



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118922749 A

(43) 申请公布日 2024. 11. 08

(21) 申请号 202380029827.2

M·E·曼内斯 杨书强 F·Y·徐

(22) 申请日 2023.03.24

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

(30) 优先权数据

11247

17/705,202 2022.03.25 US

专利代理师 姜利芳 于静

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.09.24

(51) Int.Cl.

G02B 3/00 (2006.01)

A63F 13/25 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2023/016266 2023.03.24

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/183591 EN 2023.09.28

(71) 申请人 奇跃公司

地址 美国

(72) 发明人 R·D·泰克尔斯特 R·J·翁

V·K·刘 S·巴拉加瓦

C·佩罗兹 V·辛格

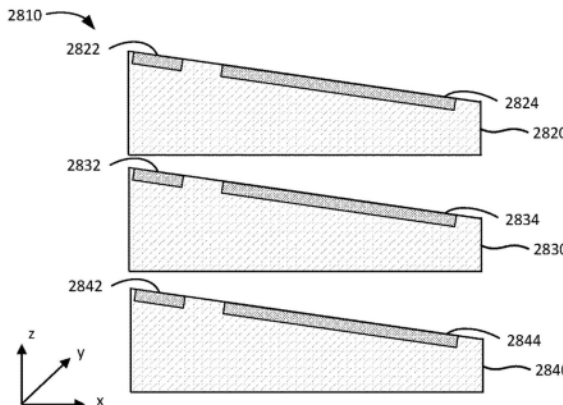
权利要求书5页 说明书66页 附图71页

(54) 发明名称

用于增强现实设备的可变光学厚度波导的方法和系统

(57) 摘要

一种增强现实设备包括投射器、光学耦合到投射器的投射器光学器件以及光学耦合到投射器光学器件的目镜。目镜包括目镜波导,其特征为横向维度和随着横向维度中的一个或多个变化的光路长度差。



1. 一种增强现实设备,包括:
投射器;
光学耦合到所述投射器的投射器光学器件;以及
光学耦合到所述投射器光学器件的目镜,其中,所述目镜包括目镜波导,其特征为横向维度和随着所述横向维度中的一个或多个变化的光路长度差。
2. 根据权利要求1所述的增强现实设备,其中,所述目镜进一步包括:
第二目镜波导,其特征为第二横向维度和随着所述第二横向维度中的一个或多个变化的第二光路长度差;以及
第三目镜波导,其特征为第三横向维度和随着所述第三横向维度中的一个或多个变化的第三光路长度差。
3. 根据权利要求2所述的增强现实设备,其中,所述目镜波导、所述第二目镜波导和所述第三目镜波导形成所述目镜。
4. 根据权利要求3所述的增强现实设备,其中,所述目镜是包括所述目镜波导、所述第二目镜波导和所述第三目镜波导的层叠结构。
5. 根据权利要求2所述的增强现实设备,进一步包括:
第二投射器;
光学耦合到所述投射器的第二投射器光学器件;以及
光学耦合到所述第二投影光学器件的第二目镜,其中,所述第二目镜包括第四目镜波导,其特征为第四横向维度和随着所述第四横向维度中的一个或多个变化的第四光路长度差。
6. 根据权利要求5所述的增强现实设备,其中,所述第二目镜进一步包括:
第五目镜波导,其特征为第五横向维度和随着所述第五横向维度中的一个或多个变化的第五光路长度差;以及
第六目镜波导,其特征为第六横向维度和随着所述第六横向维度中的一个或多个变化的第六光路长度差。
7. 根据权利要求2所述的增强现实设备,其中:
所述目镜波导包括组合光瞳扩展器;
所述第二目镜波导包括第二组合光瞳扩展器;以及
所述第三目镜波导包括第三组合光瞳扩展器,其中,所述目镜波导的厚度跨所述组合光瞳扩展器变化,所述第二目镜波导的厚度跨所述第二组合光瞳扩展器变化,以及所述第三目镜波导的厚度跨所述第三组合光瞳扩展器变化。
8. 根据权利要求1所述的增强现实设备,其中,所述投射器、所述投射器光学器件和所述目镜安装在增强现实耳机中。
9. 根据权利要求1所述的增强现实设备,其中,所述目镜波导的特征为随着所述横向维度中的一个或多个变化的厚度变化。
10. 根据权利要求1所述的增强现实设备,其中,所述目镜波导的特征为随着所述横向维度中的一个或多个变化的折射率变化。
11. 根据权利要求1所述的增强现实设备,其中,所述目镜包括三个目镜波导。
12. 根据权利要求11所述的增强现实设备,其中,所述光路长度差从所述三个目镜波导

中每个目镜波导的第一区域的第一值变化到所述三个目镜波导中每个目镜波导的第二区域的第二值。

13. 根据权利要求12所述的增强现实设备, 其中, 所述第一区域对应于耦入光栅, 所述第二区域对应于组合光瞳扩展器, 并且所述光路长度差从所述第一值减小到所述第二值。

14. 根据权利要求11所述的增强现实设备, 其中, 所述三个目镜波导中每个目镜波导的光路长度差沿共同方向延伸。

15. 根据权利要求11所述的增强现实设备, 其中, 所述三个目镜波导中每个目镜波导的光路长度差沿所述三个目镜波导中每个目镜波导的横向维度减小, 其中, 所述三个目镜波导中每个目镜波导的横向维度平行。

16. 一种增强现实设备, 包括:

投射器;

光学耦合到所述投射器的投射器光学器件; 以及

光学耦合到所述投射器光学器件的目镜, 其中, 所述目镜包括:

第一目镜波导, 其特征为横向维度和第一光路长度差梯度; 以及

第二目镜波导, 其特征为横向维度和与所述第一光路长度差梯度对齐的第二光路长度差梯度。

17. 根据权利要求16所述的增强现实设备, 其中, 所述目镜进一步包括第三目镜波导, 其特征为横向维度和与所述第一光路长度差梯度和所述第三光路长度差梯度对齐的第三光路长度差梯度。

18. 根据权利要求17所述的增强现实设备, 其中, 所述第一目镜波导、所述第二目镜波导和所述第三目镜波导层叠在一起。

19. 根据权利要求16所述的增强现实设备, 其中, 所述投射器、所述投射器光学器件和所述目镜安装在增强现实耳机中。

20. 根据权利要求16所述的增强现实设备, 其中:

所述第一目镜波导包括第一组合光瞳扩展器, 其中, 所述第一目镜波导的厚度从所述第一组合光瞳扩展器的第一部分到所述第一组合光瞳扩展器的第二部分变化; 以及

所述第二目镜波导包括第二组合光瞳扩展器, 其中, 所述第二目镜波导的厚度从所述第二组合光瞳扩展器的第一部分到所述第二组合光瞳扩展器的第二部分变化。

21. 根据权利要求16所述的增强现实设备, 其中, 所述第一光路长度差梯度与所述第二光路长度差梯度对齐。

22. 根据权利要求16所述的增强现实设备, 其中, 所述第一光路长度差梯度对应于方向, 并且所述第二光路长度差梯度对应于所述方向。

23. 一种增强现实设备, 包括:

投射器;

光学耦合到所述投射器的投射器光学器件; 以及

光学耦合到所述投射器光学器件的目镜, 其中, 所述目镜包括目镜波导, 其特征为横向维度和一个或多个层, 其中, 所述一个或多个层中的至少一层的特征为随着所述横向维度的一个或多个变化的光路长度差。

24. 根据权利要求23所述的增强现实设备, 其中, 所述目镜包括:

基板;以及

耦合到所述基板的可变厚度层。

25. 根据权利要求24所述的增强现实设备,其中,所述基板的折射率基本上等于所述可变厚度层的折射率。

26. 根据权利要求23所述的增强现实设备,其中,所述目镜进一步包括:

第二目镜波导,其特征为第二横向维度和一个或多个第二层,其中,所述一个或多个第二层中的至少一层的特征为随着所述横向维度中一个或多个变化的第二光路长度差;以及

第三目镜波导,其特征为第三横向维度和一个或多个第三层,其中,所述一个或多个第三层中至少一层的特征为随着所述横向维度的一个或多个变化的第三光路长度差。

27. 根据权利要求26所述的增强现实设备,其中,所述目镜波导、所述第二目镜波导和所述第三目镜波导形成所述目镜。

28. 根据权利要求27所述的增强现实设备,其中,所述目镜是包括所述目镜波导、所述第二目镜波导和所述第三目镜波导的层叠结构。

29. 根据权利要求26所述的增强现实设备,其中:

所述一个或多个层、所述一个或多个第二层和所述一个或多个第三层的特征为随着所述一个或多个横向维度变化的厚度变化;以及

所述一个或多个层、所述一个或多个第二层和所述一个或多个第三层中每一层的厚度变化沿所述目镜波导、所述第二目镜波导和所述第三目镜波导中每个目镜波导的横向维度减小,其中,所述横向维度是平行的。

30. 根据权利要求26所述的增强现实设备,进一步包括:

第二投射器;

光学耦合到所述投射器的第二投射器光学器件;以及

光学耦合到所述投射器光学器件的第二目镜,其中,所述第二目镜包括第四目镜波导,其特征为第四横向维度和一个或多个第四层,其中,所述一个或多个第四层中的至少一层的特征为随着所述第四横向维度中的一个或多个变化的第四光路长度差。

31. 根据权利要求30所述的增强现实设备,其中,所述第二目镜进一步包括:

第五目镜波导,其特征为第五横向维度和一个或多个第五层,其中,所述一个或多个第五层中的至少一层的特征为随着所述第五横向维度中的一个或多个变化的第五光路长度差;以及

第六目镜波导,其特征为第六横向维度和一个或多个第六层,其中,所述一个或多个第六层中的至少一层的特征为随着所述第六横向维度中的一个或多个变化的第六光路长度差。

32. 根据权利要求23所述的增强现实设备,其中,所述投射器、所述投射器光学器件和所述目镜安装在增强现实耳机中。

33. 根据权利要求26所述的增强现实设备,其中:

所述目镜波导包括组合光瞳扩展器;

所述第二目镜波导包括第二组合光瞳扩展器;以及

所述第三目镜波导包括第三组合光瞳扩展器,其中,所述一个或多个层的特征为跨所述组合光瞳扩展器变化的厚度,所述一个或多个第二层的特征为跨所述第二组合光瞳扩展

器变化的厚度,以及所述一个或多个第三层的特征为跨所述第三组合光瞳扩展器变化的厚度。

34.根据权利要求23所述的增强现实设备,其中,所述一个或多个层的特征为随着所述横向维度中的一个或多个变化的厚度变化。

35.根据权利要求34所述的增强现实设备,其中,所述厚度变化从所述目镜波导的第一区域的第一值变化到所述目镜波导的第二区域的第二值。

36.根据权利要求35所述的增强现实设备,其中,所述第一区域对应于耦合光栅,所述第二区域对应于组合光瞳扩展器,并且所述厚度变化从所述第一值减小到所述第二值。

37.根据权利要求23所述的增强现实设备,其中,所述一个或多个层的特征为随着所述横向维度中的一个或多个变化的折射率变化。

38.根据权利要求23所述的增强现实设备,其中,所述目镜波导包括纳米图案。

39.根据权利要求38所述的增强现实设备,其中,所述纳米图案包括聚合物光栅,所述聚合物光栅的聚合物折射率小于所述目镜的折射率。

40.根据权利要求39所述的增强现实设备,其中,所述一个或多个层的厚度小于50nm、小于30nm或小于10nm。

41.根据权利要求39所述的增强现实设备,其中,所述纳米图案包括在所述一个或多个层或所述目镜中形成的保形沉积结构或定向沉积结构。

42.根据权利要求38所述的增强现实设备,其中,所述纳米图案包括聚合物光栅,所述聚合物光栅的聚合物折射率高于所述目镜的折射率。

43.根据权利要求42所述的增强现实设备,其中,所述一个或多个层的厚度小于100nm,并且包括 ZrO_2 或 TiO_2 中的至少一种。

44.根据权利要求42所述的增强现实设备,其中,所述纳米图案包括在所述一个或多个层或所述目镜中形成的蚀刻结构。

45.根据权利要求38所述的增强现实设备,其中,所述纳米图案包括二元光栅、闪耀锯齿光栅、闪耀多阶光栅、闪耀倾斜光栅、孔或柱。

46.一种增强现实设备,包括:

投射器;

光学耦合到所述投射器的投射器光学器件;以及

基板结构,所述基板结构包括:

具有入射表面和相对出射表面的基板;以及

耦合到所述入射表面的第一可变厚度膜。

47.根据权利要求46所述的增强现实设备,其中,所述基板结构进一步包括:

耦合到所述第一可变厚度膜的第一组合光瞳扩展器;

耦合到所述相对出射表面的第二可变厚度膜;

耦合到所述相对出射表面的耦合光栅;以及

耦合到所述相对出射表面的第二组合光瞳扩展器。

48.根据权利要求47所述的增强现实设备,其中,所述第二可变厚度膜在邻近所述耦合光栅处比在邻近所述第二组合光瞳扩展器处更厚。

49.根据权利要求47所述的增强现实设备,其中,所述基板的厚度变化小于所述第一可

变厚度膜或所述第二可变厚度膜的厚度变化。

50. 根据权利要求47的增强现实设备,进一步包括:

设置在所述基板和所述第一可变厚度膜之间的第一中间膜;以及

设置在所述基板和所述第二可变厚度膜之间的第二中间膜。

51. 根据权利要求50的增强现实设备,其中,

所述第一中间膜的折射率小于所述基板的折射率和所述第一可变厚度膜的折射率;以及

所述第二中间膜的折射率小于所述基板的折射率和所述第二可变厚度膜的折射率。

52. 一种增强现实设备,包括:

投射器;

光学耦合到所述投射器的投射器光学器件;以及

光学耦合到所述投射器光学器件的目镜,其中,所述目镜包括:

第一目镜波导,其特征为横向维度和具有第一厚度梯度的第一可变厚度膜;以及

第二目镜波导,其特征为横向维度和具有与所述第一厚度梯度对齐的第二厚度梯度的第二可变厚度膜。

53. 根据权利要求52所述的增强现实设备,其中,所述目镜进一步包括第三目镜波导,其特征为横向维度和第三可变厚度膜,所述第三可变厚度膜具有与所述第一厚度梯度和所述第三厚度梯度对齐的第三厚度梯度。

54. 根据权利要求53所述的增强现实设备,其中,所述第一目镜波导、所述第二目镜波导和所述第三目镜波导层叠在一起。

55. 根据权利要求52所述的增强现实设备,其中,所述投射器、所述投射器光学器件和所述目镜安装在增强现实耳机中。

56. 根据权利要求52所述的增强现实设备,其中:

所述第一目镜波导包括第一组合光瞳扩展器,其中,所述第一可变厚度膜的厚度从所述第一组合光瞳扩展器的第一部分到所述第一组合光瞳扩展器的第二部分变化;以及

所述第二目镜波导包括第二组合光瞳扩展器,其中,所述第二可变厚度膜的厚度从所述第二组合光瞳扩展器的第一部分到所述第二组合光瞳扩展器的第二部分变化。

57. 根据权利要求52所述的增强现实设备,其中,所述第一厚度梯度与所述第二厚度梯度对齐。

58. 根据权利要求52所述的增强现实设备,其中,所述第一厚度梯度对应于方向,并且所述第二厚度梯度对应于所述方向。

用于增强现实设备的可变光学厚度波导的方法和系统

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2022年3月25日提交的题为“METHOD AND SYSTEM FOR VARIABLE OPTICAL THICKNESS WAVEGUIDES FOR AUGMENTED REALITY DEVICES”的美国专利申请No.17/705,202的优先权,该专利申请是于2021年5月5日提交的题为“BIASED TOTAL THICKNESS VARIATIONS IN WAVEGUIDE DISPLAY SUBSTRATES”的美国专利申请No.17/308,407,现为于2022年11月1日发布的美国专利No.11,487,061,的部分延续,其是于2020年2月14日提交的题为“BIASED TOTAL THICKNESS VARIATIONS IN WAVEGUIDE DISPLAY SUBSTRATES”的美国专利申请No.16/792,083,现为于2021年6月6日发布的美国专利No.11,022,753,的延续,其要求于2019年3月19日提交的美国临时专利申请No.62/820,769和于2019年2月14日提交的美国临时专利申请No.62/805,832的优先权,为所有目的,在此通过引用将这些专利申请的公开以其整体并入本文。

背景技术

[0003] 现代计算和显示技术促进了用于所谓的“虚拟现实”或“增强现实”体验的系统的开发,其中数字再现的图像或其部分以它们看起来真实或可被感知为真实的方式呈现给观看者。虚拟现实或“VR”场景典型涉及数字或虚拟图像信息的呈现,而对其它实际真实世界视觉输入没有透明性;增强现实或“AR”场景通常涉及将数字或虚拟图像信息呈现为对观看者周围的实际世界的可视化的增强。

[0004] 参考图1,描述了增强现实场景10。AR技术的用户看到以人、树、背景中的建筑物和混凝土平台30为特征的真实世界公园状设置20。用户还感知到他/她“看到”“虚拟内容”,例如站在真实世界平台30上的机器人像40,以及正飞过的卡通状化身角色50,其似乎是大黄蜂的拟人化。这些元素50、40是“虚拟的”,因为它们不存在于真实世界中。因为人类视觉感知系统是复杂的,所以产生促进虚拟图像元素与其它虚拟或真实世界的图像元素的舒适、感觉自然、丰富的呈现的AR技术是有挑战性的。

[0005] 尽管这些显示技术取得了进步,但本领域仍然需要改进与增强现实系统,特别是显示系统相关的方法和系统。

发明内容

[0006] 本发明一般涉及与包括可穿戴显示器的投射显示系统相关的方法和系统。更特别地,本发明的实施例提供了用于在增强现实系统中进行光学成像的包括具有可变光学厚度的目镜波导层的方法和系统。本发明适用于计算机视觉和图像显示系统中的各种应用。

[0007] 根据本发明的实施例,提供了一种增强现实设备。一种增强现实设备包括投射器、光学耦合到投射器的投射器光学器件以及光学耦合到投射器光学器件的目镜。目镜包括目镜波导,其特征为横向维度(lateral dimension)和随横向维度中的一个或多个变化的光路长度差。目镜可进一步包括第二目镜波导,其特征为第二横向维度和随第二横向维度中的一个或多个变化的第二光路长度差,以及第三目镜波导,其特征为第三横向维度和随第

三横向维度中的一个或多个变化的第三光路长度差。目镜波导、第二目镜波导和第三目镜波导可形成目镜。目镜可以是包括目镜波导、第二目镜波导和第三目镜波导的层叠结构。增强现实设备还可包括第二投射器、光学耦合到投射器的第二投射器光学器件以及光学耦合到第二投射器光学器件的第二目镜。第二目镜可包括第四目镜波导,其特征为第四横向维度和随第四横向维度中的一个或多个的第四光路长度差。第二目镜可进一步包括第五目镜波导,其特征为第五横向维度和随第五横向维度中的一个或多个变化的第五光路长度差,以及第六目镜波导,其特征为第六横向维度和随第六横向维度中的一个或多个变化的第六光路长度差。该投射器、投射器光学器件和目镜可安装在增强现实耳机中。

[0008] 在实施例中,目镜波导可包括组合光瞳扩展器,第二目镜波导包括第二组合光瞳扩展器,以及第三目镜波导包括第三组合光瞳扩展器。目镜波导的厚度在组合光瞳扩展器上变化,第二目镜波导的厚度在第二组合光瞳扩展器上变化,以及第三目镜波导的厚度在第三组合光瞳扩展器上变化。目镜波导的特征可以为随横向维度中的一个或多个变化的厚度变化。目镜波导的特征可以为随横向维度中的一个或多个变化的折射率变化。目镜可包括三个目镜波导。光路长度差可从三个目镜波导中每个目镜波导的第一区域的第一值变化到三个目镜波导中每个目镜波导的第二区域的第二值。第一区域可对应于耦合光栅,第二区域可对应于组合光瞳扩展器,并且光路长度差可从第一值减小到第二值。三个目镜波导中每个目镜波导的光路长度差可沿共同方向延伸。三个目镜波导中每个目镜波导的光路长度差可以沿三个目镜波导中每个目镜波导的横向维度减小,其中,三个目镜波导中每个目镜波导的横向维度是平行的。

[0009] 根据本发明的另一实施例,提供了一种增强现实设备。一种增强现实设备包括投射器、光学耦合到投射器的投射器光学器件以及光学耦合到投射器光学器件的目镜。目镜包括第一目镜波导,其特征为横向维度和第一光路长度差梯度;以及第二目镜波导,其特征为横向维度和与第一光路长度差梯度对齐的第二光路长度差梯度。目镜可进一步包括第三目镜波导,其特征为横向维度和与第一光路长度差梯度和第三光路长度差梯度对齐的第三光路长度差梯度。第一目镜波导、第二目镜波导和第三目镜波导可层叠在一起。投射器、投射器光学器件和目镜可安装在增强现实耳机中。第一目镜波导可包括第一组合光瞳扩展器,其中,第一目镜波导的厚度从第一组合光瞳扩展器的第一部分到第一组合光瞳扩展器的第二部分变化。第二目镜波导可包括第二组合光瞳扩展器,其中第二目镜波导的厚度从第二组合光瞳扩展器的第一部分到第二组合光瞳扩展器的第二部分变化。第一光路长度差梯度可与第二光路长度差梯度对齐。第一光路长度差梯度可对应于一个方向,并且第二光路长度差梯度对应于该方向。

[0010] 根据本发明的具体实施例,提供了一种增强现实设备。一种增强现实设备包括投射器、光学耦合到投射器的投射器光学器件以及光学耦合到投射器光学器件的目镜。目镜包括目镜波导,其特征为横向维度和一个或多个层。一个或多个层中至少一层的特征为随横向维度中的一个或多个变化的光路长度差。目镜可包括基板和耦合到基板的可变厚度层。基板的折射率可与可变厚度层的折射率基本相等。目镜可进一步包括第二目镜波导,其特征为第二横向维度和一个或多个第二层;以及第三目镜波导,其特征为第三横向维度和一个或多个第三层。一个或多个第二层中至少一层的特征为随横向维度中的一个或多个变化的第二光路长度差,并且一个或多个第三层中至少一层的特征为随横向维度中的一个或

多个变化的第三光路长度差。目镜波导、第二目镜波导和第三目镜波导可形成目镜。目镜可以是包括目镜波导、第二目镜波导和第三目镜波导的层叠结构。一个或多个层、一个或多个第二层和一个或多个第三层的特征为随横向维度中的一个或多个变化的厚度变化,并且一个或多个层、一个或多个第二层和一个或多个第三层的厚度变化可沿着三个目镜波导中每个目镜波导的横向维度减小,其中三个目镜波导中每个目镜波导的横向维度是平行的。增强现实设备可进一步包括第二投射器、光学耦合到投射器的第二投射器光学器件以及光学耦合到投射器光学器件的第二目镜。第二目镜包括第四目镜波导,其特征为第四横向维度和一个或多个第四层,其中一个或多个第四层中的至少一层的特征为随第四横向维度中的一个或多个变化的第四光路长度差。第二目镜可进一步包括第五目镜波导,其特征为第五横向维度和一个或多个第五层,其中一个或多个第五层中的至少一层的特征为随第五横向维度中的一个或多个变化的第五光路长度差;以及第六目镜波导,其特征为第六横向维度和一个或多个第六层,其中一个或多个第六层中的至少一层的特征在随第六横向维度中的一个或多个变化的第六光路长度差。

[0011] 在实施例中,投射器、投射器光学器件和目镜安装在增强现实耳机中。目镜波导可包括组合光瞳扩展器,第二目镜波导可包括第二组合光瞳扩展器,并且第三目镜波导可包括第三组合光瞳扩展器,其中,一个或多个层的特征为跨组合光瞳扩展器变化的厚度,一个或多个第二层的特征为跨第二组合光瞳扩展器变化的厚度,并且一个或多个第三层的特征为跨第三组合光瞳扩展器变化的厚度。一个或多个层的特征可以为随横向维度中的一个或多个变化的厚度变化。厚度变化可从目镜波导的第一区域的第一值变化到目镜波导的第二区域的第二值。第一区域可对应于耦入光栅,第二区域可对应于组合光瞳扩展器,并且厚度变化可从第一值减小到第二值。一个或多个层的特征可以为随横向维度中的一个或多个变化的折射率变化。目镜波导可包括纳米图案。纳米图案可包括聚合物光栅,其具有小于目镜的折射率的聚合物折射率。一个或多个层的厚度可小于50nm、30nm或10nm。纳米图案可包括在一个或多个层或目镜中形成的保形沉积结构或定向沉积结构。纳米图案可包括聚合物光栅,其聚合物折射率高于目镜的折射率。一个或多个层的厚度可小于100nm,并且包括ZrO₂或TiO₂中的至少一种。纳米图案可包括在一个或多个层或目镜中形成的蚀刻结构。纳米图案可包括二元光栅、闪耀锯齿光栅、闪耀多阶光栅、闪耀倾斜光栅、孔或柱。

[0012] 根据本发明的另一具体实施例,一种增强现实设备包括投射器、光学耦合到投射器的投射器光学器件和基板结构,基板结构包括具有入射表面和相对出射表面的基板以及耦合到入射表面的第一可变厚度膜。基板结构可进一步包括耦合到第一可变厚度膜的第一组合光瞳扩展器、耦合到出射表面的第二可变厚度膜、耦合到出射表面的耦入光栅以及耦合到出射表面的第二组合光瞳扩展器。第二可变厚度膜在邻近耦入光栅处的厚度可大于邻近第二组合光瞳扩展器处的厚度。基板厚度的变化可小于第一可变厚度膜或第二可变厚度膜的厚度的变化。增强现实设备可进一步包括设置在基板和第一可变厚度膜之间的第一中间膜,以及设置在基板和第二可变厚度膜之间的第二中间膜。第一中间膜的折射率可小于基板的折射率和第一可变厚度膜的折射率,并且第二中间膜的折射率可小于基板的折射率和第二可变厚度膜的折射率。

[0013] 根据本发明的特定实施例,一种增强现实设备包括投射器、光学耦合到投射器的投射器光学器件以及光学耦合到投射器光学器件的目镜。目镜包括第一目镜波导,其特征

为横向维度和具有第一厚度梯度的第一可变厚度膜;以及第二目镜波导,其特征为横向维度和具有与第一厚度梯度对齐的第二厚度梯度的第二可变厚度膜。目镜可进一步包括第三目镜波导,其特征为横向维度和第三可变厚度膜,第三可变厚度膜具有与第一厚度梯度和第三厚度梯度对齐的第三厚度梯度。第一目镜波导、第二目镜波导和第三目镜波导可层叠在一起。投射器、投射器光学器件和目镜可安装在增强现实耳机中。第一目镜波导可包括第一组合光瞳扩展器,其中第一可变厚度膜的厚度从第一组合光瞳扩展器的第一部分到第一组合光瞳扩展器的第二部分变化,并且第二目镜波导可包括第二组合光瞳扩展器,其中第二可变厚度膜的厚度从第二组合光瞳扩展器的第一部分到第二组合光瞳扩展器的第二部分变化。第一厚度梯度可与第二厚度梯度对齐。第一厚度梯度可对应于方向,并且第二厚度梯度可对应于该方向。

[0014] 与传统技术相比,通过本发明的方式实现了许多益处。例如,本发明的实施例提供了可提高虚拟内容的质量(包括图像清晰度)的方法和系统。结合下文和附图,更详细地描述了本发明的这些和其它实施例以及其许多优点和特征。

附图说明

[0015] 图1示出用户通过增强现实(AR)设备对AR的视图。

[0016] 图2示出用于为用户模拟三维图像的传统显示系统。

[0017] 图3A-3C示出曲率半径与焦点半径之间的关系。

[0018] 图4A示出人类视觉系统的调节-辐辏(accommodation-vergence)响应的表示。

[0019] 图4B示出用户的一双眼睛的不同调节状态和辐辏状态的示例。

[0020] 图4C示出用户经由显示系统观看内容的俯视图的表示的示例。

[0021] 图4D示出用户经由显示系统观看内容的俯视图的表示的另一示例。

[0022] 图5示出通过修改波前发散来模拟三维图像的方法的各方面。

[0023] 图6示出用于向用户输出图像信息的波导堆叠的示例。

[0024] 图7示出由波导输出的出射光束的示例。

[0025] 图8示出堆叠波导组件的示例,其中每个深度平面包括使用多种不同分量(component)颜色形成的图像。

[0026] 图9A示出一组堆叠波导的示例的截面侧视图,其中每个波导包括耦合入光学元件。

[0027] 图9B示出图9A的一个或多个堆叠波导的示例的透视图。

[0028] 图9C示出图9A和9B的一个或多个堆叠波导的示例的俯视平面图。

[0029] 图9D示出可穿戴显示系统的示例。

[0030] 图10是投射器组件的侧视图,该投射器组件包括偏振分束器,其中光源将光注入分束器的一侧,并且投射光学器件从分束器的另一侧接收光。

[0031] 图11A是增强现实显示系统的侧视图,该系统包括光源、空间光调制器、用于照射空间光调制器并投射空间光调制器(SLM)的图像的光学器件,以及用于向用户输出图像信息的波导。该系统包括用于将来自光学器件的光耦合到波导中的耦合入光学元件以及用于将光从波导耦合到眼睛的耦合出光学元件。

[0032] 图11B是图11A中所示的增强现实显示系统的顶视图,其示出了具有耦合入光学元件和耦合出光学元件以及设置在其上的光源的波导。顶视图还示出了正交光瞳扩展器。

[0033] 图11C是图11A的增强现实显示系统的侧视图,具有共享的偏振器/分析器和基于偏振的空间光调制器(例如,硅基液晶SLM)。

[0034] 图11D示出根据本发明的实施例的具有组合OPE/EPE的波导的示例。

[0035] 图12A是增强现实显示系统的侧视图,该系统包括多色光源(例如,时间复用RGB LED或激光二极管)、空间光调制器、用于照射空间光调制器并将空间光调制器的图像投射到眼睛的光学器件,以及波导堆叠,不同的波导包括不同的颜色选择性耦合光学元件以及耦合光学元件。

[0036] 图12B是图12A的增强现实显示系统的侧视图,其进一步包括基于MEMS(微机电)的SLM,诸如可移动反射镜阵列(例如,数字光处理(DLP™)技术)和光转储器(dump)。

[0037] 图12C是图12B的增强现实显示系统的一部分的顶视图,其示意性地示出耦合光学元件之一和光转储器以及光源的横向布置。

[0038] 图13A是包括波导堆叠的增强现实显示系统的透视图,不同的波导包括不同的耦合光学元件,其中耦合光学元件相对于彼此横向移位。也相对于彼此横向移位的一个或多个光源被设置成通过使光穿过光学器件、使光反射离开空间光调制器并使反射光再次穿过光学器件,来将光引导到相应的耦合光学元件。

[0039] 图13B是图13A中所示示例的侧视图,其示出横向移位的耦合光学元件和光源以及光学器件和空间光调制器。

[0040] 图13C是图13A和13B中所示的增强现实显示系统的顶视图,其示出一个或多个横向移位的耦合光学元件和相关的一个或多个横向移位的光源。

[0041] 图14A是包括波导堆叠的增强现实显示系统的侧视图,不同的波导包括不同的耦合光学元件,其中耦合光学元件相对于彼此横向移位(在该示例中,横向移位发生在z方向中)。

[0042] 图14B是图14A中所示的显示系统的顶视图,其示出横向移位的耦合光学元件和光源。

[0043] 图14C是图14A和14B中所示的显示系统的正交侧视图。

[0044] 图15是包括一组堆叠波导的增强现实显示系统的顶视图,不同的波导包括不同的耦合光学元件。光源和耦合光学元件以与图14A-14C中所示的配置不同的配置布置。

[0045] 图16A是增强现实显示系统的侧视图,该系统包括相对于彼此横向移位的耦合光学元件组,每组包括一个或多个颜色选择性光耦合光学元件。

[0046] 图16B是图16A中的显示系统的顶视图。

[0047] 图17是包括波导的增强现实显示系统的侧视图,该波导被反射表面分割,该反射表面可以将波导靠近光源的部分中引导的光耦合出波导的该部分并朝向空间光调制器进入光学器件中。在该示例中,光学器件和光源被示出为设置在波导的同一侧。

[0048] 图18是包括波导的增强现实显示系统的侧视图,该波导用于接收来自光源的光并将在波导中引导的光引导到光学器件中并朝向空间光调制器。显示系统另外包括接收来自空间光调制器的再次穿过光学器件的光的波导。波导包括反射表面以将光耦合出。波导还包括反射表面以将光耦合入其中。在该示例中,光学器件和光源被示出为设置在波导的同一侧。

[0049] 图19是包括自适应光学元件或可变焦光学元件的增强现实显示系统的侧视图。波导堆叠和眼睛之间的第一可变光学元件可以改变从波导耦合并向眼睛引导的光的发散度

和准直度,以改变对象看起来所位于的深度。波导堆叠相对侧的第二可变光学元件可以补偿第一光学元件对从增强现实显示系统和用户前方的环境接收的光的影响。增强现实显示系统进一步包括处方镜片,以提供眼科矫正,诸如为患有近视、远视、散光等的用户提供屈光矫正。

[0050] 图20A是包括滤色器阵列的增强现实显示系统的侧视图。一个或多个横向移位的耦合入光学元件位于不同的波导上,并且横向移位的滤色器与相应的耦合入光学元件对齐。

[0051] 图20B示出图20A的增强现实显示系统,其中分析器位于光学器件和空间光调制器之间。

[0052] 图20C示出与图20A和20B中所示的增强现实显示系统类似的增强现实显示系统,但是使用基于偏转的空间光调制器,诸如基于可移动显微镜的空间光调制器。

[0053] 图20D是诸如图20C中所示的增强现实显示系统的一部分的顶视图,其示意性地示出滤色器阵列上方的横向移位光源和对应的横向移位耦合入光学元件。

[0054] 图20E示出基于偏转的空间光调制器如何将光导引离开对应的耦合入光学元件并导引到图20D的增强现实显示系统的滤波器阵列中的滤波器周围的掩模上。

[0055] 图20F是增强现实显示系统的侧视图,该系统包括设置在波导堆叠的用户侧的盖玻璃和设置在盖玻璃的世界侧的光源。

[0056] 图20G是增强现实显示系统的侧视图,该系统包括设置在波导堆叠的世界侧上的盖玻璃和设置在盖玻璃的世界侧上的光源。

[0057] 图21是增强现实显示系统的侧视图,该系统包括配备有光回收器的光源,该光回收器被配置为回收光,诸如一种偏振的光。

[0058] 图22是一个或多个光源的侧视图,该一个或多个光源通过对应的光收集光学器件和一个或多个孔传播光。该光还可以通过位于一个或多个孔附近的扩散器传播。

[0059] 图23A是增强现实显示系统的一部分的侧视图,该系统包括光源、具有光焦度的光学器件、用于接收图像信息并将图像信息输出到用户眼睛的波导,其中,该系统进一步包括一个或多个延迟器和偏振器,该延迟器和偏振器被配置为减少可能作为鬼影图像输入到波导的来自光学表面的反射。

[0060] 图23B是诸如图23A中所示的增强现实显示系统的一部分的侧视图,其中附加的延迟器和偏振器被配置为减少可能产生鬼影图像的反射。

[0061] 图23C是诸如图23A和23B中所示的增强现实显示系统的侧视图,其中减少的延迟器和偏振器被配置为减少可能产生鬼影图像的反射。

[0062] 图24是增强现实显示系统的侧视图,该系统利用倾斜表面(诸如盖玻璃上的倾斜表面)将反射导引开,以免进入用户的眼睛,从而潜在地减少鬼影反射。

[0063] 图25是图24的系统的实施例,其中盖玻璃上的倾斜表面被配置为将反射朝向吸收光的光转储器导引。

[0064] 图26A描绘了具有波导区的样品波导显示基板。

[0065] 图26B是示出根据本发明的实施例的波导显示基板厚度随位置变化的图。

[0066] 图26C是示出根据本发明的实施例的波导显示基板厚度随位置变化的图。

[0067] 图26D描绘了根据本发明的实施例的具有直线布置波导的波导显示基板。

[0068] 图26E是示出根据本发明的实施例的具有直线布局的波导显示基板的厚度变化的

简化示意图。

[0069] 图26F是示出根据本发明的实施例的具有线性布置波导的矩形波导显示基板的简化示意图。

[0070] 图26G是示出根据本发明的实施例的具有局部化TTV的波导显示基板的简化示意图。

[0071] 图27A描绘了抛光的平坦波导显示基板。

[0072] 图27B和27C分别描绘了抛光的凸波导显示基板和抛光的凹波导显示基板。

[0073] 图27D描绘了具有一个凸面和一个凹面的抛光的半月形波导显示基板。

[0074] 图27E描绘了抛光的双凸面波导显示基板。

[0075] 图27F描绘了抛光的双凹面波导显示基板。

[0076] 图28A和28B描绘了波导显示基板的总厚度变化 (TTV) 比较。

[0077] 图28C描绘了根据本发明的实施例的一组目镜波导的TTV。

[0078] 图28D是示出根据本发明的实施例的增强现实系统的简化示意图。

[0079] 图29描绘了具有凸面的抛光波导显示基板的TTV。

[0080] 图30示出具有线性 (楔形) 和非线性 (圆顶) 分量的偏置TTV的波导显示基板的截面。

[0081] 图31A-31C示出超低TTV波导显示基板的波导显示基板产能 (yield) 与TTV、圆顶高度和楔形高度的关系。

[0082] 图31D-31F示出偏置TTV波导显示基板的波导显示基板产能与TTV、圆顶高度和楔形高度的关系。

[0083] 图32A示出用于典型衍射波导显示器的6英寸晶片上的球形波导显示基板形状的波导眼盒效率与“圆顶”TTV (nm) 的关系, 该典型衍射波导显示器具有300 μm 的平均厚度, 和0nm的“楔形”TTV。

[0084] 图32B示出用于典型衍射波导显示器的6英寸晶片上的球形波导显示基板形状的波导眼盒效率与“圆顶”TTV (以 μm 为单位) 的关系, 该典型衍射波导显示器具有300 μm 的平均厚度。

[0085] 图32C示出用于另一衍射波导显示器的6英寸晶片上的球形波导显示基板形状的波导眼盒效率与“圆顶”TTV (以 μm 为单位) 的关系, 该另一衍射波导显示器具有300 μm 的平均厚度。

[0086] 图33是示出根据本发明的实施例的在形成反向圆顶厚度变化中所用的过程流程的简化示意图。

[0087] 图34是示出根据本发明的实施例的在形成反向圆顶厚度变化中所用的过程流程的简化示意图。

[0088] 图35A-35B是示出根据本发明的各种实施例的喷淋头设计的简化截面图。

[0089] 图35C是示出根据本发明的实施例的蚀刻掩模的简化示意图。

[0090] 图36A是根据本发明的实施例的示出厚度变化的基板的简化平面图。

[0091] 图36B是示出根据本发明的实施例的单面厚度变化的简化截面图。

[0092] 图36C是示出根据本发明的实施例的双面厚度变化的简化截面图。

[0093] 图36D是示出根据本发明的实施例的不同高度纳米特征的简化示意图。

- [0094] 图36E是示出根据本发明的实施例的单一高度纳米特征的简化示意图。
- [0095] 图36F是根据本发明另一实施例的示出厚度变化的基板的简化平面图。
- [0096] 图36G是示出根据本发明的实施例的单面厚度变化的简化截面图。
- [0097] 图36H是示出根据本发明的实施例的双面厚度变化的简化截面图。
- [0098] 图37A是根据本发明的实施例的示出厚度变化的基板的简化平面图。
- [0099] 图37B是示出根据本发明的实施例的单面厚度变化的简化示意图。
- [0100] 图37C是示出根据本发明的实施例的双面厚度变化的简化示意图。
- [0101] 图37D是根据本发明另一实施例的示出厚度变化的基板的简化平面图。
- [0102] 图37E是示出根据本发明的实施例的单面厚度变化的简化示意图。
- [0103] 图37F是示出根据本发明的实施例的双面厚度变化的简化示意图。
- [0104] 图38A是示出根据本发明的实施例的具有单面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。
- [0105] 图38B是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。
- [0106] 图38C是示出根据本发明的另一实施例的具有双面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。
- [0107] 图38D是示出根据本发明的又一实施例的具有双面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。
- [0108] 图38E是示出根据本发明的替代实施例的具有双面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。
- [0109] 图38F是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化和覆层的目镜波导的简化截面图。
- [0110] 图39A是示出根据本发明的实施例的具有单面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。
- [0111] 图39B是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。
- [0112] 图39C是示出根据本发明另一实施例的具有双面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。
- [0113] 图39D是示出根据本发明的又一实施例的具有双面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。
- [0114] 图39E是示出根据本发明的替代实施例的具有双面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。
- [0115] 图39F是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化和覆层的目镜波导的简化截面图。
- [0116] 图40A是示出根据本发明的实施例的具有单面总厚度变化和低折射率膜的目镜波导的简化截面图。
- [0117] 图40B是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化和低折射率膜的目镜波导的简化截面图。
- [0118] 图40C是示出根据本发明的另一实施例的具有双面总厚度变化和低折射率膜的目

镜波导的简化截面图。

[0119] 图40D是示出根据本发明的又一实施例的具有双面总厚度变化和低折射率膜的目镜波导的简化截面图。

[0120] 图40E是示出根据本发明的替代实施例的具有双面总厚度变化和低折射率膜的目镜波导的简化截面图。

[0121] 图40F是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化和低折射率膜以及覆层的目镜波导的简化截面图。

[0122] 图41A是示出根据本发明的实施例的具有单面总厚度变化和低折射率膜的目镜波导的简化截面图。

[0123] 图41B是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化和低折射率膜的目镜波导的简化截面图。

[0124] 图41C是示出根据本发明的另一实施例的具有双面总厚度变化和低折射率膜的目镜波导的简化截面图。

[0125] 图41D是示出根据本发明的又一实施例的具有双面总厚度变化和低折射率膜的目镜波导的简化截面图。

[0126] 图41E是示出根据本发明的替代实施例的具有双面总厚度变化和低折射率膜的目镜波导的简化截面图。

[0127] 图41F是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化和低分辨率膜以及覆层的目镜波导的简化截面图。

[0128] 图42A是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。

[0129] 图42B是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化和第一级平坦化的目镜波导的简化截面图。

[0130] 图42C是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化和第二级平坦化的目镜波导的简化截面图。

[0131] 图43A是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化和覆层的目镜波导的简化截面图。

[0132] 图43B是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化、覆层和第一级平坦化的目镜波导的简化截面图。

[0133] 图43C是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化、覆层和第二级平坦化的目镜波导的简化截面图。

具体实施方式

[0134] 现在将参考附图,其中相同的附图标记始终表示相同的部件。除非另有说明,否则附图是示意性的,不一定按比例绘制。

[0135] 图2示出用于为用户模拟三维图像的传统显示系统。将理解到,用户的眼睛是隔开的,并且当观看空间中的真实对象时,每只眼睛将具有对象的略微不同的视图,并且可以在每个眼睛的视网膜上的不同位置处形成对象的图像。这可以被称为双目视差,并且可以由人类视觉系统利用以提供深度感知。传统的显示系统通过呈现具有相同虚拟对象的略微不

同视图(每只眼睛210a、210b一个)的两个不同图像190、200来模拟双目视差,该不同的视图对应于每只眼睛将看到的虚拟对象的视图,该虚拟对象是位于期望的深度处的真实对象的虚拟对象。这些图像提供双目提示,其中,用户的视觉系统可以解释该双目提示以得到深度感知。

[0136] 继续参考图2,图像190、200与眼睛210a、210b在z轴上隔开距离230。在他们的眼睛注视在直接位于观看者前方的光学无限远处的对象上的情况下,z轴平行于观看者的光轴。图像190、200是平坦的并且在距眼睛210a、210b的固定距离处。基于分别呈现给眼睛210a、210b的图像中的虚拟对象的略微不同的视图,眼睛可以自然地旋转,使得对象的图像落在每只眼睛的视网膜上的相应点上,以维持单一双目视觉。该旋转可以使得每只眼睛210a、210b的视线会聚到虚拟对象被感知为存在的空间中的点上。结果,提供三维图像通常涉及提供双目提示,该双目提示可以操纵用户眼睛210a、210b的辐辏,并且人类视觉系统解释该双目提示以提供深度感知。

[0137] 然而,产生真实且舒适的深度感知具有挑战性。将理解到,来自距眼睛不同距离处的对象的光具有不同发散量的波前。图3A-3C示出距离与光线的发散之间的关系。对象与眼睛210之间的距离以减小的距离的次序由R1、R2和R3表示。如在图3A-3C中所示,随着到对象的距离减小,光线变得更发散。相对的,随着距离增加,光线变得更准直。换句话说,可以说由点(对象或者对象的一部分)产生的光场具有球面波前曲率,该球面波前曲率是该点距用户的眼睛的距离的函数。曲率随着对象与眼睛210之间的距离的减小而增加。虽然在图3A-3C和本文中的其他附图中为了说明清晰起见,仅示出单只眼睛210,关于眼睛210的讨论可以适用于两只眼睛210a和210b。

[0138] 继续参考图3A-3C,来自观看者的眼睛注视到的对象的光可以具有不同程度的波前发散。由于波前发散的量不同,光可以通过眼睛的晶状体而被不同地聚焦,这进而可能需要晶状体呈现不同的形状以在眼睛的视网膜上形成聚焦的图像。在视网膜上没有形成聚焦的图像的情况下,所产生的视网膜模糊充当调节提示,该调节提示引起眼睛的晶状体形状的改变,直到在视网膜上形成聚焦的图像。例如,调节提示可以触发眼睛晶状体周围的睫状肌松弛或收缩,从而调节施加到保持晶状体的悬韧带的力,由此使眼睛晶状体的形状改变直到注视的对象的视网膜模糊消除或最小化,从而在眼睛的视网膜(例如,中央凹)上形成注视对象的聚焦的图像。眼睛的晶状体改变形状的过程可以称为调节,而在眼睛的视网膜(例如,中央凹)上形成注视对象的聚焦的图像所需的眼睛的晶状体的形状可以称为调节状态。

[0139] 现在参考图4A,示出了人类视觉系统的调节-辐辏响应的表示。眼睛运动以注视对象使得眼睛接收来自对象的光,其中光在眼睛的每个视网膜上形成图像。在视网膜上形成的图像中视网膜模糊的存在可以提供调节提示,并且图像在视网膜上的相对位置可以提供辐辏提示。调节提示引起调节发生,导致眼睛的晶状体各自呈现特定的调节状态,该特定的调节状态在眼睛的视网膜(例如,中央凹)上形成对象的聚焦图像。另一方面,辐辏提示引起辐辏运动(眼睛的旋转)发生,使得在每只眼睛的每个视网膜上形成的图像处于维持单一双目视觉的相应视网膜点处。在这些位置,可以说眼睛已处于特定的辐辏状态。继续参考图4A,调节可以被理解为眼睛实现特定调节状态的过程,以及辐辏可以被理解为眼睛实现特定辐辏状态的过程。如图4A中所示,如果用户注视另一对象,则眼睛的调节和辐辏状态可以

改变。例如,如果用户注视在z轴上的不同深度处的新对象,则调节状态可以改变。

[0140] 不受理论的限制,据信对象的观看者可以由于辐辏和调节的组合而将对象感知为“三维的”。如上所述,两只眼睛相对于彼此的辐辏运动(例如,眼睛的转动使得瞳孔向着彼此或远离彼此运动以会聚眼睛的视线来注视对象)与眼睛的晶状体的调节紧密相关。在正常情况下,改变眼睛的晶状体的形状以将聚焦从一个对象改变到位于不同距离处的另一对象,将会在被称作“调节-辐辏反射”的关系下自动引起到相同距离的辐辏的匹配变化。同样,在正常情况下,辐辏的变化将引发晶状体形状的匹配变化。

[0141] 现在参考图4B,示出了眼睛的不同调节和辐辏状态的示例。眼睛对222a注视在光学无穷远处的对象上,而眼睛对222b注视在小于光学无限远处的对象221上。值得注意的是,每对眼睛的辐辏状态不同,其中眼睛对222a指向正前方,而眼睛对222会聚在对象221上。形成每个眼睛对222a和222b的眼睛的调节状态是也不同,如晶状体220a、220b的不同形状所表示的。

[0142] 不希望的是,传统“3-D”显示系统的许多用户发现由于这些显示器中的调节和辐辏状态之间的不匹配导致这些传统系统不舒服或者根本不会感知到深度感。如上所述,许多立体或“3-D”显示系统通过向每只眼睛提供略微不同的图像来显示场景。这样的系统对于许多观看者来说不舒服,因为它们除了其他事项之外仅提供场景的不同呈现并且引起眼睛的辐辏状态的改变,但是没有那些眼睛的相应的调节状态的改变。而是,图像由距眼睛固定距离处的显示器示出,使得眼睛在单个调节状态下观看所有图像信息。这种布置通过引起辐辏状态的变化而没有调节状态的匹配变化而违背“调节-辐辏反射”。这种不匹配被认为会引起观看者的不适。提供调节和辐辏之间的更好匹配的显示系统可以形成更真实和舒适的三维图像模拟。

[0143] 不受理论限制,据信人眼通常可解释有限数量的深度平面以提供深度感知。因此,通过向眼睛提供与这些有限数量的深度平面中的每一个相对应的图像的不同呈现,可以实现高度可信的感知深度的模拟。在一些实施例中,不同的呈现可提供辐辏提示和匹配的调节提示,从而提供生理上正确的调节-辐辏匹配。

[0144] 继续参考图4B,示出了两个深度平面240,其对应于在空间中距眼睛210a、210b的不同距离。对于给定的深度平面240,可以通过为每只眼睛210a、210b显示适当不同视角的图像来提供辐辏提示。此外,对于给定的深度平面240,形成提供给每只眼睛210a、210b的图像的光可以具有与由该深度平面240的距离处的点产生的光场对应的波前发散。

[0145] 在所示实施例中,包含点221的深度平面240沿z轴的距离是1m。如本文所使用的,可以通过位于用户眼睛的出射光瞳处的零点来测量沿z轴的距离或深度。因此,位于1m深度处的深度平面240与在眼睛指向光学无限远那些眼睛的光轴上距用户眼睛的出射光瞳1m的距离对应。作为近似,沿着z轴的距离或深度可以从用户眼睛前方的显示器(例如,从波导的表面)测量,加上装置和用户眼睛的出射光瞳之间的距离的值。该值可以被称作适眼距(eye relief)并且对应于用户眼睛的出射光瞳与用户在眼睛前方佩戴的显示器之间的距离。在实践中,适眼距的值可以是通常用于所有观看者的标准化值。例如,可以假设适眼距是20mm,以及深度为1m的深度平面可以在显示器前方980mm的距离处。

[0146] 现在参考图4C和4D,分别示出了匹配的调节-辐辏距离和不匹配的调节-辐辏距离的示例。如图4C所示,显示系统可以向每只眼睛210a、210b提供虚拟对象的图像。图像可以

使眼睛210a、210b呈现眼睛会聚在深度平面240上的点15上的辐辏状态。此外,图像可以由具有与该深度平面240处的真实对象相对应的波前曲率的光形成。结果,眼睛210a、210b呈现图像在那些眼睛的视网膜上合焦的调节状态。因此,用户可以感知到虚拟对象在深度平面240上的点15处。

[0147] 将理解到,眼睛210a、210b的调节和辐辏状态中的每一者与z轴上的特定距离相关联。例如,距眼睛210a、210b特定距离处的对象使得那些眼睛基于对象的距离呈现特定的调节状态。与特定调节状态相关联的距离可以被称为调节距离 A_d 。类似地,存在与在特定辐辏状态下的眼睛或相对于彼此的位置相关联的特定的辐辏距离 V_d 。在调节距离和辐辏距离匹配的情况下,可以说调节和辐辏之间的关系在生理学上是正确的。这被认为是对观看者最舒适的场景。

[0148] 然而,在立体显示器中,调节距离和辐辏距离可能不总是匹配。例如,如图4D所示,显示给眼睛210a、210b的图像可以以对应于深度平面240的波前发散而被显示,并且眼睛210a、210b可以呈现特定的调节状态,在该特定调节状态下,在该深度平面上的点15a、15b合焦。然而,显示给眼睛210a、210b的图像可能提供使眼睛210a、210b会聚在不位于深度平面240上的点15的辐辏提示。结果,在一些实施例,调节距离对应于从眼睛210a、210b的出射光瞳到深度平面240的距离,而辐辏距离对应于从眼睛210a、210b的出射光瞳到点15的更大距离。调节距离与辐辏距离不同。因此,存在调节-辐辏不匹配。这种不匹配被认为是不期望的并且可能引起用户的不适。将理解到,该不匹配对应于距离(例如, $V_a A_d$)并且可以使用屈光度来表征。

[0149] 在一些实施例,将理解到,除了眼睛210a、210b的出射光瞳之外的参考点可以用来确定用于确定调节-辐辏不匹配的距离,只要相同的参考点用于调节距离和辐辏距离即可。例如,可以测量从角膜到深度平面、从视网膜到深度平面、从目镜(例如,显示装置的波导)到深度平面等的距离。

[0150] 不受理论的限制,据信用户仍然可以将高达约0.25屈光度、高达约0.33屈光度和高达约0.5屈光度的调节-辐辏不匹配感知为在生理上是正确的,而没有不匹配本身引起的显著的不适。在一些实施例,本文公开的显示系统(例如,图6的显示系统250)向观看者呈现具有约0.5屈光度或更小的调节-辐辏不匹配的图像。在一些其他实施例,由显示系统提供的图像的调节-辐辏不匹配为约0.33屈光度或更小。在又一些其他实施例,由显示系统提供的图像的调节-辐辏不匹配为约0.25屈光度或更小,包括约0.1屈光度或更小。

[0151] 图5示出通过修改波前发散来模拟三维图像的方法的各方面。该显示系统包括波导270,该波导270被配置为接收利用图像信息编码的光770并将该光输出到用户的眼睛210。波导270可以输出光650,该光650具有与由期望深度平面240上的点产生的光场的波前发散相对应的限定量的波前发散。在一些实施例,为在该深度平面上呈现的所有对象提供相同量的波前发散。另外,将说明可以向用户的另一只眼睛提供来自类似波导的图像信息。

[0152] 在一些实施例,单个波导可以被配置为输出具有与单个或有限数量的深度平面对应的设定量的波前发散的光和/或波导可以被配置为输出有限波长范围的光。因此,在一些实施例,可以利用波导堆叠来针对不同的深度平面提供不同量的波前发散和/或输出具有不同波长范围的光。如本文所使用的,将理解到,在深度平面处可以遵循平坦或弯曲表

面的轮廓。在一些实施例中,有利地为了简单起见,深度平面可以遵循平坦表面的轮廓。

[0153] 图6示出用于向用户输出图像信息的波导堆叠的示例。显示系统250包括波导的堆叠或者堆叠波导组件260,该波导的堆叠或者堆叠波导组件260可以用于使用波导270、280、290、300、310向眼睛/大脑提供三维感知。将理解到,在一些实施例中,显示系统250可以被认为是光场显示器。另外,波导组件260还可以被称为目镜。

[0154] 在一些实施例中,显示系统250可以被配置为提供基本上连续的辐辏提示以及多个离散的调节提示。可以通过向用户的每只眼睛显示不同的图像来提供辐辏提示,并且可以通过以可选择的离散量的波前发散输出形成图像的光来提供调节提示。换句话说,显示系统250可以被配置为输出具有可变水平的波前发散的光。在一些实施例中,波前发散的每个离散水平对应于特定深度平面并且可以由波导270、280、290、300、310中的特定一个波导来提供。

[0155] 继续参考图6,波导组件260还可以包括波导之间的特征320、330、340、350。在一些实施例中,特征320、330、340、350可以是一个或多个透镜。波导270、280、290、300、310和/或特征(例如,透镜)320、330、340、350可以被配置为以各种水平的波前曲率或者光线发散向眼睛发送图像信息。每个波导水平可以与特定深度平面相关联并且可以被配置为输出对应于该深度平面的图像信息。图像注入装置360、370、380、390、400可以用作用于波导的光源并且可以用于将图像信息注入波导270、280、290、300、310中,如本文所描述的,每一个波导可以被配置为跨每个相应波导分布入射光,用于朝向眼睛210输出。光离开图像注入装置360、370、380、390、400的输出表面410、420、430、440、450并且注入波导270、280、290、300、310的对应输入表面460、470、480、490、500中。在一些实施例中,输入表面460、470、480、490、500中的每一个可以是对应波导的边缘,或者可以是对应波导的主表面(即,波导表面的直接面对世界510或者观看者的眼睛210的一个表面)的一部分。在一些实施例中,单个光束(例如,准直束)可以被注入每个波导中,以输出克隆的准直束的整个场,该克隆的准直束以对应于与特定波导相关联的深度平面的特定角(和发散量)朝向眼睛210导引。在一些实施例中,图像注入装置360、370、380、390、400中的单独一个可以与一个或多个(例如,三个)波导270、280、290、300、310相关联并且将光注入一个或多个(例如,三个)波导270、280、290、300、310中。

[0156] 在一些实施例中,图像注入装置360、370、380、390、400是分立显示器,该分立显示器各自产生用于分别注入对应波导270、280、290、300、310中的图像信息。在一些其他实施例中,图像注入装置360、370、380、390、400是单个复用显示器的输出端,该单个复用显示器的输出端可以例如经由一个或多个光学导管(诸如光纤光缆)将图像信息输送到图像注入装置360、370、380、390、400中的每一个。将理解到,由图像注入装置360、370、380、390、400提供的图像信息可以包括不同的波长或者颜色(例如,如本文所讨论的,不同的分量颜色)的光。

[0157] 在一些实施例中,注入波导270、280、290、300、310中的光由光投射器系统520提供,该光投射器系统520包括光模块530,该光模块530可以包括光发射器,诸如发光二极管(LED)。来自光模块530的光可以经由分束器550导引到光调制器540(例如,空间光调制器)并由光调制器540修改。光调制器540可以被配置为改变注入波导270、280、290、300、310中的光的感知强度,以利用图像信息对光进行编码。空间光调制器的示例包括液晶显示器

(LCD),其包括硅基液晶(LCOS)显示器。将理解到,图像注入装置360、370、380、390、400被示意性地示出,并且在一些实施例中,这些图像注入装置可以表示在共用投射系统中的不同光路径和位置,该共用投射系统被配置为将光输出到波导270、280、290、300、310中的相关联的波导中。在一些实施例中,波导组件260的波导可以用作理想透镜,同时将注入波导的光中继出来到用户的眼睛。在该构思中,对象可以是空间光调制器540,以及图像可以是深度平面上的图像。

[0158] 在一些实施例中,显示系统250可以是扫描光纤显示器,其包括被配置为以各种图案(例如,光栅扫描、螺旋扫描、李沙育(Lissajous)图案等)将光投射到一个或多个波导270、280、290、300、310中并且最终到观看者的眼睛310的一个或多个扫描光纤。在一些实施例中,所图示的图像注入装置360、370、380、390、400可以示意性地表示被配置为将光注入波导270、280、290、300、310中的一个或多个波导的单个扫描光纤或一束扫描光纤。在一些其他实施例中,所图示的图像注入装置360、370、380、390、400可以示意性地表示一个或多个扫描光纤或一束或多束扫描光纤,其中的每一个被配置为将光注入波导270、280、290、300、310中的相关联的波导中。将理解到,一个或多个光纤可以被配置为将光从光模块530传输到一个或多个波导270、280、290、300、310。将理解到,一个或多个中间光学结构可以在扫描光纤或光纤与一个或多个波导270、280、290、300、310之间提供,以例如将离开扫描光纤的光重定向到一个或多个波导270、280、290、300、310中。

[0159] 控制器560控制堆叠波导组件260中的一个或多个的操作,包括图像注入装置360、370、380、390、400、光源530和光调制器540的操作。在一些实施例中,控制器560是本地数据处理模块140的一部分。控制器560包括编程(例如,非暂态介质中的指令),其根据例如本文所公开的各种方案中的任一个调控到波导270、280、290、300、310的图像信息的时序和提供。在一些实施例中,控制器可以是单个积分装置,或者由有线或无线通信信道连接的分布式系统。在一些实施例中,控制器560可以是处理模块140或150(图9D)的一部分。

[0160] 继续参考图6,波导270、280、290、300、310可以被配置为使光通过全内反射(TIR)在每个相应波导内传播。波导270、280、290、300、310可以各自是平面的或者具有另外的形状(例如,弯曲的),其具有主顶面和主底面以及在那些主顶面与主底面之间延伸的边缘。在所图示的配置中,波导270、280、290、300、310可以各自包括耦出光学元件570、580、590、600、610,该耦出光学元件570、580、590、600、610被配置为通过将在每个相应波导内传播的光重定向出波导来将光提取出波导,以向眼睛210输出图像信息。尽管在整个说明书中被称为“耦出光学元件”,但是耦出光学元件不一定是光学元件并且可以是非光学元件。提取的光还可以称为耦出光,并且耦出光学元件光还可以称为光提取光学元件。所提取的光束可以由波导在波导中传播的光撞击光提取光学元件的位置处输出。耦出光学元件570、580、590、600、610可以例如是包括衍射光学特征的光栅,如本文进一步讨论的。虽然被图示为设置在波导270、280、290、300、310的底主表面处以便于描述和附图清晰,但是在一些实施例中,耦出光学元件570、580、590、600、610可以设置在顶和/或底主表面处,和/或可以直接设置在波导270、280、290、300、310的体积中,如本文进一步讨论的。在一些实施例中,耦出光学元件570、580、590、600、610可以在附接到透明基板以形成波导270、280、290、300、310的材料层中形成。在一些其他实施例中,波导270、280、290、300、310可以是单片材料,并且耦出光学元件570、580、590、600、610可以在该片材料的表面上和/或内部形成。

[0161] 继续参考图6,如本文所讨论的,每个波导270、280、290、300、310被配置为输出光以形成对应于特定深度平面的图像。例如,最靠近眼睛的波导270可以被配置为将准直光(其被注入这样的波导270中)递送给眼睛210。准直光可以表示光学无限远焦平面。下一上方波导280可以被配置为发送出准直光,该准直光在其可以到达眼睛210之前穿过第一透镜350(例如,负透镜);这样的第一透镜350可以被配置为产生轻微的凸波前曲率,使得眼睛/大脑将来自该下一上方波导280的光解释为来自从光学无限远朝向眼睛210向内更接近的第一焦平面。类似地,第三上方波导290使其输出光在到达眼睛210之前穿过第一透镜350和第二透镜340;第一透镜350和第二透镜340的组合光焦度可以被配置为产生波前曲率的另一增量,使得眼睛/大脑将来自第三波导290的光解释为来自第二焦平面,该第二焦平面比来自下一上方波导280的光从光学无限远朝向人向内更加接近。

[0162] 其他波导层300、310和透镜330、320类似地配置,其中,该堆叠中的最高波导310发送其输出通过其与眼睛之间的所有透镜,用于表示距人最近的焦平面的总光焦度。为了补偿当观看/解释来自堆叠波导组件260的另一侧的世界510的光时透镜320、330、340、350的堆叠,补偿透镜层620可以设置在堆叠的顶部以补偿下面透镜堆叠320、330、340、350的总光焦度。这样的配置提供与存在可用的波导/透镜配对一样多的焦平面。波导的耦出光学元件和透镜的聚焦方面二者可以是静态的(即,非动态或电话性的)。在一些可替代实施例中,它们中的一者或二者可以使用电话性特征是动态的。

[0163] 在一些实施例中,波导270、280、290、300、310中的两个或两个以上可以具有相同的相关联深度平面。例如,多个波导270、280、290、300、310可以被配置为将图像集输出给相同的深度平面,或者波导270、280、290、300、310的多个子集可以被配置为将图像集输出给相同的一个或多个深度平面,其中,针对每个深度平面具有一个图像集。这可以提供用于形成拼接图像以在那些深度平面处提供扩展视场的优点。

[0164] 继续参考图6,耦出光学元件570、580、590、600、610可以被配置为将光重定向到其相应波导之外,并且以针对与波导相关联的特定深度平面的适当的发散或准直量输出该光。因此,具有不同的相关联的深度平面的波导可以具有耦出光学元件570、580、590、600、610的不同配置,其取决于相关联的深度平面输出具有不同的发散量的光。在一些实施例中,光提取光学元件570、580、590、600、610可以是体积或者表面特征,其可以被配置为以特定角输出光。例如,光提取光学元件570、580、590、600、610可以是体积全息图、表面全息图和/或衍射光栅。在一些实施例中,特征320、330、340、350可以不是透镜;相反,它们可以简单地是间隔器(例如,包层和/或用于形成空隙的结构)。

[0165] 在一些实施例中,耦出光学元件570、580、590、600、610是形成衍射图案的衍射特征,或者“衍射光学元件”(在本文中还被称为“DOE”)。优选地,DOE具有足够低的衍射效率,使得光束的仅一部分通过DOE的每个交点朝向眼睛210偏转离开,而剩余部分继续经由TIR通过波导移动。携带图像信息的光因此被分成在许多位置处离开波导的许多相关出射束,并且结果是针对在波导内到处反弹的该特定准直束的朝向眼睛210的出射发射的相当均匀的模式。

[0166] 在一些实施例中,一个或多个DOE可以在其主动地衍射的“开启”状态与其不显著地衍射的“关闭”状态之间切换。例如,可切换DOE可以包括聚合物分散液晶层,其中,微滴包括主介质中的衍射图案,并且微滴的折射率可以被切换为基本上匹配主材料的折射率(在

该情况下,图案未明显地衍射入射光)或者微滴可以被切换到不匹配主介质的折射率的折射率(在该情况下,图案主动地衍射入射光)。

[0167] 在一些实施例中,相机组件630(例如,数字相机,包括可见光和红外光相机)可以被提供以捕获眼睛210和/或眼睛210周围的组织的图像,以例如检测用户输入和/或监测用户的生理状态。如本文所使用的,相机可以是任何图像捕获装置。在一些实施例中,相机组件630可以包括图像捕获装置和向眼睛投射光(例如,红外光)的光源,该光然后可以由眼睛反射并且由图像捕获装置检测。在一些实施例中,相机组件630可以附接到框架80(图9D)并且可以与处理模块140和/或150电气通信,该处理模块140和/或150可以处理来自相机组件630的图像信息。在一些实施例中,可以针对每只眼睛利用一个相机组件630,以单独监测每只眼睛。

[0168] 现在参考图7,示出了由波导输出的出射束的示例。示出了一个波导,但是将理解到,在波导组件260包括多个波导的情况下,波导组件260(图6)中的其他波导可以类似地运行。光640在波导270的输入表面460处被注入波导270中并且通过TIR在波导270内传播。在光640入射在DOE 570上的点处,光的一部分作为出射束650离开波导。出射束650被图示为基本上平行的,但是如本文所讨论的,其还可以被重定向为以某个角度传播到眼睛210(例如,形成发散出射束),这取决于与波导270相关联的深度平面。将理解到,基本上平行的出射束可以指示波导具有这样的耦出光学元件,该耦出光学元件耦出光以形成看起来设置在距眼睛210大距离(例如,光学无限远)的深度平面上的图像。其他波导或者其他耦出光学元件集可以输出更发散的出射束图案,该出射束图案将要求眼睛210调节到更近的距离以使其对焦于视网膜并且将由大脑解释为来自比光学无限远更接近眼睛210的距离的光。

[0169] 在一些实施例中,全色图像可以通过重叠分量颜色(例如,三种或更多种分量颜色)中的每一种分量颜色的图像在每个深度平面处形成。

[0170] 图8示出堆叠波导组件的示例,其中每个深度平面包括使用多种不同的分量颜色形成的图像。所图示的实施例示出深度平面240a-240f,尽管还预期了更多或更少的深度。每个深度平面可以具有与其相关联的三个或更多个分量颜色图像,包括:第一颜色G的第一图像;第二颜色R的第二图像;以及第三颜色B的第三图像。通过字母G、R和B之后的用于屈光度(dpt)的不同的数字在附图中指示不同的深度平面。仅作为示例,这些字母中的每一个之后的数字指示屈光度(1/m),或者深度平面距观看者的逆距离,并且附图中的每个框表示单个分量颜色图像。在一些实施例中,为了解释眼睛对不同波长的光的聚焦的差异,用于不同的分量颜色的深度平面的精确放置可以变化。例如,对于给定深度平面的不同的分量颜色图像可以被放置在对应用于距用户不同距离的深度平面上。这样的布置可以增加视觉灵敏度和用户舒适和/或可以减小色差。

[0171] 在一些实施例中,每种分量颜色的光可以由单个专用波导输出,并且因此,每个深度平面可以具有与其相关联的多个波导。在这样的实施例中,包括字母G、R或B的图中的每个框可以被理解为表示单独波导,并且每深度平面可以提供三个波导,其中,每深度平面提供三种分量颜色图像。虽然与每个深度平面相关联的波导在该附图中被示出为彼此邻近,但是将理解到,在物理设备中,波导可以全部布置在堆叠中,其中,每层具有一个波导。在一些其他实施例中,多种分量颜色可以由相同波导输出,使得例如,可以每深度平面仅提供单个波导。

[0172] 继续参考图8,在一些实施例中,G是绿色,R是红色,并且B是蓝色。在一些其他实施例中,与光的其他波长相关联的其他颜色(包括品红和青色)可以另外使用或者可以替换红、绿或蓝中的一个或多个。

[0173] 将理解到,贯穿本公开对于给定的光颜色的引用将被理解为涵盖由观看者感知为具有该给定颜色的光的波长的范围内的一个或多个波长的光。例如,红光可以包括大约620-780nm的范围内的一个或多个波长的光,绿光可以包括大约492-577nm的范围内的一个或多个波长的光,并且蓝光可以包括大约435-493nm的范围内的一个或多个波长的光。

[0174] 在一些实施例中,光源530(图6)可以被配置为发射观看者的视觉感知范围之外的一个或多个波长的光,例如,红外和/或紫外波长。另外,显示器250的波导的耦合、耦合和其他光重定向结构可以被配置为朝向眼睛210将该光导引并且发射到显示器之外,例如,用于成像和/或用户刺激应用。

[0175] 现在参考图9A,在一些实施例中,入射在波导上的光可能需要重定向以将该光耦合入到波导中。耦合光学元件可以用于将光重定向并且耦合入到其对应的波导中。尽管在整个说明书中被称为“耦合光学元件”,但是耦合光学元件不一定是光学元件,并且可以是非光学元件。图9A示出一组堆叠波导660的示例的剖面侧视图,其中每个波导包括耦合光学元件。波导可以各自被配置为输出一个或多个不同波长或者一个或多个不同波长范围的光。将理解到,堆叠660可以对应于堆叠260(图6),并且所图示的堆叠660的波导可以对应于波导270、280、290、300、310的一部分,例外的是,来自图像注入装置360、370、380、390、400中的一个或多个的光从期望光重定向以耦合入的位置被注入到波导中。

[0176] 所图示的一组堆叠波导660包括波导670、680和690。每个波导包括相关联的耦合光学元件(其也可以被称为波导上的光输入区),例如,在波导670的主表面(例如,上主表面)上设置的耦合光学元件700、在波导680的主表面(例如,上主表面)上设置的耦合光学元件710,以及在波导690的主表面(例如,上主表面)上设置的耦合光学元件720。在一些实施例中,耦合光学元件700、710、720中的一个或多个可以设置在相应波导670、680、690的底主表面上(特别地,其中,一个或多个耦合光学元件是反射偏转光学元件)。如所图示的,耦合光学元件700、710、720可以设置在其相应波导670、680、690的上主表面上(或在下一个较低波导的顶部),特别地,其中,那些耦合光学元件是透射偏转光学元件。在一些实施例中,耦合光学元件700、710、720可以设置在相应波导670、680、690的本体中。在一些实施例中,如本文所讨论的,耦合光学元件700、710、720是波长选择的,使得其选择性地重定向光的一个或多个波长,同时透射光的其他波长。虽然图示在其相应波导670、680、690的一个边或角上,但是将理解到,在一些实施例中,耦合光学元件700、710、720可以设置在其相应波导670、680、690的其他区中。

[0177] 如所图示的,耦合光学元件700、710、720可以彼此横向偏移。在一些实施例中,每个耦合光学元件可以偏移,使得其在该光不穿过另一耦合光学元件的情况下接收光。例如,每个耦合光学元件700、710、720可以被配置为从如图6中所示的不同图像注入装置360、370、380、390和400接收光,并且可以与其他耦合光学元件700、710、720分离(例如,横向地隔开),使得其基本上不接收来自耦合光学元件700、710、720中的其他耦合光学元件的光。

[0178] 每个波导还包括相关联的光分布元件,例如,在波导670的主表面(例如,顶主表面)上设置的光分布元件730、在波导680的主表面(例如,顶主表面)上设置的光分布元件

740,以及在波导690的主表面(例如,顶主表面)上设置的光分布元件750。在一些其他实施例中,光分布元件730、740、750可以分别设置在相关联的波导670、680、690的底主表面上。在一些其他实施例中,光分布元件730、740、750可以分别设置在相关联的波导670、680、690的顶主表面和底主表面上;或者光分布元件730、740、750可以分别设置在不同的相关联的波导670、680、690中的顶主表面和底主表面中的不同的主表面上。

[0179] 波导670、680、690可以通过例如气体、液体和/或固态材料层隔开并分离。例如,如所图示的,层760a可以将波导670和680分离;并且层760b可以将波导680和690分离。在一些实施例中,层760a和760b由低折射率材料(即,具有比形成波导670、680、690中的直接相邻的波导的材料更低的折射率的材料)形成。优选地,形成层760a、760b的材料的折射率小于形成波导670、680、690的材料的折射率0.05或更多,或者0.10或更少。有利地,较低折射率层760a、760b可以用作包层,该包层利于光通过波导670、680、690的全内反射(TIR)(例如,每个波导的顶主表面与底主表面之间的TIR)。在一些实施例中,层760a、760b由空气形成。虽然未图示,但是将理解到,所图示的波导组660的顶部和底部可以包括直接邻近的包层。

[0180] 优选地,为了便于制造和其他考虑,形成波导670、680、690的材料类似或者相同,并且形成层760a、760b的材料类似或者相同。在一些实施例中,形成波导670、680、690的材料可以在一个或多个波导之间不同,和/或形成层760a、760b的材料可以不同,同时仍然保持上文指出的各种折射率关系。可使用各种材料来形成波导。虽然玻璃是可用于制造波导的材料,但也可以使用其他材料,包括 LiNbO_3 、SiC、ZnS或类似材料。这些材料可以是光学质量的单晶材料的形式,或者具有光学质量但不是单晶的材料。此外,类似成分的多晶粒陶瓷也可用于形成波导。作为示例,纳米晶体材料可用于波导的制造。

[0181] 继续参考图9A,光线770、780、790入射在波导组660上。将理解到,可以通过一个或多个图像注入装置360、370、380、390、400将光线770、780、790注入到波导670、680、690中(图6)。

[0182] 在一些实施例中,光线770、780、790具有不同特性,例如,对应于不同颜色的不同波长或不同波长范围。耦入光学元件700、710、720各自偏转入射光,使得光以TIR通过波导670、680、690中的相应波导传播。在一些实施例中,耦入光学元件700、710、720各自选择性地偏转光的一个或多个特定波长,同时将其他波长透射到底层波导和相关联的耦入光学元件。

[0183] 例如,耦入光学元件700可以被配置为使具有第一波长或波长范围的光线770偏转,同时透射分别具有不同的第二和第三波长或波长范围的光线780和790。透射光线780入射在耦入光学元件710上并且由耦入光学元件710偏转,该耦入光学元件710被配置为偏转第二波长或波长范围的光。光线790由耦入光学元件720偏转,该耦入光学元件720被配置为选择性地偏转第三波长或波长范围的光。

[0184] 继续参考图9A,偏转光线770、780、790被偏转,使得其通过对应的波导670、680、690传播;即,每个波导的耦入光学元件700、710、720将光偏转到该对应的波导670、680、690中以将光耦入到该对应的波导中。光线770、780、790以使光以TIR通过相应波导670、680、690传播的角度偏转。光线770、780、790以TIR通过相应波导670、680、690传播,直到入射在波导的对应光分布元件730、740、750上。

[0185] 现在参考图9B,示出了图9A的堆叠波导的示例的透视图。如上所述,耦入光线770、

780、790分别由耦合入光学元件700、710、720偏转,并且然后通过TIR分别在波导670、680、690内传播。光线770、780、790然后分别入射在光分布元件730、740、750上。光分布元件730、740、750使光线770、780、790偏转,使得其分别朝向耦合出光学元件800、810、820传播。

[0186] 在一些实施例中,光分布元件730、740、750是正交光瞳扩展器(OPE)。在一些实施例中,OPE使光偏转或分布到耦合出光学元件800、810、820,并且在一些实施例中随着该光传播到耦合出光学元件还可以增加该光的束尺寸或光斑尺寸。在一些实施例中,光分布元件730、740、750可以省略并且耦合入光学元件700、710、720可以被配置为将光直接偏转到耦合出光学元件800、810、820。例如,参考图9A,光分布元件730、740、750可以分别用耦合出光学元件800、810、820替换。在一些实施例中,耦合出光学元件800、810、820是将光引导到观看者的眼睛210中的出射光瞳(EP)或出射光瞳扩展器(EPE)(图7)。将理解到,OPE可以被配置为在至少一个轴上增加眼盒的尺寸,并且EPE可以在与OPE的轴交叉(例如正交)的轴上增加眼盒。例如,每个OPE可以被配置为将撞击OPE的光的一部分重定向到相同波导的EPE,同时允许光的剩余部分继续沿着波导向下传播。在再次入射在OPE上时,剩余光的另一部分被重定向到EPE,并且该部分的剩余部分继续沿着波导进一步向下传播,等等。类似地,在撞击EPE时,入射光的一部分朝向用户引导离开波导,并且该光的剩余部分继续通过波导传播,直到其再次撞击EP,在那时,入射光的另一部分引导离开波导,等等。因此,耦合入光的单光束可以每次在该光的一部分由OPE或EPE重定向时“复制”,从而形成克隆光束的场,如图6中所示。在一些实施例中,OPE和/或EPE可以被配置为修改光束的尺寸。

[0187] 因此,参考图9A和9B,在一些实施例中,该组波导660包括用于每个分量颜色的波导670、680、690;耦合入光学元件700、710、720;光分布元件(例如,OPE)730、740、750;以及耦合出光学元件(例如,EPE)800、810、820。波导670、680、690可以以在每一个之间通过空隙/包层来堆叠。耦合入光学元件700、710、720将入射光(其中,不同耦合入光学元件接收不同波长的光)重定向或者偏转到其相应波导中。光然后以将导致在相应波导670、680、690内的TIR的角度传播。在示出的示例中,光线770(例如,蓝光)以先前所描述的方式由第一耦合入光学元件700偏转,并且然后继续沿波导向下反弹,与光分布元件(例如,OPE)730并且然后耦合出光学元件(例如,EP)800相互作用。光线780和790(例如,分别为绿光和红光)将穿过波导670,其中,光线780入射在耦合入光学元件710上并且由耦合入光学元件710偏转。光线780然后经由TIR沿波导680向下反弹,继续到其光分布元件(例如,OPE)740并且然后到耦合出光学元件(例如,EP)810。最后,光线790(例如,红光)穿过波导690以入射在波导690的光耦合入光学元件720上。光耦合入光学元件720偏转光线790,使得光线通过TIR传播到光分布元件(例如,OPE)750,并且然后通过TIR传播到耦合出光学元件(例如,EP)820。然后,耦合出光学元件820最终将光线790耦合出到观看者,该观看者还从其他波导670、680接收耦合出光。

[0188] 图9C示出图9A和图9B的堆叠波导的示例的俯视平面图。如所图示的,波导670、680、690连同每个波导的相关联的光分布元件730、740、750和相关联的耦合出光学元件800、810、820可以垂直地对齐。然而,如本文所讨论的,耦合入光学元件700、710、720未垂直对齐;而是,耦合入光学元件优选非重叠(例如,横向隔开,如在俯视图中看到的)。如本文进一步讨论的,该非重叠空间布置利于在一对一基础上将来自不同的资源的光注入到不同的波导中,从而允许特定光源唯一地耦合到特定波导。在一些实施例中,包括非重叠的空间分离的耦合入光学元件的布置可以称为偏移光瞳系统,并且这些布置内的耦合入光学元件可以对应于

子光瞳。

[0189] 图9D示出了可穿戴显示系统60的示例,本文公开的各种波导和相关系统可以集成到该可穿戴显示系统60中。在一些实施例中,显示系统60是图6的系统250,其中图6更详细地示意性地示出了该系统60的一些部件。例如,图6的波导组件260可以是显示器70的一部分。

[0190] 继续参考图9D,显示系统60包括显示器70以及支持该显示器70的功能的各种机械和电子模块和系统。显示器70可以耦接到框架80,该框架80可由显示系统用户或观看者90佩戴并被配置为将显示器70定位在用户90的眼睛前方。在一些实施例中,显示器70可以被认为是眼镜。在一些实施例中,扬声器100耦接到框架80并且被配置为位于用户90的耳道附近(在一些实施例中,另一个扬声器,未示出,可以可选地位于用户的另一耳道附近,以提供立体声/可塑形声音控制)。显示系统60还可以包括一个或多个麦克风110或其他装置以检测声音。在一些实施例中,麦克风被配置为允许用户向系统60提供输入或命令(例如,语音菜单命令、自然语言问题等的选择)和/或可以允许与其他人的音频通信(例如,与类似显示系统的其他用户。麦克风还可以被配置作为外围传感器以收集音频数据(例如,来自用户和/或环境的声音)。在一些实施例中,显示系统60还可以包括一个或多个向外定向的环境传感器112,其被配置为检测用户周围世界的对象、刺激、人、动物、位置或其他方面。例如,环境传感器112可以包括一个或多个相机,其可以例如面向外定位,以便捕获与用户90的普通视场的至少一部分类似的图像。在一些实施例中,显示系统还可以包括外围传感器120a,其可以与框架80分离并且附接到用户90的身体(例如,在用户90的头部、躯干、肢体等上)。在一些实施例中,外围传感器120a可以被配置为捕获表征用户90的生理状态的数据。例如,传感器120a可以是电极。

[0191] 继续参考图9D,显示器70通过通信链路130(诸如通过有线引线或无线连接)可操作地耦接到本地数据处理模块140,本地数据处理模块140可以以各种配置安装,诸如固定地附接到框架80上、固定地附接到由用户佩戴的头盔或帽子上、被嵌入头戴耳机内、或者可拆卸地附接到用户90(例如,以背包式配置、以带耦接式配置)。类似地,传感器120a可以通过通信链路120b(例如,有线引线或无线连接)可操作地耦接到本地处理器和数据模块140。本地处理和数据模块140可以包括硬件处理器以及诸如非易失性存储器(例如,闪存存储器或硬盘驱动器)的数字存储器,这两者都可用于辅助处理、缓存和存储数据。可选地,本地处理器和数据模块140可以包括一个或多个中央处理单元(CPU)、图形处理单元(GPU)、专用处理硬件等。数据可以包括:a)从传感器(例如,该传感器可以可操作地耦接到框架80或以其他方式附接到用户90)捕获的数据,所述传感器诸如为图像捕获装置(诸如相机)、麦克风、惯性测量单元、加速度计、罗盘、GPS单元、无线电装置、陀螺仪和/或本文公开的其他传感器;以及/或者b)使用远程处理模块150和/或远程数据储存库160获取和/或处理的数据(包括与虚拟内容相关的数据),这些数据可以在这样的处理或检索之后被传送到显示器70。本地处理和数据模块140可以通过通信链路170、180(诸如经由有线或无线通信链路)可操作地耦接到远程处理模块150和远程数据储存库160,使得这些远程模块150、160可操作地彼此耦接并且可用作本地处理和数据模块140的资源。在一些实施例中,本地处理和数据模块140可以包括图像捕获装置、麦克风、惯性测量单元、加速度计、罗盘、GPS单元、无线电装置和/或陀螺仪中的一种或多种。在一些其他实施例中,这些传感器中的一个或多个可以附接

到框架80,或者可以是通过有线或无线通信路径与本地处理和数据模块140通信的独立结构。

[0192] 继续参考图9D,在一些实施例中,远程处理模块150可以包括被配置为分析和处理数据和/或图像信息的一个或多个处理器,该一个或多个处理器例如包括一个或多个中央处理单元(CPU)、图形处理单元(GPU)、专用处理硬件等。在一些实施例中,远程数据储存库160可以包括数字数据存储设施,其可以通过因特网或“云”资源配置中的其它网络配置而可用。在一些实施例中,远程数据储存库160可以包括一个或多个远程服务器,该一个或多个远程服务器向本地处理和数据模块140和/或远程处理模块150提供信息,例如,用于产生增强现实内容的信息。在一些实施例中,在本地处理和数据模块中存储所有数据并且执行所有计算,从而允许从远程模块完全自主的使用。可替代地,包括CPU、GPU等的外部系统(例如,具有一个或多个处理器的系统、一个或多个计算机)可以执行处理的至少一部分(例如,产生图像信息、处理数据)以及例如经由无线或有线连接向模块140、150、160提供信息和从模块140、150、160接收信息。

[0193] 图10是示出投射器组件1000的示意图,该投射器组件利用偏振分束器(PBS)1020照射空间光调制器(SLM)1030并重定来自SLM 1030的光穿过投射光学器件1040到达目镜(未示出)。投射器组件1000包括照射源1010,该照射源1010可以包括例如发光二极管(LED)、激光器(例如,激光二极管)或其它类型的光源。该光可以通过准直光学器件进行准直。照射源1010可以发射偏振、非偏振或部分偏振的光。在所示设计中,照射源1010可以发射具有p偏振的偏振光1012。第一光学元件1015(例如,预偏振器)被对齐以使具有第一偏振(例如,p偏振)的光穿过。

[0194] 该光被导引到偏振分束器1020。最初,光穿过PBS1020的界面1022(例如偏振界面),该界面被配置为透射第一偏振(例如p偏振)的光。因此,光前进到并入射在空间光调制器1030上。如所图示的,SLM 1030是反射式SLM,其被配置为对入射光进行后向反射并选择性地调制光。例如,SLM 1030包括可以具有不同状态的一个或多个像素。入射在相应像素上的光可以基于像素的状态进行调制。因此,可以驱动SLM 1030来调制光以提供图像。在该示例中,SLM 1030可以是基于偏振的SLM,其调制入射在其上的光的偏振。例如,在开启状态中,SLM 1030的像素将输入光从第一偏振状态(例如,p偏振状态)改变为第二偏振状态(例如,s偏振状态),使得显示亮状态(例如,白色像素)。第二偏振状态可以是以90°调制(例如,旋转)的第一偏振状态。在开启状态中,具有第二偏振状态的光被界面1022反射并向下游传播到投射器光学器件1040。在关闭状态中,SLM 1030不改变入射在其上的光的偏振状态,例如,不将输入光从第一偏振状态旋转,因此显示暗状态(例如,黑色像素)。在关闭状态中,具有第一偏振状态的光通过界面1022透射并向上游传播回到照射源1010,而不是用户的眼睛。

[0195] 从SLM 1030反射后,光1014的一部分(例如,调制光)从界面1022反射并离开PBS 1020以被导引至用户的眼睛。发射的光穿过投射器光学器件1040并成像到目镜(未示出)的耦入光栅(ICG)1050上。

[0196] 图11A示出用于向用户的眼睛210呈现图像并且用于查看世界510的系统(例如,增强现实显示系统)1100A,其具有与图10中所示的配置不同的配置。系统1100包括光源1110、空间光调制器(SLM)1140和波导1120(也称为目镜波导),其被布置成使得来自光源1110的

光照射SLM 1140,并且从SLM 1140反射的光耦合入波导1120中以被引导到眼睛210。系统1100A包括光学器件1130,其被设置成既照射SLM 1140又投射SLM 1140的图像。来自光源1110的光例如在第一方向中穿过光学器件1130传播到SLM 1140上,从而照射SLM 1140。从SLM 1140反射的光再次在与第一方向相反的第二方向中传播通过光学器件1130并被引导到波导1120并耦合于其中。

[0197] 光源1110可以包括发光二极管(LED)、激光器(例如,激光二极管)或其它类型的光源。光源1110可以是偏振光源,然而光源1110不必如此受限。在一些实施方式中,偏振器1115可以定位于光源1110和SLM 1140之间。如所图示的,偏振器1115位于光源1110和波导1120之间。该偏振器1115还可以是光回收器,透射第一偏振的光并将第二偏振的光反射回光源1110。此类偏振器1115可以是例如线栅偏振器。耦合光学器件1105(诸如非成像光学元件(例如,锥体、复合抛物面收集器(CPC、透镜))可相对于光源1110设置,以接收来自光源1110的光输出。耦合光学器件1105可以收集来自光源1110的光,并且在一些情况下可减少从光源1110发射的光的发散。耦合光学器件1105可以例如使从光源1110输出的光准直。耦合光学器件1105可以收集与系统1100A的角谱视野相匹配的光。因此,耦合光学器件1105可以使由光源1110输出的光的角谱与系统1100A的视野相匹配。耦合光学器件1105可具有非对称轮廓,以非对称地操作从光源1110发射的光。例如,耦合光学器件1105可以在正交方向(例如x和z方向)中将发散度减小到不同的量。耦合光学器件1105中的此类不对称性可解决从光源1110发射的光的不对称性,该光源1110可包括例如激光二极管,该激光二极管在一个方向(例如x或z)中发射比正交方向(例如分别为z或x)更宽范围的光角度。

[0198] 如上所讨论,系统1100A包括被配置为照射SLM 1140的光学器件1130,该光学器件1130设置在光源1110和SLM 1140之间的光路中。光学器件1130可以包括透射光学器件,该透射光学器件使来自光源1110的光透射到SLM 1140。光学器件1130还可被配置为将SLM 1140的图像或由SLM 1140形成的图像投射到波导1120中。图像可以投射到眼睛210的眼睛中。在一些设计中,光学器件1130可以包括具有光焦度的一个或多个透镜或光学元件。光学器件1130可以例如具有正光焦度。光学器件1130可以包括一个或多个折射光学元件,诸如折射透镜。也可以使用其它类型的光学元件。

[0199] SLM 1140可以是反射性的、调制的和反射来自其的光。SLM 1140可以是被配置为调制偏振的基于偏振的SLM。SLM 1140可以例如包括液晶(LC) SLM(例如,硅基液晶(LCoS) SLM)。LC SLM可以例如包括扭曲向列(TN)液晶。SLM 1140可以与参考图10的SLM 1030基本上相似。SLM 1140可以例如包括一个或多个像素,该一个或多个像素被配置为取决于像素的状态选择性地调制入射到像素上的光。对于一些类型的SLM 1140,像素可以例如通过改变偏振状态(诸如使偏振旋转(例如,使线性偏振光的取向旋转))来调制入射到其上的光束。

[0200] 如上所讨论,SLM 1140可以是LCoS SLM 1140。在交叉偏振器配置中,LCoS SLM 1140可以是标称白色。当像素关闭(例如,0电压)时,它具有亮状态,而当像素开启(例如,电压高于阈值开启电压)时,它具有暗状态。在该交叉偏振配置中,当像素开启并且具有暗状态时,泄漏被最小化。

[0201] 在平行偏振器配置中,LCoS SLM 1140是标称黑色的。当像素关闭(例如,0电压)时,它具有暗状态,而当像素开启(例如,电压高于阈值开启电压)时,它具有亮状态。在该平

行偏振器配置中,当像素关闭并且具有暗状态时,泄漏被最小化。可以使用摩擦方向和补偿器角度(重新)优化暗状态。补偿器角度可以指可以位于光学器件1130和SLM 1140之间的补偿器的角度,例如,如图20B中所示。

[0202] 平行偏振器配置的动态范围和吞吐量可以与交叉偏振器配置不同。此外,平行偏振器配置针对对比度可以与交叉偏振器配置不同地优化。

[0203] 系统1100A包括用于向眼睛210输出图像信息的波导1120。波导1120可以与上面讨论的波导270、280、290、300、310、670、680和690基本上相似。波导1120可以包括具有足以在其中引导光的折射率的基本上透明的材料。如所图示的,波导1120可以包括第一侧1121和与第一侧1121相对的第二侧1123以及对应的上主表面和下主表面以及周围的边缘。第一主表面1121和第二主表面1123可以足够平坦,使得在光从SLM 1140传播到眼睛210时可以保留图像信息,从而可以将由SLM 1140形成的图像注入眼睛中。光学器件1130和SLM 1140可以定位于波导1120的第一侧1121。光源1110可设置在第二侧1123,使得来自光源1110的光在穿过波导1120并穿过光学器件1130到达SLM 1140之前入射在第二侧1123上。因此,波导1120可以设置在光源1110和光学器件1130之间。另外,波导1120的至少一部分可以在光源1110和光学器件1130之间延伸,从而光穿过波导1120的该部分到达光学器件1130。因此,从光源1110发射的光可以导引通过波导1120,进入光学器件1130并通过光学器件1130,并且入射在SLM 1140上。SLM 1140将光反射回来穿过光学器件1130并到达波导1120。

[0204] 系统1100A还包括用于将来自光学器件1130的光耦合到波导1120中的耦合光学元件1160。耦合光学元件1160可以设置在波导1120的主表面(例如,上主表面1123)上。在一些设计中,耦合光学元件1160可以设置在波导1120的下主表面1121上。在一些设计中,耦合光学元件1160可以设置在波导1120的主体中。虽然耦合光学元件1160被示出在波导1120的一侧或一角上,但是耦合光学元件1160可以设置在波导1120的其它区域中/上。耦合光学元件1160可以与上面参考图9A、9B和9C所述的耦合光学元件700、710、720基本上相似。耦合光学元件1160可以是衍射光学元件或反射器。其它结构可以用作耦合光学元件1160。耦合光学元件1160可以被配置为将入射在其上的光以相对于波导1120的上主表面1123和下主表面1121足够大的掠射角(例如,大于临界角)导引到波导1120中,以通过全内反射在波导1120中导引。此外,耦合光学元件1160可以在很宽的波长范围内工作,并且因此可以被配置为将多种颜色的光耦合到波导1120中。例如,耦合光学元件1160可以被配置为将红光、绿光和蓝光耦合到波导1120中。光源1110可以在不同时间发射红光、绿光和蓝光。

[0205] 系统1100A包括设置在波导1120上或波导1120中的光分布元件1170。光分布元件1170可以与上面关于图9B描述的光分布元件730、740和750基本上相似。例如,光分布元件1170可以是正交光瞳扩展器(OPE)。光分布元件1170可以被配置为通过使在x方向中传播的光例如朝向顶视图图11B中所示的z方向转向来在波导1120内散布光。因此,光分布元件1170可以被配置为沿z轴增加眼盒的尺寸;参见图11B。例如,光分布元件1170可以包括一个或多个衍射光学元件,该一个或多个衍射光学元件被配置为衍射在波导1120内传播的入射到衍射光学元件的光,以便在例如大致正交的方向中重定向该光。其它配置也是可能的。

[0206] 如图11B中所示,系统1100还可以包括耦合光学元件1180,用于将光从波导1120耦合到眼睛210。耦合光学元件1180可以被配置为将通过全内反射(TIR)在波导1120内传播的光重定向为更垂直于波导1120的上主表面1123和/或下主表面1121的角度,使得光不在波

导1120内引导。相反,该光通过例如下主表面1121导出波导1120。耦出光学元件1180可以例如包括一个或多个衍射光学元件,该一个或多个衍射光学元件被配置为衍射在波导1120内传播的入射到衍射光学元件上的光,以便例如将该光重定向出波导1120。其它配置也是可能的。

[0207] 图11B还示出了相对于光分布光学元件(例如,正交光瞳扩展器)1170和耦出光学元件1180横向设置的耦入光学元件1160的位置。图11B还示出了相对于耦入光学元件1160、光分布光学元件(例如,正交光瞳扩展器)1170和耦出光学元件1180横向设置的光源1110的位置。

[0208] 在操作中,系统1100A的光源1110将光发射到耦合光学器件1105中并通过偏振器1115。因此,该光可以被偏振,例如在第一方向中线性偏振。该偏振光可以透射通过波导1120,进入波导1120的第二主表面并从波导1120的第一主表面离开。该光可以传播通过光学器件1130到达SLM 1140。光学器件1130准直和/或选择来自光源1110的光,从而照射SLM 1140,该SLM 1140可以包括基于偏振的调制器,该基于偏振的调制器调制入射在其上的光的偏振,诸如通过取决于像素的状态逐像素地选择性地旋转调制器的取向。例如,第一像素可处于第一状态并旋转偏振,而第二像素可处于第二状态但不旋转偏振。耦合光学器件1105和光学器件1130之间的光可以相当均匀地照射SLM 1140。入射到SLM 1140上之后,光被反射回来通过光学器件1130。光学器件1130可以被配置为将来自SLM 1140的图像投射到波导1120中并最终投射到眼睛210中,使得图像对眼睛210可见。在一些设计中,眼睛210的视网膜是SLM 1140和/或由SLM 1140形成和/或在SLM 1140上形成的图像的共轭。光学器件1130的焦度可以促进将SLM 1140上的图像投射到眼睛210中并投射到眼睛210的视网膜上。在一些实施方式中,例如由耦出光学元件1180提供的光焦度可以有助于和/或影响最终在眼睛210中形成的图像。当从SLM 1140反射的光穿过光学器件朝向波导1120行进时,光学器件1130充当投射透镜。光学器件可以粗略地用作SLM 1140上的图像到波导1120中靠近耦入光学元件1160的平面的傅里叶变换。总共两次穿过光学器件1130(第一次从光源1110到SLM 1140,第二次从SLM 1140到波导1120)可以一起粗略地对耦合光学器件1105的光瞳进行成像。光源1110(也可能是耦合光学器件1105和/或偏振器1115)、光学器件1130、SLM 1140的对齐和取向使得从SLM 1140反射的来自光源1110的光被引导到耦入光学元件1160上。与耦合光学器件1105相关联的光瞳可以与耦入光学元件1160对齐。光可以穿过在SLM 1140和眼睛210之间的光路中的分析器1150(例如,偏振器)。如图11A中所示,分析器(例如,偏振器)1150可以设置在光学器件1130和耦入光学元件1160之间的光路中。分析器1150可以例如是线性偏振器,其具有透射第一偏振(p偏振)的光并阻止第二偏振(s偏振)的光的取向,反之亦然。分析器1150可以是清洁偏振器,并进一步阻止由在SLM 1140和分析器1150之间或SLM 1140内的另一偏振器阻止的偏振光。分析器1150可以是例如圆形偏振器,其充当隔离器以减轻从波导1120(具体是耦入光学元件1160)反射回SLM 1140的反射。与在此公开的任何偏振器一样,分析器1150可以包括线栅偏振器,诸如吸收性线栅偏振器。此类偏振器可以明显吸收不需要的的光,并且从而增加对比度。一些此类偏振器可以制成包括位于导线和/或多层膜顶部的一个或多个介电层。在一些实施方式中,SLM 1140可以是硅基液晶(LCoS) SLM,并且可以包括LC单元和延迟器(例如,补偿器)。在一些实施方式中,分析器1150可以是补偿器,其旨在针对不同入射角和不同波长提供更一致的SLM 1140的偏振旋转

(例如, 90°)。补偿器可用于通过改善横跨角度和波长范围入射的光线的旋转偏振来改善显示器的对比度。SLM 1140可以包括例如TN LCoS,其被配置为针对第一像素将第一偏振(例如,s偏振)的入射光旋转为第二偏振(例如,p偏振),以在光将穿过分析器1150时产生亮像素状态。相反,SLM 1140可被配置为针对第二像素不将第一偏振(例如,s偏振)的入射光旋转为第二偏振(例如,p偏振),使得反射光保持第一偏振,以在光将被分析器1150衰减或阻止时产生暗像素状态。在此类配置中,沿光路更靠近光源1110的偏振器1115可与沿光路远离光源1110的分析器1150取向不同(例如,正交)。其它(例如,相反)配置也是可能的。

[0209] 然后,光被偏转,例如,由耦合光学元件1160转向,以便在波导1120中被引导,在波导中光通过TIR传播。然后,光撞击在光分布元件1170上,将光转向另一方向(例如,更朝向z方向),导致沿z轴方向眼盒的尺寸增加,如图11B中所示。因此,光被偏转向耦合光学元件1180,这导致光从波导1120向外导向眼睛210(例如,如所示出的用户的眼睛)。光由耦合光学元件1180的不同部分沿z方向耦合出,导致眼盒尺寸沿至少与图11B中定义的z轴平行的方向增加。值得注意的是,在该配置中,光学器件1130既用于照射SLM 1140,又用于将图像投射到耦合光学元件1160上。因此,光学器件1130可充当投射光学器件,将来自光源1110的光(例如均匀地)分布,以及充当成像光学器件,将SLM 1140的图像和/或由SLM 1140形成的图像提供到眼睛中。图11A/B中的系统1100A在一些情况下可能比图10中的系统1000更紧凑。在一些情况下,不使用图10中所示的PBS1020可能降低系统的成本和/或大小。此外,在没有PBS1020的情况下,则通过缩短光学器件1130的后焦距,系统可以更加对称并且更易于设计。

[0210] 如上所述,替代配置是可能的。参考图11C,例如,在一些设计中,系统1100C可被配置为使具有未被SLM 1140旋转的偏振的光通过。在一个实施方式中,例如,SLM 1140是基于液晶(LC)的SLM,并且可以包括垂直对齐(VA)硅基液晶(LCoS)。SLM 1140可以具有处于不旋转偏振的第一状态的第一像素和处于旋转偏振的第二状态的第二像素。在图11C中所示的配置中,利用单个共享分析器/偏振器1155。该分析器1155可以透射第一偏振(例如,s偏振)的光并衰减或减少第二偏振(例如,p偏振)的透射。因此,入射到处于不会旋转偏振取向的第一状态的第一像素上的光(例如,s偏振光)从SLM 1140反射,并穿过分析器1155到达波导1120。相反,入射到处于旋转偏振取向的第二状态的第二像素上的光(例如,s偏振光)从SLM 1140反射,并被衰减、减小或不会穿过分析器1155到达波导1120。该配置可从而允许图11A中所示的偏振器1115和分析器1150合并成共享光学元件(图11C中所示的分析器1155),从而可能通过减少光学组件的数量来简化图11A/B的系统1100。分析器1155可设置在波导1120和光学器件1130之间。在其它实施方式中,可使用单独的分析器/偏振器和分析器/偏振器,诸如图11A/B的系统1100中所示。图11A和11B示出位于光源1110和波导1120之间的偏振器1115,以及位于光学器件1130和波导1120之间的分析器1140。

[0211] 图11D示出根据本发明的实施例的具有组合OPE/EPE的波导的示例。参照图11D,具有组合OPE/EPE区域1191的波导1190包括与在x方向和y方向上空间重叠的OPE和EPE相对应的光栅。在一些实施例中,与OPE和EPE相对应的光栅位于基板的同一侧,以使得OPE光栅叠加到EPE光栅上,或者EPE光栅叠加到OPE光栅上(或两者)。在其他实施例中,OPE光栅位于基板的与EPE光栅相反的一侧,以使得光栅在x方向和y方向上空间重叠,但在z方向上彼此分离(即在不同平面上)。因此,组合的OPE/EPE区域1191可以以单面配置或者双面配置来实

现。

[0212] 目镜波导1190内的光路包括入射光1194,该入射光在ICG1193处耦合到目镜波导1190中。入射光在基板1192中通过全内反射向组合OPE/EPE 1191传播。当这些光线遇到组合OPE/EPE 1191(也称为组合光瞳扩展器(CPE))时,光在+y方向上衍射,并且随后在-z方向上沿光路1195朝向用户的眼睛衍射出波导。类似地,耦入光可替代地遇到组合OPE/EPE 1191并在-y方向衍射,并且随后沿光路1195朝向用户的眼睛衍射出波导。

[0213] 如本文更详细描述,本发明的实施例利用在光路长度上具有差异的目镜波导,例如,目镜波导的厚度根据横向位置(即x-y平面上的位置)变化。在一些实施例中,目镜波导的形成ICG的部分比目镜波导的形成CPE的部分更厚。此外,在一些实施例中,CPE的厚度不同,邻近ICG的部分的厚度大于相对于ICG较远的部分的厚度。在其他实施例中,物理厚度是均匀的,但折射率根据横向位置的变化而变化,导致表征目镜波导的光路长度差根据横向位置变化。

[0214] 可以采用各种其它配置,其利用光学器件1130来照射SLM 1140并对SLM 1140形成的图像进行成像。例如,尽管图11A-11D示出单个波导1120,但可以使用一个或多个波导,诸如波导堆叠(可能针对不同颜色的光使用不同的波导)。

[0215] 例如,图12A示出示例系统1200A的截面侧视图,该系统包括堆叠1205,堆叠1205包括波导1120、1122、1124,每个波导包括耦入光学元件1260、1262、1264。波导1120、1122、1124可以各自被配置为输出一种或多种不同波长的光,或一种或多种不同波长范围的光。堆叠1205可与堆叠260和660(图6和9A)基本上相似,并且堆叠1205的所示波导1120、1122、1124可对应于波导670、680、690的一部分,然而,堆叠1205和波导1120、1122、1124不必如此限制。如图12A中所示,耦入光学元件1260、1262、1264可例如分别与波导1120、1122、1124相关联、包括在波导1120、1122、1124中或波导1120、1122、1124上。耦入光学元件1260、1262、1264可以是颜色选择性的,并且可以主要将某些波长转移或重定向到对应的波导1120、1122、1124中以在其中进行引导。如图所示,由于耦入光学元件1260、1262、1264是颜色选择性的,因此耦入光学元件1260、1262、1264不需要横向移位并且可以彼此堆叠。可以采用波长复用将特定颜色耦合到对应的波导中。例如,红色耦入光学元件可以将红光耦合到指定用于传播红光的波导中,而不将蓝光或绿光耦合,该蓝光或绿光分别由其它蓝色和绿色选择性波导耦合入到其它波导中。

[0216] 在一些实施方式中,光源1110可以是能够在不同时间发射不同颜色的光的多色光源。例如,光源1110可以发射红光、绿光和蓝(RGB)光,并且可被配置为在第一时间段发射红光和不多于可忽略量的绿光和蓝光,在第二时间段发射绿光和不多于可忽略量的红光和蓝光,并且在第三时间段发射蓝光和不多于可忽略量的红光和绿光。这些周期可以重复,并且可以协调SLM 1140,以便产生用于特定颜色(红、绿或蓝)的适合的像素状态图案,以针对给定图像帧提供适当的图像颜色分量。堆叠1205的不同波导1120、1122、1124可以各自被配置为输出具有不同相应颜色的光。例如,如图12A中所示,波导1120、1122、1124可被配置为分别输出蓝光、绿光和红光。当然,其它颜色也是可能的,例如,光源1110可发射其它颜色,并且颜色选择性耦入光学元件1260、1262、1264、耦出光学元件等可配置为用于此类其它颜色。此外,单独的红色、绿色和蓝色发射器可定位足够近以有效地用作单瞳光源。红色、绿色和蓝色发射器可与透镜和二向色分光器组合以形成单个红光、绿光和蓝光瞳源。单个光瞳

的多路复用可扩展到颜色选择性之外或作为颜色选择性的补充,并且可包括偏振敏感光栅和偏振开关的使用。这些颜色或偏振光栅还可与多个显示光瞳组合使用以增加可寻址的层数。

[0217] 不同波导1120、1122、1124中的不同耦合入光学元件1260、1262、1264可以设置在彼此上方和/或下方并相对于彼此横向对齐(例如,在图12A所示的x和z方向中),而不是彼此横向移位且不对齐。因此,在一些实施方式中,例如,不同的耦合入光学元件1260、1262、1264可如此配置,使得第一颜色的光可由耦合入光学元件1260耦合到波导1120中以在其中引导,而与第一颜色不同的第二颜色的光可穿过耦合入光学元件1260到达下一个耦合入光学元件1262并可由耦合入光学元件1262耦合到波导1122中以在其中引导。与第一颜色和第二颜色不同的第三颜色的光可穿过耦合入光学元件1260和1262到达耦合入光学元件1264并可被耦合到波导1124中以在其中引导。此外,耦合入光学元件1260、1262、1264可以是偏振选择性的。例如,不同的耦合入光学元件1260、1262、1264可被如此配置,使得特定偏振的光要么通过对应的偏振选择性耦合入光学元件1260、1262、1264耦合到波导中,要么穿过耦合入光学元件1260、1262、1264。

[0218] 取决于配置,SLM 1140可以包括基于偏振的SLM,其调制偏振。系统1200A可以包括偏振器和/或分析器,以便例如取决于相应像素的状态(例如,像素是否旋转偏振取向),逐像素地调制注入堆叠1205中的光。上面讨论了采用基于偏振的SLM的此类系统的各个方面,并且此类特征中的任何一个可以与在此描述的任何其它特征结合使用。然而,其它设计仍然是可能的。

[0219] 例如,可以采用基于偏转的SLM 1140。例如,SLM 1140可以包括一个或多个可移动光学元件,诸如可移动镜,其可以取决于光学元件的状态沿不同方向反射和/或偏转光。SLM 1140例如可以包括一个或多个像素,其包括诸如微镜或反射器的光学元件。SLM 1140可以结合例如使用数字微镜设备(DMD)的数字光处理(DLP™)技术。图12B中示出使用此类基于偏转的SLM 1140的系统1200B的示例。系统1200B包括基于偏转的SLM 1140以及光转储器1250。光转储器1250可以包括被配置为吸收光的吸收材料或结构。基于偏转的SLM 1140可以包括一个或多个微可移动镜,该微可移动镜可以选择性地倾斜以在不同的方向中偏转光。例如,基于偏转的SLM 1140可被配置为当给定像素处于亮状态时将入射到其上的来自光源1110的光偏转到耦合入光学元件1260、1262、1264。如上所讨论,例如取决于光的颜色,该光因此将由耦合入光学元件1260、1262、1264中的一个耦合入光学元件耦合到相应的波导1120、1122、1124中的一个波导中,并导引到眼睛210。相反,当给定像素处于暗状态时,来自光源1110的光可被偏转到光转储器1250,并且光不会被耦合入光学元件1260、1262、1264中的一个耦合入光学元件耦合到相应的波导1120、1122、1124中的一个波导中并导引到眼睛210。相反,光可能被包括光转储器1250的吸收材料吸收。在一些实施方式中,分析器1150可以是偏振器(例如,“清洁”偏振器),其用于消除来自耦合入光学元件1260、1262、1264的不需要的反射。由于光学器件1130可包括具有双折射性并且可以改变偏振的塑料光学元件,因此该偏振器可能很有用。“清洁”偏振器可以衰减或去除具有不需要的偏振的光(例如反射),使其不被导引到波导1120、1122、1124上。其它类型的光调节元件可以设置在SLM 1140和波导1120、1122、1124之间,诸如光学器件1130和波导1120、1122、1124之间。例如,此类光调节元件还可以包括圆偏振器(即线性偏振和延迟器,诸如四分之一波片)。圆偏振器可减少来自波导

1120、1122、1124或耦入光学元件1260、1262、1264的反射量,该反射再次入射到波导1120、1122、1124上并耦合到其中。反射光可以是圆偏振的,并且可以具有与入射光的圆偏振相反的圆偏振(例如,右旋圆偏振器光在反射时转换成左旋圆偏振光,反之亦然)。圆偏振器中的延迟器可将圆偏振光转换成线性偏振光,诸如偏振器的正交偏振的线性偏振光,该线性偏振光被圆偏振器中的线性偏振器衰减(例如吸收)。清洁偏振器可与偏振独立调制器(诸如DMD)一起使用。如上所述,清洁偏振器可以用于抑制反射和/或以最优偏振状态提高光到耦入光学元件1260、1262、1264中的耦合。

[0220] 图12B示出该系统1200B的侧视图或截面视图,而图12C示出耦入光学元件1264、光转储器1250和光源1110的横向布置的顶视图。SLM 1140将取决于特定像素的状态被配置为将来自光源1110的光反射、偏转和/或导引到耦入光学元件1264(以及其它耦入光学元件1260、1262)或光转储器1250的横向位置。

[0221] 在某些设计中,光转储器1250可以包括能量收割系统。光转储器1250可以例如包括光能转换元件,该光能转换元件被配置为将光能转换成电能。光能转换元件可以包括例如太阳能电池。光能转换元件可以包括例如光伏检测器,当光入射到其上时,该光伏检测器产生电输出。光能转换元件可以电连接到电气元件,例如导电电线,以导引电输出,以便为系统1200B提供电力和/或可能为一个或多个电池充电。

[0222] 在某些设计中,可以使用横向移位、非颜色选择性或宽带或多色耦入光学元件。例如,图13A是包括包含波导的堆叠1305的系统1300的透视图。堆叠1305可以与参考图12A的堆叠1205基本上相似。堆叠1305中的每个波导可以包括耦入光学元件1360、1362、1364,然而,与图12A中所示的设计相反,耦入光学元件1360、1362、1364相对于彼此横向移位。如图13A、13B和13C中所示,光源1110、1112、1114也相对于彼此横向移位,并且可被设置为通过使光穿过光学器件1130、将光从SLM 1140反射离开并使反射光再次穿过光学器件1130来将光导引至相应的耦入光学元件1360、1362、1364。图13B的系统1300被描绘成使得光源1114位于光源1110后面,并且因此未在图13B中示出。光源1110、1112、1114可分别对应于耦入光学元件1360、1362、1364。例如,在一种设计中,光源1110、1112、1114和对应的耦入光学元件1360、1362、1364沿公共(光)轴距光学器件1130的中心大致等距(对称地)设置。公共(光)轴可以与光学器件1130的中心相交。例如,在一种设计中,光源1110、1112、1114和对应的耦入光学元件1360、1362、1364沿公共(光)轴距光学器件1130的中心不等距(不对称地)设置。

[0223] 耦入光学元件1360、1362、1364可被配置为将多种颜色的光耦合到其相应的波导中。因此,这些耦入光学元件1360、1362、1364可在此称为宽带、多色或非颜色选择性耦入光学元件1360、1362、1364。例如,在一些情况下,这些耦入光学元件1360、1362、1364中的每一个被配置为将红光、绿光和蓝光耦入到包含该耦入光学元件1360、1362、1364的相关联波导中,使得此类有色光通过TIR在波导内引导。例如,此类宽带耦入光学元件1360、1362、1364可横跨例如可见光范围内的宽波长范围操作,或者横跨例如可见光范围选择波长或波长区域。因此,此类宽带或多色或非颜色选择性耦入光学元件1360、1362、1364可被配置为将各种不同颜色(例如,红色、绿色和蓝色)的光转向到波导中,以通过TIR在其中引导。尽管在此提到了红色、绿色、蓝色(RGB),诸如与光源、耦入光学元件、波导等相关,但可以另外或可替代地使用其它颜色或颜色系统,诸如例如但不限于品红色、青色、黄色(CMY)。

[0224] 如图13A中所示,光源1110、1112、1114被示出在最上部波导上方,并且相对彼此移

位(例如,在x和z方向中)。类似地,三个耦合光学元件1360、1362、1364被示出在三个相应的波导上,并且相对彼此移位(例如,在x、y和z方向中)。图13B是图13A中所示的系统1300的侧视图,其示出相对于彼此横向空间移位(例如,在x和z方向中)的耦合光学元件1360、1362、1364,以及相对于彼此横向移位(例如,在x和z方向中)的一些光源1110、1112、1114。图13B还示出光学器件1130和SLM 1140。

[0225] 图13C是图13A和13B中所示的增强现实显示系统的顶视图,其示出了耦合光学元件1360、1362、1364和相关联的光源1110、1112、1114。在该设计中,耦合光学元件1360、1362、1364和相关联光源1110、1112、1114以环状图案围绕公共(光)轴的中心点设置。如所图示的,光源1110、1112、1114和对应的耦合光学元件1360、1362、1364大致等距地围绕公共(光)轴的中心点设置,然而,这必须是这种情况。在一些设计中,该中心点可以对应于光学器件1130的沿着与光学器件1130的中心相交的公共(光)轴的中心和/或沿着光学器件1130的光轴的位置。同样,结果,非颜色选择性耦合光学元件1360、1362、1364以及光源1110、1112、1114相对于彼此横向移位(例如,在x和z方向中)。

[0226] 横向放置的其它布置也是可能的。图14A-14C示出系统1400的替代配置,该系统1400包括堆叠1405,该堆叠1405包括波导,其中耦合光学元件1360、1362、1364以及光源1110、1112、1114相对于彼此横向移位。图14A是侧视图,而图14B是图14A中所示的系统1400的顶视图,其示出了横向移位的耦合光学元件1360、1362、1364和光源1110、1112、1114。图14C是图14A和14B中所示的系统1400的正交侧视图。

[0227] 图14A和14C的侧视图示出耦合光学元件1360、1362、1364如何设置在堆叠1405内的单独波导上,使得光可以通过相应的横向移位耦合光学元件1360、1362、1364耦合到对应的波导中。图14A和14C中耦合光学元件1360、1362、1364被示出为设置在波导的上主表面中。然而,耦合光学元件1360、1362、1364可以可替代地设置在相应波导的下主表面上或波导的主体中。多种配置是可能的。

[0228] 如图14B的顶视图中所示,耦合光学元件1360、1362、1364被设置成一行,沿z方向相对于彼此横向移位,但不沿x方向移位。类似地,光源1110、1112、1114被设置成一行,也沿z方向相对于彼此横向移位,但不沿x方向移位。耦合光学元件1360、1362、1364在x方向中相对于光源1110、1112、1114横向移位。

[0229] 其它配置仍是可能的。图15是系统1500的顶视图,示出光源1110、1112、1114和耦合光学元件1360、1362、1364的替代配置。与图13C中所有光源1110、1112、1114大致位于一侧(例如环形图案)且所有耦合光学元件1360、1362、1364大致位于一侧(即,相对侧)相比,光源1110、1112、1114和耦合光学元件1360、1362、1364沿着环形图案的圆周穿插或交替。

[0230] 然而,在一些实施方式中,耦合光学元件1360、1362、1364和相关联的一个或多个光源1110、1112、1114也围绕中心点以环状图案设置。因此,光源1110、1112、1114和对应的耦合光学元件1360、1362、1364可以大致距中心等距地设置。在一些设计中,该中心可以对应于光学器件1130的沿着与该光学器件1130的中心相交的公共中心轴的中心和/或沿着该光学器件的光轴的位置。因此,来自第一光源1110的光可经由光学器件1130横跨光学器件1130的中心或中心轴或光轴耦合到耦合光学元件1360中(如从图15的顶视图所见)。类似地,来自第二光源1112的光可经由光学器件1130横跨光学器件1130的中心或中心轴或光轴耦合到耦合光学元件1362中。同样,来自第三光源1114的光可经由光学器件1130横跨光学

器件1130的中心或中心轴或光轴耦合到耦入光学元件1364中。同样,结果,非颜色选择性耦入光学元件1360、1362、1364以及光源1110、1112、1114相对于彼此横向移位(例如,在x和z方向中)。光学器件1130可以被设计成使得焦点更多地进入堆叠1405,使得子光瞳和耦入光学元件1360、1362、1364的位置在它们的方向中更接近。在该配置中,耦入光学元件1360、1362、1364可以更小,因为它们更接近光学器件1130的焦点。光源1110可以位于堆叠1405的用户侧(例如,类似于图17和18),并且从而减少光源1110和光学器件1130之间的距离或光路。

[0231] 在上述各种实施方式中,诸如图12A-15中所示,可包括包含多个波导的堆叠(例如,堆叠1205、1305、1405)(例如,堆叠1205包括波导1120、1122、1124,堆叠1305包括波导(未标记),并且堆叠1405包括波导(未标记))以处理不同的颜色(例如,红色、绿色和蓝色)。不同的波导可以用于不同的颜色。类似地,可包括多个堆叠以向从相应堆叠耦出的光提供不同的光学特性。例如,图12A-12B的堆叠1205的波导1120、1122、1124可被配置为输出具有可能与光似乎发出的表观深度相关联的光学特性(例如,提供特定波前形状的光焦度)的光。例如,具有不同发散量、会聚量或准直量的波前可能看起来好像是从距眼睛210的不同距离投射的。因此,可以包括多个堆叠,其中不同的堆叠被配置为使得由耦出光学元件耦出的光具有不同的会聚量、发散量或准直量,并且因此看起来源自不同的深度。在一些设计中,不同的堆叠可以包括不同的透镜,诸如衍射透镜或其它衍射光学元件,以向不同的堆叠提供不同量的光焦度。因此,不同的堆叠将产生不同的会聚量、发散量或准直量,并且因此来自不同堆叠的光将看起来好像与距眼睛210不同距离处的不同深度平面或对象相关联。

[0232] 图16A是包括堆叠1605、1610、1620的系统1600的侧视图。如图16A中所示,系统1600包括三个堆叠1605、1610、1620,然而,情况并非必须如此。系统可以设计为具有更少或更多的堆叠。堆叠1605、1610和1620中的每一个堆叠包括一个或多个(例如,三个)波导。图16A还示出耦入光学元件的组1630、1640、1650。第一组1630与第一堆叠1605相关联,第二组1640与第二堆叠1610相关联,并且第三组1650与第三堆叠1620相关联。组1630、1640、1650相对于彼此横向偏移。组1630、1640、1650各自包括颜色选择性耦入光学元件,其被配置为与图12A的耦入光学元件1260、1262、1264基本上相似地耦入不同的相应颜色。如图16A中所示,组1630、1640、1650中的每个组内的耦入光学元件相对于彼此不横向移位,然而,情况不必如此。可以设计一种系统,其中一组中的耦入光学元件相对于彼此横向移位。系统1600可被配置为使得从堆叠1605、1610、1620中的每个堆叠耦出的光具有不同的光焦度量。例如,堆叠中的波导可以含有具有给定光焦度的耦出光学元件或衍射透镜。不同堆叠1605、1610、1615的光焦度可能不同,使得来自一个堆叠的光可能看起来源自与来自另一堆叠的光不同的深度。例如,一个堆叠的光焦度可导致来自该堆叠的光被准直,而另一堆叠的光焦度可导致来自该堆叠的光发散。发散光可看起来源自距眼睛210较近距离的对象,而准直光可看起来源自处于较远距离的对象。因此,从第一堆叠1605、第二堆叠1610和第三堆叠1620耦出的光可具有不同的会聚量、发散量和准直量中的至少一个,并且因此看起来源自不同的深度。在一些实施方式中,从堆叠中的一个堆叠耦出的光可被准直,而由不同的堆叠耦出的光可发散。从其它堆叠之一耦出的光也可能发散,但以不同的量发散。

[0233] 如图16A中所示,光源1110可相对于光学器件1130和SLM 1140设置以将光导引至耦入光学元件组1630中,光源1112可相对于光学器件1130和SLM 1140设置以将光导引至耦

入光学元件组1640中,并且光源1114可相对于光学器件1130和SLM 1140设置以将光导引至耦入光学元件组1650中。光源1110、1112、1114可被配置为在不同时间发射不同颜色的光。同样,不同相应颜色的光可由于颜色选择性耦入光学元件以如上所述的方式耦合至堆叠内的不同波导中。例如,如果从第二光源1112发射蓝光,则光学器件1130和SLM 1140将把蓝光导引到第二组1640耦入光学元件。该光可以穿过第二组1640中的第一红色耦入光学元件和第二绿色耦入光学元件,并由第二组1640中的第三蓝色耦入光学元件转向到第二堆叠1610中的第三波导中。第二堆叠1610中的波导可以包括耦出光学元件或具有光焦度的其它光学元件(例如,衍射透镜),以便向眼睛210提供与第二堆叠1610相关联的特定深度平面或对象距离相关联的光束。

[0234] 图16B是图16A中的系统1600的顶视图。不同组1630、1640、1650的耦入光学元件被示出为相对于彼此横向移位(例如,在x方向中)。类似地,光源1110、1112、1114被示出为相对于彼此横向移位(例如,在x方向中)。

[0235] 上述系统中各种不同的变化是可能的。例如,光源1110相对于波导和光学器件1130的位置可能不同。例如,图17是系统1700的侧视图,该系统1700具有相对于波导1720和光学器件1130处于与图11-16B中所示的位置不同的位置的光源1110。此外,图17示出波导1720被划分为第一部分1720a和第二部分1720b的设计。波导1720可进一步包括反射器1730,该反射器1730被配置为将在靠近光源1110的第一部分1720a中引导的光耦出第一部分1720a并朝向SLM 1140进入光学器件1130。另外或可替代地,系统1700可包括衍射耦出光学元件,以将波导1720的第一部分1720a中的光耦出并朝向SLM 1140进入光学器件1130。该反射器1730可以是不透明的并且包括隔离器,该隔离器减少第一部分1720a和第二部分1720b之间的串扰。波导1720具有第一侧1721和与第一侧1721相对的第二侧1723,光学器件1130和SLM 1140设置在第一侧1721上,使得来自SLM 1140的光被导引到第一侧1721上。在该示例中,光源1110设置在波导1720的第一侧1721上,使得来自光源1110的光在穿过光学器件1130到达SLM 1140之前入射到第一侧1721上。系统1700可进一步包括设置在第一部分1720a上或第一部分1720a中的耦入光学元件1710。耦入光学元件1710可被配置为接收来自光源1110的光并将光耦合到第一部分1720a中。耦入光学元件1710可以包括衍射光学元件或反射器,该衍射光学元件或反射器被配置为将入射在其上的光以一定角度转向到第一部分1720a中,以通过TIR在其中引导。

[0236] 反射器1730可被配置为将在第一部分1720a中引导的光导出第一部分1720a并朝向光学器件1130和SLM 1140导引(如上所讨论,在一些实施方式中,衍射光学元件可另外或可替代地用于将第一部分1720a中的光导出第一部分1720a并朝向光学器件1130和SLM 1140)。因此,反射器1730可以是反射镜、反射光栅、将波导1720的光朝向SLM 1140反射的一个或多个涂层。由反射器1730从第一部分1720a射出的光穿过光学器件1130,入射到SLM 1140上,并再次穿过光学器件1130并入射到第二部分1720b上。如上所述,从SLM 1140反射的透射通过光学器件1130的光,可入射到耦入光学元件1160上,并将光转向以在第二部分1720b中引导。在第二部分1720b中引导的光可通过耦出光学元件1180(未示出)从其耦出,并导引到眼睛210。

[0237] 如上所讨论,反射器1730可以是隔离器,其减少第一部分1720a和第二部分1720b之间的串扰。反射器1730可以包括不透明和/或反射表面。反射器1730可以设置在波导1720

内,并且在一些情况下可以定义第一部分1720a和第二部分1720b的侧面。

[0238] 可以使用分开的波导,而不是波导1720的第一和第二部分1720a、1720b。图18是系统1800的侧视图,该系统1800包括第一波导1822,用于接收来自光源1110的光并将其中引导的光导引至光学器件1130并朝向SLM 1140。系统1800另外包括第二波导1820,其在光再次穿过光学器件1130之后接收来自SLM 1140的光。第一波导1822分别包括耦入和耦出光学元件1730a、1730b。这些耦入和耦出光学元件1730a、1730b可以包括反射表面,其被取向为将光耦入和耦出波导1822。耦入光学元件1730a可以例如包括反射表面,该反射表面被设置为接收来自光源1110的光并且被取向(例如,倾斜)为将光以一定角度导引到波导1822中,以便通过TIR在其中引导。耦出光学元件1730b可以例如包括反射表面,该反射表面被取向(例如,倾斜)以将在波导1822内引导的光以一定角度导引,以便从波导1822中射出。耦出光学元件1730b可以定位成使得从波导1822转出的光被导引到光学器件1130中,从SLM 1140反射,再次穿过光学器件1130并入射到第二波导1820的耦入光学元件1730c上。

[0239] 第二波导1820中的耦入光学元件1730c可包括反射表面,该反射表面可被定位和取向(例如,倾斜),以便接收并转向来自SLM 1140的入射在其上的光,以通过TIR在第二波导1820中引导。图18示出设置在波导1820、1822的同一侧的光学器件1130和光源1110。系统1800可进一步包括隔离器,以减少波导1822和波导1820之间的串扰。隔离器可包括不透明和/或反射表面。隔离器可设置在波导1820、1822中的至少一个波导中或波导上。

[0240] 各种设计(诸如上面讨论的设计)可以包括附加特征或组件。例如,图19示出包括可变焦光学元件(或自适应光学元件)1910、1920的系统1900的侧视图。可变焦光学元件1910、1920可以包括被配置为可改变以提供可变光焦度的光学元件。可变焦光学元件1910、1920可以包括多个状态,诸如第一状态和第二状态,其中在第一状态中,可变焦光学元件1910、1920具有与在第二状态时的光焦度不同的光焦度。例如,可变焦光学元件1910、1920在第一状态中可以具有负光焦度,并且在第二状态中可以具有零光焦度。在一些实施方式中,可变焦光学元件1910、1920在第一状态中具有正光焦度,并且在第二状态中具有零光焦度。在一些实施方式中,可变焦光学元件1910、1920在第一状态中具有第一负或正的光焦度,并且在第二状态中具有第二不同的负或正的光焦度。一些自适应光学元件或可变焦光学元件1910、1920可具有两种以上的状态,并且可能提供光焦度的连续分布。

[0241] 可变焦光学元件1910、1920可以包括透镜(例如,可变焦透镜)并且是透射的。图7示出透射式或透明式自适应光学元件或可变焦光学元件1910、1920。可变焦光学元件1910、1920可以包括液体透镜(例如,可移动膜和/或电润湿)。可变焦透镜还可以包括液晶透镜,诸如可切换液晶透镜,诸如可切换液晶偏振透镜,其例如可以包括衍射透镜。还可以使用Alvarez透镜。可能可以采用其它类型的可变焦光学元件1910、1920。可变焦光学元件的示例可参见2017年6月12日提交的题为“AUGMENTED REALITY DISPLAY HAVING MULTI-ELEMENT ADAPTIVE LENS FOR CHANGING DEPTH PLANES”的美国申请号62/518,539,其全部内容通过引用并入在此。可变焦光学元件1910、1920可具有电输入,该电输入接收控制由可变焦光学元件1910、1920所呈现的光焦度量的电信号。可变焦光学元件1910、1920可具有正和/或负的光焦度。除了可变焦元件(例如偏振开关、几何相位(GP)透镜、流体透镜等)之外,可变焦元件1910、1920还可包括固定透镜(例如衍射透镜、折射透镜等)以生成光场中所需的深度平面。

[0242] 第一可变焦光学元件1910可设置在堆叠1905和眼睛210之间。如上所讨论的,堆叠1905可包括不同颜色的不同波导。第一可变焦光学元件1910可被配置为引入不同量的光焦度,负和/或正的光焦度。可变光焦度可用于改变从堆叠1905耦出的光的发散度和/或准直度,以改变系统1900投射到眼睛210中的虚拟对象所处的深度。因此,可创建4维(4D)光场。

[0243] 第二可变焦光学元件1920位于堆叠1905的与第一可变焦光学元件1910相对的一侧。因此,第二可变焦光学元件1920可以补偿第一光学元件1910对从系统1900和眼睛210前方的世界510接收的光的影响。因此,世界视图可以有效地不改变或根据需要改变。

[0244] 系统1900可以进一步包括静态或可变处方或矫正透镜1930。此类透镜1930可以提供眼睛210的屈光矫正。另外,如果处方透镜1930是可变透镜,则其可以为多个用户提供不同的屈光矫正。上文讨论了可变焦透镜。眼睛210可能例如患有近视、远视和/或散光。透镜1930可以具有处方(例如,光焦度)以减少眼睛210的屈光不正。透镜1930可以是球面和/或柱面的,并且可以是正的或负的。透镜1930可设置在堆叠1905和眼睛210之间,使得来自世界510和堆叠1905二者的光均经历由透镜1930提供的矫正。在一些实施方式中,透镜1930可设置在眼睛210和第一可变焦光学元件1910之间。透镜1930的其它位置也是可能的。在一些实施例中,处方透镜可以是可变的并且允许实现多个用户处方。

[0245] 在一些设计中,系统1900可以包括可调节调光器1940。在一些实施方式中,该可调节调光器1940可以设置在波导1900堆叠的与眼睛210相对的一侧(例如,世界侧)。因此,该可调节调光器1940可以设置在波导1900的堆叠和世界510之间。可调节调光器1940可以包括提供透射通过其的光的可变衰减的光学元件。可调节调光器1940可以包括电输入以控制衰减水平。在一些情况下,可调节调光器1940被配置为当眼睛210暴露于强光时(诸如当用户走到户外时)增加衰减。因此,系统1900可以包括光传感器以感测环境光的亮度以及控制电子器件以驱动可调节调光器1940基于由光传感器感测到的光水平来改变衰减。

[0246] 可以采用不同类型的可调节调光器1940。此类可调节调光器1940可以包括具有偏振器、电致变色材料、光致变色材料等的可变液晶开关。可调节调光器1940可被配置为调节从世界510进入和/或透射通过堆叠1905的光量。在一些情况下,可调节调光器1940可用于减少穿过波导堆叠1900到达眼睛210的来自环境的光量,否则这些光可能提供眩光并降低用户感知从堆叠1905注入眼睛210的虚拟对象/图像的能力。此类可调节调光器1940可减少入射的明亮环境光,以免冲淡投射到眼睛210中的图像。因此,采用可调节调光器1940可以增加呈现给眼睛210的虚拟对象/图像的对比度。相反,如果环境光较低,则可以调节可调节调光器1940以减少衰减,使得眼睛210可以更容易地看到用户前方的世界510中的对象。调光或衰减可以跨系统或局部于系统的一个或多个部分。例如,多个局部部分可以被调光或设定以衰减来自用户210前方的世界510的光。这些局部部分可以由没有这种增加的调光或衰减的部分彼此分离。在一些情况下,只有一个部分被调光或导致相对于目镜的其它部分提供增加的衰减。可以在不同的设计中添加其它组件。组件的布置也可以不同。类似地,可以从系统中排除一个或多个组件。

[0247] 图20A示出另一种配置的示例。图20A示出系统2000的侧视图,该系统2000包括位于不同波导上的横向移位的耦入光学元件1360、1362、1364以及滤色器阵列2030,该滤色器阵列2030包括与相应的耦入光学元件1360、1362、1364对齐的横向移位的滤色器2040、2042、2044。滤色器阵列2030可设置在堆叠2005的靠近眼睛210和光学器件1130的一侧。滤

色器阵列2030可位于堆叠2005和光学器件1130之间。滤色器阵列2030可设置在位于堆叠2005和光学器件1130之间的盖玻片2050中或盖玻片2050上。滤色器阵列2030可包括相对于彼此横向设置的一个或多个不同的滤色器2040、2042、2044,诸如红色滤色器、绿色滤色器和蓝色滤色器。系统2000包括相对于彼此横向移位的光源1110、1112、1114。这些光源1110、1112、1114可以包括不同颜色的光源,诸如红光源、绿光源和蓝光源。滤色器2040、2042、2044可以是透射或透明的滤波器。在一些实施方式中,滤色器2040、2042、2044包括吸收滤波器,然而,滤色器2040、2042、2044还可以包括反射滤波器。滤色器阵列2030中的滤色器2040、2042、2044可由将减少杂散光的传播的掩模(诸如不透明掩模)隔开和/或包围。滤色器阵列2030中的滤色器可用于减少或消除系统内诸如来自波导和/或耦合入光学元件1360、1362、1364的不期望反射,以防止其通过用于不同颜色的耦合入光学元件1360、1362、1364重新进入用于不同颜色的波导。滤色器阵列的示例可见于2017年8月22日提交的题为“PROJECTOR ARCHITECTURE INCORPORATING ARTIFACT MITIGATION”美国申请序列No.15/683,412,其全部内容通过引用并入在此;以及2017年11月30日提交的题为“PROJECTOR ARCHITECTURE INCORPORATING ARTIFACT MITIGATION”的美国申请No.62/592,607,其全部内容通过引用并入在此。掩模可以是黑色掩模,并且可以包括吸收材料以减少杂散光的传播和反射。光源1110、1112、1114可以相对于光学器件1130和SLM 1140设置,以将光耦合到滤色器阵列2030中的对应滤色器2040、2042、2044中。例如,滤色器阵列2030可以包括被设置成分别接收来自第一、第二和第三光源1110、1112、1114的光的第一、第二和第三(例如,红色、绿色和蓝色)滤色器2040、2042、2044。第一、第二和第三(例如,红色、绿色和蓝色)滤色器2040、2042、2044可以与相应的耦合入光学元件1360、1362、1364对齐(例如,在x和z方向中)。因此,来自第一光源1110的光将被引导通过第一滤色器2040并到达第一耦合入光学元件1360,来自第二光源1112的光将被引导通过第二滤色器2042并到达第二耦合入光学元件1362,并且来自第三光源1114的光将被引导通过第三滤色器2044并到达第三耦合入光学元件1364。在一些实施方式中,耦合入光学元件1360、1362、1364可以是特定于颜色的。例如,第一和第二耦合入光学元件1360、1362可被配置为分别将相应的第一和第二颜色的光耦合到第一和第二波导中。类似地,第一、第二和第三耦合入光学元件1360、1362、1364可被配置为分别将相应的第一、第二和第三颜色的光耦合到第一、第二和第三波导中。第一耦合入光学元件1360可被配置为将比第二颜色(或第三颜色)更多的第一颜色的光耦合到第一波导中。第二耦合入光学元件1362可被配置为将比第一颜色(或第三颜色)更多的第二颜色的光耦合到第二波导中。第三耦合入光学元件1364可被配置为将比第一颜色或第二颜色更多的第三颜色的光耦合到第二波导中。在其它配置中,耦合入光学元件1360、1362、1364可以是宽带的。例如,第一耦合入光学元件1360可被配置为将第一、第二和第三颜色的光耦合到第一波导中。第二耦合入光学元件1362可配置为将第一、第二和第三颜色的光耦合到第二波导中。第三耦合入光学元件1364可被配置为将第一、第二和第三颜色的光耦合到第三波导中。然而,多个滤色器2040、2042、2044可以是特定于颜色的,选择性地透射特定颜色的光。例如,第一滤色器2040可以透射比第二颜色(和第三颜色)更多的第一颜色。第二滤色器2042可以透射比第一颜色(和第三颜色)更多的第二颜色。第三滤色器2044可以透射比第一颜色和第二颜色更多的第三颜色。同样,第一、第二和第三滤色器2040、2042、2044可以是分别选择性地透射第一、第二和第三颜色的滤色器。因此,第一、第二和第三滤色器2040、2042、2044可以是分别选择性

地透射第一、第二和第三颜色的带通滤波器。在一些实施方式中,第一、第二和第三光源1110、1112、1114可分别选择性地发射第一、第二和第三颜色。例如,第一光源1110可发射比第二颜色(和第三颜色)更多的第一颜色。第二光源2042可发射比第一颜色(和第三颜色)更多的第二颜色。第三光源2044可透射比第一颜色和第二颜色更多的第三颜色。滤色器2040、2042、2044可减少无意中导引到特定耦合光学元件的杂散光量。在其它实施方式中,光源1110、1112、1114中的一个或多个是宽带光源。例如,第一光源1110可能发射第一和第二(和可能还有第三)颜色。第二光源1112也可能发射第一和第二(和可能还有第三)颜色。第三光源1114也可能发射第一和第二(和可能还有第三)颜色。尽管图20A-20G中示出了三个滤波器,但可以包括更多或更少的滤波器。例如,在一些实施方式中,可以使用两个滤波器(而不是三个)。因此,与两个滤色器对应的两种颜色可以由滤波器选择性地透射。在一些此类实施方式中,可以使用两个对应的耦合光学元件并与两个滤波器对齐。在一些实施方式中,两个耦合光学元件分别将两种颜色选择性地耦合到两个相应波导中。在一些实施方式中,可以使用两个光源而不是三个光源。可以使用其它变体和其它数量的组件。此外,滤色器2040、2042、2044可以或可以不集成在单个阵列中。

[0248] 如上所讨论,组件及其位置和布置可以变化。例如,尽管图20A示出分析器1150设置在光学器件1130和堆叠1905之间,但分析器1150可以位于不同的位置。图20B示出分析器1150位于光学器件1130和SLM 1140之间。在一些设计中,分析器(例如,偏振器)1150可以直接附接到SLM 1140。例如,分析器1150可以粘附到或机械耦合到SLM 1140。例如,分析器1150可以使用粘合剂胶合、粘合到SLM 1140(例如,到SLM窗口)。因此,尽管图20B示出分析器1150和SLM 1140之间的间隙,但在一些设计中,分析器1150和SLM 1140之间不存在间隙。分析器1150可以机械地(例如,使用机械夹具)固定到SLM 1140,并且在此类情况下,分析器1150和SLM 1140之间可存在或不存在间隙。如上所述,可以通过将偏振器直接定位在SLM 1140上清除来自光学器件1130的双折射。在一些实施方式中,还可以包括设置在光学器件1130和耦合光学元件1360、1362、1364之间的分析器1150,以清除从光学器件1130出射的光的偏振(例如,如图20B中的虚线所示)。此外,可在SLM 1140附近,例如,在光学器件1130和SLM 1140之间,包括延迟器(未示出),诸如四分之一波片。如在此所使用的,四分之一波片可指四分之一波延迟器,无论四分之一波延迟器是否包括用于提供四分之一波延迟的板、膜或其它结构。例如,在图20B中,延迟器(例如,四分之一波片)可设置在分析器1150和SLM 1140之间。延迟器(例如,四分之一波片)可用于偏斜光线管理。例如,延迟器(例如,四分之一波片)可以补偿由波长和入射到SLM 1140的角度差异引起的变化。如上所讨论,可以包括补偿器,并且可以为不同的入射角度和不同的波长提供SLM 1140的更一致的偏振旋转(例如,90°)。补偿器可用于通过提供更一致的正交旋转来增加显示器的对比度。补偿器可以如上所述附接或固定到SLM 1140。例如,可以使用胶水、胶合剂或其它粘合剂。补偿器还可以使用机械夹具附接到SLM 1140。补偿器或SLM 1140之间可以包括间隙或不包括间隙。还可以另外或可替代地包括其它光调节光学器件,并且可以将其固定到SLM 1140,诸如上面关于分析器1150和/或补偿器所描述的。

[0249] 在一些实施例中,可以使用大角度扩展(例如,-70度)。角度扩展可以指例如从光源1110、1112、1114进入光学器件1130的光的角度,和/或离开光学器件1130进入耦合光学元件1360、1362、1364的光的角度。在这些实施例中,可以使用更薄的SLM 1140。例如,如果SLM

1140是液晶(LC)SLM(例如,硅基液晶(LCoS)SLM),则可以使LC层更薄以适应大角度扩展。

[0250] 通过偏振器和分析器1150的双通延迟可能需要为半波。偏振器可以位于光学器件1130和分析器1150之间。双通延迟可以是LCoS SLM 1140的折射率与LCoS SLM 1140的厚度之比的函数。对于给定的LCoS SLM 1140的折射率和给定的LCoS SLM 1140的厚度,以大角度进出LCoS SLM 1140会使光的路径长度比以小角度进出LCoS SLM 1140更长。路径长度与LCoS SLM 1140的厚度有关。在一个示例中,LCoS SLM可以具有第一折射率和第一厚度。对于小角度,具有第一折射率和第一厚度的LCoS SLM的双通延迟可能为半波。对于大角度,具有第一折射率和第一厚度的LCoS SLM的双通延迟可能不是半波(例如,可能大于半波)。LCoS SLM的厚度可以从第一厚度改变为第二厚度,其中第二厚度小于第一厚度。对于小角度,具有第一折射率和第二厚度的LCoS SLM的双通延迟可能不是半波(例如,可能小于半波)。对于大角度,具有第一折射率和第二厚度的LCoS SLM的双通延迟可能为半波。

[0251] 此外,尽管图20A和20B示出使用基于偏振的SLM 1140,但也可以采用其它类型的SLM。例如,图20C示出使用基于偏转的SLM 1140,诸如基于可移动微镜的SLM。如上所讨论,此类SLM 1140可以包括数字光处理(DLP™)和数字微镜器件(DMD)技术。如上所讨论,基于偏转的SLM 1140可以取决于SLM 1140的像素状态将来自光源1110、1112、1114之一的光耦合到相应的耦合光学元件1360、1362、1364中。在一种状态下,如图20D中所示,来自光源1110、1112、1114的光将被引导到相应的耦合光学元件1360、1362、1364。在另一状态中,如图20E中所示,来自光源1110、1112、1114的光将被引导远离耦合光学元件1360、1362、1364。在一些实施方式中,当处于关闭状态时,滤色器阵列2030中的滤色器2040、2042、2044之间的黑色吸收掩模可用作光转储器。如上所述,滤色器2040、2042、2044可被掩模(诸如吸收掩模(例如,黑色掩模))包围和/或分离。该掩模可包括吸收材料,使得与从中反射的光相比,更多入射光被吸收。该掩模也可为不透明的。

[0252] 其它变体是可能的。尽管光源被示为耦合到耦合光学器件1105(诸如非成像光学耦合元件(例如复合抛物面收集器(CPC)或锥体))的发射器1110、1112、1114(例如LED、激光二极管),但其它配置也是可能的。例如,耦合光学器件1105(例如CPC)可以相对于波导堆叠倾斜。在一些情况下,投射器(即光学器件1130和SLM 1140)可以相对于目镜(例如波导堆叠)倾斜。在一些实施方式中,透镜光学器件1130相对于SLM 1140倾斜以减少失真,诸如梯形失真。可以采用Scheimplug配置来减少此类失真。可以根据需要倾斜组件(例如,光学器件1130和/或空间光调制器1140),例如以更共形地贴合头部和/或面部。如上所述,光发射器和/或耦合光学器件1105可以倾斜。在一些配置中,包括波导的组件可以倾斜,其中靠近眼睛210的一侧(例如颞侧)更靠近眼睛210,以增加整个双眼系统的感知视野(以双眼重叠为代价)。

[0253] 如上所讨论,组件及其位置和布置可以变化。例如,图20F是系统2000F的侧视图,该系统2000F包括设置在堆叠2005和光学器件1130之间的盖玻璃2050。在一些设计中,光源1110、1112、1114可以设置在盖玻璃2050的世界侧,并且被配置为使光穿过盖玻璃2050传播到光学器件1130和SLM 1140。如所图示的,盖玻璃2050可以横向(例如,平行于x轴)延伸超出堆叠2005,使得由光源1110、1112、1114发射的光进入光学器件1130,而不穿过堆叠2005中的波导。尽管系统2000F描绘了基于偏转的SLM 1140,但光源的类似配置也可以与非基于偏转的SLM一起使用,或者与在此公开的任何其它配置或特征一起使用。

[0254] 图20G是系统2000G的侧视图,该系统2000G包括设置在堆叠2005的世界侧(即,与堆叠2005靠近光学器件1130的一侧相对)的盖玻璃2060。在一些设计中,光源1110、1112、1114可以设置在盖玻璃2050的世界侧,并且被配置为使光穿过盖玻璃2050传播到光学器件1130和SLM 1140。如所图示的,盖玻璃2060可以横向(例如,平行于x轴)延伸超出堆叠2005,使得由光源1110、1112、1114发射的光进入光学器件1130,而不穿过堆叠2005中的波导。尽管系统2000G描绘了基于偏转的SLM 1140,但光源的类似配置还可以与非基于偏转的SLM一起使用,或者与在此公开的任何其它配置或特征一起使用。

[0255] 此外,如上所讨论的,可以采用便于光回收的配置。例如,图21是配备有提供来自光源1110的光的光回收的配置的系统2100的部分侧视图。光源1110可以相对于偏振器1115设置,该偏振器1115被配置为回收具有不需要的偏振的光。偏振器1115可以包括例如线栅偏振器,其透射第一偏振的光并回射第二相反偏振的光。因此,光2110可以从光源1110发射并撞击在偏振器1115上。偏振器1115可以透射第一偏振的光,投射器(未示出)被配置为使用该第一偏振的光。例如,SLM可以采用该第一偏振的光正确地操作。第二偏振2120的光被反射回光源1110并且可以被回收。在以各种角度反射离开耦合光学器件(未示出)(诸如非成像光学器件,如复合抛物面收集器(CPC))的部分(例如侧壁)之后,光2120的偏振可以改变,用于偏振旋转。可产生具有适当偏振(例如偏振取向)的一些光,该光可以通过偏振器1115。多次反射可以改变光的偏振,并可导致光以所需的偏振离开。然后,该回收的光2130被发射回偏振器1115。此类配置可以提高效率,例如能量效率,因为产生了更多的所需偏振。此外,作为补充或替代,可以使用延迟器来改变反射的偏振状态并回收光。

[0256] 图22示出了另一种配置,其包括光源1110、1112、1114和对应的光收集光学器件2210、2212、2214。光收集光学器件2210、2212、2214可以包括透镜或其它光学器件,以收集来自光源1110、1112、1114的光。光源1110、1112、1114可以是激光二极管或在宽角度范围内发射光的其它发射器。光收集光学器件2210、2212、2214可用于收集大部分光。光源1110、1112、1114可以不对称地发光。例如,光可以在一个方向(例如,x或z方向)中以比在正交方向(例如,z或x方向)中更宽的角度范围发射。因此,光收集光学器件2210、2212、2214可以是不对称的。例如,光收集光学器件2210、2212、2214可以在不同的可能正交方向中具有不同的光焦度。光收集光学器件2210、2212、2214可以例如包括透镜,诸如变形透镜。光收集光学器件2210、2212、2214也可能包括非成像光学器件。可以包括孔2220、2222、2224。例如,当光源1110、1112、1114为诸如激光二极管的激光器时,还可在孔2220、2222、2224附近包括漫射器2230。通过孔2220、2222、2224附近的漫射器,孔可看起来位于横向移位光源的位置。如上所讨论,孔2220、2222、2224可经由光学器件和SLM与一个波导或多个波导上的耦合光学元件匹配。例如,每个孔2220、2222、2224可与相应的耦合光学元件匹配。类似地,在某些实施例中,诸如图16A中所示,每个孔2220、2222、2224可与相应组(例如,颜色选择性)耦合光学元件相匹配。

[0257] 多种系统变化和配置是可能的。例如,尽管线性偏振光被描述为穿过光学器件1130传播到SLM 1140并穿过光学器件返回到波导堆叠,但在一些设计中,可以代替使用圆偏振光。例如,圆偏振光可以被导引到光学器件1130中。可以设置延迟器(诸如四分之一波片),使得该光在入射到SLM上之前穿过延迟器。延迟器(例如四分之一波片)可以设置在光学器件1130和SLM 1140之间。在一些情况下,诸如上述,延迟器(例如,四分之一波片)可以

固定到SLM 1140,诸如例如使用粘合剂或机械夹具。延迟器(例如,四分之一波片)可在从SLM 1140反射后将线性偏振光转换成圆偏振光。因此,在一些实施方式中,圆偏振光可再次穿过光学器件1130朝向堆叠。例如,靠近分析器1150的另一延迟器(例如,四分之一波片)可将圆偏振光转换成线性偏振光,该线性偏振光取决于线性偏振(例如取向)可穿过或可不穿过分析器。SLM 1140的像素可以具有可变化的状态以旋转或不旋转偏振。其它配置也是可能的。

[0258] 图23A是增强现实显示系统2300的侧视图,其包括光源2305、偏振旋转器2307、具有光焦度的光学器件(例如透镜)2320、偏振器2312、2335(诸如线性偏振器(例如水平或垂直偏振器))、延迟器2315、2330、2340(诸如四分之一波延迟器(例如四分之一波片))以及用于向用户输出图像信息的至少一个波导2348。此类配置可用于照射反射空间光调制器(未示出),使得从光源2305发射的光从空间光调制器反射并耦合到至少一个波导2348中以被导引至用户的眼睛。这些元件(特别是偏振器和延迟器)的配置和放置可以减少或消除从系统内的光学表面(诸如从光学器件2320的表面)的反射,否则反射可能会导致用户看到鬼影图像。例如,偏振选择性的和/或具有延迟性的光学元件(例如偏振器2312、2335和延迟器2315、2330、2340)可以被布置和配置为将线性偏振光转换成圆偏振光,该圆偏振光在从光学表面反射时从左旋变为右旋或从右旋变为左旋。类似地,偏振选择性的和/或具有延迟性的此类光学元件(例如偏振器2312、2335和延迟器2315、2330、2340)可以被布置和配置为将圆偏振光转换成线性偏振光,该线性偏振光可以被偏振器(例如线性偏振器)衰减或滤除。可以采用偏振选择性的和具有延迟性的此类光学元件(例如偏振器2312、2335和延迟器2315、2330、2340)制造将线性偏振光转换成圆偏振光和反之将圆偏振光转换成线性偏振光的圆偏振器。例如,圆偏振器可以包括线性偏振器和四分之一波延迟器。圆偏振器可用于将线性偏振光转换成具有第一状态(例如,旋向性)的圆偏振光,并滤除具有与第一状态不同的第二状态(例如,旋向性)的圆偏振光。例如,圆偏振器可用于将具有特定取向的线性偏振光转换成左旋圆偏振光,并滤除右旋圆偏振的圆偏振光。圆偏振器还可用于将具有特定取向的线性偏振光转换成右旋圆偏振光,并滤除左旋圆偏振的圆偏振光。如下面结合图23A和23B所述,圆偏振器或包括延迟并且可以选择性地过滤线性偏振光的光学元件的其它配置可用于减少光学表面的后向反射,延迟可用于将线偏振光转换成圆偏振光和反向。

[0259] 值得注意的是,在图23A和23B中,左旋和右旋圆偏振分别用顺时针和逆时针箭头表示。此外,水平和垂直线性偏振分别用水平箭头和圆点表示。

[0260] 如上所讨论,图23A示出增强现实显示系统2300的配置,其中偏振器2312、2335(诸如线性偏振器(例如,水平偏振器))和延迟器2315、2330、2340(诸如四分之一波延迟器(例如,四分之一波片))被布置成减少从光学表面(诸如在照射空间光调制器(未示出)并从空间光调制器反射的光的路径中的光学器件2320的表面)的后向反射。第一偏振器2312和第一延迟器2315设置在光源2305和光学器件2320之间。第一偏振器2312设置在光源2305和第一延迟器2315之间。同样,第一延迟器2315设置在第一偏振器2312和光学器件2320之间。

[0261] 如所图示的,光源2305发射由光线2310所表示的光。在一些实施方式中,光线2310可以穿过偏振旋转器2307。旋转器2307是可选的,并且可用于旋转来自光源2305的光(例如光线2310)的偏振。在各种实施方式中,旋转器2307可以旋转偏振(例如线性偏振)的角度。例如,旋转器2307可以将光线2310的线性偏振旋转至与第一偏振器2312对齐的取向,以便

穿过从其透射。在一些实施方式中, 偏振旋转2307可以包括延迟器, 例如, 在一些情况下是半波延迟器。半波延迟器的光轴可以取向为将来自光源2305的光的偏振从垂直旋转到水平或反之。可替代地, 偏振旋转器2307可以配置为将从光源2305发射的线性偏振光的偏振角旋转不同的量。偏振旋转器2307不需要包括在系统中。例如, 在光源2305发射具有与第一偏振器2312相同的偏振的光的实施方式中, 可以排除偏振旋转器2307。如所图示的, 光(例如光线2310)穿过偏振器2312(此处示出为水平偏振器)。在来自光源2305的光未偏振的情况下, 透射通过水平偏振器2312的光(示出为光线2310)在穿过偏振器2312后是线性偏振(例如, 水平偏振)的。虽然在该示例中使用了水平线性偏振器, 但可以理解, 所教导的原理可适用于垂直线性偏振器。可替代地, 也可以使用具有除垂直或线性之外的不同取向的线性偏振器。

[0262] 水平偏振光线2310行进通过延迟器2315, 此处显示为四分之一波延迟器。该延迟器2315可以包括足够的延迟以将线性偏振光转换成圆偏振光。例如, 水平偏振光可以转换成左旋圆偏振光, 如由弯曲(例如, 顺时针方向)箭头所示。在该示例中, 偏振器2312和延迟器2315(例如, 四分之一波)的组合形成圆偏振器, 此处称为第一圆偏振器, 其可以将特定线性偏振(例如, 水平或垂直偏振)的光转换成特定的圆偏振(例如, 左旋或右旋圆偏振或反之)。圆偏振器还可以取决于配置阻挡特定圆偏振(例如, 右旋或左旋圆偏振)的光。

[0263] 在一些实施方式中, 各种光学元件具有双折射。在某些此类情况下, 延迟器2315可包括足以将线性偏振光转换成圆偏振光的延迟量, 并且不需要是四分之一波片。延迟器2315中可包括多于或少于四分之一波的延迟, 因为延迟可由其它光学元件贡献。类似地, 延迟可分布在多个光学元件中。作为另一示例, 可采用多个延迟器来提供适当的延迟量。

[0264] 圆偏振光线2310(此处为左旋圆偏振)随后穿过光学器件2320。在系统中具有不同折射率的介质的任何界面(诸如例如空气与材料界面)处都可能发生不希望的反射。如果允许这些反射进入至少一个波导2348, 则这些反射可能会有问题, 因为该反射光可能会被引导到用户的眼睛中并形成用户眼睛中可见的“鬼影”图像。例如, 在显示器采用至少一个波导2348将第一图像投射到观看者的眼睛中的情况下, 用户还可看到相对于第一图像发生移位(例如横向移位)的第二模糊重复图像。由引导到用户眼睛中的从光学表面的反射形成的此类“鬼影”图像可能会分散注意力或以其它方式降低观看体验。例如, 如图23A中所示, 诸如反射光线2325的光可从光学器件2320内的透镜反射。该光可朝向至少一个波导2348导引, 该至少一个波导2348被配置为将光导引到用户的眼睛以向其呈现图像。然而, 在该情况下, 圆偏振光会反转旋向性。例如, 在从透镜反射后, 圆偏振的方向会改变(例如, 从左旋变为右旋)。然后, 右旋反射光线2325行进通过延迟器2315并被转换成线性偏振光, 该线性偏振光具有与偏振器2312透射的线性偏振不同的(例如, 正交的)线性偏振。在该情况下, 例如, 从透镜的光学表面反射的光被延迟器2315转换成垂直线性偏振, 该垂直线性偏振与由水平线性偏振器2312透射的偏振正交。水平线性偏振器2312选择性地使水平偏振光穿过并滤除垂直偏振光。因此, 反射光线2325被水平线性偏振器2312衰减和/或不被透射, 并被阻止到达至少一个波导2348, 或者至少减少量的此类反射光到达至少一个波导2348或在其中耦合, 例如, 通过耦入光学元件(例如, 一个或多个耦入光栅)。对于从光学器件2320的不同光学表面或不同光学元件上的其它光学表面反射的左旋圆偏振光线, 结果将是类似的。

[0265] 如所图示的, 显示系统2300进一步包括第二延迟器2330(例如, 四分之一波延迟器

或四分之一波片)以及设置在光学器件2320和空间光调制器(未示出)之间的第二偏振器2335(例如,线性偏振器)。在某些实施方式中,该第二延迟器2330和该第二线性偏振器2335可形成第二圆偏振器。第二延迟器2330设置在光学器件2320和第二偏振器2335之间。同样,第二偏振器2335设置在第二延迟器2330和空间光调制器之间。因此,在穿过光学器件2320之后,光线2310可穿过第二延迟器2330(例如,四分之一波延迟器)。第二延迟器2330被配置(例如,光轴被适当地取向)使得光线2310从左旋圆偏振转换成水平线性偏振。同样,第二延迟器2330将圆偏振光转换回由第一偏振器2312输出的原始线性偏振状态。如下文将讨论的,该第二延迟器2330和第二偏振器2312可用于减少“鬼影”图像,该“鬼影”图像由从空间光调制器反射的光引起,该光在行进到至少一个光导2348时穿过光学表面(例如,在有源光学器件或透镜2320上)。

[0266] 第三延迟器2340(例如,四分之一波延迟器或四分之一波片)设置在第二偏振器2335和空间光调制器之间。因此,第三延迟器2340设置在第二延迟器2330和空间光调制器之间。此外,在诸如图示的各种实施方式中,第二偏振器2335位于第二和第三延迟器2330、2340之间。如所图示的,光线2310在穿过第二偏振器2335时是线性偏振的,并且在一些实施方式中,第二延迟器2330/第二偏振器2335可以将光转换成第一偏振器2312的原始线性偏振(例如,水平偏振)。该线性偏振光入射到第三延迟器2340上。第三延迟器2340被配置为使得光线被转换回圆偏振光,并且在一些实施方式中被转换回与由第一延迟器2315输出的偏振相同的偏振(例如,本示例中的左旋圆偏振光)。在某些实施方式中,空间光调制器被配置为对圆偏振光进行操作。在一些实施方式中,空间光调制器是反射空间光调制器,其将入射的圆偏振光反射回圆偏振光。在一些实施例中,从空间光调制器反射的圆偏振光可具有与入射在其上的圆偏振光相同的旋向性(例如,左旋圆偏振),这可能取决于空间光调制器像素是处于“开”还是“关”状态。在一些实施例中,空间光调制器可以反射入射在其上的不同旋向性(例如,右旋圆偏振)的圆偏振光,这可能取决于空间光调制器像素处于“开”还是“关”状态。然而,也可以使用其它类型的空间光调制器。

[0267] 图23A示出从空间光调制器反射并朝波导2385行进的光,图示为光线2342。反射的光线2342被描绘为左旋圆偏振光。光线2342穿过第三延迟器2340。第三延迟器2340将圆偏振光转换成线性偏振光。在该示例中,左旋圆偏振光被转换成水平偏振光。线性偏振光透射通过第二偏振器2335。在该示例中,水平偏振光穿过第二偏振器2335。线性偏振光入射到第二延迟器2330上并被转换成圆偏振光。在该示例中,水平偏振光被转换成左旋偏振光并透射到光学器件2320。同样,来自光学表面(诸如具有光焦度的光学器件2320的表面)的反射可以通过从空间光调制器反射回至少一个波导2348并到用户的眼睛来产生鬼影图像。如上所述,不希望的反射可能发生在具有不同折射率的介质的任何界面处,诸如空气与材料界面。如上所述,第二延迟器和偏振器2330、2335的加入可以衰减这些反射并降低鬼影反射的可能性。例如图23A描绘了从光学器件2320的光学表面反射的光,图示为光线2346。从表面反射的行为导致圆偏振的反射光线2346切换旋向性,在该示例中,从左旋圆偏振切换为右旋圆偏振。由第二延迟器和偏振器2330、2335形成的第二圆偏振器衰减该切换的圆偏振光。例如,如图23A中所示,反射的圆偏振光2346入射到第二延迟器2330上,并由第二延迟器转换成线性偏振光,该线性偏振光具有与由第二线性偏振器2335选择性透射的偏振不同的(例如正交的)线性偏振。在该情况下,例如,从光学器件2320的光学表面反射的右旋圆偏振

光由延迟器2330转换成垂直线性偏振,该垂直线性偏振与由偏振器2335选择性透射的偏振正交。第二偏振器2335衰减或阻止该线性偏振光的透射。在该示例中,光2346是垂直偏振的,而第二偏振器2335是水平偏振器,其选择性地使水平偏振光通过并滤除垂直偏振光。

[0268] 相反,穿过光学器件2320并入射到第一延迟器2315上的光2342是圆偏振的,并且具有与从光学器件2320的光学表面反射的光不同的旋向性。朝向至少一个波导2348导引的该光2342具有由第一延迟器2315转换成线性偏振(例如,水平线性偏振光)的偏振(例如,左旋偏振),该线性偏振由第一偏振器2312选择性地透射。以该方式,光2342可以到达并耦合到至少一个波导2348中,并导引到用户的眼睛。

[0269] 在图23A中所示的示例中,由第一偏振器2312和第一延迟器2315形成的第一圆偏振器和由第二延迟器2330和第二偏振器2335形成的第二圆偏振器位于光学器件2320的相反侧,一个更靠近光源2305,并且一个更靠近空间光调制器,用于减少可能导致“鬼影图像”的反射。第二圆偏振器(例如第二偏振器2335)和空间光调制器之间包括附加延迟器2340,以将光转换成圆偏振光。然而,宽范围的变化是可能的。例如,可以仅包括一个圆偏振器。可替代地,可以包括附加圆偏振器或其它类型的偏振光学器件。

[0270] 图23B示出可以添加到诸如图23A中所示的增强现实系统2300的第三圆偏振器。特别地,图23B描绘了包括第二偏振器2335和第二延迟器2330的第二圆偏振器以及如上所述的第三延迟器2340,并且进一步描绘了空间光调制器2375。该空间光调制器(SLM)2375可以包括液晶空间光调制器(例如,硅基液晶或LCoS)。在一些实施方式中,SLM 2375可以用盖玻璃2370覆盖。

[0271] 图23B还示出第三圆偏振器,其包括第四延迟器2345(诸如四分之一波延迟器(例如四分之一波片)) and 第三偏振器2355(诸如线性偏振器),其设置在包括第二偏振器2335和第二延迟器2330的第二圆偏振器与空间光调制器2375之间。第三偏振器2355位于第四延迟器2345与空间光调制器2375之间。附加第五延迟器2360(诸如四分之一波延迟器(例如四分之一波片))以及补偿器2365设置在包括第四延迟器2345和第三偏振器2355的第三圆偏振器与空间光调制器2375或更具体地是图23B中所示的盖玻璃2370之间。第五延迟器2360位于第三偏振器2355与补偿器2365之间。补偿器2365位于第五延迟器2360与空间光调制器2375或具体地盖玻璃2370之间。

[0272] 图23B示出来自光源2305(在图23A中示出)的光(例如光线2310)如何传播通过包括延迟器2330和第二偏振器2335的第二圆偏振器以及第三延迟器2340到达包括第四延迟器2345和第三偏振器2355的第三圆偏振器。来自光源2305的光线2310在穿过包括第二延迟器2330和第二偏振器2335的第二圆偏振器后入射到第三圆偏振器上,并且特别是入射到第四延迟器2345上。第四延迟器2345可以将光线2310的圆偏振光转换成线性偏振光。在图23B中所示的示例中,光线2310是圆偏振的(例如,左旋圆偏振的),并由第四延迟器2345转换成线性偏振光(例如,水平偏振光)。该线性偏振光穿过第三偏振器2355,在图23B中,该第三偏振器2355包括选择性地透射水平偏振光的水平偏振器。该线性偏振光传播通过第五延迟器2360,该第五延迟器2360可以包括将线性偏振光转换成圆偏振光的四分之一波延迟器。在图23B中所示的示例中,入射到第五延迟器2360上的水平线性偏振光2310被转换成左旋圆偏振光。该圆偏振光入射到补偿器2365上并穿过补偿器2365。补偿器2365可以包括将偏振调节为所需偏振的偏振元件。补偿器2365可用于抵消系统中各种光学元件的双折射。例如,

由于一个或多个光学元件的延迟贡献,光可能略微呈椭圆偏振。在各种实施方式中,从补偿器2365输出的光是圆偏振光。在图23B中所示的示例中,从补偿器2365输出的光是左旋圆偏振光。在各种实施方式中,补偿器2365可用于抵消SLM内的残余延迟,该SLM可包括例如液晶(例如LCoS)SLM单元。补偿器可引入平面内延迟和/或平面外延迟。在一些实施方式中,补偿器2365可包括光学延迟器的组合,当组合时,光学延迟器产生可潜在地抵消来自SLM(例如LCoS面板)的残余延迟的延迟。

[0273] 在图23B中,光在穿过补偿器2365后入射到盖玻璃2370和SLM 2375上。入射到盖玻璃2370和SLM 2375上的光被描绘为左旋圆偏振光。取决于空间调制器的类型和状态,SLM 2375可以反射具有相同旋向性的圆偏振光。例如,当SLM 2375的像素处于“开启”状态时(尽管在一些实施方式中该状态可能是未驱动状态),SLM 2375可以在每次穿过SLM 2375时引入四分之一波的延迟。因此,在反射时,入射圆偏振光可以在反射时保持圆偏振。在各种配置中,旋向性也可以保持不变。例如,如图23B中所示,入射的左旋圆偏振光在反射时可保持左旋圆偏振。从SLM 2375反射的该圆偏振光(由光线2342表示)可穿过盖玻璃2370和补偿器2365并入射到第五延迟器2360上,该第五延迟器2360将圆偏振光转换成线性偏振光。在图23B中所示的示例中,入射到第五延迟器2360上的圆偏振光是左旋的,并且第五延迟器2360将该圆偏振光转换成水平偏振光。第三偏振器2355可被配置为选择性地透射由第五延迟器2360输出的光的偏振。因此,在图23B中所示的从第五延迟器2360输出的光为水平偏振的示例中,第三偏振器2355选择性地透射水平偏振光。由偏振器2355透射的该线性偏振光入射到第四延迟器2345上并被转换成圆偏振光。在图23B中所示的示例中,该圆偏振光为左旋圆偏振光。该光可以行进通过包括第二延迟器2330和第二偏振器2335的第二圆偏振器、光学器件2320以及包括第一偏振器2312和第一延迟器2315的第一圆偏振器,到达至少一个波导2348上并进入用户的眼睛,如上文结合图23A所讨论的。

[0274] 然而,从光学表面反射的光可被第三圆偏振器衰减,从而降低此类反射将到达至少一个波导2348并被导引至用户的眼睛产生鬼影图像的可能性。为了说明,图23B示出从第三延迟器2340的光学表面(例如从空气和第三延迟器2340之间的界面)反射的示例光线2343。如上所讨论,反射可能发生在具有不同折射率的介质之间的任何界面处,诸如空气与材料界面或不同介电层之间的界面。然而,圆偏振光在反射时会反转旋向性。例如,在从第三延迟器2340的表面反射时,圆偏振的方向会改变(例如,从左旋变为右旋)。然后,右旋反射光线2343行进通过第四延迟器2345并被转换成线性偏振光,该线性偏振光具有与由第三偏振器2355选择性透射的偏振不同的(例如正交的)线性偏振。在该情况下,例如,从第三延迟器2340的光学表面反射的光被第四延迟器2345转换成垂直线性偏振,该垂直线性偏振与由第三偏振器2355选择性透射的偏振正交。第三偏振器2355选择性地使水平偏振光通过并滤除垂直偏振光。因此,反射光线2343被第三偏振器2355衰减和/或不被透射,并被阻止到达至少一个波导2348(例如,通过反射离开另一表面)或至少减少量的此类反射光到达至少一个波导2348或耦合在其中。

[0275] 对于从不同光学表面反射的圆偏振光线,结果可能类似。例如,图23B示出了入射光线2310从第四延迟器2345的光学表面反射离开。从第四延迟器2345的反射2350切换偏振的旋向性。例如,被描绘为左旋圆偏振的入射光线2310在反射时被转换成被示出为具有右旋圆偏振的光线2350。反射光线2350穿过第三延迟器2340并被转换成垂直偏振光。该垂直

偏振光被第二偏振器2335选择性地衰减或滤除。

[0276] 如上所述,SLM 2375的像素可以例如处于“开启”状态(尽管在一些实施方式中为未驱动状态),其中入射到SLM 2375的该像素上的光从其反射并耦合到至少一个波导2348中并导引到用户的眼睛。然而,SLM 2375的像素可以处于“关闭”状态(在一些实施方式中可以是驱动状态),其中入射到SLM 2375的像素上的光不耦合到至少一个波导2348中并且不耦合到用户的眼睛中。例如,在该“关闭”状态中,SLM 2375的各种实施方式在从其反射时不会引入延迟。因此,在图23B中所示的示例中,入射到SLM 2375上的圆偏振光在从SLM 2375反射时可保持圆偏振。然而,圆偏振光的该旋向性可在从SLM 2375反射时发生变化。例如,图23B中所示的入射到SLM 2375上的左旋圆偏振光的光线2310在从SLM 2375反射时可转换成右旋圆偏振光。然而,该反射光可被第三偏振器2355选择性地衰减。例如,从SLM 2375反射的右旋圆偏振光可穿过盖玻璃2370、补偿器2365和第五延迟器2360。第五延迟器2360可将右旋圆偏振光转换成垂直偏振光,该垂直偏振光被可包括水平偏振器的第三偏振器2355选择性地衰减。因此,在各种实施方式中,当SLM的像素处于“关闭”状态时,第五延迟器2360可以将从SLM 2375的像素反射的光转换成与由第三偏振器2355选择性透射的线性偏振正交的线性偏振。因此,该第三偏振器2355可以选择性地衰减该线性偏振光,从而减少或阻止来自SLM 2375的该像素的光到达至少一个波导2348并被导引到眼睛中。

[0277] 配置的变化(诸如偏振光学元件的变化)是可能的。例如,可以包括更多或更少的圆偏振器。

[0278] 在各种实施方式中,例如,诸如图23C中所示,排除包括第四延迟器2345和第三偏振器2355的第三圆偏振器。在该特定实施方式中,第四延迟器2345、第三偏振器2355和第五延迟器2360未包括在系统中。图23C示出增强现实系统2300的设计,其包括图23A和23B中所示的组件,但不包括第四延迟器2345、第三偏振器2355和第五延迟器2360。尽管如此,尽管排除了第三圆偏振器,增强现实显示系统仍然被配置为减少鬼影图像。例如,第二圆偏振器减少了否则会导致鬼影图像的反射。为了说明,图23C描绘了从第三延迟器2340反射的光,图示为光线2380。从第三延迟器2340的表面反射的行为导致反射的光线2380(其为圆偏振的)切换旋向性。在该示例中,偏振从左旋圆偏振切换为右旋圆偏振。切换的圆偏振光2380然后穿过补偿器2365并入射到盖玻璃2370和SLM 2375上。如上所讨论,SLM 2375可以反射具有相同旋向性的圆偏振光。因此,入射的右旋圆偏振光在反射时可以保持右旋圆偏振的。然后,从SLM 2375反射的该圆偏振光(由光线2382表示)可以穿过盖玻璃2370和补偿器2365并入射到第三延迟器2340上。切换的圆偏振光2382被第二圆偏振器衰减,并且特别是被第三延迟器2340和偏振器2335衰减。如图23C中所示,例如,从SLM 2375反射的圆偏振光2382入射到第三延迟器2340上,并由第三延迟器2340转换成具有与由第二线性偏振器2335选择性透射的偏振不同的(例如正交的)线性偏振。在该情况下,例如,右旋圆偏振光2382由第三延迟器2340转换成与由第二偏振器2335选择性透射的偏振正交的垂直线性偏振。第二偏振器2335衰减或阻止该线性偏振光的透射。

[0279] 通过倾斜系统中的光学表面也可以潜在地减少可有助于鬼影反射的反射。图24示出具有倾斜光学表面的示例配置,该倾斜光学表面用于减少可产生鬼影反射的反射。图24示出增强现实显示系统2400,其包括光源2305,该光源2305发射由光线2310表示的光,该光在朝向空间光调制器(SLM) 2375行进时穿过任何数量的偏振器、延迟器、透镜和/或其它光

学元件。为了说明目的,图24中示出可能形成第一圆偏振器的第一偏振器2312和第一延迟器2315以及透镜2320。然而,可以包括附加组件,或者可以排除或以不同方式布置或配置组件。在所示示例中,SLM 2375包括随其的盖玻璃2370。盖玻璃2370可成为产生鬼影图像的反射的贡献者。因此,在一些实施方式中,盖玻璃2370可成形为将可能产生鬼影图像的反射导引远离用户的眼睛。如所图示的,盖玻璃2370具有可倾斜的表面,使得该表面不与系统的其它组件或光学表面(例如,SLM 2375、第一延迟器2315、第一偏振器2312、至少一个波导2348等,或其光学表面)平行。盖玻璃2370的主表面可以例如具有倾斜的法线,以便不与增强现实显示系统2400或其中的光学组件(诸如光学器件2320)的光轴对齐或平行。通过倾斜,从盖玻璃2370的光学表面的反射可以被导引远离至少一个波导2348或用于将光耦合到至少一个波导2348中的耦合光学元件(例如,耦合光栅或衍射光学元件),并且降低从盖玻璃2370的反射进入至少一个波导2348的可能性。如所图示的,反射光2405被导引回光源2305并远离至少一个波导2348,在该至少一个波导2348处此类光最终可能到达用户的眼睛。在一些实施方式中,反射光2405可被导引回光源并且至少一部分在光源2305处被回收。

[0280] 尽管图24描绘了具有倾斜表面的盖玻璃2370,但是系统中可能出现不需要反射的任何组件上都可以包括倾斜的光学表面,以使反射不耦合到至少一个波导2348中。因此,其它组件(诸如偏振器、延迟器等)上的光学表面可以被倾斜,以减少耦合到至少一个波导2348和用户眼睛中的反射。盖玻璃2370或其它光学组件的形状和大小的变化是可能的。例如,盖玻璃2370或其它光学组件可以更薄。类似地,盖玻璃2370或其它光学组件可以具有与图24中所示的纵横比不同的纵横比(长度与厚度之比)。在一些实施方式中,盖玻璃2370或其它光学组件是楔形的。然而,其它形状也是可能的。

[0281] 其它布置也是可能的。例如,图25示出增强现实显示系统2500的实施方式,其类似于图24中所示的系统2400,但进一步包括用于吸收导向其的光的光转储器2505。系统2500包括倾斜的盖玻璃2370,以将来自盖玻璃2370的反射2510导引到光转储器2505,而不是导引回光源2305。光转储器2505可以包括被配置为吸收光的吸收材料或结构。光转储器2505的位置可以取决于实施方式而改变,例如,取决于倾斜的盖玻璃2370的角度。如上所讨论,该方法可以应用于系统中的其它光学表面。此外,光学元件的形状和大小可以不同。

[0282] 增强现实显示器的宽范围变化是可能的。偏振光学元件的变化是可能的。例如,尽管使用了水平偏振器,但在一些实施方式中,采用垂直偏振器或水平和垂直偏振器的组合。另外,可以使用以除垂直或水平之外的偏振为特征的偏振器。同样,图中所示的光不需要水平偏振,而可以是垂直偏振。类似地,在不同实施方式中,显示为垂直偏振的光可以是水平偏振或反之。也可以使用具有除垂直或水平之外的偏振的线性偏振光。

[0283] 此外,延迟器可以不同地配置。例如,图中的偏振光不必是左旋圆偏振光,而可以是右旋圆偏振光和/或右旋偏振光可以是左旋圆偏振光。其它变化也是可能的。可以采用不同的延迟器配置来产生与所示出的不同的左旋和/或右旋偏振光的组合。此外,在一些实施方式中,可能使用椭圆偏振光来代替圆偏振光。例如,可以采用延迟器将椭圆偏振光转换成线性偏振光,反之亦然。线性偏振器可用于过滤光,并可用于减少如在此所述的鬼影反射。

[0284] 在一些实施方式中,采用其它类型的偏振元件及其配置。例如,延迟器不限于四分之一波延迟器或四分之一波片。例如,在一些实施方式中,各种光学元件具有双折射性。在某些此类情况下,延迟器2315、2330、2340中的任何一个或多个可以包括足以将线性偏振光

转换成圆偏振光的延迟量,并且不需要是四分之一波延迟器。延迟器2315、2330、2340中的任何一个或多个延迟器中可以包括多于或少于四分之一波的延迟,因为延迟可以由其它光学元件贡献。类似地,延迟可以分布在多个光学元件中。作为另一示例,可以采用多个延迟器来提供适当的延迟量。此外,如上所述,在一些实施方式中,可能使用椭圆偏振光代替圆偏振光。例如,可以采用延迟器将椭圆偏振光转换成线性偏振光,反之亦然。线性偏振器可用于过滤光,并可用于减少如在此所述的鬼影反射。

[0285] 此外,光学组件可以是光学层、片和/或膜以及堆叠或一个或多个层、片和/或膜的形式。因此,可以使用不同量、位置和布置的不同偏振元件。例如,一个或多个延迟器和/或偏振器可以包括膜。

[0286] 在一些实施方式中,空间光调制器可以不同地操作。例如,空间光调制器可以对除圆偏振光之外的光进行操作和/或可以输出除圆偏振光之外的光。

[0287] 在AR应用中,衍射波导图像组合器是向用户传递计算机生成图像的一种具有吸引力的方法。这些波导的工作原理是反复分割和耦出含有图像的光线,使耦入光扩散以填充远场观察区,并起到光瞳扩展器的作用。发明人已经确定,分割过程固有地导致光线的重新组合,并且当这种情况发生时,光线相互干涉的机会就会发生。这种干涉效应会导致强度不均匀,其由本发明的实施例来解决。如本文所述,干涉光线路径长度的微小差异(诸如经由波导厚度的微小变化引入的)会导致这些非均匀性的随机发生。事实证明,将有意控制的偏置加入路径长度差中,会导致改进的和更可重复性的亮度均匀性。这种偏置可以是波导厚度的受控变化的形式,沿相对于波导中主要传播路径的某些方向取向。这方面的示例包括光学或物理厚度的楔形锥、光学或物理厚度的抛物线变化等。如本文所述,本发明的实施例可改善各种性能特征,特别是调制传递函数(MTF)、图像清晰度等。

[0288] 总厚度变化(TTV)是用于改善光波导性能的一个指标。如本文所使用的,TTV通常是指波导或波导在其上形成的波导显示基板的厚度的最大值与最小值之差。当光通常通过全内反射行进通过光波导时,厚度的变化使光传播路径改变。光传播路径的角度差异会影响图像质量,如场失真、图像模糊和清晰度损失。

[0289] 在本文所述的一些实施例中,TTV通过光波导的物理厚度的变化来实现。然而,本发明的实施例不限于物理厚度变化,基板的光学厚度变化,其是物理厚度变化和折射率变化的组合,也包括在本发明的范围内。对于本领域的技术人员而言明显的是,光路长度可以用光学厚度变化=物理厚度变化+折射率变化来表示。在利用光束分割和组合行为控制干涉和亮度均匀性的应用中,实现光学厚度变化。在大多数优质光学玻璃中,折射率变化通常很小($ISO\text{ NV} \pm 2 \times 10^{-5}$ 至 $\pm 30 \times 10^{-5}$)。然而,包括聚合物和陶瓷的其他材料不具有这么小的折射率变化。此外,可使用具有梯度折射率材料的材料来制造光波导,以实现光学厚度变化来代替任何物理厚度变化。因此,本文提供的TTV的讨论应理解为包括更广泛类别的光学厚度变化,其可包括具有均匀折射率的物理厚度变化、具有变化(即梯变)折射率的均匀厚度,或物理厚度变化和变化折射率的组合。

[0290] 波导的制备和处理通常通过在波导显示基板(例如,晶片)上将若干波导布置到指定区域来实现。图26A描绘了具有径向布置的波导2602的波导显示基板2600。

[0291] 图26B是示出根据本发明的实施例的波导显示基板厚度随位置变化的图。在图26B中,波导显示基板的厚度对应于图26A中示出的截面A-A'。如图26B所示,厚度的特征为圆顶

形,图中显示的是圆顶的一半。从0mm(对应于波导显示基板的中心)到~30mm的位置,厚度基本不变。厚度的特征为从~30mm到70mm的位置,厚度逐渐减小,从而导致从波导显示基板中心到边缘的厚度变化约为 $0.7\mu\text{m}=700\text{nm}$ 。对于~30mm至70mm的位置,厚度变化随与截面A-A'对齐的方向而减小。这种厚度变化可定义为厚度差梯度,其中,梯度是沿与截面A-A'对齐的方向测量的。如果考虑光路长度,类似的描述也适用于光路长度差的梯度。

[0292] 图26C是示出根据本发明的实施例的波导显示基板厚度随位置变化的图。在图26C中,波导显示基板的厚度对应于图26A中示出的截面B-B'。如图26C所示,厚度随位置的变化是基本均匀的,与波导两侧相比,在波导中心观察的厚度略有增加。

[0293] 除了如图26A中所示的波导2602的径向布置外,一些实施例还利用了直线布置。图26D描绘了具有直线布置波导2612、2614等的波导显示基板2610。因此,实施例包括具有旋转对称性的波导布局,如图26A中所示的四个波导、六个波导或其他数量的波导;以及半导体制造工艺中通常使用的直线布局。

[0294] 图26D中所示的直线布局在光学TTV偏置方面提供了使用旋转对称布局可能无法提供的许多好处。图26E是示出根据本发明的实施例的具有直线布局的波导显示基板的厚度变化的简化示意图。作为示例,在直线布局中,可以实现单向楔形,其中厚度从在波导显示基板的第一侧(即位置A)的第一厚度 t_1 和在波导显示基板的第二侧(即位置A')的第二厚度 t_2 线性变化。图26E通过曲线2620示出了线性变化的厚度变化。因此,波导2612和波导2614的厚度都会随着位置沿线A-A'移动而减小。虽然波导2612的标称厚度比波导2614大,但波导显示基板的厚度变化(例如小于一微米的数量级)与波导的整体厚度(即,几百微米的数量级)相比足够小,因此标称厚度的这种差异对于各种应用都是可接受的。

[0295] 除了线性变化外,还可实现厚度的其他变化,包括二次变化、其他平滑变化的TTV等。可利用这些实施例以便使光传播方向与TTV变化对齐。图26C通过曲线2622示出了针对平滑变化的厚度变化。因此,在一些实施例中,利用球体的截面来提供厚度变化,其中,在其他实施例中,利用线性变化、二次变化或其他合适的变化来实现TTV,从而在整个波导中产生厚度偏置。

[0296] 图26F是示出具有线性布置波导2632的矩形波导显示基板2630。在该示例性实施例中,实现了非圆形形式,以实现利用锥形波导架构和偏置厚度变化,该偏置厚度变化的特征可以为可取决于波导场的布局 and 方向性的厚度变化。如图26F所示,TTV从侧面2634到侧面2636线性增加,如图中包括的图表所示,这是跨基板2630的楔形厚度变化的特征。因此,每个波导2632的特征为沿波导的长度(即沿Y轴)测量的TTV。虽然图26F中示出了矩形几何形状,但也可以利用其他非圆形形状,包括正方形。此外,虽然图26F中示出了厚度的线性变化,但也可以使用平滑变化函数来定义TTV。此外,虽然图26F中示出了随着波导宽度(即沿x轴)的均匀厚度,但在其他实施例中,利用沿长度和宽度二者的厚度变化。

[0297] 图26G是示出根据本发明的实施例的具有局部化TTV的波导显示基板。除了由本发明的实施例提供的例如如图26F所示整体基板TTV外,其他实施例还利用特定波导的局部化TTV。作为示例,特定于单个波导的局部楔形或锥形可通过确定性抛光工艺实现,该确定性抛光工艺在基板中形成具有倾斜底部特征的部分。因此,图26G示出了具有与特定波导相对应的特定“空腔”的基板。因此,在本实施例中,波导的厚度轮廓脱离了波导显示基板的厚度。

[0298] 参考图26G,矩形波导显示基板2640包括线性布置的波导2642。波导2642的在y方向上测量的厚度是均匀的。然而,在x方向测量时,每个波导的厚度都变化,从侧面2634到侧面2636以线性方式递减。这种楔形是每个波导的特征。因此,使用具有整体平面-平面厚度轮廓的波导显示基板2640,提供多个波导2642,每个波导都具有楔形的局部化TTV。虽然图26G中示出了每个波导的线性厚度变化,但这并不是必需的,并且还可以利用其他形状,包括平滑变化的函数。

[0299] 除了确定性抛光形成关于图26G所讨论的局部化TTV外,本发明的范围内还包括实现局部化TTV的其他方法,包括成型工艺等。制造局部化TTV的其他方法包括图案化(掩模)膜沉积(有机、无机、气相真空、大气或纳米压印)、图案化(掩模)蚀刻到基板、空间变化的离子植入或离子扩散以产生折射率变化,并且因此产生光学TTV、用反向TTV图案创建模具以及用其模制聚合物或玻璃、产生所需的TTV偏置的局部化区。

[0300] 可通过制造平面波导显示基板(即TTV为零的波导显示基板)来降低TTV,例如,对基板(例如金属、玻璃或硅基板)进行抛光,或最初对基板(例如聚合物基板)进行高精度模制。然而,抛光可能在波导显示基板及其上形成的波导上产生一定量的曲率。图27A描绘了抛光的平坦波导显示基板2700。图27B和27C分别描绘了抛光的凸波导显示基板2702和抛光的凹波导显示基板2704。虽然抛光可能产生凸或凹的曲率,但本文所述的实施例参照如图27B中所描绘的凸曲率进行解释。

[0301] 由于完全平坦的抛光或模制(如图27A中所描绘的)需要大量且昂贵的处理才能实现,因此通常容忍一定程度的TTV。对于波导显示基板的大多数低TTV工艺(例如 $20\text{nm} < \text{TTV} < 2\mu\text{m}$),存在因部件而异(例如随机变化)的基板的厚度形状或轮廓。这里的“厚度形状”一般是指基板的顶部表面和底部表面之间的高度差的3D映射。在一个示例中,典型的平凸透镜的厚度形状是凸球面或正“圆顶”。在另一示例中,每个表面上具有相同曲率半径的半月形镜片(例如非处方太阳镜)具有平坦的接近零的TTV厚度形状,但每个表面本身是非平面的。当波导被堆叠以形成多层多色波导显示器时,随机厚度形状差异可能导致红、绿、蓝中的每种颜色通道具有不同的亮度均匀性图案。当用均匀的白光图像照射波导堆叠时,亮度均匀性图案的差异可能导致视场内的颜色变化。这些颜色不均匀性可能导致图像质量变差。

[0302] 应该注意的是,虽然图27A-27C示出了具有至少一个平面的波导显示基板,但本发明的实施例并不限于平凸或平凹的几何形状。图27D描绘了具有一个凸面和一个凹面的抛光的半月板波导显示基板2706。图27D中所示的是正透镜,但修改凸面和凹面的曲率也可得到负透镜。图27E描绘了抛光的双凸面波导显示基板2708。图27F描绘了抛光的双凹面波导显示基板2710。因此,为了在分束和合束过程中实现路径长度的可控变化,可以利用各种波导显示基板,包括包含平面的波导显示基板。然而,如图27D-27F所示,使用不利用平面的波导显示结构可实现物理厚度变化、折射率变化或两者的组合(即光学厚度变化)。

[0303] 参考图28A,示出了波导显示基板300具有TTV,如根据抛光波导显示基板的弯曲部分的最高点到最低点测量的。需要注意的是,抛光波导显示基板不一定要有平面,两个表面都可以表现出曲率。完全平坦的波导显示基板302(如图28B所描绘的)具有零TTV。

[0304] 图28C描绘了根据本发明的实施例的一组目镜波导的TTV。参照图28C,在目镜2810中包括一组三个目镜波导:目镜波导2820、第二目镜波导2830和第三目镜波导2840。在一些实施例中,这三个目镜波导分别被设计用于红、绿和蓝波长的光的耦合、传播和耦合。目镜

波导2820包括耦入光栅2822和将光朝向用户耦出的组合光瞳扩展器2824。第二目镜波导2830包括第二耦入光栅2832和将光朝向用户耦出的第二组合光瞳扩展器2834。第三目镜波导2840包括第三耦入光栅2842和将光朝向用户耦出的第三组合光瞳扩展器2844。在一些实施例中,目镜波导2820、第二目镜波导2830和第三目镜波导2840一起层压成单个结构以形成目镜2810。可利用每个目镜波导之间的间隔物(未显示)来保持每个目镜波导之间的固定关系。

[0305] 如图28C所示,沿纵轴(即z轴)测量的厚度以及因此光路长度随横向维度(即x方向和y方向)的变化而变化。在图示的实施例中,每个目镜波导的光路长度变化沿x方向发生,但本发明并不要求这样。因此,如图28C所示,变化的光路长度差从三个目镜波导中每个目镜波导的第一区域(例如,邻近耦入光栅2822、耦入光栅2832和耦入光栅2842的耦入光栅区域)的第一值变化到三个目镜波导中每个目镜波导的第二区域(例如,邻近组合光瞳扩展器2824、第二组合光瞳扩展器2834和第三组合光瞳扩展器2844的组合光瞳扩展器区域)的第二值。

[0306] 目镜中每个目镜波导的光路长度变化可对齐,以使得每个目镜波导中的变化沿单一方向变化(例如减小),并且该单一方向可以是对目镜中所有目镜波导公共的。如图28C所示,每个目镜波导的厚度随与x轴对齐的横向方向而减小。也即,厚度随着在沿x轴的各个点处进行的测量而减小。因此,x轴可被认为是对应于变化的方向。在图28C中,对应于变化的方向在三个目镜波导中每个目镜波导之间是公共的,也即,其是公共方向(即,x轴),并且对应于每个目镜波导的变化的方向与对应于每个目镜波导中的变化的与对应于每个其他目镜波导的变化的方向平行的方向对齐。因此,对应于目镜2810的光路长度的组合减小量是对应于每个目镜波导的光路长度减小量的总和。

[0307] 参照图28C,每个目镜波导的邻近耦入光栅的部分比每个目镜波导的邻近组合光瞳扩展器的部分更厚。因此,变化光路长度差从三个目镜波导中每个目镜波导的第一区域(即对应于耦入光栅)的第一值减小到三个目镜波导中每个目镜波导的第二区域(即对应于组合光瞳扩展器)的第二值。在一些实施方式中,耦入光栅设置在目镜的外围区域附近,而组合光瞳扩展器设置在目镜的鼻部区域附近。因此,在这些实施方式中,目镜的厚度在外围区域附近较厚,而在鼻部区域附近较薄。

[0308] 在其他实施例中,光路长度差以其他方式减小,例如,在鼻部区域附近较厚而在外围区域附近较薄,在组合光瞳扩展器区域较厚而在耦入光栅区域较薄,其组合或类似情况。因此,具有光路长度差梯度的各种结构包括在本发明的范围内,并且本文所讨论的示例仅仅是示例性的。本领域的普通技术人员会认识到许多变化、修改和替代方案。

[0309] 在双目应用中,与右眼相关联的目镜可利用如图28C所示的光路长度的变化,例如,光路长度随相对于目镜的鼻部区域的位置的变化而减小,即在外围的光路长度比鼻部区域附近的光路长度短。与左眼相关的目镜可利用镜面结构,其中,光路长度也随相对于目镜的鼻部区域的位置的变化而减小,但相对于左眼而非右眼。

[0310] 图28D是示出根据本发明的实施例的增强现实系统的简化示意图。增强现实系统2850可实现为适合用户的增强现实耳机。增强现实系统2850包括控制器、和对应于用户左眼的第一组元件以及对应于用户右眼的第二组元件。在图28D所示的实施例中,第一组元件包括左投射器2852、左投射器光学器件2854和一个或多个左目镜波导2856。第二组元件包

括右投射器2852、右投射器光学器件2854和一个或多个右目镜波导2856。对于每只眼睛,使用投射器光学器件将来自投射器的光聚焦到包括目镜波导的目镜上,例如,聚焦到目镜波导的耦合光栅上。如本文所述,由于与目镜相关联的光路长度变化,由增强现实系统2850提供的图像质量高于使用传统方法得到的图像质量。

[0311] 可操作增强现实系统以向用户提供虚拟内容。因此,操作本文所述的增强现实系统(包括图28D所示的增强现实系统2850)的方法包括在本发明的范围内。这些方法可利用本文所述的目镜和目镜波导,本文所述的目镜和目镜波导的特征为跨其横向维度测量的光路长度差,以与传统技术相比提高用户体验。

[0312] 图29描绘了具有最小厚度X的波导显示基板400。也即,波导显示基板的任何部分都不薄于X,并且任何厚度变化都作为X以外的厚度进行测量。最大厚度为h,并且TTV数学上为Y,其中 $Y = h - X$ 。TTV规格通常表示为允许的最大允许TTV(TTV_{max}),而产品规格以低于 TTV_{max} 的TTV(Y)为目标(即 $0 \leq Y < TTV_{max}$)。这里,“超低TTV”波导显示基板是指目标TTV为零(或尽可能接近零)的波导显示基板。需要注意的是,抛光波导显示基板并不要求具有平面,并且两个表面都可以展现出曲率。

[0313] 在光学产品中,当TTV接近于零时,图像质量和均匀性可能会对抛光波导显示基板的特定形状或轮廓敏感。在一个示例中,在20nm TTV和40nm TTV波导显示基板上生产的波导的图像质量(以均匀性衡量)的比较差异可能远高于在100nm TTV基板和120nm波导显示基板上生产的波导的比较质量,尽管这两对都仅相差20nm。换句话说,100nm TTV波导和120nm波导能产生比20nm TTV波导和40nm TTV波导更相似的均匀图像(前一对与后一对相比更呈圆顶形)。因此,100nm TTV波导和120nm TTV波导可在整个产品线中产生较低的图像变化和更一致的图像均匀性。

[0314] 在非平面波导显示基板上生产的波导内光传播路径的路径长度差也可能影响图像质量,出现亮度图案不均匀和色彩不均匀的情况。亮度图案不均匀的来源包括由通过光瞳复制波导显示基板的许多路径产生的电磁干扰图案。典型的光瞳复制波导的单位单元(unit-cell)类似于马赫-泽恩德(Mach-Zehnder)干涉仪,其中,每个单位单元存在从输入到输出复制光瞳位置的两条路径。两条路径之间的路径长度差受通过波导显示基板厚度的路径长度影响,这是由TTV指标和厚度轮廓(厚度是线性变化还是二次曲线变化,以及相对于波导显示器内的全内反射的光的角度)定义的。如果路径长度具有相等或相反的相位,则可能分别产生建设性或破坏性干涉。因此,厚度形状可能会影响光瞳复制副本内的幅度,并最终影响由波导显示器耦合出的输出图像。

[0315] 因此,最小化厚度形状变化和TTV可能是有利的。由于在抛光或模制工艺中可能无法实现完美复制,因此可能会产生某些制造分布。在假设的分布模型中,其中圆形基板形状由Zernike多项式定义,可以定义一组标准的形状基函数。存在偶数和奇数Zernike多项式。偶数Zernike多项式被定义为:

$$[0316] \quad Z_n^m(\rho, \psi) = R_n^m(\rho) \cos(m\psi)$$

[0317] 而奇数Zernike多项式被定义为:

$$[0318] \quad Z_n^m(\rho, \psi) = R_n^m(\rho) \sin(m\psi),$$

[0319] 其中,m和n为非负整数, $n \geq m$,为方位角, ρ 为径向距离,并且 R_n^m 为下面定义的径向多项式。Zernike多项式具有限制在-1到+1的范围内的性质,即径向多项式 R_n^m 对于 $n-m$ 为偶

数被定义为:

$$[0320] \quad R_n^m(\rho) = \sum_{k=0}^{\frac{n-m}{2}} \frac{(-1)^k (n-k)!}{k! \left(\frac{n+m}{2} - k\right)! \left(\frac{n-m}{2} - k\right)!} \rho^{n-2k}$$

[0321] 对于n-m为奇数,恒等地等于0。

[0322] 当TTV接近于零时,图像质量,特别是亮度均匀性,对厚度形状非线性地敏感。换句话说,随着TTV下降到特定阈值以下,即使厚度形状发生微小变化,波导之间的图像质量差异也会越来越大。为了补偿这一异常现象,可以在基板处理中引入具有一致的厚度形状的偏置TTV。如本文所用的,“偏置”TTV通常是指具有非零目标值的TTV。更具体地说,“偏置”TTV通常是指具有目标值为非零的Zernike拟合多项式的一个或多个系数,和目标值为零的Zernike拟合多项式的所有其余系数的基板厚度形状。多个波导显示基板内的厚度形状的一致性通常是指多个波导显示基板的Zernike拟合多项式系数变化较小。在“偏置”TTV的情况下,厚度形状的一致性是指一组波导显示基板具有:(i) 具有从其目标大小(target magnitude)的最小变化的所有非零目标Zernike系数,例如,所有波导显示基板的非零目标系数是其目标大小的约70%至约130%、(ii) 绝对大小大大小于非零目标Zernike系数的所有零目标Zernike系数,例如零目标系数为非零目标系数的0至约30%。

[0323] 偏置TTV和一致的基底厚度形状的示例是,基板基本上被抛光(或模制)成球形,其TTV比基板抛光(或模制)工艺的典型最小TTV范围大许多倍。这种基板形状可以描述为具有楔形(厚度的线性变化)和圆顶(厚度的二次变化)分量。图30描绘了具有高度为W的楔形分量3002、高度为D的圆顶分量504以及具有平面3008和厚度为t且直径为d的圆柱形分量3006的波导显示基板3000。使用Zernike拟合多项式,波导显示基板的平均厚度为 Z_0^0 ,TTV的“楔形”分量的高度可定义为 $\sqrt{Z_1^{-1} + Z_1^1}$,并且TTV的凸“圆顶”分量的高度可定义为 $-2 \times Z_2^0$ 。波导显示基板的平均厚度通常在200 μm 到2000 μm 之间。在产生“圆顶”偏置TTV的基板抛光或模制工艺中,波导显示基板的目标“圆顶”高度 D_t 可在基板直径的 10^{-7} 到 10^{-6} 之间,并且每个基板的“圆顶”高度可小于目标“圆顶”高度的30%,并且“楔形”高度可小于目标“圆顶”高度的30%。在一个示例中,与“圆顶”和“楔形”高度在0至300nm范围内、目标TTV接近于零的多个波导显示基板相比,直径为150nm、平均“圆顶”(D_{mean})高度为1000nm、“圆顶”高度范围(D_{min} 至 D_{max})为700nm至1300nm、且最大“楔形”高度(W_{max})小于300nm的多个波导显示基板,将具有增加的效率、亮度均匀性和颜色均匀性,以及效率、亮度均匀性和颜色均匀性的减小的逐部件变化。在图26的径向显示布局 and 偏向圆顶的一致形状径向对称基板厚度轮廓中,可在布置在单个基板上的众多部件之间以及从基板到基板之间实现从波导显示输入耦合器到输出耦合器的一致厚度变化。与传统波导显示器中使用的具有随机厚度形状的典型超低TTV相比,这种一致厚度形状的布置显示出改进的颜色均匀性和图像质量。

[0324] 具有一致形状的偏置TTV可在多种方法中应用于波导显示基板。对于玻璃或晶体基板,这可通过抛光成偏置形状,或通过对厚度形状变化较小但随机的超低TTV波导显示基板施加厚度不均匀(形状和大小一致)的涂层来应用。对于可模制聚合物材料,可将偏置厚度轮廓设计到生产波导显示基板的模具中。

[0325] 图31A-31C示出超低TTV波导显示基板的波导显示基板产能与TTV、圆顶高度和楔形高度的关系。在这些超低TTV波导显示基板中,圆顶高度和楔形高度的大小通常彼此相

似。此外,圆顶高度的变化范围也与圆顶高度的平均值的大小相似。图31D-31F示出偏置TTV波导显示基板的波导显示基板产能与TTV、圆顶高度和楔形高度的关系。在这些偏置TTV波导显示基板中,圆顶高度的大小大于楔形高度的大小,并且圆顶高度的变化小于平均圆顶高度。图31D-31F描述了偏置关系,但未提及具体数值。偏置TTV容差的规格可表示为:

$$[0326] \quad W_{\max}/D_{\text{mean}} < X$$

$$[0327] \quad (D_{\text{mean}} - D_{\min})/D_{\text{mean}} < Y$$

$$[0328] \quad (D_{\max} - D_{\text{mean}})/D_{\text{mean}} < Z$$

[0329] 通过这些关系,在不同的基板抛光或模制工艺中,X、Y和Z的范围通常在0到10之间。图31A-31C示出了产生比图31D-31F所示的一组波导显示基板更高X、Y和Z值的一组波导显示基板。随着X、Y和Z趋近于零,与使TTV本身趋近于零相反,在多个波导显示基板的多个子部分上产生的多个波导的整体效率不仅会提高,而且具有较少的变化。此外,随着X、Y和Z趋近于零,所产生的波导之间的亮度均匀性和颜色均匀性也会增加,并具有较小的变化。在典型的基板抛光或模制工艺中,随着目标TTV_{max}趋近于零,X、Y和Z会增加。超低TTV波导显示基板的X、Y和Z通常在1-10的范围内,而偏置TTV波导显示基板的X、Y和Z在0至0.3的范围内,因此偏置(或非零目标)TTV可有助于提高波导显示器图像质量。

[0330] 图32A示出了用于典型衍射波导显示器的6英寸晶片上的球形波导显示基板形状的波导眼盒效率与“圆顶”TTV(纳米)的关系,该典型衍射波导显示器具有300μm的平均厚度,和0nm的“楔形”TTV。如在图32A中所见,眼盒效率在400nm的TTV和600nm的TTV之间达到最大值。这里的波导眼盒效率是指进入距衍射波导显示器的输出光栅的眼侧15mm²的15×20mm²矩形区域的光的总和相对于入射到波导显示器输的耦合光栅上的光的总和,如通过典型的衍射波导模拟所计算的。

[0331] 图32B示出用于典型衍射波导显示器的6英寸晶片上的球形波导显示屏基板形状的波导眼盒效率与“圆顶”TTV(以μm为单位)的关系,该典型衍射波导显示器具有300μm的平均厚度。TTV从晶片中心到晶片边缘测量。在图32B中,光瞳效率随着TTV从0μm增加到~0.6μm而增加。因此,如果波导是平的,它将具有与0μm的TTV相对应的~0.0023的光瞳效率。因此,在~0.6μm的TTV处,光瞳效率最大。如图32B所示,光瞳效率可接受的范围(例如大于0.003)是目镜波导设计的函数。因此,根据本发明的实施例,可以利用较大范围的TTV值。

[0332] 图32C示出用于另一衍射波导显示器的6英寸晶片上的球形波导显示基板形状的波导眼盒效率与“圆顶”TTV(以μm为单位)的关系,该另一衍射波导显示器具有300μm的平均厚度。在图32C中,衍射波导显示器利用了二维光栅设计。在这种情况下,在~0.4μm的TTV下,光瞳效率增加到~0.001,并在较大的TTV值范围内保持这一效率。因此,所需的TTV值可以是光栅设计的函数,其中,本发明的实施例提供了TTV的可接受值的范围。

[0333] 本发明人已经确定,如果多层(例如三层)目镜波导层具有相似的TTV轮廓,则由多层目镜波导层(例如三个不同层)制成的目镜堆叠的颜色均匀性可得到改善。与图32A-32C所示的光瞳效率随TTV增加而提高的情况类似,颜色均匀性也会随着TTV变化的增加(达到一定值)而提高。在不限制本发明范围的情况下,发明人认为这种颜色均匀性的提高是因为每一层的均匀性图案与其他层越相似,由所有三层制成的组合图像的颜色就越相似。发明人已经证明,当根据用于制造目镜的晶片的TTV球形分量绘制时,颜色均匀性RMS误差随着TTV的增加而减小。衍射均匀性的这种改善可能是由于每个目镜波导层具有相似的发光均

匀性图案。因此,随着TTV的增加,且在多个目镜波导层之间保持一致,颜色均匀性误差就会减小。

[0334] 此外,除了颜色均匀性之外,发明人还确定使用TTV可改善图像均匀性。使用图像强度的低空间频率变化的度量,本发明人确定,与平坦目镜波导层相比,引入TTV能显著减少低空间频率变化。这种变化的减少产生改善的图像均匀性。因此,与具有较高TTV值的目镜波导(例如TTV在 $0.5\mu\text{m}$ 范围内)相比,具有低TTV值的目镜波导的特征为更高像素到像素均匀性。

[0335] 根据本发明的实施例,提供了与具有光学厚度变化的目镜波导相关的方法和系统。总厚度变化可由折射率变化和/或物理厚度变化产生,并可作为整个基板的总厚度变化(TTV)或基板中多个区域的局部厚度变化(LTV)来实现。如本文所述,可改善目镜波导的图像和颜色均匀性的TTV或LTV,都可以通过使用可沉积在基板的至少一侧或两侧的至少一种或多种薄膜涂层来实现。薄膜涂层(此处称为膜)可具有与基板相似的折射率,例如,折射率在 ~ 1.42 至 ~ 2.0 范围内的氮氧化硅($\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$)。此外,还可以使用 ZnO 、 ZrO_2 、 TiO_2 、 SiC 等膜来实现在 ~ 2.0 至 ~ 2.7 范围内的折射率。此类无机膜可使用物理气相沉积工艺(PVD),诸如蒸发、溅射等,和/或化学气相沉积工艺(CVD),诸如低压等离子体增强型CVD(LPPECVD)、大气压等离子体增强型CVD(APPECVD)、原子层沉积(ALD)等进行沉积。薄膜涂层也可以由有机聚合物组成,该有机聚合物可含有更高折射率的无机纳米颗粒(ZrO_2 、 TiO_2),这可以使聚合物基膜的改性折射率在 $1.7 \sim 2.0$ 的折射率范围内。在一些实施方式中,基体聚合物材料可包括树脂材料,诸如环氧乙烯基酯。树脂可包括乙烯基单体(例如甲基丙烯酸甲酯)和/或双官能或三官能乙烯基单体(例如二丙烯酸酯、三丙烯酸酯、二甲基丙烯酸酯等),除疏之外单体中还可含有或不含有芳香族分子。在一些实施方式中,基体聚合物材料的折射率可在约从 1.5 至 1.75 的范围内。在一些实施方式中,基体材料可包括可使用紫外光和/或热固化的环状脂肪族环氧树脂。此外,基体聚合物材料还可包括紫外线阳离子光引发剂和共反应物,以促进在环境条件下的有效紫外线固化。预聚物复合树脂可含有具有功能性表面的纳米颗粒(例如 ZrO_2 、 TiO_2),以防止颗粒团聚,并保持复合树脂溶液中颗粒的均匀分散性,一旦复合树脂溶液被涂覆并固化,将有助于改善在现有修改的TTV的基体基板内经历全内反射的光的散射损耗。这些聚合树脂可使用喷墨分配、旋涂、槽模涂布、凹版涂布等来沉积。这些薄膜可与由 SiO_2 ($n=1.42$)、钡镧石(例如 BaF) ($n=1.58$)、镧镧石(例如 LaF) ($n=1.75$)、钽镧石(例如 TaF) ($n=1.77$)、致密钽镧石(例如 TAFD55) ($n=2.0$)、 LiNbO_3 ($n=2.25$)或 SiC ($n=2.65$)制成的基板结合使用。在一些实施方式中,可以使用例如反应离子蚀刻(RIE)、电感耦合等离子体增强RIE(RIE-ICP)或离子束蚀刻(IBE)等干刻方法,以类似图33所示的方式使膜成形。

[0336] 图33是示出根据本发明的实施例的在形成反向圆顶厚度变化中所用的过程流程的简化示意图。除了通过抛光形成反向圆顶厚度变化的方法之外,图33还示出了一组方法,该组方法利用在具有类似折射率的波导基板的至少一侧上的至少一个薄膜涂层(其可通过本文所述的各种方法形成)来增强内部光传播,以使得朝向用户眼睛耦出的虚拟图像更加均匀并充满预期视野,并具有改善的颜色均匀性的特征。

[0337] 参考图33,基板3305,例如折射率为 1.9 的玻璃基板,涂覆有薄膜3307,通常是氮化硅(Si_3N_4)的沉积膜,其具有与基板3305的折射率基本匹配的折射率。薄膜3307和基板3305

在本例中都具有均匀的厚度轮廓,因此形成了具有均匀厚度轮廓的基板结构3311。基板结构3311可以使用优先蚀刻来蚀刻,以形成变化厚度膜3308,从而形成具有TTV的基板结构3313。基板结构3313具有反向圆顶轮廓,其在外围的厚度比在基板结构的中心厚。在薄膜的折射率与基板匹配的实施方式中,基板结构在光学上等同于具有TTV的基板。在典型的实施方式中,基板3305的厚度约为 $350\mu\text{m}$,而变化厚度膜3308的厚度约为 $1\mu\text{m}$,其TTV的范围为 300nm - 600nm 。

[0338] 在可选过程3330中,基板结构3313可在第二面3315上进行处理以形成双面结构,例如,TTV由变化厚度膜3308的TTV与在第二面3315上制造的附加变化厚度膜(未显示)的TTV结合来定义。在可选过程3330中进行可选双面处理后,可利用过程3332在变化厚度膜3308、第二面3315和/或可在第二面3315上制造的附加变化厚度膜(未显示)上压印衍射图案。可以利用接触印刷或光刻工艺。压印后,可利用蚀刻和/或沉积工艺来产生由压印、残余层厚度(RLT)、其组合等所定义的厚度梯度。

[0339] 作为替代方案,可在基板3305上沉积变化厚度膜3320,以产生具有TTV的基板结构3322。可均匀蚀刻变化厚度膜3320以产生变化厚度膜3308或在可选过程3330中进行可选的双面处理。因此,利用蚀刻工艺形成变化厚度膜(例如,如由变化厚度膜3308所图示)的实施例,以及利用沉积工艺形成变化厚度膜(例如,如由变化厚度薄膜3320所图示)的实施例,均包括在本发明的范围内。

[0340] 发明人已经确定,图33所示的反向圆顶轮廓很难通过晶片抛光来实现。因此,本发明的实施例能够使用薄膜沉积/蚀刻来制造使用传统晶片抛光技术难以实现的结构。应当注意的是,虽然基板3305被图示为具有均匀厚度,但具有第一TTV的基板可与具有第二TTV的膜一起使用,以产生具有等于预定厚度轮廓的组合TTV的涂覆基板。因此,本发明的实施例并不限于具有预定TTV的基板,而是将TTV的概念扩展到具有TTV的膜的使用,从而实现独立于晶片抛光技术的实施方案。

[0341] 图34是示出根据本发明的实施例的在形成反向圆顶厚度变化中所用的过程流程的简化示意图。图34中示出的过程和结构与图33中示出的过程和结构共享共同要素,但产生圆顶厚度变化而不是图33中示出的反向圆顶厚度变化。

[0342] 参考图34,基板3405(例如折射率为1.9的玻璃基板)涂覆有薄膜3407,通常是氮化硅(Si_3N_4)的沉积膜,其具有与基板3405的折射率基本匹配的折射率。薄膜3407和基板3405在本示例中都具有均匀的厚度轮廓,因此形成了具有均匀厚度轮廓的基板结构3411。基板结构3411可使用优先蚀刻来蚀刻,以形成变化厚度膜3408,从而形成具有TTV的基板结构3413。基板结构3413具有圆顶轮廓,其在基板结构的中心比在外围厚。在薄膜的折射率与基板匹配的实施例中,基板结构在光学上等同于具有TTV的基板。在典型的实施方式中,基板3405的厚度约为 $350\mu\text{m}$,而变化厚度膜3408的厚度约为 $1\mu\text{m}$,其TTV的范围为 300nm - 600nm 。

[0343] 在可选过程3430中,基板结构3413可在第二面3415上进行处理以形成双面结构,例如,TTV由变化厚度膜3408的TTV与在第二面3415上制造的附加变化厚度膜(未显示)的TTV组合来定义。在可选过程3430中进行可选双面处理后,可利用过程3432在变化厚度膜3408、第二面3415和/或可在第二面3415上制造的附加变化厚度膜(未显示)上压印衍射图案。可以利用接触印刷或光刻工艺。压印后,可利用蚀刻和/或沉积工艺来产生由压印、残余层厚度(RLT)、其组合等所定义的厚度梯度。

[0344] 作为替代方案,可在基板3405上沉积变化厚度膜3420,以产生具有TTV的基板结构3422。可均匀蚀刻变化厚度膜3420以产生变化厚度膜3408或在可选过程3430中进行可选的双面处理。因此,利用蚀刻工艺形成变化厚度膜(例如,如由变化厚度薄膜3408所图示)的实施例,以及利用沉积工艺形成变化厚度膜(例如,如由变化厚度薄膜3420所图示)的实施例,均包括在本发明的范围内。

[0345] 本文讨论的LTV和TTV可使用模板(stencil)来实现,模板可在沉积或蚀刻过程中控制等离子体密度。等离子体增强沉积技术,诸如等离子体增强化学气相沉积(PECVD),可用于制造具有TTV的膜。此外,还可以利用依赖蒸发、溅射等(例如,使用物理气相沉积(PVD)、化学气相沉积(CVD)、PECVD等)的均匀膜镀膜技术来形成均匀薄膜,然后进行可选的模板控制蚀刻过程,例如等离子体蚀刻,其定义特定的蚀刻图案,并在基板上形成所需的LTV/TTV轮廓。然后,可使用压印平板印刷或光刻技术对涂层或蚀刻轮廓进行图案化,以形成衍射图案,随后可进行或不进行蚀刻或沉积步骤,以在涂层、附加涂层或图案下方的涂层中定义衍射图案。

[0346] 图35A-35B是示出根据本发明的各种实施例的喷淋头设计的简化截面图。参照图35A,提供了具有多个孔3512的喷淋头3510,该喷淋头可在沉积过程中使用。多个孔3512设置在喷淋头3510的外围附近,但不设置在喷淋头3510的中心。多个孔3512的间距可随横向位置的变化而变化。使用诸如图35A中所示的喷淋头,可实现类似于与图33中所示的变化厚度膜3320相关的轮廓的反向圆顶轮廓,与喷淋头外围附近的沉积速率相比,该喷淋头降低了中心附近的等离子体密度和所产生的沉积速率。

[0347] 参照图35B,提供了具有多个孔3522的喷淋头3520,该喷淋头可在沉积过程中使用。多个孔3522设置在喷淋头3520的中心附近,但不设置在喷淋头3520的外围。多个孔3522的间距可随横向位置的变化而变化。使用如图35B中所示的喷淋头,可以实现类似于与图34中所示的变化厚度膜3420相关的轮廓的圆顶轮廓,与中心附近的沉积速率相比,该喷淋头降低了喷淋头外围附近的等离子体密度和所产生的沉积速率。

[0348] 图35C是示出根据本发明的实施例的蚀刻掩膜的简化示意图。参照图35C,提供了可在蚀刻过程中使用的具有多个孔3532的蚀刻掩膜3530,该多个孔具有不同的尺寸。多个孔3532跨蚀刻掩膜3530的面设置,孔的尺寸从邻近蚀刻掩膜3530的外围的小尺寸变化到邻近蚀刻掩膜3530的中心的大尺寸。多个孔3532的间距也可随横向位置的变化而变化。使用诸如图35C中所示的蚀刻掩膜,可实现类似于与图33中所示的变化厚度膜3320相关的轮廓的反向圆顶轮廓,与蚀刻掩膜中心附近的蚀刻速率相比,该蚀刻掩膜降低了外围附近的蚀刻速率。在一些实施例中,蚀刻掩膜的一部分没有孔,从而将这些部分的蚀刻速率例如降为零。与阴影掩膜和可变密度等离子体沉积和蚀刻相关的附加描述在于2020年1月7日发布的美国专利No.10,527,865中提供,其公开内容在此通过引用以其整体并入本文。

[0349] 因此,使用本发明的实施例,可沉积一层或多层薄膜,例如,使用PECVD和改进的等离子体喷淋头来增加某些区域的反应和反应物的密度或降低反应/反应物的密度。因此,本发明的实施例提供了在基板上制造具有圆顶形状或反向圆顶形状的薄膜(例如 Si_3N_4 膜)的能力。在沉积过程中,可选择前驱体以形成具有预定折射率的膜。作为示例,通过改变氧含量,可生长出折射率在从1.45(即 SiO_2)到~2.0(Si_3N_4)范围内的硅氮氧化物。

[0350] 图36A是根据本发明的实施例的示出厚度变化的基板的简化平面图。如图36A所

示,控制沉积和/或蚀刻过程以产生覆盖整个基板区域的TTV。如关于图36F更完整地讨论的,厚度变化仅覆盖基底的部分或区域,从而产生可在基板的特定区域重复多次的LTV。参照图36A,跨基板3610的厚度变化由图例说明,图例显示厚度变化范围从基板外围附近的~0nm到基板中心的~500nm。因此,在该图中,示出了圆顶形轮廓。

[0351] 图36B是示出根据本发明的实施例的单面厚度变化的简化截面图。该单面厚度变化可被实施为实现图36A中所示的圆顶形轮廓,其中,从外围到中心的变化为~500nm。在图36B中,基板3620是厚度均匀的基板,而膜3622的厚度随横向位置的变化而变化。

[0352] 图36C是示出根据本发明的实施例的双面厚度变化的简化截面图。该双面厚度变化可被实施为实现图36A中所示的圆顶形轮廓,其中,在基板的第一侧从外围到中心的变化为~250nm,并且在基板的第二侧从外围到中心的变化为~250nm。在图36C中,基板3630是厚度均匀的基板,而膜3632和膜3634的厚度随横向位置的变化而变化。虽然图36C中显示膜3632和膜3634相匹配,但这并不是必需的,它们可以具有不同的厚度轮廓,例如膜3632从外围到中心变化~100nm,而膜3634从外围到中心变化~400nm。本领域的普通技术人员会认识到许多变化、修改和替代方案。

[0353] 图36D是示出根据本发明的实施例的变化高度的纳米特征的简化示意图。如图36D中所示,膜3622的厚度随横向维度的变化而变化。如关于图36A和36B所讨论的,厚度变化可为约350nm。参照图36D,在膜3622中形成的纳米特征3640的高度可随横向维度的变化而变化,例如,在变化高度膜或基板上,可从约100nm(即,由左侧纳米特征示出)向下变化至~0nm(即,由右侧纳米特征示出)。这些变化高度的纳米特征可例如使用接触印刷被压印、使用光刻形成、被蚀刻或其他方式形成在膜3622中,如上所述,膜3622的高度也是变化的。

[0354] 图36E是示出根据本发明的实施例的单一高度纳米特征的简化示意图。在图36F所示的实施例中,膜3622包括纳米特征3650,其具有随着横向位置的变化而变化的均匀高度。这些高度均匀的纳米特征可以被压印、蚀刻或以其它方式形成在膜3622中,如上所述,膜3622的高度是变化的。

[0355] 图36F是根据本发明的另一实施例的示出厚度变化的基板的简化平面图。在图36F中,基板3660的六个区域3661、3662、3663、3664、3665和3666的特征为局部厚度变化(LTV)。六个区域中的每个区域的特征为图36A中所示的基板3610的高度变化特征,而不是跨整个基板的单一高度变化。模板或其他掩模图案可用于定义六个区域,每个区域可对应于目镜元件。因此,如图36F中所示,可以实现高度变化的定制。虽然示出了具有LTV的六个区域,但可以理解的是,可以利用更少数量的区域或更多数量的区域。本领域的普通技术人员会认识到许多变化、修改和替代方案。

[0356] 图36G是示出根据本发明的实施例的单面厚度变化的简化截面图。图36G示出了与图36F中的截面A-A'相对应的截面,图中示出了区域3662和3665,其特征为单面厚度变化,实施单面厚度变化以实现锥形轮廓,其中,从每个区域的外边缘到内边缘的变化为~500nm。在图36G中,基板3660是厚度均匀的基底,而膜3668和膜3669的厚度随横向位置的变化而变化。

[0357] 图36H是示出根据本发明的实施例的双面厚度变化的简化截面图。图36H也示出了与图36F中的截面A-A'相对应的截面,图中示出了区域3662和3665,其现在以双面厚度变化为特征,实施双面厚度变化以实现锥形轮廓,其中,在基板的每一侧,从每个区域的外边缘

到内边缘的线性变化为 $\sim 250\text{nm}$ 。

[0358] 图37A是根据本发明的实施例的示出厚度变化的基板的简化平面图。在图37A中,基板3710呈矩形形式,而不是如关于基板3610所示出的圆形。参照图37A,跨基板3710的厚度变化被定义在四个区域3711、3712、3713和3714中,每个区域的厚度变化范围从基板每个区域外围的左侧附近的 $\sim 0\text{nm}$ 到区域右侧边缘的 $\sim 500\text{nm}$ 。因此,在本图中,示出了具有高度跨区域线性增加的一系列锥形轮廓。除了圆形和矩形基板,还可以利用其他基板形式,包括正方形基板或网状形式基板。

[0359] 图37B是示出根据本发明的实施例的单面厚度变化的简化示意图。可实施该单面厚度变化以实现图37A中所示的一组线性锥形轮廓,跨每个区域具有 $\sim 500\text{nm}$ 的变化。

[0360] 图37C是示出根据本发明的实施例的双面厚度变化的简化示意图。可实施该双面厚度变化以实现图37A中所示的线性锥形轮廓,其中,从每个区域的一个边缘到每个区域的相对边缘的变化为 $\sim 250\text{nm}$,并且在基板的第二侧从边缘到边缘的对应变化为 $\sim 250\text{nm}$ 。

[0361] 图37D是根据本发明的另一实施例的示出厚度变化的基板的简化平面图。在图37D中,以类似于与图37A有关的讨论的方式,基板3720的九个区域3721、3722、3723、3724、3725、3726、3727、3728和3729的特征为LTV。九个区域中的每个区域的特征为图37A中所示的四个区域的高度变化特征,而不是跨整个基板的单一高度变化。模板或其他掩模图案可用于定义九个区域,每个区域可对应于目镜元件。在图37D中所示的示例中,使用了矩形基板,并且厚度沿矩形的长度变化,这提供了图36F中所示的基于极坐标的布局的替代方案。在其他实施例中,不是所有目镜波导的厚度变化都沿同一方向增加,而是一些目镜波导的厚度变化可以相反,即沿长度方向减少,沿宽度方向增加/减少,或类似情况。因此,本发明的实施例可以在各种基板几何形状和各种目镜波导几何形状上实现。

[0362] 图37E是示出根据本发明的实施例的单面厚度变化的简化示意图。图37E示出了与图37D中的截面B-B'相对应的截面,图中示出了区域3727、3728和3729,其特征为单面厚度变化,实施单面厚度变化以实现锥形轮廓,其中,从每个区域的左边缘到右边缘的线性变化为 $\sim 500\text{nm}$ 。

[0363] 图37F是示出根据本发明的实施例的双面厚度变化的简化示意图。可实施该双面厚度变化以实现图37D中所示的线性锥形轮廓,其中从每个区域的一个边缘到每个区域的相对边缘的变化为 $\sim 250\text{nm}$,并且在基板的第二侧从边缘到边缘的对应变化为 $\sim 250\text{nm}$ 。

[0364] 图38A-41F是示出基于薄膜TTV的具有各种厚度变化的目镜波导的简化截面图。如下文更完整地描述的,在关于图38A-38F讨论的示例中,薄膜厚度从对应于耦合入光栅的区域到对应于组合光瞳扩展器的区域减小。关于图38A-41F讨论的示例仅仅是示例性的,并不旨在限制本发明的范围或根据本发明实施例使用的架构。参照图28C,图38A-41F中示出的目镜波导可代替目镜波导2820、第二目镜波导2830和第三目镜波导2840用作目镜的元件。因此,在本文所述系统中,基板的光路长度(例如厚度)变化的实施例和基板结构的光路长度(例如厚度)变化的实施例是可互换的。

[0365] 图38A是示出根据本发明的实施例的具有单面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。如图38A所示,可变厚度膜3812例如通过沉积形成在以均匀厚度为特征的基板3810上。虽然基板3810被图示为具有均匀厚度,并且基板结构3813(其包括可变厚度膜3812和基板3810)的厚度变化仅由可变厚度膜3812的厚度变化引起,但将理解的是,基板3810也可以以

一定的厚度变化为特征,这可以在可变厚度膜3812的沉积过程中加以考虑,以产生具有所需总厚度变化的基板结构3813。

[0366] 衍射结构,包括耦入光栅3814和组合光瞳扩展器3816,在本实施例中包括可变高度纳米特征,形成于可变厚度膜3812上。对于本领域的技术人员而言明显的是,耦入光栅3814和组合光瞳扩展器3816的表示仅用于说明目的。对于图38A所示的目镜波导,输入光在耦入光栅3814下方接收,传播通过抗反射涂层3818和基板3810,通过耦入光栅3814耦合到可变厚度膜3812和基板3810中,并在基板3810和可变厚度膜3812中传播,然后通过组合光瞳扩展器3816耦出。因此,随着光从耦入光栅3814传播到组合光瞳扩展器3816,目镜波导的厚度减小。在单面目镜波导的替代实施例中,耦入光栅3814和组合光瞳扩展器3816制造在基板3810上,并且可变厚度膜3812位于抗反射涂层3818和基板3810之间。

[0367] 图38B是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。图38B中示出的目镜波导与图38A中示出的目镜波导共享共同的元素,但增加了第二可变厚度膜3820和第二组合光瞳扩展器3826。因此,基板结构3823包括可变厚度膜3812、基板3810和第二可变厚度膜3820,并且其特征为由这些元件的厚度在横向尺寸上的变化引起的总可变厚度。虽然图38B中示出了双面结构,但替代的实施例移除第二可变厚度膜3820,并在基板3810上定义第二组合光瞳扩展器3826。因此,在本实施例和其他实施例中,可在单面可变厚度膜的背景下实现衍射结构的双面图案化。

[0368] 图38C是示出根据本发明的另一实施例的具有双面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。图38C中示出的目镜波导与图38B中示出的目镜波导共享共同的元素,但去除了衍射纳米特征之间的互连层。

[0369] 图38D是示出根据本发明的又一实施例的具有双面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。图38D中示出的目镜波导与图38C中示出的目镜波导共享共同的元素,但增加了对可变厚度膜3812和第二可变厚度膜3820的部分蚀刻,以提高衍射结构的衍射效率,衍射结构由耦入光栅3814和与可变厚度膜3812的剩余部分一起的组合光瞳扩展器3816以及与可变厚度膜3820的剩余部分一起的第二组合光瞳扩展器3826定义。

[0370] 图38E是示出根据本发明的替代实施例的具有双面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。图38E中示出的目镜波导与图38D中示出的目镜波导共享共同的元素,但去除了组合光瞳扩展器3816和第二组合光瞳扩展器3826。在本实施例中,与组合光瞳扩展器3816和第二组合光瞳扩展器3826相关的衍射特性通过可变厚度膜3812的剩余部分和第二可变厚度膜3820的剩余部分实现。在一些实施例中,还可部分或全部移除耦入光栅3814,而偏向于在可变厚度膜3812中蚀刻或以其他方式形成衍射结构。

[0371] 图38F是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化和覆层的目镜波导的简化截面图。图38F中示出的目镜波导与图38B中示出的目镜波导共享共同的元素,但增加了覆层3830。与可变厚度膜3812和第二可变厚度膜3820的折射率相比,覆层3830可以是高折射率材料。覆层3830可按所需图案沉积,或沉积并且然后蚀刻以形成所需图案。

[0372] 图38A-38F中所示的目镜波导可用于增强现实设备中,该增强现实设备包括投射器、光学耦合到投射器的投射器光学器件以及光学耦合到投射器光学器件并包括一个或多个目镜波导的目镜。如图38A-38F所示,每个目镜波导都可实现为基板结构,该基板结构的特征为横向维度和一个或多个层,其中一个或多个层中的至少一层的特征为随着横向维度

中的一个或多个变化的光路长度差(例如厚度变化)。如图38A所示,基板结构可包括基板和耦合到基板的可变厚度层,基板和可变厚度层的折射率相匹配或在给定值范围内。多个目镜波导可以层叠在一起,其中每个目镜波导的厚度变化的梯度对齐,以形成目镜。因此,在使用三个目镜波导的一些实施例中,每个目镜波导中的可变厚度层都对齐,以使得每个可变厚度层的厚度沿同一方向减小。因此,对于使用与图38A中所示目镜波导类似的三个目镜波导的目镜而言,每个可变厚度层(即图38A中的可变厚度膜3812)的厚度将沿着从耦入光栅指向组合光瞳扩展器的方向减小。因此,每个可变厚度层的梯度将对齐,从每个目镜波导的耦入光栅指向每个目镜波导的组合光瞳扩展器。

[0373] 图39A-39F是示出基于薄膜TTV的具有各种厚度变化的目镜波导的简化截面图。这些示例对应于关于图38A-38F所讨论的示例,但薄膜厚度从对应于耦入光栅的区域到对应于组合光瞳扩展器的区域增加。

[0374] 图39A是示出根据本发明的实施例的具有单面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。图39A中示出的目镜波导与图38A中示出的目镜波导共享共同的元素,但可变厚度膜3912的厚度以与图38A中示出的相反的方式增加,即随着光在基板3910和可变厚度膜3912中从耦入光栅3914向组合光瞳扩展器3916传播,厚度增加。

[0375] 图39B是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。图39B中示出的目镜波导与图38B中示出的目镜波导共享共同的元素,但是可变厚度膜3912和第二可变厚度膜3920的厚度以与图38B中示出的相反的方式增加。

[0376] 图39C是示出根据本发明的另一实施例的具有双面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。图39C中示出的目镜波导与图39B中示出的目镜波导共享共同的元素,但去除了衍射纳米特征之间的互连层。

[0377] 图39D是示出根据本发明又一实施例的具有双面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。图39D中示出的目镜波导与图39C中示出的目镜波导共享共同的元素,但增加了可变厚度膜3912和第二可变厚度膜3920的部分蚀刻,以提高衍射结构的衍射效率,衍射结构由耦入光栅3914和与可变厚度膜3912的剩余部分一起的组合光瞳扩展器3916以及与第二可变厚度膜3920的剩余部分一起的第二组合光瞳扩展器3926定义。

[0378] 图39E是示出根据本发明的替代实施例的具有双面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。图39E中示出的目镜波导与图39D中示出的目镜波导共享共同的元素,但去除了组合光瞳扩展器3916和第二组合光瞳扩展器3926。在本实施例中,与组合光瞳扩展器3916和第二组合光瞳扩展器3926相关的衍射特性通过可变厚度薄膜3912的剩余部分和第二可变厚度薄膜3920的剩余部分实现。

[0379] 图39F是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化和覆层的目镜波导的简化截面图。图39F中示出的目镜波导与图39B中示出的目镜波导共享共同的元素,但增加了覆层3930。

[0380] 因此,如在图38A-39F中所示的实施例中所图示的,形成在基板上的可变厚度膜,包括与基板的折射率匹配的膜,可利用具有薄RLT的压印、具有折射率不匹配的光致抗蚀剂的压印、光致抗蚀剂加蚀刻膜图案、蚀刻膜图案或沉积在压印或光致抗蚀剂图案化聚合物上的膜等。可变厚度膜可使用CVD、PVD或树脂喷涂法(如喷墨法)、用于高折射率聚合物膜涂布的槽模涂布等来沉积,以产生保形膜、双向膜;或者可变厚度膜可使用闪烁角沉积来形

成。具有预定TTV的设置基板结构上的蚀刻或沉积的图案构造可以使用聚合物(例如低折射率聚合物)或无机材料(诸如使用CVD过程的可流动 SiO_2)进行平面化,以便减少彩虹伪影并增加透视透射率,如关于图42A-42C更详细讨论的。

[0381] 在图38A-41F所示的不同构造中,具有定制TTV的膜形成在厚度均匀的基板上。应该注意的是,膜可以是两层或多层可变厚度膜的组合,其中邻近基板的第一膜可以是具有低折射率的膜,例如 SiO_2 、 MgF_2 等,而远离基板的附加膜可以是具有高折射率的膜,例如 Si_3N_4 、 ZnO 、 ZrO_2 、 TiO_2 、 SiC 、 ZnTe 、BP等。第一低折射率膜可以形成为均匀膜,例如厚度在大约10nm到50nm之间,而附加的高折射率膜可引入厚度变化,例如具有在1 μm 范围内的厚度,以及在300nm-600nm之间的TTV。

[0382] 图40A是示出根据本发明的实施例的具有单面总厚度变化和低折射率膜的目镜波导的简化截面图。如图40A所示,可变厚度膜4012例如通过沉积形成在中间膜4011上,中间膜4011形成在以均匀厚度为特征的基板4010上。因为中间膜4011设置在基板4010和可变厚度膜4012之间,其被称为中间膜,中间膜4011的特征可以为均匀的厚度,并且其折射率可以小于基板4010和可变厚度膜4012的折射率。虽然基板4010被图示为具有均匀厚度,并且基板结构4013(其包括可变厚度膜4012、中间膜4011和基板4010)的厚度变化仅由可变厚度膜4012的厚度变化引起,但将理解的是,基板4010和/或中间膜4011也可以以一定的厚度变化为特征,这可以在可变厚度膜4012的沉积过程中加以考虑,以产生具有所需总厚度变化的基板结构4013。

[0383] 本发明人已经确定,添加中间膜4011的作用是对通过TIR在基板结构中传播的光线进行光学分割。这种光线的倍增产生虚拟内容中的图像填充,并改善用户体验。

[0384] 衍射结构,包括耦入光栅4014和组合式光瞳扩展器4016,在本实施例中包括可变高度纳米特征,形成于可变厚度膜4012上。对于本领域的技术人员而言明显的是,耦入光栅4014和组合光瞳扩展器4016的表示仅用于说明目的。对于图40A所示的目镜波导,输入光在耦入光栅4014下方接收,传播通过抗反射涂层4018和基板4010,通过耦入光栅4014耦合到可变厚度膜4012、中间膜4011和基板4010中,并在基板4010、中间膜4011和可变厚度膜4012中传播,然后通过组合光瞳扩展器4016耦出。因此,随着光从耦入光栅4014传播到组合光瞳扩展器4016,目镜波导的厚度减小。在单面目镜波导的替代实施例中,耦入光栅4014和组合光瞳扩展器4016制造在基板4010上,并且中间膜4011和可变厚度膜4012位于抗反射涂层4018和基板4010之间。

[0385] 图40B是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化和低折射率膜的目镜波导的简化截面图。图40B中示出的目镜波导与图40A中示出的目镜波导共享共同的元素,但增加了第二中间膜4021、第二可变厚度膜4020和第二组合光瞳扩展器4026。因此,基板结构4023包括可变厚度膜4012、中间膜4011、基板4010、第二中间膜4021和第二可变厚度膜4020,并且其特征为由这些元件的厚度在横向尺寸上的变化引起的总可变厚度。虽然图40B中示出了双面结构,但替代的实施例移除第二中间膜4021和第二可变厚度膜4020,并在基板4010上定义第二组合光瞳扩展器4026。因此,在本实施例和其他实施例中,可在单面可变厚度膜的背景下实现衍射结构的双面图案化。

[0386] 图40C是示出根据本发明的另一实施例的具有双面总厚度变化和低折射率膜的目镜波导的简化截面图。图40C中示出的目镜波导与图40B中示出的目镜波导共享共同的元

素,但去除了衍射纳米特征之间的互连层。

[0387] 图40D是示出根据本发明的又一实施例的具有双面总厚度变化和低折射率膜的目镜波导的简化截面图。图40D中示出的目镜波导与图40C中示出的目镜波导共享共同的元素,但增加了对可变厚度膜4012和第二可变厚度膜4020的部分蚀刻,以提高衍射结构的衍射效率,衍射结构由耦入光栅4014和与可变厚度膜4012的剩余部分一起的组合光瞳扩展器4016以及与第二可变厚度膜4020的剩余部分一起的第二组合光瞳扩展器406定义。

[0388] 图40E是示出根据本发明的替代实施例的具有双面总厚度变化和低折射率膜的目镜波导的简化截面图。图40E中示出的目镜波导与图40D中示出的目镜波导共享共同的元素,但去除了组合光瞳扩展器4016和第二组合光瞳扩展器4026。在本实施例中,与组合光瞳扩展器4016和第二组合光瞳扩展器4026相关的衍射特性通过可变厚度膜4012的剩余部分和第二可变厚度膜4020的剩余部分实现。在一些实施例中,还可部分或全部移除耦入光栅4014,而偏向于在可变厚度膜4012中蚀刻或以其他方式形成衍射结构。

[0389] 图40F是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化和低折射率膜以及覆层的目镜波导的简化截面图。图40F中示出的目镜波导与图40B中示出的目镜波导共享共同的元素,但增加了覆层4030。与可变厚度膜4012和第二可变厚度膜4020的折射率相比,覆层4030可以是高折射率材料。覆层4030可按所需图案沉积,或沉积并且然后蚀刻以形成所需图案。

[0390] 图41A是示出根据本发明的实施例的具有单面总厚度变化和低折射率膜的目镜波导的简化截面图。图41A中示出的目镜波导与图40A中示出的目镜波导共享共同的元素,但可变厚度膜4112的厚度以与图40A中示出的相反的方式增加,即随着光在基板4110、中间膜4111和可变厚度膜4112中从耦入光栅4114向组合光瞳扩展器4116传播,厚度增加。

[0391] 图41B是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化和低折射率膜的目镜波导的简化截面图。图41B中示出的目镜波导与图40B中示出的目镜波导共享共同的元素,但是可变厚度膜4112、中间膜4111和第二可变厚度膜4120的厚度以与图40B中示出的相反的方式增加。也示出了第二组合光瞳扩展器4126。

[0392] 图41C是示出根据本发明的另一实施例的具有双面总厚度变化和低折射率膜的目镜波导的简化截面图。图41C中示出的目镜波导与图41B中示出的目镜波导共享共同的元素,但去除了衍射纳米特征之间的互连层。

[0393] 图41D是示出根据本发明的又一实施例的具有双面总厚度变化和低折射率膜的目镜波导的简化截面图。图41D中示出的目镜波导与图41C中示出的目镜波导共享共同的元素,但增加了可变厚度膜4112和第二可变厚度膜4120的部分蚀刻,以提高衍射结构的衍射效率,衍射结构由耦入光栅4114和与可变厚度膜4112的剩余部分一起的组合光瞳扩展器4116以及与第二可变厚度膜4120的剩余部分一起的第二组合光瞳扩展器4126定义。

[0394] 图41E是示出根据本发明的替代实施例的具有双面总厚度变化和低折射率膜的目镜波导的简化截面图。图41E中示出的目镜波导与图41D中示出的目镜波导共享共同的元素,但去除了组合光瞳扩展器4116和第二组合光瞳扩展器4126。在本实施例中,与组合光瞳扩展器4116和第二组合光瞳扩展器4126相关的衍射特性通过可变厚度膜4112的剩余部分和第二可变厚度膜4120的剩余部分实现。

[0395] 图41F是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化和低折射率膜以及覆层

的目镜波导的简化截面图。图41F中示出的目镜波导与图41B中示出的目镜波导共享共同的元素,但增加了覆层4130。

[0396] 图42A是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化的目镜波导的简化截面图。图42A中示出的目镜波导对应于图38D中示出的目镜波导的一部分,图中示出了基板3810、可变厚度膜3812和第二可变厚度膜3820。图中还示出了组合光瞳扩展器3816和第二组合光瞳扩展器3826,以及可变厚度膜3812的剩余部分和第二可变厚度膜3820的剩余部分。

[0397] 在一些实施例中,与组合光瞳扩展器3816、第二组合光瞳扩展器3826以及可变厚度薄膜3812和第二可变厚度薄膜3820的剩余部分相关的衍射结构的存在,可能会由于不希望的世界光耦合到目镜波导中而导致伪影,例如彩虹伪影。平坦化过程可以完全封装蚀刻或沉积的图案,也可以部分封装蚀刻或沉积的图案。

[0398] 图42B是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化和第一级平坦化的目镜波导的简化截面图。如图42B所示,组合光瞳扩展器3816已经被部分封装在层4210中,并且组合光瞳扩展器3826已经被部分封装在层4212中。可选择图42B中所示的部分封装程度,以提供所需的目镜波导效率。

[0399] 图42C是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化和第二级平坦化的目镜波导的简化截面图。如图42C所示,组合光瞳扩展器3816已完全封装在层4220中,并且组合光瞳扩展器3826已完全封装在层4222中。

[0400] 图43A是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化和覆层的目镜波导的简化截面图。图43A中示出的目镜波导对应于图38F中示出的目镜波导的一部分,图中示出了基板3810、可变厚度膜3812和第二可变厚度膜3820。图中还示出了组合光瞳扩展器3816和第二组合光瞳扩展器3826。图中还示出了覆层3830。

[0401] 图43B是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化、覆层和第一级平坦化的目镜波导的简化截面图。如图43B所示,组合光瞳扩展器3816已经被部分封装在层4310中,并且组合光瞳扩展器3826已经部分封装在层4312中。可选择图43B中所示的部分封装程度,以提供所需的目镜波导效率。

[0402] 图43C是示出根据本发明的实施例的具有双面总厚度变化、覆层和第二级平坦化的目镜波导的简化截面图。如图43C所示,组合光瞳扩展器3816已完全封装在层4320中,并且组合光瞳扩展器3826已完全封装在层4322中。

[0403] 下面提供了本公开的各种示例。如在下文使用的,对一系列示例的引用应理解为对这些示例中每个示例分离地引用(例如,“示例1-4”应理解为“示例1、2、3或4”)。

[0404] 示例1是一种增强现实设备,包括:投射器;光学耦合到投射器的投射器光学器件;以及光学耦合到投射器光学器件的目镜,其中,目镜包括目镜波导,其特征为横向维度和随着横向维度中的一个或多个变化的光路长度差。

[0405] 示例2是根据示例1的增强现实设备,其中,目镜进一步包括:第二目镜波导,其特征为第二横向维度和随着第二横向维度中的一个或多个变化的第二光路长度差;以及第三目镜波导,其特征为第三横向维度和随着第三横向维度中的一个或多个变化的第三光路长度差。

[0406] 示例3是根据示例1-2的增强现实设备,其中,目镜波导、第二目镜波导和第三目镜

波导形成目镜。

[0407] 示例4是根据示例1-3的增强现实设备,其中,目镜是包括目镜波导、第二目镜波导和第三目镜波导的层叠结构。

[0408] 示例5是示例1-4的增强现实设备,进一步包括:第二投射器;光学耦合到投射器的第二投射器光学器件;以及光学耦合到第二投射器光学器件的第二目镜,其中,第二目镜包括第四目镜波导,其特征为第四横向维度和随着第四横向维度中的一个或多个变化的第四光路长度差。

[0409] 示例6是根据示例1-5的增强现实设备,其中,第二目镜进一步包括:第五目镜波导,其特征为第五横向维度和随着第五横向维度中的一个或多个变化的第五光路长度差;以及第六目镜波导,其特征为第六横向维度和随着第六横向维度中的一个或多个变化的第六光路长度差。

[0410] 示例7是根据示例1-6的增强现实设备,其中,目镜波导包括组合光瞳扩展器;第二目镜波导包括第二组合光瞳扩展器;以及第三目镜波导包括第三组合光瞳扩展器,其中,目镜波导的厚度跨组合光瞳扩展器变化,第二目镜波导的厚度跨第二组合光瞳扩展器变化,以及第三目镜波导的厚度跨第三组合光瞳扩展器变化。

[0411] 示例8是根据示例1-7的增强现实设备,其中,投射器、投射器光学器件和目镜安装在增强现实耳机中。

[0412] 示例9是根据示例1-8的增强现实设备,其中,目镜波导的特征为随着一个或多个横向维度变化的厚度变化。

[0413] 示例10是根据示例1-9的增强现实设备,其中,目镜波导的特征为随着一个或多个横向维度变化的折射率变化。

[0414] 示例11是根据示例1-10的增强现实设备,其中,目镜包括三个目镜波导。

[0415] 示例12是根据示例1-11的增强现实设备,其中,光路长度差从三个目镜波导中每个目镜波导的第一区域的第一值变化到三个目镜波导中每个目镜波导的第二区域的第二值。

[0416] 示例13是示例1-12的增强现实设备,其中,第一区域对应于耦入光栅,第二区域对应于组合光瞳扩展器,并且光路长度差从第一值减小到第二值。

[0417] 示例14是根据示例1-13的增强现实设备,其中,三个目镜波导中每个目镜波导的光路长度差沿共同方向延伸。

[0418] 示例15是根据示例1-14的增强现实设备,其中,三个目镜波导中每个目镜波导的光路长度差沿三个目镜波导中每个目镜波导的横向维度减小,其中,三个目镜波导中每个目镜波导的横向维度是平行的。

[0419] 示例16是一种增强现实设备,包括:投射器;光学耦合到投射器的投射器光学器件;以及光学耦合到投射器光学器件的目镜,其中,目镜包括:第一目镜波导,其特征为横向维度和第一光路长度差梯度;以及第二目镜波导,其特征为横向维度和与第一光路长度差梯度对齐的第二光路长度差梯度。

[0420] 示例17是根据示例16的增强现实设备,其中,目镜进一步包括第三目镜波导,其特征为横向维度和与第一光路长度差梯度和第三光路长度差梯度对齐的第三光路长度差梯度。

[0421] 示例18是根据示例16-17的增强现实设备,其中,第一目镜波导、第二目镜波导和第三目镜波导层叠在一起。

[0422] 示例19是根据示例16-18的增强现实设备,其中,投射器、投射器光学器件和目镜安装在增强现实耳机中。

[0423] 示例20是根据示例16-19的增强现实设备,其中,第一目镜波导包括第一组合光瞳扩展器,其中,第一目镜波导的厚度从第一组合光瞳扩展器的第一部分到第一组合光瞳扩展器的第二部分变化;以及第二目镜波导包括第二组合光瞳扩展器,其中第二目镜波导的厚度从第二组合光瞳扩展器的第一部分到第二组合光瞳扩展器的第二部分变化。

[0424] 示例21是根据示例16-20的增强现实设备,其中,第一光路长度差梯度与第二光路长度差梯度对齐。

[0425] 示例22是根据示例16-21的增强现实设备,其中,第一光路长度差梯度对应于方向,并且第二光路长度差梯度对应于该方向。

[0426] 示例23是一种增强现实设备,包括:投射器;光学耦合到投射器的投射器光学器件;以及光学耦合到投射器光学器件的目镜,其中,目镜包括目镜波导,其特征为横向维度和一个或多个层,其中,一个或多个层中的至少一层的特征为随着横向维度中的一个或多个变化的光路长度差。

[0427] 示例24是根据示例23的增强现实设备,其中,目镜包括:基板;以及耦合到基板的可变厚度层。

[0428] 示例25是根据示例23-24的增强现实设备,其中,基板的折射率基本上等于可变厚度层的折射率。

[0429] 示例26是根据示例23-25的增强现实设备,其中,目镜进一步包括:第二目镜波导,其特征为第二横向维度和一个或多个第二层,其中,一个或多个第二层中的至少一层的特征为随着横向维度中一个或多个变化的第二光路长度差;以及第三目镜波导,其特征为第三横向维度和一个或多个第三层,其中一个或多个第三层中的至少一层的特征为随着横向维度中的一个或多个变化的第三光路长度差。

[0430] 示例27是根据示例23-26的增强现实设备,其中,目镜波导、第二目镜波导和第三目镜波导形成目镜。

[0431] 示例28是根据示例23-27的增强现实设备,其中,目镜是包括目镜波导、第二目镜波导和第三目镜波导的层叠结构。

[0432] 示例29是根据示例23-28的增强现实设备,其中:一个或多个层、一个或多个第二层和一个或多个第三层的特征为随着一个或多个横向维度变化的厚度变化;一个或多个层、一个或多个第二层和一个或多个第三层中的每一层的厚度变化沿目镜波导、第二目镜波导和第三目镜波导中的每个目镜波导的横向维度减小,其中横向维度是平行的。

[0433] 示例30是根据示例23-29的增强现实设备,进一步包括:第二投射器;光学耦合到投射器的第二投射器光学器件;以及光学耦合到投射器光学器件的第二目镜,其中,第二目镜包括第四目镜波导,其特征为第四横向维度和一个或多个第四层,其中,一个或多个第四层中的至少一层的特征为随着第四横向维度中的一个或多个变化的第四光路长度差。

[0434] 示例31是根据示例23-30的增强现实设备,其中,第二目镜进一步包括第五目镜波导,其特征为第五横向维度和一个或多个第五层,其中,一个或多个第五层中的至少一层的

特征为随着第五横向维度中的一个或多个变化的第五光路长度差;以及第六目镜波导,其特征为第六横向维度和一个或多个第六层,其中,一个或多个第六层中的至少一层的特征为随着第六横向维度中的一个或多个变化的第六光路长度差。

[0435] 示例32是根据示例23-31的增强现实设备,其中,投射器、投射器光学器件和目镜安装在增强现实耳机中。

[0436] 示例33是根据示例23-32的增强现实设备,其中,目镜波导包括组合光瞳扩展器;第二目镜波导包括第二组合光瞳扩展器;以及第三目镜波导包括第三组合光瞳扩展器,其中,一个或多个层的特征为跨组合光瞳扩展器变化的厚度,一个或多个第二层的特征为跨第二组合光瞳扩展器变化的厚度,以及一个或多个第三层的特征为跨第三组合光瞳扩展器变化的厚度。

[0437] 示例34是根据示例23-33的增强现实设备,其中,一个或多个层的特征为随着横向维度中的一个或多个变化的厚度变化。

[0438] 示例35是根据示例23-34的增强现实设备,其中,厚度变化从目镜波导的第一区域的第一值变化到目镜波导的第二区域的第二值。

[0439] 示例36是根据示例23-35的增强现实设备,其中,第一区域对应于耦合光栅,第二区域对应于组合光瞳扩展器,并且厚度变化从第一值减小到第二值。

[0440] 示例37是根据示例23-36的增强现实设备,其中,一个或多个层的特征为随着横向维度中的一个或多个变化的折射率变化。

[0441] 示例38是根据示例23-37的增强现实设备,其中,目镜波导包括纳米图案。

[0442] 示例39是根据示例23-38的增强现实设备,其中,纳米图案包括聚合物光栅,所述聚合物光栅的聚合物折射率小于目镜的折射率。

[0443] 示例40是根据示例23-39的增强现实设备,其中,所述一个或多个层的厚度小于50nm、小于30nm或小于10nm。

[0444] 示例41是根据示例23-40的增强现实设备,其中,纳米图案包括在一个或多个层或目镜中形成的保形沉积结构或定向沉积结构。

[0445] 示例42是根据示例23-41的增强现实设备,其中,纳米图案包括聚合物光栅,该聚合物光栅的聚合物折射率高于目镜的折射率。

[0446] 示例43是根据示例23-42的增强现实设备,其中,所述一个或多个层的厚度小于100nm,并包括 ZrO_2 或 TiO_2 中的至少一种。

[0447] 示例44是根据示例23-43的增强现实设备,其中,纳米图案包括在一个或多个层或目镜中形成的蚀刻结构。

[0448] 示例45是根据示例23-44的增强现实设备,其中,纳米图案包括二元光栅、闪耀锯齿光栅、闪耀多阶光栅、闪耀倾斜光栅、孔或柱。

[0449] 示例46是一种增强现实设备,包括:投射器;光学耦合到投射器的投射器光学器件;以及基板结构,所述基板结构包括:具有入射表面和相对出射表面的基板;以及耦合到入射表面的第一可变厚度膜。

[0450] 示例47是根据示例46的增强现实设备,其中,基板结构进一步包括:耦合到第一可变厚度膜的第一组合光瞳扩展器;耦合到相对出射表面的第二可变厚度膜;耦合到相对出射表面的耦合光栅;以及耦合到相对出射表面的第二组合光瞳扩展器。

[0451] 示例48是根据示例46-47的增强现实设备,其中,第二可变厚度膜在邻近耦入光栅处比在邻近第二组合光瞳扩展器处更厚。

[0452] 示例49是根据示例46-48的增强现实设备,其中,基板的厚度变化小于第一可变厚度膜或第二可变厚度膜的厚度变化。

[0453] 示例50是根据示例46-49的增强现实设备,进一步包括:设置在基板和第一可变厚度膜之间的第一中间膜;以及设置在基板和第二可变厚度膜之间的第二中间膜。

[0454] 示例51是根据示例46-50的增强现实设备,其中:第一中间膜的折射率小于基板的折射率和第一可变厚度膜的折射率;以及第二中间膜的折射率小于基板的折射率和第二可变厚度膜的折射率。

[0455] 示例52是一种增强现实设备,包括:投射器;光学耦合到投射器的投射器光学器件;以及光学耦合到投射器光学器件的目镜,其中,目镜包括:第一目镜波导,其特征为横向维度和具有第一厚度梯度的第一可变厚度膜;以及第二目镜波导,其特征为横向维度和具有与第一厚度梯度对齐的第二厚度梯度的第二可变厚度膜。

[0456] 示例53是根据示例52的增强现实设备,其中,目镜进一步包括第三目镜波导,其特征为横向维度和具有与第一厚度梯度和第三厚度梯度对齐的第三厚度梯度的第三可变厚度膜。

[0457] 示例54根据示例52-53的增强现实设备,其中,第一目镜波导、第二目镜波导和第三目镜波导层叠在一起。

[0458] 示例55是根据示例52-54的增强现实设备,其中,投射器、投射器光学器件和目镜安装在增强现实耳机中。

[0459] 示例56是根据示例52-55的增强现实设备,其中:第一目镜波导包括第一组合光瞳扩展器,其中,第一可变厚度膜的厚度从第一组合光瞳扩展器的第一部分到第一组合光瞳扩展器的第二部分变化;以及第二目镜波导包括第二组合光瞳扩展器,其中,第二可变厚度膜的厚度从第二组合光瞳扩展器的第一部分到第二组合光瞳扩展器的第二部分变化。

[0460] 示例57是根据示例52-56的增强现实设备,其中,第一厚度梯度与第二厚度梯度对齐。

[0461] 示例58是根据示例52-57的增强现实设备,其中,第一厚度梯度对应于方向,并且第二厚度梯度对应于该方向。

[0462] 在前述说明书中,已参考本公开的具体实施例对其进行了描述。然而,将明显的是,可以对其进行各种修改和改变,而不背离本公开的更宽的精神和范围。因此,说明书和附图应被视为说明性的,而不是限制性的。

[0463] 事实上,将理解,本公开的系统和方法各自具有若干创新方面,其中没有一个是在此公开的所需属性的唯一责任或必需的。上述各种特征和过程可以彼此独立使用,或者可以以各种方式组合。所有可能的组合和子组合都旨在落入本公开的范围内。

[0464] 本说明书中在单独实施例的上下文中描述的某些特征也可以在单个实施例中组合实施。相反,在单个实施例的上下文中描述的各种特征也可以在多个实施例中单独实施或以任何合适的子组合实施。此外,尽管特征可能在上文中被描述为以某些组合起作用并且甚至最初被主张为如此,但在某些情况下,所主张的组合中的一个或多个特征可以从组合中排除,并且所主张的组合可以针对子组合或子组合的变体。没有单个特征或特征组对

于每个实施例都是必需或不可或缺的。

[0465] 将理解,除非另有明确说明或根据使用在上下文中另有理解,在此使用的条件语言,诸如“能够”(“can”)、“可能”(“might”)、“可以”(“may”)、“例如”等,通常旨在传达某些实施例包括某些特征、元素和/或步骤,而其它实施例不包括这些特征、元素和/或步骤。因此,此类条件语言通常不旨在暗示特征、元素和/或步骤以任何方式对于一个或多个实施例是必需的,或者一个或多个实施例必然包括用于决定这些特征、元素和/或步骤是否包括或是否在任何特定实施例中执行的逻辑(无论作者是否输入或提示)。术语“包括”、“包含”、“具有”等是同义词,并且以开放式的方式包括性地使用,并且不排除附加的元素、特征、动作、操作等。此外,术语“或”以包括性意义使用(而非排他性意义),因此,当例如用于连接元素列表时,术语“或”表示列表中的一个、一些或所有元素。此外,除非另有规定,否则本申请和所附权利要求中使用的冠词“一”(“a”)、“一个”(“an”)和“所述”(“the”)应解释为指“一个或多个”或“至少一个”。类似地,虽然操作可能以特定顺序在图中描绘,但应认识到,此类操作不必以所示特定顺序或按顺序执行,也不必执行所有所示操作,以实现所需结果。此外,附图可以以流程图的形式示意性地描绘一个或多个示例过程。然而,未描绘的其它操作可以并入示意性示出的示例方法和过程中。例如,可以在任何所示操作之前、之后、同时或之间执行一个或多个附加操作。此外,在其它实施例中,可以重新排列或重新排序操作。在某些情况下,多任务和并行处理可能是有利的。此外,上述实施例中各种系统组件的分离不应理解为要求在所有实施例中都进行这种分离,并且应该理解,所描述的程序组件和系统通常可以在单个软件产品中集成在一起或打包成多个软件产品。此外,其它实施例在以下权利要求的范围内。在一些情况下,权利要求中所述的动作可以以不同的顺序执行,并且仍然实现所需的结果。

[0466] 尽管本公开包含许多具体的实施例细节,但这些细节不应被理解为对本主题范围或可要求保护的范围的限制,而应被理解为可能专用于特定实施例的特征的描述。本公开中在单独实施例的背景下描述的某些特征也可在单个实施例中组合实施。反之,在单个实施例的背景下描述的各个特征也可在多个实施例中单独实现,或以任何合适的子组合实现。此外,尽管先前描述的特征可被描述为以某些组合起作用,甚至最初也是这样声称的,但在某些情况下,来自声称的组合的一个或多个特征可以从该组合中排除,并且声称的组合可以针对子组合或子组合的变体。

[0467] 已经描述了本主题的具体实施例。对于本领域技术人员而言将明显的是,所描述的实施例的其他实施例、改变和排列均在以下权利要求的范围内。虽然附图或权利要求书中按特定顺序描述了操作,但这不应理解为要求按所示的特定顺序或先后顺序执行这些操作,或执行所有图示的操作(一些操作可被视为可选的),以实现期望的结果。

[0468] 因此,前面描述的示例实施例并不定义或限制本公开。在不背离本公开的精神和范围的情况下,还可以进行其他更改、替换和改变。

[0469] 因此,权利要求并非旨在限于在此所示的实施例,而是旨在与本公开、在此公开的原理和新颖特征相一致的最宽范围。

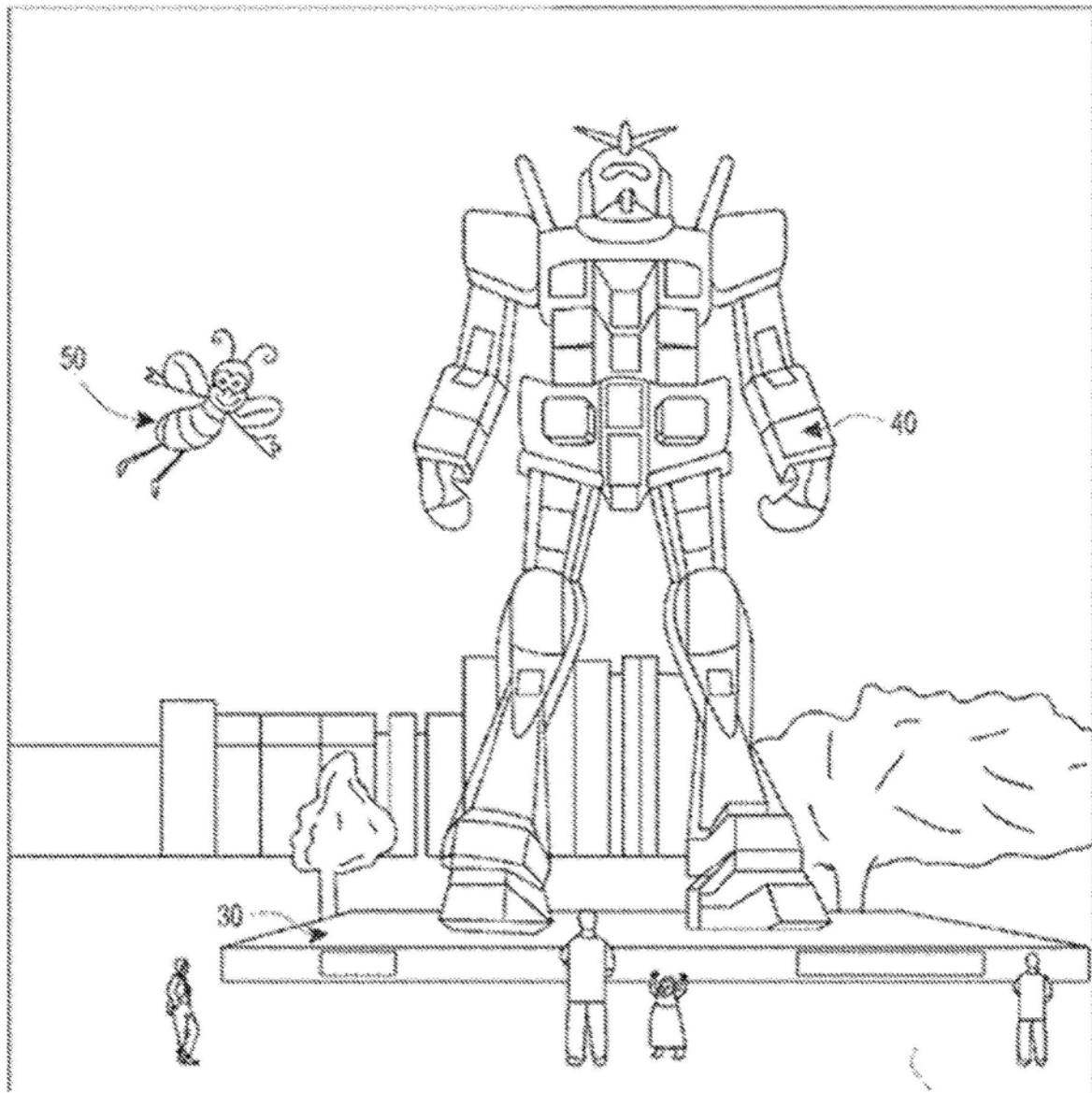


图1

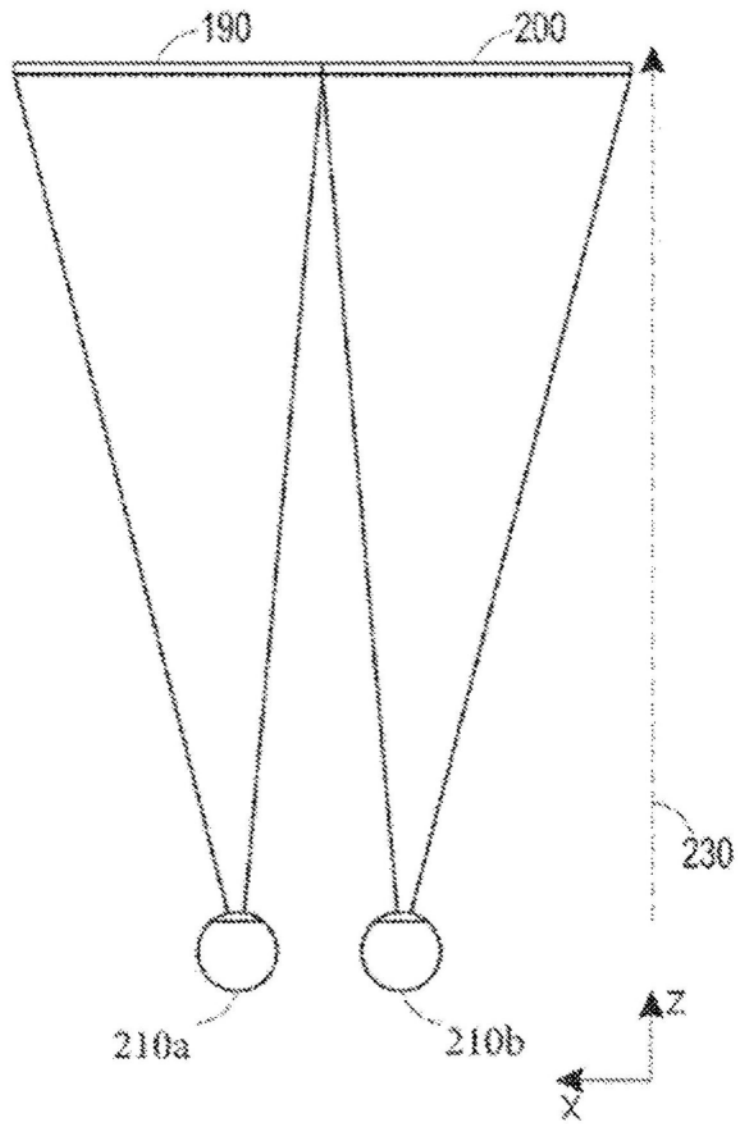


图2

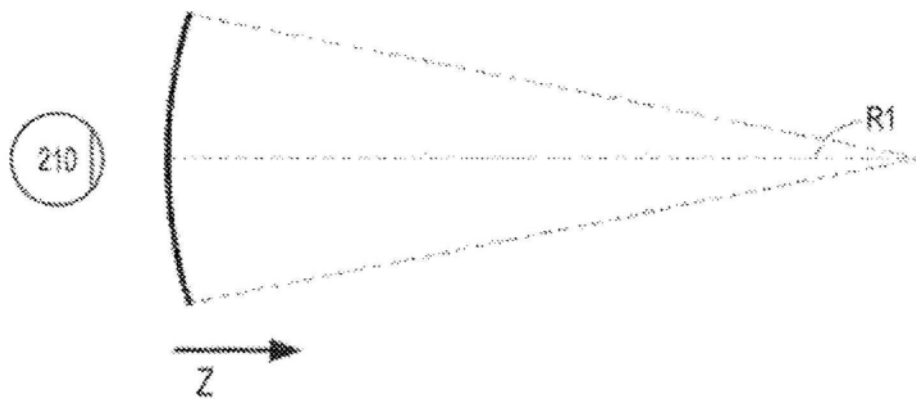


图3A

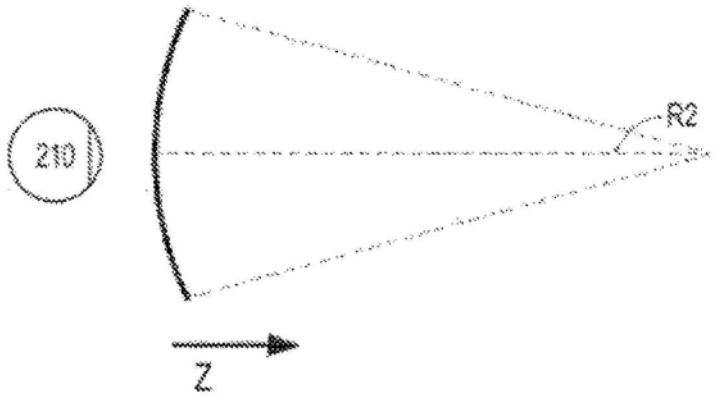


图3B

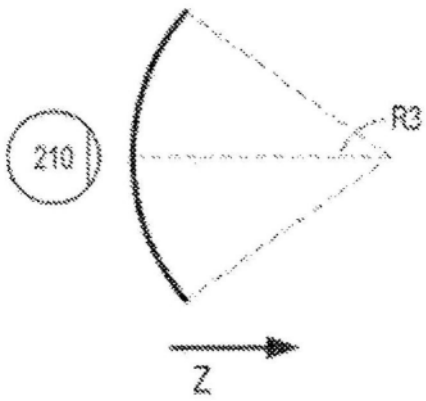


图3C

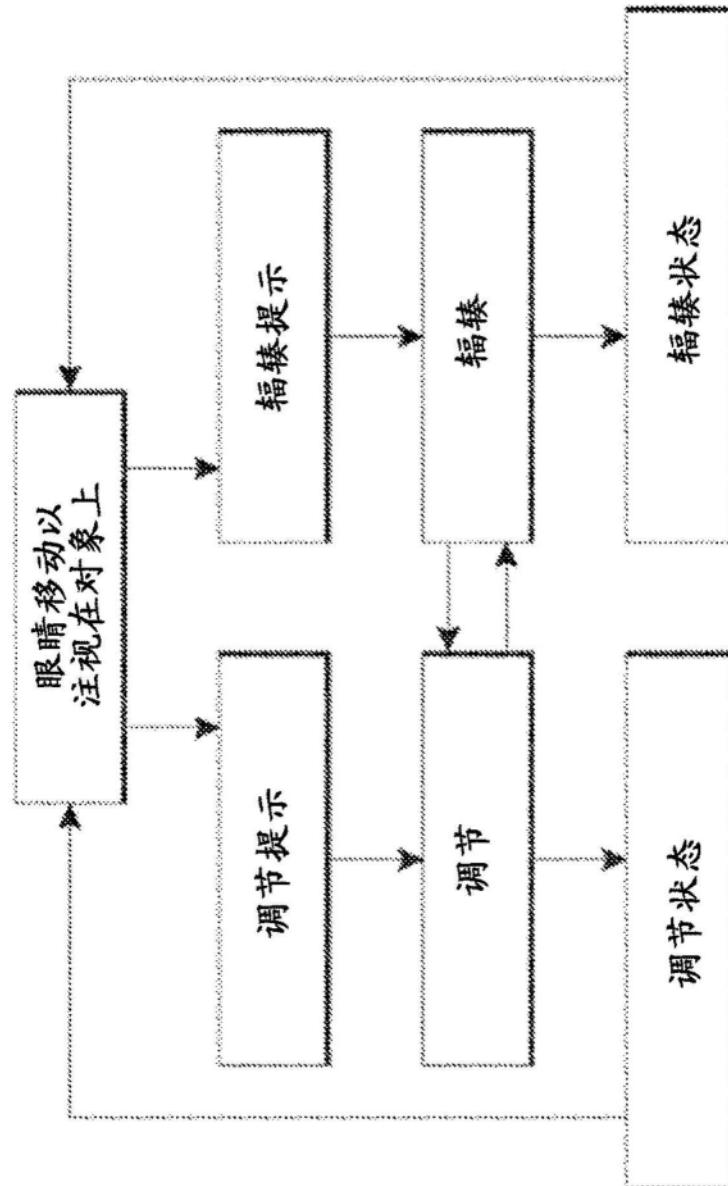


图4A

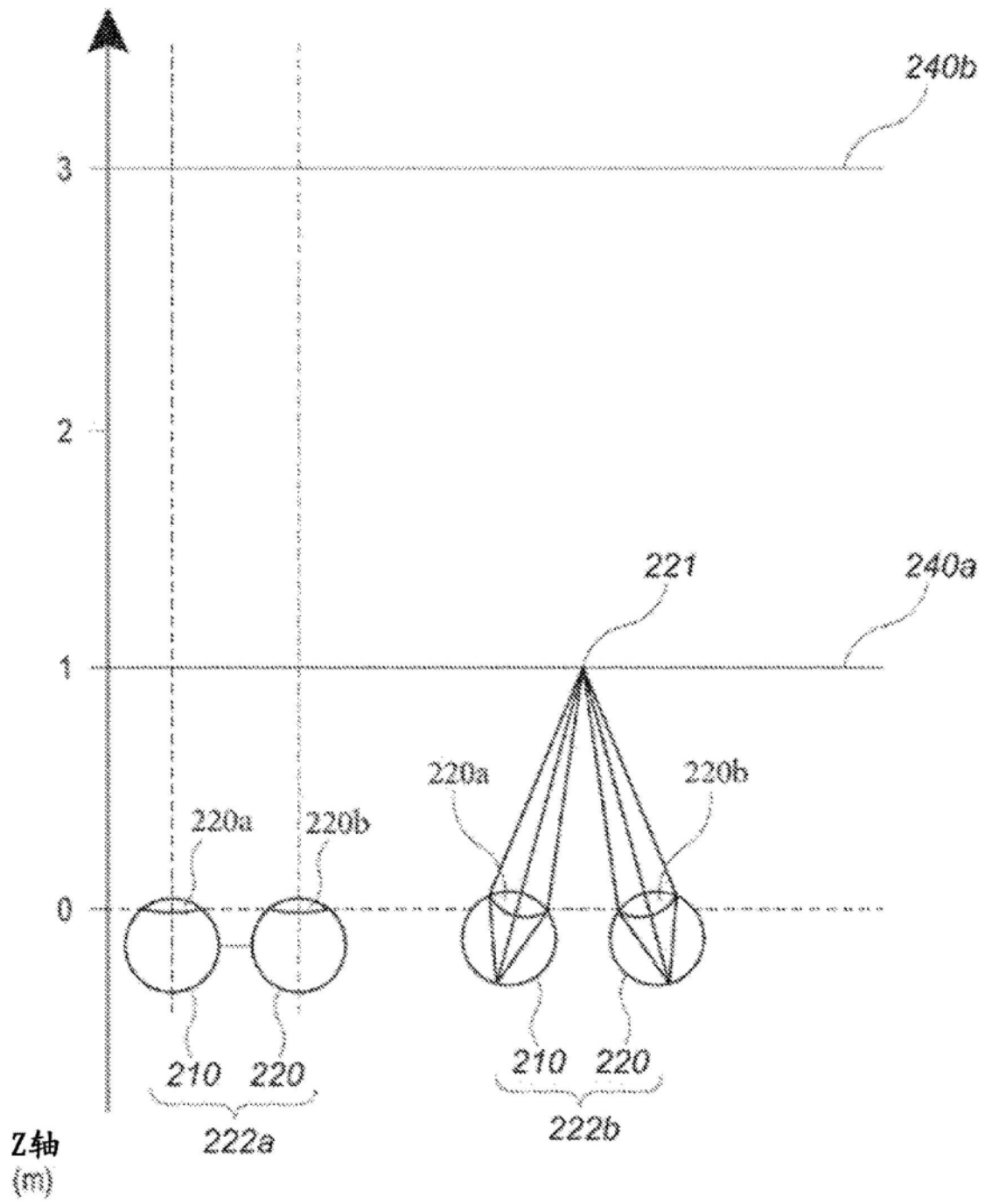


图4B

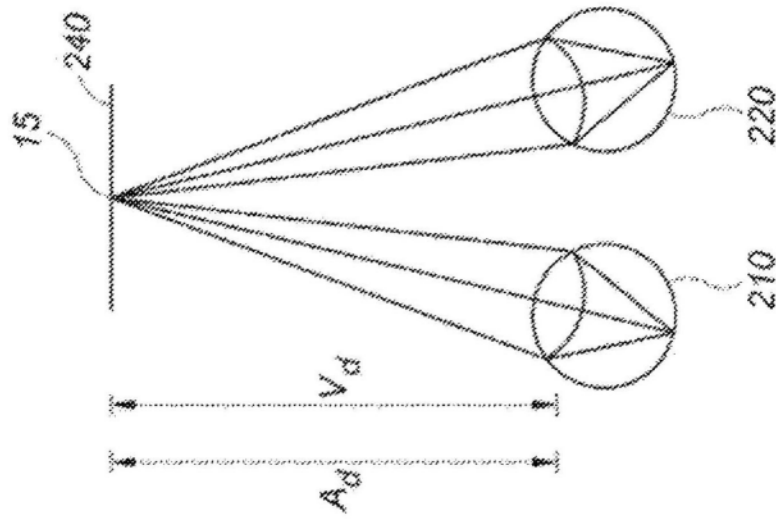


图4C

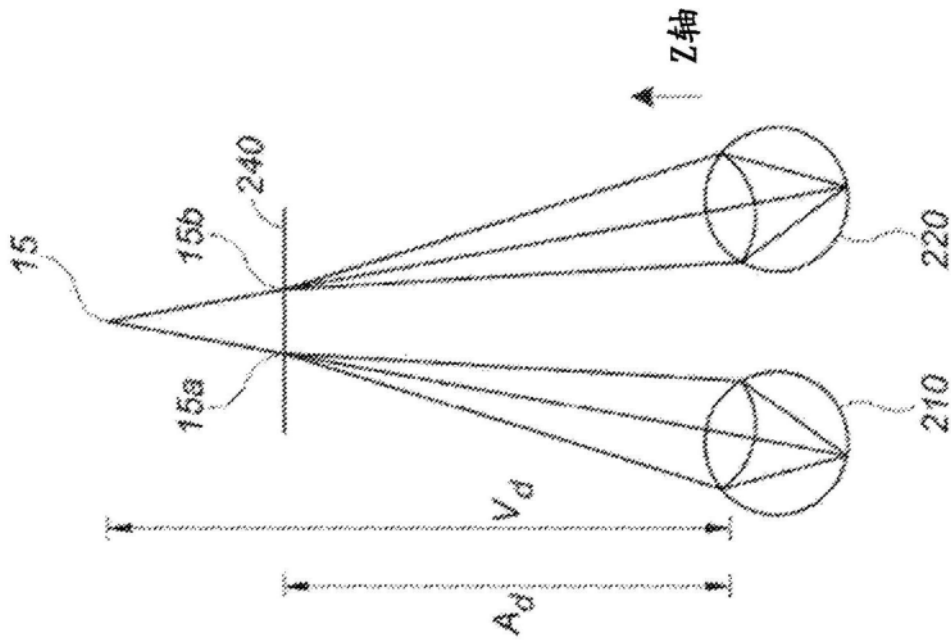


图4D

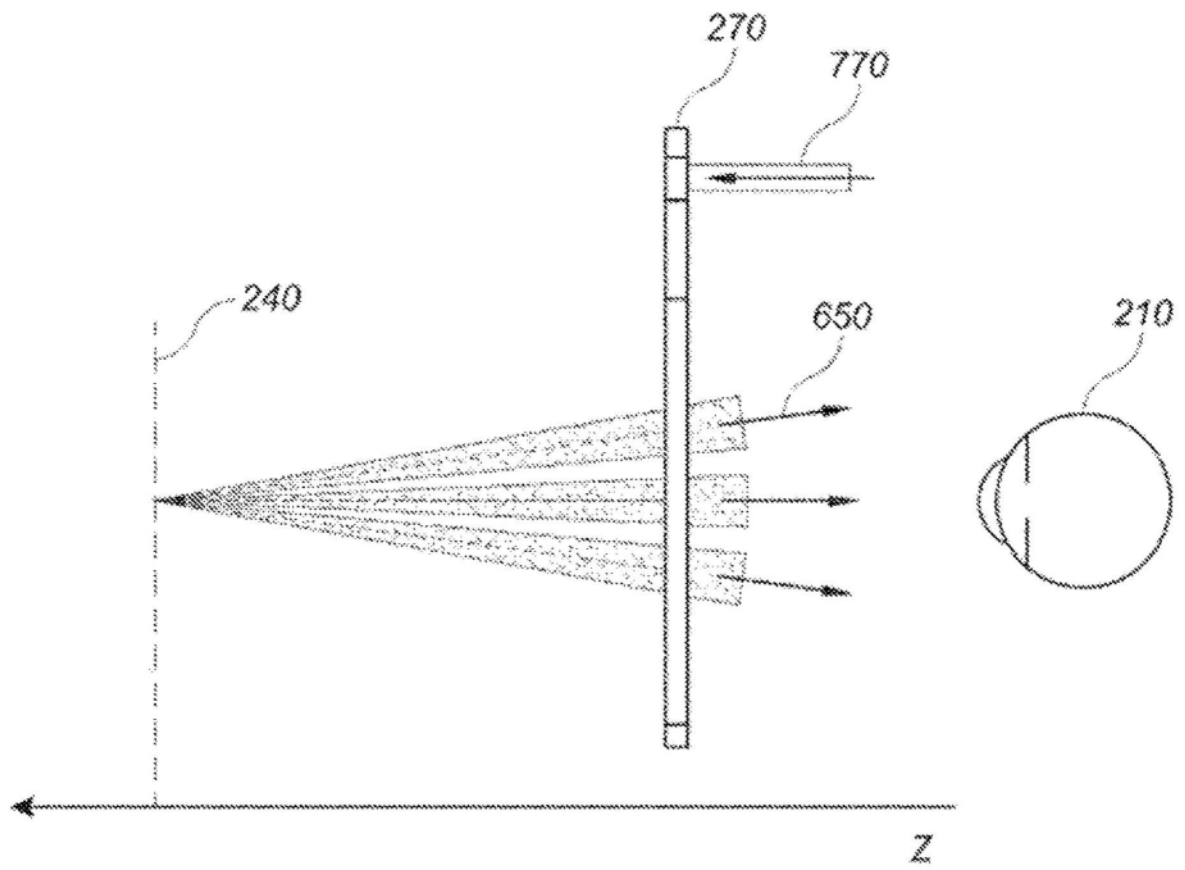


图5

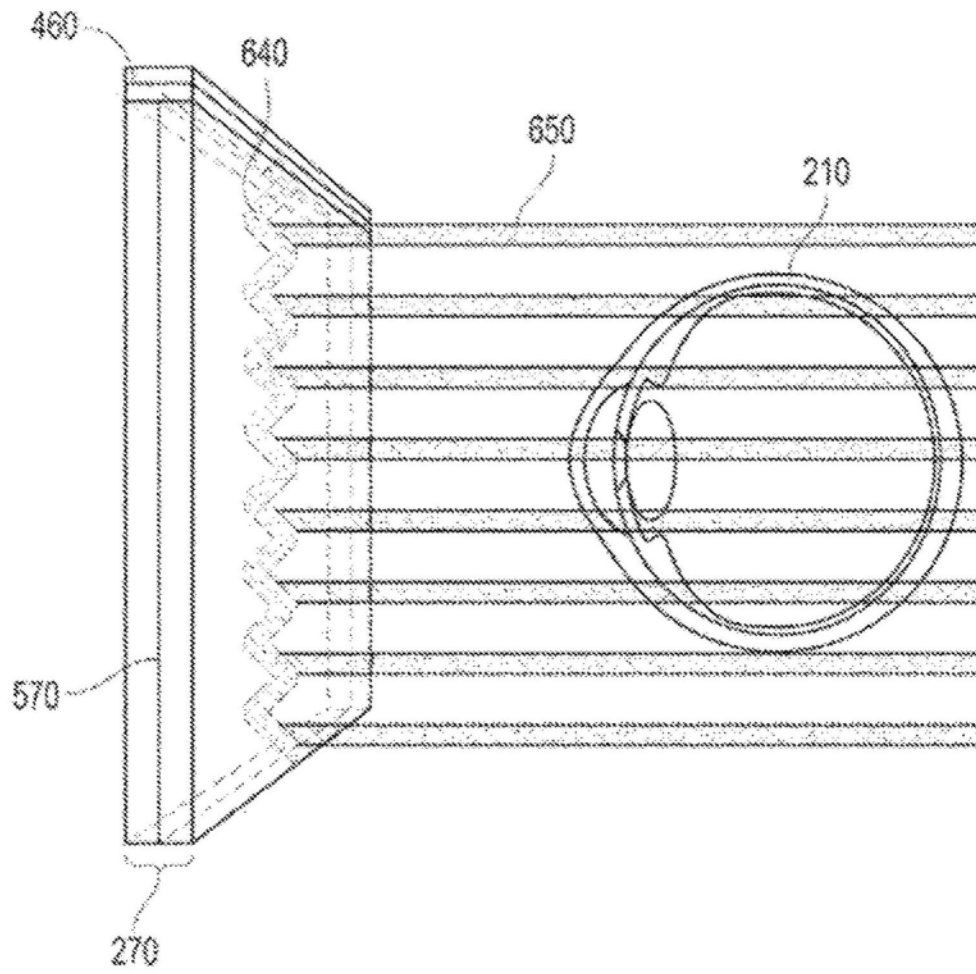


图7

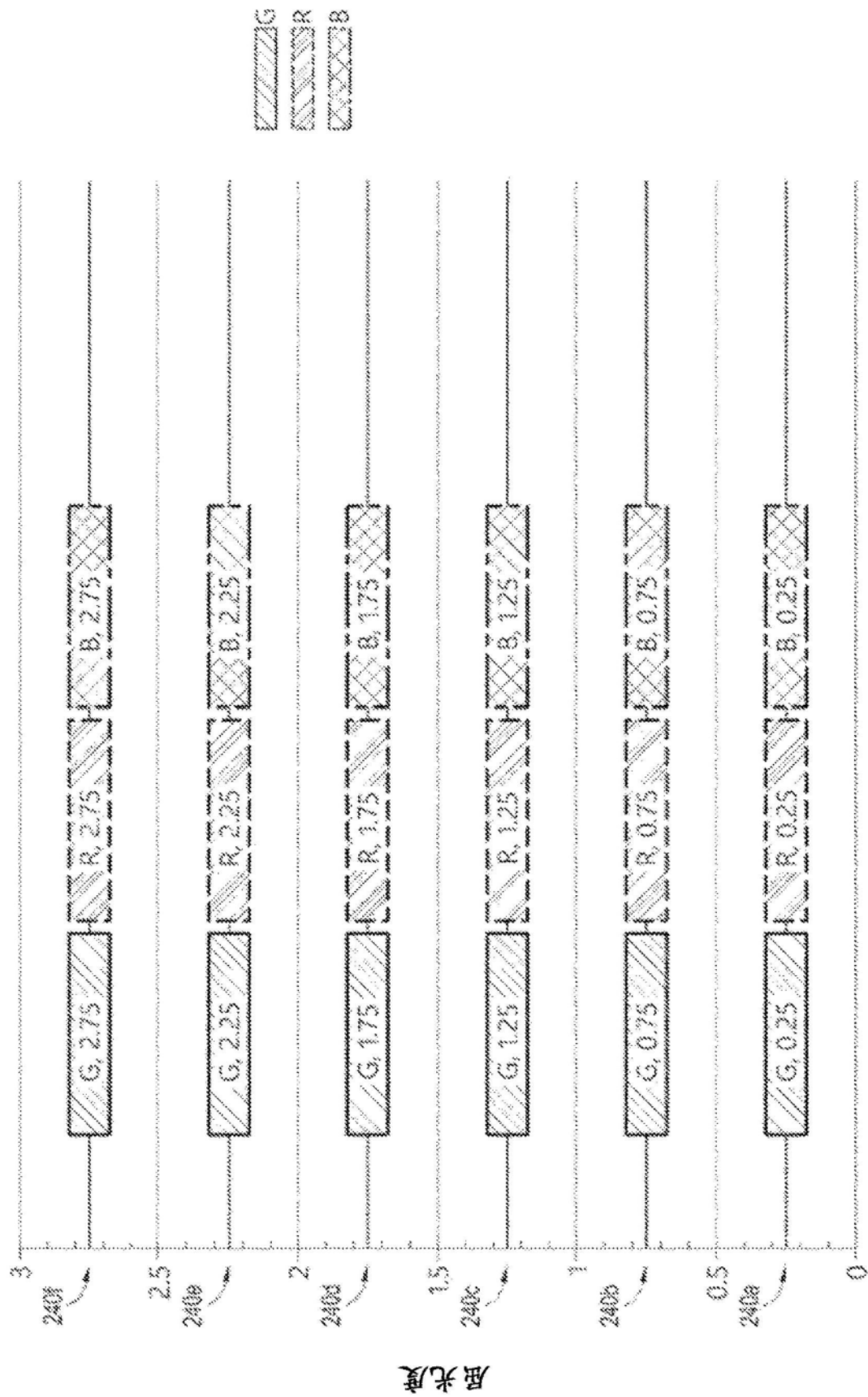


图8

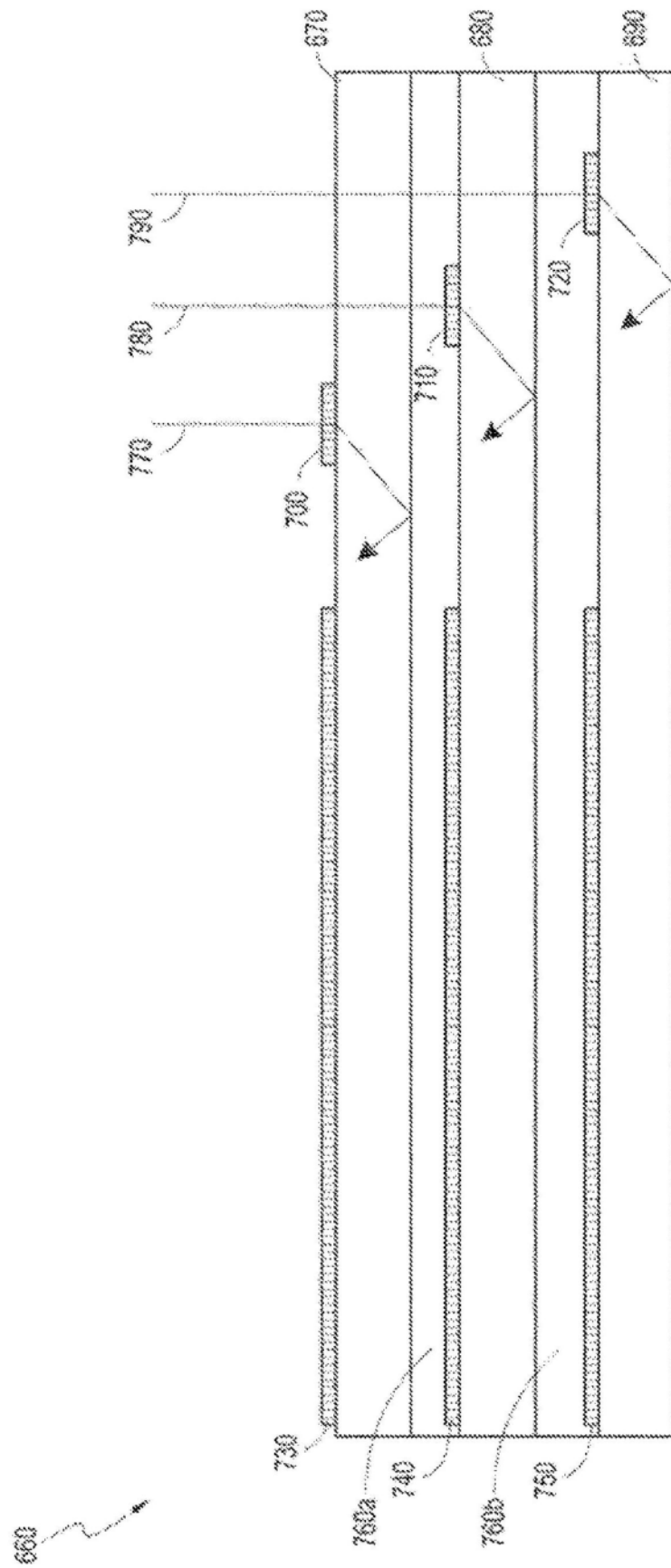


图9A

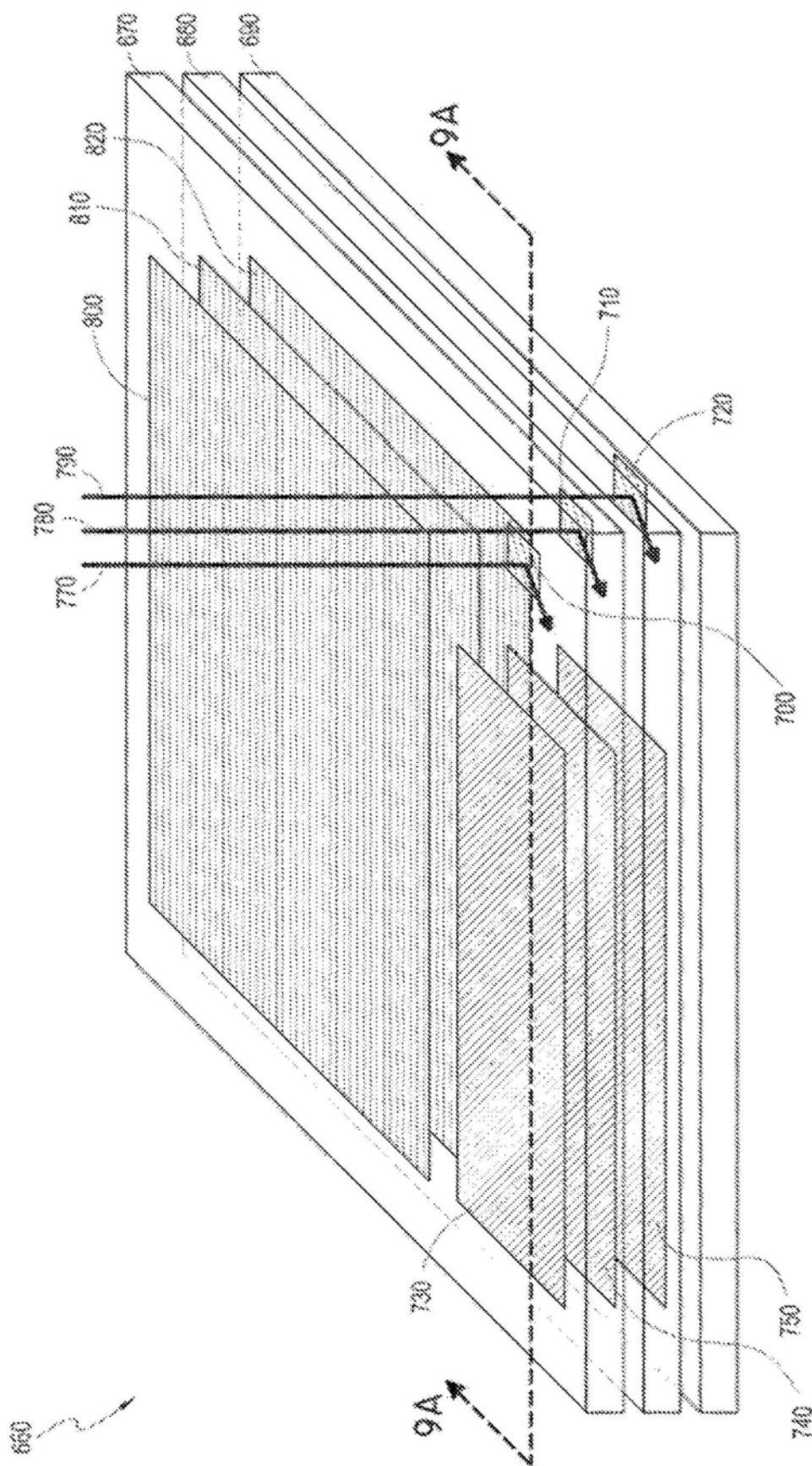


图9B

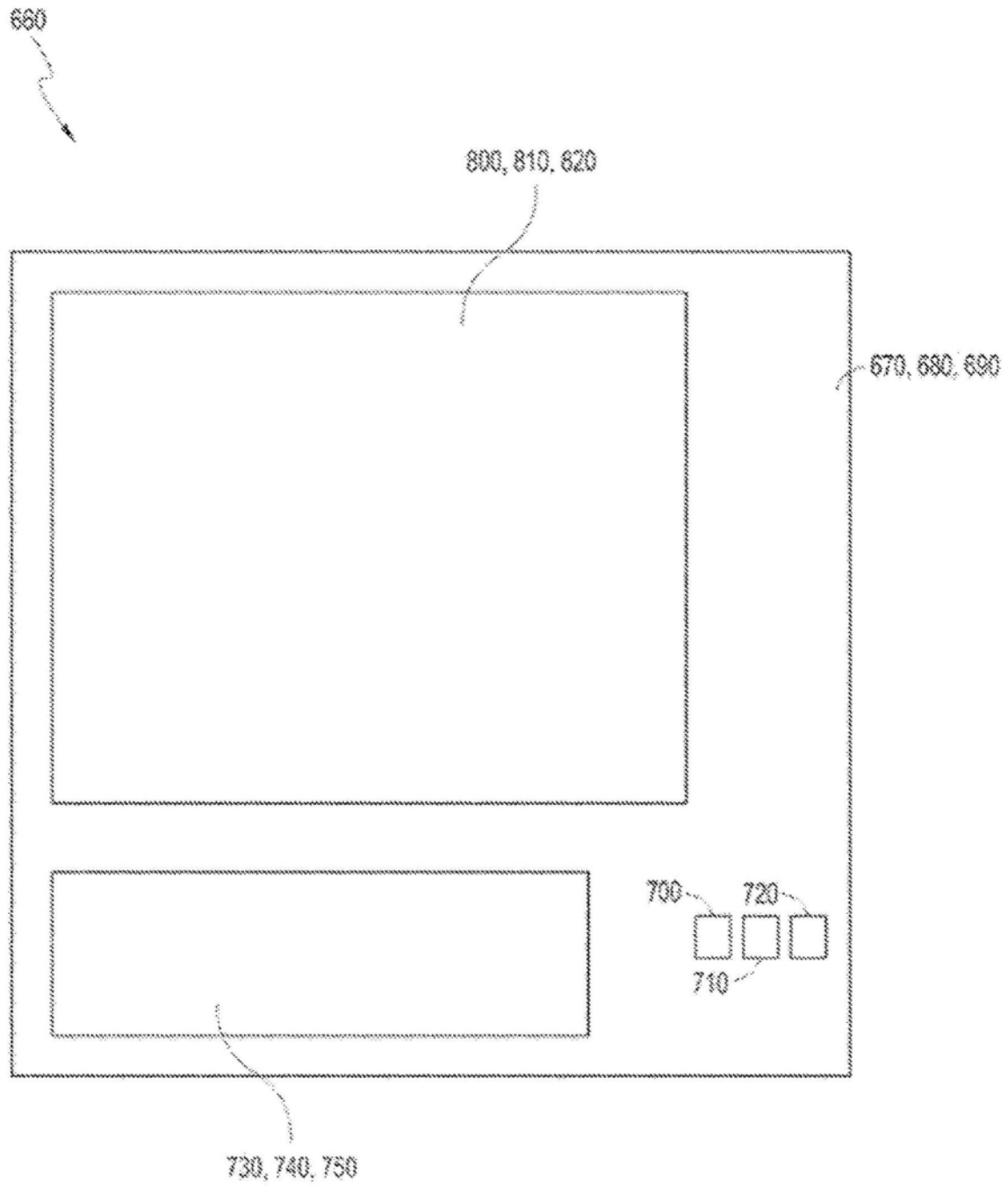


图9C

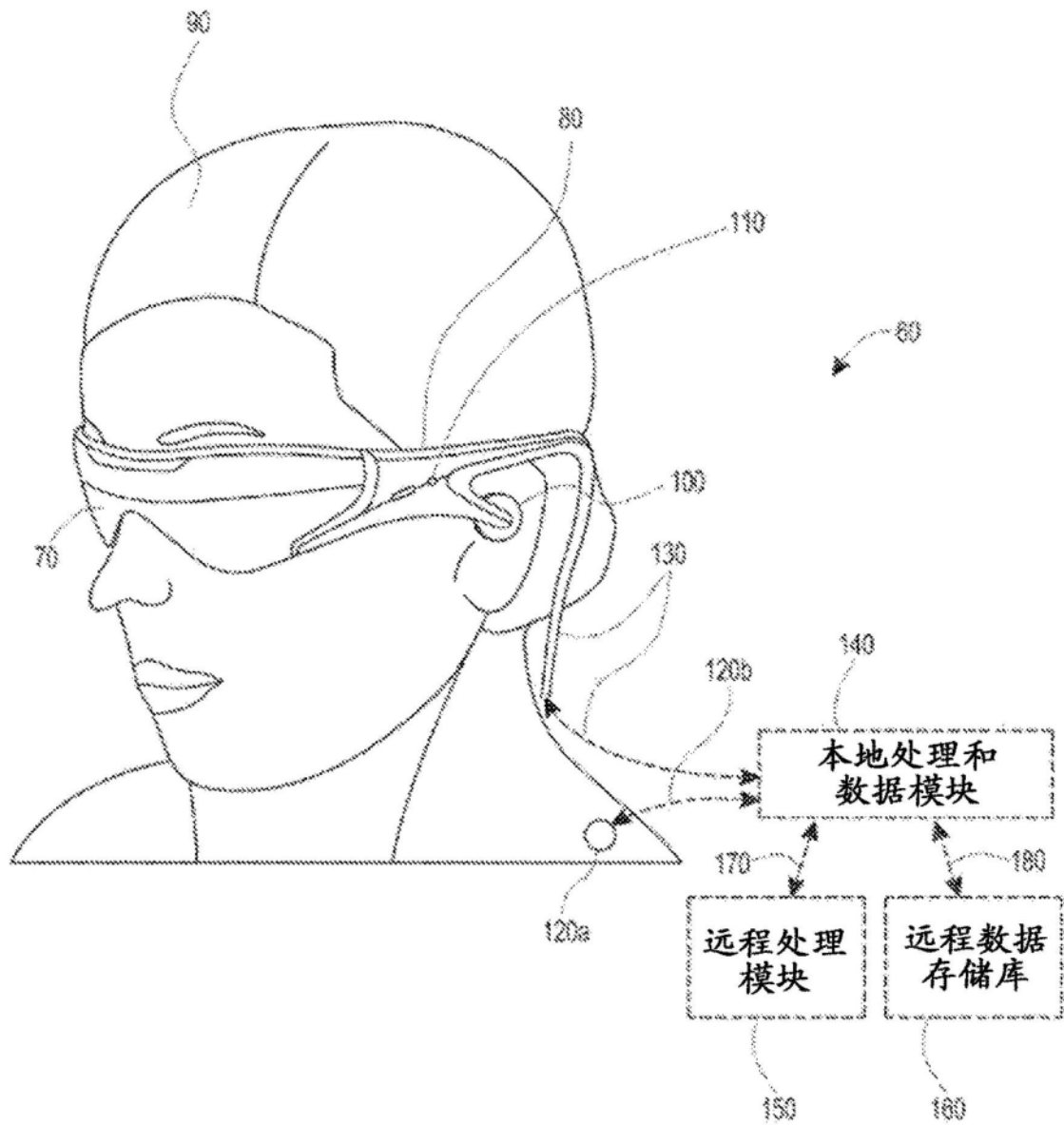


图9D

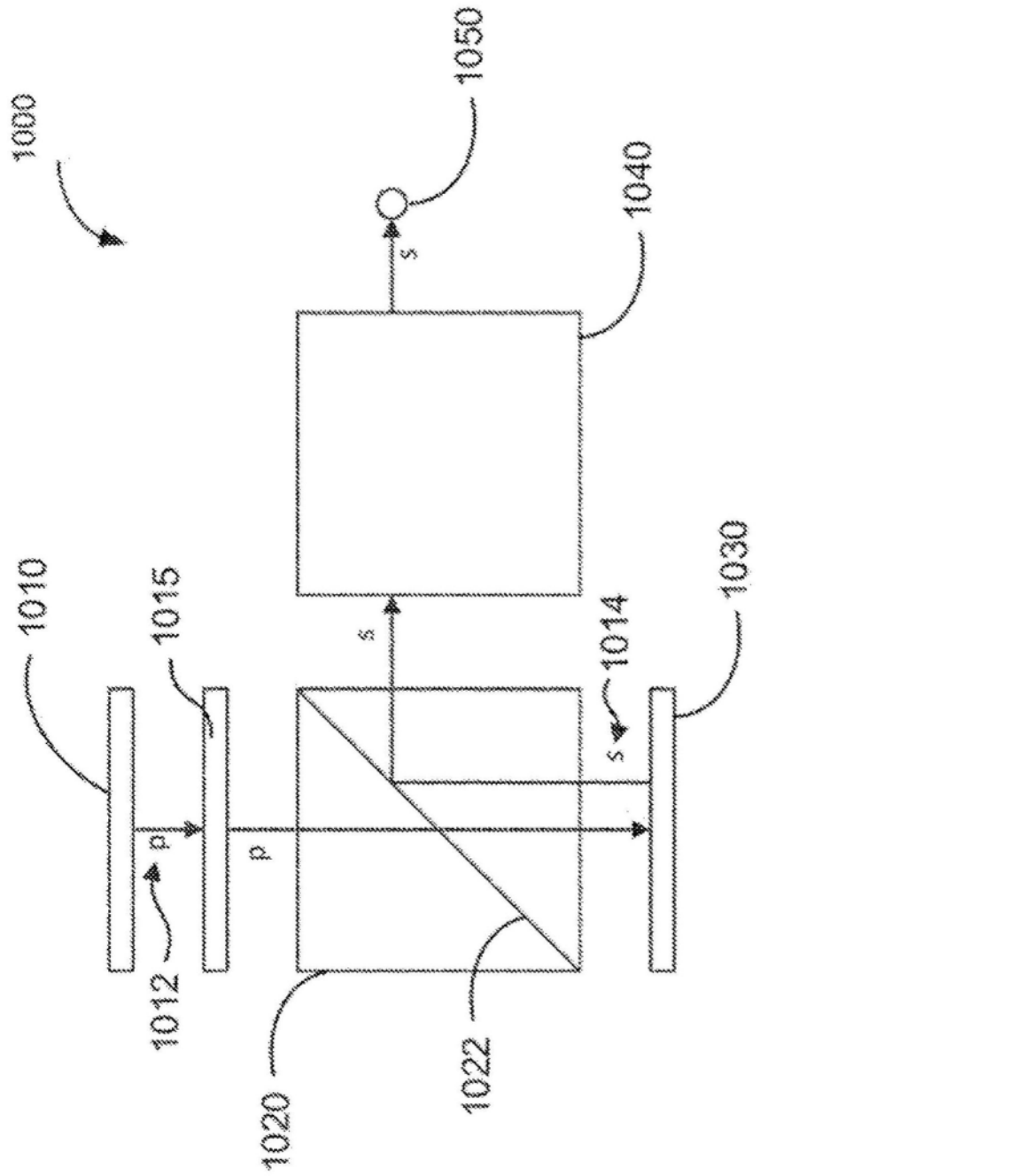


图10

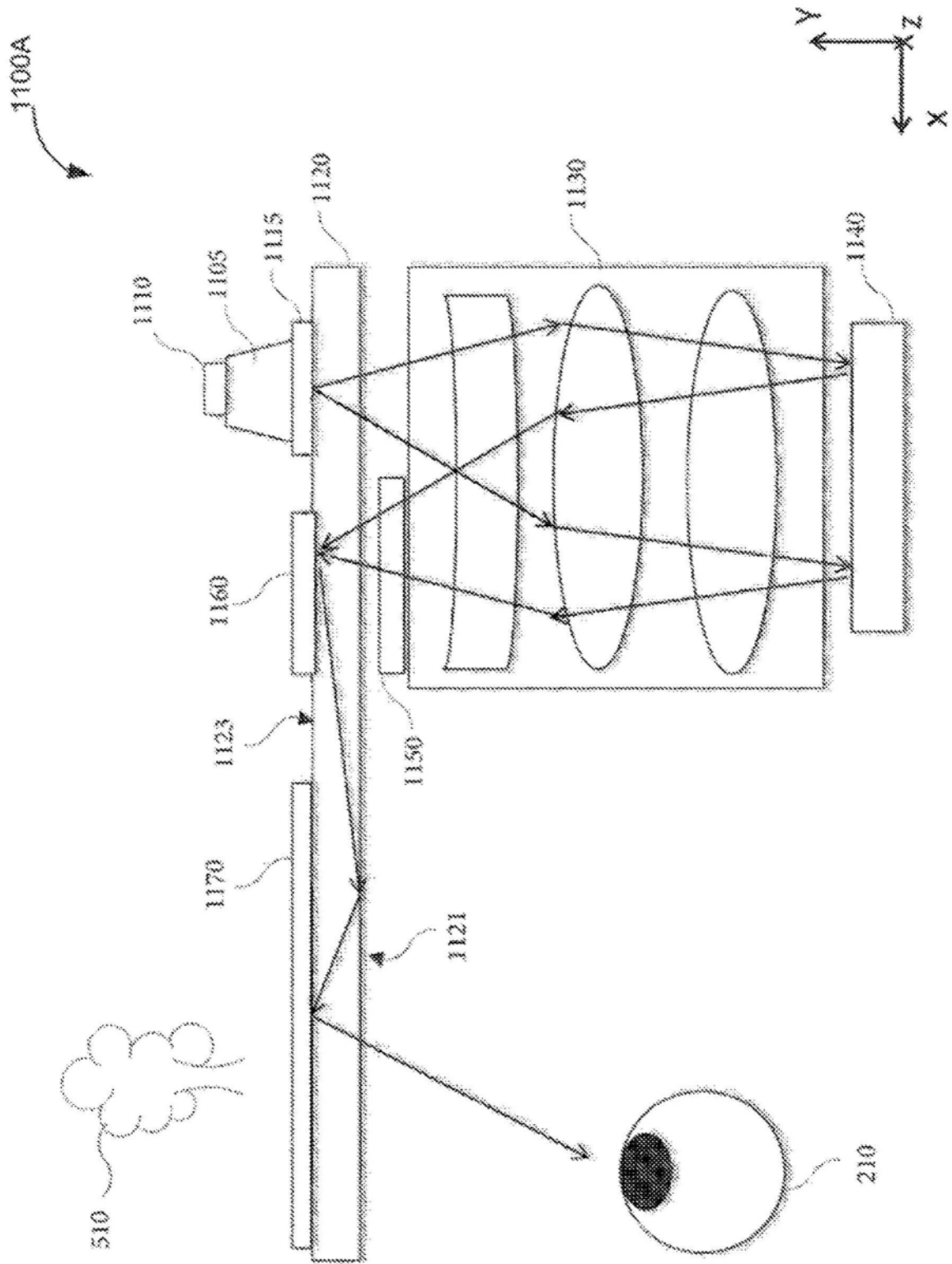


图11A

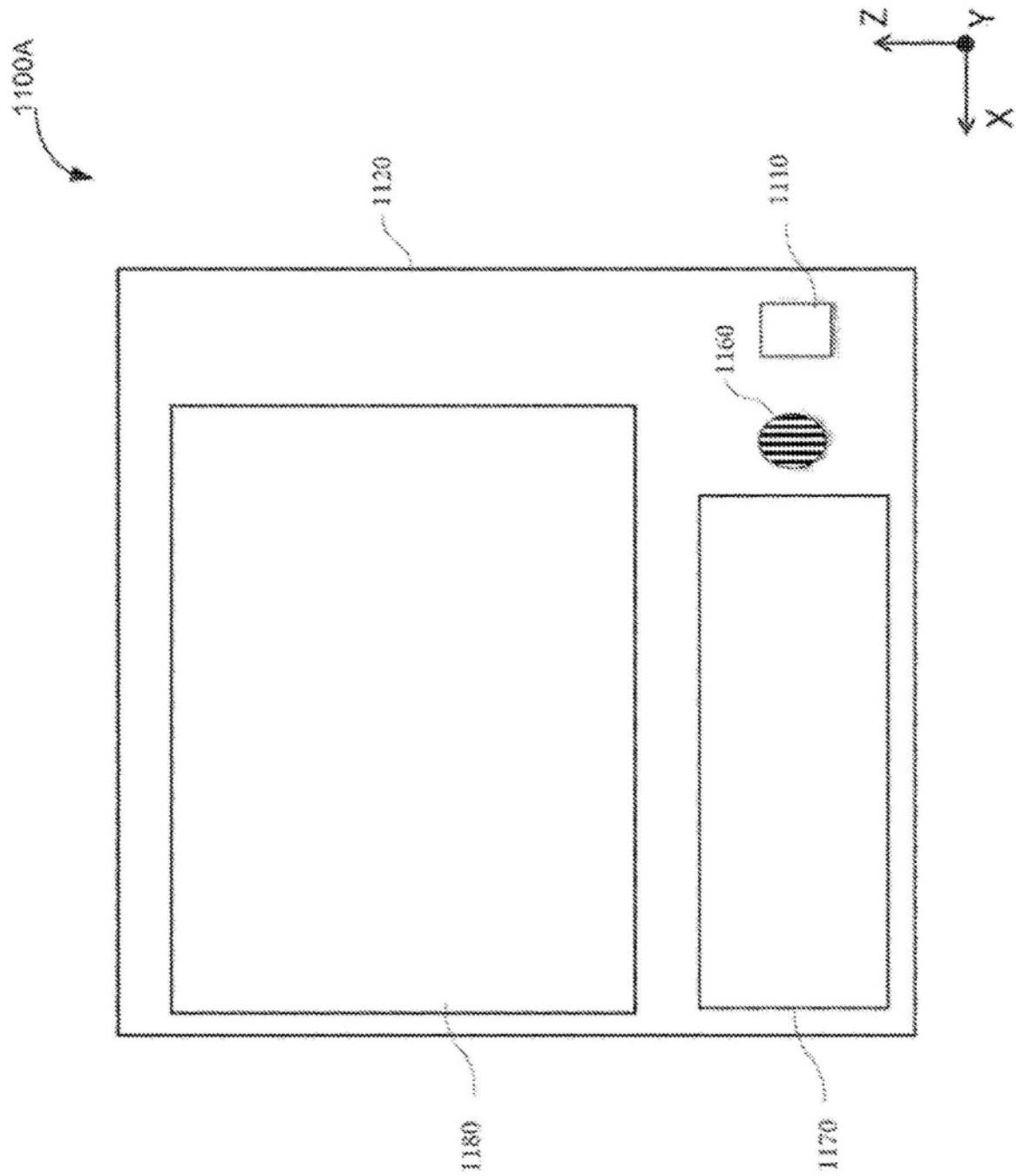


图11B

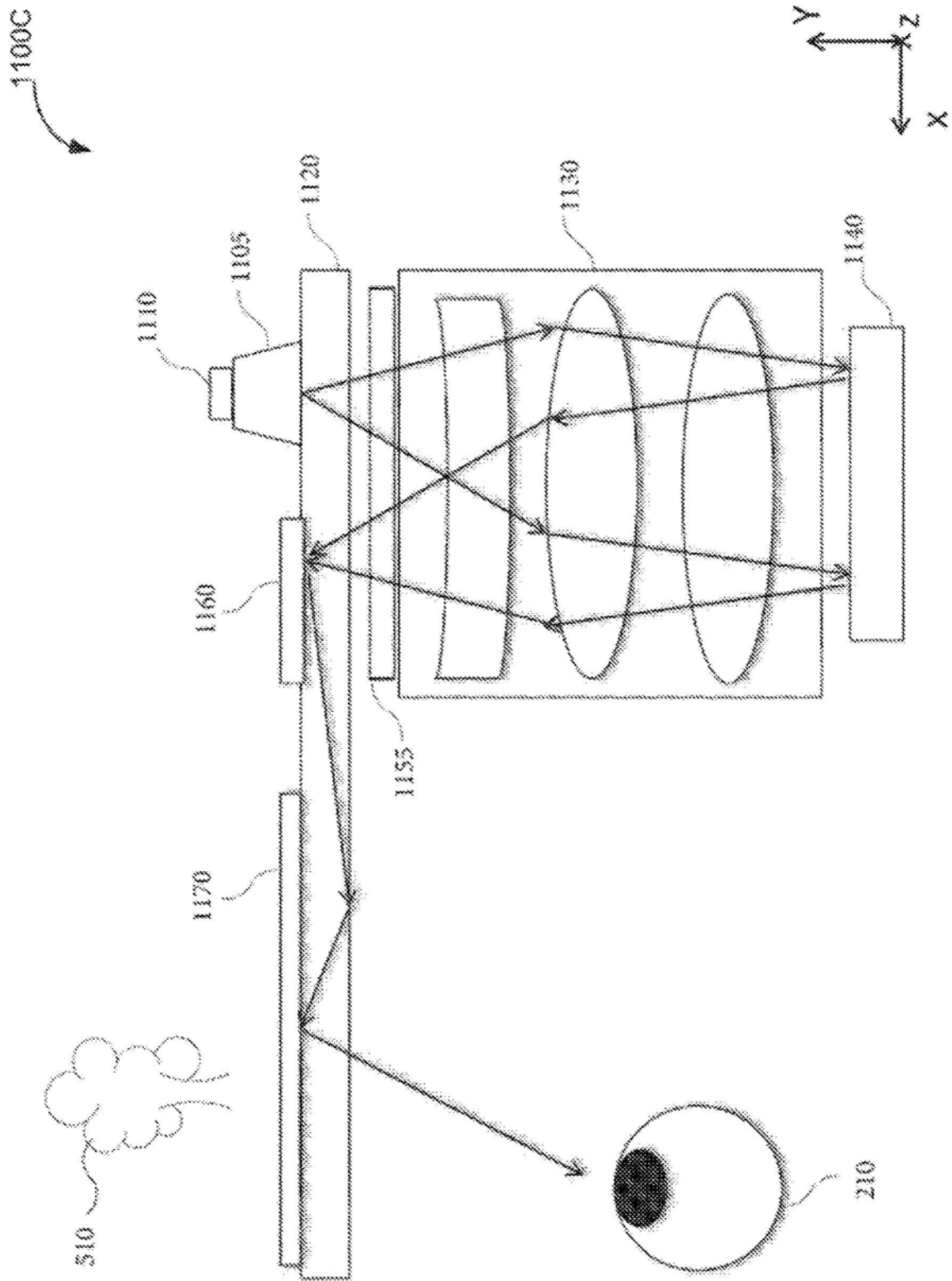


图11C

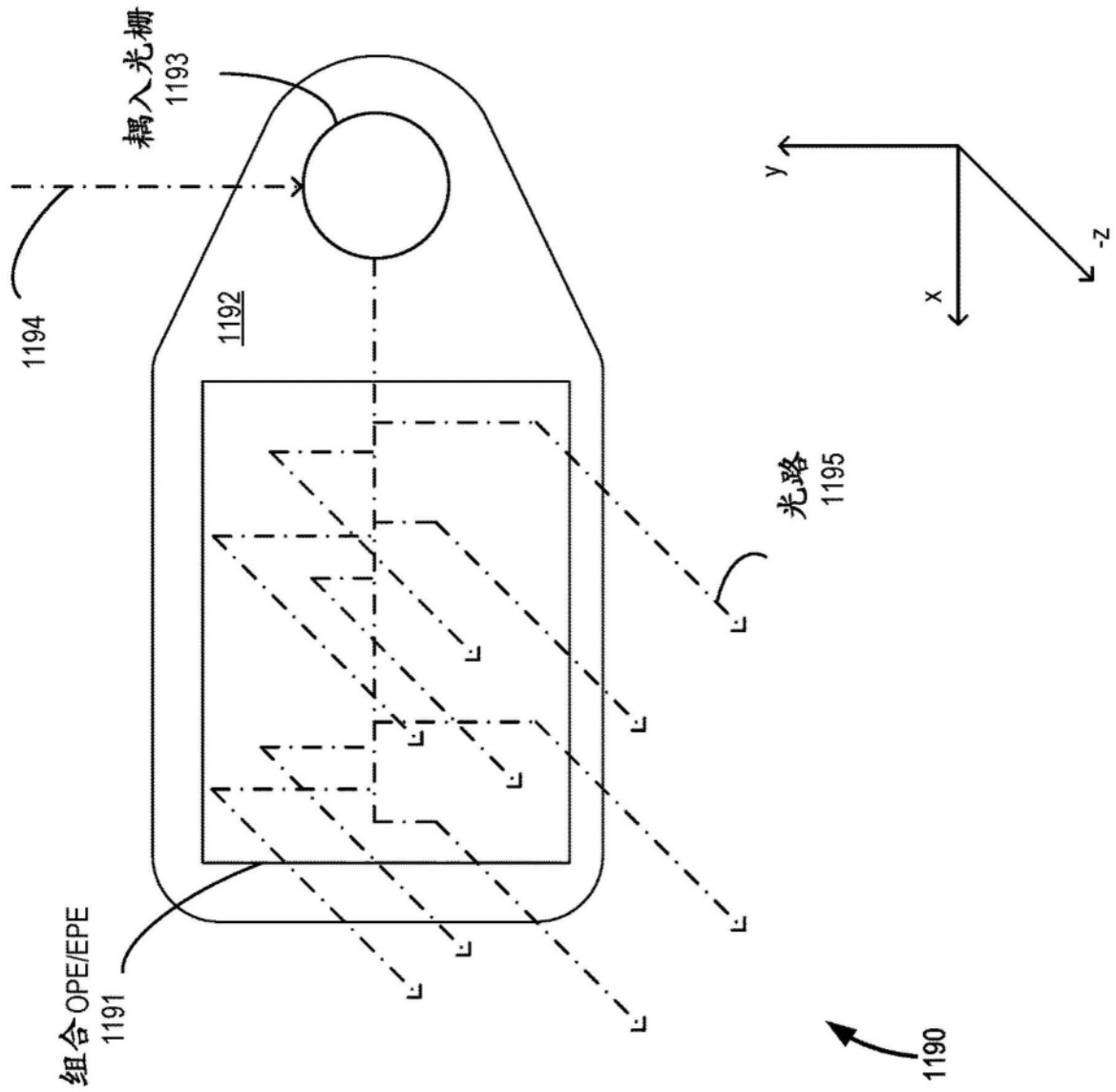


图11D

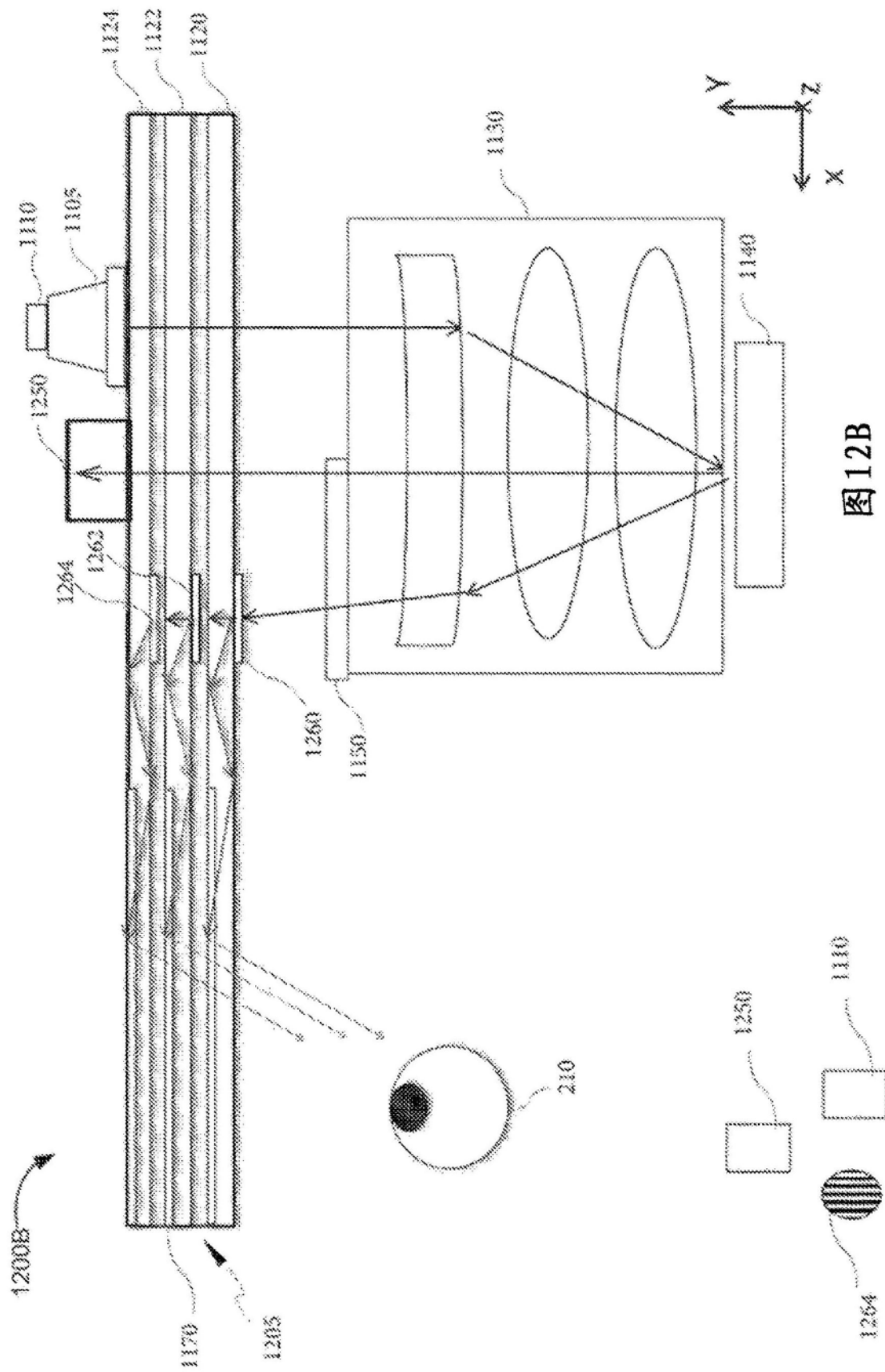


图12B

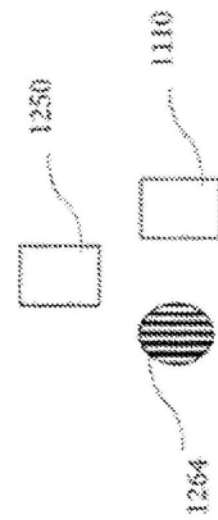


图12C

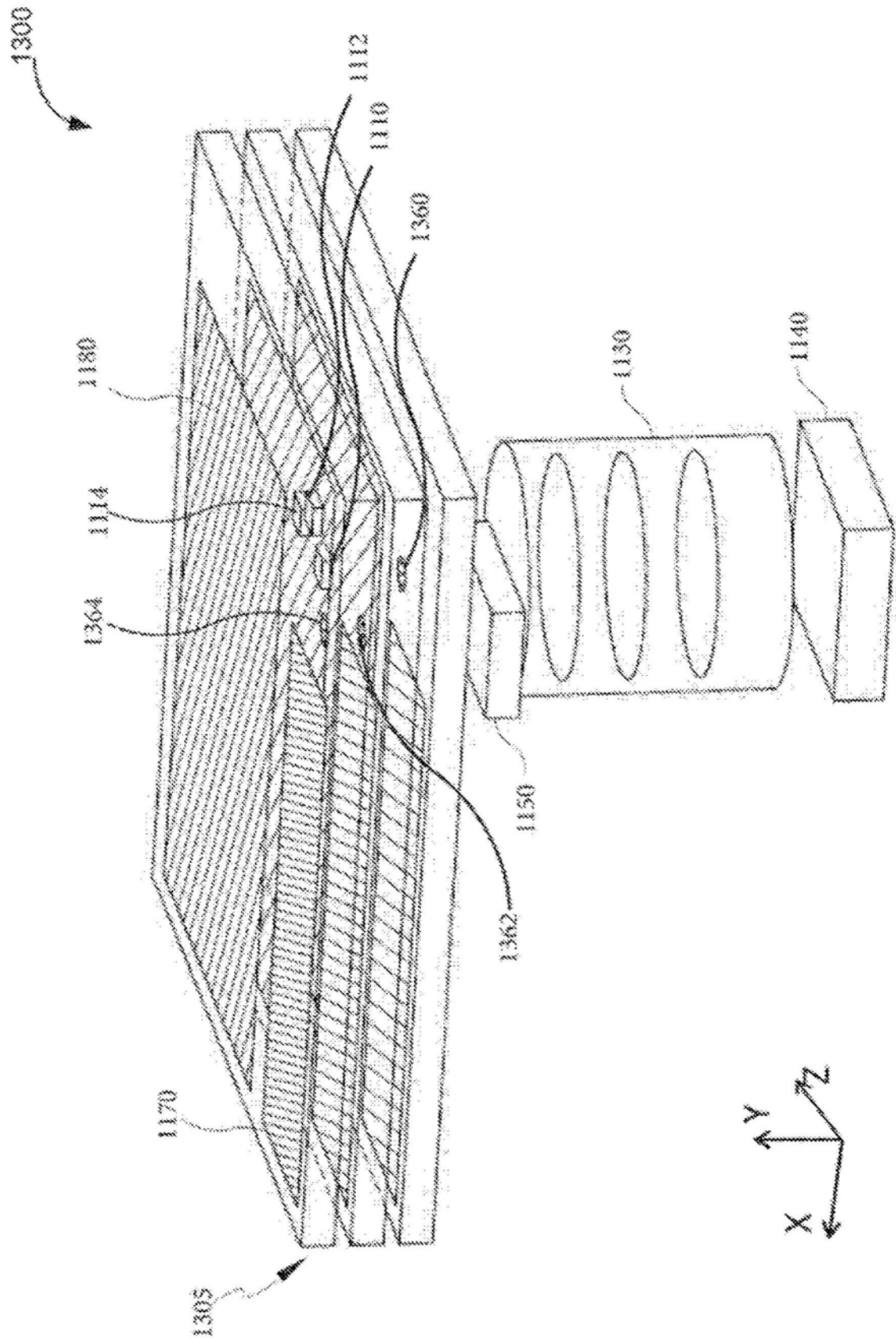


图13A

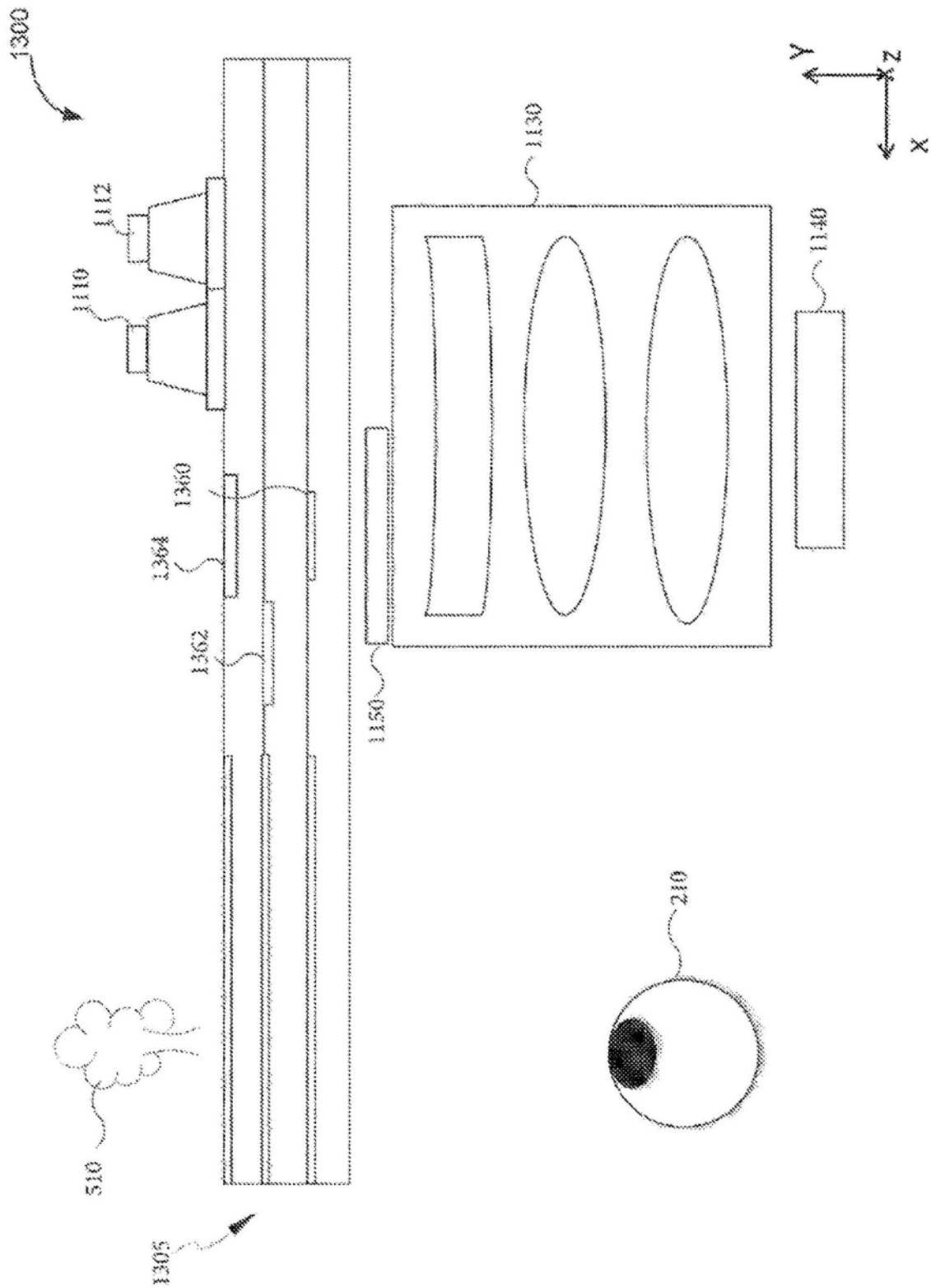


图13B

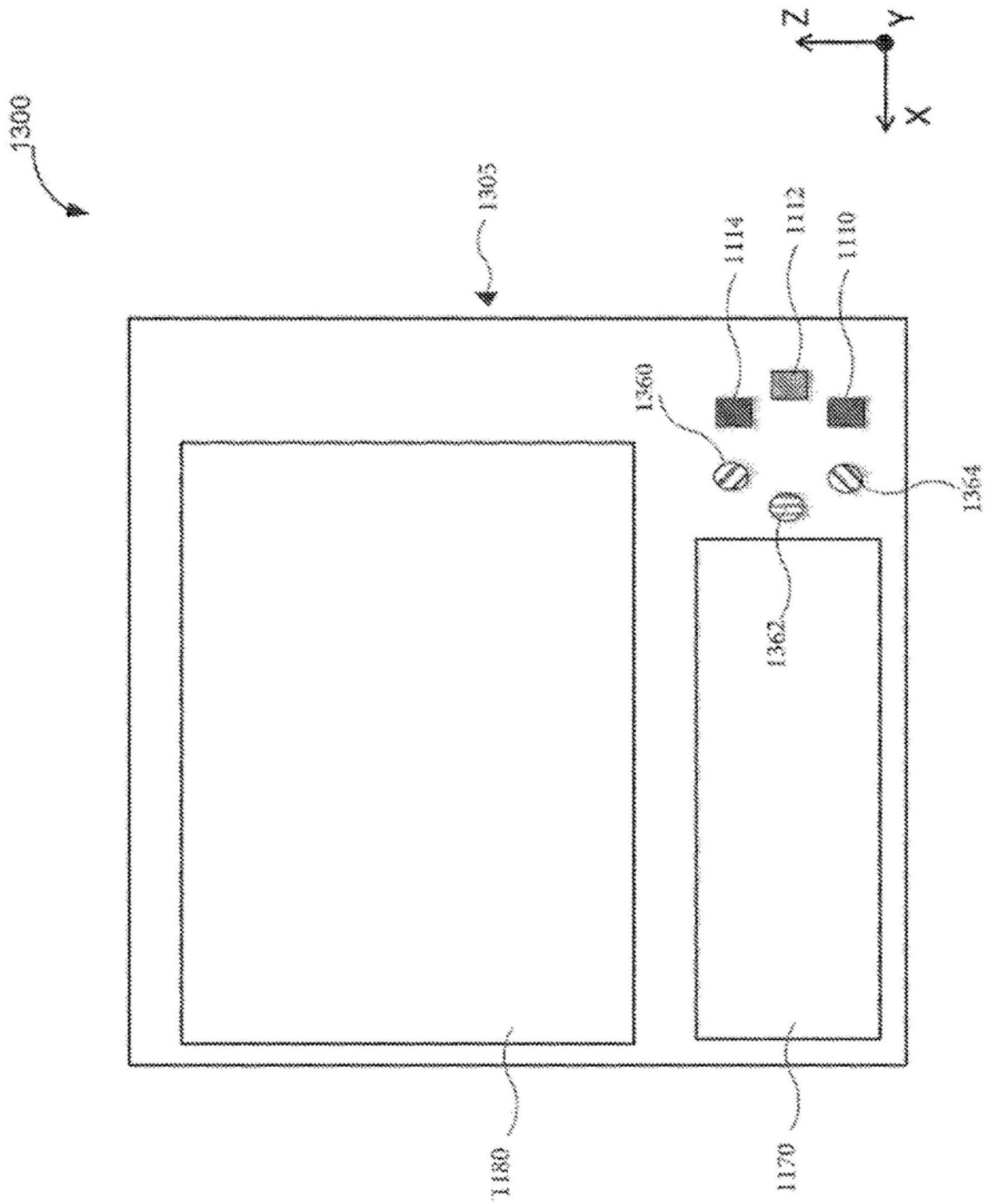


图13C

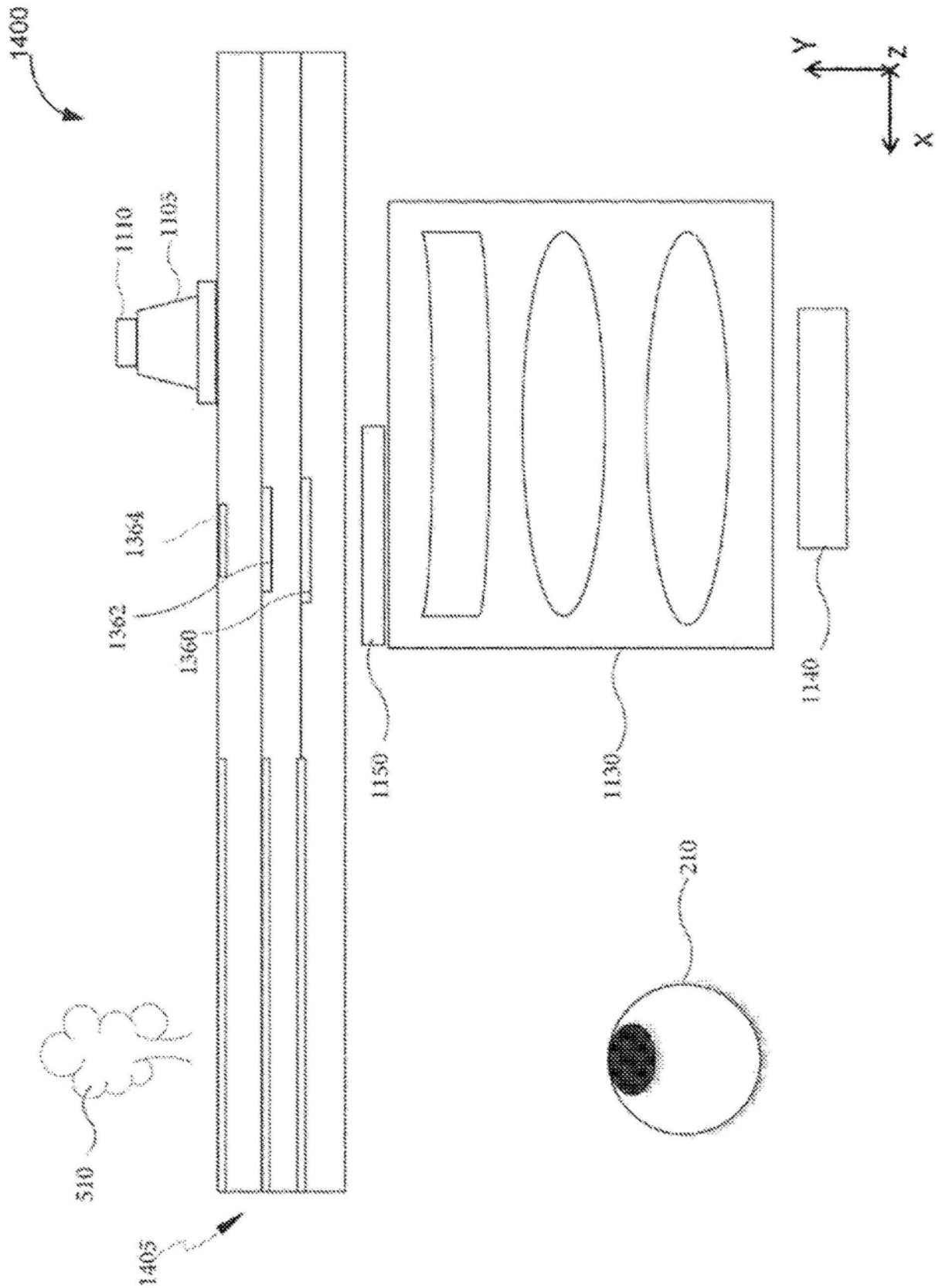


图14A

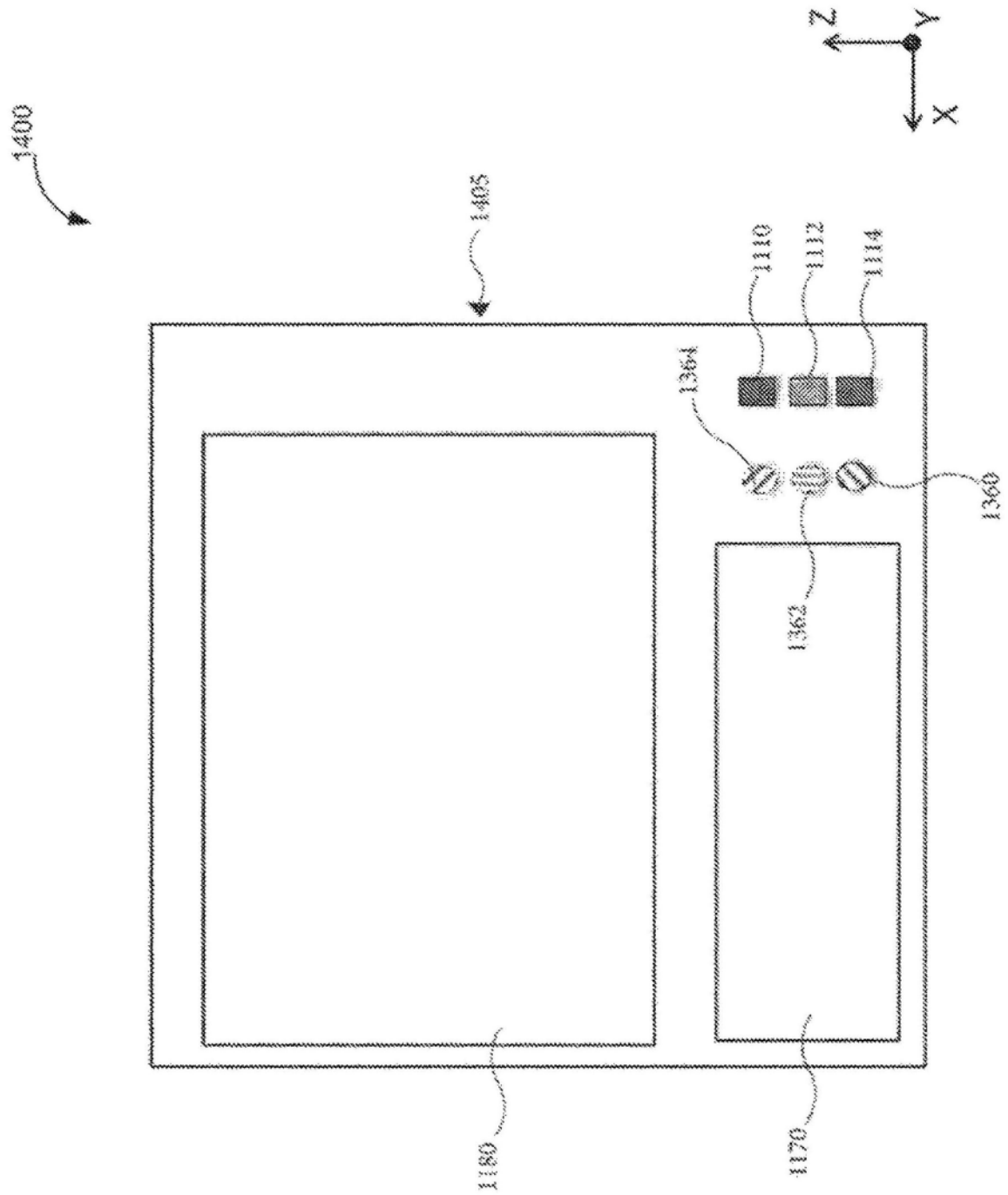


图14B

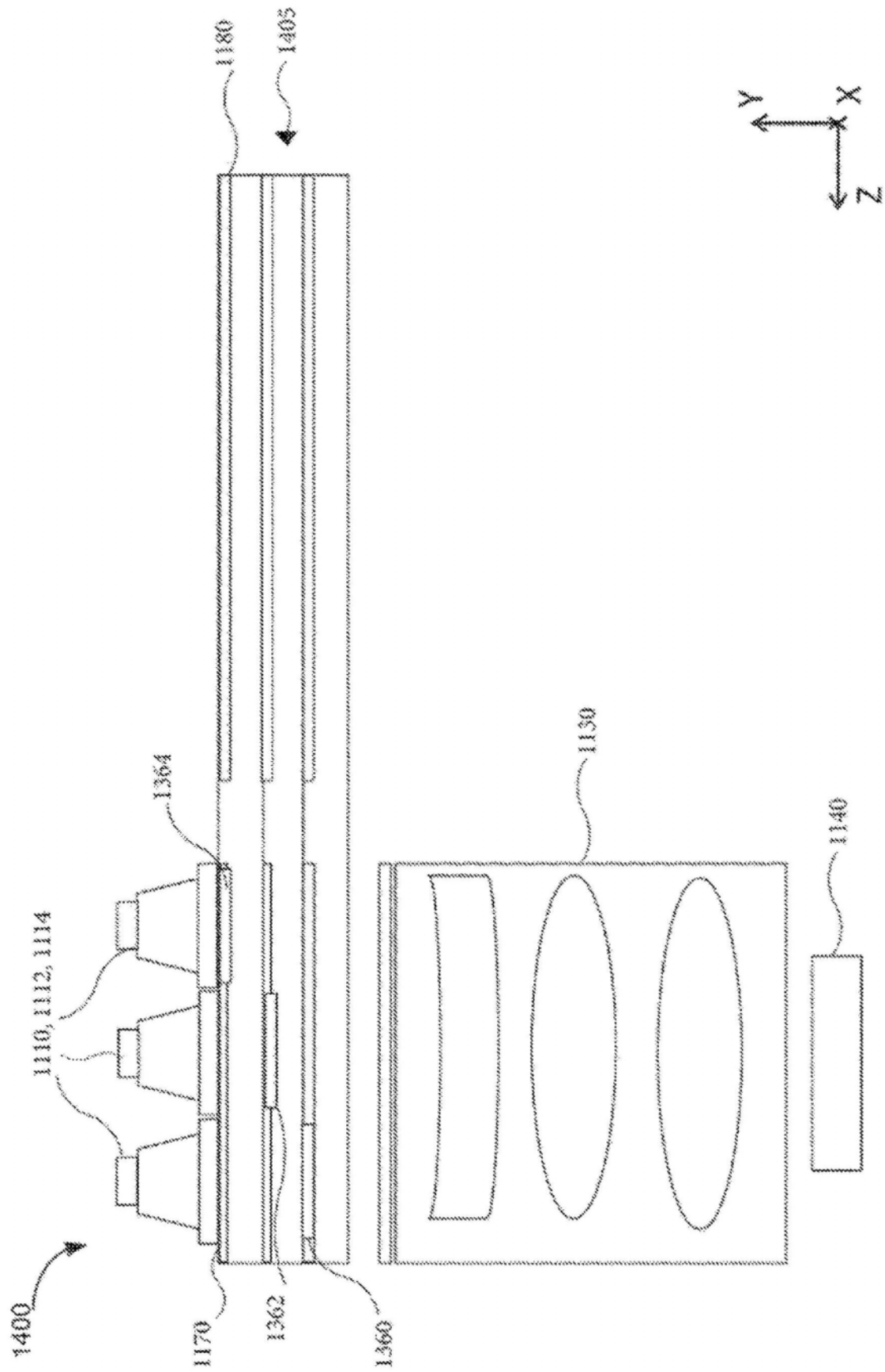


图14C

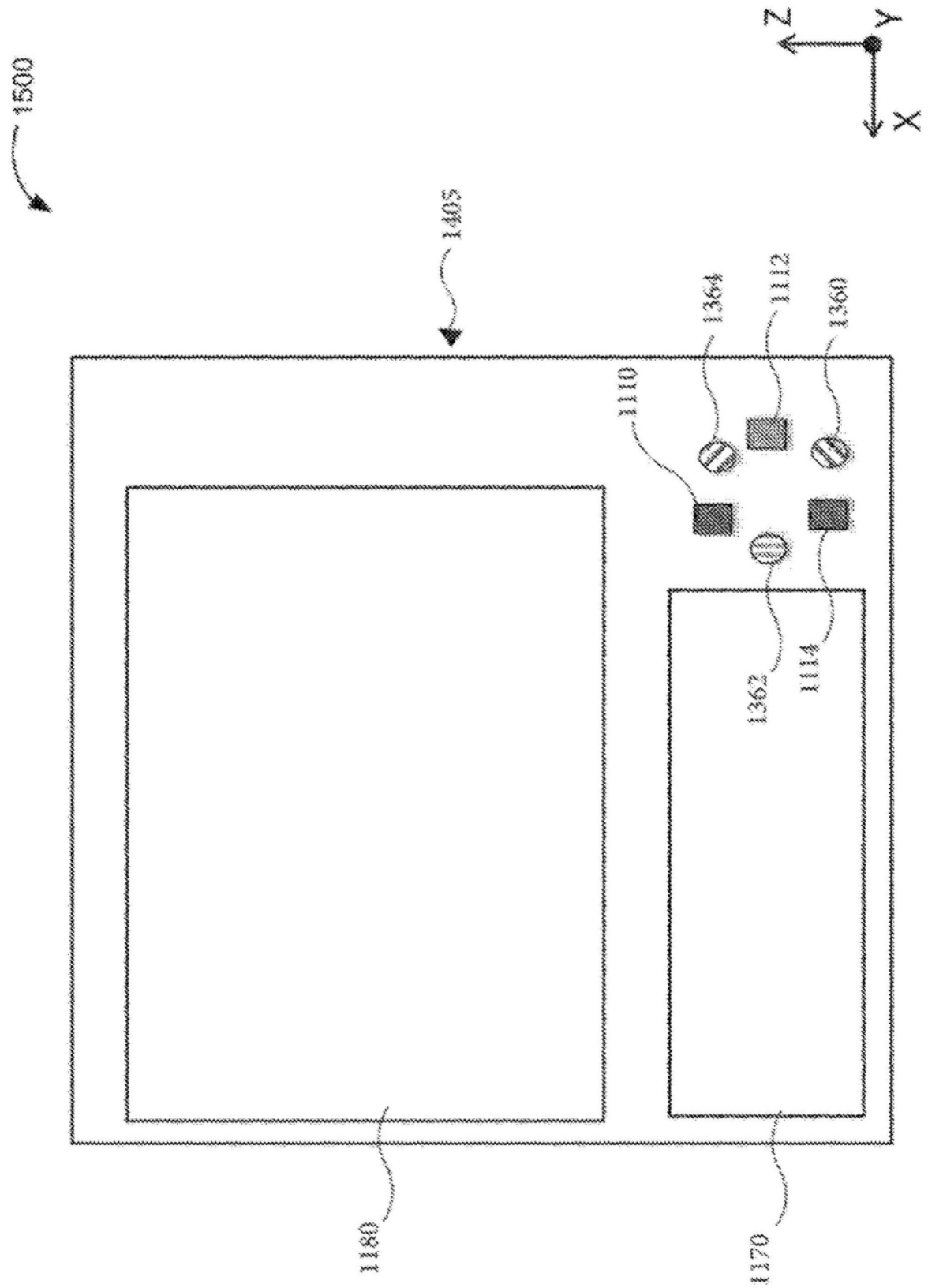


图15

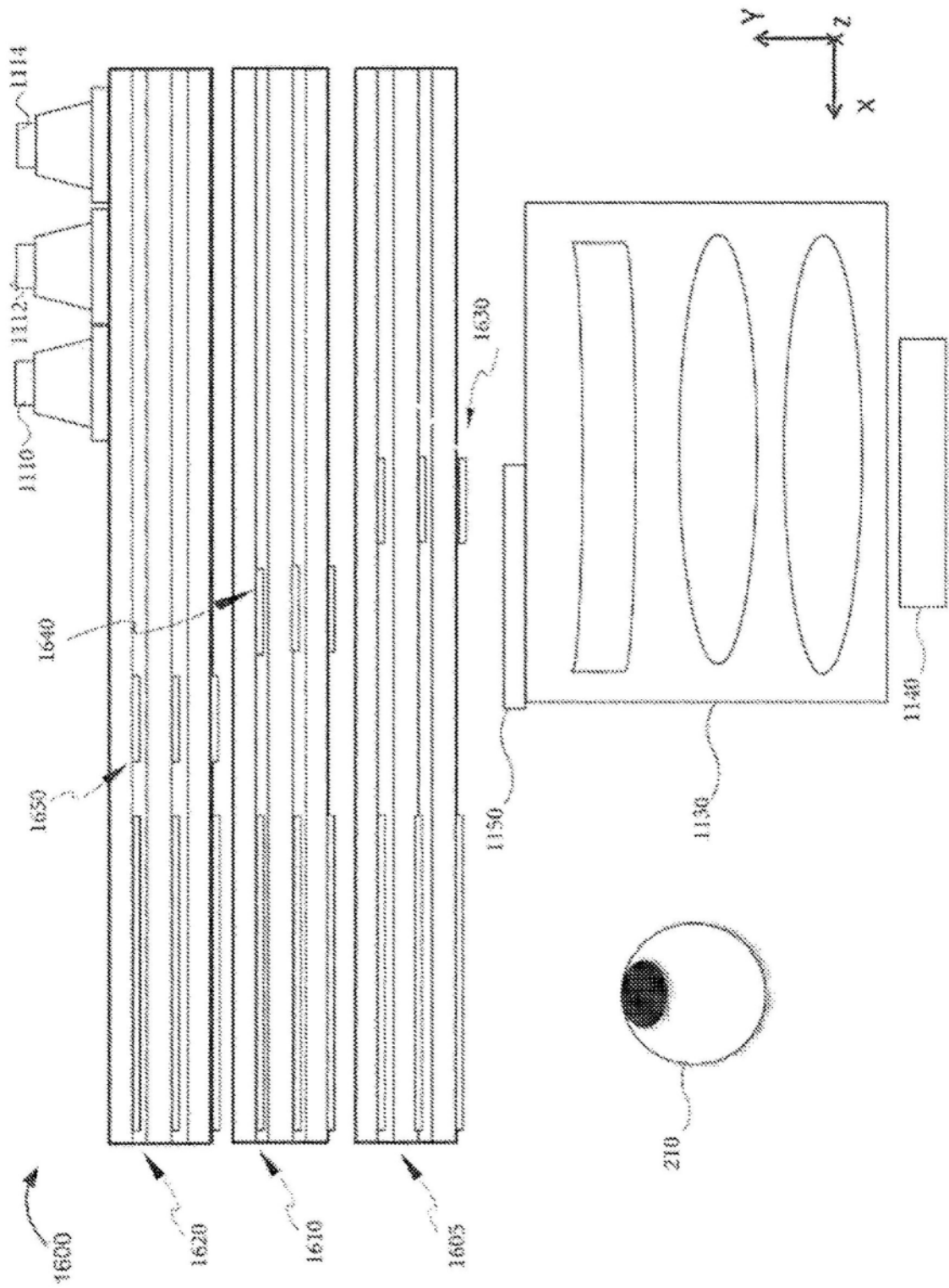


图16A

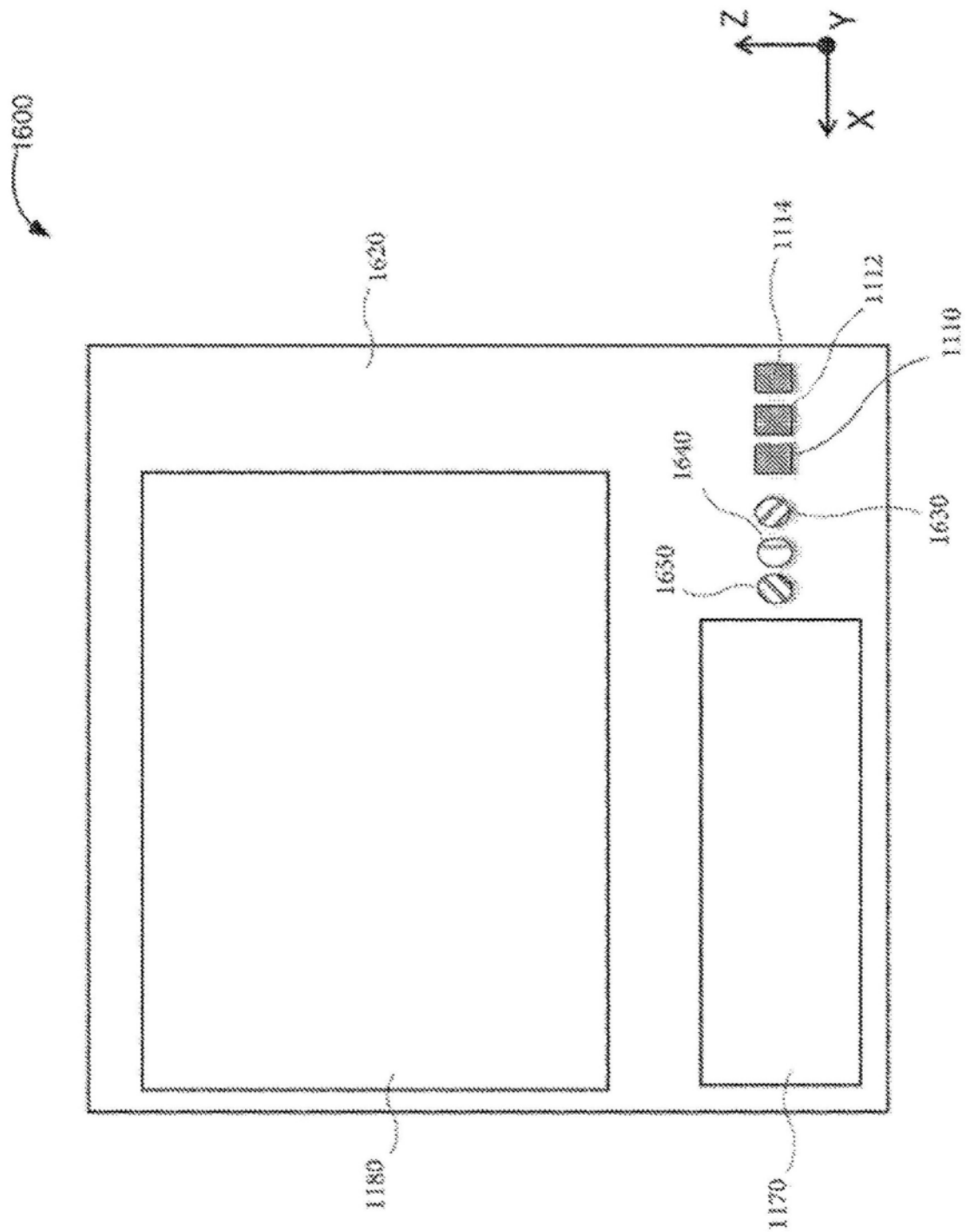


图16B

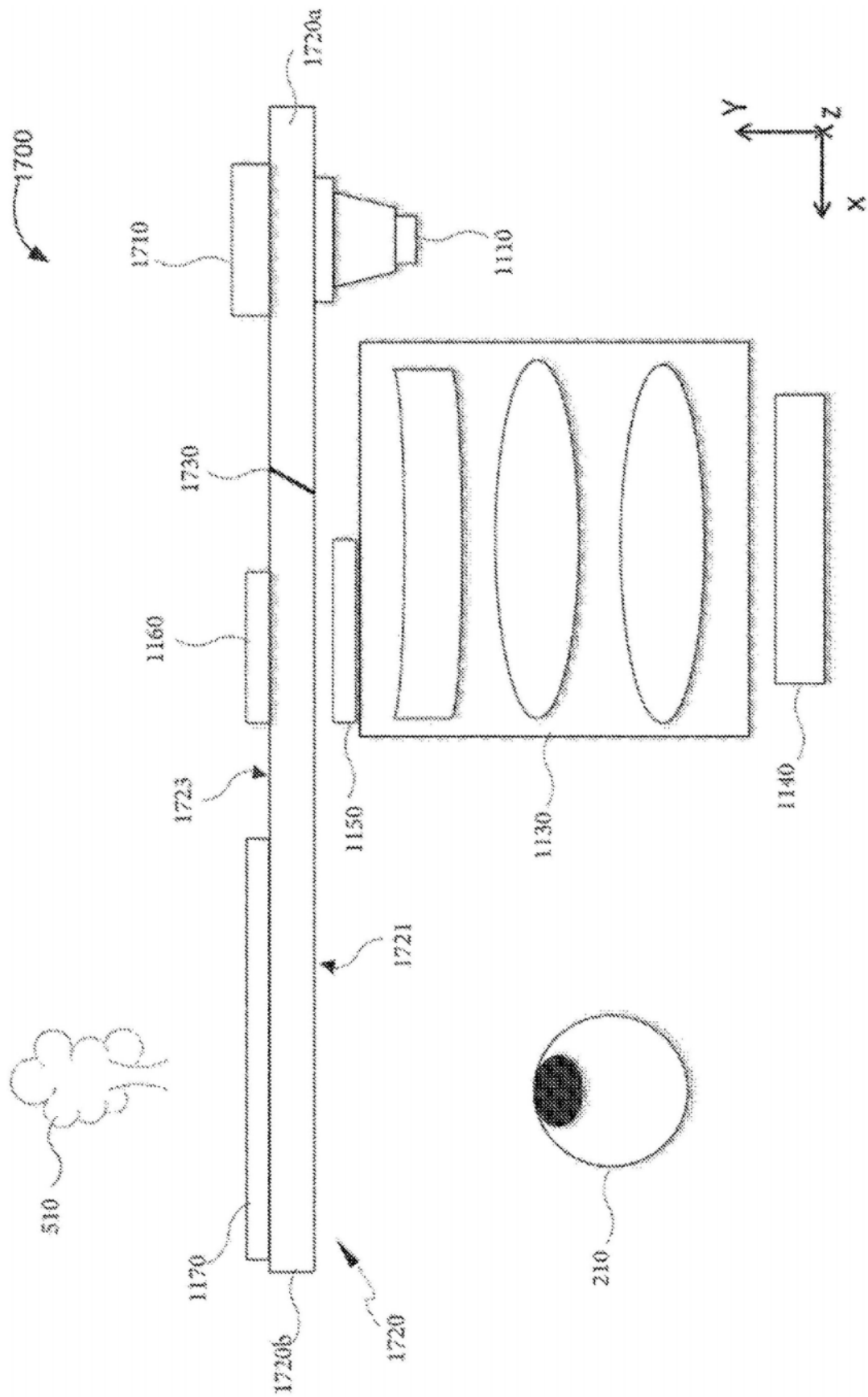


图17

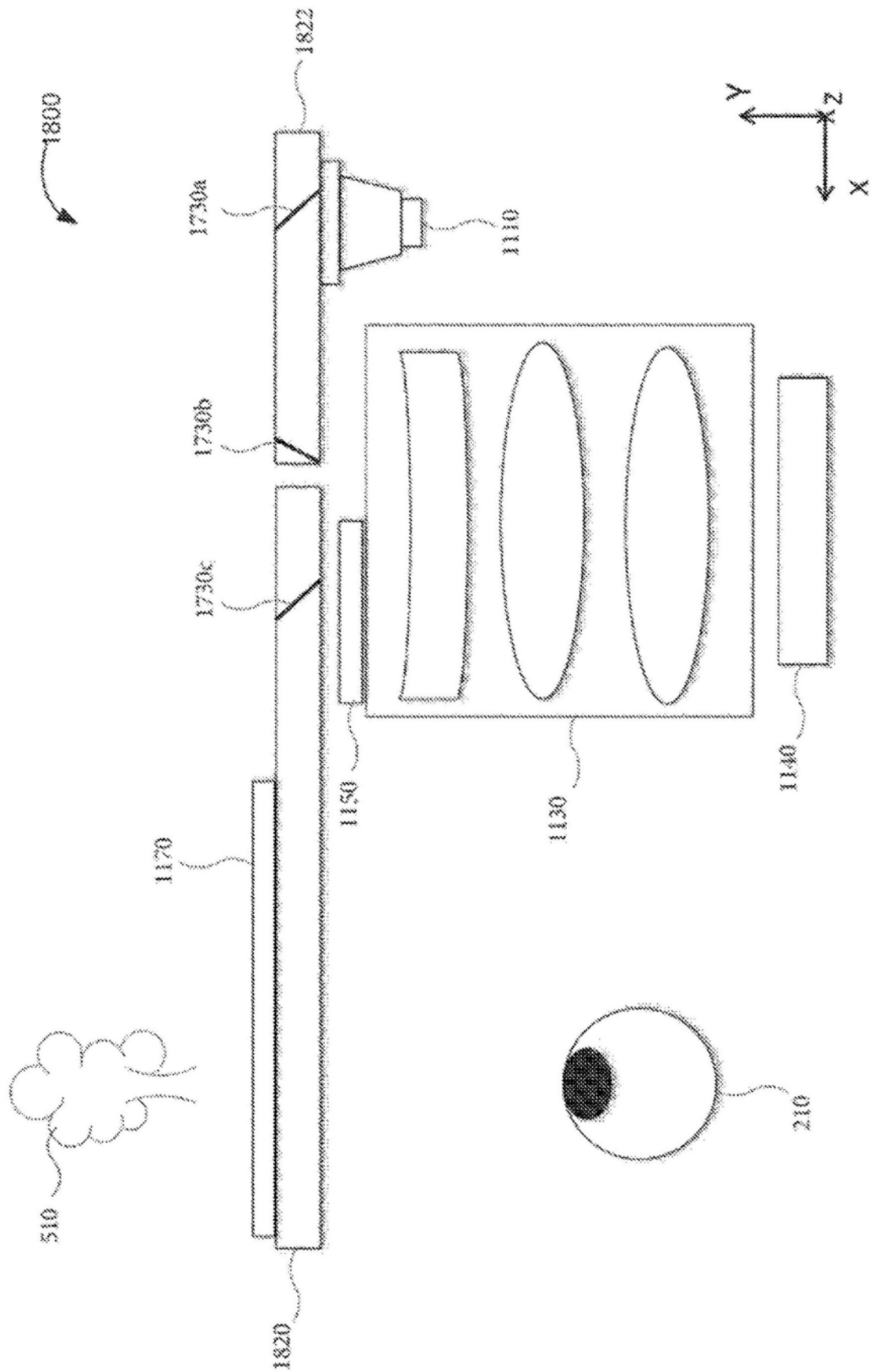


图18

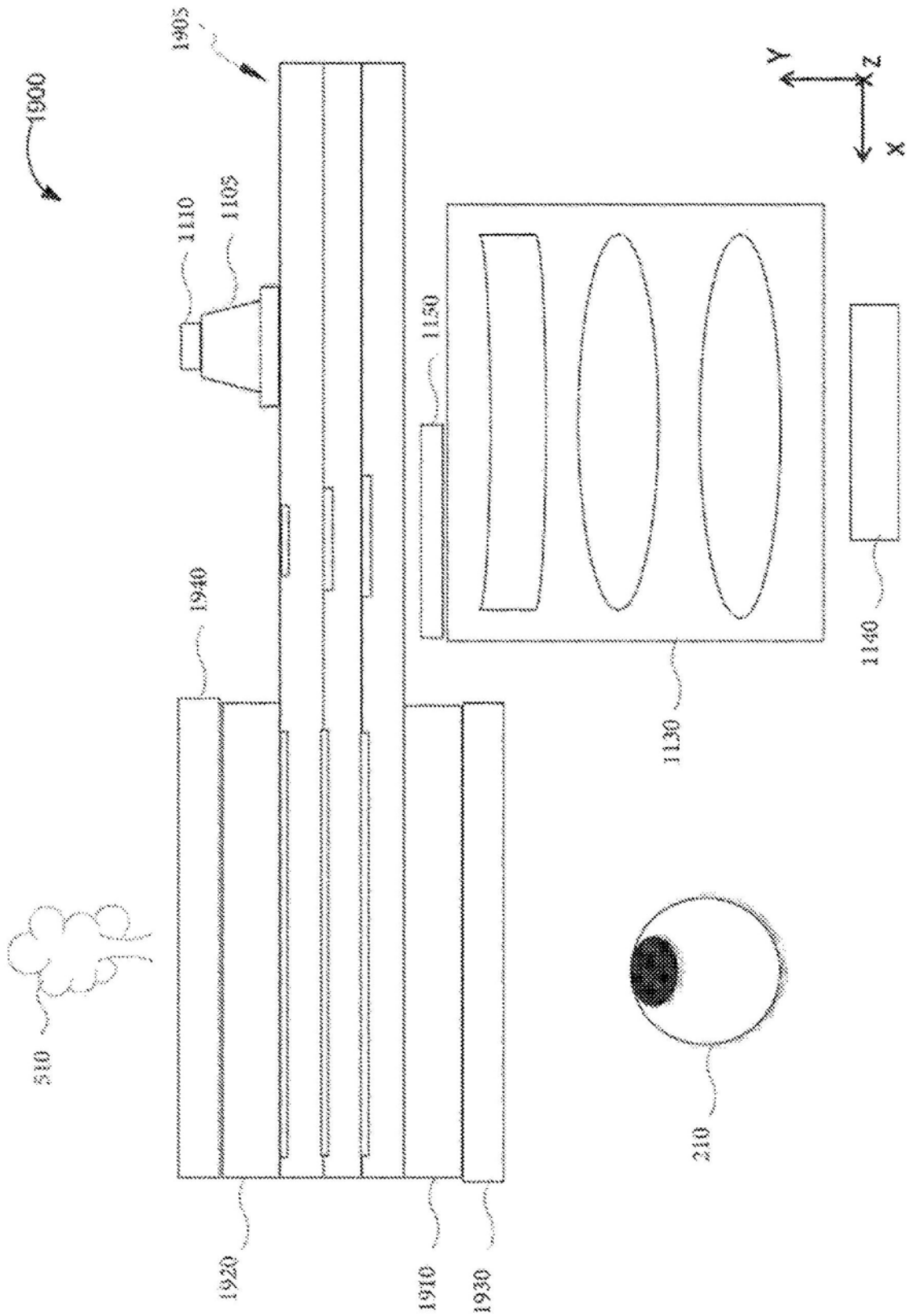


图19

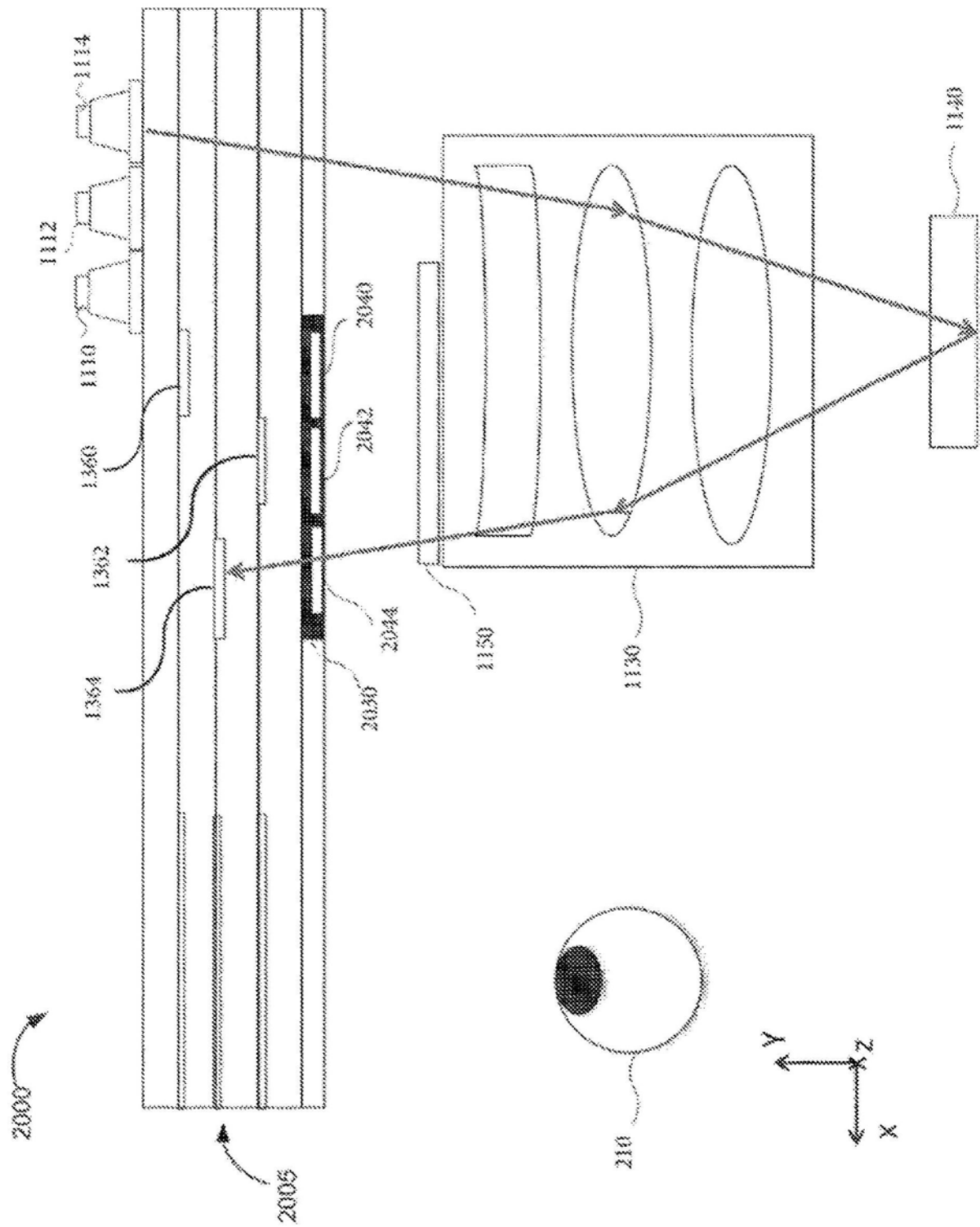


图20A

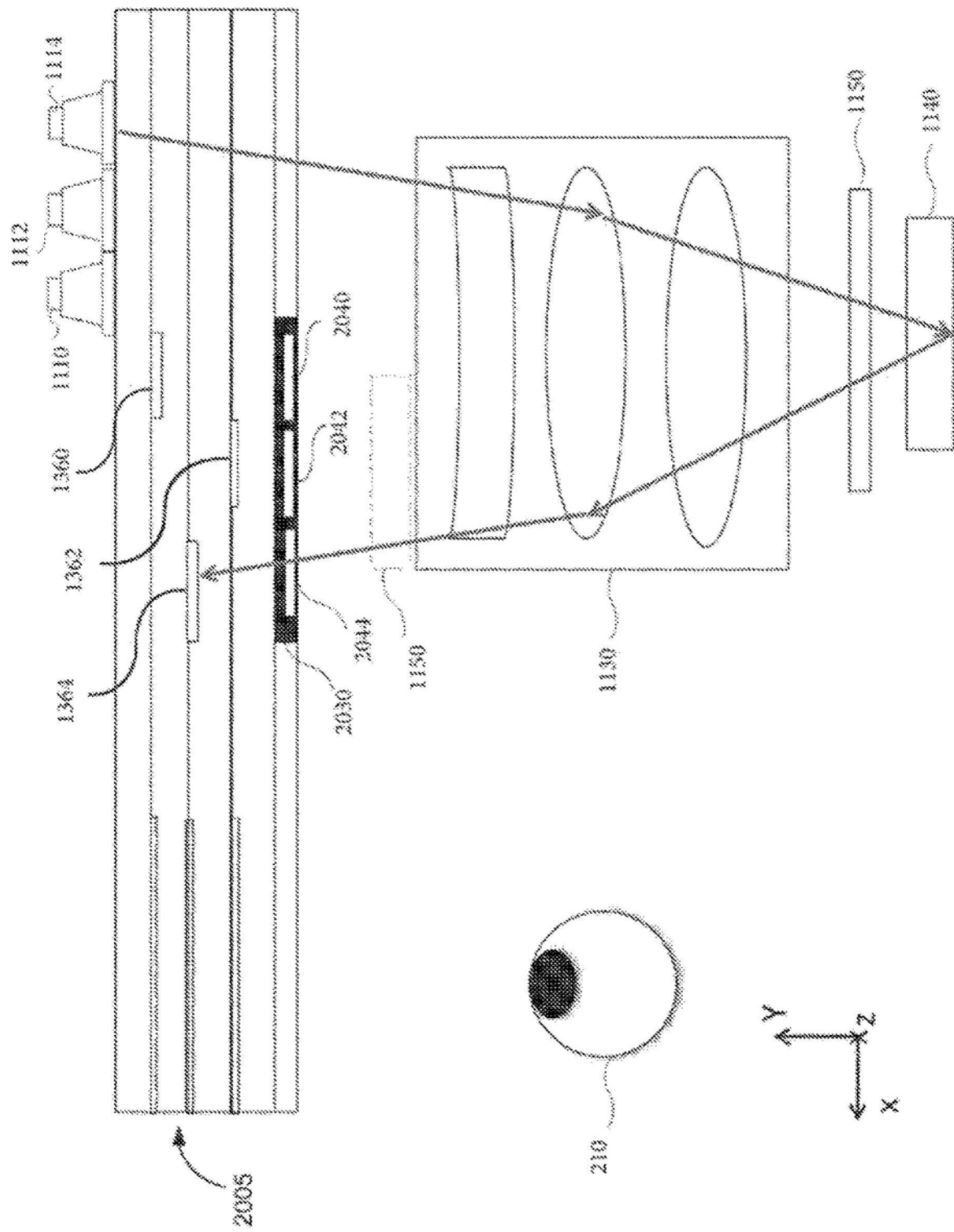


图20B

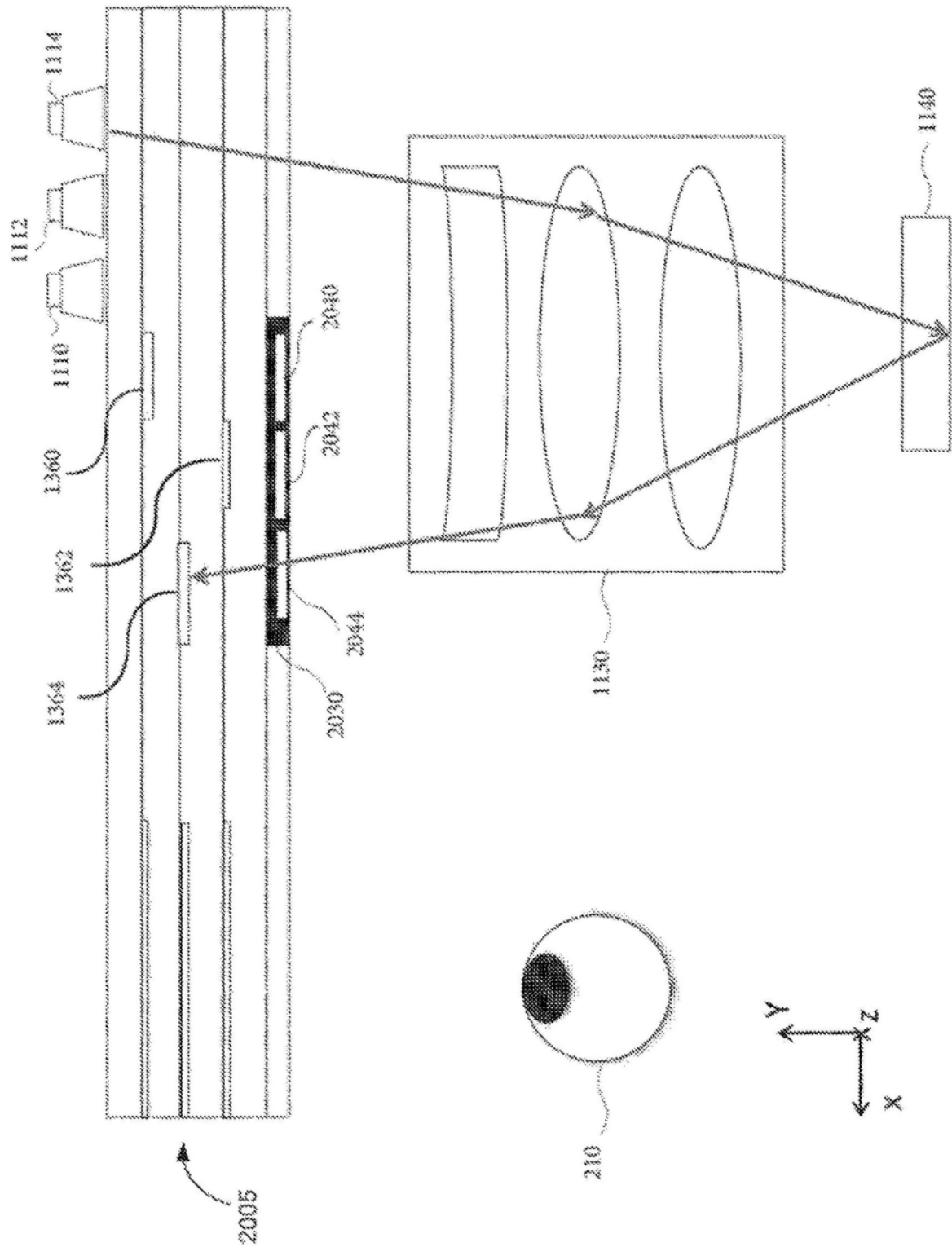


图20C

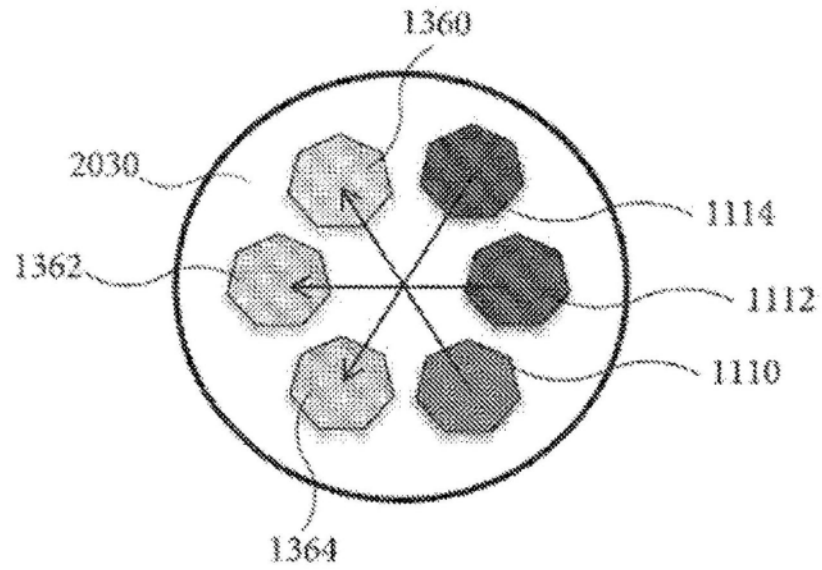


图20D

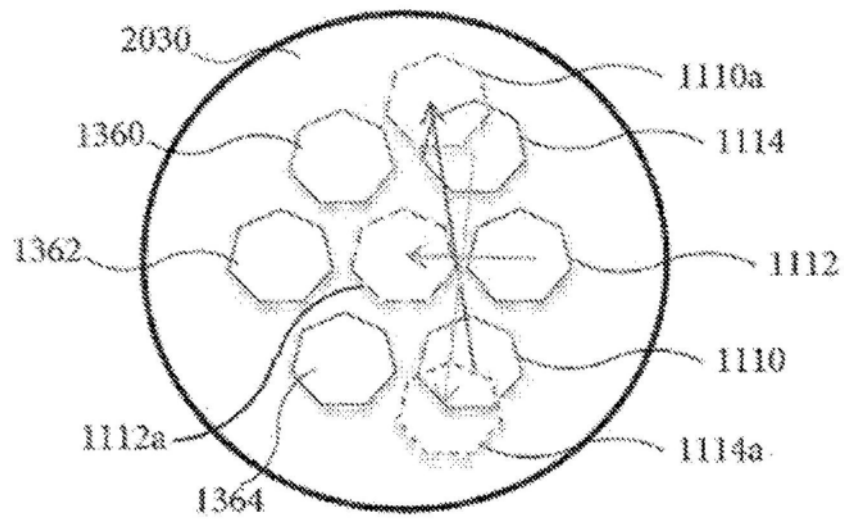


图20E

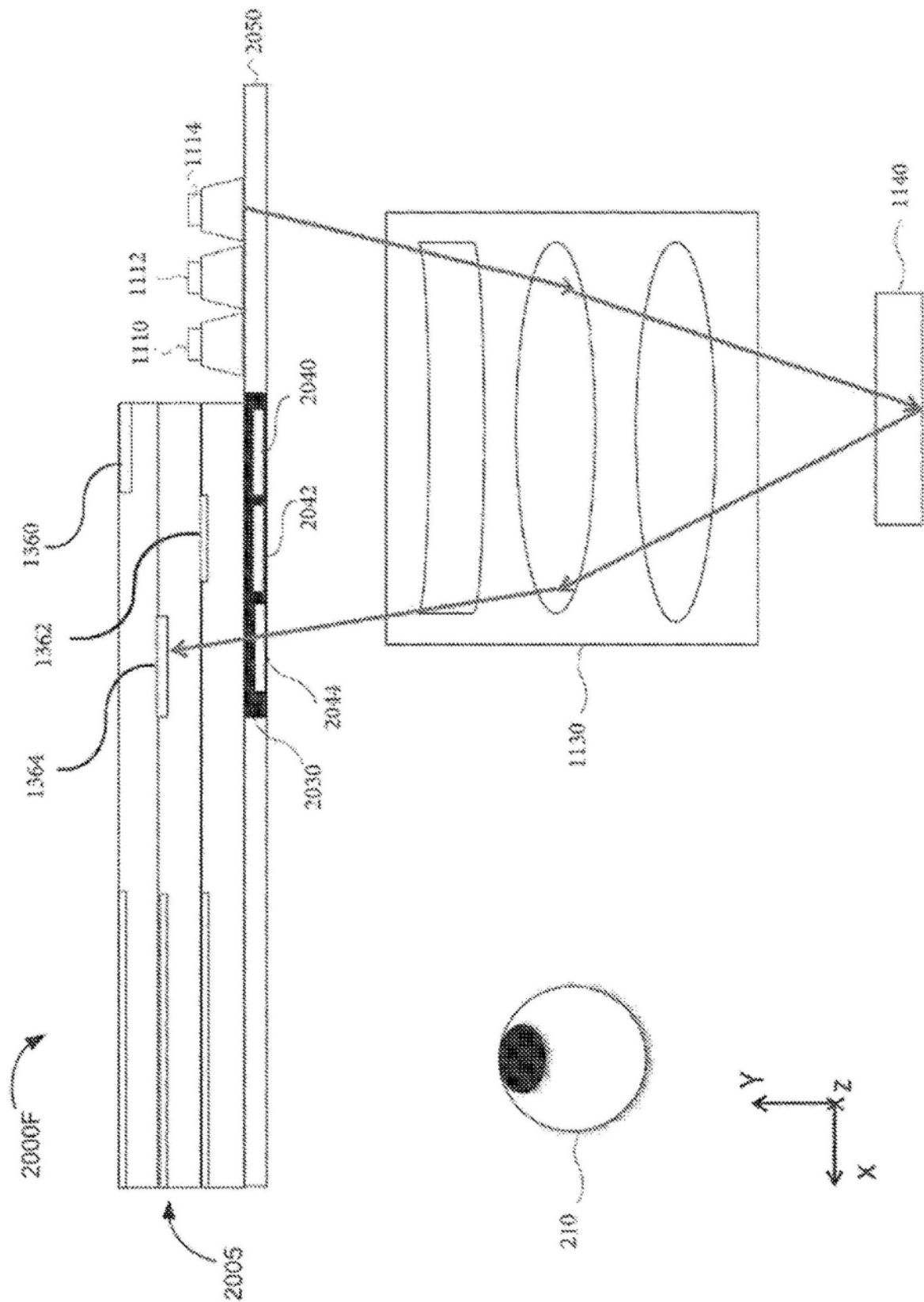


图20F

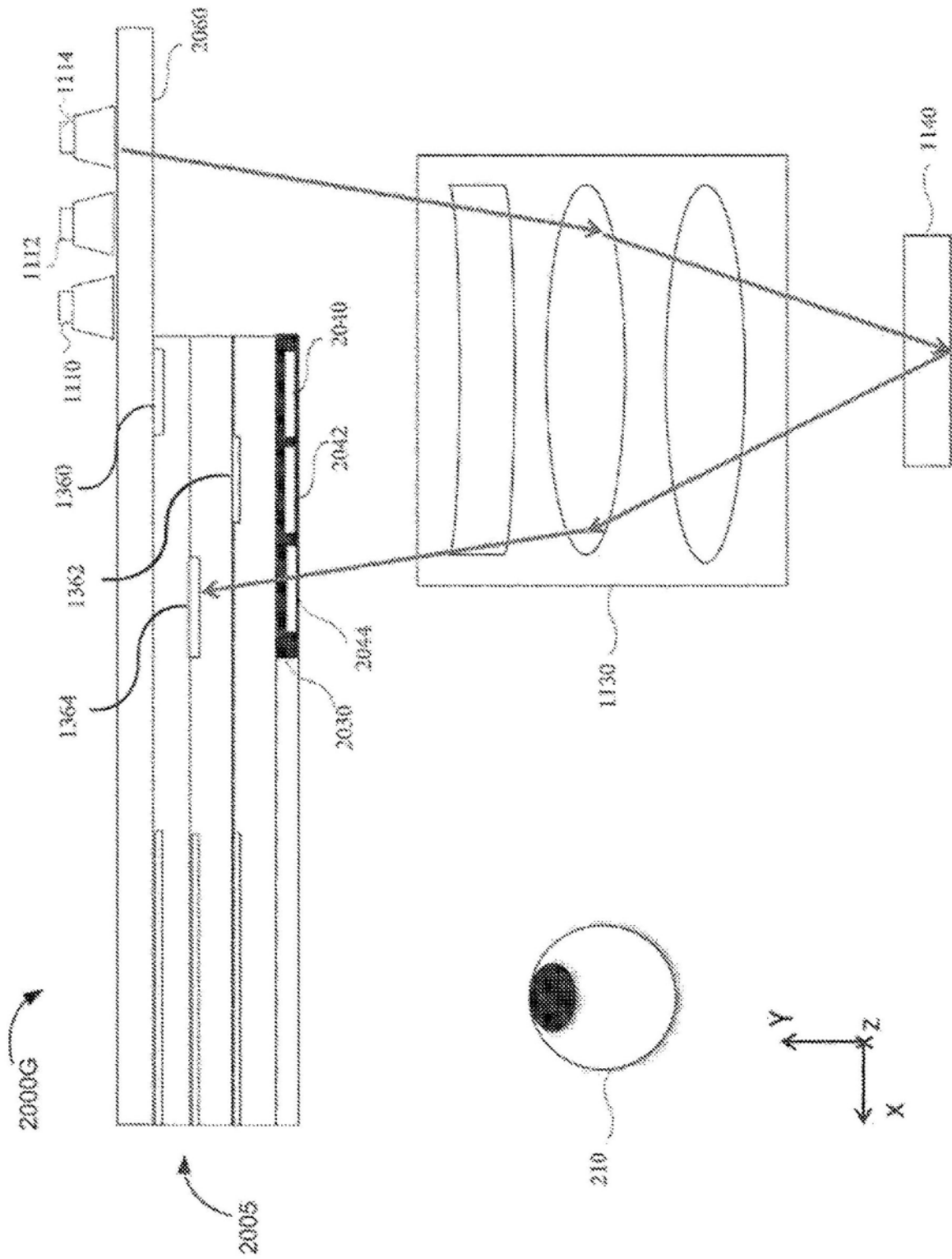


图20G

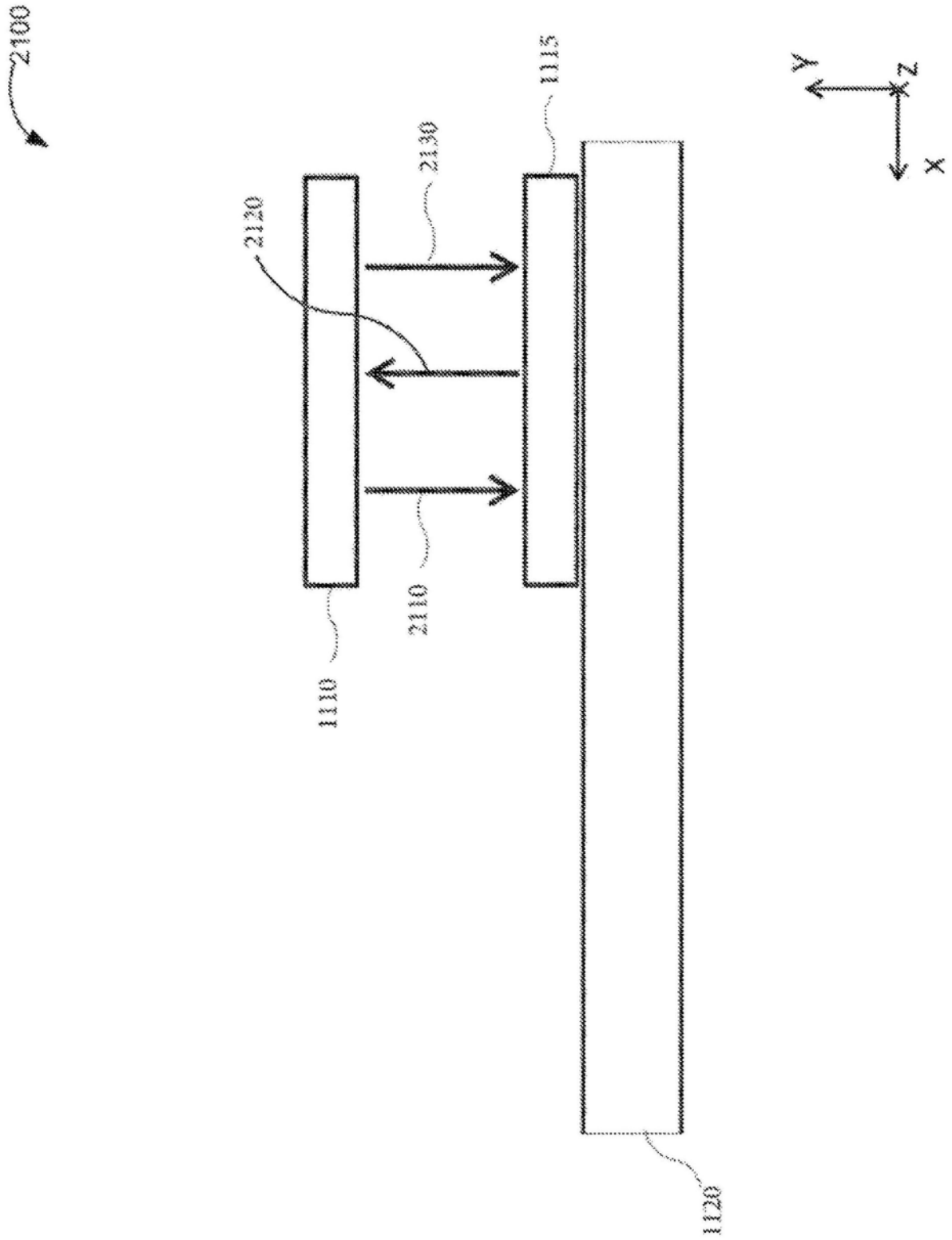


图21

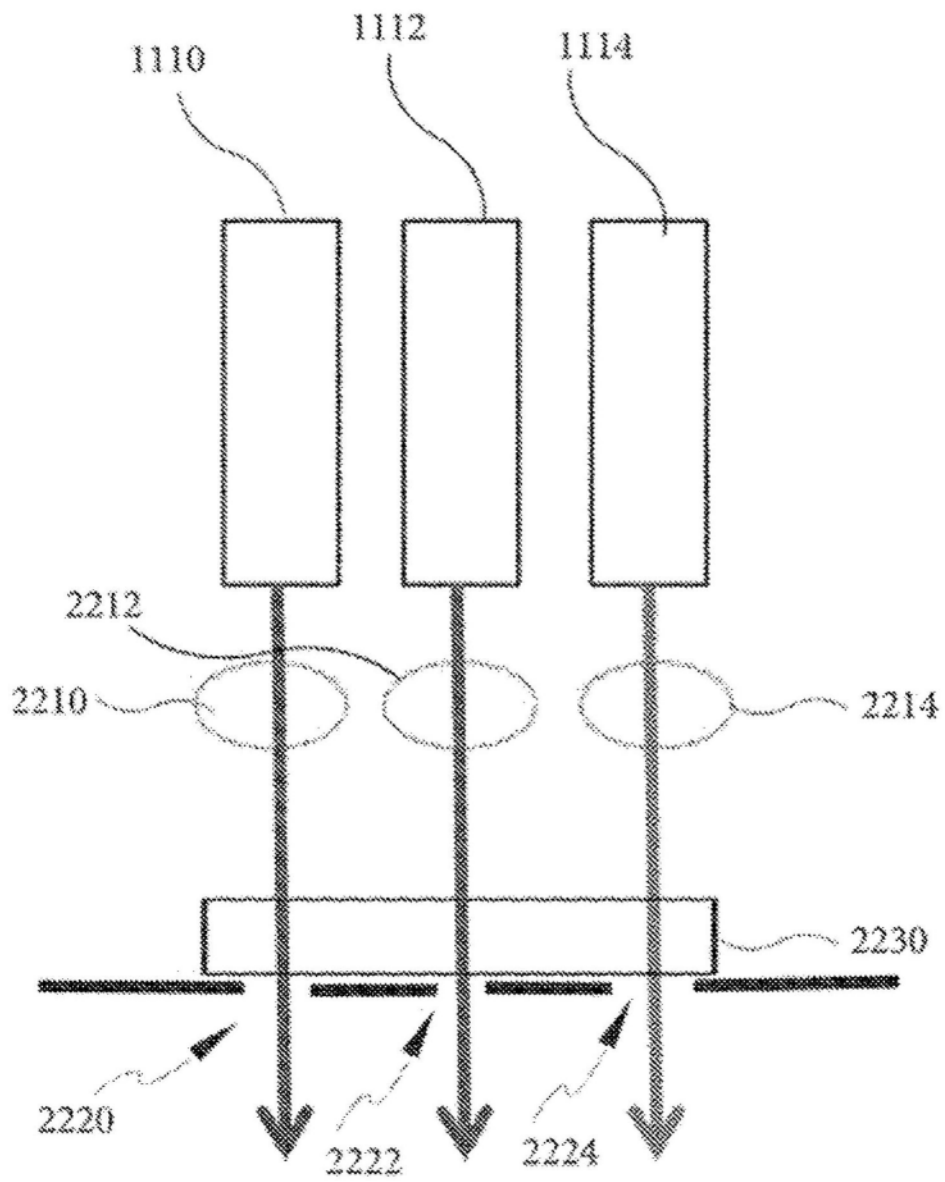


图22

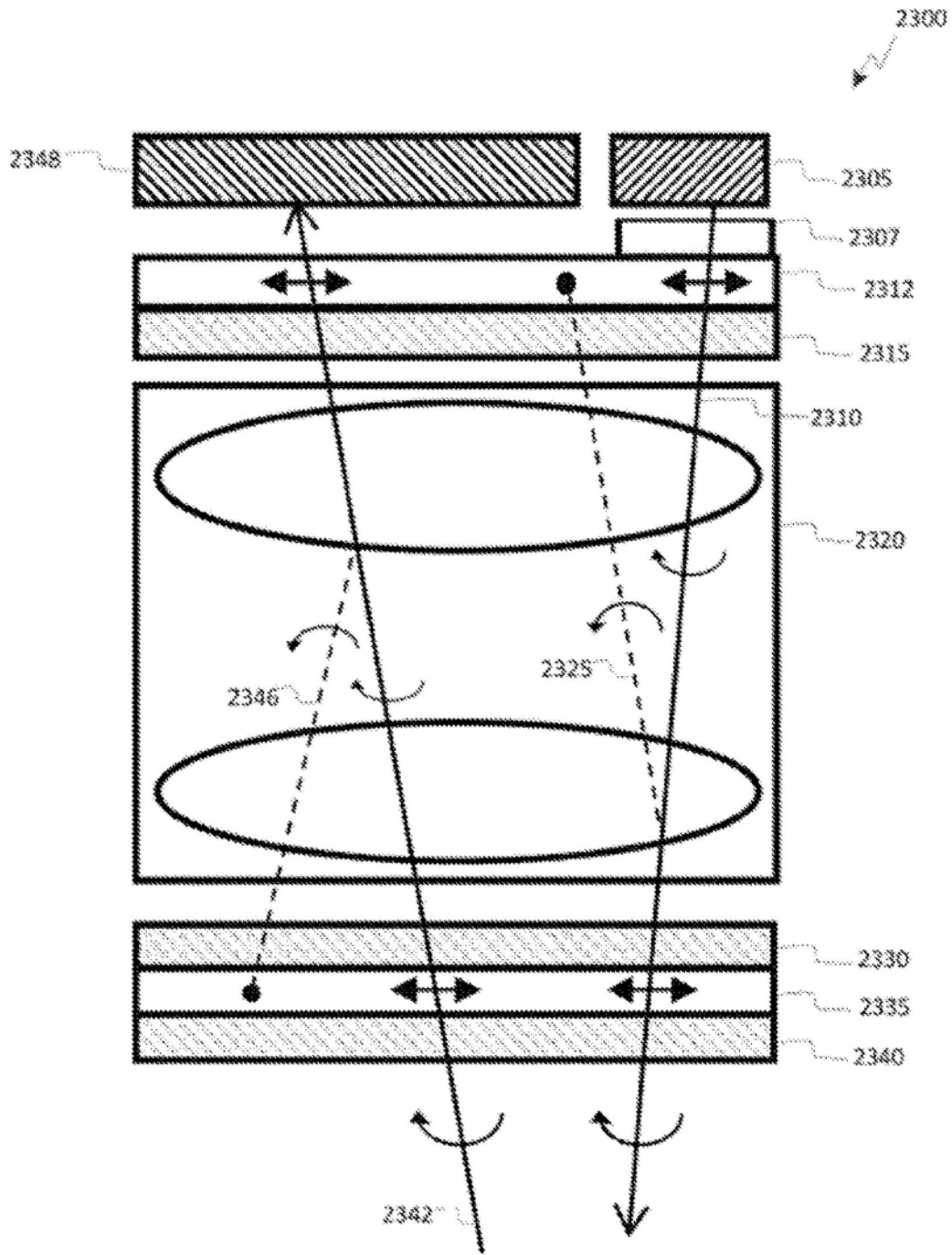


图23A

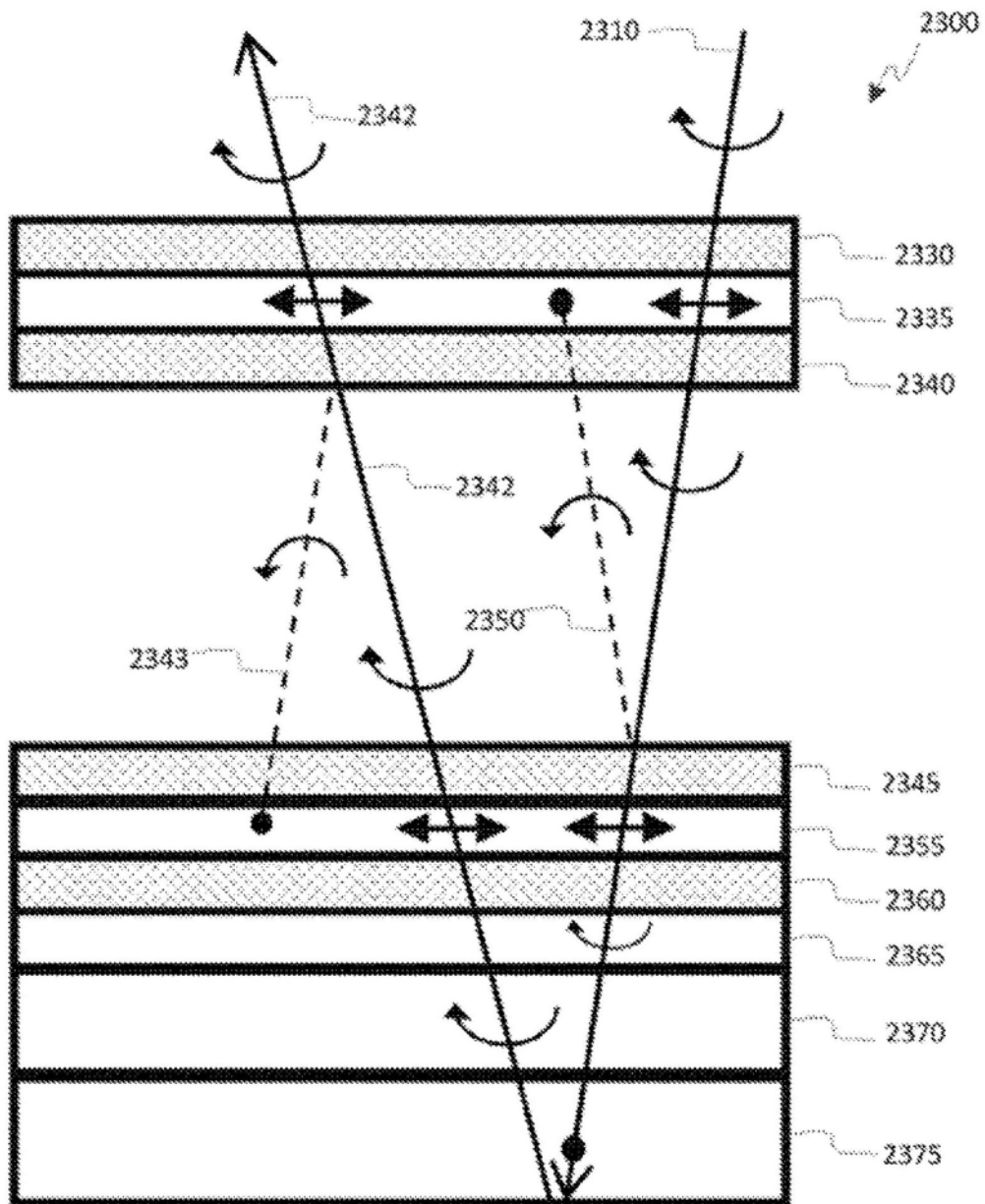


图23B

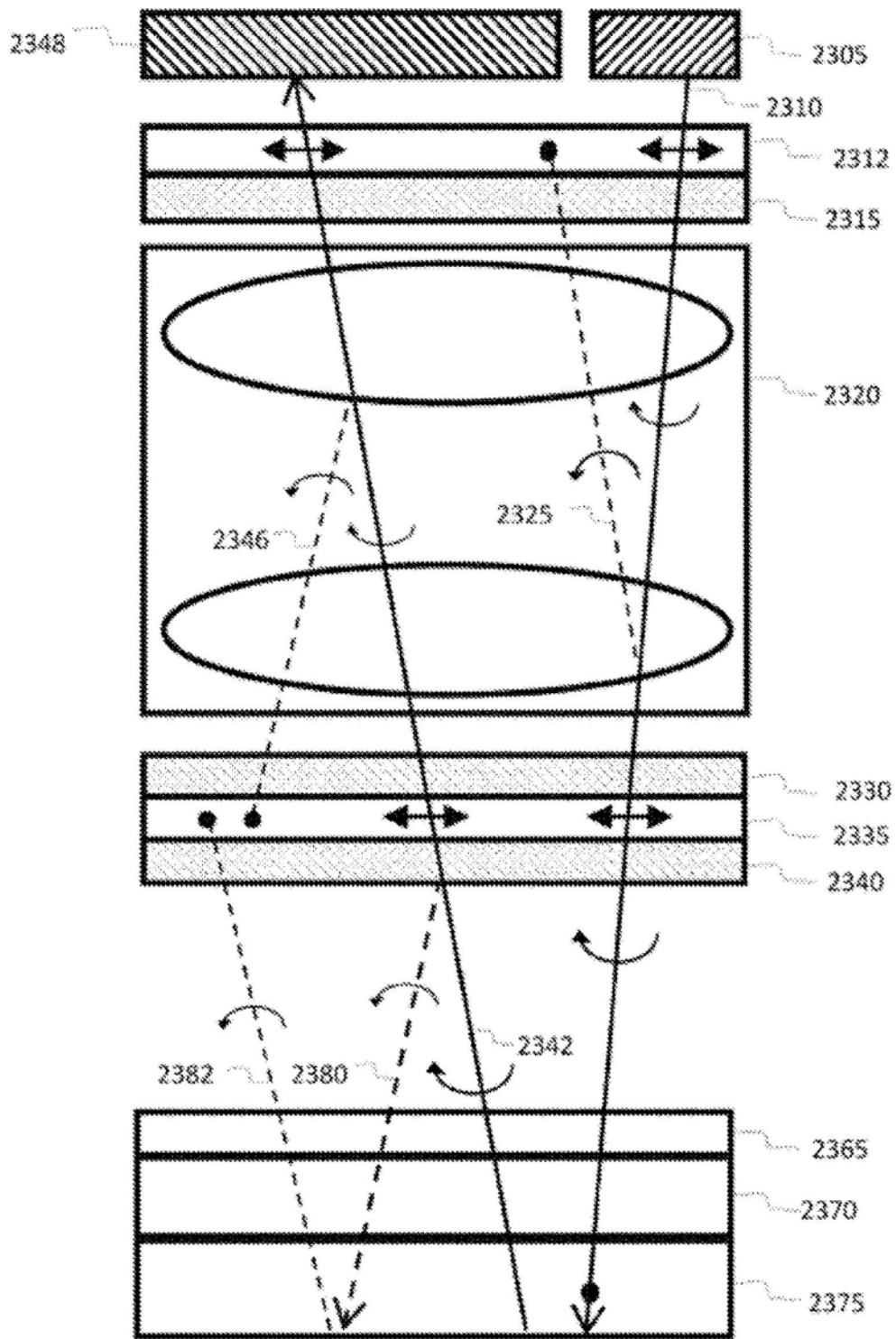


图23C

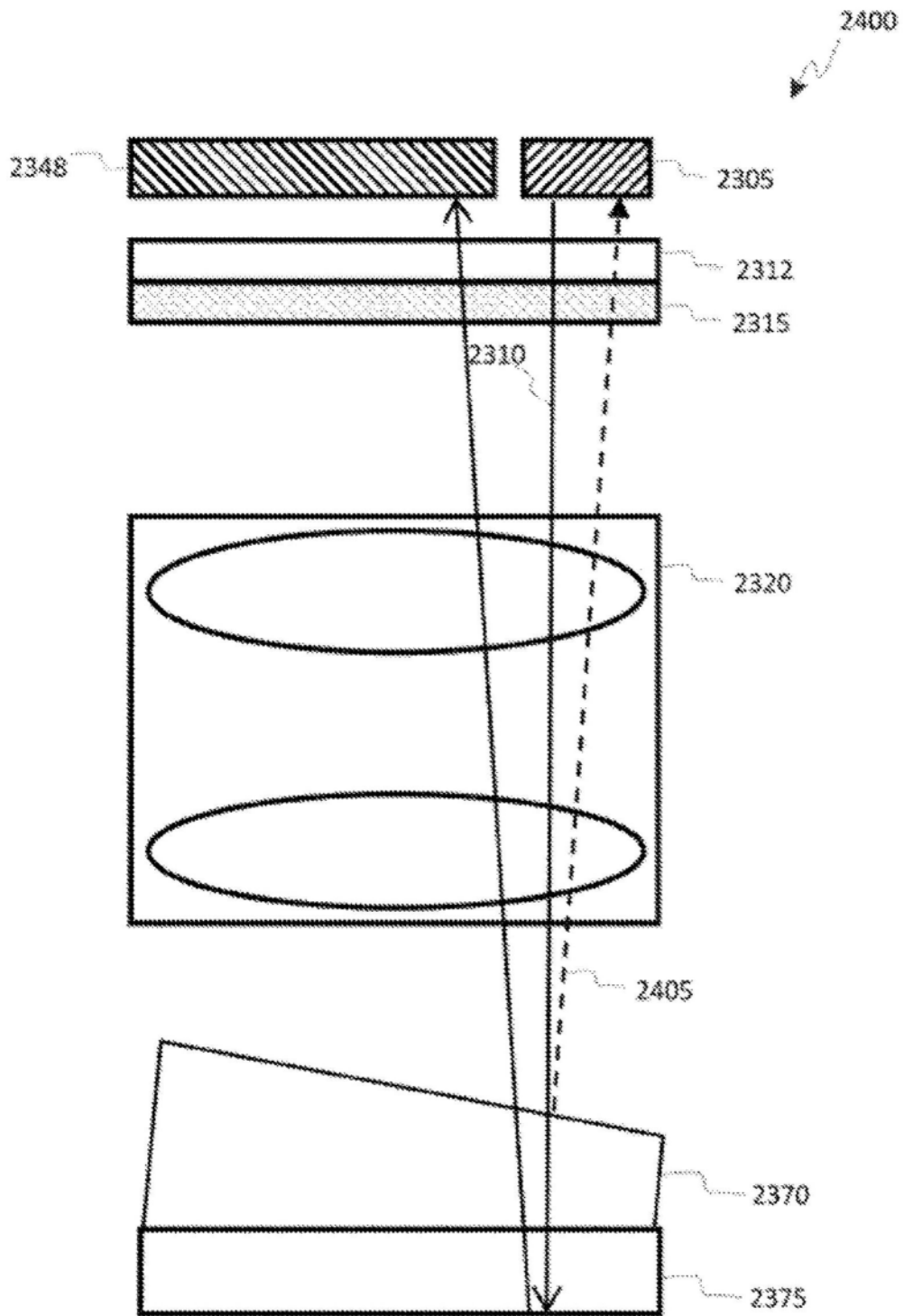


图24

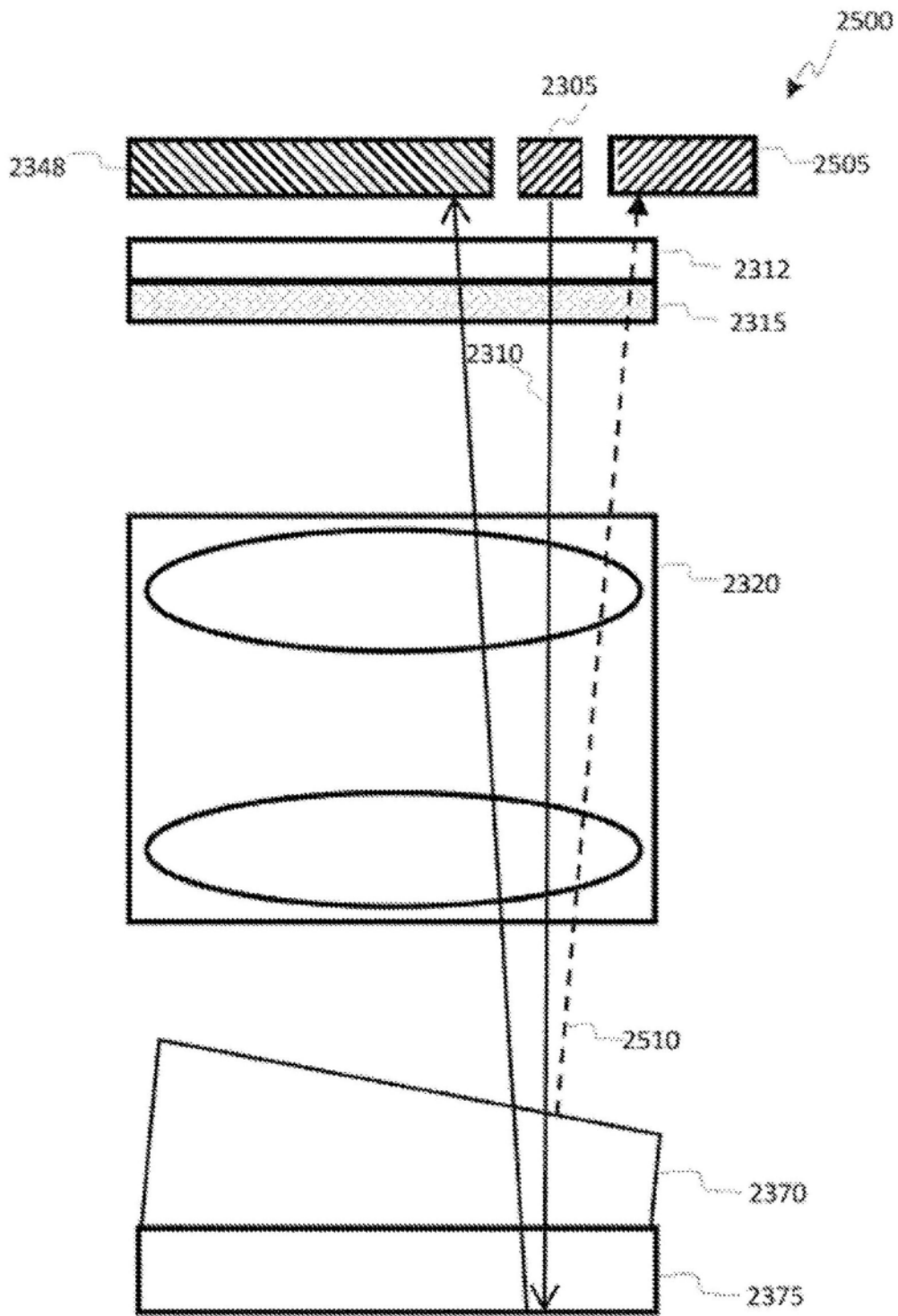


图25

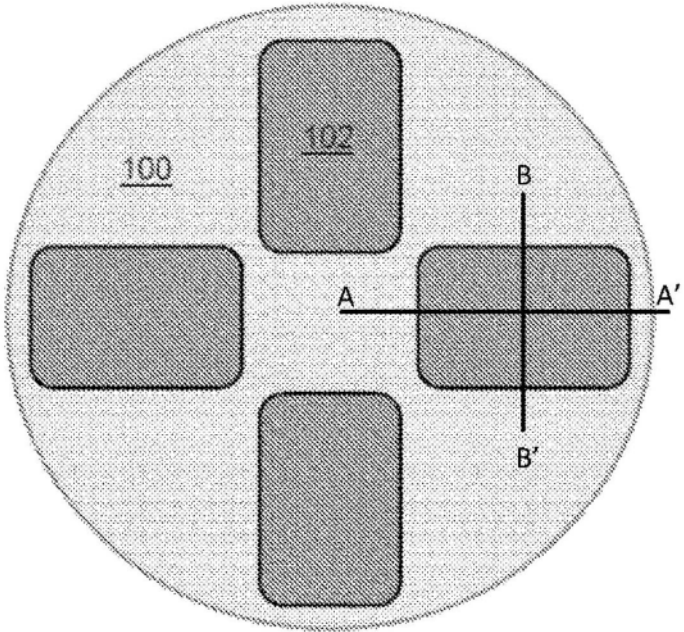


图26A

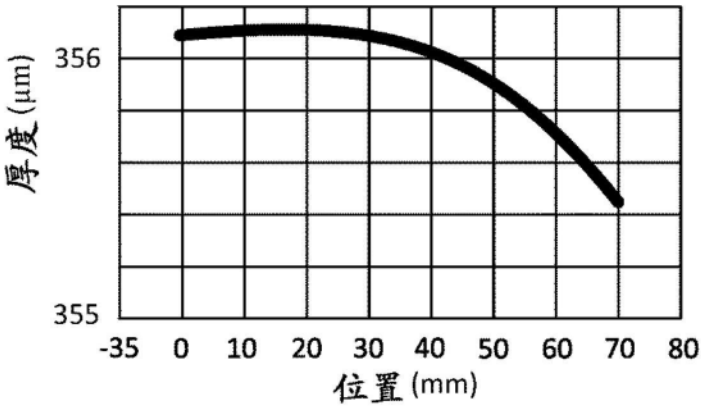


图26B

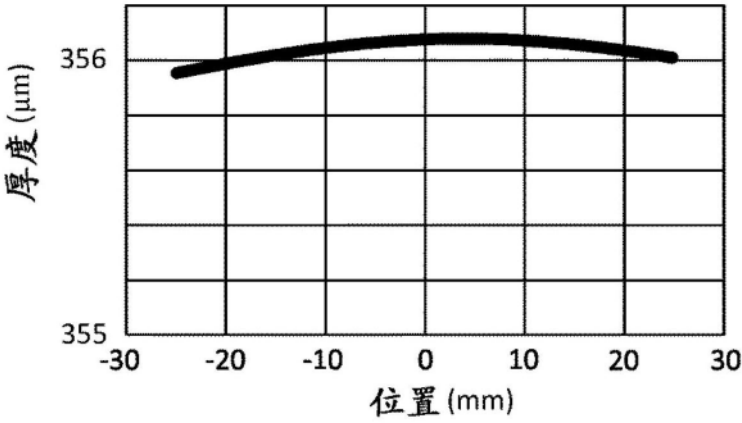


图26C

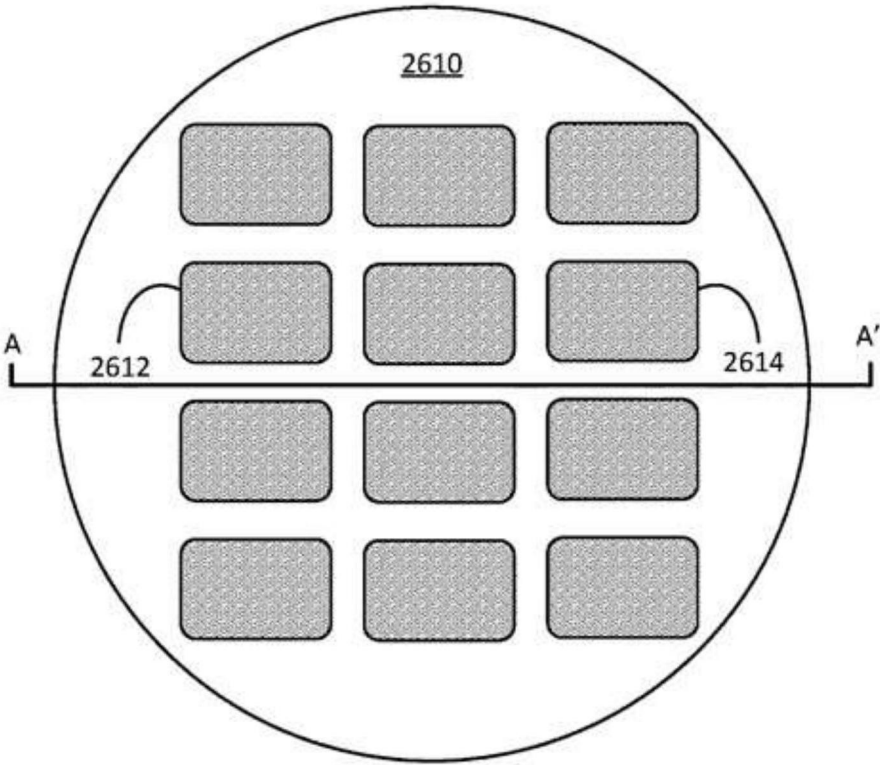


图26D

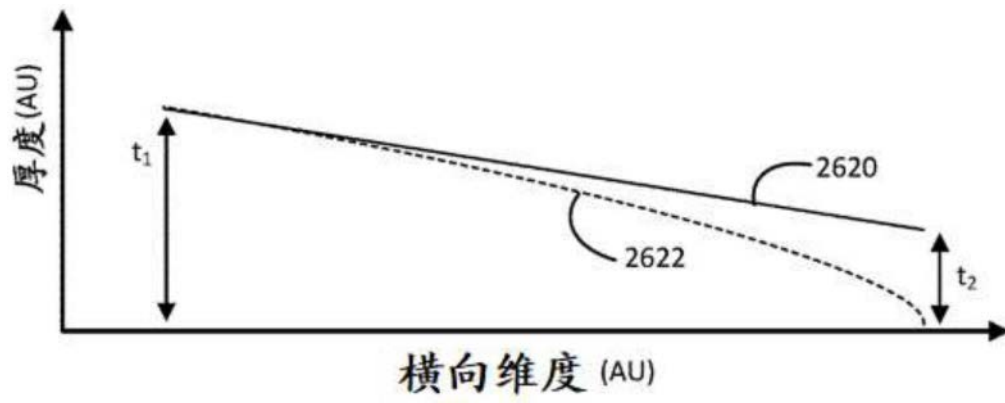


图26E

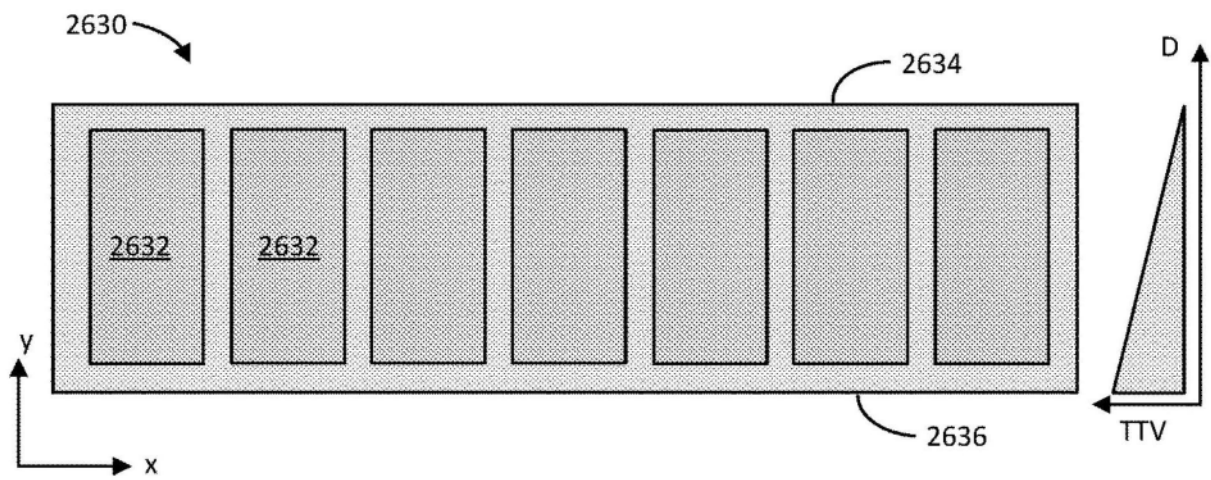


图26F

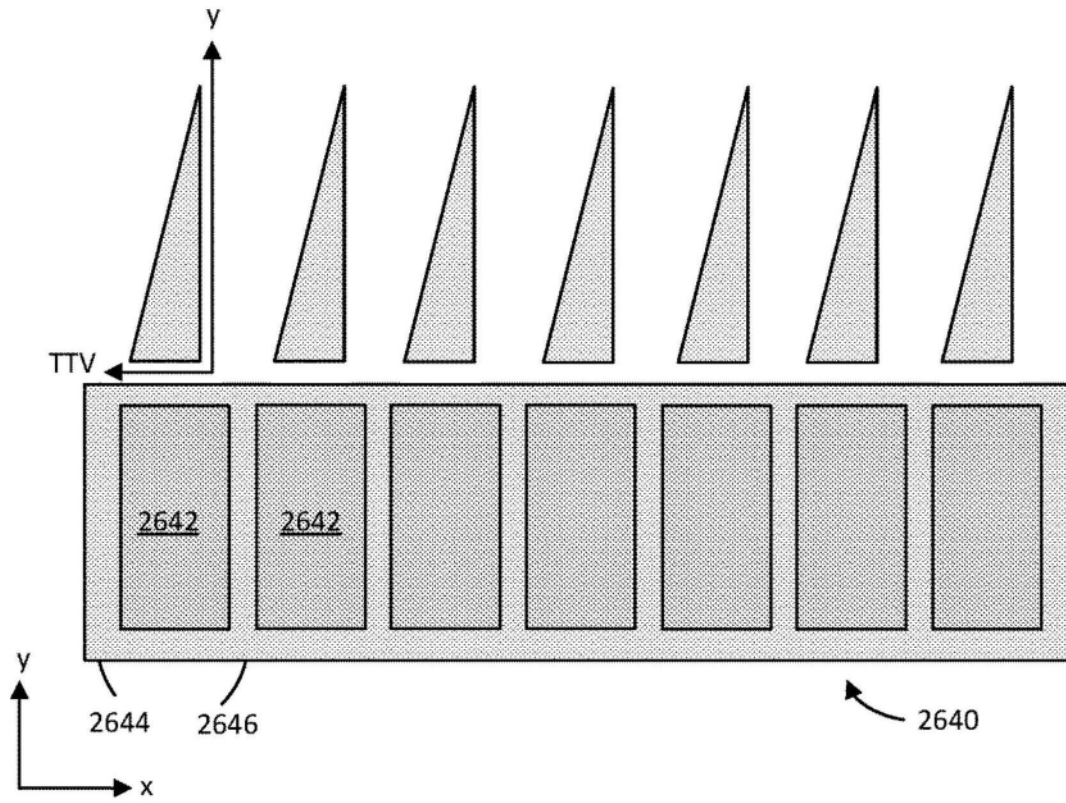


图26G



图27A



图27B



图27C

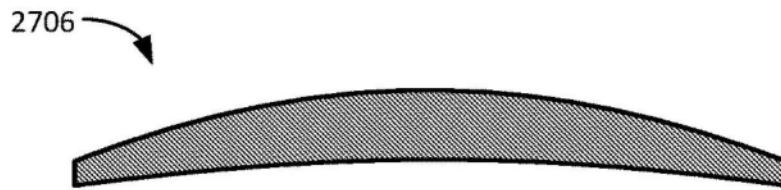


图27D



图27E



图27F

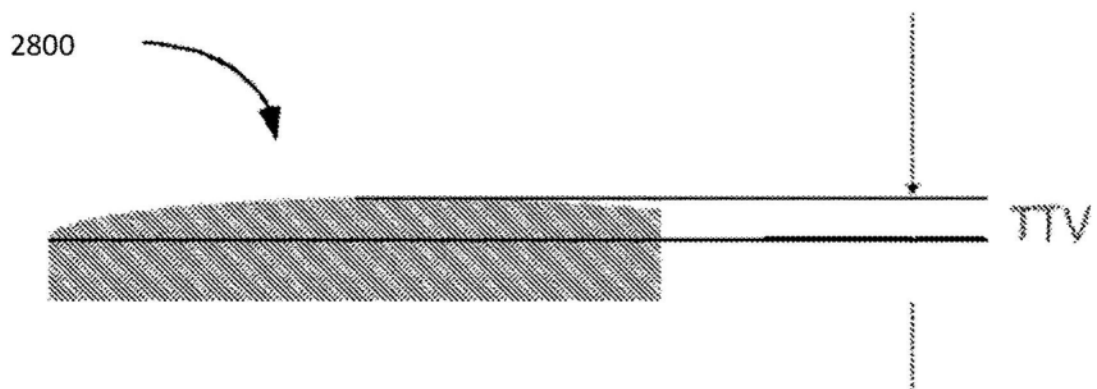


图28A

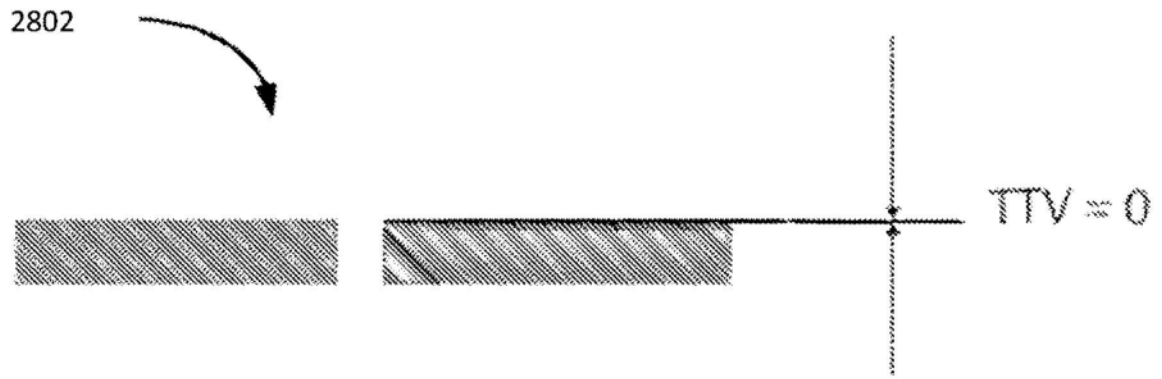


图28B

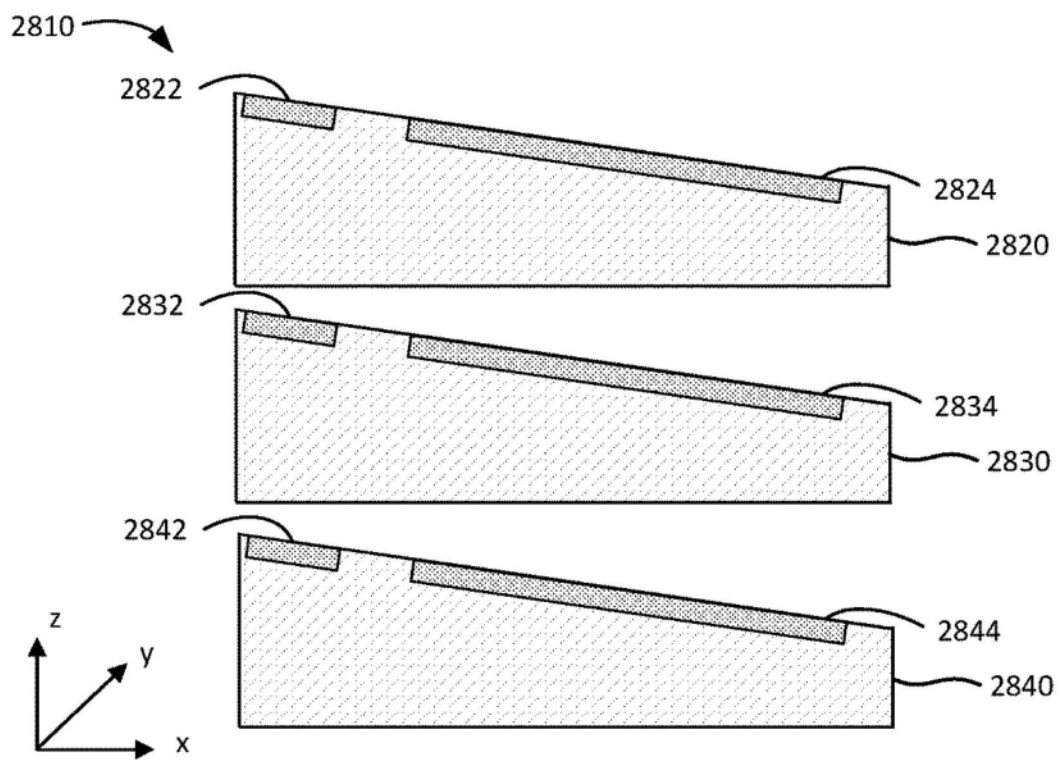


图28C

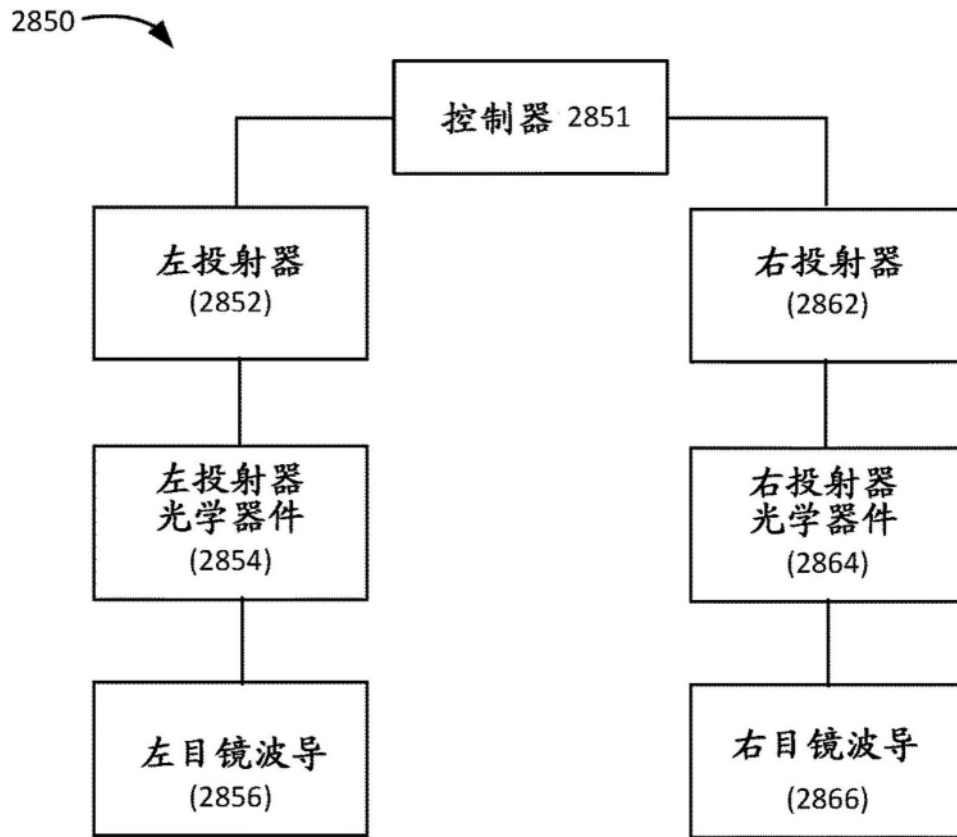


图28D

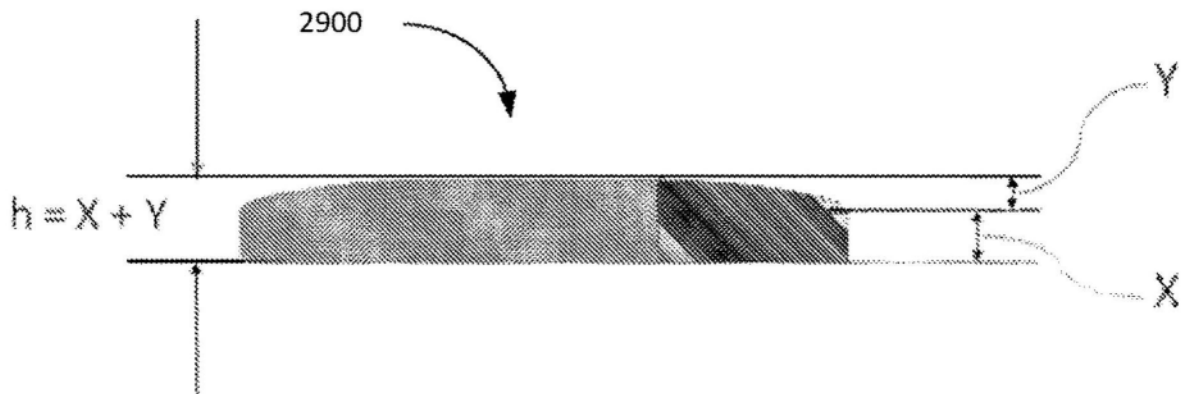


图29

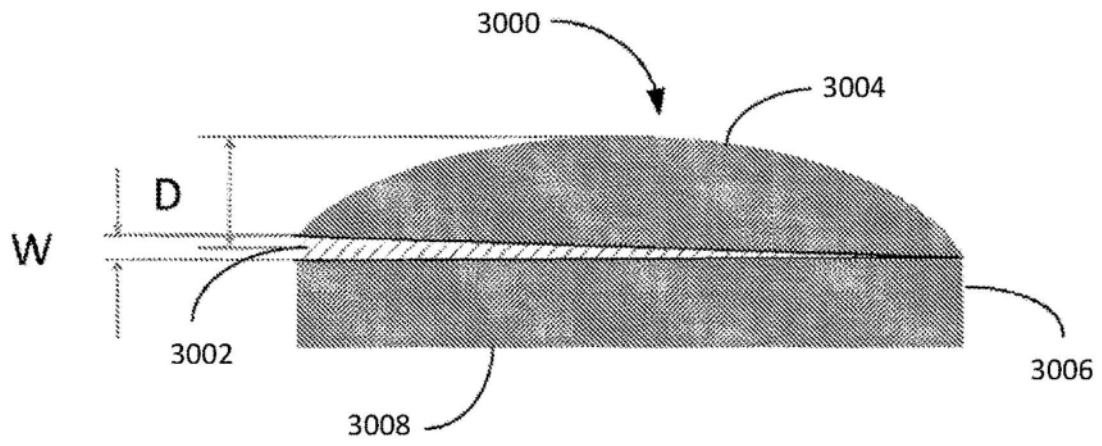


图30

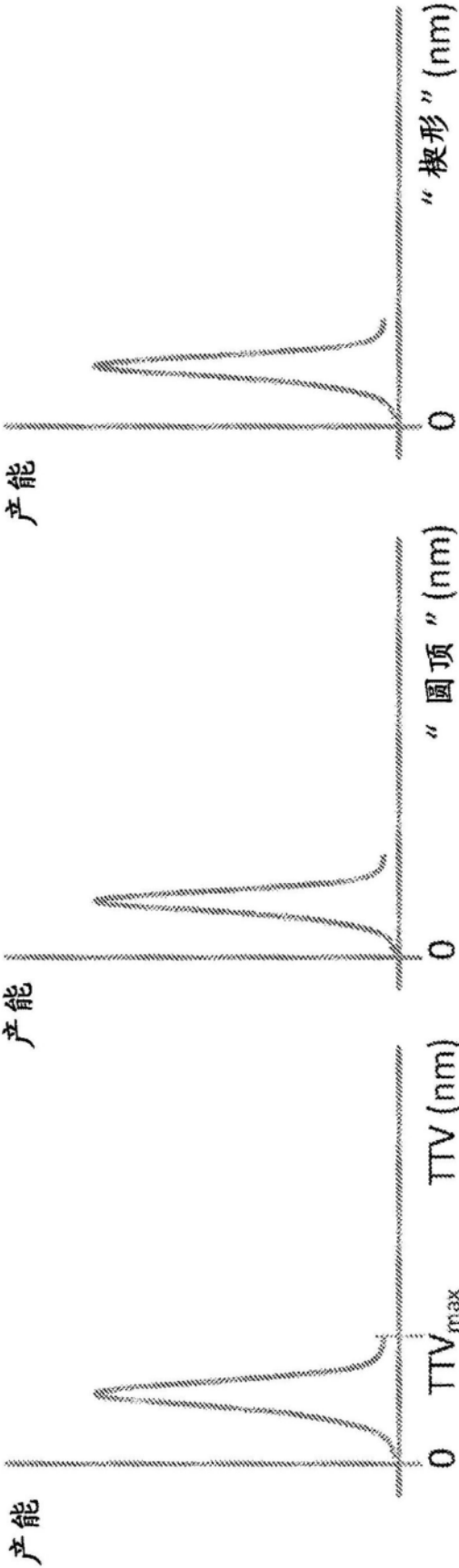


图31C

图31B

图31A

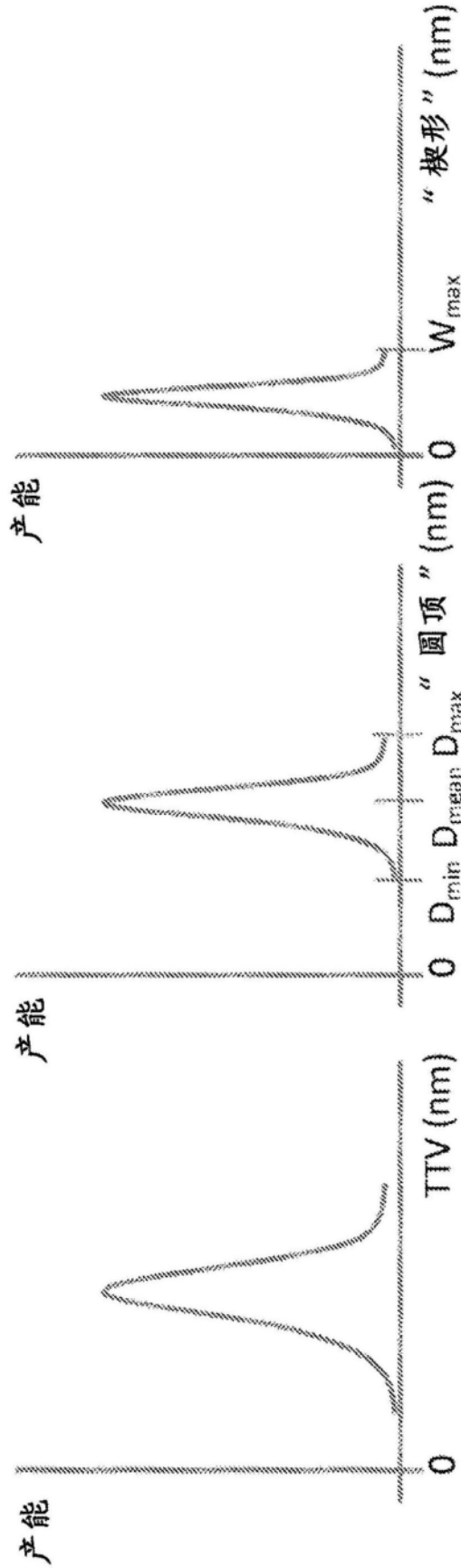


图 31D

图 31E

图 31F

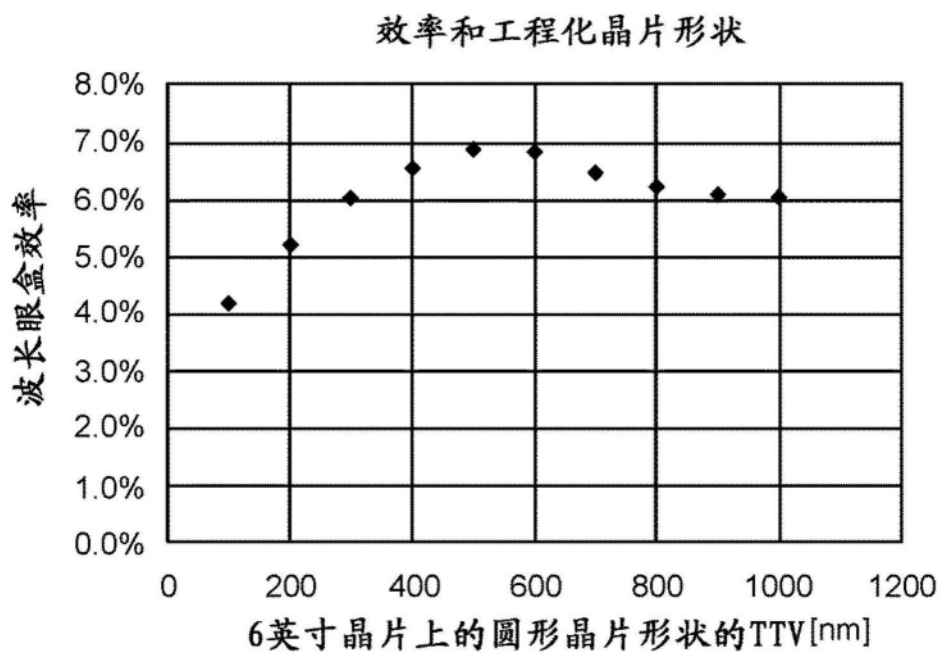


图32A

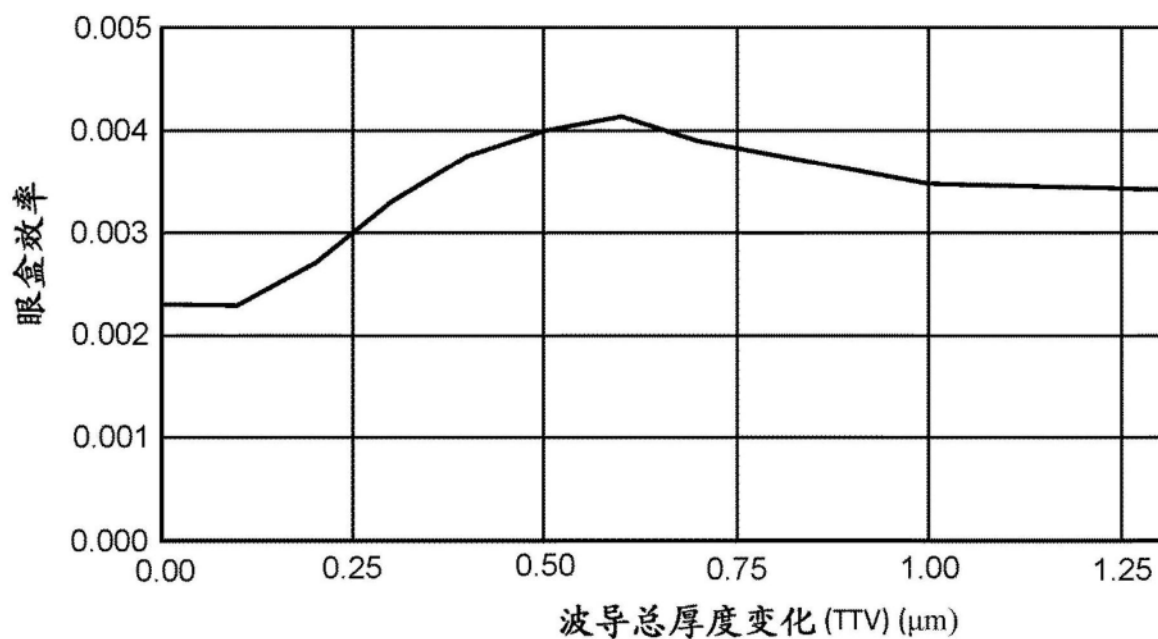


图32B

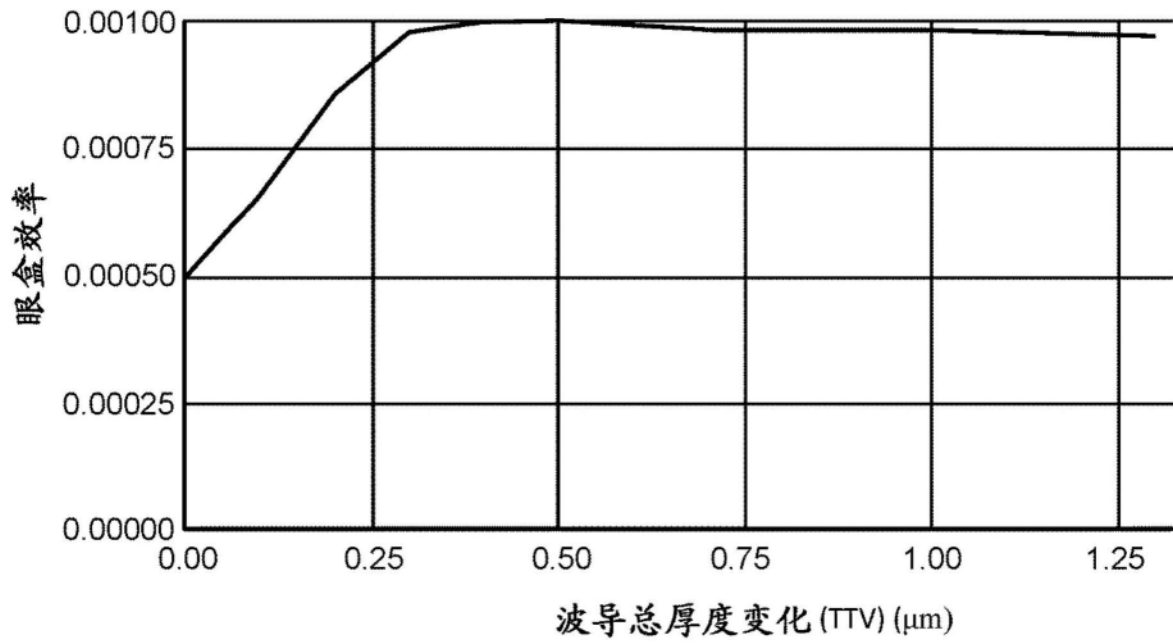


图32C

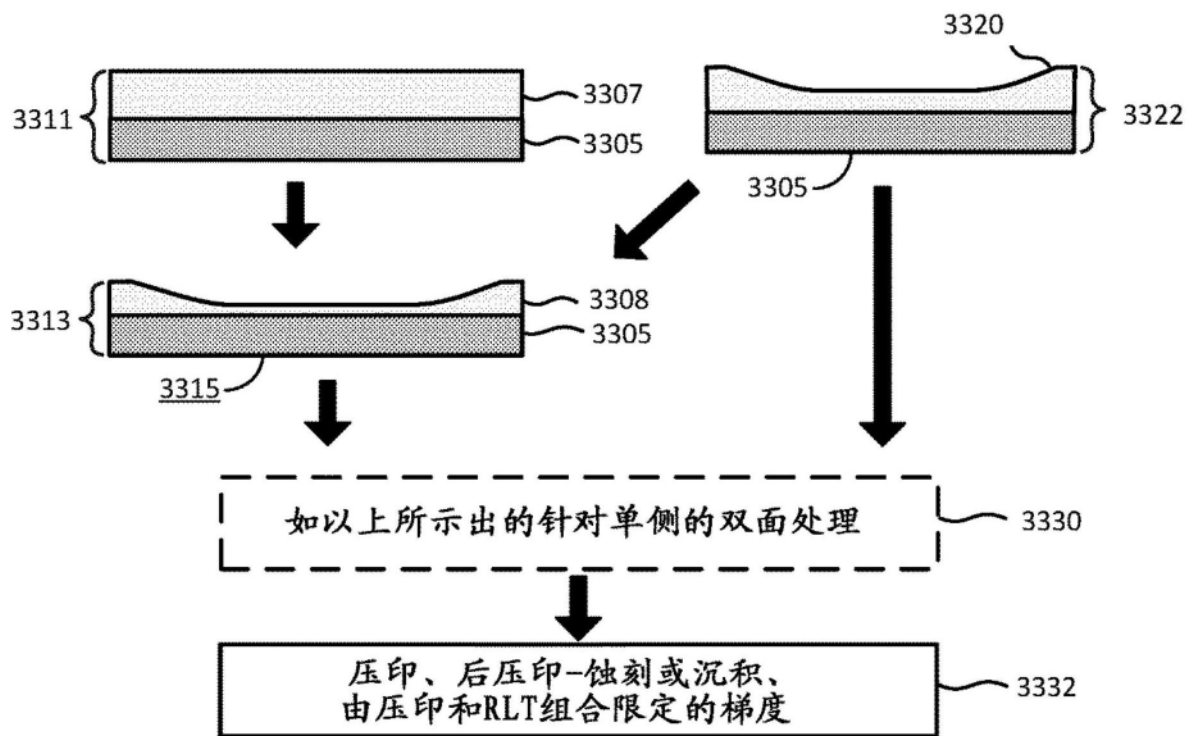


图33

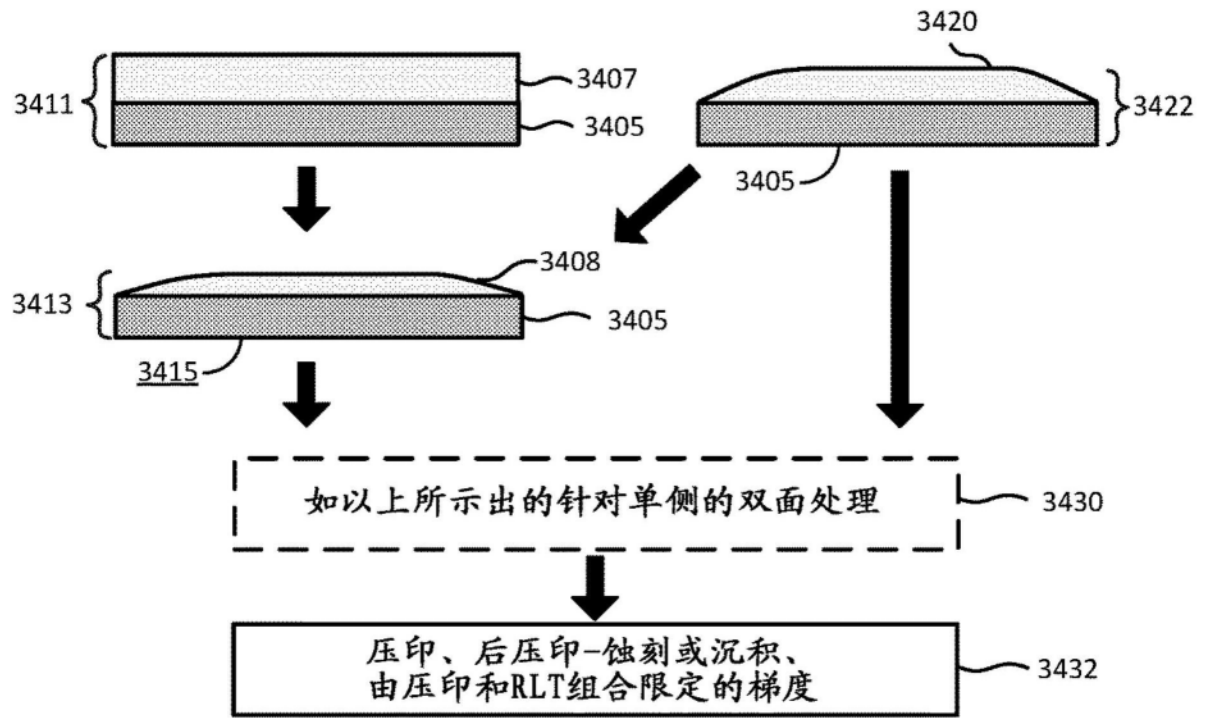


图34

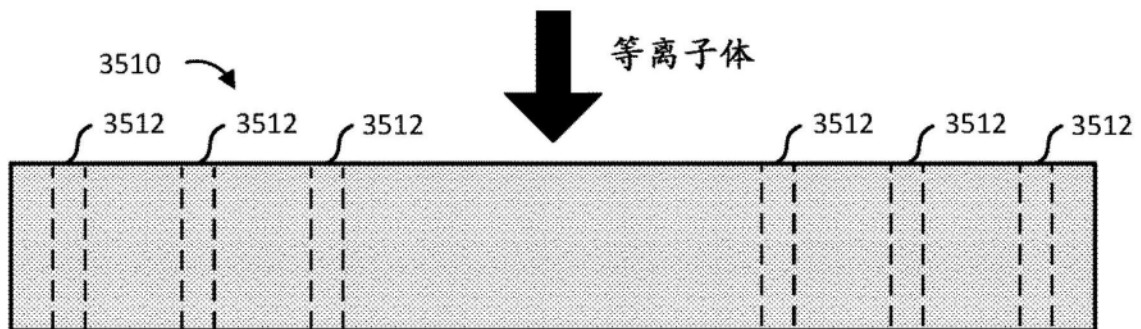


图35A

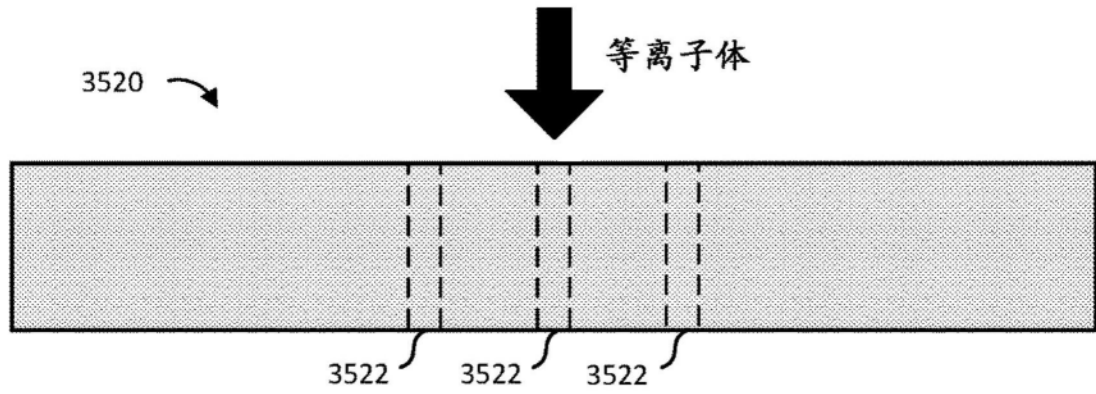


图35B

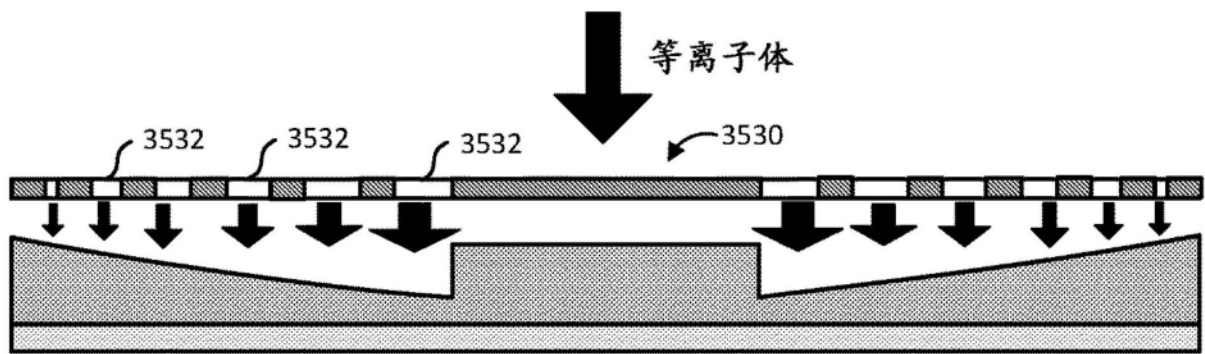


图35C

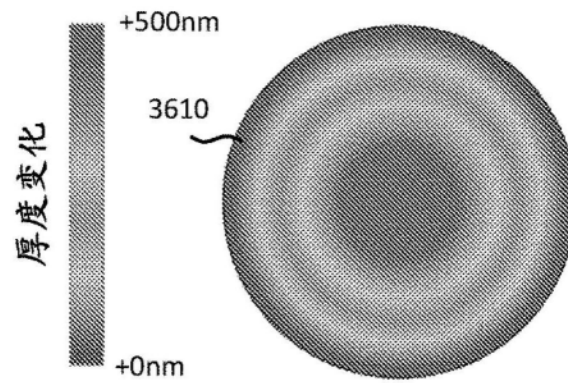


图36A

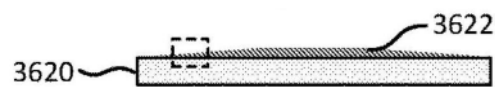


图36B

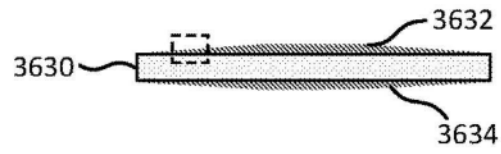


图36C

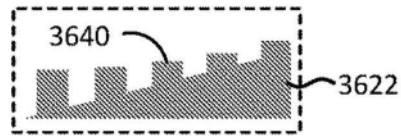


图36D



图36E

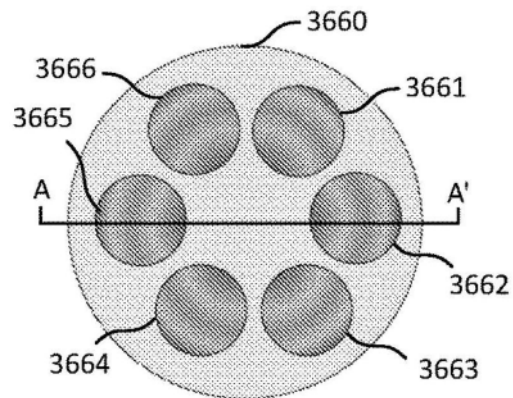


图36F

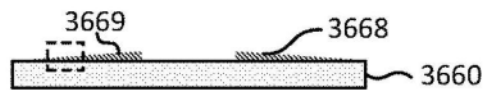


图36G

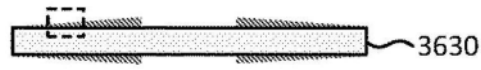


图36H

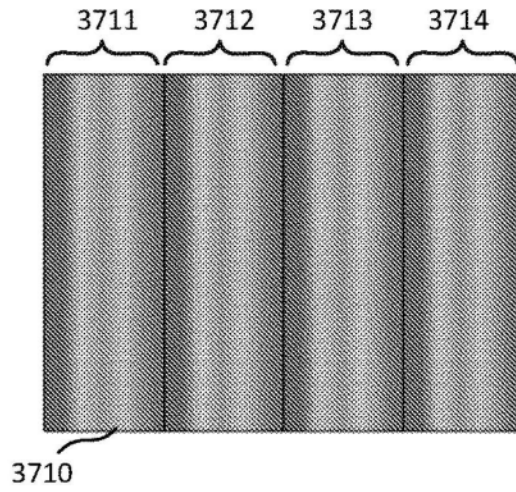


图37A



图37B

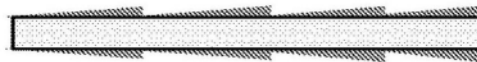


图37C

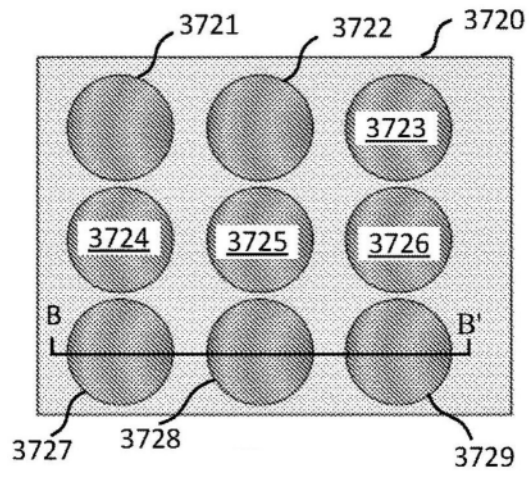


图37D

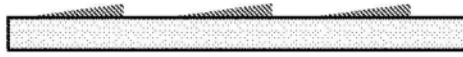


图37E

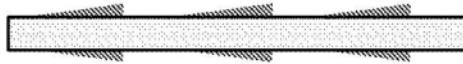


图37F

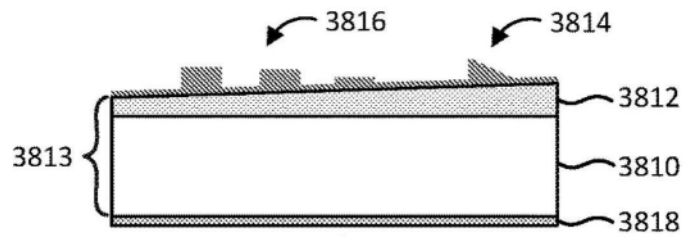


图38A

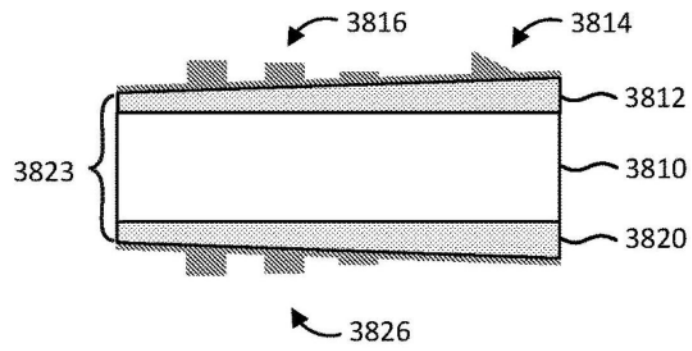


图38B

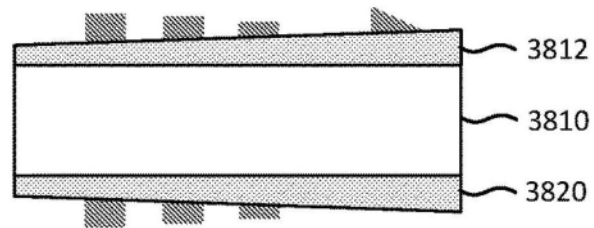


图38C

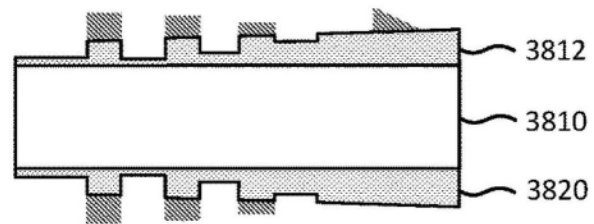


图38D

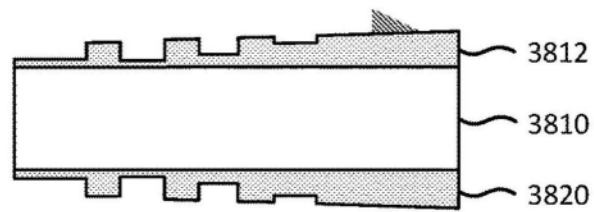


图38E

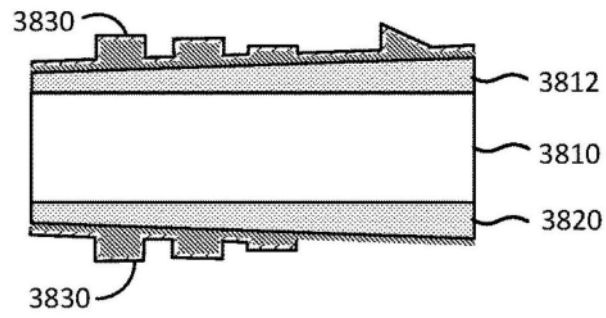


图38F

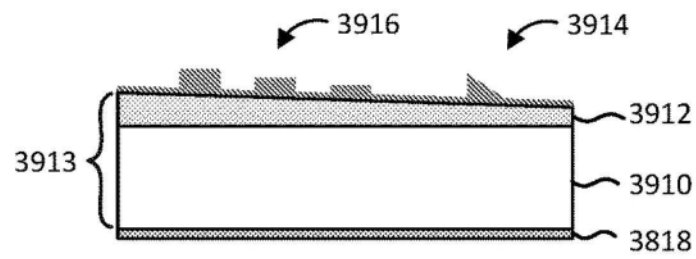


图39A

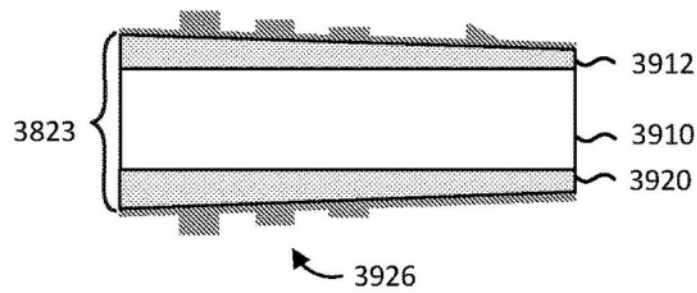


图39B

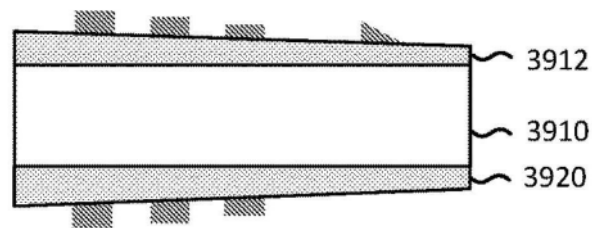


图39C

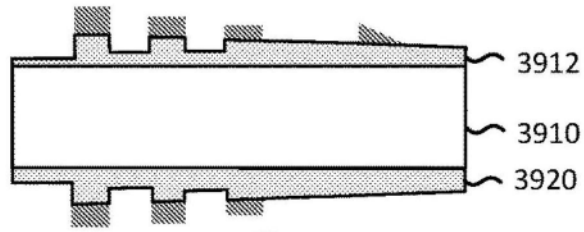


图39D

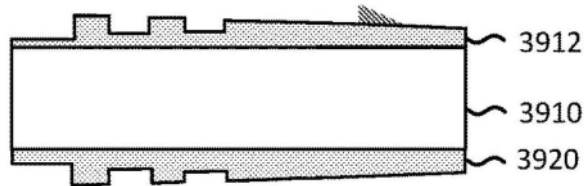


图39E

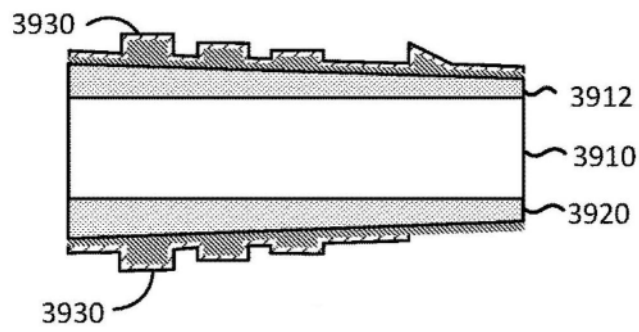


图39F

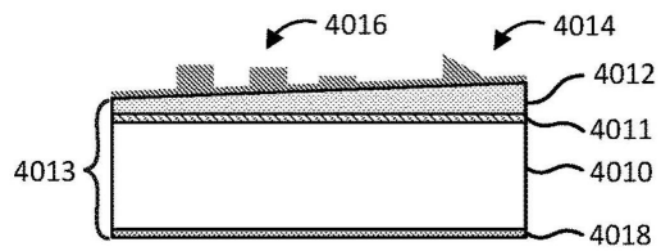


图40A

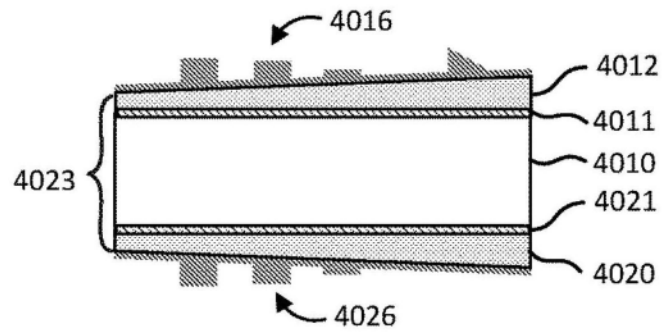


图40B

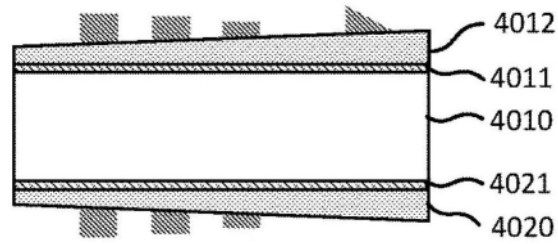


图40C

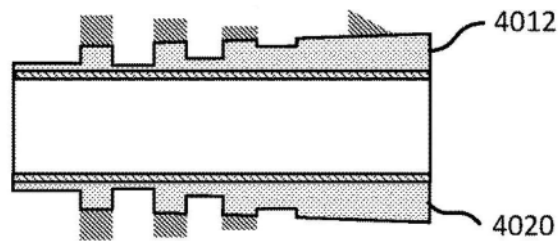


图40D

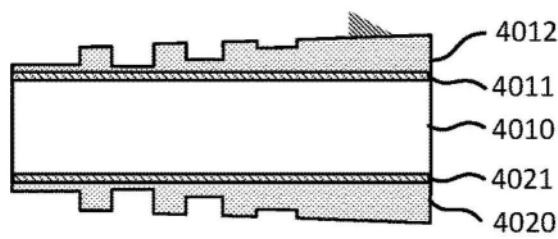


图40E

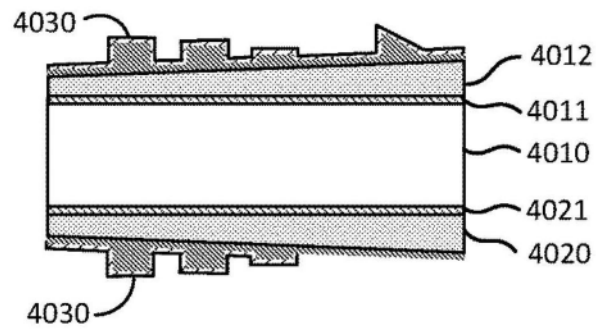


图40F

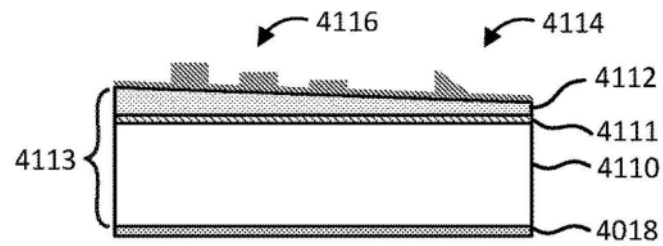


图41A

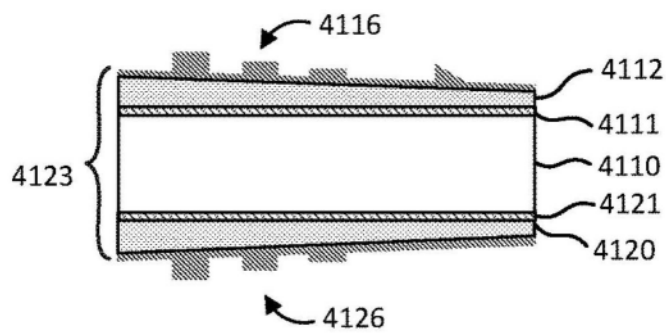


图41B

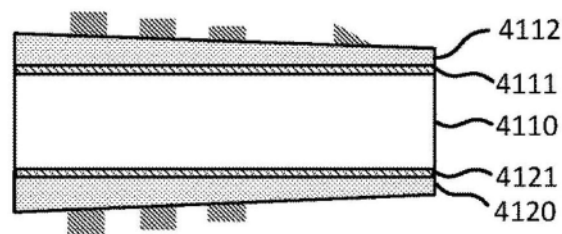


图41C

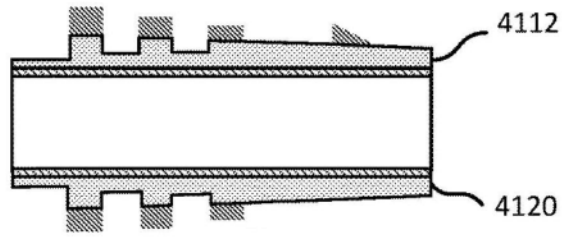


图41D

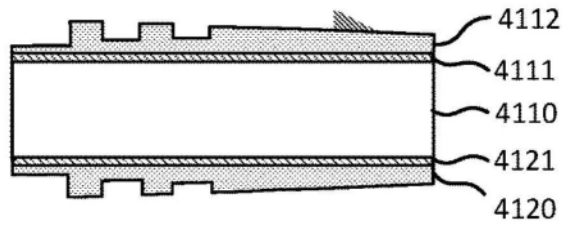


图41E

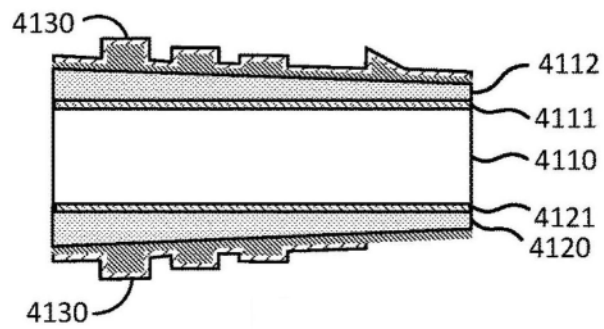


图41F

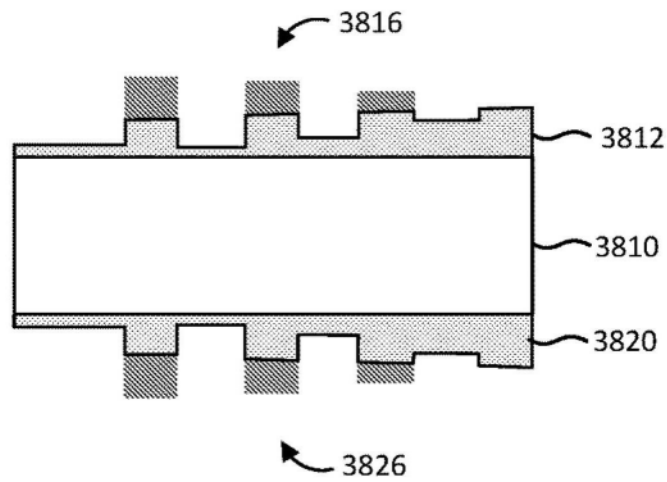


图42A

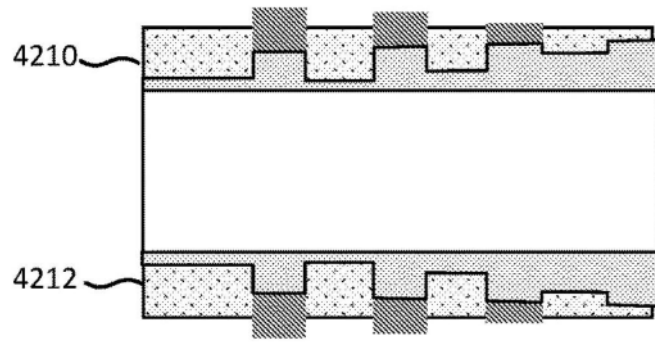


图42B

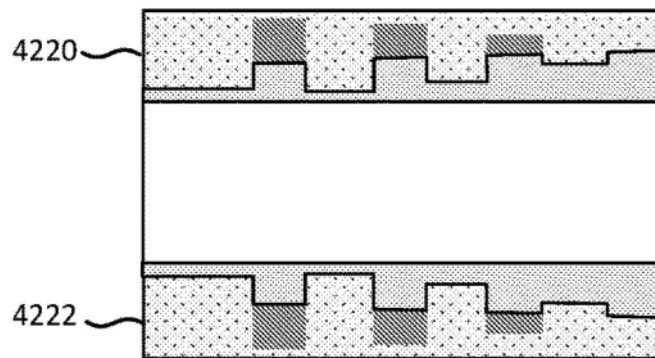


图42C

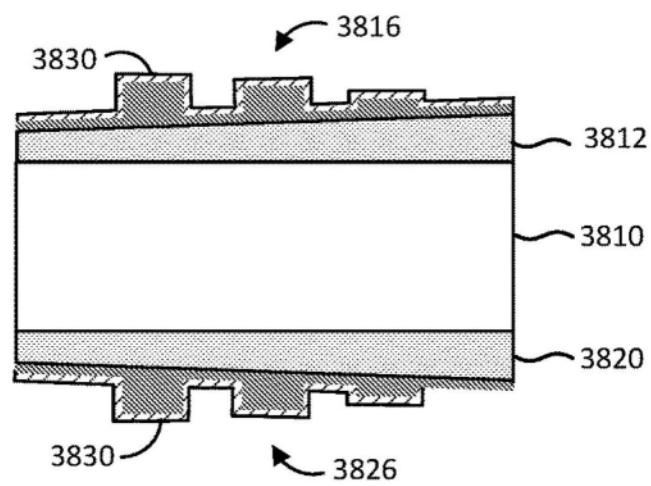


图43A

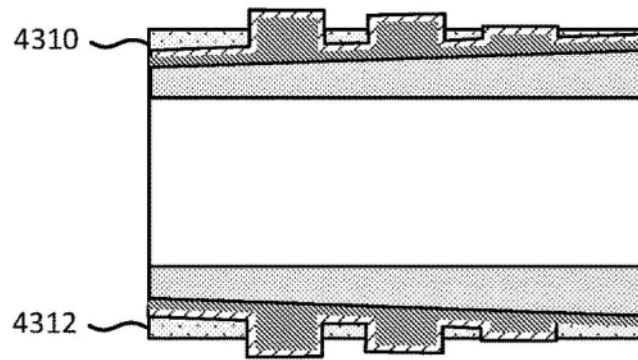


图43B

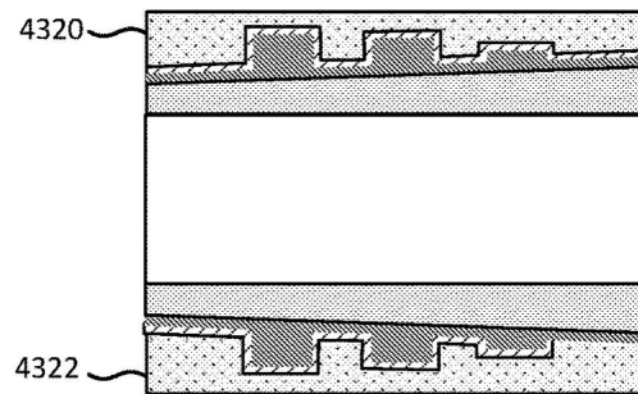


图43C