



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118778153 A

(43) 申请公布日 2024. 10. 15

(21) 申请号 202411040420.2

G02B 27/01 (2006.01)

(22) 申请日 2020.12.03

G02B 6/00 (2006.01)

(30) 优先权数据

62/943,867 2019.12.05 US

(62) 分案原申请数据

202080082363.8 2020.12.03

(71) 申请人 鲁姆斯有限公司

地址 以色列

(72) 发明人 耶谢·丹齐格 埃拉德·沙尔林

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

11227

专利代理师 王伟楠

(51) Int. Cl.

G02B 1/10 (2015.01)

G02B 27/00 (2006.01)

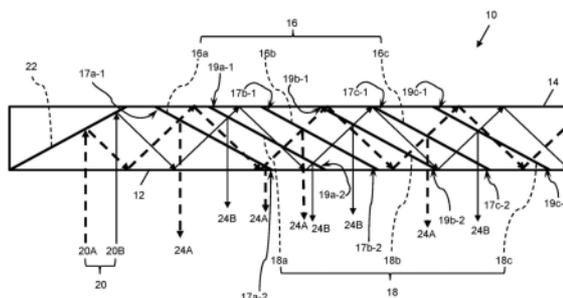
权利要求书3页 说明书26页 附图13页

(54) 发明名称

光学设备和制造光学设备的方法

(57) 摘要

提供了光学设备和制造光学设备的方法。光学设备包括：透光基板，其具有至少两个平行主外部表面，以用于通过主外部表面处的内反射引导指示准直图像的光；以及多个相互平行内部表面，其相对于外部表面倾斜地部署在基板内，内部表面的第一子组的至少一部分包括图案化涂层，图案化涂层包括以规定图案布置在第一子组的内部表面上的反射材料的若干份，图案化涂层至少部分地反射入射光的分量的至少第一子集，内部表面的第二子组至少部分地反射入射光的分量的至少第二子集，并且第一子组的内部表面与第二子组的内部表面具有交叠关系，使得内部表面的子组进行协作以反射第一子集和第二子集的光的所有分量。



1. 一种光学设备,包括:

透光基板,其具有至少两个平行主外部表面,以用于通过所述主外部表面处的内反射引导指示准直图像的光;以及

多个相互平行内部表面,其相对于所述外部表面倾斜地部署在所述基板内,所述内部表面的第一子组的至少一部分包括图案化涂层,所述图案化涂层包括以规定图案布置在所述第一子组的内部表面上的反射材料的若干份,所述图案化涂层至少部分地反射入射光的分量的至少第一子集,所述内部表面的第二子组至少部分地反射入射光的分量的至少第二子集,并且所述第一子组的内部表面与所述第二子组的内部表面具有交叠关系,使得所述内部表面的子组进行协作以反射所述第一子集和所述第二子集的光的所有分量。

2. 根据权利要求1所述的光学设备,其中,所述反射材料的每个份在所述第一子组的内部表面的平面中具有圆形形状。

3. 根据权利要求1所述的光学设备,其中,所述反射材料的每个份在所述第一子组的内部表面的平面中具有长方形形状。

4. 根据权利要求1所述的光学设备,其中,所述反射材料是电介质材料。

5. 根据权利要求1所述的光学设备,其中,所述反射材料是金属材料。

6. 根据权利要求1所述的光学设备,其中,在所述反射材料的份之间形成的空间是透明的。

7. 根据权利要求1所述的光学设备,其中,第二反射材料部署在所述反射材料的份之间形成的空间中。

8. 根据权利要求7所述的光学设备,其中,所述第二反射材料包括电介质材料。

9. 根据权利要求7所述的光学设备,其中,所述第二反射材料以规定图案布置在所述第一子组的内部表面上。

10. 根据权利要求1所述的光学设备,其中,所述第一子组的内部表面上的分量的数目或分量的大小中的至少一个相对于光穿过所述基板的传播方向而增加。

11. 根据权利要求1所述的光学设备,还包括一定量的光反射抑制材料,所述光反射抑制材料部署在所述反射材料与所述第一子组的内部表面之间。

12. 根据权利要求11所述的光学设备,其中,所述光反射抑制材料包括光吸收材料。

13. 根据权利要求11所述的光学设备,其中,所述光反射抑制材料包括光散射材料。

14. 根据权利要求1所述的光学设备,其中,所述第一子组的内部表面与所述第二子组的内部表面交错。

15. 根据权利要求1所述的光学设备,其中,内部表面的所述第一子组的表面与内部表面的所述第二子组的表面共面。

16. 根据权利要求1所述的光学设备,其中,所述内部表面将通过所述主外部表面处的内反射引导的光的一定比例朝向观察者的眼睛反射出所述透光基板。

17. 根据权利要求1所述的光学设备,其中,所述内部表面将通过所述主外部表面处的内反射引导的光的一定比例反射出所述透光基板,以使其耦入到第二透光基板中,以用于通过所述第二透光基板的外部表面处的内反射进行引导。

18. 根据权利要求1所述的光学设备,其中,所述基板被构造成将光沿一个维度引导穿过所述基板。

19. 根据权利要求1所述的光学设备,其中,所述基板被构造成将光沿两个维度引导穿过所述基板。

20. 根据权利要求1所述的光学设备,其中,所述内部表面中的至少一个内部表面包括与所述基板的外部表面中的第一外部表面相关联的端部区域,所述端部区域限定所述至少一个内部表面与所述基板之间的界面区域,并且其中,所述外部表面中的第一外部表面具有一定量的光吸收材料,所述光吸收材料位于在所述外部表面的第一外部表面中在所述界面区域处形成的凹陷中。

21. 一种光学设备,包括:

透光基板,其具有至少两个平行主外部表面,以用于通过所述主外部表面处的内反射来引导光;

至少一个至少内部表面,其相对于所述外部表面倾斜地部署在所述基板内,所述内部表面具有与所述基板的外部表面中的第一外部表面相关联的端部区域,所述端部区域限定所述内部表面与所述基板之间的界面区域;以及

一定量的光吸收材料,其位于在所述外部表面中的第一外部表面中在所述界面区域处形成的凹陷中。

22. 根据权利要求21所述的光学设备,其中,所述至少一个内部表面包括多个互相平行的部分反射的表面。

23. 根据权利要求21所述的光学设备,其中,所述至少一个内部表面被构造成将通过内反射在所述基板内引导的光耦出所述基板。

24. 根据权利要求21所述的光学设备,其中,所述至少一个内部表面被构造成:将光耦入到所述基板中以使其通过内反射在所述基板内进行传播。

25. 根据权利要求21所述的光学设备,其中,所述至少一个内部表面被构造成:将通过内反射在所述基板内引导的光耦入到第二透光基板中,以使其通过内反射在所述第二基板内进行传播。

26. 根据权利要求21所述的光学设备,其中,所述光吸收材料包括黑色吸收涂料。

27. 根据权利要求21所述的光学设备,其中,所述一定量的光吸收材料足以填充所述凹陷。

28. 根据权利要求21所述的光学设备,其中,所述内部表面具有与所述基板的外部表面中的第二外部表面相关联的第二端部区域,所述第二端部区域限定所述内部表面与所述基板之间的第二界面区域,所述光学设备还包括:位于在所述外部表面中的第二表面中在所述第二界面区域处形成的凹陷中的一定量的光吸收材料。

29. 一种制造光学设备的方法,所述方法包括:

获得透光基板,所述透光基板具有至少两个平行主外部表面,以用于通过所述主外部表面处的内部反射来引导光,所述基板具有至少一个至少内部表面,所述至少一个内部表面部署在所述外部表面之间并且相对于所述外部表面倾斜,所述内部表面具有与所述基板的外部表面中的第一外部表面相关联的端部区域,以限定所述内部表面与所述外部表面中的第一外部表面之间的界面区域;以及

将一定量的光吸收材料沉积在凹陷中,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界面区域处。

30. 根据权利要求29所述的方法,其中,沉积所述一定量的光吸收材料包括将所述光吸收材料施加到所述外部表面中的基本上整个第一外部表面。

31. 根据权利要求30所述的方法,还包括:抛光所述外部表面中的第一外部表面以从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。

32. 根据权利要求29所述的方法,其中,获得所述透光基板包括:将一组涂覆透明板附接在一起以形成堆叠,将所述堆叠进行对角切片以形成具有所述至少两个平行主外部表面和相对于所述外部表面倾斜的内部表面的所述基板,以及抛光所述外部表面。

33. 根据权利要求32所述的方法,其中,抛光所述外部表面使得在所述外部表面中的第一表面中在所述界面区域处形成所述凹陷。

34. 根据权利要求29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。

35. 根据权利要求29所述的方法,其中,所述内部表面具有与所述基板的外部表面中的第二外部表面相关联的第二端部区域,以限定所述内部表面与所述外部表面中的第二外部表面之间的界面区域,所述方法还包括:将一定量的光吸收材料沉积在所述外部表面中的第二外部表面中在界面区域处形成的凹陷中,所述界面区域在所述内部表面与所述外部表面中的第二外部表面之间。

36. 一种光学设备,包括:

透光基板,其具有形成矩形截面的第一对平行主外部表面和第二对平行主外部表面,所述基板被构造用于通过所述主外部表面处的内反射引导光;

至少一个内部表面,其相对于所述基板的延伸方向倾斜地部署在所述基板内,被构造用于将光耦出所述基板;以及

一定量的光吸收材料,其位于在所述基板的外区域处形成的瑕疵处。

37. 根据权利要求36所述的光学设备,其中,所述瑕疵包括在所述外部表面之一中形成的划痕。

38. 根据权利要求36所述的光学设备,其中,所述瑕疵包括在所述第一对外部表面中的一个外部表面与所述第二对外部表面中的一个外部表面之间形成的边缘中的缺口。

39. 根据权利要求36所述的光学设备,其中,所述瑕疵包括在所述第一对外部表面中的一个外部表面与所述第二对外部表面中的一个外部表面之间形成的拐角中的缺口。

40. 根据权利要求36所述的光学设备,其中,所述内部表面包括与所述基板的外部表面之一相关联的至少第一端部区域,以限定所述内部表面与所述基板之间的界面区域。

41. 根据权利要求40所述的光学设备,其中,所述瑕疵包括在所述界面区域处形成的凹陷。

42. 根据权利要求36所述的光学设备,其中,所述光吸收材料包括黑色吸收涂料。

## 光学设备和制造光学设备的方法

[0001] 本申请是申请日为2020年12月03日、申请号为202080082363.8(国际阶段申请号为PCT/IL2020/051249)、发明名称为“采用互补涂覆的部分反射器的光导光学元件,以及具有减少的光散射的光导光学元件”的发明专利申请的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉应用

[0003] 本申请要求2019年12月5日提交的美国临时专利申请第62/943,867号的优先权,其全部内容通过引用合并在本文中。

### 技术领域

[0004] 本发明涉及显示系统,并且特别地涉及适合用于显示器中的光导光学元件。

### 背景技术

[0005] 特别适合于平视显示器(head-up display,HUD)(例如用于虚拟现实和增强现实应用的近眼显示器(near-eye display,NED))的某些显示技术采用了具有一系列内部倾斜、相互平行的部分反射表面的光导光学元件(也被称为“光波导”或“透光基板”)内部表面。图像投影仪光学地耦合到波导并且将与准直图像相对应的光注入到波导中,以便通过内反射传播通过波导。传播光通过在一系列部分反射表面处的反射从波导朝向观察者的眼睛逐渐耦出,从而与图像投影仪的输出孔径相比,扩大了与眼睛相对的有效光学孔径。

[0006] 部分反射表面的反射性对入射光的各种参数敏感,该参数包括光谱范围、偏振方向和入射角。部分反射表面通常涂覆有光学涂层以生成期望的反射性图案。

### 发明内容

[0007] 本发明是一种光导光学元件。

[0008] 根据本发明的一个方面的某些优选实施方式提供了一种光导光学元件,其具有根据使得能够同时满足光谱、偏振和角度均匀性要求的光学涂覆方案涂覆的内部部分反射器。在本发明的该方面的其他实施方式中,在满足上述要求的同时,将不期望的方向上的反射最小化。根据本发明的另一方面的某些优选实施方式提供了一种光导光学元件,其具有被施加到该光导光学元件的一个或多个外部表面的一个或更多个区域的一定量的反射抑制材料,反射抑制材料减少了光导光学元件内的光散射。

[0009] 根据本发明的实施方式的教导,提供了一种光学设备。该光学设备包括:透光基板,其具有至少两个平行主外部表面,以用于通过主外部表面处的内反射来引导指示准直图像的光;第一组相互平行内部表面,其相对于外部表面倾斜地部署在基板内;以及第二组相互平行内部表面,其与第一组内部表面平行、交错并且呈交叠关系地部署在基板内,第一组的每个内部表面的至少一部分包括第一涂层,第一涂层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,并且第二组的每个内部表面的至少一部分包括第二涂层,第二涂层具有与第一反射特性互补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,使得内部表面的组进行协作以反射第一子集和第二子集的光的所有分量。

- [0010] 可选地,分量的第一子集包括与第一颜色相对应的光,并且分量的第二子集包括与第二颜色相对应的光。
- [0011] 可选地,分量的第一子集包括具有第一偏振方向的光,并且分量的第二子集包括具有第二偏振方向的光。
- [0012] 可选地,第一涂层或第二涂层的至少一个包括结构偏振器。
- [0013] 可选地,第一涂层或第二涂层的至少一个包括电介质涂层。
- [0014] 可选地,第一涂层或第二涂层的至少一个包括金属涂层。
- [0015] 可选地,第一涂层被构造成:以第一反射效率反射具有与第一颜色相对应的波长的光,以第二反射效率反射具有与第二颜色相对应的波长的光,以及以小于第一反射效率的第三反射效率反射具有与第三颜色相对应的波长的光,并且第二涂层被构造成以大于第三反射效率的反射效率来反射具有与第一颜色相对应的波长的光,使得第一涂层和第二涂层对第三颜色的组合反射效率大于或等于第一反射效率。
- [0016] 可选地,第二反射效率小于第一反射效率,并且第二涂层被构造成以大于第二反射效率的反射效率来反射具有与第二颜色相对应的波长的光,使得第一涂层和第二涂层对第二颜色的组合反射效率大于或等于第一反射效率。
- [0017] 可选地,第二涂层被构造成以约等于第一反射效率的反射效率来反射具有与第一颜色相对应的波长的光。
- [0018] 可选地,第一涂层被构造成:以第一反射效率反射具有与第一颜色相对应的波长的光,以小于第一反射效率的第二反射效率来反射具有与第二颜色相对应的波长的光,以及以小于第一反射效率的第三反射效率来反射具有与第三颜色相对应的波长的光;并且第二涂层被构造成:以大于第二反射效率和第三反射效率的反射效率来反射具有与第一颜色相对应的波长的光,以大于第二反射效率和第三反射效率的反射效率来反射具有与第二颜色相对应的波长的光,以及以大于第二反射效率和第三反射效率的反射效率来反射具有与第三颜色相对应的波长的光。
- [0019] 可选地,第一涂层包括图案化涂层,图案化涂层包括以规定图案布置在第一组的每个内部表面上的反射材料的若干份。
- [0020] 可选地,反射材料的每个份在内部表面的平面中具有圆形形状。
- [0021] 可选地,反射材料的每个份在内部表面的平面中具有长方形形状。
- [0022] 可选地,反射材料是电介质材料。
- [0023] 可选地,反射材料是金属材料。
- [0024] 可选地,在反射材料的份之间形成的空间是透明的。
- [0025] 可选地,第二反射材料部署在内部表面上在反射材料的份之间形成的空间中。
- [0026] 可选地,第二反射材料包括电介质材料。
- [0027] 可选地,第二反射材料以规定图案布置在内部表面上。
- [0028] 可选地,第一组的内部表面上的份的数目或份的大小中的至少一个相对于光穿过基板的主传播方向而增加。
- [0029] 可选地,光学设备还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与第一组的内部表面的至少一部分之间。
- [0030] 可选地,光反射抑制材料包括光吸收材料。

- [0031] 可选地,光反射抑制材料包括光散射材料。
- [0032] 可选地,第一涂层部署在第一组的每个内部表面的第一部分上,并且第二涂层部署在第一组的每个内部表面的第二部分上,并且第二涂层部署在第二组内部表面中的每个内部表面的第一部分上,并且第一涂层部署在第二组的每个内部表面的第二部分上,并且第一组的内部表面的第一部分和第二部分是不交叠的部分,并且第二组的内部表面的第一部分和第二部分是不交叠的部分。
- [0033] 可选地,第一组的内部表面和第二组的内部表面将通过主外部表面处的内反射引导的光的一定比例朝向观察者的眼睛反射出基板。
- [0034] 可选地,第一组的内部表面和第二组的内部表面将通过主外部表面处的内反射引导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,以用于通过第二透光基板的外部表面处的内反射进行引导。
- [0035] 可选地,基板被构造成将光沿一个维度引导穿过基板。
- [0036] 可选地,基板被构造成将光沿两个维度引导穿过基板。
- [0037] 可选地,第一组或第二组中的至少之一的至少一个内部表面包括与基板的外部表面中的第一外部表面相关联的端部区域,端部区域限定至少一个内部表面与基板之间的界面区域,并且外部表面中的第一外部表面具有一定量的光吸收材料,光吸收材料位于在外部表面中的第一外部表面中在界面区域处形成的凹陷中。
- [0038] 根据本发明的教导的实施方式,还提供了一种光学设备。该光学设备包括:透光基板,其具有至少两个平行主外部表面,以用于通过主外部表面处的内反射引导指示准直图像的光;以及多个相互平行的内部表面,其相对于外部表面倾斜地部署在基板内,内部表面的第一子组的至少一部分包括图案化涂层,图案化涂层包括以规定图案布置在第一子组的内部表面上的反射材料的若干份,图案化涂层至少部分地反射入射光的分量的至少第一子集,内部表面的第二子组至少部分地反射入射光的分量的第二子集,并且第一子组的内部表面与第二子组的内部表面具有交叠关系,使得内部表面的子组进行协作以反射第一子集和第二子集的光的所有分量。
- [0039] 可选地,反射材料的每个份在第一子组的内部表面的平面中具有圆形形状。
- [0040] 可选地,反射材料的每个份在第一子组的内部表面的平面中具有长方形形状。
- [0041] 可选地,反射材料是电介质材料。
- [0042] 可选地,反射材料是金属材料。
- [0043] 可选地,在反射材料的份之间形成的空间是透明的。
- [0044] 可选地,第二反射材料部署在在反射材料的份之间形成的空间中。
- [0045] 可选地,第二反射材料包括电介质材料。
- [0046] 可选地,第二反射材料以规定图案布置在第一子组的内部表面上。
- [0047] 可选地,第一子组的内部表面上的分量的数目或分量的大小中的至少一个相对于光穿过基板的传播方向而增加。
- [0048] 可选地,光学设备还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与第一子组的内部表面之间。
- [0049] 可选地,光反射抑制材料包括光吸收材料。
- [0050] 可选地,光反射抑制材料包括光散射材料。

- [0051] 可选地,第一子组的内部表面与第二子组的内部表面交错。
- [0052] 可选地,内部表面的第一子组的表面与内部表面的第二子组的表面共面。
- [0053] 可选地,内部表面将通过主外部表面处的内反射引导的光的一定比例朝向观察者的眼睛反射出透光基板。
- [0054] 可选地,内部表面将通过主外部表面处的内反射引导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,以用于通过第二透光基板的外部表面处的内反射进行引导。
- [0055] 可选地,基板被构造成将光沿一个维度引导穿过基板。
- [0056] 可选地,基板被构造成将光沿两个维度引导穿过基板。
- [0057] 可选地,内部表面中的至少一个内部表面包括与基板的外部表面中的第一外部表面相关联的端部区域,端部区域限定在至少一个内部表面与基板之间的界面区域,并且外部表面中的第一外部表面具有一定量的光吸收材料,光吸收材料位于在外部表面中的第一外部表面中在界面区域处形成的凹陷中。
- [0058] 根据本发明的教导的实施方式,还提供了一种光学设备。该光学设备包括:透光基板,其具有至少两个平行主外部表面,以用于通过主外部表面处的内反射来引导光;至少一个至少内部表面,其相对于外部表面倾斜地部署在基板内,内部表面具有与基板的外部表面中的第一外部表面相关联的端部区域,端部区域限定内部表面与基板之间的界面区域;以及一定量的光吸收材料,其位于在外部表面中的第一外部表面中在界面区域处形成的凹陷中。
- [0059] 可选地,至少一个内部表面包括多个相互平行部分反射表面。
- [0060] 可选地,至少一个内部表面被构造成将通过内反射在基板内引导的光耦出基板。
- [0061] 可选地,至少一个内部表面被构造成:将光耦入到基板中,以使其通过内反射在基板内传播。
- [0062] 可选地,至少一个内部表面被构造成:将通过内反射在基板内引导的光耦入到第二透光基板中,以使其通过内反射在第二基板内进行传播。
- [0063] 可选地,光吸收材料包括黑色吸收涂料。
- [0064] 可选地,一定量的光吸收材料足以填充凹陷。
- [0065] 可选地,内部表面具有与基板的外部表面中的第二外部表面相关联的第二端部区域,第二端部区域限定内部表面与基板之间的第二界面区域,并且光学设备还包括:一定量的光吸收材料,其位于在外部表面中的第二表面中在第二界面区域处形成的凹陷中。
- [0066] 根据本发明的教导的实施方式,还提供了一种制造光学设备的方法。该方法包括:获得透光基板,透光基板具有至少两个平行主外部表面,以用于通过主外部表面处的内反射来引导光,该基板具有至少一个至少内部表面,该至少一个内部表面被部署在外部表面之间并且相对于外部表面倾斜,内部表面具有与基板的外部表面中的第一外部表面相关联的端部区域以限定内部表面与基板之间的界面区域;以及将一定量的光吸收材料沉积在外部表面中的第一外部表面中在界面区域处形成的凹陷中。
- [0067] 可选地,沉积一定量的光吸收材料包括将光吸收材料施加到外部表面中的基本上整个第一外部表面。
- [0068] 可选地,该方法还包括:抛光外部表面中的第一外部表面以从外部表面中的第一

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。

[0069] 可选地,获得透光基板包括:将一组涂覆透明板附接在一起以形成堆叠,将堆叠进行对角切片以形成具有至少两个平行主外部表面和相对于外部表面倾斜的内部表面的基板,以及抛光外部表面。

[0070] 可选地,抛光外部表面使得在外部表面中的第一表面中在界面区域处形成凹陷。

[0071] 可选地,一定量的光吸收材料足以填充凹陷。

[0072] 可选地,内部表面具有与基板的外部表面中的第二外部表面相关联的第二端部区域,以在内部表面与外部表面中的第二外部表面之间限定界面区域,并且该方法还包括:将一定量的光吸收材料沉积在外部表面中的第二外部表面中在界面区域处形成的凹陷中,界面区域在内部表面与外部表面中的第二表面之间。

[0073] 根据本发明的教导的实施方式,还提供了一种光学设备。该光学设备包括:透光基板,其具有形成矩形截面的第一对平行主外部表面和第二对平行主外部表面,基板被构造用于通过主外部表面处的内反射引导光;至少一个内部表面,其相对于基板的延伸方向倾斜地部署在基板内,被构造成将光耦出基板;以及一定量的光吸收材料,其位于在基板的外部区域处形成的瑕疵处。

[0074] 可选地,瑕疵包括在外部表面之一中形成的划痕。

[0075] 可选地,瑕疵包括在第一对外部表面中的一个外部表面与第二对外部表面中的一个外部表面之间形成的边缘中的缺口。

[0076] 可选地,瑕疵包括在第一对外部表面中的一个外部表面与第二对外部表面中的一个外部表面之间形成的拐角中的缺口。

[0077] 可选地,内部表面包括与基板的外部表面之一相关联的至少第一端部区域,以限定内部表面与基板之间的界面区域。

[0078] 可选地,瑕疵包括在界面区域处形成的凹陷。

[0079] 可选地,光吸收材料包括黑色吸收涂料。

[0080] 除非本文另有限定,否则本文中所使用的所有技术和/或科学术语具有与本发明所属领域的技术人员通常所理解的含义相同的含义。尽管与本文中描述的方法和材料类似或等同的方法和材料可以用于本发明的实施方式的实践或测试,但是下面描述了示例性方法和/或材料。在有冲突的情况下,以包括定义的专利说明书为准。另外,材料、方法和示例仅是说明性的,并非一定旨在限制。

## 附图说明

[0081] 在本文中参照附图仅通过示例的方式描述本发明的一些实施方式。通过详细地具体参照附图,要强调的是,所示的细节是作为示例的,并且是出于对本发明的实施方式的说明性论述的目的。在这方面,结合附图进行的描述使得本领域技术人员清楚可以如何实践本发明的实施方式。

[0082] 现在将注意力转向附图,在附图中,相似的附图标记指示相应或相似的部件。在附图中:

[0083] 图1是根据本发明的一个方面的教导构建和操作的导光光学元件(light-guide optical element, LOE)的示意性侧视图表示,该示意性侧视图表示示出了图像照明的分量

穿过一系列交错的具有互补涂层组的内部部分反射表面组的行进；

[0084] 图2示出了可以用于一些内部部分反射表面的涂层的针对p偏振和s偏振的作为入射角的函数的反射率曲线；

[0085] 图3是由内部部分反射表面以不同的反射角反射的图像照明分量的示意性表示；

[0086] 图4是具有反射材料的份的图案化反射涂层的示意性表示,反射材料的份可以用于对一些照明分量的较低反射进行补偿；

[0087] 图5是与图4类似但是具有与图4中的反射材料的份的形状不同的形状的反射材料的份的图案化反射涂层的示意性表示；

[0088] 图6是在单个涂层上具有两种反射图案的涂层的示意性表示；

[0089] 图7示出了可以用于一些内部部分反射表面中的涂层的作为波长的函数的反射率曲线；

[0090] 图8示出了当将图7的涂层与在一些内部部分反射表面上使用的互补涂层结合使用时获得的反射率曲线；

[0091] 图9示出了可以用于一些内部部分反射表面中的另一涂层的作为波长的函数的反射率曲线；

[0092] 图10示出了当将图9的涂层与在一些内部部分反射表面上使用的互补涂层结合使用时获得的反射率曲线；

[0093] 图11是具有以交替顺序布置在每个内部部分反射表面上的两个互补涂层的一系列内部部分反射表面的示意性表示；

[0094] 图12A和图12B是光学设备的示意性侧视图表示和正视图表示,该光学设备具有两个光波导,每个光波导具有一组部分反射内部表面,该组部分反射内部表面可以具有互补的涂层以用于在两个维度上执行光学孔径的扩展；

[0095] 图13是另一光学设备的示意性表示,该另一光学设备具有两个光波导,每个光波导具有一组部分反射内部表面,该组部分反射内部表面可以具有互补的涂层以用于在两个维度上执行光学孔径扩展；

[0096] 图14是具有一系列内部部分反射表面的LOE的示意性表示,并且示出了图像照明穿过LOE的行进以及来自内部部分反射表面之一的不期望的反射；

[0097] 图15A是利用与图4和图5的图案化反射涂层类似的图案化反射涂层实现的图14的内部部分反射表面之一的示意性表示,其示出了入射至内部部分反射表面的前侧的光的透射和反射；

[0098] 图15B是图15A的部分反射表面的示意性表示,其示出了入射至内部部分反射表面的后侧的光的透射和反射；

[0099] 图16A是根据本发明的一个方面的教导构建和操作的与图15A和图15B的内部部分反射表面类似的内部部分反射表面的示意性表示,该内部部分反射表面具有被部署在图案化反射涂层的反射部分与内部部分反射表面的前侧之间的一定量的反射抑制材料,并且该示意性表示示出了入射至内部部分反射表面的前侧的光的透射和反射；

[0100] 图16B是图16A的部分反射表面的示意性表示,其示出了入射至内部部分反射表面的后侧上的一个区域的光的透射以及通过反射抑制材料对入射至内部部分反射表面的后侧上的另一区域的光的抑制；

[0101] 图17是光导光学元件(light-guide optical element, LOE)的截面的示意图性表示,其示出了内部部分反射表面以及形成在LOE的内部部分反射表面与外部面之间的界面区域处的呈凹陷的形式的瑕疵;

[0102] 图18是与图17相对应的示意性表示,其示出了穿过LOE的图像照明的行进和由凹陷赋予图像照明的散射效应;

[0103] 图19是根据本发明的一个方面的教导构建和操作的的光导光学元件(LOE)的截面的示意性表示,该光导光学元件类似于图17和图18的LOE,但是具有施加在凹陷处的一定量的光吸收材料,并且该示意性表示示出了光吸收材料对图像照明的吸收;

[0104] 图20是类似于图12A的侧视图,并且示出了光波导之一的呈带缺口拐角或边缘的形式瑕疵;以及

[0105] 图21是根据本发明一个方面的教导的与图20相对应的侧视图,其示出了施加在带缺口拐角或边缘处的一定量的光吸收材料。

### 具体实施方式

[0106] 本发明的实施方式提供了具有内部部分反射器的各种光导光学元件,包括其中内部部分反射器具有根据互补涂覆方案施加的涂层的光导光学元件以及具有施加到光导光学元件的一个或多个外部表面的一个或更多个区域的反射抑制材料的光导光学元件。

[0107] 参照说明书附图,可以更好地理解根据本发明的各种光导光学元件的原理和操作。

[0108] 在详细说明本发明的至少一个实施方式之前,应当理解,本发明的应用并不一定限于在以下描述中阐述的以及/或者在附图和/或示例中示出的部件和/或方法的构建和布置和/或细节。本发明能够具有其他实施方式或者能够以各种方式实践或执行。最初,在整个文档中,提及了诸如前和后、上和下、左和右等方向。这些方向性参考仅是示例性的,以说明本发明及其实施方式。

[0109] 现在参照附图,图1示出了根据本发明的非限制性实施方式构建和操作的的光导光学元件(LOE) (通常指定为10)形式的光学设备。LOE 10被形成成为透光基板,该透光基板由透明材料(例如玻璃)构建,该透光基板具有:一对平行面(也被称为“主外部表面”或“表面”)12、14;以及多个平坦的部分反射表面16a、16b、16c、18a、18b、18c,这些部分反射表面以相对于平行面12、14的倾斜角被部署在基板内。在非限制性示出的实施方式中,LOE 10形成板材型波导,即,LOE 10的其他两个尺寸至少为大于平行面12、14之间的距离的数量级。部分反射表面(在下文中可互换地被称为“内部表面”、“内部部分反射器”、“部分反射器”或“小平面”)16a、16b、16c、18a、18b、18c被细分成两组内部表面,即具有内部表面16a、16b、16c的第一组16和具有内部表面18a、18b、18c的第二组18。为了简化表示,此处组16、18中的每个组被示出为具有三个内部表面,然而,应当理解的是,组中的任一个或两个可以具有任何合适数目的内部表面。

[0110] 在某些优选但非限制性的实施方式中,两个组16、18中的内部表面是交错的,使得内部表面16a、16b、16c中的一个或更多个被定位在成对相邻内部表面16a、16b、16c、18a、18b、18c之间,并且内部表面18a、18b、18c中的一个或更多个也被定位在成对相邻的内部表面16a、16b、16c、18a、18b、18c之间。优选地,内部表面在两个组16、18中的内部表面之间交

替,使得对于每对相邻的内部表面16a、16b、16c,存在内部表面18a、18b、18c中的单个内部表面,并且使得对于每对相邻的内部表面18a、18b、18c,存在内部表面16a、16b、16c中的单个内部表面。图1示出了这种交替的构造。

[0111] 此处由包括样本光线20A和样本光线20B的照明光束20示意性表示的投影图像20通过光学耦合构造22耦合到LOE 10中(即,耦合到基板中),该光学耦合构造22被示意性地表示为耦合反射器。用于例如通过使用成合适角度的耦合棱镜或衍射光学元件将图像照明耦合到LOE 10中的其他合适的耦合构造在本领域中是公知的。图像照明20通过平行面12、平行面14处的重复的内反射而在LOE 10内被引导(即,在LOE基板内通过内反射捕获图像照明20)。在某些优选但非限制性的实现方式中,通过内反射而穿过LOE 10的传播呈全内反射(total internal reflection, TIR)的形式,由此传播图像照明20以大于临界角的角度入射在平行面12、14处会使得照明在平行面12、14处反射。在其他非限制性的实现方式中,通过内反射而穿过LOE 10的传播是通过施加到平行面12、14的反射涂层(例如,角度选择性反射涂层)来实现的。

[0112] 图像照明20传播穿过LOE 10,直到到达一系列内部表面16a、16b、16c、18a、18b、18c,在内部表面处,部分图像强度作为光线24A、24B从LOE 10被反射出去。在某些实施方式中,例如图1所示的实施方式,内部表面16a、16b、16c、18a、18b、18c将图像照明反射为反射光线24A、反射光线24B,以将部分图像强度朝向观察者的眼睛从LOE 10耦合出。如将要讨论的,在其他实施方式中,内部表面16a、16b、16c、18a、18b、18c将图像照明反射为反射光线24A、24B,以使其耦合到另一LOE中而用于在该另一LOE的平行面之间进行引导并且通过部署在该另一LOE内的一组内部表面朝向观察者的眼睛将其耦合出。

[0113] 图像照明20通常包括多个照明分量,例如包括不同的偏振分量和不同的颜色(即,光谱)分量。内部表面16a、16b、16c、18a、18b、18c优选地由透明板或板材形成,在板或板材的侧面或表面的至少一部分处施加有涂层。涂层被设计成具有反射特性,使得涂层至少部分地反射具有特别对应特性的入射光,以针对照明分量生成期望的反射性图案,其细节将在下面详细描述。通常,内部表面16a、16b、16c的至少一部分具有带有以下反射特性的涂层:该反射特性使得图像照明的某些分量被内部表面16a、16b、16c反射。内部表面18a、18b、18c的至少一部分也具有带有以下反射特性的涂层:该反射特性与内部表面16a、16b、16c的反射特性互补,使得图像照明中未被内部表面16a、16b、16c充分反射的分量被内部表面18a、18b、18c适当且充分地反射。

[0114] 在进一步详细说明反射器16a、16b、16c、18a、18b、18c的设计细节之前,应当注意,投影的图像照明20是准直图像(即,每个像素由成对应角度的平行光束表示),其等同于来自远离观察者的远处场景的光(准直图像可以被称为“准直到无穷远”)。尽管此处将图像20简化地表示为与图像的单个点(通常为图像的质心)相对应的单条光线,但是应当注意,图像实际上包括到中心光线的每一侧的角度范围,其以对应的角度范围耦合到基板中并且类似地以对应的角度从基板耦合出,从而创建与沿至观察者的眼睛的方向到达的图像部分相对应的视场。

[0115] 每个内部表面具有相对的端部,相对的端部分别限定内部表面起始和终止的位置。这些相对的端部被称为“起始端”和“终止端”。例如,观察内部表面16a和18a,可以看出,内部表面16a具有起始端17a-1和终止端17a-2,并且内部表面18a具有起始端19a-1和终止

端19a-2。内部表面16a、16b、16c优选地被部署在LOE 10内,使得内部表面16b、16c中的每一个在内部表面的投影平面中均起始于前面的内部表面16a、16b终止的位置。换句话说,内部表面16b的起始端17b-1与内部表面16a的终止端17a-2对准,并且内部表面16c的起始端17c-1与内部表面16b的终止端17b-2对准。在这样的部署中,小平面16a、16b、16c在投影平面中呈现为连续的且不交叠的,投影平面在图1所示的非限制性实现方式中是与表面12、14的平面平行的平面。这种部署确保在穿过LOE 10的主要光传播方向上(任意地示为沿图1中的水平轴从左到右)相邻的内部表面16a、16b、16c之间没有间隙,从而为由第一组16反射的光的分量保持连续的孔径扩展(即,孔径倍增)。类似地,内部表面18a、18b、18c优选地被部署在LOE 10内,使得内部表面18b、18c中的每一个起始于前面的内部表面18a、18b结束的位置,从而为由第二组18反射的光的分量保持连续的孔径扩展。换句话说,内部表面18b的起始端19b-1与内部表面18a的终止端19a-2对准,并且内部表面18c的起始端19c-1与内部表面18b的终止端19b-2对准。

[0116] 在两个组16、18的内部表面交错的实施方式中,优选的是两个组16、18还具有交叠关系,由此第一组16中的内部表面中的至少一些内部表面与第二组18中的内部表面中的一些内部表面交叠,并且第二组18中的内部表面中的至少一些内部表面与第一组16中的内部表面中的一些内部表面交叠。在某些情况下,交叠关系使得,组16、18中的一个组的至少一个内部表面的起始端位于投影平面中的组16、18中的另一组的单个内部表面的起始端与终止端之间的位置处,并且使得,组16、18中的所述一个组的内部表面的终止端位于投影平面中的组16、18中的所述另一组的另一单个内部表面的起始端与终止端之间的位置处。

[0117] 图1示出了呈交错和交叠构造的两个组16、18,其中内部表面18a的起始端19a-1位于投影平面中的内部表面16a的起始端17a-1与终止端17a-2之间的位置处,内部表面18a的终止端19a-2位于投影平面中的内部表面16b的起始端17b-1与终止端17b-2之间的位置处,内部表面18b的起始端19b-1位于投影平面中的内部表面16b的起始端17b-1与终止端17b-2之间的位置处,内部表面18b的终止端19b-2位于投影平面中的内部表面16b的起始端17c-1与终止端17b-2之间的位置处,并且内部表面18c的起始端19c-1位于投影平面中的起始端17c-1与终止端17c-2之间的位置处。同样,内部表面16a的终止端17a-2位于投影平面中的内部表面18a的起始端19a-1与终止端19a-2之间的位置处,内部表面16b的起始端17b-1位于投影平面中的内部表面18a的起始端19a-1与终止端19a-2之间的位置处,内部表面16b的终止端17b-2位于投影平面中的内部表面18b的起始端19b-1与终止端19b-2之间的位置处,内部表面16c的起始端17c-1位于投影平面中的内部表面18b的起始端19b-1与终止端19b-2之间的位置处,并且内部表面16c的终止端17c-2位于投影平面中的内部表面18c的起始端19c-1与终止端19c-2之间的位置处。

[0118] 优选地,两个组16、18中的内部表面之间的交叠构造使得组16、18中的一个组中的内部表面的起始端/终止端处于组16、18中的另一组中的内部表面的起始端与终止端之间的中点处。应当注意,在某些情况下,“交叠关系”可以包括如下构造:其中组16中的内部表面与组18中的内部表面完全交叠,使得它们共面,由此组16中的小平面的起始端和终止端分别与组18中的小平面的起始端和终止端重合。采用具有传统涂层架构的交叠内部表面的光波导的其他细节可以在申请人的共同拥有的美国专利第10,481,319号中找到,该专利的全部内容通过引用合并在本文中。

[0119] 以下段落描述了根据本发明的实施方式的内部表面的组16、18的涂层设计。内部表面16a、16b、16c、18a、18b、18c具有带有互补反射特性的涂层,使得图像照明中未被内部表面16a、16b、16c之一充分反射的分量被内部表面18a、18b、18c之一适当且充分地反射。特别地,并且如将在下面详细描述,内部表面16a、16b、16c具有被构造成反射图像照明的分量的子集中的每个照明分量的一定比例强度的涂层,并且内部表面18a、18b、18c具有被构造成反射图像照明的分量的另一子集中的每个照明分量的一定比例强度的涂层,使得内部表面的两个组16、18的涂层协作以反射两个子集中的所有照明分量的组合比例的强度。由两个组16、18的涂层协作反射的组合强度比例大于或等于由两个组16、18的涂层单独反射的强度比例。

[0120] 当内部表面根据如图1所示的交替构造交错时,来自两个不同组的成对相邻内部表面的互补涂层使得来自两个组的内部表面能够协作,以反射跨内部表面的投影平面的各部分的图像照明的所有分量,从而保持连续的孔径扩展。

[0121] 作为第一非限制性示例的一部分,考虑包括照明的不同光谱分量(例如,与红光、绿光和蓝光相对应的光谱分量)的图像照明20。在该示例中,内部表面16a、16b、16c可以包括第一涂层,该第一涂层被构造成以高效率反射红光(即,具有接近638nm的波长的光)并且以中等效率部分地反射绿光(即,具有接近532nm的波长的光),但是被构造成以低效率部分地反射蓝光(即,具有接近456nm的波长的光)。为了补偿由内部表面16a、16b、16c赋予的对绿光的中等反射效率和对蓝光的低反射效率,内部表面18a、18b、18c可以包括第二涂层,该第二涂层被构造成以高效率(与由内部表面16a、16b、16c赋予红光的效率相当)反射蓝光并且以中等效率(与由内部表面16a、16b、16c赋予绿光的效率相当)部分地反射绿光。内部表面18a、18b、18c的涂层也可以以低效率部分地反射红光。因此,光线24A传送高效率红光、中等效率绿光 and 低效率蓝光,而光线24B传送高效率蓝光和中等效率绿光,使得由两个交错且交叠的组16、18的反射产生的总体反射图像在三种颜色上几乎没有色差,同时保持连续的孔径扩展(由于内部表面的交错)。不能被两个组16、18的涂层消除的任何残余色差可以通过调整用于生成准直图像照明20的有色光源来补偿。

[0122] 在另一非限制性示例中,考虑包括两个正交线性偏振分量(即s偏振分量和p偏振分量)的图像照明20。此处,内部表面的两个组16、18包括以互补方式选择性地反射正交偏振的涂层,由此一个组16中的内部表面主要反射相对于组16中的内部表面的表面以偏振方向之一(例如,p偏振)偏振的光,并且另一组18中的内部表面主要反射相对于组18中的内部表面的表面以正交偏振方向(例如,s偏振)偏振的光。

[0123] 可以提供这种偏振选择性反射性的一种类型的涂层是电介质涂层。图2示出了这种电介质涂层针对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,在较低的AOI范围处,例如0度-20度范围内的AOI(即接近垂直于内部表面),s偏振和p偏振两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(略高于25%)。当AOI在给定范围中增加时,两个偏振的反射率偏离。具体地,在较高的AOI范围处,例如20度至55度范围内的AOI,p偏振的反射率相对于s偏振的反射率降低。例如,在AOI为约40度时,s偏振的反射率略高于50%(从而作为几乎完美的部分反射器操作),而p偏振的反射率低于15%。

[0124] 为了生成相对于观察者具有宽视场的图像,从不同的内部表面反射不同的角度。

图3示出了LOE 10,其中所有的内部表面16a、16b、16c、18a、18b、18c包括具有以上参照图2所描述的反射率特性的电介质涂层。在这种构造中,穿过LOE传播的图像照明具有s偏振分量和p偏振分量两者。作为说明,传播穿过LOE 10的一些图像照明以较低范围内的AOI照射到内部表面18c上,使得电介质涂层以大致相同的效率反射两种偏振。因此,反射光线 $R_{18c}$ 的偏振分量具有近似相等的强度。然而,一些图像照明以较高范围内的AOI照射在内部表面18a、18b、16b上,使得内部表面18a、18b、16b的电介质涂层主要反射s偏振光。因此,反射光线 $R_{18a}$ 、 $R_{18b}$ 、 $R_{16b}$ 中的每一个的s偏振分量是主导分量。为了补偿在特定AOI范围内的减少的p偏振分量,内部表面18a、18b被重新设计成主要反射p偏振光(或者以大致相同的效率反射两种偏振)。

[0125] 根据某些实施方式,为了实现对p偏振光的期望反射性,内部表面18a、18b另外包括取向敏感偏振反射器(或“结构偏振器”),该取向敏感偏振反射器透射一种入射偏振并且根据反射器的固有轴取向反射正交偏振。结构偏振器的一个非限制性示例是可从美国明尼苏达州3M公司商购的双折射电介质涂层或膜。结构偏振器的另一非限制性示例是例如可从美国犹他州的Moxtek公司商购的线栅膜(wire-grid film)。结构偏振器的又一非限制性示例是图案化部分反射涂层,其具有以图案形式被部署在薄膜或透明基板上的若干反射材料部分。

[0126] 在继续参照图1至图3的情况下,现在参照图4,图4示出了根据本发明的非限制性实施方式的图案化反射涂层(也被称为“反射图案涂层”)30的非限制性示例的图示。涂层30具有反射特性,使得在一个偏振方向上偏振(例如s偏振或p偏振)的光主要/大部分被涂层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/大部分被涂层30透射。优选地,反射的偏振表现出大于90%的反射(被称为“基本上完全反射”),并且最优选地超过95%的反射。相反地,透射的偏振优选地表现出大于90%的透射(被称为“基本上完全透射”),并且最优选地超过95%的透射。

[0127] 涂层30包括一定量34的反射材料(在下文中被称为“份”34),其以间隔关系被部署并且以规定图案被布置在平坦的基底表面32上。基底表面32优选地但不是必须地对光透明,使得基底表面32上的在反射材料的份34之间及周围形成的空间35是透光的。在某些实施方式中,平坦的基底表面32是可以结合到透明板以形成内部部分反射表面的薄膜或薄基板。在其他实施方式中,平坦的基底表面32本身是由其形成小平面的透明板,并且反射材料的份34直接沉积在透明板上。在某些实施方式中,反射材料是电介质材料。在其他有时更优选的实施方式中,反射材料是金属材料,例如银。反射材料的每个份34具有使沿一个偏振方向的光能够引起电流流动的形状。因此,沿引起电流流动的偏振方向偏振的光在入射至涂层30时,将涂层30视为反射器,而沿正交偏振方向偏振的光在入射至涂层30时,将涂层30视为透光的。

[0128] 在图4所示的非限制性示例中,每个份34的大小相同,并且每个份34在基底表面32的平面中(即,在内部表面的平面中)具有大致圆形形状。此处,份34实际上是以布置的图案沉积在基底表面32上的反射材料的圆形对称(在基底表面32的平面中)点。在该构造中,份34以规定图案被布置,以便均匀地间隔,使得在整个涂层30上成对相邻点的中心之间的距离是恒定的。

[0129] 图5示出了涂层30的另一非限制性实施方式,其中在基底表面32的平面中具有非

圆对称性的反射材料的份36以规定的图案被部署在基底表面32上。此处,份36在基底表面32的平面中(即,在内部表面的平面中)具有大致椭圆形或长方形形状(两个正交对称轴)。份36在基底表面32的平面中的取向确定了主导反射偏振。例如,在图5所示的份36的构造中,主导反射偏振可以是p偏振,而在基底表面32的平面中将份36旋转90度可以将主导反射偏振切换为s偏振。除了圆形和长方形之外,本文中还设想了反射材料的其他形状,例如,反射材料的份可以以线图案部署在基底表面32上。

[0130] 通过采用具有涂层30的内部表面18a、18b,内部表面18a、18b能够反射未被内部表面16b充分反射的照明分量(在这种情况下为p偏振分量)的子集。换句话说,对于较高AOI范围中的给定AOI,内部表面16a以高反射率反射图像照明的分量(以s偏振分量的形式)的第一子集,并且以低反射率反射图像照明的分量(以p偏振分量的形式)的第二子集。对于相同的给定AOI,内部表面18a、18b以高反射率反射低反射率分量,即图像照明的分量(在这种情况下为p偏振分量)的第二子集,以便补偿由内部表面16b赋予的低反射率。因此,内部表面18a、16b、18b协作以反射两种偏振分量(即,来自两个子集的分量),从而保持孔径倍增的连续性。图像照明的分量的两个子集是互补的,这意味着来自两个子集的分量的并集考虑了传播图像照明的所有分量。在该特定示例中,s偏振分量和p偏振分量是互补的,因为它们构成了图像照明的偏振分量。

[0131] 在某些实施方式中,可以使用单一涂层在同一内部表面平面上实现两个不同的涂层。例如,可以在份34之间的空间中部署电介质涂层。因此,份34或份36被可以实现为一种类型的电介质涂层或金属涂层,并且在基底表面32上的在份34或份36之间及周围形成的空间35可以被实现为另一种类型的电介质涂层。图6示意性地示出了这种涂层31的示例,其中第二反射材料的份38以规定图案沉积在基底表面32上的份34之间及周围形成的空间35中。在图6所示的非限制性示例中,每个份34的形状为大致圆形,而每个份38的形状为大致椭圆形。

[0132] 如所讨论的,本发明的实施方式的涂层设计同样适用于图像照明包括不同的可见颜色分量的状况。在这样的状况下,以上参照图4至图6描述的图案化反射器涂层的一些原理可以用于解决颜色不均匀性问题。例如,内部表面16a、16b、16c可以包括以适当的反射效率部分地反射三种颜色的第一子集的涂层,并且内部表面18a、18b、18c可以包括以适当的效率部分地反射三种颜色的第二子集的涂层,其中颜色的第二子集包括未被内部表面16a、16b、16c适当地反射的颜色。通常,图像照明的颜色分量的子集是互补的,这意味着来自子集的分量的并集考虑了传播图像照明的所有颜色分量。以下段落描述了用于保持颜色均匀性的两个组16、18的内部表面的涂层的设计的各种示例。

[0133] 通过介绍,优选的是将反射材料的份34、36布置成相对小的图案,使得观察者将感知到均匀的图像。特别地,优选地,根据观察者的眼睛的瞳孔的大小以几何布置来将反射材料的份34、36部署为例如具有约2mm的直径的圆(人眼的瞳孔在明亮的照明条件下通常具有在2mm至4mm的范围内的直径)。然而,具有小尺寸并以小图案布置的反射材料的份倾向于将入射光衍射到大的角度,因而降低图像分辨率。因此,在本发明的非限制性实现方式中,使用具有反射图案的涂层(以上参照图4至图6所描述的)结合电介质涂层来实现两个组16、18的内部表面。

[0134] 在一个非限制性示例中,内部表面16a、16b、16c被使用电介质涂层来实现以便至

少部分地反射红光、绿光和蓝光,并且内部表面18a、18b、18c使用图案化涂层30来实现,其中涂层30的反射材料是金属材料(例如,银)。内部表面16a、16b、16c的电介质涂层具有根据图7所示的曲线图的反射特性。此处,内部表面16a、16b、16c的电介质涂层以相当高的效率(约10%的反射率)反射呈绿光(即,具有接近532nm的波长的光)的形式的图像照明的分量的第一子集,但以比绿光反射低的效率(约4%的反射率)反射呈红光和蓝光(即,分别具有接近638nm和456nm的波长的光)的形式的图像照明的分量的第二子集。内部表面18a、18b、18c的涂层30具有反射特性,以便以足够的效率反射分量的两个子集,以补偿分量的第二子集的低反射率。图8示出了由内部表面16a、16b、16c的电介质涂层和内部表面18a、18b、18c的涂层30的组合赋予的总反射率。如可以推断的,涂层30以至少约6%的反射率反射图像照明的分量的第二子集(即红光和蓝光),6%的反射率比由内部表面16a、16b、16c的电介质涂层对分量的第二子集赋予的效率高。涂层30还以约4%反射率的反射率反射图像照明的分量的第一子集(即绿光)。颜色分量的两个子集是互补的,因为两个子集(具有高效率绿光的第一子集、具有高效率红光和蓝光的第二子集)的并集考虑了图像照明的所有三个颜色分量。因此,尽管绿色分量的分辨率比红色分量和蓝色分量的分辨率高,但是整个反射图像的色差减小。然而,人眼对图像的绿光分量的分辨率最敏感,并且因此观察者可能会感知到具有较高绿色分量分辨率的整个图像的分辨率没有明显降低。

[0135] 在替选构造中,涂层30可以使用对红光和蓝光比对绿光具有更高反射率的反射材料来实现(即,涂层30主要反射红光和蓝光)。因此,整个反射图像将几乎没有明显的色差。

[0136] 在另一非限制性示例中,内部表面16a、16b、16c使用具有根据图9所示的曲线图的反射特性的电介质涂层来实现。此处,内部表面16a、16b、16c的电介质涂层以高效率(约15%的反射率)反射呈绿光和红光的形式的图像照明的分量的第一子集,但是以比绿光和红光反射(约10%的反射率)低的效率反射呈蓝光的形式的图像照明的分量的第二子集。为了补偿分量的第二子集的低反射率,将涂层30的特定实现方式用于内部表面18a、18b、18c。在这种实现方式中,反射材料(被实现为电介质材料或金属材料)的份是小的(优选地根据上述人的瞳孔大小),并且具有一定反射特性,使得涂层30仅反射蓝光。图10中示出了由内部表面16a、16b、16c的电介质涂层和内部表面18a、18b、18c的涂层30的组合赋予的总反射率,由此在可见光谱范围内,总反射率近似恒定,约为15%。所得到的没有衍射的白平衡图像(蓝光趋向于比绿光和红光被衍射少得多)。

[0137] 图11示出了根据非限制性示例的使用两种涂覆方案来保持颜色均匀性的另一实现方式。此处,内部表面16a、16b、16c、18a、18b、18c具有以交替构造布置的每个反射器上的两组涂层,其中每个内部表面的涂层存在横向变化。在非限制性示出示例中,每个内部表面具有两个非交叠部分,即第一部分和第二部分。内部表面16a、16b、16c的第一部分40a、40b、40c具有第一涂层33,例如具有根据图7或图9的反射特性的电介质涂层,并且内部表面16a、16b、16c的第二部分42a、42b、42c具有第二涂层37,例如涂层30。内部表面18a、18b、18c的第一部分44a、44b、44c具有第二涂层37,并且内部表面18a、18b、18c的第二部分46a、46b、46c具有第一涂层33。

[0138] 在图11所示的非限制性示例中,涂层33、37被部署在相继内部表面的交替部分上,使得每对相邻内部表面(例如,内部表面16a、18a;内部表面18a、16b;内部表面16b、18b等)上的涂层协作以合理的效率反射图像照明的子集的所有分量,以便保持颜色均匀性。在这

种特定的构造中,内部表面的两个组可以被认为是实际上共面的,由此每个内部表面具有两个涂层33、37。应当注意,尽管图11示出了每个内部表面的两个部分中的每个部分构成约半个内部表面平面,但是其他构造也是可能的,只要在其上部署涂层的内部表面的部分在相继内部表面之间交替即可。

[0139] 尽管已经在具有电介质涂层的内部表面16a、16b、16c和具有根据涂层30实现的涂层的内部表面18a、18b、18c(并且其中内部表面16a、16b、16c和18a、18b、18c是交错的)的上下文中描述了用于保持颜色均匀性的实施方式,但是在单个内部表面上实现两种类型的涂层的其他示例也是可能的,例如以上参照图4至图6所讨论的。例如,内部表面16a、16b、16c、18a、18b、18c中的每一个可以包括两个涂层:1) 第一涂层,例如涂层30,以及2) 第二涂层,例如被部署在在涂层30的份34之间形成的空间中的电介质。第二涂层可以具有根据图7或图9的反射特性,由此与图像照明的分量的第二子集相比,图像照明的分量的第一子集被第二涂层以更高的效率反射。然后,第一涂层可以具有补偿由第二涂层赋予第二子集的低反射率的反射特性,使得每个单独的内部表面实现跨三种颜色近似均匀的总反射率,例如如图8和图10中所示出的。在这样的构造中,两个组16、18不必交错。而是,由于两个组16、18中的内部表面被相同地涂覆,因此两个组16、18是相同的,并且优选地被部署为使得每个内部表面起始于前面的内部表面终止的位置。

[0140] 在某些实施方式中,内部表面的图案化反射涂层30可以被构造成使得内部表面上的份34、36的数目和/或份34、36的大小依小平面的不同而不同,以在整个视场上提供均匀的强度。例如,内部表面16a、16b、16c可以使用电介质涂层(如上所述)来实现,并且内部表面18a、18b、18c可以使用图案化反射涂层30来实现。当光传播穿过LOE时,照射在每个相继小平面上的光的强度小于照射在前一小平面上的光的强度。这是由于照射到特定小平面的光的一定比例的强度被该特定小平面的反射出LOE的事实。为了补偿光强度沿光传播方向的降低,与由前一小平面赋予的反射率相比,由每个小平面的反射率通常应当增加。这可以通过相对于光穿过LOE的主传播方向增加第二组18中的内部表面上的涂层30上的反射材料的密度例如通过增加份34、36的数目和/或份34、36的大小来实现。例如,内部表面18a的涂层30可以利用第一数目的份34、36和/或第一大小的份34、36来实现,内部表面18b的涂层30可以利用第二数目的份34、36和/或第二大小的份34、36来实现,以及内部表面18c的涂层30可以利用第三数目的份34、36和/或第三大小的份34、36来实现。份的第一数目小于份的第二数目,份的第二数目小于份的第三数目,并且份的第一大小小于份的第二大小,份的第二大小小于份的第三大小。

[0141] 尽管到目前为止所描述的一些实施方式涉及具有互补涂层的内部部分反射器的两个组,但是存在具有互补涂层的部分反射器的多于两个组的其他实施方式也是可能的。作为简单的示例,内部表面的第三组可以与其他两个组16、18中的内部表面平行且交错地部署。内部表面的每个组可以包括涂层,涂层被构造成反射图像照明的分量的特定子集。例如,第一组内部表面的涂层可以被构造成主要反射红光,第二组内部表面的涂层可以被构造成主要反射绿光,并且第三组内部表面的涂层可以被构造成主要反射蓝光。因此,三个(优选地连续)内部表面的给定群组(该群组具有来自三个组中的每个组的一个内部表面)能够协作以反射图像照明的所有三个分量。

[0142] 在具有不同光谱分量或不同偏振分量的图像照明的非限制性示例上下文中已经

描述了以上讨论的涂层和小平面部署方法。然而,应当理解,图像照明通常具有光谱分量和偏振分量二者(例如,线性偏振的红光、绿光和蓝光)。对于以较高AOI范围(例如20度至50度)照射在小平面上的图像照明,小平面的组的涂层可以被设计成满足光谱和偏振两重要求,以在宽视场上实现传输均衡。

[0143] 尽管迄今为止已经在LOE的上下文(其中光被引导沿一个维度穿过LOE并且由内部表面(小平面)耦出(作为“非引导”光)以便在一个维度上执行孔径扩展(执行本文中被称为“引导到非引导”图像传播))下描述了内部表面的涂层设计和部署,但是根据本发明的实施方式的本文中描述的涂层设计和小平面部署同样适用于具有至少两个光波导的光学设备,该至少两个光波导协作以沿两个维度引导光以便在二个维度上执行孔径扩展。这些类型的光学设备执行在本文中被称为“引导到引导”图像传播的功能,由此图像照明被引导穿过第一光波导(沿一个维度或两个维度)并且被部署在第一光波导中的一组小平面反射,以便耦入到第二光波导中。然后,图像照明被引导穿过第二光波导(沿一个维度),并且被部署在第二光波导中的一组小平面反射,以便将图像照明耦出第二光波导以供观察者观看。以下段落提供了执行引导到引导图像传播的光学设备的示例。

[0144] 图12A和图12B分别示出了光学设备的示意性侧视图和正视图,该光学设备通过光学耦合在一起的两个光波导50、60执行引导到引导的图像传播。光波导50具有被任意地示出为对应于“x轴”的延伸方向,并且包括形成矩形截面的两对平行面(即,主外部表面)52a、52b、54a、54b。多个相互平行的内部部分反射表面(即,小平面)58以与伸长方向成倾斜角的方式至少部分地横穿光波导50。光学耦合至光波导50的光波导60具有形成板材型波导的一对平行面62a、62b。此处,多个相互平行的内部部分反射表面(即,小平面)64也以与平行面62a、62b成倾斜角的方式至少部分地横穿光波导60。包含小平面的平面相对于包含小平面64的平面倾斜。

[0145] 光波导50、60之间的光学耦合以及部分反射表面58、64的部署和构造使得,当图像沿初始传播方向以倾斜于第一对平行面52a、52b和第二对平行面54a、54b的耦合角耦入到光波导50中时,图像通过四重内反射沿光波导50(即,沿两个维度)前进,其中图像的一定比例的强度在部分反射表面58处被反射从而从光波导50耦出并且进入光波导60,并且然后在光波导60内通过两重内反射传播(即,沿一个维度,与LOE 10中那样类似),其中图像的一定比例的强度在部分反射表面64处反射从而从光波导60耦出成为观察者的眼睛所看到的可见图像。由于这种构造,传播穿过光波导50的光(通过光波导50在两个维度上)被引导,并且被部分反射表面58反射的光(通过光波导60在一个维度上)也被引导。

[0146] 根据本发明的实施方式的涂层设计原理和/或小平面交错原理可以应用于内部部分反射表面58、64的组中的任一组或两个组。采用两个光波导50、60的这种光学设备的进一步细节可以在申请人的共同拥有的美国专利第10,133,070号中找到,其全部内容通过引用并入本文中。

[0147] 图13示出了通过光学耦合在一起的两个板材型光波导70、80执行引导到引导图像传播的光学设备的示意图。光波导70具有形成板材型波导的两对平行面72a、72b、74a、74b(在图中,面72a、72b分别在光波导70的前侧和后侧处,并且面74a、74b分别在光波导70的左侧和右侧处)。多个相互平行的内部部分反射表面(即,小平面)76以与平行面72a、72b、74a、74b成倾斜角的方式至少部分地横穿光波导70。光波导80具有形成板材型波导的两对平行

面82a、82b、84a、84b(在图中,面82a、82b分别在光波导80的前侧和后侧处,并且面84a、84b分别在光波导80的左侧和右侧处)。多个相互平行的内部部分反射表面(即,小平面)86以与平行面82a、82b、84a、84b成倾斜角的方式至少部分地横穿光波导80。另外,包含小平面的平面与包含小平面86的平面倾斜或垂直。

[0148] 在所示出的非限制性的实现方式中,光波导70、80以其中光波导70堆叠在光波导80的顶部上的构造光学地耦合在一起。然而,注意,光波导70、80可以前后堆叠(例如,面72b、82a具有彼此面对的关系)。光波导70、80之间的光学耦合以及部分反射表面76、86的部署和构造使得,当图像耦入到光波导70中时,图像通过面72a、72b之间的光波导70内的两重内反射沿第一引导方向进行传播,其中图像的一定比例的强度在部分反射表面76处反射从而从光波导70耦出并且耦入到光波导80中,并且然后通过面82a、82b之间的光波导80内的两重内反射沿第二引导方向(倾斜于第一引导方向)进行传播,其中图像的一定比例的强度在部分反射表面86处反射从而从光波导80耦出作为观察者的眼睛所看到的可见图像。

[0149] 根据本发明的实施方式的涂层设计原理和/或小平面交错原理可以应用于内部部分反射表面76、86的组中的任一组或两个组。采用两个光波导70、80的这种光学设备的进一步细节可以在申请人的共同拥有的美国专利第10,551,544号中找到,其全部内容通过引用并入本文中。

[0150] 虽然使用本文中公开的反射图案涂层具有保持颜色均匀性和强度均匀性的益处,但是使用反射图案涂层可能引起来自内部表面的不期望的反射,这可能导致鬼像。参照图14描述了来自内部表面的不期望的反射的一般概念。此处,LOE 100具有相对于一对平行面(主外部表面)102、104倾斜地被部署的三个相互平行的部分反射内部表面106a、106b、106c。为了清楚地示出内部表面106a、106b、106c的前侧108a、108b、108c和后侧110a、110b、110c,在图14中放大了内部表面106a、106b、106c的厚度。内部表面的前侧和后侧通常是相对的侧,其中前侧是内部表面的涂覆有涂层(参照图1至图11描述的)的侧,涂层具有能够根据期望的反射率图案反射传播图像照明的反射特性。

[0151] 由光线108示意性表示的图像照明108通过耦入反射器110(或任何其他合适的光学耦入构造,例如耦合棱镜等)耦入到LOE 100中。图像照明108通过在面102、104处的重复内反射(通过全内反射或由于施加在面处的角度选择性反射涂层)传播穿过LOE 100,直到到达一系列内部表面106a、106b、106c,在内部表面处,图像强度的一部分在内部表面106a、106b、106c的前侧108a、108b、108c处作为光线116a至116d被反射出LOE 100。观察由光线118示意性表示的传播图像照明118,可以看出,光线118的部分强度被内部表面106a透射(作为光线120),之后光线120在面102处反射,并且然后一定比例的强度在内部表面106a的前侧108a处反射以作为光线116b被反射出LOE 100(剩余强度被内部表面106a透射,使得光继续传播穿过LOE 100)。然而,光线118的部分强度在内部表面106a的后侧110a处经历不期望的反射,从而产生反射光线122。在某些情况下,反射光线122可以在面102、104处经历内反射,例如以面102处的反射所例示的,以便生成反射光线124。反射光线124在内部表面106b的前侧108b处被反射,以便作为鬼光线126被反射出LOE 100。

[0152] 图15A和图15B示出了反射图案涂层30如何能够实现内部表面前侧处的期望反射和内部表面后侧处的不期望反射。应当注意,图15A和图15B不是按比例绘制的,并且为了清楚地说明,放大了反射图案涂层30的内部表面和部件的一些尺寸。

[0153] 首先观察图15A,图15A示出了任意内部表面130(其可以是例如组18的内部表面之一)如何处理照射在内部表面130的前侧132上的传播图像照明140。内部表面130具有沉积在内部表面130的前侧132上的反射图案涂层30。特别地,平坦基底表面32沉积在前侧132上,使得份34以期望的图案被布置在前侧132上。替选地,份34可以在没有平坦的基底表面32的情况下以布置的图案直接沉积在前侧132上。由光线140A和光线140B示意性表示的传播图像照明140照射在内部表面130的前侧132的不同区域上。在这种情况下,传播图像照明140是在LOE的下表面(例如,图14中的面102或图1中的面12)处经历反射的图像照明。传播图像照明的由光线140A表示的部分照射在内部表面130的具有反射材料的区域上,以便作为反射光线142被反射材料的份34之一反射(出LOE)。传播图像照明的由光线140B表示的部分照射在内部表面130的在反射材料的份34之间具有空间35的区域上,并且被内部表面130透射为光线142(即,由于空间35是透明的,光线140B作为光线142从前侧132穿过内部表面130到后侧134)。该光线140B继续传播穿过LOE,在LOE的面处被反射并且/或者被随后的内部表面反射。因此,图像照明140A的一部分被内部表面130反射出LOE,并且图像照明140B的一部分被内部表面130透射。

[0154] 现在转向图15B,其示出了内部表面130如何处理由光线118A和118B示意性地表示并且照射在内部表面130的后侧134上的传播图像照明118。在这种情况下,传播图像照明是在LOE的上面(例如,图14中的面104或图1中的面14)处经历反射的图像照明。传播图像照明的由光线118A表示的部分照射在内部表面130的在反射材料的份34之间具有空间35的区域上,并且因此被内部表面130透射为光线120(即,由于空间35是透明的,光线118A从后侧134穿过内部表面130到前侧132)。传播图像照明的由光线118B表示的部分穿过内部表面130的后侧134,并且照射在内部表面130的具有反射材料的区域上,从而被反射材料的份34之一反射为反射光线122。如上所述,该光线122可以在LOE的面处经历附加反射,并且最终在内部表面之一的前侧处反射,从而作为鬼光线反射出LOE。

[0155] 为了防止这些不期望的反射,本发明的实施方式提供了反射抑制材料涂层,该涂层被施加在反射材料的份与内部表面的前侧之间。图16A和图16B示出了反射抑制材料及其对传播图像照明的影响。与图15和图15B类似,为了清楚地说明,未按比例绘制图16A和图16B。

[0156] 首先观察图16A,在反射材料的份34与内部表面130的前侧132之间部署反射抑制材料的涂层,其被指定为份150。如果涂层30是使用平坦的基底表面32(例如,薄膜)来实现,则可以将份150直接沉积在表面32上,并且然后将份34沉积在份150上。优选地,反射抑制材料的份以与反射材料的份的图案构造相同的图案构造被布置,使得份34和份150的大小、形状和数目相同。从图16A中可以看出,反射抑制材料对入射到内部表面130的前侧132的传播图像照明几乎没有影响。类似于如以上参照图15A所讨论的,传播图像照明的由光线140A表示的部分照射在内部表面130的具有反射材料的区域上,从而被反射材料的份34之一反射为反射光线142。传播图像照明的由光线140B表示的部分照射在内部表面130的在反射材料的份34之间具有空间35的区域上,并且被内部表面130透射为光线142。

[0157] 现在转向图16B,图16B示出了具有反射抑制材料的内部表面130如何处理照射在内部表面130的后侧134上的传播图像照明118。类似于如以上参照图15B所讨论的,传播图像照明的由光线118A表示的部分照射在内部表面130的在反射材料的份34之间具有空间35

的区域上,并且因此被内部表面130透射为光线120。然而,与图15B所示的构造不同,传播图像照明的由光线118B表示的部分穿过内部表面130的后侧134,并且照射到内部表面130的具有反射抑制材料的份150的区域上。反射抑制材料防止了光线118B的后侧反射,并且因此不会发生传播图像照明的不期望的反射。

[0158] 反射抑制材料可以以各种方式实现。在一个非限制性示例中,反射抑制材料被实现为一定量的吸收入射光的黑色吸收涂料。在另一非限制性示例中,反射抑制材料被实现为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强度小若干数量级的强度在多个方向上散射入射光。因此,任何继续传播穿过LOE并被随后的内部表面反射的散射光将具有通常太低而不被观察者注意到的强度。

[0159] 优选地,在LOE的制造期间将反射抑制材料沉积在反射材料与内部表面的前侧之间。优选地通过形成在其界面处具有合适的涂层的结合在一起的透明板的堆叠来构建具有嵌入式内部表面的LOE。通常使用光学胶执行结合。涂层可以包括所有如上所述的图案化的反射涂层和/或电介质涂层。涂层可以成层地建立在薄膜或薄基板(例如,基底表面32)上,在将板结合在一起之前薄膜或薄基板被施加在透明板之间的界面处。替选地,可以在将板结合在一起之前直接在透明板上建立涂层,使得透明板用作基底表面32。当采用反射抑制材料来减少鬼像时,反射抑制材料的层可以按图案被建立(直接在透明板上或者在薄膜或薄基板上),然后图案反射材料层建立在反射抑制材料上,从而将反射抑制材料夹在透明板与反射材料之间。

[0160] 一旦透明板的堆叠结合在一起,并且在界面处具有适当的涂层(并且优选是反射抑制材料),以适当的角度(对应于要部署内部表面的期望倾斜角度)将堆叠进行切割(即切片)以形成LOE,其中部分反射内部表面嵌入在平行的主外部表面(即面)之间。以适当角度进行的切片被称为“对角切割”或“对角切片”。然后抛光LOE的主外部表面以提高主外部表面处的光学质量。在LOE使用耦入反射器作为光学耦入构造的实施方式中,可以执行类似的步骤以产生具有嵌入的耦入反射器的基板。

[0161] 尽管抛光工艺具有提高LOE的平行面处的光学质量的预期效果,但是在某些情况下,抛光工艺可能会在LOE基板与内部表面之间的界面区域产生瑕疵,这可能会对LOE输出处的图像质量和光学性能产生负面影响。可能由抛光工艺引起的一种类型的瑕疵是LOE的一个或两个平行面上的在基板的平行面与内部表面之间的界面区域处的凹陷。图17中示意性地示出了这种瑕疵(未按比例绘制),图17示出了LOE 200的区段,该LOE具有平行面202、204,其中内部部分反射表面206相对于面202、204被倾斜地布置。尽管未在图中示出,但是附加内部部分反射表面平行于内部表面206被部署在LOE 200内。

[0162] 内部表面206包括分别与面202、204相关联的对应端部区域210a、210b处的两个相对的端部208a、208b(即,起始端和终止端)。面202、204以及相应的端部区域210a、210b(并且特别是相应的端部208a、208b)在内部表面206与LOE基板之间限定界面区域212a、212b(由虚线圆圈表示)。例如,由于抛光工艺的结果,在一个面202中在对应的界面区域212a处形成凹陷214(但是可以在两个面中,即在两个界面区域212a、212b处形成)。凹陷214通常形成LOE的面中的凹痕、洼部、凹坑、腔或缝隙,这使得面202的一部分(尽管是一小部分)向内伸突到部署内部表面的LOE 200的内部区段中。伸突部分(即,伸突部)在图17中通常表示为216。

[0163] 通常,由于抛光工艺中在抛光期间在界面区域212a、212b处施加的压力而形成了凹陷214,与面202、204的其余部分相比,凹陷214的结构完整性降低。除了抛光之外的其他原因(例如,LOE的处理不当(例如,掉落))可能使得形成凹陷214。

[0164] 由于凹陷214,在界面区域212a处或附近传播的图像照明可能经历因伸突部216引起的散射。这在图18中示意性地示出,其中图像照明218(由光线218示意性地表示)被内部表面206透射,并且在面204处经历内反射,从而生成反射光线220(也是图像照明的一部分)。光线220在伸突部216处或附近入射到面202处,从而照射在伸突部216上,使得入射光线220被伸突部216在多个方向上反射(即,散射),示意性地由散射光线222a至222c表示。由于伸突部216的表面轮廓的变化,光线被沿各个方向被散射。这些散射的光线222a至222b是不期望的反射,并且可以传播穿过LOE 200,从而被随后的内部表面之一以不希望的角度被反射,导致在观察者的眼睛处产生鬼像,这类似于以上参照图15B讨论的光线122。

[0165] 现在参照图19,其示出了用于通过用光吸收材料对面202的包括凹陷214部分进行涂覆来防止由凹陷214引起的散射效应的方法。特别地,将一定量的光吸收材料224沉积在面202的包括凹陷214的部分上。优选地,位于凹陷214中的光吸收材料224的量足以将凹陷214填充到至少达到面202的无瑕疵部分的水平。在一个非限制性示例中,光吸收材料224被实现为黑色吸收涂料,其以足以填充凹陷214的量被施加到面202。然后,优选地对面202进行抛光以从面202去除任何多余的光吸收材料,使得仅保留位于凹陷214中的光吸收材料,并且凹陷214中的光吸收材料224的水平与面202的无瑕疵部分齐平。

[0166] 图19中还示出了光吸收材料224对传播图像照明的影响。类似于以上参照图18所讨论的,光线218被内部表面206透射,并且在面204处经历内反射,从而生成反射光线220。然而,光线220在照射到伸突部216上时被光吸收材料224吸收,从而防止由伸突部216引起的光散射。

[0167] 可以将吸光材料施加在内部表面与LOE基板之间的存在这样的凹陷的任何界面区域处,并且然后如上所述进行抛光去除。例如,可以将光吸收材料施加到在界面区域212b中形成的凹陷。另外,当使用耦入反射器(即,内部反射表面)作为光学耦入构造时,在抛光工艺中可能在内部反射表面与LOE基板之间的界面区域处形成凹陷。此处也可以在内部反射表面和LOE基板之间的界面区域处施加一定量的光吸收材料,以防止由凹陷引起的散射效应。

[0168] 尽管已经在其中光沿一个维度传播并且通过内部表面被耦出从而在一个维度上执行孔径扩展的LOE的上下文中描述了通过使用施加到LOE外区域处的瑕疵的光吸收材料来减少散射,但是光吸收材料可以类似地被施加到在两个维度上执行孔径扩展的光波导(例如参照图12A、图12B和图13描述的引导到引导图像传播的光波导)的外部区域或部分上的瑕疵。这些瑕疵可以包括在各组小平面(例如,小平面58、64、76、86)与对应的面(例如,面52a、52b、54a、54b、62a、62b、72a、72b、74a、74b、82a、82b、84a、84b)之间的界面区域处形成的凹陷。

[0169] 光吸收材料也可以用于修复呈光波导的面上的划痕和/或光波导的带缺口拐角或边缘的形式的瑕疵。例如,考虑图20中再现的图12A和图12B的光波导50。此处,由面52a、54a形成的拐角/边缘的一部分已被切掉(例如由于对光波导50的处理不当),产生瑕疵230。通过四重内反射来传播穿过光波导50的照射在瑕疵230的区域上的光将被散射或经历沿不期

望的方向的反射。如图21所示,可以在瑕疵230处施加一定量的光吸收材料224,以防止散射效应。在图21中,位于瑕疵处的光吸收材料的量足以恢复光波导50的矩形截面。然而,可以将较少量的光吸收材料施加到不会使光波导恢复到其无瑕疵结构的瑕疵。同样,可以施加吸光材料以填充光波导(用于一维和二维孔径扩展光学设备)(例如,对于光波导10、50、60、70、80、100中的任何一个)的面处的划痕。

[0170] 应当注意,本文中描述的本发明的某些方面可以用于独立于本发明的其他方面来获益。例如,与交错小平面组一起使用或不与交错小平面组一起使用的互补涂覆方法可以用于与瑕疵修补技术分开来获益。此外,瑕疵修补技术可以应用于其他方面具有常规涂层架构的LOE或光波导(执行一维或二维孔径扩展)。

[0171] 尽管在附图中仅示出了LOE和光波导结构,但是应当理解,本文中描述的各种LOE和光波导旨在用作显示器的一部分以用于向观察者的眼睛提供图像,该显示器通常是平视显示器(head-up display,HUD),优选地是近眼显示器(near-eye display,NED),例如头戴显示器(head-mounted display,HMD)或眼镜架支承显示器,用于向观察者的眼睛提供图像。在某些优选实施方式中,显示器是增强现实(augmented reality,AR)显示系统的一部分,其中提供给观察者的眼睛的图像被叠加在外部“真实世界”风景上。在其他实施方式中,显示器是虚拟现实(virtual reality,VR)显示系统的一部分,其中观察者只能观看到LOE/光波导提供的图像。在所有这样的情况下,显示器优选地包括小形式因子的图像投影仪,该图像投影仪生成准直图像,准直图像被光学耦合到LOE/光波导,以便经由光耦合构造(例如,耦合反射器22、耦合棱镜等)将准直图像引入到LOE/光波导中,以在LOE/光波导内通过内反射传播并且通过内部选择性反射表面逐渐耦出。

[0172] 用于投影对应于(即表示)准直图像的照明(即光)的合适的图像投影仪的示例在本领域中是众知的,其中图像投影仪例如采用照明源、空间光调制器(例如硅基液晶(liquid crystal on silicon,LCoS)芯片、以及准直光学器件,其通常全部布置在一个或更多个偏振选择性分束器(polarization selective beamsplitter,PBS)立方体或其他棱镜装置的表面上。

[0173] 应当注意,当在AR系统的上下文中使用时,在光波导的外部部分处的瑕疵上施加少量的光吸收材料还可以提供减少或抑制来自外部风景的光的散射的益处。

[0174] 当讨论涂层和图像照明的偏振特性时,应当注意,对于本文中描述的示例中遵循特定偏振波路径的每种情况,偏振是可互换的,由此,例如在改变涂层的偏振选择属性时,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。

[0175] 已经出于说明的目的给出了对本公开内容的各种实施方式的描述,但是其并非旨在是穷举的或限于所公开的实施方式。在不脱离所描述的实施方式的范围和精神的情况下,许多修改和变化对于本领域的普通技术人员将是明显的。选择本文所使用的术语以最好地解释实施方式的原理、实际应用或对市场中发现的技术改进,或使本领域的其他普通技术人员能够理解本文所公开的实施方式。

[0176] 如本文所使用的,除非上下文另有明确规定,否则单数形式“一(a)”、“一个(an)”和“该(the)”包括复数指代。

[0177] 在本文中使用的词语“示例性”来表示“用作示例、实例或说明”。被描述为“示例性”

的任何实施方式不必被解释为比其他实施方式优选或有利和/或排除结合来自其他实施方式的特征合。

[0178] 应当理解,为了清楚起见在分开的实施方式的上下文中描述的本发明的某些特征也可以在单个实施方式中组合提供。相反,为了简洁起见在单个实施方式的上下文中描述的本发明的各种特征也可以分开地或以任何合适的子组合或根据需要在本发明的任何其他描述的实施方式中提供。在各种实施方式的上下文中描述的某些特征不应被认为是这些实施方式的必要特征,除非该实施方式在没有这些要素的情况下是不可操作的。

[0179] 此外,根据本公开的实施例,提供了下述配置1-71:

[0180] 1. 一种光学设备,包括:

[0181] 透光基板,其具有至少两个平行主外部表面,以用于通过所述主外部表面处的内反射来引导指示准直图像的光;

[0182] 第一组相互平行内部表面,其相对于所述外部表面倾斜地部署在所述基板内;以及

[0183] 第二组相互平行内部表面,其与所述第一组内部表面平行、交错并且呈交叠关系地部署在所述基板内,

[0184] 所述第一组的每个内部表面的至少一部分包括第一涂层,所示第一涂层具有第一反射特性,以至少部分地反射入射光的分量的至少第一子集,并且所述第二组的每个内部表面的至少一部分包括第二涂层,所述第二涂层具有与所述第一反射特性互补的第二反射特性,以至少部分地反射入射光的分量的至少第二子集,使得内部表面的组协作以反射所述第一子集和所述第二子集的光的所有分量。

[0185] 2. 根据配置1所述的光学设备,其中,分量的所述第一子集包括与第一颜色相对应的光,并且其中,分量的所述第二子集包括与第二颜色相对应的光。

[0186] 3. 根据配置1所述的光学设备,其中,分量的所述第一子集包括具有第一偏振方向的光,并且其中,分量的所述第二子集包括具有第二偏振方向的光。

[0187] 4. 根据配置1所述的光学设备,其中,所述第一涂层或所述第二涂层中的至少一个包括结构偏振器。

[0188] 5. 根据配置1所述的光学设备,其中,所述第一涂层或所述第二涂层中的至少一个包括电介质涂层。

[0189] 6. 根据配置1所述的光学设备,其中,所述第一涂层或所述第二涂层中的至少一个包括金属涂层。

[0190] 7. 根据配置1所述的光学设备,其中,所述第一涂层被构造成:以第一反射效率反射具有与第一颜色相对应的波长的光,以第二反射效率反射具有与第二颜色相对应的波长的光,以及以小于所述第一反射效率的第三反射效率反射具有与第三颜色相对应的波长的光,并且其中,所述第二涂层被构造成以大于所述第三反射效率的反射效率来反射具有与所述第一颜色相对应的波长的光,使得所述第一涂层和所述第二涂层对所述第三颜色的组合反射效率大于或等于所述第一反射效率。

[0191] 8. 根据配置7所述的光学设备,其中,所述第二反射效率小于所述第一反射效率,并且其中,所述第二涂层被构造成以大于所述第二反射效率的反射效率来反射具有与所述第二颜色相对应的波长的光,使得所述第一涂层和所述第二涂层对所述第二颜色的组合反

射效率大于或等于所述第一反射效率。

[0192] 9. 根据配置8所述的光学设备,其中,所述第二涂层被构造成以约等于所述第一反射效率的反射效率来反射具有与所述第一颜色相对应的波长的光。

[0193] 10. 根据配置1所述的光学设备,其中,所述第一涂层被构造成:以第一反射效率反射具有与第一颜色相对应的波长的光,以小于所述第一反射效率的第二反射效率来反射具有与第二颜色相对应的波长的光,以及以小于所述第一反射效率的第三反射效率来反射具有与第三颜色相对应的波长的光,并且其中,所述第二涂层被构造成:以大于所述第二反射效率和所述第三反射效率的反射效率来反射具有与所述第一颜色相对应的波长的光,以大于所述第二反射效率和所述第三反射效率的反射效率来反射具有与所述第二颜色相对应的波长的光,以及以大于所述第二反射效率和所述第三反射效率的反射效率来反射具有与所述第三颜色相对应的波长的光。

[0194] 11. 根据配置1所述的光学设备,其中,所述第一涂层包括图案化涂层,所述图案化涂层包括以规定图案布置在所述第一组的每个内部表面上的反射材料的若干份。

[0195] 12. 根据配置11所述的光学设备,其中,所述反射材料的每个份在所述内部表面的平面中具有圆形形状。

[0196] 13. 根据配置11所述的光学设备,其中,所述反射材料的每个份在所述内部表面的平面中具有长方形形状。

[0197] 14. 根据配置11所述的光学设备,其中,所述反射材料是电介质材料。

[0198] 15. 根据配置11所述的光学设备,其中,所述反射材料是金属材料。

[0199] 16. 根据配置11所述的光学设备,其中,在所述反射材料的份之间形成的空间是透明的。

[0200] 17. 根据配置11所述的光学设备,其中,第二反射材料部署在所述内部表面上在所述反射材料的份之间形成的空间中。

[0201] 18. 根据配置17所述的光学设备,其中,所述第二反射材料包括电介质材料。

[0202] 19. 根据配置17所述的光学设备,其中,所述第二反射材料以规定图案布置在所述内部表面上。

[0203] 20. 根据配置11所述的光学设备,其中,所述第一组的内部表面上的份的数目或份的大小中的至少一个相对于光穿过所述基板的主传播方向而增加。

[0204] 21. 根据配置11所述的光学设备,还包括一定量的光反射抑制材料,所述光反射抑制材料部署在所述反射材料与所述第一组的内部表面的至少一部分之间。

[0205] 22. 根据配置21所述的光学设备,其中,所述光反射抑制材料包括光吸收材料。

[0206] 23. 根据配置21所述的光学设备,其中,所述光反射抑制材料包括光散射材料。

[0207] 24. 根据配置1所述的光学设备,其中,所述第一涂层部署在所述第一组的每个内部表面的第一部分上,并且其中,所述第二涂层部署在所述第一组的每个内部表面的第二部分上,并且其中,所述第二涂层部署在所述第二组的每个内部表面的第一部分上,并且其中,所述第一涂层部署在所述第二组的每个内部表面的第二部分上,并且其中,所述第一组的内部表面的第一部分和第二部分是不交叠的部分,并且其中,所述第二组的内部表面的第一部分和第二部分是不交叠的部分。

[0208] 25. 根据配置1所述的光学设备,其中,所述第一组的内部表面和所述第二组的内

部表面将通过所述主外部表面处的内反射引导的光的一定比例朝向观察者的眼睛反射出所述基板。

[0209] 26. 根据配置1所述的光学设备,其中,所述第一组的内部表面和所述第二组的内部表面将通过所述主外部表面处的内反射引导的光的一定比例反射出所述基板,以使其耦合到第二透光基板中,以用于通过所述第二透光基板的外部表面处的内反射进行引导。

[0210] 27. 根据配置1所述的光学设备,其中,所述基板被构造成将光沿一个维度引导穿过所述基板。

[0211] 28. 根据配置1所述的光学设备,其中,所述基板被构造成将光沿两个维度引导穿过所述基板。

[0212] 29. 根据配置1所述的光学设备,其中,所述第一组或所述第二组中的至少之一的至少一个内部表面包括与所述基板的外部表面中的第一外部表面相关联的端部区域,所述端部区域限定所述至少一个内部表面与所述基板之间的界面区域,并且其中,所述外部表面中的第一外部表面具有一定量的光吸收材料,所述光吸收材料位于在所述外部表面中的第一外部表面中在所述界面区域处形成的凹陷中。

[0213] 30. 一种光学设备,包括:

[0214] 透光基板,其具有至少两个平行主外部表面,以用于通过所述主外部表面处的内反射引导指示准直图像的光;以及

[0215] 多个相互平行内部表面,其相对于所述外部表面倾斜地部署在所述基板内,所述内部表面的第一子组的至少一部分包括图案化涂层,所述图案化涂层包括以规定图案布置在所述第一子组的内部表面上的反射材料的若干份,所述图案化涂层至少部分地反射入射光的分量的至少第一子集,所述内部表面的第二子组至少部分地反射入射光的分量的至少第二子集,并且所述第一子组的内部表面与所述第二子组的内部表面具有交叠关系,使得所述内部表面的子组进行协作以反射所述第一子集和所述第二子集的光的所有分量。

[0216] 31. 根据配置30所述的光学设备,其中,所述反射材料的每个份在所述第一子组的内部表面的平面中具有圆形形状。

[0217] 32. 根据配置30所述的光学设备,其中,所述反射材料的每个份在所述第一子组的内部表面的平面中具有长方形形状。

[0218] 33. 根据配置30所述的光学设备,其中,所述反射材料是电介质材料。

[0219] 34. 根据配置30所述的光学设备,其中,所述反射材料是金属材料。

[0220] 35. 根据配置30所述的光学设备,其中,在所述反射材料的份之间形成的空间是透明的。

[0221] 36. 根据配置30所述的光学设备,其中,第二反射材料部署在所述反射材料的份之间形成的空间中。

[0222] 37. 根据配置36所述的光学设备,其中,所述第二反射材料包括电介质材料。

[0223] 38. 根据配置36所述的光学设备,其中,所述第二反射材料以规定图案布置在所述第一子组的内部表面上。

[0224] 39. 根据配置30所述的光学设备,其中,所述第一子组的内部表面上的分量的数目或分量大小中的至少一个相对于光穿过所述基板的传播方向而增加。

[0225] 40. 根据配置30所述的光学设备,还包括一定量的光反射抑制材料,所述光反射抑

制材料部署在所述反射材料与所述第一子组的内部表面之间。

[0226] 41. 根据配置40所述的光学设备,其中,所述光反射抑制材料包括光吸收材料。

[0227] 42. 根据配置40所述的光学设备,其中,所述光反射抑制材料包括光散射材料。

[0228] 43. 根据配置30所述的光学设备,其中,所述第一子组的内部表面与所述第二子组的内部表面交错。

[0229] 44. 根据配置30所述的光学设备,其中,内部表面的所述第一子组的表面与内部表面的所述第二子组的表面共面。

[0230] 45. 根据配置30所述的光学设备,其中,所述内部表面将通过所述主外部表面处的内反射引导的光的一定比例朝向观察者的眼睛反射出所述透光基板。

[0231] 46. 根据配置30所述的光学设备,其中,所述内部表面将通过所述主外部表面处的内反射引导的光的一定比例反射出所述透光基板,以使其耦入到第二透光基板中,以用于通过所述第二透光基板的外部表面处的内反射进行引导。

[0232] 47. 根据配置30所述的光学设备,其中,所述基板被构造成将光沿一个维度引导穿过所述基板。

[0233] 48. 根据配置30所述的光学设备,其中,所述基板被构造成将光沿两个维度引导穿过所述基板。

[0234] 49. 根据配置30所述的光学设备,其中,所述内部表面中的至少一个内部表面包括与所述基板的外部表面中的第一外部表面相关联的端部区域,所述端部区域限定所述至少一个内部表面与所述基板之间的界面区域,并且其中,所述外部表面中的第一外部表面具有一定量的光吸收材料,所述光吸收材料位于在所述外部表面的第一外部表面中在所述界面区域处形成的凹陷中。

[0235] 50. 一种光学设备,包括:

[0236] 透光基板,其具有至少两个平行主外部表面,以用于通过所述主外部表面处的内反射来引导光;

[0237] 至少一个至少内部表面,其相对于所述外部表面倾斜地部署在所述基板内,所述内部表面具有与所述基板的外部表面中的第一外部表面相关联的端部区域,所述端部区域限定所述内部表面与所述基板之间的界面区域;以及

[0238] 一定量的光吸收材料,其位于在所述外部表面中的第一外部表面中在所述界面区域处形成的凹陷中。

[0239] 51. 根据配置50所述的光学设备,其中,所述至少一个内部表面包括多个互相平行的部分反射的表面。

[0240] 52. 根据配置50所述的光学设备,其中,所述至少一个内部表面被构造成将通过内反射在所述基板内引导的光耦出所述基板。

[0241] 53. 根据配置50所述的光学设备,其中,所述至少一个内部表面被构造成:将光耦入到所述基板中以使其通过内反射在所述基板内进行传播。

[0242] 54. 根据配置50所述的光学设备,其中,所述至少一个内部表面被构造成:将通过内反射在所述基板内引导的光耦入到第二透光基板中,以使其通过内反射在所述第二基板内进行传播。

[0243] 55. 根据配置50所述的光学设备,其中,所述光吸收材料包括黑色吸收涂料。

[0244] 56. 根据配置50所述的光学设备,其中,所述一定量的光吸收材料足以填充所述凹陷。

[0245] 57. 根据配置50所述的光学设备,其中,所述内部表面具有与所述基板的外部表面中的第二外部表面相关联的第二端部区域,所述第二端部区域限定所述内部表面与所述基板之间的第二界面区域,所述光学设备还包括:位于在所述外部表面中的第二表面中在所述第二界面区域处形成的凹陷中的一定量的光吸收材料。

[0246] 58. 一种制造光学设备的方法,所述方法包括:

[0247] 获得透光基板,所述透光基板具有至少两个平行主外部表面,以用于通过所述主外部表面处的内部反射来引导光,所述基板具有至少一个至少内部表面,所述至少一个内部表面部署在所述外部表面之间并且相对于所述外部表面倾斜,所述内部表面具有与所述基板的外部表面中的第一外部表面相关联的端部区域,以限定所述内部表面与所述外部表面中的第一外部表面之间的界面区域;以及

[0248] 将一定量的光吸收材料沉积在凹陷中,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界面区域处。

[0249] 59. 根据配置58所述的方法,其中,沉积所述一定量的光吸收材料包括将所述光吸收材料施加到所述外部表面中的基本上整个第一外部表面。

[0250] 60. 根据配置59所述的方法,还包括:抛光所述外部表面中的第一外部表面以从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。

[0251] 61. 根据配置58所述的方法,其中,获得所述透光基板包括:将一组涂覆透明板附接在一起以形成堆叠,将所述堆叠进行对角切片以形成具有所述至少两个平行主外部表面和相对于所述外部表面倾斜的内部表面的所述基板,以及抛光所述外部表面。

[0252] 62. 根据配置61所述的方法,其中,抛光所述外部表面使得在所述外部表面中的第一表面中在所述界面区域处形成所述凹陷。

[0253] 63. 根据配置58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。

[0254] 64. 根据配置58所述的方法,其中,所述内部表面具有与所述基板的外部表面中的第二外部表面相关联的第二端部区域,以限定所述内部表面与所述外部表面中的第二外部表面之间的界面区域,所述方法还包括:将一定量的光吸收材料沉积在所述外部表面中的第二外部表面中在界面区域处形成的凹陷中,所述界面区域在所述内部表面与所述外部表面中的第二外部表面之间。

[0255] 65. 一种光学设备,包括:

[0256] 透光基板,其具有形成矩形截面的第一对平行主外部表面和第二对平行主外部表面,所述基板被构造用于通过所述主外部表面处的内反射引导光;

[0257] 至少一个内部表面,其相对于所述基板的延伸方向倾斜地部署在所述基板内,被构造用于将光耦出所述基板;以及

[0258] 一定量的光吸收材料,其位于在所述基板的外区域处形成的瑕疵处。

[0259] 66. 根据配置65所述的光学设备,其中,所述瑕疵包括在所述外部表面之一中形成的划痕。

[0260] 67. 根据配置65所述的光学设备,其中,所述瑕疵包括在所述第一对外部表面中的一个外部表面与所述第二对外部表面中的一个外部表面之间形成的边缘中的缺口。

[0261] 68. 根据配置65所述的光学设备,其中,所述瑕疵包括在所述第一对外部表面中的一个外部表面与所述第二对外部表面中的一个外部表面之间形成的拐角中的缺口。

[0262] 69. 根据配置65所述的光学设备,其中,所述内部表面包括与所述基板的外部表面之一相关联的至少第一端部区域,以限定所述内部表面与所述基板之间的界面区域。

[0263] 70. 根据配置69所述的光学设备,其中,所述瑕疵包括在所述界面区域处形成的凹陷。

[0264] 71. 根据配置65所述的光学设备,其中,所述光吸收材料包括黑色吸收涂料。

[0265] 就所附权利要求是在没有多项引用的情况下撰写的而言,这样做仅是为了适应不允许这样的多项引用的司法管辖区的形式要求。应当注意,通过使权利要求多项引用而隐含的特征的所有可能组合被明确地设想并且应当被认为是本发明的一部分。

[0266] 尽管已经结合本发明的特定实施方式描述了本发明,但是显然,对于本领域技术人员而言,许多替代、修改和变化将是明显的。因此,本发明旨在涵盖落入所附权利要求书的精神和广义范围内的所有此类替代、修改和变化。

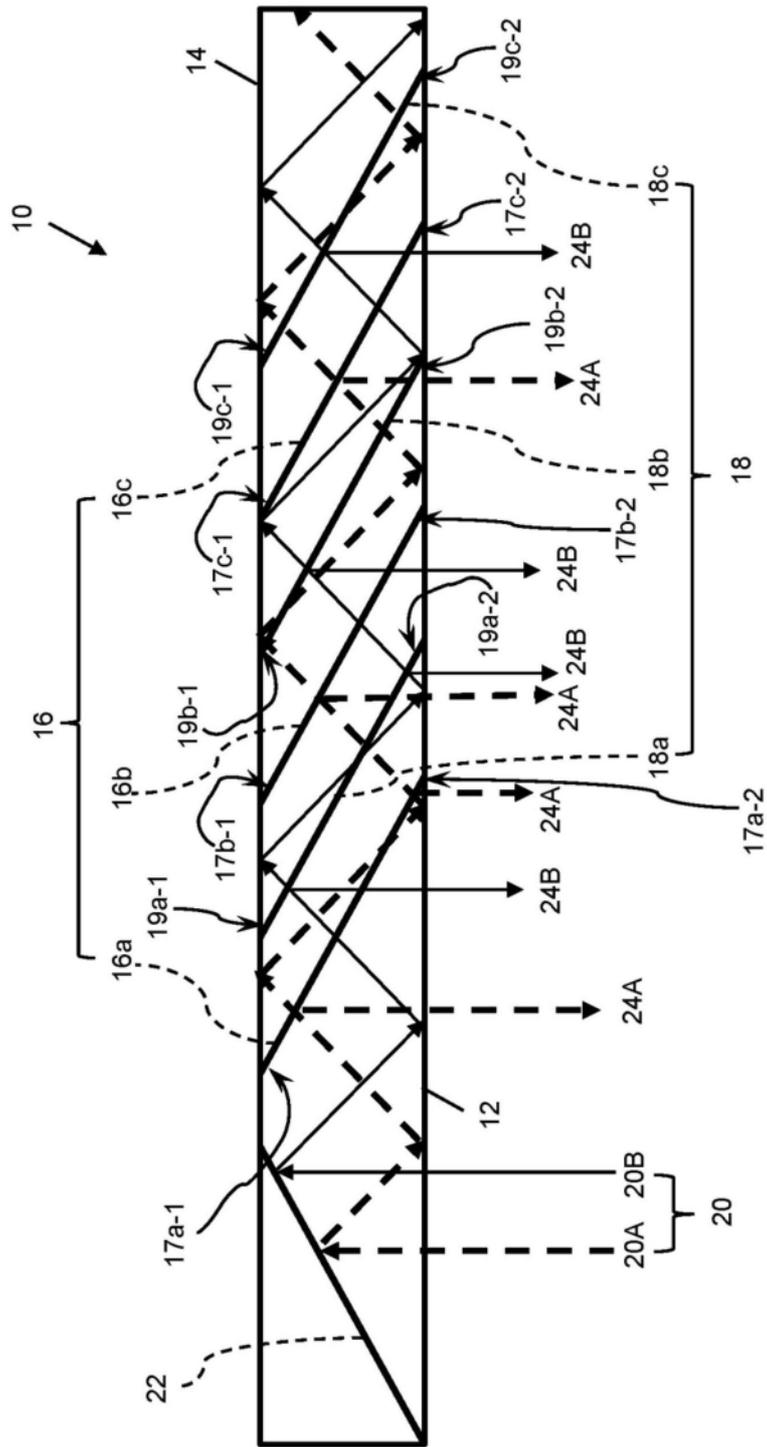


图1

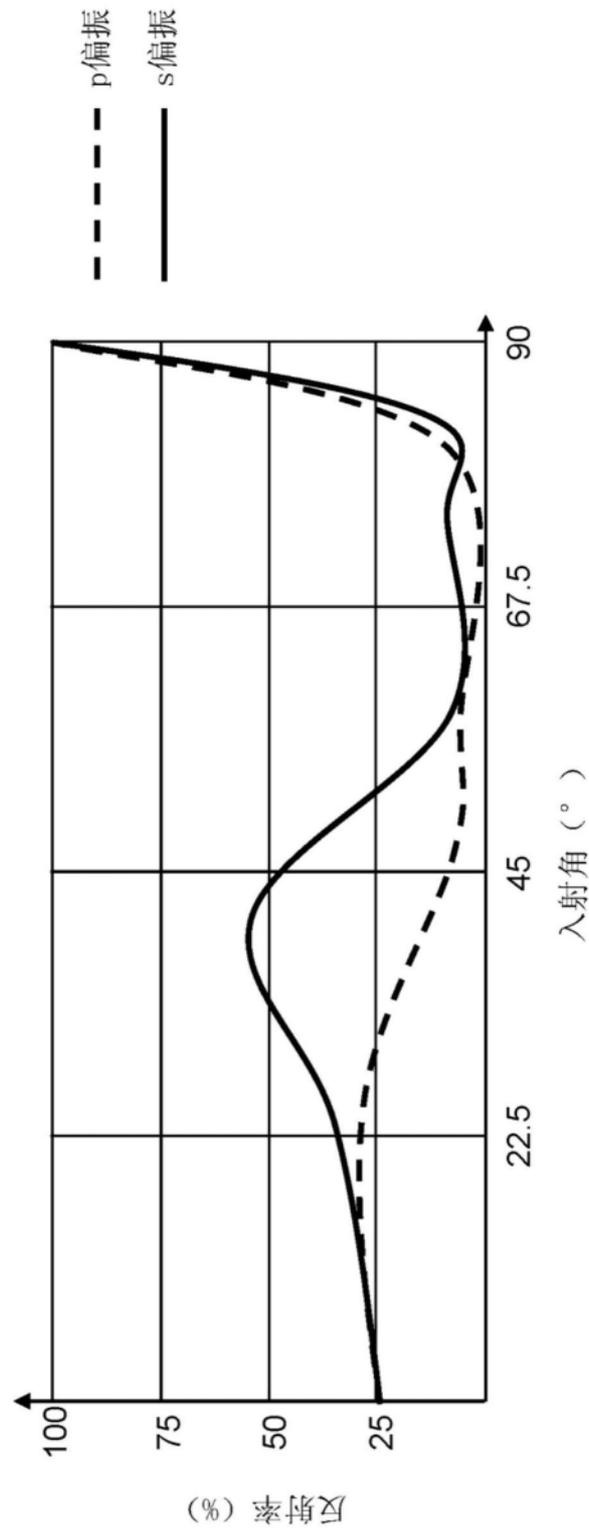


图2

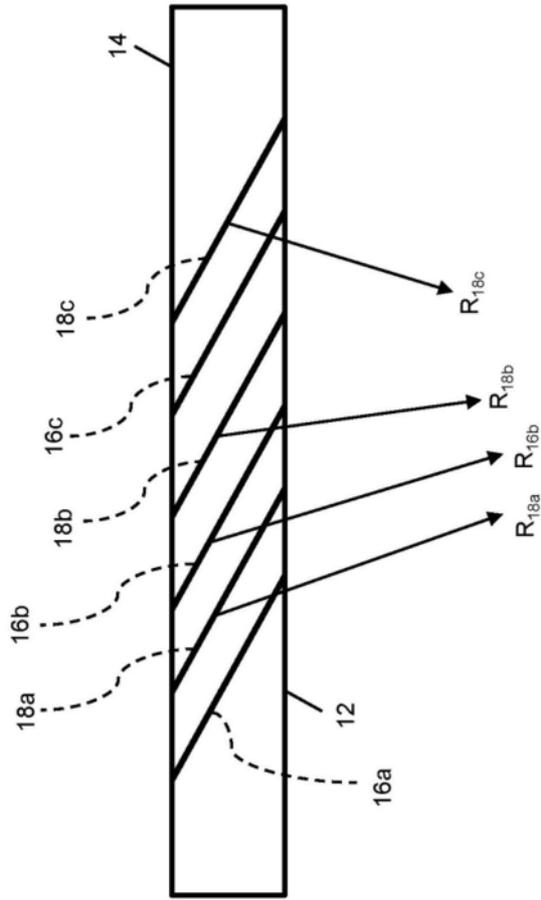


图3

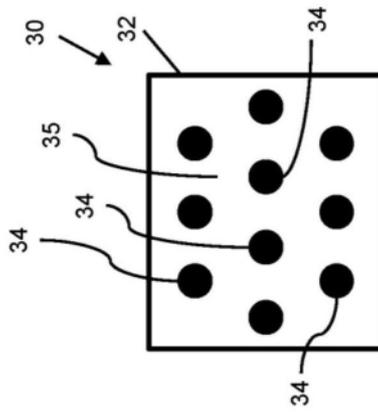


图4

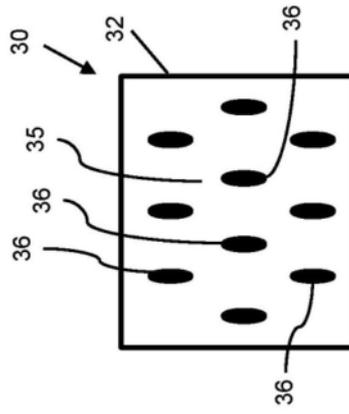


图5

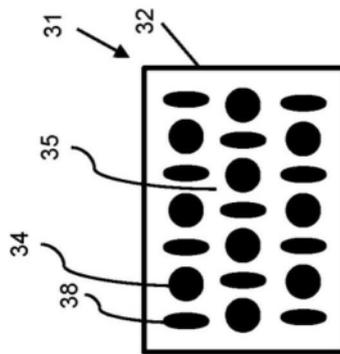


图6

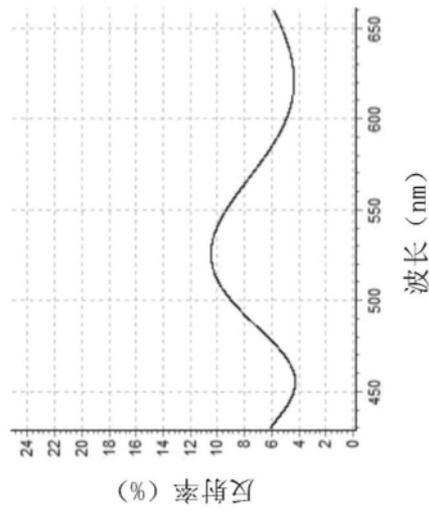


图7

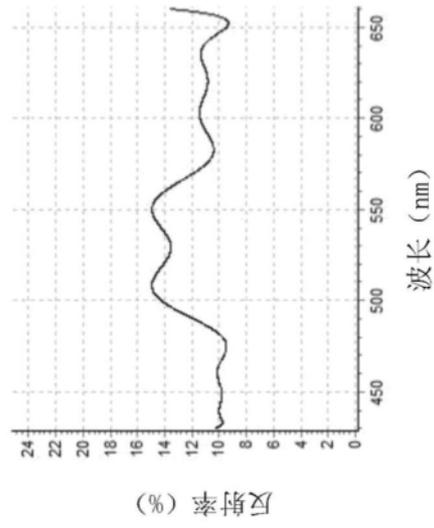


图8

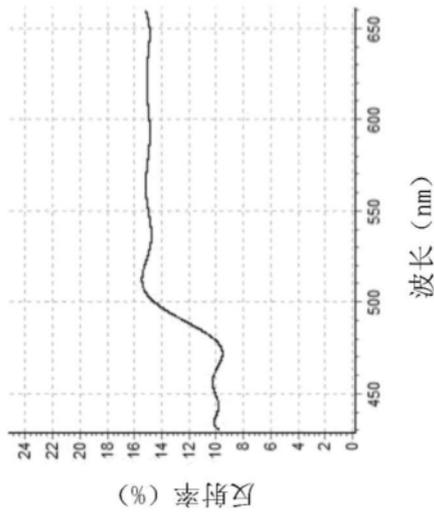


图9

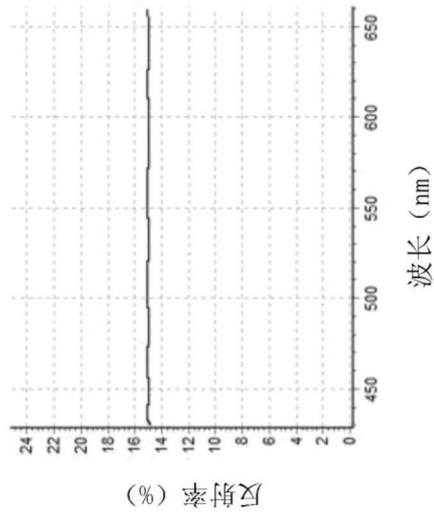


图10

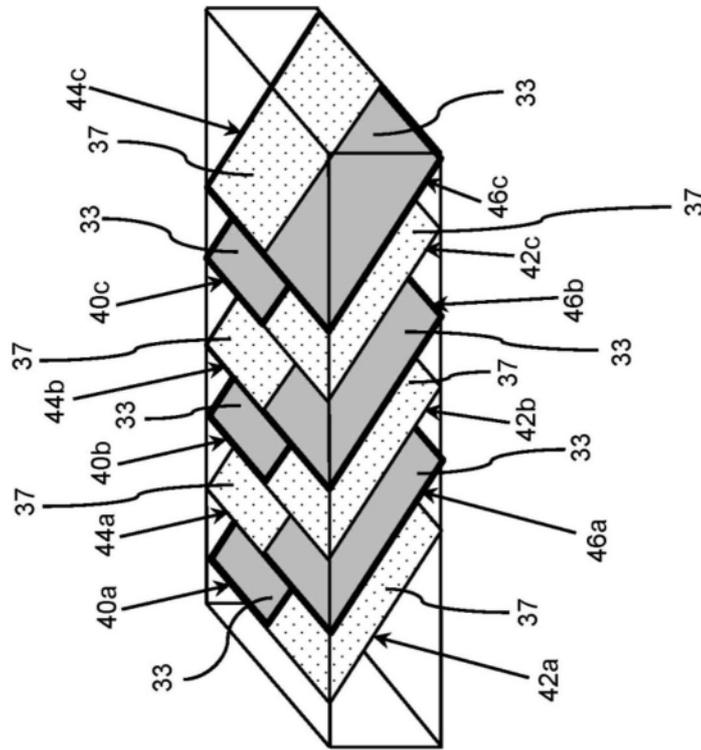


图11

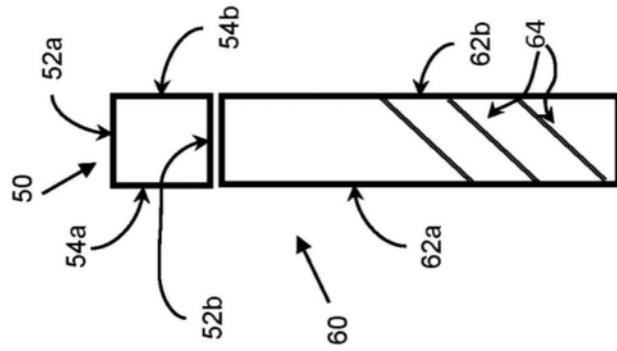


图12A

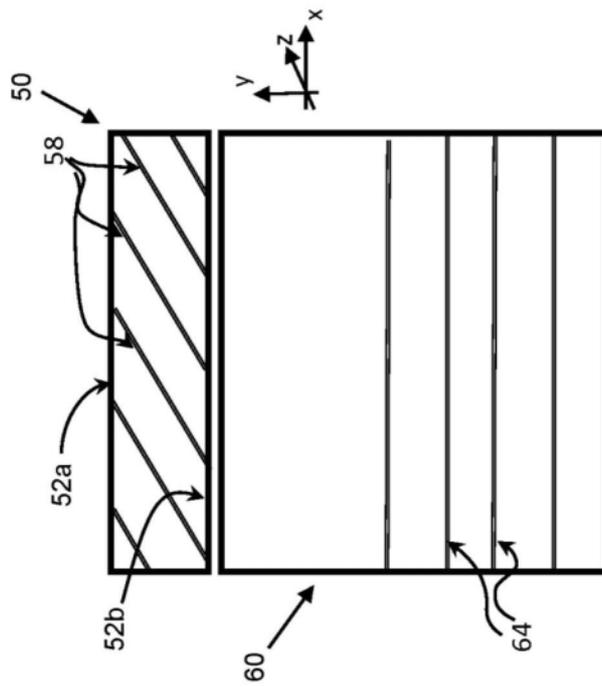


图12B

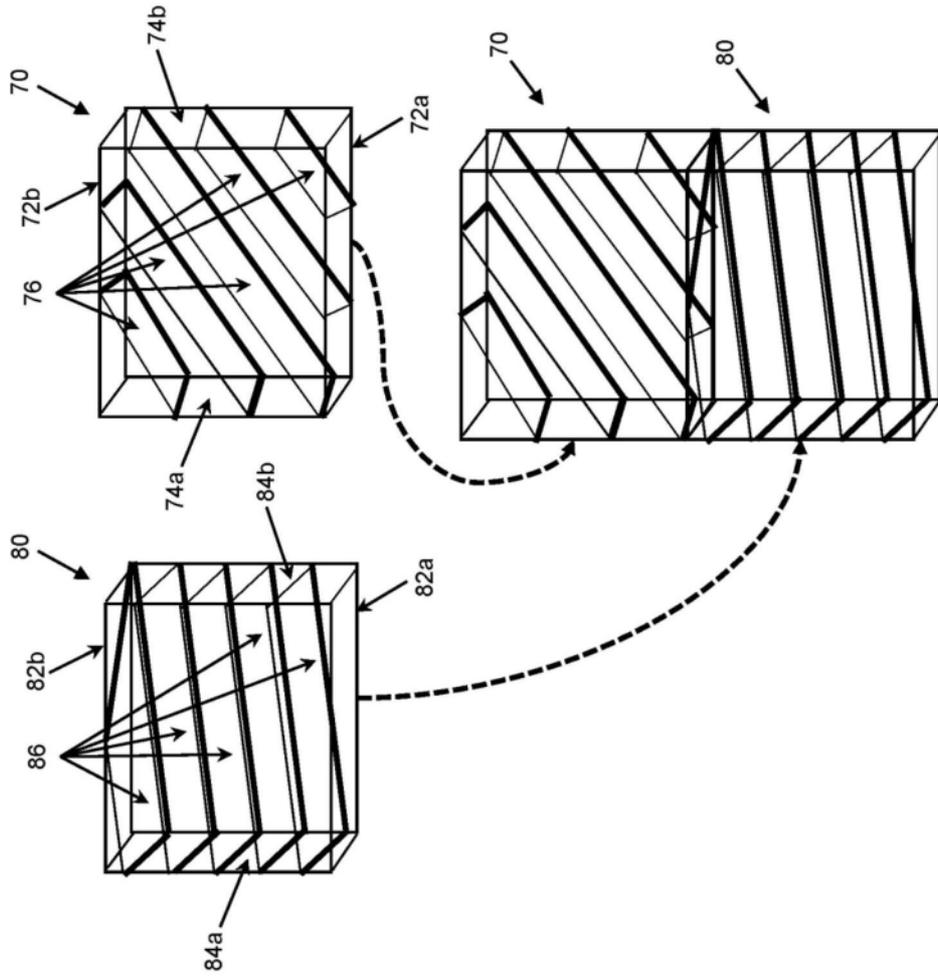


图13

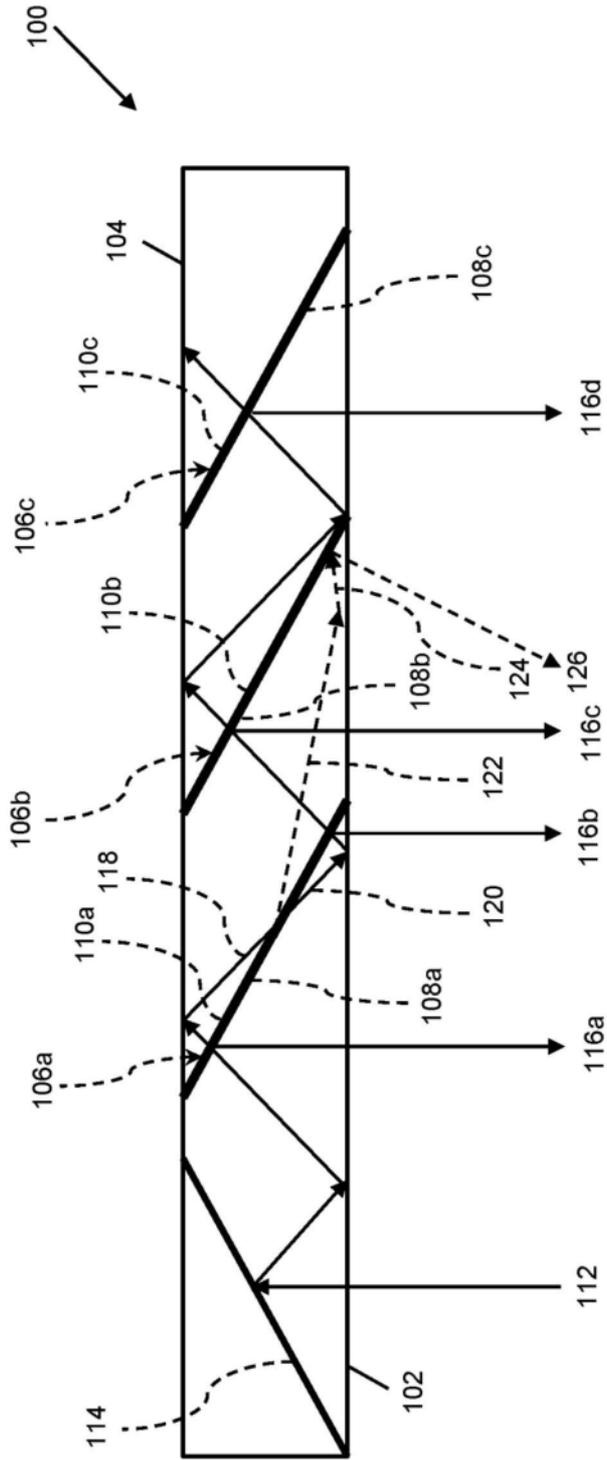


图14

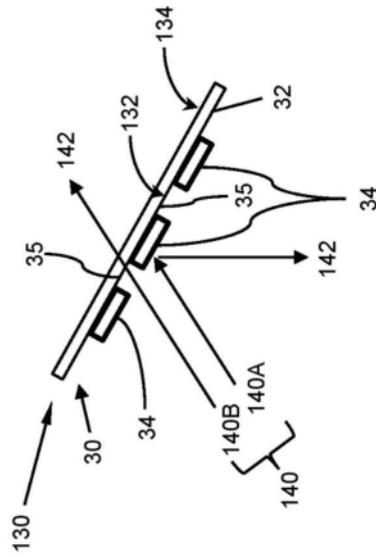


图15A

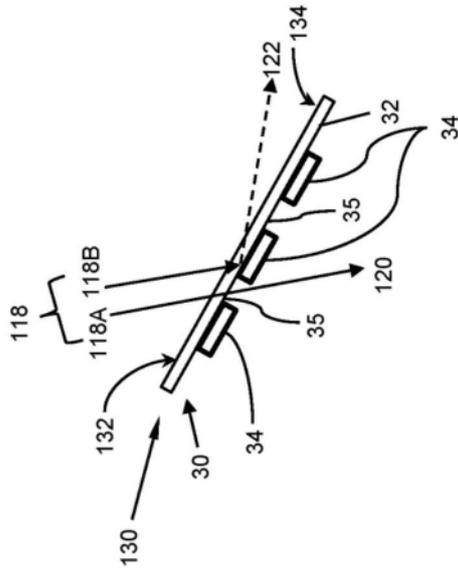


图15B

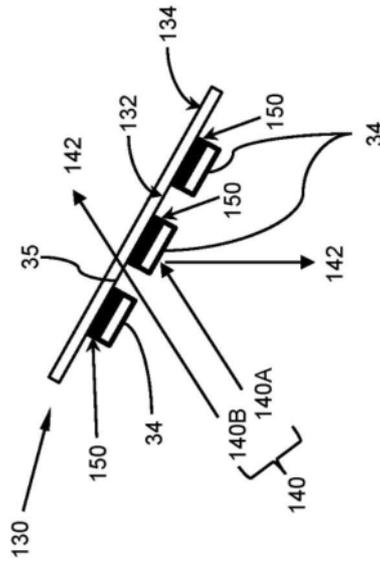


图16A

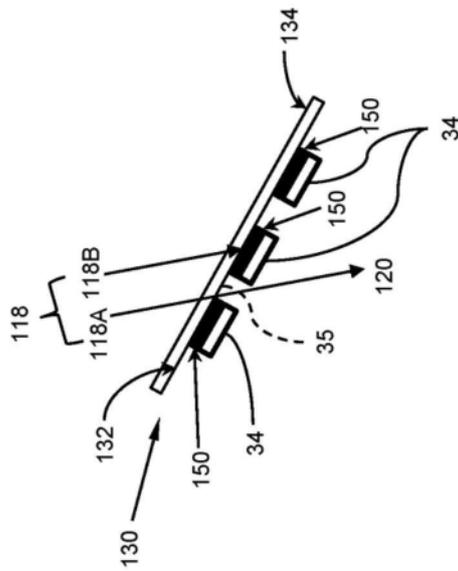


图16B

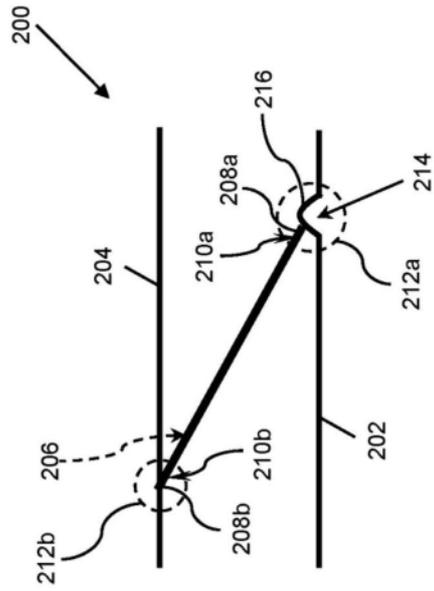


图17

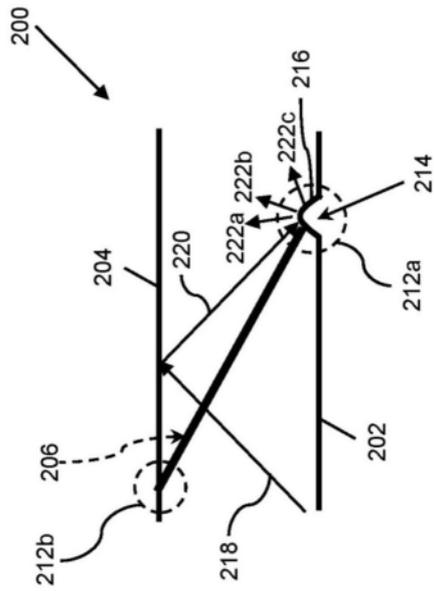


图18

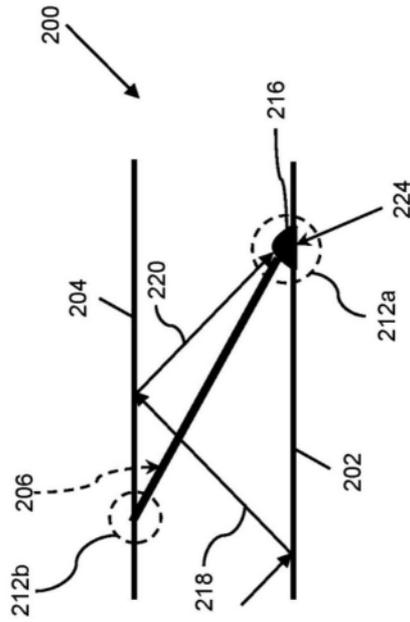


图19

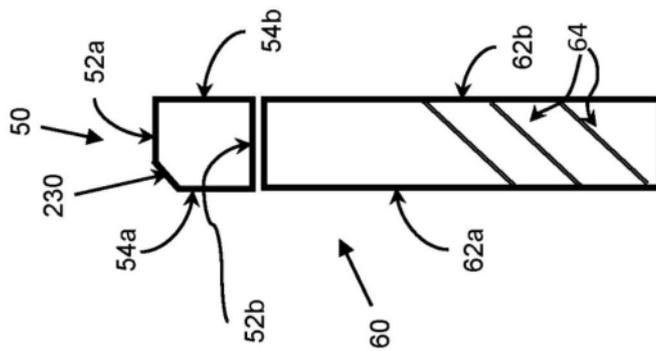


图20

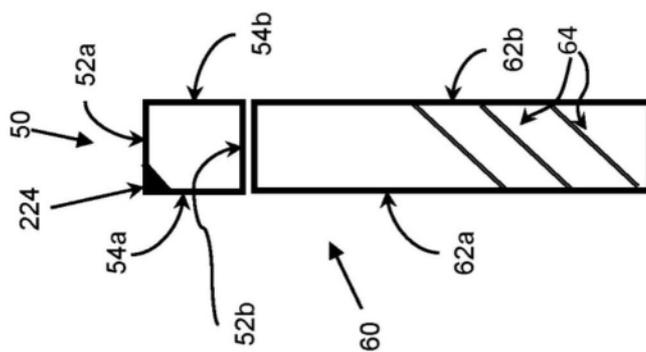


图21