



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116018543 A

(43) 申请公布日 2023.04.25

(21) 申请号 202180053973.X

(22) 申请日 2021.09.20

(30) 优先权数据

63/149,681 2021.02.16 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.03.01

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IL2021/051143 2021.09.20

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/175934 EN 2022.08.25

(71) 申请人 鲁姆斯有限公司

地址 以色列耐斯兹敖那

(72) 发明人 罗宁·切里基 埃拉德·沙尔林

齐翁·艾森菲尔德

希蒙·格拉巴尼克

(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 27/00 (2006.01)

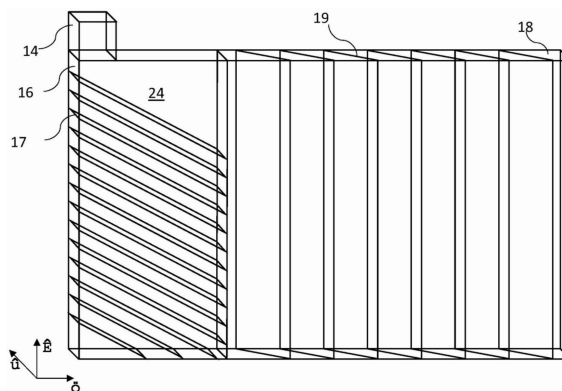
权利要求书2页 说明书9页 附图18页

(54) 发明名称

包括具有延迟器元件的用于二维扩展的光导光学元件的光学系统

(57) 摘要

一种光学系统,用于将在耦入区域处注入的图像照射引导至眼动箱以供用户的眼睛观看,该光学系统包括由透明材料形成的光导光学元件(LOE),该光导光学元件包括:第一区域,包含具有第一取向的平面的、相互平行的第一组部分反射表面;第二区域,包含具有第二取向的平面的、相互平行的第二组部分反射表面,该第二取向与第一取向不平行;一组相互平行的主外表面,跨第一区域和第二区域延伸;以及光学延迟器,被布置在第一区域与第二区域之间以使由第一组部分反射表面偏转的光在到达第二组部分反射表面之前进行偏振旋转。



1. 一种光学系统,用于将在耦入区域处注入的图像照射引导至眼动箱以供用户的眼睛观看,所述光学系统包括由透明材料形成的光导光学元件 (LOE),所述光导光学元件包括:

第一区域,包含具有第一取向的平面的、相互平行的第一组部分反射表面;

第二区域,包含具有第二取向的平面的、相互平行的第二组部分反射表面,所述第二取向与所述第一取向不平行;

一组相互平行的主外表面,所述主外表面跨所述第一区域和所述第二区域延伸,使得所述第一组部分反射表面和所述第二组部分反射表面二者位于所述主外表面之间,

其中,所述第二组部分反射表面与所述主外表面成斜角,使得在所述光导光学元件内通过在所述主外表面处的内反射传播的图像照射的从所述第一区域进入所述第二区域中的部分朝向所述眼动箱耦出所述光导光学元件,以及

其中,所述第一组部分反射表面被定向成使得来自所述耦入区域的在所述光导光学元件内通过在所述主外表面处的内反射传播的图像照射的部分朝向所述第二区域偏转,

所述光导光学元件还包括光学延迟器,所述光学延迟器被布置在所述第一区域与所述第二区域之间,以使由所述第一组部分反射表面偏转的光在到达所述第二组部分反射表面之前进行偏振旋转。

2. 根据权利要求1所述的光学系统,还包括紧凑型图像投影仪 (POD),所述紧凑型图像投影仪光学耦合至所述光导光学元件以将所述图像照射注入到所述光导光学元件的耦入区域中,使得所述图像照射通过在所述一组主外表面处的内反射被捕获在一个维度上。

3. 根据权利要求2所述的光学系统,其中,所述紧凑型图像投影仪被构造成生成被准直到无限远的准直图像,使得所述图像照射跨越与二维角度视场对应的角度范围。

4. 根据权利要求1所述的光学系统,其中,所述第一组部分反射表面被定向成与所述光导光学元件的主外表面正交。

5. 根据权利要求4所述的光学系统,其中,所述图像照射和所述图像照射的共轭二者被偏转到所述第二区域中。

6. 根据权利要求1所述的光学系统,其中,所述第一组部分反射表面相对于所述光导光学元件的主外表面倾斜地定向。

7. 根据权利要求6所述的光学系统,其中,所述图像照射或所述图像照射的共轭被偏转到所述第二区域中。

8. 根据权利要求1所述的光学系统,其中,所述第一组部分反射表面相继地反射在所述第一区域内传播的所述图像照射的一部分,使得所述图像照射经历第一维度上的扩展。

9. 根据权利要求1所述的光学系统,其中,所述第二组部分反射表面相继地反射在所述第二区域内传播的所述图像照射的一部分,使得所述图像照射经历第二维度上的扩展。

10. 根据权利要求1所述的光学系统,其中,所述第一区域被构造成实现x轴方向或y轴方向中的一个方向上的孔径扩展,并且所述第二区域被构造成实现所述x轴方向或y轴方向中的另一个方向上的孔径扩展。

11. 根据权利要求1所述的光学系统,其中,所述第一组部分反射表面和所述第二组部分反射表面被实现为涂覆有电介质薄膜涂层的内表面,所述电介质薄膜涂层被构造成反射在预定角度范围内入射在所述内表面上的光。

12. 根据权利要求1所述的光学系统,其中,所述延迟器被布置在所述光导光学元件内,

使得所述延迟器在所述主外表面之间基本上垂直于所述主外表面延伸。

13. 根据权利要求1所述的光学系统,其中,所述延迟器被布置在所述光导光学元件内,使得所述延迟器在所述主外表面之间以相对于所述外表面的斜角延伸。

14. 根据权利要求1所述的光学系统,其中,所述延迟器被布置在所述光导光学元件内,使得所述延迟器被定向成基本上平行于所述主外表面。

15. 根据权利要求14所述的光学系统,其中,所述延迟器被定向成基本上与所述主外表面中的一个主外表面相邻。

包括具有延迟器元件的用于二维扩展的光导光学元件的光学系统

技术领域

[0001] 当前公开的主题涉及光学系统,并且更具体地,涉及包括被构造成用于二维图像扩展的光导光学元件(Light-guide Optical Element,LOE)的光学系统。

背景技术

[0002] 近年来,消费者对头戴式显示器(Head Mounted Display,HMD)和诸如增强现实(Augmented Reality,AR)眼镜的“智能”眼镜(本文中统称为近眼显示系统)的需求激增。因此,在该快速发展的技术领域中,对更紧凑且重量更轻但仍然提供相对大的视场(Field Of View,FOV)并且产生明亮、高质量的图像的光学系统的需求不断增长。

[0003] 一些已知的光学系统采用波导(本文中也称为“光导”、“光导光学元件”或“LOE”),以通过使图像沿嵌入有一组或更多组部分反射内表面(“小平面”)的基板传播来扩展输入图像。该类型的光学系统的已知问题之一是由于来自非平行小平面的部分反射之间的偏振失配造成少量光的损失。

发明内容

[0004] 根据当前公开的主题的一个方面,提供了一种光学系统,用于将在耦入区域处注入的图像照射引导至眼动箱以供用户的眼睛观看,该光学系统包括由透明材料形成的光导光学元件(LOE),该LOE包括:第一区域,包含具有第一取向的平面的、相互平行的第一组部分反射表面;第二区域,包含具有第二取向的平面的、相互平行的第二组部分反射表面,该第二取向与第一取向不平行;一组相互平行的主外表面,该主外表面跨第一区域和第二区域延伸,使得第一组部分反射表面和第二组部分反射表面二者位于主外表面之间,其中,第二组部分反射表面与主外表面成斜角,使得在LOE内通过在主外表面处的内反射传播的图像照射的从第一区域进入第二区域中的一部分朝向眼动箱耦出LOE,并且其中,第一组部分反射表面被定向成使得来自耦入区域的在LOE内通过在主外表面处的内反射传播的图像照射的一部分朝向第二区域偏转,LOE还包括光学延迟器,所述光学延迟器被布置在第一区域与第二区域之间,以使由第一组部分反射表面偏转的光在到达第二组部分反射表面之前进行偏振旋转。

[0005] 根据一些方面,光学系统包括紧凑型图像投影仪(compact image projector)(POD),该紧凑型图像投影仪光学耦合至LOE以将图像照射注入到LOE的耦入区域中,使得图像照射通过在该组主外表面处的内反射被捕获在一个维度上。

[0006] 根据一些方面,POD被构造成生成被准直到无限远的准直图像,使得图像照射跨越与二维角度视场对应的角度范围。

[0007] 根据一些方面,第一组部分反射表面被定向成与LOE的主外表面正交。

[0008] 根据一些方面,图像照射和图像照射的共轭二者被偏转到第二区域中。

[0009] 根据一些方面,第一组部分反射表面相对于LOE的主外表面倾斜地定向。

- [0010] 根据一些方面,图像照射或图像照射的共轭被偏转到第二区域中。
- [0011] 根据一些方面,第一组部分反射表面相继地反射在第一区域内传播的图像照射的一部分,使得图像照射经历第一维度上的扩展。
- [0012] 根据一些方面,第二组部分反射表面相继地反射在第二区域内传播的图像照射的一部分,使得图像照射经历第二维度上的扩展。
- [0013] 根据一些方面,第一区域被构造成实现x轴方向或y轴方向中的一个方向上的孔径扩展,并且第二区域被构造成实现x轴方向或y轴方向中的另一个方向上的孔径扩展。
- [0014] 根据一些方面,第一组部分反射表面和第二组部分反射表面被实现为涂覆有电介质薄膜涂层的内表面,该电介质薄膜涂层被构造成反射在预定角度范围内入射在内表面上的光。
- [0015] 根据一些方面,延迟器被布置在LOE内,使得延迟器在主外表面之间基本上垂直于主外表面延伸。
- [0016] 根据一些方面,延迟器被布置在LOE内,使得延迟器在主外表面之间以相对于主外表面的斜角延伸。
- [0017] 根据一些方面,延迟器被布置在LOE内,使得延迟器被定向成基本上平行于主外表面。
- [0018] 根据一些方面,延迟器被定向成基本上与主外表面中的一个主外表面相邻。

附图说明

- [0019] 为了理解本发明并且了解在实践中如何实施本发明,将参照附图通过非限制性示例的方式来描述实施方式,在附图中:
- [0020] 图1A至图1D示出了根据现有技术的采用用于二维图像扩展的LOE的近眼显示系统的示例;
- [0021] 图2A至图2B示出了根据现有技术的图1A至图1B的LOE的放大视图;
- [0022] 图3示出了对于s偏振状态和p偏振状态光线在给定入射角下的反射特性;
- [0023] 图4示出了根据所公开主题的实施方式的具有嵌入式延迟器的LOE;
- [0024] 图5A至图5E示出了根据所公开主题的实施方式的延迟器40相对于LOE的多种构造;
- [0025] 图6A至图6C示出了生产光学偏振延迟器的已知方法;
- [0026] 图7A至图7D示出了根据所公开主题的实施方式的具有嵌入式延迟器的LOE的制造方法的示例;
- [0027] 图8A至图8E示出了根据所公开主题的另一实施方式的具有嵌入式延迟器的LOE的制造方法的示例;以及
- [0028] 图9A至图9B示出了具有嵌入式延迟器的衍射LOE的示例。

具体实施方式

- [0029] 在以下详细描述中,阐述了许多具体细节以提供对本发明的透彻理解。然而,本领域技术人员将理解,可以在没有这些具体细节的情况下实践当前公开的主题。在其他情况下,未详细地描述公知的方法、过程和部件,以免使当前公开的主题模糊不清。

[0030] 作为背景,采用用于图像扩展的波导的近眼显示器通常包括投影仪或耦合至投影仪,该投影仪将图像注入到由透明基板制成的波导中,该波导通过波导的平行外表面之间的全内反射(Total Internal Reflection,TIR)来传播图像。嵌入在波导内的诸如部分反射内表面的光学元件在一维波导的情况下将图像朝向观看者重定向,或者在二维波导的情况下将图像重定向到第二波导。在后一种情况下,第二波导再次经由TIR沿与第一波导垂直的轴线传播图像,从而在第二维度上扩展图像。嵌入在第二波导中的小平面将经扩展的图像朝向观察者耦出。

[0031] 尽管本公开内容主要涉及作为耦出方法的部分反射表面,但是应当注意,在适当修改的情况下,本文中描述的技术类似地适用于如下面将参照图9A至图9B详细描述的其他光学耦出元件(例如,衍射元件或反射元件和衍射元件的组合等)的波导。类似地,虽然本公开内容主要涉及被构造成用于二维图像扩展的波导,但是如本领域技术人员会知道的,在适当修改的情况下也可以将本文中所公开的技术应用于一维波导。

[0032] 图1A和图1B示意性地示出了呈近眼显示器形式的已知装置(总体表示为装置10)的示例性实现方式,在该近眼显示器中可以布置有LOE12。近眼显示器10采用紧凑型图像投影仪(或“POD”)14,该紧凑型图像投影仪(或“POD”)14光学耦合至LOE 12以将图像(本文中也称为“图像照射”)注入到LOE 12中,使得图像光通过在LOE 12的一组相互平行的平面外表面处的内反射被捕获在一个维度上。光入射在彼此平行并且相对于图像光的传播方向倾斜的一组小平面上,其中,每个相继的小平面将图像光的一部分偏转到偏转方向,其也在基板内通过内反射被捕获/引导。该第一组小平面未在图1A和图1B中单独示出,但是位于LOE的第一区域(指定的区域16)中。在相继的小平面处的该部分反射实现了第一维度的光学孔径扩展。

[0033] 在一些实施方式中,前述的一组小平面与基板的主外表面正交。在这种情况下,注入的图像及其共轭二者在区域16内传播时经历内反射并且被偏转并且成为在偏转方向上传播的共轭图像。在其他实施方式中,第一组小平面相对于LOE的主外表面成斜角。在后一种情况下,注入的图像或其共轭形成在LOE内传播的期望的偏转图像,同时可以例如通过在小平面上采用角度选择性涂层来使其他反射最少化,该角度选择性涂层使得小平面对于由不需要其反射的图像呈现的入射角的范围相对透明。

[0034] 第一组小平面将图像照射从通过全内反射(TIR)被捕获在基板内的传播的第一方向偏转到也通过TIR被捕获在基板内的传播的第二方向。然后,经偏转的图像照射进入第二基板区域18,该第二基板区域18可以被实现为相邻的不同基板或者实现为单个基板的延续,在该第二基板区域18中,耦出布置(另一组部分反射小平面或衍射光学元件)逐渐将图像照射的一部分朝向位于被限定为眼动箱的区域内的观看者的眼睛耦出,从而实现第二维度的光学孔径扩展。

[0035] 整体装置10可以针对每个眼睛分别实现,并且优选地相对于用户的头部被支承,其中每个LOE 12面对用户的对应的眼睛。在此处所示的一个特别优选的选项中,将支承布置实现为具有用于相对于用户的耳朵来支承装置的侧部20的眼镜框架。也可以使用其他形式的支承布置,包括但不限于头带、面罩(visor)或悬挂在头盔上的装置。

[0036] 本文在附图和权利要求中参照X轴和Y轴,X轴在LOE的第一区域的大体延伸方向上水平地(图1A)或竖直地(图1B)延伸,Y轴垂直于X轴延伸,即在图1A中竖直延伸以及在图1B

中水平延伸。

[0037] 以非常近似的措辞,可以认为LOE 12的第一区域16实现X方向上的孔径扩展,而LOE 12的第二区域18实现Y方向上的孔径扩展。应当注意,可以将如图1A中所示的取向视为“自顶向下”实现方式,在该实现方式中进入LOE的主(第二区域)的图像照射从上边缘进入,而将图1B中所示的取向视为“侧向注入”实现方式,在该实现方式中此处被称为Y轴的轴线水平部地布置。在其余的附图中,将在自顶向下取向或侧向注入的上下文中示出本发明的某些实施方式的各种特征,然而,应当理解,所有这些特征同样适用于两种实现方式。

[0038] 与本发明的装置一起采用的POD优选地被构造成生成准直图像,即,在该准直图像中,每个图像像素的光是被准直到无限远的平行光束,其中角度方向与像素位置对应。因此,图像照射跨越与二维角度视场对应的角度范围。

[0039] 图像投影仪14包括至少一个光源,其通常被布置成照射空间光调制器,例如,LCOS芯片。空间光调制器对图像的每个像素的投影的强度进行调制,从而生成图像。替选地,图像投影仪可以包括LED的阵列(一般使用微型LED阵列或OLED阵列来实现),或者可能包括扫描布置(一般使用快速扫描镜来实现),该扫描布置跨投影仪的图像平面扫描来自激光光源的照射,同时在逐像素的基础上随着运动同步地改变光束的强度,从而针对每个像素投影期望的强度。在所有情况下,提供准直光学器件以生成被准直到无限远的输出投影图像。如本领域公知的,以上部件中的一些或全部一般被布置在一个或更多个偏振分束器(Polarizing Beam Splitter,PBS)立方体或其他棱镜布置的表面上。

[0040] 可以通过任何合适的光学耦合来实现图像投影仪14到LOE 12的光学耦合,例如,经由具有成斜角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。耦入构造的细节对于本发明并不重要,并且在此处被示意性地示出为应用于LOE的主外表面之一的楔形棱镜15的非限制性示例。

[0041] 将理解的,近眼显示器装置10包括各种附加部件,通常包括用于致动图像投影仪14的控制器22,其通常采用来自小型板载电池(未示出)或一些其他合适的电源的电力。将理解的,控制器22包括用于驱动图像投影仪的所有必要的电子部件(例如至少一个处理器或处理电路),所有这些均如本领域是已知的。

[0042] 图1C至图1D示意性地示出了具有三种类型的嵌入式元件的现有近眼显示系统10的另一示例。如图1A至图1B所示,投影仪(POD) 14将图像注入到LOE 12中,其中光通过TIR在一个维度上被限制到位于LOE的两个平行主外表面之间的区域。图像的光线在波导内部以某个角度取向传播,直到它们被位于区域16a和区域16b中的两组相互平行的小平面中的一组反射。这两个相互平行的小平面将光线重定向到不同的角度取向,该不同的角度取向也通过TIR在一个维度上被限制到在LOE的两个平行主表面之间的区域。然后,光线分别被区域16a和区域16b中的小平面的二次反射,使得光线返回到在被注入到LOE中时它们的原始取向。最后,光线被区域18中的第三组相互平行的小平面反射,该第三组相互平行的小平面重定向光线,使得注入的图像从LOE耦出并且朝向观察者的眼睛所在的眼动箱传播。

[0043] 现在转到图2A,更详细地示出了近眼显示器的实现方式的光学特性。具体地,示出了由透明材料形成的光导光学元件(LOE) 12的更详细视图,LOE 12包括:第一区域16,其包含具有第一取向的平面的、相互平行的第一组部分反射表面17;以及第二区域18,其包含具有第二取向的平面的、相互平行的第二组部分反射表面19,该第一取向与第二取向不平行。

一组相互平行的主外表面24跨第一区域16和第二区域18延伸,使得第一组部分反射表面17和第二组部分反射表面19二者位于主外表面24之间。最优选地,该组主外表面24是各自跨第一区域16和第二区域18的整体连续的一对表面,但是在区域16与区域18之间厚度减小或增大的选项也落入本发明的范围内。区域16和区域18可以被紧接地并置,使得区域16和区域18在边界处接触,边界可以是直边界或一些其他形式的边界,或者取决于特定应用,可以存在置于区域16与区域18之间的一个或更多个附加LOE区域,以提供各种附加的光学功能或机械功能。尽管本发明不限于任何特定的制造技术,但是在某些特别优选的实现方式中,通过采用连续的外部板来实现特别高质量的主外表面,在该连续的外部板之间夹有分别形成的区域16和区域18以形成复合LOE结构。

[0044] 可以通过反向追踪图像照射路径来理解LOE的光学特性。第二组部分反射表面19与主外表面24成斜角,使得在LOE 12内通过主外表面处的内反射传播的图像照射的从第一区域16到第二区域18中的部分朝向眼动箱26耦出LOE。第一组部分反射表面17被定向成使得来自耦入区域(耦合棱镜15)的在LOE 12内通过主外表面处的内反射传播的图像照射的部分朝向第二区域18偏转。

[0045] 在图2A中通过从LOE的右侧上的POD孔径朝向LOE的左侧展开的照射锥来表示来自图像投影仪14的投影图像的一个维度的角度展开。在此处示出的非限制性示例中,POD的中心光轴限定LOE内与X轴对准的传播方向,并且角度展开(在LOE内)大致为 $\pm 16^\circ$ 。(应当注意,由于折射率的改变,角度FOV在空气中变大。)在第一区域16中示出了第一组部分反射表面17,并且在第二区域18中示出了第二组部分反射表面19。

[0046] 近眼显示器被设计成向用户的眼睛提供投影图像的完整视场,用户的眼睛位于由“眼动箱”(Eye-Motion Box, EMB) 26指定的允许位置范围(即,一般被表示为矩形的形状,其与眼瞳将从其观看投影图像的LOE的平面间隔开)内的某个位置处。为了到达眼动箱,必须通过第二组部分反射表面19从第二区域18朝向EMB 26耦出光。为了提供完整图像视场,EMB中的每个点必须从LOE接收图像的整个角度范围。从EMB回溯视场指示了较大矩形28,相关照射从该矩形28朝向EMB耦出LOE。

[0047] 图2A示出了与投影图像的左下像素对应的FOV的第一末端。耦入到LOE中的具有与投影仪的光学孔径对应的宽度的光束被示出为从POD向左和向上传播并且从一系列部分反射表面17被部分地反射。如此处所示,仅小平面的子集生成对提供由用户观看的图像中的对应像素有用的反射,并且仅这些小平面的子区域有助于该像素的观察图像。用粗黑线示出了相关区域,并且示出了从小平面17反射并且然后被小平面19耦出到达EMB 26的四个拐角的重定向图像中的该像素对应的光线。

[0048] 此处以及贯穿说明书,将注意,此处示出在LOE内传播期间光线的仅面内传播方向,但是光线实际上遵循来自两个主外表面的重复内反射的Z字形路径,并且一整个维度的图像视场通过光线相对于主外表面的与Y维度上的像素位置对应的倾斜角来编码。通过一个附加示例的方式,用点划线示出了在EMB的左上拐角处观看到的与图像的左上末端对应的偏转和耦出光线。图2B示意性地示出了图2A的LOE,该LOE现在旋转了90度并且为了帮助使LOE可视化而从图2A中移除了光线和眼动箱。

[0049] 将小平面17和小平面19实现为涂覆有部分反射涂层(优选地为电介质薄膜涂层)的内表面,其被特别设计成部分地反射在预定的角度范围内入射在表面上的光,每个角度

与给定的场相关联,由此角度范围与投影图像的整个FOV相关联。应当注意,入射在小面上的光包括跨由照射源确定的相对宽的波长光谱的不同波长的光。还应当注意,一般而言,注入图像可以是偏振的或非偏振的,并且在每种情况下必须相应地设计小平面涂层。例如,在注入图像是非偏振的(即,包括p偏振光和s偏振光二者)的情况下,必须将涂层设计成考虑p偏振光线和s偏振光线二者的反射效果。

[0050] 通过限定,根据特定光线相对于光线入射的表面的法线的角度取向(即,场k矢量,平面波的取向)来限定光的偏振状态。因此,与一个表面相比,偏振入射光线可以具有某个偏振状态,而与不同的表面相比,可以具有另一偏振状态。因此,清楚的是,当光在具有许多表面的光学系统内传播时,根据入射光线的方向和光线入射的表面的角度取向来限定入射光线的偏振状态。如根据图2A明显的是,当光传播通过近眼显示器时,光入射在平行外表面(本文中也称为“面”)24、第一组小平面和第二组小平面上,这些小平面的每一个相对于彼此具有不同的角度取向。因此,可以将与特定场相关联的偏振光线描述为具有相对于LOE面24的第一偏振状态、相对于小平面17的第二偏振状态以及相对于小平面19的第三偏振状态。由于光线相对于表面的偏振状态影响光线离开该表面的反射率,因此理想地,需要将小平面17的部分反射涂层设计成不同于小平面19的部分反射涂层,以在每组小平面上实现足够高的反射率。此外,在一定偏振和角度范围设计具有所需光学特性的光学涂层通常是极其困难的。例如,如果完全可能的话,在布鲁斯特角附近设计针对p偏振光的高反射涂层是极其困难的。因此,第一组小平面17与第二组小平面19之间的照射光的偏振失配可能限制特定涂层要求的可行性,并且可能迫使对初始偏振状态进行折衷。此外,如果沿着LOE 12在任何点处相对于主外表面24的偏振状态是s偏振光和p偏振光的组合,则偏振将在TIR时旋转,从而造成来自不同小平面的光的反射率上的显著差异,并且对于不同场,这可能经常在输出图像中引起暗条纹。

[0051] 如上所述,现有LOE的缺点是入射光的偏振可能在LOE的不同区域中变化,并且可能相对于不同组的小平面和相对于LOE的主外表面是不同的。这通常导致注入图像相对于主表面的“不纯”偏振。由于TIR对s偏振光和p偏振光产生的不同相位,因此当光在LOE内传播时,注入图像的偏振可能旋转和变化。这可能使小平面的薄光学涂层的设计显著复杂化,并且可能降低输出效率并且引起投影的输出图像中的局部或全局非均匀性。

[0052] 同样如上所述,特定光线在入射表面时的反射程度根据光线相对于表面的偏振状态而变化。图3示出了针对第一组小平面和第二组小平面的示例性涂层设计的作为入射角的函数的反射率。显然,p偏振光的反射率在布鲁斯特角附近下降到零。为此,通常优选的是,为了涂层设计的最大效率以及简单性,通过显示器传播的光相对于小平面17和小平面19是s偏振的,或至少大部分是s偏振的。

[0053] 因此,发明人已经发现,可以通过使在第一组小平面与第二组小平面之间传播的光的偏振旋转,使得光相对于两组小平面总是s偏振的(或至少大部分是s偏振的),来提高采用被构造成用于二维扩展的LOE的近眼显示系统的效率以及简单性。注意,“效率”意味着最初耦入至近眼显示系统的投影光更多地朝向观察者反射,从而产生更亮和/或更均匀的输出图像。

[0054] 图4示意性地示出了与图2B中所示的LOE类似的但是现在包括光学延迟器40的LOE的示例,该光学延迟器40沿着小平面17(其在所示的示例中与外表面正交)与小平面19之间

的光路径定位,并且被构造成使光在从小平面17反射之后并且在从小平面19反射之前进行偏振旋转。因此,假设输入至LOE的光相对于小平面17是s偏振的,在从小平面17反射之后,光将相对于小平面19大部分是p偏振的。然后,延迟器40使偏振旋转,使得光现在相对于小平面19是s偏振的(或至少大部分是s偏振的)。由于现在小平面17和小平面19都相对于每组小平面的相应表面反射s偏振光,因此不需要单独考虑涂层设计。此外,与主外表面相比,延迟器使得在波导内部传播的光大部分是纯偏振的,并且因此当光在波导内传播时,偏振不会由于TIR而旋转。如下面将进一步详细描述,可以以各种方式实现延迟器40,包括但不限于半波片。

[0055] 如图5A至图5E所示,延迟器40可以物理地位于LOE内的各种可能的位置处,并且以各种不同的角度定向。例如,如图5A所示,延迟器可以在平行面之间跨LOE的厚度(图中的z轴)延伸,并且被定向成大致垂直于LOE面。图5B示出了其中延迟器40被定向成相对于LOE的面成角度并且不平行于小平面19的另一构造。图5C示出了延迟器40被定向成平行于小平面19的另外的构造。

[0056] 图5D示出了其中延迟器40被定向成平行于LOE的面并且物理地位于面之间的某一点(该点可以是面之间的中间点,但不一定限于此)的又一构造。最后,图5E示出了其中延迟器40被定向成平行于显示器的面并且物理地位于与面中的一个面相邻的又一构造。

[0057] 应当注意,在所有情况下,延迟器应当被定尺寸成、定位成和/或成角度为使得所有或基本上所有从小平面17反射的光在被小平面19反射之前穿过延迟器。

[0058] 还应当注意,尽管由延迟器执行的功能目前为止被描述为仅使光的偏振旋转,但是在一些情况下,可以期望的是,延迟器也执行附加的功能。例如,参照图5D所示的构造,延迟器40可以包括具有50%反射率的涂层。这将使延迟器40能够另外地用作“混合器”并且使所传播的光线混合,从而提高输出图像的强度均匀性。先前已经在PCT公开W02021001841A1中描述了具有嵌入式混合器元件的近眼显示器。

[0059] 可以以各种方式实现延迟器40,包括但不限于如半波片或涂覆的内表面。合适的涂层包括例如电介质、双折射、薄膜聚合物、晶体延迟器、几何相位光栅延迟器等。在一些实施方式中,例如在图5C所示的构造中,可以将延迟器实现为施加至第二组小平面中的第一小平面的涂层。

[0060] 现在将参照图6A至图8E描述具有延迟器元件的LOE的示例性制造方法。

[0061] 图6A至图6C示意性地示出了用于生产适于在LOE内布置的光学延迟器的已知方法。在图6A中,延迟器由诸如石英的晶体材料制成。将由双折射材料制成的第一透明晶体板42接合至透明基板41。基板41优选地由与LOE相同的材料制成。然后,例如通过双面抛光使组合的结构变薄,直到实现所需的双折射材料的厚度。图6B至图6C示出了其中可以通过在基板41上涂覆电介质涂层(均质的或非均质的)(图6B),或者通过将多晶薄膜接合至基板41(图6C)来生产延迟器的备选的方法。

[0062] 接下来,根据已知方法形成包括第二组小平面的LOE区域。图7A示意性地示出了通过堆叠和接合一系列平坦且透明的涂覆板38并且沿着相对于板的平坦表面的平行对角线平面对堆叠进行切片(图7A)来形成LOE区域18。然后,对切片进行抛光以形成多个LOE区域18(图7B)。可以以类似的方式形成区域16。

[0063] 为了形成包括延迟器的最终LOE结构,提出了两种备选方法。图7C至图7D示出了第

一方法,其中将单个延迟器元件接合至在一侧的单个LOE区域16以及在相对侧的单个LOE区域18(图7C)以形成最终LOE(图7D)。

[0064] 在图8A至图8B中示出了第二方法,其中将多个LOE区域18堆叠并且接合在一起(图8A),并且将跨越堆叠18'的厚度的延迟器元件接合至堆叠的边缘(图8B至图8C)。接下来,如图8D至图8E所示,将表示多个形成但未切片的LOE区域16的材料块16'(即,如在LOE区域16生产的中间阶段生产的)接合至延迟器元件的另一侧,并且将组合的块切片成多个LOE(图8E),每个LOE包括两组小平面之间的嵌入式延迟器。

[0065] 在以上替选方法的每一个中,最终的LOE可能需要在两个面上进行成形和抛光,以使面之间精确平行。在一些实施方式中,如本领域中已知的,可以将透明盖板接合至面。

[0066] 尽管在本文中目前为止主要在基于部分反射内表面的LOE的上下文中描述了本发明,但是应当理解,本发明的原理也可以在以下光导光学元件中有利地实现,该光导光学元件采用衍射光学元件(Diffractive Optical Element,DOE)以实现光学孔径维度扩展和/或从波导朝向观察者耦出图像照射中的一者或两者。

[0067] 作为非限制性示例,图9A至图9B示出了利用衍射波导实现的光学系统的实施方式的示例,该光学系统用于将在耦入区域处注入的图像照射引导至眼动箱,以供用户的眼睛观看。该光学系统包括由透明材料形成的LOE 12,该LOE 12包括:包含第一DOE 27的第一区域、包含第二DOE 29的第二区域、以及一组相互平行的主外表面24。主外表面跨第一区域和第二区域延伸,使得第一DOE 27和第二DOE 29二者位于主外表面24之间。在图9A示出的示例中,图像照射被注入到第一区域的一端中,并且在其沿着第一区域的长度在一个方向上传播的情况下传播,直到图像照射被一个或更多个DOE 27偏转到第二区域中。在图9B示出的示例中,图像照射被注入到第一区域的中间部分中,并且在相反的方向上传播,直到图像照射被两个或更多个DOE 27a、DOE 27b偏转到第二区域中。在任一情况下,图像照射通过一个或更多个DOE 29从第二区域耦出至眼动箱(未示出)。

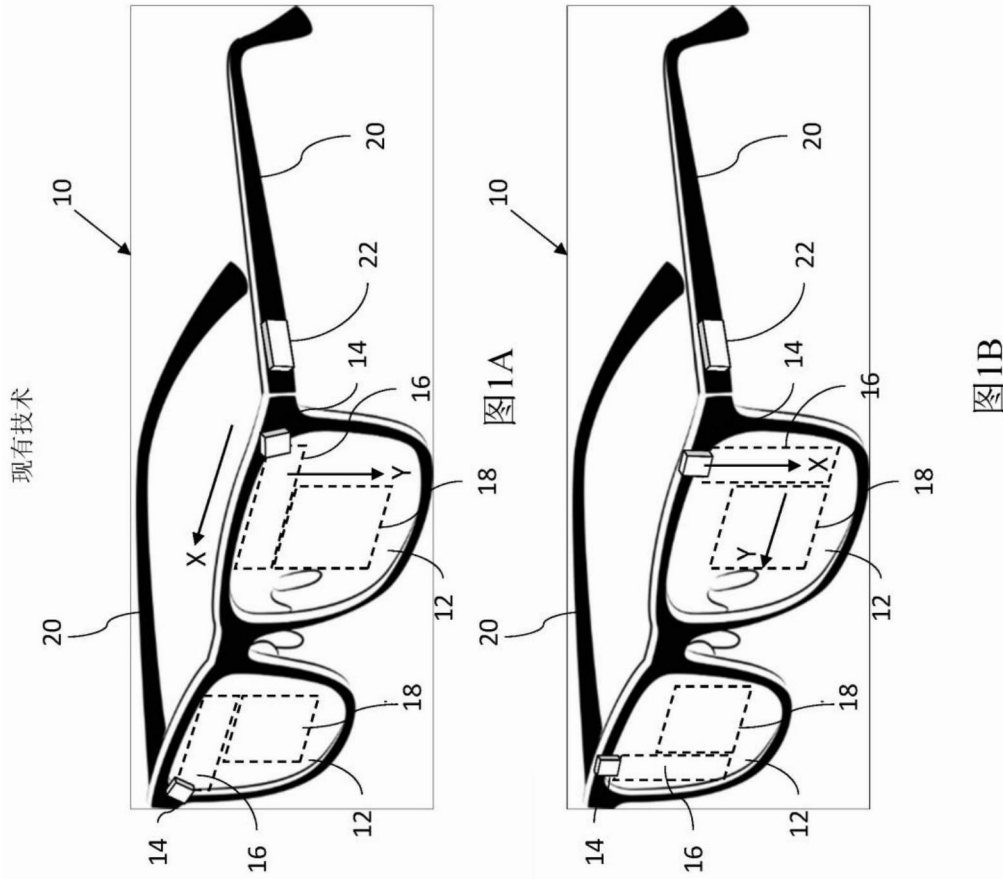
[0068] 如图9A至图9B所示,LOE还包括光学延迟器40,该光学延迟器40被布置在第一区域与第二区域之间,以使由第一DOE(即,在图9A的情况下的DOE 27,以及在图9B的情况下的DOE 27a、DOE 27b)偏转的光在到达第二DOE 29之前进行偏振旋转。

[0069] 应当注意,在一些实施方式中,实际上可以将第一DOE和第二DOE中的每一个实现为一对DOE。在这种情况下,“第一DOE”应当被理解为包括第一对DOE,而“第二DOE”应当被理解为包括第二对DOE。

[0070] DOE的非限制性示例包括例如表面光栅和/或体光栅(例如,全息光栅)。在一些实施方式(未示出)中,LOE可以在第一区域和第二区域中的一个区域中包括DOE,并且在第一区域和第二区域中的另一个区域中包括小平面。例如,第一区域可以包含DOE,而第二区域包含小平面,或者替选地,第一区域可以包含小平面,而第二区域包含DOE。应当理解,可以通过首先使用以上讨论的已知方法之一制造没有嵌入式延迟器的波导,并且然后将全息光栅结构“写入”到波导上来制造衍射LOE。

[0071] 应当理解,如本领域技术人员会知道的,在根据需要进行适当的修改的情况下,以上参照图4在具有小平面的LOE的上下文中描述的嵌入式延迟器也可以用于在其他形式的LOE中,例如用于在区域16或区域18中具有“部分”小平面的LOE中(例如,如在WO 2020/049542A1中更详细地描述的)。

[0072] 应当理解,本发明在其应用方面不限于本文中包含的说明书中阐述的细节或附图中示出的细节。本发明能够具有其他实施方式并且能够以各种方式实践和执行。因此,应当理解,本文中采用的措辞和术语是出于描述的目的,而不应当被认为是限制性的。因此,本领域技术人员将理解,可以容易地将本公开内容所基于的构思作为基础来设计用于执行当前公开的主题的若干目的的其他结构、方法和系统。



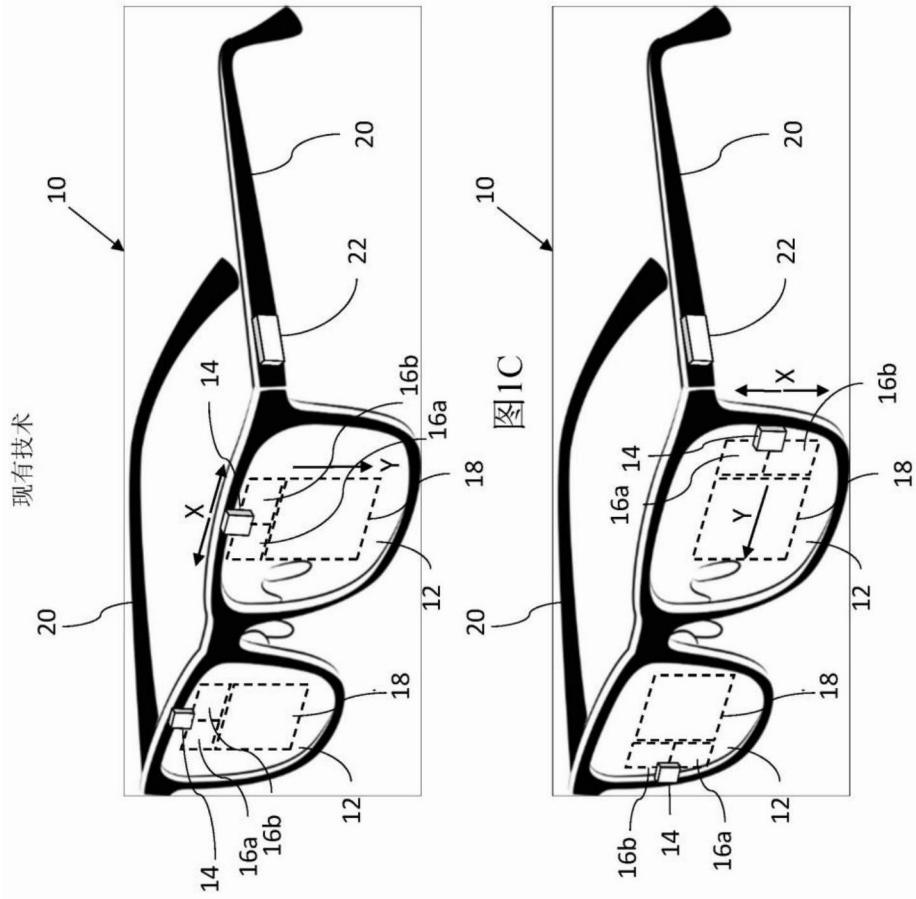


图1D

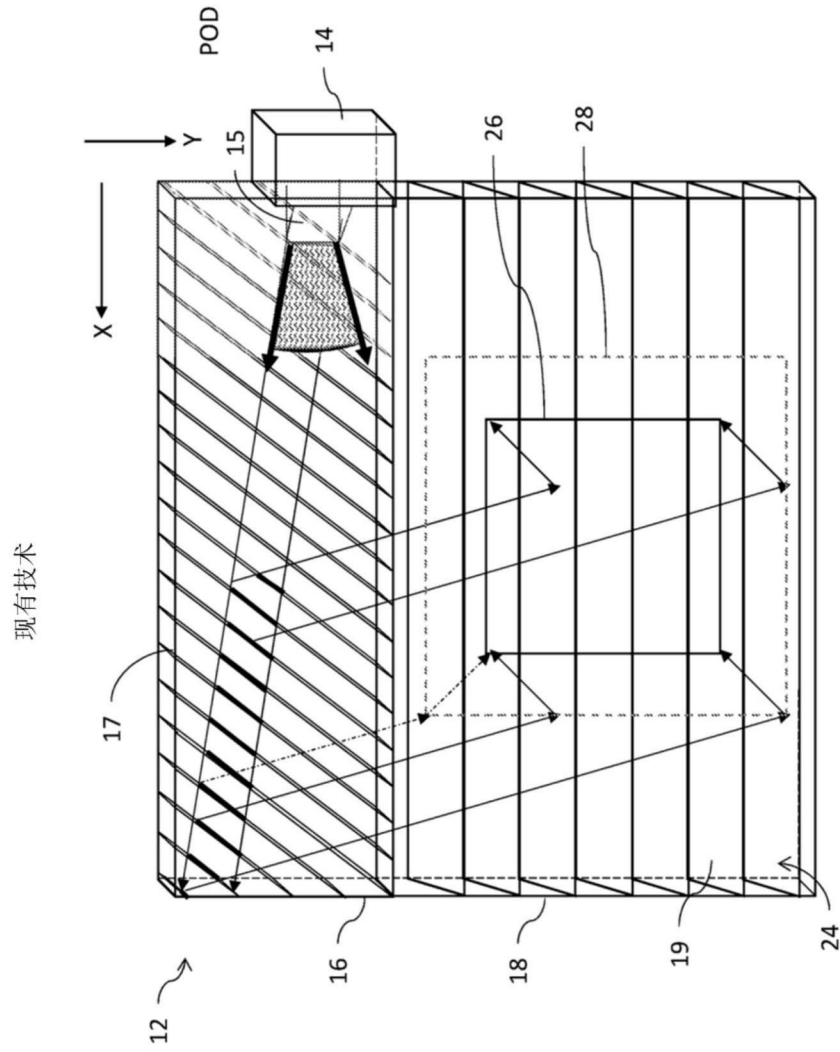


图2A

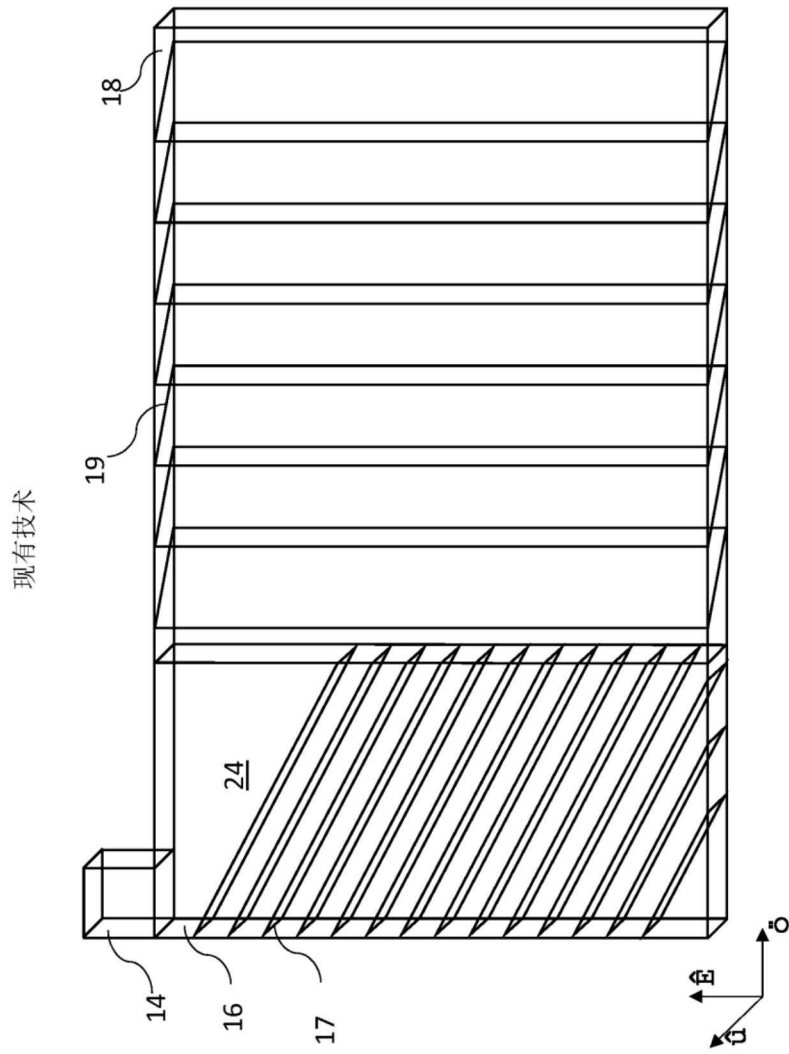


图2B

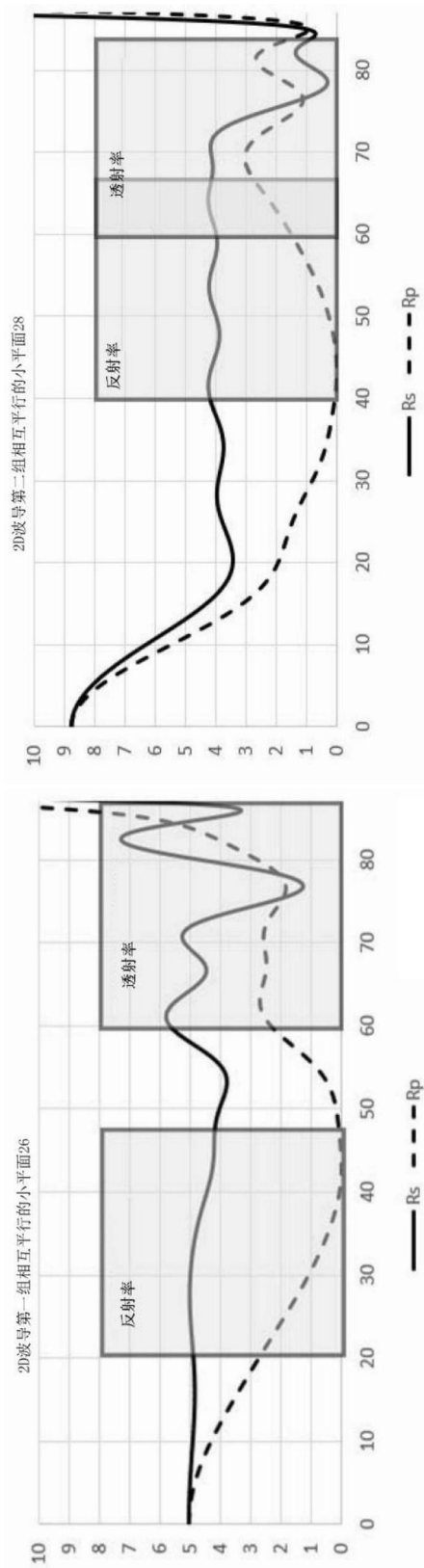


图3

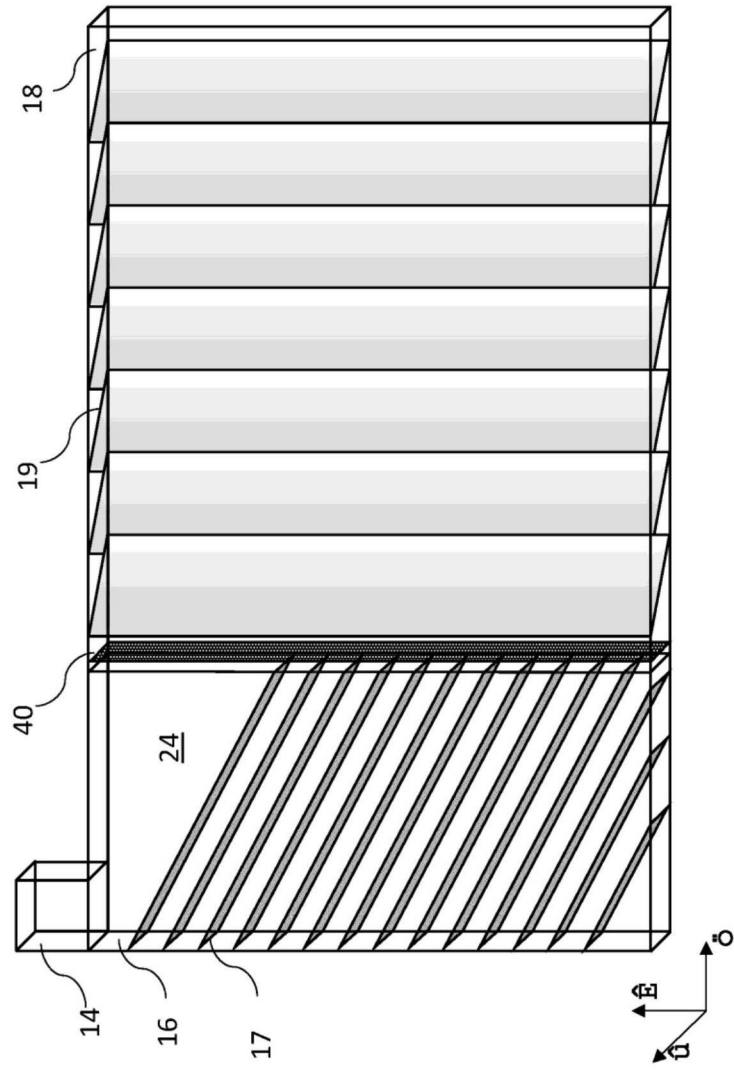


图4

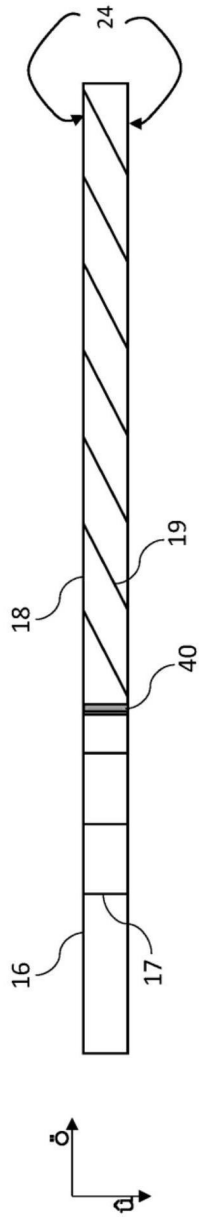


图5A

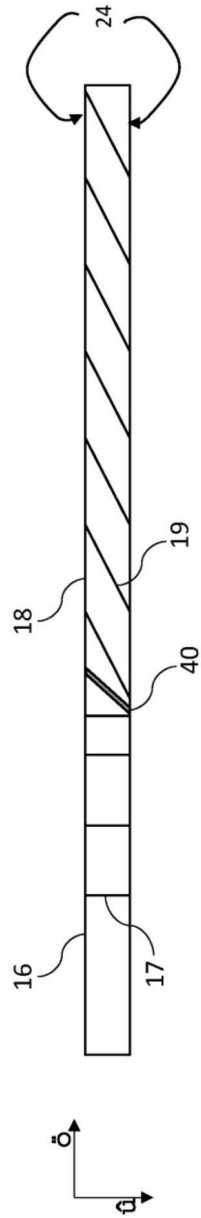


图5B

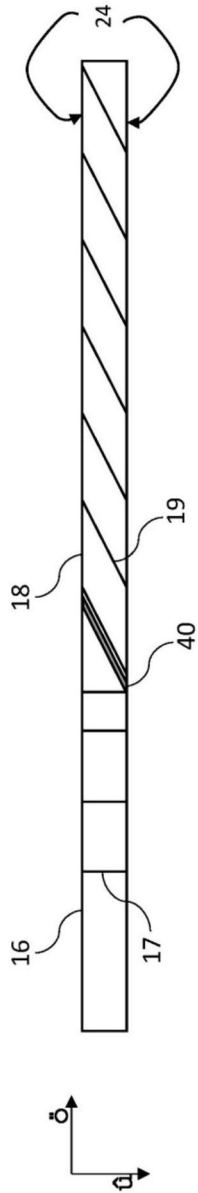


图5C

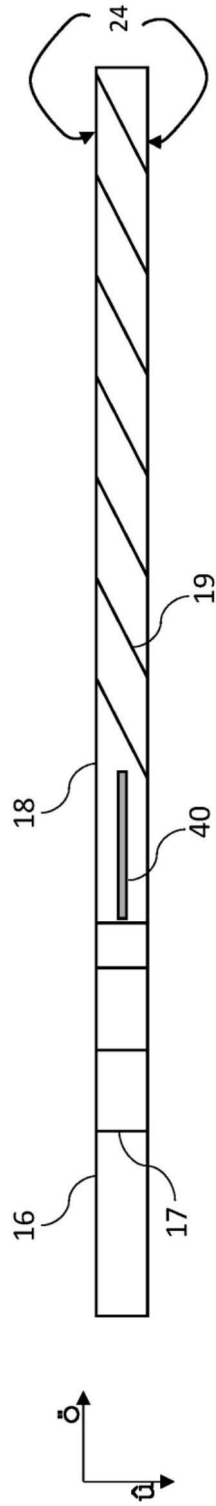


图5D

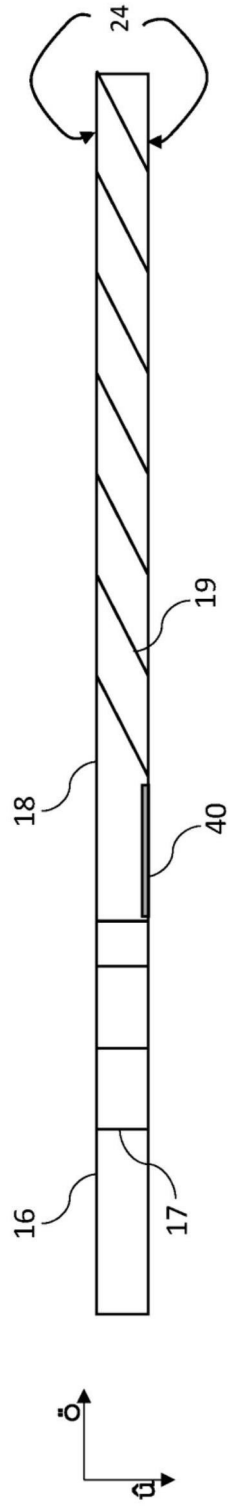


图5E

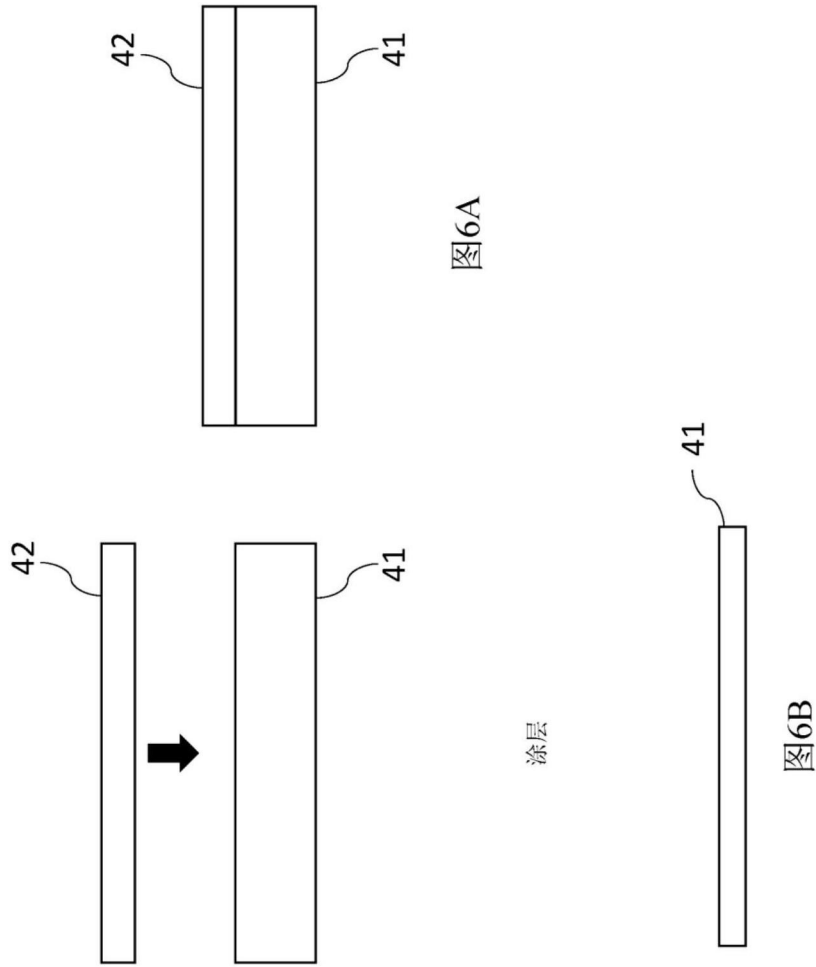


图6A

图6B

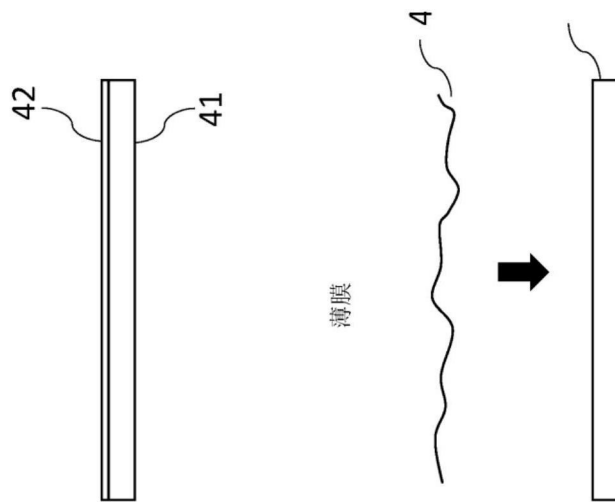


图6C

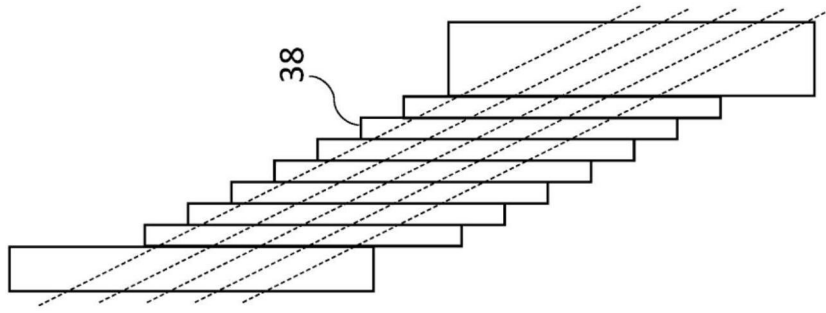


图7A

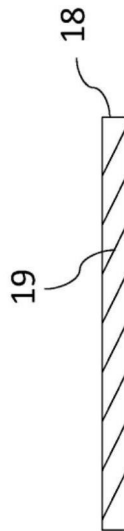


图7B

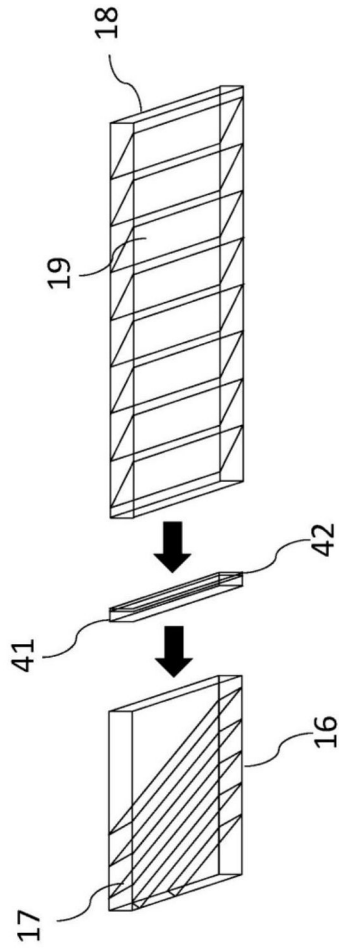


图7C

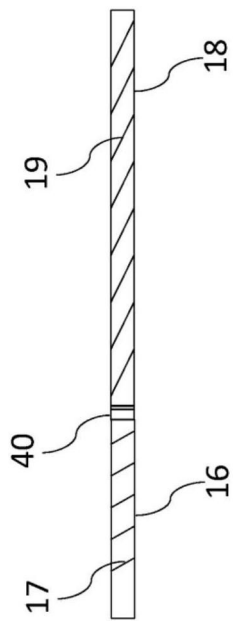


图7D

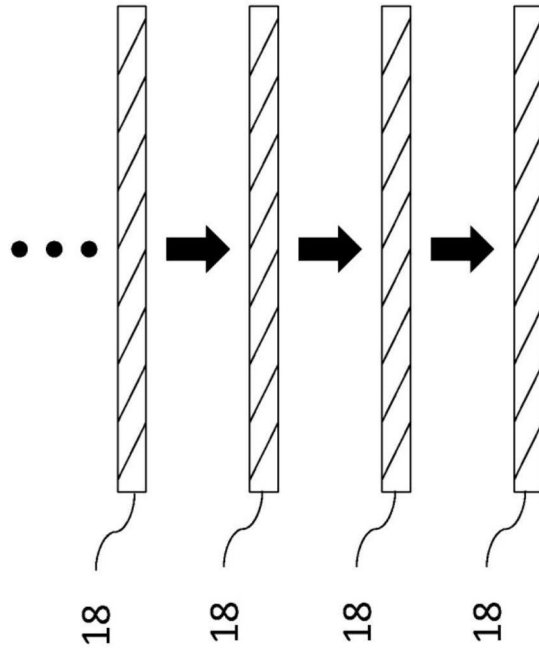


图8A

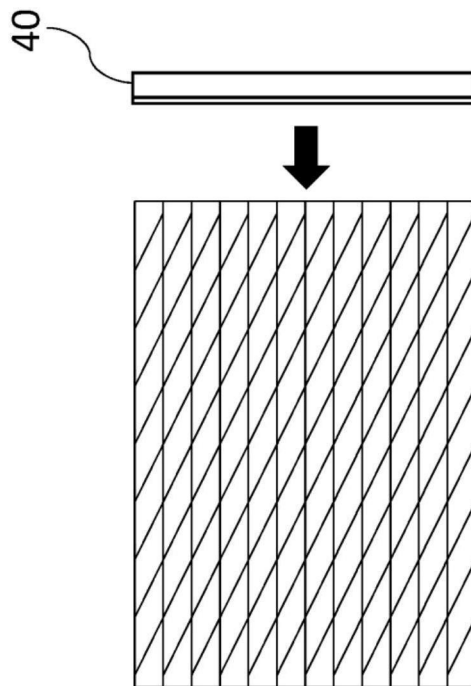


图8B

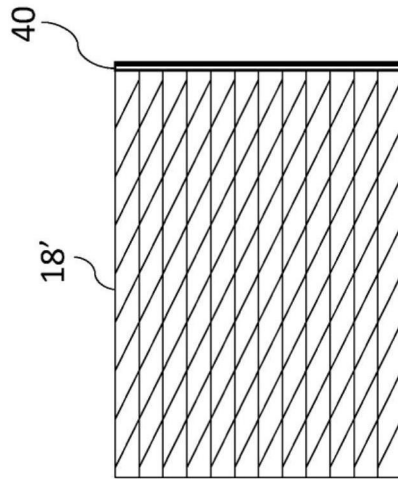


图8C

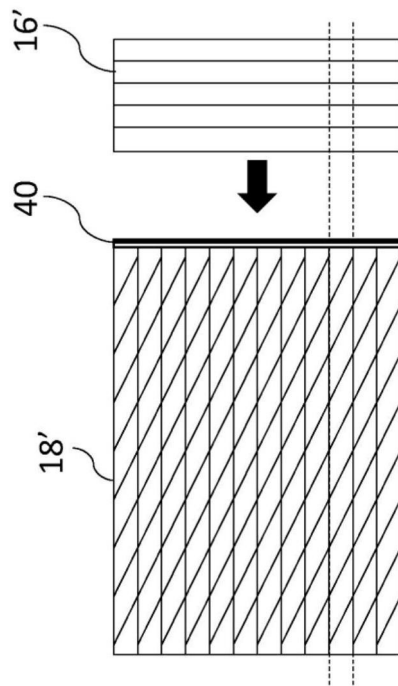


图8D

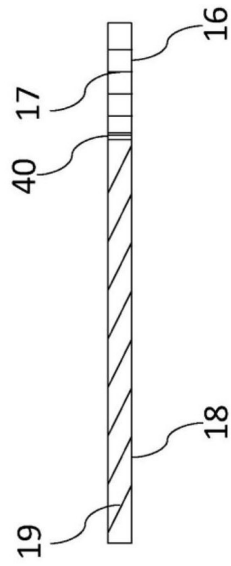


图8E

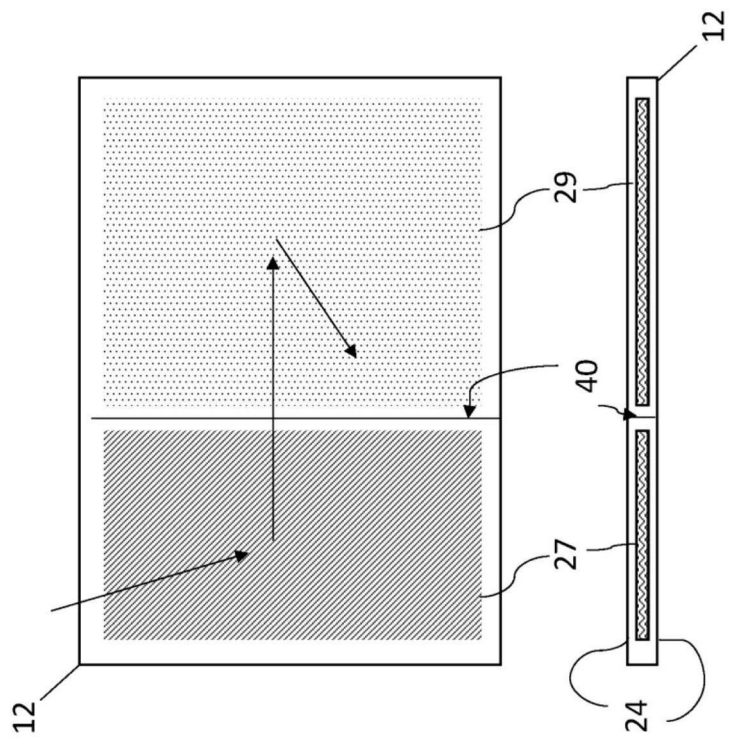


图9A

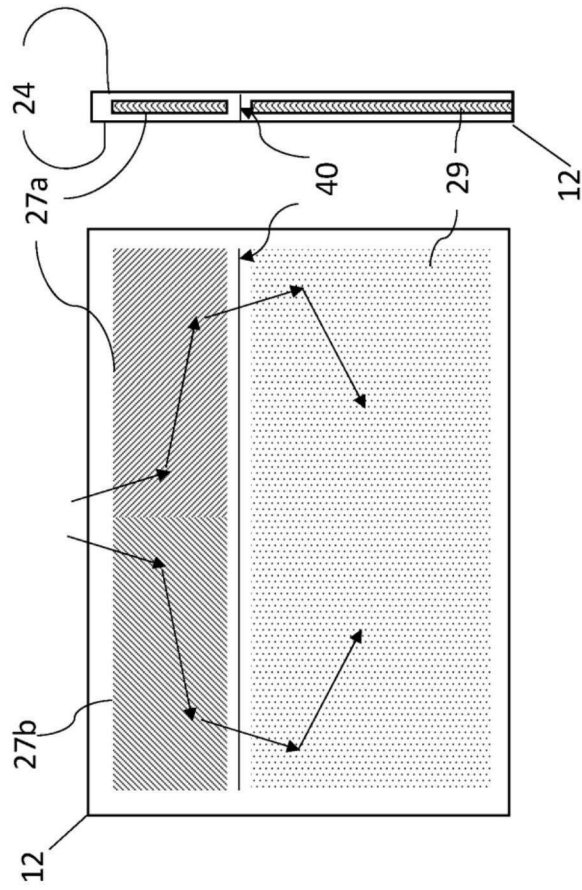


图9B