



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119376094 A

(43) 申请公布日 2025. 01. 28

(21) 申请号 202411475193.6

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2022.02.24

G02B 27/00 (2006.01)

(30) 优先权数据

G02B 27/01 (2006.01)

63/153,433 2021.02.25 US

G02B 6/00 (2006.01)

63/297,299 2022.01.07 US

G02F 1/315 (2006.01)

(62) 分案原申请数据

202280008909.4 2022.02.24

(71) 申请人 鲁姆斯有限公司

地址 以色列

(72) 发明人 齐翁·艾森菲尔德 耶谢·丹齐格

埃坦·罗宁 罗宁·切里基

莫德猜·吉洛 埃拉德·沙尔林

(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 陈炜

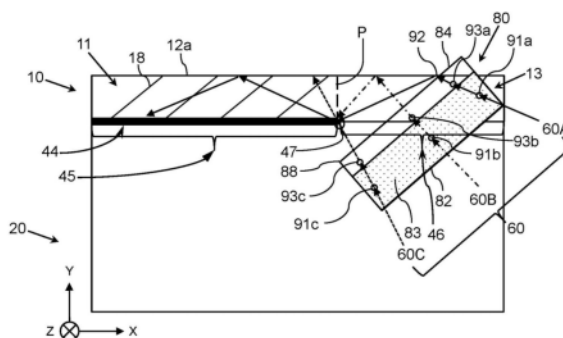
权利要求书3页 说明书30页 附图25页

(54) 发明名称

光学结构、光学孔径倍增器及制造方法

(57) 摘要

本公开内容提供了光学结构、光学孔径倍增器及制造方法。该制造方法包括：获得具有第一对平行面的透明板，第一对平行面包括第一面和第二面；获得具有包括耦合面的多个面的第一光学结构，该第一光学结构包括多组相互平行的部分反射内表面，其中，对于每个组，该组中的相互平行的部分反射内表面相对于耦合面斜向倾斜；将透明板与第一光学结构光学耦合，使得第二面与耦合面处于面向关系，从而形成第二光学结构；以及通过沿着基本上垂直于耦合面的至少两个切割平面切割第二光学结构，从第二光学结构中片状地切出至少一个光学孔径倍增器，其中，至少一个部分反射表面与第二面相关联或者在透明板内部。



1. 一种制造方法,包括:
获得具有第一对平行面的透明板,所述第一对平行面包括第一面和第二面;
获得具有包括耦合面的多个面的第一光学结构,所述第一光学结构包括多组相互平行的部分反射内表面,其中,对于每个组,所述组中的相互平行的部分反射内表面相对于所述耦合面斜向倾斜;
将所述透明板与所述第一光学结构光学耦合,使得所述第二面与所述耦合面处于面向关系,从而形成第二光学结构;以及
通过沿着基本上垂直于所述耦合面的至少两个切割平面切割所述第二光学结构,从所述第二光学结构中片状地切出至少一个光学孔径倍增器,
其中,至少一个部分反射表面与所述第二面相关联或者在所述透明板内部。
2. 根据权利要求1所述的制造方法,其中,所述至少一个部分反射表面是所述透明板内部的多个相互平行的部分反射表面。
3. 根据权利要求1所述的制造方法,其中,所述至少一个部分反射表面由与所述第二面相关联的部分反射表面组成。
4. 根据权利要求3所述的制造方法,还包括:在所述第二面或所述耦合面中的至少一个上提供选择性反射涂层,以形成与所述第二面相关联的部分反射表面。
5. 根据权利要求4所述的制造方法,其中,提供所述选择性反射涂层包括:将所述选择性反射涂层施加至所述第二面的至少一部分。
6. 根据权利要求4所述的制造方法,其中,提供所述选择性反射涂层包括:将所述选择性反射涂层施加至所述耦合面的至少一部分。
7. 根据权利要求4所述的制造方法,其中,提供所述选择性反射涂层包括:将所述选择性反射涂层施加至薄透明板的至少一部分,以及将所述薄透明板结合至所述第二面或所述耦合面。
8. 根据权利要求4所述的制造方法,其中,所述选择性反射涂层包括金属涂层。
9. 根据权利要求8所述的制造方法,其中,所述金属涂层包括至少一个电介质层。
10. 根据权利要求4所述的制造方法,其中,所述选择性反射涂层包括部分反射材料的薄膜。
11. 根据权利要求4所述的制造方法,其中,所述选择性反射涂层是折射率低于所述透明板的折射率的材料层。
12. 根据权利要求1所述的制造方法,还包括:向所述第一面的至少一部分提供反射涂层。
13. 根据权利要求12所述的制造方法,其中,所述反射涂层包括金属涂层。
14. 根据权利要求1所述的制造方法,其中,所述第一光学结构由光导光学元件LOE的经结合的堆叠形成,所述经结合的堆叠中的每个LOE具有一对相互平行的主表面和所述多组部分反射内表面之一,所述多组部分反射内表面之一位于所述一对相互平行的主表面之间并且相对于所述一对相互平行的主表面斜向倾斜。
15. 根据权利要求14所述的制造方法,其中,所述一对相互平行的主表面中的每个主表面包括盖板,并且其中,所述至少两个切割平面中的每个切割平面在LOE的经结合的堆叠的连续LOE的相邻盖板之间穿过。

16. 根据权利要求1所述的制造方法, 其中, 获得所述第一光学结构包括:

获得多个导光光学元件LOE, 所述多个LOE中的每个LOE具有一对相互平行的主表面和所述多组部分反射内表面之一, 所述多组部分反射内表面之一位于所述一对相互平行的主表面之间并且相对于所述一对相互平行的主表面斜向倾斜, 以及

将所述多个LOE布置成堆叠, 并且将所述多个LOE结合在一起以形成LOE的经结合的堆叠。

17. 根据权利要求1所述的制造方法, 还包括: 在从所述第二光学结构中片状地切出所述至少一个光学孔径倍增器之前, 对所述第一面施加保护层。

18. 根据权利要求1所述的制造方法, 还包括: 对于从所述第二光学结构中片状地切出的所述至少一个光学孔径倍增器中的光学孔径倍增器, 对该光学孔径倍增器的上表面施加保护层, 所述上表面由所述透明板的第一面形成。

19. 一种光学结构, 所述光学结构是光学孔径倍增器制造过程的中间工件, 所述光学结构包括:

第一部分, 所述第一部分具有包括第一面和第二面的第一对平行面; 以及

第二部分, 所述第二部分具有包括耦合面的多个面, 所述第二部分包括多组相互平行的部分反射内表面, 其中, 对于每个组, 所述组中的相互平行的部分反射内表面相对于所述耦合面斜向倾斜,

其中, 至少一个部分反射表面与所述第二面相关联地设置, 或者在所述第一部分内部, 以及

其中, 所述第一部分与所述第二部分光学耦合, 使得所述第二面与所述耦合面处于面向关系。

20. 一种光学孔径倍增器, 包括:

第一光波导, 所述第一光波导具有包括第一面和第二面的第一对平行面以及包括第三面和第四面的第二对平行面, 成对的平行面一起形成矩形截面, 其中, 部分反射表面与所述第二面相关联并且平行于所述第二面;

光学耦入构造, 所述光学耦入构造用于将与图像对应的偏振光以倾斜于所述第一对平行面和所述第二对平行面二者的耦合角以初始传播方向耦合到所述第一光波导中, 所述偏振光相对于所述第二面为s偏振; 以及

第二光波导, 所述第二光波导具有包括第三对平行面的多个面, 所述第二光波导与所述第一光波导的光学耦合使得所述第二光波导在所述第二光波导的多个面之一与所述第二面之间的界面处与所述第一光波导光学耦合, 其中, 光学耦出构造与所述第二光波导相关联,

其中, 所述第二光波导与所述第一光波导的光学耦合和所述部分反射表面被构造成使得: 当与图像对应的光被耦合到所述第一光波导中时, 所述光通过四重内反射沿着所述第一光波导前进, 其中一定比例强度的光在所述部分反射表面处被透射以耦合到所述第二光波导中; 并且所述光通过所述第三对平行面处的内反射在所述第二光波导内传播, 其中在所述第二光波导内传播的一定比例强度的光被所述光学耦出构造偏转出所述第二光波导。

21. 根据权利要求20所述的光学孔径倍增器, 其中, 所述第二面的至少大部分包括一个或更多个电介质涂层, 以形成所述部分反射表面, 并且使得所述部分反射表面对s偏振光部

分反射。

22. 根据权利要求20所述的光学孔径倍增器,还包括波片,所述波片位于所述界面处,用于旋转要耦合到所述第二光波导中的光的偏振状态。

23. 根据权利要求20所述的光学孔径倍增器,其中,所述光学耦出构造包括部署在所述第二光波导内的倾斜于所述第三对平行面的多个部分反射表面。

24. 根据权利要求20所述的光学孔径倍增器,其中,所述光学耦出构造包括与所述第三对平行面中的至少一个面相关联的衍射光学元件。

25. 一种光学孔径倍增器,包括:

第一光波导,所述第一光波导具有包括第一面和第二面的第一对平行面以及包括第三面和第四面的第二对平行面,成对的平行面一起形成矩形截面,其中,部分反射表面与所述第二面相关联并且平行于所述第二面;以及

第二光波导,所述第二光波导具有包括第五面和第六面的第三对平行面,其中,光学耦出构造与所述第二光波导相关联,并且其中,所述第一光波导与所述第二光波导的光学耦合使得所述第一光波导与所述第二光波导光学耦合并且相对于所述第二光波导倾斜,从而使所述第二面斜向倾斜于所述第五面,

其中,所述第一光波导与所述第二光波导的光学耦合和所述部分反射表面被构造成使得:当与图像对应的光被耦合到所述第一光波导中时,所述光通过四重内反射沿着所述第一光波导前进,其中一定比例强度的光在所述部分反射表面处被透射以进入所述第二光波导;并且进入所述第二光波导的一些光通过所述第三对平行面处的内反射在所述第二光波导内传播,其中在所述第二光波导内传播的一定比例强度的光被所述光学耦出构造偏转出所述第二光波导。

26. 根据权利要求25所述的光学孔径倍增器,还包括中间窗,所述中间窗提供所述第一光波导与所述第二光波导之间的光学耦合,所述中间窗被部署为使得在所述部分反射表面处透射的进入所述第二光波导的一些光在所述第五面处被反射回所述中间窗。

光学结构、光学孔径倍增器及制造方法

[0001] 本申请是2022年2月24日提交的、国际申请号为PCT/IL2022/050216、发明名称为“具有矩形波导的光学孔径倍增器”、进入中国国家阶段后的申请号为202280008909.4的中国发明专利申请的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉引用

[0003] 本申请要求于2021年2月25日提交的美国临时专利申请第63/153,433号以及于2022年1月7日提交的美国临时专利申请第63/297,299号的优先权,上述专利申请的公开内容通过引用整体并入本文。

技术领域

[0004] 本发明涉及光学孔径倍增器,特别地涉及包括与薄板型光波导光学耦合的矩形光波导的光学孔径倍增器。

背景技术

[0005] 提供二维光学孔径扩展(或倍增)的光学器件已经在鲁姆斯有限公司(Lumus Ltd.) (以色列)的各种出版物中描述过。在一组特定的这种光学器件中,二维孔径扩展是通过两个光波导实现的。第一光波导具有形成矩形截面的两对平行面并且具有第一组部分反射内表面,该第一组部分反射内表面倾斜于第一光波导的伸长方向。薄板形式的第二光波导与第一(矩形)波导光学耦合,并且具有一对平行的主外面以及倾斜于主外面的第二组部分反射内表面。光学耦合和每组部分反射内表面使得耦合到矩形波导中的图像光通过四重内反射(在两对平行面处)沿着矩形波导前进,并且一定比例强度的图像在第一组内表面处被反射,以耦合到第二波导中。然后,图像光在第二波导的主外面处通过内反射前进,并且一定比例强度的图像在第二组内表面处被反射,以从第二波导耦出以被观看者的眼睛观看。

发明内容

[0006] 本发明的各方面提供了具有矩形波导的光学孔径倍增器。根据本发明的第一方面的一些优选实施方式提供了光学孔径倍增器,每个光学孔径倍增器具有用于将图像光传送到与第二薄板型光波导光学耦合的第一矩形光波导的光学耦入构造。矩形波导具有(形成矩形截面的)两对平行面,并且被构造通过两对平行面处的四重内反射来引导光,并且将引导的光经由矩形波导内部的一组部分反射表面耦合到第二波导中。第二波导具有成对平行面并且被构造通过在成对平行面处的内反射来引导耦入的光,并且经由第二波导内部的一组部分反射表面(或者经由一个或更多个衍射元件)将引导的光朝向观看者耦出。在某些实施方式中,光学耦入构造被部署在矩形波导的正面或背面的一部分上,该部分邻接两个波导之间的界面的第二区域,该界面的第二区域具有与界面的第一区域不同的光学特性。在一组实施方式中,界面的第一区域包括反射涂层,并且第二区域未涂覆或者包括低折射率材料或涂层。在另一组实施方式中,界面的第一区域未涂覆,而第二区域涂覆有低折射

率材料。

[0007] 根据本发明的第二方面的一些优选实施方式提供了矩形波导,该矩形波导不包括矩形波导内部的一组部分反射表面。相反,光从矩形波导进入到第二波导的光学耦合是通过与矩形波导的下表面相关联并且平行的部分反射表面执行的,该下表面形成与第二波导的光学耦合(界面)。在一些优选实施方式中,部分反射表面是通过用一个或更多个电介质层涂覆矩形波导的下表面形成的,并且耦合到矩形波导中的光相对于涂覆的下表面是s偏振的。使用部分反射表面代替矩形波导内部的一组部分反射表面可以简化制造过程并且降低光学孔径倍增器的制造成本。

[0008] 根据本发明的实施方式的教导,提供了光学孔径倍增器。光学孔径倍增器包括:第一光波导和光学耦入构造。第一光波导具有包括第一面和第二面的第一对平行面以及包括第三面和第四面的第二对平行面,成对的平行面一起形成矩形截面,第一光波导被构造成通过在成对的平行面处的四重内反射来引导光并且与耦出构造相关联,耦出构造将光从第一光波导耦出到与第一光波导光学耦合的第二光波导,第一面或第二面被细分为分别具有不同光学特性的第一区域和第二区域。光学耦入构造包括将光透射到第一波导中的表面,该表面被部署为与第三面或第四面的邻接第二区域的部分相关联,使得与表面相关联的边在第一维度上修整输入准直图像,并且第一区域与第二区域之间的边界在第二维度上修整输入准直图像,以产生经修整的准直图像,经修整的准直图像通过四重内反射前进通过第一光波导。

[0009] 可选地,当沿光学输入轴观察时,第一区域与第二区域之间的边界连同边界的图像一起呈现出表观输入光学孔径。

[0010] 可选地,输入准直图像中的一些在第一面上的与边相交或者与边交叠的点处被反射。

[0011] 可选地,边是表面的第一边,并且表面包括第二边,第二边是与光入射表面的公共边,光入射表面从光学图像生成器接收输入准直图像。

[0012] 可选地,边平行于光入射表面。

[0013] 可选地,边不平行于光入射表面。

[0014] 可选地,表面从光学图像生成器接收输入准直图像,并且边是表面的第一边,并且表面包括第二边,该第二边是与反射表面的公共边,反射表面将所接收到的输入准直图像反射回表面以被边修整。

[0015] 可选地,光学孔径倍增器还包括第二光波导,该第二光波导具有第三对平行面并且被构造成通过第三对平行面处的内反射来引导光,并且第二光波导包括在第三对平行面之间并且倾斜于第三对平行面的多个部分反射表面,该多个部分反射表面将光从第二光波导耦出。

[0016] 可选地,与第二面相关联地部署涂层或材料,以将第一面细分为第一区域和第二区域。

[0017] 可选地,光学孔径倍增器还包括光学基板,该光学基板包括第五面并且在第一面处与第一光波导光学耦合,并且涂层或材料与第一面相关联,以将第一面细分为第一区域和第二区域。

[0018] 可选地,光学耦出构造包括多个部分反射表面,该多个部分反射表面至少部分地

横穿第一光波导并且斜向倾斜于第一光波导的伸长方向。

[0019] 可选地,光学耦出构造包括与第二面相关联的部分反射表面。

[0020] 根据本发明的教导的实施方式,还提供了一种光学孔径倍增器。该光学孔径倍增器包括:第一光波导,其具有包括第一面和第二面的第一对平行面以及包括第三面和第四面的第二对平行面,成对的平行面一起形成矩形截面,部分反射表面与第二面相关联并且平行于第二面;光学耦入构造,用于将与图像对应的偏振光以倾斜于第一对平行面和第二对平行面二者的耦合角以初始传播方向耦合到第一光波导中,偏振光相对于第二面为s偏振;以及第二光波导,其具有包括第三对平行面的多个面,第二光波导在第二光波导的面之一与第二面之间的界面处与第一光波导光学耦合,光学耦出构造与第二光波导相关联,光学耦合和部分反射表面被构造使得当与图像对应的光被耦合到第一光波导中时:光通过四重内反射沿着第一光波导前进,其中一定比例强度的光在部分反射表面处被透射以耦合到第二光波导中;并且光通过在第三对平行面处的内反射在第二光波导内传播,其中一定比例强度的在第二光波导内传播的光被光学耦出构造偏转出第二光波导。

[0021] 可选地,第二面的至少大部分包括一个或多个电介质涂层以形成部分反射表面并且使得部分反射表面对s偏振光部分反射。

[0022] 可选地,光学孔径倍增器还包括波片,该波片位于界面处,用于旋转要耦合到第二光波导中的光的偏振状态。

[0023] 可选地,光学耦出构造包括部署在第二光波导内的倾斜于第三对平行面的多个部分反射表面。

[0024] 可选地,光学耦出构造包括与第三对平行面中的至少一个面相关联的衍射光学元件。

[0025] 根据本发明的教导的实施方式,还提供了一种光学孔径倍增器。该光学孔径倍增器包括:第一光波导,其具有包括第一面和第二面的第一对平行面以及包括第三面和第四面的第二对平行面,成对的平行面一起形成矩形截面,部分反射表面与第二面相关联并且平行于第二面;以及第二光波导,其具有包括第三对平行面的多个面,第二光波导在第二光波导的面之一与第二面之间的界面处与第一光波导光学耦合,光重定向布置与第二光波导的第一区域相关联,并且光学耦出构造与第二光波导的第二区域相关联,光学耦合、部分反射表面、光重定向布置和光学耦出构造被构造使得当与图像对应的光被耦合到第一光波导中时:光通过四重内反射沿着第一光波导前进,其中一定比例强度的光在部分反射表面处被透射,以耦合到第二光波导的第一区域中;并且光通过第三对平行面处的内反射在第二光波导的第一区域内传播,其中一定比例强度的光被光重定向布置偏转,从而被重定向到光波导的第二区域中;并且光通过在第三对平行面处的内反射在第二光波导的第二区域内传播,其中一定比例强度的在第二光波导的第二区域内传播的光被光学耦出构造偏转出第二光波导。

[0026] 可选地,光学耦出构造包括部署在第二光波导内的倾斜于第三对平行面的多个部分反射表面。

[0027] 可选地,光学耦出构造包括与第三对平行面中的至少一个面相关联的衍射光学元件。

[0028] 可选地,光重定向布置包括多个部分反射表面,该多个部分反射表面被部署在第

二光波导的第一区域内并且倾斜于附加面。

[0029] 可选地,光重定向布置包括与第二光波导的面之一相关联的衍射光学元件。

[0030] 根据本发明的教导的实施方式,还提供了一种光学孔径倍增器。该光学孔径倍增器包括:第一光波导,其具有包括第一面和第二面的第一对平行面以及包括第三面和第四面的第二对平行面,成对的平行面一起形成矩形截面,部分反射表面与第二面相关联并且平行于第二面;以及第二光波导,其具有包括第五面和第六面的第三对平行面,光学耦出构造与第二光波导相关联,并且第一光波导与第二光波导光学耦合,并且相对于第二光波导倾斜,使得第二面斜向倾斜于第五面,光学耦合和部分反射表面被构造使得当与图像对应的光被耦合到第一光波导中时:光通过四重内反射沿着第一光波导前进,其中一定比例强度的光在部分反射面处被透射以进入第二光波导;并且进入第二光波导的光中的一些通过第三对平行面处的内反射在第二光波导内传播,其中一定比例强度的在第二光波导内传播的光被光学耦出构造偏转出第二光波导。

[0031] 可选地,光学孔径倍增器还包括中间窗,该中间窗提供第一光波导与第二光波导之间的光学耦合,中间窗被部署为使得在部分反射表面处透射的进入第二光波导的光中的一些在第五面处被反射回中间窗。

[0032] 根据本发明的教导的实施方式,还提供了一种制造方法,该制造方法包括:获得具有第一对平行面的透明板,所述第一对平行面包括第一面和第二面;获得具有包括耦合面的多个面的第一光学结构,所述第一光学结构包括多组相互平行的部分反射内表面,其中,对于每个组,所述组中的相互平行的部分反射内表面相对于所述耦合面斜向倾斜;将所述透明板与所述第一光学结构光学耦合,使得所述第二面与所述耦合面处于面向关系,从而形成第二光学结构;以及通过沿着基本上垂直于所述耦合面的至少两个切割平面切割所述第二光学结构,从所述第二光学结构中片状地切出至少一个光学孔径倍增器,其中,至少一个部分反射表面与所述第二面相关联或者在所述透明板内部。

[0033] 根据本发明的教导的实施方式,还提供了一种光学结构,所述光学结构是光学孔径倍增器制造过程的中间工件,所述光学结构包括:第一部分,所述第一部分具有包括第一面和第二面的第一对平行面;以及第二部分,所述第二部分具有包括耦合面的多个面,所述第二部分包括多组相互平行的部分反射内表面,其中,对于每个组,所述组中的相互平行的部分反射内表面相对于所述耦合面斜向倾斜,其中,至少一个部分反射表面与所述第二面相关联地设置,或者在所述第一部分内部,以及其中,所述第一部分与所述第二部分光学耦合,使得所述第二面与所述耦合面处于面向关系。

[0034] 根据本发明的教导的实施方式,还提供了一种光学孔径倍增器,该光学孔径倍增器包括:第一光波导,所述第一光波导具有包括第一面和第二面的第一对平行面以及包括第三面和第四面的第二对平行面,成对的平行面一起形成矩形截面,其中,部分反射表面与所述第二面相关联并且平行于所述第二面;光学耦入构造,所述光学耦入构造用于将与图像对应的偏振光以倾斜于所述第一对平行面和所述第二对平行面二者的耦合角以初始传播方向耦合到所述第一光波导中,所述偏振光相对于所述第二面为s偏振;以及第二光波导,所述第二光波导具有包括第三对平行面的多个面,所述第二光波导与所述第一光波导的光学耦合使得所述第二光波导在所述第二光波导的多个面之一与所述第二面之间的界面处与所述第一光波导光学耦合,其中,光学耦出构造与所述第二光波导相关联,其中,所

述第二光波导与所述第一光波导的光学耦合和所述部分反射表面被构造使得:当与图像对应的光被耦合到所述第一光波导中时,所述光通过四重内反射沿着所述第一光波导前进,其中一定比例强度的光在所述部分反射表面处被透射以耦合到所述第二光波导中;并且所述光通过所述第三对平行面处的内反射在所述第二光波导内传播,其中在所述第二光波导内传播的一定比例强度的光被所述光学耦出构造偏转出所述第二光波导。

[0035] 根据本发明的教导的实施方式,还提供了一种光学孔径倍增器,该光学孔径倍增器包括:第一光波导,所述第一光波导具有包括第一面和第二面的第一对平行面以及包括第三面和第四面的第二对平行面,成对的平行面一起形成矩形截面,其中,部分反射表面与所述第二面相关联并且平行于所述第二面;以及第二光波导,所述第二光波导具有包括第五面和第六面的第三对平行面,其中,光学耦出构造与所述第二光波导相关联,并且其中,所述第一光波导与所述第二光波导的光学耦合使得所述第一光波导与所述第二光波导光学耦合并且相对于所述第二光波导倾斜,从而使得所述第二面斜向倾斜于所述第五面,其中,所述第一光波导与所述第二光波导的光学耦合和所述部分反射表面被构造使得:当与图像对应的光被耦合到所述第一光波导中时,所述光通过四重内反射沿着所述第一光波导前进,其中一定比例强度的光在所述部分反射表面处被透射以进入所述第二光波导;并且进入所述第二光波导的一些光通过所述第三对平行面处的内反射在所述第二光波导内传播,其中在所述第二光波导内传播的一定比例强度的光被所述光学耦出构造偏转出所述第二光波导。

[0036] 除非本文中另有定义,否则本文中使用的所有技术和/或科学术语具有与本发明所属领域的普通技术人员通常理解的含义相同的含义。尽管与本文所描述的那些方法和材料相似或等同的方法和材料可以在实践或测试本发明的实施方式中使用,但是在下面描述了示例性的方法和/或材料。在有冲突的情况下,以包括定义的专利说明书为准。此外,材料、方法和示例仅是说明性的,并且不旨在必然是限制性的。

附图说明

[0037] 在本文中参照附图仅通过示例描述本发明的某些实施方式。详细地具体参照附图,要强调的是,所示出的细节是作为示例并且是出于对本发明的实施方式的说明性论述的目的。在这方面,通过附图进行的描述使得本领域技术人员清楚如何实践本发明的实施方式。

[0038] 现在关注附图,其中相同的附图标记表示相应或相同的部件。在附图中:

[0039] 图1A和图1B分别是示出根据本发明的第一方面的实施方式的教导的具有第一矩形光波导的光学孔径倍增器的示意性前视图和侧视图,该第一矩形光波导具有与第二薄板型光波导光学耦合的多个部分反射内表面,该第二薄板型光波导具有多个部分反射内表面;

[0040] 图1C是与图1B类似的示意性侧视图,但是图1C示出了第二光波导,该第二光波导不具有部署在形成第二光波导的透光基板的外面上的盖板;

[0041] 图2是根据本发明的实施方式的在两个光波导之间的界面区域的大部分处的作为入射角(angle of incidence, AOI)的函数的反射率的曲线图;

[0042] 图3是示出根据本发明的实施方式的可以用于将光耦合到矩形光波导中的光学耦

入构造的等距视图；

[0043] 图4A至图4C分别是示出根据本发明的实施方式的与图1A和图1B对应的光学孔径倍增器以及以自下而上构造部署的图3的光学耦合构造示意性前视图、侧视图和俯视图；

[0044] 图5是与图4A类似的示意性前视图,图5示出了根据本发明的实施方式的耦合构造的变型例；

[0045] 图6A和图6B分别是示出根据本发明的实施方式的以自上而下构造部署的图3的光学耦合构造以及与矩形光波导耦合的光学基板的示意性前视图和侧视图；

[0046] 图7A和图7B分别是与图4B和图4C类似的示意性侧视图和俯视图,图7A和图7B示出了根据本发明的实施方式的作为具有耦合反射器的耦合棱镜部署的光学耦合构造；

[0047] 图8A和图8B分别是示出根据本发明的实施方式的具有部署在两个光波导之间的界面区域中的部分反射表面的光学孔径倍增器的示意性前视图和侧视图；

[0048] 图9A和图9B分别是示出根据本发明的第二方面的实施方式的教导的具有与第二薄板型光波导光学耦合并且进一步与惰性材料块耦合的第一矩形光波导的光学孔径倍增器的示意性前视图和侧视图,其中部分反射表面平行于矩形光波导的与第二光波导光学耦合的面并且与该面相关联,并且其中第二光波导具有多个部分反射内表面；

[0049] 图10是示出根据本发明的实施方式的与图9A的光学孔径倍增器类似的光学孔径倍增器的示意性前视图,但是在图10的光学孔径倍增器中,矩形光波导相对于第二光波导倾斜；

[0050] 图11是示出根据本发明的实施方式的与图9A的光学孔径倍增器类似的光学孔径倍增器的示意性等距视图,其中,两个光波导之间的界面区域具有沿如下的面的大部分但不是全部延伸的材料或涂层,所述面在两个光波导之间交界以适应图3的光学耦合构造的部署；

[0051] 图12是示出根据本发明的实施方式的与图11中表示的光学孔径倍增器类似的光学孔径倍增器的示意性等距视图,但是在图12的光学孔径倍增器中,与矩形光波导的耦合面相关联的部分反射表面被划分成多个非交叠区域,在每个区域处具有不同的反射率；

[0052] 图13是图12的区域在四个示例入射角(angles of incidence,AOI)处的示例反射率的曲线图；

[0053] 图14是示出根据本发明的实施方式的耦合构造的示意性侧视图,其中矩形光波导相对于第二光波导倾斜,使得从矩形光波导耦合出的图像中只有一个图像耦合到第二光波导中；

[0054] 图15A和图15B分别是示出根据本发明的第二方面的实施方式的教导的具有与第二薄板型光波导光学耦合的第一矩形光波导的光学孔径倍增器的示意性前视图和侧视图,其中部分反射表面与矩形光波导的与第二光波导光学耦合的面相关联,并且其中部署了盖构件以覆盖矩形光波导的一些外面；

[0055] 图16A和图16B分别示出了在左眼和右眼的眼上构造中部署的图15A和图15B的光学孔径倍增器；

[0056] 图17A和图17B分别示出了在左眼和右眼的眼下构造中部署的图15A和图15B的光学孔径倍增器；

[0057] 图18A和图18B分别是示出根据根据本发明的实施方式的与图15A和图15B的光学

孔径倍增器类似的光学孔径倍增器的示意性前视图和侧视图,但是图18A和图18B的光学孔径倍增器不具有盖构件,而是具有衍射耦合和耦合元件;

[0058] 图19A和图19B分别是示出根据本发明的实施方式的教导的具有与第二薄板型光波导光学耦合的第一矩形光波导的光学孔径倍增器的示意性前视图和侧视图,其中部分反射表面与矩形光波导的与第二光波导光学耦合的面相关联,并且其中,第二光波导在第一区域中具有光重定向布置,并且在第二区域中具有多个部分反射内表面;

[0059] 图20A和图20B分别是示出根据本发明的实施方式的与图19A和图19B所示的光学孔径倍增器类似的光学孔径倍增器的示意性前视图和侧视图,图20A和图20B的光学孔径倍增器具有衍射耦合和耦合元件;

[0060] 图21是示出图15A中所示的光学孔径倍增器的示意性前视图,图21显示了在矩形波导的远端和近端传播的光束;

[0061] 图22是作为AOI的函数的s偏振光的反射率的曲线图,该曲线图可以用于设计图15A至图20B中任一个的两个光波导之间的界面处的部分反射表面的涂层;

[0062] 图23是示出根据本发明的实施方式的矩形光波导与薄板型光波导之间的不同耦合几何形状的示意性等距视图;以及

[0063] 图24A至图24F是示出在根据本发明的实施方式的制造过程中使用的一系列步骤的示意性等距视图。

具体实施方式

[0064] 本发明的各方面的实施方式提供具有矩形波导的光学孔径倍增器形式的光学器件。

[0065] 参照附于说明书的附图,可以更好地理解根据本发明的光学器件和方法的原理和操作。附图提供了xyz坐标系,该坐标系是任意标记的,但在附图之间是一致的。该xyz坐标系在本文中用于通过在附图之间提供共同的参考系来更好地说明所公开的实施方式。

[0066] 在详细说明本发明的至少一个实施方式之前,应当理解的是,本发明在其应用方面未必限于在以下描述中阐述的和/或在附图和/或示例中示出的部件和/或方法的构造和布置的细节。本发明能够具有其它实施方式并且能够以各种方式实践或执行。最初,在整个文档中,提及了诸如前和后、顶和底、上和下等方向。这些方向参考仅是示例性的,并且仅为了易于呈现才使用并且指代附图中所示的任意取向。最终的光学器件可以沿任何需要的取向部署。

[0067] 现在参照附图,图1A至图7B示出了根据本发明的第一方面的实施方式构造和操作的光学孔径倍增器1。一般而言,光学孔径倍增器1(也称为“光学器件”)包括:第一光波导10,其具有伸长方向(在本文中任意示出为对应于“x轴”);以及光学耦合构造80,其将与准直图像对应的图像光60(也称为“光束”或“束”)耦合到光波导10中。

[0068] 光波导10由透光材料(透光基板)形成,并且具有形成矩形截面的第一对平行面12a、12b和第二对平行面14a、14b(即,第一对面和第二对面是正交的)。光波导10还具有附加的一对面16a、16b(它们可以是或者可以不是平行的面)。在面16a、16b是平行面的某些实施方式中,面16a、16b可以与第一对面12a、12b和第二对面14a、14b正交。根据本发明的某些实施方式,光波导10具有多个相互平行的部分反射内表面(也称为“小平面”)18,小平面18

至少部分地穿过光波导10并且斜向倾斜于光波导10的伸长方向(倾斜于面12a、12b)。在某些实施方式中,小平面18倾斜于面12a、12b和14a、14b二者。在本文档中,术语“面”、“外面”和“外表面”可互换使用。如将变得明显的,这些面中的一些是主面(也称为“主外面”或“主外表面”)。

[0069] 在优选实施方式中,光学孔径倍增器1还包括与光波导10光学耦合的第二光波导20,第二光波导20具有第三对平行面22a、22b。此处同样,根据本发明的某些实施方式,多个相互平行的部分反射内表面(“小平面”)28至少部分地穿过光波导20并且斜向倾斜于面22a、22b。光波导20还具有附加的两对面24a、24b、26a、26b,每对面不平行于面22a、22b,并且每对面可以是或者可以不是一对平行面。在某些实施方式中,成对的面22a、22b、24a、24b、26a、26b相互正交。在某些实施方式中,小平面28也斜向倾斜于面24a,然而,如将要讨论的,在其他实施方式中,小平面28可以平行于面24a。

[0070] 光波导20也由透光材料(透光基板19)形成,并且优选地由用于形成光波导10的相同材料形成(使得两个光波导10、20具有相同的折射率),但是形成薄板型波导,其中成对的面24a、24b、26a、26b之间的距离比面22a、22b之间的距离至少大一个数量级。

[0071] 优选地,面16a、26a是平行的,面16b、26b也是平行的。此外,优选地,面14a、22a是平行的,面14b、22b也是平行的。

[0072] 光波导20在面12b、24a之间的界面40处与光波导10光学耦合。换言之,光波导10、20之间的光学耦合限定了在面12b、24a之间形成的界面40。本发明的某些实施方式的特定特征是,光学耦入构造80被部署为与波导20的正面14a或背面14b中的邻接面12b的特定区域46(以及因此界面40)的部分相关联,使得能够用光束60的注入孔径填充光波导10。在本公开内容的后续部分中,特别参照图3和图4A-图6B,将详细描述相对于波导10、20部署光学耦入构造80的细节。

[0073] 光波导10、20之间的光学耦合以及部分反射表面18、28和光学耦入构造80的部署和构造使得当光学耦入构造80将图像光60以倾斜于第一对平行面12a、12b和第二对平行面14a、14b的耦合角以初始传播方向耦合到(注入)光波导10中时,图像沿着光波导10通过四重内反射(图像62a、62b、62c、62d)前进,其中一定比例强度的图像在部分反射表面18处被反射,以耦合到光波导20中,然后图像通过两重内反射(图像64a、64b)在光波导20内传播,其中一定比例强度的图像在部分反射表面28处被反射(偏转),以被从平行面22a之一向外引导,成为由观察者的眼睛2看到的可见图像66。眼睛2位于由眼动箱(eye-motion box, EMB)3(即,通常表示为矩形的形状,与光波导20的面22的平面间隔开,眼睛2的瞳孔将从其来观看投影图像)指定的允许位置范围内的某个位置。

[0074] 从光波导10通过两组平行面12a、12b、14a、14b之间的反射在二维中引导注入图像的意义而言,光波导10在本文中被称为二维(two-dimensional, 2D)波导,而光波导20被称为一维(one-dimensional, 1D)波导或光导光学元件(light-guide optical element, LOE),波导20仅在一对平行面22a、22b之间在一维中引导注入图像。光束60(由光学图像生成器产生,未示出)通过光学耦入构造80以一定角度注入到光波导10中。因此,光在从光波导10的所有四个外面12a、12b、14a、14b内反射(如图1B的侧视图所示)的同时,沿光波导10传播。在这个过程中,产生了四个共轭光束矢量62a、62b、62c、62d,它们表示被面12a、12b、14a、14b在内部反射时的相同的图像。

[0075] 光波导10内的被引导光束的一部分(例如62a和62b)被小平面18向下反射穿过界面40并且到达光波导20的输入耦合表面(面24a)上。在光波导20中,这些光束被定义为64a和64b。光束64a和64b被外面22a、22b反射并且变成共轭的,即光束64a被反射成64b,反之,光束64b被反射成64a(如图1B所示)。换言之,光波导20通过面22a、22b处的两重内反射引导图像光64a、64b,使得图像光64a、64b通过两重内反射(图像64a、64b)沿光波导20前进。光波导20内的内反射可以通过TIR实现,这是由于小平面18将光束注入光波导20的陡峭角度,或者可以通过光学涂层实现。

[0076] 如前所述,光波导10的外部正面和背面14a、14b应该彼此平行,并且在该实施方式中,与光波导20的对应外部面22a、22b平行。任何平行度偏差都会导致耦合图像64a和64b不是精确的共轭图像,并且图像质量会下降。

[0077] 光波导20内的小平面28将光束64b向光波导外部并且朝向眼睛2反射成为可见图像(称为“投影图像”)。在所示实施方式中,小平面18、28的部分反射率由小平面18、28上的光学涂层(选择性反射涂层)确定。

[0078] 每组小平面18、28是与相应的光波导相关联并且用于将传播的光从光波导耦出的光学耦出构造。然而,如将在本公开内容的后续部分中讨论的,可以设想其中光学耦出构造采用其他形式的其他实施方式。例如,在某些实施方式中,代替内部小平面18,与第一光波导10相关联的光学耦出构造可以采取在光波导10、20之间的界面40处的部分反射表面的形式,该部分反射表面平行于波导10的底面12b。在某些实施方式中,与第二光波导20相关联的光学耦出构造可以采取在面22a、22b的一个或多个部分上的一个或多个衍射元件的形式。

[0079] 波导10和20的外面与内部小平面的组合反射在第一维度和第二维度二者上扩展了原始注入孔径。波导10在第一维度(即图1A中的x维度)上扩展孔径,并且波导20在与小平面18的平面正交的第二维度(其大约沿着图1A中的y维度,但在所示实施方式中更具体地是沿着偏离y轴的y'维度)上扩展孔径。波导10的孔径扩展优选地通过用图像填充波导并且然后沿着波导的长度以连续方式将图像经由小平面18从波导耦出来实现。

[0080] 注意,在本文所示的许多实施方式中,面22a、22b实际上形成为盖板39a、39b的外面,盖板39a、39b光学地附接到透光基板19的外面27a、27b,由该透光基板19形成光波导20。小平面28通常在基板的外面27a、27b之间延伸,因此不在盖板39a、39b的面22a、22b之间延伸。盖板39a、39b可以用于避免双重反射,即图像64a或64b从同一小平面反射两次的情况。具体而言,盖板39a、39b有助于确保在被小平面28反射一次之后,光的透射部分将在该小平面上方或下方传播,直接前进到下一个小平面,从而导致增强图像的均匀性。然而,在某些实施方式中,可以不包括盖板39a、39b,并且可以调整基板19的厚度,使得基板19的外面27a、27a和波导10的面22a、22b是相同的面。图1C中示出了具有没有盖板的薄板型光波导20的光学孔径倍增器的示例。除非另外明确指出,否则本文描述的具有盖板39a、39b的本发明的所有实施方式也可以在没有这种盖板的情况下实践。

[0081] 还应注意的,随着图像前进通过光波导10,由于小平面18逐渐耦出光,照明强度逐渐降低。为了实现更好的均匀性和光效率,在一些优选实施方式中,小平面18的反射率沿着光通过光波导10的传播方向增加,这提供了耦合到光波导20中的光强度的逐渐增加。以相同的方式,在某些实施方式中,小平面28的反射率还优选地沿光通过光波导20的传播方

向增加,以抵消由小平面对光的逐渐耦出而引起的光强度的降低。

[0082] 顺便指出,无论在本文中的何处通过光束来表示图像,都应当注意,束是图像的样本束,图像通常由具有略微不同的角度的多个束形成,所述多个角度各自对应于图像的点或像素。除了被特别称为图像的末端(extremity)的情况之外,所示的束通常是图像的质心(centroid)。

[0083] 特别参照图1A和图1B,面12b被细分为具有相应的第一光学特性和第二光学特性的不交叠的第一区域45和第二区域46。第一区域45沿伸长方向占据面12b的大部分但不是全部(即,沿12b的大部分但不是全部延伸),而第二区域46沿伸长方向占据面12b的其余少部分(沿面12b的其余少部分延伸)。区域45优选地是面12b在伸长方向上的至少70%,然而,在伸长方向上的特定延伸量可以基于光学孔径倍增器的光学设计规范,特别是光学耦入构造80的尺寸和部署位置,如将在本公开内容的后续部分中讨论的。在某些情况下,在伸长方向上的延伸量可以是至少80%或至少90%。

[0084] 第一光学特性是部分反射特性,其保持内反射条件,使得从面12a、14a、14b中的一个面反射并且入射到面12b的在区域45中的部分的光在面12b处反射(以通过内反射继续通过波导10传播),而且由小平面对面12b的在区域46中的部分偏转的这种光也由面12b透射到波导20中。第二光学特性与第一光学特性不同,第二光学特性是透射特性,使得来自光学耦入构造80的光可以经由穿过波导10的与区域46邻接的部分的透射进入波导10。

[0085] 此外,光波导10被光波导10中的与伸长方向正交并且穿过两个区域45、46之间的边界47的矩形截面P(在任意标记的坐标系中为yz平面)细分为第一波导区域11和第二波导区域13。第一波导区域11的底面是面12b的第一区域45(换言之,第一区域45对应于第一波导区域11),第二波导区域13的底面是面12b的第二区域46(换言之,第二区域46对应于第二波导区域13,也称为波导10的“耦入区域”)。

[0086] 在某些实施方式中,面12的细分至少部分地由涂层或材料44实现,该涂层或材料44与面12b的大部分相关联地部署,所述面12b的大部分在伸长方向上沿面12b的大部分但不是全部延伸。如图1B和图1C所示,涂层或材料44的延伸在横向(或侧向)方向(在任意标记的坐标系中沿z轴)也优选地沿着整个面12b。面12b的第一区域45与材料或涂层44相关联,而面12b的第二区域46不与材料或涂层44相关联。此外,由于界面40形成在面12b、24a之间,因此涂层或材料44位于界面40处并且有效地将界面40细分为与上述两个区域45、46对应的两个区域。

[0087] 在某些实施方式中,材料或涂层44的延伸在伸长方向上沿着面12b的至少70%,然而,在伸长方向上的延伸量可以是至少80%或至少90%。

[0088] 在将两个波导10、20耦合在一起之前,可以将材料或涂层44施加到面12b、24a中的一个或两个上,使得材料或涂层44沿着面12b的大部分(区域45)延伸,并且使得材料或涂层44在面12b的少部分46中不存在(在所实施实施方式中,该少部分46靠近面16b、26b)。

[0089] 在一个示例中,材料或涂层44是反射涂层,该反射涂层可以是选择性反射涂层,例如(优选地根据图2所示的反射率)仅反射在特定入射角(angles of incidence,AOI)范围的入射光并且透射在该角度范围之外的光的角度选择性反射(angularly selective reflective,ASR)涂层。涂层44的反射率使得从面12a、14a、14b之一反射并且入射到面12b的光在面12b处被反射,并且由小平面对面12b偏转的光被面12b透射到波导20中。替选

地,可以将反射涂层施加到面24b,或者可以将反射涂层施加到面12b、24a的一个或更多个对应部分,使得当光波导10、20结合或光学耦合在一起时,所得反射涂层沿面12b的大部分延伸。

[0090] 在另一个示例中,在将面12b、24a结合在一起之前,可以将具有如上所述的选择性反射特性的部分反射材料的薄膜沿伸长方向施加到面12b(替选地为面24a)的大部分。

[0091] 在又一个示例中,材料或涂层44是位于面12b、24a之间并且在伸长方向上沿着面12b、24a的大部分延伸的单独的部分反射表面的形式的部分反射材料。部分反射表面可以由涂有如上所述的具有选择性反射特性的反射涂层的任何薄材料板形成。

[0092] 在某些实施方式中,区域46仅通过以下方式形成:将材料或涂层44施加到面12b(或面24a)的大部分并且阻挡材料或涂层44到达面12b(或面24a)的剩余少部分,使得第一区域45是“涂覆部分”并且第二区域46是“未涂覆部分”,由此涂层部分与未涂层部分本质上具有不同的光学特性。然而,在一些优选实施方式中,具有不同于光波导10、20的光学特性的低折射率材料或涂层(即,折射率低于用于制造光波导10、20的材料的折射率的材料或涂层)与面12b的剩余少部分相关联,以沿着面12b的少部分(区域46)延伸。在一个示例中,使用低折射率材料的薄板。薄板可以被直接沉积在面12b或24a之一的少部分上,然后用薄粘合剂层粘合到面24a或12b中的另一个,或者可以使用薄粘合剂层粘合到面12b、24a。在另一个示例中,固体介电材料的薄涂覆层。多年来已开发出具有极低折射率(1.1-1.2)以及稳定机械性能的一系列气凝胶材料,并且所述材料可能特别适用于形成区域46。在另一个示例中,将低折射率光学胶部署在少部分46处并且还将其用于帮助将光波导10、20结合在一起。

[0093] 在某些实施方式中,区域46仅通过以下方式形成:将低折射率材料施加到面12b(或面24a)的少部分并且不将任何涂层或材料施加到面12b(或面24a)的大部分,使得第一区域45是“未涂覆部分”并且第二区域46是“涂覆部分”,由此这些涂覆和未涂覆部分本质上具有不同的光学特性。

[0094] 在小平面18用于将光从波导10耦出到波导20中的实施方式中,材料或涂层44可能不是必需的,由此传播的光在面12b处的反射是通过全内反射进行的。在这样的实施方式中,将面12b细分为两个区域可以通过将低折射率材料施加到面12b(或面24a)的少部分并且不将任何涂层或材料施加到面12b(或面24a)的大部分来实现。在波导10的底面12b被实现为部分反射器以将一定比例强度的传播光从波导10耦出(并且耦入波导20)的实施方式中,将面12b细分为两个上述区域优选地至少部分地通过在面12b(或面24a)的大部分处施加涂层或材料44来实现。在这样的实施方式中,涂层或材料44优选地被实施为介电涂层和/或金属涂层,如下面的后续部分中将讨论的。

[0095] 为了在扩大的孔径上获得均匀的强度,注入的光束初始孔径应该是均匀的,并且应该“充满”波导。术语“充满”在本上下文中用于指示与图像中的每个点(像素)对应的光线存在于光波导10的整个截面。从概念上讲,该属性意味着,如果光波导10将在任何点处被横向切割,并且如果将带有针孔的不透明片材放置在切割端上,则针孔可以被放置在遍及截面的任何位置,并且会产生完整的投影图像。事实上,对于光波导10,这将导致投影四个完整图像62a、62b、62c和62d,其中62b和62d被反转。为了确保用输入图像60充满波导,应该将稍微过大的输入图像在进入波导10时修整到尺寸。这确保了倍增的相邻孔径一方面不会交叠,另一方面不会具有孔隙。当图像被注入波导10中但在图像60通过四重内反射在波导10

内被引导之前,由光学耦合构造80执行对图像60的修整。

[0096] 连续参照了图1A至图1C,现在参照图3以及图4A至图4C,图3以及图4A至图4C示出了根据本发明的实施方式的光学孔径倍增器1和光学耦合构造80的各方面。应注意的是,为了简化表示,图4A和图4C中未示出波导20的小平面28。首先看图3,光学耦合构造80通常被形成为具有多个表面(面)的耦合棱镜,所述多个表面(面)包括面81、83、85、87、89。面81和83在公共边82处接合,面81和85在公共边84处接合。顶点86和88在边84的相对端处,并且分别形成为面81、85、87和面81、85、89的顶点。

[0097] 现在转向图4A至图4C,光学耦合构造80与波导10、20相关联地部署,使得光学耦合构造80邻接第二区域46。特别地,光学耦合构造80与面14a的邻接第二区域46的部分相关联地部署。更具体地,该部署使得面81的第一部分与正面14a的位于第二波导区域13中的部分相关联,并且使得面81的剩余第二部分与波导20的面22a的一部分相关联。在所实施方式中,顶点88与平面P对准(即,如果平面P要延伸到波导20中,则顶点88将位于延伸平面P中)。

[0098] 面81是来自光学耦合构造80的光通过其进入(即,透射到)波导10(或波导20)的透光表面(即,光入射表面),因此优选的是面81与面14a、22a折射率匹配,以防止注入的图像光在进入波导时发生折射。在某些实施方式中,折射率匹配光学胶可以用于提供面81与波导10、20之间的折射率匹配和结合。

[0099] 光学耦合构造80被构造和部署为使得期望角视场内的所有光在边界47与边界47的图像(其呈现表观输入光学孔径)之间通过,以进入波导10并且通过四重内反射前进通过波导10。如将要讨论的,这种部署确保了进入波导10的期望角视场的边缘光线入射在沿边界47的点处。

[0100] 图4A示出了光学耦合构造80在面14a、22a的平面中的覆盖区,以及表示准直图像60中的点的准直光束组。在附图中,为了清楚起见,仅示出了每个光束组的一条光线,但是该一条光线表示光束组中的许多平行光线之一。实线光线60A表示投影场的一条边处的光束,而虚线光线60C表示投影场的另一条边处的光束(这些光线60A、60C是“边缘光线”)。点划线光线60B代表场的中心(即图像的质心)处的光束。

[0101] 在示出的构造中,耦合棱镜被简化,使得边82、82相互平行,并且使得边84平行于面83的延长方向,面83是棱镜的光入射表面。耦合棱镜优选地设计成使得光入射面83垂直(正交)于中心光束(光线60B)以减少光学像差。在实践中,面83的取向是根据中心光线60B的传播方向(该传播方向基于光学图像生成器的位置和空间取向)设置的。

[0102] 光学耦合构造80的构造和部署使得光学耦合构造80能够修整输入图像,如现在将参照图4A至图4C描述的。如图所示,光线60A、60B、60C经由面83在面83的相应点91a、91b、91c处进入光学耦合构造80,然后通过面81离开光学耦合构造80,并且经由相应点93a、93b、93c进入波导之一。在示出的构造中,点93a、93b是矩形波导10的面14a上的不同各点,点93c是第二波导20的面22a上的点。换言之,光线60A、60B通过面14a上的不同点进入波导10,并且光线60C通过面22a进入波导20。

[0103] 在光线60A、60B、60C在点93a、93b、93c处进入波导后,光线在第一维度(竖直维度)中被边86修整,使得波导在竖直方向上(沿图中的y轴)被均匀地照射。光线60A、60B、60C然后在边界47处在与第一维度正交的第二维度(即,横向地,沿着图中的z轴)中被修整,使得在横向维度(z维度)中所有光束均匀地照射波导10。特别地,光线60A在上面12a处的(与边

伸也优选地在横向(或侧向)方向上沿着整个面12a。涂层或材料54的部署将面12a细分为具有相应的第一光学特性和第二光学特性的不交叠的第一区域55和第二区域56,由此面12a的第一区域55与材料或涂层54相关联,并且面12a的第二区域56不与材料或涂层54相关联。

[0111] 如前所述,光波导10被通过两个区域55、56之间的边界57的矩形截面P细分为第一波导区域11和第二波导区域13。第一波导区域11的顶面是面12a的第一区域55(换言之,第一区域55对应于第一波导区域11),并且第二波导区域13的顶面是面12a的第二区域56(换言之,第二区域56对应于第二波导区域13)。

[0112] 涂层或材料54可以以各种方式实现。在一个示例中,将金属涂层施加到面12a的大部分。在另一个示例中,将低折射率材料或涂层(例如气凝胶材料或低折射率光学胶)施加到面12a的大部分。与面12b的剩余少部分相关联,以沿着面12b的少部分(区域46)延伸。在其他实施方式中,材料54是构成基板30的材料本身,其折射率小于波导10的折射率,使得保持了面12a处的内反射。

[0113] 在图6A和图6B所示的实施方式中,涂层或材料54位于光波导10与另一光学基板30(也由透光材料形成)之间的界面50处。光学基板30具有(可以是平行的)一对面32a、32b以及一对平行面34a、34b(并且还可以包括附加的一对面36a、36b),并且波导10在面12a、32b之间形成的界面50处与基板30光学耦合(即,波导10与基板30之间的光学耦合限定了在面12a、32b之间形成的界面50)。涂层或材料54可以替选地施加到面32b的必需的大部分。

[0114] 与图3以及图4A至图4C所示的构造类似,图6A和图6B所示的光学耦合构造与波导10、20相关联地部署,使得光学耦合构造80邻接第二区域56。特别地,光学耦合构造80与面14b中的邻接第二区域56的部分相关联地部署。更具体地,该部署使得面81的第一部分与正面14a的在第二波导区域13中的部分相关联,并且使得面81的剩余第二部分与基板30的面34a的一部分相关联。此外,在所实施实施方式中,顶点88与平面P对准(即,如果平面P要延伸到波导20中,则顶点88将位于延伸的平面P中)。

[0115] 图6A和图6B中的光线60A、60B、60C的行为类似于上面参照图4A至图4C所描述的行为,只有微小的差异。这里,光线60C在面34a上的点93c处进入基板30。在光线60A、60B进入波导10并且光线60C(在点93a、93b、93c处)进入基板之后,光线被边86修整,使得波导10在竖直方向(沿图中的y轴)上被均匀地照射。然后光线60A、60B、60C在边界57处被横向(沿着图中的z轴)修整,使得所有光束在横向维度(z维度)上均匀地照射波导10。特别地,光线60A在下部面12b处的点92(下部面12b与边84相交或交叠的点)处被反射到边界57上的点上。光线60B也在下部面12b(不同的点处)被反射到边界57上的点,并且边缘光线60C从基板30经由面12a通过边界57上的点透射到波导10中。

[0116] 应注意的是,在图6A和图6B所示的自上而下构造中,可以通过沿(由图6B中的虚线95指定的)抛光平面对面83进行抛光来进一步减小光学图形生成器(图像投影仪)与波导10之间的距离,从而进一步减小投影光学器件的尺寸。抛光平面95通常平行于耦合棱镜80的面83,并且大致通过点93c(即,光束60C进入基板30的地方)。结果,可以使经抛光的表面83在点93c处与基板30大致齐平或重合。在某些实施方式中,“抛光”可以通过使用合适的抛光设备或工具对耦合棱镜80进行抛光来执行,或者通过使用合适的研磨/切割设备或工具对耦合棱镜80进行研磨/切割并且然后抛光切割表面来执行。

[0117] 应该清楚的是,图5中所示构造的经倒转的变型例可以根据以类似于参照图6A和

图6B描述的方式在面12a处具有涂层或材料54的光波导10的实施方式进行部署。

[0118] 除了经由棱镜将一些图像光透射到波导10中之外,基板30还可以为光学耦合构造提供结构和/或结合支持,例如通过允许(经由折射率匹配的光学粘合剂)在面81的部分与面34a的部分之间进行结合来支持。还应注意的是,尽管基板30在此被表示为具有与面16a、26a和16b、26b重合且平行的平行面36a、36b,但是可以减小基板30的尺寸而使得基板仅位于波导10的与区域56邻接的部分。在这种尺寸减小的实施方式中,面36a可以位于光学耦合构造的顶点88处或者就位于光学耦合构造的顶点88之前。

[0119] 尽管到目前为止所描述的光学耦合构造的实施方式涉及作为具有从(与正面14a相关地部署的)光学图像生成器接收光60的光入射面83的耦合棱镜的非限制性实施方式,但是在本文中构想了其中光学耦合构造被操作为耦合反射器的其他实施方式。在这样的实施方式中,面83是反射面,并且光学耦合构造80与波导10、20(或波导10和基板30)相关联地部署,使得面81的一部分邻接第二区域46/57,特别是使得面81的第一部分与背面14b的位于第二波导区域13中的部分相关联,并且使得面81的剩余第二部分与波导20的面22b(或基板30的面34b)的一部分的相关联。

[0120] 这种反射实施方式中的光学耦合构造的工作原理通常类似于上面参照图3以及图4A至图6B所描述的工作原理,具有一些小的差异。为了更清楚地说明这些差异,图7A和图7B分别示出了图4B和图4C的变型例,其中光学耦合构造被构造有反射面83。一个区别是,光线通过面81而不是面83进入棱镜(即面81从光学图像生成器接收准直图像)。另一个区别是,在图4A至图6B中光线进入棱镜的面83上的点91a、91b、91c改为面83上的光线被反射回面81以被边84修整的点。

[0121] 最后,为了适应与正面14a相关联的图像投影仪的部署,图7A和图7B的光学耦合构造80与背面14b相关联地部署。特别地,光学耦合构造80与面14b的邻接第二区域46的部分相关联地部署。背面14b上的光学耦合构造的这种部署构造(即,离开用户的眼睛)提供了一定的人体工程学优势。然而,这也使得需要将光学耦合构造放置得离光学图像生成器更远,因此可能需要使用比图3以及图4A至图6B中所示的透射棱镜构造中应使用的光学图像生成器更大的光学图像生成器。

[0122] 图3至图7B所示的光学耦合构造代表根据本发明的实施方式的一组解决方案,这些解决方案可以实现用光束60的注入孔径填充光波导10。

[0123] 图8A和图8B示出了光学孔径倍增器的另一个实施方式,其中孔径填充可以通过使用部署在波导的小平面18、28之间的区域中的部分反射表面94来实现或辅助。部分反射表面94被部署为平行于面14a、14b、22a、22b并且优选地在面14a(或22a)与14b(或22b)之间的中间平面处。此外,部分反射表面94位于小平面18、28不存在的区域中。在该实施方式中,部分反射表面94实际上被部署在由透光材料(基板)形成的界面40的界面区域70中。界面区域70包括三对面72a、72b、74a、74b、76a、76b,并且面74a、74b、76a、76b是一起形成矩形截面的成对平行面。面72a、72b也可以是平行面,在这种情况下,三对面72a、72b、74a、74b、76a、76b可以相互正交。优选地,面74a和74b分别平行于面12a、24a、32a和12b、24b、32b,面76a和76b分别平行于面14a、22a、34a和14b、22b、34b。类似地,面72a和72b优选地分别平行于面16a、26a、36a和16b、26b、36b。在所示实施方式中,在先前描述的实施方式中施加到面12b、24a中的一个或两个上的材料或涂层44替代地施加到面12b、74a中的一个或两个上。此外,可以将

选择性反射涂层78施加到面24a、74b中的一个或两个上,以在伸长方向上沿着面24a、74b的全部(或大部分)延伸。

[0124] 部分反射表面94的构造使得当图像从波导10耦出时,一定比例强度的耦出图像在进入第二波导20之前在部分反射表面94处被反射,从而确保产生共轭光束矢量64a、64b并且共轭光束矢量64a、64b填充波导20中的孔径。

[0125] 可以在共同拥有的PCT专利公布W02021001841A1中找到平行于波导的主表面部署以确保填充波导孔径的部分反射表面(分束器表面)的附加讨论。

[0126] 迄今为止所描述的实施方式涉及采用矩形光波导(光波导10)的光学孔径倍增器,该矩形光波导(光波导10)具有与其相关联的光学耦出构造,该光学耦出构造被实施为波导10内部的一组相互平行的部分反射表面(小平面)18。然而,如上文所提到的,构想了用于将传播的光从矩形波导耦出的其他类型的耦出布置,该耦出布置包括呈部分反射表面形式的光学耦出构造,该部分反射表面与矩形波导的底面相关联并且平行于矩形波导的底面,并且位于两个波导10、20之间的界面处。上面已经关于材料或涂层44讨论了可以在界面40处施加(并且沿着面12b、24a的整个或大部分延伸)以形成这种部分反射表面的材料或涂层的实现方式的示例。以下段落描述了根据本发明的第二方面的实施方式的光学孔径倍增器,该光学孔径倍增器具有矩形光波导,该矩形光波导不包括任何倾斜的小平面,而是替代地采用与矩形波导的底面相关联并且平行于矩形波导的底面的部分反射表面,以执行光耦出功能。

[0127] 考虑到上述内容,现在关注图9A和图9B,图9A和图9B示出了根据本发明的第二方面的实施方式的光学孔径。在所示实施方式中,面12b与部分反射表面96(在界面40处)相关联。光波导10、20之间的光学耦合以及部分反射表面96的部署和构造使得当图像光60以与第一对平行面12a、12b和第二对平行面14a、14b二者都倾斜的耦合角以初始传播方向耦合到光波导10中时,图像如前所述通过四重内反射沿光波导10前进(即,生成共轭图像62a、62b、62c、62d),其中一定比例强度的图像(例如,62d)在部分反射表面96处被透射以耦合到光波导20中,然后光通过光波导20内的两重内反射(图像64a,64b)传播,其中一定比例强度的图像在部分反射表面28处被反射(偏转),以从平行面22a之一向外引导为可见图像66。

[0128] 在图9A中,图像60的两个样本图像光束60a、60b被示出为进入光波导10。光束60a、60b代表FOV末端的一部分,其对应于生成的图像的同像素的处于两个极端角度的两个样本光束。如前所述,光束60a、60b二者都通过在面12a、12b、14a、14b处的四重内反射前进(即,两个光束产生共轭图像62a、62b、62c、62d),其中来自每个光束的一定比例的强度在部分反射表面96处透射以耦合到光波导20中。然后,图像(64a,64b)通过在第二波导20的面22a、22b处的两重内反射前进,其中,一定比例强度的图像在部分反射表面28处被反射(偏转),以从平行面22a之一被向外引导为可见图像66(在这种情况下对应于到达EMB 3的下角的注入光束60a、60b)。

[0129] 注入光波导10的角度的光束60被设置为从光波导10的所有四个外面12a、12b、14a、14b反射。光束应该以浅(掠射)角从底面12b(和/或部分反射表面96)部分反射,因此应该以陡的角度从光波导10部分透射到光波导20中。换言之,一定比例强度的光束应该在面12b/部分反射表面96/界面40处透射到波导20中,并且一定比例强度的光束应该在面12b/部分反射表面96/界面40处被反射,以通过内反射继续前进通过波导10。这种部分透

射/反射的特性可以通过在面12b、24a处部署材料或涂层44以形成部分反射表面96来实现。

[0130] 顺便提及,光束是通过光学耦合构造(未示出)注入的,在本实施方式中,光学耦合构造被实现为提供侧面照射注入的耦合布置。例如参照图19A至图21和图23,将在本公开内容的后续部分中提供提供侧面照射的耦合构造的示例。为此,整个界面40可以包括上述部分反射表面96,即,材料或涂层44可以在伸长方向上沿着整个面12b延伸。然而,应注意的是,采用通过前述光学耦合构造80进行正向/背向注入的其他实施方式也将在本文中参照图11至图16B呈现。

[0131] 现在返回到图9A和图9B,因为面12b实际上是部分反射表面,所以每次光(例如,图像62d)射在面12b上时,一定比例强度的光透射穿过面12b并且进入光波导20,剩余部分的强度在面12b处被反射并且继续前进通过光波导10。因此,面12b处的每次透射/反射都会降低传播图像的整体强度,因此可能理想的是减少反射次数(不牺牲图像的孔径扩展)以提高光效率。在图10所示的实施方式中示出了提高光效率的一种方法,在该方法中,光波导10相对于光波导20以一定角度(即倾斜)取向。特别地,面12a、12b斜向倾斜于面24b。已发现 5° - 45° 范围内的倾斜角特别适合提高光效率,而不会对孔径扩展产生负面影响。在所示实施方式中,光波导10的伸长方向不再沿着x轴,而是沿着如下方向,该方向相对于x轴倾斜,倾斜角为面12a、12b相对于面24b的倾斜角。

[0132] 现在转向图11,示出了根据本发明的另一个实施方式的光学孔径倍增器的等距视图,该实施方式类似于图9A所示的实施方式,但是其中部分反射表面96沿面12b的大部分但不是全部延伸,以适应与图3至图5、图7A和图7B的光学耦合构造80一起使用。在特别优选但非限制性的实现方式中,将部分反射表面96实现为在耦合光波导10、20之前施加到面12b的选择性反射涂层。这里,部分反射表面96(在伸长方向上)沿面12b的大部分45延伸。面12b的耦合区域46(或“未涂覆部分”)对应于面12b的剩余少部分(靠近侧面16b、26b)。这里,图像光60a、60b通过未涂覆部分46进入光波导10。在该等距视图中更清楚地示出了平面P以及分隔两个部分45、46的临界边界47。

[0133] 应注意的是,在本文中设想的实施方式中,参照图11描述的实施方式采用图6A和图6B所示的“自上而下”耦合构造。在这样的实施方式中,涂层或材料54被部署为沿着面12a的大部分延伸,如上所述。

[0134] 如前所述,在光波导10的光学耦合构造被实施为一组倾斜小平面的实施方式中,可以优选地设计小平面18,使得小平面18的反射率沿着光通过光波导10传播的方向减小,以提供耦合到光波导20中的光强度的逐渐增加。在同样的意义上,可能优选的是设计部分反射表面96,使得部分反射表面96的反射率沿着光通过光波导10传播的方向减小(等效地,透射率增加)。图12示出了这种光学孔径倍增器的实施方式,在该实施方式中,反射率的减小是通过将部分反射表面96划分成沿着光通过光波导10传播的方向(其为伸长方向,即沿任意标记的xyz坐标系中的x轴)的多个区域(优选为离散的、非交叠区域)97a、97b、97c、97d、97e、97f来实现的,其中区域97a、97b、97c、97d、97e、97f的反射率沿着光通过光波导10传播的方向减小。在所示实施方式中,出于示例性目的,示出了六个离散区域97a、97b、97c、97d、97e、97f,然而,应该理解的是,可以采用任何合适数目的区域。反射率的变化可以通过施加在面12b处(或者在某些实施方式中,有时是不太优选的实施方式中,在面24a处)的合适的反射涂层来提供。

[0135] 为了确保均匀光束(从矩形波导10)耦合到光波导20中,形成部分反射表面96的反射涂层应该优选地被设计成使得反射率在波导10的伸长方向上跨越面12b的长度发生变化(以及因此,跨越界面40发生变化)。这里,反射率是指跨越电磁波谱的可见光区域的至少大部分进行平均的非偏振光的反射,其中所述“大部分”优选地至少覆盖430-660纳米(nm)范围内的波长,但也可以包括高达750纳米的波长。反射涂层应具有颜色中性反射和透射特性,使得入射光束不会由于部分反射表面96处的反射而经历任何颜色变化。

[0136] 在某些实施方式中,反射涂层是多层涂层,该多层涂层被设计成使得跨越面12b的长度(即,跨越界面40)的反射率变化在 35° - 55° 范围内的AOI处优选地在50%-80%之间(具有尽可能低的吸收)。在一组非限制性实现方式中,多层涂层由金属(例如,银)层以及一个或更多个介电涂层形成,其中反射率的变化由金属层的厚度决定。在另一组非限制性实现方式中,多层涂层由金属(例如,银)层以及一个或更多个介电涂层形成,其中反射率的变化通过按预定系数调整金属层和介电涂层中的每一个的厚度决定。在又一组非限制性实现方式中,多层涂层由多个介电涂层形成,而没有任何金属层。当使用仅有介电材料的多层涂层时,相邻层之间的边界的厚度应优选地保持尽可能小,这可以使用掩蔽方法来实现。如将在本公开内容的后续部分中讨论的,特别优选的实施方式采用仅有介电材料的多层涂层作为偏振光注入方案的一部分。

[0137] 值得注意的是,使用具有厚度在15nm-35nm范围内的银层的多层涂层通常会在银层中产生范围大约在4%-8%的光吸收。多层涂层中使用的层数可以相对较少,介于2-7层之间,提供的优势在于,反射率和透射率在电磁波谱的可见光区域内可以相对“平坦”,从而实现光的颜色中性的反射和透射。还应注意的是,使用没有任何金属层(即只有介电材料层)的多层涂层(即,仅有介电材料的层)可以提供低吸收,通常小于约5%。在仅有介电材料的多层涂层中实现所需反射率(通过改变层厚度)所需的层数通常不能保持涂层的平整度,这会导致与颜色有关的反射和透射。

[0138] 图13示出了在四个示例性AOI(35° 、 42° 、 49° 和 55°)处跨越六个区域97a、97b、97c、97d、97e、97f的示例性多层涂层的反射率曲线图。以较高AOI(例如 55°)入射到部分反射表面96的光比以较低AOI入射到部分反射表面96的光更早地离开光波导10。因此,区域97a被设计为针对较低AOI具有高反射率(低透射)并且针对较高AOI(例如, 55°)具有较低反射率(较高透射)。在区域97b和97c中,较高AOI的透射逐渐降低,使得较高AOI处的光在区域97d、97e和97f中实际上未被透射(即实际上完全反射)。在次高AOI(例如 49°)处的光的透射在透射最高的区域97b处开始,然后在区域97c和97d中逐渐减小,使得在区域97e和97f中这种AOI处的光实际上未被透射(即,实际上完全反映)。次高AOI或次低AOI(例如 42°)处的光的透射从透射最高的区域97c开始,然后在区域97d和97e中逐渐减小,并且使得这样的AOI的光在区域97f中实际上未被透射(即实际上完全反射)。最低AOI(例如 35°)处的光的透射仅在透射最高的区域97d处开始,然后在透射最低的区域97e和97f中逐渐减小,但在97f中仍非零。

[0139] 在其他实施方式中,部分反射表面96通过用介电涂层对面12b进行涂覆而形成。介电涂层对于在第一偏振方向偏振的入射光(例如,p偏振光)具有低反射率,并且对于在与第一偏振方向正交的第二偏振方向偏振的入射光(例如,s偏振光)具有高反射率。当以沿第二偏振方向的初始偏振耦合到光波导10中的光(例如,s偏振光)通过四重内反射前进通过光

波导时,四重内反射保持了传播的光相对于部分反射表面96的偏振方向,使得s偏振光在部分反射表面96处透射到波导10中。根据特定偏振方案的涂层的设计稍后将在根据本发明的第二方面的第二组实施方式(图15A至图22)的上下文中详细讨论,所述第二组实施方式将在本公开内容的后续部分中进行描述。

[0140] 通常注意到,为了使图像填充光波导20的孔径,图像及其共轭二者(即,图像64a和64b二者)都必须存在于波导20中。实现下波导20的孔径填充的一种方式是通过使图像及其共轭二者(即,四个共轭光束矢量62a、62b、62c、62d)传播通过波导10,并且通过使图像及其共轭二者(例如62a和62b二者)耦合到下波导20中。然而,如果面12a、12b、14a、14b的角取向使得面12a、12b不平行和/或使得面14a、14b不平行和/或使得面12a、12b中的一个或两个不垂直于面14a、14b中的一个或两个,则图像和共轭图像在从非垂直表面反射时沿相反方向有角度地偏移。在从非垂直表面几次反射之后,角偏移累积。因此,即使是导致平行度或垂直度偏差的轻微制造误差也可能在图像与共轭图像之间引入显著的角度差异,这会导致重影和/或降低光学分辨率。因此,平行度和垂直度的制造公差非常严格。

[0141] 图14示出了通过如下操作来改进孔径填充的严格制造公差的实施方式:使光波导10相对于光波导20倾斜,使得从波导10耦出的图像中仅之一(而不是图像及其共轭二者)耦合到波导20中以被包含在波导20内并且被引导。在图14所示的非限制性实施方式中,波导10相对于波导20的所需倾斜角与第二波导耦合表面(面24a)的角度 α 相匹配,该面24a相对于面22a倾斜了 α 。换言之,波导10倾斜,使得面12b相对于面22a斜向倾斜(角度 α)。选择该倾斜度以耦合来自波导10的一个图像(例如,62a)并且不耦合来自波导10的另一个图像,并且使得耦入图像的光线在面22a处反射并且然后在面22b处反射,从而产生共轭图像对64a、64b并且填充下波导20中的孔径。在优选实施方式中,在波导10、20之间部署了被形成为具有面98a、98b的透光光学元件的中间窗98,以在波导10、20之间提供光学耦合,并且防止(由面24a处的不希望反射引起的)重影。中间窗98被部署为突出超过波导20的输入孔径。在所实施方式中,这种部署使得面98a平行于面12b并且延伸超过整个面12b,并且面98b平行于面24a并且优选地还延伸超出整个面12b(并且延伸跨越整个面24a、接近整个面24a或者超出整个面24a)。在某些实施方式中,中间窗98可以是折射层。从波导10耦出的一些图像光穿过中间窗98并且耦合到波导20中,而从波导10耦出的一些图像光穿过中间窗98但不耦入波导20。特别地,穿过中间窗98而进入波导20并且在面22a处反射然后在面22b处反射的光束(实线箭头)被耦合到波导20中,从而通过在面22a、22b处的(全)内反射被引导通过波导20。然而,穿过中间窗98并且进入波导20但在面22a处反射回中间窗98的光束(虚线箭头)没有耦合到波导20中。相反,这些被反射回中间窗98的光束经由倾斜(斜向)表面24a和面98b重新进入中间窗98,并且优选地通过中间窗98的边缘或侧表面耦出。在某些实施方式中,光吸收器(未示出)可以被放置在透明窗98的耦出边缘/表面处以吸收外来光。在某些实施方式中,光吸收器可以通过用光吸收材料涂覆中间窗98的耦出边缘/表面来实现。中间窗98可以具有任何合适的几何形状,只要面98a、98b平行于面12b、24a并且突出超过波导20的输入孔径即可。例如,在另一个实现方式中,中间窗98可以采用中间楔形物的形式,中间楔形物也可以用于将波导10以相对于波导20的所需的倾斜角进行安装。

[0142] 通过在两个波导10、20之间的界面中引入与面22a、22b平行的至少一个部分反射表面,可以产生类似的效果(类似于图8A和图8B中所示,并且如PCT专利公布

WO2021001841A1中所述)。采用这种仅将图像之一引入波导20的耦入方法需要具有显著更高光学效率的较小耦入孔径。对于沿对角线的 50° - 60° 左右的FOV,FOV孔径尺寸的相对减小和效率等级的相对提高通常可以达到约2倍。

[0143] 继续参照图1A至图14,现在参照图15A和图15B,图15A和图15B示出了根据本发明的第二方面的实施方式的光学孔径。图15A和图15B所示的实施方式中的光学孔径倍增器类似于先前参照图9A至图14描述的光学孔径倍增器,但有几个显著的区别。

[0144] 首先,图15A和图15B中的光学孔径倍增器被构造成与耦合棱镜100一起操作,该耦合棱镜100经由侧面照射将准直图像60引入光波导10。与上述光学耦入构造80类似,耦合棱镜100被构造成在进入波导10时修整输入图像。耦合棱镜100仅在图15A中一般性地示出,但可以采用提供图像注入和修整的各种形式。这种耦合棱镜的构造和操作的细节可以在鲁姆斯有限公司(以色列)的各种出版物(包括共同拥有的美国专利第10,133,070号)中找到,其全部内容通过引用并入本文。

[0145] 另一个显著的区别在于,本实施方式的光学孔径倍增器具有位于上部面12a处的保护层37,该保护层37可以对光波导10的上侧提供机械保护。例如,保护层37可以保护波导10的上侧(面12a)免于划伤或磨损,这些划伤或磨损可能会在不希望的方向上引入反射,从而导致图像质量下降。此外,面12a和部分反射表面96的反射率可能导致从外部场景到眼睛中的不希望的反射。因此,为了减少反射,优选地部署不透明的盖构件38(图15B)以覆盖波导10的面14a、14b和保护层37。如图所示,盖38具有倒U形,并且包括覆盖保护层37(并且因此覆盖面12a)的上部38c以及分别覆盖面14a、14b的一对腿38a、38b。腿38a、38b的端部处的盖38的部分也可以覆盖第二波导20的面22a、22b的上部。可以在腿38a、38b的部分与波导10、20的接触部分之间应用诸如反射涂层或低折射率材料层的材料41。材料41也可以被施加在腿38a、38b的部分与保护层37的侧接触部分之间。在某些实施方式中,低折射率材料41是低折射率光学胶,该光学胶也可以用于实现盖38与波导的粘合。

[0146] 另一个区别在于第二光波导20,在所实施的方式中,第二光波导20具有形成更一般的四边形截面的面24a、24b、26a、26b。面24a和26a优选地彼此正交,并且分别平行于面12b和16a,面24a(与面12b一起)限定两个波导10、20之间的界面。面24b和26b可以相互正交,或者可以是呈倾斜角但仍接近 90° ,并且分别与相应的面26a和24a形成钝角和锐角。光学孔径倍增器具有与(由小平面28耦出的)输出图像66的取向成对角线的取向,这可以提供光学孔径倍增器的紧凑且美观的设计,并且有利于其中光波导10相对于眼睛成对角线取向的各种部署构造,在所述部署构造中,(与波导10的近端相对的)波导10的远端部署在眼睛上方或下方。在本文档的上下文中,波导10的近端是图像60被注入(耦合)到波导10中的端部。图16A和图16B示出了针对左眼2L和2R的示例性眼上部署构造,在该部署构造中,每只眼睛2L、2R具有其自己的光学孔径倍增器1LA、1RA。图17A和图17B示出了左眼2L和右眼2R的示例性眼下部署构造,在该部署构造中,每只眼睛2L、2R具有其自己的光学孔径倍增器1LB、1RB。每个光学孔径倍增器1RA、1LA、1RB、1LB根据图15A和图15B所示的光学孔径倍增器构造和操作,并且向相关眼睛提供耦出图像(例如,图15B中的图像66)。还应注意,图16B的右眼上光学孔径倍增器1RA是图15A中所示的光学孔径倍增器,并且图16A的左眼上光学孔径倍增器1LA可以通过关于y轴对光学孔径倍增器1RA进行镜像来实现。图17A和图17B的左眼下光学孔径倍增器1LB和右眼下光学孔径倍增器1RB可以类似地通过关于三个轴中的一个或

更多个对光学孔径倍增器1RA和1LA进行适当镜像来实现。应注意,在图17A和图17B的眼下部署构造中,波导10的远端位于眼睛下方,而波导10的中部和近端位于或高于眼睛水平。然而,在一些非限制性实施方式中,可以修改波导10、20中的一个或两个的几何形状,使得矩形波导10的整体部署在用户眼睛下方。

[0147] 图18A和图18B示出了与图15A和图15B所示实施方式类似的实施方式,不同之处在于,衍射元件用于将光耦合到光波导10中并且耦出光波导20。特别地,与面14b之一相关联地部署的形式为衍射元件(例如,衍射光栅)的光学耦入构造110用于将图像60耦合到光波导10中。耦入衍射元件被示出为与面14b相关联地部署,以适应光学图像生成器在光学孔径倍增器背面的优选部署。

[0148] 耦出衍射光学元件29(例如衍射光栅)与面22a之一相关联地部署,并且将光64a、64b从光波导20朝向眼睛2耦出。虽然衍射元件被示出为与面22a相关联,但是衍射元件也可以与面22b相关联地部署。此外,虽然在图18A和图18B中示出了单个衍射元件29,但是可以采用多个衍射元件,每个衍射元件与面22a或面22b的相应部分(或面22a、22b的相应非交叠部分)相关联。

[0149] 应注意,在光波导10的光学耦出构造被实现为一组倾斜小平面18的实施方式中,例如在参照图1A和图1B描述的实施方式中,光波导20的小平面28可以被部署为相对于面24a具有或不具有倾斜角(即,倾斜于面24a,或者平行于面24a并且垂直于面26a),并且仍然耦出完整的FOV图像。这是部分由于该对共轭图像(例如,图像62a和62b)被小平面对偏转到光波导20中这一事实。然而,在光波导10的光学耦出构造被实施为与面12b相关联并且平行于面12b的部分反射表面96的实施方式(例如,如图9A至图12以及图14所示)中,只有下行光束矢量(例如,图像62d)被耦合到光波导20中。因此,为了保持尽可能多的图像FOV,小平面对28应该相对于面24a(或24a)具有倾斜角。在某些情况下,小平面对28的倾斜角可能导致光学孔径倍增器的尺寸和形状因数的增加,因此可能希望采用在薄板型波导内部署的没有倾斜角的小平面对28,与被实施为部分反射表面96的耦出构造相关联的光波导10结合,以减小光学孔径倍增器的尺寸。

[0150] 图19A和图19B示出了具有矩形波导10的光学孔径的实施方式,该矩形波导10具有部分反射表面96(而不是倾斜小平面对),部分反射表面96与具有无倾斜角的小平面对28的第二光波导20光学耦合。先前描述的光学耦入构造100在此也被示出,该光学耦入构造100将图像60耦合到光波导10中。

[0151] 在所实施方式中,光波导20是薄板型波导,并且具有一对平行面22a、22b以及附加的两对面24a、24b、26a、26b,附加的两对面24a、24b、26a、26b被示出为成对的平行面。光重定向布置120与光波导20的第一区域121相关联并且用于将耦合到光波导20中的光重定向(偏转)为朝向位于光波导20的第二区域122中的小平面对28。

[0152] 第一区域121优选地跨越光波导20在面26a、26b之间的整个长度并且占据光波导20的上部,通常是从面24a沿朝向面24b的方向(这里任意示出为对应于“y”方向)测量的光波导20的上部10%-25%。第二区域122还优选地跨越光波导20在面26a、26b之间的整个长度。两个区域121、122可以是非交叠区域,使得第二区域122占据光波导20的未被第一区域121占据的下部。然而,在某些实施方式中,两个区域121、122可以部分交叠(沿“y”方向)。

[0153] 在优选实施方式中,光重定向布置120跨越光波导20在面26a、26b之间的大部分或

全部长度。在某些实施方式中,光重定向布置120被实现为一组相互平行的部分反射表面(小平面),该组相互平行的部分反射表面至少部分地横穿光波导20在面26a、26b之间的长度(即,在面26a、26b之间沿任意标记的xyz坐标系的x轴)并且斜向倾斜于面12b、24a(优选地呈陡峭的角且仍为锐角)。在其他实施方式中,可以将光重定向布置实现为与光波导20的面22a、22b、24a、24b、26a、26b中的一个或更多个相关联的一个或更多个衍射元件。

[0154] 在光重定向布置120被实现为一组小平面的实施方式中,小平面120具有与小平面28的取向不平行的第一取向(小平面28斜向倾斜于面22a、22b)。在所示实施方式中,两组小平面120、28不交叠,但是其中一个或更多个小平面28在投影到面22a、22b的平面(即图中的xy平面)上时与小平面120交叠的其他实施方式是可行的。

[0155] 小平面28和光重定向布置120的构造使得当部分反射表面96将通过四重内反射传播通过光波导10的图像(图像62a、62、62c、62d)耦合到光波导20中时,耦合的图像在光波导20的第一区域121内通过面22a、22b处的内反射(图像63a、63b)沿第一引导方向传播,其中一定比例强度的图像在光重定向布置120处被反射(偏转),以沿第二引导方向被重定向到光波导20的第二区域122中,然后通过面22a、22b处的内反射(图像64a、64b)在光波导20的第二区域122内传播,其中一定比例强度的图像在部分反射面28处被反射(偏转),以从平行面22a之一被向外定向为可见图像66,由观察者的眼睛2看到。第一引导方向通常与波导10的伸长方向成对角线(即,与面12b、24a成对角线)。第二引导方向不同于第一引导方向,并且优选地垂直或接近垂直于波导10(和面12b、24a)的伸长方向,并且优选地平行或几乎平行于面26a、26b。

[0156] 图20A和图20B示出了与图19A和图19B所示实施方式类似的实施方式,不同之处在于衍射元件用于将光耦合到光波导10中并且耦合出光波导20,类似于参照图18A和图18B所描述的。特别地,部署在面14b之一处的衍射元件(例如,衍射光栅)形式的光学耦合构造110用于将图像60耦合到光波导10中。耦合衍射元件被示出为与面14b相关联地部署,以适应光学图像发生器在光学孔径倍增器背面的优选部署。

[0157] 耦合衍射光学元件29(例如衍射光栅)与面22a之一的位于第二区域122中的部分相关联地部署,并且将光64a、64b从光波导20朝向眼睛2耦合出。虽然衍射元件被示出为与面22a相关联,但是衍射元件也可以与面22b的在第二区域122中的部分相关联地部署。此外,虽然在图20A和图20B中示出单个衍射元件29,但是可以采用多个衍射元件,每个衍射元件与面22a或面22b在第二区域122中的相应部分(或面22a、22b的相应非交叠部分)相关联。

[0158] 在所有公开的实施方式中,光束60对应于来自光学图像生成器生成的准直图像的光。尽管未在附图中示出,但是光学图像生成器(也称为“图像投影仪”)通常包括至少一个光源,该光源通常是被部署为照射空间光调制器的偏振光源,例如硅上液晶(liquid crystal on silicon, LCoS)芯片。空间光调制器对图像的每个像素的投影强度进行调制,从而生成图像。替选地,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扫描运动同步地改变光束的强度,从而针对每个像素投影期望强度。在这两种情况下,提供准直光学器件以产生被准直到无穷远的输出投影图像(即,图像光60)。图像投影仪的上述部件中的一些或全部通常被布置在一个或更多个偏振分束器(polarizing beamsplitter, PBS)立方体或本领域所公知的其他棱镜布置的表面上。因此,由图像投影仪产生的准直光60通常可

以是偏振的,并且在注入光波导10时可以具有相对于波导10的面之一的初始偏振。在鲁姆斯有限公司(以色列)的包括例如美国专利第8,643,948号、美国专利申请公布第2019/0391408号和美国专利申请公开第2021/0072553号的各种出版物中已经描述了光学图像产生器。

[0159] 在其中光通过与面12b相关联的部分反射表面(例如表面96)而不是部署在波导10内的倾斜小平面耦合到光波导20中的某些实施方式中,由光学孔径倍增器采用的偏振方案特别相关,并且应该被设计成确保注入的光通过2D和1D波导二者传播而不会降低图像质量。

[0160] 在使用具有金属层的多层涂层形成部分反射表面96的实施方式中,在注入波导10的图像光60的偏振方面存在一些灵活性。特别地,在要由部分反射表面96耦出的工作入射角的范围处,金属涂层通常为p偏振光提供合适的部分反射率(并且因此提供合适的部分透射率),并且为s偏振光提供高反射率。因此,部分反射表面96(当使用金属层形成时)可以有效地将传播光的p偏振分量从波导10耦出并且将s偏振分量保留在波导10内。因此,可以使用任何合适的偏振方案来产生将要注入波导10的光束60。

[0161] 在一个示例中,光束60相对于面12b(即表面96)是非偏振的(因此具有s偏振和p偏振分量),使得一定比例强度的p偏振分量由部分反射表面96透射出波导10,并且使得s偏振分量被表面96反射。在某些非限制性实施方式中,光学图像生成器通过采用光源的特殊构造将光束60作为非偏振光束输出。特别地,光学图像生成器可以组合正交偏振激光源以产生非偏振图像光束。在另一个实施方式中,光学图像生成器输出偏振图像光束,但是消偏振器被部署在光学图像生成器与波导10的输入孔径之间的光路中,例如在光学耦入构造之前或者在光学耦入构造的输出处。在美国专利第10,133,070号中详细描述了消偏振器部署构造的示例。

[0162] 在另一个示例中,光束60可以相对于面12b被圆偏振,例如通过在光学图像生成器的输出端(或光学耦入构造的输入端)处或者备选地在光学耦入构造的输出端处部署线性偏振滤光片和四分之一波片。

[0163] 在又一个示例中,光束60可以相对于面12b是p偏振的。这可以通过采用输出p偏振光的光学图像生成器来实现。然而,在通常的构造中,光学图像生成器输出s偏振光,因此可以在光学图像生成器的输出端(或者光学耦入构造的输入端)处或者备选地在光学耦入构造的输出端处部署波片,以将输出光的偏振从s偏振旋转到p偏振。

[0164] 在使用一个或更多个电介质涂层形成部分反射表面96的实施方式中,为了实现合理的光效率,对注入光束60相对于面12b(部分反射表面96)的偏振方向的管理是关键。在这样的实施方式中,光学图像生成器被构造产生相对于面12b是s偏振的偏振图像照射。美国专利第8,643,948号中描述的光学图像生成器是产生s偏振图像光的光学图像生成器的一个示例。

[0165] 在某些实施方式中,为了适应小平面的反射率以确保小平面28将传播的光充分反射出一维波导,可以在两个波导10与20之间的界面处部署波片(例如半波片)。再次参照图15A和图15B,用于旋转要耦合到光波导20中的光的偏振状态的波片130可选地部署在波导10、20之间的界面处并且与部分反射表面96相关联。特别地,波片130位于界面40处,在部分反射表面96与波导20的上表面24a之间。当与使用电介质涂层形成部分反射表面96(并且

注入的光束60相对于面12b是s偏振的)的实施方式结合使用时,波片130具有特殊价值。在这样的实施方式中,由表面96从波导10耦出的照射相对于表面96/面12b是s偏振的。然而,小平面对通常使用光学涂层形成,该光学涂层具有针对相对于面22a、22b是s偏振的光而设计的反射率,面22a、22b与面12b正交。因此,从波导10耦出的光的偏振方向关于面22a、22b是p偏振的。通过在波导10、20之间部署波片130,波片130将耦出光的偏振方向旋转为相对于面22a、22b是s偏振的,这增加了由小平面对耦出的光的效率。

[0166] 应该清楚的是,在图18A至图20B所示的实施方式中,波片130可以部署在部分反射表面96与波导20的上部面24a之间的类似位置。

[0167] 参照图21和图22,以下段落描述了可以用于形成部分反射表面96的电介质涂层的一些设计方面。最初,涂层应该被优化设计以实现在波导20的远端处传播的光束的最大功率(强度),而且同时对于在波导20的近端处反射的光束达到相同的功率(强度)。波导20的“远端”通常是面26a中的靠近面24b的区域,并且波导20的“近端”通常是面24b中的靠近面26b的区域。在图21中,在波导20的远端处传播的光束被示出为实线箭头,并且可以通过第一波导10回溯到光学耦合构造100的输入端处的光线60F。在波导20的近端处传播的光束被示出为虚线箭头,并且可以追溯到光学耦合构造100的输入端处的光线60N。

[0168] 举例来说,如果由涂层提供的使得远端处的光束以期望的角度离开波导20的反射率用R表示,波导10内的反射次数用N表示,并且两次反射之间的透射率用T表示,则与波导20的远端处的注入光束60F对应的光束的功率输出可以表示为:

$$[0169] \quad P = (1-R) (R \cdot T)^N.$$

[0170] 显然,功率P是多变量函数,并且可以通过多种方式来最大化,包括例如,通过固定T和N,然后最大化P并且确定使P最大化的R的值。例如,如果 $T = 0.98$ 且 $N = 8$,则当 $R \approx 0.88$ 时,P达到约0.0367的最大值 P_{\max} 。一般来说,涂层对波导10的入口处的对应于60N的光的反射率应该是 $1 - P_{\max}$,在 $P_{\max} = 0.0367$ 的本示例中产生大约0.9633 (96.33%)的反射率。

[0171] 图22示出了作为AOI的函数的s偏振光的反射率的曲线图。从曲线图中可以看出,并且继续本示例,在本示例中 $P_{\max} = 0.0367$,s偏振光实现了大约96.33%的所需反射率(与p偏振光的接近布鲁斯特角急剧下跌的反射率相对照)。因此,对于 $P_{\max} = 0.0367$ 的特定示例,注入相对于面12b为s偏振的光束将实现最佳且均匀的照射。在这样的偏振方案中,并且在使用上述示例反射率的情况下,部分反射表面96对s偏振光束60F的反射率将是大约88%,并且部分反射表面96对s偏振光束60N的反射率约为96.33%。

[0172] 尽管迄今为止已经在波导10、20在面12b、24a处光学耦合的上下文中描述了根据第二方面的实施方式,但是其中光波导10被部署为使得光学耦合在面12b与平行面22a、22b之一的一部分之间的其他实施方式是可能的。在这样的实施方式中,面22a(或22b)充当波导20的输入耦合表面。这种实施方式的简化等距表示在图23中示出,图23示出了在面12b、22a处耦合在一起的波导10、20。中间折射层99部署在面12b、22a之间,从波导10耦出的图像在通过面22a耦合到波导20中之前通过该中间折射层99。被引入波导10的光束应该被具有折射层99的界面反射,并且通过内反射传播穿过波导10的光束应该通过折射层99耦出(通过小平面对18或部分反射表面96)并且经由面22a耦入波导20。折射层的更多细节可以在美国专利第10,133,070号中找到。

[0173] 以下段落描述了用于制造根据本发明的实施方式的光学孔径倍增器特别是参照

图9A至图12描述的一些光学孔径倍增器的各种方法。

[0174] 如图24A所示,获得了多个LOE(即,第二光波导)20。每个LOE 20如上所述,例如参照图1A和图1B,并且具有(可以被形成在盖板39a、39b上的)一对主平行面22a、22b以及倾斜于面22a、22b的多个相互平行的部分反射内表面(小平面)。然而,应注意,在某些实施方式中,每个LOE 20可以被形成没有盖板,例如如图1C所示。每个LOE 20还包括另外两对面24a、24b、26a、26b(其中的每一对面可以是或者可以不是一对平行的面),以及倾斜于面22a、22b的多个部分反射内表面(小平面)。为清楚起见,LOE的内部小平面未在图24A至图24F中描绘,但LOE中内部小平面的部署可以从伴随本说明书的其他附图中很好地理解。

[0175] 适用于制造每个LOE 20的技术通常是已知的,并且可以在例如共同拥有的在先美国专利第8,432,614号中找到,如参照图18A至图23所述。

[0176] 将多个LOE 20对准,然后布置成堆叠并且结合在一起,使得相邻LOE的盖板39a、39b接合在一起。图24B示出了对准的LOE 20的最终结合的堆叠200,堆叠200具有三对面222a、222b、224a、224b、226a、226b。面222a、222b是一对平行面,另外两对面可以是也可以不是成对的平行面。在某些实施方式中,经结合的堆叠200的三对面相互正交(垂直)。LOE 20的对准使得所有LOE 20的面22a、22b相互平行(平行于xy平面)。LOE在堆叠的一端处的面22a实际上形成面222a,而LOE在堆叠的另一端处的面22形成面222b。在每对面224a、224b和226a、226b是一对平行面的实施方式中,LOE 20的对准进一步使得LOE 20的面24a是共面的(并且平行于xz平面),并且LOE 20的面24b是共面的(并且平行于xz平面),使得对准的LOE 20的面24a和24b分别形成经结合的堆叠200的面224a和224b(面224a和224b平行于xz平面),并且LOE 20的面26a是共面的(并且平行于yz平面),并且LOE 20的面26b是共面的(并且平行于yz平面),使得对准的LOE 20的面26a和26b分别形成经结合的堆叠200的面226a和226b(面226a和226b平行于yz平面)。在每对面222a、222b和224a、224b是一对平行面的实施方式中,成对的面222a、222b和224a、224b中每一对与每个LOE 20的面22a、22b正交(垂直)(因此正交于堆叠200的面222a、222b)。

[0177] 如图24C所示,获得具有三对面312a、312b、314a、314b、316a、316b的经涂覆的透明厚板300。每对面312a、312b和314a、314b是一对平行面,并且两对平行面312a、312b、314a、314b(在yz平面中)一起形成矩形截面。成对面316a、316b可以是也可以不是一对平行的面。在某些实施方式中,下表面312b涂有选择性反射涂层(例如,具有或不具有电介质层的金属涂层),使得经涂覆的面312b变成部分反射表面。在其他实施方式中,涂有选择性反射涂层的薄板与面312b对准并且结合到面312b。在又一实施方式中,部分反射材料的薄膜附接到面312b。在所有这样的实施方式中,将涂层或材料部署在面312b上,使得涂层或材料沿着面312b的整个宽度(在“z”方向上)延伸。在某些实施方式中,将涂层或材料部署在面312b上,使得涂层或材料沿着面312b的整个长度(在“x”方向上)延伸。这样的实施方式在最终波导构造要与提供侧面照射的光学耦合构造(例如图15A的耦合棱镜100)一起使用时是特别合适的。在其他实施方式中,将涂层或材料部署在面312b上,使得涂层或材料沿着面312b的大部分但不是全部长度延伸。这样的实施方式在最终波导结构将与提供前/后照射的“自下而上”光学耦合构造(例如图3至图5、图7A和图7B的光学偶入构造)一起使用时是特别合适的。

[0178] 在其他实施方式中,施加金属涂层以使金属涂层沿着面312a的整个宽度(在“z”方向上)以及沿着面312a的大部分(但不是全部)长度(在“x”方向上)延伸。这样的实施方式在

最终波导结构要与“自上而下”的光学耦合构造(例如图6A和图6B的光学耦合构造)一起使用时是特别合适的。

[0179] 在图24D中,经涂覆的透明板300与经对准的LOE 20的经结合的堆叠200对准。

[0180] 参照附图中使用的任意标记的xyz坐标系,(在透明板300和经结合的堆叠200中的每一个具有三对平行面的实施方式中)经涂覆的透明板300与经结合的堆叠200的对准可以最好地理解如下:面312a、312b、224a、224b中的每一个平行于xz平面,面214a、222a中的每一个平行于xy平面并且优选地是共面的,面314b、222b中的每一个平行于xy平面并且优选地是共面的,面316a、226a中的每一个平行于yz平面并且优选地是共面的,并且面316b、226b中的每一个平行于yz平面并且优选地是共面的。

[0181] 经结合的堆叠200与经涂覆的透明板300光学耦合,从而形成光学块280,如图24E所示,同时保持上一段中描述的经涂覆的透明板300与经结合的堆叠200的对准。经结合的堆叠200与经涂覆的透明板300光学耦合以在面312b与224a之间形成界面240(即,使得面312b、224a彼此相对)。界面240包括如上所述施加或以其他方式与面312b相关联的涂层或材料。备选地,在将经结合的堆叠200与经涂覆的透明板300光学耦合之前,可以将材料或涂层施加到面224a而不是面312b。

[0182] 可选地,面312a可以涂有反射涂层,例如金属涂层,以确保上面312a和下面312b反射相同的入射角的传播光。可以在将经涂覆的透明板300与经结合的堆叠200光学耦合之前或之后将涂层施加到面312a。

[0183] 如图24E所示,沿至少两个平行切割平面(由图24E中的虚线245指示)切割光学块280,以从光学块280中片状地切出至少一个光学孔径倍增器(单个光学孔径倍增器如图24F所示,但是可以从光学块280中片状地切出多个这样的光学孔径倍增器)。

[0184] 切割平面245平行于经结合的堆叠200的连续LOE 20的平行面22a、22b并且平行于经涂覆的透明板300的面314a、314b。因此,切割平面245正交于透明板300的面312a、312b。

[0185] 每个片状地切出的光学孔径倍增器具有在界面40处与LOE 20(1D光波导)光学耦合的矩形光波导10(2D光波导),并且在界面40处具有与波导10的耦合表面(图9A至图12中的面12b)相关联的部分反射表面。在每个LOE 20包括一对盖板39a、39b的实施方式中,每个切割平面245优选地在连续的(即相邻的)盖板39a、39b之间通过。在LOE 20不包括任何盖板(如图1C中)的实施方式中,每个切割平面245优选地位于连续LOE基板19的相邻主外表面(面)之间的结合区域处。

[0186] 根据包括以上实施例的实施方式,还公开了下述技术方案:

[0187] (1)一种光学孔径倍增器,包括:

[0188] 第一光波导,其具有包括第一面和第二面的第一对平行面以及包括第三面和第四面的第二对平行面,成对的平行面一起形成矩形截面,所述第一光波导被构造成通过在所述成对的平行面处的四重内反射来引导光并且与耦出构造相关联,所述耦出构造将光从所述第一光波导耦出到与所述第一光波导光学耦合的第二光波导,其中,所述第一面或所述第二面被细分为分别具有不同光学特性的第一区域和第二区域;以及

[0189] 光学耦合构造,其包括将光透射到所述第一波导中的表面,所述表面被部署为与所述第三面或所述第四面的邻接所述第二区域的部分相关联,使得与所述表面相关联的边在第一维度上修整输入准直图像,并且所述第一区域与所述第二区域之间的边界在第二维

度上修整所述输入准直图像,以产生经修整的准直图像,所述经修整的准直图像通过四重内反射前进通过所述第一光波导。

[0190] (2) 根据(1)所述的光学孔径倍增器,其中,当沿光学输入轴观察时,所述第一区域与所述第二区域之间的边界连同所述边界的图像一起呈现出表观输入光学孔径。

[0191] (3) 根据(1)所述的光学孔径倍增器,其中,所述输入准直图像中的一些在所述第一面上的与所述边相交或者与所述边交叠的点处被反射。

[0192] (4) 根据(1)所述的光学孔径倍增器,其中,所述边是所述表面的第一边,并且其中,所述表面包括第二边,所述第二边是与光入射表面的公共边,所述光入射表面从光学图像生成器接收所述输入准直图像。

[0193] (5) 根据(4)所述的光学孔径倍增器,其中,所述边平行于所述光入射表面。

[0194] (6) 根据(4)所述的光学孔径倍增器,其中,所述边不平行于所述光入射表面。

[0195] (7) 根据(1)所述的光学孔径倍增器,其中,所述表面从所述光学图像生成器接收所述输入准直图像,并且其中,所述边是所述表面的第一边,并且其中,所述表面包括第二边,所述第二边是与反射表面的公共边,所述反射表面将所接收到的输入准直图像反射回所述表面以由所述边修整。

[0196] (8) 根据(1)所述的光学孔径倍增器,还包括所述第二光波导,其中,所述第二光波导具有第三对平行面并且被构造通过所述第三对平行面处的内反射来引导光,并且其中,所述第二光波导包括在所述第三对平行面之间并且倾斜于所述第三对平行面的多个部分反射表面,所述多个部分反射表面将光从所述第二光波导耦出。

[0197] (9) 根据(8)所述的光学孔径倍增器,其中,与所述第二面相关联地部署涂层或材料,以将所述第一面细分为所述第一区域和所述第二区域。

[0198] (10) 根据(8)所述的光学孔径倍增器,还包括光学基板,所述光学基板包括第五面并且在所述第一面处与所述第一光波导光学耦合,并且其中,涂层或材料与所述第一面相关联,以将所述第一面细分为所述第一区域和所述第二区域。

[0199] (11) 根据(1)所述的光学孔径倍增器,其中,所述光学耦出构造包括多个部分反射表面,所述多个部分反射表面至少部分地横穿所述第一光波导并且斜向倾斜于所述第一光波导的伸长方向。

[0200] (12) 根据(1)所述的光学孔径倍增器,其中,所述光学耦出构造包括与所述第二面相关联的部分反射表面。

[0201] (13) 一种光学孔径倍增器,包括:

[0202] 第一光波导,其具有包括第一面和第二面的第一对平行面以及包括第三面和第四面的第二对平行面,成对的平行面一起形成矩形截面,其中,部分反射表面与所述第二面相关联并且平行于所述第二面;

[0203] 光学耦入构造,其用于将与图像对应的偏振光以倾斜于所述第一对平行面和所述第二对平行面二者的耦合角以初始传播方向耦合到所述第一光波导中,所述偏振光相对于所述第二面为s偏振;以及

[0204] 第二光波导,其具有包括第三对平行面的多个面,所述第二光波导在所述第二光波导的面之一与所述第二面之间的界面处与所述第一光波导光学耦合,其中,光学耦出构造与所述第二光波导相关联,

[0205] 其中,所述光学耦合和所述部分反射表面被构造使得当与所述图像对应的光被耦合到所述第一光波导中时:所述光通过四重内反射沿着所述第一光波导前进,其中一定比例强度的光在所述部分反射表面处被透射以耦合到所述第二光波导中;并且所述光通过所述第三对平行面处的内反射在所述第二光波导内传播,其中一定比例强度的在所述第二光波导内传播的光被所述光学耦出构造偏转出所述第二光波导。

[0206] (14) 根据(13)所述的光学孔径倍增器,其中,所述第二面的至少大部分包括一个或更多个电介质涂层以形成所述部分反射表面并且使得所述部分反射表面对s偏振光部分反射。

[0207] (15) 根据(13)所述的光学孔径倍增器,还包括波片,所述波片位于所述界面处,用于旋转要耦合到所述第二光波导中的光的偏振状态。

[0208] (16) 根据(13)所述的光学孔径倍增器,其中,所述光学耦出构造包括部署在所述第二光波导内的倾斜于所述第三对平行面的多个部分反射表面。

[0209] (17) 根据(13)所述的光学孔径倍增器,其中,所述光学耦出构造包括与所述第三对平行面中的至少一个面相关联的衍射光学元件。

[0210] (18) 一种光学孔径倍增器,包括:

[0211] 第一光波导,其具有包括第一面和第二面的第一对平行面以及包括第三面和第四面的第二对平行面,成对的平行面一起形成矩形截面,其中,部分反射表面与所述第二面相关联并且平行于所述第二面;以及

[0212] 第二光波导,其具有包括第三对平行面的多个面,所述第二光波导在所述第二光波导的面之一与所述第二面之间的界面处与所述第一光波导光学耦合,其中,光重定向布置与所述第二光波导的第一区域相关联,并且光学耦出构造与所述第二光波导的第二区域相关联,

[0213] 其中,所述光学耦合、所述部分反射表面、所述光重定向布置和所述光学耦出构造被构造使得当与图像对应的光被耦合到所述第一光波导中时:所述光通过四重内反射沿着所述第一光波导前进,其中一定比例强度的光在所述部分反射表面处被透射,以耦合到所述第二光波导的第一区域中;并且所述光通过所述第三对平行面处的内反射在所述第二光波导的第一区域内传播,其中一定比例强度的光被所述光重定向布置偏转,从而被重定向到所述光波导的第二区域中;并且所述光通过所述第三对平行面处的内反射在所述第二光波导的第二区域内传播,其中一定比例强度的在所述第二光波导的第二区域内传播的光被所述光学耦出构造偏转出所述第二光波导。

[0214] (19) 根据(18)所述的光学孔径倍增器,其中,所述光学耦出构造包括部署在所述第二光波导内的倾斜于所述第三对平行面的多个部分反射表面。

[0215] (20) 根据(18)所述的光学孔径倍增器,其中,所述光学耦出构造包括与所述第三对平行面中的至少一个面相关联的衍射光学元件。

[0216] (21) 根据(18)所述的光学孔径倍增器,其中,所述光重定向布置包括多个部分反射表面,所述多个部分反射表面部署在所述第二光波导的第一区域内并且倾斜于附加面。

[0217] (22) 根据(18)所述的光学孔径倍增器,其中,所述光重定向布置包括与所述第二光波导的面之一相关联的衍射光学元件。

[0218] (23) 一种光学孔径倍增器,包括:

[0219] 第一光波导,其具有包括第一面和第二面的第一对平行面以及包括第三面和第四面的第二对平行面,成对的平行面一起形成矩形截面,其中,部分反射表面与所述第二面相关联并且平行于所述第二面;以及

[0220] 第二光波导,其具有包括第五面和第六面的第三对平行面,其中,光学耦出构造与所述第二光波导相关联,并且其中,所述第一光波导与所述第二光波导光学耦合,并且相对于所述第二光波导倾斜,使得所述第二面斜向倾斜于所述第五面,

[0221] 其中,所述光学耦合和所述部分反射表面被构造使得当与图像对应的光被耦合到所述第一光波导中时:所述光通过四重内反射沿着所述第一光波导前进,其中一定比例强度的光在所述部分反射面处被透射以进入所述第二光波导;并且进入所述第二光波导的光中的一些通过所述第三对平行面处的内反射在所述第二光波导内传播,其中一定比例强度的在所述第二光波导内传播的光被所述光学耦出构造偏转出所述第二光波导。

[0222] (24) 根据(23)所述的光学孔径倍增器,还包括中间窗,所述中间窗提供所述第一光波导与所述第二光波导之间的光学耦合,所述中间窗被部署为使得在所述部分反射表面处透射的进入所述第二光波导的光中的一些在所述五面处被反射回所述中间窗。

[0223] 在上述制造方法中,如本领域普通技术人员应理解的,本文所述的各种光学结构的切割或切片可以通过任何合适的切割设备/装置/工具来执行。在某些实施方式中,可以在这些切割/切片步骤中产生的光学结构的一些或所有表面/面抛光。如本领域普通技术人员应理解的,本文所述的各种光学结构的面和表面的抛光可以通过任何合适的抛光设备/装置/工具来进行。

[0224] 已经出于说明的目的呈现了对本公开内容的各种实施方式的描述,但是其并且非旨在是穷举的或限于所公开的实施方式。在不脱离所描述的实施方案的范围和精神的情况下,许多修改和变化对于本领域普通技术人员将是明显的。选择本文所使用的术语以最好地解释实施方式的原理、实际应用或相对市场上存在的技术改进,或使本领域的其他普通技术人员能够理解本文所公开的实施方式。

[0225] 如本文所用,除非上下文另外明确指出,否则单数形式“一”、“一个”和“该”包括复数引用。

[0226] 在本文中使用的词语“示例性”来表示“作为示例、实例或说明”。被描述为“示例性”的任何实施方式不一定被解释为比其他实施方式优选或有利和/或排除对来自其他实施方式的特征的结合。

[0227] 应当理解,为清楚起见而在分开的实施方式的上下文中描述的本发明的一些特征也可以在单个实施方式中组合地提供。相反,为了简洁起见在单个实施方式的上下文中描述的本发明的各种特征也可以单独地或以任何合适的子组合或根据需要在本发明的任何其他描述的实施方式中提供。在各种实施方式的上下文中描述的一些特征不应被认为是这些实施方式的必要特征,除非该实施方式在没有这些元件的情况下是不可操作的。

[0228] 就所附权利要求是在没有多项引用的情况下撰写的而言,这样做仅是为了适应不允许这样的多项引用的司法管辖区的形式要求。应当注意,通过使权利要求多项引用而隐含的特征的所有可能组合被明确地设想并且应当被认为是本发明的一部分。

[0229] 尽管已经结合本发明的特定实施方式描述了本发明,但是显然,对于本领域技术人员而言,许多替代、修改和变化将是明显的。因此,本发明旨在包括所有这些落入所附权

利要求的精神和宽范围内的替换、修改和变化。

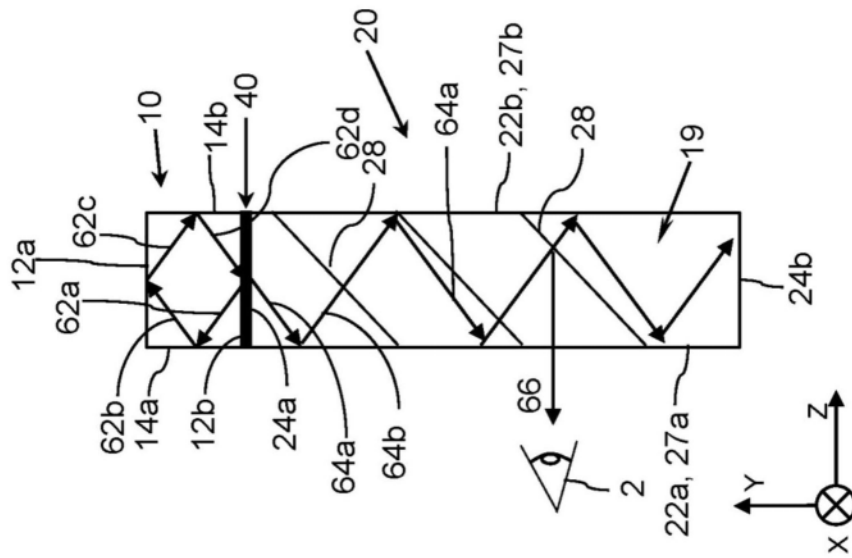


图1C

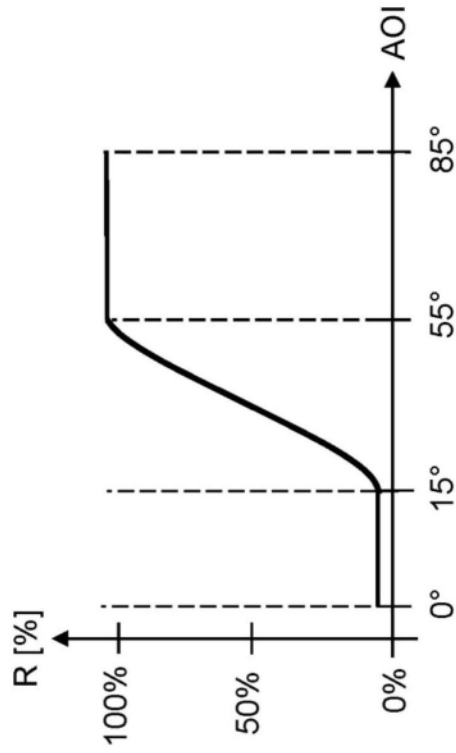


图2

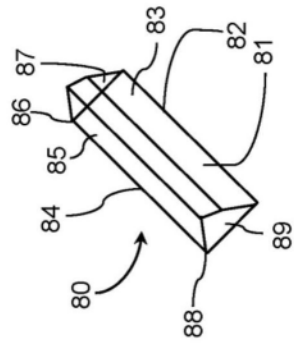


图3

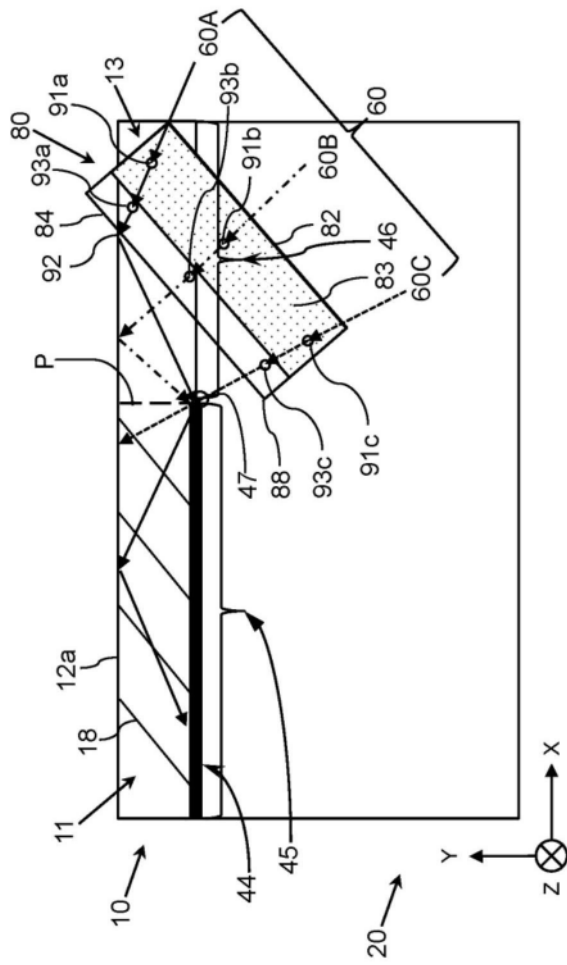


图4A

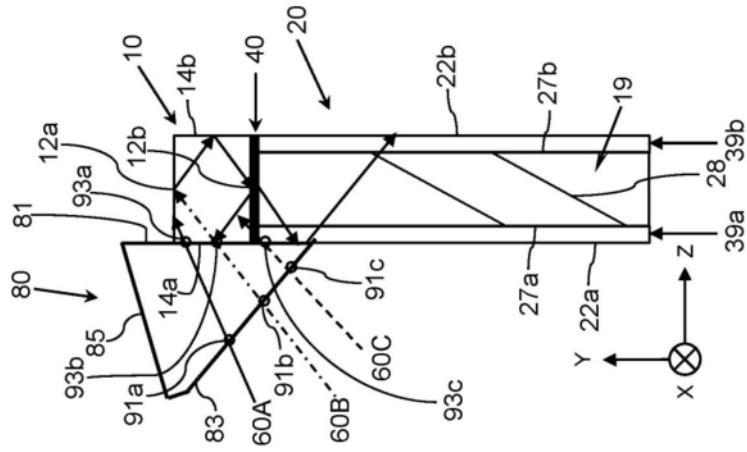


图4B

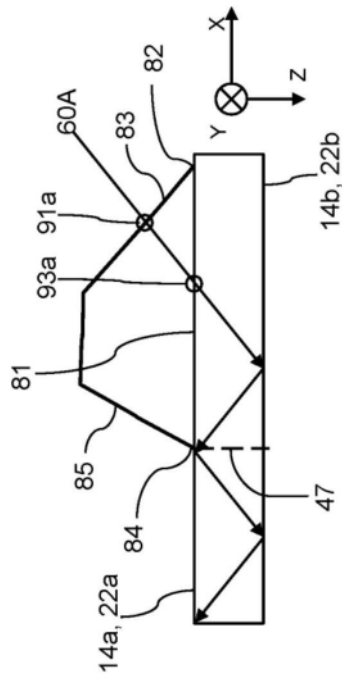


图4C

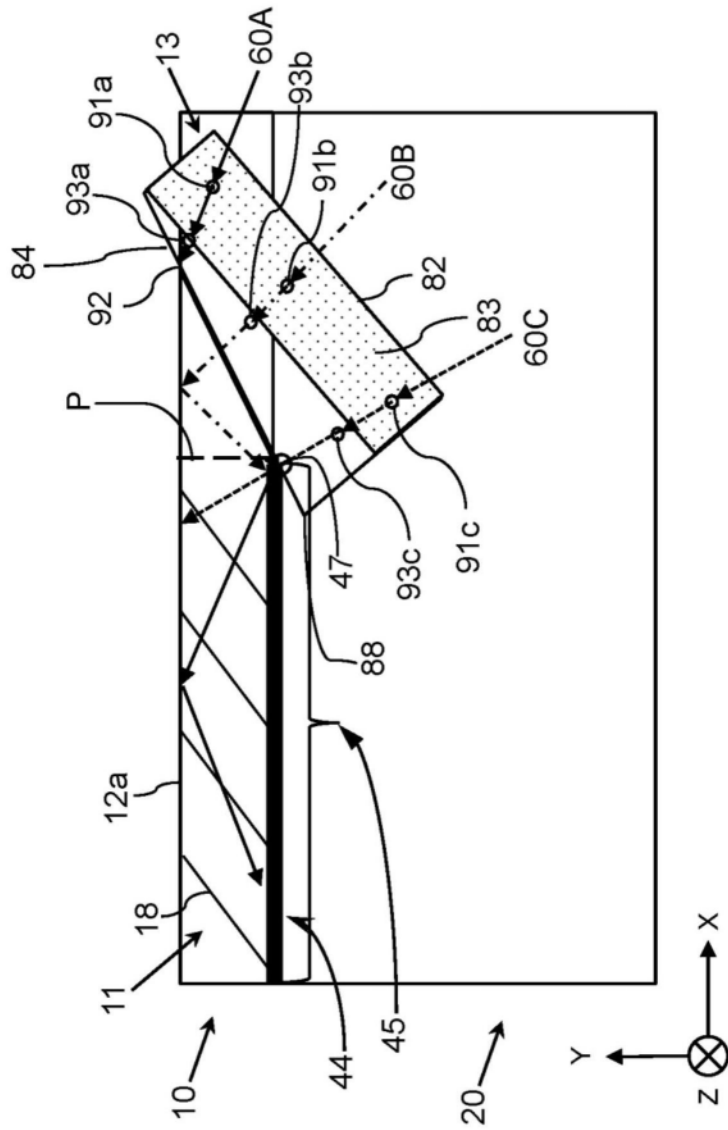


图5

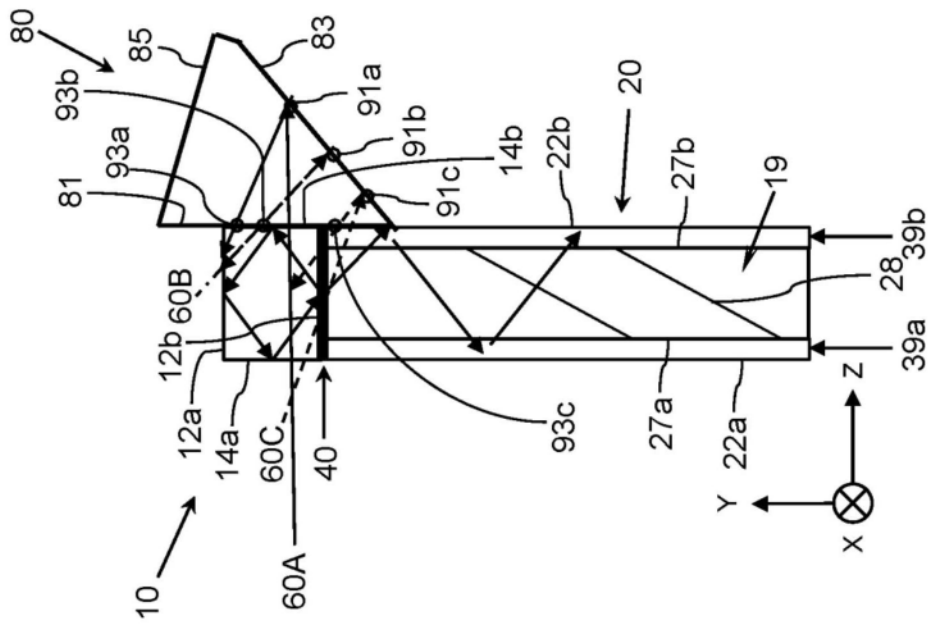


图7A

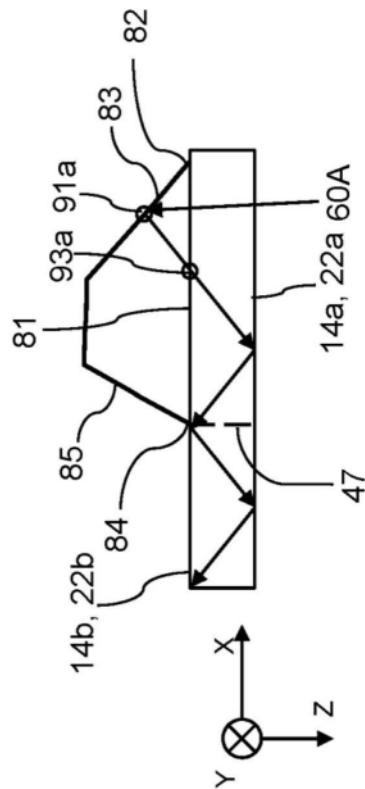


图7B

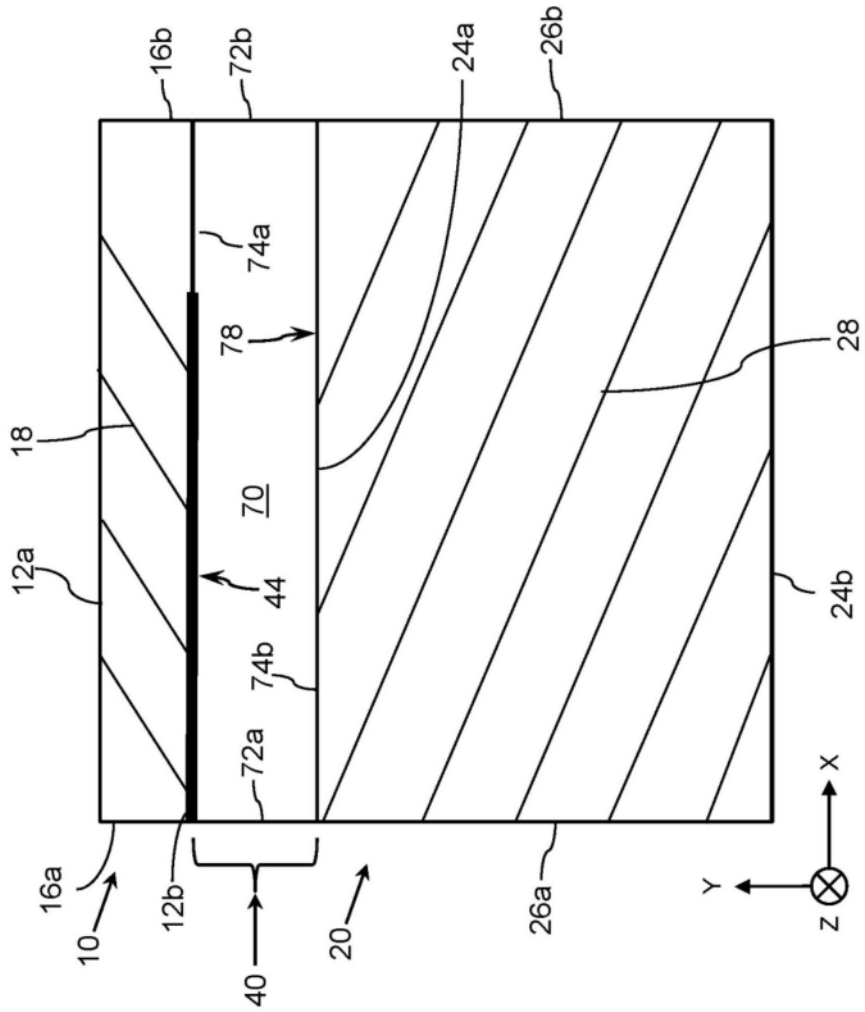


图8A

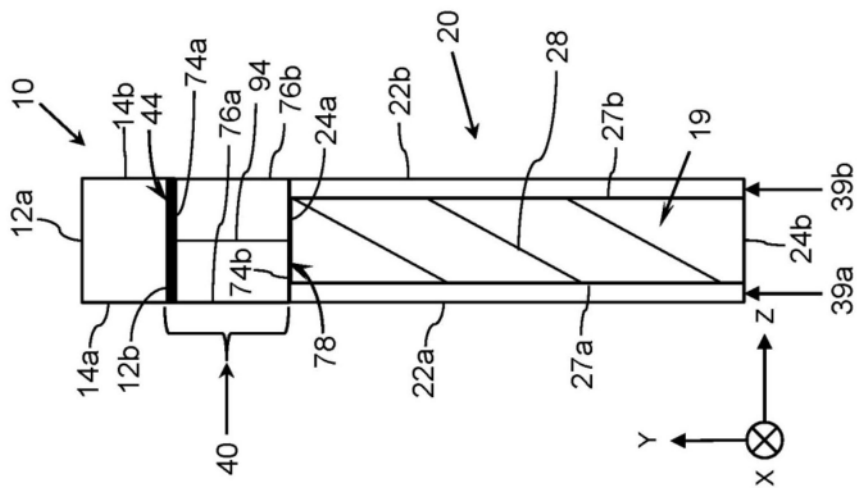


图8B

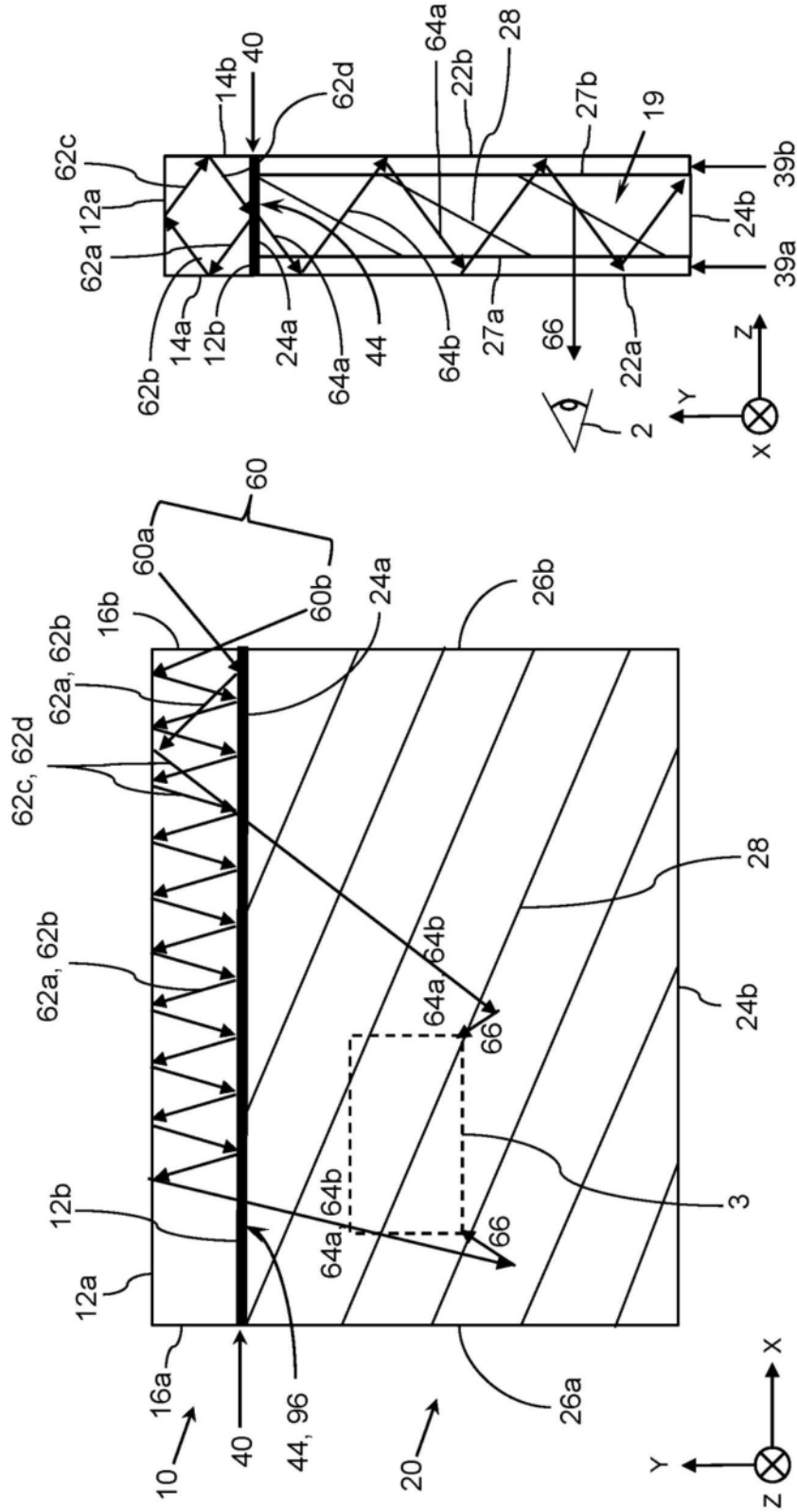


图9A

图9B

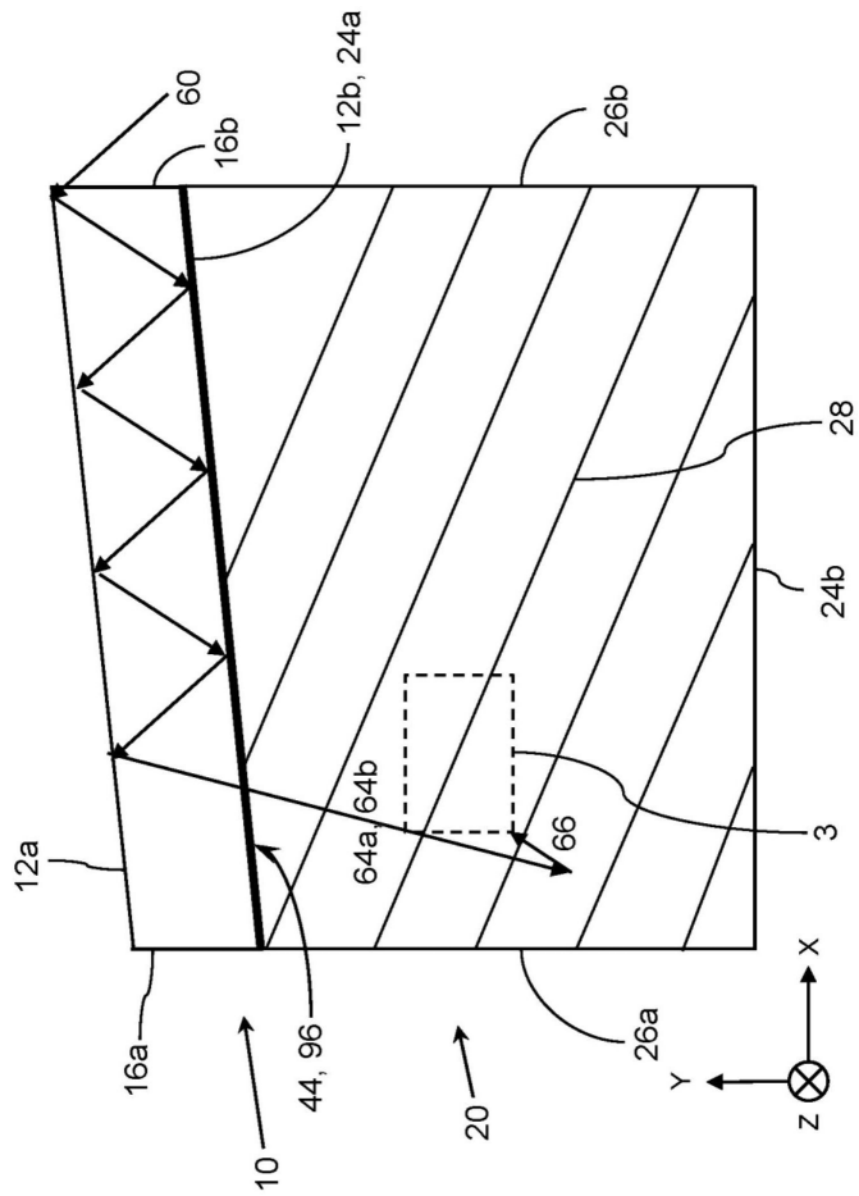


图10

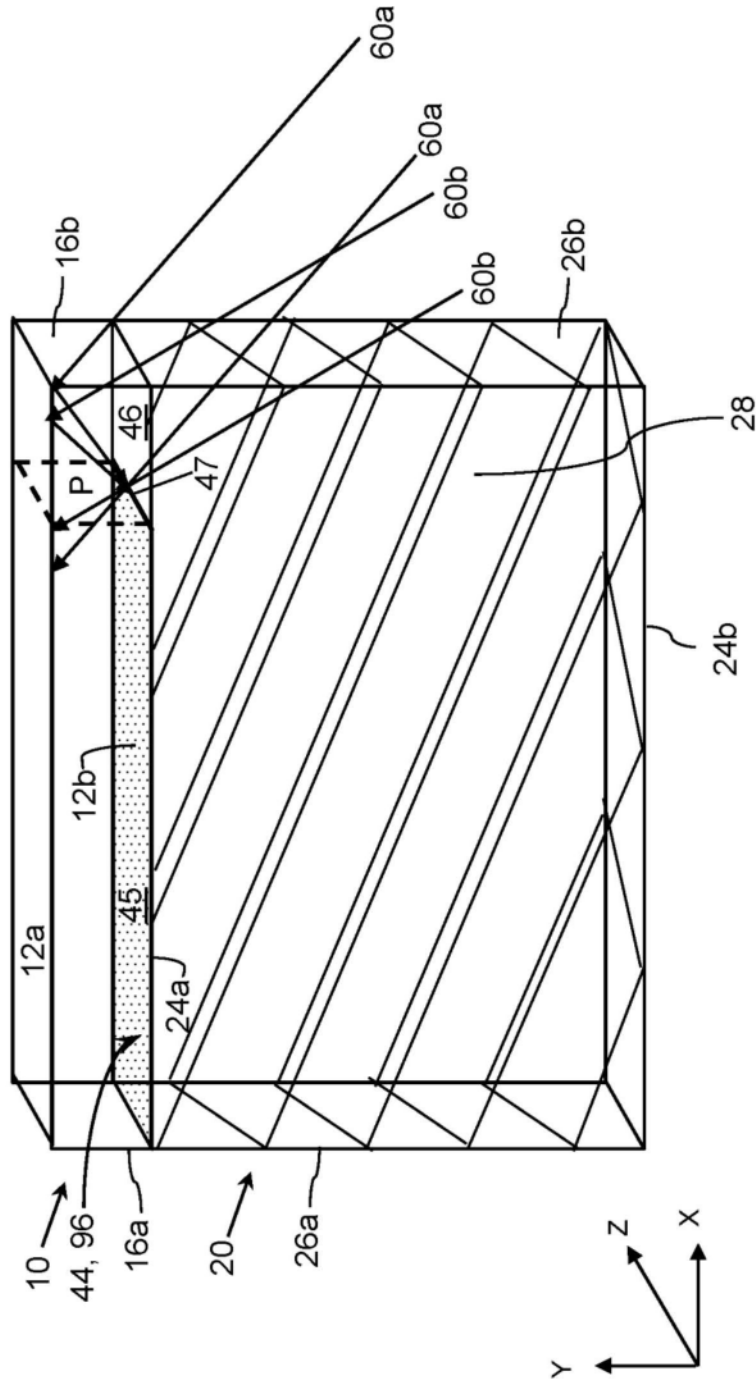


图11

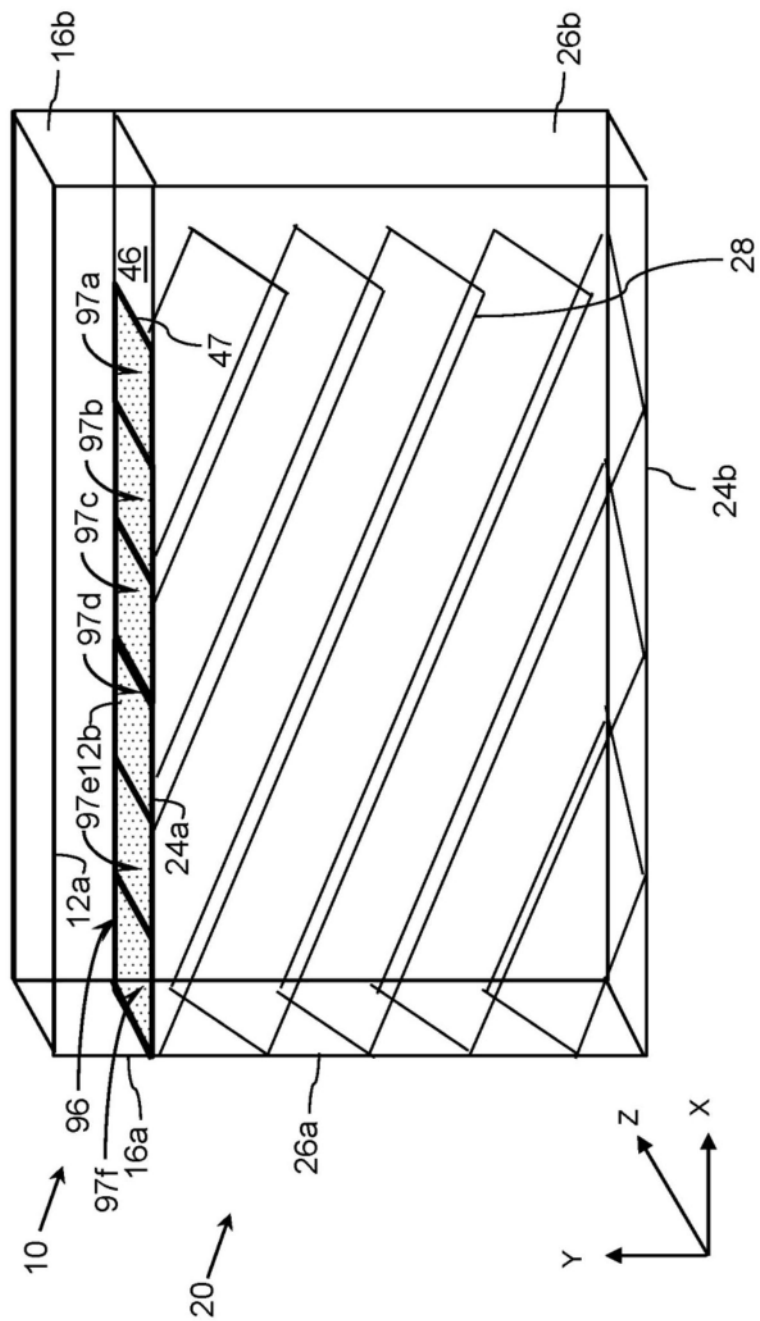


图12

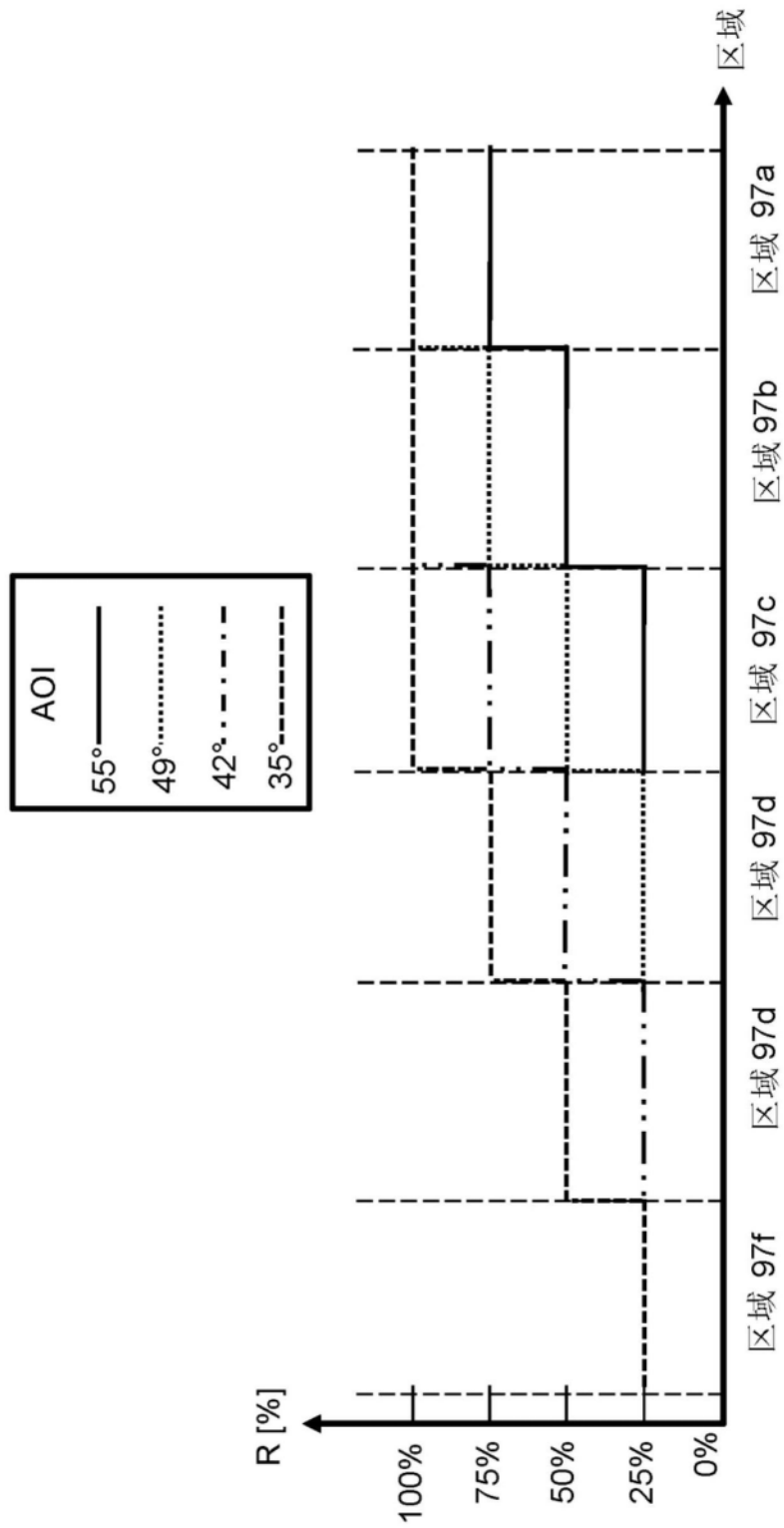


图13

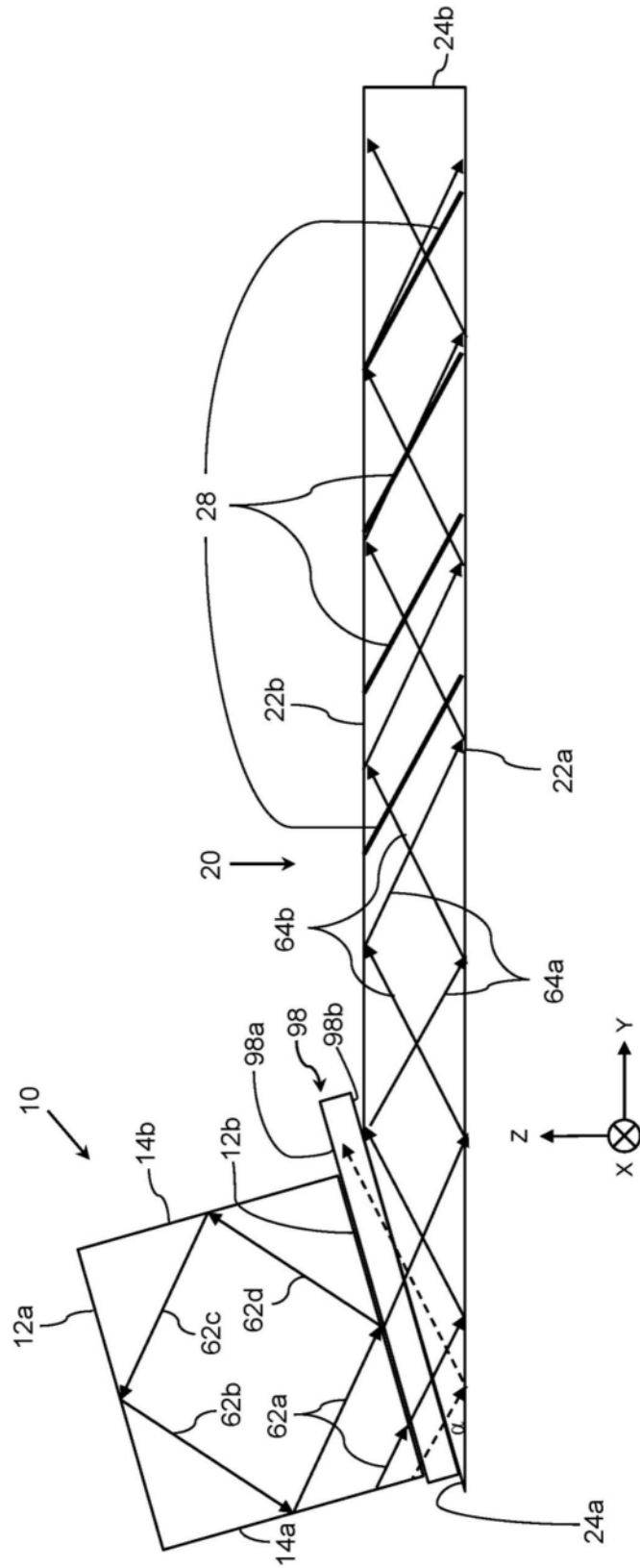


图14

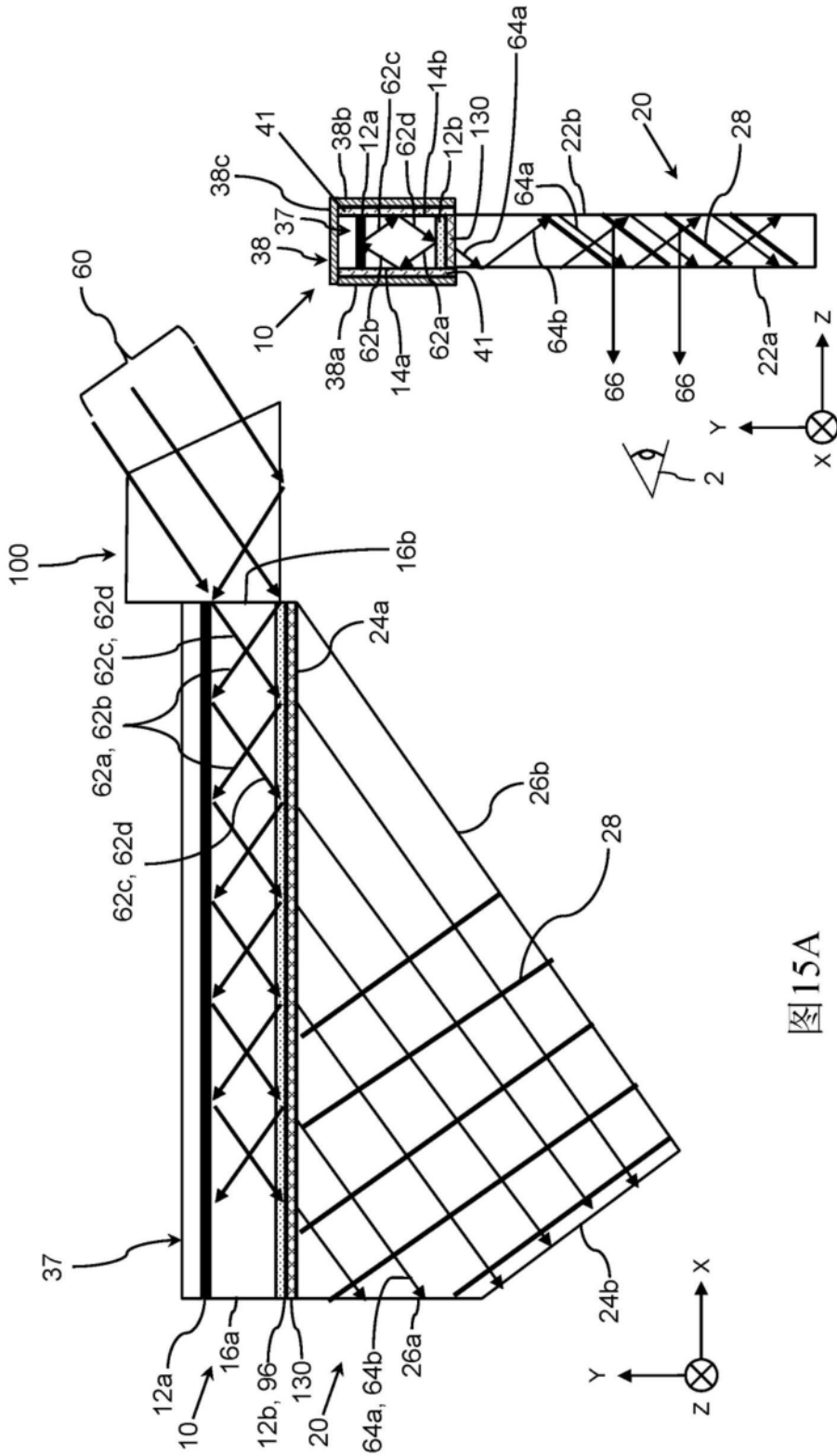


图15A

图15B

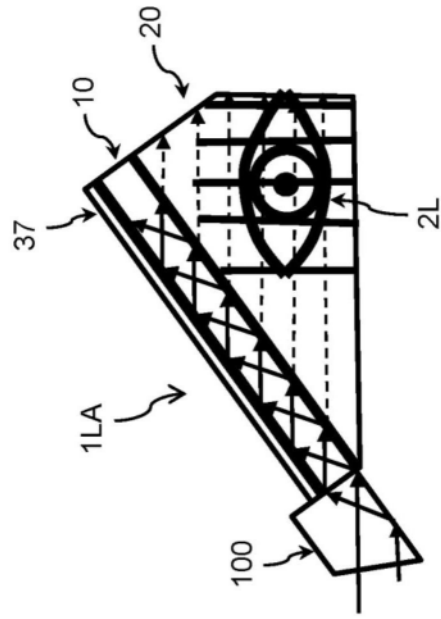


图16A

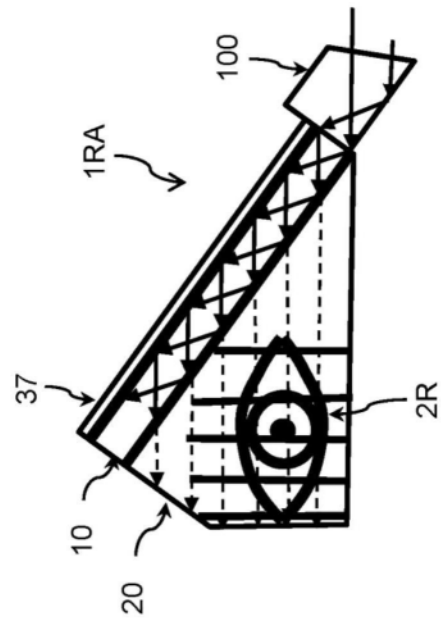


图16B

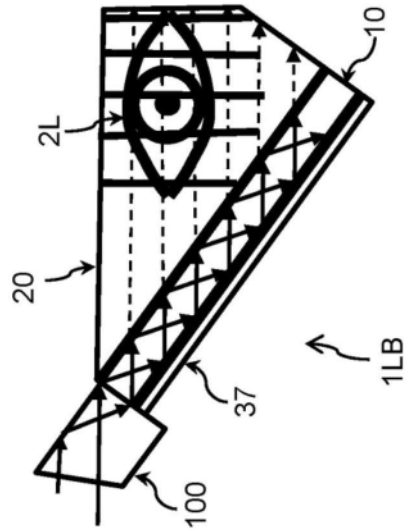


图17A

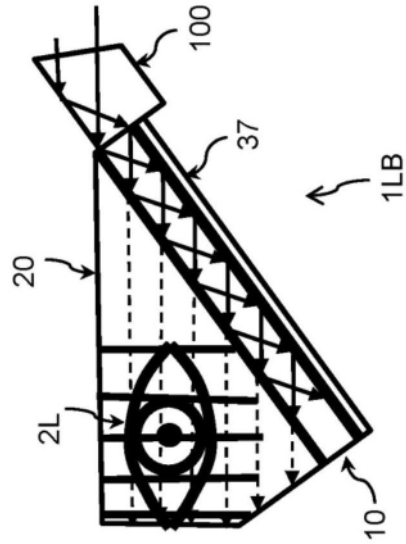


图17B

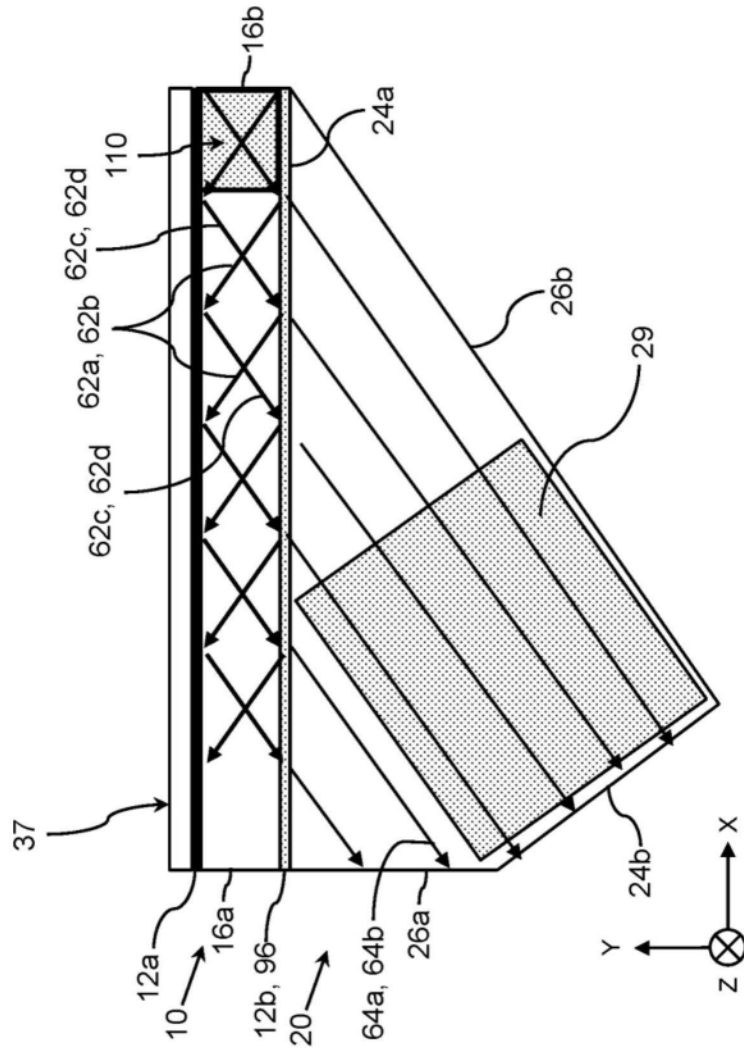


图18A

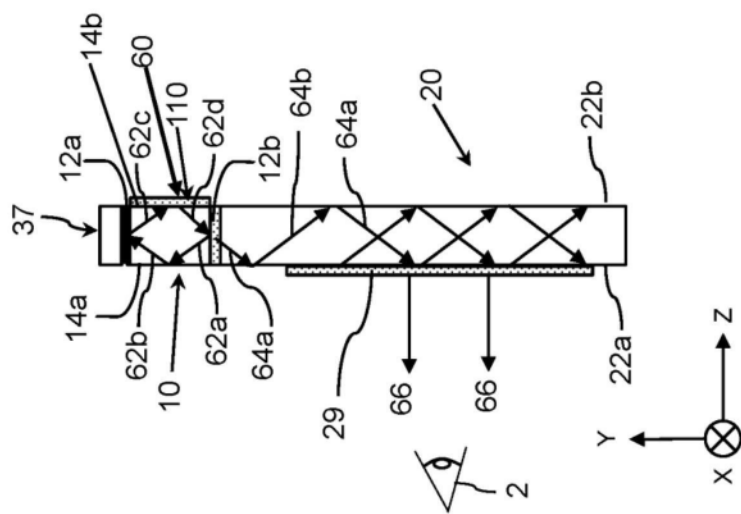


图18B

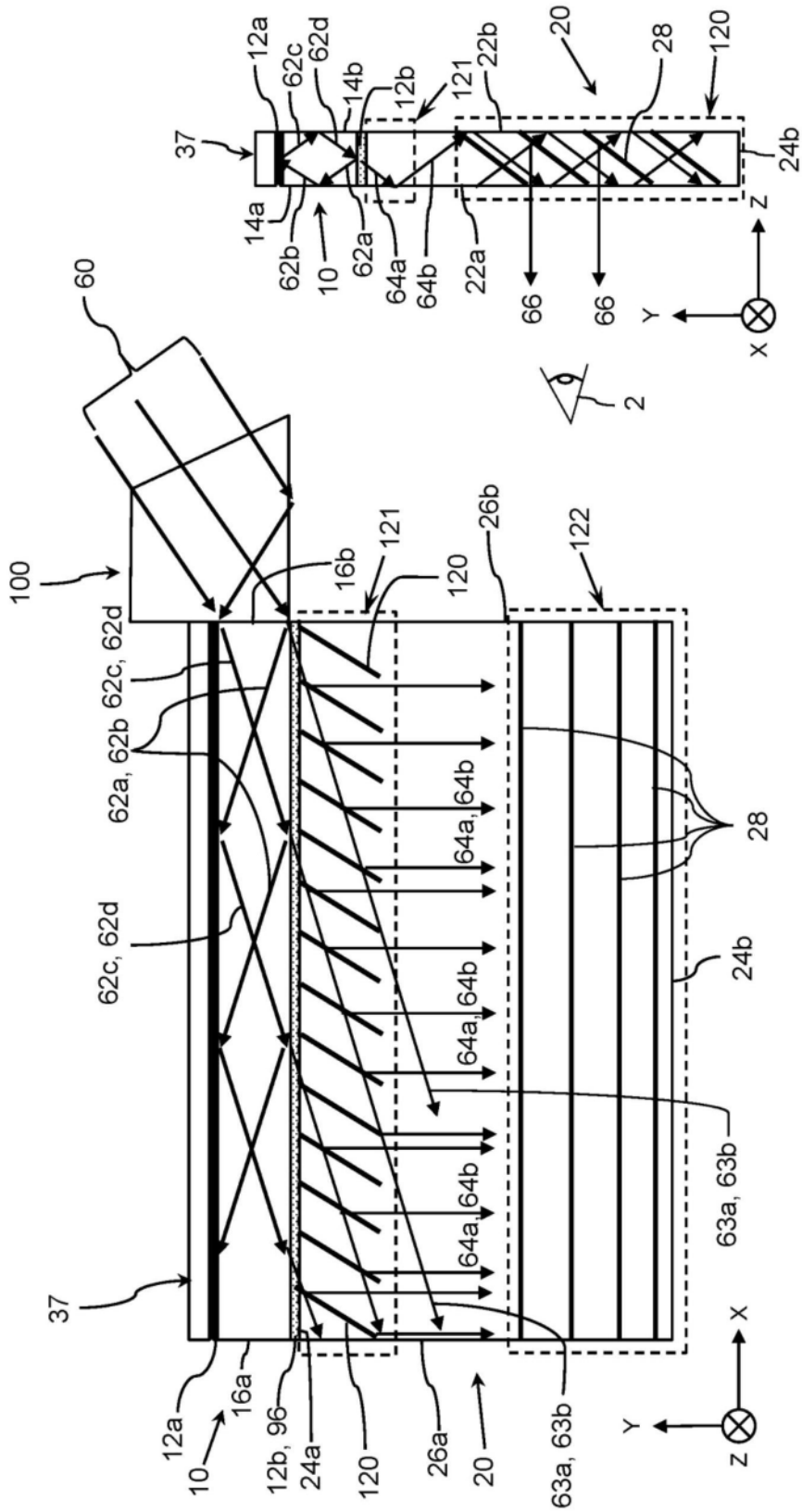


图19A

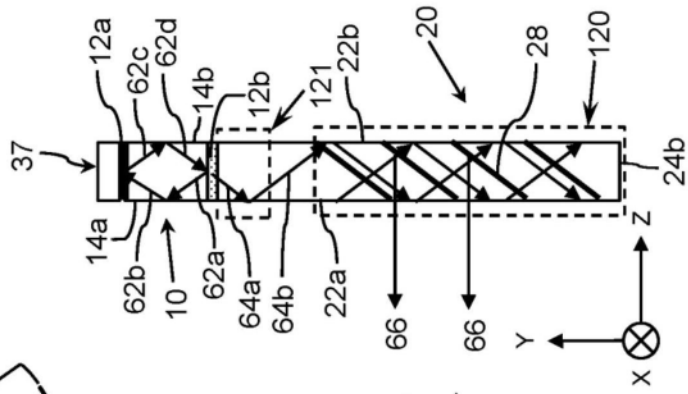


图19B

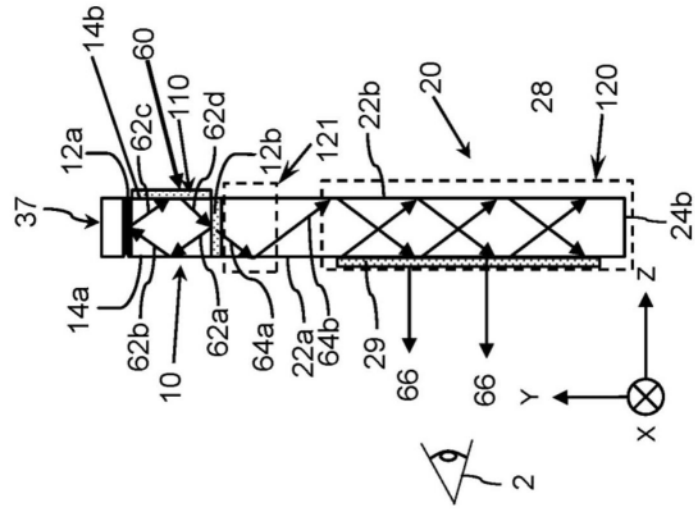


图20B

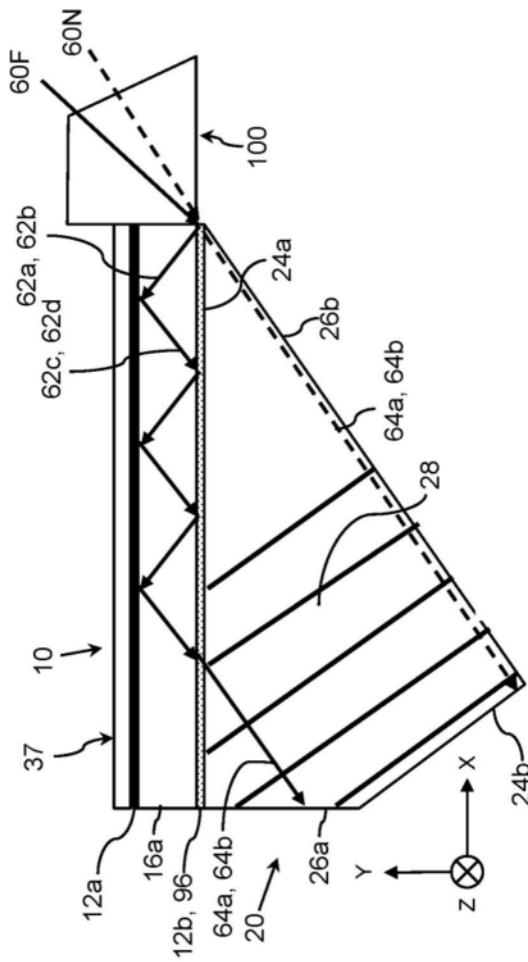


图21

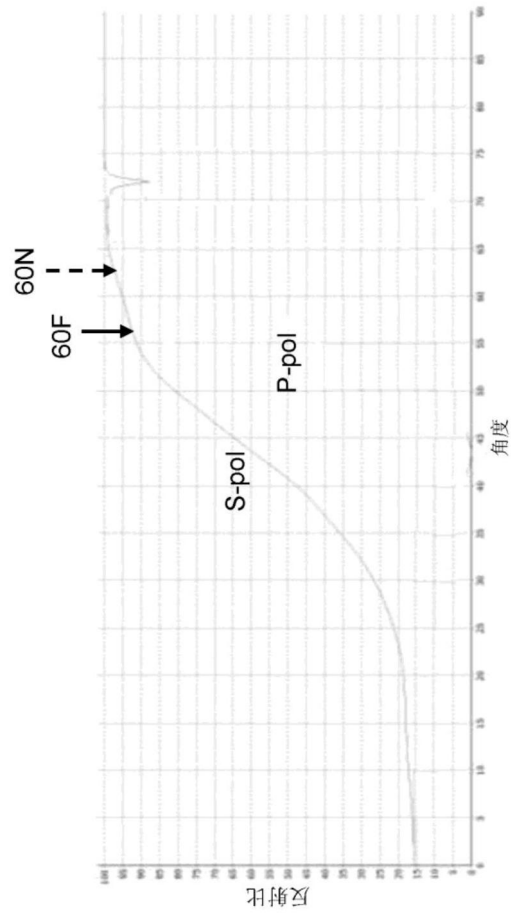


图22

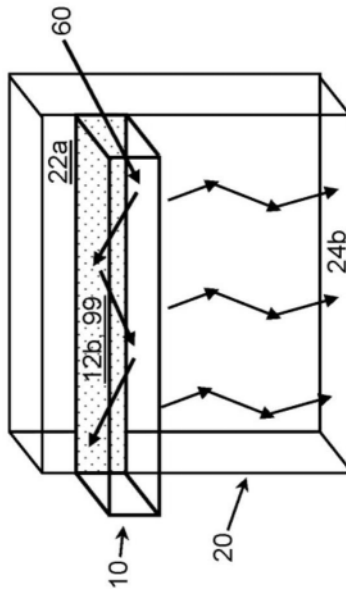


图23

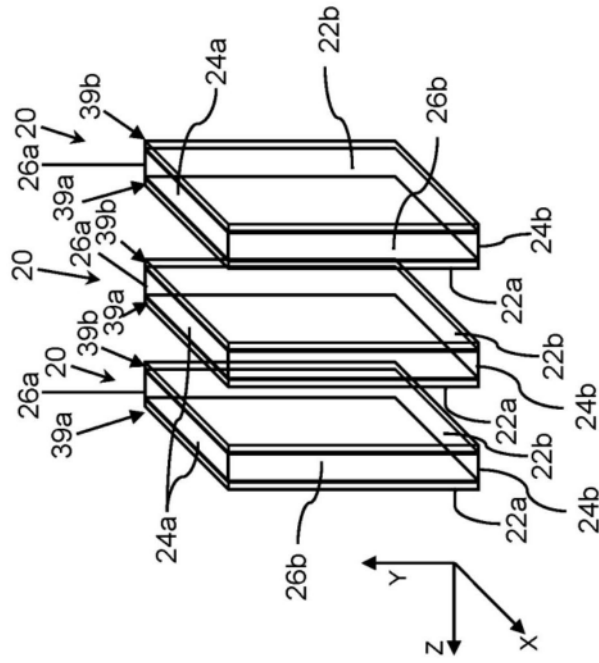


图24A

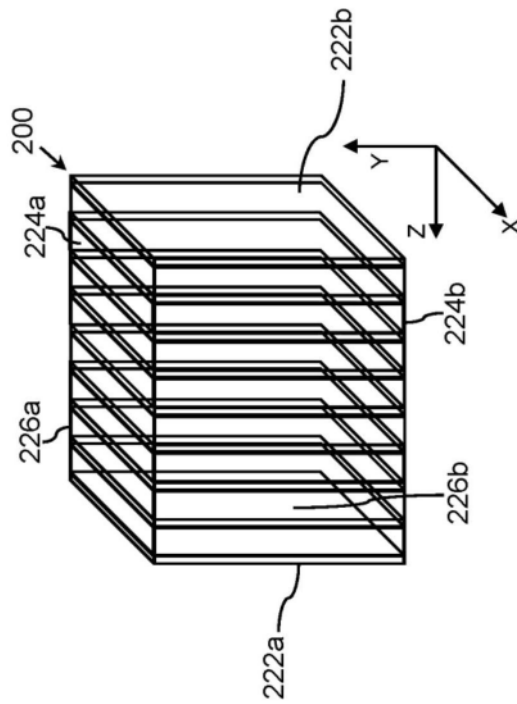


图24B

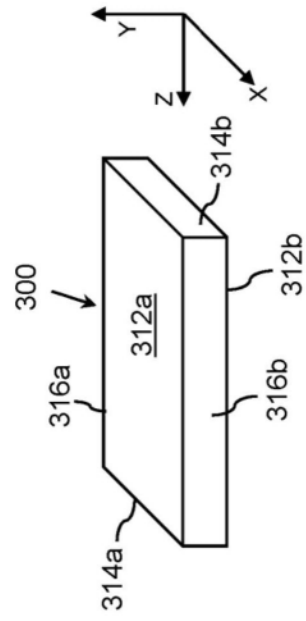


图24C

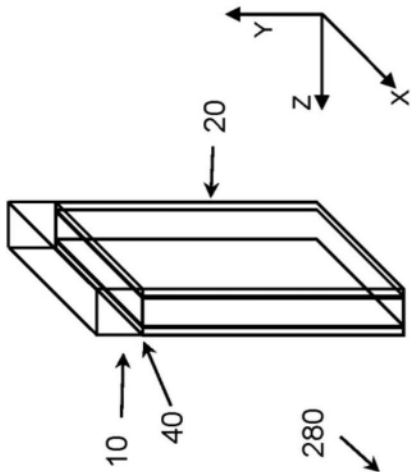


图24F

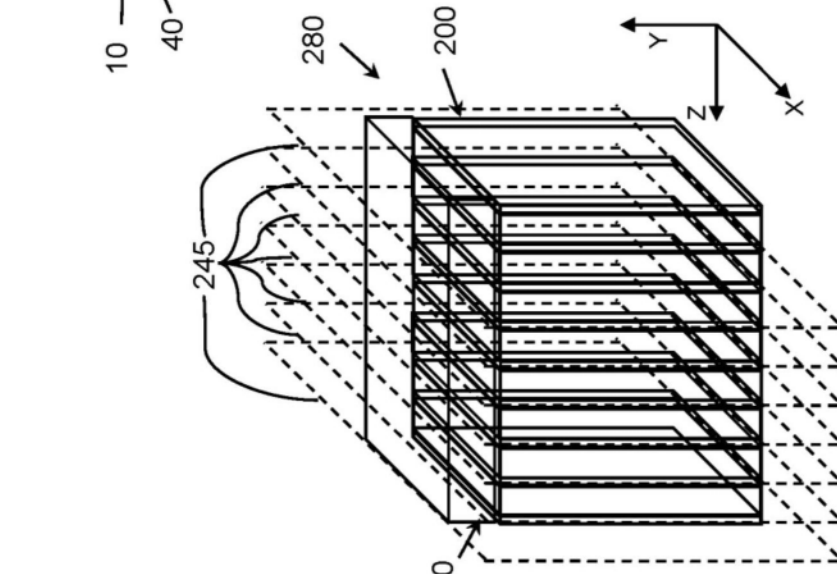


图24E

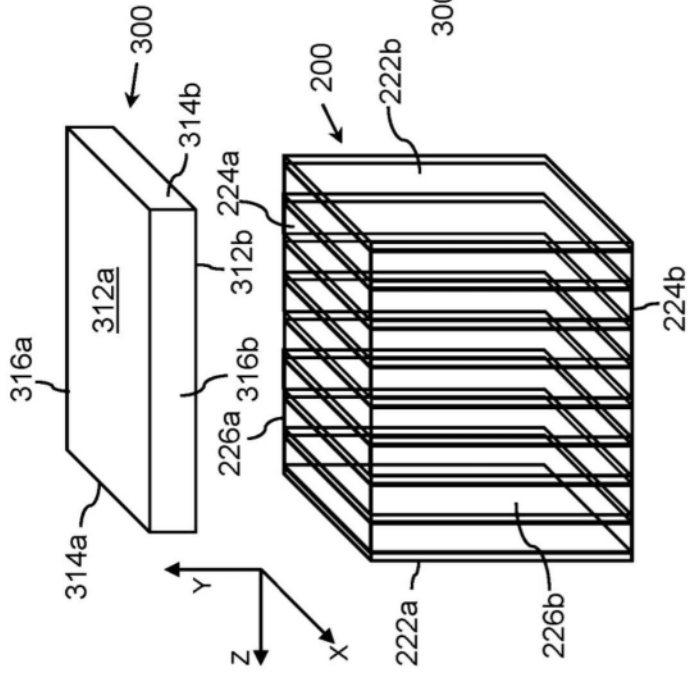


图24D