



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114080558 B

(45) 授权公告日 2024.06.11

(21) 申请号 202080049182.5

(22) 申请日 2020.07.05

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114080558 A

(43) 申请公布日 2022.02.22

(30) 优先权数据
62/870,699 2019.07.04 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2022.01.04

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/IL2020/050753 2020.07.05

(87) PCT国际申请的公布数据
W02021/001841 EN 2021.01.07

(73) 专利权人 鲁姆斯有限公司
地址 以色列耐斯兹敖那

(72) 发明人 埃坦·罗宁 罗宁·切里基
丹尼尔·迈克尔斯

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

专利代理师 高岩 乔图

(51) Int.Cl.
G02B 27/01 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 106199816 A, 2016.12.07
CN 1129494 A, 1996.08.21
DD 134396 A1, 1979.02.21
JP H05250751 A, 1993.09.28
US 2012062998 A1, 2012.03.15
US 2017139113 A1, 2017.05.18
US 2019187472 A1, 2019.06.20
US 2017285346 A1, 2017.10.05
US 2017285348 A1, 2017.10.05
US 2019056600 A1, 2019.02.21

审查员 臧瑞环

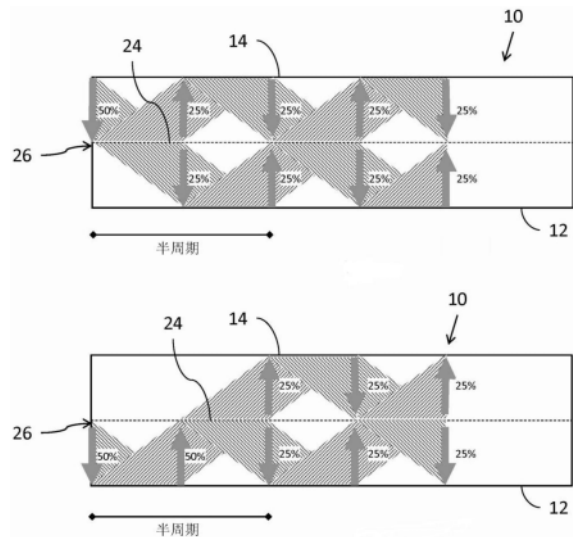
权利要求书1页 说明书9页 附图30页

(54) 发明名称

具有对称光束倍增的图像波导

(57) 摘要

用于显示图像的光学系统,包括波导(10),该波导(10)具有两个主表面(12、14)以支持通过内反射传播图像照射。耦出构造(16、18)向用户的眼睛耦出图像照射。耦合有图像投影仪(20)以将图像照射引入波导中,从而通过内反射传播。波导还包含与耦出区域不同的对称光束倍增器区域,该对称光束倍增器区域具有在波导内部并且平行于其主表面的一个或多个分束器(24)。对称光束倍增器可以用于在紧凑的耦入构造之后填充共轭图像,以及/或者可以用于作为两个光学孔径扩展构造(32,34)之间的中间级(36)来用图像填充波导。



1. 一种用于向用户的眼睛显示图像的光学系统,包括:

光导光学元件LOE,具有平行的两个平面的主外表面,以支持图像照射通过所述主外表面处的内反射在所述LOE内的传播;

耦出构造,布置在所述LOE的耦出区域处并且被构造用于将所述图像照射的至少一部分从所述LOE向所述用户的眼睛耦出;以及

图像投影仪,用于生成与准直图像对应的图像照射,所述图像投影仪光学耦合至所述LOE,以将所述图像照射引入所述LOE中,从而通过内反射在所述LOE内传播,

其特征在于,所述LOE还包括与所述耦出区域不同的光束倍增器区域,所述光束倍增器区域具有 n 个内部平面分束器,其中 n 是大于1的整数,每个分束器在所述LOE内部并且平行于所述主外表面, n 个分束器将所述主外表面之间的所述LOE的厚度细分为相等厚度的 $(n+1)$ 个层,每个分束器具有针对在所述LOE内通过内反射传播的图像照射的由 $1/(i+1)$ 给出的反射率,其中, i 是针对相继的分束器的索引, i 为从1至 n 。

2. 根据权利要求1所述的光学系统,其中,所述图像以及所述LOE和/或所述图像投影仪到所述LOE的耦合被配置为使得进入所述光束倍增器区域的图像照射填充所述LOE的横截面的厚度的恰好 $1/(n+1)$,其中,所述LOE的横截面的填充由在所述LOE的横截面内的每个点处的光线的存在限定,所述光线与所述准直图像的每个像素和同所述准直图像在平行于所述主外表面的平面中的反射对应的反射图像的每个像素对应。

3. 根据权利要求1或2所述的光学系统,其中,所述耦出构造包括布置在所述LOE内并且相对于所述主外表面倾斜定向的多个相互平行的部分反射表面。

4. 根据权利要求1或2所述的光学系统,其中,所述耦出构造包括布置在所述LOE的耦出区域处的至少一个衍射光学元件,并且所述至少一个衍射光学元件被构造用于将所述图像照射的一部分向所述用户的眼睛逐渐耦出。

具有对称光束倍增的图像波导

[0001] 技术领域和背景技术

[0002] 本发明涉及光学系统,并且具体地涉及其中照射光束被对称地倍增的采用波导的图像显示系统。

[0003] 作为用于实现本发明的示例性上下文,各种光学显示器采用光导光学元件(LOE)(可互换地称为“波导”或“基板”)以将图像从与用户的眼睛相对的图像投影仪传送到眼睛,该图像通常通过部分反射器的布置或者通过衍射光学元件耦出。

[0004] 为了实现所观看图像的均匀性,波导应该被投影图像及其共轭图像均匀地“填充”。这对图像投影仪的尺寸和光学设计的各个其他方面施加了设计限制。

发明内容

[0005] 本发明是具有对称光束倍增的光导光学系统。

[0006] 根据本发明的实施方式的教导,提供了一种用于向用户的眼睛显示图像的光学系统,包括:(a)光导光学元件(LOE),其具有平行的两个平面主外表面,以支持图像照射通过主外表面处的内反射在LOE内的传播;(b)耦出构造,其与LOE的耦出区域相关联并且被构造用于将图像照射的至少一部分从LOE向用户的眼睛耦出;以及(c)图像投影仪,其用于生成与准直图像对应的图像照射,该图像投影仪光学耦合至LOE,以将图像照射引入LOE,从而通过内反射在LOE内传播,其中,LOE还包括与耦出区域不同的对称光束倍增器区域,该对称光束倍增器区域具有 n 个内部平面分束器,其中 n 是正整数,每个分束器在LOE内部并且平行于主外表面, n 个分束器将主外表面之间的LOE的厚度细分为相等厚度的 $(n+1)$ 个层,并且其中,LOE和/或图像投影仪与LOE的耦合被构造为使得进入对称光束倍增器区域的图像照射:(i)使用与准直图像而不是准直图像的共轭对应的图像照射或者使用与准直图像的共轭而不是准直图像对应的图像照射来填充层中的至少两层;或者(ii)使用与准直图像和准直图像的共轭二者对应的图像照射来填充层中的仅一层。

[0007] 根据本发明的实施方式的另一特征,LOE具有垂直于主外表面的输入孔径(aperture),并且其中, n 个分束器延伸直至输入孔径,并且其中,图像投影仪光学耦合至输入孔径,以使用准直图像而不是准直图像的共轭填充输入孔径。

[0008] 根据本发明的实施方式的另一特征,LOE具有与层中的一层对应的输入孔径,并且其中,图像投影仪光学耦合至输入孔径,以使用准直图像和准直图像的共轭填充层中的所述一层。

[0009] 根据本发明的实施方式的另一特征, $n=1$,并且其中,分束器的反射率为 $1/2$ 。

[0010] 根据本发明的实施方式的另一特征, $n=2$,并且其中,分束器中的第一分束器的反射率为 $1/2$,并且分束器中的第二分束器的反射率为 $1/3$ 。

[0011] 根据本发明的实施方式的另一特征,耦出构造包括布置在LOE内并且相对于主外表面倾斜定向的多个相互平行的部分反射表面。

[0012] 根据本发明的实施方式的另一特征,耦出构造包括与LOE相关联的至少一个衍射光学元件,并且所述至少一个衍射光学元件被构造用于将图像照射的一部分向用户的眼睛

逐渐耦出。

[0013] 根据本发明的实施方式的另一特征,还提供了一种用于向用户的眼睛显示图像的光学系统,包括:(a) 光导光学元件(LOE),其具有平行的两个平面主外表面,以支持图像照射通过主外表面处的内反射在LOE内的传播;(b) 耦入区域,用于将与准直图像对应的图像照射引入LOE,以在LOE内沿第一传播方向传播;(c) 耦出构造,其与LOE的耦出区域相关联并且被构造用于将图像照射的至少一部分从LOE向用户的眼睛耦出;(d) 孔径扩展构造,其与LOE相关联并且被构造为将图像照射从第一传播方向逐渐重定向,以在LOE内沿第二传播方向向耦出构造传播;以及(e) 对称光束倍增器区域,其介于孔径扩展构造与耦出区域之间,该对称光束倍增器区域具有 n 个内部平面分束器,其中 n 是正整数,每个分束器在LOE内部并且平行于主外表面, n 个分束器将LOE在主外表面之间的厚度细分为相等厚度的 $(n+1)$ 个层。

[0014] 根据本发明的实施方式的另一特征, n 个内部平面分束器被实现为 n 个角选择分束器, n 个角选择分束器针对与在LOE内传播的图像照射对应的角度范围具有第一反射率,并且针对小入射角具有小于第一反射率的第二反射率。

[0015] 根据本发明的实施方式的另一特征,孔径扩展构造包括布置在LOE内并且相对于主外表面倾斜定向的多个相互平行的部分反射表面。

[0016] 根据本发明的实施方式的另一特征,耦出构造包括布置在LOE内并且相对于主外表面倾斜定向的多个相互平行的部分反射表面,该耦出构造的部分反射表面与孔径扩展构造的部分反射表面不平行。

[0017] 根据本发明的实施方式的另一特征,孔径扩展构造包括至少一个衍射光学元件,所述至少一个衍射光学元件与LOE相关联并且被构造用于将图像照射的一部分从第一传播方向逐渐重定向到第二传播方向。

[0018] 根据本发明的实施方式的另一特征,耦出构造包括与LOE相关联并且被构造用于将图像照射的一部分向用户的眼睛逐渐耦出的至少一个衍射光学元件。

附图说明

[0019] 本文中仅通过示例的方式,参照附图描述本发明,在附图中:

[0020] 图1A和图1B是示出根据本发明的实施方式的分别采用反射光束导向部件和衍射光束导向部件的具有对称光束倍增的图像投影波导系统的示意性侧视图;

[0021] 图2是采用根据常规耦入几何结构的耦入楔形体的波导的示意性侧视图;

[0022] 图3A和图3B示出了引入图2的波导中的分别实现波导的全部填充和部分填充的不同尺寸的照射孔径的结果;

[0023] 图4A和图4B是图1A的具有对称光束倍增的图像投影波导系统的产生阶段的示意图;

[0024] 图5A至图5C是展现出受控的非对称性的图1A或图1B的波导的耦入构造的类型的示意图;

[0025] 图6是示出用于将图像投影仪耦合到图1A的具有对称光束倍增的图像投影仪波导系统的第一优选构造的示意性侧视图;

[0026] 图7是示出用于将图像投影仪耦合到图1A的具有对称光束倍增的图像投影仪波导系统的第二优选构造的示意性侧视图;

- [0027] 图8A和图8B分别是与用于光线跟踪模拟的模型对应的图7的构造的侧视图和正视图；
- [0028] 图8C是类似于图8A的视图,图8C示出了用于非对称耦入图像照射的图像投影波导系统的输出；
- [0029] 图9是针对缺少共轭图像的非对称耦入图像照射的波导内的照射图案的示意图；
- [0030] 图10A是类似于图9的示意图,图10A示出了根据本发明的一个方面的对称光束倍增器的效果；
- [0031] 图10B和图10C是类似于图10A的视图,但是图10B和图10C分别示出了当照射传播通过对称光束倍增器时由于孔径的每个部分的照射而产生的强度分布；
- [0032] 图11A和图11B是类似于图10B和图10C的用于具有将波导的厚度分为三层的两个分束器的对称光束倍增器的视图,其中用没有共轭图像的图像照射来照射两层；
- [0033] 图12A是根据本发明的另一个方面的光学布置的示意性侧视图,在该光学布置中,图像投影仪用图像及其共轭二者填充薄波导,然后由对称光束倍增器将图像扩展到较厚的波导；
- [0034] 图12B和图12C是类似于图11A和图11B的表示,示出了图像及其共轭了通过图12A的对称光束倍增器的传播；
- [0035] 图13A是类似于图10C的具有将波导的厚度分成四层的三个分束器的对称光束倍增器的示意图,图13A示出了一个图像通过对称光束倍增器在孔径的一层中的传播；
- [0036] 图13B和图13C是类似于图13A的视图,图13B和图13C示出了对每个分束器采用0.25或0.5的相等反射率的效果；
- [0037] 图14A和图14B分别是用于在孔径扩展的两级之间采用中间对称光束倍增器的二维光学孔径扩展的波导的侧视图和正视图；
- [0038] 图15A和图15B是分别示出在没有对称光束倍增器以及具有对称光束倍增器的情况下在图14A的波导内的照射分布的示意性侧视图；以及
- [0039] 图16是具有二维孔径扩展的显示系统的示意性等距视图,该系统采用与耦入孔径相关联的第一对称光束倍增器以及介入性地定位于光学孔径扩展的两级之间的第二对称光束倍增器。

具体实施方式

- [0040] 本发明是具有对称光束倍增的光导光学系统。
- [0041] 参照附图和所附描述,可以更好地理解根据本发明的光学系统的原理和操作。
- [0042] 现在参照附图,图1A和图1B示意性地示出了用于将图像显示给位于被称为眼睛运动框(EMB) 102的区域内的用户的眼睛100的光学系统的通常实现方式。该系统包括具有两个平面主外表面12、14的光导光学元件(LOE) 10(可互换地称为“波导”或“基板”),两个平面主外表面12、14平行以支持图像照射通过主外表面处的内反射在LOE内的传播。耦出构造与LOE 10的耦出区域相关联,并且被构造为将图像照射的至少一部分从LOE向用户的眼睛100耦出。在某些实施方式中,耦出构造被实现为一组相互平行的部分反射表面16,该部分反射表面16被布置在LOE内并且相对于主外表面倾斜地定向,如图1A所示。在其他实施方式中,耦出构造被实现为与LOE 10相关联的至少一个衍射光学元件18,并且被构造为将一部分图

像照射向用户的眼睛逐渐耦出,如图1B所示。

[0043] 可互换地称为“POD”的图像投影仪20产生与准直图像对应的图像照射。图像投影仪20光学耦合至LOE 10,以将图像照射引入LOE,从而通过内反射在LOE内传播。与本发明的装置一起使用的POD优选地被构造为生成准直图像,即,其中每个图像像素的光是准直到无穷远的平行光束,该平行光束的角度方向与像素位置对应。因此,图像照射在二维上跨越与角视场对应的角度范围。

[0044] 图像投影仪20包括至少一个光源,该光源通常被构造为照射空间光调制器,例如LCOS芯片。空间光调制器调制图像的每个像素的投影强度,从而生成图像。替选地或附加地,图像投影仪可以包括通常使用快速扫描镜实现的扫描布置,该扫描布置在投影仪的图像平面上逐像素地扫描来自激光源的照射,同时光束的强度与运动同步地变化,从而针对每个像素投射所需的强度。在这两种情况下,都提供了准直光学器件,以生成准直到无穷远的输出投影图像。如本领域所公知的,上述部件中的一些或全部通常被布置在采用反射光学器件的一个或更多个偏振分束器(PBS)立方体或其他棱镜布置的表面上。替选地,可以使用具有反射和/或折射光学器件的自由空间光学器件实现方式。图像投影仪的细节本身不是本发明的一部分,并且为了简化表示,图像投影仪在此示意性地表示为虚线框,而没有试图示出各个部件。

[0045] 可以通过任何合适的光学耦合来实现图像投影仪20与LOE 10的光学耦合,例如,经由具有倾斜角度的输入表面的耦合棱镜、或者经由反射耦合布置、经由侧边缘和/或LOE的主外表面之一来实现。经由楔形棱镜的耦合的示例可以在PCT公开No. W02015162611中找到。使用反射镜进行耦合的各种示例可以在PCT公开No. W02001095027中找到。除非在下面另有说明,否则耦入构造的细节通常对本发明而言并不重要,并且在此示意性地示出为应用于LOE 10的边缘表面的楔形棱镜22的非限制性示例。此外,在本文中使用的耦入棱镜示出的本发明的实现方式同样可以使用反射耦入装置来实现,反之亦然。耦入构造确定POD与LOE之间的角度,该角度在图2中表示为 α_{pod} 。

[0046] 图2和图3A示出了根据常规方法的采用楔形棱镜22的耦入构造。LOE应该在光的所有传播角度(也称为“场”或“视场”FOV)以及整个EMB 102上以均匀的分布向人眼提供图像照射。为此,每个场的孔径应均匀地填充有光线。换言之,对于与准直图像中的像素对应的任何照射角度,在垂直于LOE的主表面的平面中,LOE的整个横截面应填充有图像及其反射(共轭)二者,从而在LOE体积中的任何点处都存在与准直图像及其共轭二者的所有像素对应的光线。为了获得该结果,如图3A所示,使用相对较大孔径的图像投影仪20以及对LOE的一个主要表面12进行延伸,以使得LOE 10的孔径接收图像的完全直接照射以及从表面12内部反射的共轭图像的全反射照射。图像投影仪20必须具有以这种方式填充LOE孔径的相应的大孔径。

[0047] 如果不满足“填充”条件,则射入眼睛的光线将不会均匀分布。在图3B中示出了不满足该标准的窄照射束的示例,在该示例中使用其光学构造与图3A相似的较小的图像投影仪20。当缺少孔径填充时,离开LOE的光将不会均匀分布。LOE的填充不均匀的原因有很多,包括但不限于使用小孔径投影仪、使用小的耦入几何形状以及内部小平面反射的某些构造。

[0048] 图1A、图1B以及图4A至图16所示的本发明的一个方面涉及一系列构造,其中,准直

图像的光由具有一对主平行外表面的光导光学元件 (LOE) 引导,但未完全填充,特别地,其中,图像不是沿LOE的每个点处的图像/图像共轭对传播。在这种情况下,根据本发明的一个方面,发现为LOE 10提供与耦出区域不同的对称光束倍增器区域特别有效,该对称光束倍增器区域具有 n 个内部平面分束器24,其中 n 是正整数,每个分束器24在LOE 10的内部并且平行于主外表面12、14。 n 个分束器将LOE的主外表面之间的厚度细分为厚度相等的 $(n+1)$ 层。因此,在 $n=1$ 的最简单且特别优选的示例中,分束器24被实现为位于两个主外表面之间的中间平面上的部分反射表面,并且最优选地,其中,部分反射表面的反射率为约50%。这种对称光束倍增器区域通常通过在一个板上设置作为涂层的分束器,然后将该板与另一类似的板接合来实现,如图4A所示。然后,将光束倍增器区域与其他元件集成在一起,以形成整体的LOE结构,如图4B所示。

[0049] 已经发现,本发明的对称光束倍增器与LOE的某些特定的非对称形式的局部填充具有特定的协同作用,其中,光束倍增的对称性在短距离上迅速实现完全的光束均匀性。这种协同作用的特别重要的场景是LOE 10的构造和/或图像投影仪20与LOE 10的耦合使得进入对称光束倍增器区域的图像照射:(i) 用与准直图像而不是准直图像的共轭对应的图像照射来填充所述层中的至少两层(图5B),或者用与准直图像的共轭而不是准直图像对应的图像照射来填充所述层中的至少两层(图5C);或者(ii) 用与准直图像和准直图像的共轭二者对应的图像照射来填充所述层中的仅一层(图5A)。

[0050] 在图9中示出了通过本发明的这一方面最佳解决的一种类型的非对称性的通常情况,其中,如图所示,在作为LOE的左边缘的任意起始点处,如图所示,在沿LOE的整个厚度上都存在向下方向传播的、与准直图像的某个场(与特定像素对应的角度方向)对应的光,但是共轭图像的对应场丢失了。在此,向下传播的图像由向下箭头表示,而其向上传播的共轭图像由向上箭头表示。图像被混合的区域由双向箭头表示。如图所示,光向右传播,在LOE的主下表面进行全内反射,以转换为共轭图像,该共轭图像向上成角度传播,直到从上表面反射下来,再次生成原始图像。(除了此处示出的之外,该过程继续进行,直到光从LOE耦出。)可以立即看到,图像及其共轭没有“填充”LOE的厚度。实际上,在这种情况下,图像及其共轭中的每一个都存在于LOE的体积的一半中(在图像传播的横截面中),在某些区域中彼此交叠,并且具有一些完全“暗”的区域(在该表示中未加阴影)。

[0051] 已经发现,中间平面的50%混合器实现了丢失的共轭图像的非常快速的“填充”,从而在很短的距离内实现了LOE的完全填充,如图10A所示。理想地,实现这种混合所需的长度不超过在LOE的上表面与下表面之间反射的图像的最浅角度光线的一个周期的一半。用两个图像的均匀照射图案对LOE进行极快速的填充是上述在对称光束倍增器的输入处的受控非对称状态与光束倍增器本身的对称性之间的特定协同作用的结果。

[0052] 通过分别考虑LOE的上半部分和下半部分的图像照射强度和传播方向,在图10B和10C中示意性地示出了丢失的共轭图像的完成和图像强度的重新分布发生的机制。图10B示出了对于从LOE的上半部开始向下传播的图像强度,LOE的上半部与下半部之间的强度分布,而图10C示出了在波导的下半部开始向下的图像强度,LOE的上半部与下半部之间的强度分布。尽管示出了沿着LOE的整个“周期”,但是将注意到,在半个循环之后已经实现了均匀的图像强度分布。从箭头的方向(代表与原始图像或共轭对应的传播方向)将理解,整个LOE也被两个图像填充。(在本文档中,应注意,“原始图像”和“共轭图像”是任意标识的,并

且可以互换,这意味着可以使用任何一个或者在某些情况下可以使用两者将图像传达给观看者,并且向用户投射的图像可以是与从图像投影仪注入的图像相同的图像,或者可以是其共轭图像。)

[0053] 尽管到目前为止主要参照布置在LOE的中间平面上的将LOE分为两个相等部分的单个局部反射器来说明本发明的这一方面,但是应当注意,本原理可以被推广到平行于LOE的主表面布置的“n”个局部反射器,使得所述“n”个局部反射器将厚度平均分为“n+1”个部分, $n=1,2,3$ 等。在这种情况下,相继的反射器的优选反射率是 $1/2, 1/3, \dots, 1/(n+1)$ 。举例来说,图11A和图11B示出了被两个具有反射率 $1/2$ 和 $1/3$ 的部分反射器细分为3个部分的波导的强度分布和共轭图像填充,并且其中,没有其共轭的图像被注入到LOE的三层中的两层中。在此,同样,在所示的示例中,分布强度也在半个周期内迅速变得均匀,并且当注入三层中的两层时,在整个LOE厚度上生成了图像及其共轭。为了简化表示,每层/厚度的三分之一的输入强度被标记为100%。

[0054] 应当理解,各个部分反射器的反射率已经通过它们的期望值进行了标识,但是反射率的比例是并非在所有情况下都可以精确定义或精确实现的参数,此处的意图是足够接近于理论值(例如0.5)的值,使得如果采样则所得强度分布在视觉上在LOE的整个厚度上都是均匀的。对于单个反射层($n=1$),反射率为 $R=0.5+\Delta$ 在半个周期之后将导致图像与共轭图像之间的强度差为 Δ ;而且,更一般地说,经过 m 个半周期后,强度差将为 $(m-1)*\Delta^m$ 。通常,只有在半个周期之后,5%至10%的 Δ 才是视觉上可接受的。在某些情况下,反射率的 $\pm 5\%$ 甚至 $\pm 10\%$ 的变化可能会导致接近于最佳值的结果在视觉上可接受。应当保持部分反射层与LOE的主外表面之间的平行度,并且优选地以10%以内的精度执行将厚度细分成相等的部分,并且优选地更精确地执行,以避免在光束倍增过程中产生强度不均匀的条纹。

[0055] 在结构上,可以使用任何合适的部分反射层或涂层(包括但不限于金属涂层、结构部分反射器(例如,圆点图案的反射器)和多层介电涂层)来实现光束倍增构造的部分反射率。如果期望将部分反射器层布置在观看者通过其看到外部“真实”场景的区域中(特别地但不排他地与以下参照图14A至图16所示的某些实施方式相关),则部分反射涂层优选地使用与角度相关的反射涂层来实现,其中该涂层在与图像光在LOE传播的角度对应的范围的角度处具有50%的反射率(或者对于多分束器实现方式,根据上述序列,具有相应的所需反射率),同时在小角度(接近于垂直于分束器)处具有低反射率,从而相对于直接观看场景提供光的较小衰减。具有这种角度相关的反射率的层可以使用多层介电涂层容易地获得,并且易于制造,因为所需的性质基本上类似于菲涅耳(Fresnel)反射性质。如本领域的常规实践,可以使用标准软件包来执行对多层涂层的设计以提供这种角度相关的反射率,并且可以从许多来源商购合适的涂层。因此,为了简明起见,这里将不论述细节。

[0056] 在这种情况下,通过经由覆盖LOE的厚度的 $2/3$ (顶部 $2/3$ 或底部 $2/3$ 或中间三分之一与顶部和底部三分之一的一部分的LOE厚度)的耦入孔径注入图像,实现了原始图像与共轭图像之间的最佳均匀性)。

[0057] 图12A示意性地示出了输入状态的备选形式,该备选形式与本发明的对称光束倍增器具有特定的协同作用,即,其中LOE的一个层填充有图像及其共轭二者而其他层最初没有图像照射。图12B和图12C示出了通过对称光束倍增器的图像和共轭图像的分布,该分布从LOE厚度增大的点处开始。在这种情况下,所示的向下传播的图像需要 $2/3$ 个周期才能达

到完全均匀。在这种情况下,如果将1/2和1/3反射镜互换,则可以缩短这一时间。这种情况利于使用较小的投影机孔径和耦合棱镜,因为仅对于相对较薄的层即可实现耦合,并且在需要增加LOE厚度的任何情况下都可能有用。

[0058] 图13A示出了另一示例,在该示例中,分别具有1/4、1/3和1/2的反射率的3个反射器将LOE厚度分成4个相等的部分,并且示出了沿LOE具有最长长度的孔径的部分,为了在整个LOE的厚度上均衡其强度,仍然需要少于在LOE的上表面与下表面之间的反射的单个周期。这样的示例可以使用输入孔径来提供对LOE的均匀填充,该输入孔径仅在LOE厚度一半的厚度或者整个LOE的整个厚度上仅提供一个图像(不包含其共轭)(优选其中任何一个),或者提供将图像及其共轭完全耦合到一层中。

[0059] 要注意的是,所公开的反射率的特定序列以无法使用具有相等的部分反射率的多个分束器实现的方式,实现了照射强度的快速均衡。作为比较例,图13B和图13C是类似于图13A的情况,在图13B和图13C中全部三个部分反射层具有相同的反射率,即0.25(图13B)或者0.5(图13C)。在这两种情况下,即使在图13A中实现了均匀性的相同路径长度之后,强度分布仍远非均匀。

[0060] 如所提及的,当输入照射具有与光束倍增器结构协同作用的明确定义的非对称性时,对称光束倍增器的最佳性能得以实现。因此,在第一组特别优选的实施方式中,分束器24延伸直至LOE 10的输入孔径26,输入孔径26有利地垂直于主外表面12、14。根据本发明的某些实施方式,图像投影仪20光学耦合到输入孔径26,以用准直图像而不用准直图像的共轭填充输入孔径。在图6和图7中示意性地示出了用于实现这种光学耦合的两个示例性构造。

[0061] 在图6中,耦合棱镜22提供大致垂直于来自图像投影仪20的图像的中心(标称)光线的耦合表面,并允许图像进入输入孔径26而无需事先反射。耦合的图像是没有共轭的单个图像,并且对称光束倍增器重建图像/共轭组合,如上所述。

[0062] 图7示出了功能上相似的布置,其中,耦合棱镜22'被构造为提供表面,图像在到达LOE的垂直输入孔径26之前在该表面处经历一次反射。这种构造有利于图像投影仪的定向,该定向以大角度延伸至LOE的平面,并且具有延伸到LOE的末端之外的最小体积,这对于某些实际的实现方式特别是采用眼镜框形式的近眼显示器特别有利。

[0063] 图8A和图8B分别是图7的装置的实现方式的侧视图和正视图,图8A和图8B示出了EMB 102与LOE 10的相对位置,并且图8C是光线跟踪软件分析通过该设计投影的图像的特定像素场的结果。可以看出,尽管耦合提供了没有其共轭的图像,但是耦合图像被均匀地传递到了EMB。

[0064] 通过将上述与图2和3A所示的常规方法进行比较,可以更好地理解这些耦合构造的紧凑性。在这种情况下,LOE的一个面延伸到LOE孔径之外,以提供耦合楔形体,以用图像及其共轭二者填充该孔径,特别是在具有很大(掠射)传播角度时,耦合机构有两个主要问题:

[0065] 1. 楔形体尺寸很大,因为楔形体尺寸接近于 $d \tan(\varphi_m)$,当 φ_m 接近掠射角时,楔形体尺寸会急剧增大。

[0066] 2. LOE与POD之间的角度受中央FOV传播 $\alpha_{pod} = 90 + \varphi_c$ (其中, φ_c 是中央FOV传播角)的控制,对于某些系统而言可能不太有吸引力。例如,对于侧舱(side pod)系统(如玻璃),

α_{pod} 理想的为大约110度,并且在 $\varphi_c=60^\circ$ 时 $\alpha_{\text{pod}}=150^\circ$

[0067] 相比之下,由于图6和图7的布置通过垂直输入孔径26仅耦入没有其共轭的一个图像,因此耦合棱镜22的尺寸不再与 $\tan(\varphi_m)$ 相关而是与其余弦函数: $\cos(\varphi_m)$ 相关。如图7所示,其中,使用折叠面破坏光传播角度并且改变 α_{pod} ,这在几何设计中引入了附加的自由度。在此处所示的示例中,进入波导的输入孔径的图像的中心传播角为60度,但由于充当楔形体的折叠棱镜,所以舱角(pod angle) α_{pod} 为106.5,并且孔径尺寸相对较小。

[0068] 由于使用本文中定义的特定构造在整个LOE厚度上对图像强度进行了快速均衡,因此本发明的光束倍增装置可以可选地沿着LOE的相对较短的部分选择性地布置,该较短部分通常不超过LOE的厚度的5倍,在有些情况下不超过LOE的厚度的3倍。尽管使用较长的部分反射表面不会对光束填充的均匀性产生不利影响,但是在LOE的短长度上实现有效光束倍增的能力在以下方面提供了深远的优势:设计的紧凑性;使反射器的任何散射效应最小化;以及将部分反射器保持在LOE的观看区域之外,观看者可通过该区域观看现实世界。

[0069] 本发明的这个方面可以在广泛的上下文和构造中有利地使用,以在其中用图像及其共轭直接填充LOE的布置不可行或者不能与诸如尺寸和/或形状因素的其他设计考虑因素折中地完成的情况下促成紧凑而有效的系统设计。

[0070] 对于50%中间平面分束器构造,分束器24的所需长度通常是在LOE中传播的场的所有部分的最大孔径的一半(即半个周期)。该长度由 $L_m=0.5d\tan(\varphi_m)$ 给出,其中d是LOE的厚度, φ_m 是所有场相对于LOE的法线的最大传播角(参见图3B)。

[0071] 根据本文中示出的各种示例,在结构上,混合器通常通过以下方式产生:将具有涂覆到一个相对的表面上的所需分束器涂层的相应数目的层光学接合在一起,然后将组装的堆叠与组装最终LOE所需的其他部分集成在一起。可选地,在组装零件后,对主外表面进行重新抛光,以确保各接头之间相互平行和连续。可选地,可以添加耦入元件,例如类似于上面示出的图6或图7的楔形耦入元件。着重强调,这里呈现的步骤的顺序仅为一个示例,并且替选构造顺序和替选构造技术也落入本发明的范围内。

[0072] 现在转到参照图14A至图16所示的本发明的另一组示例性实施方式,一些显示系统采用了在单个波导内包括两级光学扩展的LOE。在这种情况下,图像投影仪耦合到耦入区域30,以将与准直图像对应的图像照射引入LOE,从而在LOE内沿第一传播方向 p_1 传播(图14B),并且耦出构造与LOE的耦出区域32相关联,并且被构造为用于将图像照射的至少一部分从LOE向用户的眼睛耦出。如前所述,耦出构造可以是布置在LOE内并且相对于主外表面倾斜地定向的一组相互平行的部分反射表面16(如在此处以及上面的图1A中所示),或者可以被实现为以上参照图1B所述的至少一个衍射光学元件。

[0073] 该装置还包括孔径扩展构造34,该孔径扩展构造34与LOE相关联并且被构造为将该图像照射从第一传播方向 p_1 逐渐重定向,以在LOE内沿第二传播方向 p_2 向耦出构造传播。此处,同样,孔径扩展构造可以基于布置在LOE内并且相对于主外表面倾斜定向的多个相互平行的部分反射表面16'(如此处所示),或者基于一个或更多个衍射光学元件(未示出)。在任一种情况下,孔径扩展构造34都与耦出构造不同地定向,从而实现沿不同的面内轴线的扩展。

[0074] 孔径扩展构造34的某些实施方式导致图像之一向耦出区域32重定向,同时该图像的共轭被反射到不期望的角度取向,并且被有效地丢失。对于这种情况,对称光束倍增器区

域36优选地介于孔径扩展构造34与耦出区域32之间,以紧凑地重建图像/共轭对并且使用要耦出的图像填充波导。在结构上,对称光束倍增器区域36优选地与上面公开的结构的光束倍增器相同,具有在LOE内部并平行于主外表面的 n 个内部平面分束器24,将LOE的厚度细分为厚度相等的 $(n+1)$ 层。

[0075] 因此,如图14A和图14B所示,对称光束倍增器在这里可以被认为是几个平面内LOE之间的中介机构。如上所述,由于全内反射(TIR),波导(LOE)中的所有光束在主表面之间“向上”和“向下”反弹。在复合系统中,几个LOE(或扩展级)在平面内耦合为共享公共的平行的主外表面的单个LOE。对于反射孔径扩展布置,如果部分反射表面不垂直于LOE的平面,则第一LOE内部的上行和下行光束会以不同角度反射。结果,只有上行光线或下行光线最终会耦出到观看者的眼睛(而下行或上行光线将被视为可能污染耦出信号的在波导内传播的不需要的“重影”图像)。然而,取决于小平面和视场角,该效果可能会在波导内部产生“孔”(暗条纹),即可能导致第二LOE的入口孔径的部分填充,如图15A所示(为清楚起见,仅示出到达眼睛的光线)。为了克服该限制,将对称光束倍增器放置在两个LOE之间,从而复制当前光线(上行或下行的),从而使得第二LOE的整个孔径被填充(图15B)。如前所述,混合器的大小应为第二LOE中最浅传播场的孔径的至少一半。

[0076] 图16示意性地示出了采用图像投影仪POD 20的系统,该图像投影仪POD 20直接(通常经由未示出的耦合棱镜)耦合到具有两级孔径扩展的复合波导(LOE)的输入孔径26。该示例结合了上述本发明的两个方面,包括第一中间平面50%分束器24以用于执行孔径填充,该孔径填充不是通过POD耦入直接实现的,其后是使用第一组倾斜的部分反射内表面实现的孔径扩展构造34,用于实现孔径扩展的第一尺寸并将图像照射向耦出区域32重定向。介于孔径扩展构造34与耦出区域32之间的对称光束倍增器区域36重建波导的图像/共轭填充,导致投射到用户眼睛的图像填充均匀。

[0077] 应当理解,显示器包括各种附加部件,通常包括用于致动图像投影仪的的控制器,通常采用来自小型机载电池或某些其他合适电源的电力。将会理解,如本领域已知的,控制器包括所有必要的电子部件,例如用于驱动图像投影仪的处理电路或至少一个处理器。这些特征本身不是本发明的一部分,因此这里将不再详细描述。所有这些特征将被本领域普通技术人员容易地实现。

[0078] 应当理解,以上描述仅旨在用作示例,并且在所附权利要求书限定的本发明的范围内,还可以有许多其他实施方式。

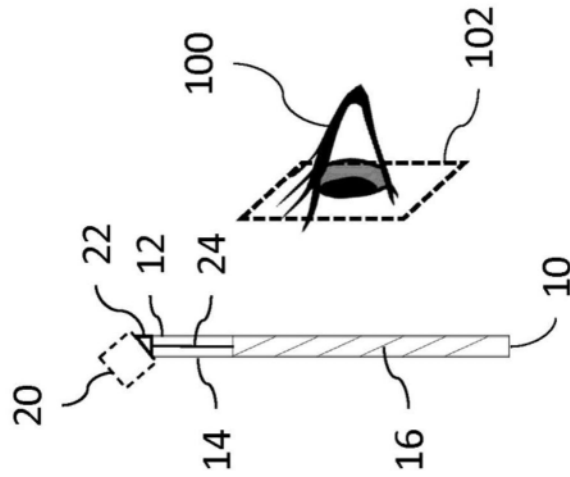


图1A

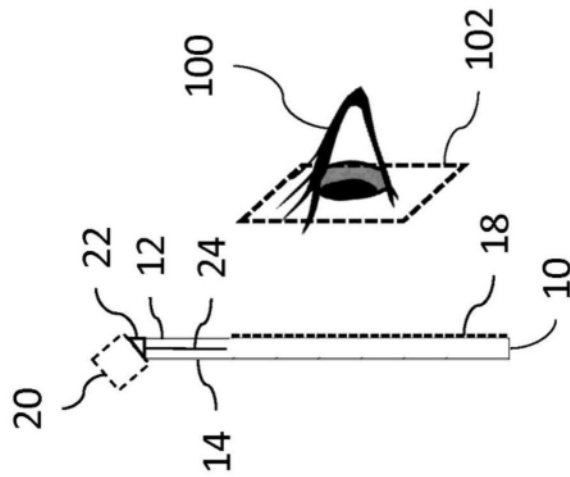


图1B

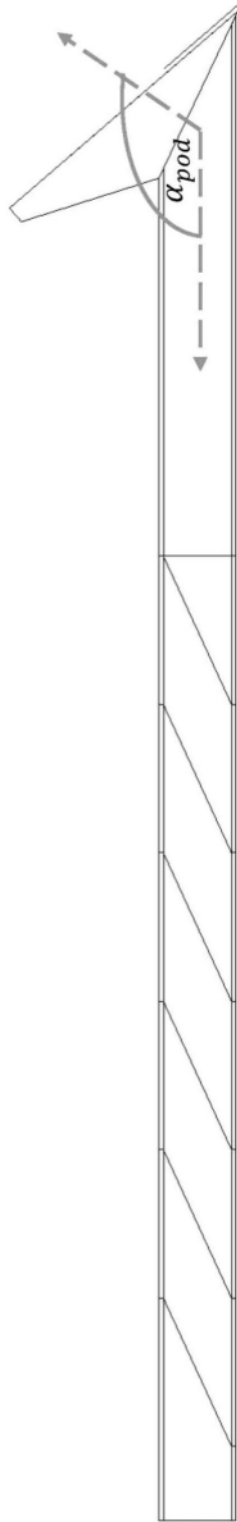


图2 (现有技术)

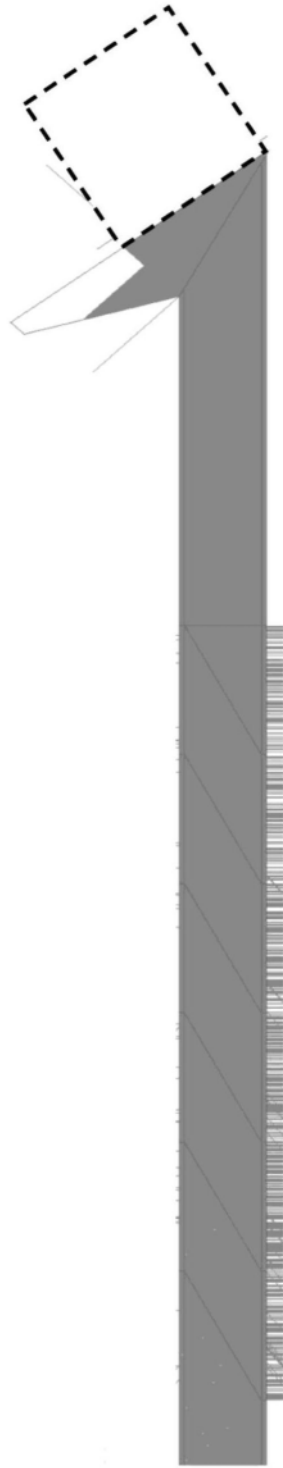


图3A(现有技术)

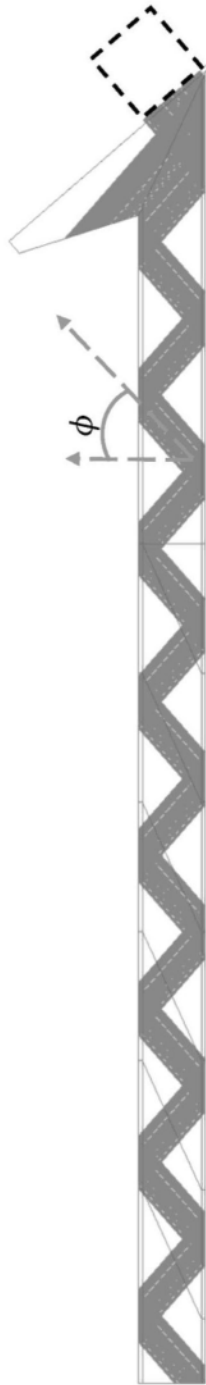


图3B



图4A

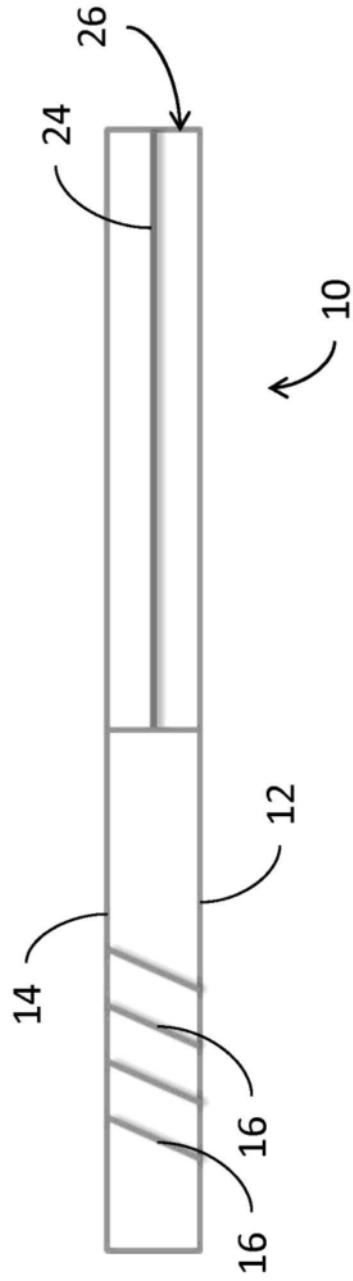


图4B

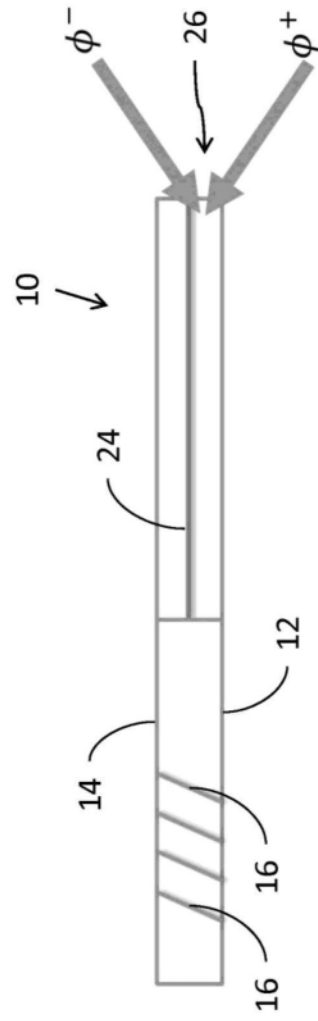


图5A

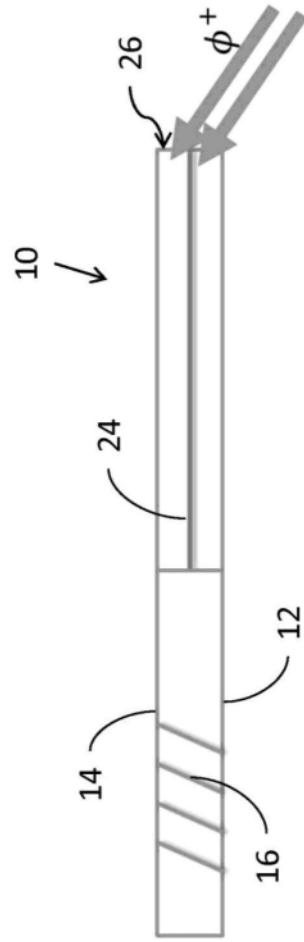


图5B

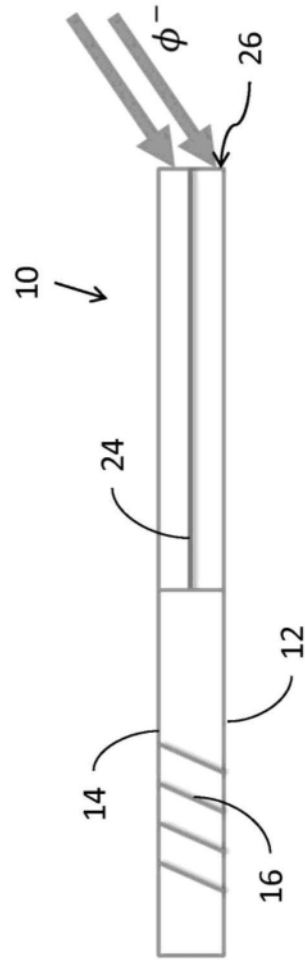


图5C

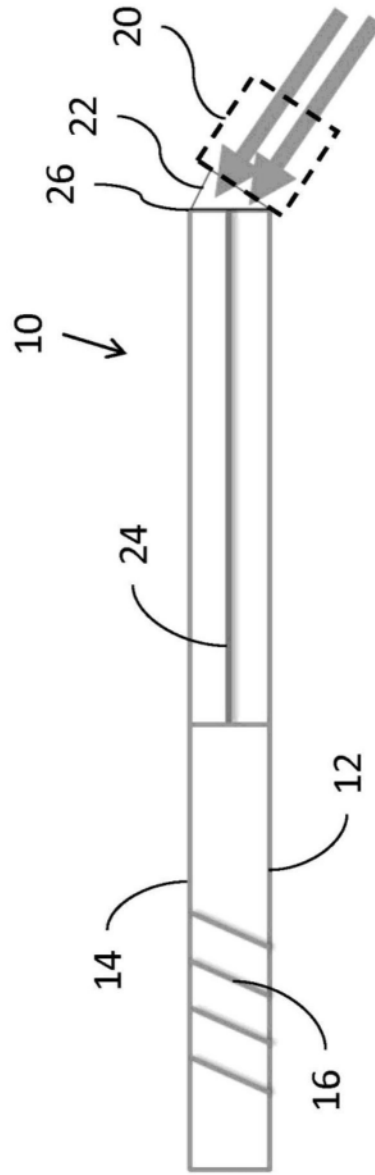


图6

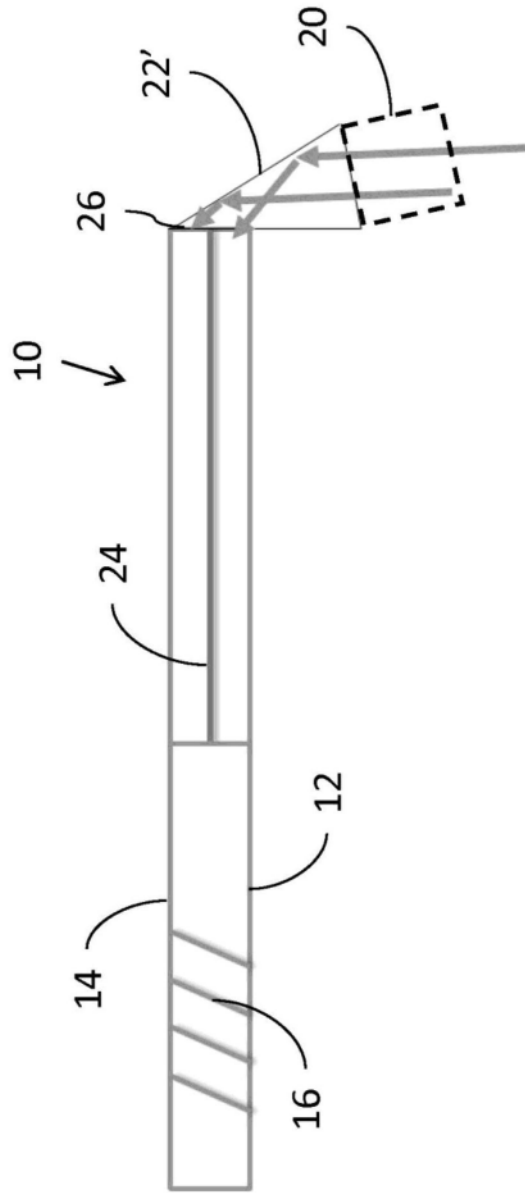


图7

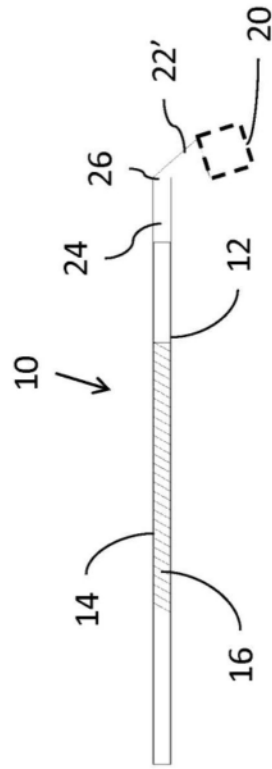


图8A

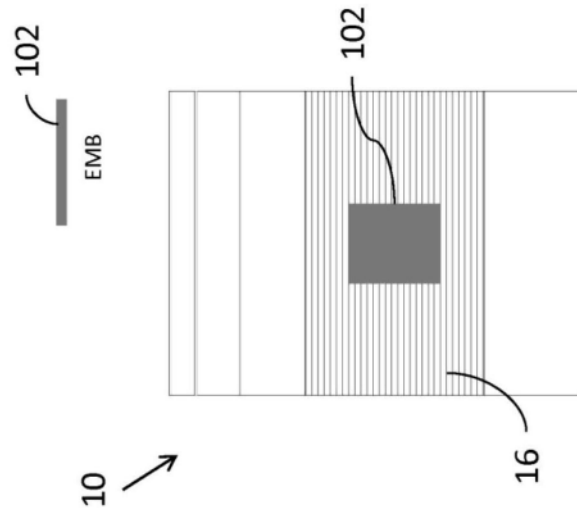


图8B

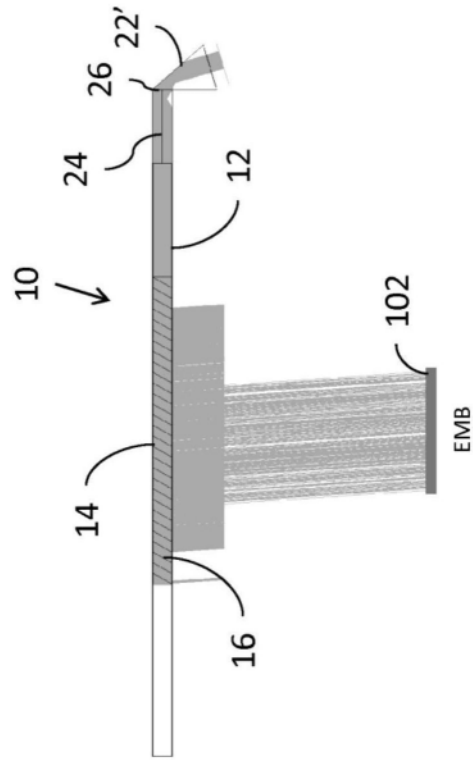


图8C

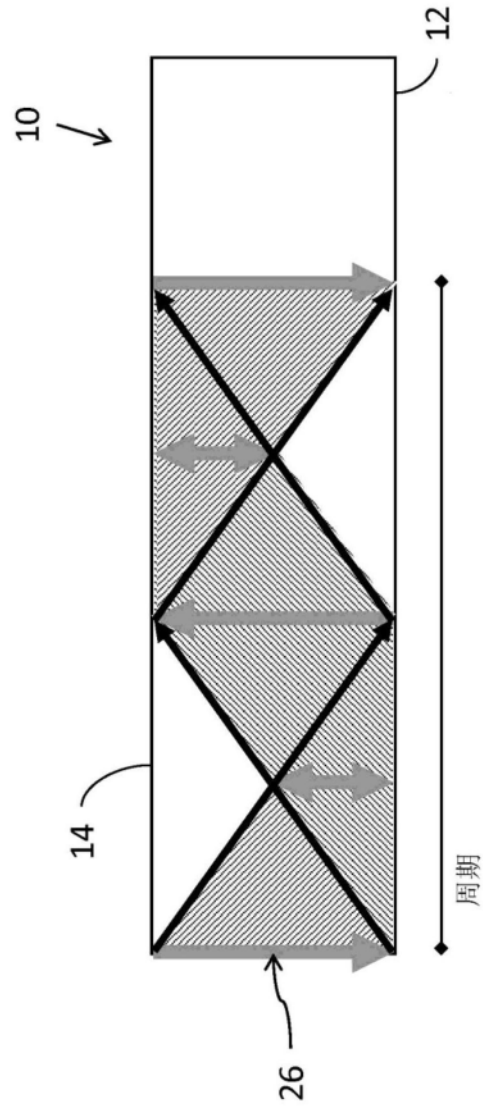


图9

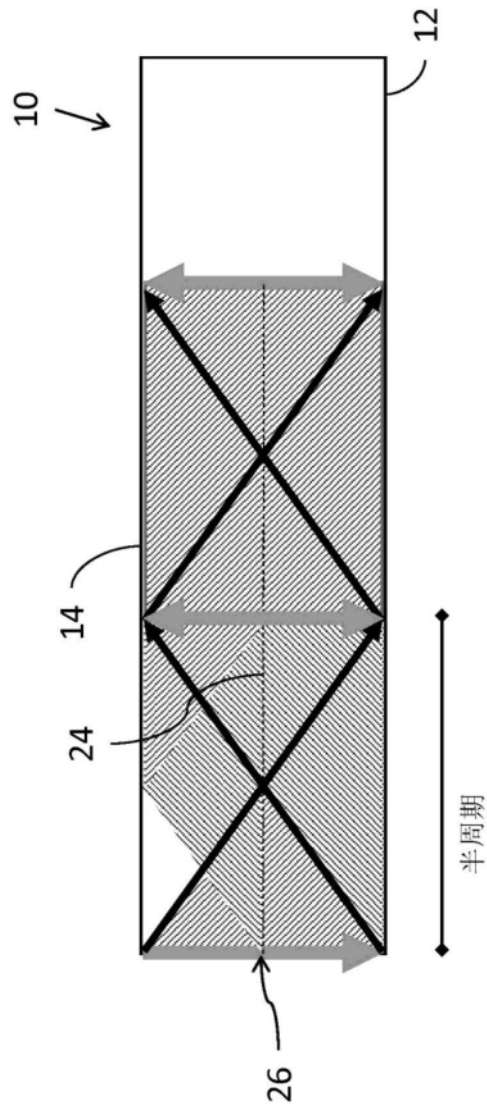


图10A

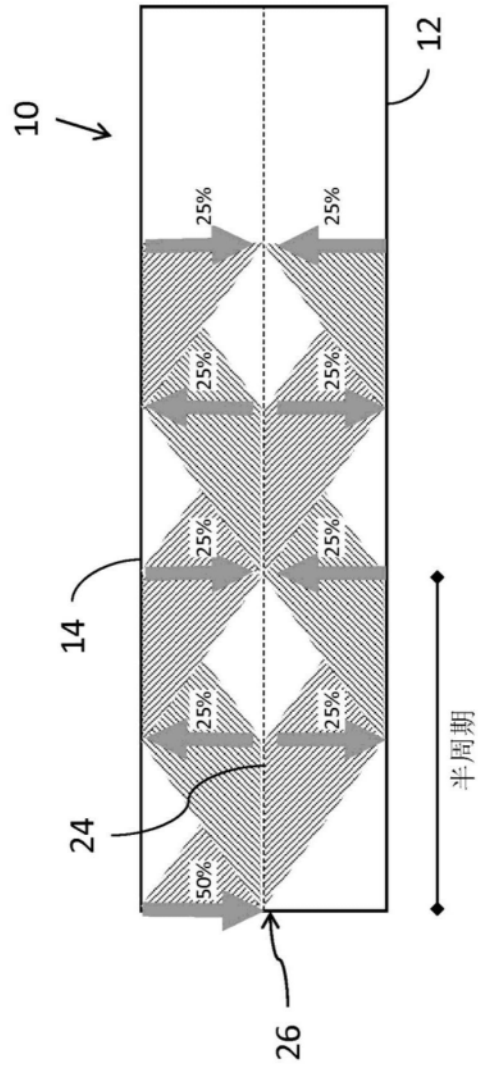


图10B

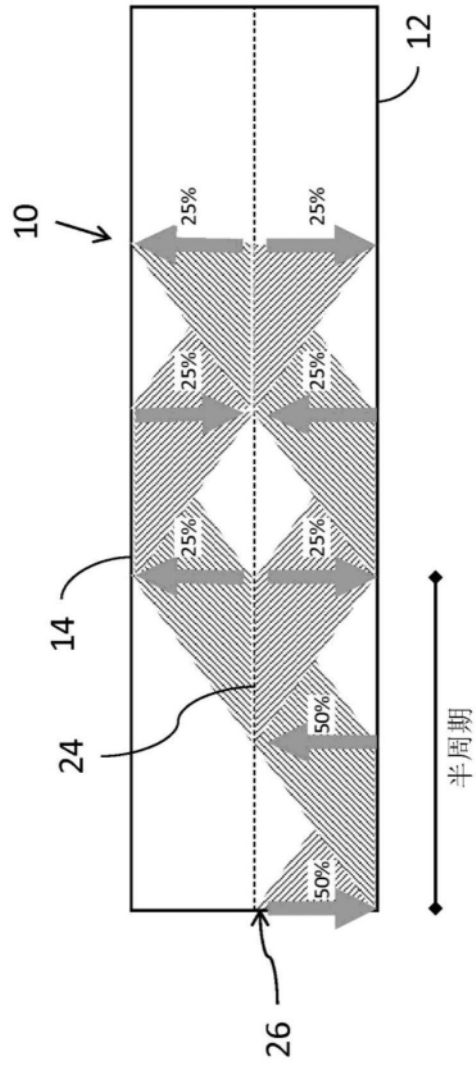


图10C

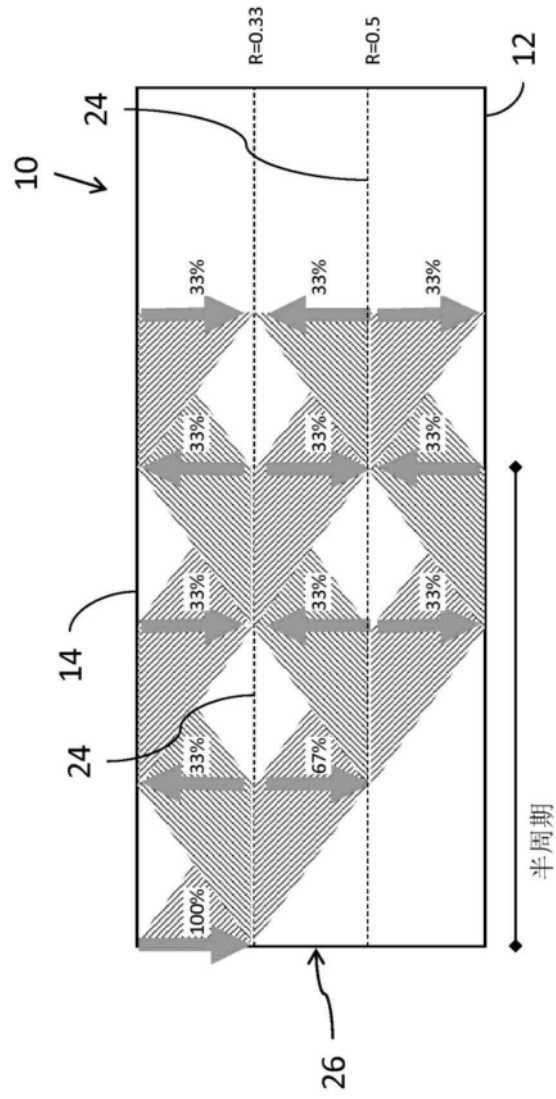


图11A

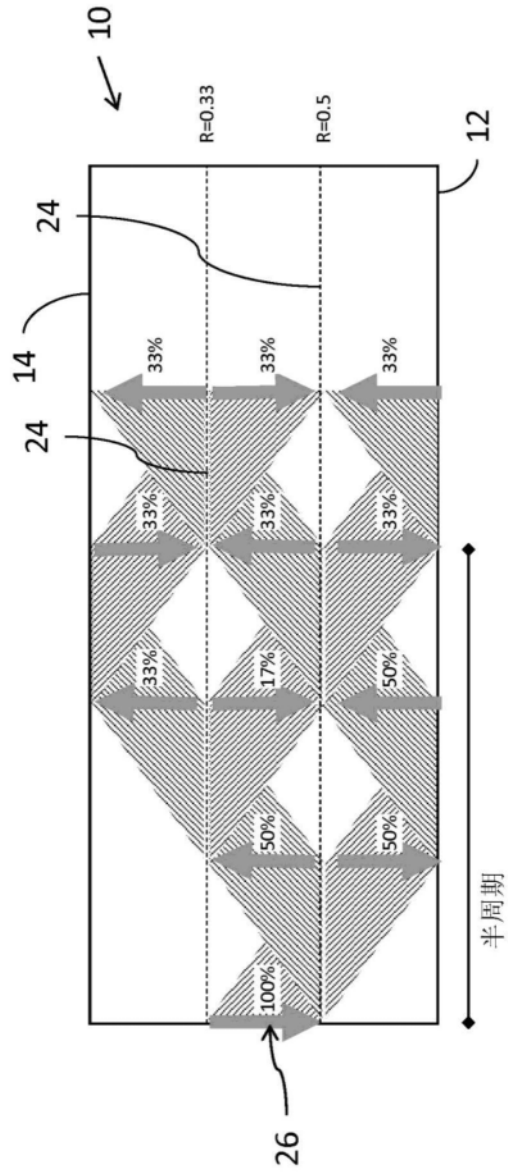


图11B

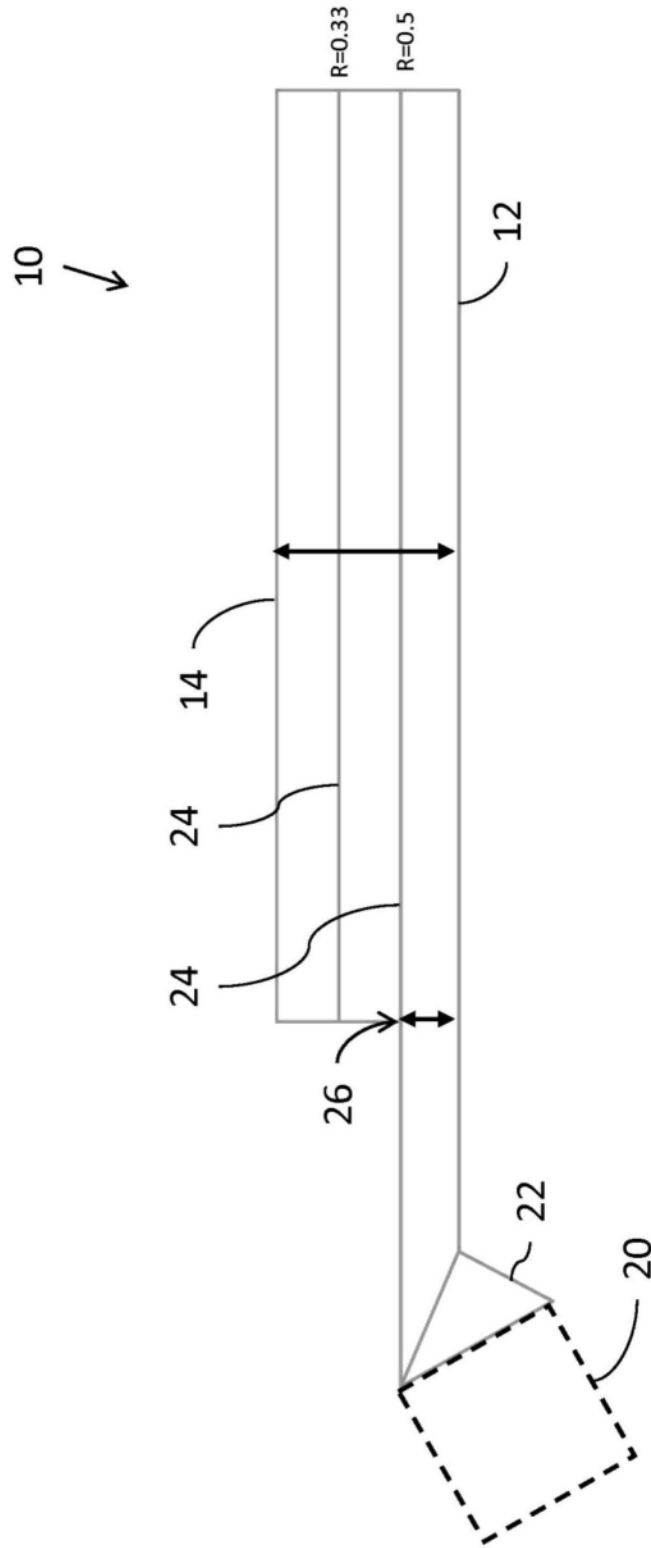


图12A

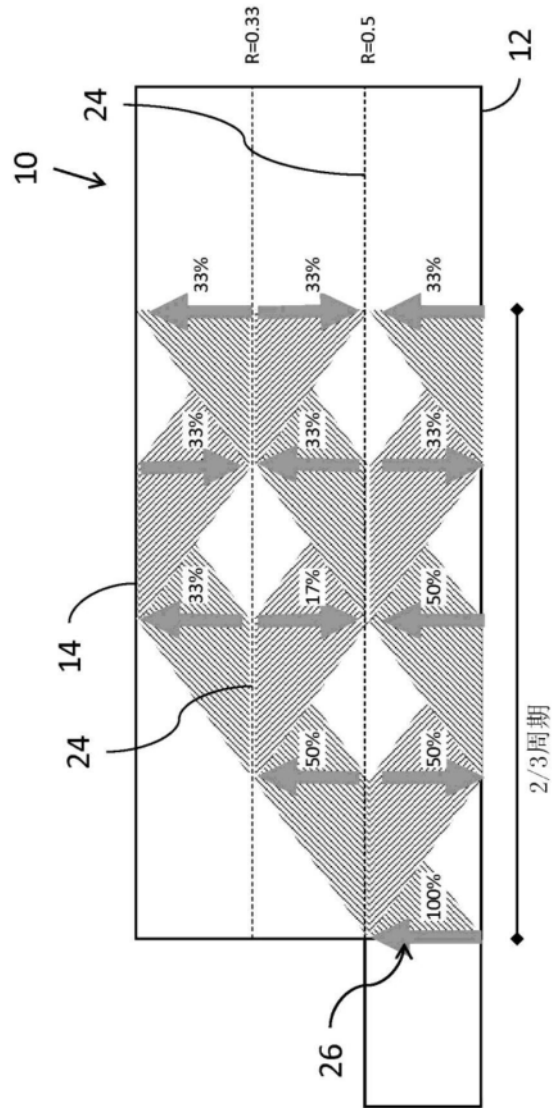


图12B

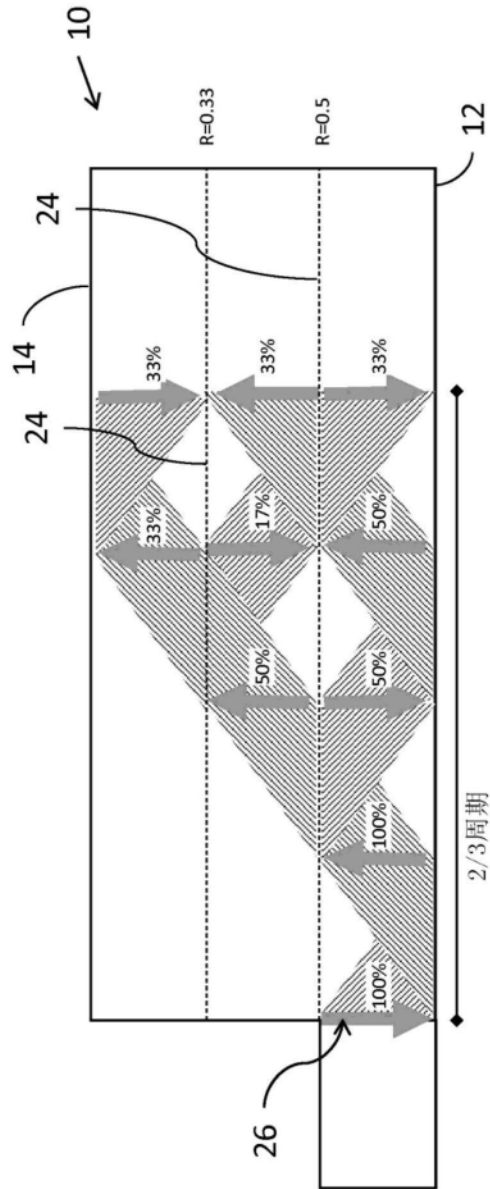


图12C

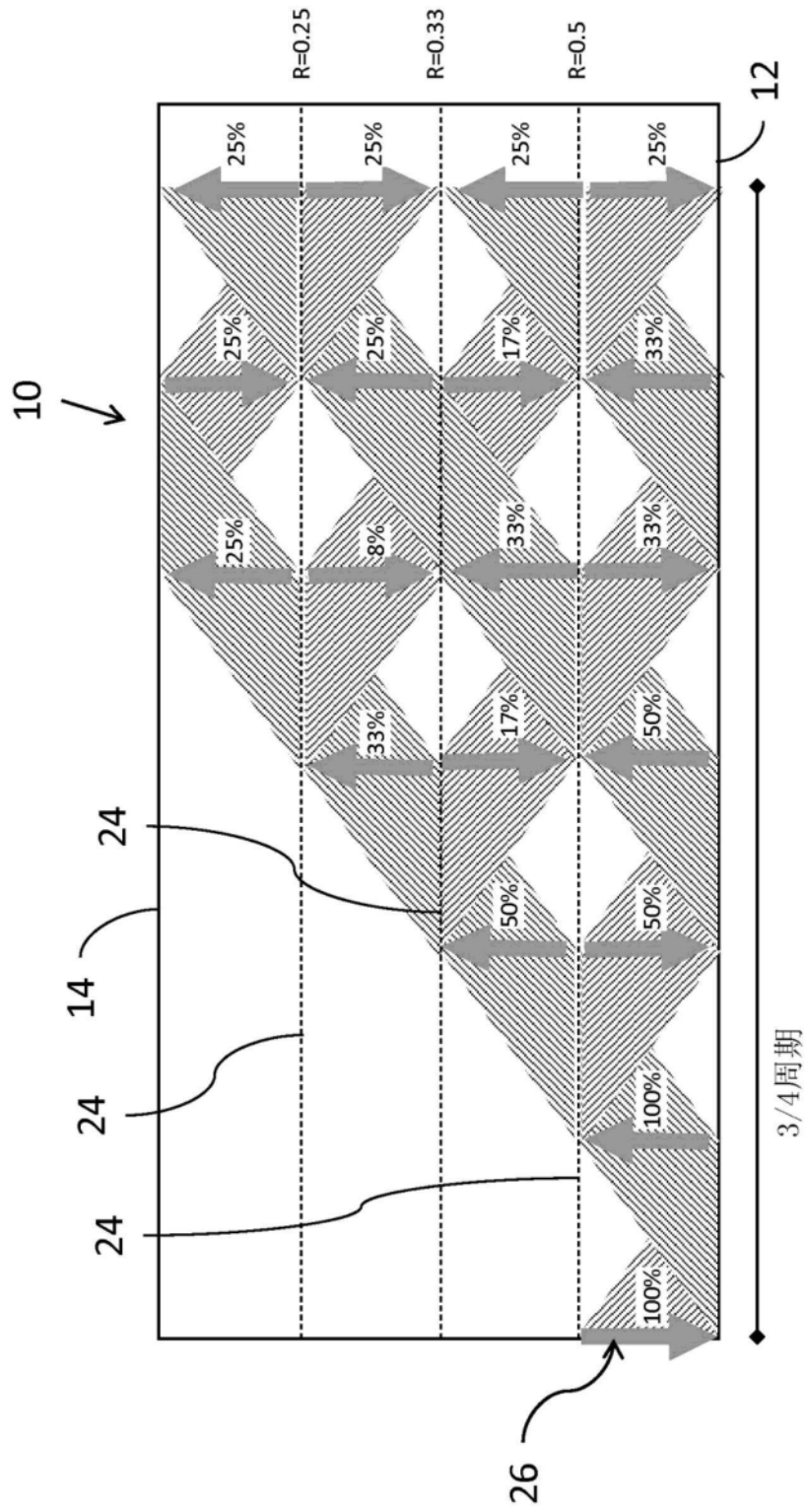


图13A

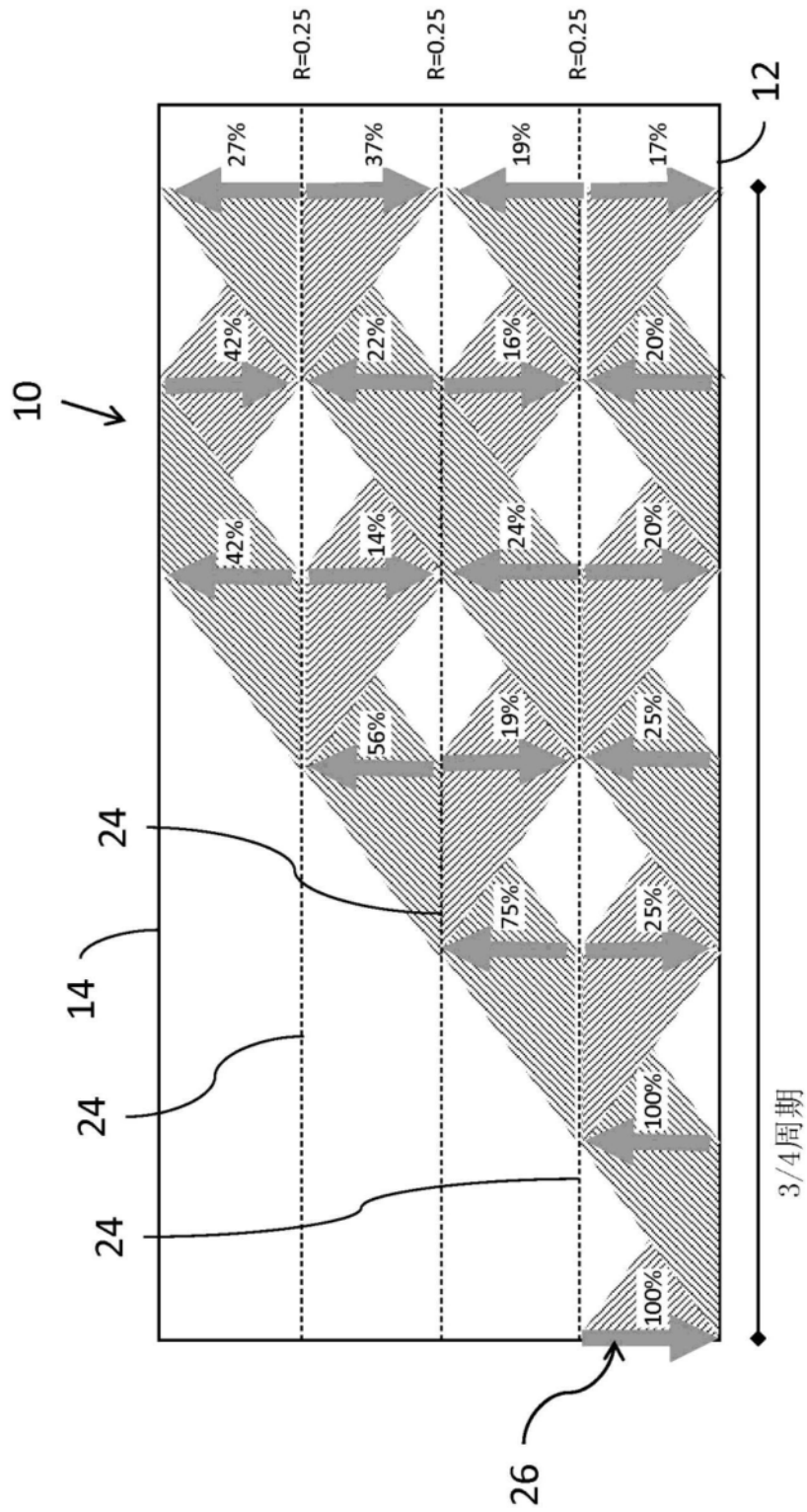


图13B

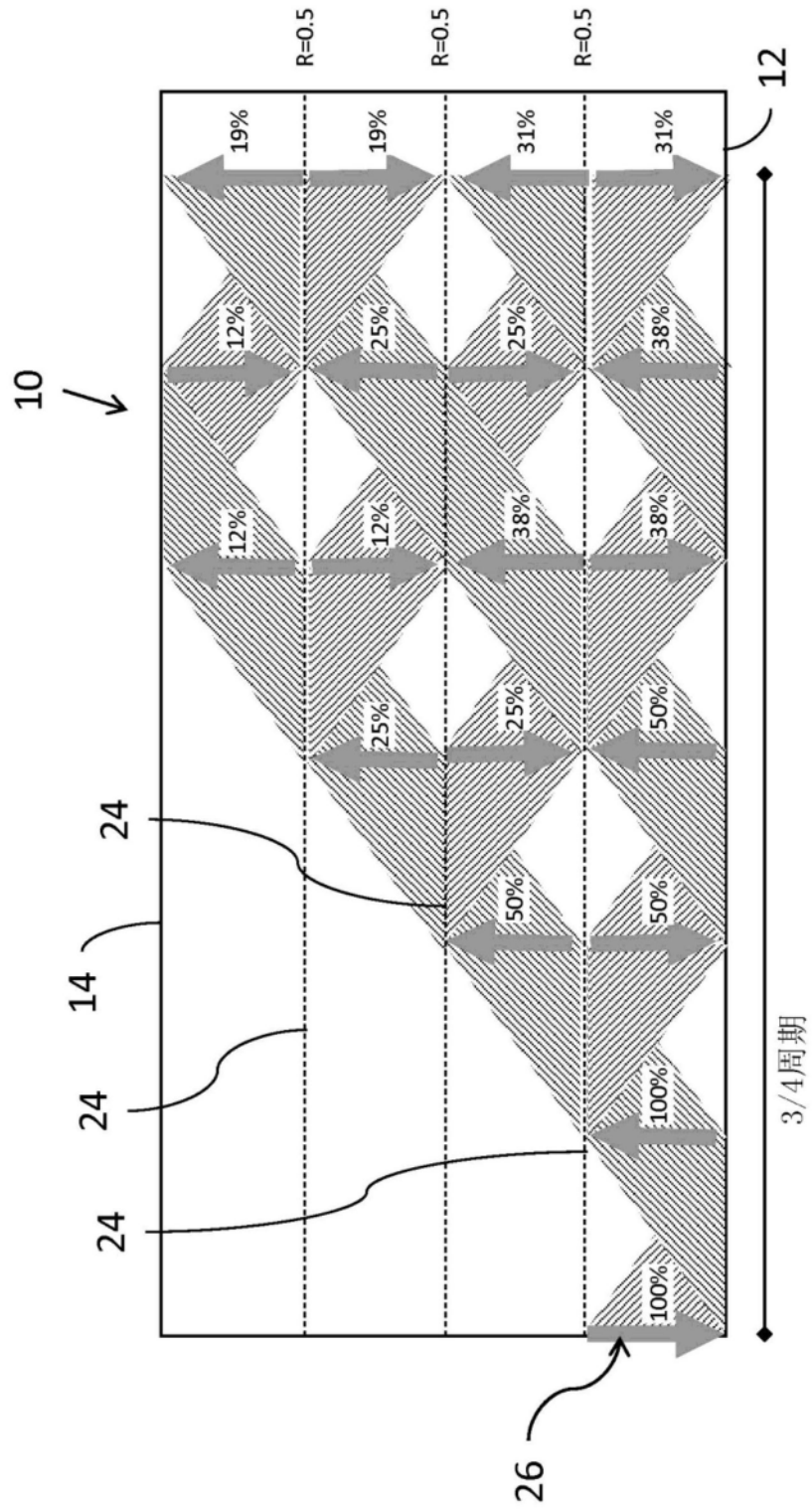


图13C

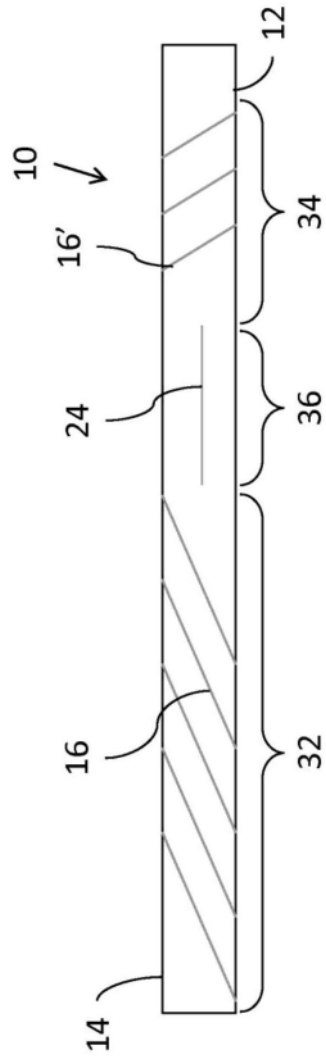


图14A

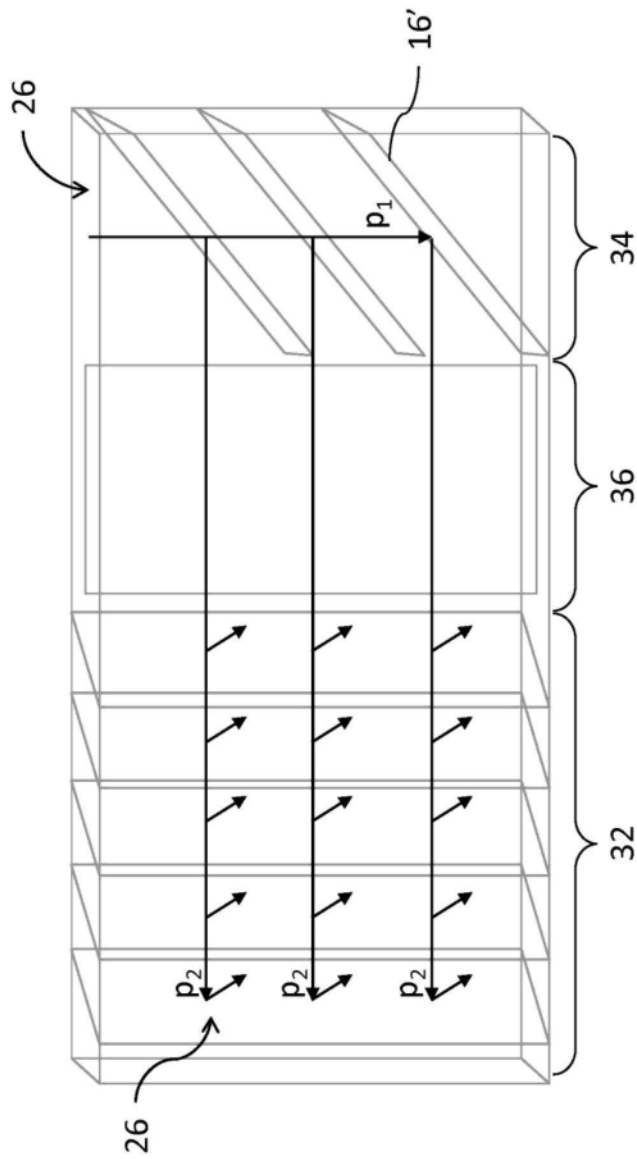


图14B

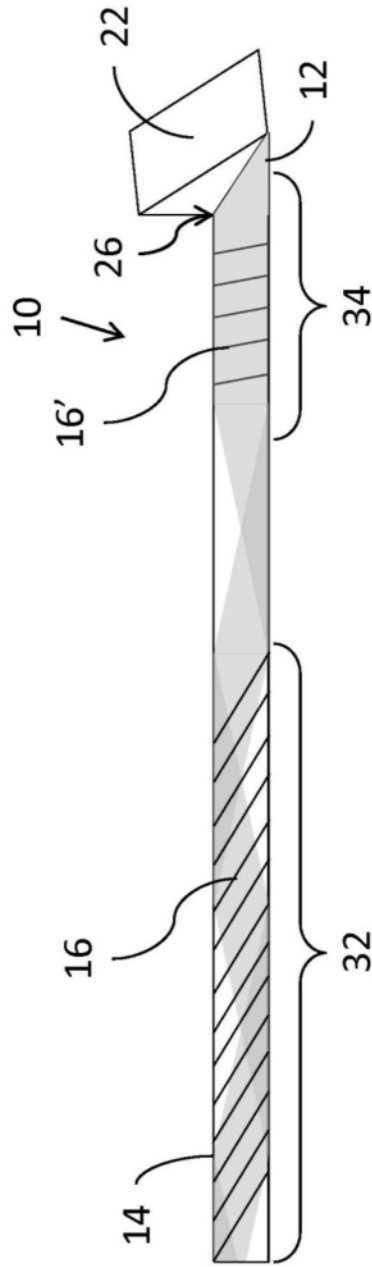


图15A

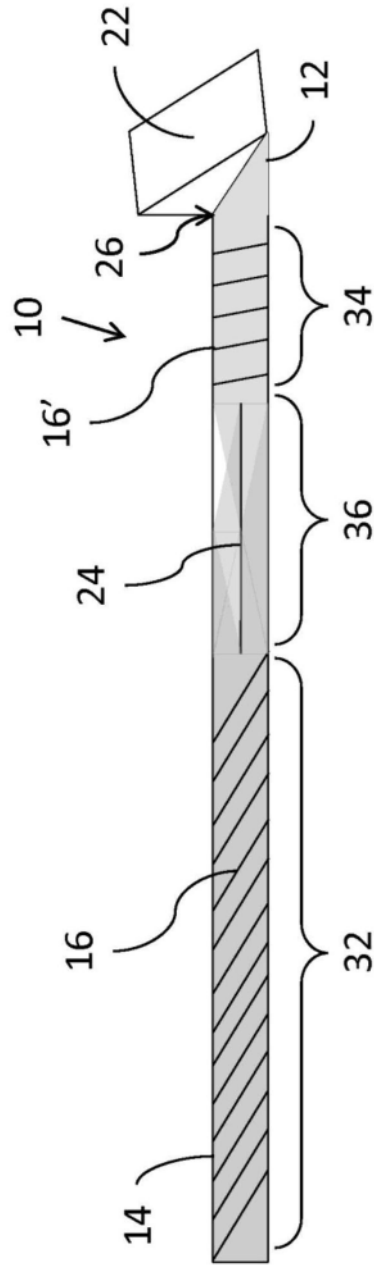


图15B

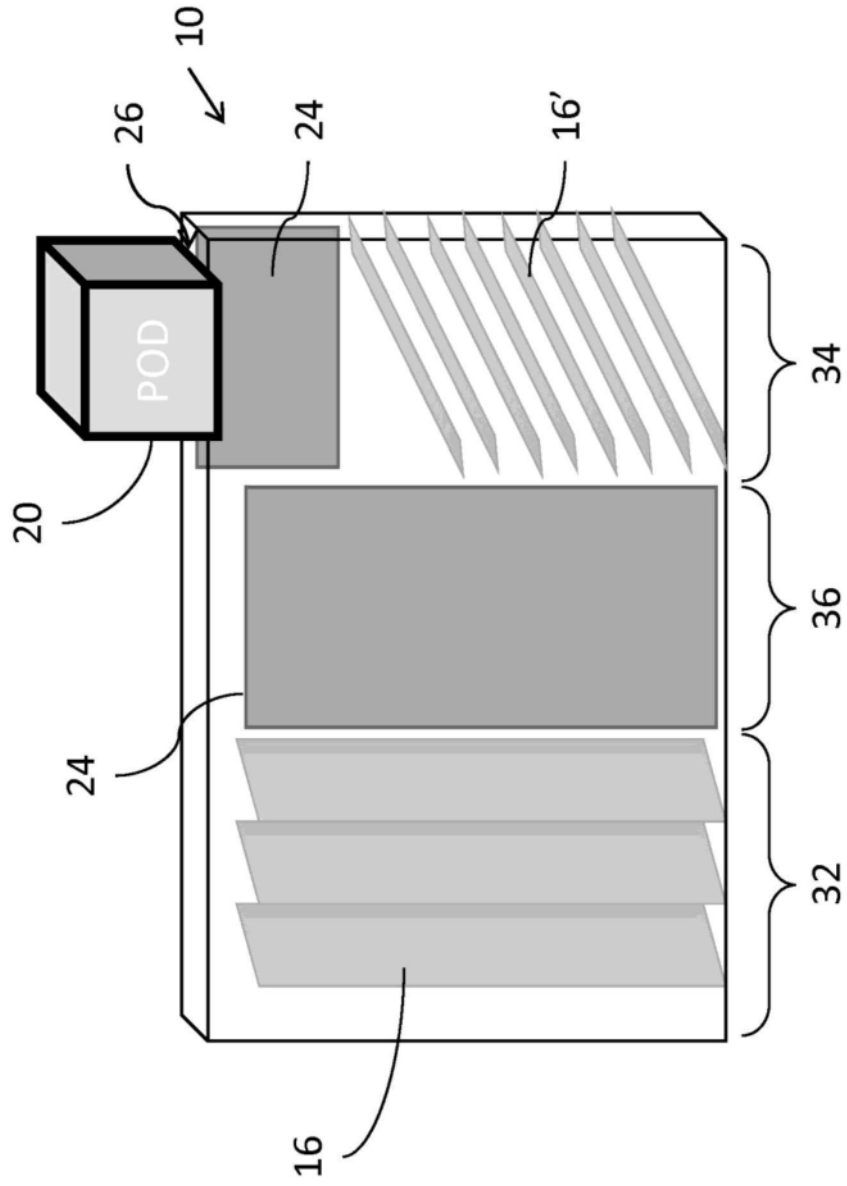


图16