



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114424108 B

(45) 授权公告日 2024.06.21

(21) 申请号 202080062515.8

(22) 申请日 2020.09.07

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114424108 A

(43) 申请公布日 2022.04.29

(30) 优先权数据
62/900,673 2019.09.16 US
63/026,778 2020.05.19 US
63/061,513 2020.08.05 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2022.03.04

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/IL2020/050974 2020.09.07

(87) PCT国际申请的公布数据
W02021/053661 EN 2021.03.25

(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 耶谢·丹齐格
内塔内尔·戈尔德施泰因

(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)
G02B 27/00 (2006.01)
G03B 21/00 (2006.01)
G03B 21/14 (2006.01)
G02B 26/10 (2006.01)
G02B 26/08 (2006.01)
H04N 9/31 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 109073882 A, 2018.12.21
US 2009168134 A1, 2009.07.02
US 2018275396 A1, 2018.09.27

审查员 许晓亮

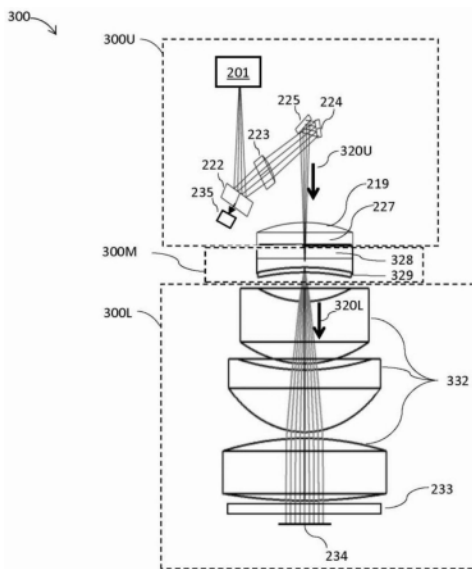
权利要求书3页 说明书8页 附图10页

(54) 发明名称

用于头戴式显示器的紧凑型投影仪

(57) 摘要

一种用于头戴式显示设备的紧凑型投影仪，该紧凑型投影仪包括照明部、中继部和数值孔径扩展器 (NAE)。该照明部包括一个或多个照明源、扫描仪以及将光会聚到图像平面上的聚焦透镜。NAE接收来自照明部的光，扩大光的平均数值孔径，并且将光透射至中继部。该中继部包括将来自图像平面的光准直到出射光瞳上的光学元件。该投影仪还可以配备有横轴和/或纵轴光阑，横轴和/或纵轴光阑防止杂散光穿过出射光瞳。



1. 一种用于头戴式显示设备的紧凑型投影仪,所述投影仪包括照明部、中继部和数值孔径扩展器NAE,

所述照明部包括一个或更多个照明源、聚焦透镜和扫描仪,所述聚焦透镜将光会聚到图像平面上,所述扫描仪插入在所述聚焦透镜与所述图像平面之间;

所述中继部与波导光通信,所述中继部包括光学元件,所述光学元件将来自所述图像平面的光准直到出射光瞳上,

所述NAE被配置成:从所述照明部接收光,所接收的光具有第一平均数值孔径;并且将光透射至所述中继部,所透射的光具有第二平均数值孔径,所述第二平均数值孔径比所述第一平均数值孔径大,是所述第一平均数值孔径的NAE平均扩展比倍,所述NAE平均扩展比大于一,

其中,所述NAE的表面是弯曲的,以至少部分地校正由所述中继部和所述照明部中的至少一个引起的场曲率像差,

其中,所述聚焦透镜和所述中继部被配置成使得所述扫描仪的扫描平面是所述出射光瞳的图像共轭,

其中,所述中继部具有所述出射光瞳并且所述波导具有入射光瞳,并且

其中,横轴光阑和/或纵轴光阑被定位在所述出射光瞳和/或所述入射光瞳处或者被定位在所述出射光瞳和/或所述入射光瞳附近。

2. 根据权利要求1所述的投影仪,其中,所述扫描仪被会聚光束照射。

3. 根据权利要求1所述的投影仪,其中,所述照明部还包括场透镜,所述场透镜插入在所述扫描仪与所述图像平面之间并且靠近所述图像平面。

4. 根据权利要求3所述的投影仪,其中,从所述扫描仪传播到所述场透镜的光的光束直径减小至少二分之一。

5. 根据权利要求1所述的投影仪,其中,所述扫描仪包括绕两个基本上正交的轴旋转的单个镜或各自绕单个轴旋转的两个镜。

6. 根据权利要求1所述的投影仪,其中,所述一个或更多个照明源包括从包括以下的组中选择的照明源:激光二极管、并排激光二极管、发光二极管LED、微型LED和硅上液晶LCOS照明设备。

7. 根据权利要求1所述的投影仪,其中,所述照明部包括一个或更多个光电检测器,用于监测由所述一个或更多个照明源发出的照明功率。

8. 根据权利要求7所述的投影仪,其中,所述一个或更多个光电检测器包括至少一个光谱滤波器。

9. 根据权利要求1所述的投影仪,其中,所述照明部包括反射透镜。

10. 根据权利要求1所述的投影仪,包括以并排配置布置的至少两个照明源,其中,由各个照明源中的每个照明源发出的光的第一部分由所述扫描仪和所述聚焦透镜透射。

11. 根据权利要求10所述的投影仪,其中,由所述各个照明源中的每个照明源发出的光的第二部分被朝向光电检测器阵列反射。

12. 根据权利要求11所述的投影仪,其中,光的所述第二部分沿着所述各个照明源的快轴发出,所述快轴具有宽光束发散。

13. 根据权利要求10所述的投影仪,其中,所述并排配置的最外面的光束之间的间隔跨

越至少0.1毫米。

14. 根据权利要求1所述的投影仪,其中,所述NAE被嵌入在光学部件之间,而不存在部件间间隙。

15. 根据权利要求1所述的投影仪,其中,所述NAE被实现为至少部分地透射或部分地反射的微透镜阵列MLA或光学漫射器。

16. 根据权利要求1所述的投影仪,其中,所述NAE被实现为漫射MLA,所述漫射MLA包括叠加在具有相对高光功率的MLA的表面上的具有相对低光功率的漫射器。

17. 根据权利要求1所述的投影仪,其中,所述NAE平均扩展比的值在从二到五的范围内。

18. 根据权利要求1所述的投影仪,其中,所述中继部包括折射准直透镜或反射准直透镜。

19. 根据权利要求1所述的投影仪,其中,所述中继部包括一个或更多个偏振光学元件。

20. 根据权利要求19所述的投影仪,其中,所述中继部包括偏振分束器和反射准直透镜。

21. 根据权利要求1所述的投影仪,其中,所述中继部包括耦合棱镜,所述耦合棱镜将所述出射光瞳光学地连接至所述入射光瞳。

22. 根据权利要求21所述的投影仪,其中,所述耦合棱镜的一个或更多个表面包括所述横轴光阑和/或所述纵轴光阑。

23. 一种用于头戴式显示设备的紧凑型投影仪,所述投影仪包括照明部、中继部和数值孔径扩展器NAE,

所述照明部包括一个或更多个照明源以及聚焦透镜,所述聚焦透镜将光会聚到图像平面上;

所述中继部与波导光通信,所述中继部包括光学元件,所述光学元件将来自所述图像平面的光准直到出射光瞳上;

所述NAE被配置成从所述照明部接收光,所接收的光具有第一平均数值孔径;并且将光透射至所述中继部,所透射的光具有第二平均数值孔径,所述第二平均数值孔径比所述第一平均数值孔径大,是所述第一平均数值孔径的NAE平均扩展比倍,所述NAE平均扩展比大于一;并且

所述NAE包括弯曲表面,所述弯曲表面的曲率被配置成至少部分地校正由所述中继部和所述照明部中的至少一个引起的场曲率像差,

其中,所述中继部具有所述出射光瞳并且所述波导具有入射光瞳,并且

其中,横轴光阑和/或纵轴光阑被定位在所述出射光瞳和/或所述入射光瞳处或者被定位在所述出射光瞳和/或所述入射光瞳附近。

24. 根据权利要求23所述的投影仪,其中,所述NAE平均扩展比的值在从二到五的范围内。

25. 一种用于头戴式显示设备的紧凑型投影仪,所述投影仪包括照明部、中继部和数值孔径扩展器NAE,

所述照明部包括一个或更多个照明源、聚焦透镜以及扫描仪,所述聚焦透镜将光会聚到图像平面上,所述扫描仪插入在所述聚焦透镜与所述图像平面之间,所述扫描仪被会聚

光束照射；

所述中继部与波导光通信,所述中继部包括光学元件,所述光学元件将来自所述图像平面的光准直到出射光瞳上;并且

所述NAE被配置成:从所述照明部接收光,所接收的光具有第一平均数值孔径;并且将光透射至所述中继部,所透射的光具有第二平均数值孔径,所述第二平均数值孔径比所述第一平均数值孔径大,是所述第一平均数值孔径的NAE平均扩展比倍,所述NAE平均扩展比大于一,

所述NAE的表面是弯曲的,以至少部分地校正由所述中继部和所述照明部中的至少一个引起的场曲率像差,

其中,所述聚焦透镜和所述中继部被配置成使得所述扫描仪的扫描平面是所述出射光瞳的图像共轭,

其中,所述中继部具有所述出射光瞳并且所述波导具有入射光瞳,并且

其中,横轴光阑和/或纵轴光阑被定位在所述出射光瞳和/或所述入射光瞳处或者被定位在所述出射光瞳和/或所述入射光瞳附近。

26. 根据权利要求25所述的投影仪,其中,所述照明部还包括场透镜,所述场透镜插入在所述扫描仪与所述图像平面之间并且靠近所述图像平面。

27. 根据权利要求26所述的投影仪,其中,从所述扫描仪传播到所述场透镜的光的光束直径减小至少二分之一。

用于头戴式显示器的紧凑型投影仪

技术领域

[0001] 本发明涉及显示器,并且特别地涉及用于头戴式显示器和增强现实系统的紧凑型投影仪。

背景技术

[0002] 在近眼显示器或平视显示器中,激光投影仪的功能是将扫描的激光束耦合到波导中,该波导将照明透射到观看者的眼睛中。通常,通过扫描镜在图像场上扫描激光束,并且使用光瞳成像来保持光束耦合到波导中。

[0003] 为了将图像投影到近眼头戴式显示器中,波导的入射光瞳应当:

[0004] a) 被充分照射以产生均匀的图像,并且

[0005] b) 完全耦合至波导,即使在扫描投影场时也是如此。

[0006] 在激光投影仪的情况下,通常将激光束聚焦到将被称为数值孔径扩展器(在下文中简称NAE)的光学元件上的光斑上,之后将光准直并引导至出射光瞳。NAE可以例如通过漫射器或微透镜阵列(micro-lens array,MLA)来实现。在NAE之后,将光准直并引导至出射光瞳。具有一个或更多个扫描镜的扫描仪用于在投影场上操纵激光束。扫描仪通常形成激光投影仪的限制光学孔径。

[0007] 在彩色激光投影仪中,从红色激光器、绿色激光器和蓝色激光器发出的光通常被合并成单个准直光束,单个准直光束被扫描仪扫描并且由NAE扩展。投影仪的光学系统及其相关联的机械支承件通常体积大并且难以在头戴式显示器中实现。

[0008] 现有技术激光投影仪的成像性能主要受到球面、色度和/或场曲光学像差的限制。当形成大的投影视场(field of view,FOV)时会发生球面像差,因为激光聚焦透镜必须将光线聚焦在较大的数值孔径中。通过用于红色、绿色和蓝色激光照明的不同光线路径引入了色差。场曲像差在折射光学元件的情况下可以为正,而在反射光学元件的情况下为负。上述像差严重限制了现有技术激光投影仪可获得的图像分辨率。

发明内容

[0009] 本发明是一种新的紧凑型投影仪,该紧凑型投影仪通过至少部分地校正光学像差的主要来源来提供高图像分辨率。该投影仪包括照明部、NAE和中继部。一些实施方式还包括紧邻中继部的出射光瞳处放置的光阑。

[0010] 在本申请中,术语“激光”在用作名词或形容词时,旨在包括用于头戴式显示器的各种照明源,例如激光二极管、发光二极管(light-emitting diode,LED)、微型LED、以及硅上液晶(liquid crystal on silicon,LCOS)照明设备。此外,在光学术语中使用术语“平面”,例如图像平面、共轭平面和主平面,应当理解为是指严格的数学意义上可以是平面的或可以不是平面的表面。

[0011] 根据本公开主题的一个方面,提供了一种用于头戴式显示设备的紧凑型投影仪,该紧凑型投影仪包括:照明部、中继部和数值孔径扩展器(numerical aperture expander,

NAE) ;该照明部具有一个或多个照明源、聚焦透镜以及扫描仪,所述聚焦透镜将光会聚到图像平面上,所述扫描仪放置在聚焦透镜与图像平面之间;该中继部包括光学元件,所述光学元件将来自图像平面的光准直到出射光瞳上;并且NAE被配置成:从照明部接收光,所接收的光具有第一平均数值孔径;并且将光透射至中继部,所透射的光具有第二平均数值孔径,第二平均数值孔径比第一平均数值孔径大,是第一平均数值孔径NAE平均扩展比倍,NAE平均扩展比大于一。

[0012] 根据一些方面,扫描仪被会聚光束照射。

[0013] 根据一些方面,照明部还包括场透镜,所述场透镜放置在扫描仪与图像平面之间并且靠近图像平面。

[0014] 根据一些方面,从扫描仪传播到场透镜的光的光束直径减小至少二分之一。

[0015] 根据一些方面,扫描仪包括绕两个基本上正交的轴旋转的单个镜或各自绕单个轴旋转的两个镜。

[0016] 根据一些方面,照明源包括从包括以下的组中选择的照明源:激光二极管、并排激光二极管、发光二极管(LED)、微型LED和硅上液晶(LCOS)照明设备。

[0017] 根据一些方面,照明部包括一个或多个光电检测器,用于监测由一个或多个照明源发出的照明功率。

[0018] 根据一些方面,所述一个或多个光电检测器包括光谱滤波器。

[0019] 根据一些方面,照明部包括反射透镜。

[0020] 根据一些方面,投影仪包括以并排配置布置的至少两个照明源,其中,由各个照明源中的每个照明源发出的光的第一部分被扫描仪和聚焦透镜透射。

[0021] 根据一些方面,由各个照明源中的每个照明源发出的光的第二部分被朝向光电检测器阵列反射。

[0022] 根据一些方面,光的第二部分沿着照明源的快轴发出,该快轴具有宽光束发散。

[0023] 根据一些方面,并排配置的最外面的光束之间的间隔跨越至少0.1毫米。

[0024] 根据一些方面,NAE的表面是弯曲的,以至少部分地校正由中继部和照明部中的至少一个引起的场曲率像差。

[0025] 根据一些方面,NAE被嵌入在光学部件之间,而不存在部件间间隙。

[0026] 根据一些方面,NAE被实现为至少部分地透射或部分地反射的微透镜阵列(MLA)或光学漫射器。

[0027] 根据一些方面,NAE被实现为漫射MLA,漫射MLA包括叠加在具有相对高光功率的MLA的表面上的具有相对低光功率的漫射器。

[0028] 根据一些方面,NAE平均扩展比的值在从二到五的范围内。

[0029] 根据一些方面,中继部包括折射准直透镜或反射准直透镜。

[0030] 根据一些方面,中继部包括一个或多个偏振光学元件。

[0031] 根据一些方面,中继部包括偏振分束器和反射准直透镜。

[0032] 根据一些方面,聚焦透镜和中继部被配置成使得扫描仪的扫描平面是出射光瞳的图像共轭。

[0033] 根据本公开主题的另一方面,提供了一种用于头戴式显示设备的紧凑型投影仪,该紧凑型投影仪包括光学上耦合至波导的中继部,该中继部具有出射光瞳并且波导具有入

射光瞳。

[0034] 根据一些方面,横轴光阑和/或纵轴光阑被放置在出射光瞳和/或入射光瞳处或者被放置在出射光瞳和/或入射光瞳附近。

[0035] 根据一些方面,中继部包括耦合棱镜,该耦合棱镜将出射光瞳光学地连接至入射光瞳。

[0036] 根据一些方面,耦合棱镜的一个或更多个表面包括横轴光阑和/或纵轴光阑。

[0037] 根据本公开主题的另一方面,提供了一种用于头戴式显示设备的紧凑型投影仪,该紧凑型投影仪包括:照明部、中继部和数值孔径扩展器 (NAE),该照明部包括一个或更多个照明源以及将光会聚到图像平面上的聚焦透镜;该中继部包括将来自图像平面的光准直到出射光瞳上的光学元件;该NAE被配置成从照明部接收光,所接收的光具有第一平均数值孔径,并且NAE被配置成将光透射至中继部,所透射的光具有第二平均数值孔径,第二平均数值孔径比第一平均数值孔径大,是第一平均数值孔径的NAE平均扩展比倍,该NAE平均扩展比大于一;并且该NAE包括弯曲表面,该弯曲表面的曲率被配置成至少部分地校正由中继部和/或照明部中的至少一个引起的场曲率像差。

[0038] 根据一些方面,NAE平均扩展比的值在从二到五的范围内。

[0039] 根据本公开主题的另一方面,提供了一种用于头戴式显示设备的紧凑型投影仪,该紧凑型投影仪包括:照明部、中继部和数值孔径扩展器 (NAE);该照明部包括一个或更多个照明源、将光会聚到图像平面上的聚焦透镜、以及放置在聚焦透镜与图像平面之间的扫描仪,该扫描仪被会聚光束照射;该中继部包括光学元件,该光学元件将来自图像平面的光准直到出射光瞳上;并且NAE被配置成:从照明部接收光,所接收的光具有第一平均数值孔径;并且将光透射至中继部,所透射的光具有第二平均数值孔径,第二平均数值孔径比第一平均数值孔径大,是第一平均数值孔径的NAE平均扩展比倍,该NAE平均扩展比大于一。

[0040] 根据一些方面,照明部还包括场透镜,该场透镜放置在扫描仪与图像平面之间并且靠近图像平面。

[0041] 根据一些方面,从扫描仪传播到场透镜的光的光束直径减小至少二分之一。

附图说明

[0042] 在本文中参照附图仅通过示例的方式描述本发明。相同的附图标记用于表示附图中相似或相同的元件。

[0043] 图1是根据本发明的原理的激光投影仪的主要光学部件的示意性表示。

[0044] 图2A和图2B是图1中图像平面附近的场曲率的图示。

[0045] 图3是根据本发明的第一实施方式的示例性激光投影仪的分解光学布局。

[0046] 图4是在扫描的情况下图3的实施方式的光线追踪图。

[0047] 图5是根据本发明的第二实施方式的示例性激光投影仪的分解光学布局。

[0048] 图6是示出根据本发明的原理的嵌入式NAE的构造细节的图。

[0049] 图7A是根据现有技术的NAE表面的图。

[0050] 图7B是根据本发明的嵌入式NAE表面的图。

[0051] 图8A、图8B和图8C是根据本发明的用于具有多个激光束的激光投影仪的示例性照明部的示意性光学布局。

[0052] 图9A是根据本发明的激光投影仪和相关联的波导的部分的侧视图。

[0053] 图9B是示出扫描镜的示例性旋转的激光投影仪的部分的透视图。

[0054] 图10A、图10B和图10C是示出被配置成防止杂散光穿过投影仪的出射光瞳的纵轴光阑和横轴光阑的示例性实现方式的图。

[0055] 图11A至图11D是示出根据本发明的示例性光阑配置的图。

具体实施方式

[0056] 图1示出了根据本发明的原理的紧凑型投影仪100的主光学部件的示意性表示。该投影仪包括三个主要部分：照明部100U、包括一个或多个光学元件的NAE 100M以及中继部100L。照明部包括一个或多个照明源，所述一个或多个照明源例如可以是激光器或发光二极管(LED)。

[0057] 来自激光器201的光通过聚焦透镜223被聚焦在图像平面215上，聚焦透镜223形成会聚光束。通过扫描仪211在两个正交方向上引导会聚光束，该扫描仪211可以例如包括如图1所示的两个扫描镜即扫描镜224和扫描镜225，或者包括具有两个旋转轴的单个扫描镜。将扫描仪211放置在会聚光束中，避免了在扫描镜225后面并且远离图像平面215放置附加透镜的需要。在现有技术激光投影仪中发现的这样的附加透镜具有增加相当大的重量和复杂性的缺点。

[0058] 穿过场透镜219的光束被聚焦到图像平面215上，并且然后通过准直透镜218形成平行光束。场透镜219优选地处于图像平面215的附近，从而对聚焦位置和光束发散的影响忽略不计，并且使得能够在扫描仪与光瞳平面234之间进行光瞳成像。

[0059] 进入图像平面215的光线具有由214表示的相对窄的数值孔径。例如，照明部100U中的会聚光束的直径在聚焦透镜223的主平面处可以为1.3mm，在镜224处可以为0.8mm，并且在场透镜219的主平面处可以仅为0.25mm。在图像平面215处，激光光斑直径通常在0.01mm或10微米的数量级。

[0060] 在不存在扩大数值孔径的NAE 100M的情况下，进入准直透镜218的光将形成窄的准直光束，如图1中的虚线箭头所示，并且将不会填充出射光瞳234。结果将是波导的入射光瞳处的不完整图像，该入射光瞳将光耦合到观看者的眼睛中。NAE 100M的作用是扩大数值孔径，如实箭头所示，并且从而填充出射光瞳234。任何残留的散射光被光阑260吸收。

[0061] 用“R”表示的NAE平均扩展比具有大于或等于一的值。通常，术语“数值孔径”表示光束在垂直于光束传播轴的方向上的半角。对于具有圆形截面形状的光束，以度数为单位的数值孔径的单个值足以表征光束的角宽度。对于具有非圆形截面形状的更一般的光束，可以通过对光束的立体角求平均来计算数值孔径的平均值。在这种情况下，术语“NAE平均扩展比”表示离开NAE的光束的平均数值孔径与进入NAE的光束的平均数值孔径之间的以度/度为单位的比率。

[0062] 在图1中，投影仪100实质上具有两个聚焦机构，一个聚焦机构用于将激光束聚焦到图像平面215上，并且另一个聚焦机构用于准直进入出射光瞳234的光束。这些聚焦机构中的每一个都作用于场曲率。

[0063] 图2(a)和图2(b)示出了假设不通过NAE进行场曲率校正的情况下图像平面215附近的场曲率。在面向照明部100U的一侧上的场曲率由虚线215A表示。在面向中继部100L的

一侧上的场曲率具有两种可能性,如分别由图2(a)中的虚线215B1和图2(b)中的虚线215B2所示。在图2(a)中,线215A和线215B1的曲率具有相同的取向;即,从中继部200L观看时,两者都是凹的。通过根据线215A和线215B1的曲率在NAE 100M中实现弯曲表面,可以至少部分地校正净场曲率并且优化投影图像的分辨率。

[0064] 在图2(b)中,线215A和线215B2的曲率具有相反的取向。在这种情况下,NAE 100M中的弯曲表面应当主要根据线215B2的曲率取向来实现。这将在下面结合中继部的特定光学布局进行进一步详细解释。

[0065] 图3示出了根据本发明第一实施方式的示例性激光投影仪200的光学布局。投影仪200包括三个部分:照明部200U、NAE 200M和中继部200L。来自激光器201的光在聚焦致动器345的控制下穿过动态聚焦设备340,例如由康宁公司制造的Corning®Varioptic®可变焦液体透镜。然后,光被折叠镜222反射并且穿过聚焦透镜223。聚焦透镜223优选地是双合透镜或非球面透镜。扫描镜224和扫描镜225将光束引导至场透镜219,场透镜219使光束倾斜以便在扫描镜224或扫描镜225的共轭平面与出射光瞳234之间生成光瞳成像。可选地,折叠镜222可以是部分透射的,并且可以如图所示放置光电检测器235以接收透射通过折叠镜222的光。光电检测器235可以用于监测激光器201的各种发射参数,例如发出的照明功率水平。

[0066] 激光聚焦间隔件227用于在对照明部200U的对准期间将激光光斑最佳地聚焦在图像平面215上。NAE 200M包括NAE载体228和NAE基板229,该NAE基板229紧邻图像平面215。进入和离开NAE 200M的光束的数值孔径分别由箭头220U和箭头220L表示。准直器聚焦间隔件230用于在对中继部200L的对准期间优化对进入出射光瞳234的光的准直。在图3的分解光学布局中,出现在NAE基板229与准直器聚焦间隔件230之间的空间是为了清楚地说明,而不是旨在作为部件间间隙。事实上,NAE基板229和准直器聚焦间隔件230优选地接触,因为部件间间隙趋向于使投影仪的机械构造和组装复杂化,并且可能损害结构完整性以及防止潮湿和颗粒污染的密封性。

[0067] 穿过准直器聚焦间隔件230的光被偏振分束器(polarization beam splitter, PBS)231反射到反射准直透镜232上。准直的反射光束穿过PBS231和偏振操纵器233,到达出射光瞳234。偏振操纵器233是由诸如液晶致动器的偏振致动器335控制的偏振扰频器或有源聚焦设备。仅当激光器201具有明确定义的偏振时,才可能使用偏振操纵器233。

[0068] 对于图3的实施方式,图像平面215处的场曲率类似于图2(a)所示的场曲率,在图2A中线215A和线215B1的曲率具有相同的取向。照明部200U中的线215A的曲率主要由聚焦透镜223以及被会聚光照射的扫描镜224和扫描镜225来生成。中继部200L中的线215B1的曲率主要由反射准直透镜232来生成。由于中继部中的数值孔径相对较大,因此相比于照明部,中继部对场曲率散焦的贡献更大,并且因此必须对光束进行更紧密地补偿以防止图像劣化。为了使激光光斑尺寸最小并且使投影图像场中的图像分辨率最大,NAE基板229的物理曲率应当被设计成与线215B1的曲率基本相同。

[0069] 图4是在扫描的情况下图3的实施方式的光线追踪图。使扫描镜225倾斜以便照射观看者所观看的视场(FOV)的不同部分。确定图3的实施方式中的场透镜219的光功率,使得扫描镜224或扫描镜225的扫描平面是出射光瞳234的图像共轭。以这种方式,即使在扫描器进行离轴扫描期间,准直的光也会继续穿过出射光瞳234。

[0070] 图5示出了根据本发明第二实施方式的示例性激光投影仪300的光学布局。投影仪300包括三个部分:照明部300U、NAE 300M和中继部300L。如图3中所示的那样,扫描镜224和扫描镜225将光束引导至场透镜219,场透镜219使光束倾斜以便在扫描镜224或扫描镜225的共轭平面与出射光瞳234之间生成光瞳成像。NAE 300M包括NAE载体328和NAE基板329。进入和离开NAE 300M的光束的数值孔径由箭头320U和箭头320L指示。中继部300L包括折射元件332。准直的光穿过偏振操控器233和出射光瞳234。

[0071] 为了优化激光投影仪300的成像场上的分辨率,NAE基板329的曲率与图3中的NAE基板229的曲率取向相反。其原因如下。对于图5的实施方式,图像平面215处的场曲率类似于图2B所示的场曲率,其中,线215A和线215B2的曲率具有相反的取向。线215B2的场曲率主要由中继部300L中的折射元件332引入。

[0072] 箭头320L处的中继部中的数值孔径大于箭头320U处的照明部中的数值孔径。由于场深度(depth of field, DOF)与数值孔径成反比,因此与照明部的DOF相比,中继部的DOF相对较小,通常在0.1mm的数量级,而照明部的DOF通常在0.5mm的数量级。因此,NAE基板329的曲率主要由中继部的曲率控制,中继部的曲率的取向对应于由线215B2所表示的取向。确定NAE基板329的弯曲度,使得由于场曲率引起的散焦度在NAE基板的两侧上大致相同。NAE基板329的最佳表面形状在激光投影仪300的一些实现方式中可以是球面的,而在其他实现方式中可以是非球面的。

[0073] 图6是示出根据本发明原理的嵌入式NAE 600的构造细节的图。与现有技术的具有气隙的NAE相比,嵌入式NAE受到潮湿和污染的影响较小,并且机械上更坚固。尽管NAE 600的元件被示为具有平坦表面,但是这些表面也可以是弯曲的,例如,如分别在图3中的NAE基板229和图5中NAE基板329的情况下那样。元件350及元件356表示NAE 600附近的间隔件,其类似于图3中所示的间隔件227及间隔件230。

[0074] 进入和离开NAE 600的光的数值孔径分别由箭头360和箭头362示意性地指示。NAE平均扩展比R的值一般大于一并且通常在2至5的范围内。通过将粘合剂358施加到结合表面378上,NAE载体352粘附到NAE基板354上。NAE载体的折射率用 $n(352)$ 表示,并且粘合剂的折射率用 $n(358)$ 表示。如果粘合剂由折射率等于一的部件间间隙代替,如现有技术NAE中那样,则R值将减小等于 $[n(358) - n(352)] / [n(352) - 1]$ 的倍数。因此,引入部件间间隙将减小NAE平均扩展比R。

[0075] 图7A是根据现有技术的NAE表面376的图,其中该表面可以对应于漫射器或微透镜阵列(MLA)的表面。来自扫描激光器的入射光线368在平滑的区域处撞击表面376,并且散射使得数值孔径增加,如光线370所示。然而,入射光线369在相邻漫射器或微透镜之间的尖锐区域处撞击表面376。在这种情况下,除了正常散射光线372之外,散射还产生以广角衍射的光线375。这些光线会引起多重散射并且降低投影图像的一些像素中的图像对比度。

[0076] 图7B是根据本发明的嵌入式NAE表面378的图。表面378不存在尖锐的区域。在这种情况下,入射光线369产生光线372和光线374,光线372和光线374都有助于在离开NAE时数值孔径的期望增加。不存在如图7A的现有技术中那样以广角衍射的光线。因此,本发明的嵌入式NAE不会遭受现有技术漫射器或MLA所表现出的图像对比度降低。

[0077] 当将NAE表面378实现为MLA时,MLA上的照射光斑的全宽半最大直径优选地应当比相邻微透镜之间的间距大一到四倍,以避免衍射效应。

[0078] 透射通过图7B的NAE的光可能产生非均匀强度的照明。为了校正非均匀性,可以利用“漫射MLA”来实现NAE,在漫射MLA中漫射器叠加在MLA的通常弯曲的表面上。与MLA的光功率相比,漫射器的光功率优选地较小。例如,由漫射器提供的数值孔径扩展可以仅是MLA的数值孔径扩展的五分之一到三分之一。在根据上述公开的本发明原理构造的漫射MLA中,MLA的非均匀性被有效地平均掉,而漫射器的非均匀性是不显著的。

[0079] 图8A、图8B和图8C示出了根据本发明的用于具有多个激光束的激光投影仪的示例性照明部的示意性光学布局。激光器模块801发射光束401、光束402和光束403,这些光束具有例如对应于红色、绿色和蓝色照明的波长。通常,由在激光器模块801内以并排配置布置的三个相邻激光源发射光束。最外面的激光束通常间隔0.1mm或更多。对准激光器,使得它们的光束全部穿过聚焦透镜223,并且照射扫描镜224和扫描镜225。为了防止功率尖峰并且保持对每个发射光束的照明功率水平和稳定性的严格控制,通过光电检测器阵列412实时监测激光器模块801是必要的。

[0080] 在图8A中,光束401、光束402和光束403被部分反射表面406A部分反射。每个光束中的光的一部分透射通过表面406A,并且然后被表面408A反射并且被透镜410聚焦到光电检测器阵列412上。透镜410将激光器模块801中的多个激光器的源平面成像到光电检测器阵列412上,使得阵列412中的每个光电检测器接收与单个激光器相对应的光功率。为了减少光电检测器之间的光学串扰,优选地将一个或更多个光谱滤波器应用于阵列412,使得光电检测器阵列的不同部分对不同激光波长敏感。

[0081] 在图8B中,弯曲的反射表面408B将反射和聚焦两种功能组合在单个元件中,该元件替代了图8A的表面408A和透镜410。

[0082] 激光束(如由激光二极管发射的激光束)通常由“快”轴和“慢”轴表征,在“快”轴中光束发散角度相对较宽,而在“慢”轴中光束发散角度相对较窄。图8C示出了示意性光学布局,在该示意性光学布局中用于监测激光功率的光线是以大角度在快轴上发射的光线,这些光线不会撞击在扫描镜224和扫描镜225上。

[0083] 在图8C中,具有中心孔或孔径的反射镜414被定位成使得用于成像的光穿过中心孔并且被全(100%)反射镜406C朝向扫描镜反射。以大角度在快轴上发射的光被镜414反射,并且然后被透镜410聚焦到光电检测器阵列412上。包括仅从发散照射光束的一侧收集光的镜414的其他形状也是可能的。

[0084] 图8A、图8B和图8C中所示的示意性光学布局是示例性的,并且许多备选配置是可能的。例如,充当折叠反射器的反射元件406A、反射元件406B和反射元件406C被示出为在附图的平面中。然而,通常可以通过将反射元件放置在图的平面之外来实现更紧凑且更轻便高效的配置。此外,可以将阵列412和透镜410直接放置在图3中的反射器222C后面,由此消除对反射镜408的需要。

[0085] 图9A是根据本发明的激光投影仪和相关联的波导的部分的侧视图。在扫描镜224和扫描镜225通常是投影仪系统中的最小孔径的情况下,当扫描仪的扫描平面是出射光瞳234的图像共轭时,实现了最佳的光透射。如图9A所示,出射光瞳还用作波导450的入射光瞳。激光投影仪中的光学部件的尺寸和形状被确定成使得出射光瞳234与波导450的入射光瞳完全重叠。

[0086] 图9B是示出扫描镜的示例性旋转的激光投影仪的部分的透视图。在图9B中,使扫

描镜225相对于入射激光以及相对于激光投影仪的其他部件以90度角倾斜。还使出射光瞳234旋转,使得扫描镜225的扫描平面继续作为出射光瞳的图像共轭。

[0087] 图10A、图10B和图10C是示出纵轴光阑和横轴光阑的示例性实现方式的图,纵轴光阑和横轴光阑被配置成防止杂散光穿过投影仪的出射光瞳,在投影仪的出射光瞳处杂散光可能会造成图像失真和对比度劣化。光阑包括纵轴光阑464和横轴光阑460,其中纵轴指向波导厚度的方向,如图9A所示,并且横轴指向垂直于纵轴和波导内部的光传播方向的方向。

[0088] 在图10A中,杂散光可能由NAE中的广角散射生成,如箭头299所示。图10B是示出附接至耦合棱镜462的表面的横轴光阑460的俯视图。图10C是示出附接至耦合棱镜462的不同表面的纵轴光阑464的侧视图。

[0089] 在图10A至图10C中,横轴光阑460和纵轴光阑464相对于出射光瞳234的位置稍微移位。该位移是非期望的,因为这可能会允许一些散射的光穿过出射光瞳234并进入波导450。

[0090] 图11A至图11D是示出根据本发明的示例性光阑配置的图,在该示例性光阑配置中,将光阑紧邻出射光瞳234放置。各种光阑部件由460A、460B、460C和460D表示。

[0091] 在图11A、图11C和图11D中,将耦合棱镜放置在波导450旁边。在图11C中,横轴部件460C在耦合棱镜与波导450之间的界面上。这具有使纵轴光阑464能够非常靠近出射光瞳的优点。在图11B中,将耦合棱镜放置在波导450的顶部上。这具有使横轴光阑的部件460B能够非常靠近出射光瞳的优点。

[0092] 在图11D中,引入了附加的纵轴光阑部件460D,以阻挡不是源自NAE的杂散光。光阑部件460D通常比出射光瞳234宽,并且可以与光阑部件460B组合实现。

[0093] 图11A、图11B和图11C中的配置特别适合于激光投影仪的实施方式,在该实施方式中扫描镜基本上是分开的并且相对于投影仪中其他光学元件的孔径较小。

[0094] 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中限定的本发明的范围内,许多其他实施方式也是可能的。例如,投影仪的照明部中的照明源可以是激光器、发光二极管(LED)、微型LED和/或硅上液晶(LCOS)照明设备。作为另一示例,中继部与波导之间的耦合棱镜可以以反射模式而不是透射模式进行操作。此外,基于本文中公开的原理,除了在图6和图7B中明确示出的配置之外,NAE的许多其他配置也是可能的,这对于光学设计领域的技术人员将是明显的。

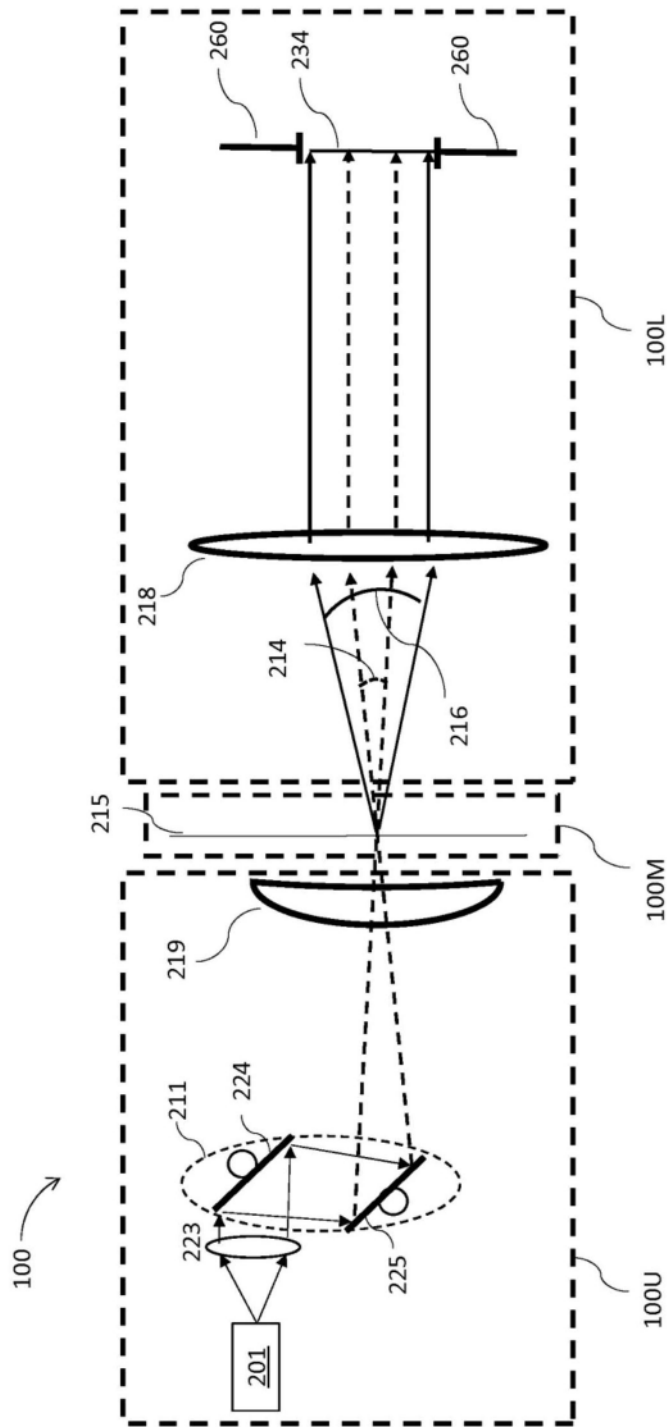


图1

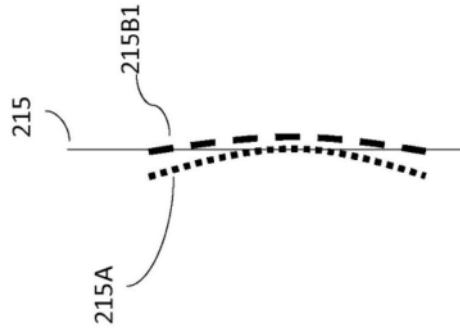


图2(a)

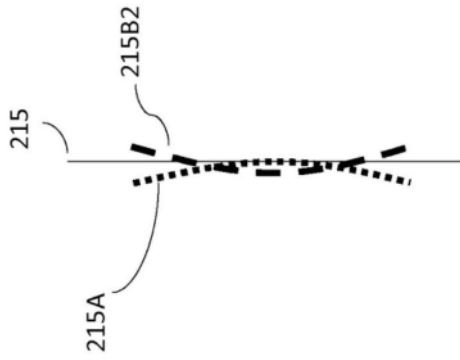


图2(b)

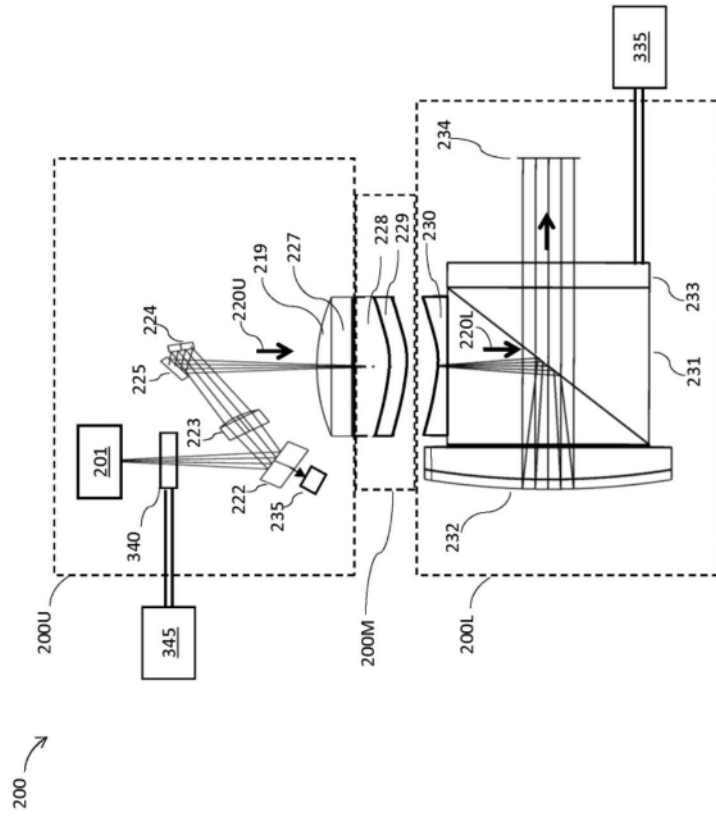


图3

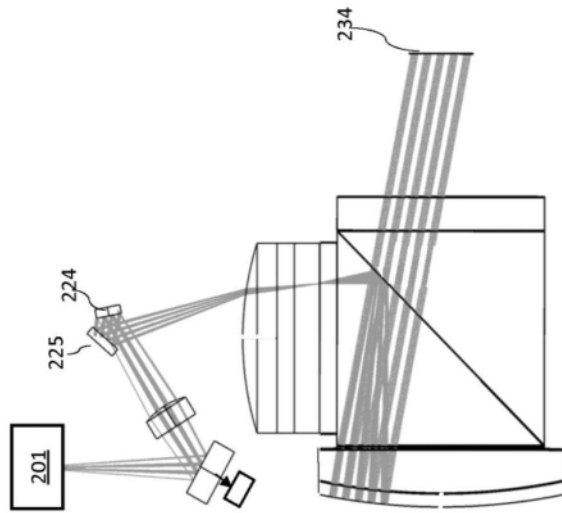


图4

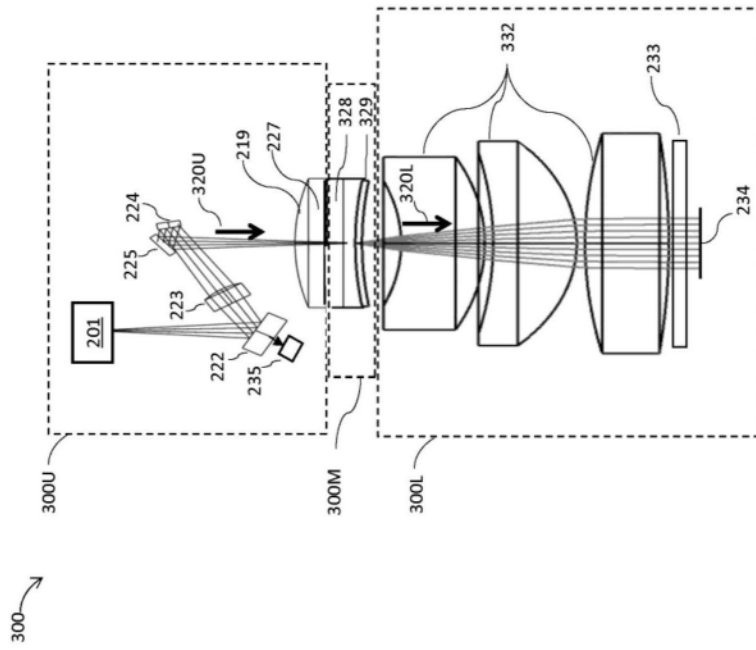


图5

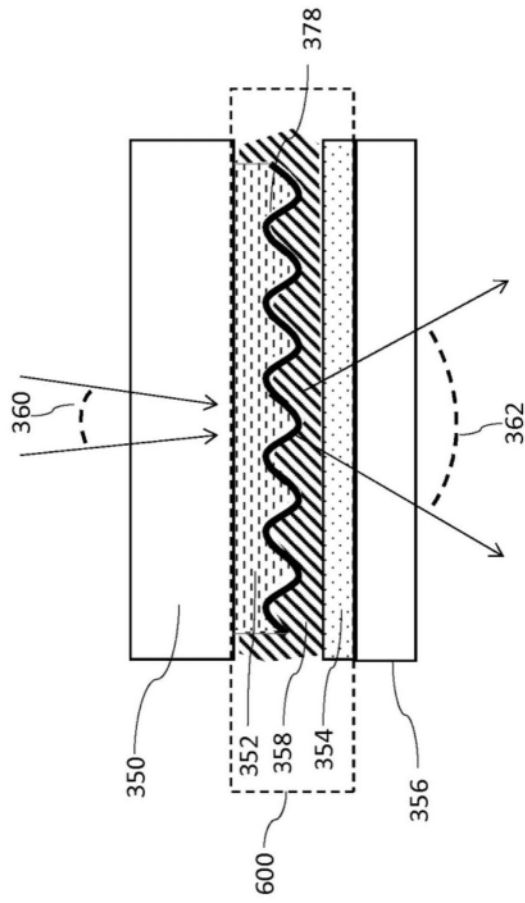


图6

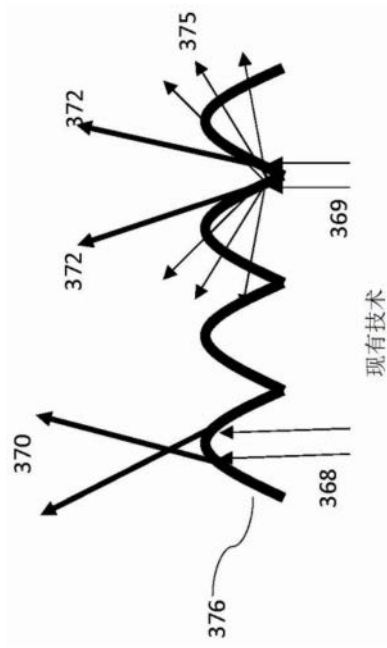


图7A

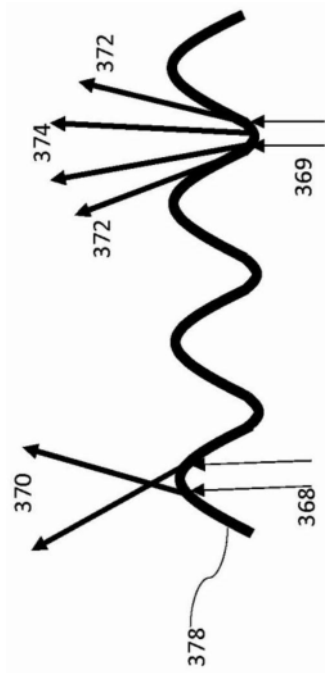


图7B

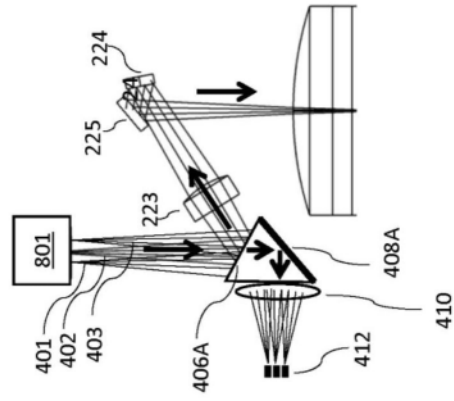


图8A

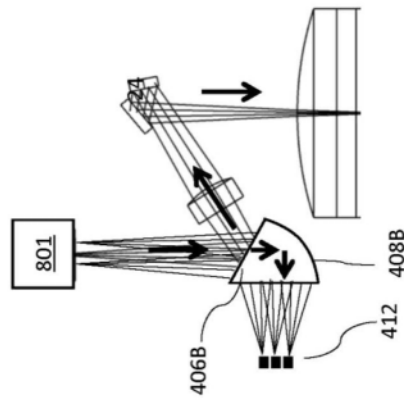


图8B

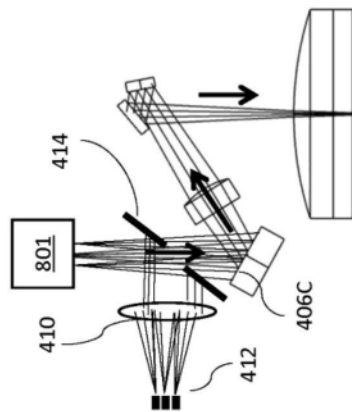


图8C

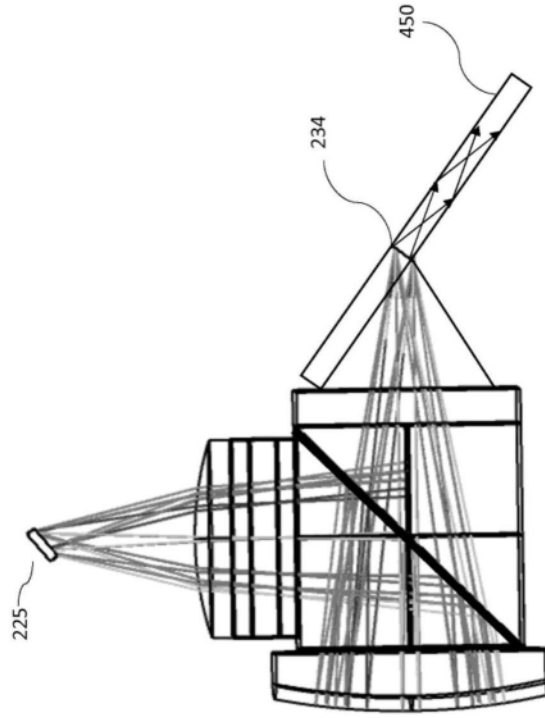


图9A

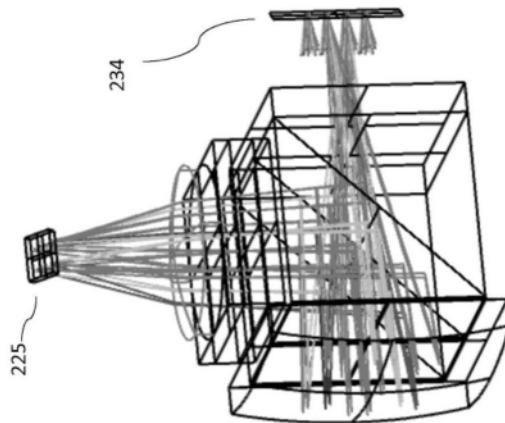


图9B

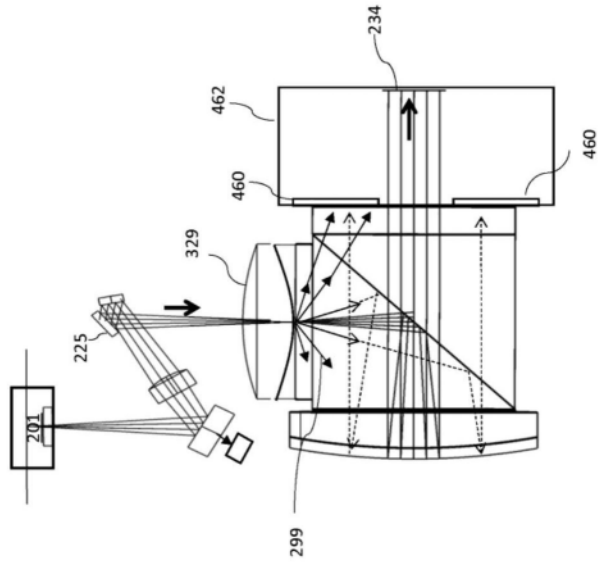


图10A

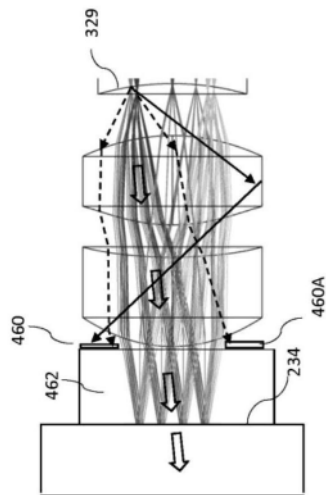


图10B

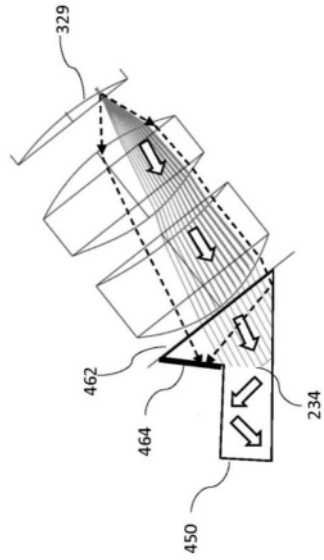


图10C

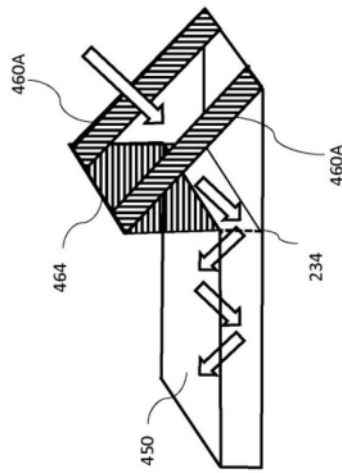


图11A

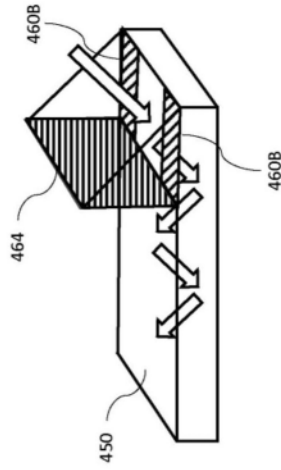


图11B

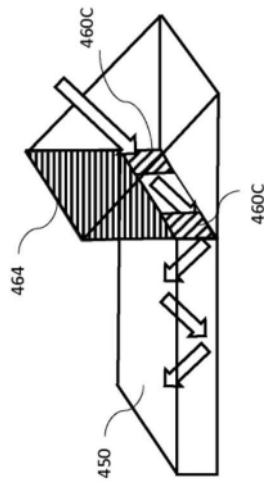


图11C

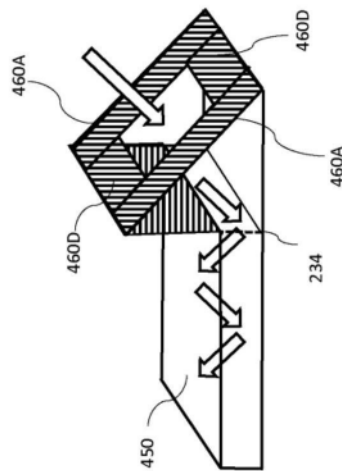


图11D