



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112041716 A

(43) 申请公布日 2020.12.04

(21) 申请号 201980029278.2

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

(22) 申请日 2019.04.01

11247

(30) 优先权数据

62/651,507 2018.04.02 US

代理人 王英杰 杨晓光

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2020.10.30

(51) Int.Cl.

G02B 6/028 (2006.01)

G02B 6/10 (2006.01)

G02B 6/42 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2019/025224 2019.04.01

(87) PCT国际申请的公布数据

W02019/195186 EN 2019.10.10

(71) 申请人 奇跃公司

地址 美国佛罗里达州

(72) 发明人 C·卑路斯 张杰 S·D·巴加特

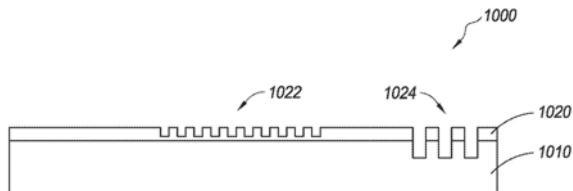
权利要求书3页 说明书24页 附图23页

(54) 发明名称

混合聚合物波导和用于制造混合聚合物波导的方法

(57) 摘要

在一些实施例中，头戴式增强现实显示系统包括一个或多个混合波导，该混合波导被配置为通过将包含图像信息的调制光引导到观看者的眼睛中来显示图像。每个混合波导由两个或两个以上不同材料层形成。层中的较厚层是高度光透明的“核心”层，并且较薄层包括凸起和凹陷的图案以形成例如衍射光学元件。该图案可以通过压印形成。该混合波导可以包括附加层，例如，形成多个交替的核心层和更薄的图案化层。多个波导可以堆叠以形成集成目镜，其中，每个波导被配置为接收并且输出具有不同颜色分量的光。



1. 一种光学器件，包括：

波导，包括：

光透射核心层，其具有与另一主表面相对的主表面；以及

光透射辅助层，其在所述主表面上，所述辅助层具有纳米光子结构，

其中，所述辅助层比所述核心层更薄并且由与形成所述核心层的材料不同的材料形成。

2. 根据权利要求1所述的光学器件，其中，所述纳米光子结构包括光栅。

3. 根据权利要求1所述的光学器件，其中，所述核心层和所述辅助层各自由聚合物或树脂形成。

4. 根据权利要求1所述的光学器件，其中，形成所述辅助层的材料具有与形成所述核心层的材料的折射率相差约0.05或更多的折射率。

5. 根据权利要求1所述的光学器件，其中，所述核心层具有100–5000μm的厚度，并且所述辅助层具有在0.01–5μm之间的厚度。

6. 根据权利要求1所述的光学器件，还包括附加辅助层，其比所述核心层更薄并且直接邻近所述另一主表面。

7. 根据权利要求6所述的光学器件，其中，所述附加辅助层包括光栅。

8. 根据权利要求1所述的波导，还包括附加核心层，其设置在所述辅助层与所述核心层的相对的一侧。

9. 根据权利要求1所述的光学器件，还包括多个核心层，其与比所述核心层更薄的辅助层交替，所述辅助层由与所述核心层不同的材料形成。

10. 根据权利要求9所述的光学器件，其中，所述核心层由相同材料形成。

11. 根据权利要求10所述的光学器件，其中，所述辅助层由相同材料形成。

12. 根据权利要求9所述的光学器件，其中，所述辅助层中的一个或多个包括与一个或多个其他辅助层不同的光栅。

13. 一种光学系统，包括：

一组堆叠的间隔开的波导，所述波导中的至少一个包括：

光透射核心层，其具有与另一主表面相对的主表面；以及

光透射辅助层，其在所述主表面上，所述辅助层具包括纳米光子结构，

其中，所述辅助层比所述核心层更薄并且由与形成所述核心层的材料不同的材料形成。

14. 根据权利要求13所述的光学系统，其中，每个波导由空气间隙分离。

15. 根据权利要求13所述的光学系统，其中，每个波导由设置在所述波导之间的一个或多个间隔物间隔开。

16. 根据权利要求15所述的光学系统，其中，所述波导中的每一个包括核心层和辅助层，其中，所述一个或多个间隔物与所述核心层或辅助层中的一者集成。

17. 根据权利要求13所述的光学系统，其中，所述波导中的每一个包括核心层和辅助层，其中，每个波导的核心层由与所述一组堆叠的间隔开的波导的其他波导的核心层不同的材料形成。

18. 根据权利要求13所述的光学系统，其中，所述光学系统是增强现实系统，并且还包

括：

空间光调制器，其被配置为向所述波导提供包含图像信息的调制光，其中，每个波导包括多个纳米光子结构，其中，所述纳米光子结构包括：耦入衍射光学元件，其被配置为将所述调制光引导到所述波导中；以及耦出衍射光学元件，其被配置为从所述波导当中提取耦入的调制光。

19. 根据权利要求18所述的光学系统，其中，所述空间光调制器是光投射系统的一部分，所述光投射系统被配置为将图像投射到所述耦入衍射光学元件上。

20. 根据权利要求18所述的光学系统，其中，所述空间光调制器调制用于扫描光纤显示器的光。

21. 根据权利要求13所述的光学系统，还包括：多组堆叠的间隔开的波导，其中，每个波导包括：

光透射核心层，其具有与另一主表面相对的主表面；以及

光透射辅助层，其在所述主表面上，所述辅助层包括用于公共结构的纳米；

其中，所述辅助层比所述核心层更薄并且由与形成所述核心层的材料不同的材料形成。

22. 一种用于制造光学器件的方法，该方法包括：

形成波导，包括：

提供上和下压印模具，其中，所述压印模具彼此面对；

在所述压印模具之间提供第一聚合物材料；

在所述第一聚合物材料上并且在所述压印模具之间提供第二聚合物材料，其中，所述第二聚合物材料处于液态；

将所述第二聚合物材料与所述上压印模具接触；

将所述第一聚合物材料和所述第二聚合物材料暴露于硬化工艺，其中，所述第一聚合物材料形成第一层，并且所述第二聚合物材料形成第二层；以及

移除所述上压印模具。

23. 根据权利要求22所述的方法，其中，所述上压印模具包括凸起和凹陷的图案，其中，将所述第二聚合物材料与所述上压印模具接触将凸起和凹陷的对应图案转移到所述第二聚合物材料中。

24. 根据权利要求22所述的方法，其中，所述下压印模具包括凸起和凹陷的图案，并且其中，所述第一层包括凸起和凹陷的匹配图案。

25. 根据权利要求22所述的方法，其中，所述第一聚合物材料处于液态。

26. 根据权利要求22所述的方法，其中，提供所述第一聚合物材料包括：

在所述下压印模具与附加压印模具之间提供所述第一聚合物材料；

在所述下压印模具与所述附加压印模具之间压缩所述第一聚合物材料；以及

在所述下压印模具与所述附加压印模具之间使第一聚合物材料硬化，

其中，提供上和下压印模具包括：

移除所述附加压印模具；以及

将所述上压印模具设置在所述第一聚合物材料上。

27. 根据权利要求22所述的方法，其中，使所述第一和第二聚合物材料暴露于硬化工艺

包括使所述第一和第二聚合物材料暴露于紫外光。

28. 根据权利要求22所述的方法,还包括:

将第三聚合物材料沉积在所述第二聚合物材料的第二层上;

将所述第三聚合物材料与第三聚合物材料模具接触;

将所述第三聚合物材料硬化以形成所述第三聚合物材料的第三层;以及
移除所述第三聚合物材料模具。

29. 根据权利要求28所述的方法,还包括:

将第四聚合物材料沉积在所述第三层上;

将所述第四聚合物材料与第四聚合物材料模具接触;

将所述第四聚合物材料硬化以形成由所述第四聚合物材料形成的第四层;以及
移除所述第四聚合物材料模具。

30. 根据权利要求29所述的方法,还包括:

将第五聚合物材料沉积在所述第四层上;

将所述第五聚合物材料与第五聚合物材料模具接触;

将所述第五聚合物材料硬化以形成由所述第五聚合物材料形成的第五层;以及
移除所述第五聚合物材料模具。

31. 根据权利要求30所述的方法,其中,所述第一、第三和第五聚合物材料是相同材料。

32. 根据权利要求31所述的方法,其中,所述第二和第四聚合物材料是相同材料。

33. 根据权利要求31所述的方法,其中,所述第一、第三和第五层包括形成衍射光学元件的凸起和凹陷的图案。

34. 根据权利要求22所述的方法,还包括:

形成波导,其包括聚合物材料的交替层,其中,交替层中的每隔一层包括凸起和凹陷的图案;以及

将所述附加波导附着到所述波导,其中,所述附加波导和所述波导由间隙分离。

混合聚合物波导和用于制造混合聚合物波导的方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求题为“HYBRID POLYMER WAVEGUIDE AND METHODS FOR MAKING THE SAME (混合聚合物波导和用于制造混合聚合物波导的方法)”且于2018年4月2日提交的美国专利临时申请62/651507的优先权。上文记载的申请以整体内容通过引用并入本文。

[0003] 本申请通过引用并入以下各专利申请的整体内容：于2015年7月23日公开为美国公开号2015/0205126的、于2014年11月27日提交的美国申请号14/555,585；于2015年10月22日公开为美国公开号2015/0302652的、于2015年4月18日提交的美国申请号14/690,401；现在于2016年8月16日发布的美国专利号9,417,452的、于2014年3月14日提交的美国申请号14/212,961；以及于2015年10月29日公开为美国公开号2015/0309263的、于2014年7月14日提交的美国申请号14/331,218。

技术领域

[0004] 本公开涉及显示系统，并且更特别地涉及增强现实显示系统。

背景技术

[0005] 现代计算和显示技术已经利于用于所谓的“虚拟现实”或者“增强现实”体验的系统的发展，其中，数字再现图像或其部分以其看起来真实或者可以被感知为真实的方式被呈现给用户。虚拟现实或“VR”场景通常涉及数字或虚拟图像信息的呈现而对其他实际的真实世界视觉输入不透明；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用户周围的实际世界的可视化的增强。混合现实或“MR”场景是一种类型的AR场景，一般涉及被集成到自然世界中并对该自然世界做出响应的虚拟对象。例如，在MR场景中，AR图像内容可以被真实世界中的对象阻挡，或者以其他方式，可以被感知为与真实世界中的对象交互。

[0006] 参考图1，描绘了增强现实场景10，其中，AR技术的用户看到以背景中的人、树、建筑为特征的现实世界公园般的设置20，以及混凝土平台30。除了这些项之外，AR技术的用户还感知到他“看到”“虚拟内容”，诸如站在现实世界平台30上的机器人雕像40以及飞行的卡通式的化身人物50（其似乎是大黄蜂的拟人化），即使这些元素40、50不存在于现实世界中。由于人类视觉感知系统是复杂的，因而产生利于其他虚拟或现实世界影像元素之间的虚拟图像元素的舒适的、自然感觉的、丰富呈现的AR技术是具挑战性的。

[0007] 本文所公开的系统和方法解决与AR和VR技术有关的各种挑战。

发明内容

[0008] 在一些实施例中，提供了一种光学器件。该光学器件包括波导。该波导包括：光透射核心层，其具有与另一主表面相对的主表面；以及光透射辅助层，其在主表面上，辅助层具有纳米光子结构。辅助层比核心层更薄并且由与形成核心层的材料不同的材料形成。

[0009] 在一些其他实施例中，提供了一种光学系统。该光学系统包括一组堆叠的间隔开的波导。波导中的至少一个包括：光透射核心层，其具有与另一主表面相对的主表面；以及

光透射辅助层，其在主表面上。辅助层包括纳米光子结构。辅助层比核心层更薄并且由与形成核心层的材料不同的材料形成。

[0010] 然而，在其他实施例中，提供了一种用于制造光学器件的方法。该方法包括形成波导。形成波导包括提供上和下压印模具，其中，压印模具彼此面对。在压印模具之间提供第一聚合物材料。在第一聚合物材料上并且在压印模具之间提供第二聚合物材料。第二聚合物材料处于液态。第二聚合物材料与上压印模具接触。第一聚合物材料和第二聚合物材料暴露于硬化工艺。第一聚合物材料形成第一层，并且第二聚合物材料形成第二层。然后，移除上压印模具。

[0011] 另外，下面提供了实施例的各种示例。

[0012] 示例1:一种光学器件，包括：

[0013] 波导，包括：

[0014] 光透射核心层，其具有与另一主表面相对的主表面；以及

[0015] 光透射辅助层，其在主表面上，辅助层具有纳米光子结构，

[0016] 其中，辅助层比核心层更薄并且由与形成核心层的材料不同的材料形成。

[0017] 示例2:根据示例1所述的光学器件，其中，纳米光子结构包括光栅。

[0018] 示例3:根据示例1至2中的任一项所述的光学器件，其中，核心层和辅助层各自由聚合物或树脂形成。

[0019] 示例4:根据示例1至3中的任一项所述的光学器件，其中，形成辅助层的材料具有与形成核心层的材料的折射率相差约0.05或更多的折射率。

[0020] 示例5:根据示例1至4中的任一项所述的光学器件，其中，核心层具有100–5000μm的厚度，并且辅助层具有在0.01–5μm之间的厚度。

[0021] 示例6:根据示例1至5中的任一项所述的光学器件，还包括附加辅助层，其比核心层更薄并且直接邻近另一主表面。

[0022] 示例7:根据示例6所述的光学器件，其中，附加辅助层包括光栅。

[0023] 示例8:根据示例1至7中的任一项所述的波导，还包括附加核心层，其设置在辅助层与核心层的相对的一侧。

[0024] 示例9:根据示例1至8中的任一项所述的光学器件，还包括：多个核心层，其与比核心层更薄的辅助层交替，辅助层由与核心层不同的材料形成。

[0025] 示例10:根据示例9所述的光学器件，其中，核心层由相同材料形成。

[0026] 示例11:根据示例9至10中的任一项所述的光学器件，其中，辅助层由相同材料形成。

[0027] 示例12:根据示例9至11中的任一项所述的光学器件，其中，辅助层中的一个或多个包括与一个或多个其他辅助层不同的光栅。

[0028] 示例13:一种光学系统，包括：

[0029] 一组堆叠的间隔开的波导，波导中的至少一个包括：

[0030] 光透射核心层，其具有与另一主表面相对的主表面；以及

[0031] 光透射辅助层，其在主表面上，辅助层具包括纳米光子结构，

[0032] 其中，辅助层比核心层更薄并且由与形成核心层的材料不同的材料形成。

[0033] 示例14:根据示例13所述的光学系统，其中，每个波导由空气间隙分离。

[0034] 示例15:根据示例13至14中的任一项所述的光学系统,其中,每个波导由设置在波导之间的一个或多个间隔物间隔开。

[0035] 示例16:根据示例13至15中的任一项所述的光学系统,其中,波导中的每一个包括核心层和辅助层,其中,一个或多个间隔物与核心层或辅助层之一集成。

[0036] 示例17:根据示例13至16中的任一项所述的光学系统,其中,波导中的每一个包括核心层和辅助层,其中,每个波导的核心层由与一组堆叠的间隔开的波导的其他波导的核心层不同的材料形成。

[0037] 示例18:根据示例13至17中的任一项所述的光学系统,其中,光学系统是增强现实系统,并且还包括:

[0038] 空间光调制器,其被配置为向波导提供包含图像信息的调制光,其中,每个波导包括多个纳米光子结构,其中,纳米光子结构包括:

[0039] 耦入衍射光学元件,其被配置为将调制光引导到波导中;以及

[0040] 耦出衍射光学元件,其被配置为从波导当中提取耦入的调制光。

[0041] 示例19:根据示例18所述的光学系统,其中,空间光调制器是光投射系统的一部分,所述光投射系统被配置为将图像投射到耦入衍射光学元件上。

[0042] 示例20:根据示例18至19中的任一项所述的光学系统,其中,空间光调制器调制用于扫描光纤显示器的光。

[0043] 示例21:根据示例13至20中的任一项所述的光学系统,还包括多组堆叠的间隔开的波导,其中,每个波导包括:

[0044] 光透射核心层,其具有与另一主表面相对的主表面;以及

[0045] 光透射辅助层,其在该主表面上,辅助层包括用于公共结构的纳米;

[0046] 其中,辅助层比核心层更薄并且由与形成核心层的材料不同的材料形成。

[0047] 示例22:一种用于制造光学器件的方法,该方法包括:

[0048] 形成波导,包括:

[0049] 提供上和下压印模具,其中,压印模具彼此面对;

[0050] 在压印模具之间提供第一聚合物材料;

[0051] 在第一聚合物材料上并且在压印模具之间提供第二聚合物材料,其中,第二聚合物材料处于液态;

[0052] 使第二聚合物材料与上压印模具接触;

[0053] 使第一聚合物材料和第二聚合物材料暴露于硬化工艺,其中,第一聚合物材料形成第一层,并且第二聚合物材料形成第二层;以及

[0054] 移除上压印模具。

[0055] 示例23:根据示例22所述的方法,其中,上压印模具包括凸起和凹陷的图案,其中,使第二聚合物材料与上压印模具接触将凸起和凹陷的对应图案转移到第二聚合物材料中。

[0056] 示例24:根据示例22至23中的任一项所述的方法,其中,下压印模具包括凸起和凹陷的图案,并且其中,第一层包括凸起和凹陷的匹配图案。

[0057] 示例25:根据示例22至24中的任一项所述的方法,其中,第一聚合物材料处于液态。

[0058] 示例26:根据示例22至25中的任一项所述的方法,其中,提供第一聚合物材料包

括：

- [0059] 在下压印模具与附加压印模具之间提供第一聚合物材料；
- [0060] 在下压印模具与附加压印模具之间压缩第一聚合物材料；以及
- [0061] 在下压印模具与附加压印模具之间使第一聚合物材料硬化，其中，提供上和下压印模具包括：
- [0063] 移除附加压印模具；以及
- [0064] 将上压印模具设置在第一聚合物材料上。
- [0065] 示例27：根据示例22至26中的任一项所述的方法，其中，使第一和第二聚合物材料暴露于硬化工艺包括使第一和第二聚合物材料暴露于紫外光。
- [0066] 示例28：根据示例22至27中的任一项所述的方法，还包括：
- [0067] 将第三聚合物材料沉积在第二聚合物材料的第二层上；
- [0068] 使第三聚合物材料与第三聚合物材料模具接触；
- [0069] 使第三聚合物材料硬化以形成第三聚合物材料的第三层；以及
- [0070] 移除第三聚合物材料模具。
- [0071] 示例29：根据示例28所述的方法，还包括：
- [0072] 将第四聚合物材料沉积在第三层上；
- [0073] 使第四聚合物材料与第四聚合物材料模具接触；
- [0074] 使第四聚合物材料硬化以形成由第四聚合物材料形成的第四层；以及
- [0075] 移除第四聚合物材料模具。
- [0076] 示例30：根据示例29所述的方法，还包括：
- [0077] 将第五聚合物材料沉积在第四层上；
- [0078] 使第五聚合物材料与第五聚合物材料模具接触；
- [0079] 使第五聚合物材料硬化以形成由第五聚合物材料形成的第五层；以及
- [0080] 移除第五聚合物材料模具。
- [0081] 示例31：根据示例30所述的方法，其中，第一、第三和第五聚合物材料是相同材料。
- [0082] 示例32：根据示例29至31中的任一项所述的方法，其中，第二和第四聚合物材料是相同材料。
- [0083] 示例33：根据示例30至32中的任一项所述的方法，其中，第一、第三和第五层包括形成衍射光学元件的凸起和凹陷的图案。
- [0084] 示例34：根据示例22至33中的任一项所述的方法，还包括：
- [0085] 形成波导，其包括聚合物材料的交替层，其中，交替层中的每隔一层包括凸起和凹陷的图案；以及
- [0086] 将附加波导附着到该波导，其中，附加波导和该波导由间隙分离。

附图说明

- [0087] 图1示出了用户通过AR设备观看的增强现实(AR)视图。
- [0088] 图2示出了用于为用户模拟三维图像的传统显示系统。
- [0089] 图3A至3C示出了曲率半径与焦半径之间的关系。
- [0090] 图4A示出了人类视觉系统的调节-辐辏(accommodation-vergence)反应的表示。

- [0091] 图4B示出了用户的眼睛的不同的调节状态和辐辏状态的示例。
- [0092] 图4C示出了用户经由显示系统观看内容的俯视图的表示的示例。
- [0093] 图4D示出了用户经由显示系统观看内容的俯视图的表示的又一示例。
- [0094] 图5示出了用于通过修改波前发散模拟三维图像的方法的各方面。
- [0095] 图6示出了用于将图像信息输出给用户的波导堆叠的示例。
- [0096] 图7示出了由波导输出的出射光束的示例。
- [0097] 图8示出了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颜色形成的图像。
- [0098] 图9A示出了一组堆叠波导的示例的横截面侧视图，每个堆叠波导包括耦入光学元件。
- [0099] 图9B示出了图9A的多个堆叠波导的示例的透视图。
- [0100] 图9C示出了图9A和9B的多个堆叠波导的示例的俯视平面图。
- [0101] 图9D图示了可穿戴显示系统的示例。
- [0102] 图10示出了具有核心层和辅助层的混合波导的示例。
- [0103] 图11示出了具有核心层和多个辅助层的混合波导的示例。
- [0104] 图12示出了具有多个核心层和辅助层的混合波导的示例。
- [0105] 图13示出了具有多个核心层和多个辅助层的混合波导的示例。
- [0106] 图14示出了混合波导的堆叠的示例。
- [0107] 图15a至图15e示出了用于形成具有核心层和辅助层的混合波导的方法。
- [0108] 图16a至图16d示出了用于形成具有核心层和辅助层的混合波导的另一方法。
- [0109] 图17a至图17g示出了用于形成具有核心层和多个辅助层的混合波导的方法。
- [0110] 图18a至图18d示出了用于形成具有图案化核心层和辅助层的方法。
- [0111] 图19a至图19g示出了形成具有集成间隔物的混合波导的方法。

具体实施方式

[0112] 波导可以用于引导光，诸如在包括头戴式增强现实显示系统的显示设备中。例如，波导可以并入眼镜中，并且观看者可以通过波导看到周围环境。另外，波导可以通过接收包含图像信息的光并且将该光引导到观看者的眼睛中来显示图像。接收的光可以使用纳米光子结构诸如衍射光学元件来耦入波导中。耦入的光可以随后也使用纳米光子结构诸如衍射光学元件从波导当中耦出。纳米光子结构可以采取波导中的凹陷和突起的形式。

[0113] 然而，已经发现，用于形成和支持纳米光子结构的功能的要求可以与用于形成具有用于传播光的期望特性的波导的要求关系紧张。例如，具有在其中光从波导当中耦出的界面处的高折射率的材料有益于提供具有大视野的显示器，并且提供具有高紧密度和高效的光耦出和耦入的波导。另外，波导优选地是高度透明和均匀的，以限制用于在其内传播光的光学损耗，并且优选地也可以大规模形成，即，对于适于波导的厚度和面积。不期望地，已经发现，具有高透明度和均匀性并且大规模形成的材料可能不具有期望的高折射率，并且相反地具有高折射率的材料可能不具有期望的高透明度和均匀性，并且容易大规模形成，以用于形成波导。

[0114] 有利地，在一些实施例中，混合波导被提供有多层不同材料。例如，混合波导可以

包括核心层和辅助层。优选地，核心层由高度透明材料形成并且辅助层由更薄的材料层形成，其中，提供了纳米光子结构。在一些实施例中，形成核心层的材料是高度透明聚合物，例如，具有在跨核心层的厚度的可见光谱内的大于85%、大于90%、或大于96%的透明度中继传输。材料可以是可流动材料(例如，可流动聚合物)，该可流动材料可以流动到表面上并且随后地例如通过固化来硬化。辅助层可以比核心层更薄并且优选地由与核心层不同的材料形成。例如，核心层可以具有约100 μm 与1000 μm 之间的厚度，并且辅助层可以具有约5nm与约5000nm之间(0.01 μm 至约5 μm)的厚度，包括约50nm至约5000nm。在一些实施例中，辅助层由聚合物(例如，有机聚合物)、无机材料、混合有机/无机材料、或其组合形成。在一些实施例中，针对给定厚度，辅助层可以具有比核心层更低的可见光谱内的透明度和/或具有比核心层更低的均匀性(在组成和/或光学特性方面，诸如透明度)。然而，该更低的透明度可以通过辅助层与核心层相比较的相对薄度来改善。

[0115] 优选地，混合波导由具有高折射率的材料形成，该材料可以使用波导中的核心层为显示设备提供有利地大的视野。在一些实施例中，形成核心层和辅助层的材料可以具有约1.65或更多、约1.70或更多、或约1.80或更多的折射率。另外，辅助层可以由具有与核心层不同的折射率的材料形成。将理解，纳米光子结构与另一材料之间的界面处的折射率的差异可以利于纳米光子结构重引导光的能力。在一些实施例中，纳米光子结构包括充满另一材料的凹陷。例如，另一材料可以是随后形成的核心层。在一些实施例中，形成辅助层的材料具有与填充纳米光子结构的凹陷的材料的折射率不同约0.05或更多、约0.1或更多、或约0.2或更多的折射率。在一些实施例中，填充纳米光子结构的凹陷的材料可以是在形成辅助层中的纳米光子结构之后形成的核心层的材料。在一些实施例中，形成辅助层的材料具有与形成核心层的材料不同约0.05或更多、约0.1或更多、或约0.2或更多的折射率，该形成核心层的材料填充纳米结构的凹陷。在一些实施例中，形成辅助层的材料的折射率可以比填充凹陷的核心层的折射率更高，并且可以是约1.65或更多、约1.70或更多、或约1.80或更多。在一些其他实施例中，形成辅助层的材料的折射率可以比填充凹陷的核心层的折射率更低。

[0116] 纳米光子结构可以采取具有辅助层中的中间凹陷或开放体积的重复的材料线的形式。在一些实施例中，纳米光子结构具有小于可见光谱中的光的波长的临界尺寸(例如，材料线的宽度)。纳米光子结构可以是表面凹凸特征，包括衍射光学元件，诸如衍射光栅。在一些实施例中，纳米光子结构可以是超颖表面(meta-surface)。纳米光子结构可以包括部分或完全地延伸通过辅助层的特征。在一些实施例中，纳米光子结构中的一个或多个可以延伸到直接相邻的核心层中。核心层可以提供形成期望尺寸的特征的附加的灵活性，例如，取决于期望的光学功能。例如，辅助层中的材料线之间的凹陷可以延伸到核心层中以形成具有比如果那些特征仅使用辅助层形成将可能的长宽比更大的长宽比的纳米光子结构中的特征。

[0117] 有利地，如本文所公开的不同材料层的使用允许层的功能与形成该层的材料更好地匹配。例如，核心层可以由均匀的高度透明的材料形成。另外，形成核心层的材料可以容易地处理以形成厚层，同时维持期望的均匀性和透明度。在一些实施例中，这样的材料可以是相对软或柔软的。另一方面，辅助层可以由具有与核心层的足够大的折射率差的材料形成以允许具有如所公开的光重引导能力的衍射光学元件的形成。如本文所讨论的，形成辅

助层的材料的折射率优选地与核心层的折射率不同。另外，辅助层材料可以是机械地硬和/或强的(例如，比核心层机械地更硬或更强)。在一些实施例中，相对厚的核心层可以用于提供具有很少光学损耗的光传播，而具有高折射率的相对薄的辅助层用于形成光子结构并且还机械地保护/或加强核心层。

[0118] 分离和辅助层的提供有利地允许附加功能实现。例如，在一些实施例中，波导可以包括多个核心和/或辅助层。例如，核心层可以在其任一侧提供有辅助层，例如，在顶和底主表面上，或者可以提供两个核心层，在辅助层的任一侧一个核心层。然而，在其他实施例中，辅助层可以与核心层交替提供。提供多个辅助层的能力可以有利地提供附加的光学功能。例如，不同的辅助层可以具有不同的纳米光子结构，该纳米光子结构可以被配置为提供不同的光学功能。在一些实施例中，不同的纳米光子结构被配置为解决其他纳米光子结构的缺点，使得纳米光子结构的聚合功能相对于单个结构被改进。例如，一些纳米光子结构，诸如光栅，可以在窄带的光波长和/或入射角中操作。通过利用多个纳米光子结构，每个纳米光子结构被配置为在稍微不同的波长带和/或入射角中操作，光波长的聚合带和/或由波导起作用的入射角可以增加。

[0119] 现在将对附图进行参考，其中相似附图标记自始至终指代相似部件。除非另外指明，否则，附图是不必按比例绘制的示意图。

[0120] 示例显示系统

[0121] 图2示出了用于为用户模拟三维图像的传统显示系统。将理解，用户的眼睛隔开，并且当看空间中的真实对象时，每只眼睛将具有对象的稍微不同的视图并且可以在每只眼睛的视网膜的不同位置处形成对象的图像。这可以被称为双眼视差，并且可以由人类视觉系统用于提供深度知觉。常规显示系统通过呈现具有相同虚拟对象的稍微不同视图的两个不同图像190、200—针对每只眼睛210、220一个图像—对应于将由每只眼睛看到的虚拟对象的视图期望深度处的真实对象模拟双眼视差。这些图像提供用户的视觉系统可以解释以获得深度知觉的双眼提示(cue)。

[0122] 继续参考图2，图像190、200与眼睛210、220隔开z轴上的距离230。z轴平行于具有其注视在观看者正前方的光学无限远处的对象上的眼睛的观看者的光轴。图像190、200是平坦的，并且在距眼睛210、220固定距离处。基于分别呈现给眼睛210、220的图像中的虚拟对象的稍微不同的视图，眼睛可以自然旋转，使得对象的图像落在每只眼睛的视网膜上的对应点上，以维持单个双眼视觉。该旋转可以使得每只眼睛210、220的视线会聚到虚拟对象被感知为存在的空间点上。因此，提供三维图像常规地涉及提供可以操纵用户的眼睛210、220的辐辏并且人类视觉系统解释以提供深度知觉的双眼提示。

[0123] 然而，产生现实并且舒适的深度知觉是具挑战性的。将理解，来自距眼睛不同距离处的对象的光具有具有不同的发散量的波前。图3A至3C示出了距离和光线发散之间的关系。对象与眼睛210之间的距离按照递减的距离的次序由R1、R2和R3表示。如图3A至3C所示，随着到对象的距离减小，光线变得更加发散。相反地，随着距离的增加，光线变得更加准直。换句话说，可以说，由点(对象或对象的一部分)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眼睛的距离的函数。随着对象与眼睛210之间的距离减小，曲率增大。尽管为了在图3A至3C和本文中的其它图中清楚地说明而仅示出单只眼睛210，但是，关于眼睛210的讨论可以应用于观看者的双眼210和220。

[0124] 继续参考图3A至图3C,来自观看者的眼睛注视的对象的光可以具有不同程度的波长发散。由于不同的波前发散量,光可以由眼睛的晶状体不同地聚焦,其进而可能要求晶状体呈现不同的形状以在眼睛的视网膜上形成聚焦图像。在聚焦图像未形成在视网膜的情况下,产生的视网膜模糊充当引起眼睛的晶状体的形状的改变直到聚焦图像形成在视网膜上的对调节的提示。例如,对调节的提示可以触发眼睛的晶状体周围的睫状肌放松或者收缩,从而调整施加到保持晶状体的悬韧带的力,因此使得眼睛的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,从而形成注视在眼睛的视网膜(例如,中央凹(fovea))上的对象的聚焦图像。眼睛的晶状体改变形状的过程可以被称为调节,并且形成注视在眼睛的视网膜(例如,中央凹)上的对象的聚焦图像所要求的眼睛的晶状体的形状可以被称为调节状态。

[0125] 现在参考图4A,示出了人类视觉系统的调节-辐辏反应的表示。注视在对象上的眼睛的运动使得眼睛接收来自对象的光,其中,光在每只眼睛的视网膜上形成图像。在视网膜上形成的图像中的视网膜模糊的存在可以提供对调节的提示,并且视网膜上的图像的相对位置可以提供对辐辏的提示。对调节的提示使得调节发生,导致每只眼睛的晶状体呈现在眼睛的视网膜(例如,中央凹)上形成对象的聚焦图像的特定调节状态。另一方面,对辐辏的提示使得辐辏运动(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在维持单个双眼视觉的对应的视网膜点处。在这些位置中,眼睛可以说已经呈现特定辐辏状态。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,并且辐辏可以被理解为眼睛实现特定辐辏状态的过程。如图4A所指示的,如果用户注视在另一对象上,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上,则调节状态可以改变。

[0126] 不受理论的限制,据信对象的观看者可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朝向彼此或远离彼此运动以使眼睛的视线会聚以注视在对象上)与眼睛的晶状体的调节密切相关。在正常情况下,改变眼睛的晶状体的形状以将焦点从一个对象改变到不同距离处的另一对象将根据被称为“调节-辐辏反射”的关系而自动导致与同一距离的辐辏的匹配变化。同样,在正常条件下,辐辏的变化将触发晶状体形状的匹配的变化。

[0127] 现在参考图4B,示出了眼睛的不同的调节和辐辏状态的示例。该双眼睛222a注视在光学无限远处的对象上,而该双眼睛222b注视在小于光学无限远处的对象221上。显著地,每双眼睛的辐辏状态是不同的,其中,该双眼睛222a朝向正前方,而该双眼睛222b会聚在对象221上。形成每双眼睛222a和222b的眼睛的调节状态也是不同的,如由晶状体210a、220a的不同状态表示的。

[0128] 不期望地,由于这些显示器中的调节和辐辏状态之间的失配,所以常规“3-D”显示系统的许多用户发现这样的系统不舒服或者根本不能感知到深度感。如上所述,许多立体或“3-D”显示系统通过向每只眼睛提供稍微不同的图像来显示场景。这样的系统对于许多观看者是不舒服的,因为它们,除了其他方面,简单地提供场景的不同呈现并且引起眼睛的辐辏状态的改变,而没有那些眼睛的调节状态的对应改变。而是,图像由距眼睛固定距离处的显示器显示,使得眼睛观看单个调节状态处的所有图像信息。这样的布置通过在没有调节状态的匹配变化的情况下引起辐辏状态的改变来针对“调节-辐辏反射”工作。该失配被

认为是引起观看者不舒服。在调节和聚散之间提供更好匹配的显示系统可以形成更逼真和舒适的三维图像模拟。

[0129] 不受理论的限制,据信人类眼睛通常可以解释有限数量的深度平面以提供深度感知。因此,通过向眼睛提供对应于这些有限数量的深度平面中的每一个的图像的不同呈现,可以实现感知深度的高度可信的模拟。在一些实施例中,不同的呈现可以提供对辐辏的提示和调节的匹配提示二者,从而提供生理正确的调节-辐辏匹配。

[0130] 继续参考图4B,示出了对应于距眼睛210、220不同的空间距离的两个深度平面240。针对给定深度平面240,辐辏提示可以由针对每只眼睛210、220的适当地不同的视角的图像的显示来提供。另外,针对给定深度平面240,形成提供给每只眼睛210、220的图像的光可以具有对应于由该深度平面240的距离处的点产生的光场的波前发散。

[0131] 在所示的实施例中,包含点221的深度平面240的沿着z轴的距离是1m。如本文所使用的,沿着z轴的距离或深度可以利用位于用户的眼睛的出射光瞳处的零点来测量。因此,在具有朝向光学无限远的眼睛的那些眼睛的光轴上,位于1m的深度处的深度平面240对应于远离用户的眼睛的出射光瞳1m的距离。作为近似,沿着z轴的深度或距离可以从用户的眼睛前面的显示器(例如,从波导的表面)来测量,加上针对设备与用户的眼睛的出射光瞳之间的距离的值。该值可以被称为眼睛间隙(relief)并且对应于用户的眼睛的出射光瞳与由在眼睛前面由用户穿戴的显示器之间的距离。实际上,针对眼睛间隙的值可以是通常用于所有观看者的归一化值。例如,眼睛间隙可以被假定为20mm,并且在1m的深度处的深度平面可以在显示器前面980mm的距离处。

[0132] 现在参考图4C和4D,分别示出了匹配的调节-辐辏距离和失配的调节-辐辏距离的示例。如图4C所示,显示系统可以向每只眼睛210、220提供虚拟对象的图像。图像可以使得眼睛210、220呈现眼睛会聚在深度平面240上的点15上的辐辏状态。另外,图像可以由对应于该深度平面240处的真实对象的波前曲率的光形成。因此,眼睛210、220呈现图像聚焦在那些眼睛的视网膜上的调节状态。因此,用户可以将虚拟对象感知为在深度平面240上的点15处。

[0133] 将理解,眼睛210、220的调节和辐辏状态中的每一个与z轴上的特定距离相关联。例如,在距眼睛210、220特定距离处的对象使得那些眼睛基于对象的距离而呈现特定调节状态。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,存在与相对于彼此的特定辐辏状态或位置的眼睛相关联的特定辐辏距离 V_d 。在调节距离和辐辏距离匹配的情况下,调节与辐辏之间的关系可以据说是物理正确的。这被认为是针对观看者的最舒服的场景。

[0134] 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210、220的图像可以显示有对应于深度平面240的波前发散,并且眼睛210、220可以呈现该深度平面上的点15a、15b合焦(in focus)的特定调节状态。然而,显示给眼睛210、220的图像可以提供使得眼睛210、220集中(converge)于未定位在深度平面240上的点15上的对辐辏的提示。因此,在一些实施例中,调节距离对应于从眼睛210、220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210、220的出射光瞳到点15的更大的距离。调节距离与辐辏距离不同。因此,存在调节-辐辏失配。这样的失配被认为是不期望的,并且可能引起用户的不舒服。将理解,失配对应于距离(例如, V_d-A_d)并且可以使用屈光度表

征。

[0135] 在一些实施例中,将理解,除眼睛210、220的出射光瞳之外的参考点可以用于确定用于确定调节-辐辏失配的距离,只要相同参考点用于调节距离和辐辏距离。例如,距离可以从角膜到深度平面、从视网膜到深度平面、从目镜(例如,显示设备的波导)到深度平面、从眼睛的旋转中心等等来测量。

[0136] 不受理论的限制,据信用户可能仍然将高达约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-辐辏失配感知为生理正确的,而无自己引起显著不舒服的失配。在一些实施例中,本文所公开的显示系统(例如,图6的显示系统250)将图像成像给具有约0.5屈光度或更小的调节-辐辏失配的观看者。在一些其他实施例中,由显示系统所提供的图像的调节-辐辏失配是约0.33屈光度或更小。然而,在其他实施例中,由显示系统所提供的图像的调节-辐辏失配是约0.25屈光度或更小,包括约0.1屈光度或更小。

[0137] 图5示出了用于通过修改波前发散模拟三维图像的方法的各方面。显示系统包括波导270,该波导270被配置为接收编码有图像信息的光770,并且将该光输出到用户的眼睛210。波导270可以输出具有对应于由期望深度平面240上的点产生的光场的波前发散的定义数量的波前发散的光650。在一些实施例中,相同数量的波前发散被提供用于呈现在该深度平面上的所有对象。另外,将示出,用户的另一眼睛可以提供有来自类似波导的图像信息。

[0138] 在一些实施例中,单个波导可以被配置为输出具有单个或有限数量的深度平面的设定量的波前发散的光和/或波导可以被配置为输出具有有限波长范围的光。因此,在一些实施例中,多个波导或波导的堆叠可以用于为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,深度平面可以跟随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,深度平面可以跟随平坦表面的轮廓。

[0139] 图6示出了用于将图像信息输出给用户的波导堆叠的示例。显示系统250包括波导堆叠或堆叠波导组件260,其可用于使用多个波导270、280、290、300、310向眼睛/大脑提供三维感知。将理解,在一些实施例中,显示系统250可以被视为光场显示器。另外,波导组件260还可以称为目镜。

[0140] 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对辐辏的提示和多个离散的对调节的提示。对辐辏的提示可以通过将不同图像显示给用户的每只眼睛来提供,并且调节的提示可以通过输出形成具有可选择的离散量的波前发散的图像的光来提供。换句话说,显示系统250可以被配置为输出具有不同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中的特定波导提供。

[0141] 继续参考图6,波导组件260还可以包括位于波导之间的多个特征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/或多个透镜320、330、340、350可以被配置为以各种水平的波前曲率或光线发散度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。图像注入设备360、370、380、390、400可以用作波导的光源,并且可用于将图像信息注入到波导270、280、290、300、310中,如本文所述,每个波导可以被配置为跨每个相应的波导分配入射光用于朝着眼睛210输出。光从图像注入设备360、

370、380、390、400的输出表面410、420、430、440、450出射，并且注入到波导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中的每一者可以是对应波导的边缘，或者可以是对应波导的主表面(即，直接面向世界510或观看者眼睛210的波导表面中的一者)的一部分。将理解，波导的主表面对应于波导的厚度在其之间延伸的波导的表面。在一些实施例中，可以将单个光束(例如准直光束)注入到每个波导中，以便以对应于与特定波导相关联的深度平面的特定角度(和发散量)输出朝向眼睛210引导的克隆准直光束的整个视野。在一些实施例中，图像注入设备360、370、380、390、400中的单个图像注入设备可以与多个波导270、280、290、300、310(例如，其中的三个)相关联并将光注入到这些波导中。

[0142] 在一些实施例中，图像注入设备360、370、380、390、400是离散显示器，每个离散显示器分别产生用于注入到对应的波导270、280、290、300、310中的图像信息。在一些其它实施例中，图像注入设备360、370、380、390、400是单个多路复用显示器的输出端，例如，该单个多路复用显示器可以经由一个或多个光学导管(诸如，光纤光缆)将图像信息通过管道传输到图像注入设备360、370、380、390、400中的每一者。将理解，由图像注入设备360、370、380、390、400提供的图像信息可以包括不同波长或颜色的光(例如，如本文所讨论的不同的分量颜色)。

[0143] 在一些实施例中，注入到波导270、280、290、300、310中的光由光投射器系统520提供，光投射器系统520包括光模块530，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540而被定向到光调制器540(例如，空间光调制器)并被光调制器540修改。光调制器540可以被配置为改变注入到波导270、280、290、300、310中的光的感知强度以编码具有图像信息的光。空间光调制器的示例包括液晶显示器(LCD)，其包括硅上液晶(LCOS)显示器。将理解，示意性地图示了图像注入设备360、370、380、390、400，并且在一些实施例中，这些图像注入设备可以表示被配置为将光输入到波导270、280、290、300、310中的相关联的波导中的共同投影系统中的不同光路和位置。在一些实施例中，波导组件260的波导可以用作理想透镜，而将注入到波导中的光中继出到用户的眼睛。在该概念中，对象可以是空间光调制器540，并且图像可以是深度平面上的图像。

[0144] 在一些实施例中，显示系统250以是包括一个或多个扫描光纤的扫描光纤显示器，该一个或多个扫描光纤被配置为以各种图案(例如，光栅扫描、螺旋扫描、利萨如图案等)将光投射到一个或多个波导270、280、290、300、310中并最终投射到观看者的眼睛210。在一些实施例中，所示的图像注入设备360、370、380、390、400可示意性地表示单个扫描光纤或扫描光纤束，该单个扫描光纤或扫描光纤束被配置为将光注入到一个或多个波导270、280、290、300、310中。在一些其它实施例中，所示的图像注入设备360、370、380、390、400可以示意性地表示多个扫描光纤或多个扫描光纤束，这些扫描光纤或扫描光纤束中的每一者被配置为将光注入到波导270、280、290、300、310中关联的一个波导中。将理解，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，可以在一个或多个扫描光纤与一个或多个波导270、280、290、300、310之间提供一个或多个中间光学结构，以例如将从扫描光纤出射的光重定向到一个或多个波导270、280、290、300、310中。

[0145] 控制器560控制堆叠波导组件260中的一个或多个的操作，包括图像注入设备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，非暂时性介质中的指令），该编程根据例如本文公开的各种方案中的任何方案，调节时机和到波导270、280、290、300、310的图像信息的提供。在一些实施例中，控制器可以是单个集成设备，或者是通过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。

[0146] 继续参考图6，波导270、280、290、300、310可以被配置为通过全内反射（TIR）在每个相应的波导内传播光。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），具有顶部主表面和底部主表面以及在这些顶部主表面和底部主表面之间延伸的边缘。在所示的配置中，波导270、280、290、300、310可各自包括耦出光学元件570、580、590、600、610，这些耦出光学元件被配置为通过将在各自相应波导内传播的光重引导出波导来从波导中提取光，以将图像信息输出到眼睛210。所提取的光也可以被称为耦出光，而耦出光学元件光也可以被称为光提取光学元件。在波导中传播的光入射到光提取光学元件的位置处，所提取的光束由波导输出。如本文进一步讨论的，耦出光学元件570、580、590、600、610可以例如是光栅，光栅包括衍射光学特征。虽然为了便于描述和描绘清楚而被示出为设置在波导270、280、290、300、310的底部主表面处，但是在一些实施例中，如本文进一步所讨论的，耦出光学元件570、580、590、600、610可以被设置在顶部和/或底部主表面处，和/或可以被直接设置在波导270、280、290、300、310的体中。在一些实施例中，耦出光学元件570、580、590、600、610可以被形成在附接到透明基板以形成波导270、280、290、300、310的材料层中。在一些其它实施例中，波导270、280、290、300、310可以是单片材料，且耦出光学元件570、580、590、600、610可以被形成在该片材料的表面上和/或内部中。

[0147] 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（该准直光被注入到这种波导270中）递送到眼睛210。准直光可以代表光学无限远焦平面。下一个上行波导280可以被配置为将穿过第一透镜350（例如，负透镜）的准直光在其可以到达眼睛210之前发送出；这样的第一透镜350可以被配置为产生微凸的波前曲率，使得眼睛/大脑将来自该下一个上行波导280的光解释为来自第一焦平面，该第一焦平面从光学无限远处向内更靠近眼睛210。类似地，第三上行波导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的组合屈光力可被配置为产生另一增量的波前曲率，以使得眼睛/大脑将来自第三波导290的光解释为来自第二焦平面，该第二焦平面从光学无穷远比来自该下一个上行波导280的光向内更靠近人。

[0148] 其它波导层300、310和透镜330、320被类似地配置，其中堆叠中的最高波导310发送其输出通过其与眼睛之间的所有透镜，以获得代表与人最接近的焦平面的总光焦度（aggregate focal power）。为了在观看/解释来自堆叠波导组件1178的另一侧上的世界510的光的时候补偿透镜堆叠320、330、340、350，可以在堆叠的顶部设置补偿透镜层620以补偿下面的透镜堆叠320、330、340、350的聚合屈光力。这种配置提供与具有可用的波导/透镜配对一样多的感知焦平面。波导的耦出光学元件和透镜的聚焦方面都可以是静态的（即，不是动态的或电活性的）。在一些替代实施例中，它们中的一者或两者使用电活性特征而可以是动态的。

[0149] 在一些实施例中,波导270、280、290、300、310中的两者或更多者可具有相同的相 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到相同的深 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到相同的多 个深度平面,每个深度平面一个图像集。这可以提供形成拼接图像以在那些深度平面处提供扩 展的视野的优势。

[0150] 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它 们相应的波导之外并且针对与该波导相关联的特定深度平面输出具有适当的发散量或准 直量的光。结果,具有不同相关联深度平面的波导可具有耦出光学元件570、580、590、600、 610的不同配置,这些耦出光学元件取决于相关联的深度平面而输出具有不同发散量的光。 在一些实施例中,光提取光学元件570、580、590、600、610可以是体或表面特征,其可以被配 置为以特定角度输出光。例如,光提取光学元件570、580、590、600、610可以是体全息图、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物(例如,包层和或用于形成气隙的结构)。

[0151] 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“衍射光学元件”(在本文中也被称为“DOE”)。优选地,DOE具有足够低的衍射效率,以 使得光束的仅一部分光通过DOE的每一个交点而偏转向眼睛210,而其余部分经由全内反射 而继续在波导内移动。携带图像信息的光因此被分成多个相关的出射光束,这些出射光束在多 个位置处离开波导,并且结果是对于在波导内反弹的该特定准直光束是朝向眼睛210的相当 均匀图案的出射发射。

[0152] 在一些实施例中,一个或多个DOE可以在它们活跃地衍射的“开”状态与它们不显 著衍射的“关”状态之间切换。例如,可切换的DOE可以包括聚合物分散的液晶层,其中微滴 在主体介质中包含衍射图案,并且微滴的折射率可以被切换为基本上匹配主体材料的折射 率(在这种情况下,图案不会明显地衍射入射光),或者微滴可以被切换为与主体介质的折 射率不匹配的折射率(在这种情况下,该图案活跃地衍射入射光)。

[0153] 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采集设备。在一些实施例中,照相机组 件630可以包括图像采集设备和向眼睛投影光(例如,红外光)的光源,该光可以然后由眼 睛反射并且由图像采集设备检测。在一些实施例中,照相机组件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可以处理来自照 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。

[0154] 现在参考图7,示出了由波导输出的出射光束的示例。示出了一个波导,但是将理 解,波导组件260(图6)中的其它波导可以类似地起作用,其中波导组件260包括多个波导。 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,一部分光作为出射光束650离开波导。出射光束650被示出为 基本上平行,但是如本文所讨论的,取决于与波导270相关联的深度平面,出射光束650也可 以以一角度(例如,形成发散的出射光束)被重引导以传播到眼睛210。将理解,基本上平行 的出射光束可以指示具有耦出光学元件的波导,所述耦出光学元件将光耦出以形成看起来

被设置在距眼睛210较大距离(例如,光学无穷远)处的深度平面上的图像。其它波导或者其它耦出光学元件组可以输出更加发散的出射光束图案,这将需要眼睛210调节到更近距离以将其聚焦在视网膜上并且将被大脑解释为来自比光学无穷远更接近眼睛210的距离的光。

[0155] 在一些实施例中,可以通过在分量颜色(例如,三种或更多种分量颜色)中的每一者中叠加图像来在每个深度平面处形成全色图像。图8示出了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颜色形成的图像。所示的实施例示出了深度平面240a-240f,但也可以预期更多或更少的深度。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。在图中通过用于字母G,R和B之后的屈光度(dpt)的不同数字表示不同的深度平面。仅作为示例,这些字母中的每一者后面的数字表示屈光度(1/m),或该深度平面距观看者的距离的倒数,并且图中的每个框表示单独的分量颜色图像。在一些实施例中,为了考虑眼睛对不同波长的光的聚焦的差异,不同分量颜色的深度平面的精确放置可以变化。例如,给定深度平面的不同分量颜色图像可以被放置在与距用户的不同距离相对应的深度平面上。这样的布置可以增加视敏度和/或用户舒适度,或者可以减少色差。

[0156] 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,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,图中包括字母G、R或B的每个框可以被理解为表示单独的波导,并且每个深度平面可以提供三个波导,其中,每个深度平面提供三个分量颜色图像。尽管为了便于描述,在此图中与每个深度平面相关联的波导被示出为彼此邻近,但将理解,在物理设备中,波导可以全部被布置为每层级一个波导的堆叠形式。在一些其他实施例中,多个分量颜色可以由相同的波导输出,使得例如每个深度平面可以仅提供单个波导。

[0157] 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,除了红色、绿色或蓝色之外,可以使用与其它波长的光(包括品红色和青色)相关联的其它颜色,或者这些其它颜色可以替代红色、绿色或蓝色中的一种或多种。

[0158] 将理解,本公开通篇对给定颜色的光的提及将被理解为包括在被观看者感知为具有该给定颜色的光的波长范围内的一一个或多个波长的光。例如,红光可以包括在约620-780nm范围内的一个或多个波长的光,绿光可以包括在约492-577nm范围内的一个或多个波长的光,并且蓝光可以包括在约435-493nm范围内的一个或多个波长的光。

[0159] 在一些实施例中,光源530(图6)可以被配置为发射观察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的波导的耦入、耦出和其他光重定向结构可以被配置为将该光朝向用户的眼睛210定向并且发射到显示器之外,例如,用于成像和/或用户刺激应用。

[0160] 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入到波导中。耦入光学元件可以用于将光重引导并且耦入到其对应的波导中。图9A图示了各自包括耦入光学元件的多个堆叠波导或堆叠波导集660的示例的剖面侧视图。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,堆叠660可以对应于堆叠260(图6),并且堆叠660的所图示的波导可以对应于多个波导270、280、290、300、310的一部分,例外的是,来自图像注入设备360、370、380、390、400中的一个或多

个的光从要求光重定向用于耦入的位置被注入到波导中。

[0161] 所图示的堆叠波导集660包括波导670、680和690。每个波导包括相关联的耦入光学元件(其还可以被称为波导上的光输入区),其中,例如,在波导670的主表面(例如,上主表面)上设置的耦入光学元件700、在波导680的主表面(例如,上主表面)上设置的耦入光学元件710,以及在波导690的主表面(例如,上主表面)上设置的耦入光学元件720。在一些实施例中,耦入光学元件700、710、720中的一个或多个可以被设置在相应波导670、680、690的底主表面上(特别地其中,一个或多个耦入光学元件是反射型偏转光学元件)。如所示出的,耦入光学元件700、710、720可以被设置在其相应波导670、680、690的上主表面上(或在下一个下行波导的顶部),特别地其中,那些耦入光学元件是透射偏转光学元件。在一些实施例中,耦入光学元件700、710、720可以被设置在相应波导670、680、690的本体中。在一些实施例中,如本文所讨论的,耦入光学元件700、710、720是波长选择的,以使得其选择性地重引导光的一个或多个波长,同时透射光的其他波长。虽然示出在其相应波导670、680、690的一个边或角上,但是将理解,在一些实施例中,耦入光学元件700、710、720可以设置在其相应波导670、680、690的其他区域中。

[0162] 如所示出的,耦入光学元件700、710、720可以彼此横向偏移。在一些实施例中,每个耦入光学元件可以偏移,以使得耦入光学元件在光不穿过另一耦入光学元件的情况下接收该光。例如,每个耦入光学元件700、710、720可以被配置为从如图6中所示的不同图像注入设备360、370、380、390和400接收光,并且可以与其他耦入光学元件700、710、720分离(例如,横向地隔开),使得其基本上不接收来自耦入光学元件700、710、720中的其他耦入光学元件的光。

[0163] 每个波导还包括相关联的光分布元件,其中,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中的顶和底主表面中的不同的主表面上。

[0164] 波导670、680、690可以通过例如气体、液体和/或固体材料层隔开并且分离。例如,如所示出的,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中的直接相邻的一个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,该包层利于通过波导670、680、690的光的全内反射(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。虽然未示出,但是将理解,所示出的波导集660的顶部和底部可以包括直接相邻的包层。

[0165] 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。

[0166] 继续参考图9A,光线770、780、790入射在波导集660上。将理解,可以通过一个或多个图像注入设备360、370、380、390、400将光线770、780、790注入到波导670、680、690中(图6)。

[0167] 在一些实施例中,光线770、780、790具有不同的性质,例如,不同的波长或不同的波长范围,该不同的波长或不同的波长范围可以对应于不同的颜色。耦入光学元件700、710、720各自偏转入射光,以使得光通过TIR传播通过波导670、680、690中的相应一个。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。

[0168] 例如,耦入光学元件700可以被配置为使光线770偏转,该光线770具有第一波长或波长范围,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被配置为使第二波长或波长范围的光偏转。光线790由耦入光学元件720偏转,该耦入光学元件720被配置为选择性地使第三波长或波长范围的光偏转。

[0169] 继续参考图9A,偏转光线770、780、790被偏转,使得其传播通过对应的波导670、680、690;即,每个波导的耦入光学元件700、710、720使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以使得光通过TIR通过相应波导670、680、690传播的角度而偏转。光线770、780、790通过TIR通过相应波导670、680、690传播,直到入射在波导的对应的光分布元件730、740、750上。

[0170] 现在参考图9B,示出了图9A的多个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,使得其分别朝向耦出光学元件800、810、820传播。

[0171] 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出光学元件800、810、820,并且在一些实施例中,随着其传播到耦出光学元件还可以增加该光束或斑尺寸。在一些实施例中,光分布元件730、740、750可以省略并且耦入光学元件700、710、720可以被配置为将光直接偏转到耦出光学元件800、810、820。例如,参考图9A,光分布元件730、740、750可以分别用耦出光学元件800、810、820替换。在一些实施例中,耦出光学元件800、810、820是将光定向到观察者的眼睛210中的出射光瞳(EP)或出射光瞳扩展器(EPE)(图7)。将理解,OPE可以被配置为在至少一个轴上增加眼盒(eye box)的尺寸,并且EPE可以在跨越(例如,正交于)OPE的轴的轴上增加眼盒。例如,每个OPE可以被配置为将入射OPE的光的一部分重定向到相同波导的EPE,通过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,在入射EPE时,入射光的一部分朝向用户引导离开波导,并且该部分的剩余部分继续传播通过波导,直到其再次入射EP,在那时,入射光的另一部分引导离开波导等等。因此,耦入光的单光束可以每次该光的一部分由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。

[0172] 因此,参考图9A和9B,在一些实施例中,波导集660包括用于每个分量颜色的波导

670、680、690；耦入光学元件700、710、720；光分布元件(例如，OPE)730、740、750；以及耦出光学元件(例如，EPE)800、810、820。波导670、680、690可以通过每一个之间的空隙/包层来堆叠。耦入光学元件700、710、720将入射光(其中，不同的耦入光学元件接收不同的波长的光)重引导或者偏转到其波导中。光然后以将导致相应波导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并且然后耦出光学元件(例如，EP)800相互作用。光线780和790(例如，分别是绿光和红光)将穿过波导670，其中，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。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并且然后耦出光学元件(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的光耦入光学元件720中。光耦入光学元件720偏转光线790，以使得光线通过TIR传播到光分布元件(例如，OPE)750，并且然后通过TIR传播到耦出光学元件(例如，EP)820。耦出光学元件820然后最后将光线790耦出到观察者，该观察者还从其他波导670、680接收耦出光。

[0173] 图9C示出了图9A和9B的多个堆叠波导的示例的俯视平面图。如所示出的，波导670、680、690连同每个波导的相关联的光分布元件730、740、750和相关联的耦出光学元件800、810、820可以垂直地对准。然而，如本文所讨论的，耦入光学元件700、710、720未垂直地对准；而是，耦入光学元件优选地是非重叠的(例如，如在俯视图中看到的横向隔开)。如本文进一步讨论的，此不重叠的空间布置有助于将来自不同资源的光一对地注入到不同波导中，从而允许特定光源被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入光学元件的布置可以被称为偏移光瞳系统，并且这些布置内的耦入光学元件可以对应于子光瞳。

[0174] 图9D示出了本文所公开的各种波导和相关系统可以集成到其中的可穿戴显示系统60的示例。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的一些部分。例如，图6的波导组件260可以是显示器70的一部分。

[0175] 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的运行的各种机械和电子模块和系统。显示器70可以被耦合到框架80，该框架80可由显示系统用户或观看者90佩戴，并且被配置为将显示器70定位在用户90的眼睛的前面。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被耦合到框架80并且被配置为被定位在用户90的耳道附近(在一些实施例中，未示出的另一扬声器可以可选地定位在用户的另一耳道附近以提供立体/可成形声音控制)。显示系统60还可以包括一个或多个麦克风110或者检测声音的其他设备。在一些实施例中，麦克风被配置为允许用户向系统60提供输入或者命令(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(例如，与类似显示系统的其他用户)的音频通信。麦克风还可以被配置为采集音频数据(例如，来自用户和/或环境的声音)的外围传感器。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，该环境传感器112被配置为检测用户周围的世界的对象、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，该相机可以例如面向外定位以便捕获类似于用户90的普通视野的至少一部分的图像。在一些实施例中，显示系统还可以包括外围传感器120a，该外围传感器120a可以与框架80分离并被附接到用户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。

[0176] 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)操作性地耦合到本地数据处理模块140，该本地数据处理模块140可以安装在各种配置中，诸如固定附接到框架80、固定附接到由用户佩戴的头盔或帽子、嵌入在耳机中、或者可移除地附接到用户90(例如，在背包型配置中、在腰带耦合型配置中)。类似地，传感器120a可以由通信链路120b(例如，有线引线或无线连接)操作性地耦合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数字存储器，诸如非易失性存储器(例如，闪存或硬盘驱动器)，其二者可以用于辅助数据的处理、缓存和存储。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)、专用处理硬件等等。数据可以包括以下数据：a)从传感器(其可以例如操作性地耦合到框架80或以其他方式附接到用户90)采集的数据，诸如图像采集设备(诸如照相机)、麦克风、惯性测量单元、加速度计、指南针、GPS单元、无线电设备、陀螺仪和/或本文所公开的其他传感器；和/或b)使用远程处理模块150和/或远程数据存储库160采集和/或处理的数据(包括与虚拟内容有关的数据)，可能地用于在这样的处理或者检索之后传送到显示器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)操作性地耦合到远程处理模块150和远程数据存储库160，使得这些远程模块150、160操作性地耦合到彼此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可以包括以下各项中的一项或多项：图像采集设备、麦克风、惯性测量单元、加速度计、指南针、GPS单元、无线电设备和/或陀螺仪。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14通信的独立结构。

[0177] 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，例如包括一个或多个中央处理单元(CPU)、图形处理单元(GPU)、专用处理硬件等等。在一些实施例中，远程数据存储库160可以包括数字数据存储设施，该数字数据存储设施可以是通过因特网或“云”资源配置中的其他网络配置可用的。在一些实施例中，远程数据存储库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，用于生成增强现实内容的信息。在一些实施例中，所有数据被存储并且所有计算在本地处理和数据模块中执行，这允许来自远程模块的完全自主使用。可选地，包括CPU、GPU等等的外部系统(例如，一个或多个处理器、一个或多个计算机的系统)可以执行处理的至少一部分(例如，生成图像信息、处理数据)并且向模块140、150、160提供信息和从模块140、150、160接收信息，例如经由无线或有线连接。

[0178] 示例混合波导结构

[0179] 现在参考图10，示出了具有核心层和辅助层的混合波导的示例。混合波导1000包括相对厚的核心层1010，在核心层1010上，设置了相对薄的辅助层1020；即，核心层1010比覆盖的辅助层1020更厚。在一些实施例中，核心层1010可以具有约50μm与约1000μm之间的厚度，包括在约100μm与约1000μm之间、在约300μm与约800μm之间、在约300μm与约500μm之间、和在约310μm与约450μm之间。在一些环境中，辅助层可以具有约5nm与约5000nm之间(约0.01μm至约5μm)的厚度，包括在约50nm与约5000nm之间、在约10nm与约3000nm之间、在约20nm与约1000nm之间、在约30nm与约400nm之间、和在约50nm与约300nm之间。优选地，核心

层足够厚以利于通过全内反射的跨混合波导1000的光的传播，并且辅助层足够厚以允许其中衍射光学元件的形式。例如，辅助层优选地至少与形成在其中的最高衍射光学元件一样厚。在一些实施例中，核心层1010直接接触辅助层1020。

[0180] 核心层1010和辅助层1020可以由不同材料形成。优选地，形成核心层1010的材料对于可见光谱(例如，390–700nm)中的光的波长高度透明。例如，核心层1010优选地透射跨其厚度的可见光谱中的光的大于85%、大于90%、或大于96%。在一些实施例中，由于辅助层1020比核心层1010更薄，每单位体积针对辅助层1020的透明度的要求可以与核心层1010的透明度的要求相比较而放松。例如，辅助层1020可以由提供比核心层1010更低的可见光谱中的透明度的材料形成；即，针对相同材料厚度，辅助层1020可以比核心层1010透射更少光。然而，形成辅助层1020的材料可以具有与形成核心层1010的材料不同的折射率，特别地其中，核心层1010的材料延伸到形成在辅助层1020中的纳米光子结构的凹陷中。在一些实施例中，形成辅助层1020的材料具有与形成核心层1010的材料的折射率不同约0.05或更多、约0.1或更多、或约0.2或更多的折射率。

[0181] 在一些实施例中，核心层1010可以由高度透明的聚合物材料形成，例如，有机聚合物材料，并且辅助层1020可以由不同聚合物材料(例如，不同有机或无机聚合物材料)或混合有机/无机材料形成。在一些实施例中，可以用于核心层1010的高折射率材料(例如，具有高于1.65的折射率)的示例包括基于聚酰亚胺的高折射率树脂、含卤素(例如，含溴或碘)聚合物、含磷聚合物、基于巯基的聚合物、和高折射率树脂材料。高折射率树脂材料的示例包括从日本神奈川川崎的NTT-AT可商购的高折射率树脂材料，诸如在名称#565和#566下销售的高折射率树脂；以及从美国俄亥俄州阿克伦的Akron Polymer System可商购的高折射率树脂，诸如在名称APS-1000、APS2004、APS-4001并且作为APS 3000系列的一部分下销售的高折射率树脂。

[0182] 在一些实施例中，较低折射率材料(例如，具有低于1.65的折射率)的示例，诸如用于辅助层1020的材料，包括有机聚合物材料、低折射率树脂、基于溶胶的混合聚合物(例如，TiO₂、ZrO₂和ITO溶胶材料)、掺杂有纳米颗粒的聚合物(诸如TiO₂、ZrO₂)和活性材料(例如，掺杂有量子点的聚合物)。低折射率有机聚合物材料的示例包括从美国密苏里圣路易斯的西格玛奥德里奇(Sigma-Aldrich)可商购的低折射率有机聚合物，诸如在名称CPS 1040UV、CPS 1040UV-A、CPS 1030、CPS 1020UV、CPS 1040UV-VIS、CPS 1030UV-VIS、和CPS 1020UV-VIS下销售的聚合物材料。低折射率树脂的示例包括从日本大阪长濑集团的美源(Miwon of the Nagase Group)可商购的低折射率树脂。

[0183] 继续参考图10，一个或多个纳米光子结构1022、1024可以被提供在辅助层1020中。纳米光子结构1022、1024包括材料线和中间凹陷或开放体积。如图所示，纳米光子结构1022、1024可以包括部分或完全地延伸通过辅助层1020的特征。在一些实施例中，纳米光子结构1024可以延伸到底层的核心层1010中，从而形成具有比仅使用辅助层1020的厚度可能的长宽比更高的长宽比的特征。现在参考图11，示出了具有核心层和多个辅助层的混合波导的示例。除了附加辅助层1030被提供在核心层1010与辅助层1020的相对侧之外，所示的混合波导1002类似于图10的混合波导1000。如图所示，核心层1010的两个相对的主表面可以直接接触辅助层1020、1030之一。

[0184] 附加辅助层1030可以类似于辅助层1020，并且例如，优选地由与核心层1010不同

的材料形成并且优选地具有比该核心层1010更高的折射率。在一些实施例中，辅助层1030可以由与辅助层1020相同的材料形成。在一些其他实施例中，辅助层1020和1030可以由不同材料形成。

[0185] 一个或多个纳米光子结构可以被提供在辅助层1030中。在所示的示例中，示出了单个纳米光子结构1032。纳米光子结构1032可以类似于纳米光子结构1022、1024，并且可以采取材料的局部体积和中间凹陷或开放体积的形式。开口可以部分地延伸通过辅助层1030，如图所示。在一些其他实施例中，定义纳米光子结构1032的开口可以完全地延伸通过辅助层1030，并且可选地，到下层的核心层1010中。有利地，在核心层1010的相对表面上提供纳米光子结构可以有效地增加跨核心层1010的给定区域的纳米光子结构的数量，从而，增加耦出或者耦入跨该区域的波导中的光量。

[0186] 现在参考图12，示出了具有多个核心层和辅助层的混合波导的示例。除了附加核心层1040被提供在辅助层1020与核心层1010的相对侧之外，所示的混合波导1004类似于图10的混合波导1000。辅助层1020的相对的主表面中的每一个可以直接接触对应的核心层1010、1040之一。如上文关于图10所讨论的，辅助层1020可以包括一个或多个纳米光子结构1020、1024。将理解，附加核心层1040可以增加波导1004相对于波导1000的总体厚度，从而利于跨波导的长度的光的横向传播。另外，横向传播通过波导1004的光可以照射纳米光子结构两次（例如，一次在反射离开核心层1040的主表面之后并且一次在反射离开核心层1010的主表面之后），其可以增加纳米光子结构的效率以用于例如从波导1004耦出光。

[0187] 如图所示，纳米光子结构1022可以包括辅助层1020中的多个凹陷，并且那些凹陷可以由覆盖的附加核心层1040的材料填充。辅助层1020和附加核心层1040的折射率优选地被选择为是不同的，以支持纳米光子结构1022的光学功能。如本文所讨论的，在一些实施例中，辅助层1020和附加核心层1040的折射率相差约0.05或更多、约0.1或更多、或约0.2或更多。另外，在其中纳米光子结构1024具有延伸到核心层1010中并且由附加核心层1040的材料填充的凹陷的实施例中，附加核心层1040的材料还可以具有与核心层1010的折射率不同的折射率。例如，在这样的实施例中，附加核心层1040和核心层1010的折射率可以相差约0.05或更多、约0.1或更多、或约0.2或更多。

[0188] 现在参考图13，示出了具有多个核心层和多个辅助层的混合波导的示例。所示的混合波导1004类似于图11的混合波导1002，例外的是，辅助层1020由附加核心层1040覆盖，附加核心层1040由第三辅助层1050覆盖，第三辅助层1050由第三核心层1060覆盖，第三核心层1060由第四辅助层1070覆盖。

[0189] 辅助层1030、1020、1050、1070中的每一个可以包括一个或多个纳米光子结构。例如，辅助层1050可以包括纳米光子结构1052、1054，并且辅助层1070可以包括纳米光子结构1072。在一些实施例中，纳米光子结构可以是多层结构。例如，纳米光子结构1054是具有基线层1054a和上层1054b和下层1054c的多层结构。如图所示，给定核心层的材料可以延伸到定义直接相邻的辅助和核心层的纳米光子结构的开口中。

[0190] 将理解，形成各种纳米光子结构1022、1032、1052、1072、1024、1054的特征的尺寸、形状、和/或周期性可以是不同的。例如，由特征做出的物理尺寸和图案可以被选择以实现针对光的给定波长或颜色的期望的光重引导功能。在一些实施例中，在混合波导1006包括不同水平处的多个纳米光子结构的情况下，每个水平处的纳米光子结构可以被选择为重引

导不同波长的光、不同入射角的光、和/或朝向不同方向输出光。总体而言，不同的纳米光子结构可以比具有单个或更多有限数量的纳米光子结构的波导在更大的波长范围、入射角、和/或输出方向上提供更宽的频带响应。

[0191] 图14示出了混合波导的堆叠的示例。混合波导1000a堆叠在混合波导1000b上，混合波导1000b堆叠在混合波导1000c上。混合波导1000a、1000b、1000c中的每一个可以对应于混合波导1000、1002、1004、1006之一(分别地，图10至图13)。在一些实施例中，各种混合波导1000a、1000b、1000c可以彼此类似，或者可以具有不同结构。例如，如图所示，混合波导1000a、1000b、1000c可以各自类似于混合波导1006(图13)。

[0192] 在一些实施例中，各种混合波导1000a、1000b、1000c的辅助层中的纳米光子结构可以不同。例如，混合波导1000a、1000b、1000c中的每一个中的纳米光子结构可以被配置为重引导一种颜色的光(对应于一个波长或波长范围)，而混合波导1000a、1000b、1000c中的其他混合波导的纳米光子结构可以被配置为重引导其他不同颜色的光。在一些实施例中，混合波导1000a、1000b、1000c可以被配置为重引导具有分别对应于红色、蓝色和绿色的波长的光。

[0193] 为了利于混合波导的堆叠和对准，可以在波导之间提供间隔物。可选地，在混合波导的每个界面处，间隔物可以被提供作为一个混合波导的一部分，并且间隔物可以适配到其中的匹配开口可以被提供在该界面处的另一混合波导中。例如，继续参考图14，混合波导1000c可以包括多个间隔物1074c，并且直接覆盖和相连接(interface)的混合波导1000b可以包括间隔物1074c可以在一对基础上容纳到其中的多个开口1034b。在一些实施例中，间隔物和开口可以形成在辅助层中。例如，间隔物1074c可以形成在辅助层1071c中，并且开口1034b可以形成在辅助层1031b中。类似地，间隔物1074c可以形成在辅助层1071c中，并且开口1034a可以形成在辅助层1031a中。在一些实施例中，间隔物足够高以隔开两个混合波导并且在混合波导1000a、1000b、1000c的单独混合波导之间形成间隙(例如，空气间隙)。将理解，间隙提供低折射率体积，该低折射率体积可以利于由纳米光子结构造成的光的重引导和通过每个混合波导的光的传播。

[0194] 通常参考图10至图14，将理解，如上文所描述的，针对核心和辅助层1010、1040、1060和1030、1020、1050、1070的各种材料通常分别用于核心层1010和辅助层1020，尽管特定材料可以是相同的，或者可以是不同的。例如，在一些实施例中，形成外部辅助层1030、1070的材料可以针对硬度和机械稳定性来选择，而这些特性可以针对辅助层1020、1050放松，使得那些层1020、1050可以由不太硬和/或机械稳定的材料形成。所示的层中的每一个可以直接接触直接相邻层。为了支持纳米光子结构的转向我们的重引导光的能力，形成辅助层的材料优选地具有与形成直接相邻核心层(例如，其中来自核心层的材料直接延伸到纳米光子结构中的开口的核心层)的材料的折射率不同的折射率。优选地，折射率相差约0.05或更多、约0.1或更多、或约0.2或更多。

[0195] 任何混合波导1000、1002、1004、1006、或其组合可以使用作为波导堆叠260(图6)或660(图9A至图9C)的波导之一，例如，作为波导270、280、290、300或310(图6)或670、680、或690(图9A至图9C)之一。另外，在一些实施例中，纳米光子结构1022、1032、1052、1072、1024、1054中的一些可以对应于耦入光学元件700、710、720(图9A至图9C)，并且纳米光子结构1022、1032、1052、1072、1024、1054中的其他可以对应于光分布元件730、740、750和/或耦

出光学元件800、810、820(图9A至图9C)。例如,纳米光子结构1024、1054可以对应于耦入光学元件700、710、720,并且纳米光子结构1022、1032、1052、1072可以对应于光分布元件730、740、750和/或耦出光学元件800、810、820。

[0196] 制造混合波导的示例方法

[0197] 在一些实施例中,在没有汽相沉积的情况下,核心层和辅助层可以使用可流动的材料形成。另外,在没有分离的图案化和蚀刻过程的情况下,图案(例如,定义纳米光子结构的图案)可以在核心和/或辅助层的形成期间形成。例如,纳米光子结构可以通过压印并且随后硬化或固化压印材料来形成。

[0198] 图15a至图15e示出了用于形成具有核心层和辅助层的混合波导的方法。参考图15a,提供了一对模具1200、1202。模具1202包括凸起特征1232的图案,其可以是待形成的辅助层中定义的期望纳米光子结构图案的负片。用于形成辅助层的大量的材料1230沉积在模具1202上。

[0199] 参考图15b,模具1200、1202被放在一起以压缩材料1230,从而形成辅助层1030。压缩的材料1230可以经受固化过程(例如,暴露于UV光)以使该材料硬化以形成固体辅助层1030。如图所示,负性图案1232定义纳米光子结构1032。将理解,附加的负性图案可以被提供在模具1202上以根据期望形成附加的纳米光子结构。

[0200] 参考图15c,模具1200、1202相对于彼此移动分开,并且用于形成核心层的材料团块1210被沉积在辅助层1030上。参考图15d,模具1200、1202一起移动更接近以压缩材料团块1210,从而形成核心层1010。压缩的材料1210可以经受固化过程(例如,暴露于UV光),该固化过程使该材料硬化以形成固体核心层1030。参考图15e,模具1200、1202相对于彼此移动分开,并且核心层1010和辅助层1030从模具释放,从而形成混合波导1000。

[0201] 图16a至图16d示出了用于形成具有核心层和辅助层的混合波导的另一方法。不同于图15a至15e的方法,形成核心层和辅助层的材料一起而不是单独固化。

[0202] 参考图16a,提供了一对模具1200、1202,其中,模具1202包括用于形成待形成的辅助层中的纳米光子结构图案的凸起特征1232的图案。用于形成辅助层的材料团块1230随后沉积在模具1202上。参考图16b,用于形成核心层的材料团块1210沉积在用于形成辅助层的材料团块1230上。优选地,形成团块1230、1210的材料不可混合(immiscible)以防止那些材料的混合。参考图16c,模具1200、1202一起移动更接近以同时压缩材料团块1210、1230,从而同时形成核心层1010和辅助层1030。压缩的材料1210、1230可以经受固化过程(例如,通过暴露于UV光),该固化过程使那些材料硬化以分别形成固体核心层1010和固体辅助层1030。参考图16d,模具1200、1202被移除,并且核心层1010和辅助层1030从模具释放以形成混合波导1000。

[0203] 图17a至图17g示出了用于形成具有核心层和多个辅助层的混合波导的方法。如上文所描述的,图17a至图17d针对图15a至图15d进行。参考图17e,模具1200、1202相对于彼此移动分开,并且模具1200用另一模具1204替换。模具1204包括用于定义附加辅助层中的纳米光子结构的1222的图案。用于形成附加辅助层的材料1220的附加团块沉积在核心层1010上。参考图17f,模具1204、1202一起移动更接近以压缩材料团块1220以形成辅助层1220。将理解,特征1222的图案压印辅助层1020中的期望的纳米光子结构1022。压缩的材料1220可以经受固化过程以使该材料硬化以形成辅助层1020。参考图17g,模具1204、1202移动分开,

并且包括核心层1010和辅助层1030、1020的混合波导从模具释放。

[0204] 图18a至图18d示出了用于形成具有图案化核心层和辅助层的方法。将理解,在一些实施例中,与核心层接触的模具包括用于定义核心层中的纳米光子结构的被构图的表面1222'。图18a至图18d所示的方法以与上文针对图16a至图16d所描述的方式相同的方式进行,例外的是,模具1200用具有用于图案化核心层中的特征的凸起1222'的图案的模具1204'替换。因此,当模具1202、1204'被放在一起以压缩材料团块1230、1210时,模具1204将纳米光子结构1022'压印到核心层1010'中。材料团块1230、1210被固化以形成核心层1010'和辅助层1030。模具1202、1204'随后地移动分开且这释放的混合波导。混合波导包括辅助层1030和具有纳米光子结构1022'的核心层1010'。

[0205] 在一些其他实施例中,用于形成辅助层1030的材料团块1230可以使用平坦模具(诸如模具1200(未示出))压缩并且在将材料团块1210沉积在辅助层1030上之前固化。覆盖模具可以随后用模具1204'替换以将纳米光子结构1022'打印到材料团块1210中。

[0206] 图19a至图19d示出了形成具有集成间隔物的混合波导的方法。图19a至图19d所示的方法类似于在本文中关于图17a至图17d讨论的方法,例外的是,模具1202'替换模具1202并且包括用于定义待形成的辅助层1031中的开放体积1034的垂直凸起特征。将理解,开放体积调整大小、成形并且定位以容纳来自另一个波导的垂直延伸间隔物。参考图19e,模具1200、1202'分离并且模具1200用另一个模具1206替换,该模具1206可以包括用于定义覆盖辅助层中的间隔物的开口1274的图案。用于形成覆盖的辅助层的附加材料团块1220沉积在核心层1210上。参考图17f,模具1206、1202一起移动更接近并且压缩材料团块1220以形成辅助层1021。随后地,产生的结构固化以使辅助层1021硬化。参考图19g,模具1206、1202移动分开,并且包括核心层1210和辅助层1071、1031的混合波导从模具释放,从而形成具有间隔物1074和用于从其他波导接收间隔物的开口1034的混合波导。

[0207] 通常参考图15a至图19g,将理解,沉积在形成其他辅助或核心层的材料的沉积材料优选地具有足够的润湿性(wettability)以允许沉积材料维持接触并且可能散布在材料的下层上。另外,将理解,附加的材料层可以通过沉积材料团块、压缩该材料并且使该材料固化来形成在所示的材料层上。另外,纳米光子结构可以使用适当的模具形成在这些附加层中以在使那些层固化之前将纳米光子结构压印到层中。

[0208] 在前述说明书中,本发明已经参考其特定实施例描述。然而,将明显的是,在本发明的较宽精神和范围的情况下,可以对其做出各种修改和改变。因此,说明书和附图将被认为是说明性而非限制性意义。

[0209] 实际上,将理解,本公开的系统和方法各自具有数个创新方面,其中没有单独一个仅负责或者要求本文所公开的期望的属性。上述的各种特征和过程可以彼此独立地使用,或者可以以各种方式组合。所有可能的组合和子组合旨在落入本公开的范围内。

[0210] 在分离的实施例的上下文中在该说明书中所描述的某些特征也可以在单个实施例中组合实现。相反地,在单个实施例中的上下文中所描述的各种特征也可以单独地或者以任何适合的子组合被实现在多个实施例中。而且,尽管特征可以在上文描述为在某些组合中作用并且甚至如此初始地要求保护,但是在一些情况下,可以从组合排除来自所要求保护的组合的一个或多个特征,并且所要求保护的组合可以涉及子组合或子组合的变型。对于每个实施例,没有单个特征或一组特征是必要的或必不可少的。

[0211] 将理解,除非另外特别说明,否则本文所使用或者如使用的上下文内以其他方式理解的条件语言(诸如尤其“可以(can)”、“可(could)”、“可以(might)”、“可能(may)”、“例如(e.g.)”等)通常旨在表达某些实施例包括而其他实施例不包括某些特征、元件和/或步骤。因此,这样的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在有或没有作者输入或提示的情况下决定这些特征、元素和/或步骤是否在任何特定实施例中被包括或将被执行的逻辑。术语“包括”、“包含”、“具有”等是同义词,以开放式方式包含地使用,并且不排除附加要素、特征、动作、操作等。而且,术语“或”以其包含的含义使用(而不是以其排他的含义使用),因此例如在用于连接元素列表时,术语“或”表示列表中的一个、一些或全部元素。另外,除非另外指出,否则如在本申请中和随附的权利要求中使用的冠词“一(a)”、“一(an)”和“该(the)”将被理解为意指“一个或多个”或者“至少一个”。类似地,虽然操作可以以特定次序在附图中描绘,但是将认识到,这样的操作不需要以所示的特定次序或者以顺序次序执行,或者全部所图示的操作被执行,以实现期望的结果。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,未描绘的其他操作可以包含在示意性地图示的示例方法和过程中。例如,一个或多个附加操作可以在任何所示出的操作之前、之后、同时或者之间执行。此外,在其他实施例中,操作可以重新布置或者重新排列。在某些情况下,多任务和并行处理可以是有利的。而且,上文所描述的实施例中的各种系统部件的分离不应该被理解为要求所有实施例中的这样的分离,并且应该理解的是,所描述的程序部件和系统通常可以一起集成在单个软件产品中或者封装到多个软件产品中。此外,其他实施例在以下权利要求的范围内。在一些情况下,权利要求中所记载的动作可以以不同的次序执行并且仍然实现期望的结果。

[0212] 因此,权利要求不旨在限于本文中所示的实施例,而是将符合与本文所公开的本公开、原理和新颖特征一致的最宽范围。

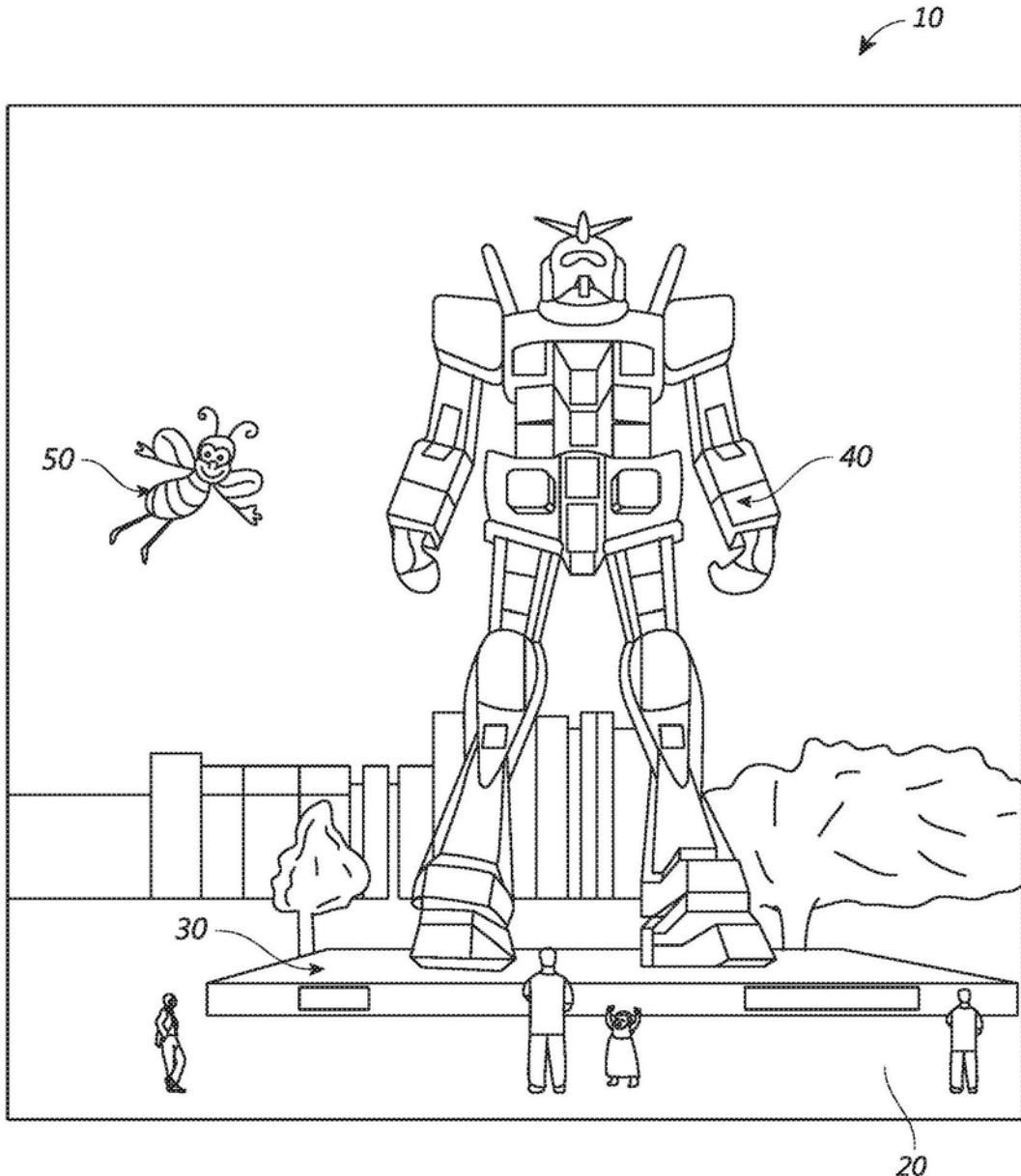


图1

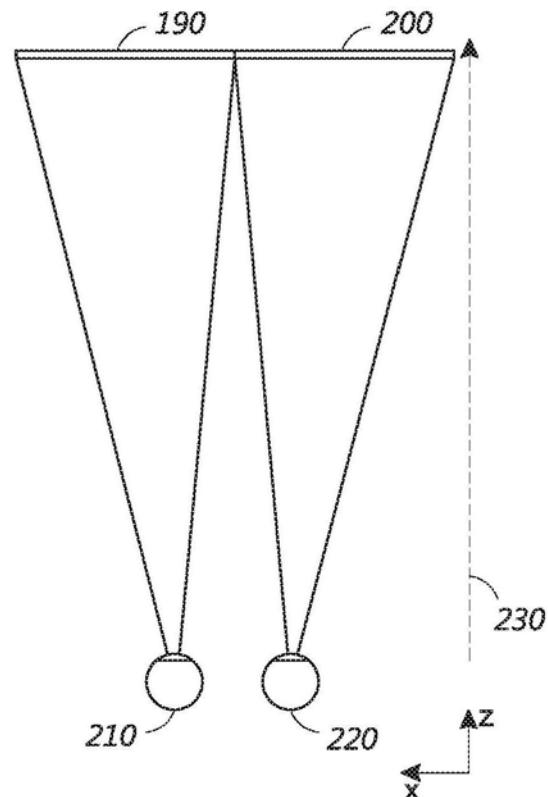


图2

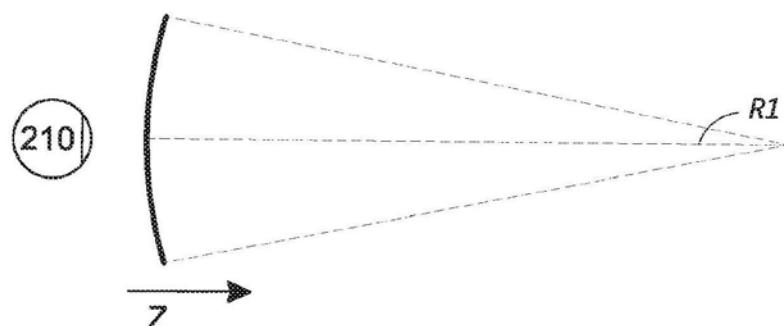


图3A

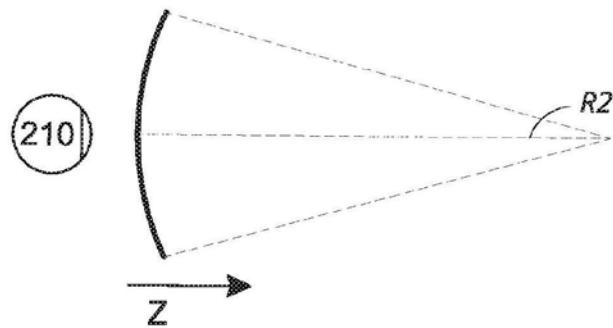


图3B

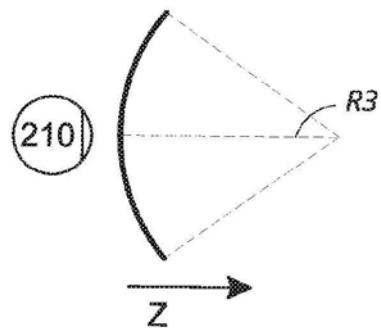


图3C

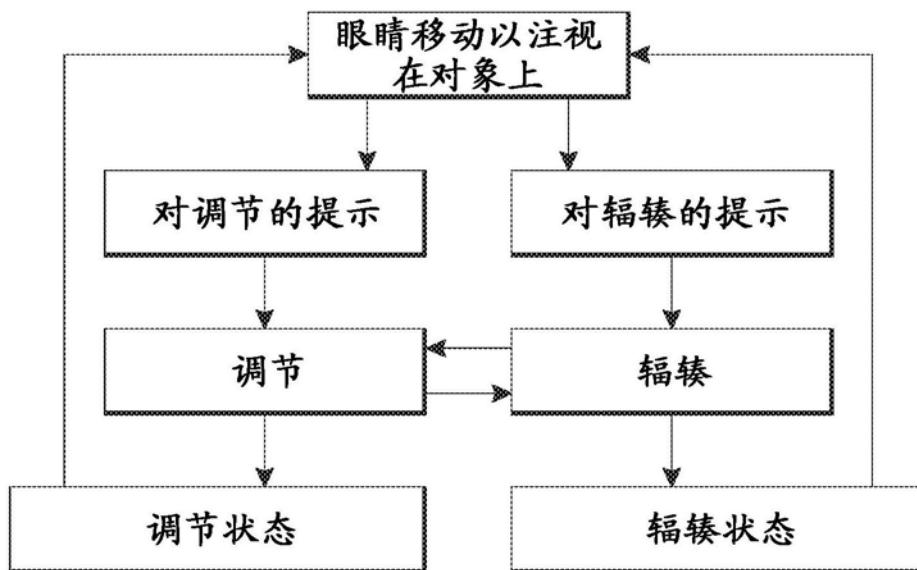


图4A

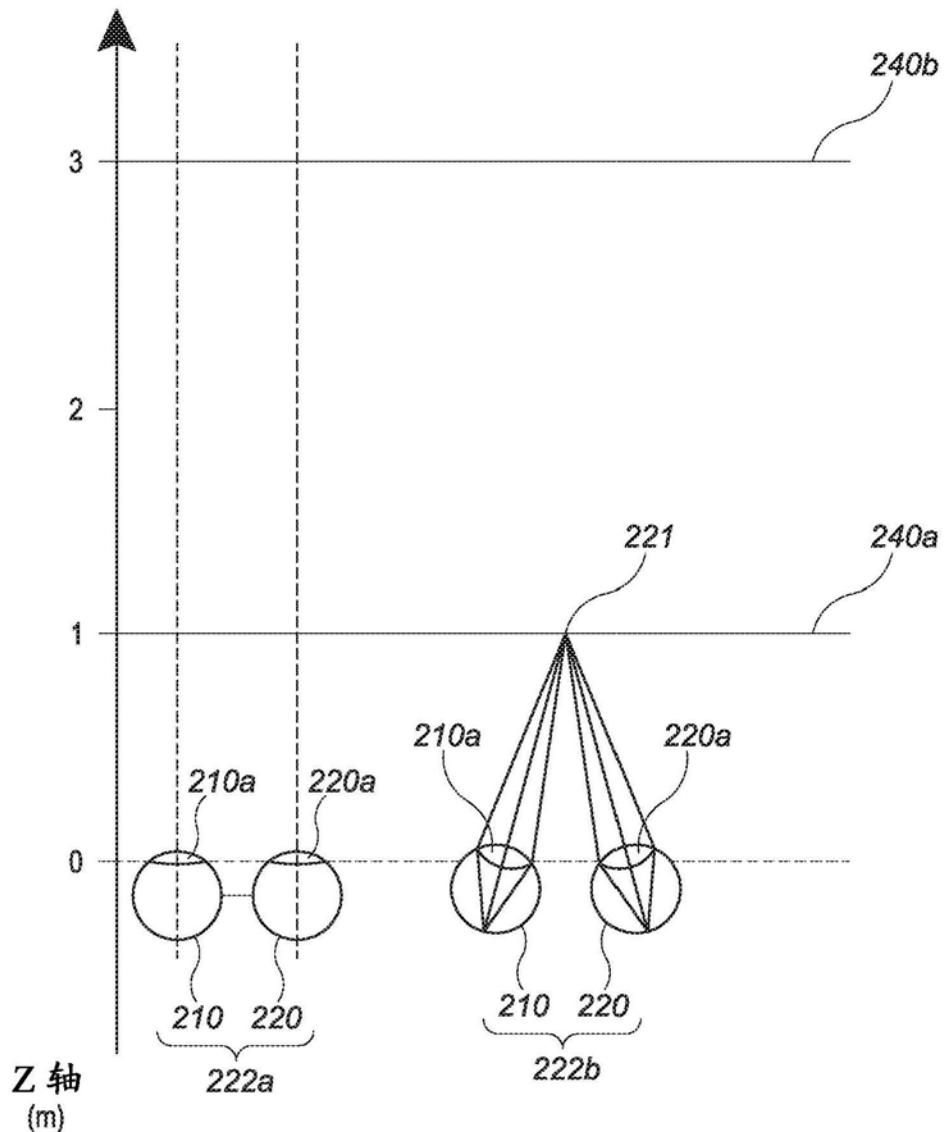


图4B

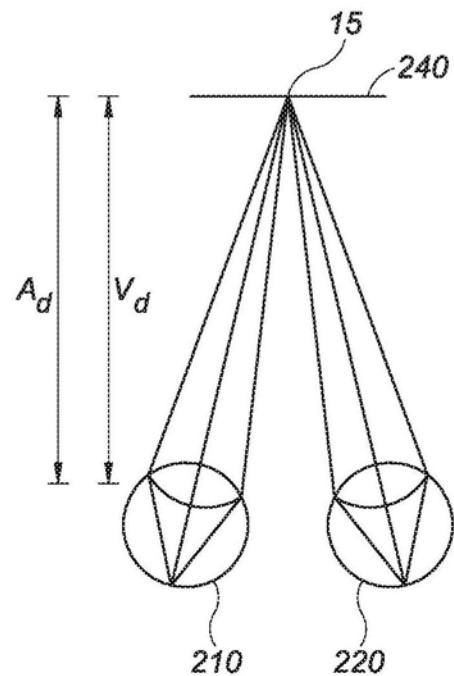


图4C

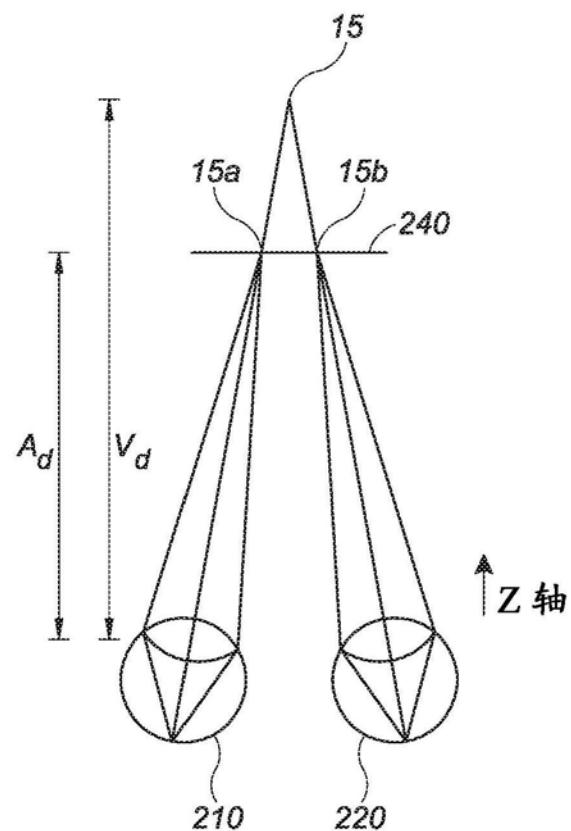


图4D

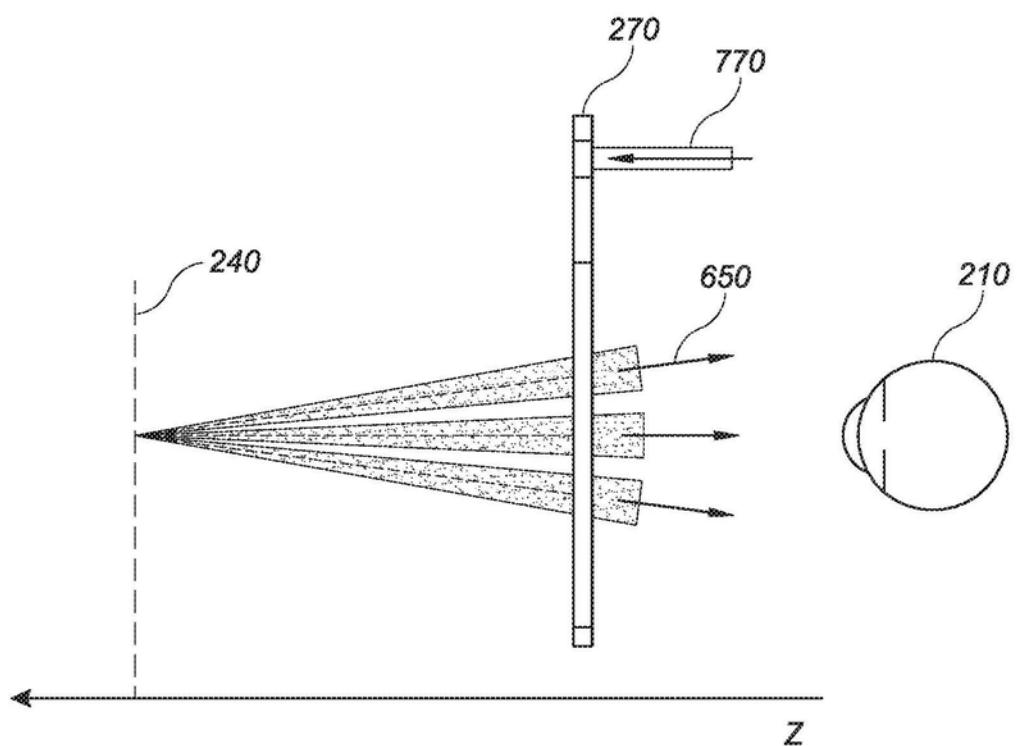


图5

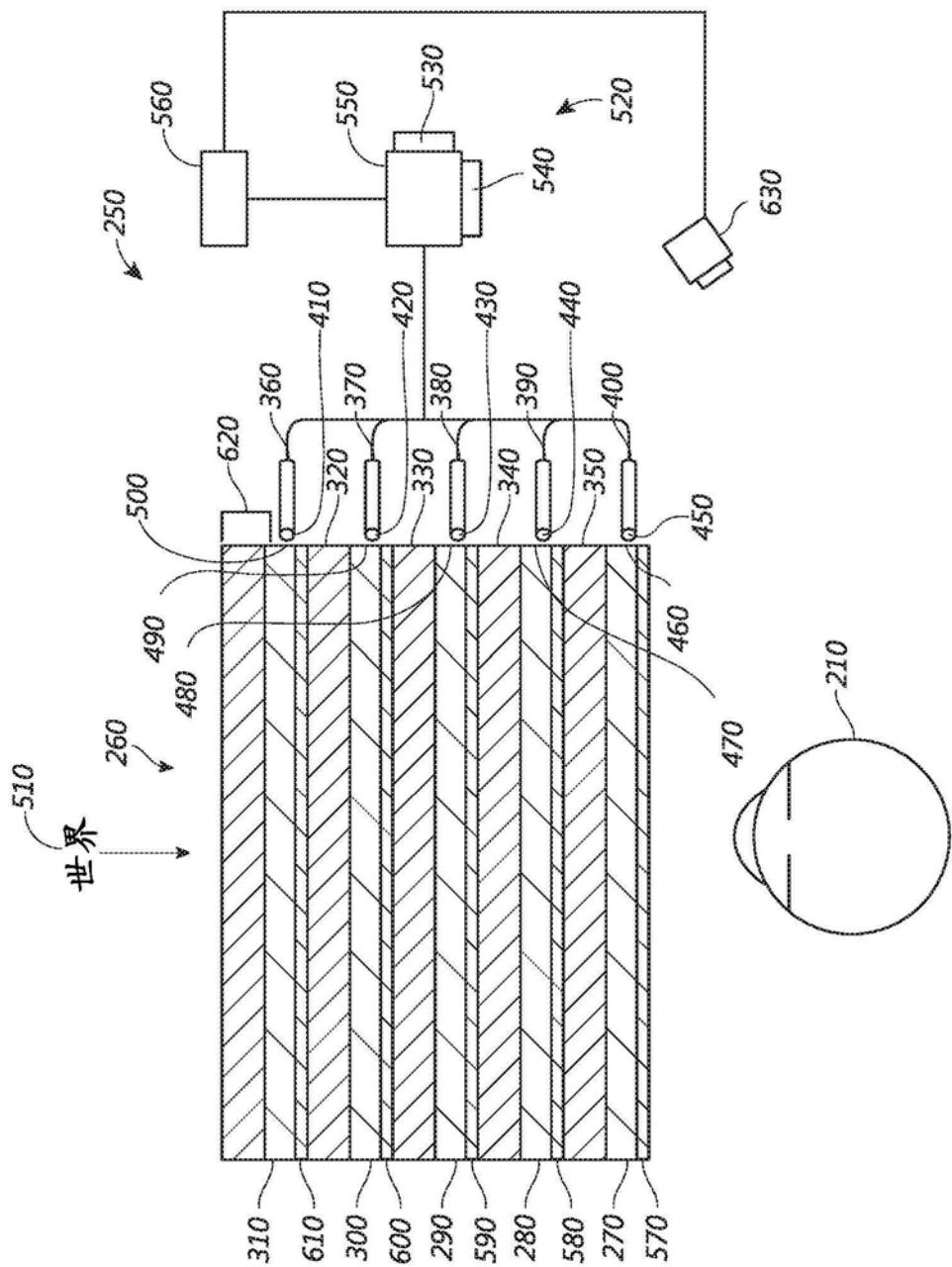


图6

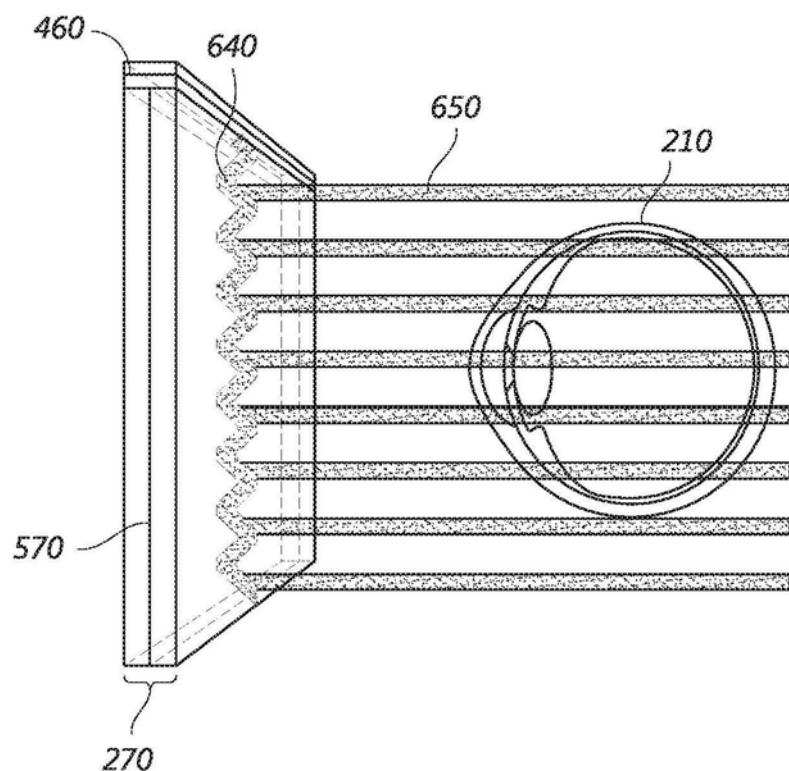


图7

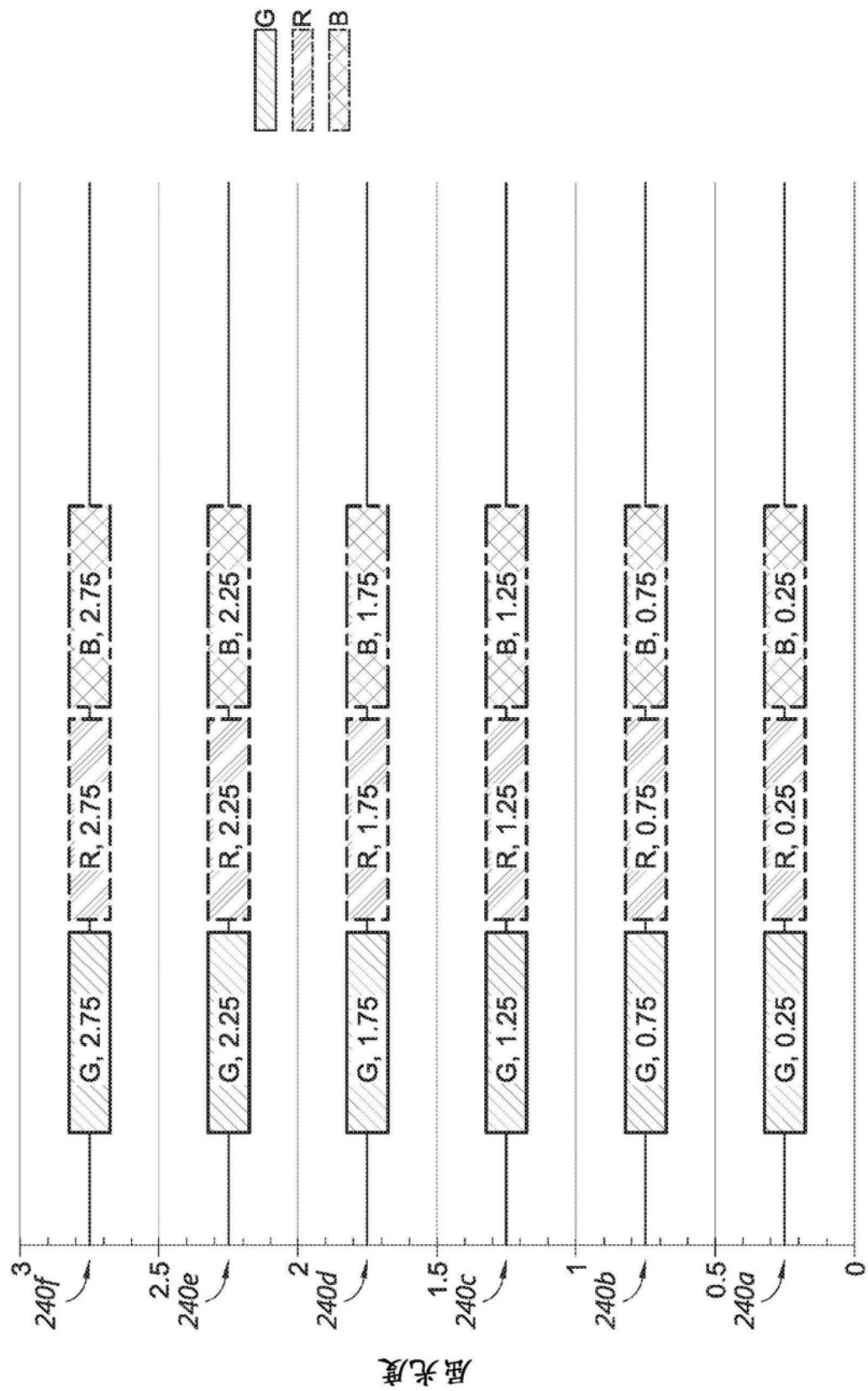


图8

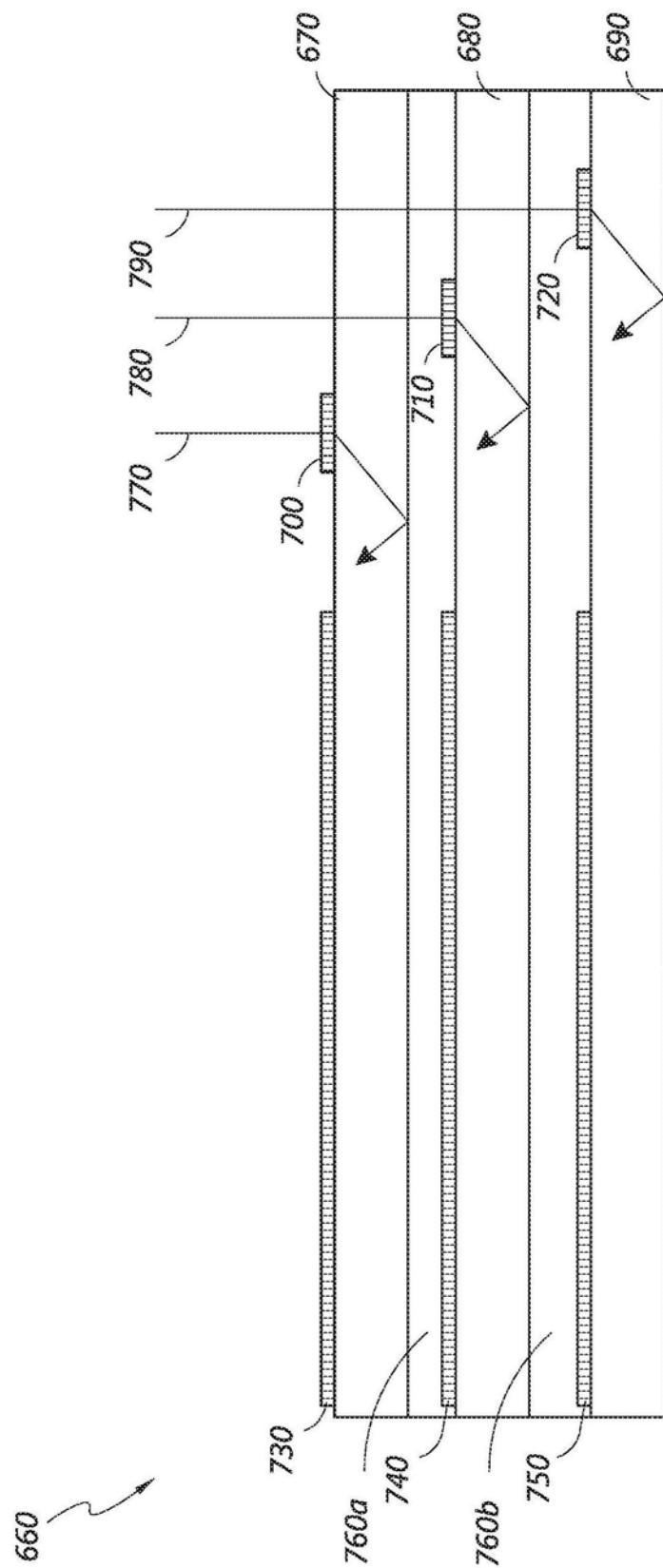


图9A

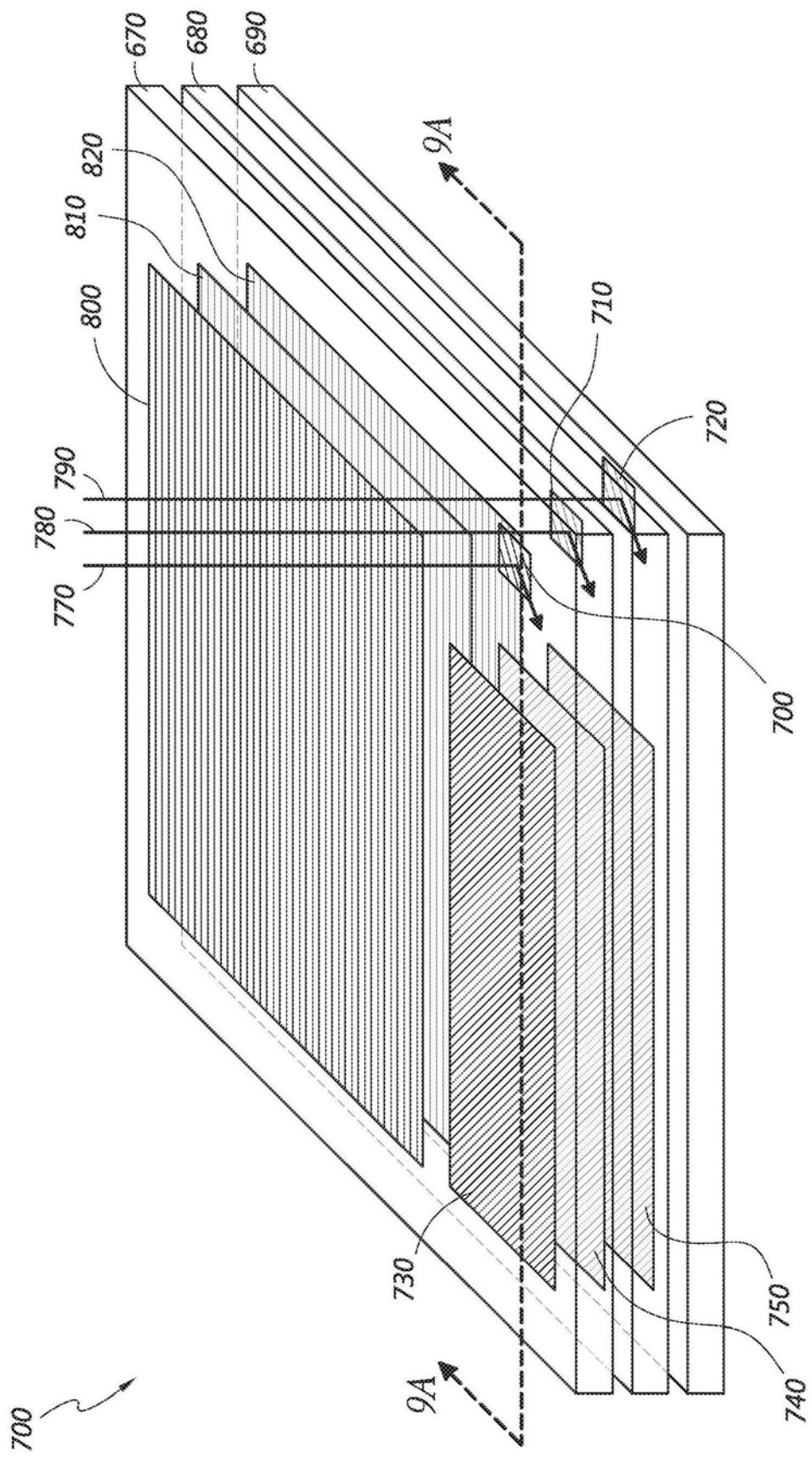


图9B

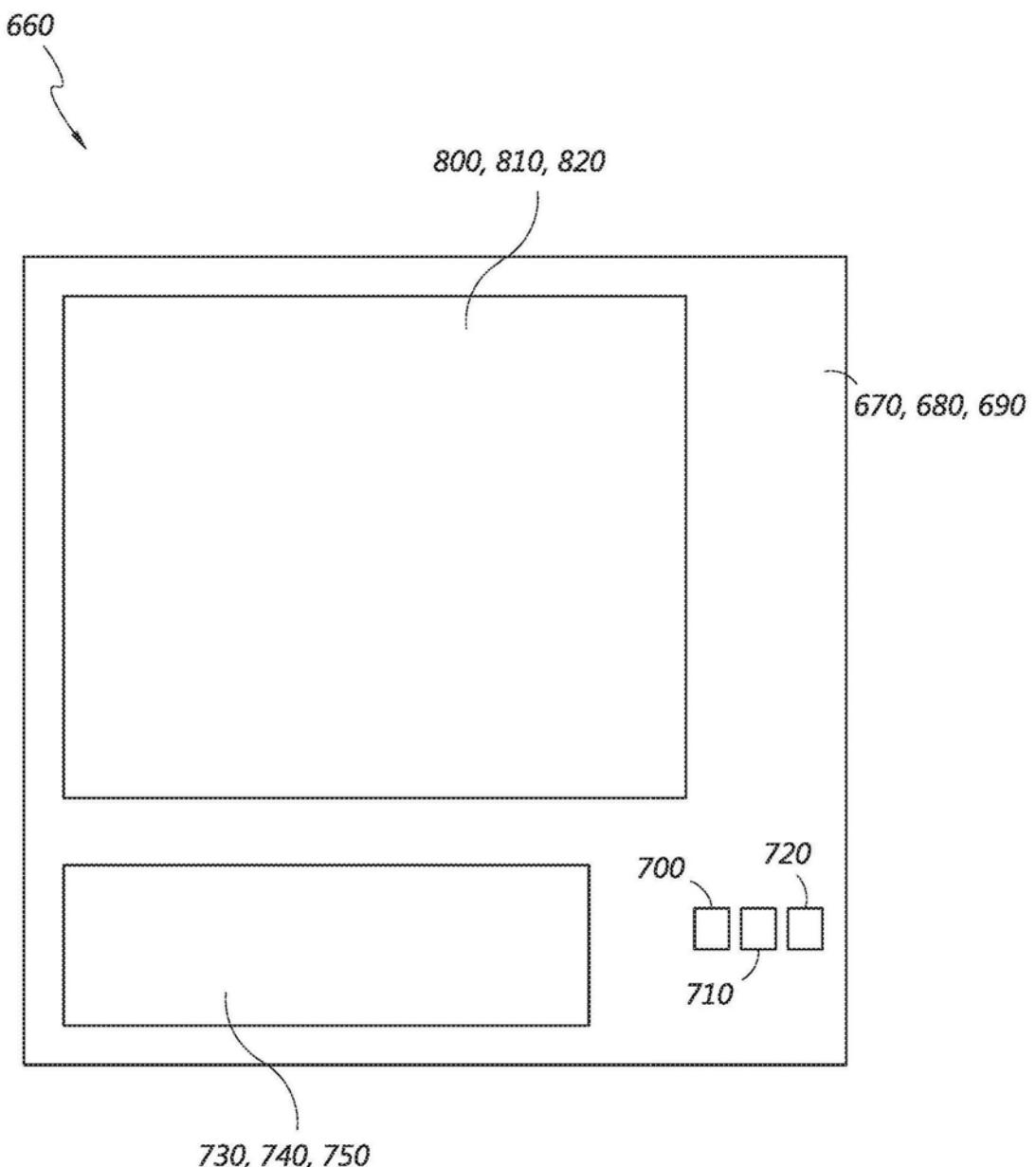


图9C

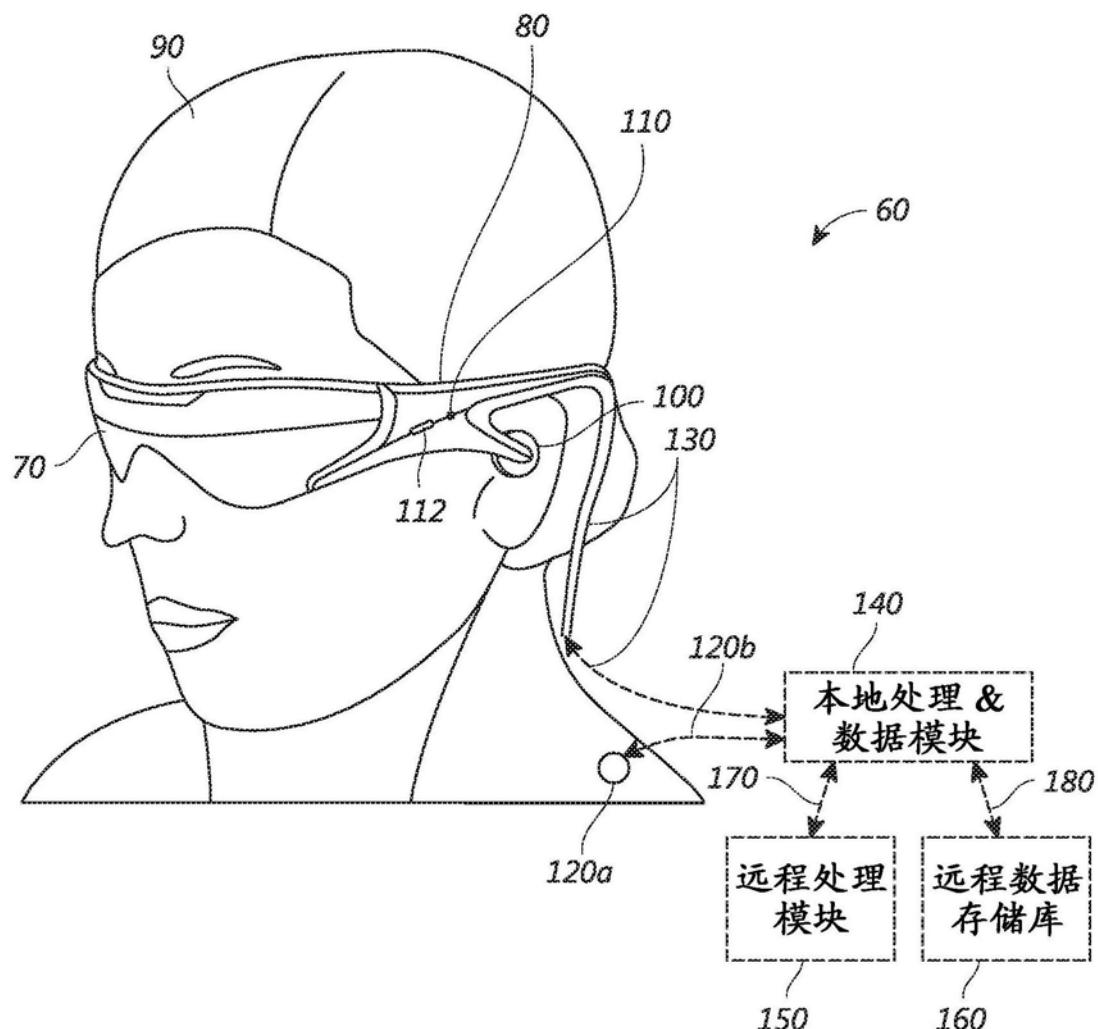


图9D

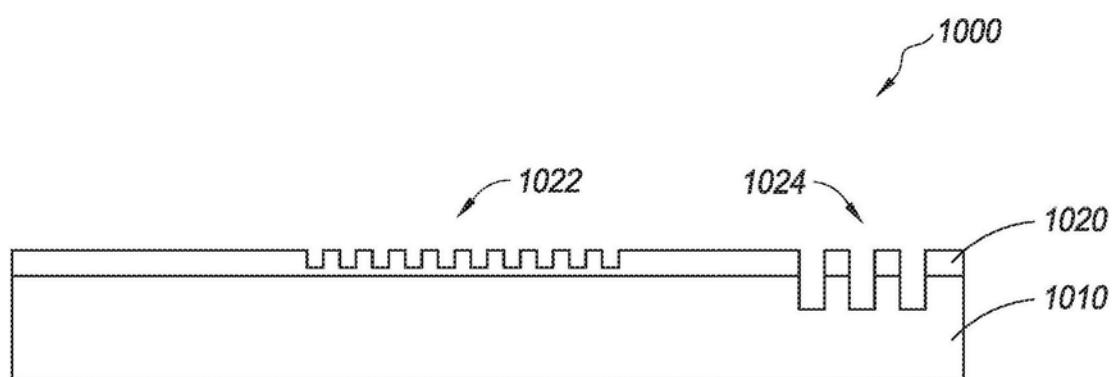


图10

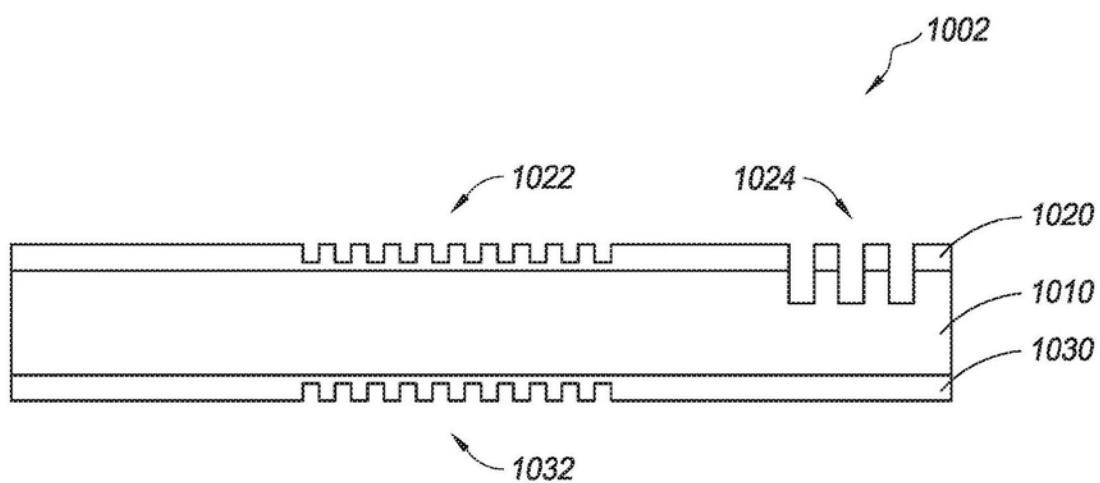


图11

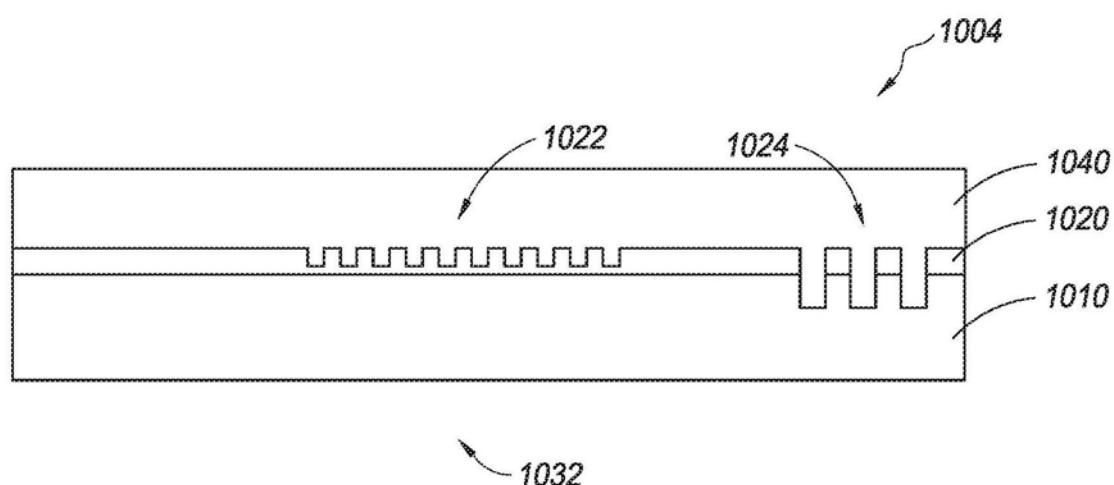


图12

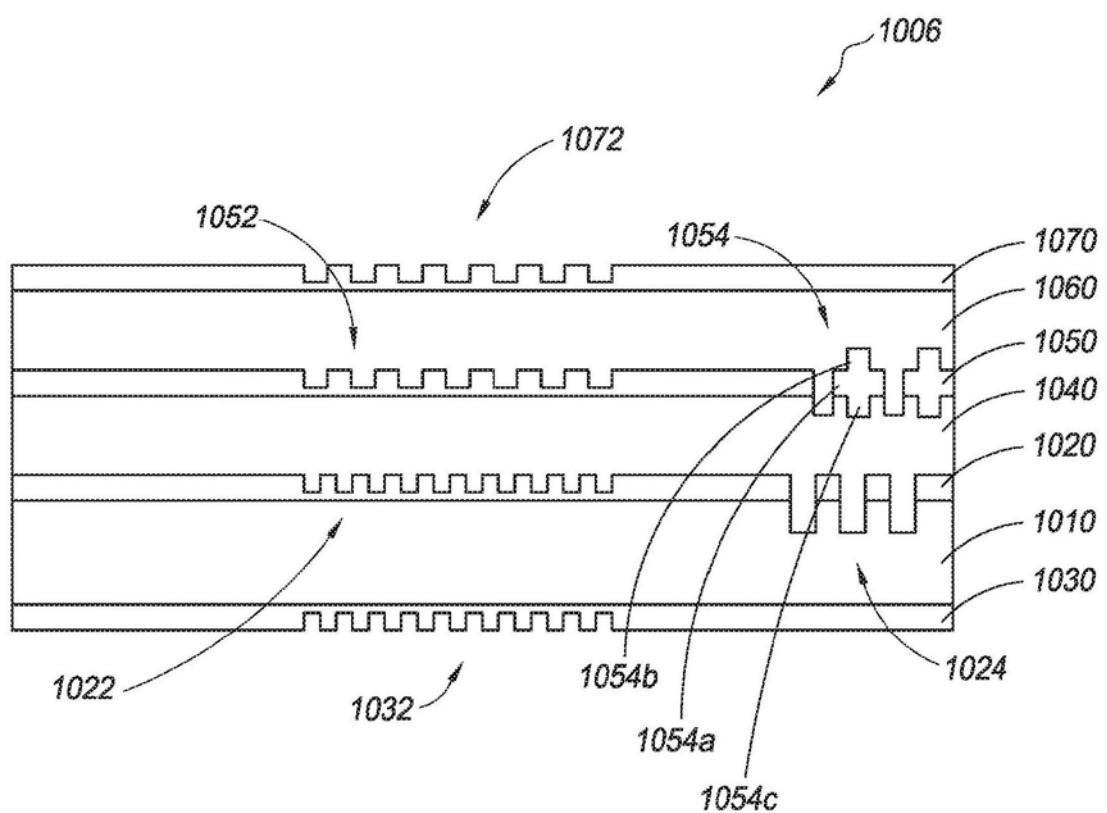


图13

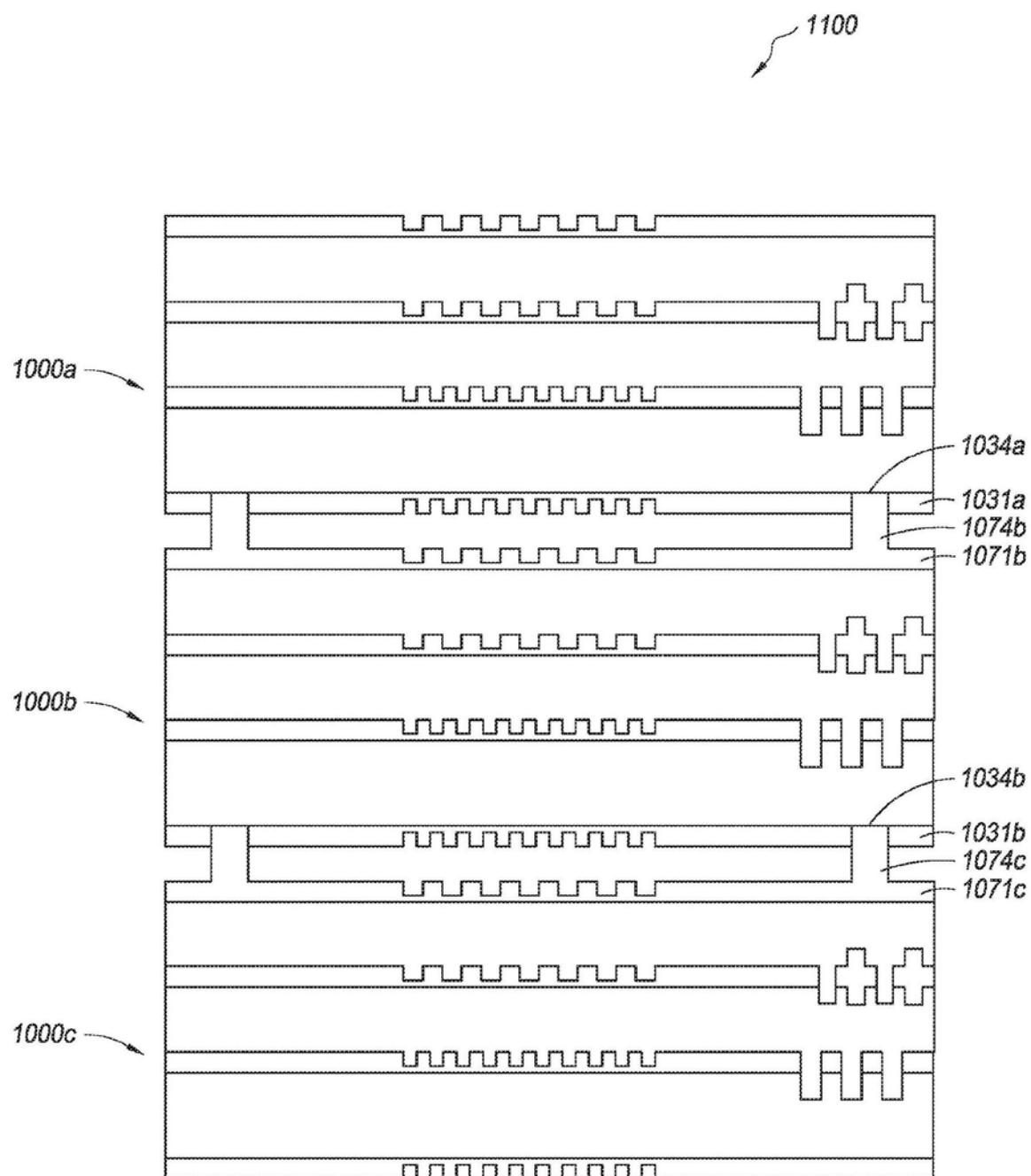


图14

图 15 A

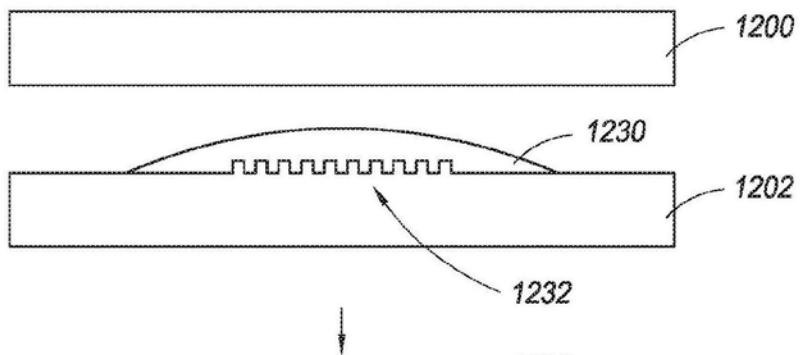


图 15 B

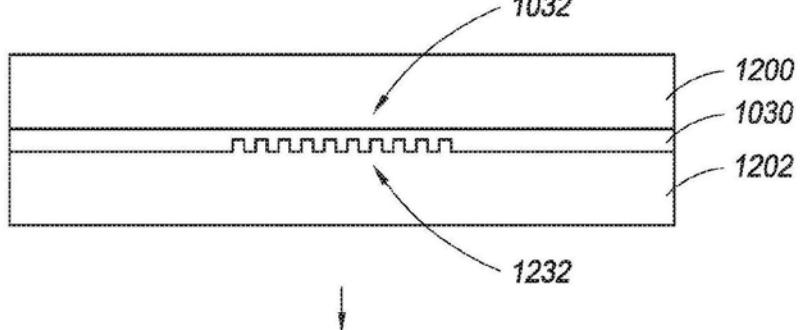


图 15 C

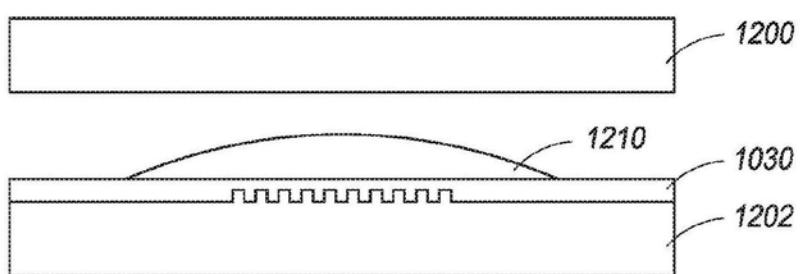


图 15 D

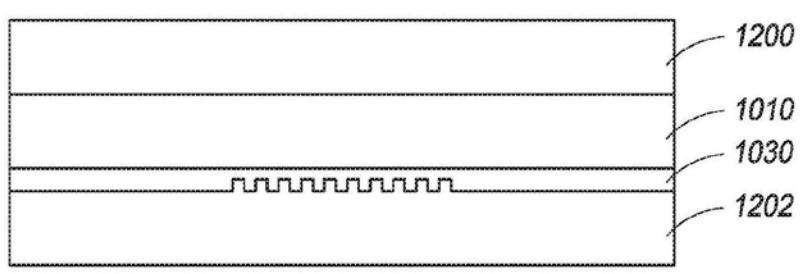


图 15 E

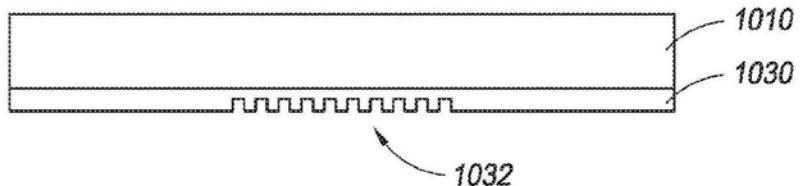


图 16 A

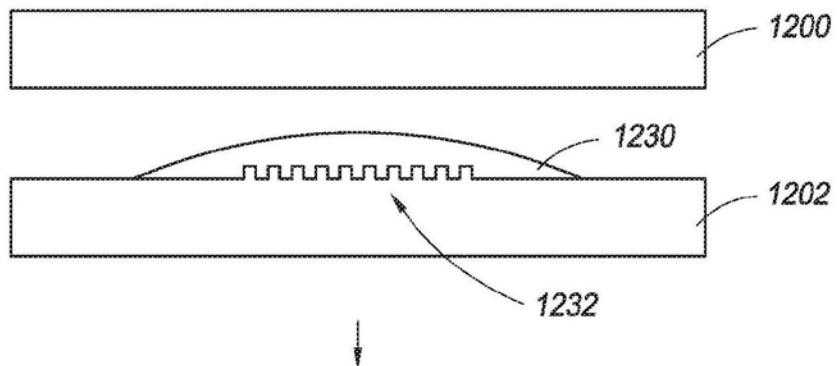


图 16 B

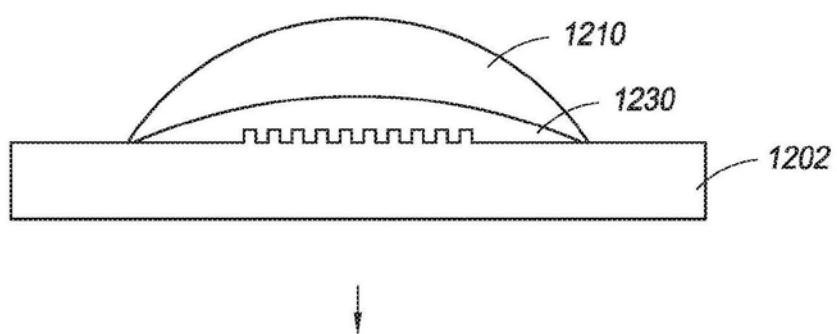


图 16 C

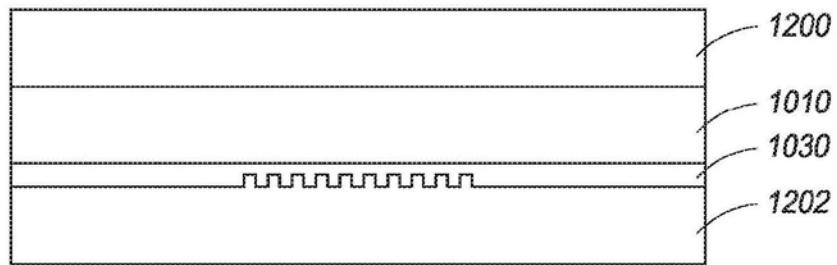


图 16 D

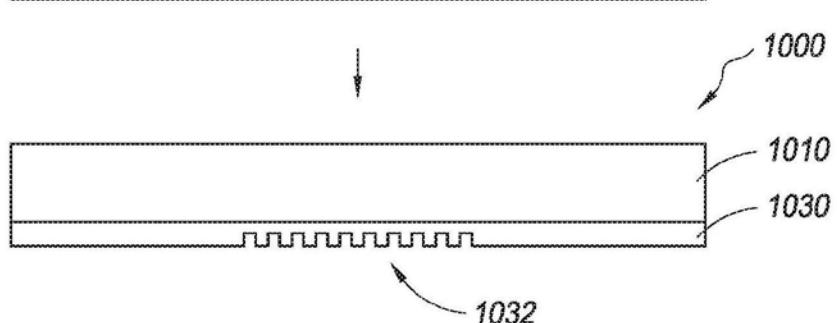


图 17 A



图 17 B

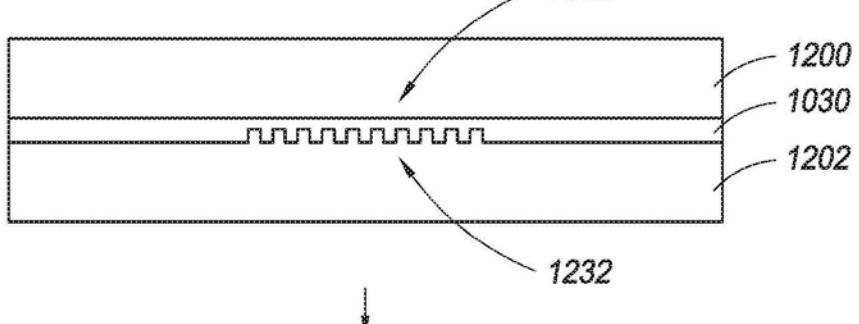


图 17 C

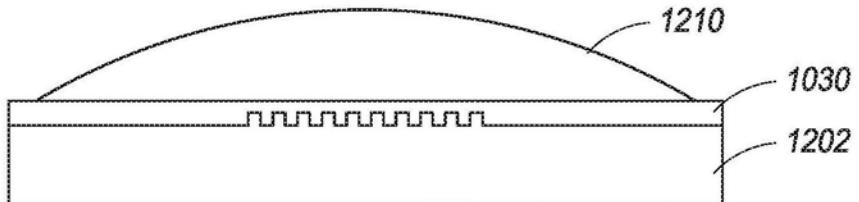


图 17 D

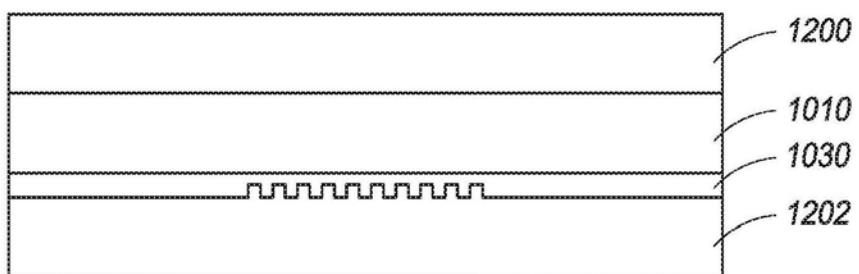


图 17 E

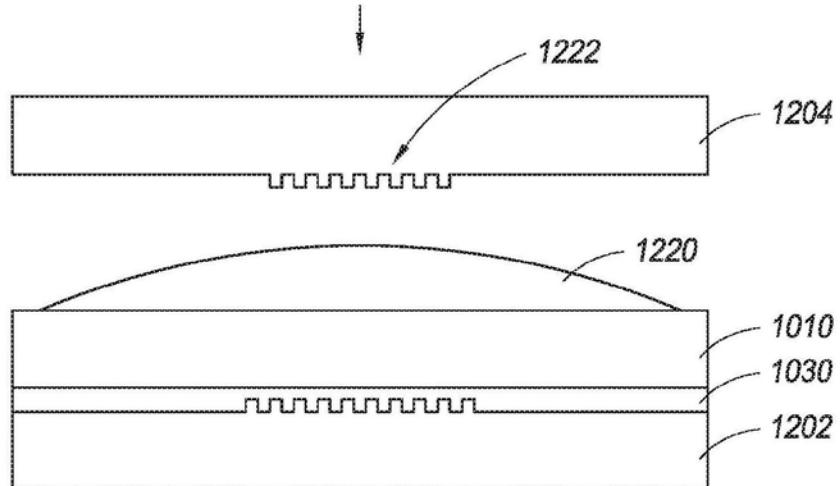


图 17 F

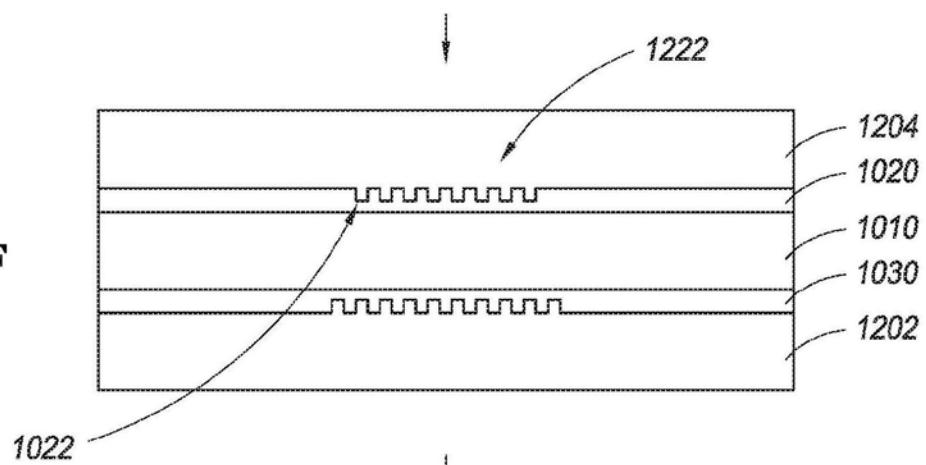
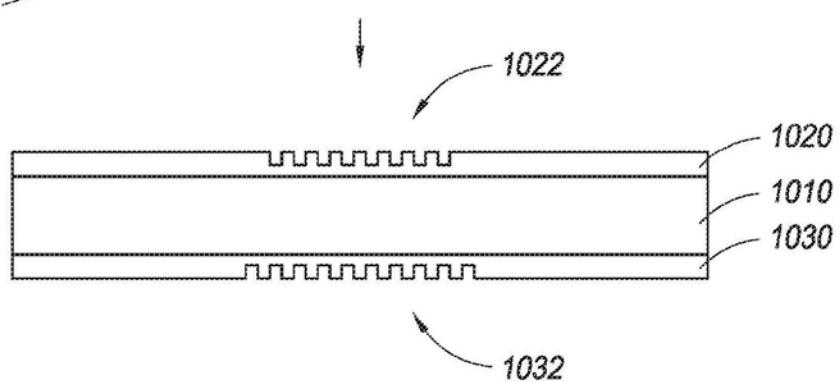


图 17 G



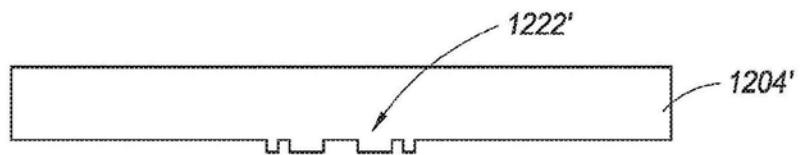


图 18 A

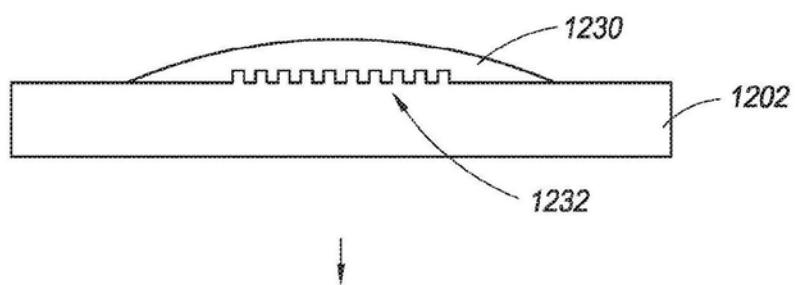


图 18 B

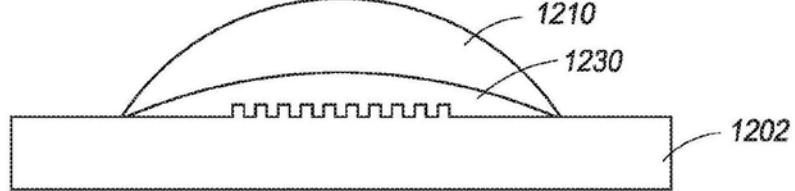


图 18 C

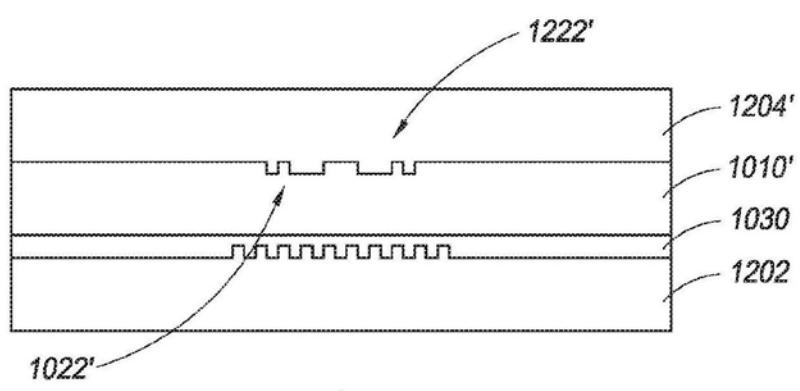


图 18 D

图 19 A

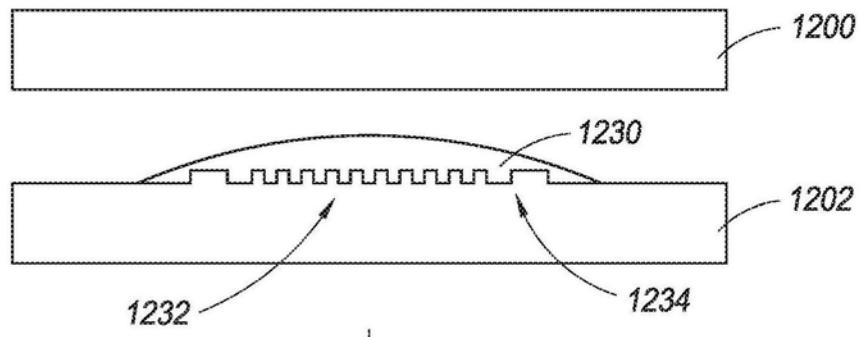


图 19 B

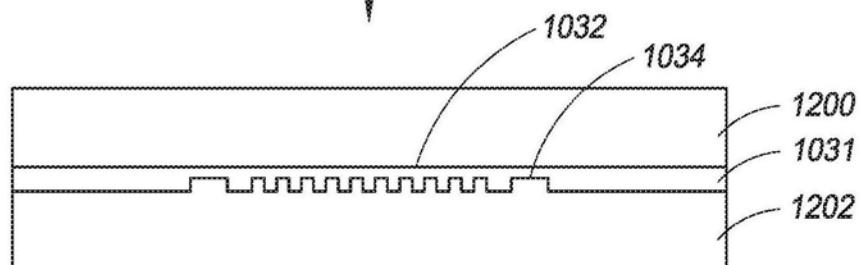


图 19 C

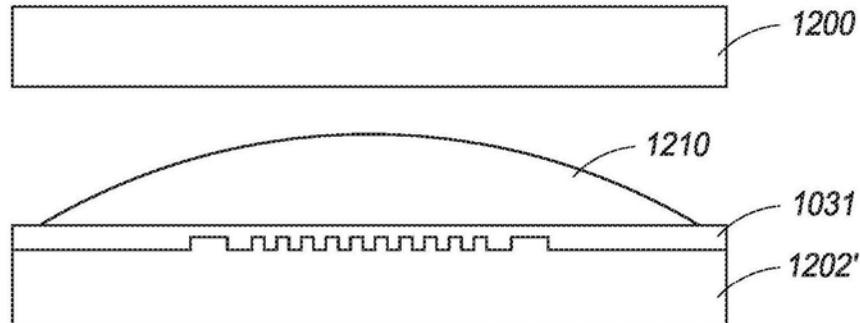


图 19 D

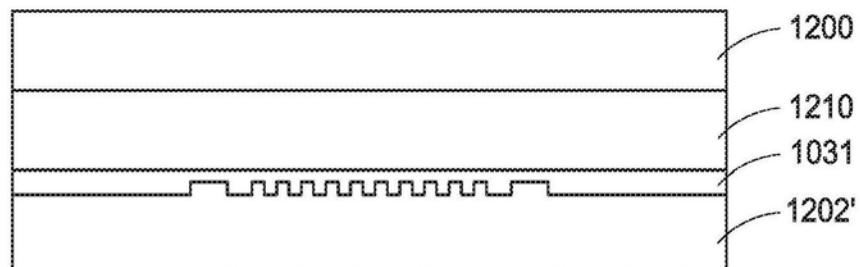


图 19 E

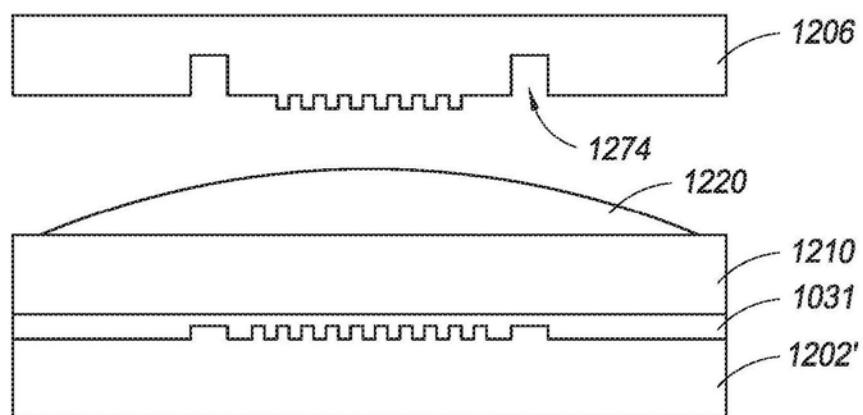


图 19 F

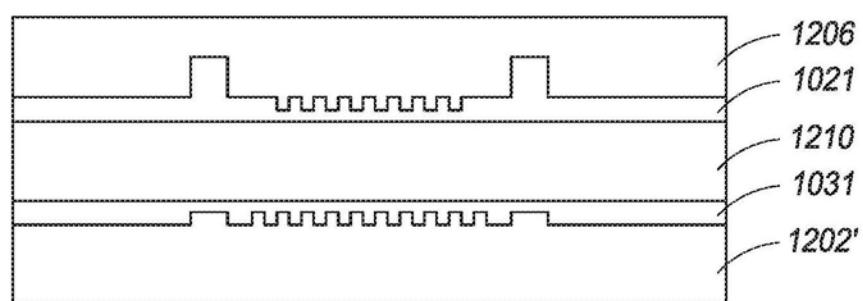


图 19 G

