



(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 I884834 B

(45)公告日：中華民國 114 (2025) 年 05 月 21 日

(21)申請案號：113127196

(22)申請日：中華民國 109 (2020) 年 12 月 03 日

(51)Int. Cl. : **G02B1/10 (2015.01)****G02B6/122 (2006.01)****F21V8/00 (2006.01)**

(30)優先權：2019/12/05 美國

62/943,867

(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：丹齊格 尤奇 DANZIGER, YOCHAY (IL)；沙爾林 埃拉德 SHARLIN, ELAD (IL)

(74)代理人：廖俊龍

(56)參考文獻：

US 2010/0201953A1

US 2016/0334562A1

US 2019/0212487A1

WO 2018/065975A1

WO 2019/195193A1

審查人員：林君濤

申請專利範圍項數：22 項 圖式數：21 共 50 頁

(54)名稱

光學設備和製造光學設備的方法

(57)摘要

透明基板具有兩個平行面，並且通過內反射引導準直圖像光。第一組內部表面相對於平行面傾斜地部署在基板內。第二組內部表面與第一組內部表面平行、交錯並且呈交疊關係地部署在基板內。第一組的每個內部表面包括第一塗層，第一塗層具有第一反射特性，以至少部分地反射入射光的分量的至少第一子集。第二組的每個內部表面包括第二塗層，第二塗層具有與第一反射特性互補的第二反射特性，以至少部分地反射入射光的分量的至少第二子集。內部表面的組進行協作以反射第一子集和第二子集的光的所有分量。

指定代表圖：

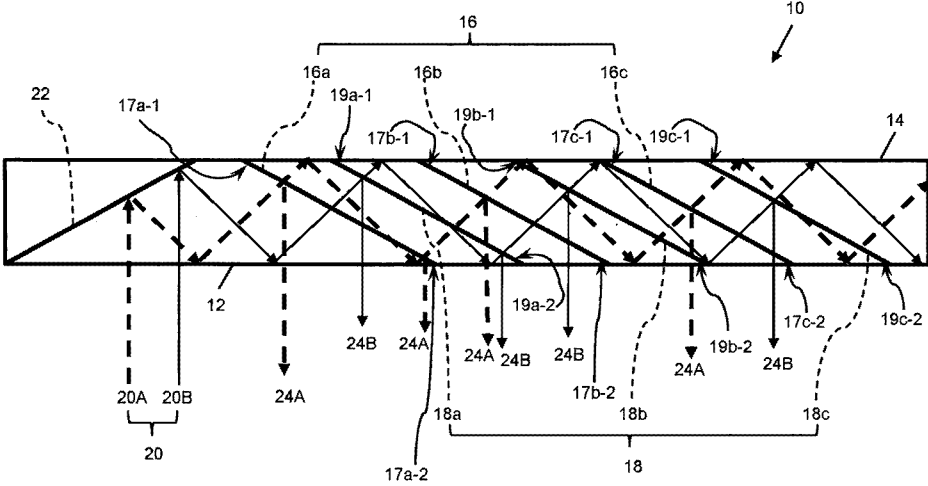


圖 1

符號簡單說明：

10:光導光學元件，光波導(LOE)

12,14:平行面(主外部表面，表面)

16:第一組

16a,16b,16c,18a,18b,18c:部分反射表面(內部表面，內部部分反射器，部分反射器，小平面)

17a-1,17b-1,17c-1,19a-1,19b-1,19c-1:起始端

17a-2,17b-2,17c-2,19a-2,19b-2,19c-2:終止端

18:第二組

20:照明光束，投影圖像，圖像照明

20A,20B:光線

22:光學耦合構造

24A,24B:反射光線



I884834

發明摘要

※ 申請案號：

※ 申請日：

※IPC 分類：

【發明名稱】(中文/英文)

光學設備和製造光學設備的方法

Optical device and Method of fabricating Optical Device

【中文】

透明基板具有兩個平行面，並且通過內反射引導準直圖像光。第一組內部表面相對於平行面傾斜地部署在基板內。第二組內部表面與第一組內部表面平行、交錯並且呈交疊關係地部署在基板內。第一組的每個內部表面包括第一塗層，第一塗層具有第一反射特性，以至少部分地反射入射光的分量的至少第一子集。第二組的每個內部表面包括第二塗層，第二塗層具有與第一反射特性互補的第二反射特性，以至少部分地反射入射光的分量的至少第二子集。內部表面的組進行協作以反射第一子集和第二子集的光的所有分量。

【英文】

【代表圖】

【本案指定代表圖】：圖1。

【本代表圖之符號簡單說明】：

10:光導光學元件,光波導(LOE)

12,14:平行面(主外部表面,表面)

16:第一組

16a,16b,16c,18a,18b,18c:部分反射表面(內部表面,內部部分反射器,部分反射器,小平面)

17a-1,17b-1,17c-1,19a-1,19b-1,19c-1:起始端

17a-2,17b-2,17c-2,19a-2,19b-2,19c-2:終止端

18:第二組

20:照明光束,投影圖像,圖像照明

20A,20B:光線

22:光學耦合構造

24A,24B:反射光線

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)

光學設備和製造光學設備的方法

Optical device and Method of fabricating Optical Device

【技術領域】

【0001】 本發明要求 2019 年 12 月 5 日提交的美國臨時專利申請第 62/943,867 號的優先權，其全部內容通過引用合併在本文中。

【0002】 本發明涉及顯示系統，並且特別地涉及適合用於顯示器中的光導光學元件。具體地，本發明涉及採用互補塗覆的部分反射器的光導光學元件，以及具有減少的光散射的光導光學元件。

【先前技術】

【0003】 特別適合於平視顯示器 (head-up display, HUD) (例如用於虛擬實境和擴增現實應用的近眼顯示器 (near-eye display, NED)) 的某些顯示技術採用了具有一系列內部傾斜、相互平行的部分反射表面的光導光學元件 (也被稱為“光波導”或“透光基板”) 內部表面。圖像投影儀光學地耦合到波導並且將與準直圖像相對應的光注入到波導中，以便通過內反射傳播通過波導。傳播光通過在一系列部分反射表面處的反射從波導朝向觀察者的眼睛逐漸耦出，從而與圖像投影儀的輸出孔徑相比，擴大了與眼睛相對的有效光學孔徑。

【0004】 部分反射表面的反射性對入射光的各種參數敏感，該參數包括光譜範圍、偏振方向和入射角。部分反射表面通常塗覆有光學塗層以生成期望的反射性圖案。

【發明內容】

【0005】 本發明是一種光導光學元件。

【0006】 根據本發明的一個方面的某些優選實施方式提供了一種光導光學元件，其具有根據使得能夠同時滿足光譜、偏振和角度均勻性要求的光學塗覆方案塗覆的內部部分反射器。在本發明的該方面的其他實施方式中，在滿足上述要求的同時，將不期望的方向上的反射最小化。根據本發明的另一方面的

某些優選實施方式提供了一種光導光學元件，其具有被施加到該光導光學元件的一個或多個外部表面的一個或更多個區域的一定量的反射抑制材料，反射抑制材料減少了光導光學元件內的光散射。

【0007】 根據本發明的實施方式的教導，提供了一種光學設備。該光學設備包括：透光基板，其具有至少兩個平行主外部表面，以用於通過主外部表面處的內反射來引導指示準直圖像的光；第一組相互平行內部表面，其相對於外部表面傾斜地部署在基板內；以及第二組相互平行內部表面，其與第一組內部表面平行、交錯並且呈交疊關係地部署在基板內，第一組的每個內部表面的至少一部分包括第一塗層，第一塗層具有第一反射特性以至少部分地反射入射光的分量的至少第一子集，並且第二組的每個內部表面的至少一部分包括第二塗層，第二塗層具有與第一反射特性互補的第二反射特性以至少部分地反射入射光的分量的至少第二子集，使得內部表面的組進行協作以反射第一子集和第二子集的光的所有分量。

【0008】 可選地，分量的第一子集包括與第一顏色相對應的光，並且分量的第二子集包括與第二顏色相對應的光。

【0009】 可選地，分量的第一子集包括具有第一偏振方向的光，並且分量的第二子集包括具有第二偏振方向的光。

【0010】 可選地，第一塗層或第二塗層的至少一個包括結構偏振器。

【0011】 可選地，第一塗層或第二塗層的至少一個包括電介質塗層。

【0012】 可選地，第一塗層或第二塗層的至少一個包括金屬塗層。

【0013】 可選地，第一塗層被構造成：以第一反射效率反射具有與第一顏色相對應的波長的光，以第二反射效率反射具有與第二顏色相對應的波長的光，以及以小於第一反射效率的第三反射效率反射具有與第三顏色相對應的波長的光，並且第二塗層被構造成以大於第三反射效率的反射效率來反射具有與第一顏色相對應的波長的光，使得第一塗層和第二塗層對第三顏色的組合反射效率大於或等於第一反射效率。

【0014】 可選地，第二反射效率小於第一反射效率，並且第二塗層被構造成以大於第二反射效率的反射效率來反射具有與第二顏色相對應的波長的光，

使得第一塗層和第二塗層對第二顏色的組合反射效率大於或等於第一反射效率。

【0015】 可選地，第二塗層被構造成以約等於第一反射效率的反射效率來反射具有與第一顏色相對應的波長的光。

【0016】 可選地，第一塗層被構造成：以第一反射效率反射具有與第一顏色相對應的波長的光，以小於第一反射效率的第二反射效率來反射具有與第二顏色相對應的波長的光，以及以小於第一反射效率的第三反射效率來反射具有與第三顏色相對應的波長的光；並且第二塗層被構造成：以大於第二反射效率和第三反射效率的反射效率來反射具有與第一顏色相對應的波長的光，以大於第二反射效率和第三反射效率的反射效率來反射具有與第二顏色相對應的波長的光，以及以大於第二反射效率和第三反射效率的反射效率來反射具有與第三顏色相對應的波長的光。

【0017】 可選地，第一塗層包括圖案化塗層，圖案化塗層包括以規定圖案佈置在第一組的每個內部表面上的反射材料的若干份。

【0018】 可選地，反射材料的每個份在內部表面的平面中具有圓形形狀。

【0019】 可選地，反射材料的每個份在內部表面的平面中具有長方形形狀。

【0020】 可選地，反射材料是電介質材料。

【0021】 可選地，反射材料是金屬材料。

【0022】 可選地，在反射材料的份之間形成的空間是透明的。

【0023】 可選地，第二反射材料部署在內部表面上在反射材料的份之間形成的空間中。

【0024】 可選地，第二反射材料包括電介質材料。

【0025】 可選地，第二反射材料以規定圖案佈置在內部表面上。

【0026】 可選地，第一組的內部表面上的份的數目或份的大小中的至少一個相對於光穿過基板的主傳播方向而增加。

【0027】 可選地，光學設備還包括一定量的光反射抑制材料，光反射抑制材料部署在反射材料與第一組的內部表面的至少一部分之間。

【0028】 可選地，光反射抑制材料包括光吸收材料。

【0029】 可選地，光反射抑制材料包括光散射材料。

【0030】 可選地，第一塗層部署在第一組的每個內部表面的第一部分上，並且第二塗層部署在第一組的每個內部表面的第二部分上，並且第二塗層部署在第二組內部表面中的每個內部表面的第一部分上，並且第一塗層部署在第二組的每個內部表面的第二部分上，並且第一組的內部表面的第一部分和第二部分是不交疊的部分，並且第二組的內部表面的第一部分和第二部分是不交疊的部分。

【0031】 可選地，第一組的內部表面和第二組的內部表面將通過主外部表面處的內反射引導的光的一定比例朝向觀察者的眼睛反射出基板。

【0032】 可選地，第一組的內部表面和第二組的內部表面將通過主外部表面處的內反射引導的光的一定比例反射出基板，以使其耦入到第二透光基板中，以用於通過第二透光基板的外部表面處的內反射進行引導。

【0033】 可選地，基板被構造成將光沿一個維度引導穿過基板。

【0034】 可選地，基板被構造成將光沿兩個維度引導穿過基板。

【0035】 可選地，第一組或第二組中的至少之一的至少一個內部表面包括與基板的外部表面中的第一外部表面相關聯的端部區域，端部區域限定至少一個內部表面與基板之間的介面區域，並且外部表面中的第一外部表面具有一定量的光吸收材料，光吸收材料位於在外部表面中的第一外部表面中在介面區域處形成的凹陷中。

【0036】 根據本發明的教導的實施方式，還提供了一種光學設備。該光學設備包括：透光基板，其具有至少兩個平行主外部表面，以用於通過主外部表面處的內反射引導指示準直圖像的光；以及多個相互平行的內部表面，其相對於外部表面傾斜地部署在基板內，內部表面的第一子組的至少一部分包括圖案化塗層，圖案化塗層包括以規定圖案佈置在第一子組的內部表面上的反射材料的若干份，圖案化塗層至少部分地反射入射光的分量的至少第一子集，內部表面的第二子組至少部分地反射入射光的分量的第二子集，並且第一子組的內部表面與第二子組的內部表面具有交疊關係，使得內部表面的子組進行協作以反

射第一子集和第二子集的光的所有分量。

【0037】 可選地，反射材料的每個份在第一子組的內部表面的平面中具有圓形形狀。

【0038】 可選地，反射材料的每個份在第一子組的內部表面的平面中具有長方形形狀。

【0039】 可選地，反射材料是電介質材料。

【0040】 可選地，反射材料是金屬材料。

【0041】 可選地，在反射材料的份之間形成的空間是透明的。

【0042】 可選地，第二反射材料部署在在反射材料的份之間形成的空間中。

【0043】 可選地，第二反射材料包括電介質材料。

【0044】 可選地，第二反射材料以規定圖案佈置在第一子組的內部表面上。

【0045】 可選地，第一子組的內部表面上的分量的數目或分量的大小中的至少一個相對於光穿過基板的傳播方向而增加。

【0046】 可選地，光學設備還包括一定量的光反射抑制材料，光反射抑制材料部署在反射材料與第一子組的內部表面之間。

【0047】 可選地，光反射抑制材料包括光吸收材料。

【0048】 可選地，光反射抑制材料包括光散射材料。

【0049】 可選地，第一子組的內部表面與第二子組的內部表面交錯。

【0050】 可選地，內部表面的第一子組的表面與內部表面的第二子組的表面共面。

【0051】 可選地，內部表面將通過主外部表面處的內反射引導的光的一定比例朝向觀察者的眼睛反射出透光基板。

【0052】 可選地，內部表面將通過主外部表面處的內反射引導的光的一定比例反射出透光基板，以使其耦入到第二透光基板中，以用於通過第二透光基板的外部表面處的內反射進行引導。

【0053】 可選地，基板被構造成將光沿一個維度引導穿過基板。

【0054】 可選地，基板被構造成將光沿兩個維度引導穿過基板。

【0055】 可選地，內部表面中的至少一個內部表面包括與基板的外部表面中的第一外部表面相關聯的端部區域，端部區域限定在至少一個內部表面與基板之間的介面區域，並且外部表面中的第一外部表面具有一定的光吸收材料，光吸收材料位於在外部表面中的第一外部表面中在介面區域處形成的凹陷中。

【0056】 根據本發明的教導的實施方式，還提供了一種光學設備。該光學設備包括：透光基板，其具有至少兩個平行主外部表面，以用於通過主外部表面處的內反射來引導光；至少一個至少內部表面，其相對於外部表面傾斜地部署在基板內，內部表面具有與基板的外部表面中的第一外部表面相關聯的端部區域，端部區域限定內部表面與基板之間的介面區域；以及一定量的光吸收材料，其位於在外部表面中的第一外部表面中在介面區域處形成的凹陷中。

【0057】 可選地，至少一個內部表面包括多個相互平行部分反射表面。

【0058】 可選地，至少一個內部表面被構造成將通過內反射在基板內引導的光耦出基板。

【0059】 可選地，至少一個內部表面被構造成：將光耦入到基板中，以使其通過內反射在基板內傳播。

【0060】 可選地，至少一個內部表面被構造成：將通過內反射在基板內引導的光耦入到第二透光基板中，以使其通過內反射在第二基板內進行傳播。

【0061】 可選地，光吸收材料包括黑色吸收塗料。

【0062】 可選地，一定量的光吸收材料足以填充凹陷。

【0063】 可選地，內部表面具有與基板的外部表面中的第二外部表面相關聯的第二端部區域，第二端部區域限定內部表面與基板之間的第二介面區域，並且光學設備還包括：一定量的光吸收材料，其位於在外部表面中的第二表面中在第二介面區域處形成的凹陷中。

【0064】 根據本發明的教導的實施方式，還提供了一種製造光學設備的方法。該方法包括：獲得透光基板，透光基板具有至少兩個平行主外部表面，以用於通過主外部表面處的內反射來引導光，該基板具有至少一個至少內部表面，該至少一個內部表面被部署在外部表面之間並且相對於外部表面傾斜，內部表

面具有與基板的外部表面中的第一外部表面相關聯的端部區域以限定內部表面與基板之間的介面區域；以及將一定量的光吸收材料沉積在外部表面中的第一外部表面中在介面區域處形成的凹陷中。

【0065】 可選地，沉積一定量的光吸收材料包括將光吸收材料施加到外部表面中的基本上整個第一外部表面。

【0066】 可選地，該方法還包括：拋光外部表面中的第一外部表面以從外部表面中的第一外部表面的在凹陷之外的基本上所有部分去除光吸收材料。

【0067】 可選地，獲得透光基板包括：將一組塗覆透明板附接在一起以形成堆疊，將堆疊進行對角切片以形成具有至少兩個平行主外部表面和相對於外部表面傾斜的內部表面的基板，以及拋光外部表面。

【0068】 可選地，拋光外部表面使得在外部表面中的第一表面中在介面區域處形成凹陷。

【0069】 可選地，一定量的光吸收材料足以填充凹陷。

【0070】 可選地，內部表面具有與基板的外部表面中的第二外部表面相關聯的第二端部區域，以在內部表面與外部表面中的第二外部表面之間限定介面區域，並且該方法還包括：將一定量的光吸收材料沉積在外部表面中的第二外部表面中在介面區域處形成的凹陷中，介面區域在內部表面與外部表面中的第二表面之間。

【0071】 根據本發明的教導的實施方式，還提供了一種光學設備。該光學設備包括：透光基板，其具有形成矩形截面的第一對平行主外部表面和第二對平行主外部表面，基板被構造用於通過主外部表面處的內反射引導光；至少一個內部表面，其相對於基板的延伸方向傾斜地部署在基板內，被構造成將光耦出基板；以及一定量的光吸收材料，其位於在基板的外部區域處形成的瑕疵處。

【0072】 可選地，瑕疵包括在外部表面之一中形成的劃痕。

【0073】 可選地，瑕疵包括在第一對外部表面中的一個外部表面與第二對外部表面中的一個外部表面之間形成的邊緣中的缺口。

【0074】 可選地，瑕疵包括在第一對外部表面中的一個外部表面與第二對外部表面中的一個外部表面之間形成的拐角中的缺口。

【0075】 可選地，內部表面包括與基板的外部表面之一相關聯的至少第一端部區域，以限定內部表面與基板之間的介面區域。

【0076】 可選地，瑕疵包括在介面區域處形成的凹陷。

【0077】 可選地，光吸收材料包括黑色吸收塗料。

【0078】 除非本文另有限定，否則本文中所使用的所有技術和/或科學術語具有與本發明所屬領域的技術人員通常所理解的含義相同的含義。儘管與本文中描述的方法和材料類似或等同的方法和材料可以用於本發明的實施方式的實踐或測試，但是下面描述了示例性方法和/或材料。在有衝突的情況下，以包括定義的專利說明書為準。另外，材料、方法和示例僅是說明性的，並非一定旨在限制。

【圖式簡單說明】

【0079】

在本文中參照圖式僅通過示例的方式描述本發明的一些實施方式。通過詳細地具體參照圖式，要強調的是，所示的細節是作為示例的，並且是出於對本發明的實施方式的說明性論述的目的。在這方面，結合圖式進行的描述使得本領域技術人員清楚可以如何實踐本發明的實施方式。

現在將注意力轉向圖式，在圖式中，相似的圖式標記指示相應或相似的部件。在圖式中：

圖 1 是根據本發明的一個方面的教導構建和操作的導光光學元件（light-guide optical element, LOE）的示意性側視圖表示，該示意性側視圖表示示出了圖像照明的分量穿過一系列交錯的具有互補塗層組的內部部分反射表面組的行進；

圖 2 示出了可以用於一些內部部分反射表面的塗層的針對 p 偏振和 s 偏振的作為入射角的函數的反射率曲線；

圖 3 是由內部部分反射表面以不同的反射角反射的圖像照明分量的示意性表示；

圖 4 是具有反射材料的份的圖案化反射塗層的示意性表示，反射材料的份可以用於對一些照明分量的較低反射進行補償；

圖 5 是與圖 4 類似但是具有與圖 4 中的反射材料的份的形狀不同的形狀的反射材料的份的圖案化反射塗層的示意性表示；

圖 6 是在單個塗層上具有兩種反射圖案的塗層的示意性表示；

圖 7 示出了可以用於一些內部部分反射表面中的塗層的作為波長的函數的反射率曲線；

圖 8 示出了當將圖 7 的塗層與在一些內部部分反射表面上使用的互補塗層結合使用時獲得的反射率曲線；

圖 9 示出了可以用於一些內部部分反射表面中的另一塗層的作為波長的函數的反射率曲線；

圖 10 示出了當將圖 9 的塗層與在一些內部部分反射表面上使用的互補塗層結合使用時獲得的反射率曲線；

圖 11 是具有以交替順序佈置在每個內部部分反射表面上的兩個互補塗層的一系列內部部分反射表面的示意性表示；

圖 12A 和圖 12B 是光學設備的示意性側視圖表示和正視圖表示，該光學設備具有兩個光波導，每個光波導具有一組部分反射內部表面，該組部分反射內部表面可以具有互補的塗層以用於在兩個維度上執行光學孔徑的擴展；

圖 13 是另一光學設備的示意性表示，該另一光學設備具有兩個光波導，每個光波導具有一組部分反射內部表面，該組部分反射內部表面可以具有互補的塗層以用於在兩個維度上執行光學孔徑擴展；

圖 14 是具有一系列內部部分反射表面的 LOE 的示意性表示，並且示出了圖像照明穿過 LOE 的行進以及來自內部部分反射表面之一的不期望的反射；

圖 15A 是利用與圖 4 和圖 5 的圖案化反射塗層類似的圖案化反射塗層實現的圖 14 的內部部分反射表面之一的示意性表示，其示出了入射至內部部分反射表面的前側的光的透射和反射；

圖 15B 是圖 15A 的部分反射表面的示意性表示，其示出了入射至內部部分反射表面的後側的光的透射和反射；

圖 16A 是根據本發明的一個方面的教導構建和操作的與圖 15A 和圖 15B 的內部部分反射表面類似的內部部分反射表面的示意性表示，該內部部分反射表

面具有被部署在圖案化反射塗層的反射部分與內部部分反射表面的前側之間的一定量的反射抑制材料，並且該示意性表示示出了入射至內部部分反射表面的前側的光的透射和反射；

圖 16B 是圖 16A 的部分反射表面的示意性表示，其示出了入射至內部部分反射表面的後側上的一個區域的光的透射以及通過反射抑制材料對入射至內部部分反射表面的後側上的另一區域的光的抑制；

圖 17 是光導光學元件（light-guide optical element，LOE）的截面的示意圖性表示，其示出了內部部分反射表面以及形成在 LOE 的內部部分反射表面與外部面之間的介面區域處的呈凹陷的形式的瑕疵；

圖 18 是與圖 17 相對應的示意性表示，其示出了穿過 LOE 的圖像照明的行進和由凹陷賦予圖像照明的散射效應；

圖 19 是根據本發明的一個方面的教導構建和操作的光導光學元件（LOE）的截面的示意性表示，該光導光學元件類似於圖 17 和圖 18 的 LOE，但是具有施加在凹陷處的一定量的光吸收材料，並且該示意性表示示出了光吸收材料對圖像照明的吸收；

圖 20 是類似於圖 12A 的側視圖，並且示出了光波導之一的呈帶缺口拐角或邊緣的形式的瑕疵；以及

圖 21 是根據本發明一個方面的教導的與圖 20 相對應的側視圖，其示出了施加在帶缺口拐角或邊緣處的一定量的光吸收材料。

【實施方式】

【0080】 本發明的實施方式提供了具有內部部分反射器的各種光導光學元件，包括其中內部部分反射器具有根據互補塗覆方案施加的塗層的光導光學元件以及具有施加到光導光學元件的一個或多個外部表面的一個或更多個區域的反射抑制材料的光導光學元件。

【0081】 參照說明書圖式，可以更好地理解根據本發明的各種光導光學元件的原理和操作。

【0082】 在詳細說明本發明的至少一個實施方式之前，應當理解，本發明的應用並不一定限於在以下描述中闡述的以及/或者在圖式和/或示例中示出的

部件和/或方法的構建和佈置和/或細節。本發明能夠具有其他實施方式或者能夠以各種方式實踐或執行。最初，在整個文檔中，提及了諸如前和後、上和下、左和右等方向。這些方向性參考僅是示例性的，以說明本發明及其實施方式。

【0083】 現在參照圖式，圖 1 示出了根據本發明的非限制性實施方式構建和操作的導光光學元件（LOE）（通常指定為 10）形式的光學設備。LOE 10 被形成為透光基板，該透光基板由透明材料（例如玻璃）構建，該透光基板具有：一對平行面（也被稱為“主外部表面”或“表面”）12、14；以及多個平坦的部分反射表面 16a、16b、16c、18a、18b、18c，這些部分反射表面以相對於平行面 12、14 的傾斜角被部署在基板內。在非限制性示出的實施方式中，LOE 10 形成板型波導，即，LOE 10 的其他兩個尺寸至少為大於平行面 12、14 之間的距離的數量級。部分反射表面（在下文中可互換地被稱為“內部表面”、“內部部分反射器”、“部分反射器”或“小平面”）16a、16b、16c、18a、18b、18c 被細分成兩組內部表面，即具有內部表面 16a、16b、16c 的第一組 16 和具有內部表面 18a、18b、18c 的第二組 18。為了簡化表示，此處組 16、18 中的每個組被示出為具有三個內部表面，然而，應當理解的是，組中的任一個或兩個可以具有任何合適數目的內部表面。

【0084】 在某些優選但非限制性的實施方式中，兩個組 16、18 中的內部表面是交錯的，使得內部表面 16a、16b、16c 中的一個或更多個被定位在成對相鄰內部表面 16a、16b、16c、18a、18b、18c 之間，並且內部表面 18a、18b、18c 中的一個或更多個也被定位在成對相鄰的內部表面 16a、16b、16c、18a、18b、18c 之間。優選地，內部表面在兩個組 16、18 中的內部表面之間交替，使得對於每對相鄰的內部表面 16a、16b、16c，存在內部表面 18a、18b、18c 中的單個內部表面，並且使得對於每對相鄰的內部表面 18a、18b、18c，存在內部表面 16a、16b、16c 中的單個內部表面。圖 1 示出了這種交替的構造。

【0085】 此處由包括樣本光線 20A 和樣本光線 20B 的照明光束 20 示意性表示的投影圖像 20 通過光學耦合構造 22 耦合到 LOE 10 中（即，耦合到基板中），該光學耦合構造 22 被示意性地表示為耦合反射器。用於例如通過使用成合適角度的耦合稜鏡或衍射光學元件將圖像照明耦合到 LOE 10 中的其他合適的耦合

構造在本領域中是公知的。圖像照明 20 通過平行面 12、平行面 14 處的重複的內反射而在 LOE 10 內被引導(即,在 LOE 基板內通過內反射捕獲圖像照明 20)。在某些優選但非限制性的實現方式中,通過內反射而穿過 LOE 10 的傳播呈全內反射(total internal reflection, TIR)的形式,由此傳播圖像照明 20 以大於臨界角的角入射在平行面 12、14 處會使得照明在平行面 12、14 處反射。在其他非限制性的實現方式中,通過內反射而穿過 LOE 10 的傳播是通過施加到平行面 12、14 的反射塗層(例如,角度選擇性反射塗層)來實現的。

【0086】 圖像照明 20 傳播穿過 LOE 10,直到到達一系列內部表面 16a、16b、16c、18a、18b、18c,在內部表面處,部分圖像強度作為光線 24A、24B 從 LOE 10 被反射出去。在某些實施方式中,例如圖 1 所示的實施方式,內部表面 16a、16b、16c、18a、18b、18c 將圖像照明反射為反射光線 24A、反射光線 24B,以將部分圖像強度朝向觀察者的眼睛從 LOE 10 耦出。如將要討論的,在其他實施方式中,內部表面 16a、16b、16c、18a、18b、18c 將圖像照明反射為反射光線 24A、24B,以使其耦入到另一 LOE 中而用於在該另一 LOE 的平行面之間進行引導並且通過部署在該另一 LOE 內的一組內部表面朝向觀察者的眼睛將其耦出。

【0087】 圖像照明 20 通常包括多個照明分量,例如包括不同的偏振分量和不同的顏色(即,光譜)分量。內部表面 16a、16b、16c、18a、18b、18c 優選地由透明板或板材形成,在板或板材的側面或表面的至少一部分處施加有塗層。塗層被設計成具有反射特性,使得塗層至少部分地反射具有特別對應特性的入射光,以針對照明分量生成期望的反射性圖案,其細節將在下面詳細描述。通常,內部表面 16a、16b、16c 的至少一部分具有帶有以下反射特性的塗層:該反射特性使得圖像照明的某些分量被內部表面 16a、16b、16c 反射。內部表面 18a、18b、18c 的至少一部分也具有帶有以下反射特性的塗層:該反射特性與內部表面 16a、16b、16c 的反射特性互補,使得圖像照明中未被內部表面 16a、16b、16c 充分反射的分量被內部表面 18a、18b、18c 適當且充分地反射。

【0088】 在進一步詳細說明反射器 16a、16b、16c、18a、18b、18c 的設計細節之前,應當注意,投影的圖像照明 20 是準直圖像(即,每個像素由成對

應角度的平行光束表示），其等同於來自遠離觀察者的遠處場景的光（準直圖像可以被稱為“準直到無窮遠”）。儘管此處將投影圖像 20 簡化地表示為與圖像的單個點（通常為圖像的質心）相對應的單條光線，但是應當注意，圖像實際上包括到中心光線的每一側的角度範圍，其以對應的角度範圍耦入到基板中並且類似地以對應的角度從基板耦出，從而創建與沿至觀察者的眼睛的方向到達的圖像部分相對應的視場。

【0089】 每個內部表面具有相對的端部，相對的端部分別限定內部表面起始和終止的位置。這些相對的端部被稱為“起始端”和“終止端”。例如，觀察內部表面 16a 和 18a，可以看出，內部表面 16a 具有起始端 17a-1 和終止端 17a-2，並且內部表面 18a 具有起始端 19a-1 和終止端 19a-2。內部表面 16a、16b、16c 優先地被部署在 LOE 10 內，使得內部表面 16b、16c 中的每一個在內部表面的投影平面中均起始於前面的內部表面 16a、16b 終止的位置。換句話說，內部表面 16b 的起始端 17b-1 與內部表面 16a 的終止端 17a-2 對準，並且內部表面 16c 的起始端 17c-1 與內部表面 16b 的終止端 17b-2 對準。在這樣的部署中，小平面 16a、16b、16c 在投影平面中呈現為連續的且不交疊的，投影平面在圖 1 所示的非限制性實現方式中是與表面 12、14 的平面平行的平面。這種部署確保在穿過 LOE 10 的主要光傳播方向上（任意地示為沿圖 1 中的水平軸從左到右）相鄰的內部表面 16a、16b、16c 之間沒有間隙，從而為由第一組 16 反射的光的分量保持連續的孔徑擴展（即，孔徑倍增）。類似地，內部表面 18a、18b、18c 優先地被部署在 LOE 10 內，使得內部表面 18b、18c 中的每一個起始於前面的內部表面 18a、18b 結束的位置，從而為由第二組 18 反射的光的分量保持連續的孔徑擴展。換句話說，內部表面 18b 的起始端 19b-1 與內部表面 18a 的終止端 19a-2 對準，並且內部表面 18c 的起始端 19c-1 與內部表面 18b 的終止端 19b-2 對準。

【0090】 在兩個組 16、18 的內部表面交錯的實施方式中，優先的是兩個組 16、18 還具有交疊關係，由此第一組 16 中的內部表面中的至少一些內部表面與第二組 18 中的內部表面中的一些內部表面交疊，並且第二組 18 中的內部表面中的至少一些內部表面與第一組 16 中的內部表面中的一些內部表面交疊。在某些情況下，交疊關係使得，組 16、18 中的一個組的至少一個內部表面的起

始端位於投影平面中的組 16、18 中的另一組的單個內部表面的起始端與終止端之間的位置處，並且使得，組 16、18 中的所述一個組的內部表面的終止端位於投影平面中的組 16、18 中的所述另一組的另一單個內部表面的起始端與終止端之間的位置處。

【0091】 圖 1 示出了呈交錯和交疊構造的兩個組 16、18，其中內部表面 18a 的起始端 19a-1 位於投影平面中的內部表面 16a 的起始端 17a-1 與終止端 17a-2 之間的位置處，內部表面 18a 的終止端 19a-2 位於投影平面中的內部表面 16b 的起始端 17b-1 與終止端 17b-2 之間的位置處，內部表面 18b 的起始端 19b-1 位於投影平面中的內部表面 16b 的起始端 17b-1 與終止端 17b-2 之間的位置處，內部表面 18b 的終止端 19b-2 位於投影平面中的內部表面 16b 的起始端 17c-1 與終止端 17b-2 之間的位置處，並且內部表面 18c 的起始端 19c-1 位於投影平面中的起始端 17c-1 與終止端 17c-2 之間的位置處。同樣，內部表面 16a 的終止端 17a-2 位於投影平面中的內部表面 18a 的起始端 19a-1 與終止端 19a-2 之間的位置處，內部表面 16b 的起始端 17b-1 位於投影平面中的內部表面 18a 的起始端 19a-1 與終止端 19a-2 之間的位置處，內部表面 16b 的終止端 17b-2 位於投影平面中的內部表面 18b 的起始端 19b-1 與終止端 19b-2 之間的位置處，內部表面 16c 的起始端 17c-1 位於投影平面中的內部表面 18b 的起始端 19b-1 與終止端 19b-2 之間的位置處，並且內部表面 16c 的終止端 17c-2 位於投影平面中的內部表面 18c 的起始端 19c-1 與終止端 19c-2 之間的位置處。

【0092】 優選地，兩個組 16、18 中的內部表面之間的交疊構造使得組 16、18 中的一個組中的內部表面的起始端/終止端處於組 16、18 中的另一組中的內部表面的起始端與終止端之間的中點處。應當注意，在某些情況下，“交疊關係”可以包括如下構造：其中組 16 中的內部表面與組 18 中的內部表面完全交疊，使得它們共面，由此組 16 中的小平面的起始端和終止端分別與組 18 中的小平面的起始端和終止端重合。採用具有傳統塗層架構的交疊內部表面的光波導的其他細節可以在申請人的共同擁有的美國專利第 10,481,319 號中找到，該專利的全部內容通過引用合併在本文中。

【0093】 以下段落描述了根據本發明的實施方式的內部表面的組 16、18

的塗層設計。內部表面 16a、16b、16c、18a、18b、18c 具有帶有互補反射特性的塗層，使得圖像照明中未被內部表面 16a、16b、16c 之一充分反射的分量被內部表面 18a、18b、18c 之一適當且充分地反射。特別地，並且如將在下面詳細描述的，內部表面 16a、16b、16c 具有被構造成反射圖像照明的分量的子集中的每個照明分量的一定比例強度的塗層，並且內部表面 18a、18b、18c 具有被構造成反射圖像照明的分量的另一子集中的每個照明分量的一定比例強度的塗層，使得內部表面的兩個組 16、18 的塗層協作以反射兩個子集中的所有照明分量的組合比例的強度。由兩個組 16、18 的塗層協作反射的組合強度比例大於或等於由兩個組 16、18 的塗層單獨反射的強度比例。

【0094】 當內部表面根據如圖 1 所示的交替構造交錯時，來自兩個不同組的成對相鄰內部表面的互補塗層使得來自兩個組的內部表面能夠協作，以反射跨內部表面的投影平面的各部分的圖像照明的所有分量，從而保持連續的孔徑擴展。

【0095】 作為第一非限制性示例的一部分，考慮包括照明的不同光譜分量（例如，與紅光、綠光和藍光相對應的光譜分量）的圖像照明 20。在該示例中，內部表面 16a、16b、16c 可以包括第一塗層，該第一塗層被構造成以高效率反射紅光（即，具有接近 638 nm 的波長的光）並且以中等效率部分地反射綠光（即，具有接近 532 nm 的波長的光），但是被構造成以低效率部分地反射藍光（即，具有接近 456 nm 的波長的光）。為了補償由內部表面 16a、16b、16c 賦予的對綠光的中等反射效率和對藍光的低反射效率，內部表面 18a、18b、18c 可以包括第二塗層，該第二塗層被構造成以高效率（與由內部表面 16a、16b、16c 賦予紅光的效率相當）反射藍光並且以中等效率（與由內部表面 16a、16b、16c 賦予綠光的效率相當）部分地反射綠光。內部表面 18a、18b、18c 的塗層也可以以低效率部分地反射紅光。因此，反射光線 24A 傳送高效率紅光、中等效率綠光和低效率藍光，而反射光線 24B 傳送高效率藍光和中等效率綠光，使得由兩個交錯且交疊的組 16、18 的反射產生的總體反射圖像在三種顏色上幾乎沒有色差，同時保持連續的孔徑擴展（由於內部表面的交錯）。不能被兩個組 16、18 的塗層消除的任何殘餘色差可以通過調整用於生成準直圖像照明 20 的有色光源來補償。

【0096】 在另一非限制性示例中，考慮包括兩個正交線性偏振分量（即 s 偏振分量和 p 偏振分量）的圖像照明 20。此處，內部表面的兩個組 16、18 包括以互補方式選擇性地反射正交偏振的塗層，由此一個組 16 中的內部表面主要反射相對於組 16 中的內部表面的表面以偏振方向之一（例如，p 偏振）偏振的光，並且另一組 18 中的內部表面主要反射相對於組 18 中的內部表面的表面以正交偏振方向（例如，s 偏振）偏振的光。

【0097】 可以提供這種偏振選擇性反射性的一種類型的塗層是電介質塗層。圖 2 示出了這種電介質塗層針對 p 偏振和 s 偏振的跨入射角（angle of incidence，AOI）的反射特性。可以看出，在較低的 AOI 範圍處，例如 0 度-20 度範圍內的 AOI（即接近垂直於內部表面），s 偏振和 p 偏振兩者都以大致相同的效率被反射，即 s 偏振和 p 偏振的反射率大致相同（略高於 25%）。當 AOI 在給定範圍中增加時，兩個偏振的反射率偏離。具體地，在較高的 AOI 範圍處，例如 20 度至 55 度範圍內的 AOI，p 偏振的反射率相對於 s 偏振的反射率降低。例如，在 AOI 為約 40 度時，s 偏振的反射率略高於 50%（從而作為幾乎完美的部分反射器操作），而 p 偏振的反射率低於 15%。

【0098】 為了生成相對於觀察者具有寬視場的圖像，從不同的內部表面反射不同的角度。圖 3 示出了 LOE 10，其中所有的內部表面 16a、16b、16c、18a、18b、18c 包括具有以上參照圖 2 所描述的反射率特性的電介質塗層。在這種構造中，穿過 LOE 傳播的圖像照明具有 s 偏振分量和 p 偏振分量兩者。作為說明，傳播穿過 LOE 10 的一些圖像照明以較低範圍內的 AOI 照射到內部表面 18c 上，使得電介質塗層以大致相同的效率反射兩種偏振。因此，反射光線 R_{18c} 的偏振分量具有近似相等的強度。然而，一些圖像照明以較高範圍內的 AOI 照射在內部表面 18a、18b、16b 上，使得內部表面 18a、18b、16b 的電介質塗層主要反射 s 偏振光。因此，反射光線 R_{18a} 、 R_{18b} 、 R_{16b} 中的每一個的 s 偏振分量是主導分量。為了補償在特定 AOI 範圍內的減少的 p 偏振分量，內部表面 18a、18b 被重新設計成主要反射 p 偏振光（或者以大致相等的效率反射兩種偏振）。

【0099】 根據某些實施方式，為了實現對 p 偏振光的期望反射性，內部表面 18a、18b 另外包括取向敏感偏振反射器（或“結構偏振器”），該取向敏感偏振

反射器透射一種入射偏振並且根據反射器的固有軸取向反射正交偏振。結構偏振器的一個非限制性示例是可從美國明尼蘇達州 3M 公司商購的雙折射電介質塗層或膜。結構偏振器的另一非限制性示例是例如可從美國猶他州的 Moxtek 公司商購的線柵膜 (wire-grid film)。結構偏振器的又一非限制性示例是圖案化部分反射塗層，其具有以圖案形式被部署在薄膜或透明基板上的若干反射材料部分。

【0100】 在繼續參照圖 1 至圖 3 的情況下，現在參照圖 4，圖 4 示出了根據本發明的非限制性實施方式的圖案化反射塗層 (也被稱為“反射圖案塗層”) 30 的非限制性示例的圖示。塗層 30 具有反射特性，使得在一個偏振方向上偏振 (例如 s 偏振或 p 偏振) 的光主要/大部分被塗層 30 反射，而在正交偏振方向上偏振 (例如 p 偏振或 s 偏振) 的光主要/大部分被塗層 30 透射。優選地，反射的偏振表現出大於 90% 的反射 (被稱為“基本上完全反射”)，並且最優選地超過 95% 的反射。相反地，透射的偏振優選地表現出大於 90% 的透射 (被稱為“基本上完全透射”)，並且最優選地超過 95% 的透射。

【0101】 塗層 30 包括一定量 34 的反射材料 (在下文中被稱為“份”34)，其以間隔關係被部署並且以規定圖案被佈置在平坦的基底表面 32 上。基底表面 32 優選地但不是必須地對光透明，使得基底表面 32 上的在反射材料的份 34 之間及周圍形成的空間 35 是透光的。在某些實施方式中，平坦的基底表面 32 是可以結合到透明板以形成內部部分反射表面的薄膜或薄基板。在其他實施方式中，平坦的基底表面 32 本身是由其形成小平面的透明板，並且反射材料的份 34 直接沉積在透明板上。在某些實施方式中，反射材料是電介質材料。在其他有時更優選的實施方式中，反射材料是金屬材料，例如銀。反射材料的每個份 34 具有使沿一個偏振方向的光能夠引起電流流動的形狀。因此，沿引起電流流動的偏振方向偏振的光在入射至塗層 30 時，將塗層 30 視為反射器，而沿正交偏振方向偏振的光在入射至塗層 30 時，將塗層 30 視為透光的。

【0102】 在圖 4 所示的非限制性示例中，每個份 34 的大小相同，並且每個份 34 在基底表面 32 的平面中 (即，在內部表面的平面中) 具有大致圓形形狀。此處，份 34 實際上是以佈置的圖案沉積在基底表面 32 上的反射材料的圓

形對稱（在基底表面 32 的平面中）點。在該構造中，份 34 以規定圖案被佈置，以便均勻地間隔，使得在整個塗層 30 上成對相鄰點的中心之間的距離是恒定的。

【0103】 圖 5 示出了塗層 30 的另一非限制性實施方式，其中在基底表面 32 的平面中具有非圓對稱性的反射材料的份 36 以規定的圖案被部署在基底表面 32 上。此處，份 36 在基底表面 32 的平面中（即，在內部表面的平面中）具有大致橢圓形或長方形形狀（兩個正交對稱軸）。份 36 在基底表面 32 的平面中的取向確定了主導反射偏振。例如，在圖 5 所示的份 36 的構造中，主導反射偏振可以是 p 偏振，而在基底表面 32 的平面中將份 36 旋轉 90 度可以將主導反射偏振切換為 s 偏振。除了圓形和長方形之外，本文中還設想了反射材料的其他形狀，例如，反射材料的份可以以線圖案部署在基底表面 32 上。

【0104】 通過採用具有塗層 30 的內部表面 18a、18b，內部表面 18a、18b 能夠反射未被內部表面 16b 充分反射的照明分量（在這種情況下為 p 偏振分量）的子集。換句話說，對於較高 AOI 範圍中的給定 AOI，內部表面 16a 以高反射率反射圖像照明的分量（以 s 偏振分量的形式）的第一子集，並且以低反射率反射圖像照明的分量（以 p 偏振分量的形式）的第二子集。對於相同的給定 AOI，內部表面 18a、18b 以高反射率反射低反射率分量，即圖像照明的分量（在這種情況下為 p 偏振分量）的第二子集，以便補償由內部表面 16b 賦予的低反射率。因此，內部表面 18a、16b、18b 協作以反射兩種偏振分量（即，來自兩個子集的分量），從而保持孔徑倍增的連續性。圖像照明的分量的兩個子集是互補的，這意味著來自兩個子集的分量的並集考慮了傳播圖像照明的所有分量。在該特定示例中，s 偏振分量和 p 偏振分量是互補的，因為它們構成了圖像照明的偏振分量。

【0105】 在某些實施方式中，可以使用單一塗層在同一內部表面平面上實現兩個不同的塗層。例如，可以在份 34 之間的空間中部署電介質塗層。因此，份 34 或份 36 被可以實現為一種類型的電介質塗層或金屬塗層，並且在基底表面 32 上的在份 34 或份 36 之間及周圍形成的空間 35 可以被實現為另一種類型的電介質塗層。圖 6 示意性地示出了這種塗層 31 的示例，其中第二反射材料的

份 38 以規定圖案沉積在基底表面 32 上的份 34 之間及周圍形成的空間 35 中。在圖 6 所示的非限制性示例中，每個份 34 的形狀為大致圓形，而每個份 38 的形狀為大致橢圓形。

【0106】 如所討論的，本發明的實施方式的塗層設計同樣適用於圖像照明包括不同的可見顏色分量的狀況。在這樣的狀況下，以上參照圖 4 至圖 6 描述的圖案化反射器塗層的一些原理可以用於解決顏色不均勻性問題。例如，內部表面 16a、16b、16c 可以包括以適當的反射效率部分地反射三種顏色的第一子集的塗層，並且內部表面 18a、18b、18c 可以包括以適當的效率部分地反射三種顏色的第二子集的塗層，其中顏色的第二子集包括未被內部表面 16a、16b、16c 適當地反射的顏色。通常，圖像照明的顏色分量的子集是互補的，這意味著來自子集的分量的並集考慮了傳播圖像照明的所有顏色分量。以下段落描述了用於保持顏色均勻性的兩個組 16、18 的內部表面的塗層的設計的各種示例。

【0107】 通過介紹，優選的是將反射材料的份 34、36 佈置成相對小的圖案，使得觀察者將感知到均勻的圖像。特別地，優選地，根據觀察者的眼睛的瞳孔的大小以幾何佈置來將反射材料的份 34、36 部署為例如具有約 2 mm 的直徑的圓（人眼的瞳孔在明亮的照明條件下通常具有在 2 mm 至 4 mm 的範圍內的直徑）。然而，具有小尺寸並以小圖案佈置的反射材料的份傾向於將入射光衍射到大的角度，因而降低圖像解析度。因此，在本發明的非限制性實現方式中，使用具有反射圖案的塗層（以上參照圖 4 至圖 6 所描述的）結合電介質塗層來實現兩個組 16、18 的內部表面。

【0108】 在一個非限制性示例中，內部表面 16a、16b、16c 被使用電介質塗層來實現以便至少部分地反射紅光、綠光和藍光，並且內部表面 18a、18b、18c 使用圖案化反射塗層 30 來實現，其中塗層 30 的反射材料是金屬材料（例如，銀）。內部表面 16a、16b、16c 的電介質塗層具有根據圖 7 所示的曲線圖的反射特性。此處，內部表面 16a、16b、16c 的電介質塗層以相當高的效率（約 10% 的反射率）反射呈綠光（即，具有接近 532 nm 的波長的光）的形式的圖像照明的分量的第一子集，但以比綠光反射低的效率（約 4% 的反射率）反射呈紅光和藍光（即，分別具有接近 638 nm 和 456 nm 的波長的光）的形式的圖像照明的

分量的第二子集。內部表面 18a、18b、18c 的塗層 30 具有反射特性，以便以足夠的效率反射分量的兩個子集，以補償分量的第二子集的低反射率。圖 8 示出了由內部表面 16a、16b、16c 的電介質塗層和內部表面 18a、18b、18c 的塗層 30 的組合賦予的總反射率。如可以推斷的，塗層 30 以至少約 6% 的反射率反射圖像照明的分量的第二子集（即紅光和藍光），6% 的反射率比由內部表面 16a、16b、16c 的電介質塗層對分量的第二子集賦予的效率低。塗層 30 還以約 4% 反射率的反射率反射圖像照明的分量的第一子集（即綠光）。顏色分量的兩個子集是互補的，因為兩個子集（具有高效率綠光的第一子集、具有高效率紅光和藍光的第二子集）的並集考慮了圖像照明的所有三個顏色分量。因此，儘管綠色分量的解析度比紅色分量和藍色分量的解析度高，但是整個反射圖像的色差減小。然而，人眼對圖像的綠光分量的解析度最敏感，並且因此觀察者可能會感知到具有較高綠色分量解析度的整個圖像的解析度沒有明顯降低。

【0109】 在替選構造中，塗層 30 可以使用對紅光和藍光比對綠光具有更高反射率的反射材料來實現（即，塗層 30 主要反射紅光和藍光）。因此，整個反射圖像將幾乎沒有明顯的色差。

【0110】 在另一非限制性示例中，內部表面 16a、16b、16c 使用具有根據圖 9 所示的曲線圖的反射特性的電介質塗層來實現。此處，內部表面 16a、16b、16c 的電介質塗層以高效率（約 15% 的反射率）反射呈綠光和紅光的形式的圖像照明的分量的第一子集，但是以比綠光和紅光反射（約 10% 的反射率）低的效率反射呈藍光的形式的圖像照明的分量的第二子集。為了補償分量的第二子集的低反射率，將塗層 30 的特定實現方式用於內部表面 18a、18b、18c。在這種實現方式中，反射材料（被實現為電介質材料或金屬材料）的份是小的（優選地根據上述人的瞳孔大小），並且具有一定反射特性，使得塗層 30 僅反射藍光。圖 10 中示出了由內部表面 16a、16b、16c 的電介質塗層和內部表面 18a、18b、18c 的塗層 30 的組合賦予的總反射率，由此在可見光譜範圍內，總反射率近似恒定，約為 15%。所得到的沒有衍射的白平衡圖像（藍光趨向於比綠光和紅光被衍射少得多）。

【0111】 圖 11 示出了根據非限制性示例的使用兩種塗覆方案來保持顏色

均勻性的另一實現方式。此處，內部表面 16a、16b、16c、18a、18b、18c 具有以交替構造佈置的每個反射器上的兩組塗層，其中每個內部表面的塗層存在橫向變化。在非限制性示出示例中，每個內部表面具有兩個非交疊部分，即第一部分和第二部分。內部表面 16a、16b、16c 的第一部分 40a、40b、40c 具有第一塗層 33，例如具有根據圖 7 或圖 9 的反射特性的電介質塗層，並且內部表面 16a、16b、16c 的第二部分 42a、42b、42c 具有第二塗層 37，例如塗層 30。內部表面 18a、18b、18c 的第一部分 44a、44b、44c 具有第二塗層 37，並且內部表面 18a、18b、18c 的第二部分 46a、46b、46c 具有第一塗層 33。

【0112】 在圖 11 所示的非限制性示例中，塗層 33、37 被部署在相繼內部表面的交替部分上，使得每對相鄰內部表面（例如，內部表面 16a、18a；內部表面 18a、16b；內部表面 16b、18b 等）上的塗層協作以合理的效率反射圖像照明的子集的所有分量，以便保持顏色均勻性。在這種特定的構造中，內部表面的兩個組可以被認為是實際上共面的，由此每個內部表面具有兩個塗層 33、37。應當注意，儘管圖 11 示出了每個內部表面的兩個部分中的每個部分構成約半個內部表面平面，但是其他構造也是可能的，只要在其上部署塗層的內部表面的部分在相繼內部表面之間交替即可。

【0113】 儘管已經在具有電介質塗層的內部表面 16a、16b、16c 和具有根據塗層 30 實現的塗層的內部表面 18a、18b、18c（並且其中內部表面 16a、16b、16c 和 18a、18b、18c 是交錯的）的上下文中描述了用於保持顏色均勻性的實施方式，但是在單個內部表面上實現兩種類型的塗層的其他示例也是可能的，例如以上參照圖 4 至圖 6 所討論的。例如，內部表面 16a、16b、16c、18a、18b、18c 中的每一個可以包括兩個塗層：1）第一塗層，例如塗層 30，以及 2）第二塗層，例如被部署在在塗層 30 的份 34 之間形成的空間中的電介質。第二塗層可以具有根據圖 7 或圖 9 的反射特性，由此與圖像照明的分量的第二子集相比，圖像照明的分量的第一子集被第二塗層以更高的效率反射。然後，第一塗層可以具有補償由第二塗層賦予第二子集的低反射率的反射特性，使得每個單獨的內部表面實現跨三種顏色近似均勻的總反射率，例如如圖 8 和圖 10 中所示出的。在這樣的構造中，兩個組 16、18 不必交錯。而是，由於兩個組 16、18 中的內

部表面被相同地塗覆，因此兩個組 16、18 是相同的，並且優選地被部署為使得每個內部表面起始於前面的內部表面終止的位置。

【0114】 在某些實施方式中，內部表面的圖案化反射塗層 30 可以被構造成使得內部表面上的份 34、36 的數目和/或份 34、36 的大小依小平面不同而不同，以在整個視場上提供均勻的強度。例如，內部表面 16a、16b、16c 可以使用電介質塗層（如上所述）來實現，並且內部表面 18a、18b、18c 可以使用圖案化反射塗層 30 來實現。當光傳播穿過 LOE 時，照射在每個相繼小平面上的光的強度小於照射在前一小平面上的光的強度。這是由於照射到特定小平面上的光的一定比例的強度被該特定小平面反射出 LOE 的事實。為了補償光強度沿光傳播方向的降低，與由前一小平面賦予的反射率相比，由每個小平面賦予的反射率通常應當增加。這可以通過相對於光穿過 LOE 的主傳播方向增加第二組 18 中的內部表面上的塗層 30 上的反射材料的密度例如通過增加份 34、36 的數目和/或份 34、36 的大小來實現。例如，內部表面 18a 的塗層 30 可以利用第一數目的份 34、36 和/或第一大小的份 34、36 來實現，內部表面 18b 的塗層 30 可以利用第二數目的份 34、36 和/或第二大小的份 34、36 來實現，以及內部表面 18c 的塗層 30 可以利用第三數目的份 34、36 和/或第三大小的份 34、36 來實現。份的第一數目小於份的第二數目，份的第二數目小於份的第三數目，並且份的第一大小小於份的第二大小，份的第二大小小於份的第三大小。

【0115】 儘管到目前為止所描述的一些實施方式涉及具有互補塗層的內部部分反射器的兩個組，但是存在具有互補塗層的部分反射器的多於兩個組的其他實施方式也是可能的。作為簡單的示例，內部表面的第三組可以與其他兩個組 16、18 中的內部表面平行且交錯地部署。內部表面的每個組可以包括塗層，塗層被構造成反射圖像照明的分量的特定子集。例如，第一組內部表面的塗層可以被構造成主要反射紅光，第二組內部表面的塗層可以被構造成主要反射綠光，並且第三組內部表面的塗層可以被構造成主要反射藍光。因此，三個（優選地連續）內部表面的給定群組（該群組具有來自三個組中的每個組的一個內部表面）能夠協作以反射圖像照明的所有三個分量。

【0116】 在具有不同光譜分量或不同偏振分量的圖像照明的非限制性示

例上下文中已經描述了以上討論的塗層和小平面部署方法。然而，應當理解，圖像照明通常具有光譜分量和偏振分量二者（例如，線性偏振的紅光、綠光和藍光）。對於以較高 AOI 範圍（例如 20 度至 50 度）照射在小平面上的圖像照明，小平面的組的塗層可以被設計成滿足光譜和偏振兩重要求，以在寬視場上實現傳輸均衡。

【0117】 儘管迄今為止已經在 LOE 的上下文（其中光被引導沿一個維度穿過 LOE 並且由內部表面（小平面）耦出（作為“非引導”光）以便在一個維度上執行孔徑擴展（執行本文中被稱為“引導到非引導”圖像傳播））下描述了內部表面的塗層設計和部署，但是根據本發明的實施方式的本文中描述的塗層設計和小平面部署同樣適用於具有至少兩個光波導的光學設備，該至少兩個光波導協作以沿兩個維度引導光以便在二個維度上執行孔徑擴展。這些類型的光學設備執行在本文中被稱為“引導到引導”圖像傳播的功能，由此圖像照明被引導穿過第一光波導（沿一個維度或兩個維度）並且被部署在第一光波導中的一組小平面反射，以便耦入到第二光波導中。然後，圖像照明被引導穿過第二光波導（沿一個維度），並且被部署在第二光波導中的一組小平面反射，以便將圖像照明耦出第二光波導以供觀察者觀看。以下段落提供了執行引導到引導圖像傳播的光學設備的示例。

【0118】 圖 12A 和圖 12B 分別示出了光學設備的示意性側視圖和正視圖，該光學設備通過光學耦合在一起的兩個光波導 50、60 執行引導到引導的圖像傳播。光波導 50 具有被任意地示出為對應於“x 軸”的延伸方向，並且包括形成矩形截面的兩對平行面（即，主外部表面）52a、52b、54a、54b。多個相互平行的內部部分反射表面（即，小平面）58 以與伸長方向成傾斜角的方式至少部分地橫穿光波導 50。光學耦合至光波導 50 的光波導 60 具有形成板材型波導的一對平行面 62a、62b。此處，多個相互平行的內部部分反射表面（即，小平面）64 也以與平行面 62a、62b 成傾斜角的方式至少部分地橫穿光波導 60。包含小平面 58 的平面相對於包含小平面 64 的平面傾斜。

【0119】 光波導 50、60 之間的光學耦合以及內部部分反射表面 58、64 的部署和構造使得，當圖像沿初始傳播方向以傾斜於第一對平行面 52a、52b 和

第二對平行面 54a、54b 的耦合角耦入到光波導 50 中時，圖像通過四重內反射沿光波導 50（即，沿兩個維度）前進，其中圖像的一定比例的強度在內部部分反射表面 58 處被反射從而從光波導 50 耦出並且進入光波導 60，並且然後在光波導 60 內通過兩重內反射傳播（即，沿一個維度，與 LOE 10 中那樣類似），其中圖像的一定比例的強度在內部部分反射表面 64 處反射從而從光波導 60 耦出成為觀察者的眼睛所看到的可見圖像。由於這種構造，傳播穿過光波導 50 的光（通過光波導 50 在兩個維度上）被引導，並且被內部部分反射表面 58 反射的光（通過光波導 60 在一個維度上）也被引導。

【0120】 根據本發明的實施方式的塗層設計原理和/或小平面交錯原理可以應用於內部部分反射表面 58、64 的組中的任一組或兩個組。採用兩個光波導 50、60 的這種光學設備的進一步細節可以在申請人的共同擁有的美國專利第 10,133,070 號中找到，其全部內容通過引用併入本文中。

【0121】 圖 13 示出了通過光學耦合在一起的兩個板材型光波導 70、80 執行引導到引導圖像傳播的光學設備的示意圖。光波導 70 具有形成板材型波導的兩對平行面 72a、72b、74a、74b（在圖中，面 72a、72b 分別在光波導 70 的前側和後側處，並且面 74a、74b 分別在光波導 70 的左側和右側處）。多個相互平行的內部部分反射表面（即，小平面）76 以與平行面 72a、72b、74a、74b 成傾斜角的方式至少部分地橫穿光波導 70。光波導 80 具有形成板材型波導的兩對平行面 82a、82b、84a、84b（在圖中，面 82a、82b 分別在光波導 80 的前側和後側處，並且面 84a、84b 分別在光波導 80 的左側和右側處）。多個相互平行的內部部分反射表面（即，小平面）86 以與平行面 82a、82b、84a、84b 成傾斜角的方式至少部分地橫穿光波導 80。另外，包含小平面 76 的平面與包含小平面 86 的平面傾斜或垂直。

【0122】 在所示出的非限制性的實現方式中，光波導 70、80 以其中光波導 70 堆疊在光波導 80 的頂部上的構造光學地耦合在一起。然而，注意，光波導 70、80 可以前後堆疊（例如，面 72b、82a 具有彼此面對的關係）。光波導 70、80 之間的光學耦合以及部分反射表面 76、86 的部署和構造使得，當圖像耦入到光波導 70 中時，圖像通過面 72a、72b 之間的光波導 70 內的兩重內反射沿第一

引導方向進行傳播，其中圖像的一定比例的強度在內部部分反射表面 76 處反射從而從光波導 70 耦出並且耦入到光波導 80 中，並且然後通過面 82a、82b 之間的光波導 80 內的兩重內反射沿第二引導方向(傾斜於第一引導方向)進行傳播，其中圖像的一定比例的強度在內部部分反射表面 86 處反射從而從光波導 80 耦出作為觀察者的眼睛所看到的可見圖像。

【0123】 根據本發明的實施方式的塗層設計原理和/或小平面交錯原理可以應用於內部部分反射表面 76、86 的組中的任一組或兩個組。採用兩個光波導 70、80 的這種光學設備的進一步細節可以在申請人的共同擁有的美國專利第 10,551,544 號中找到，其全部內容通過引用併入本文中。

【0124】 雖然使用本文中公開的反射圖案塗層具有保持顏色均勻性和強度均勻性的益處，但是使用反射圖案塗層可能引起來自內部表面的不期望的反射，這可能導致鬼像。參照圖 14 描述了來自內部表面的不期望的反射的一般概念。此處，LOE 100 具有相對於一對平行面（主外部表面）102、104 傾斜地被部署的三個相互平行的部分反射內部表面 106a、106b、106c。為了清楚地示出內部表面 106a、106b、106c 的前側 108a、108b、108c 和後側 110a、110b、110c，在圖 14 中放大了內部表面 106a、106b、106c 的厚度。內部表面的前側和後側通常是相對的側，其中前側是內部表面的塗覆有塗層（參照圖 1 至圖 11 描述的）的側，塗層具有能夠根據期望的反射率圖案反射傳播圖像照明的反射特性。

【0125】 由光線 108 示意性表示的圖像照明 108 通過耦入反射器 110（或任何其他合適的光學耦入構造，例如耦合稜鏡等）耦入到 LOE 100 中。圖像照明 108 通過在面 102、104 處的重複內反射（通過全內反射或由於施加在面處的角度選擇性反射塗層）傳播穿過 LOE 100，直到到達一系列部分反射內部表面 106a、106b、106c，在內部表面處，圖像強度的一部分在部分反射內部表面 106a、106b、106c 的前側 108a、108b、108c 處作為光線 116a 至 116d 被反射出 LOE 100。觀察由光線 118 示意性表示的傳播圖像照明 118，可以看出，光線 118 的部分強度被部分反射內部表面 106a 透射（作為光線 120），之後光線 120 在面 102 處反射，並且然後一定比例的強度在部分反射內部表面 106a 的前側 108a 處反射以作為光線 116b 被反射出 LOE 100（剩餘強度被部分反射內部表面 106a 透射，使得

光繼續傳播穿過 LOE 100)。然而，光線 118 的部分強度在部分反射內部表面 106a 的後側 110a 處經歷不期望的反射，從而產生反射光線 122。在某些情況下，反射光線 122 可以在面 102、104 處經歷內反射，例如以面 102 處的反射所例示的，以便生成反射光線 124。反射光線 124 在部分反射內部表面 106b 的前側 108b 處被反射，以便作為鬼光線 126 被反射出 LOE 100。

【0126】 圖 15A 和圖 15B 示出了反射圖案塗層 30 如何能夠實現內部表面前側處的期望反射和內部表面後側處的不期望反射。應當注意，圖 15A 和圖 15B 不是按比例繪製的，並且為了清楚地說明，放大了反射圖案塗層 30 的內部表面和部件的一些尺寸。

【0127】 首先觀察圖 15A，圖 15A 示出了任意內部表面 130（其可以是例如組 18 的內部表面之一）如何處理照射在內部表面 130 的前側 132 上的傳播圖像照明 140。內部表面 130 具有沉積在內部表面 130 的前側 132 上的反射圖案塗層 30。特別地，平坦基底表面 32 沉積在前側 132 上，使得份 34 以期望的圖案被佈置在前側 132 上。替選地，份 34 可以在沒有平坦的基底表面 32 的情況下以佈置的圖案直接沉積在前側 132 上。由光線 140A 和光線 140B 示意性表示的傳播圖像照明 140 照射在內部表面 130 的前側 132 的不同區域上。在這種情況下，傳播圖像照明 140 是在 LOE 的下表面（例如，圖 14 中的面 102 或圖 1 中的面 12）處經歷反射的圖像照明。傳播圖像照明的由光線 140A 表示的部分照射在內部表面 130 的具有反射材料的區域上，以便作為反射光線 142 被反射材料的份 34 之一反射（出 LOE）。傳播圖像照明的由光線 140B 表示的部分照射在內部表面 130 的在反射材料的份 34 之間具有空間 35 的區域上，並且被內部表面 130 透射為反射光線 142（即，由於空間 35 是透明的，光線 140B 作為反射光線 142 從前側 132 穿過內部表面 130 到後側 134）。該光線 140B 繼續傳播穿過 LOE，在 LOE 的面處被反射並且/或者被隨後的內部表面反射。因此，圖像照明 140A 的一部分被內部表面 130 反射出 LOE，並且圖像照明 140B 的一部分被內部表面 130 透射。

【0128】 現在轉向圖 15B，其示出了內部表面 130 如何處理由光線 118A 和 118B 示意性地表示並且照射在內部表面 130 的後側 134 上的傳播圖像照明

118。在這種情況下，傳播圖像照明是在 LOE 的上面（例如，圖 14 中的面 104 或圖 1 中的面 14）處經歷反射的圖像照明。傳播圖像照明的由光線 118A 表示的部分照射在內部表面 130 的在反射材料的份 34 之間具有空間 35 的區域上，並且因此被內部表面 130 透射為光線 120（即，由於空間 35 是透明的，光線 118A 從後側 134 穿過內部表面 130 到前側 132）。傳播圖像照明的由光線 118B 表示的部分穿過內部表面 130 的後側 134，並且照射在內部表面 130 的具有反射材料的區域上，從而被反射材料的份 34 之一反射為反射光線 122。如上所述，該反射光線 122 可以在 LOE 的面處經歷附加反射，並且最終在內部表面之一的前側處反射，從而作為鬼光線反射出 LOE。

【0129】 為了防止這些不期望的反射，本發明的實施方式提供了反射抑制材料塗層，該塗層被施加在反射材料的份與內部表面的前側之間。圖 16A 和圖 16B 示出了反射抑制材料及其對傳播圖像照明的影響。與圖 15 和圖 15B 類似，為了清楚地說明，未按比例繪製圖 16A 和圖 16B。

【0130】 首先觀察圖 16A，在反射材料的份 34 與內部表面 130 的前側 132 之間部署反射抑制材料的塗層，其被指定為份 150。如果塗層 30 是使用平坦的基底表面 32（例如，薄膜）來實現，則可以將份 150 直接沉積在表面 32 上，並且然後可以將份 34 沉積在份 150 上。優選地，反射抑制材料的份以與反射材料的份的圖案構造相同的圖案構造被佈置，使得份 34 和份 150 的大小、形狀和數目相同。從圖 16A 中可以看出，反射抑制材料對入射到內部表面 130 的前側 132 的傳播圖像照明幾乎沒有影響。類似於如以上參照圖 15A 所討論的，傳播圖像照明的由光線 140A 表示的部分照射在內部表面 130 的具有反射材料的區域上，從而被反射材料的份 34 之一反射為反射光線 142。傳播圖像照明的由光線 140B 表示的部分照射在內部表面 130 的在反射材料的份 34 之間具有空間 35 的區域上，並且被內部表面 130 透射為光線 142。

【0131】 現在轉向圖 16B，圖 16B 示出了具有反射抑制材料的內部表面 130 如何處理照射在內部表面 130 的後側 134 上的傳播圖像照明 118。類似於如以上參照圖 15B 所討論的，傳播圖像照明的由光線 118A 表示的部分照射在內部表面 130 的在反射材料的份 34 之間具有空間 35 的區域上，並且因此被內部表

面 130 透射為光線 120。然而，與圖 15B 所示的構造不同，傳播圖像照明的由光線 118B 表示的部分穿過內部表面 130 的後側 134，並且照射到內部表面 130 的具有反射抑制材料的份 150 的區域上。反射抑制材料防止了光線 118B 的後側反射，並且因此不會發生傳播圖像照明的不期望的反射。

【0132】 反射抑制材料可以以各種方式實現。在一個非限制性示例中，反射抑制材料被實現為一定量的吸收入射光的黑色吸收塗料。在另一非限制性示例中，反射抑制材料被實現為一定量的光散射材料（例如，漫射材料），光散射材料以比入射光的強度小若干數量級的強度在多個方向上散射入射光。因此，任何繼續傳播穿過 LOE 並被隨後的內部表面反射的散射光將具有通常太低而不被觀察者注意到的強度。

【0133】 優選地，在 LOE 的製造期間將反射抑制材料沉積在反射材料與內部表面的前側之間。優選地通過形成在其介面處具有合適的塗層的結合在一起的透明板的堆疊來構建具有嵌入式內部表面的 LOE。通常使用光學膠執行結合。塗層可以包括所有如上所述的圖案化的反射塗層和/或電介質塗層。塗層可以成層地建立在薄膜或薄基板（例如，基底表面 32）上，在將板結合在一起之前薄膜或薄基板被施加在透明板之間的介面處。替選地，可以在將板結合在一起之前直接在透明板上建立塗層，使得透明板用作基底表面 32。當採用反射抑制材料來減少鬼像時，反射抑制材料的層可以按圖案被建立（直接在透明板上或者在薄膜或薄基板上），然後圖案反射材料層建立在反射抑制材料上，從而將反射抑制材料夾在透明板與反射材料之間。

【0134】 一旦透明板的堆疊結合在一起，並且在介面處具有適當的塗層（並且優選是反射抑制材料），以適當的角度（對應於要部署內部表面的期望傾斜角度）將堆疊進行切割（即切片）以形成 LOE，其中部分反射內部表面嵌入在平行的主外部表面（即面）之間。以適當角度進行的切片被稱為“對角切割”或“對角切片”。然後拋光 LOE 的主外部表面以提高主外部表面處的光學品質。在 LOE 使用耦入反射器作為光學耦入構造的實施方式中，可以執行類似的步驟以產生具有嵌入的耦入反射器的基板。

【0135】 儘管拋光工藝具有提高 LOE 的平行面處的光學品質的預期效果，

但是在某些情況下，拋光工藝可能會在 LOE 基板與內部表面之間的介面區域產生瑕疵，這可能會對 LOE 輸出處的圖像品質和光學性能產生負面影響。可能由拋光工藝引起的一種類型的瑕疵是 LOE 的一個或兩個平行面上的在基板的平行面與內部表面之間的介面區域處的凹陷。圖 17 中示意性地示出了這種瑕疵（未按比例繪製），圖 17 示出了 LOE 200 的區段，該 LOE 具有平行面 202、204，其中內部部分反射表面 206 相對於面 202、204 被傾斜地佈置。儘管未在圖中示出，但是附加內部部分反射表面平行於內部部分反射表面 206 被部署在 LOE 200 內。

【0136】 內部部分反射表面 206 包括分別與面 202、204 相關聯的對應端部區域 210a、210b 處的兩個相對的端部 208a、208b（即，起始端和終止端）。面 202、204 以及相應的端部區域 210a、210b（並且特別是相應的端部 208a、208b）在內部部分反射表面 206 與 LOE 基板之間限定介面區域 212a、212b（由虛線圓圈表示）。例如，由於拋光工藝的結果，在一個面 202 中在對應的介面區域 212a 處形成凹陷 214（但是可以在兩個面中，即在兩個介面區域 212a、212b 處形成）。凹陷 214 通常形成為 LOE 的面中的凹痕、窪部、凹坑、腔或縫隙，這使得面 202 的一部分（儘管是一小部分）向內伸突到部署內部表面的 LOE 200 的內部區段中。伸突部分（即，伸突部）在圖 17 中通常表示為 216。

【0137】 通常，由於拋光工藝中在拋光期間在介面區域 212a、212b 處施加的壓力而形成了凹陷 214，與面 202、204 的其餘部分相比，凹陷 214 的結構完整性降低。除了拋光之外的其他原因（例如，LOE 的處理不當（例如，掉落））可能使得形成凹陷 214。

【0138】 由於凹陷 214，在介面區域 212a 處或附近傳播的圖像照明可能經歷因伸突部 216 引起的散射。這在圖 18 中示意性地示出，其中圖像照明 218（由光線 218 示意性地表示）被內部部分反射表面 206 透射，並且在面 204 處經歷內反射，從而生成反射光線 220（也是圖像照明的一部分）。反射光線 220 在伸突部 216 處或附近入射到面 202 處，從而照射在伸突部 216 上，使得入射（反射）光線 220 被伸突部 216 在多個方向上反射（即，散射），示意性地由散射光線 222a 至 222c 表示。由於伸突部 216 的表面輪廓的變化，光線被沿各個方

向被散射。這些散射的光線 222a 至 222b 是不期望的反射，並且可以傳播穿過 LOE 200，從而被隨後的內部表面之一以不希望的角度被反射，導致在觀察者的眼睛處產生鬼像，這類似於以上參照圖 15B 討論的反射光線 122。

【0139】 現在參照圖 19，其示出了用於通過用光吸收材料對面 202 的包括凹陷 214 部分進行塗覆來防止由凹陷 214 引起的散射效應的方法。特別地，將一定量的光吸收材料 224 沉積在面 202 的包括凹陷 214 的部分上。優選地，位於凹陷 214 中的光吸收材料 224 的量足以將凹陷 214 填充到至少達到面 202 的無瑕疵部分的水平。在一個非限制性示例中，光吸收材料 224 被實現為黑色吸收塗料，其以足以填充凹陷 214 的量被施加到面 202。然後，優選地對面 202 進行拋光以從面 202 去除任何多餘的光吸收材料，使得僅保留位於凹陷 214 中的光吸收材料，並且凹陷 214 中的光吸收材料 224 的水平與面 202 的無瑕疵部分齊平。

【0140】 圖 19 中還示出了光吸收材料 224 對傳播圖像照明的影響。類似於以上參照圖 18 所討論的，光線 218 被內部部分反射表面 206 透射，並且在面 204 處經歷內反射，從而生生成反射光線 220。然而，反射光線 220 在照射到伸突部 216 上時被光吸收材料 224 吸收，從而防止由伸突部 216 引起的光散射。

【0141】 可以將吸光材料施加在內部表面與 LOE 基板之間的存在這樣的凹陷的任何介面區域處，並且然後如上所述進行拋光去除。例如，可以將光吸收材料施加到在介面區域 212b 中形成的凹陷。另外，當使用耦入反射器（即，內部反射表面）作為光學耦入構造時，在拋光工藝中可能在內部反射表面與 LOE 基板之間的介面區域處形成凹陷。此處也可以在內部反射表面和 LOE 基板之間的介面區域處施加一定量的光吸收材料，以防止由凹陷引起的散射效應。

【0142】 儘管已經在其中光沿一個維度傳播並且通過內部表面被耦出從而在一個維度上執行孔徑擴展的 LOE 的上下文中描述了通過使用施加到 LOE 外區域處的瑕疵的光吸收材料來減少散射，但是光吸收材料可以類似地被施加到在兩個維度上執行孔徑擴展的光波導（例如參照圖 12A、圖 12B 和圖 13 描述的執行引導到引導圖像傳播的光波導）的外部區域或部分上的瑕疵。這些瑕疵可以包括在各組小平面（例如，小平面 58、64、76、86）與對應的面（例如，

面 52a、52b、54a、54b、62a、62b、72a、72b、74a、74b、82a、82b、84a、84b）之間的介面區域處形成的凹陷。

【0143】 光吸收材料也可以用於修復呈光波導的面上的劃痕和/或光波導的帶缺口拐角或邊緣的形式的瑕疵。例如，考慮圖 20 中再現的圖 12A 和圖 12B 的光波導 50。此處，由面 52a、54a 形成的拐角/邊緣的一部分已被切掉（例如由於對光波導 50 的處理不當），產生瑕疵 230。通過四重內反射來傳播穿過光波導 50 的照射在瑕疵 230 的區域上的光將被散射或經歷沿不期望的方向的反射。如圖 21 所示，可以在瑕疵 230 處施加一定量的光吸收材料 224，以防止散射效應。在圖 21 中，位於瑕疵處的光吸收材料的量足以恢復光波導 50 的矩形截面。然而，可以將較少量的光吸收材料施加到不會使光波導恢復到其無瑕疵結構的瑕疵。同樣，可以施加吸光材料以填充光波導（用於一維和二維孔徑擴展光學設備）（例如，對於光波導 10、50、60、70、80、100 中的任何一個）的面處的劃痕。

【0144】 應當注意，本文中描述的本發明的某些方面可以用於獨立於本發明的其他方面來獲益。例如，與交錯小平面組一起使用或不與交錯小平面組一起使用的互補塗覆方法可以用於與瑕疵修補技術分開來獲益。此外，瑕疵修補技術可以應用於其他方面具有常規塗層架構的 LOE 或光波導（執行一維或二維孔徑擴展）。

【0145】 儘管在圖式中僅示出了 LOE 和光波導結構，但是應當理解，本文中描述的各種 LOE 和光波導旨在用作顯示器的一部分以用於向觀察者的眼睛提供圖像，該顯示器通常是平視顯示器（head-up display，HUD），優選地是近眼顯示器（near-eye display，NED），例如頭戴顯示器（head-mounted display，HMD）或眼鏡架支承顯示器，用於向觀察者的眼睛提供圖像。在某些優選實施方式中，顯示器是擴增現實（augmented reality，AR）顯示系統的一部分，其中提供給觀察者的眼睛的圖像被疊加在外部“真實世界”風景上。在其他實施方式中，顯示器是虛擬實境（virtual reality，VR）顯示系統的一部分，其中觀察者只能觀看到 LOE/光波導提供的圖像。在所有這樣的情況下，顯示器優選地包括小形式因子的圖像投影儀，該圖像投影儀生成準直圖像，準直圖像被光學耦合到 LOE/

光波導，以便經由光耦入構造（例如，耦入反射器 22、耦合稜鏡等）將準直圖像引入到 LOE/光波導中，以在 LOE/光波導內通過內反射傳播並且通過內部選擇性反射表面逐漸耦出。

【0146】 用於投影對應於（即表示）準直圖像的照明（即光）的合適的圖像投影儀的示例在本領域中是眾知的，其中圖像投影儀例如採用照明源、空間光調變器（例如矽基液晶（liquid crystal on silicon，LCoS）晶片、以及準直光學器件，其通常全部佈置在一個或更多個偏振選擇性分束器（polarization selective beam splitter，PSBS）立方體或其他稜鏡裝置的表面上。

【0147】 應當注意，當在 AR 系統的上下文中使用時，在光波導的外部部分處的瑕疵上施加少量的光吸收材料還可以提供減少或抑制來自外部風景的光的散射的益處。

【0148】 當討論塗層和圖像照明的偏振特性時，應當注意，對於本文中描述的示例中遵循特定偏振波路徑的每種情況，偏振是可互換的，由此，例如在改變塗層的偏振選擇屬性時，每次提及的 p 偏振光都可以被 s 偏振光代替，反之每次提及的 s 偏振光都可以被 p 偏振光代替。

【0149】 已經出於說明的目的給出了對本發明內容的各種實施方式的描述，但是其並非旨在是窮舉的或限於所公開的實施方式。在不脫離所描述的實施方式的範圍和精神的情況下，許多修改和變化對於本領域的普通技術人員將是明顯的。選擇本文所使用的術語以最好地解釋實施方式的原理、實際應用或對市場中發現的技術改進，或使本領域的其他普通技術人員能夠理解本文所公開的實施方式。

【0150】 如本文所使用的，除非上下文另有明確規定，否則單數形式“一（a）”、“一個（an）”和“該（the）”包括複數指代。

【0151】 在本文中使用詞語“示例性”來表示“用作示例、實例或說明”。被描述為“示例性”的任何實施方式不必被解釋為比其他實施方式優選或有利和/或排除結合來自其他實施方式的特徵合。

【0152】 應當理解，為了清楚起見在分開的實施方式的上下文中描述的本發明的某些特徵也可以在單個實施方式中組合提供。相反，為了簡潔起見在單

個實施方式的上下文中描述的本發明的各種特徵也可以分開地或以任何合適的子組合或根據需要在本發明的任何其他描述的實施方式中提供。在各種實施方式的上下文中描述的某些特徵不應被認為是這些實施方式的必要特徵，除非該實施方式在沒有這些要素的情況下是不可操作的。

【0153】 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，這樣做僅是為了適應不允許這樣的多項引用的司法管轄區的形式要求。應當注意，通過使請求項多項引用而隱含的特徵的所有可能組合被明確地設想並且應當被認為是本發明的一部分。

【0154】 儘管已經結合本發明的特定實施方式描述了本發明，但是顯然，對於本領域技術人員而言，許多替代、修改和變化將是明顯的。因此，本發明旨在涵蓋落入所附申請專利範圍的精神和廣義範圍內的所有此類替代、修改和變化。

【符號說明】

【0155】

10,50,60,100,200:光導光學元件,光波導(LOE)

12,14,52a,52b,54a,54b,62a,62b,72a,72b,74a,74b,82a,82b,84a,84b,102,104: 平行面
(主外部表面,表面)

16:第一組

18:第二組

16a,16b,16c,18a,18b,18c:部分反射表面(內部表面,內部部分反射器,部分反射器,小平面)

17a-1,17b-1,17c-1,19a-1,19b-1,19c-1:起始端

17a-2,17b-2,17c-2,19a-2,19b-2,19c-2:終止端

20:照明光束,投影圖像,圖像照明

20A,20B,116a,116b,116c,116d,118A,118B,120:光線

22:光學耦合構造

24A,24B,122,124,142,220, R_{16b} , R_{18a} , R_{18b} , R_{18c} :反射光線

30:塗層,圖案化反射塗層(反射圖案塗層)

31:塗層
32:基底表面
33:第一塗層
34,36,38,150:定量（份）
35:空間
37:第二塗層
40a,40b,40c,44a,44b,44c:第一部分
42a,42b,42c,46a,46b,46c:第二部分
58,64,76,86,206:內部部分反射表面（小平面）
202,204:平行面
70,80:板材型光波導
106a,106b,106c:部分反射內部表面
108,118,140,140A,140B,218:光線,圖像照明
108a,108b,108c,132:前側
110:反射器
110a,110b,110c,134:後側
126:鬼光線
130:內部表面
208a,208b,210a,210b:端部區域
212a,212b:介面區域
214:凹陷
216:伸突部
222a,222b,222c:散射光線
224:光吸收材料
230:瑕疵

申請專利範圍

【請求項1】 一種光學設備，包括：

透光基板，其具有至少兩個平行主外部表面，以用於通過所述主外部表面處的內反射來引導光；

至少一個至少內部表面，其相對於所述外部表面傾斜地部署在所述基板內，所述內部表面具有與所述基板的外部表面中的第一外部表面相關聯的端部區域，所述端部區域限定所述內部表面與所述基板之間的介面區域；以及

一定量的光吸收材料，其位於在所述外部表面中的第一外部表面中在所述介面區域處形成的凹陷中。

【請求項2】 如請求項 1 所述的光學設備，其中，所述至少一個內部表面包括多個互相平行的部分反射的表面。

【請求項3】 如請求項 1 所述的光學設備，其中，所述至少一個內部表面被構造成將通過內反射在所述基板內引導的光耦出所述基板。

【請求項4】 如請求項 1 所述的光學設備，其中，所述至少一個內部表面被構造成：將光耦入到所述基板中以使其通過內反射在所述基板內進行傳播。

【請求項5】 如請求項 1 所述的光學設備，其中，所述至少一個內部表面被構造成：將通過內反射在所述基板內引導的光耦入到第二透光基板中，以使其通過內反射在所述第二透光基板內進行傳播。

【請求項6】 如請求項 1 所述的光學設備，其中，所述光吸收材料包括黑色吸收塗料。

【請求項7】 如請求項 1 所述的光學設備，其中，所述一定量的光吸收材料足以填充所述凹陷。

【請求項8】 如請求項 1 所述的光學設備，其中，所述內部表面具有與所述基板的外部表面中的第二外部表面相關聯的第二端部區域，所述第二端部區域限定所述內部表面與所述基板之間的第二介面區域，所述光學設備還包括：位於在所述外部表面中的第二外部表面中在所述第二介面區域處形成的凹陷中的一一定量的光吸收材料。

【請求項9】 一種製造光學設備的方法，所述方法包括：

獲得透光基板，所述透光基板具有至少兩個平行主外部表面，以用於通過所述主外部表面處的內部反射來引導光，所述基板具有至少一個至少內部表面，所述至少一個至少內部表面部署在所述外部表面之間並且相對於所述外部表面傾斜，所述內部表面具有與所述基板的外部表面中的第一外部表面相關聯的端部區域，以限定所述內部表面與所述外部表面中的第一外部表面之間的介面區域；以及

將一定量的光吸收材料沉積在凹陷中，所述凹陷形成在所述外部表面中的第一外部表面中在所述介面區域處。

【請求項10】 如請求項 9 所述的方法，其中，沉積所述一定量的光吸收材料包括將所述光吸收材料施加到所述外部表面中的基本上整個第一外部表面。

【請求項11】 如請求項 10 所述的方法，還包括：拋光所述外部表面中的第一外部表面以從所述外部表面中的第一外部表面的在所述凹陷之外的基本上所有部分去除所述光吸收材料。

【請求項12】 如請求項 9 所述的方法，其中，獲得所述透光基板包括：將一組塗覆透明板附接在一起以形成堆疊，將所述堆疊進行對角切片以形成具有所述至少兩個平行主外部表面和相對於所述外部表面傾斜的內部表面的所述基板，以及拋光所述外部表面。

【請求項13】 如請求項 12 所述的方法，其中，拋光所述外部表面使得在所述外部表面中的第一外部表面中在所述介面區域處形成所述凹陷。

【請求項14】 如請求項 9 所述的方法，其中，所述一定量的光吸收材料足以填充所述凹陷。

【請求項15】 如請求項 9 所述的方法，其中，所述內部表面具有與所述基板的外部表面中的第二外部表面相關聯的第二端部區域，以限定所述內部表面與所述外部表面中的第二外部表面之間的介面區域，所述方法還包括：將一定量的光吸收材料沉積在所述外部表面中的第二外部表面中在介面區域處形成的凹陷中，所述介面區域在所述內部表面與所述外部表面中的第二外部表面之間。

【請求項16】 一種光學設備，包括：

透光基板，其具有形成矩形截面的第一對平行主外部表面和第二對平行主外部表面，所述基板被構造用於通過所述主外部表面處的內反射引導光；

至少一個內部表面，其相對於所述基板的延伸方向傾斜地部署在所述基板內，被構造用於將光耦出所述基板；以及

一定量的光吸收材料，其位於在所述基板的外區域處形成的瑕疵處。

【請求項17】 如請求項 16 所述的光學設備，其中，所述瑕疵包括在所述外部表面之一中形成的劃痕。

【請求項18】 如請求項 16 所述的光學設備，其中，所述瑕疵包括在所述第一對外部表面中的一個外部表面與所述第二對外部表面中的一個外部表面之間形成的邊緣中的缺口。

【請求項19】 如請求項 16 所述的光學設備，其中，所述瑕疵包括在所述第一對外部表面中的一個外部表面與所述第二對外部表面中的一個外部表面之間形成的拐角中的缺口。

【請求項20】 如請求項 16 所述的光學設備，其中，所述內部表面包括與所述基板的外部表面之一相關聯的至少第一端部區域，以限定所述內部表面與所述基板之間的介面區域。

【請求項21】 如請求項 20 所述的光學設備，其中，所述瑕疵包括在所述介面區域處形成的凹陷。

【請求項22】 如請求項 16 所述的光學設備，其中，所述光吸收材料包括黑色吸收塗料。

圖式

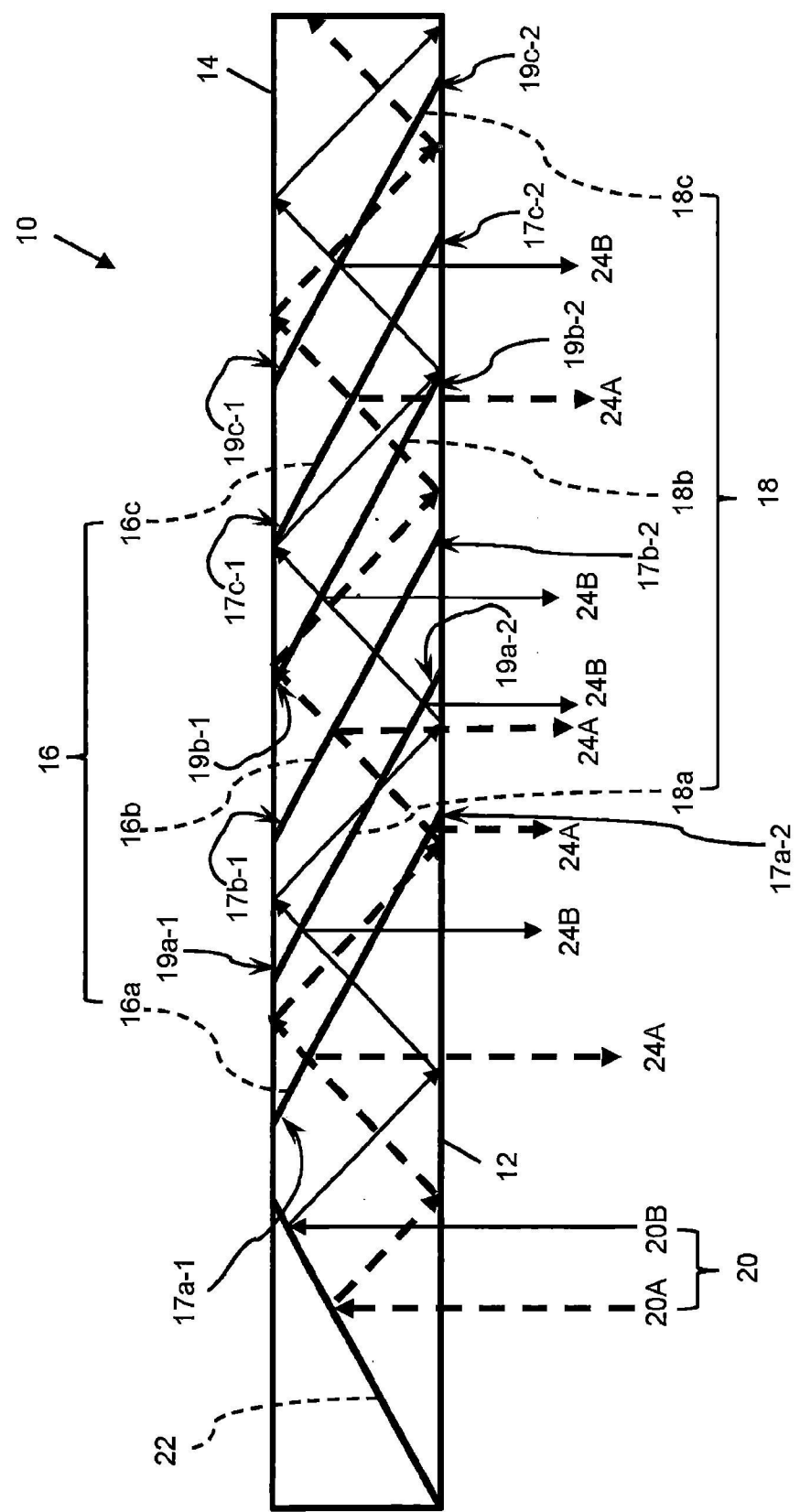


圖 1

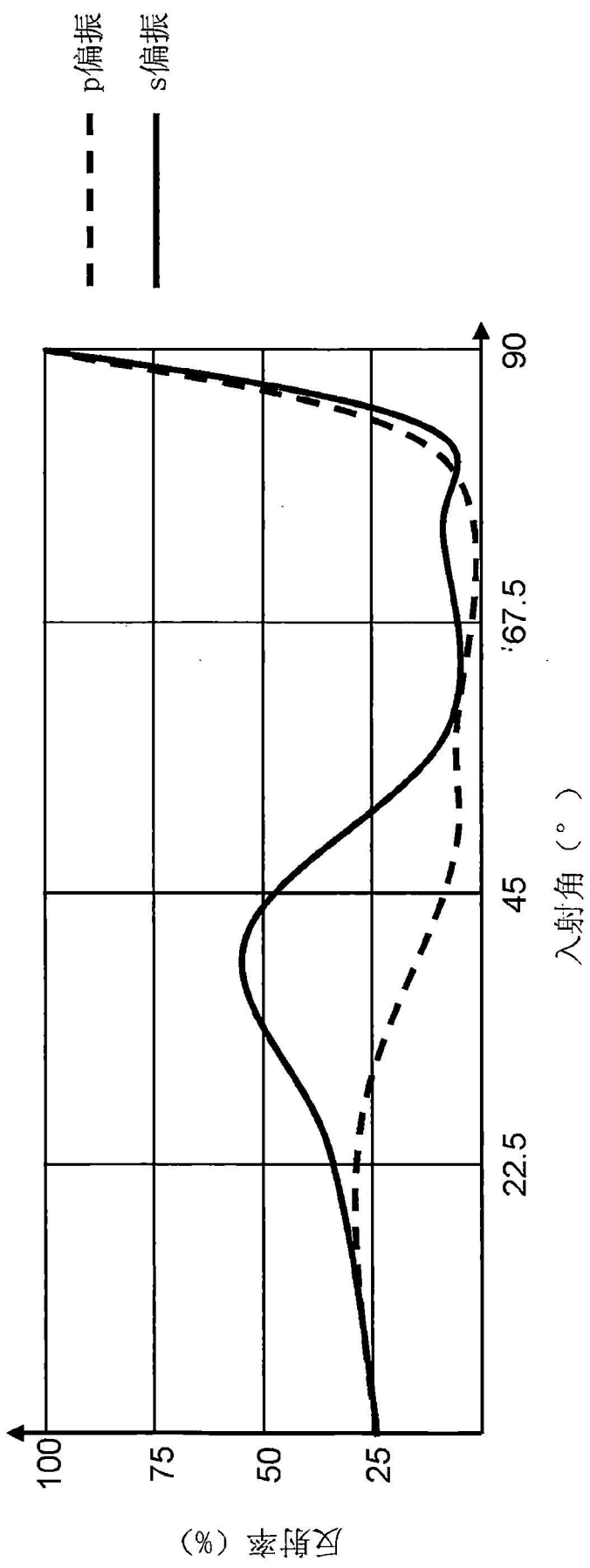


圖 2

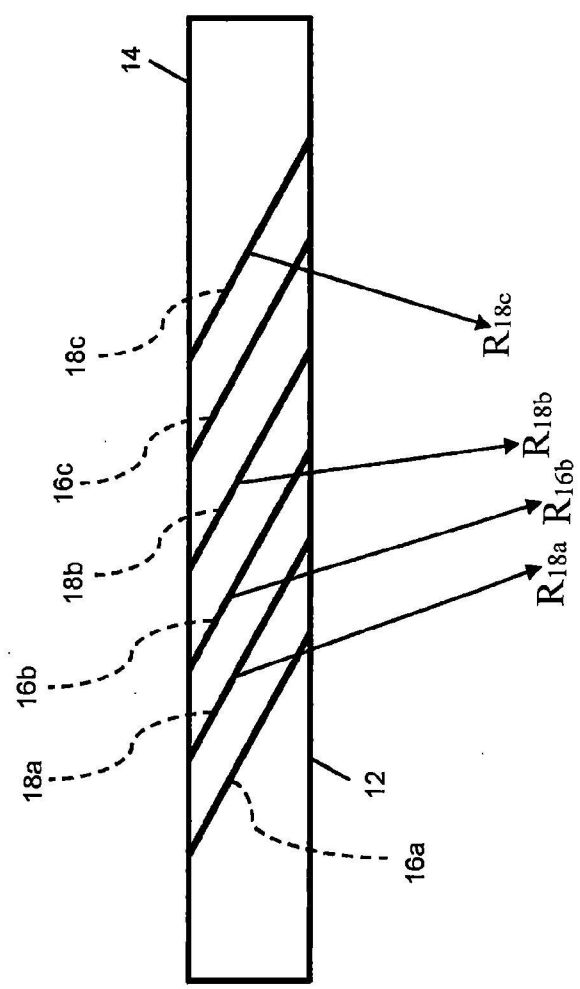


圖 3

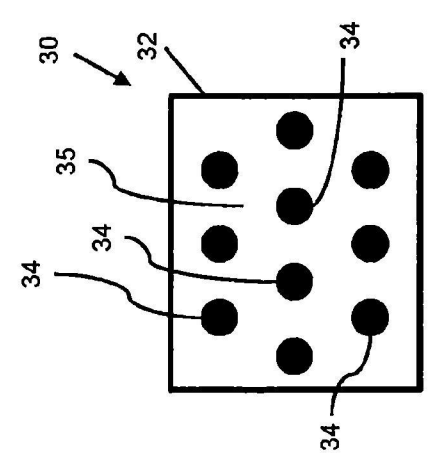


圖 4

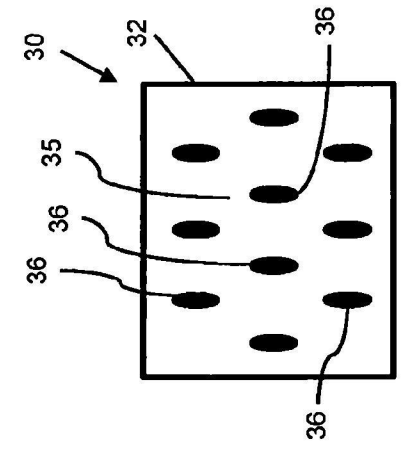


圖 5

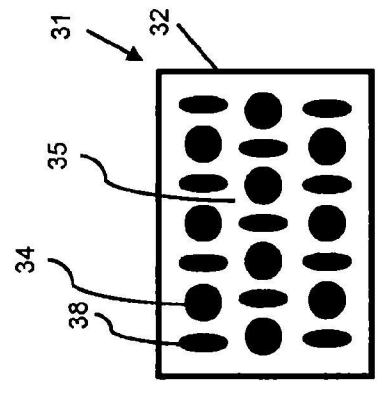


圖 6

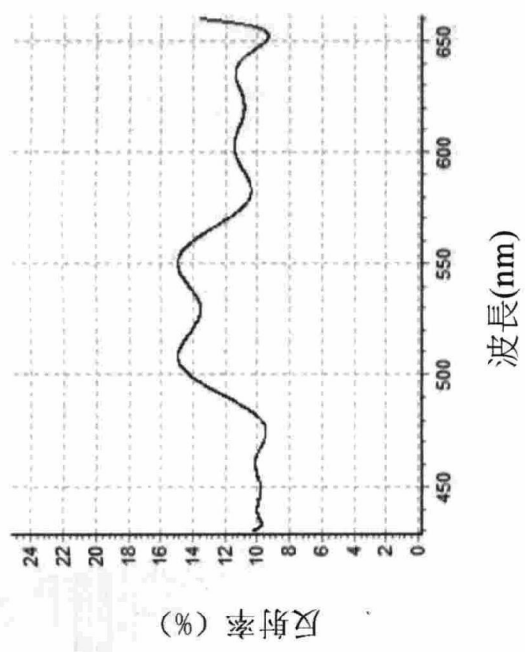


圖 8

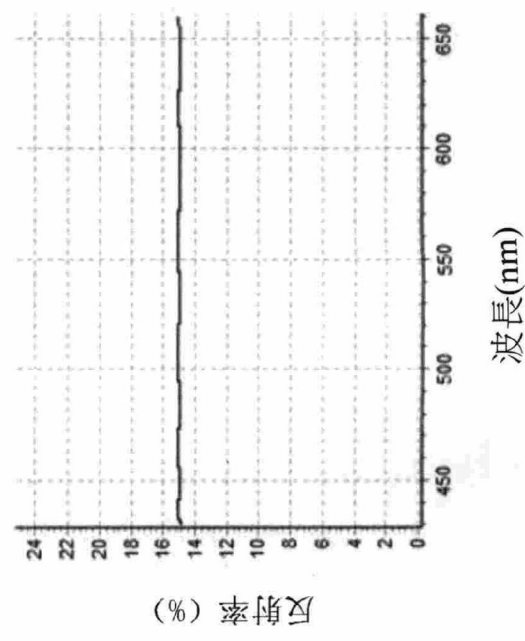


圖 10

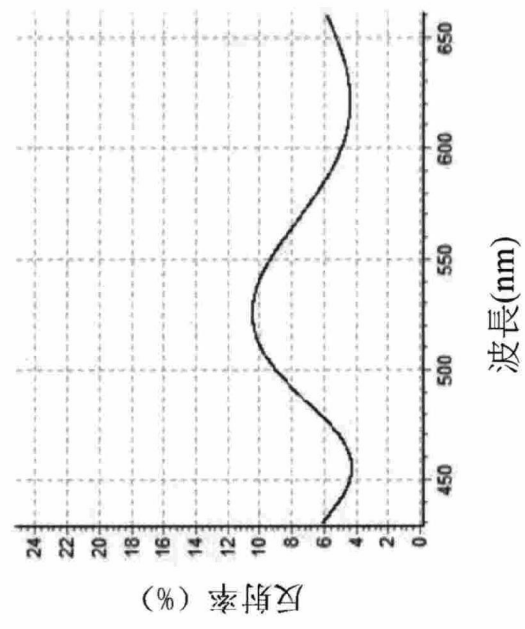


圖 7

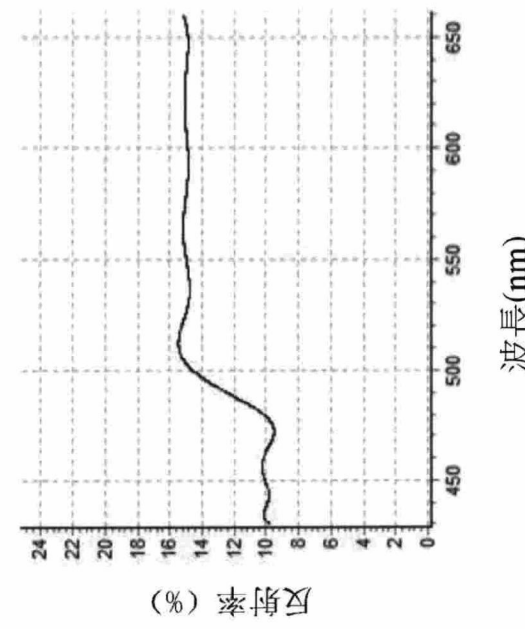


圖 9

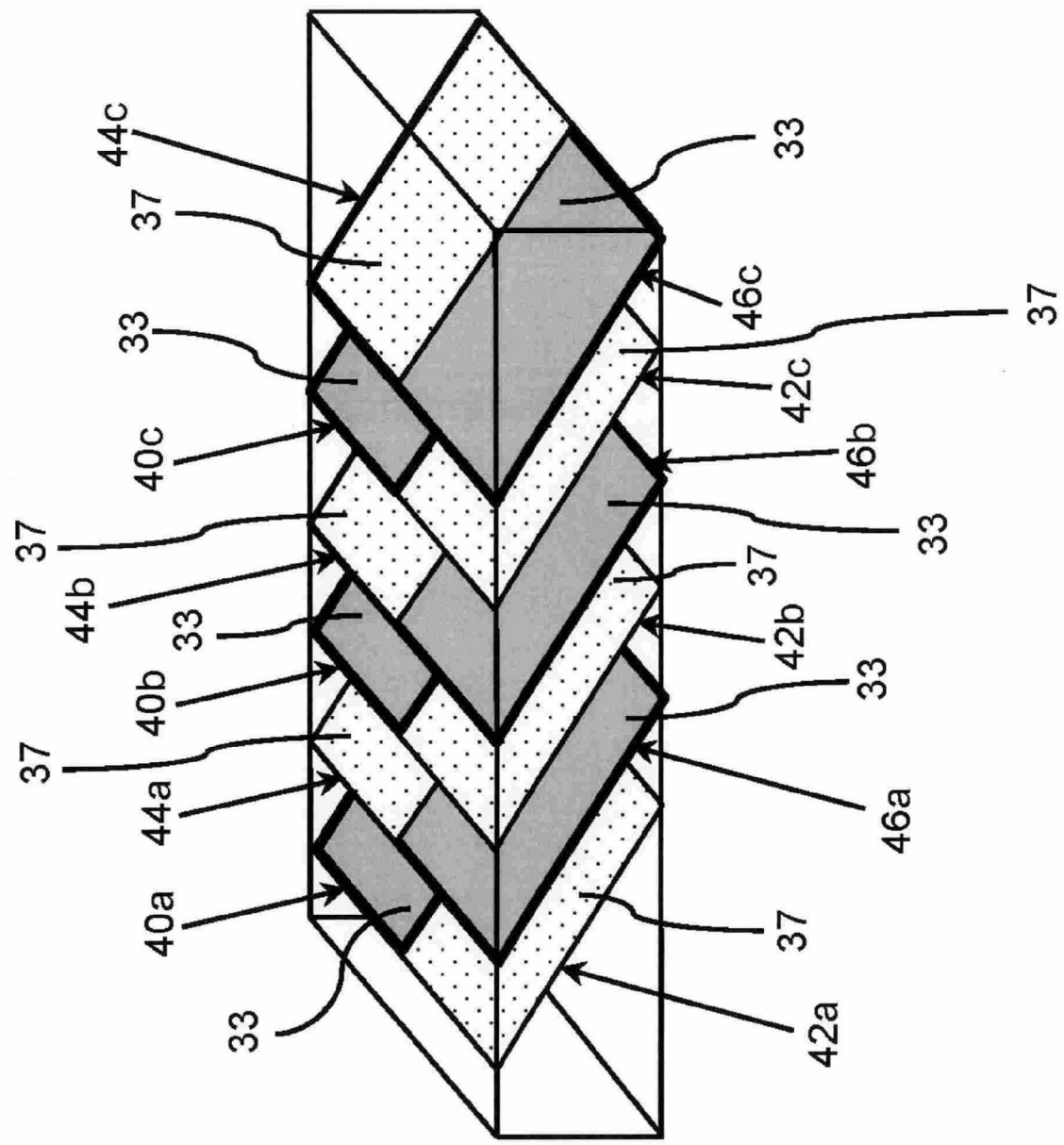


圖 11

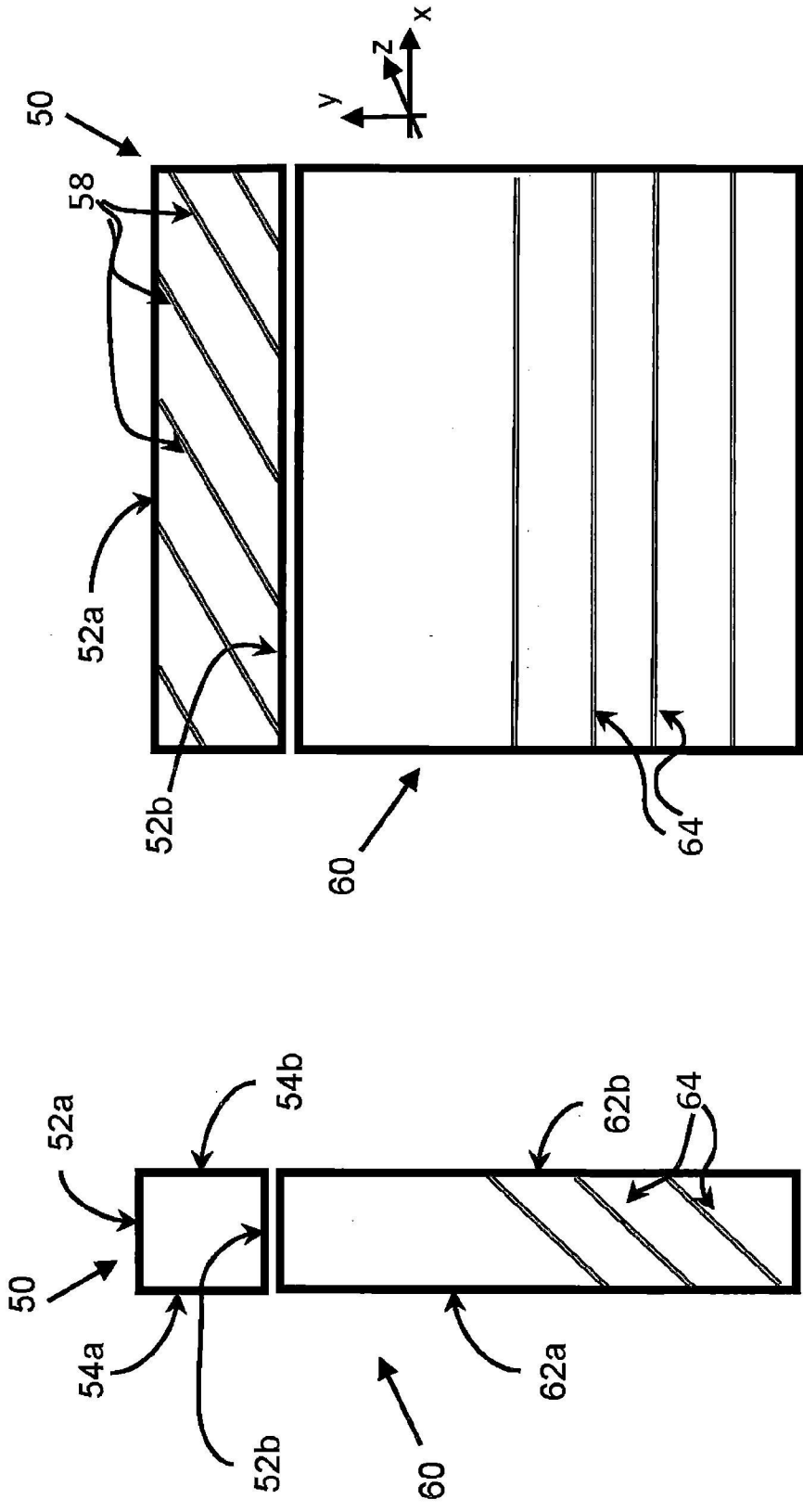


圖 12A

圖 12B

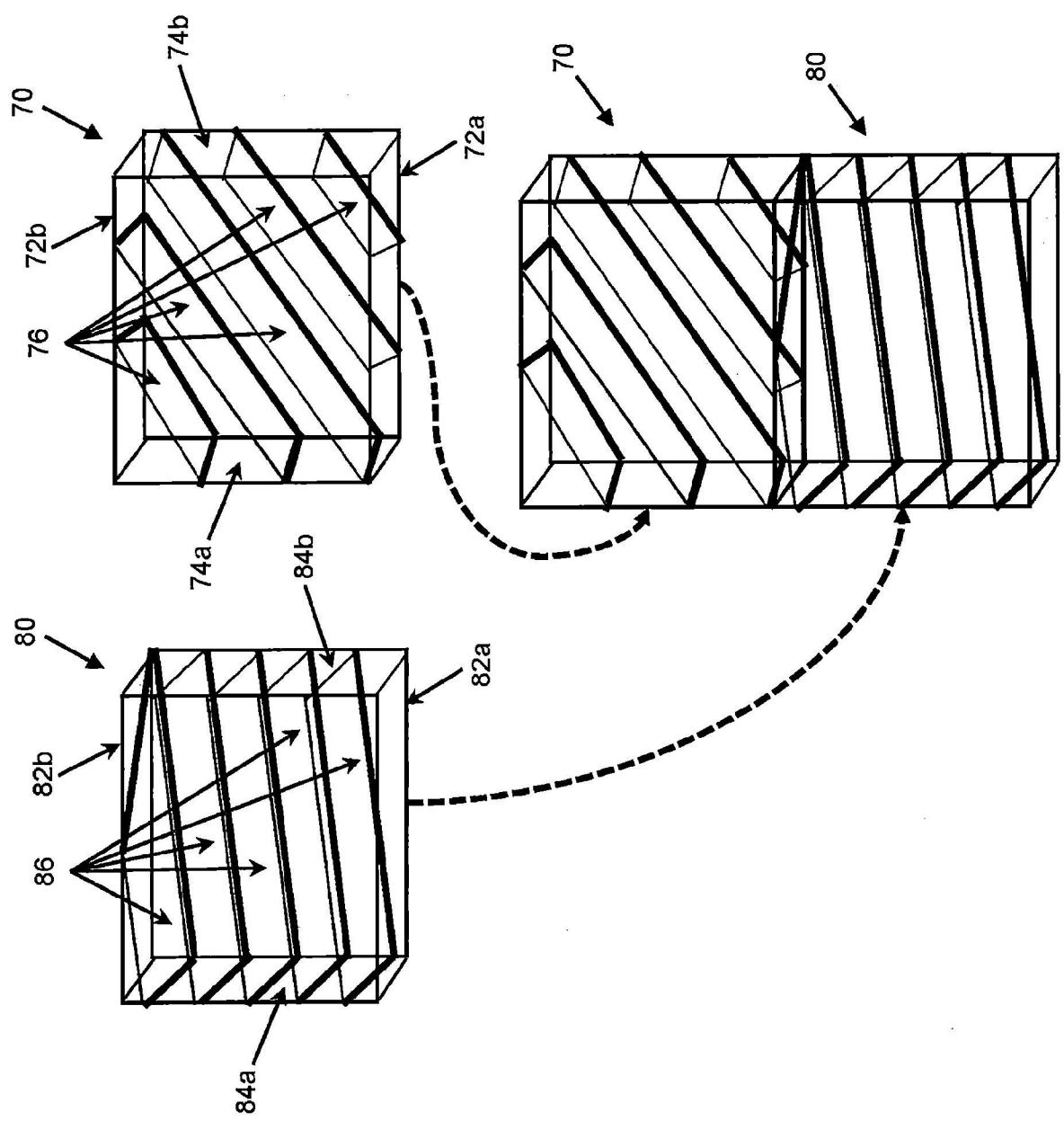


圖 13

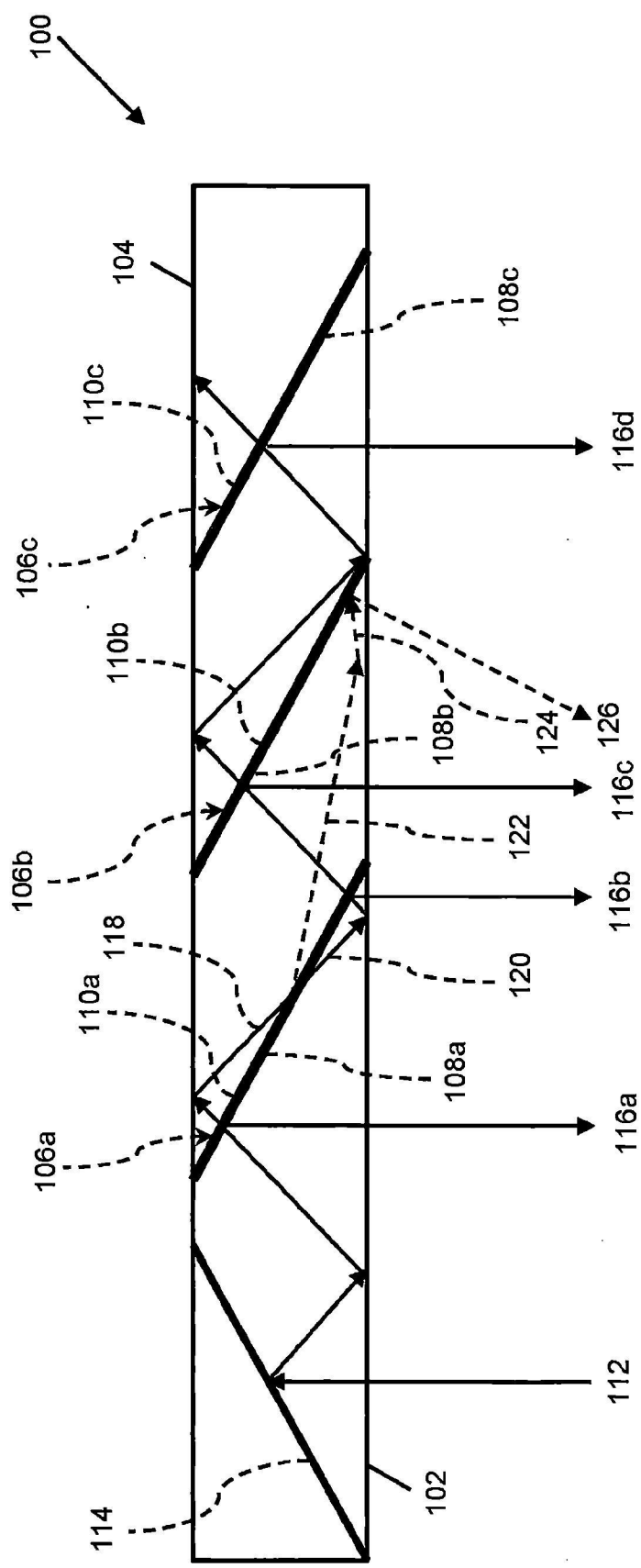


圖 14

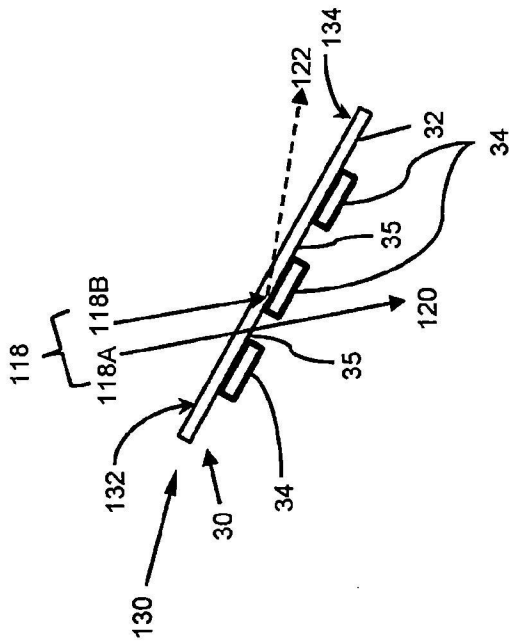


圖 15B

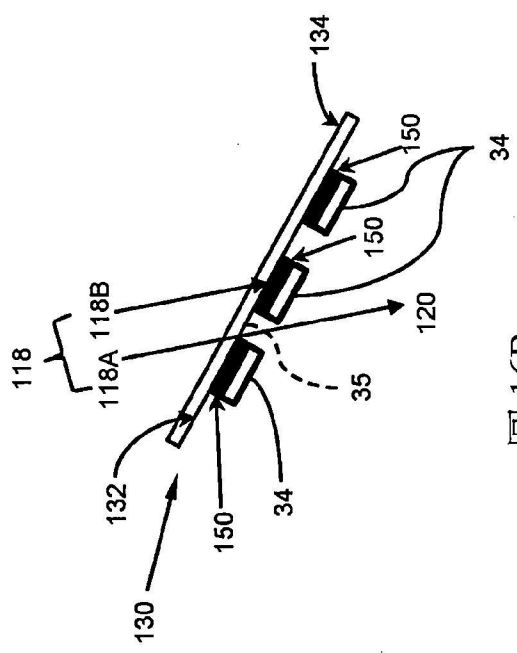


圖 16B

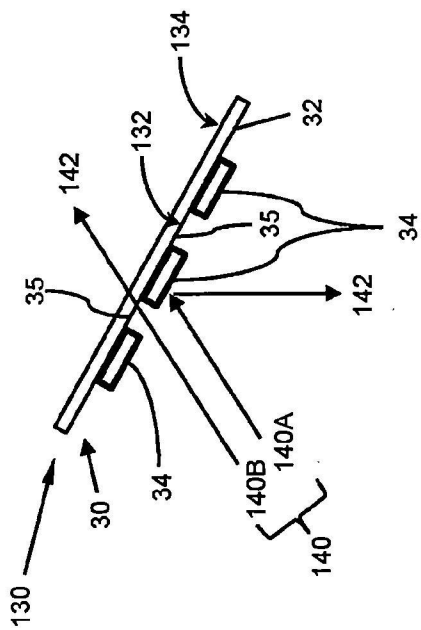


圖 15A

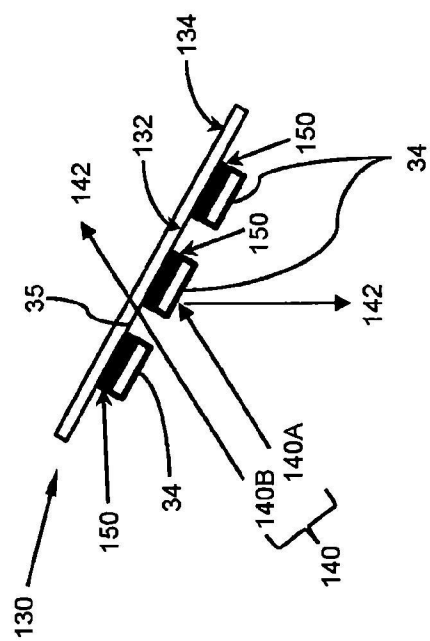


圖 16A

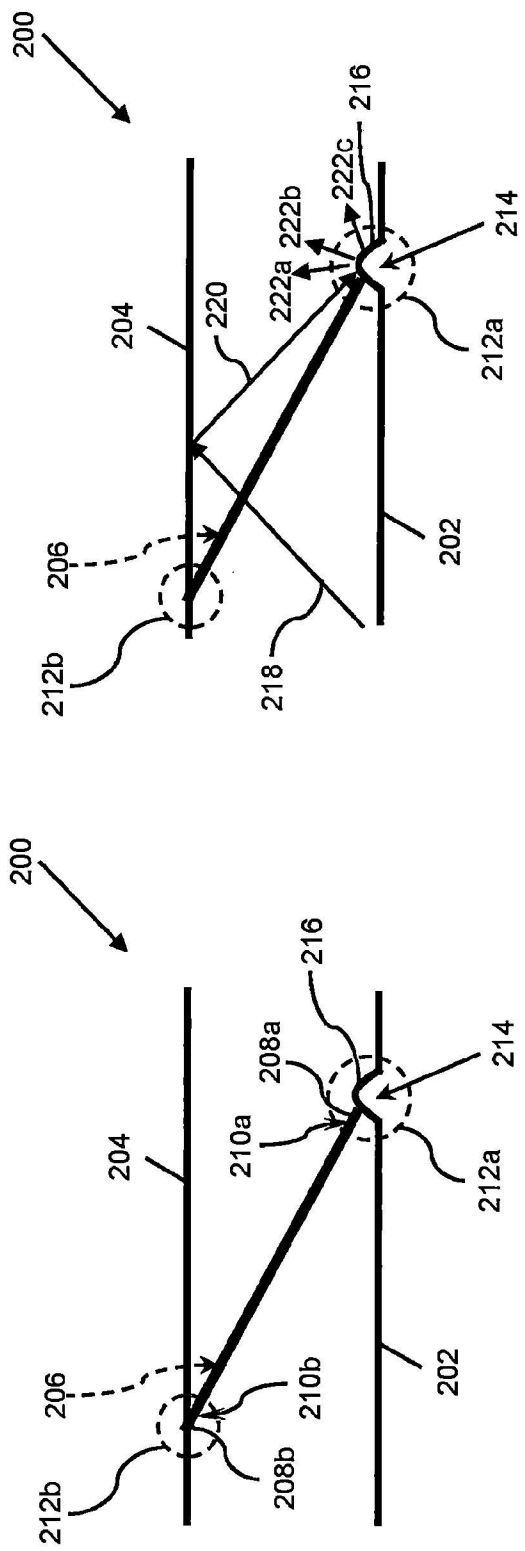


圖 17

圖 18

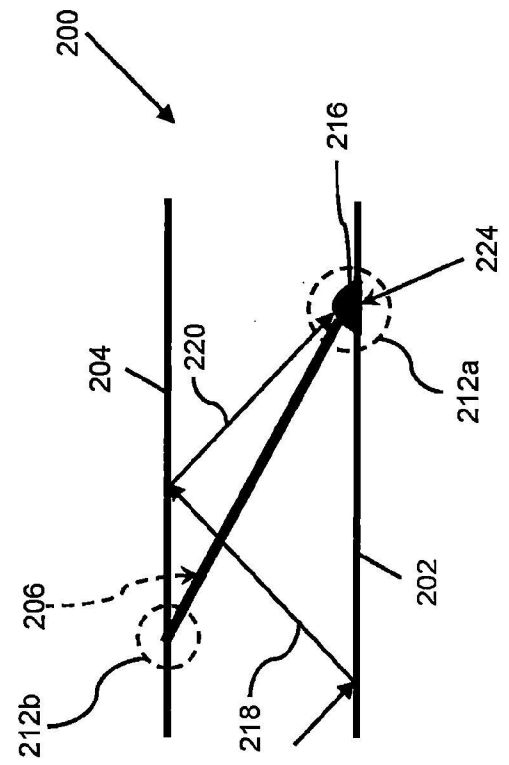


圖 19

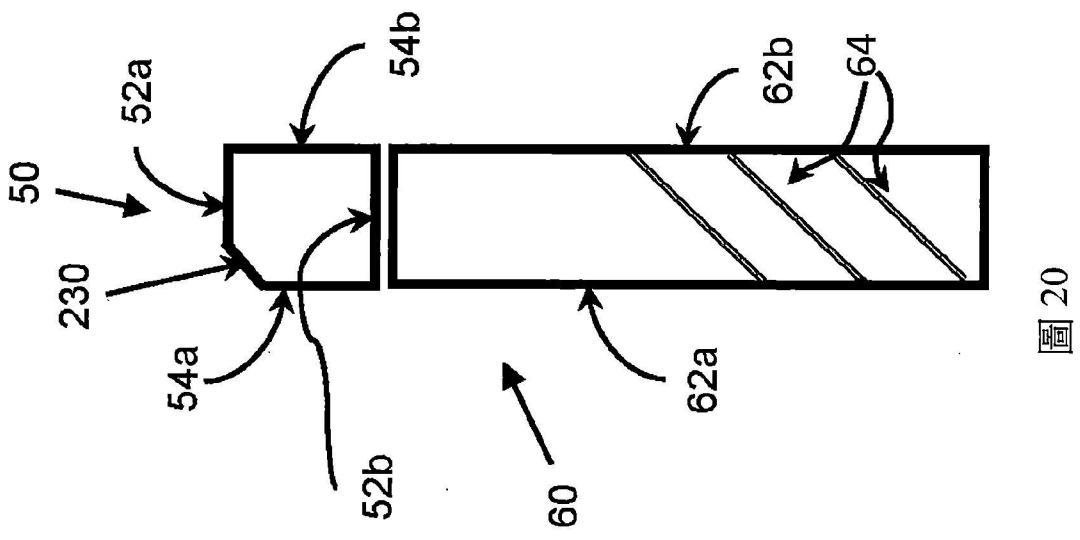


圖 20

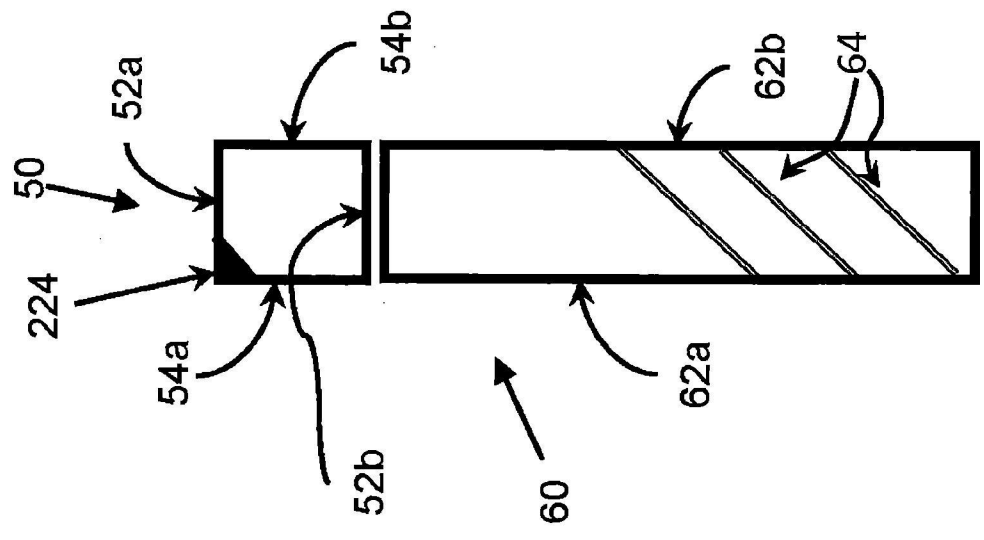


圖 21