



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110476090 B

(45) 授权公告日 2023. 04. 25

(21) 申请号 201880020962.X

(22) 申请日 2018.01.24

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110476090 A

(43) 申请公布日 2019.11.19

(30) 优先权数据
62/451,587 2017.01.27 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2019.09.25

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2018/015057 2018.01.24

(87) PCT国际申请的公布数据
W02018/140502 EN 2018.08.02

(73) 专利权人 奇跃公司
地址 美国佛罗里达州

(72) 发明人 林滇敏 M·A·克鲁格
P·圣西莱尔 M·梅利
C·佩罗兹 E·波利亚科夫

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所
11247
专利代理师 杨晓光 于静

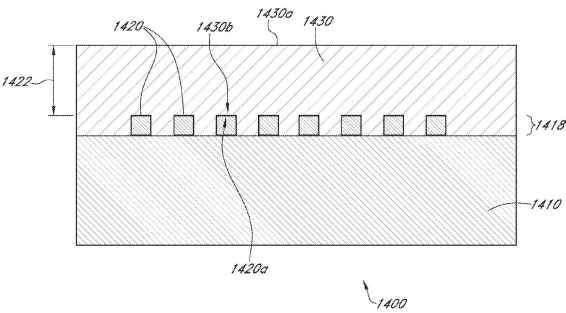
(51) Int. Cl.
G02B 5/18 (2006.01)
G02B 27/42 (2006.01)
G02B 1/111 (2015.01)
G02B 27/00 (2006.01)
G02B 1/00 (2006.01)
G02B 27/01 (2006.01)

审查员 胡静

权利要求书2页 说明书22页 附图21页

(54) 发明名称
用于超表面的抗反射涂层

(57) 摘要
本文描述了用于超表面的抗反射涂层。在一些实施例中，超表面可以包括基板、位于其上的多个纳米结构以及设置在纳米结构之上的抗反射涂层。抗反射涂层可以是例如光致抗蚀剂层的透明聚合物并且可以具有比纳米结构的折射率低且比上覆介质（例如，空气）的折射率高的折射率。有利地，抗反射涂层可以减少或消除其中合并有超表面的增强现实显示器中的重影图像。



1. 一种显示系统,包括:

光学透射基板;

耦入光学元件,其包括上覆所述基板的超表面,所述超表面包括多个纳米结构,所述纳米结构具有比所述基板高的折射率并形成重复单位基元,其中,当在俯视图中观看时,每个单位基元包括:

多个第一纳米结构,其具有第一长度和第一宽度,其中所述第一长度在第一方向上伸长,并且其中所述第一宽度彼此不同;以及

多个第二纳米结构,其具有第二长度和第二宽度,其中所述第二长度在第二方向上伸长,其中所述第二宽度彼此不同,并且其中所述第二方向与所述第一方向交叉;以及

抗反射涂层,其包括共形地设置在所述超表面的所述纳米结构之上的光学透明材料的层,其中所述光学透明材料具有小于所述纳米结构的折射率的折射率,并且其中所述光学透明材料的层遵循所述纳米结构的轮廓,而不完全填充分离所述纳米结构中的每一个的体积,

其中,所述抗反射涂层具有被配置为提供从所述抗反射涂层的顶表面反射的图像光与从所述抗反射涂层的底表面反射的图像光之间的相消干涉的厚度。

2. 根据权利要求1所述的显示系统,其中,所述超表面包括衍射光栅。

3. 根据权利要求2所述的显示系统,其中,所述超表面包括不对称衍射光栅。

4. 根据权利要求1所述的显示系统,其中,所述超表面包括Pancharatnam-Berry相位光学元件(PBOE)。

5. 根据权利要求1所述的显示系统,其中,所述超表面包括多层纳米结构。

6. 根据权利要求1所述的显示系统,其中,所述光学透明材料包括聚合物。

7. 根据权利要求6所述的显示系统,其中,所述光学透明材料包括光致抗蚀剂。

8. 根据权利要求1所述的显示系统,其中,所述光学透明材料具有1.2至2的折射率。

9. 根据权利要求1所述的显示系统,其中,从所述纳米结构的最顶部表面到所述抗反射涂层的最顶部表面的距离为10nm至1微米。

10. 根据权利要求9的显示系统,其中,从所述纳米结构的最顶部表面到所述抗反射涂层的最顶部表面的距离为30nm至250nm。

11. 根据权利要求1-10中任一项所述的显示系统,其中,所述抗反射涂层形成在所述纳米结构之间和之上延伸的平坦化层。

12. 一种显示系统,包括:

耦入光学元件,其包括上覆基板的超表面,所述超表面包括多个纳米结构,所述纳米结构具有比所述基板高的折射率并形成重复单位基元,其中,当在俯视图中观看时,每个单位基元包括:

多个第一纳米结构,其具有第一长度和第一宽度,其中所述第一长度在第一方向上伸长,并且其中所述第一宽度彼此不同;以及

多个第二纳米结构,其具有第二长度和第二宽度,其中所述第二长度在第二方向上伸长,其中所述第二宽度彼此不同,并且其中所述第二方向与所述第一方向交叉;以及

用于包括所述超表面的所述光学元件的抗反射涂层,所述抗反射涂层包括:

光学透明材料的层,其具有大于1且小于包括所述超表面的材料的折射率的折射率,

其中,所述光学透明材料的层共形地设置在所述超表面的所述纳米结构之上,

其中,所述光学透明材料的层遵循所述纳米结构的轮廓,而不完全填充分离所述纳米结构中的每一个的体积,并且

其中,所述抗反射涂层具有被配置为提供从所述抗反射涂层的顶表面反射的图像光与从所述抗反射涂层的底表面反射的图像光之间的相消干涉的厚度。

13. 根据权利要求12所述的显示系统,其中,所述光学透明材料包括聚合物。

14. 根据权利要求13所述的显示系统,其中,所述光学透明材料包括光致抗蚀剂。

15. 根据权利要求12所述的显示系统,其中,所述光学透明材料具有1.2至2的折射率。

16. 根据权利要求12所述的显示系统,其中,从所述超表面的最顶部表面到所述抗反射涂层的最顶部表面的距离为10nm至1微米。

17. 根据权利要求12所述的显示系统,其中,与由不包括所述抗反射涂层的基本类似的超表面反射的入射光的量相比,所述抗反射涂层将由所述超表面反射的入射光的量减少超过50%。

18. 根据权利要求17所述的显示系统,其中,所述入射光具有 -20° 至 20° 的入射角。

19. 一种用于在超表面上形成抗反射涂层的方法,所述方法包括:

提供包括上覆的超表面的光学透射基板,所述超表面包括多个纳米结构,所述纳米结构具有比所述基板高的折射率并形成重复单位基元,其中,当在俯视图中观看时,每个单位基元包括:

多个第一纳米结构,其具有第一长度和第一宽度,其中所述第一长度在第一方向上伸长,并且其中所述第一宽度彼此不同;以及

多个第二纳米结构,其具有第二长度和第二宽度,其中所述第二长度在第二方向上伸长,其中所述第二宽度彼此不同,并且其中所述第二方向与所述第一方向交叉;

在所述多个纳米结构之上沉积光学透明材料的共形层,其中,所述光学透明材料的层形成所述抗反射涂层,并且其中所述光学透明材料的所述共形层遵循所述纳米结构的轮廓,而不完全填充分离所述纳米结构中的每一个的体积,

其中,所述抗反射涂层具有被配置为提供从所述抗反射涂层的顶表面反射的图像光与从所述抗反射涂层的底表面反射的图像光之间的相消干涉的厚度。

20. 根据权利要求19所述的方法,其中,所述光学透明材料包括聚合物。

21. 根据权利要求20所述的方法,其中,所述光学透明材料包括光致抗蚀剂。

22. 根据权利要求19-21中任一项所述的方法,其中,从所述纳米结构的最顶部表面到所形成的抗反射涂层的最顶部表面的距离为10nm至1微米。

23. 根据权利要求19所述的方法,其中,沉积所述光学透明材料的所述共形层包括在所述纳米结构之上旋涂所述光学透明材料。

24. 根据权利要求19所述的方法,其中,沉积所述光学透明材料的所述共形层包括执行化学气相沉积(CVD)工艺。

用于超表面的抗反射涂层

[0001] 优先权声明

[0002] 本申请根据35U.S.C§119(e) 要求2017年1月27日提交的美国临时申请No.62/451,587的优先权,其公开内容通过引用整体并入本文。

[0003] 相关申请的交叉引用

[0004] 本申请通过引用整体并入以下专利申请中的每一个:2014年11月27日提交的美国申请No.14/555,585;2015年4月18日提交的美国申请No.14/690,401;2014年3月14日提交的美国申请No.14/212,961;2014年7月14日提交的美国申请No.14/331,218;2016年11月2日提交的美国专利申请No.15/342,033(代理案卷号MLEAP.027A);2016年5月6日提交的美国临时申请No.62/333,067(代理案卷号MLEAP.066PR);2017年1月27日提交的名称为“DIFFRACTION GRATINGS FORMED BY METASURFACES HAVING DIFFERENTLY ORIENTED NANOBEAMS(由具有不同取向纳米梁的超表面形成的衍射光栅)”的美国临时申请No.62/451,608(代理案卷号MLEAP.092PR);以及2017年1月27日提交的名称为“DIFFRACTION GRATINGS BASED ON METASURFACES HAVING ASYMMETRIC OPTICAL ELEMENTS(基于具有不对称光学元件的超表面的衍射光栅)”的美国临时申请No.62/451,615(代理案卷号MLEAP.103PR)。

技术领域

[0005] 本公开涉及诸如显示系统的光学系统,其包括增强现实系统。

背景技术

[0006] 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”体验的系统的发展,其中数字再现的图像或其部分以其看起来是真实的或者可被感知为真实的方式呈现给用户。虚拟现实(或者“VR”)场景通常涉及数字或虚拟图像信息的呈现,而对于其他实际的真实世界的视觉输入不透明;增强现实(或者“AR”)场景通常涉及数字或虚拟图像信息的呈现作为对用户周围的实际世界的可视化的增强。混合现实(或者“MR”)场景是一种AR场景并且通常涉及集成到自然世界中并响应于自然世界的虚拟对象。例如,MR场景可以包括AR图像内容,该AR图像内容看起来被真实世界中的对象阻挡或者另外被感知为与该对象交互。

[0007] 参考图1,示出了增强现实场景10。AR技术的用户看到以人、树木、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。用户同样感知到他/她“看到”站在真实世界平台30上的诸如机器人雕像40的“虚拟内容”,以及飞过的卡通式化身角色50,该化身角色看起来是大黄蜂的化身。这些元素50、40是“虚拟的”,因为它们在真实世界中不存在。因为人类的视觉感知系统是复杂的,并且产生有助于连同其他虚拟或真实世界的图像元素一起的虚拟图像元素的舒适、自然、丰富呈现的AR技术是具有挑战性的。

[0008] 本文公开的系统和方法解决了与AR和VR技术相关的各种挑战。

发明内容

[0009] 根据一些实施例,本文提供了光学系统。在一些实施例中,光学系统可以包括:光学透射基板;上覆基板的超表面(metasurface),该超表面包括多个纳米结构;以及抗反射涂层,其包括共形地设置在超表面的纳米结构之上的光学透明材料,其中光学透明材料具有小于纳米结构的折射率的折射率。

[0010] 根据一些实施例,抗反射涂层是干涉涂层。在一些实施例中,超表面包括衍射光栅。在一些实施例中,超表面包括不对称衍射光栅。在一些实施例中,超表面包含Pancharatnam-Berry相位光学元件(PBOE)。在一些实施例中,超表面包括多层纳米结构。在一些实施例中,光学透明材料包括聚合物。在一些实施例中,光学透明材料包括光致抗蚀剂。在一些实施例中,光学透明材料具有约1.2至约2的折射率。在一些实施例中,从纳米结构的最顶部表面到抗反射涂层的最顶部表面的距离为约10nm至约1微米。在一些实施例中,从纳米结构的最顶部表面到抗反射涂层的最顶部表面的距离为约30nm至约250nm。在一些实施例中,抗反射涂层形成在纳米结构之间和之上延伸的平坦化层。

[0011] 根据一些其他实施例,本文提供了光学系统,该光学系统包括用于包括超表面的光学元件的抗反射涂层,该抗反射涂层包括光学透明材料的层,该光学透明材料具有大于1且小于包括超表面的材料的折射率的折射率,其中,聚合物材料层共形地设置在超表面之上。

[0012] 根据一些实施例,光学透明材料包括聚合物。在一些实施例中,光学透明材料包括光致抗蚀剂。在一些实施例中,光学透明材料具有约1.2至约2的折射率。在一些实施例中,从超表面的最顶部表面到抗反射涂层的最顶部表面的距离为约10nm至约1微米。在一些实施例中,与由不包括抗反射涂层的基本类似的超表面反射的入射光的量相比,该抗反射涂层将由超表面反射的入射光的量减少超过约50%。在一些实施例中,入射光具有约-50°至50°的入射角。

[0013] 根据其他实施例,提供了用于在超表面上形成抗反射涂层的方法。在一些实施例中,方法可以包括:提供包括超表面的光学透射基板,该超表面包含多个纳米结构;在多个纳米结构之上沉积光学透明材料的层,其中,光学透明材料的层形成抗反射涂层。

[0014] 根据一些实施例,光学透明材料包含聚合物。在一些实施例中,光学透明材料包括光致抗蚀剂。在一些实施例中,从纳米结构的最顶部表面到所形成的抗反射涂层的最顶部表面的距离为约10nm至约1微米。在一些实施例中,共形地沉积光学透明材料包括在纳米结构之上旋涂光学透明材料。在一些实施例中,共形地沉积光学透明材料包括执行化学气相沉积(CVD)工艺。

[0015] 以下提供各种另外的实施例。

[0016] 1.一种光学系统,包括:

[0017] 光学透射基板;

[0018] 上覆所述基板的超表面,所述超表面包括多个纳米结构;以及

[0019] 抗反射涂层,其包括共形地设置在所述超表面的所述纳米结构之上的光学透明材料,其中所述光学透明材料具有小于所述纳米结构的折射率的折射率。

[0020] 2.根据实施例1所述的光学系统,其中,所述抗反射涂层是干涉涂层。

[0021] 3.根据实施例1所述的光学系统,其中,所述超表面包括衍射光栅。

- [0022] 4. 根据实施例3所述的光学系统,其中,所述超表面包括不对称衍射光栅。
- [0023] 5. 根据实施例1-3中任一项所述的光学系统,其中,所述超表面包括Pancharatnam-Berry相位光学元件(PBOE)。
- [0024] 6. 根据实施例1所述的光学系统,其中,所述超表面包括多层纳米结构。
- [0025] 7. 根据实施例1-6中任一项所述的光学系统,其中,所述光学透明材料包括聚合物。
- [0026] 8. 根据实施例7所述的光学系统,其中,所述光学透明材料包括光致抗蚀剂。
- [0027] 9. 根据实施例1-8中任一项所述的光学系统,其中,所述光学透明材料具有约1.2至约2的折射率。
- [0028] 10. 根据实施例1-9中任一项所述的光学系统,其中,从所述纳米结构的最顶部表面到所述抗反射涂层的最顶部表面的距离为约10nm至约1微米。
- [0029] 11. 根据实施例10所述的光学系统,其中,从所述纳米结构的最顶部表面到所述抗反射涂层的最顶部表面的距离为约30nm至约250nm。
- [0030] 12. 根据实施例1-11中任一项所述的光学系统,其中,所述抗反射涂层形成在所述纳米结构之间和之上延伸的平坦化层。
- [0031] 13. 一种光学系统,包括:
- [0032] 用于包括超表面的光学元件的抗反射涂层,所述抗反射涂层包括:
- [0033] 光学透明材料的层,其具有大于1且小于包括所述超表面的材料的折射率的折射率,
- [0034] 其中,聚合物材料层共形地设置在所述超表面之上。
- [0035] 14. 根据实施例13所述的抗反射涂层,其中,所述光学透明材料包括聚合物。
- [0036] 15. 根据实施例14所述的抗反射涂层,其中,所述光学透明材料包括光致抗蚀剂。
- [0037] 16. 根据实施例13-15中任一项所述的抗反射涂层,其中,所述光学透明材料具有约1.2至约2的折射率。
- [0038] 17. 根据实施例13-16中任一项所述的抗反射涂层,其中,从所述超表面的最顶部表面到所述抗反射涂层的最顶部表面的距离为约10nm至约1微米。
- [0039] 18. 根据实施例13-17中任一项所述的抗反射涂层,其中,与由不包括所述抗反射涂层的基本类似的超表面反射的入射光的量相比,所述抗反射涂层将由所述超表面反射的入射光的量减少超过约50%。
- [0040] 19. 根据实施例18所述的抗反射涂层,其中,所述入射光具有约-20°至20°的入射角。
- [0041] 20. 一种用于在超表面上形成抗反射涂层的方法,所述方法包括:
- [0042] 提供包括超表面的光学透射基板,所述超表面包括多个纳米结构;
- [0043] 在所述多个纳米结构之上沉积光学透明材料的层,其中,所述光学透明材料的层形成所述抗反射涂层。
- [0044] 21. 根据实施例20所述的方法,其中,所述光学透明材料包括聚合物。
- [0045] 22. 根据实施例21所述的方法,其中,所述光学透明材料包括光致抗蚀剂。
- [0046] 23. 根据实施例20-22中任一项所述的方法,其中,从所述纳米结构的最顶部表面到所述形成的抗反射涂层的最顶部表面的距离为约10nm至约1微米。

[0047] 24. 根据实施例20-23中任一项所述的方法, 其中, 共形地沉积所述光学透明材料包括在所述纳米结构之上旋涂所述光学透明材料。

[0048] 25. 根据实施例20-23中任一项所述的方法, 其中, 共形地沉积所述光学透明材料包括执行化学气相沉积 (CVD) 工艺。

附图说明

[0049] 图1示出了通过AR装置的增强现实 (AR) 的用户视图。

[0050] 图2示出了可穿戴显示系统的示例。

[0051] 图3示出了用于为用户模拟三维图像的常规显示系统。

[0052] 图4示出了使用多个深度平面模拟三维图像的方法的方面。

[0053] 图5A-5C示出了曲率半径与焦点半径之间的关系。

[0054] 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。

[0055] 图7示出了由波导输出的出射光束的示例。

[0056] 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。

[0057] 图9A示出了堆叠波导组的示例的横截面侧视图, 每个堆叠波导包括耦入 (incoupling) 光学元件。

[0058] 图9B示出了图9A的多个堆叠波导的示例的透视图。

[0059] 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。

[0060] 图10示出了包括超表面和抗反射涂层的示例性光学结构的横截面侧视图。

[0061] 图11A示出了包括不对称Pancharatnam-Berry相位光学元件 (PBOE) 的示例性超表面的俯视图。

[0062] 图11B示出了具有上覆的抗反射涂层的图11A的超表面的透视图。

[0063] 图11C是用于具有图11A-11B所示的一般结构的光学结构的作为光入射角的函数的透射和反射的曲线图。

[0064] 图12A示出了包括不对称衍射光栅和抗反射涂层的示例性超表面的横截面透视图。

[0065] 图12B示出了图12的示例性超表面和抗反射涂层的横截面侧视图。

[0066] 图12C是用于图12A-12B的光学结构的透射和反射光谱的曲线图。

[0067] 图13A-13D是根据一些实施例的在包括超表面的示例光学结构的制造的各个阶段的中间结构的横截面图。

[0068] 图14A-14D是根据一些其他实施例的在包括超表面的示例光学元件的制造的各个阶段的中间结构的横截面图。

[0069] 图15示出了具有共形抗反射涂层的超表面的横截面侧视图。

具体实施方式

[0070] 与几何光学器件相比, 超表面 (也称为超材料表面) 提供了在更小的尺度上实现几乎平坦的、无像差的光学器件的机会。不受理论的限制, 在一些实施例中, 超表面包括表面结构或纳米结构的密集排列, 其用作谐振光学天线。光表面结构相互作用的谐振性质提供

了操纵光学波前的能力。在一些情况下,超表面可以允许使用通过简单的图案化工艺形成的薄的平面元件替换庞大或难以制造的光学部件。

[0071] 应当理解,由超表面形成的光学元件可以以反射和/或透射模式起作用。在反射模式下,超表面可以以期望的角度反射光。在透射模式下,超表面可以通过超表面的主体传输光,同时还以期望的角度偏转该光。不期望地,例如,由于在与其他材料的界面处的菲涅耳反射,在透射模式下工作的表面也可以反射入射光。另外,对于在反射模式下工作的超表面,超表面被配置为反射光的角度可以与光从界面反射的角度不同。

[0072] 不期望地,由超表面引起的非预期反射可能导致光学伪像。例如,在其中使用超表面作为用于引导编码有图像内容的光(例如,由空间光调制器修改的光)的光学元件的显示装置中,由于在到达用户之前沿光路的一些光的前后反射,反射可能导致重影。例如,超表面可以形成用于将光耦合入到波导中的耦合光学元件,该波导进而被配置为将图像内容输出给用户。在该光的一部分被反射而不是被耦合入到波导中的情况下,该反射的光可以传播回光投影仪或光源,然后光投影仪或光源可以将光反射回到超表面以耦合入到波导中,并最终输出给用户。由于这种前后反射,来自先前视频图像帧的光可以与编码当前图像帧的光一起提供给波导。编码先前图像帧的光可以对用户可见,作为降低显示装置的图像质量的重影图像。

[0073] 在一些实施例中,抗反射涂层可以减少或消除来自超表面的光的反射。抗反射涂层可以由光学透射材料层形成,诸如聚合物层,例如光致抗蚀剂层。在一些实施例中,在超表面与抗反射涂层之间不存在空气或其他材料;抗反射涂层可以直接接触表面。形成抗反射涂层的材料可以具有比超表面的纳米结构的折射率低但是比在抗反射涂层的与超表面相对处与抗反射涂层形成界面的材料或介质(例如,空气)的折射率高的折射率。

[0074] 在一些实施例中,抗反射涂层可以是干涉涂层,并且选择材料层的厚度以在从层的顶表面和底表面反射的光之间提供相消干涉。优选地,选择层的厚度以为可见波长的光提供这种干涉。在一些实施例中,超表面可以是利用多种组分颜色的彩色显示器的一部分。结果,特定的超表面可能仅暴露于与特定组分颜色对应的相关联的有限波长范围的光,并且抗反射涂层可具有选定的厚度以为具有该相关联的有限波长范围的光提供干涉。

[0075] 在一些实施例中,抗反射涂层可以是在形成超表面的纳米结构之上和之间延伸的并且形成纳米结构的平坦表面的平坦层。这种平坦层可以有利地在宽范围的入射光角度上提供抗反射特性。在一些实施例中,抗反射涂层可以是设置在形成超表面的纳米结构表面上的共形层。该共形层可以是连续的并且在多个纳米结构之上和之间延伸或者可以隔离在纳米结构中的独立的纳米结构上。

[0076] 有利地,反射的减少可以减少或消除诸如重影图像的光学效应,从而允许显示装置输出具有更高感知质量的图像。在一些实施例中,相对于没有抗反射涂层的相同结构,抗反射涂层可以将由超表面反射的光的量减少约50%、75%、85%、90%、95%、99%或更多。抗反射涂层可以特别有利地应用到在透射模式下操作的超表面,其中反射不是超表面的设计的一部分。

[0077] 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。

[0078] 在一些实施例中,超表面可以有利地被应用以在例如用于AR或VR显示系统的显示装置的显示装置中形成光学元件。这些显示系统可以向用户或观看者显示虚拟内容,并且

AR系统还可以允许用户通过将来自周围环境的光传输到用户的眼睛来看到他们周围的世界。优选地,该虚拟内容显示在例如作为眼镜的一部分的可佩戴的头戴式显示器上,该显示器将图像信息投射到用户的眼睛。如本文所使用的,应当理解,“头戴式”显示器是可以安装在观看者头部上的显示器。

[0079] 图2示出了可穿戴显示系统80的示例。显示系统80包括头戴式显示器62、以及支持该显示器62的功能的各种机械和电子模块和系统。显示器62可以与框架64耦接,该框架可以由显示系统用户或观看者60佩戴并且被配置为将显示器62定位在用户60的眼睛前方。在一些实施例中,显示器62可以被认为是眼镜(eyewear)。在一些实施例中,扬声器66被耦接到框架64并且位于用户60的耳道附近(在一些实施例中,另一扬声器(未示出)位于用户的另一耳道附近以提供立体声/可塑形声音控制)。在一些实施例中,显示系统还可以包括一个或多个麦克风67或其它设备以检测声音。在一些实施例中,麦克风被配置为允许用户向系统80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/或可以允许与其它人(例如,与其它类似显示系统的用户)的音频通信。麦克风还可以被配置为外围传感器以持续地收集音频数据(例如,从用户和/或环境被动地收集)。这样的音频数据可以包括诸如重的呼吸的用户声音或者诸如指示附近事件的响亮的撞击的环境声音。显示系统还可以包括外围传感器30a,其可以与框架64分离并且附接到用户60的身体(例如,用户60的头部、躯干、四肢等上)。在一些实施例中,外围传感器30a可以被配置为获取表征用户60的生理状态的数据,如本文进一步描述的。例如,传感器30a可以是电极。

[0080] 图2示出了可穿戴显示系统60的示例。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可以与框架80耦接,该框架可以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被耦接到框架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)。显示系统还可以包括一个或多个麦克风110或其他设备以检测声音。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(例如,与其他类似显示系统的用户)的音频通信。麦克风还可以被配置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,用户90的头部、躯干、四肢等上)。在一些实施例中,外围传感器120a可以被配置为获取表征用户90的生理状态的数据。例如,传感器120a可以是电极。

[0081] 继续参考图2,显示器70可操作地通过通信链路130(诸如通过有线引线或无线连接)被耦接到本地数据处理和模块140,本地数据处理和模块140可以以各种配置安装,诸如被固定地附到框架80上、被固定地附到由用户佩戴的头盔或帽子上、被嵌入头戴耳机内、或者其他的可拆卸地附到用户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(例如通过有线引线或无线连接)可操作地耦接到本地处理和数据模块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、高速缓存和存储数据。该数据包括:a)从传感器(其例如可以可操作地耦接到框架80或者其他的可操作地附

到用户90) 捕捉的数据,所述传感器例如为图像捕捉设备(诸如相机)、麦克风、惯性测量单元、加速度计、罗盘、GPS单元、无线电设备、陀螺仪和/或本文公开的其他传感器;和/或b) 使用远程处理模块150和/或远程数据储存库160(其包括与虚拟内容相关的数据)获取和/或处理的数据,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可以诸如经由有线或无线通信链路可操作地通过通信链路170、180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可以包括图像捕捉设备、麦克风、惯性测量单元、加速度计、罗盘、GPS单元、无线电设备和/或陀螺仪中的一个或多个。在一些其他实施例中,这些传感器中的一个或多个可以附到框架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。

[0082] 继续参考图2,在一些实施例中,远程处理模块150可以包括一个或多个处理器,这些处理器被配置为分析和处理数据和/或图像信息。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,该设施可以通过因特网或“云”资源配置中的其他网络配置而可用。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,这些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,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。

[0083] 现在参考图3,可以通过向观看者的每只眼睛提供略微不同的图像呈现来实现将图像感知为“三维”或“3-D”。图3示出了用于为用户模拟三维图像的常规的显示系统。将两个不同图像190、200-用于每只眼睛210、220中的一个-输出给用户。图像190、200沿着与观看者的视线平行的光学轴或z轴与眼睛210、220隔开距离230。图像190、200是平坦的,并且眼睛210、220可以通过呈现单个适应(accommodate)状态而聚焦在图像上。这样的3D显示系统依赖于人类视觉系统来组合图像190、200以提供组合图像的深度感知和/或规模(scale)。

[0084] 然而,应当理解,人类视觉系统更复杂并且提供对深度的真实感知更具挑战性。例如,常规的“3-D”显示系统的许多观看者发现这样的系统不舒服或者根本不能感知到深度感。不受理论的限制,据信对象的观看者可能由于聚散和适应的组合而将对象感知为“三维的”。两只眼睛相对于彼此的聚散运动(即,眼睛的旋转,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)与眼睛的晶状体和瞳孔的聚焦(或“适应”)紧密相关。在正常情况下,改变眼睛的晶状体的聚焦或使眼睛适应以改变从一个对象切换到位于不同距离处的另一对象时的聚焦,将会在被称为“适应-聚散度反射(accommodation-vergence reflex)”的关系以及瞳孔扩张或收缩下自动导致使聚散到相同的距离的匹配变化。同样,在正常情况下,聚散度的变化将引发晶状体形状和瞳孔尺寸的适应的匹配变化。如本文所述,许多立体或“3-D”显示系统使用略微不同的呈现(并且因此略微不同的图像)向每只眼睛显示场景,使得人类视觉系统感知到三维透视。然而,这样的系统对于许多观看者来说是不舒服的,因为除了其他的之外,这样的系统简单地提供场景的不同呈现,而且眼睛在单个适应状态下观看所有图像信息,以及违反“适应-聚散度反射”工作。提供适应与聚散度之间的更好匹配的显示系统可以形成更逼真和更舒适的三维图像模拟。

[0085] 图4示出了使用多个深度平面模拟三维图像的方法的方面。继续参考图4,在z轴上

距眼睛210、220的不同距离处的对象由眼睛210、220适应,以使得那些对象对焦(in focus)。眼睛210、220呈现特定的适应状态,以使沿着z轴的不同距离处的对象进入焦点。因此,可以说特定的适应状态与深度平面240中的特定一个深度平面相关联,该特定深度平面具有相关联的焦距,以使得当眼睛处于该深度平面的适应状态时,特定深度平面中的对象或对象的部分对焦。在一些实施例中,可以通过为眼睛210、220中的每一者提供图像的不同呈现来模拟三维图像,并且还可以通过提供与深度平面中每一个深度平面对应的图像的不同呈现来模拟三维图像。尽管为了清楚说明而示出为分离的,但应理解的是,例如,随着沿着z轴的距离增加,眼睛210、220的视场可以重叠。另外,虽然为了便于说明而示出为平坦的,但应理解的是,深度平面的外形可以在物理空间中是弯曲的,例如以使得深度平面中的所有特征在特定的适应状态下与眼睛对焦。

[0086] 对象和眼睛210或220之间的距离也可以改变来自该物体的光的发散量,如该眼睛所看到的。图5A-5C示出了距离和光线发散之间的关系。对象与眼睛210之间的距离由距离减小的顺序R1、R2和R3表示。如图5A-5C所示,随着到对象的距离减小,光线变得更发散。随着距离的增加,光线变得更加准直。换句话说,可以说由点(物体或物体的一部分)产生的光场具有球面波前曲率,其是该点离用户眼睛有多远的函数。随着对象与眼睛210之间的距离减小,曲率增加。因此,在不同的深度平面处,光线的发散度也不同,发散度随着深度平面与观看者眼睛210之间的距离的减小而增加。虽然为了清楚地说明在图5A-5C和本文的其他图中仅示出了单个眼睛210,但是应当理解,关于眼睛210的讨论可以应用于观看者的双眼210和220。

[0087] 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,通过向眼睛提供与这些有限数量的深度平面中的每一个深度平面对应的图像的不同呈现,可以实现感知深度的高度可信的模拟。不同的呈现可以由观看者的眼睛单独聚焦,从而有助于基于眼睛的适应和/或基于观察位于失焦的不同深度平面上的不同图像特征来为用户提供深度提示,所述眼睛的适应被需要来对位于不同深度平面上的场景的不同图像特征聚焦。

[0088] 图6示出了用于向用户输出图像信息的波导堆叠的示例。显示系统250包括可以用于采用多个波导270、280、290、300、310向眼睛/大脑提供三维感知的波导堆叠或堆叠波导组件260。在一些实施例中,显示系统250是图2的系统60,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,波导组件260可以是图2的显示器70的一部分。应当理解,在一些实施例中,显示系统250可以被认为是光场显示器。

[0089] 在一些实施例中,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,在一些实施例中,可以利用多个波导或波导的堆叠来为不同的深度平面提供不同量的波前发散和/或输出不同波长范围的光。如本文所使用的,应当理解,深度平面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。

[0090] 继续参考图6,波导组件260可以还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级别的波前曲率或光线发散向眼睛发送图像信息。每个波导级别可以与特定的深度平面相关联,并且可以被配置为输

出与该深度平面对应的图像信息。图像注入装置360、370、380、390、400可以用作波导的光源并且可以用于将图像信息注入到波导270、280、290、300、310中,如本文所述,其中的每个波导可以被配置为分配入射光穿过每个相应的波导,用于向眼睛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并被注入到波导270、280、290、300、310的相应输入表面460、470、480、490、500。在一些实施例中,输入表面460、470、480、490、500中的每一个可以是相应波导的边缘,或者可以是相应波导的主表面的一部分(也就是,直接面向世界510或观看者眼睛210的波导表面中的一个。应当理解,波导的主表面对应于波导的相对大的区域表面,波导的厚度在该相对大的区域表面之间延伸。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,以便以与特定波导相关联的深度平面对应的特定角度(和发散量)输出朝向眼睛210定向的克隆准直光束的整个视场。在一些实施例中,图像注入装置360、370、380、390、400中的单个图像注入装置可以与波导182、184、186、188、190中的多个(例如,三个)相关联并将光注入到波导270、280、290、300、310中的多个(例如,三个)中。

[0091] 在一些实施例中,图像注入装置360、370、380、390、400是分立的显示器,每个显示器产生用于分别注入到相应波导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,其可以例如经由一个或多个光导管(诸如,光纤线缆)向图像注入装置360、370、380、390、400中的每一个图像注入装置用管输送图像信息。可以理解,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波长或颜色(例如,如本文所讨论的,不同的组分颜色)的光。

[0092] 在一些实施例中,注入到波导270、280、290、300、310中的光由包括光模块530的光投射器系统520提供,光模块530可包括光发射器,诸如发光二极管(LED)。来自光模块530的光可以导向光调制器540并且经由光分束器550通过光调制器540(例如,空间光调制器)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,以对具有图像信息的光编码。空间光调制器的示例包括液晶显示器(LCD),其包括硅上的液晶(LCOS)显示器。应当理解,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公共投影系统中的不同光路和位置,该公共投影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,同时将注入到波导的光中继到用户的眼睛。在该构思中,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。

[0093] 在一些实施例中,显示系统250可以是扫描光纤显示器,该扫描光纤显示器包括一个或多个扫描光纤,这些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(Lissajous)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中。在一些实施例中,所示图像注入装置360、370、380、390、400可示意性地表示单个扫描光纤或一束扫描光纤,该单个扫描光纤或一束扫描光纤被配置为将光注入到一个或多个波导270、280、290、300、310中。在一些其他实施例中,所示图像注入装置360、370、380、390、400可以示意性地表示多个扫描光纤或多束扫描光纤,多个扫描光纤中的每一者或多束扫描光纤中的每一者被配置为将光注入波导270、280、290、300、310中相关联的一个波导中。应当理解,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。应当理解,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射出的光重定向到一个或多个波导270、280、290、300、310中。

[0094] 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,非暂时性介质中的指令),例如,根据本文公开的任何各种方案,该编程调节图像信息到波导270、280、290、300、310的定时和提供。在一些实施例中,控制器可以是单个整体装置,或者是通过有线或无线通信通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2)的部分。

[0095] 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具有其他形状(例如,曲面的),其具有顶部主表面和底部主表面以及在这些顶部主表面与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可以各自包括耦出(outcoupling)光学元件570、580、590、600、610,这些耦出光学元件被配置为通过将每一个相应波导内传播的光重定向到波导外而将光提取到波导外,以向眼睛210输出图像信息。所提取的光也可以被称为耦出光,并且耦出光学元件光也可以被称为光提取光学元件。所提取的光束可以在波导中传播的光照射到光提取光学元件的位置处被波导输出。耦出光学元件570、580、590、600、610可以例如包括衍射光学特征的光栅,如本文进一步讨论的。虽然为了便于描述和清晰绘图起见而将其图示为设置在波导270、280、290、300、310的底部主表面处,但是在一些实施例中,耦出光学元件570、580、590、600、610可以设置在顶部和/或底部主表面处,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可以形成在被附接到透明基板的材料层中以形成波导270、280、290、300、310。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可以形成在该片材料的表面上和/或该片材料的内部中。

[0096] 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与特定深度平面对应的图像。例如,最接近眼睛的波导270可以被配置为将准直光(其被注入到这种波导270中)传送到眼睛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可以被配置为产生轻微凸面的波前曲率,使得眼睛/大脑将来自下一个上行波导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更靠近向内朝向眼睛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的组合光焦度(optical power)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下一个上行波导280的光更靠近向内朝向人。

[0097] 其他波导层300、310和透镜330、320被类似地配置,其中堆叠中的最高波导310通过它与眼睛之间的所有透镜发送其输出,用于代表最靠近人的焦平面的聚合焦度(aggregate focal power)。当在堆叠波导组件260的另一侧上观看/解释来自世界510的光时,为了补偿透镜320、330、340、350的堆叠,补偿透镜层620可以设置在堆叠的顶部处以补

偿下面的透镜堆叠320、330、340、350的聚合焦距。这种配置提供了与可用波导/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可以是静态的(即,不是动态的或电话性的)。在一些替代实施例中,两者之一或两者都可以是使用电话性特征而动态的。

[0098] 在一些实施例中,波导270、280、290、300、310中的两个或更多个可具有相同的相关联的深度平面。例如,多个波导270、280、290、300、310可以被配置为输出设置到相同深度平面的图像,或者波导270、280、290、300、310的多个子集可以被配置为输出设置到相同的多个深度平面的图像,每个深度平面有一组。这可以为形成平铺图像提供优势,以在那些深度平面处提供扩展的视场。

[0099] 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该光。结果,具有不同相关联深度平面的波导可具有不同的耦出光学元件570、580、590、600、610的配置,这些耦出光学元件依赖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可以是体积或表面特征,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物(例如,用于形成空气间隙的包覆层和/或结构)。

[0100] 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,或者说“衍射光学元件”(在此也称为“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TIR而继续移动通过波导。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。

[0101] 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”状态之间可切换。例如,可切换的DOE可以包括聚合物分散液晶层,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)。

[0102] 在一些实施例中,可提供相机组件630(例如,数码相机,包括可见光和红外光相机)以捕获眼睛210和/或眼睛210周围的组织的图像,从而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设备。在一些实施例中,相机组件630可以包括图像捕获设备和光源,以将光(例如,红外光)投射到眼睛,然后光可以由眼睛反射并由图像捕获设备检测到。在一些实施例中,相机组件630可以附接到框架80(图2)并且可以与处理模块140和/或150电连通,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,可以针对每只眼睛使用一个相机组件630以分别监测每只眼睛。

[0103] 现在参考图7,其中示出了由波导输出的出射光束的示例。示出了一个波导,但是应该理解,波导组件260(图6)中的其他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处被注入到波导270中,并且通过TIR在波导270内传播。在光640照射(impinge)在DOE 570上的点处,一部分光如出射光束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,依赖于与波导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)被重定向以传播到眼睛210。应该理解,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。其他波导或者其他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适应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。

[0104] 在一些实施例中,可以通过叠加每个分量颜色(例如,三种或更多种分量颜色)的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。所示实施例示出了深度平面240a-240f,但也可以考虑更多或更少的深度。每个深度平面可以具有与其相关联的三个或更多个分量彩色图像,包括:第一种颜色的第一图像G;第二种颜色的第二图像R;以及第三种颜色的第三图像B。对于字母G、R和B之后的屈光度(dpt),在图中用不同的数字表示不同的深度平面。作为示例,这些字母的每一个后面的数字表示屈光度(1/m)、或者深度平面与观看者的反距离,并且图中的每个框表示单独的分量彩色图像。在一些实施例中,为了解决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改变。例如,给定深度平面的不同分量颜色图像可以放置在与用户的不同距离对应的深度平面上。这样的布置可以增加视觉敏感度和用户舒适度和/或可以减少色差。

[0105] 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。虽然为了便于描述,在该图中示出了与每个深度平面相关联的波导彼此相邻,但是应当理解,在物理装置中,波导可以全部布置成每层具有一个波导的堆叠。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。

[0106] 继续参考图8,在一些实施例中,G是绿色、R是红色、B是蓝色。在一些其他实施例中,除了红色、绿色或蓝色之外,可以使用与其他波长的光相关联的其他颜色(包括品红色和青色),或者可以替换红色、绿色或蓝色中的一种或多种。

[0107] 应当理解,贯穿本公开内容对给定颜色的光的参考将被理解为包括在观看者感知为具有该给定颜色的光的波长范围内的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,以及蓝光可以包括在约435-493nm的范围内的一个或多个波长的光。

[0108] 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(例如,红外和/或紫外波长)的光。此外,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从显示器引导出并朝着用户的眼睛210发射,例如用于成像和/或用户刺激应用。

[0109] 现在参考图9A,在一些实施例中,可能需要将照射到波导上的光重定向以将该光耦入到波导中。可以使用耦入光学元件将光重定向并且将光耦入到其相应的波导中。图9A示出了多个堆叠波导或堆叠波导组660的示例的横截面侧视图,每个堆叠波导包括耦入光

学元件。每个波导可以被配置为输出一个或多个不同波长的光、或者一个或多个不同波长范围的光。应当理解,堆叠660可以对应于堆叠260(图6),并且所出的堆叠的波导660可以对应于多个波导270、280、290、300、310的一部分,除了来自图像注入装置360、370、380、390、400中的一个或多个光从需要光被重定向以进行耦合的位置注入到波导中。

[0110] 所示的堆叠波导组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域),例如,设置在波导670的主表面(例如,上主表面)上的耦合光学元件700、设置在波导680的主表面(例如,上主表面)上的耦合光学元件710、以及设置在波导690的主表面(例如,上主表面)上的耦合光学元件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的波导670、680、690的底部主表面上(特别是在一个或多个耦合光学元件是反射的、偏转光学元件的情况下)。如所示出的,耦合光学元件700、710、720可以设置在它们相应的波导670、680、690的上主表面上(或下一个下波导的顶部),特别是在那些耦合光学元件是透射的、偏转的光学元件情况下。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的主体中。在一些实施例中,如本文所讨论的,耦合光学元件700、710、720是波长选择性的,使得它们选择性地重定向一个或多个波长的光,同时透射其他波长的光。虽然在它们相应的波导670、680、690的一侧或角上示出,但是应当理解,在一些实施例中,耦合光学元件700、710、720可以设置在它们相应的波导670、680、690的其他区域中。

[0111] 如所示出的,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,使得它接收光而光不通过另一耦合光学元件。例如,每个耦合光学元件700、710、720可以被配置为从如图6所示的不同的图像注入装置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,横向间隔开),使得它基本上不接收来自其他耦合光学元件700、710、720的光。

[0112] 每个波导还包括相关联的光分布(distribute)元件,例如,设置在波导670的主表面(例如,顶部主表面)上的光分布元件730、设置在波导680的主表面(例如,顶部主表面)上的光分布元件740以及设置在波导690的主表面(例如,顶部主表面)上的光分布元件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的底部主表面上。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的顶部和底部主表面上;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的顶部和底部主表面中的不同的主表面上。

[0113] 波导670、680、690可以由例如气体、液体和/或固体材料层间隔开并分离。例如,如所示出的,层760a可以分离波导670和680;以及层760b可以分离波导680和690。在一些实施例中,层760a和760b由低折射率材料(也就是,具有比形成波导670、680、690中的紧邻的波导的材料的折射率低的材料)形成。优选地,形成层760a、760b的材料的折射率比形成波导670、680、690的材料的折射率小0.05或更多、或0.10或更少。有利地,低折射率层760a、760b可以用作促进通过波导670、680、690的光的全内反射(TIR)(例如,每个波导的顶部和底部主表面之间的TIR)的包覆(clad)层。在一些实施例中,层760a、760b由空气形成。尽管未示出,但应理解,所示波导组660的顶部和底部可包括紧邻的包覆层。

[0114] 优选地,为了便于制造和其他的考虑,形成波导670、680、690的材料类似或相同,以及形成层760a、760b的材料类似或相同。在一些实施例中,形成波导670、680、690的材料

在一个或多个波导之间可以是不同的,以及和/或者形成层760a、760b的材料可以是不同的,同时仍然保持上述各种折射率关系。

[0115] 继续参考图9A,光线770、780、790入射到波导组660上。应当理解,光线770、780、790可以通过一个或多个图像注入装置360、370、380、390、400(图6)注入到波导670、680、690中。

[0116] 在一些实施例中,光线770、780、790具有不同的属性,例如,不同的波长或不同的波长范围,其可以对应于不同的颜色。耦入光学元件700、710、720各自使入射光偏转,使得光通过TIR传播通过波导670、680、690中的相应一个波导。在一些实施例中,耦入光学元件700、710、720每个选择性地偏转一个或多个特定波长的光,同时将其余波长传输到下面的波导和相关联的耦入光学元件。

[0117] 例如,耦入光学元件700可以被配置为偏转具有第一波长或波长范围的光线770,同时分别传输具有不同的第二和第三波长或波长范围的光线1242和1244。传输的光线780照射在耦入光学元件710上并被耦入光学元件710偏转,该耦入光学元件710被配置为偏转具有第二波长或波长范围的光。光线790被耦入光学元件720偏转,该耦入光学元件720被配置为选择性地偏转具有第三波长或波长范围的光。

[0118] 继续参考图9A,偏转的光线770、780、790被偏转,使得它们传播通过相应的波导670、680、690;也就是,每个波导的耦入光学元件700、710、720将光偏转到相应的波导670、680、690中,以将光耦入到相应的波导中。光线770、780、790以一定角度偏转,该角度使光经由TIR传播通过相应的波导670、680、690。光线770、780、790经由TIR传播通过相应的波导670、680、690,直到照射到波导的相应的光分布元件730、740、750上。

[0119] 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分别被耦入光学元件700、710、720偏转,然后分别在波导670、680、690内通过TIR传播。然后,光线770、780、790分别照射到光分布元件730、740、750上。光分布元件730、740、750使光线770、780、790偏转,使得它们分别朝向耦出光学元件800、810、820传播。

[0120] 在一些实施例中,光分布元件730、740、750是正交瞳孔扩展器(OPE)。在一些实施例中,OPE将光偏转或分布至耦出光学元件800、810、820,并且在一些实施例中,OPE还在该光传播到耦出光学元件时增加该光的光束或光点尺寸。在一些实施例中,可以省略光分布元件730、740、750,并且可以将耦入光学元件700、710、720配置为将光直接偏转至耦出光学元件800、810、820。例如,参考图9A,光分布元件730、740、750可以分别被耦出光学元件800、810、820代替。在一些实施例中,耦出光学元件800、810、820是出射光瞳(EP)或出射光瞳扩展器(EPE),其引导观看者眼睛210中的光(图7)。应当理解,OPE可以被配置为在至少一个轴上增加眼箱的尺寸,并且EPE可以在例如与OPE的轴正交的轴上增加眼箱。例如,每个OPE可以被配置为将照射到OPE上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波导传播。在再次照射到OPE上时,剩余光的另一部分被重定向到EPE,并且该剩余光的剩余部分继续沿波导进一步传播,等等。类似地,在照射到EPE上时,照射的光的一部分被引导出波导朝向用户,并且该光的剩余部分继续传播通过波导直到它再次照射到EP上,此时照射的光的另一部分被引导出波导,等等。因此,每当光的一部分被OPE或EPE重定向时,可以“复制”单束光的耦入光,从而形成克隆光束的场,如图6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。

[0121] 因此,参考图9A和9B,在一些实施例中,波导组660包括波导670、680、690;耦入光学元件700、710、720;光分布元件(例如,OPE)730、740、750;以及用于每种分量颜色的耦出光学元件(例如,EP)800、810、820。波导670、680、690可以堆叠,其中每个之间存在的空气隙/包覆层。耦入光学元件700、710、720将入射光(采用接收不同波长的光的不同的耦入光学元件)重定向或偏转到其波导中。然后光以一定角度传播,这将导致相应波导670、680、690内的TIR。在所示的示例中,光线770(例如,蓝光)被第一耦入光学元件700偏转,然后继续跳到波导,以前面描述的方式与光分布元件(例如,OPE)730相互作用,然后与耦出光学元件(例如,EPs)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照射到耦入光学元件710上并被耦入光学元件710偏转。光线780然后经由TIR跳到波导680,继续进行到达其的光分布元件(例如,OPE)740然后到达耦出光学元件(例如,EP)810。最后,光线790(例如,红光)穿过波导690以照射到波导690的光耦入光学元件720上。光耦入光学元件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,然后通过TIR传播到耦出光学元件(例如,EP)820。然后,耦出光学元件820最终将光线790耦出到观看者,观看者还接收来自其他波导670、680的耦出光。

[0122] 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以及与每个波导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可以垂直对准。然而,如本文所讨论的,耦入光学元件700、710、720不是垂直对准的;相反,耦入光学元件优选地是非重叠的(例如,如在俯视图所见,横向间隔开)。如本文进一步讨论的,该非重叠空间布置有助于将来自不同源的光一对一地注入到不同波导中,从而允许特定光源唯一地耦接到特定波导。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移位的瞳孔系统,并且这些布置内的耦入光学元件可以对应于子瞳孔。

[0123] 现在参考图10,并且根据一些实施例,示出了示例性光学结构1400的横截面侧视图,该光学结构1400包括由多个纳米结构1420形成的超表面1418和直接设置在纳米结构1420之上的抗反射涂层1430。超表面1418和抗反射涂层1430可以设置在光学透射基板1410上。在一些实施例中,如图所示,抗反射涂层1430填充纳米结构1420之间的空间,使得至少位于超表面1418的大部分区域之上在纳米结构1420与抗反射涂层1430之间不设置空气或其他材料。抗反射涂层1430可以是光学透射的或基本上透光的。

[0124] 在一些实施例中,抗反射涂层1430具有基本平坦的顶表面1430a。抗反射涂层1430可以用作用于下伏的纳米结构1420的不均匀拓扑的平坦化层。在一些实施例中,抗反射涂层1430的顶表面1430a可以基本上平行于由纳米结构1420的顶表面1420a限定的大致水平的平面。

[0125] 抗反射涂层1430的厚度1422可以被限定为从纳米结构1420的最顶部表面1420a到抗反射涂层1430的顶部表面的距离。在一些实施例中,厚度1422可以在约10nm至约2微米的范围内。在一些实施例中,厚度1422可以为约20nm至约1微米。在一些实施例中,厚度1422可以是约25nm至约500nm、约30nm至约250nm、约40nm至约100nm以及约45nm至约55nm。在一些实施例中,厚度1422可以是约50nm。在一些实施例中,厚度1422可以大于纳米结构1420的高度,其中纳米结构1420的高度是从纳米结构1420的底部到最顶部表面1420a的距离。

[0126] 不受理论束缚,抗反射涂层1430可提供上覆介质(例如,空气)与纳米结构1420和

基板1410中的一者或两者之间的阻抗匹配,以减少反射的发生。还认为抗反射涂层1430可以引起从抗反射涂层1430a的顶表面和抗反射涂层1430b的底表面反射的光与从纳米结构1420的表面和/或基板1410的表面反向散射的光之间的相消干涉。这种干涉被认为导致被感知从光学结构1400反射的光的量的减少或消除。在一些实施例中,抗反射涂层1430减少或消除从光学结构1400反射的光的能力可能依赖于抗反射涂层1430的厚度和照射在抗反射涂层1430上的光的波长。优选地,相对于纳米结构1420的折射率和尺寸以及期望相消干涉以提供如上所述的相消干涉的光的波长,选择厚度1422。

[0127] 抗反射涂层1430可以包括光学透射材料,该光学透射材料可以具有比纳米结构1420的折射率低但是比直接上覆抗反射涂层1430且与抗反射涂层1430形成界面的介质或材料的折射率高的折射率。例如,上覆抗反射涂层1430且与抗反射涂层1430形成界面的介质可以是空气。在一些实施例中,抗反射涂层1430可具有约1.2至约2.0、约1.2至约1.7、约1.3至约1.6或约1.4至约1.5的折射率。在一些实施例中,抗反射涂层1430可具有约1.45的折射率。在一些实施例中,抗反射涂层1430的折射率也可以低于基板1410的折射率。应当理解,在一些实施例中,抗反射涂层1430相对于基板1410的较低折射率有助于基板1410内的光的TIR,以及抗反射涂层1430相对于上覆抗反射涂层1430的介质的高折射率有助于光到超表面1418的通过以耦合入到基板1410中。

[0128] 继续参考图10,为了减少由附加材料之间的界面引起的潜在反射,抗反射涂层1430可以遵循纳米结构1420的轮廓,使得用于其上设置有超表面的区域中的全部或基本上全部的在纳米结构1420与抗反射涂层1430之间基本上不存在空气或其他材料。在一些实施例中,如图所示,抗反射涂层1430直接设置在光学结构1400上,使得抗反射涂层1430将纳米结构1420包封在基板1410的表面上方。

[0129] 如本文所讨论的,抗反射涂层1430优选地包括光学透射材料。作为示例,光学透射材料可以是光学透射的有机材料,例如透明聚合物。在一些实施例中,抗反射涂层1430可以包括抗蚀剂材料,例如光致抗蚀剂材料。光致抗蚀剂的非限制性示例包括正性抗蚀剂和负性抗蚀剂。在一些实施例中,抗反射涂层1430可以包括UV光致抗蚀剂、EUV光致抗蚀剂或DUV光致抗蚀剂。

[0130] 应当理解,可以通过各种沉积工艺将抗反射涂层1430形成在纳米结构1420上。在一些实施例中,抗反射涂层1430可以作为液体施加到纳米结构1420,由此液体形成抗反射涂层1430。例如,可以通过旋涂将抗反射涂层1430作为液体沉积在纳米结构1420上。在一些实施例中,可以在例如化学气相沉积(CVD)工艺和原子层沉积(ALD)的气相沉积工艺中使用气相前体将抗反射涂层1430沉积在纳米结构1420上。

[0131] 在一些实施例中,与不包括抗反射涂层1430的基本上类似的光学结构相比,抗反射涂层1430可以将由在透射模式下操作的光学结构1400反射的入射光的量减少约50%、75%、85%、90%、95%、99%或更多。在一些实施例中,抗反射涂层可以在 -10° 至 10° 、 -20° 至 20° 、 -30° 至 30° 、 -40° 至 40° 、 -50° 至 50° 或更宽的入射角范围内实现反射光的这种减少。

[0132] 包括多个纳米结构1420的超表面1418可以被配置为操纵光,例如用于光束控制、波前成形、分离波长和/或偏振以及组合不同的波长和/或偏振。优选地,光是波长在350nm至800nm范围内的可见光。在一些实施例中,其上设置抗反射涂层的超表面可以包括具有小于可见光波长的尺寸和周期的纳米结构。应当理解,在一些实施例中,超表面1418选择性地

重定向一些波长的光,同时允许其他波长的光通过而不被重定向。这些特性通常设计为具有微米尺度的结构(例如,在光子学晶体光纤或分布式布拉格反射器中),而本文的各种实施例包括纳米尺度(例如,10-100x小尺度)上的几何形状并且提供电磁光谱的可见部分的光的选择性重定向。

[0133] 作为示例,超表面1418可以以透射模式工作,在该透射模式下,光从超表面1418的第一侧入射到超表面上、传播通过超表面1418的主体并且随后在超表面1418的相对侧上远离超表面1418传播。光在与第一侧上的光的入射方向不同的方向上远离超表面1418传播。在一些实施例中,与不包括抗反射涂层1430的超表面1418相比,抗反射涂层1430可减少或消除从超表面1418反射的光的量。在一些实施例中,与不包括抗反射涂层1430的超表面1418相比,抗反射涂层1430可能不会显著减少或影响传播通过超表面1418和远离超表面1418传播的光的量。

[0134] 在一些实施例中,支撑其上设置有抗反射涂层1430的超表面1418的基板1410可以是波导并且可以形成直视显示装置或近眼显示装置,其中波导被配置为接收输入图像信息并且以编码有图像信息的光的形式生成基于输入图像信息的输出图像。在一些实施例中,这些装置可以是可穿戴的并且构成眼镜,并且可以是本文关于图1-9C描述的显示装置。在一些实施例中,由波导接收的输入图像信息可以编码在耦合到一个或多个波导中的不同波长的多路复用光流(例如,红色,绿色和蓝色光)中。由于全内反射,耦合的光可以传播通过波导。可以通过一个或多个耦合光学元件将耦合的光从波导耦合(或输出),如上面关于图9A-9C所述。

[0135] 在一些实施例中,在其上共形地设置有抗反射涂层1430的超表面1418可以是耦合入光学元件、耦合出光学元件和/或波导的光分布元件。超表面1418和抗反射涂层1430的紧凑性和平坦性允许紧凑的波导并且允许其中多个波导形成堆叠的紧凑的波导堆叠。另外,超表面1418可以被配置为在耦合入和/或耦合出光方面提供高精度,这可以提供高图像质量。例如,高选择性可以减少通过同时输出不同颜色或波长的光形成全色图像的配置中的通道串扰,而抗反射涂层1430可以减少重影图像。

[0136] 应当理解,纳米结构1420可以具有各种尺寸并且可以相对于彼此以各种取向布置,以形成用于各种应用的超表面1418。例如,如本文所讨论的,纳米结构1420可以被布置为形成衍射光栅,例如不对称或不规则衍射光栅。在一些实施例中,超表面1418可以由多层级或分层的纳米结构1420形成。例如,纳米结构1420可以在第一层级上相对宽并且在第二层级上相对窄。在一些实施例中,超表面1418可以形成在单个层级上,并且在该层级上具有基本恒定的宽度。可以用作超表面1418的超表面的示例以下中描述:2016年11月2日提交的美国专利申请No.15/342,033(代理案卷号MLEAP.027A);2016年5月6日提交的美国临时申请No.62/333,067(代理案卷号MLEAP.066PR);2017年1月27日提交的名称为“DIFFRACTION GRATINGS FORMED BY METASURFACES HAVING DIFFERENTLY ORIENTED NANOBEAMS(由具有不同取向纳米梁的超表面形成的衍射光栅)”的美国临时申请No.62/451,608,(代理案卷号MLEAP.092PR);以及2017年1月27日提交的名称为“DIFFRACTION GRATINGS BASED ON METASURFACES HAVING ASYMMETRIC OPTICAL ELEMENTS(基于具有不对称光学元件的超表面的衍射光栅)”的美国临时申请No.62/451,615(代理案卷号MLEAP.103PR)。这些申请中的每一个都通过引用并入本文。应理解,本文公开的纳米结构1420可对应于这些申请中描述

的突起、纳米束等。在一些实施例中,光学结构1400可以是如本领域中已知的或将来开发的包括多个纳米结构的任何超表面。

[0137] 以下描述纳米结构1420的不同配置的示例。应当理解,为了描述清楚,下面讨论的纳米结构可以具有与1420不同的附图标记。然而,应当理解,下面描述的各种纳米结构(1520、1620)对应于图10的纳米结构1420。

[0138] 现在参考图11A,并且根据一些实施例,示出了包括超表面1518的示例光学结构1500的俯视图,该超表面1518包括形成不对称Pancharatnam-Berry相位光学元件(PBOE)的纳米结构1520,除了其他的之外这可能是有利的用于光控制。基板1410位于纳米结构1520下方。在一些实施例中,基板1410可以是光学透射基板,例如波导。

[0139] 现在参考图11B,并且根据一些实施例,示出了包括不对称Pancharatnam-Berry相位光学元件(PBOE)并且包括抗反射涂层1430的示例光学元件1500的透视图。如本文所述,抗反射涂层1430遵循纳米结构1520的轮廓,使得在纳米结构1520与抗反射涂层1430之间基本上不存在空气或其他材料。此外,如本文所述,抗反射涂层1430可具有基本上平坦的顶表面1430a。抗反射涂层1430可以用作用于下伏的纳米结构1520的不均匀拓扑的平坦化层。在一些实施例中,抗反射涂层1430的顶表面1430a可以基本上平行于由纳米结构1520的顶表面(未示出)限定的大致水平的平面。抗反射涂层1430的厚度1522可以被限定为从纳米结构1520的最顶部表面到抗反射涂层1430的顶部表面1430a的距离。在一些实施例中,厚度1522可以是在约10nm至约2微米的范围内。在一些实施例中,厚度1522可以为约20nm至约1微米。在一些实施例中,厚度1522可以是约25nm至约500nm、约30nm至约250nm、约40nm至约100nm以及约45nm至约55nm。在一些实施例中,厚度1522可以是约50nm。在一些实施例中,可以基于超表面被配置为重定向的光的波长来选择厚度1522,由此预期该光照射在抗反射涂层1430上。优选地,选择厚度1522以提供从抗反射涂层1430的顶表面和底表面分别反射的光之间的相消干涉,其中底表面(未示出)是抗反射涂层的与纳米结构1520的顶表面形成界面的表面。

[0140] 图11C是用于具有参考图11A-11B所述的一般结构的光学结构的作为光入射角的函数的透射和反射的曲线图。各种级的衍射透射光用“T”表示,反射光用“R”表示。在该示例中,抗反射涂层1430是具有约1.45的折射率的光学透射光致抗蚀剂,该折射率比纳米结构1520的折射率低并且比基板1410的折射率低,基板1410的折射率为约1.77并且由多晶硅形成。抗反射涂层1430的厚度1522为约50nm,并且空气与抗反射涂层1430的最顶部表面形成界面。

[0141] 从曲线图中可以看出,在大于 -20° 到大于 20° 的宽的入射角范围内,从光学结构1500反射的入射光的百分比保持低于约2%。相比之下,在相同的入射角范围内,从不包括抗反射涂层的基本类似的超表面1518反射的光的百分比被确定为约10% (未示出)。因此,在该实施例中,与不包括抗反射涂层1430的基本类似的超表面1518相比,抗反射涂层1430使从非超表面1518反射的光的量减少约80%。

[0142] 同时,对于 0° 的入射角,经历一级衍射到适合于TIR的角度(T_1)的入射在包括抗反射涂层1430的超表面1518上的光的百分比为约42%,对于约 -10° 到约 10° 的入射角保持在该级别。有利地,以适合于TIR的角度衍射的入射光的量与不包括抗反射涂层1430的基本类似的超表面1518的入射光的量基本相同。因此,包括抗反射涂层1430的超表面1518可以用

作如本文所述的光学元件1500,例如耦入光学元件,不显著减少耦入光的量,而减少反射光的量,从而减少或消除在其中包含光学元件的显示装置中的潜在重影图像。

[0143] 现在参考图12A,示出了包括超表面1618和抗反射涂层1430的示例光学元件1600的横截面透视图。超表面1618包括由具有不同宽度的纳米结构1620形成的不对称衍射光栅。图12B示出了图12A的光学元件1600的横截面侧视图。在该示例中,基板1410包括具有约1.77的折射率的蓝宝石。多个纳米结构1620包括非晶硅。抗反射涂层1430可以包括具有约1.45的折射率的光学透射光致抗蚀剂材料,并且在一些实施例中,可以通过旋涂共形地将抗反射涂层1430施加到不对称衍射光栅1618。抗反射涂层1430的厚度1622,即,从纳米结构1620的最顶部表面1620a到抗反射涂层1430的顶表面1430a的距离为约50nm。

[0144] 图12C是用于具有图12A-12B中所示的一般结构的光学元件的透射和反射光谱的曲线图。从曲线图中可以看出,在大于 -30° 到大于 30° 的宽的入射角范围内,从包括抗反射涂层1430的光学元件1600反射的入射光的百分比保持低于约2%。对于约 -15° 至约 15° 的入射角,从包括抗反射涂层1430的光学元件1600反射的光的百分比为约0。

[0145] 相比之下,从不包括抗反射涂层1430的基本类似的光学元件1600反射的光的百分比在相同的入射角范围内为约15% (未示出)。因此,在该实施例中,与不包括抗反射涂层1430的基本类似的光学元件1600相比,抗反射涂层1430使从光学元件1600反射的光量减少约87%。

[0146] 同时,对于约 -30° 到约 20° 的入射角,经历一级衍射到TIR (T1) 的入射到包括抗反射涂层1430的光学元件1600的光的百分比大于约30%。有利地,用于包括抗反射涂层1430的光学元件1600的衍射到TIR的入射光的量与用于不包括抗反射涂层1430的基本类似的光学元件1600的衍射到TIR的光的量基本相同。因此,包括抗反射涂层1430的光学元件1600可以用作如本文所述的光学元件,例如耦入光学元件,不显著减少耦入光的量,而减少反射光的量,从而减少或消除潜在重影图像,如本文所讨论的。

[0147] 应当理解,本文公开的金属表面和纳米结构可以通过图案化形成,例如通过光刻和蚀刻的图案化。在一些实施例中,可以使用纳米压印来图案化超表面和纳米结构,从而避免昂贵的光刻和蚀刻工艺。一旦纳米结构被图案化,在一些实施例中,可以去除任何掩模材料,并且如本文所述,可以在超表面之上施加、沉积或形成抗反射涂层1430。在一些其他实施例中,掩蔽材料本身可用作抗反射涂层。图13A-13D和图14A-14D示出了用于形成具有抗反射涂层的光学结构的工艺流程的示例。

[0148] 图13A-13D分别示出了根据一些实施例的在使用光刻和蚀刻制造具有超表面1418、1518、1618的光学元件1400、1500、1600的各个制造阶段的中间结构1700A-1700D的横截面图。参照图13A的中间结构1700A,该方法包括提供基板1410,该基板1410具有适于在其上形成超表面1418、1518、1618的表面1410S。基板1410包括具有折射率 n_2 和上面参考图10描述的各种其他材料属性的光学透射材料。该方法另外包括在表面1410S上形成具有折射率 n_{1_bulk} 的高折射率层1411。当图案化高折射率层1411时,高折射率层1411适合于形成一个或多个纳米结构1420、1520、1620,如上文参考图10-12所述。根据一些实施例,可以使用任何合适的技术沉积高折射率层1411,例如化学气相沉积 (CVD),包括基于等离子体的CVD工艺 (例如等离子体增强化学气相沉积 (PECVD)) 和基于热的CVD工艺 (例如低压化学气相沉积 (LPCVD))。除了其他技术之外,还可以使用物理气相沉积 (PVD)、蒸发和原子层沉积来沉积

高折射率层1411。该方法另外包括在高折射率层1411上形成掩蔽层1431A。掩蔽层1431A可以由一个或多个材料层形成或包括一个或多个材料层,这些材料层适合于提供用于随后蚀刻下伏高折射率层1411的模板。在一些实施例中,掩蔽层1431A可以是光致抗蚀剂,其可以被旋涂,然后进行后烘烤。在一些其他实施例中,掩蔽层1431A可以包括多个层,包括形成在高折射率层1411上的硬掩模层和形成在硬掩模层上的光致抗蚀剂层。例如,当在随后的蚀刻图案转移到下伏高折射率层1411期间,光致抗蚀剂层可能不提供足够的蚀刻选择性时,可以包括硬掩模层。硬掩模层也可以用作抗反射涂层以最小化在随后的曝光工艺期间的反射。在一些实施例中,硬掩模层可以是旋涂的聚合物或通过用于沉积高折射率层1411的任何沉积技术沉积的膜。当包括硬掩模层时,硬掩模层可以提供比上覆的光致抗蚀剂层更大的蚀刻选择性。在一些实施例中,光致抗蚀剂可以是正性光致抗蚀剂或负性光致抗蚀剂。正性光致抗蚀剂是其中光致抗蚀剂的暴露于光的部分变得可溶于光致抗蚀剂显影剂的光致抗蚀剂类型,而负性抗蚀剂是其中光致抗蚀剂的暴露于光的部分变得不可溶于光致抗蚀剂显影剂的光致抗蚀剂类型。

[0149] 在一些实施例中,光致抗蚀剂和/或硬掩模层可以由包含硅或硅氧化物的材料形成,其可以具有对高折射率层1411的足够的蚀刻选择性,使得光致抗蚀剂和/或硬掩模层通过蚀刻下伏高折射率层1411保持相对完整。在这些实施例中,在图案化之后,含硅或硅氧化物的光致抗蚀剂和/或硬掩模层可以保留在一个或多个纳米结构1420、1520、1620的顶部上,如上面参考图10-12所述。

[0150] 参考图13B的中间结构1700B,在沉积和后沉积烘烤之后,该方法包括通过选择性地光致抗蚀剂的部分暴露于光图案来图案化掩模层1431的光致抗蚀剂层。暴露于例如相干UV光或电子光束的光引起化学变化,例如光致抗蚀剂中的聚合物交联,其允许通过用于正性光致抗蚀剂的显影剂溶液选择性地去除光致抗蚀剂的曝光部分,或者允许通过用于负性光致抗蚀剂的显影剂溶液选择性地去除光致抗蚀剂的未曝光部分。在选择性地去除时,所得到的图案化的掩蔽光致抗蚀剂保留在高折射率层1411上,从而在包括例如蚀刻时用作随后图案化下伏硬掩模层的模板。所得到的中间结构1700C示出了图案化的掩蔽层1411,其包括图案化的光致抗蚀剂和可选的图案化的硬掩模层(当包括时)。

[0151] 参照图13C的中间结构1700C,图案化的掩蔽层1431可用作模板以将下伏高折射率层1411蚀刻成一个或多个纳米结构1420、1520、1620。应当理解,可以基于所得到的超表面的期望特性,根据需要配置纳米结构1420、1520、1620。在一些实施例中,纳米结构1420、1520、1620可以包括在第一横向方向(例如,y方向)上延伸的特征和在第二方向(例如,x方向)上延伸的多个第二纳米结构1420、1520、1620,如上面参考图10-12更详细地描述。在各种实施例中,可以蚀刻高折射率层1411,例如,各向异性干法蚀刻。所采用的蚀刻工艺可以具有对掩蔽层1431和/或基板1410的合适的选择性,使得去除高折射率层1411的部分而不会过早地去除掩蔽层1431和/或不会不期望地损坏基板1410的暴露部分。

[0152] 参考中间结构1700D,在一些实施例中,从其去除一个或多个纳米结构1420、1520、1620上的掩蔽层1431。掩蔽层1431的抗蚀剂部分可以在称为灰化的工艺中通过例如使用液体抗蚀剂剥离剂或基于氧的等离子体而去除。如果需要并且当包括硬掩模层时,可以随后使用湿法或干法蚀刻工艺去除下伏硬掩模层,该工艺选择性地去除硬掩模而基本上不影响一个或多个纳米结构1420、1520、1620或基板1410。可以例如通过旋涂或通过化学气相沉积

以及随后的气相沉积层的平坦化在纳米结构1420、1520、1620上和侧面沉积抗反射涂层。

[0153] 在一些其他实施例中,例如,上面参考图10-12描述的实施例,掩模层1431(例如,光致抗蚀剂/硬掩模或硬掩模)可以保留而不被去除。在这些实施例中,掩模层1431可以包括如本文参考图10-12所述的抗反射涂层1430。

[0154] 图14A-14D分别示出了根据一些实施例的在制造具有超表面1418、1518、1618的光学元件1400、1500、1600的各个阶段的中间结构1800A-1800D的横截面图。在一些实施例中,分别形成图14A、14C和14D的中间结构1800A、1800C和1800D的方法类似于分别形成图13A、13C和13D的中间结构1700A、1700C和1700D的方法。然而,形成图14B的中间结构1800B的方法不同于形成图13B的中间结构1700B的方法,其区别在下面描述。

[0155] 参考图14B的中间结构1800B,与上面参照图13B描述的方法不同,代替通过使用光或电子光束选择性地曝光和去除光致抗蚀剂的部分来图案化光致抗蚀剂层,在所示实施例中,使纳米压印模板1432或纳米压印模具与掩蔽层1431A的压印抗蚀剂接触,该纳米压印模板1432或纳米压印模具具有根据一个或多个纳米结构1420、1520、1620的形成的预限定拓扑图案。在一些实施例中,在一定温度下(例如,高于压印抗蚀剂的玻璃化转变温度)将模板1432压入由热塑性聚合物形成的压印抗蚀剂中,从而将模板1432的图案转印到软化的压印抗蚀剂中。在冷却之后,模板1432与压印抗蚀剂分离,并且图案化的抗蚀剂留在高折射率层1411上。在一些其它实施例中,在压入压印抗蚀剂之后,压印抗蚀剂通过在UV光下的交联而硬化。

[0156] 参考图15,并且根据一些实施例,在如上文关于图13D和14D所述从一个或多个纳米结构1420、1520、1620去除掩蔽层1431之后,可以例如通过诸如化学气相沉积工艺或原子层沉积工艺的气相沉积工艺在纳米结构1420、1520、1620上共形地沉积抗反射涂层1430。因此,在一些实施例中,沉积的抗反射涂层1430可以是上覆纳米结构1420、1520、1620的共形层,并且遵循纳米结构1420、1520、1620的轮廓,而不完全填充分离那些纳米结构的体积。

[0157] 在前述说明书中,已经描述了各种具体实施例。然而,显而易见的是,在不脱离本发明的更广泛的精神和范围的情况下,可以对其进行各种变型和改变。因此,说明书和附图应被视为示例性的而非限制性意义的。

[0158] 实际上,应当理解,本公开的系统和方法各自具有若干创新性方面,这些方面中的任一单个方面不单独负责本文所公开的期望特性或不是本文所公开的期望特性所必需的。上述各种特征和过程可彼此独立使用或可以以各种方式组合使用。所有可能的组合和子组合均旨在落入此公开的范围。

[0159] 在单独实施方式的上下文中在此说明书所述的某些特征也能在单个实施方式中组合实现。相反,在单个实施方式的上下文中所述的各种特征也能在多个实施方式中单独地或以任何合适的子组合实现。此外,尽管上文可将特征描述为以某些组合执行,甚至最初这样要求保护,但在一些情况下,来自所要求保护的组合的一个或多个特征能被从该组合中删除,且所要求保护的组合可涉及子组合或子组合的变体。任何单个特征或特征组对于每个实施例都不是必需或不可或缺的。

[0160] 本文中使用的条件语,诸如(除其他项外)“能”、“能够”、“可能”、“可以”、“例如”等一般旨在表达某些实施例包括而其他实施例不包括某些特征、元素和/或步骤,另有具体说明或在上下文中另有理解除外。因此,这样的条件语一般不旨在暗示特征、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具有或没有程序设计者输入或提示的情况下决定这些特征、元素和/或步骤是否包括在或者是否将在任何具体实施例中执行的逻辑。术语“包括”、“包含”、“具有”等是同义词,且以开放式的方式包含性地使用,且不排除额外的元素、特征、动作、操作等。此外,术语“或”以其包含性含义(而不是其专有性含义)使用,因此,当被用于例如连接元素列表时,术语“或”意味着列表中的一个、一些或全部元素。另外,本申请和所附权利要求书中使用的冠词“一”、“一个”和“所述”应被解释为意味着“一个或多个”或“至少一个”,另有具体说明除外。类似地,虽然操作在附图中可以以特定顺序描绘,但应认识到,这样的操作不需要以所述特定顺序或以相继顺序执行,或执行所有例示的操作以实现期望的结果。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,未示出的其他操作能并入示意性地示出的示例方法和过程中。例如,能在任何所示操作之前、之后、同时或期间执行一个或多个附加操作。另外,在其他实施方式中,操作可被重新排列或重新排序。在某些情况下,多任务和并行处理可具有优势。此外,上述实施方式描述的各种系统组件的分离不应被理解为在所有实施方式中都需要这种分离,且应该理解,所述程序组件和系统一般能被一起集成在单个软件产品中或封装到多个软件产品中。另外,其他实施方式处于以下权利要求的范围内。在一些情况下,权利要求中列举的动作能以不同的顺序执行,且仍实现期望的结果。

[0161] 因此,权利要求不旨在限于本文所示的实施例,而是符合与本公开相一致的最宽范围、本文公开的原理和新颖特征。

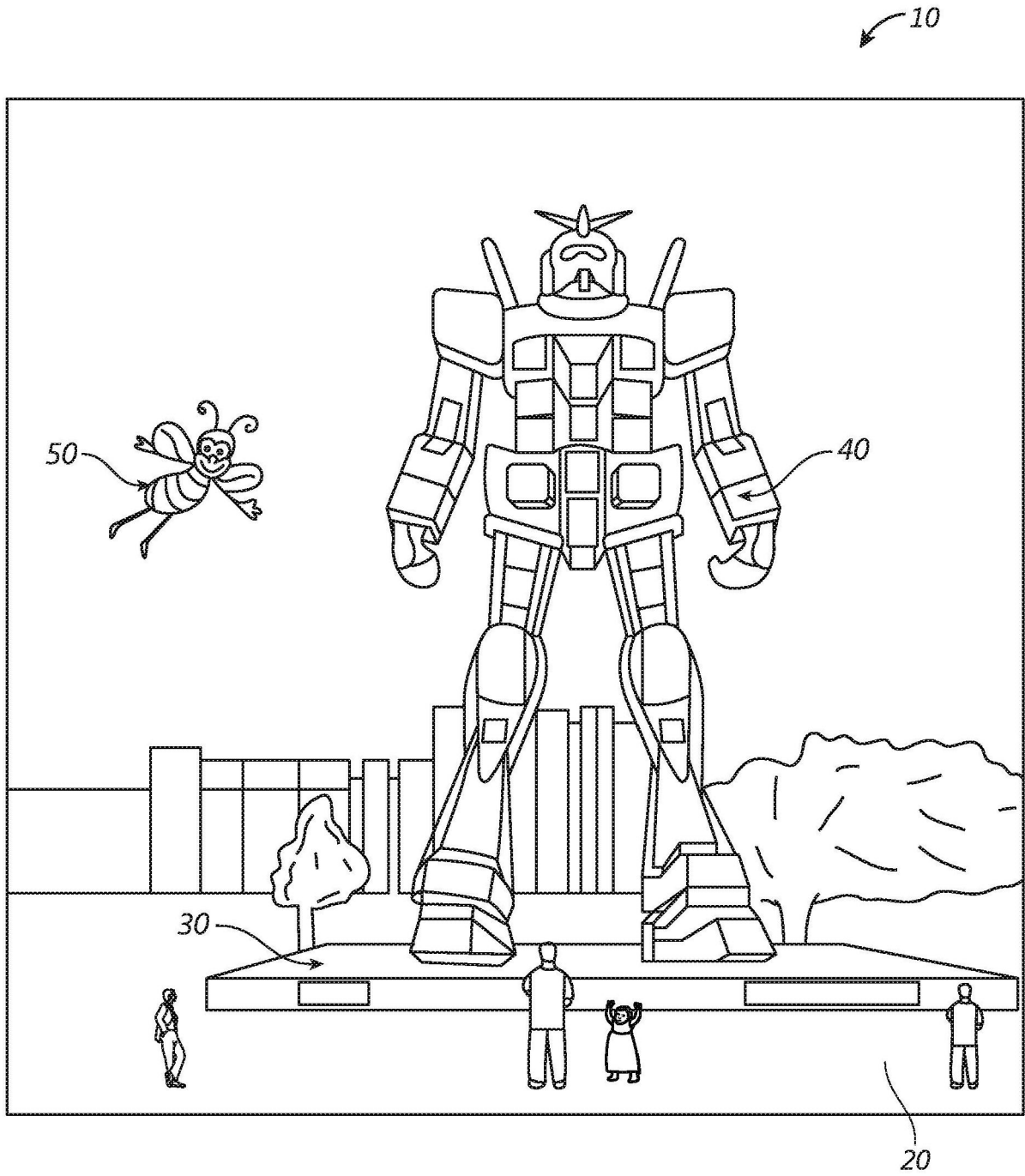


图1

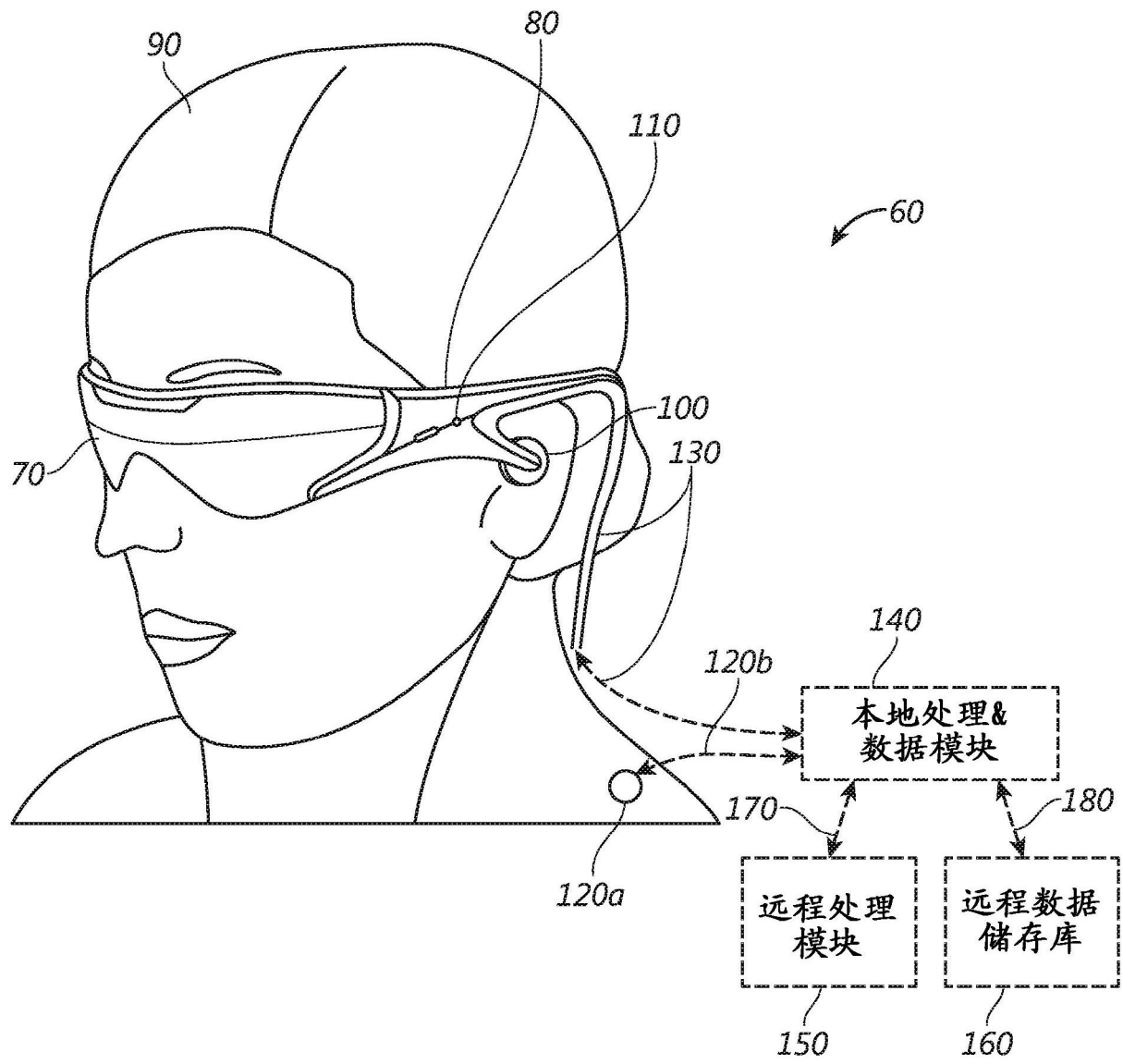


图2

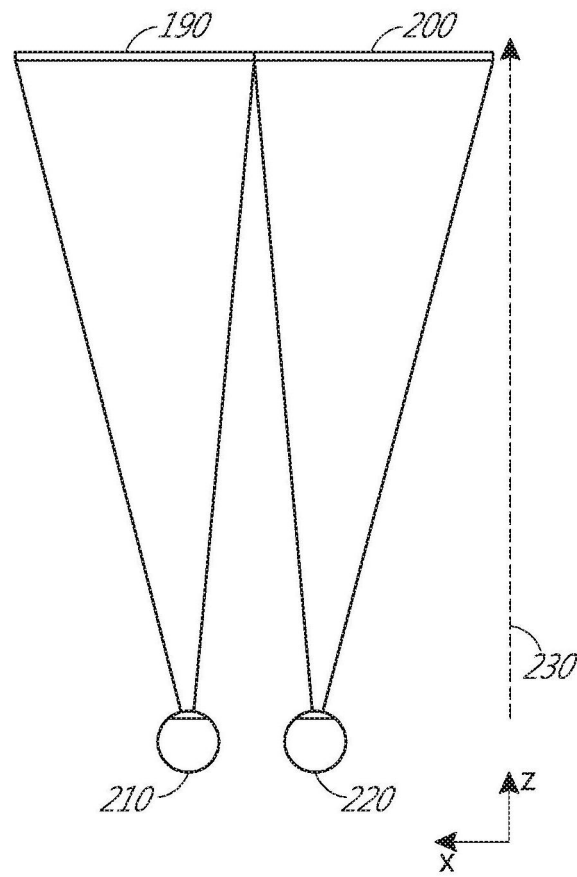


图3

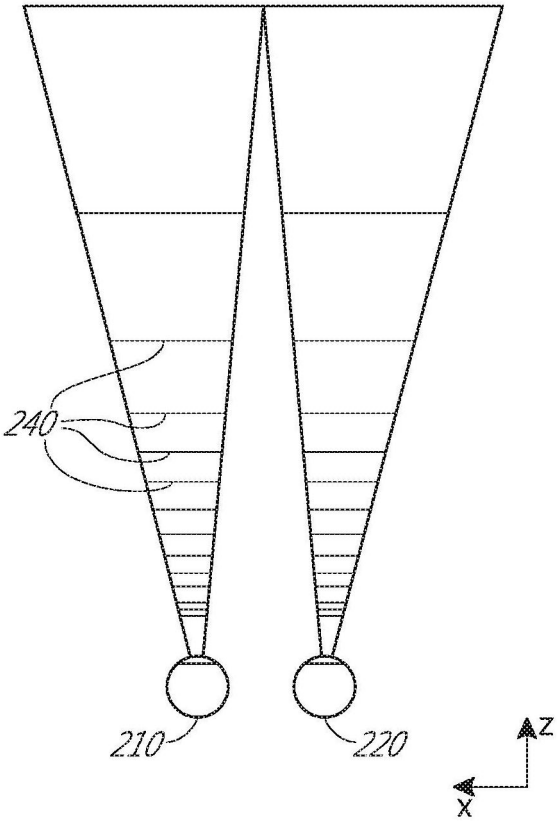


图4

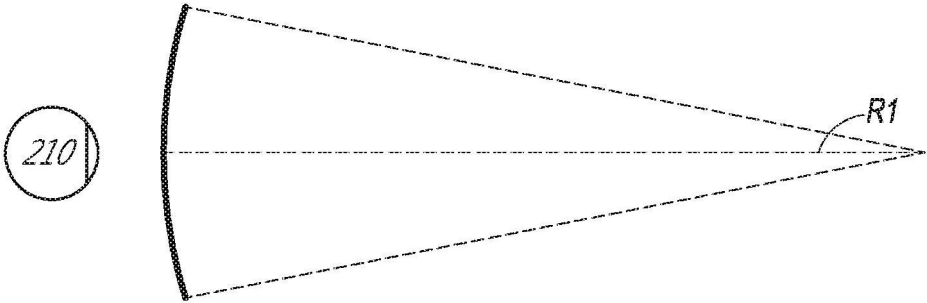


图5A

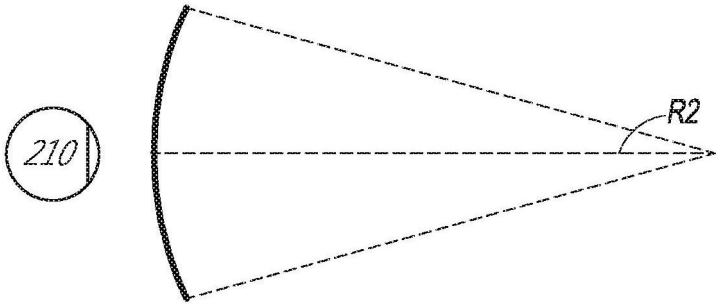


图5B

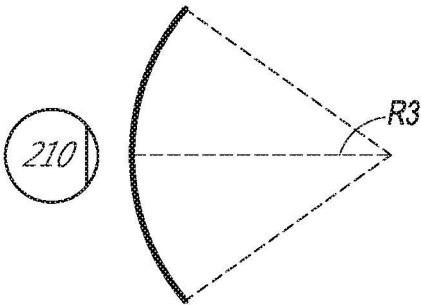


图5C

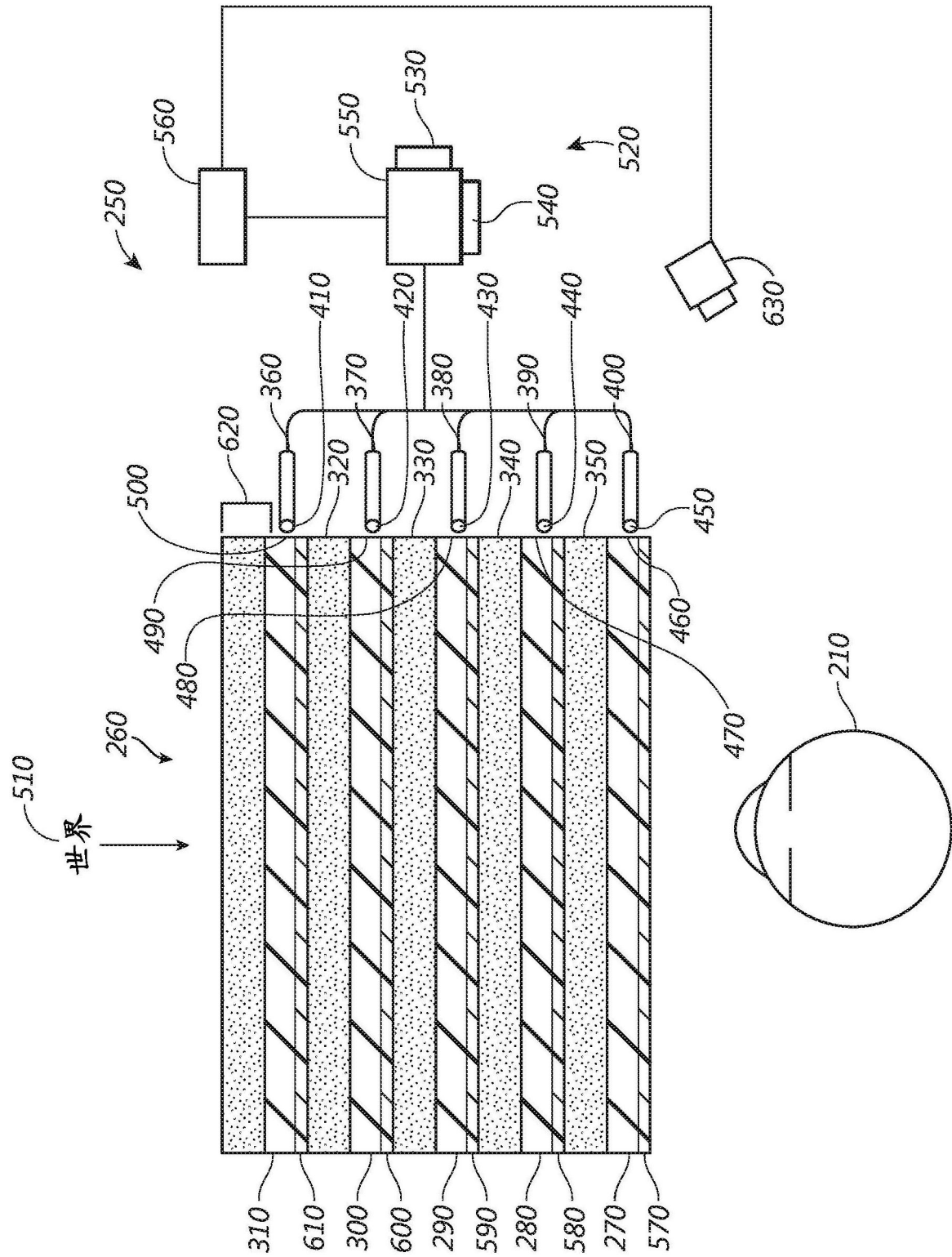


图6

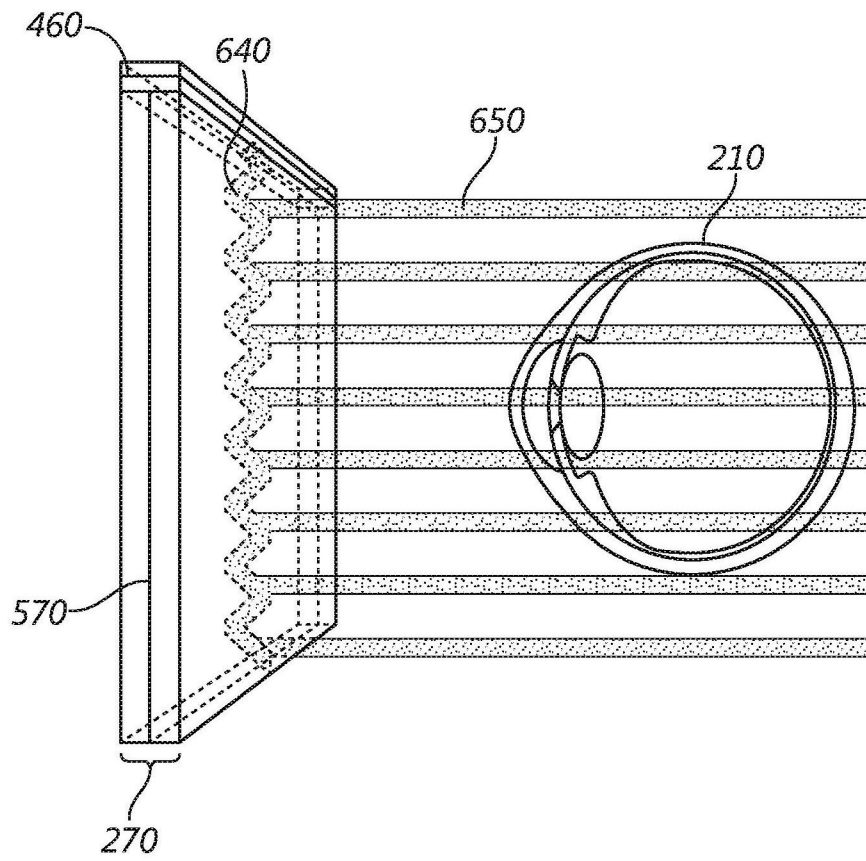


图7

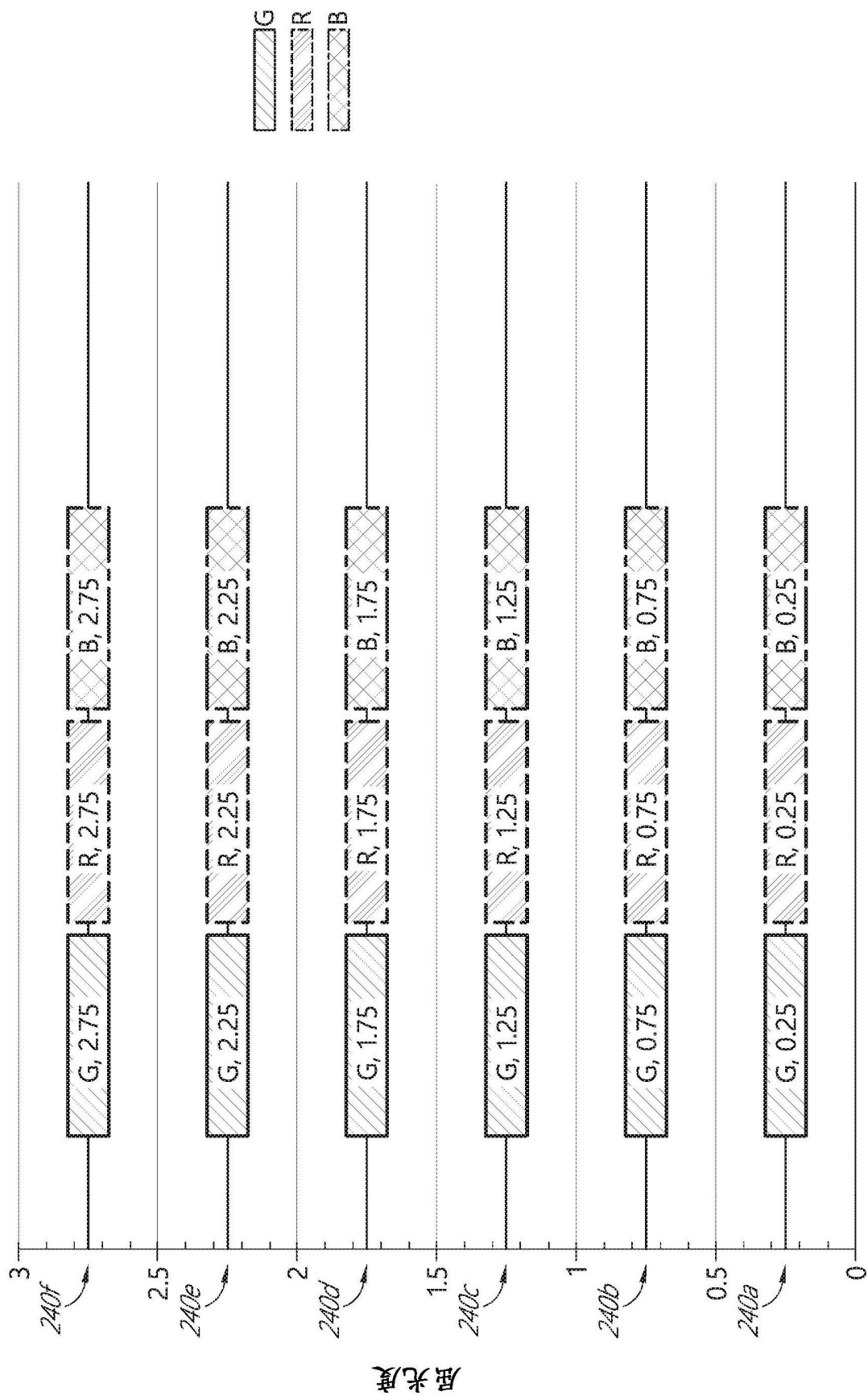


图8

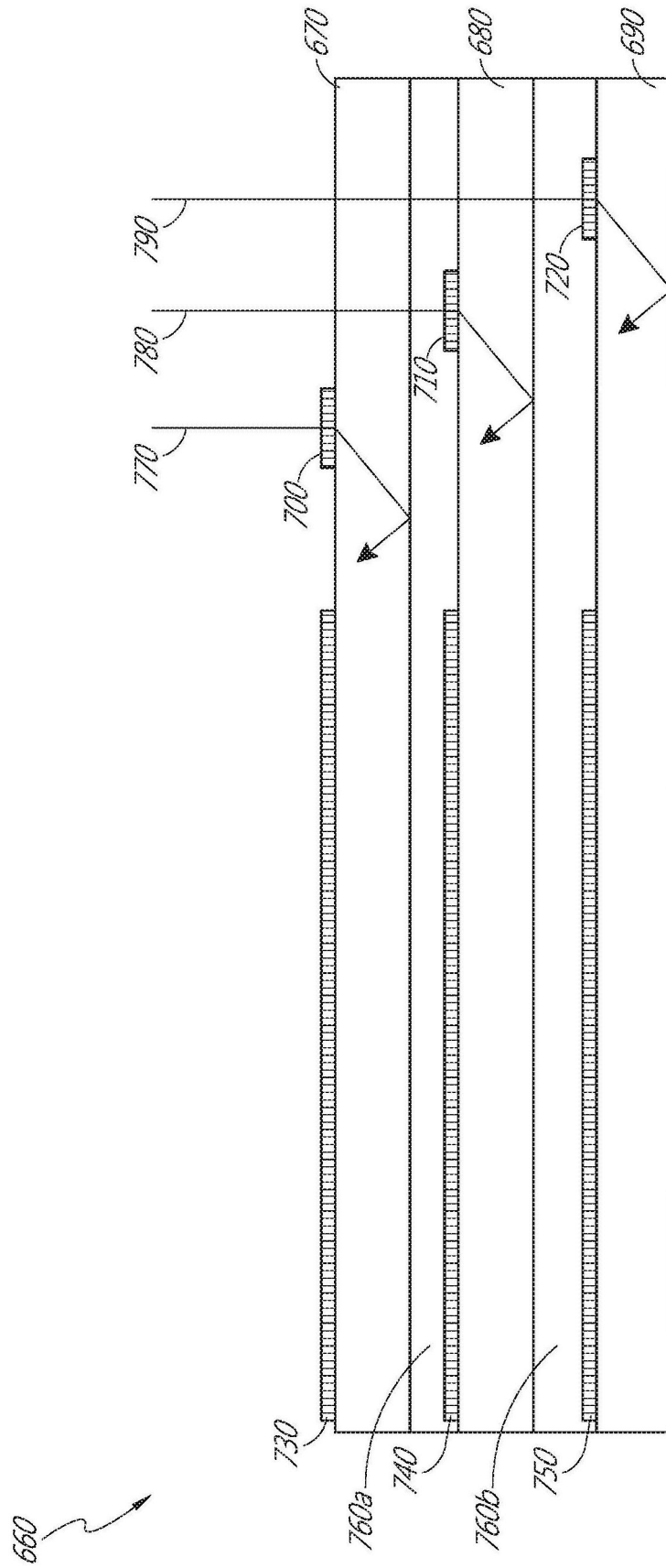


图9A

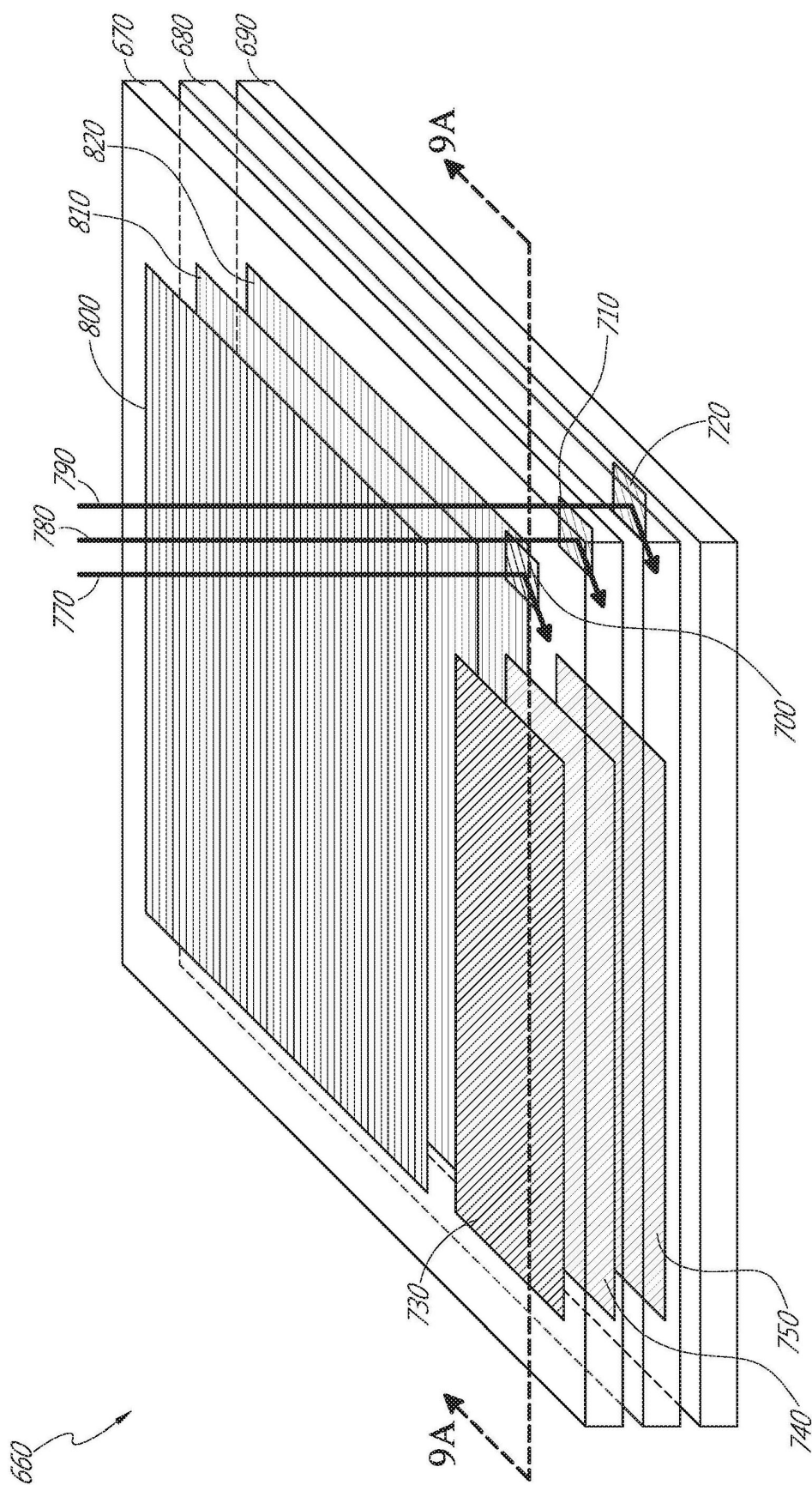


图9B

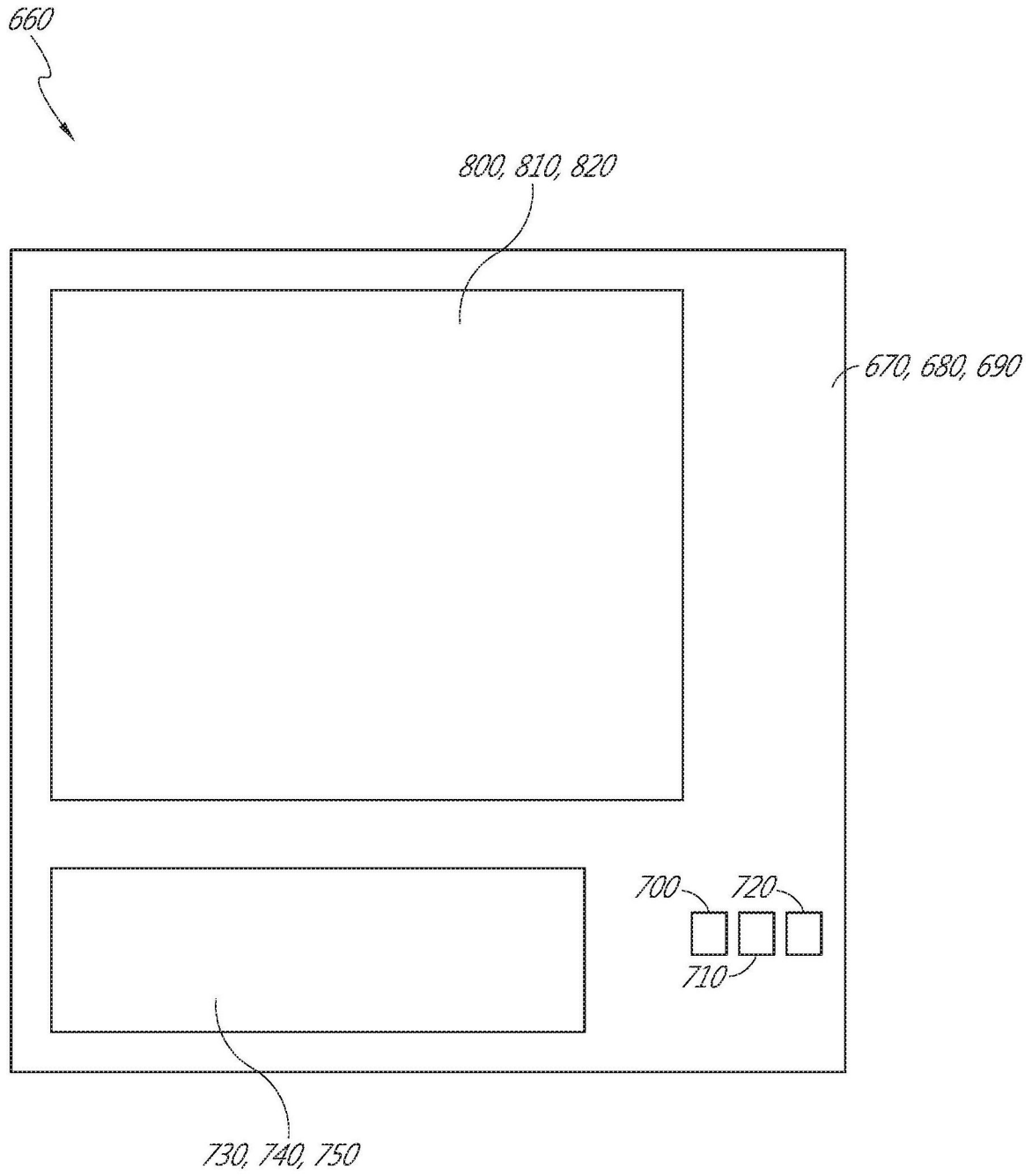


图9C

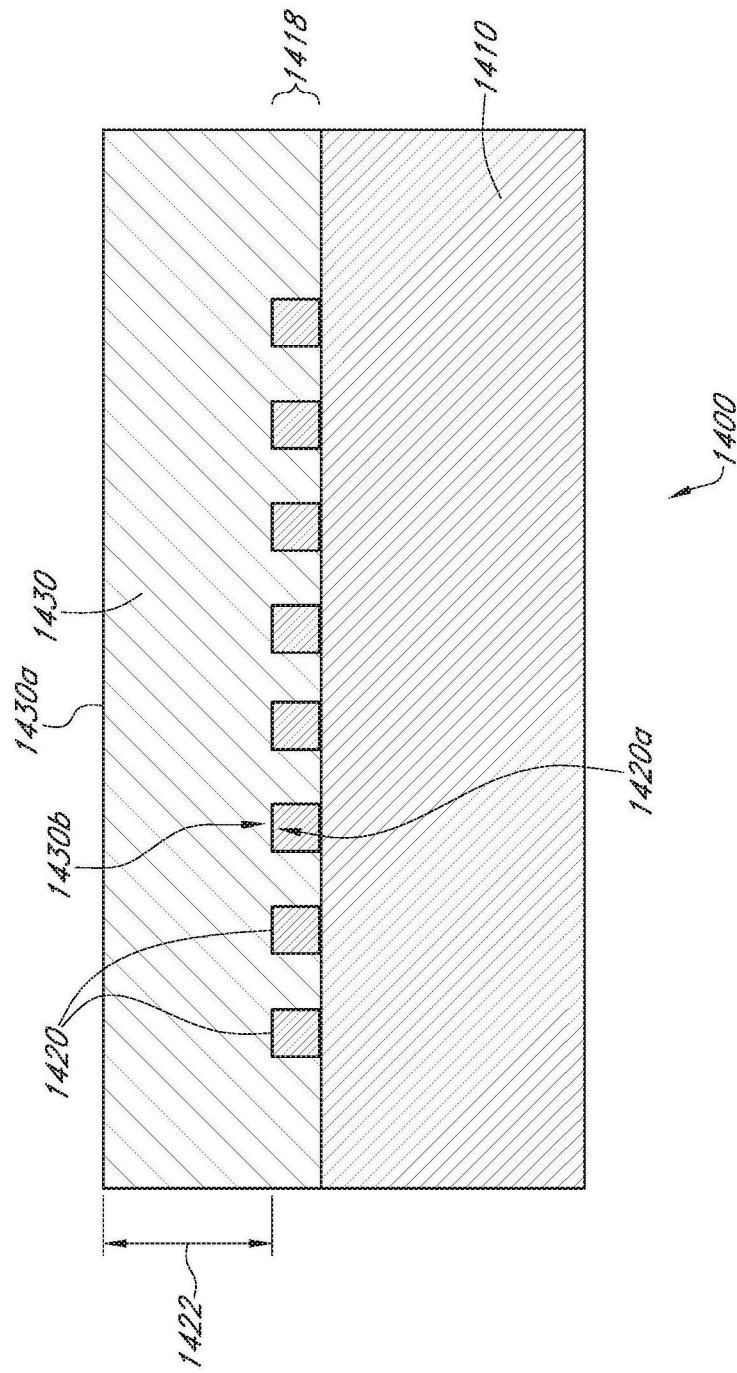


图10

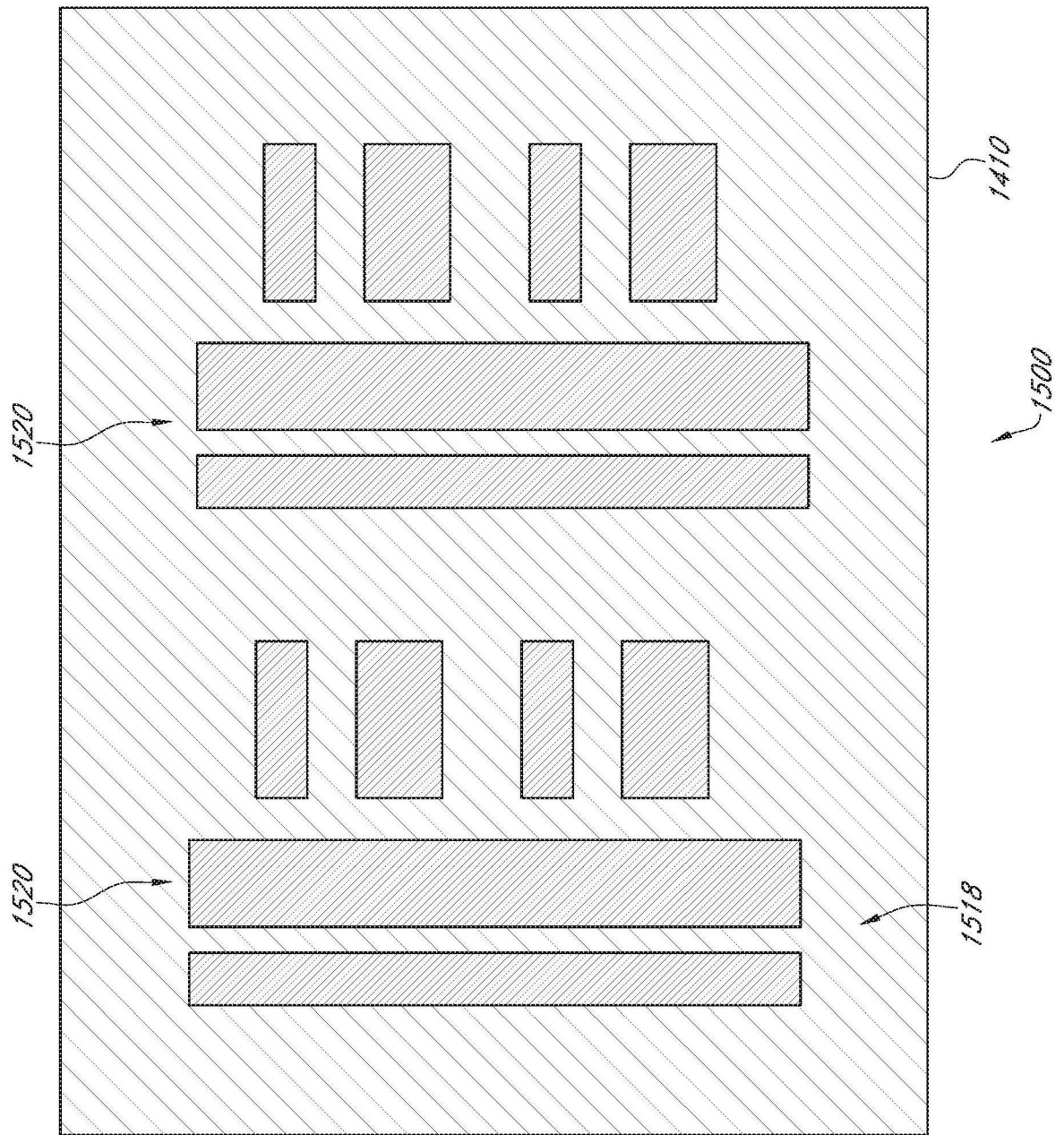


图11A

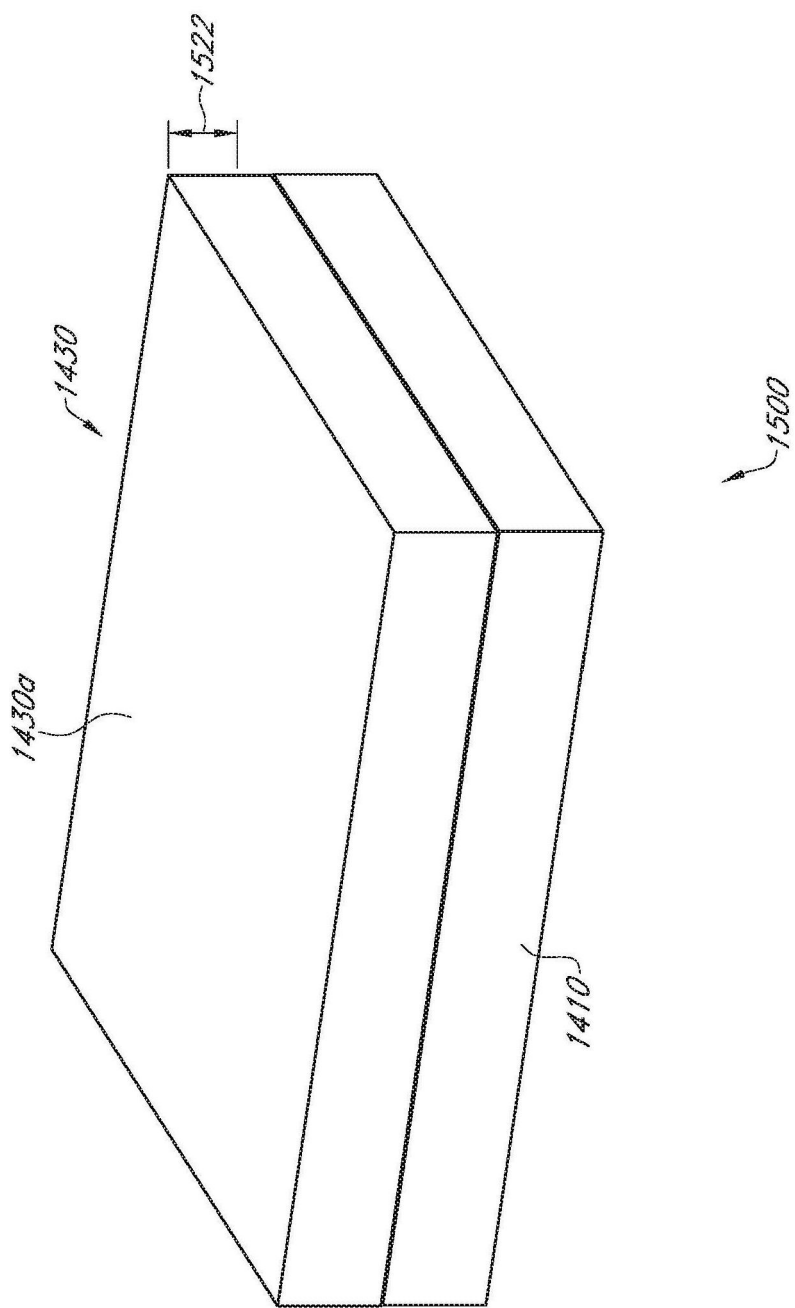


图11B

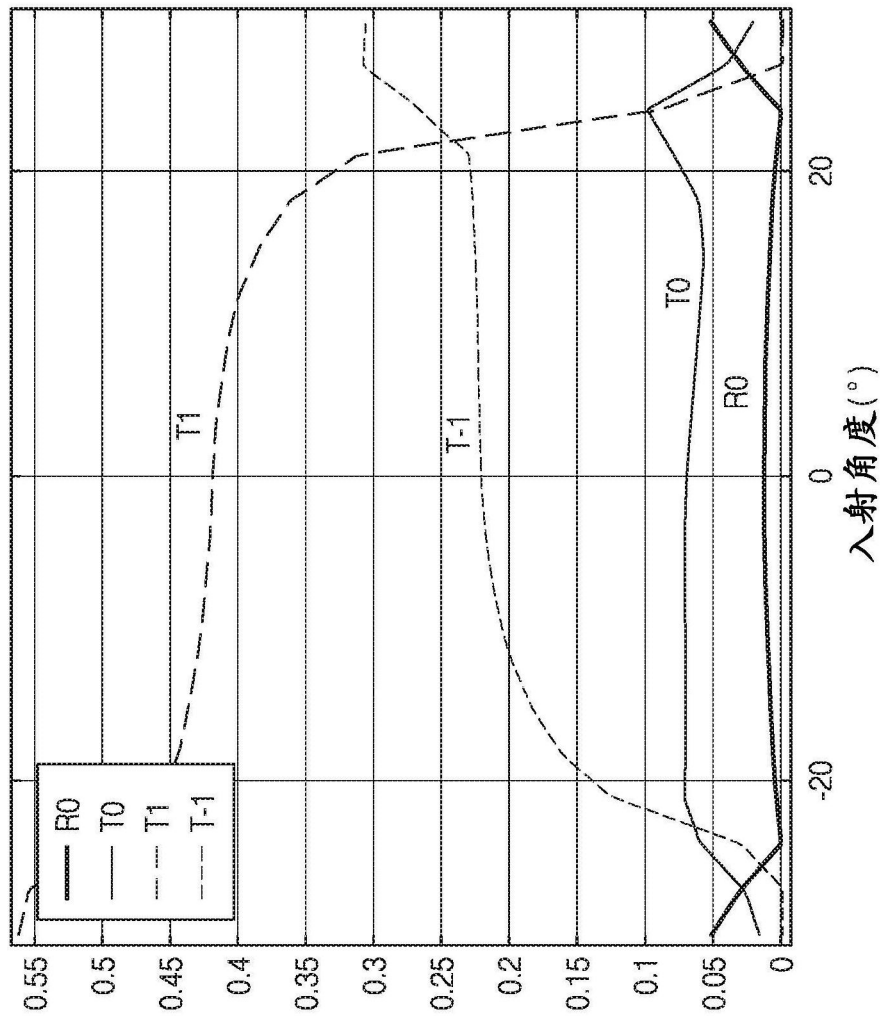


图11C

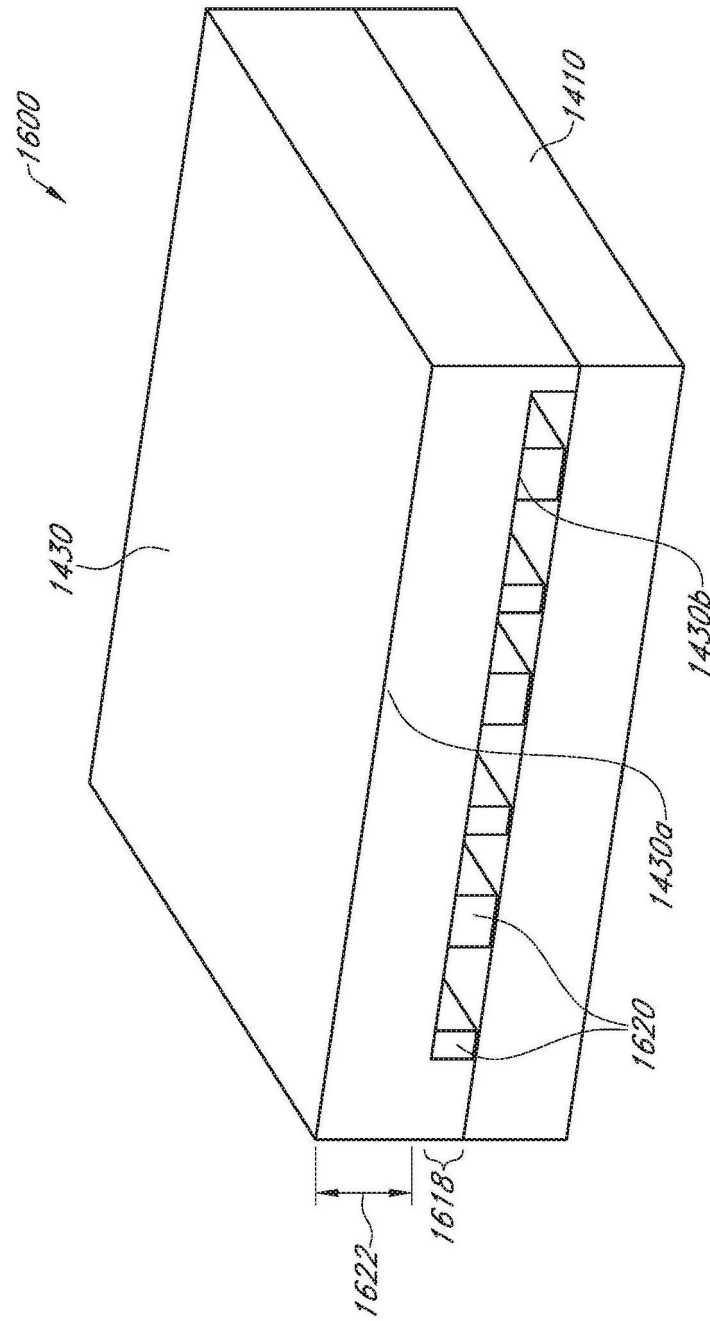


图12A

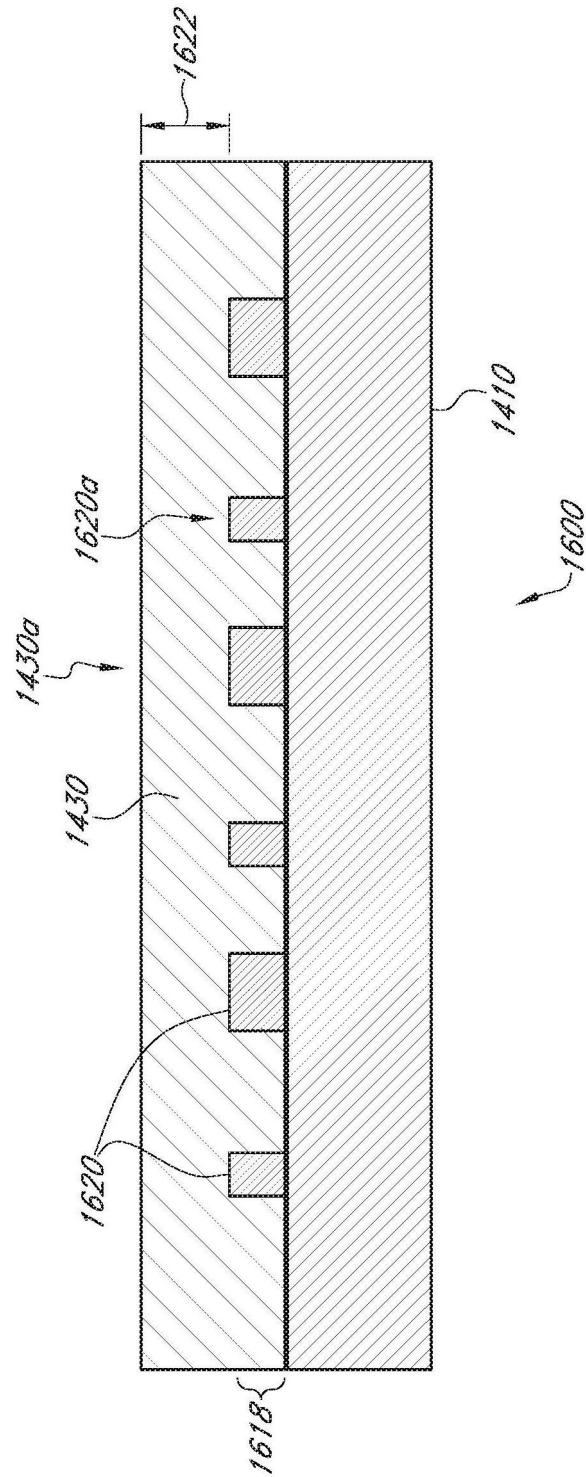


图12B

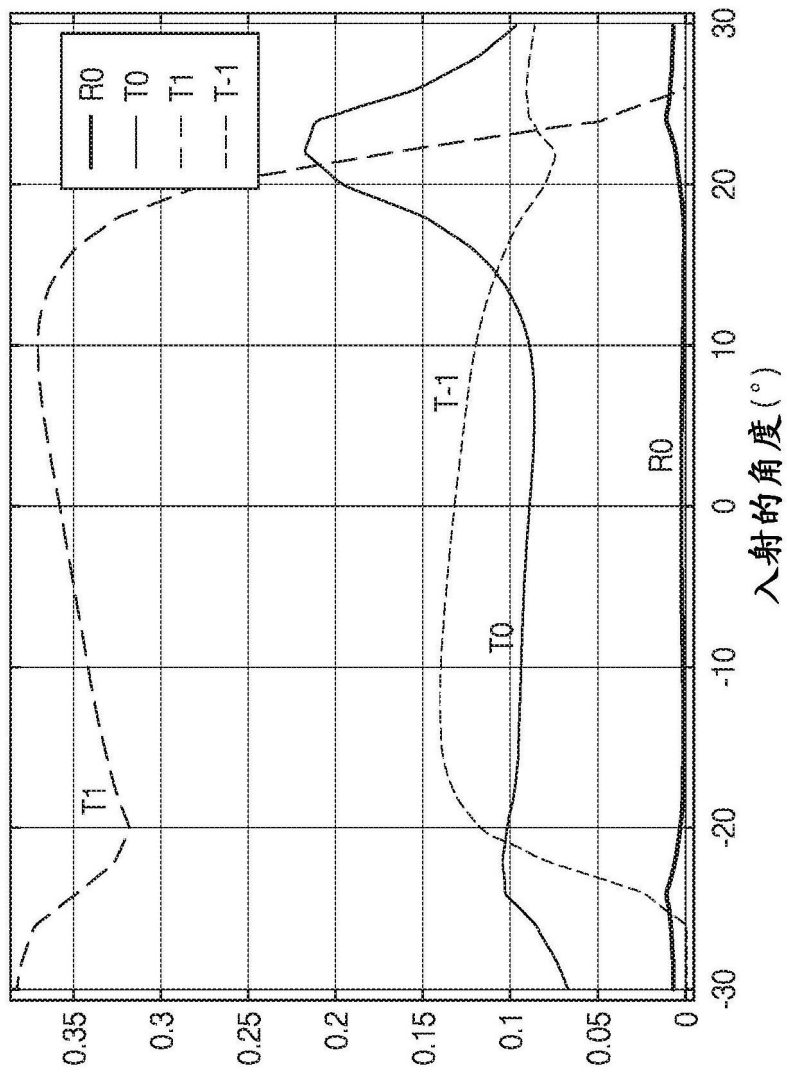


图12C

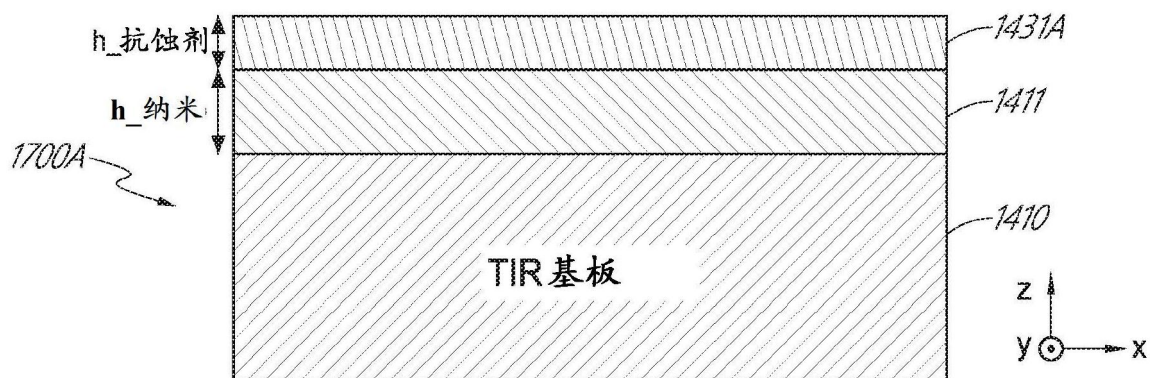


图13A

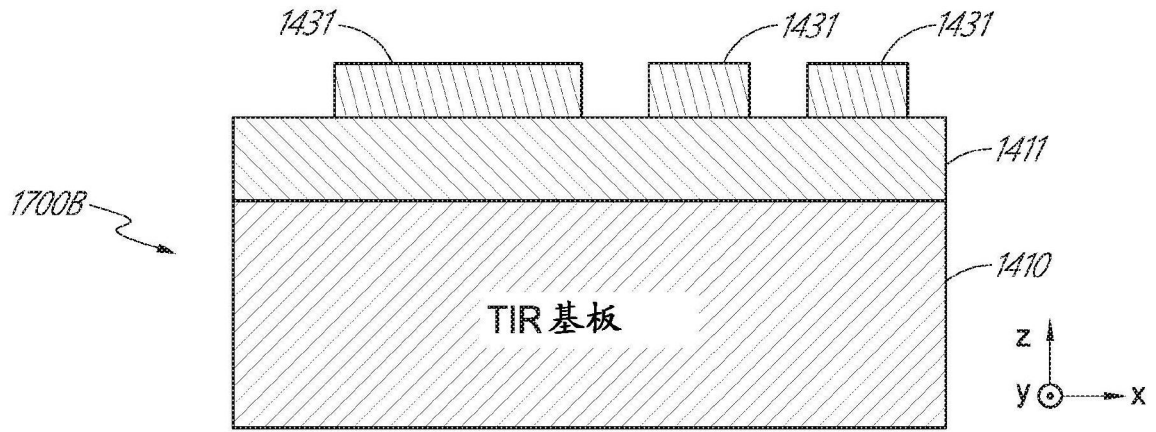


图13B

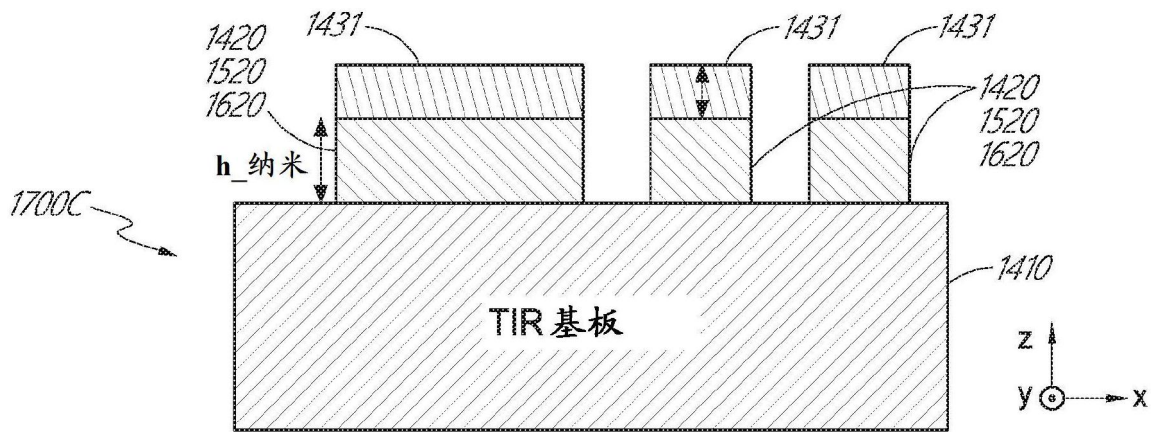


图13C

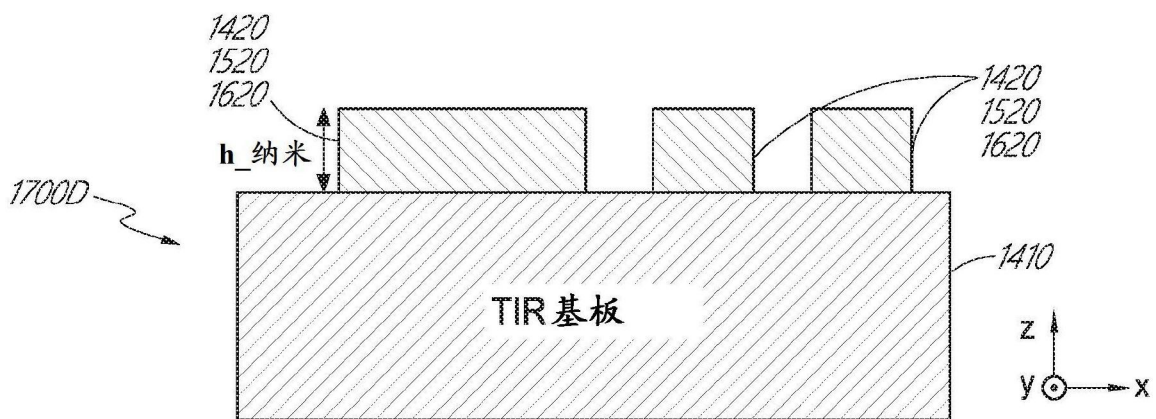


图13D



图14A

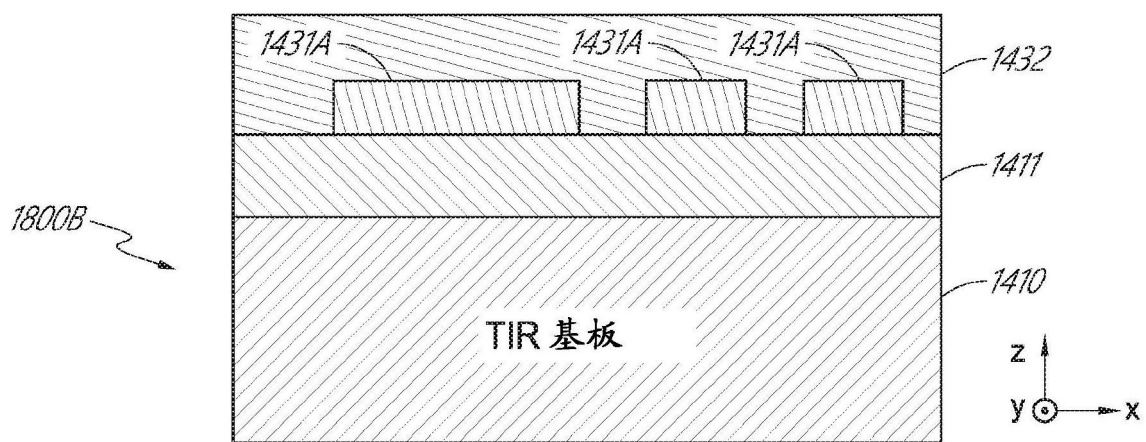


图14B

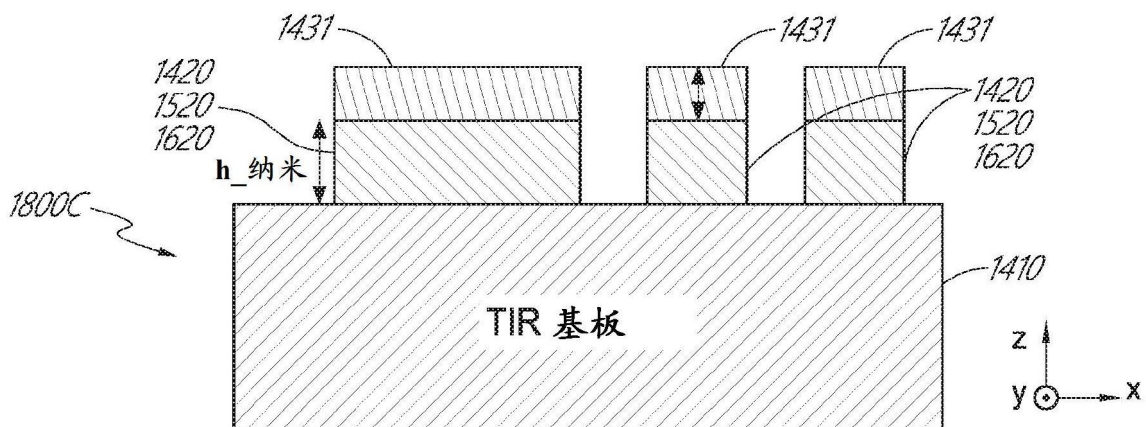


图14C

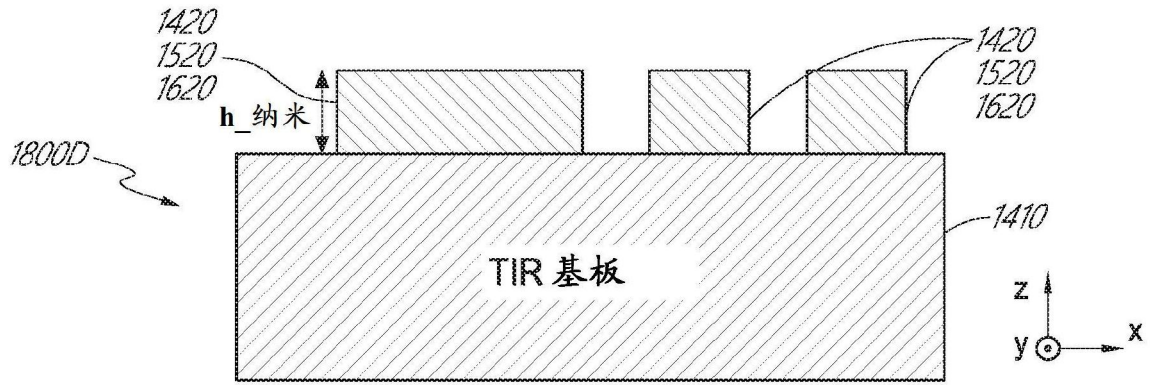


图14D

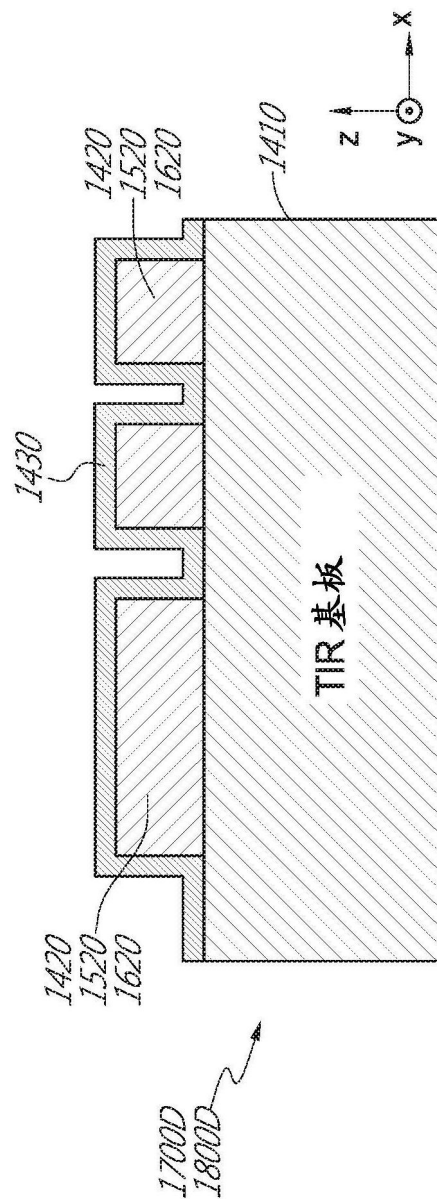


图15