783 B2（參見第 5 欄第 3 至 36 行和圖 2）和上文所引用的文章（參見第 4 節，

高斯圖像分解)解釋了如何使用如下式的 m 各向異性高斯核函數的非負線性組合來近似圖像：

$$f(x) = \sum_{i=0}^m \frac{w_i}{2\pi \sqrt{\det \Sigma_i}} \exp\left(-\frac{1}{2}(x - \mu_i)^T \Sigma_i^{-1} (x - \mu_i)\right)$$

其中要計算的參數是二維 m 項高斯混合模型 (GMM) 的權重 w_i 、均值 μ_i 和共變異數矩陣 Σ_i 。在 P a p a s 等人的方法中，權重都具有相同的值 $w_i = 1/m, i = 1, \dots, m$ 。然而，在存在遮罩層的情況下，需要藉由貼片對應區域的遮罩層的 (平均) 透射係數來調整與每個貼片相關聯的權重。因此， t_i 指定貼片面積 i 的遮罩層的平均透射係數，則在上述線性組合中必須使用可變權重 $w_i = 1/m * t_i, i = 1, \dots, m$ ，而不是 P a p a s 等人的統一權重。藉由此種權重修改，P a p a s 等人的方法的其餘步驟與引用的專利和文章中所揭露的內容相同。

【0100】 上述揭露的標的經認為是說明性的而非限制性的，且上述揭露的標的提供對由獨立請求項所限定的本發明的更好理解。

【符號說明】

【0101】

1：光學元件

2：焦散層

2'：焦散元件

3：折射表面 / 光重定向表面

4 : 螢幕

5 : 焦散圖案

5' : 焦散圖案

6 : 遮罩層

7 : 遮罩圖案

8 : 可見圖像

9 : 眼睛

10 : 負透鏡元件

10' : 正透鏡元件

【生物材料寄存】

國內寄存資訊(請依寄存機構、日期、號碼順序註記)

無

國外寄存資訊(請依寄存國家、機構、日期、號碼順序註記)

無

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種包括一焦散層的光學元件，該焦散層由一反射、或折射透明、或部分透明的第一光學材料片製成且具有一光重定向表面，該光重定向表面具有一浮雕圖案，該光學元件特徵在於：

該光學元件包括一遮罩層，該遮罩層分別設置在該光學元件的一光學表面上或在該光學元件內，該遮罩層包括一遮罩圖案並具有一可變的光透射係數，該遮罩層經調適成至少部分地透射用一點狀光源照射該光學元件時的人射光；及

該焦散層的該光重定向表面的該浮雕圖案經配置為重定向由該光學元件從該點狀光源接收的人射光並形成包含一可見焦散圖案的一投影圖像，該可見焦散圖案再現一參考圖案，

其中在用該點狀光源照射該光學元件時，該遮罩層經配置為顯示一可見圖像，該可見圖像再現一參考圖像，該可見圖像與該投影圖像不同。

【請求項2】 如請求項1所述的光學元件，其中該浮雕圖案的一深度的一輪廓具有突然變化，該等突然變化係藉由根據一計算出的具有不連續性的浮雕圖案輪廓對該第一光學材料片的一表面進行機械加工而形成，該經機械加工的突然變化對應於該不連續性。

【請求項3】 如請求項1所述的光學元件，其中該浮雕圖案的輪廓具有小於或等於 $30\ \mu\text{m}$ 的一最大深度。

【請求項4】 如請求項1所述的光學元件，其中該浮雕圖案的輪廓具有小於或等於 $250\ \mu\text{m}$ 的一最大深度。

【請求項5】 如請求項1所述的光學元件，其中該光重定向表面的該浮雕圖案經調適成重定向在距該光重定向表面的一距離為 d_s 處從該光源接收的入射光，並形成該投影圖像，該投影圖像包含在距該光重定向表面的一距離為 d_i 處的一牆壁表面上的該焦散圖案， d_i 的一值小於或等於 $30\ \text{cm}$ ，及 d_s/d_i 的一比值大於或等於 5。

【請求項6】 如請求項1所述的光學元件，進一步包括一透鏡元件，該透鏡元件與該焦散層相鄰且由一折射透明或部分透明的第二光學材料製成，該透鏡元件經配置為重定向來自該光源由該光學元件接收的入射光，以形成包含該可見焦散圖案的該投影圖像，該可見焦散圖案再現該參考圖案，且其中

該光重定向表面具有一焦距 f_c ；及

該透鏡元件具有一焦距 f_L ，該焦距 f_L 經配置為在經由該光學元件觀看該光源的一觀察者的一視網膜上直接形成包含該可見焦散圖案的該投影圖像。

【請求項7】 如請求項6所述的光學元件，包括以下之一者：

a) 該焦散層具有一正焦距 ($f_c > 0$)，及該透鏡元件具有一負焦距 ($f_L < 0$)，或

b) 該焦散層具有一負焦距 ($f_c < 0$)，及該透鏡元件具有一正焦距 ($f_L > 0$)。

【請求項 8】 如請求項 7 所述的光學元件，其中該透鏡元件的該焦距 f_L 與該焦散層的該焦距 f_C 的一關係滿足下式：

$$R - \left(\frac{1}{f_L} + \frac{1}{f_C} - \frac{1}{d_S} \right)^{-1} \geq d_R$$

其中：

R 是該焦散層與該觀察者的一眼睛之間的距離；

d_S 是該光源與該光學元件之間的一距離；及

d_R 是距離該眼睛的一舒適閱讀距離，其至少為 25 公分。

【請求項 9】 如請求項 1 所述的光學元件，標記從包括以下各項的一群組中選擇的一物品：消費品、有價文件、印花稅票和鈔票。

【請求項 10】 一種由一觀察者視覺鑑別一物品的方法，該物品用如請求項 1 至 8 中任一項所述之具有一遮罩層的光學元件標記，該方法包括以下步驟：

用一點狀光源照射該光學元件；

視覺觀察包含可見焦散圖案的投影圖像，該可見焦散圖案再現參考圖案；及

根據該觀察者評估該焦散圖案與該參考圖案視覺上相似，確定該物品是真的。

【請求項 11】 如請求項 10 所述的方法，其中，在用該點狀光源照射該光學元件時，該遮罩層經配置為顯示一可見圖像，該可見圖像再現一參考圖像，該方法包括進一

步的步驟：視覺觀察該可見圖像，該可見圖像再現該參考圖像，且其中確定該物品是真的步驟包括以下步驟：由該觀察者進一步驗證該可見圖像與該焦散圖案視覺上不同。

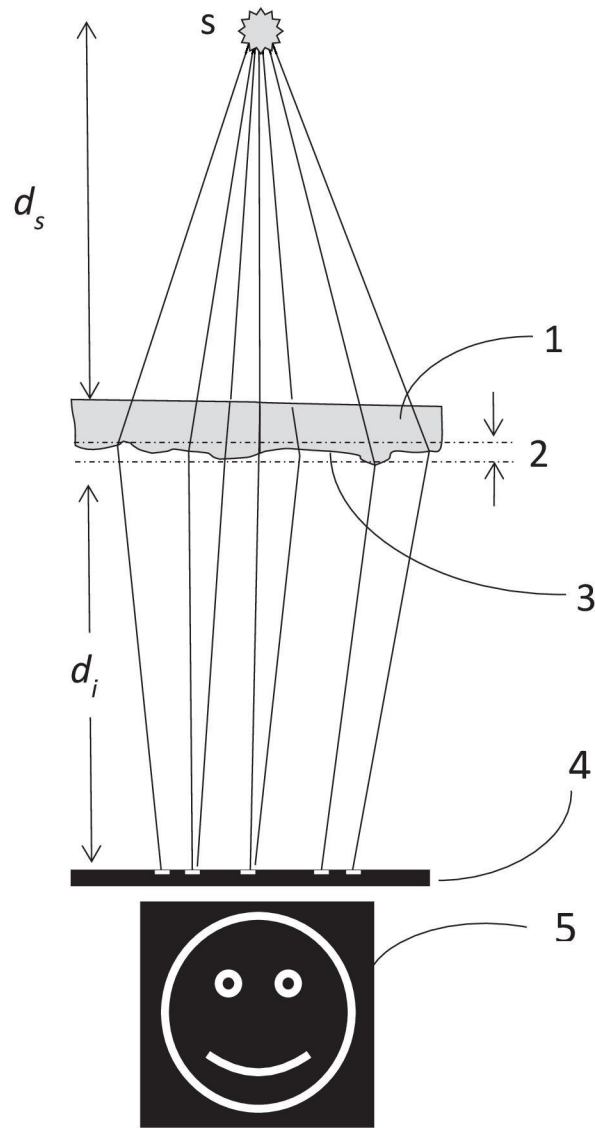


圖 1

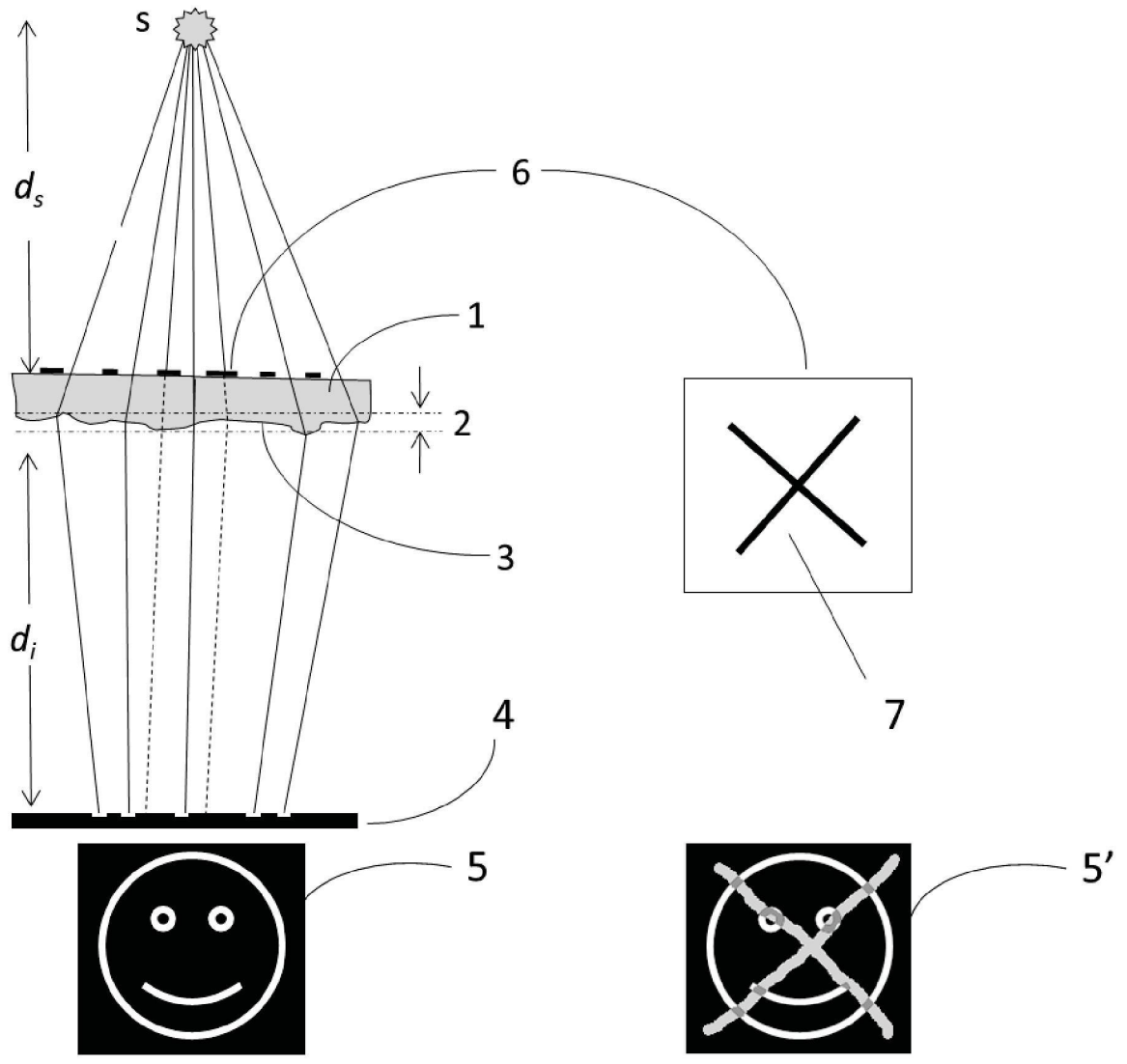


圖 2

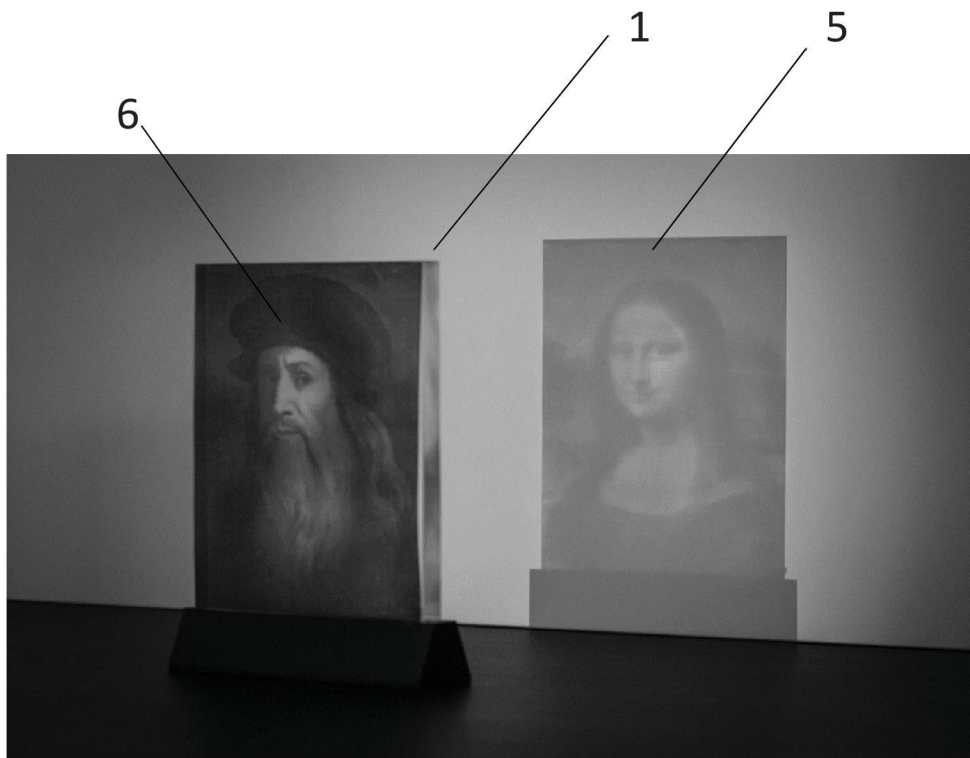


圖3A

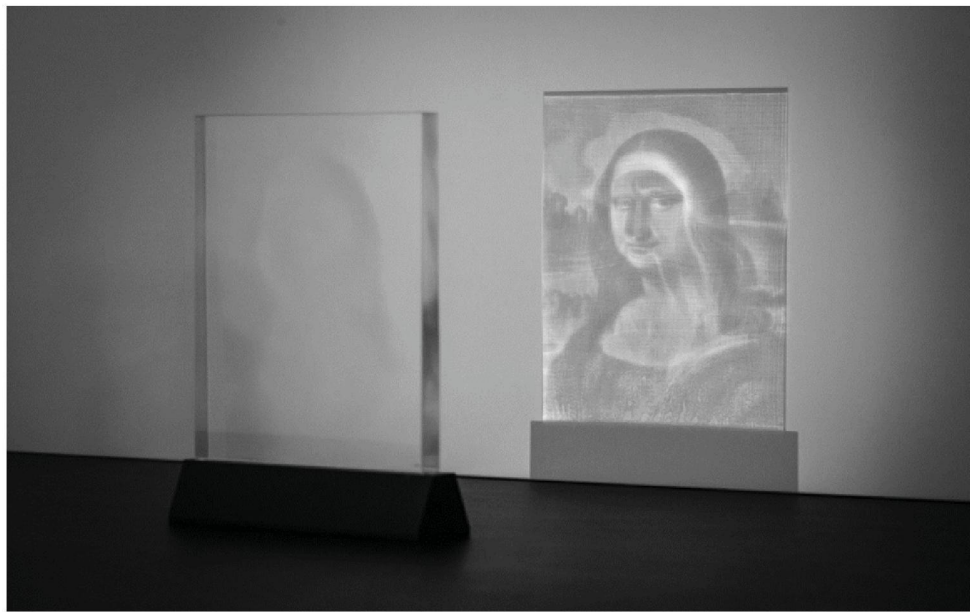


圖3B

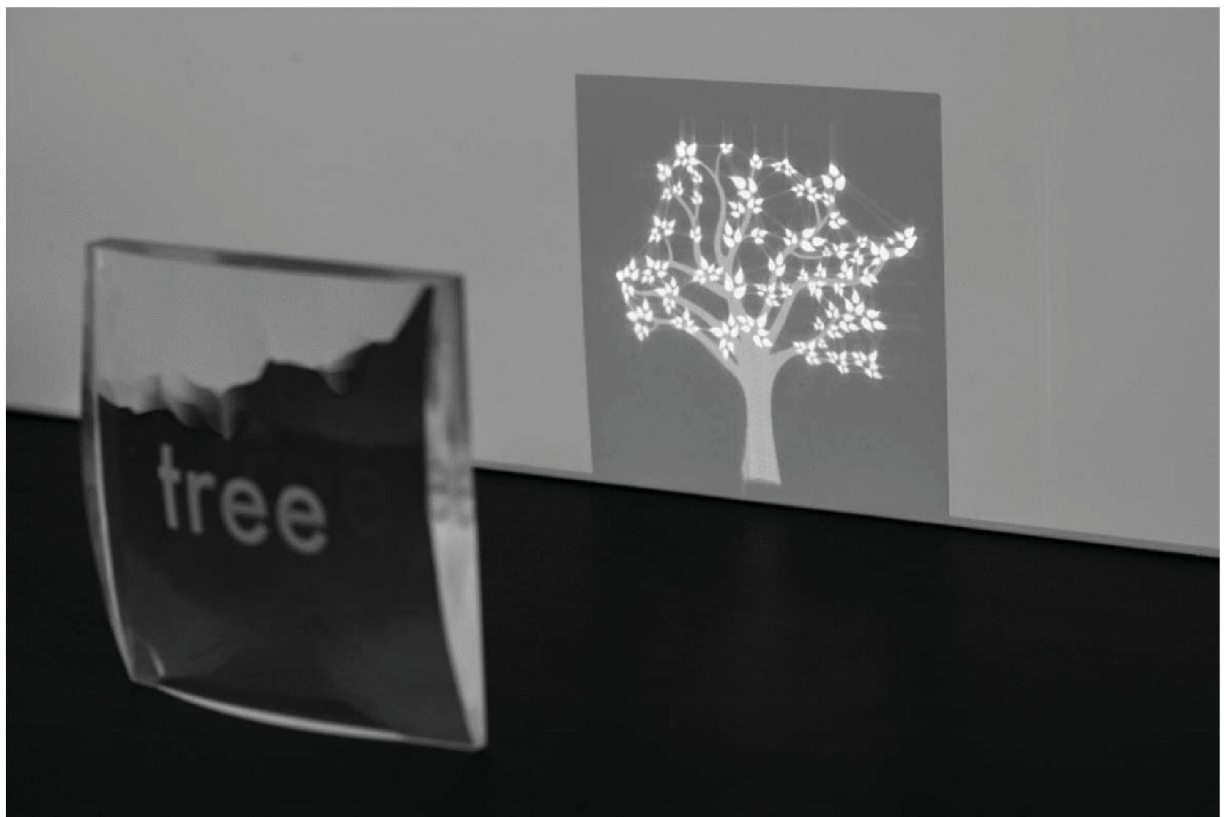


圖3C

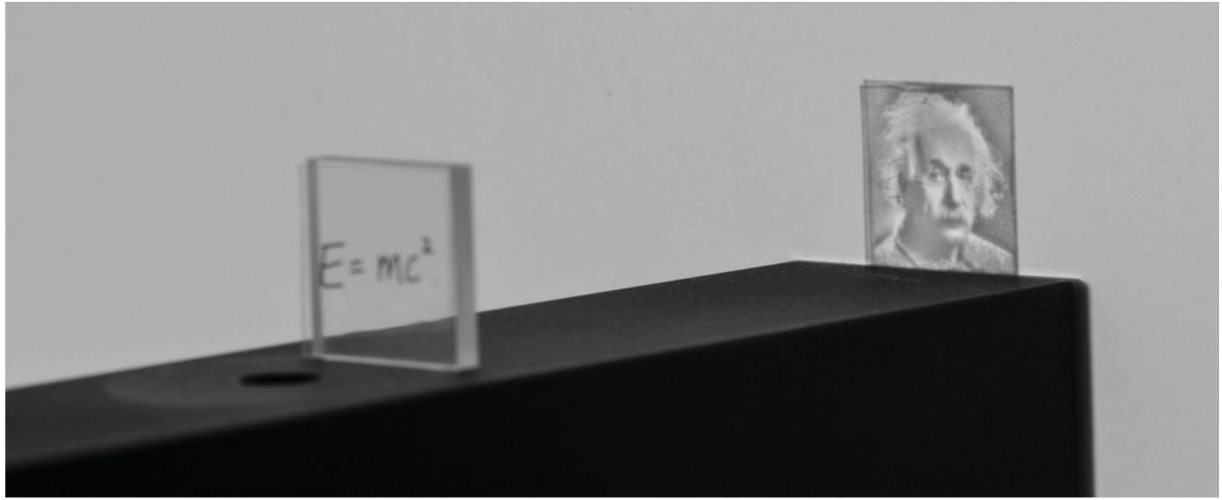


圖 4A

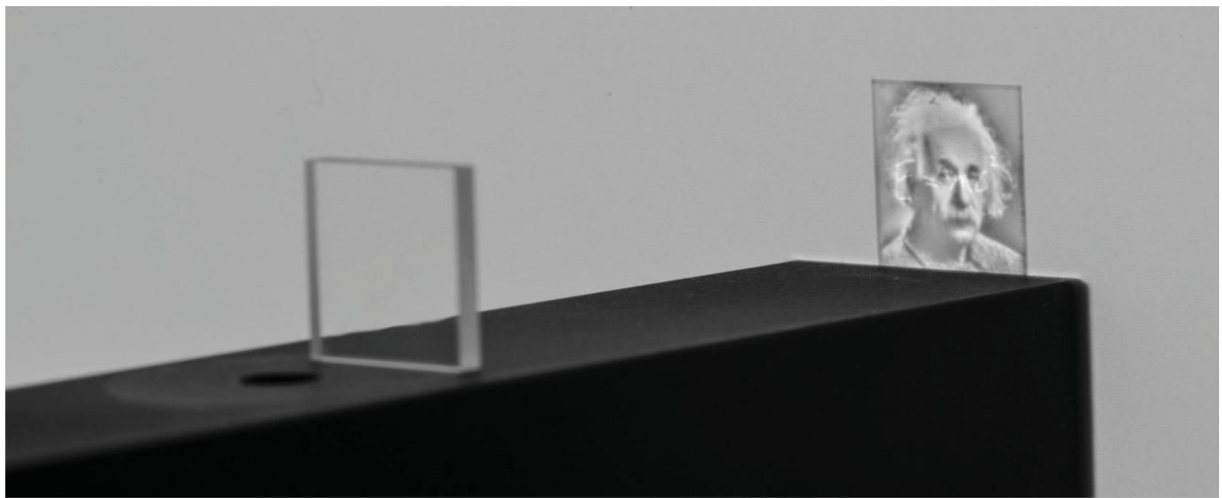


圖 4B

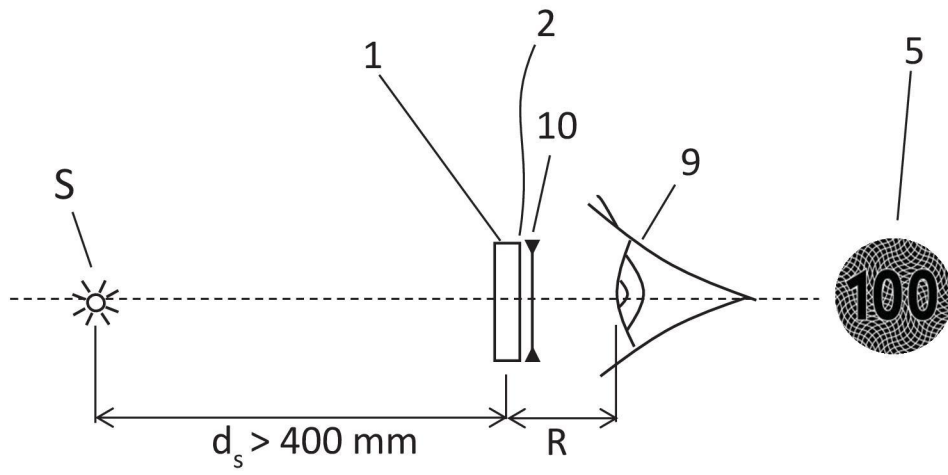


圖 5

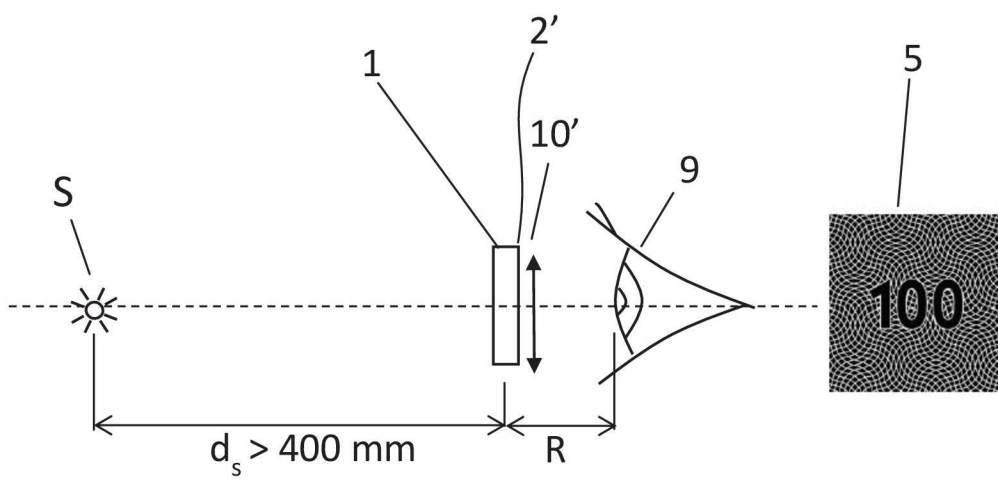
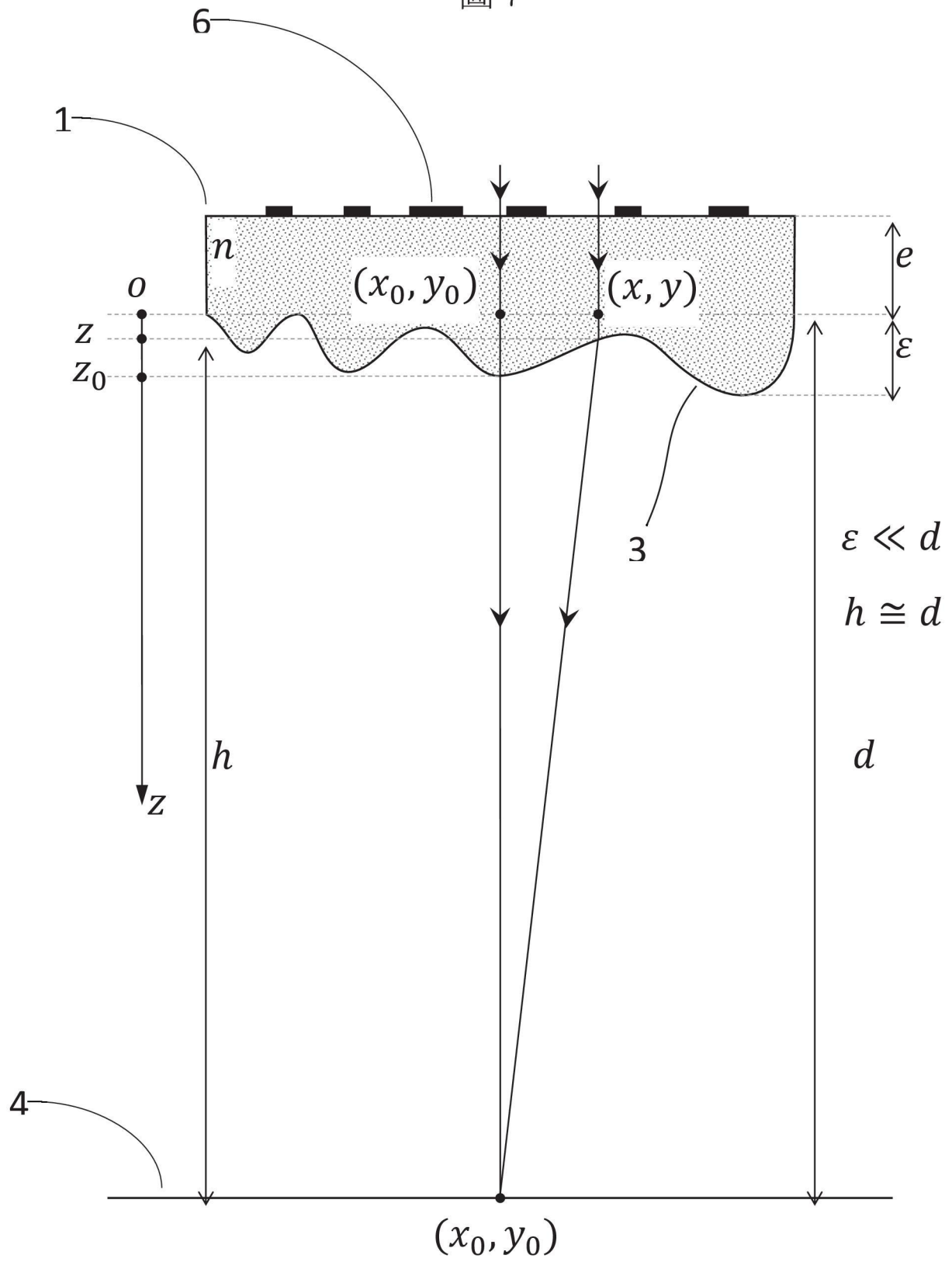


圖 6

圖 7



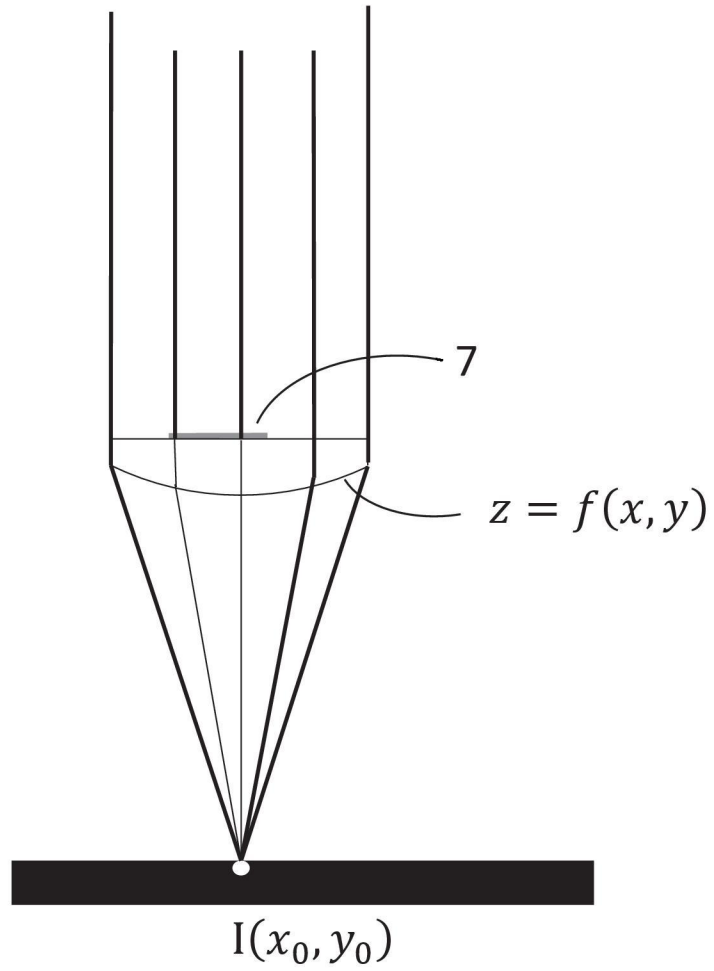
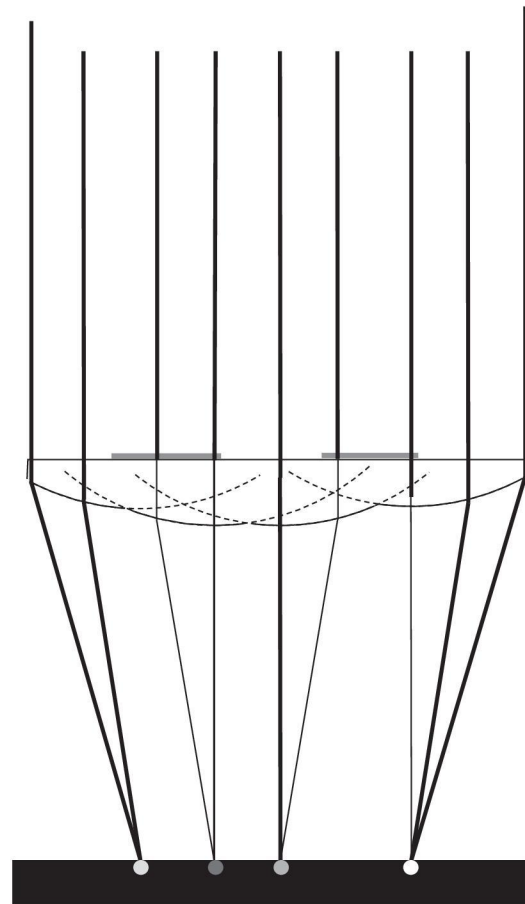


圖 8



$I(\{x_i, y_i\})$

圖 9