(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 116184651 A
(43)申请公布日 2023.05.30

(21)申请号 202310086465.2
(22)申请日 2020.06.11
(30)优先权数据
62/861,646 2019.06.14 US
(62)分案原申请数据
202080043479.0 2020.06.11
(71)申请人 奇跃公司
地址 美国佛罗里达州
(72)发明人 K·罗 V·辛格 N-W·皮
杨书强 F·Y·徐
(74)专利代理机构 北京市中咨律师事务所 11247
专利代理师 牛南辉 于静
(51)Int.Cl.
G02B 25/00(2006.01)
G02B 6/293(2006.01)

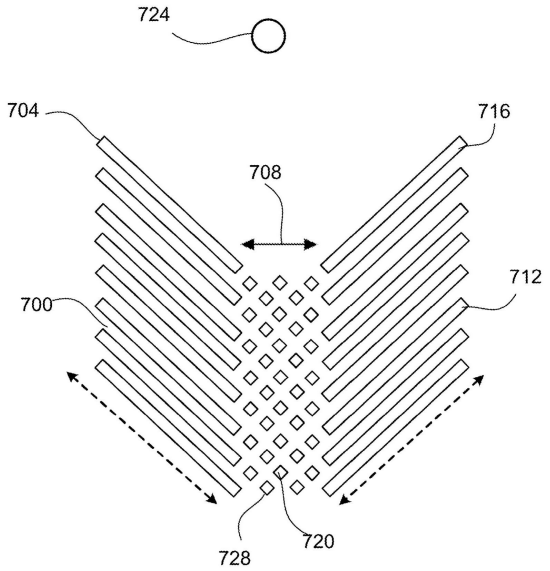
权利要求书3页 说明书19页 附图17页

(54)发明名称

使用光栅耦合器的单侧图案化的光学目镜

(57)摘要

本发明涉及使用光栅耦合器的单侧图案化的光学目镜。目镜包括基板和在基板的单侧上图案化的耦入光栅。第一光栅耦合器被图案化在基板的单侧上并且具有第一光栅图案。第一光栅耦合器被光学耦合到耦入光栅。第二光栅耦合器邻近第一光栅耦合器被图案化在基板的单侧上。第二光栅耦合器具有不同于第一光栅图案的第二光栅图案。第二光栅耦合器被光学耦合到耦入光栅。



CN 116184651 A

1.一种目镜,包括:

耦入光栅,其被图案化在基板的单侧上,并被配置为将从投影仪接收的光衍射成所述光的第一部分和所述光的第二部分,

其中,所述第一部分相对于从所述投影仪接收的所述光具有第一取向,并且所述第二部分相对于从所述投影仪接收的所述光具有第二取向,并且

其中,所述第二取向不同于所述第一取向;以及

衍射光栅,其被图案化在所述基板的所述单侧上并被配置为执行以下操作:

从所述耦入光栅接收所述光的所述第一部分和所述光的所述第二部分;

衍射所述光的所述第一部分和所述光的所述第二部分;以及

组合所述光的经衍射的第一部分和所述光的经衍射的第二部分,其中,所述衍射光栅包括:

第一光栅耦合器;以及

第二光栅耦合器,

其中,所述第一光栅耦合器被配置为将所述光的经衍射的第一部分引导到所述第二光栅耦合器,并且

其中,所述第二光栅耦合器被配置为将所述光的经衍射的第二部分引导到所述第一光栅耦合器。

2.根据权利要求1所述的目镜,其中,所述第一光栅耦合器定义所述目镜的正交光瞳扩展器OPE,并且其中,所述第二光栅耦合器定义所述目镜的出射光瞳扩展器EPE。

3.根据权利要求1所述的目镜,其中,所述第一光栅耦合器包括在第一方向上被取向的多个第一脊,并且其中,所述第二光栅耦合器包括在第二方向上被取向的多个第二脊。

4.根据权利要求3所述的目镜,其中,所述第一方向与所述第二方向之间的角度在从55度到65度的范围内。

5.根据权利要求1所述的目镜,其中,所述第一光栅耦合器包括多个突起,所述多个突起中的每个突起具有一个或多个侧壁,并且其中,所述一个或多个侧壁中的每个侧壁以与所述基板的不同角度被取向。

6.根据权利要求1所述的目镜,其中,所述第一光栅耦合器包括多个凹陷,所述多个凹陷中的每个凹陷具有一个或多个侧壁,并且其中,所述一个或多个侧壁中的每个侧壁以与所述基板的不同角度被取向。

7.一种目镜,包括:

基板;

耦入光栅,其被图案化在所述基板的单侧上,并被配置为将从投影仪接收的光衍射成所述光的第一部分和所述光的第二部分,其中,所述第一部分相对于从所述投影仪接收的所述光具有第一取向,并且所述第二部分相对于从所述投影仪接收的所述光具有第二取向,并且其中,所述第二取向不同于所述第一取向;以及

第一光栅耦合器,其被图案化在所述基板的所述单侧上并且具有第一光栅图案,其中所述第一光栅耦合器被光学耦合到所述耦入光栅;和

第二光栅耦合器,其被图案化在所述基板的所述单侧上并且与所述第一光栅耦合器相邻,所述第二光栅耦合器具有不同于所述第一光栅图案的第二光栅图案,其中所述第二光

栅耦合器被光学耦合到所述耦入光栅

其中,所述耦入光栅被配置为将所述光的所述第一部分引导到所述第一光栅耦合器中以及将所述光的所述第二部分引导到所述第二光栅耦合器中。

8.根据权利要求7所述的目镜,其中,所述第一光栅耦合器和所述第二光栅耦合器被配置为组合所述光的经衍射的第一部分和所述光的经衍射的第二部分。

9.根据权利要求7所述的目镜,其中,所述第一光栅耦合器被配置为将所述光的经衍射的第一部分引导到所述第二光栅耦合器。

10.根据权利要求7所述的目镜,其中,所述第一光栅耦合器被配置为将所述光的经衍射的第一部分引导到所述第二光栅耦合器,以及其中,所述第二光栅耦合器被配置为将所述光的经衍射的第二部分引导到所述第一光栅耦合器。

11.根据权利要求7所述的目镜,其中,所述第一光栅耦合器定义所述目镜的正交光瞳扩展器OPE,并且其中,所述第二光栅耦合器定义所述目镜的出射光瞳扩展器EPE。

12.根据权利要求7所述的目镜,其中,所述第一光栅耦合器包括多个突起,所述多个突起中的每个突起具有一个或多个侧壁,并且其中,所述一个或多个侧壁中的每个侧壁以与所述基板的不同角度被取向。

13.根据权利要求12所述的目镜,其中,所述多个突起中的每个突起包括在两个不同方向上被取向的至少两个交叉脊。

14.根据权利要求13所述的目镜,其中,所述两个不同方向之间的角度在从55度到65度的范围内。

15.根据权利要求7所述的目镜,其中,所述第一光栅耦合器包括多个凹陷,所述多个凹陷中的每个凹陷具有一个或多个侧壁,并且其中,所述一个或多个侧壁中的每个侧壁以与所述基板的不同角度被取向。

16.一种制造目镜的方法,所述方法包括:

提供基板;

在所述基板的单侧上图案化耦入光栅;

在所述基板的所述单侧上图案化衍射光栅,其中,图案化所述衍射光栅包括:

在所述基板的所述单侧上图案化第一光栅耦合器,所述第一光栅耦合器被直接光学耦合到所述耦入光栅并具有第一光栅图案;以及

在所述基板的所述单侧上与所述第一光栅耦合器相邻地图案化第二光栅耦合器,其中,所述第二光栅耦合器被直接光学耦合到所述耦入光栅并具有不同于所述第一光栅图案的第二光栅图案,

其中,图案化所述第一光栅耦合器包括在所述基板的所述单侧上图案化多个突起,所述多个突起中的每个突起具有一个或多个侧壁,并且

其中,所述一个或多个侧壁中的每个侧壁以与所述基板的不同角度被取向。

17.一种制造目镜的方法,所述方法包括:

提供基板;

在所述基板的单侧上图案化耦入光栅;

在所述基板的所述单侧上图案化衍射光栅,其中,图案化所述衍射光栅包括:

在所述基板的所述单侧上图案化第一光栅耦合器,所述第一光栅耦合器被直接光学耦

合到所述耦入光栅并具有第一光栅图案;以及

在所述基板的所述单侧上与所述第一光栅耦合器相邻地图案化第二光栅耦合器,

其中,所述第二光栅耦合器被直接光学耦合到所述耦入光栅并具有不同于所述第一光栅图案的第二光栅图案,以及

其中,图案化所述第一光栅耦合器还包括针对所述多个突起中的每个突起图案化在两个不同方向上被取向的至少两个交叉脊。

18.根据权利要求17所述的方法,并且其中,所述两个不同方向之间的角度在从55度到65度的范围内。

使用光栅耦合器的单侧图案化的光学目镜

[0001] 本申请是申请号为202080043479.0、申请日为2020年6月11日、发明名称为“使用光栅耦合器的单侧图案化的光学目镜”的申请的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉引用

[0003] 本申请主张2019年6月14日提交的美国临时专利申请62/861,646的优先权益，该申请的全部内容在此通过引用并入此文。

技术领域

[0004] 本公开涉及使用光栅耦合器的单侧图案化的光学目镜。

背景技术

[0005] 压印光刻可用于在晶圆上制造纳米级图案。压印光刻通过压印抗蚀剂的机械变形以及后续工艺来创建图案。然而，使用压印光刻制造的目镜可能具有有限的视场。光通常必须行进很长的距离才能到达目镜的出射光瞳扩展器。在光沿着长距离行进时，会加重相干伪影。此外，传统上用于制造目镜的双面光刻增加了制造复杂性，并可能降低制造良率和产量。

发明内容

[0006] 本说明书中描述的主题的创新方面包括一种使用图案化的光栅耦合器的光学目镜。目镜包括基板和被图案化在所述基板的单侧上的耦入光栅。第一光栅耦合器被图案化在所述基板的所述单侧上并且具有第一光栅图案。所述第一光栅耦合器被光学耦合到所述耦入光栅。第二光栅耦合器被图案化在所述基板的所述单侧上并且与所述第一光栅耦合器相邻。所述第二光栅耦合器具有不同于所述第一光栅图案的第二光栅图案。所述第二光栅耦合器被光学耦合到所述耦入光栅。

[0007] 本说明书中描述的主题的创新方面还包括一种目镜，所述目镜包括被图案化在基板的单侧上的耦入光栅。所述耦入光栅被配置为将从投影仪接收的光衍射成所述光的第一部分和所述光的第二部分。所述第一部分相对于从所述投影仪接收的所述光具有第一取向。所述第二部分相对于从所述投影仪接收的所述光具有第二取向。所述第二取向不同于所述第一取向。一种衍射光栅被图案化在所述基板的所述单侧上。所述衍射光栅被配置为从所述耦入光栅接收所述光的所述第一部分和所述光的所述第二部分。衍射所述光的所述第一部分和所述光的所述第二部分中的每一者。组合所述光的经衍射的第一部分和所述光的经衍射的第二部分。

[0008] 本说明书中描述的主题的创新方面包括还包括一种目镜，所述目镜包括被压印在基板的单侧上的耦入光栅。一种光栅耦合器被压印在所述基板的所述单侧上。所述光栅耦合器被光学耦合到所述耦入光栅。所述光栅耦合器包括限定所述目镜的出射光瞳扩展器(EPE)的多个瓦片。所述多个瓦片中的每个瓦片具有第一光栅图案。光栅区域散布在所述瓦片之间。所述光栅区域具有不同于所述第一光栅图案的第二光栅图案。所述光栅区域限定

所述目镜的正交光瞳扩展器(OPE)。

[0009] 本说明书中描述的主题的创新方面还包括一种目镜,所述目镜包括具有大于阈值的折射率的基板。一种耦入光栅被图案化在所述基板的单侧上。三个或更多个光栅耦合器被图案化在所述基板的所述单侧上。所述三个或更多个光栅耦合器被光学耦合到所述耦入光栅。所述三个或更多个光栅耦合器中的每个光栅耦合器具有不同的光栅图案。

[0010] 本说明书中描述的主题的创新方面还包括一种目镜,所述目镜包括被图案化在具有大于阈值的折射率的基板的第一侧上或在所述基板的第二侧上的耦入光栅。第一光栅耦合器被图案化在所述基板的所述第一侧上。所述第一光栅耦合器具有第一光栅图案。所述第一光栅耦合器被光学耦合到所述耦入光栅。第二光栅耦合器被图案化在所述基板的所述第二侧上。所述第二光栅耦合器具有不同于所述第一光栅图案的第二光栅图案。所述第二光栅耦合器光学被耦合到所述耦入光栅。

[0011] 除了其他益处和优点之外,本文公开的实施例还增加了用于虚拟现实和增强现实应用的光学目镜的视场、效率、和均匀性。每个目镜可以包括被图案化在基板的同一侧上的两个或更多个衍射光栅。两个或多个衍射光栅可以被平铺布局。可以选择瓦片的形状、尺寸、密度、和分布以实现更高的光学性能。此外,实施例减少了马赫曾德干涉量。因为瓦片可以小到几百微米,所以远场虚像的质量不受影响。目镜的单面制造增加了目镜的用户与世界的比。由于纳米光栅是闪耀的或由高折射率材料制成,诸如由折射率大于1.6的聚合物制成,因此更多的光被朝向用户的眼球引导。在一些实施例中,在包括TiO_2、ZrO_2、或ZnO的高折射率玻璃中蚀刻光栅。在一些实施例中,在诸如$LiNbO_3$、$LiTaO_3$、或SiC之类的合成高折射率基板中蚀刻光栅。在一些实施例中,在TiO_2薄膜涂层或其他无机材料中蚀刻光栅以提供进一步的光学益处。可以改变光栅耦合器内瓦片的布局,以实现远场虚像的更高均匀性。所得图像的锐度也被增加了。在一些实施例中,每个瓦片的尺寸可以保持相同,而瓦片密度从更密集降低到更稀疏。由此可以设计具有优选衍射方向的目镜。直接耦合到目镜的用户的眼球的衍射光被减少,同时增加其他方向的衍射效率。光栅的衍射特性可以使用突起的倾斜和闪耀、或多阶突起、或凹陷来进一步改进。因此,本文公开的实施例提供的不同设计选择提供了更高的光学效率和质量。

[0012] 本说明书中描述的主题的一个或多个实施例的细节在附图和以下描述中阐述。根据描述、附图和权利要求,本主题的其他潜在特征、方面和优点将变得显而易见。

附图说明

[0013] 图1A示出了在基板上形成表面起伏图案的压印光刻系统100的侧视图。

[0014] 图1B示出了具有定位在其上的图案化层的基板的侧视图。

[0015] 图2示出了用于在基板上制造光波导的系统。

[0016] 图3A示出了光学目镜的操作环境。

[0017] 图3B示出了光学目镜中的耦入光栅和光栅耦合器的图案化。

[0018] 图4示出了光学目镜中的耦入光栅和光栅耦合器的图案化。

[0019] 图5A示出了光学目镜中的叉指光栅图案。

[0020] 图5B示出了光学目镜中的锯齿光栅图案。

[0021] 图5C示出了光学目镜中的人字形光栅图案。

[0022] 图5D示出了在光学目镜中使用的模版。

[0023] 图6A示出了光学目镜中的光栅耦合器中的菱形图案化的突起。

[0024] 图6B示出了光栅耦合器中的立方体图案化的突起。

[0025] 图6C示出了光学目镜中的光栅耦合器中的突起。

[0026] 图6D示出了光学目镜中的光栅耦合器中的锯齿图案化的突起。

[0027] 图7A示出了光学目镜中的光栅耦合器的图案化。

[0028] 图7B示出了光学目镜中的光栅耦合器的图案化。

[0029] 图8A示出了光学目镜中的光栅耦合器的图案化。

[0030] 图8B示出了光学目镜中的光栅耦合器的图案化。

[0031] 图9A示出了光学目镜中的光栅耦合器的图案化。

[0032] 图9B示出了光学目镜中的光栅耦合器的图案化。

[0033] 图10示出了光学目镜中的光栅耦合器的图案化。

[0034] 图11A示出了光学目镜中的光栅耦合器的图案化。

[0035] 图11B示出了光学目镜中的光栅耦合器的混合图案化。

[0036] 图12示出了使用光学目镜中的光栅耦合器的光衍射和耦合。

具体实施方式

[0037] 本文描述了使用图案化耦入光栅和光栅耦合器的目镜的设计和制造。目镜可以是诸如在虚拟现实或增强现实应用中使用的光学目镜。目镜包括基板和被图案化在基板的单侧上的耦入光栅。耦入光栅从投影仪接收光。第一光栅耦合器被图案化在基板的单侧上。第一光栅耦合器具有第一光栅图案。第一光栅耦合器被光学耦合到耦入光栅。第二光栅耦合器邻近第一光栅耦合器被图案化在基板的单侧上。第二光栅耦合器具有不同于第一光栅图案的第二光栅图案。第二光栅耦合器被光学耦合到耦入光栅。

[0038] 除了其他益处和优点之外，本文公开的实施例的益处和优点还包括在基板的单侧上图案化衍射光栅，使得目镜减少对光行进较长距离以到达EPE的需要。朝向用户从目镜出射的光的效率得到提高；从而减少了相干伪影，并在原本小面积的外形因子内实现了更大的视场和更高的均匀性。此外，通过在目镜的单侧上保持表面起伏图案，降低了制造复杂度，并且提高了制造良率和产量。

[0039] 压印光刻系统

[0040] 图1A示出了在基板102上形成表面起伏图案的压印光刻系统100。基板102可以被耦合到基板卡盘104。在一些实施例中，基板卡盘104包括真空卡盘、销型卡盘、凹槽型卡盘、电磁卡盘等。在一些实施例中，基板102和基板卡盘104被进一步定位在空气轴承106上。空气轴承106提供围绕x轴、y轴、和/或z轴的运动。在一些实施例中，基板102和基板卡盘104被定位在底座上。空气轴承106、基板102、和基板卡盘104也可以被定位在载物台108上。在一些实施例中，机器人系统110将基板102定位在基板卡盘104上。

[0041] 压印光刻系统100还包括压印光刻柔性涂覆抗蚀剂模板112，其取决于设计考虑被耦合到一个或多个辊子114。辊子114提供柔性涂覆抗蚀剂模板112的至少一部分的运动。这种运动可以选择性地提供柔性涂覆抗蚀剂模板112的不同部分与基板102的重叠。在一些实施例中，柔性涂覆抗蚀剂模板112包括具有多个特征(例如间隔开的凹槽和突起)的图案化

表面。特征的其他配置也是可能的。图案化表面可以限定任何原始图案，该原始图案限定要在基板102上形成的图案的基础。在一些实施例中，柔性涂覆抗蚀剂模板112被耦合到模板卡盘，例如真空卡盘、销型卡盘、槽型卡盘、或电磁卡盘。

[0042] 压印光刻系统100还可以包括流体分配器120。流体分配器120可用于将可聚合材料沉积在基板102上。可使用诸如滴注、旋涂、浸涂、化学气相沉积、物理气相沉积、薄膜沉积、或厚膜沉积之类的技术在基板102上定位可聚合材料。在一些实施例中，可聚合材料被定位在基板102上作为多个可固化抗蚀剂液滴。

[0043] 具有定位在其上的图案化层的基板

[0044] 图1B示出了具有定位在其上的图案化层150的基板102的侧视图。参考图1A和图1B，压印光刻系统100还可以包括能量源122，其被耦合以将能量(例如，宽带紫外线辐射)引向基板102。在一些实施例中，辊子114和空气轴承106被配置为将柔性涂覆抗蚀剂模板112的所需部分和基板102定位在所需的位置中。压印光刻系统100可以由与空气轴承106、辊子114、流体分配器120、和/或能量源122通信的控制器调节，并且可以对存储在存储器中的计算机可读程序进行操作。

[0045] 在一些实施例中，辊子114、空气轴承106或两者改变柔性涂覆抗蚀剂模板112和基板102之间的距离以限定其间由可聚合材料填充的所需体积。例如，柔性涂覆抗蚀剂模板112接触可聚合材料。在用可聚合材料填充所需体积后，能量源122产生能量，例如宽带紫外线辐射，使可聚合材料固化和/或交联，保形柔性涂层抗蚀剂模板122的图案化表面的一部分和基板102的表面的形状，从而在基板102上限定图案化层150。在一些实施例中，图案化层150包括残留层152和显示为突起154和凹槽156的多个特征。

[0046] 在基板上制造光波导的系统

[0047] 图2示出了用于在基板上制造光波导的系统200。系统200包括气相沉积系统226、控制器224、流体分配器120、激光源228、和能量源122。系统200可用于制造多波导光学结构，包括被堆叠为拦截顺序通过每个波导的光的多个波导，每个波导与不同的颜色和不同的平面深度相关联。

[0048] 气相沉积系统226被配置为在基板(例如，102)上沉积粘附促进层。粘附促进层旨在提高可固化抗蚀剂液滴对基板102的粘附。例如，粘附促进层可以通过将稀释溶液旋涂到基板102上并允许该层旋转干燥来施加。

[0049] 压印光刻系统200可以由与气相沉积系统226、流体分配器120、激光源228、和/或能量源122通信的控制器224调节，并且可以对存储在存储器中的计算机可读程序进行操作。控制器224可以以软件或硬件来实现。例如，控制器224可以是PC、平板PC、智能手机、物联网(IoT)设备、或执行指定将由其采取的动作的指令的任何机器的一部分。

[0050] 控制器224可以实例化正在制造的光学结构中的空隙基准(void fiducial)，以监测可固化抗蚀剂液滴在光学目镜层内的分配。空隙基准或基准标记是可以放置在所产生的光学结构的视场中的标记，用作参考或测量点。空隙基准可以被放置在成像对象、或光学仪器中的一个标记或一组标记中之内或之上。

[0051] 控制器224可以将涂覆的抗蚀剂模板(例如，112)叠加到可固化抗蚀剂液滴上以接触可固化抗蚀剂液滴并对其进行图案化。涂覆抗蚀剂模板112包括图案化表面，该图案化表面包括多个凹槽和突起。涂覆抗蚀剂模板112还可以包括被配置为防止可固化抗蚀剂液滴

流入零RLT区域的深光栅结构或坝。控制器224可以进一步引导来自能量源122的宽带紫外线辐射以固化可固化抗蚀剂液滴。控制器224可进一步移除涂覆抗蚀剂模板112以暴露经图案化的抗蚀剂,然后,该抗蚀剂保形与涂覆抗蚀剂模板112的图案化表面的一部分。

[0052] 控制器224可以蚀刻形成在光学结构上的衍射光栅以限定光学目镜层。在一些实施例中,取消了对干蚀刻基板102(例如,干蚀刻高折射率玻璃或蓝宝石)的需要。在一些实施例中,基板102被部分蚀刻(例如,在大气压或低压条件下执行等离子体工艺)以移除残留层和/或将图案转印到基板102中,同时将残留层的一部分保留在基板102的表面上。

[0053] 衍射光栅衍射行进通过光波导的光。控制器224可以进一步将来自激光源228的激光束引导到粘附促进层的一部分上以切割基板102。控制器224可以通过将激光束脉冲到粘附促进层的一部分上以在基板102中生成纳米穿孔,从基板102切割光学目镜层。将激光束施加到所生成的纳米穿孔以扩展纳米穿孔并将光学目镜层与基板102分离。虽然在一些实施例中可以通过激光烧蚀移除抗蚀剂,但在在其他实施例中,可以简单地不放置(例如,通过掩蔽)抗蚀剂、或被蚀刻掉(例如,通过等离子体)抗蚀剂、或其组合。控制器224还可以将光学目镜层结合到压印在另一基板上的另一光学目镜层以限定光波导。

[0054] 流体分配器120将可固化液滴形式的压印抗蚀剂(例如,热塑性聚合物)薄层分配到基板102上。在一些实施例中,流体分配器120被配置为将可固化抗蚀剂液滴分配到粘附促进层上以限定衍射光栅。粘附促进层被设置在基板102和所分配的可固化抗蚀剂液滴之间并与之接触。限定光学目镜层的区域具有边缘,其中光学目镜层的边缘不含可固化抗蚀剂液滴。

[0055] 在一些实施例中,流体分配器120被配置为通过以预定坐标和预定频率将可固化抗蚀剂液滴滴注在粘附促进层上,将可固化抗蚀剂液滴分配在粘附促进层上。使可固化抗蚀剂液滴的相邻液滴在粘附促进层上具有预定间隔。例如,流体分配器120可以被规划为指示要分配或不分配抗蚀剂的区域。可以创建非常高分辨率的抗蚀剂液滴图案,其中包括各个抗蚀剂液滴的预定义坐标和相邻液滴之间的预定义XY间距。流体分配器120在分配抗蚀剂液滴的同时以非常高的频率操作,同时基板102在喷墨头下方通过。超高分辨率和精度(X、Y、体积)是通过喷墨分配频率、打印头电压和载物台运动控制实现的。可通过移动流体分配器120的喷墨头,将基板移动穿过流体分配器120的喷墨头,或彼此相对地移动流体分配器120的喷墨头和基板来将可固化抗蚀剂液滴滴注在粘附促进层上。

[0056] 在一些实施例中,流体分配器120还被配置为保留与不含可固化抗蚀剂液滴的光学目镜层边缘相对应的零RLT。这种配置通过减少光在光学目镜层边缘处的散射以及减少光波导的零RLT区域上的颗粒缺陷数量来提高光波导的光学性能。

[0057] 激光源228提供激光束以切割基板102。在一些实施例中,激光源228包括增益介质、激励装置、和光学反馈装置。增益介质是一种具有允许通过受激发射放大光的特性的材料。能量可以作为电流或不同波长的光被提供。激光源228可以使用来自光学腔的反馈,并且可以影响发射光的特性,例如光束的偏振、波长、和形状。

[0058] 能量源122提供辐射以加强(例如,聚合或交联)抗蚀剂液滴,从而在基板上留下抗蚀剂涂层。在一些实施例中,能量源122减小辐射的波长以实现更高分辨率。例如,能量源122可以提供紫外光谱或更短(<400nm)、深紫外光谱等波长的能量。在一些实施例中,能量源122产生电子束,实现与曝光相同的效果。

[0059] 使用光栅耦合器的图案化的目镜环境

[0060] 图3A示出了光学目镜的操作环境。图3A所示的目镜包括基板(例如,下面参考图4示出和描述的基板400)。基板可以具有大于阈值的折射率。在一些实施例中,基板的折射率大于1.4。基板的折射率或折射指数是描述光通过基板传播的速度的无量纲数。基板可以由高折射率聚合物或玻璃制成。在一些实施例中,光栅被包括在高折射率基板上图案化或在被蚀刻在包括TiO_2、ZrO_2、或ZnO的高折射率玻璃中的低折射率材料的薄层。在一些实施例中,光栅被蚀刻在诸如$LiNbO_3$、$LiTaO_3$、或SiC之类的合成高折射率基板中。在一些实施例中,光栅被蚀刻在TiO_2薄膜涂层或其他无机材料中以提供进一步的光学益处。

[0061] 图3A所示的目镜包括被图案化在基板的单侧上的耦入光栅304。图3A中的耦入光栅304位于使用目镜的用户的眉毛处,或位于用户的太阳穴处。耦入光栅304使用全内反射和衍射的组合将来自光源投影仪300的光线332耦入第一光栅耦合器308和第二光栅耦合器320中。

[0062] 耦入光栅304被配置为衍射从投影仪300接收的光332。光332被衍射并耦合成光的第一部分336和光的第二部分312。第一部分336相对于从投影仪300接收的光332具有第一取向,而第二部分312相对于从投影仪300接收的光332具有第二取向。第二取向不同于第一取向。例如,第一部分336可以在第一方向上被取向并且第二部分312可以在第二方向上被取向。耦入光栅304还被配置为将第一部分336引导到第一光栅耦合器308。耦入光栅304还被配置为将第二部分312引导到第二光栅耦合器320。在耦入光栅304位于用户的眉毛或脸颊处时,目镜被垂直分成第一光栅耦合器308和第二光栅耦合器320,如图3A所示。垂直参考系是在从目镜的用户的前额到下巴的方向上。如果耦入光栅304位于用户的太阳穴或鼻翼处,则目镜可以被水平拆分。水平参考系在从目镜的用户的耳朵到耳朵的方向上。

[0063] 第一光栅耦合器308被光学耦合到耦入光栅304以接收由耦入光栅304衍射的光的部分336。第一光栅耦合器308被图案化在基板的单侧上并且具有第一个光栅图案。第一光栅图案可以包括脊、刻线、线性光栅段、突起、凹槽或其组合,如下面参考图6A-D、图7A-B、图8A-B、图9A-B、图10、和图11A-B详细示出和描述的。第一光栅耦合器308被配置为衍射从耦入光栅304接收的光的第一部分336。第一光栅耦合器308具有周期性结构或图案,该结构或图案将光的部分336分割并进一步衍射成在不同方向上行进的多个光束。光束的不同方向取决于光栅的间距和光的波长,使得光栅充当色散元件。第一光栅耦合器308将光的衍射的第一部分340引导到第二光栅耦合器320。在一些实施例中,第一光栅耦合器308定义目镜的OPE。OPE使用全内反射(TIR)在不同方向上扩散衍射光线。

[0064] 第二光栅耦合器320被光学耦合到耦入光栅304。在一些实施例中,第二光栅耦合器320定义目镜的EPE。EPE将从OPE出射的光耦合到目镜的用户或世界。在一些实施例中,串联起作用的OPE和EPE的组合被称为组合光瞳扩展器(CPE)。

[0065] 第二光栅耦合器320被图案化在基板的单侧上并且与第一光栅耦合器308相邻。第二光栅耦合器320具有不同于第一光栅图案的第二光栅图案。第二光栅图案可以包括脊、刻线、线性光栅段、突起、凹槽或其组合,如下面参考图6A-D、图7A-B、图8A-B、图9A-B、图10、和图11A-B详细示出和描述的。第二光栅耦合器320被配置为衍射光的第二部分312。光的经衍射的第二部分316被引导到第一光栅耦合器308。目镜被配置为将经衍射的第一部分340和经衍射的第二部分316进行组合。目镜还被配置为将组合的光324引导到目镜的用户的眼球

328。图3A所示的第一光栅耦合器308和第二光栅耦合器320有时被认为具有分裂的蜂窝图案或分裂的蜂窝构造。

[0066] 在一些实施例中，耦入光栅304包括在第一方向上被取向的第一组平行脊或刻线，如图3A所示。第一组脊、刻线或线性光栅段可以间隔第一间距距离。第一光栅耦合器308包括在不同于第一方向的第二方向上被取向的第二组平行脊或刻线。第二组脊、刻线或线性光栅段可以间隔第二间距距离。第二光栅耦合器320可以包括在不同于第一方向和第二方向的第三方向上被取向的第三组平行脊或刻线。第三组脊、刻线或线性光栅段可以间隔第三间距距离。第二方向与第三方向的之间的角度在从55度到65度的范围内。

[0067] 图3A所示的光的部分336和312的路径长度可以被设计为使得这两个部分336和312同相或异相。类似地，光的部分316和340的路径长度可以被设计为使得这两个部分336和312同相或异相。因此，实施例调制OPE和EPE的光场的相位。光场相位的调制减轻了马赫曾德干涉并提高了所生成图像的均匀性。所得图像的锐度也增加了。此外，图3A所示的实施例提供了增加的光学效率。在传统目镜中，大量光线被衍射到空气中，从而降低了效率。相反，在图3A的目镜中，第二光栅耦合器中的光的部分312将不会从目镜衍射出来而是到达第一光栅耦合器308。因此，更多的光被保存并且光学效率增加。图3A所示的目镜还改进了单层架构中的光扩散。通过在设计中包括特定的纳米特征，目镜可以将两种或多种波长的光管输到单层中并提高图像质量。

[0068] 光学目镜中的耦入光栅和光栅耦合器的图案化

[0069] 图3B示出了光学目镜中的耦入光栅348以及光栅耦合器356和368。在其他实施例中，目镜包括比本文描述的那些更多或更少的对象。图3B所示的目镜包括基板(例如，下面参考图4示出和描述的基板400)和被压印在基板的单侧上的耦入光栅348，类似于图3A所示的耦入光栅304。第一光栅耦合器356被压印在基板的单侧上并且被光学耦合到耦入光栅348。第一光栅耦合器356包括限定目镜的EPE的多个瓦片。第一光栅耦合器356的每个瓦片352具有第一光栅图案。第一光栅图案可以包括脊、刻线、线性光栅段、突起、凹槽或其组合。第一光栅耦合器356被配置为接收由耦入光栅348衍射的光的一部分并且使用瓦片进一步衍射光的该部分。

[0070] 第二光栅耦合器(光栅区域368)被散布在瓦片之间。光栅区域368具有不同于第一光栅图案的第二光栅图案(平行脊或刻线)。光栅区域368限定目镜的OPE。在一些实施例中，耦入光栅348包括第一组平行脊，如图3B所示。光栅区域368包括与第一组平行脊正交的第二组平行脊。光栅区域368被配置为接收由耦入光栅348衍射的光的另一部分并进一步衍射光的该另一部分。第一光栅耦合器356由此被配置为降低由光栅区域368的中心区域364发射的光的亮度。图3B中的光栅耦合器接收由耦入光栅348衍射的光，并漫射由光栅区域368的中心区域364发射的光。

[0071] 单面目镜(其中耦入光栅348、第一光栅耦合器356、和光栅区域368被压印在基板的单侧上)提供了更大的视场并减少的相干伪影。相干伪影是指从目镜出射的经衍射的光线的相消干涉和相长干涉。此类伪影可能会导致投影到用户视场中的图像中出现暗斑和亮斑。相干伪影会导致图像和颜色均匀性降低。本文公开的实施例通过减少相干伪影来提高图像和颜色均匀性。图3B所示的构造有时被称为平铺雪花光栅图案或平铺雪花光栅构造。

[0072] 在一些实施例中，随着瓦片352的位置从光栅耦合器356的中心区域364变到光栅

耦合器364的边界360，多个瓦片中的每个瓦片352的面积或尺寸减小。每个瓦片352的面积或尺寸的变化降低了由中心区域364发射的光的亮度。因为瓦片小到几百微米，所以远场虚像质量不受影响。此外，目镜的单面特性增加了目镜的用户与世界比。因为纳米光栅是闪耀的或由诸如具有大于1.6的折射率的聚合物之类的高折射率材料制成，所以更大量的光被引导朝向用户的眼球328。此外，光栅可以在包括TiO_2、ZrO_2、或ZnO的高折射率玻璃中被蚀刻。在一些实施例中，光栅在诸如$LiNbO_3$、$LiTaO_3$、或SiC之类的合成高折射率基板中被蚀刻。在一些实施例中，光栅在ZrO_2、TiO_2、或SiC薄膜涂层中被蚀刻。

[0073] 在一些实施例中，光栅耦合器356的瓦片具有矩形形状。每个瓦片352的尺寸以及瓦片352的一侧的长度可以从边界360到中心区域364变化。在一些实施例中，光栅耦合器356的瓦片具有圆形形状。每个瓦片352的直径可以从边界360到中心区域364变化。在一些实施例中，光栅耦合器356的瓦片具有椭圆形状。每个瓦片352的尺寸可以从边界360到中心区域364变化。在一些实施例中，光栅耦合器356的瓦片具有多边形形状。多边形可以是规则多边形或不规则多边形。例如，瓦片可以具有六边形形状。

[0074] 在一些实施例中，图3B所示的多个瓦片中的每个瓦片352可以包括多个突起，如下面参考图6A-D详细示出和描述的。突起有时被称为柱、光栅柱或柱状光栅。光栅耦合器356有时被称为柱状衍射光栅。多个突起中的每个突起具有一个或多个侧壁，如下面参考图6A示出和描述的。一个或多个侧壁中的每个侧壁可以以与基板的不同的角度被取向。例如，每个侧壁相对于基板的梯度可以不同。在一些实施例中，多个突起中的每个突起包括在两个不同方向上被取向的两个交叉脊。两个交叉脊相交的位置限定了突起。

[0075] 光学目镜中的耦入光栅和光栅耦合器的图案化

[0076] 图4示出了光学目镜中的耦入光栅404和光栅耦合器的图案化。图4所示的目镜包括可以具有大于阈值的折射率的基板400。在一些实施例中，基板的折射率大于1.4。基板400在上面参考图1A、图1B、图2、和图3A详细地进行了描述。耦入光栅404可以被图案化在基板400的第一侧、基板400的第二侧、或基板400的两侧上。第一光栅耦合器420被图案化在基板400的第一侧上。第一光栅耦合器420具有第一光栅图案408。例如，第一光栅图案408可以包括脊、刻线、线性光栅段、突起、凹槽或其组合的周期性排列。在一些实施例中，第一光栅耦合器420包括在第一方向上被取向的第一组脊。第一光栅耦合器420被光学耦合到耦入光栅404以接收来自耦入光栅404的光的第一部分。

[0077] 在一些实施例中，第二光栅耦合器424被图案化在基板400的第一侧上。因此，第一光栅耦合器420和第二光栅耦合器424两者被图案化在基板400的同一侧上。第二光栅耦合器424具有不同于第一光栅图案408的第二光栅图案412。例如，第二光栅图案412可以包括脊、刻线、线性光栅段、突起、凹槽或其组合的周期性排列。在一些实施例中，第二光栅耦合器424包括在不同于第一方向的第二方向上被取向的第二组脊。在一些实施例中，第一方向与第二方向的之间的角度在从55度到65度的范围内。第二光栅耦合器424被光学耦合到耦入光栅404，使得第二光栅耦合器424被配置为接收来自耦入光栅404的光的第二部分。

[0078] 在一些实施例中，第二光栅耦合器424被图案化在基板400的第二侧上图案化。因此，第一光栅耦合器420和第二光栅耦合器424被图案化在基板400的不同侧上。第二光栅耦合器424具有不同于第一光栅图案408的第二光栅图案412。例如，第二光栅图案412可以包括脊、刻线、线性光栅段、突起、凹槽或其组合的周期性排列。在一些实施例中，第二光栅耦

合器424包括在不同于第一方向的第二方向上被取向的第二组脊。在一些实施例中，第一方向与第二方向的之间的角度在从55度到65度的范围内。第二光栅耦合器424被光学耦合到耦入光栅404，使得第二光栅耦合器424被配置为接收来自耦入光栅404的光的第二部分。

[0079] 在一些实施例中，第一光栅耦合器420的区416或一区域与第二光栅耦合器424的一个区或区域重叠。重叠区416将光衍射到目镜的用户的眼球328中。在一些实施例中，第一光栅耦合器420的区416与第二光栅耦合器424重叠，使得重叠区416被配置为将光的一部分衍射到目镜的用户的眼球328中。重叠区416降低了被直接衍射到用户的眼球328中的光的亮度，使得用户在由目镜显示的图像中看不到明亮的中心带。在一些实施例中，第一光栅耦合器的区416的尺寸在第一光栅耦合器420的总面积的从10％到60％的范围内。在一些实施例中，重叠区416的宽度424(对应于目镜的眼动范围(eyebox)的宽度)在从5mm到20mm的范围内。在一些实施例中，眼动范围的尺寸在水平方向上为15mm，在垂直方向上为18mm。垂直参考系是在从目镜的用户的前额到下巴的方向上。水平参考系在从目镜的用户的耳朵到耳朵的方向上。眼动范围是目镜(EPE/CPE)内的一个区，通过该区域出射的光线旨在捕获眼球328在一个或多个用户的视场内的一系列移动和定位，该视场由目镜限定，其中，目镜被固定在距用户眼睛特定距离处。

[0080] 光学目镜中的光栅图案

[0081] 图5A示出了光学目镜中的叉指光栅图案500。目镜包括被图案化在基板的单侧上的第一光栅耦合器(例如，上面参考图3A示出和描述的第一光栅耦合器308)。第一光栅耦合器具有第一光栅图案。例如，第一光栅耦合器可以包括在第一方向上被取向的第一组脊，如上面在图3A中所示。第二光栅耦合器(例如，上面参考图3A示出和描述的第二光栅耦合器320)被图案化在基板的单侧上。第二光栅耦合器具有不同于第一图案的第二图案。例如，第二光栅耦合器可以包括在第二方向上被取向的第二组脊，如上面在图3A中所示。现在参考图5A，第一光栅耦合器接触第二光栅耦合器，在接触位置限定叉指交替图案500。叉指交替图案500漫射被直接衍射到目镜的用户的眼球328中的光。在一些实施例中，叉指交替图案500包括在特定方向上被取向的多个平行脊504。在其他实施例中，叉指交替图案500包括交替的第一图案和第二图案带。

[0082] 图5B示出了光学目镜中的锯齿光栅图案508。在图5B所示的实施例中，叉指交替图案被定义为包括以锯齿图案508排列的多个脊。锯齿图案508降低直接衍射到用户的眼球328中的光的亮度。因此，用户在由目镜显示的图像中看不到明亮的中心带。

[0083] 图5C示出了光学目镜中的人字形光栅图案512。图5C所示的图案包括以人字形光栅图案512排列的多个脊。人字形光栅图案是V形图案，其包括第一光栅耦合器(例如，上面参考图3A示出和描述的第一光栅耦合器308)的第一光栅图案和第二光栅耦合器(例如，第二光栅耦合器320)的第二光栅图案的基本相等的区或区域。第一光栅图案的脊与第二光栅图案的脊之间的角度在从55度到65度的范围内。

[0084] 图5D示出了在光学目镜中使用的模版516。模版516限定了第一光栅耦合器520和第二光栅耦合器524之间的叉指交替图案。使用在第一方向上被取向的第一组平行脊528对第一光栅耦合器520进行图案化。使用在不同于第一方向的第二方向上被取向的第二组平行脊532对第二光栅耦合器524进行图案化。模版516从而将第一光栅耦合器520的第一边界与第二光栅耦合器524的第二边界混合。

[0085] 在一些实施例中，模版516中的叉指交替光栅图案包括多个突起536。每个突起由两个交叉脊限定，每个脊来自脊528和532。多个突起536中的每个突起可以具有一个或多个侧壁。一个或多个侧壁中的每个侧壁可以以与基板(例如，上面参考图4示出和描述的基板400)的不同的角度被取向。在一些实施例中，多个突起536具有大于1.4的折射率。

[0086] 光栅耦合器中的菱形图案化的突起

[0087] 图6A示出了光学目镜中的光栅耦合器600中的菱形图案化的突起。图6A-D所示的光栅耦合器600、624、648、和674有时也被认为具有闪耀的柱状图案、闪耀的柱状构造、闪耀的突起图案、或闪耀的突起构造。现在参考图6A，光栅耦合器600可以是闪耀的以在给定的衍射级中实现更高的光栅效率。因此，光功率被集中在所需的衍射级，而在其他级中的剩余功率则被减少。光栅耦合器600的突起和图案的形状指定了光栅耦合器600闪耀的闪耀波长。光学效率增加的方向被称为闪耀角，并且是闪耀光栅耦合器600的特性。闪耀角取决于闪耀波长和选择的衍射级。

[0088] 闪耀光栅耦合器600可以具有确定由光栅耦合器600引起的波长分裂的幅度的特定线间距或间距。在下面参考图6D示出和描述的一些实施例中，光栅耦合器可以具有限定阶梯结构的三角形或锯齿形横截面。阶梯可以相对于光栅表面以闪耀角倾斜。可以设计闪耀角以增加光波长的效率。在一些实施例中，闪耀角被设计为使得衍射角和入射角对应。在一些实施例中，选择较大的闪耀角使得光照射三角形光栅线的较短边而不是较长边。在这样的实施例中，光栅耦合器600具有更大的线间距和更高的衍射级。

[0089] 图6A所示的目镜的光栅耦合器600被图案化在具有大于阈值的折射率的基板(例如，上面参考图4示出和描述的基板400)的单侧上。在一些实施例中，基板的折射率大于1.4。光栅耦合器600被光学耦合到目镜的耦入光栅，类似于上面图3A所示。光栅耦合器600包括多个突起，例如突起612。每个突起612具有一个或多个侧壁，例如侧壁604。一个或多个侧壁中的每个侧壁604可以以与基板的不同的角度被取向。在一些实施例中，图6A所示的光栅耦合器600被认为具有菱形柱状图案或菱形突起构造。

[0090] 在一些实施例中，多个突起中的每个突起612包括在两个不同方向被取向的至少两个交叉脊的一部分。至少两个交叉脊相交的位置限定了突起612。在一些实施例中，每个突起具有圆柱形形状。在一些实施例中，光栅耦合器600的每个突起具有椭圆体形状。每个椭圆的尺寸与光相互作用以衍射光。在一些实施例中，每个突起具有至少一个圆形表面，例如，在突起具有圆柱形状时。在一些实施例中，每个突起612具有至少一个三角形表面608。在其他实施例中，每个突起612具有至少一个多边形表面。多边形表面可以对应于规则或不规则的多边形。

[0091] 在一些实施例中，在沿着从耦入光栅入射到多个突起上的光的方向测量时，每个突起612的体积的填充因子(或占空比)在从10％到90％的范围内。填充因子是指突起612的体积与连续突起间的凹槽(空隙)的体积之比。在一些实施例中，突起的轴的间距在从300nm到450nm的范围内。间距是指从第一突起的质心到与第一突起位于同一行或列的相邻突起的质心测量的距离。质心是指突起的几何质心。在一些实施例中，突起的对角间距在从300nm到900nm的范围内。对角间距是指从第一个突起的质心到最近的对角相邻突起的质心的距离，即一行中一个突起的质心与下一行和下一行中最近的突起的质心之间的距离。

[0092] 在一些实施例中，一个或多个突起的高度在从5nm到500nm的范围内。在其他实施

例中，突起的宽度或长度在从5nm到800nm的范围内。突起可以被制成多种形状。例如，突起的横截面可以具有三角形形状。多个突起可以具有大于1.4的折射率。在一些实施例中，光栅耦合器600包括多个凹槽或空腔以衍射光。每个凹槽或空腔可以具有一个或多个侧壁，类似于上文参考图6A所讨论的突起。一个或多个侧壁中的每个侧壁可以以与基板的不同的角度被取向。

[0093] 光栅耦合器中图案化的突起

[0094] 图6B示出了目镜中的光栅耦合器624中的立方体图案化的突起。光栅耦合器624包括多个突起(例如，突起632)。每个突起包括多个立方体628。每个立方体可以具有不同的高度、长度、和深度。因此，每个立方体可以具有不同体积的光栅材料。每个突起632具有一个或多个侧壁。每个突起具有至少一个矩形表面。图6B所示的光栅耦合器624有时被认为具有阶梯式倾斜柱状图案或阶梯式倾斜突起构造。

[0095] 在一些实施例中，使用光栅耦合器624制造的目镜包括基板(例如，上面参考图4示出和描述的基板400)和被压印在基板的单侧上的耦入光栅。光栅耦合器624也被压印在基板的单侧上并且被光学耦合到耦入光栅。光栅耦合器624可以包括定义目镜的EPE的多个瓦片，如上面参考图3B示出和描述的。光栅区域(例如，光栅区域368)可以被散布在瓦片之间以限定目镜的OPE。光栅耦合器624的每个瓦片可以包括多个立方体628并且每个立方体628可以具有不同的高度。在一些实施例中，每个立方体的高度在从5nm到500nm的范围内。在其他实施例中，每个立方体的宽度或长度在从5nm到800nm的范围内。每个立方体的横截面具有矩形形状。在一些实施例中，每个突起632的横截面具有阶梯形状。

[0096] 图6C示出了光学目镜中的光栅耦合器648中的突起。如上面参考图6A描述和示出的，光栅耦合器648可以是闪耀的。在一些实施例中，每个突起652具有至少一个矩形表面。例如，顶表面656可以是矩形的。在一些实施例中，每个突起具有至少一个圆形表面，例如，在突起具有圆柱形状时。在一些实施例中，每个突起具有至少一个三角形表面。在其他实施例中，每个突起具有至少一个多边形表面。

[0097] 图6D示出了光学目镜中的光栅耦合器674中的锯齿图案化的突起678。多个突起的横截面具有锯齿形状。在一些实施例中，图6D所示的光栅耦合器674的部分是包括以锯齿光栅图案排列的多个脊或突起的叉指交替光栅图案的一部分。

[0098] 光栅耦合器的图案化

[0099] 图7A示出了光学目镜中的光栅耦合器的图案化。图7A所示的目镜包括被图案化在基板(例如，上面参考图4示出和描述的基板400)的单侧上的耦入光栅724。图7A所示的构造有时被称为翼状光栅构造或翼状光栅图案。在翼状光栅构造中，三个或更多个光栅耦合器被图案化在基板的单侧上。三个或更多个光栅耦合器被光学耦合到耦入光栅724。三个或更多个光栅耦合器中的每个光栅耦合器具有不同的光栅图案，如图7A所示。

[0100] 耦入光栅724被配置为将从投影仪(例如，投影仪300)接收的光衍射成光的三个或更多个部分。光的每个部分相对于从投影仪300接收的光具有不同的取向。耦入光栅724还被配置为将光的相应部分引导到每个光栅耦合器。每个光栅耦合器被配置为进一步衍射光的对应部分。目镜被配置为组合光的三个或更多个衍射部分以传输到用户的眼球(例如，眼球328)。

[0101] 第一光栅耦合器700包括在第一方向上被取向的第一线性光栅段704。第二光栅耦

合器712包括在不同于第一方向的第二方向上被取向的第二线性光栅段716。在一些实施例中，第一方向与第二方向之间的角度在从55度到65度的范围内。至少一个光栅耦合器位于目镜中的两个其他光栅耦合器之间。例如在图7A中，具有瓦片720的第三光栅耦合器728位于第一光栅耦合器700和第二光栅耦合器712之间。在一些实施例中，位于第一光栅耦合器700和第二光栅耦合器712之间的第三光栅耦合器728的宽度708(对应于目镜的眼动范围的宽度)在从5mm到20mm的范围内。位于两个其他光栅耦合器700和712之间的光栅耦合器728包括具有特定光栅图案的多个瓦片720。瓦片720可以包括突起、空腔或凹槽、或脊。在一些实施例中，多个瓦片720中的每个瓦片具有多边形形状。

[0102] 图7B示出了光学目镜中的光栅耦合器的图案化。图7B所示的目镜包括耦入光栅748和三个或更多个光栅耦合器(包括第一光栅耦合器756、第二光栅耦合器772、和第三光栅耦合器776)。图7B的构造有时被称为翼状光栅构造或翼状光栅图案。在翼状光栅构造或翼状光栅图案中，至少一个光栅耦合器位于两个其他光栅耦合器之间。例如在图7B中，包括线性段752的第三光栅耦合器776位于第一光栅耦合器756和第二光栅耦合器772之间。在一些实施例中，包括多个线性光栅段752的光栅耦合器的宽度764(对应于目镜的眼动范围的宽度)在从5mm到20mm的范围内。

[0103] 第一光栅耦合器756包括在第一方向上被取向的第一线性光栅段760。第二光栅耦合器772包括在不同于第一方向的第二方向上取向的第二线性光栅段768。在一些实施例中，第一方向与第二方向之间的角度在从55度到65度的范围内。在一些实施例中，如图7B所示，第三二维(2D)光栅耦合器776的特征的间距可以通过限定第一一维(1D)光栅耦合器756和第二1D光栅耦合器772的特征的交点所限定的间距来确定。光栅耦合器776的特征的间距(pitch spacing)与光栅耦合器756和772的特征的交点的间距之间的差异会导致在从一个光栅区域到另一光栅区域移动时可见的虚像位移或虚像游移。例如，当在观看虚像时CPE区域上的眼睛位置发生变化时，或者当大多数人的瞳孔间距(IPD)不同时，不希望有这种图像游移。图7B所示的实施例通过生成未失真的虚像来减少单面全视场(FOV)波导的图像游移。可以实施参考图7A和7B说明的实施例来实现优先衍射级。优先衍射级减少了所生成的图像中的中央亮带的出现并增加了目镜均匀性。所生成的图像的锐度也增加了。

[0104] 光栅耦合器的图案化

[0105] 图8A示出了光学目镜中的光栅耦合器816和820的图案化。图8A所示的目镜包括基板(例如，上面参考图4示出和描述的基板400)和被压印在基板的单侧上的耦入光栅800。耦入光栅800包括第一组平行脊。第一光栅耦合器816被压印在基板的单侧上并且被光学耦合到耦入光栅800。图8A所示的构造有时被称为平铺雪花光栅构造或平铺雪花光栅图案。第一光栅耦合器816包括限定目镜的EPE的多个瓦片824。瓦片824具有第一光栅图案，例如脊、突起、凹槽等。

[0106] 在一些实施例中，每个瓦片824包括多个突起。每个突起具有一个或多个侧壁。每个侧壁以与基板的不同的角度被取向。在其他实施例中，每个突起包括在两个不同方向上被取向的两个交叉脊。在其他实施例中，每个瓦片824包括多个立方体。每个立方体具有不同的高度。在一些实施例中，随着瓦片的位置从光栅耦合器816的中心区域812到光栅耦合器816的边界804变化，每个瓦片的面积减小。靠近边界804的瓦片的面积小于靠近中心区域812的瓦片。

[0107] 第二光栅耦合器(光栅区域820)被散布在多个瓦片824之间。光栅区域820具有不同于第一光栅图案的第二光栅图案。光栅区域820包括与耦入光栅800的第一组平行脊正交的第二组平行脊。光栅区域820限定目镜的OPE。可以改变瓦片824的布局以实现远场虚像的更高均匀性。通过改变瓦片的形状、大小、分布、和密度,可以获得更高的远场虚像均匀性。在一些实施例中,每个瓦片的尺寸可以保持相同,而瓦片密度从更密集降低到更稀疏。瓦片824的分布可以是周期性的或随机的。所生成的图像的锐度也增加了。由本文公开的实施例提供的不同设计选择提供了更高的光学效率和质量。

[0108] 在一些实施例中,光栅耦合器816和820被配置为接收由耦入光栅800衍射的光。光栅耦合器816和820被配置为降低由光栅耦合器816和820的中心区域812发射的光的亮度。在一些实施例中,光栅耦合器816和820被配置为漫射由中心区域812发射的光。

[0109] 光栅耦合器的图案化

[0110] 图8B示出了光学目镜中的光栅耦合器868和860的图案化。图8B所示的目镜包括基板(例如,上面参考图4示出和描述的基板400)和被压印在基板的单侧上的耦入光栅848。第一光栅耦合器868被压印在基板的单侧上并且被光学耦合到耦入光栅848。第一光栅耦合器868包括限定目镜的EPE的多个瓦片。

[0111] 每个瓦片864具有第一光栅图案(例如,平行脊、突起、凹槽等)。在一些实施例中,每个瓦片864包括多个凹槽。多个凹槽中的每个凹槽具有一个或多个侧壁。在一些实施例中,多个凹槽具有大于1.4的折射率。在一些实施例中,每个凹槽的宽度或长度中的至少一者在从5nm到800nm的范围内。在一些实施例中,每个凹槽的横截面具有三角形、锯齿形、阶梯形、或多阶梯形状。第二光栅耦合器(光栅区域860)被散布在瓦片之间。光栅区域860具有不同于第一光栅图案的第二光栅图案。光栅区域860限定目镜的OPE。如图8B所示,随着瓦片864的位置从光栅区域860的第一边界852变到第二边界856,每个瓦片864的面积增加。图8B的构造有时被称为平铺蜂窝光栅构造或平铺蜂窝光栅图案。

[0112] 一些实施例中,耦入光栅848被配置为接收来自投影仪(例如,上面参考图3A示出和描述的投影仪300)的光。耦入光栅848被配置为将光(例如,图3A所示的光332)衍射成光的第一部分(例如,部分336)和光的第二部分(例如,部分312)。第一部分336相对于从投影仪300接收的光332具有第一取向。第二部分312相对于从投影仪300接收的光332具有第二取向。第二取向不同于第一取向。衍射光栅被图案化在基板的单侧上。衍射光栅被配置为接收来自耦入光栅848的光的第一部分336和光的第二部分312。衍射光栅包括第一光栅耦合器868和第二光栅耦合器860。第一光栅耦合器868包括多个瓦片(例如,瓦片864)。第二光栅耦合器860包括光栅区域860。第一光栅耦合器868接收来自耦入光栅848的光的第一部分336。第一光栅耦合器868衍射光的第一部分336。第一光栅耦合器868将光的经衍射的第一部分(例如,部分340)引导到第二光栅耦合器860。第二光栅耦合器860接收来自耦入光栅848的光的第二部分312。第二光栅耦合器860进一步衍射光的第二部分312。第二光栅耦合器860将光的经衍射的第二部分(例如,部分316)引导到第一光栅耦合器868。衍射光栅还被配置为将光的经衍射的第一部分340和光的经衍射的第二部分316进行组合。

[0113] 光栅耦合器的图案化

[0114] 图9A示出了光学目镜中的光栅耦合器912的图案化。图9A所示的目镜包括耦入光栅900和光栅耦合器912。光栅耦合器912包括多个相交的线性光栅段。例如,线性光栅段904

与线性光栅段908相交。多个相交的线性光栅段以六边形填充的光栅图案被排列。光栅耦合器912有时被认为具有细线单侧蜂窝光栅图案或构造。由光栅耦合器912限定的每个多边形限定在两个线性光栅段(例如,904和908)之间的至少一个角度在从55度到65度范围内。由光栅耦合器912限定的每个多边形限定在两个线性光栅段904和908之间的至少一个其他角度在从115度到125度范围内。在一些实施例中,图9A所示的目镜还包括第二光栅耦合器。第二光栅耦合器包括与光栅耦合器912的多个线性光栅段相邻的光栅区。光栅耦合器912类似于上面参考图3A、图3B、图4、图7A、图7B、图8A、和图8B示出和描述的光栅耦合器起作用。

[0115] 图9B示出了光学目镜中的光栅耦合器972的图案化。图9B所示的目镜包括耦入光栅948和被光学耦合到耦入光栅948的光栅耦合器972。光栅耦合器972包括以蜂窝光栅图案排列的多个线性光栅段。例如,光栅耦合器972包括线性光栅段952。在一些实施例中,目镜包括第二光栅耦合器。第二光栅耦合器可以包括与光栅耦合器972的多个线性光栅段相邻的光栅区。光栅耦合器972有时被认为具有细线单侧蜂窝光栅图案或构造。

[0116] 在一些实施例中,光栅耦合器972还包括多个突起。在一些实施例中,突起的轴间距968在从300nm到450nm的范围内。在一些实施例中,多个突起的对角间距964在从300nm到900nm的范围内。在一些实施例中,光栅耦合器972包括具有第一俯仰轴956的第一组突起,第二光栅耦合器包括具有第二俯仰轴960的第二组突起。在一些实施例中,第一俯仰轴956与第二俯仰轴960之间的角度约为90度,在每个俯仰轴方向上有或没有特征的重叠的情况下。在一些实施例中,第一俯仰轴956与第二俯仰轴960之间的角度在从55度到65度的范围内,在每个俯仰轴方向上有或没有特征的重叠。特征重叠可以是突起的长度或宽度的约30%。

[0117] 光栅耦合器的图案化

[0118] 图10示出了光学目镜中的光栅耦合器1008的图案化。光栅耦合器1008包括限定目镜的OPE的第一组线性光栅段1000。光栅耦合器1008包括限定目镜的EPE的第二组线性光栅段1004。第二组线性光栅段1004与第一组线性光栅段1000交织。光栅耦合器1008有时被认为具有雪花光栅图案或构造。

[0119] 在参考上面的图9A、图9B、和图10说明的目镜实施例中,耦入光栅(例如,耦入光栅900)、OPE(例如,OPE 1000)、和EPE(例如,EPE1004)的几何形状被调谐为使得耦入光栅900和目镜具有优先衍射级。被直接耦合或衍射到用户的眼球328中的光的部分被减少,从而减少不希望的伪影。因此,参考上面的图9A、图9B、和图10说明的目镜实施例防止了在所生成的图像中中央亮带伪影的出现。OPE和EPE光栅的衍射特性可以使用突起或多级突起或凹槽的倾斜和闪耀进行改善。

[0120] 光学目镜中的光栅耦合器的图案化

[0121] 图11A示出了光学目镜中的光栅耦合器的图案化。图11A所示的目镜包括具有大于阈值的折射率的基板(例如,上面参考图4示出和描述的基板400)。在一些实施例中,阈值为1.4。目镜还包括被图案化在基板的单侧上的耦入光栅1100。第一光栅耦合器1120被图案化在基板的单侧上。第一光栅耦合器1120被光学耦合到耦入光栅1100以接收来自耦入光栅1100的光的一部分。第一光栅耦合器1120具有第一光栅图案1104。

[0122] 第二光栅耦合器1124也被图案化在基板的单侧上。第二光栅耦合器1124被光学耦合到耦入光栅1100。第二光栅耦合器1124与第一光栅耦合器1120相邻。第二光栅耦合器

1124具有不同于第一光栅图案1104的第二光栅图案1108。在一些实施例中，第一光栅耦合器1120或第一光栅图案1104包括在第一方向上被取向的第一组脊。第二光栅耦合器1124或第二光栅图案1108包括在第二方向上被取向的第二组脊，如图11A所示。在一些实施例中，第一方向与第二方向之间的角度在从55度到65度的范围内。

[0123] 在一些实施例中，耦入光栅1100包括在第一方向上被取向的第一组平行脊。第一光栅耦合器1120包括在不同于第一方向的第二方向上被取向的第二组平行脊。第二光栅耦合器1124包括在不同于第一方向和第二方向的第三方向上被取向的第三组平行脊。在一些实施例中，第二方向与第三方向之间的角度在从55度到65度的范围内。

[0124] 在一些实施例中，第一光栅耦合器1120接触第二光栅耦合器1124。使用第二光栅图案1108图案化的瓦片(例如，瓦片1116)被插入到第一光栅耦合器1120中。使用第一光栅图案1104图案化的其他瓦片(例如，瓦片1112)被插入到第二光栅耦合器1124中。因此，在第一光栅耦合器1120接触第二光栅耦合器1124的位置处限定了平铺图案(例如，包括瓦片1112和1116)。瓦片1112具有第一光栅图案1104。瓦片1116具有第二光栅图案1108。以这种方式，平铺区域被配置为漫射被直接耦合到目镜的用户的眼球328中的光。从左视场到右视场的锐化过渡被抹掉了。瓦片尺寸、密度、形状、和分布可以改变，以获得更高的虚像分辨率、均匀性、和亮度。所生成的图像的锐度也增加了。

[0125] 在一些实施例中，第一光栅耦合器1120接触第二光栅耦合器1124的位置包括类似于上面参考图5A示出和描述的叉指光栅图案500的叉指交替光栅图案。在一些实施例中，第一光栅耦合器1120接触第二光栅耦合器1124的位置包括将第一光栅耦合器1120的第一边界与第二光栅耦合器1124的第二边界混合的模版。

[0126] 光学目镜中的光栅耦合器的混合图案化

[0127] 图11B示出了光学目镜中的光栅耦合器的混合图案化。图11B所示的目镜包括被配置为衍射从投影仪(例如，上面参考图3示出和描述的投影仪300)接收的光的耦入光栅1168。耦入光栅1168将光衍射成光的第一部分和光的第二部分。第一光栅耦合器1160被光学耦合到耦入光栅1168。耦入光栅1168被配置为将光的第一部分引导到第一光栅耦合器1160。第一光栅耦合器1160具有第一光栅图案1148。第二光栅耦合器1164也被光学耦合到耦入光栅1168。耦入光栅1168还被配置为将光的第二部分引导到第二光栅耦合器1164。第二光栅耦合器1164具有不同于第一光栅图案1148的第二光栅图案1152。

[0128] 第一光栅耦合器1160的第一边界1172与第二光栅耦合器的第二边界1176混合以限定混合光栅区1156。在一些实施例中，混合光栅区1156包括第一光栅图案1148和第二光栅图案1152的叉指交替图案。在一些实施例中，混合光栅区1156包括混合第一光栅耦合器1160的第一边界1172与第二光栅耦合器1164的第二边界1176的模版。在一些实施例中，创建包含分级纳米特征的合并光栅区域，以避免图像中央中的亮带。从光栅的中心向每个边缘光栅特征分隔成两个不同的光栅图案。

[0129] 使用光学目镜中的光栅耦合器的光衍射和耦合

[0130] 图12示出了使用光学目镜中的光栅耦合器的光衍射和耦合。图12描绘了查看允许在波导中传播的光线的k空间的方式。图12的光栅具有一定角度，使得它们允许光1224在特定方向上衍射(传播和出射)，以便成角度的光到达用户的视场。

[0131] 外圆1200对应于光在高折射率基板内传播的角度条件。内圆1204表示光在空气中

传播的条件。两个同心圆1200和1204之间的环对应于光在平面波导中传播的全内反射(TIR)条件。矩形1208表示空气中的视场。

[0132] 其他实施例

[0133] 在一些实施例中,一种目镜包括耦入光栅,该耦入光上被图案化在基板的单侧上并被配置为将从投影仪接收的光衍射成光的第一部分和光的第二部分。第一部分相对于从投影仪接收的光具有第一取向,而第二部分相对于从投影仪接收的光具有第二取向。第二取向不同于第一取向。衍射光栅被图案化在基板的单侧上并被配置为从耦入光栅接收光的第一部分和光的第二部分。光的第一部分和光的第二部分被衍射。光的经衍射的第一部分和光的经衍射的第二部分被组合。

[0134] 在一些实施例中,第一光栅耦合器包括具有第一俯仰轴的第一组突起。第二光栅耦合器包括具有第二俯仰轴的第二组突起。

[0135] 在一些实施例中,第一俯仰轴与第二俯仰轴之间的角度在从55度到65度的范围内。

[0136] 在一些实施例中,第一光栅耦合器的第一区域与第二光栅耦合器的第二区域重叠。重叠的第一区域和重叠的第二区域中的每一者具有叉指交替光栅图案。

[0137] 在一些实施例中,叉指交替光栅图案被配置为漫射光的第三部分。光的第三部分被目镜直接衍射到目镜的用户的眼球中。

[0138] 在一些实施例中,叉指交替光栅图案包括混合第一光栅耦合器的第一边界与第二光栅耦合器的第二边界的模版。

[0139] 在一些实施例中,叉指交替光栅图案包括以特定方向取向的多个平行脊、以人字形光栅图案排列的多个脊、或以锯齿光栅图案排列的多个脊中的至少一者。

[0140] 在一些实施例中,叉指交替光栅图案包括多个突起。多个突起中的每个突起具有一个或多个侧壁。一个或多个侧壁中的每个侧壁以与基板的不同的角度被取向。

[0141] 在一些实施例中,突起具有大于1.4的折射率。

[0142] 在一些实施例中,第一光栅耦合器包括具有第一光栅图案的瓦片。第二光栅耦合器包括与瓦片相邻并具有不同于第一光栅图案的第二光栅图案的光栅区域。

[0143] 在一些实施例中,耦入光栅包括在第一方向被取向的第一组平行脊。第一光栅耦合器包括在不同于第一方向的第二方向被取向的第二组平行脊。第二光栅耦合器包括在不同于第一方向和第二方向的第三方向被取向的第三组平行脊。

[0144] 在一些实施例中,第二方向与第三方向之间的角度在从55度到65度的范围内。

[0145] 在一些实施例中,第一光栅耦合器包括多个平行光栅段,这些光栅段在特定方向被取向并且具有第一光栅图案。第二光栅耦合器包括与多个平行光栅段相邻并具有不同于第一光栅图案的第二光栅图案的光栅区。

[0146] 在一些实施例中,第一光栅耦合器包括以蜂窝光栅图案排列的多个线性光栅段。第二光栅耦合器包括与多个线性光栅段相邻的光栅区。

[0147] 在一些实施例中,一种目镜包括耦入光栅和光栅耦合器,该耦入光栅被压印在基板的单侧上,而光栅耦合器被压印在基板的单侧上并且被光学耦合到耦入光栅。光栅耦合器包括定义目镜的出射光瞳扩展器(EPE)的多个瓦片。多个瓦片中的每个瓦片具有第一光栅图案。光栅区域被散布在多个瓦片之间并且具有不同于第一光栅图案的第二光栅图案。

光栅区域定义目镜的正交光瞳扩展器(OPE)。

[0148] 在一些实施例中,光栅耦合器被配置为接收由耦入光栅衍射的光并且降低由光栅耦合器的中心区域发射的光的亮度。

[0149] 在一些实施例中,光栅耦合器被配置为接收由耦入光栅衍射的光并且漫射由光栅耦合器的中心区域发射的光。

[0150] 在一些实施例中,多个瓦片中的每个瓦片包括多个突起。多个突起中的每个突起具有一个或多个侧壁。一个或多个侧壁中的每个侧壁以与基板的不同角度被取向。

[0151] 在一些实施例中,多个突起中的每个突起包括在两个不同方向被取向的两个交叉脊。

[0152] 在一些实施例中,多个突起中的每个突起具有圆柱形或椭圆形形状。

[0153] 在一些实施例中,多个突起中的每个突起具有至少一个矩形、圆形、三角形、或多边形表面。

[0154] 在一些实施例中,多个瓦片中的每个瓦片包括多个立方体。多个立方体中的每个立方体具有不同的高度。

[0155] 在一些实施例中,耦入光栅包括第一组平行脊。光栅区域包括与第一组平行脊正交的第二组平行脊。

[0156] 在一些实施例中,随着瓦片的位置从光栅耦合器的中心变到光栅耦合器的边界,多个瓦片中的每个瓦片的面积减小。

[0157] 在一些实施例中,随着瓦片的位置从光栅耦合器的第一边界变到光栅耦合器的第二边界,多个瓦片中的每个瓦片的面积增加。

[0158] 在一些实施例中,多个瓦片中的每个瓦片具有矩形、圆形、椭圆形、多边形、或六边形中的至少一者。

[0159] 在一些实施例中,多个瓦片中的每个瓦片包括多个凹槽。多个凹槽中的每个凹槽具有一个或多个侧壁。

[0160] 在一些实施例中,多个凹槽具有大于1.4的折射率。

[0161] 在一些实施例中,多个凹槽中的每个凹槽的宽度或长度中的至少一者在从5nm到800nm的范围内。

[0162] 在一些实施例中,多个凹槽中的每个凹槽的横截面具有三角形、锯齿形、或阶梯形状。

[0163] 在一些实施例中,一种目镜包括具有大于阈值的折射率的基板和被图案化在基板的单侧上的耦入光栅。三个或更多个光栅耦合器被图案化在基板的单面上并且被光学耦合到耦入光栅。三个或更多个光栅耦合器中的每个光栅耦合器具有不同的光栅图案。

[0164] 在一些实施例中,耦入光栅被配置为将从投影仪接收的光衍射成光的三个或更多个部分。

[0165] 在一些实施例中,光的三个或更多个部分中的每个部分相对于从投影仪接收的光具有不同的取向。

[0166] 在一些实施例中,耦入光栅还被配置为将光的三个或更多个部分中的对应部分引导到三个或更多个光栅耦合器中的每个光栅耦合器。

[0167] 在一些实施例中,三个或更多个光栅耦合器中的每个光栅耦合器被配置为衍射光

的三个或更多个部分中的对应部分。

[0168] 在一些实施例中,目镜被配置为组合光的经衍射的三个或更多个部分。

[0169] 在一些实施例中,三个或更多个光栅耦合器中的至少一个光栅耦合器位于三个或更多个光栅耦合器中的两个其他光栅耦合器之间。

[0170] 在一些实施例中,两个其他光栅耦合器中的第一其他光栅耦合器包括在第一方向上被取向的第一线性光栅段。

[0171] 在一些实施例中,两个其他光栅耦合器中的第二其他光栅耦合器包括在不同于第一方向的第二方向上被取向的第二线性光栅段。

[0172] 在一些实施例中,第一方向与第二方向的之间的角度在从55度到65度的范围内。

[0173] 在一些实施例中,三个或更多个光栅耦合器中的至少一个光栅耦合器包括在不同于第一方向且不同于第二方向的第三方向上被取向的多个线性光栅段。

[0174] 在一些实施例中,三个或更多个光栅耦合器中的至少一个光栅耦合器的间距由两个其他光栅耦合器中的第一其他光栅耦合器和两个其他光栅耦合器中的第二其他光栅耦合器的交点限定。

[0175] 在一些实施例中,三个或更多个光栅耦合器中的至少一个光栅耦合器的宽度在从5mm到20mm的范围内。

[0176] 在一些实施例中,三个或更多个光栅耦合器中的至少一个光栅耦合器包括多个瓦片。

[0177] 在一些实施例中,一组瓦片中的每个瓦片具有多边形形状。

[0178] 在一些实施例中,多个瓦片中的每个瓦片包括多个突起。多个突起中的每个突起具有一个或多个侧壁。

[0179] 在一些实施例中,沿着从耦入光栅入射到多个突起上的光的方向测量的多个突起中的每个突起的体积的填充因子在从10%到90%的范围内。

[0180] 在一些实施例中,多个突起的轴间距在从300nm到450nm的范围内。

[0181] 在一些实施例中,多个突起的对角间距在从300nm到900nm的范围内。

[0182] 在一些实施例中,三个或更多个光栅耦合器中的至少一个光栅耦合器被配置为漫射从耦入光栅接收的光的一部分。

[0183] 在一些实施例中,三个或更多个光栅耦合器中的至少一个光栅耦合器被配置为降低由至少一个光栅耦合器发射到目镜的用户的眼球中的光的强度。

[0184] 在一些实施例中,一种目镜包括被图案化在具有大于阈值的折射率的基板的第一侧或该基板的第二侧中的至少一者上的耦入光栅。第一光栅耦合器被图案化在基板的第一侧上并且具有第一光栅图案。第一光栅耦合器被光学耦合到耦入光栅。第二光栅耦合器被图案化在基板的第二侧上并且具有不同于第一光栅图案的第二光栅图案。第二光栅耦合器被光学耦合到耦入光栅。

[0185] 在一些实施例中,第一光栅耦合器和第二光栅耦合器被配置为从耦入光栅接收光。

[0186] 在一些实施例中,第一光栅耦合器的一个区与第二光栅耦合器重叠,使得重叠区被配置为将光的一部分衍射到目镜的用户的眼球中。

[0187] 在一些实施例中,该区在第一光栅耦合器的总面积的从10%到60%的范围内。

[0188] 在一些实施例中，第一光栅耦合器或第二光栅耦合器中的至少一者包括多个突起。多个突起中的每个突起具有一个或多个侧壁。一个或多个侧壁中的每个侧壁以与基板的不同角度被取向。

[0189] 在一些实施例中，多个突起中的每个突起包括在两个不同方向上被取向的至少两个交叉脊。

[0190] 在一些实施例中，沿着从耦入光栅入射到多个突起上的光的方向测量的多个突起中的每个突起的体积的填充因子在从10％到90％的范围内。

[0191] 在一些实施例中，多个突起的轴间距在从300nm到450nm的范围内。

[0192] 在一些实施例中，多个突起的对角间距在从300nm到900nm的范围内。

[0193] 在一些实施例中，多个突起中的每个突起的高度在从5nm到500nm的范围内。

[0194] 在一些实施例中，多个突起中的每个突起的宽度或长度中的至少一者在从5nm到800nm的范围内。

[0195] 在一些实施例中，多个突起中的每个突起的横截面具有三角形、锯齿形、或阶梯形状。

[0196] 在一些实施例中，多个突起中的每个突起包括多个立方体。多个立方体中的每个立方体具有不同的高度。

[0197] 在一些实施例中，多个突起具有大于1.4的折射率。

[0198] 在一些实施例中，第一光栅耦合器包括具有第一光栅图案的瓦片。第二光栅耦合器包括与瓦片相邻并具有第二光栅图案的光栅区域。

[0199] 在一些实施例中，第一光栅耦合器包括多个凹槽。多个凹槽中的每个凹槽具有一个或多个侧壁。一个或多个侧壁中的每个侧壁以与基板的不同角度被取向。

[0200] 在一些实施例中，第一光栅耦合器包括在第一方向上被取向的第一组脊。第二光栅耦合器包括在第二方向上被取向的第二组脊。

[0201] 在一些实施例中，第一方向与第二方向的之间的角度在从55度到65度的范围内。

[0202] 在一些实施例中，第一光栅耦合器包括具有第一俯仰轴的第一组突起。第二光栅耦合器包括具有第二俯仰轴的第二组突起。

[0203] 在一些实施例中，第一俯仰轴与第二俯仰轴的之间的角度在从55度到65度的范围内。

[0204] 在前面的描述中，已经参考许多具体细节描述了实施例，这些具体细节可能因实施方式而异。因此，描述和附图被认为是说明性的而不是限制性的。

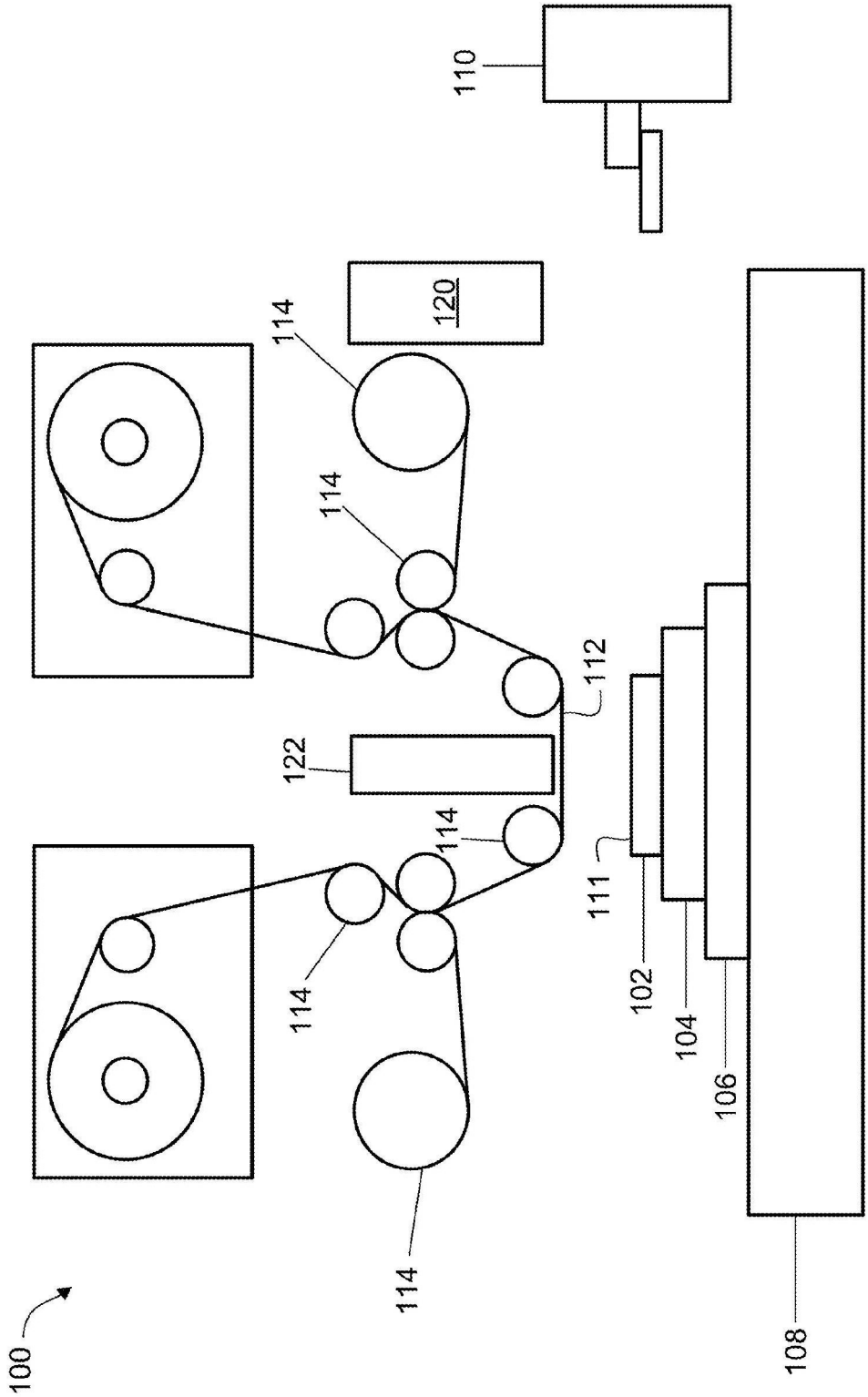


图1A

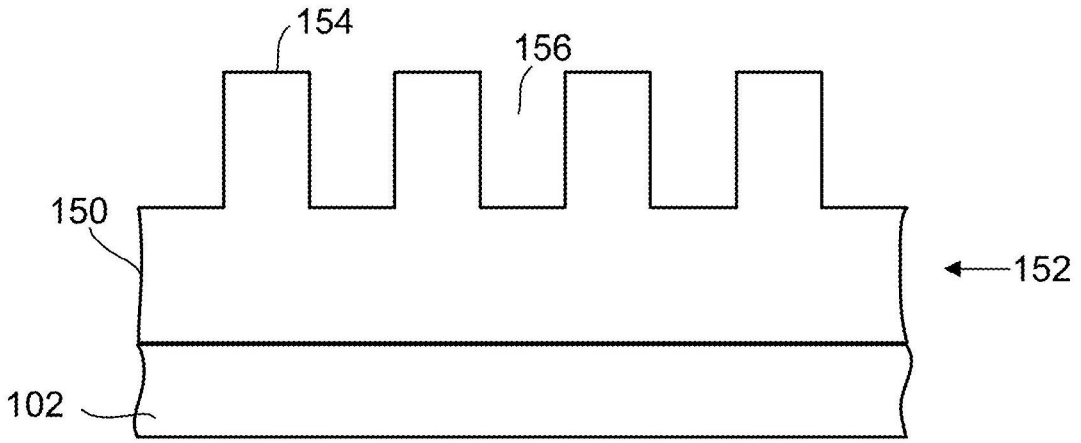


图1B

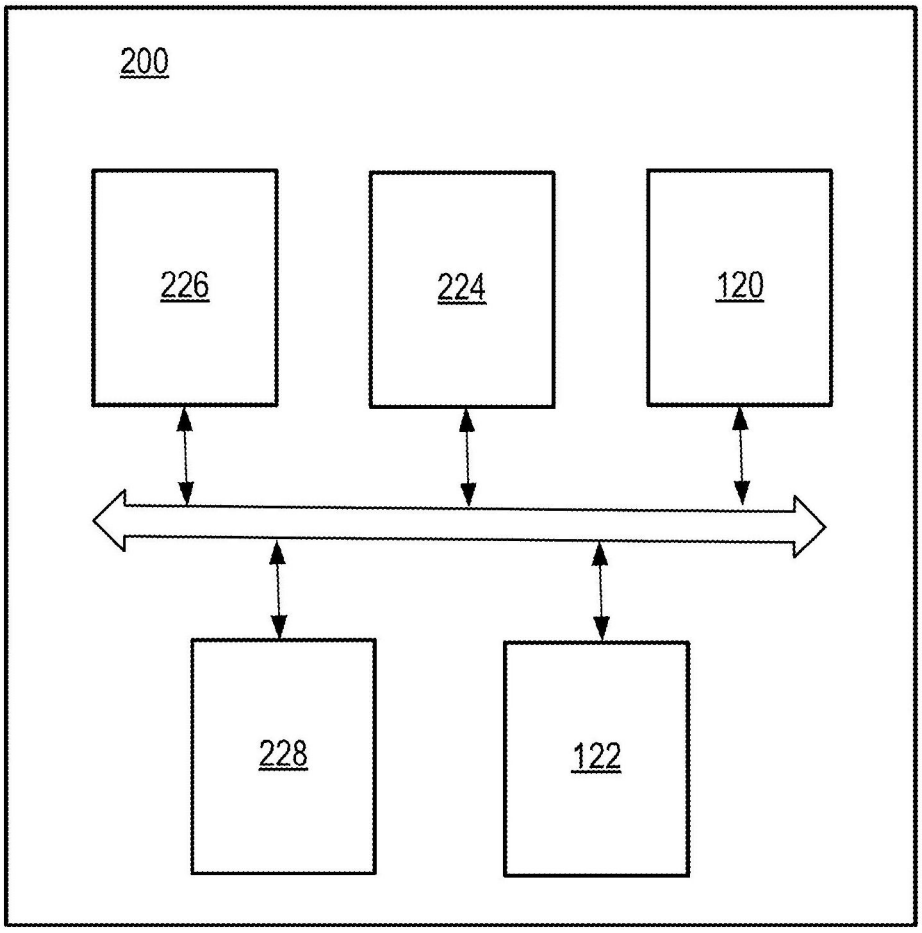


图2

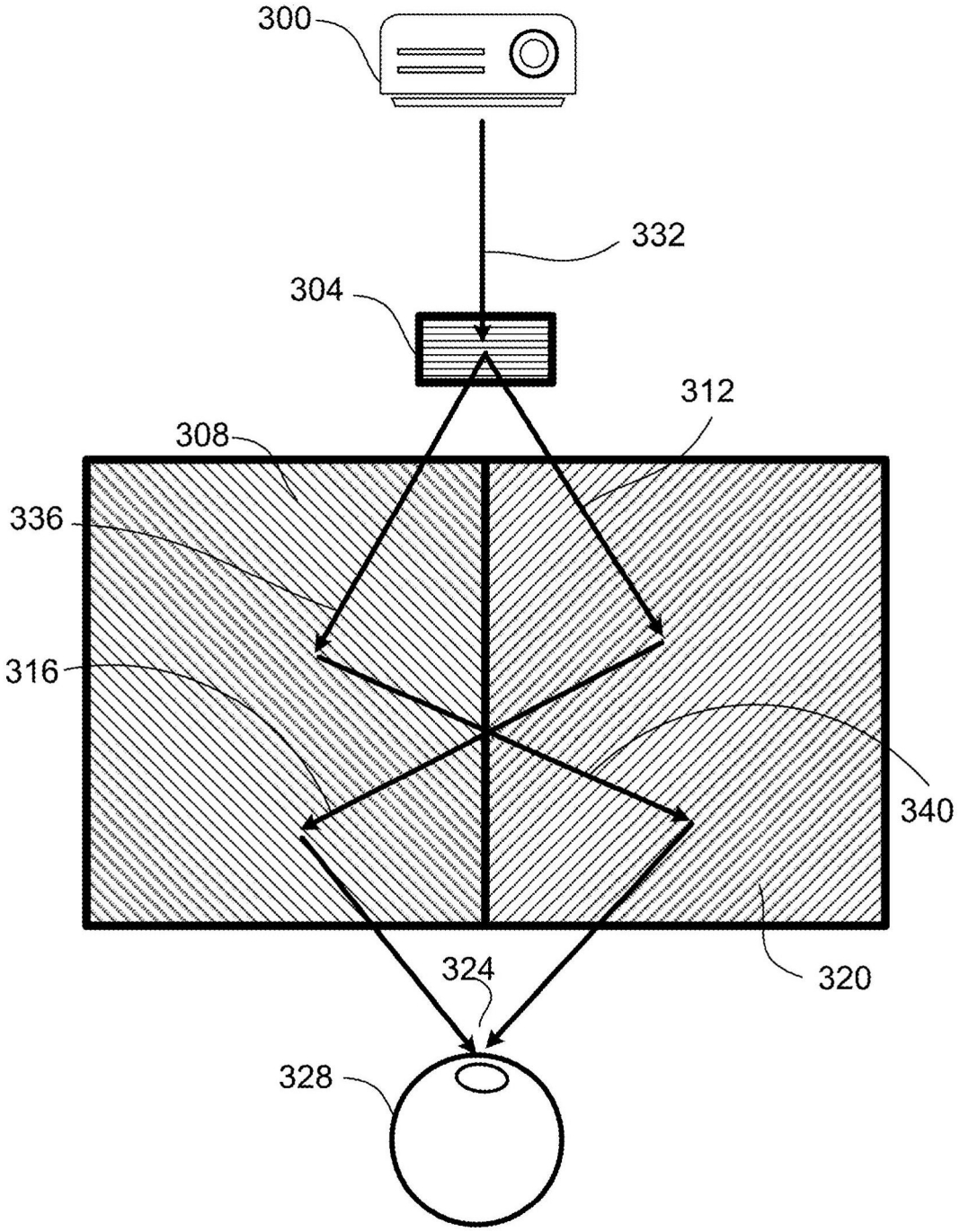


图3A

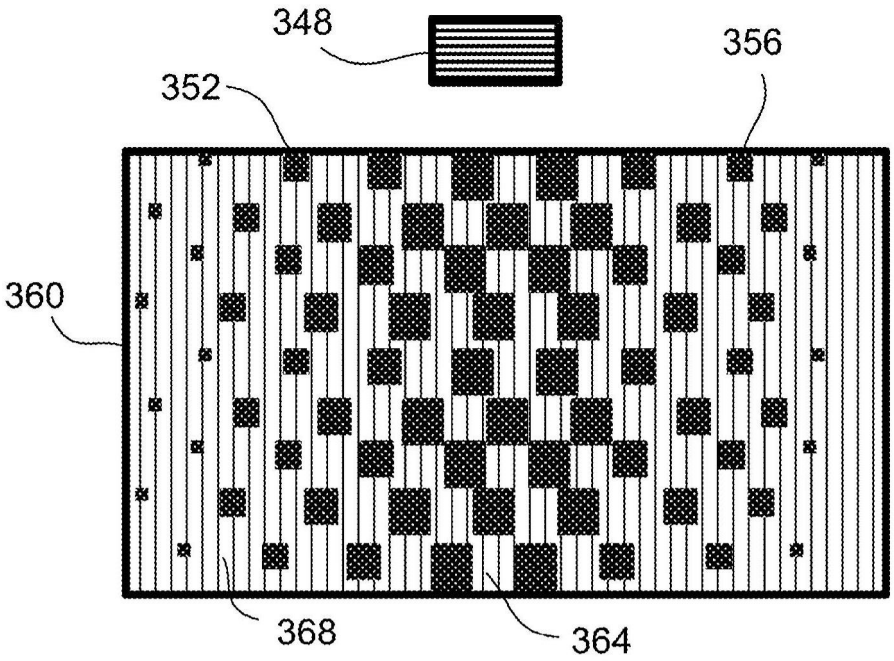


图3B

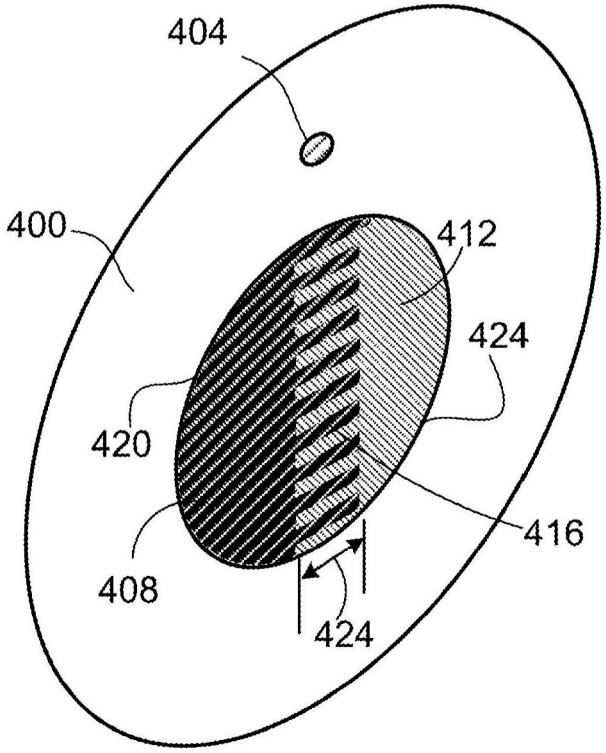


图4

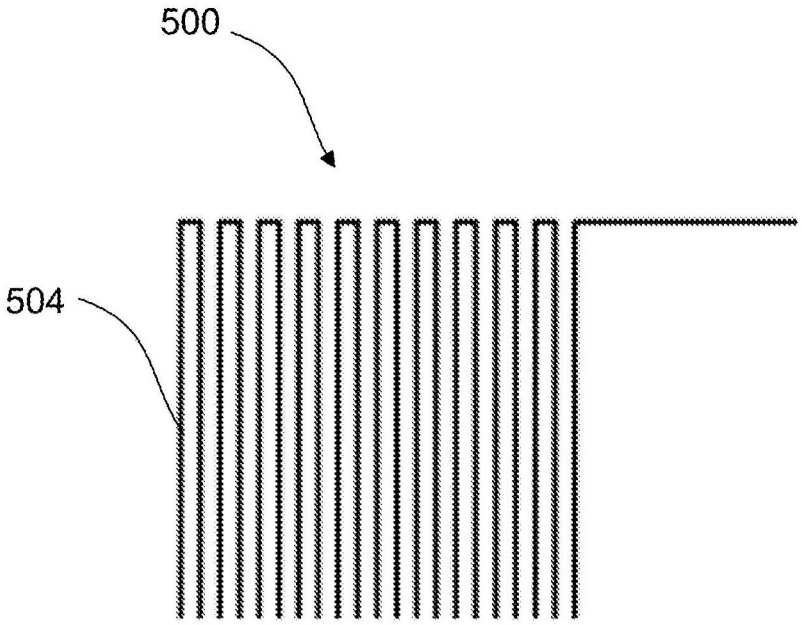


图5A

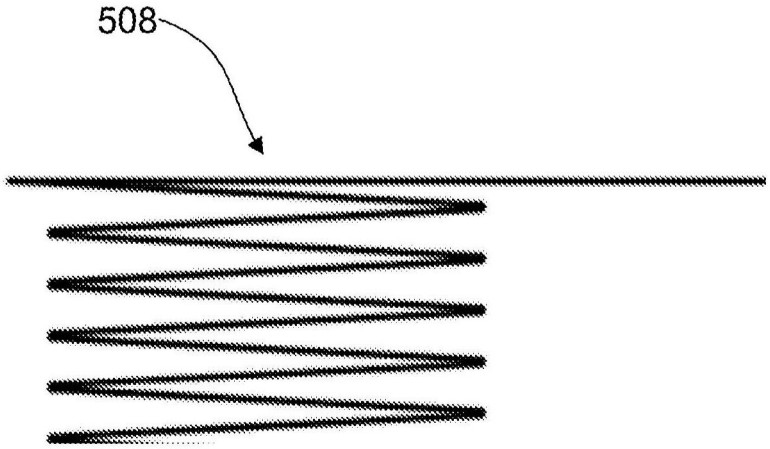


图5B

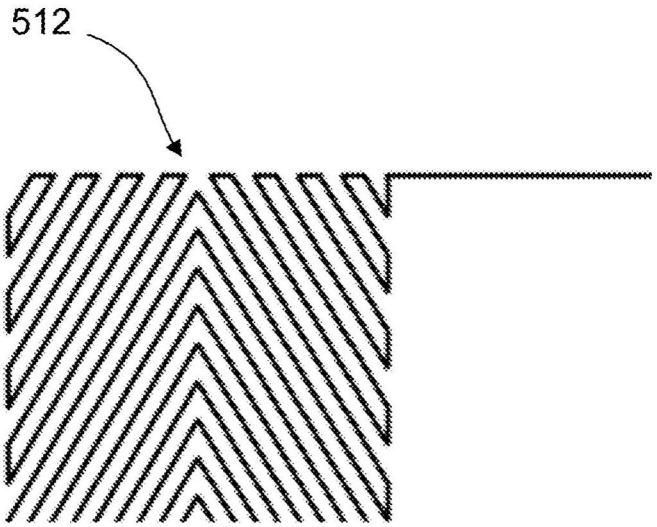


图5C

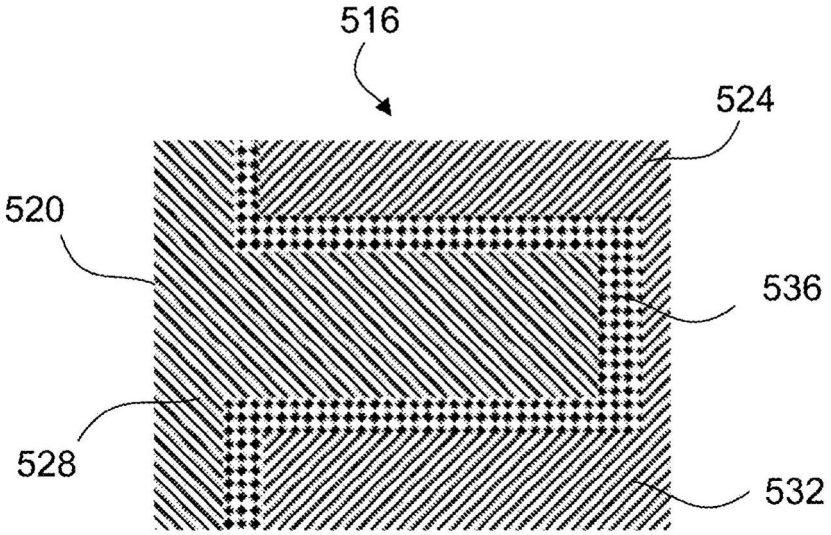


图5D

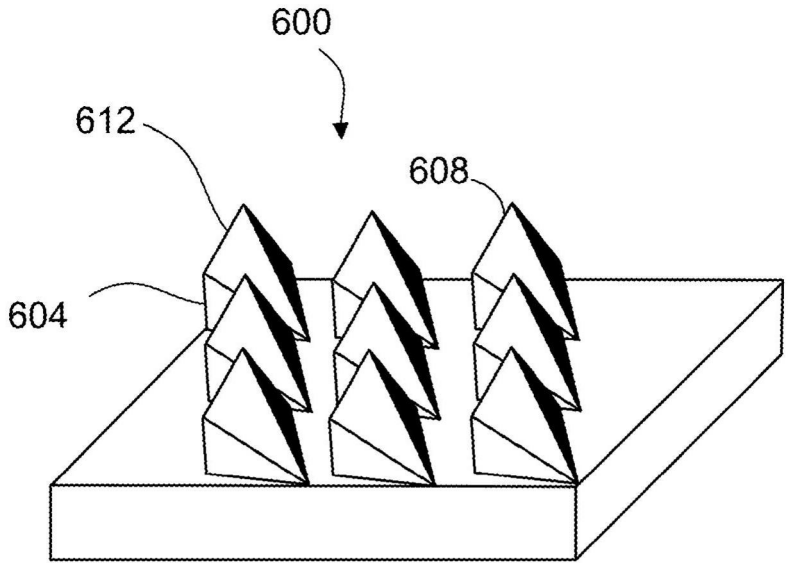


图6A

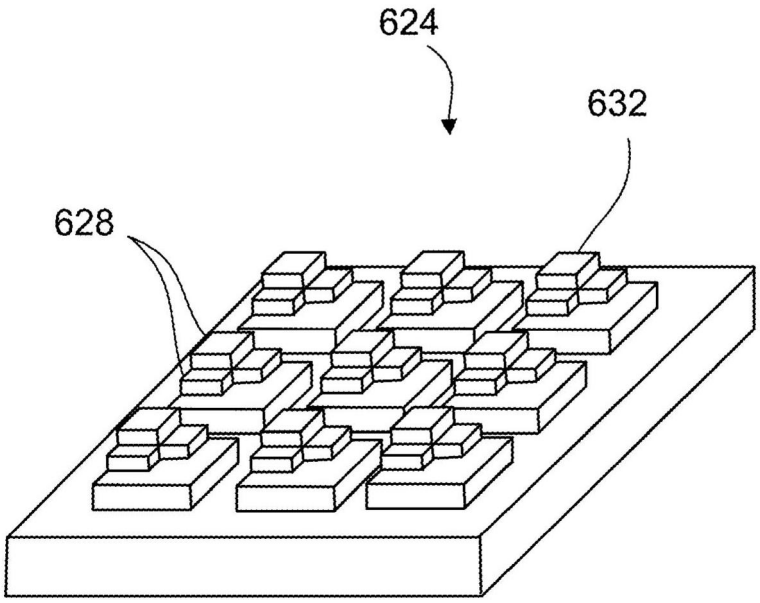


图6B

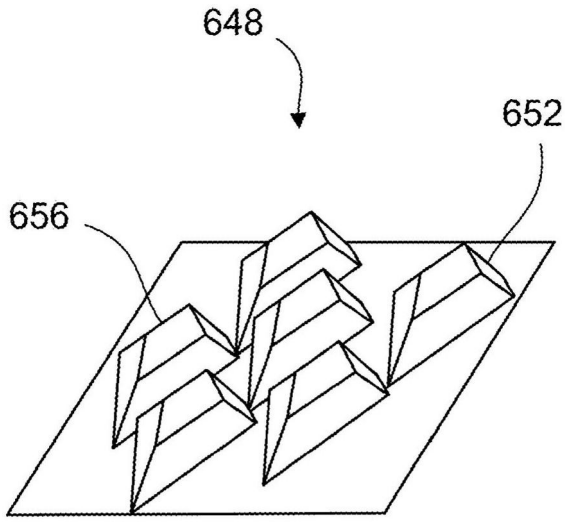


图6C

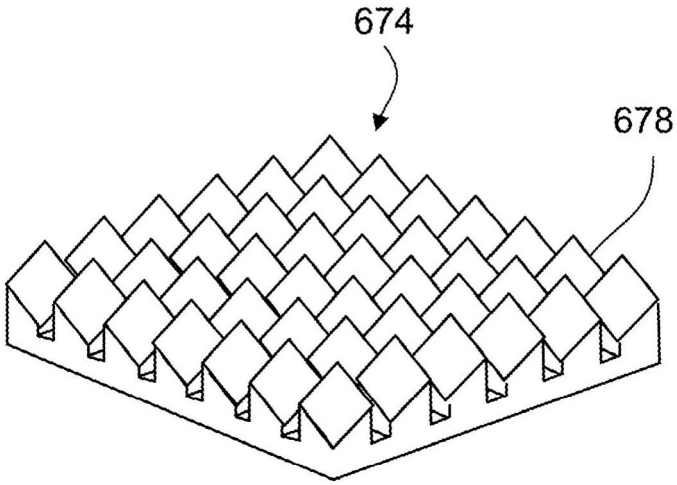


图6D

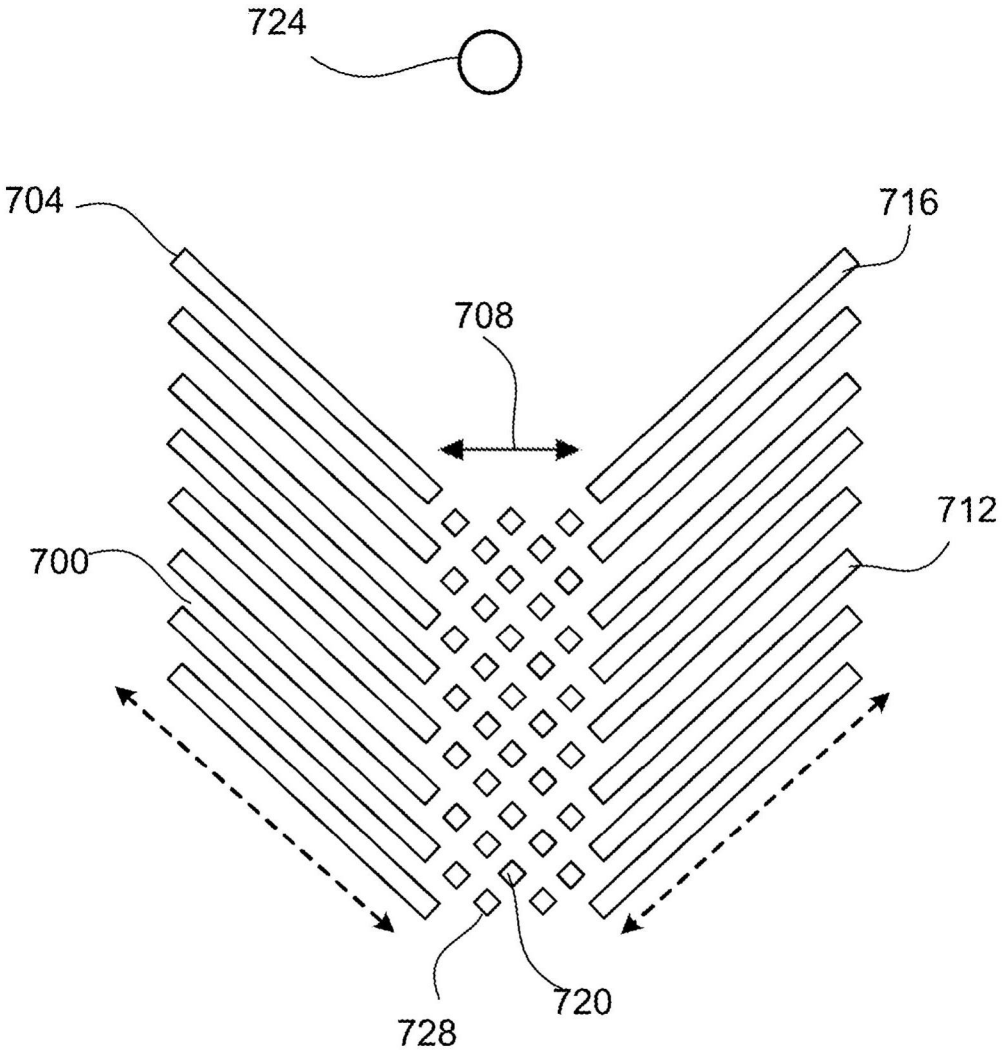


图7A

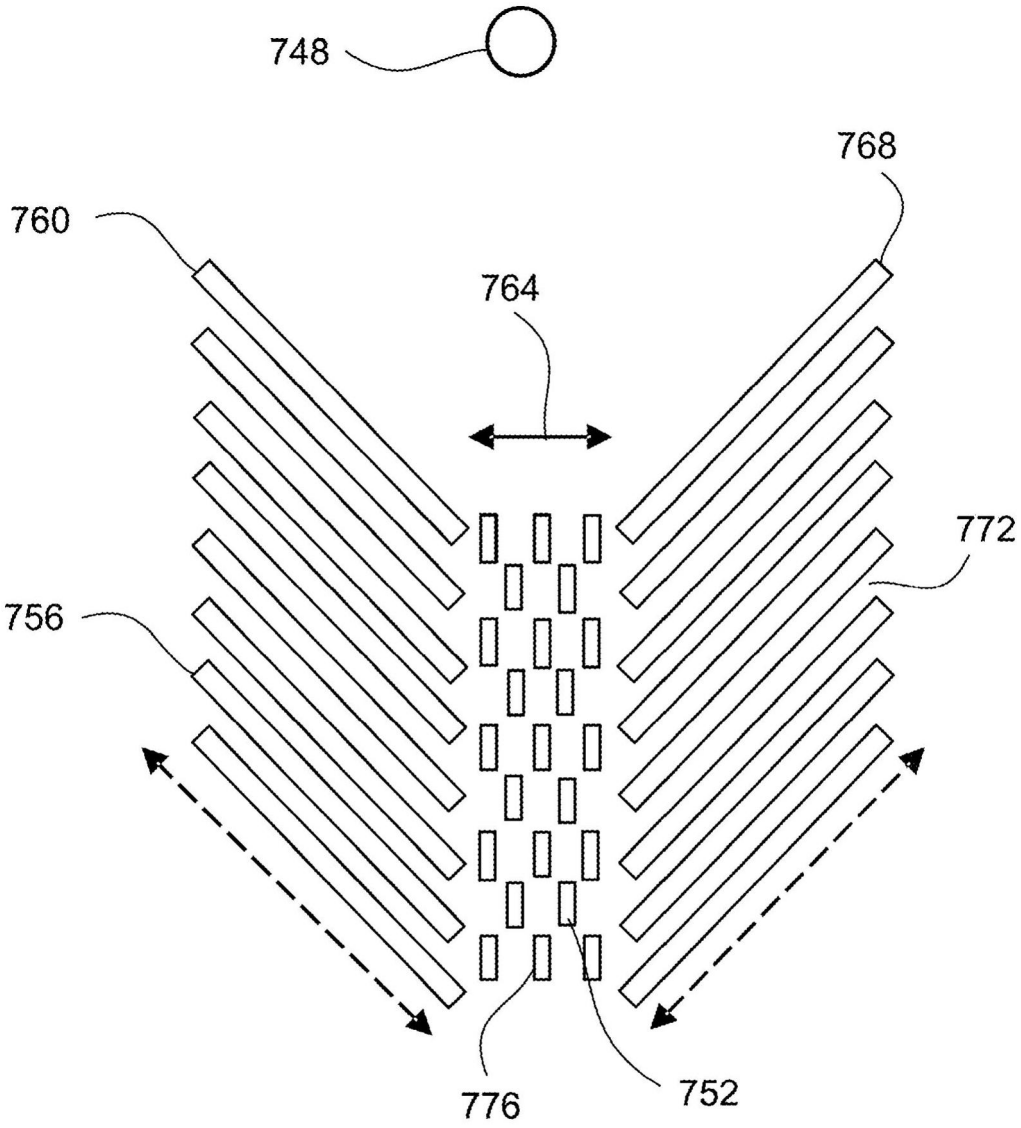


图7B

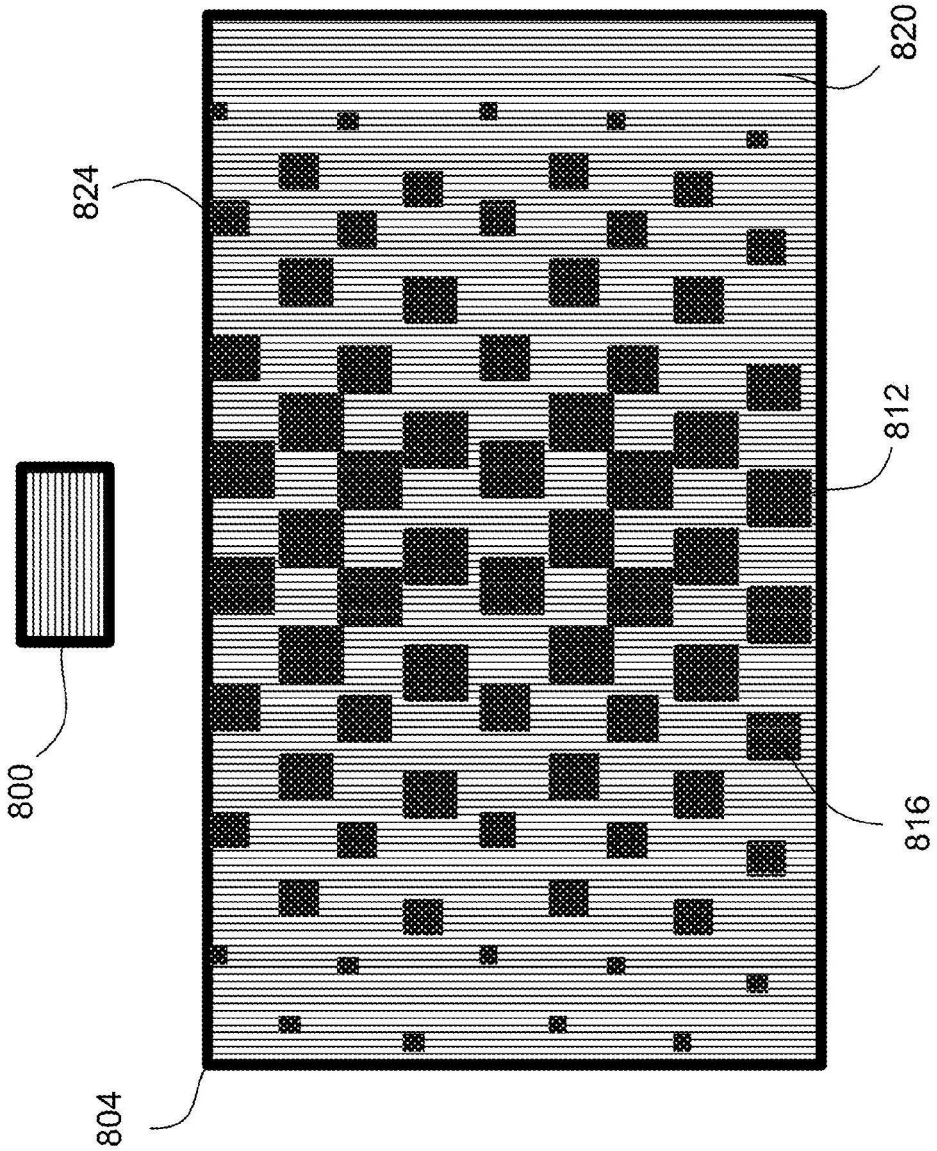


图8A

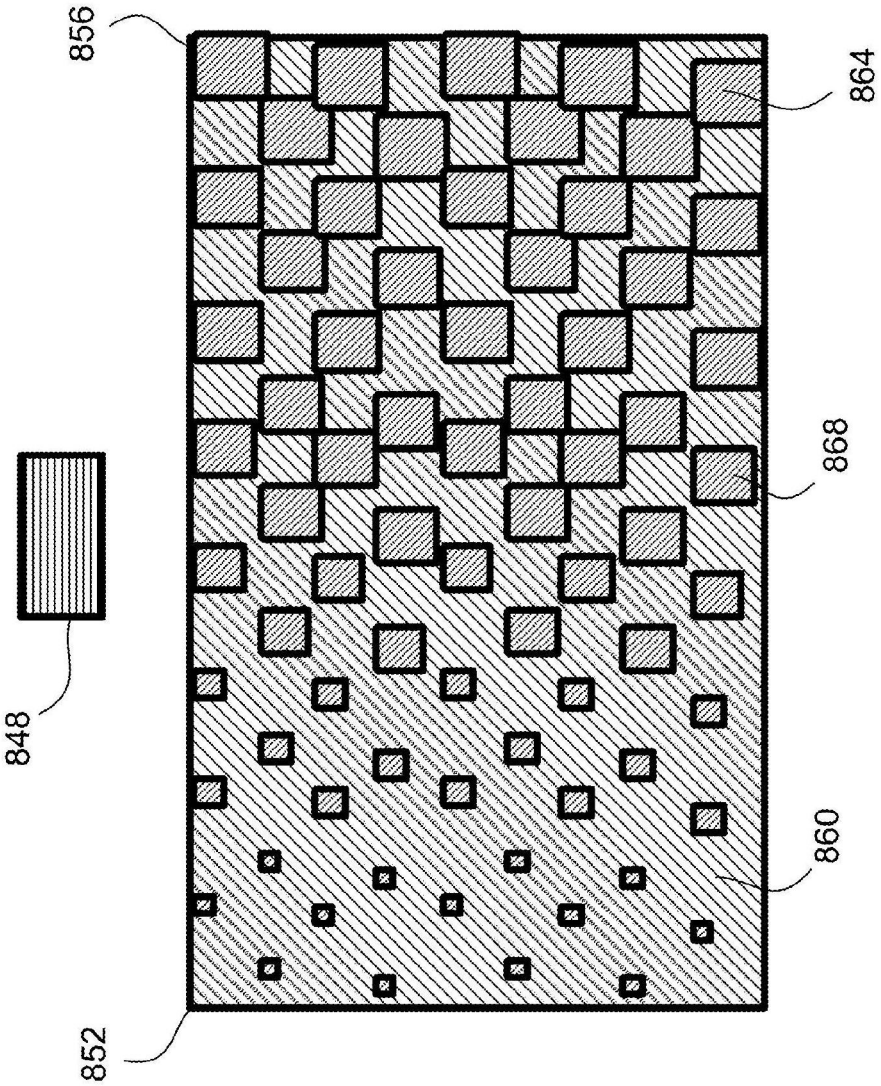


图8B

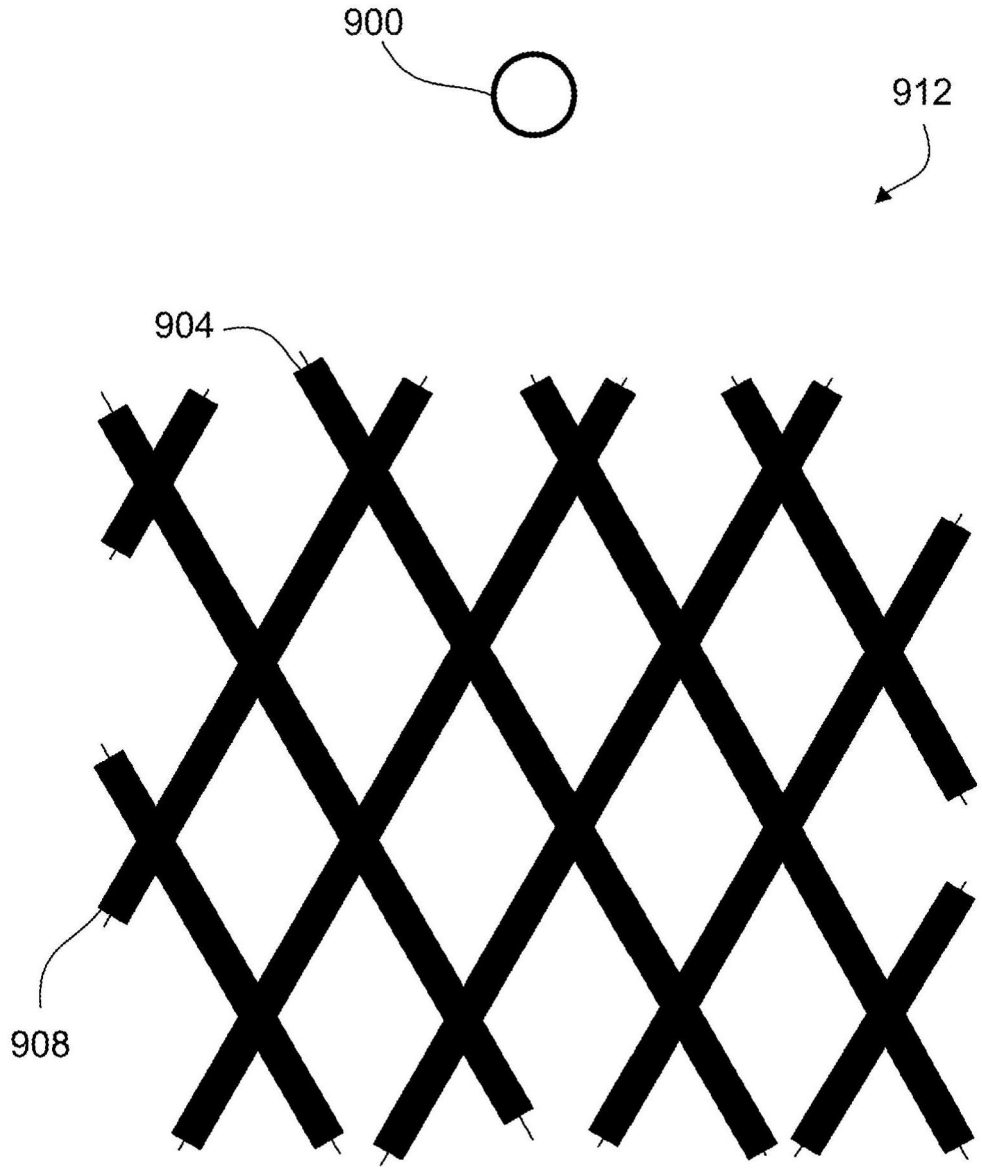


图9A

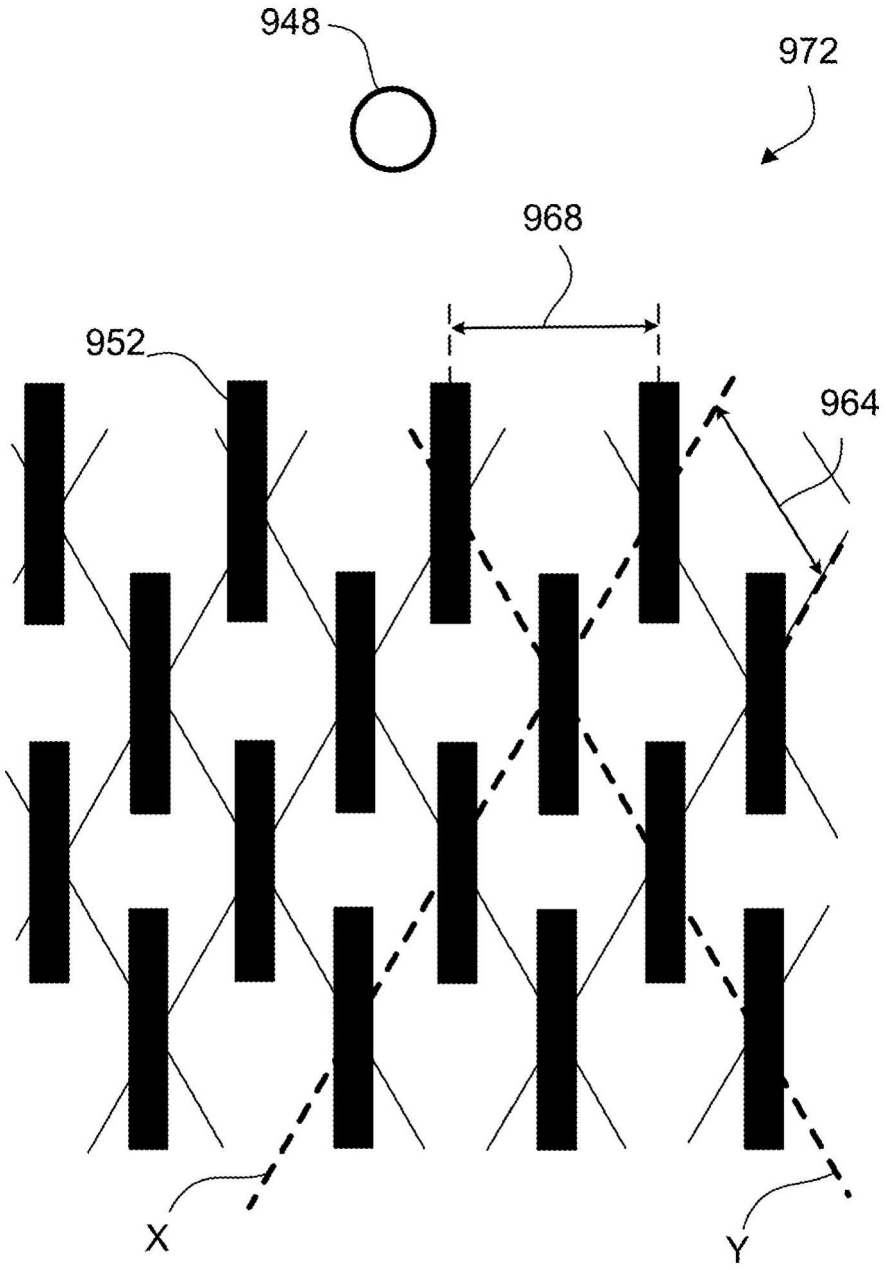


图9B

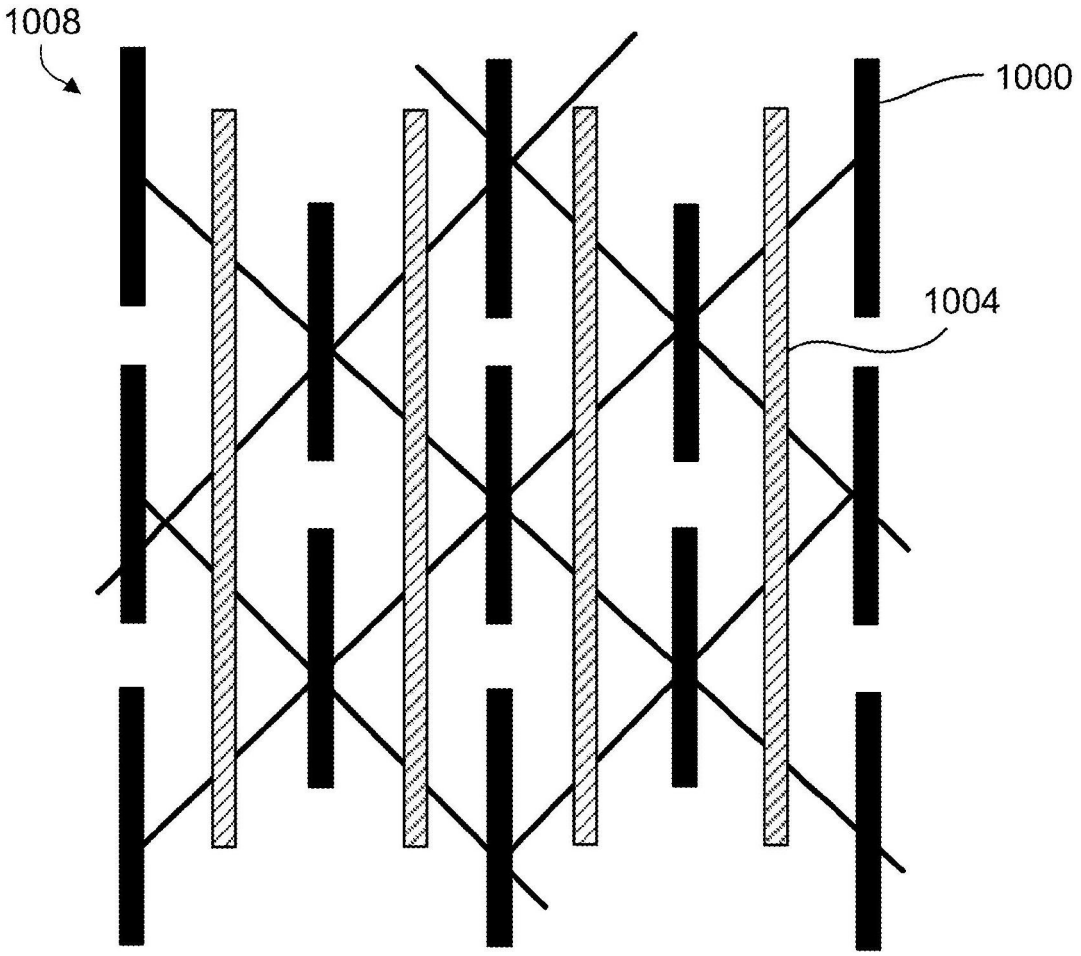


图10

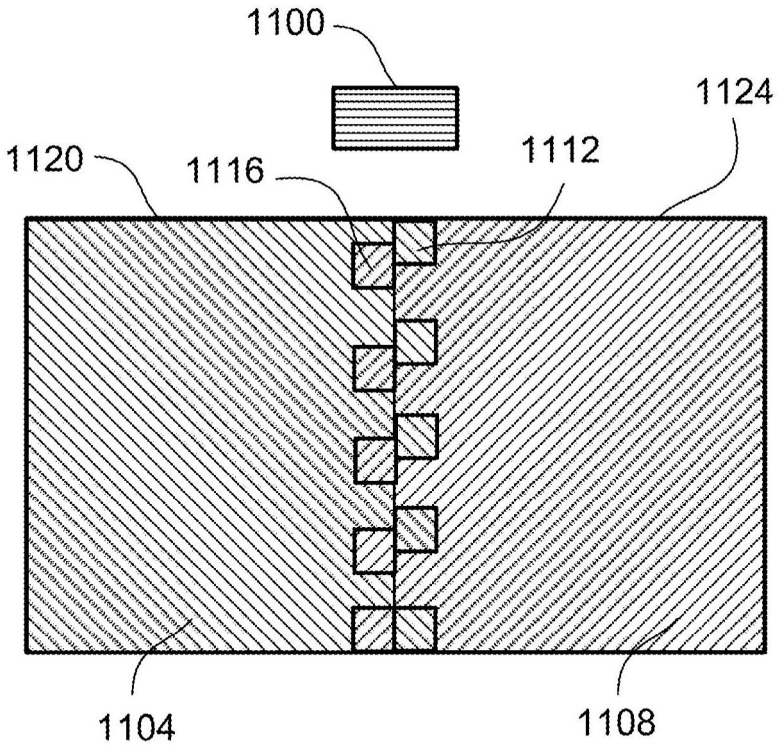


图11A

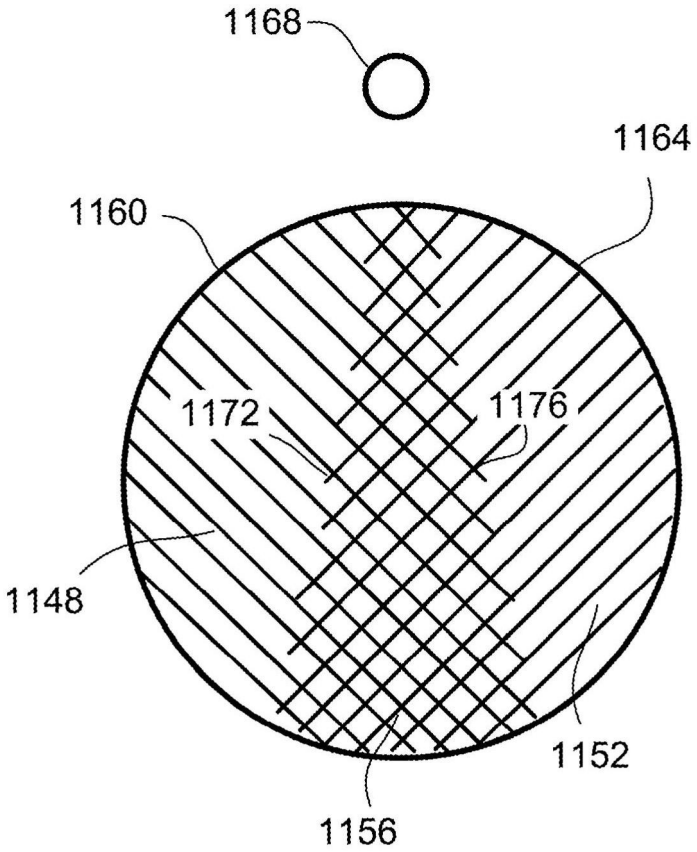


图11B

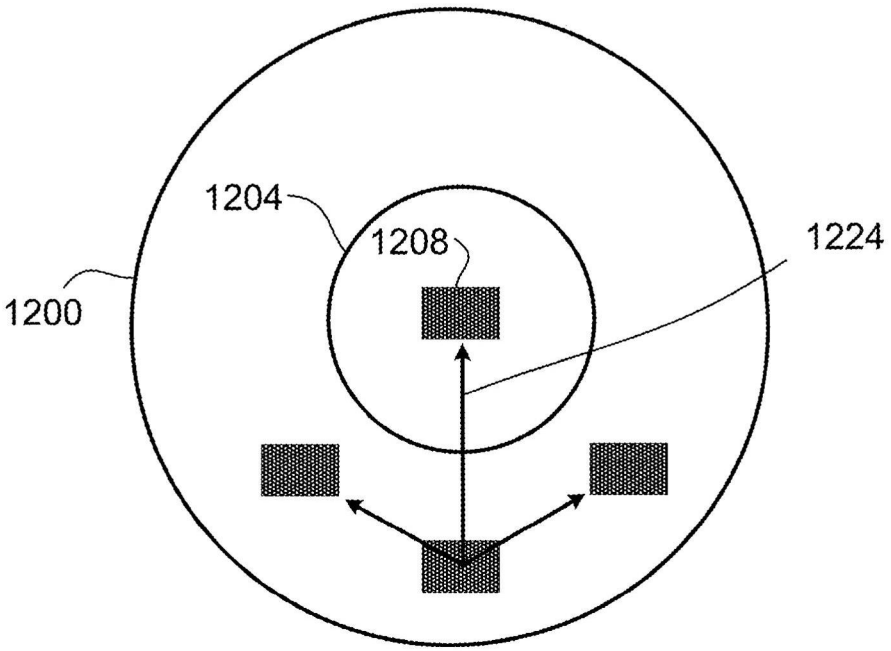


图12