



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115166895 B

(45) 授权公告日 2023. 04. 07

(21) 申请号 202210038388.9

G02B 27/00 (2006.01)

(22) 申请日 2022.01.13

审查员 陈敏

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 115166895 A

(43) 申请公布日 2022.10.11

(73) 专利权人 北京驭光科技发展有限公司
地址 100088 北京市海淀区花园路甲13号
院7号楼12层1206-6

(72) 发明人 赵兴明 范真涛 田克汉

(74) 专利代理机构 北京方可律师事务所 11828
专利代理师 吴艳 陈俊

(51) Int. Cl.
G02B 6/10 (2006.01)
G02B 5/18 (2006.01)
G02B 27/01 (2006.01)

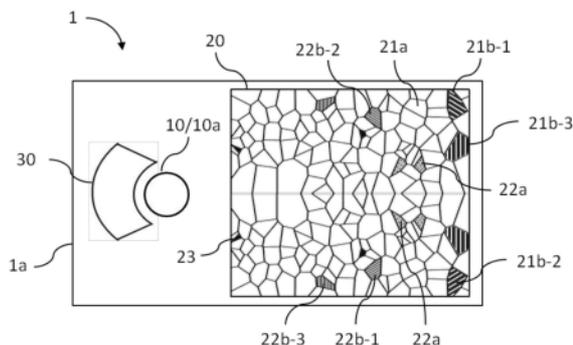
权利要求书3页 说明书11页 附图8页

(54) 发明名称

显示设备、显示用衍射光波导及其设计方法

(57) 摘要

本申请公开了一种显示用衍射光波导,其包括波导基板和设置在所述波导基板上的耦入区域和耦出区域,耦出区域形成有混合光栅并且包括多个分区,所述混合光栅包括分别形成在不同分区中的多个耦出光栅和至少一个回光光栅,其中所述至少一个回光光栅位于所述耦出光栅之间。根据本发明实施例,在耦出区域中将耦出光栅与回光光栅混合,一方面,回光光栅能够防止光能量离开耦出区域,从而有利于充分地将光能量通过耦出光栅耦出;另一方面,允许更加灵活地对耦出区域中传播的光进行重新定向/分配,从而有利于进一步提高衍射光波导的出射光场的均匀性。



1. 一种显示用衍射光波导,包括波导基板和设置在所述波导基板上的耦入区域和耦出区域,外部光束通过所述耦入区域被耦合到所述波导基板中并通过全反射进行传播,其中,所述耦入区域形成有耦入光栅,所述耦入光栅配置为将外部光束耦合到所述波导基板中,以使之通过全反射在所述波导基板内传播;

所述耦出区域形成有混合光栅并且包括多个分区,所述混合光栅包括分别形成在不同分区中的多个耦出光栅和至少一个回光光栅;

所述耦出光栅配置为将传播到其中的光的至少一部分通过衍射从所述波导基板耦出;

所述回光光栅配置为对来自所述耦出光栅的以一传播方向进入其中的光进行衍射,使之主要以与所述传播方向相反的方向返回;

其中所述至少一个回光光栅位于所述耦出光栅之间。

2. 如权利要求1所述的衍射光波导,其中,所述多个分区的数量大于等于20。

3. 如权利要求1所述的衍射光波导,其中,所述多个分区为规则的分区。

4. 如权利要求1所述的衍射光波导,其中,所述多个分区包括不规则的分区。

5. 如权利要求1所述的衍射光波导,其中,形成有所述回光光栅的分区各自具有小于人眼平均瞳孔面积的面积。

6. 如权利要求1所述的衍射光波导,其中,所述回光光栅的光栅周期为所述耦出光栅在相同方向上的光栅周期的一半。

7. 如权利要求1或6所述的衍射光波导,其中,所述至少一个回光光栅包括分别形成在不同分区中的多个二维回光光栅。

8. 如权利要求7所述的衍射光波导,其中,至少一个二维回光光栅具有与另一个二维回光光栅不同的光学结构。

9. 如权利要求7所述的衍射光波导,其中,所述至少一个回光光栅包括形成在不同分区中的多个一维回光光栅。

10. 如权利要求9所述的衍射光波导,其中,至少一个一维回光光栅具有与另一个一维回光光栅不同的光栅矢量;或者至少一个一维回光光栅具有与另一个一维回光光栅相同的光栅矢量和不同的光学结构。

11. 如权利要求1所述的衍射光波导,其中,所述多个耦出光栅包括分别形成在不同分区中的多个二维耦出光栅,并且至少一个二维耦出光栅具有与另一个二维耦出光栅不同的光学结构。

12. 如权利要求11所述的衍射光波导,其中,所述多个耦出光栅还包括形成在不同分区中的多个一维耦出光栅,所述一维耦出光栅的光栅周期与所述二维耦出光栅在相同方向上的光栅周期相同。

13. 如权利要求12所述的衍射光波导,其中,所述多个二维耦出光栅具有相同的第一光栅矢量、第二光栅矢量和第三光栅矢量,并且所述多个一维耦出光栅包括具有所述第一光栅矢量的第一一维光栅、具有所述第二光栅矢量的第二一维光栅和具有所述第三光栅矢量的第三一维光栅中的至少两者。

14. 如权利要求12或13所述的衍射光波导,其中,至少一个一维耦出光栅具有与另一个一维耦出光栅相同的光栅矢量和不同的光学结构。

15. 如权利要求1所述的衍射光波导,其中,所述耦出区域的至少一个分区形成为无衍

射结构的非衍射分区,并且每一个所述非衍射分区的面积小于人眼平均瞳孔面积。

16.如权利要求1所述的衍射光波导,其中,所述耦入光栅使所述外部光束在所述波导基板内传播并形成朝向所述混合光栅传播的第一路光和未朝向所述混合光栅传播的第二路光;并且所述衍射光波导还包括设置在所述波导基板上的耦入端回光光栅,所述耦入端回光光栅配置为对所述第二路光进行衍射,以使之朝向所述混合光栅传播。

17.一种显示设备,包括如权利要求1-16中任一项所述的衍射光波导。

18.如权利要求17所述的显示设备,其中,所述显示设备为近眼显示设备,并且包括镜片和用于将镜片保持为靠近眼睛的框架,所述镜片包括所述衍射光波导。

19.如权利要求17或18所述的显示设备,其中,所述显示设备为增强现实显示设备或虚拟现实显示设备。

20.一种显示用衍射光波导的设计方法,所述衍射光波导包括波导基板和形成在波导基板上的耦入光栅、耦出光栅和回光光栅,所述耦入光栅配置为将外部光束耦合到所述波导基板中,以使之通过全反射在所述波导基板内传播;

所述耦出光栅配置为将传播到其中的光的至少一部分通过衍射从所述波导基板耦出;

所述回光光栅配置为对来自所述耦出光栅的以一传播方向进入其中的光进行衍射,使之主要以与所述传播方向相反的方向返回;

其中,所述设计方法包括以下处理:

处理(1):对目标区域进行划分,形成多个分区;

处理(2):对所述多个分区进行分配,从中选择多个分区作为耦出分区,选择至少一个分区作为回光分区,至少一个所述回光分区位于所述多个耦出分区之间;以及

处理(3):在所述耦出分区中配置耦出光栅,在所述回光分区中配置回光光栅。

21.如权利要求20所述的设计方法,其中,所述多个分区的数量大于等于20。

22.如权利要求20所述的设计方法,其中,所述处理(1)包括对所述目标区域进行规则分区。

23.如权利要求20所述的设计方法,其中,所述处理(1)包括对所述目标区域的至少一部分进行不规则分区。

24.如权利要求20所述的设计方法,其中,所述处理(2)还包括:从所述多个分区中选择至少一个分区作为非衍射分区,并且每一个所述非衍射分区的面积小于人眼平均瞳孔面积。

25.如权利要求20所述的设计方法,其中,所述处理(3)中,所述在所述耦出分区中配置耦出光栅包括:在一部分耦出分区中配置二维耦出光栅,在另一部分耦出分区中配置一维耦出光栅。

26.如权利要求20所述的设计方法,其中,所述处理(2)中,选择多个分区作为回光分区;并且

所述处理(3)中,所述在所述回光分区中配置回光光栅包括:在一部分回光分区中配置二维回光光栅,在另一部分回光分区中配置一维回光光栅。

27.如权利要求20-26中任一项所述的设计方法,其中,所述处理(3)还包括:以所述耦出光栅的光学结构的至少一项参数以及所述回光光栅的光学结构的至少一项参数为优化变量,对所述耦出光栅和所述回光光栅进行优化处理,得到所述目标区域的优化结果,其中

所述优化处理的优化目标包括所述衍射光波导的出射光场的光能量分布均匀性和/或所述衍射光波导的光能量耦合效率。

28. 如权利要求27所述的设计方法,还包括:

处理(4):改变对所述目标区域的划分,形成新的多个分区,并基于所述新的多个分区,重复执行处理(2)和处理(3),得到多项优化结果;以及

处理(5):根据最符合所述优化目标的一项优化结果,确定所述衍射光波导的分区和对应的光栅的光学结构。

29. 如权利要求20所述的设计方法,其中,所述耦出光栅与所述回光光栅构成混合光栅,所述衍射光波导还包括设置在所述波导基板上的耦入端回光光栅,所述耦入光栅使所述外部光束在所述波导基板内传播并形成朝向所述混合光栅传播的第一路光和未朝向所述混合光栅传播的第二路光;所述耦入端回光光栅配置为对所述第二路光进行衍射,以使之朝向所述混合光栅传播;并且

所述设计方法还包括:对所述耦入光栅和所述耦入端回光光栅进行配置。

30. 如权利要求27所述的设计方法,其中,所述耦出光栅与所述回光光栅构成混合光栅,所述衍射光波导还包括设置在所述波导基板上的耦入端回光光栅,所述耦入光栅使所述外部光束在所述波导基板内传播并形成朝向所述混合光栅传播的第一路光和未朝向所述混合光栅传播的第二路光;所述耦入端回光光栅配置为对所述第二路光进行衍射,以使之朝向所述混合光栅传播;

所述设计方法还包括:对所述耦入光栅和所述耦入端回光光栅进行配置;并且

所述处理(3)中基于所述配置的耦入光栅和耦入端回光光栅,对所述耦出光栅和所述回光光栅进行优化处理。

显示设备、显示用衍射光波导及其设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及基于衍射的显示技术,特别是显示用的衍射光波导、显示设备以及衍射光波导设计方法。

背景技术

[0002] 随着半导体工艺的高度发展,人与计算机之间的交互方式正在飞速发展,其中增强现实(Augmented Reality,AR)显示可以提供给人类以更多维度的信息,得到人们的广泛关注。AR眼镜是增强现实显示领域的重要媒介之一。衍射光波导具有可量产性强、轻薄等优势,在AR显示领域逐渐得到认可,有望成为未来AR领域主流技术发展方向。

[0003] 目前用于AR显示的衍射光波导尚有不足之处。衍射光波导的整体光耦合效率不够高,导致AR显示的视场不够明亮。此外,现有的衍射光波导的耦出光栅的耦出效率在整个耦出光栅范围内基本上一致,这造成随着光传播过程中不断耦合出射,耦出的光通量会逐渐降低,从而导致人眼在衍射光波导的视窗中活动时观察到的图像出现明暗变化。为了提高衍射光波导的耦合效率以及改善出射光能量分布均匀性,人们提出了一种如图16所示的衍射光波导,其中在波导基底上设置有耦入光栅a、耦出光栅b和回光光栅c。耦入光栅a将载有图像信息的入射光耦入波导基底中。耦出光栅b一边将载有图像信息的光在波导基底所在的平面内扩展,一边将所述光从波导基底中耦出。回光光栅c设置在耦出光栅b的远离耦入光栅a的末端的周围,用于使离开耦出光栅b并继续在波导基底中传播的光返回耦出光栅b。然而,图16所示设计对衍射光波导的整体光耦合效率的提高仍然很有限。此外,耦出光栅b的出射光场容易呈现中央区域(如图15中虚线框所示)暗而周围区域亮的不均匀状态,导致显示效果不佳。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种显示用衍射光波导、包括该衍射光波导的显示设备以及衍射光波导的设计方法,以至少部分地克服了现有技术中的不足。

[0005] 根据本发明的一个方面,提供了一种显示用衍射光波导,其包括波导基板和设置在所述波导基板上的耦入区域和耦出区域,外部光束通过所述耦入区域被耦合到所述波导基板中并通过全反射进行传播,其中,所述耦入区域形成有耦入光栅,所述耦入光栅配置为将外部光束耦合到所述波导基板中,以使之通过全反射在所述波导基板内传播;所述耦出区域形成有混合光栅并且包括多个分区,所述混合光栅包括分别形成在不同分区中的多个耦出光栅和至少一个回光光栅;所述耦出光栅配置为将传播到其中的光的至少一部分通过衍射从所述波导基板耦出;所述回光光栅配置为对来自所述耦出光栅的以一传播方向进入其中的光进行衍射,使之主要以与所述传播方向相反的方向返回;其中所述至少一个回光光栅位于所述耦出光栅之间。

[0006] 有利地,所述多个分区的数量大于等于20。

[0007] 有利地,所述多个分区为规则的分区。

- [0008] 有利地,所述多个分区包括不规则的分区。
- [0009] 有利地,形成有所述回光光栅的分区各自具有小于人眼平均瞳孔面积的面积。
- [0010] 有利地,所述回光光栅的光栅周期为所述耦出光栅在相同方向上的光栅周期的一半。
- [0011] 有利地,所述至少一个回光光栅包括分别形成在不同分区中的多个二维回光光栅。
- [0012] 有利地,至少一个二维回光光栅具有与另一个二维回光光栅不同的光学结构。
- [0013] 有利地,所述至少一个回光光栅包括形成在不同分区中的多个一维回光光栅。
- [0014] 有利地,至少一个一维回光光栅具有与另一个一维回光光栅不同的光栅矢量;或者至少一个一维回光光栅具有与另一个一维回光光栅相同的光栅矢量和不同的光学结构。
- [0015] 有利地,所述多个耦出光栅包括分别形成在不同分区中的多个二维耦出光栅,并且至少一个二维耦出光栅具有与另一个二维耦出光栅不同的光学结构。
- [0016] 有利地,所述多个耦出光栅还包括形成在不同分区中的多个一维耦出光栅,所述一维耦出光栅的光栅周期与所述二维耦出光栅在相同方向上的光栅周期相同。
- [0017] 有利地,所述多个二维耦出光栅具有相同的第一光栅矢量、第二光栅矢量和第三光栅矢量,并且所述多个一维耦出光栅包括具有所述第一光栅矢量的第一一维光栅、具有所述第二光栅矢量的第二一维光栅和具有所述第三光栅矢量的第三一维光栅中的至少两者。
- [0018] 有利地,至少一个一维耦出光栅具有与另一个一维耦出光栅相同的光栅矢量和不同的光学结构。
- [0019] 有利地,所述耦出区域的至少一个分区形成为无衍射结构的非衍射分区,并且每一个所述非衍射分区的面积小于人眼平均瞳孔面积。
- [0020] 有利地,所述耦入光栅使所述外部光束在所述波导基板内传播并形成朝向所述混合光栅传播的第一路光和未朝向所述混合光栅传播的第二路光;并且所述衍射光波导还包括设置在所述波导基板上的耦入端回光光栅,所述耦入端回光光栅配置为对所述第二路光进行衍射,以使之朝向所述混合光栅传播。
- [0021] 根据本发明的另一个方面,提供了一种显示设备,其包括如上所述的衍射光波导。
- [0022] 有利地,所述显示设备为近眼显示设备,并且包括镜片和用于将镜片保持为靠近眼睛的框架,所述镜片包括所述衍射光波导。
- [0023] 有利地,所述显示设备为增强现实显示设备或虚拟现实显示设备。
- [0024] 根据本发明的又一个方面,提供了一种用于上述显示用衍射光波导的设计方法,所述设计方法包括以下处理:
- [0025] 处理(1):对目标区域进行划分,形成多个分区;
- [0026] 处理(2):对所述多个分区进行分配,从中选择多个分区作为耦出分区,选择至少一个分区作为回光分区,至少一个所述回光分区位于所述多个耦出分区之间;以及
- [0027] 处理(3):在所述耦出分区中配置耦出光栅,在所述回光分区中配置回光光栅。
- [0028] 有利地,所述多个分区的数量大于等于20。
- [0029] 有利地,所述处理(1)包括对所述目标区域进行规则分区。
- [0030] 有利地,所述处理(1)包括对所述目标区域的至少一部分进行随机分区。

[0031] 有利地,所述处理(2)还包括:从所述多个分区中选择至少一个分区作为非衍射分区,并且每一个所述非衍射分区的面积小于人眼平均瞳孔面积。

[0032] 有利地,所述处理(3)中,所述在所述耦出分区中配置耦出光栅包括:在一部分耦出分区中配置二维耦出光栅,在另一部分耦出分区中配置一维耦出光栅。

[0033] 有利地,所述处理(2)中,选择多个分区作为回光分区;并且所述处理(3)中,所述在所述回光分区中配置回光光栅包括:在一部分回光分区中配置二维回光光栅,在另一部分回光分区中配置一维回光光栅。

[0034] 有利地,所述处理(3)还包括:以所述耦出光栅的光学结构的至少一项参数以及所述回光光栅的光学结构的至少一项参数为优化变量,对所述耦出光栅和所述回光光栅进行优化处理,得到所述目标区域的优化结果,其中所述优化处理的优化目标包括所述衍射光波导的出射光场的光能量分布均匀性和/或所述衍射光波导的光能量耦合效率。

[0035] 有利地,所述设计方法还包括:

[0036] 处理(4):改变对所述目标区域的划分,形成新的多个分区,并基于所述新的多个分区,重复执行处理(2)和处理(3),得到多项优化结果;以及

[0037] 处理(5):根据最符合所述优化目标的一项优化结果,确定所述衍射光波导的分区和对应的光栅的光学结构。

[0038] 有利地,所述衍射光波导还包括设置在所述波导基板上的耦入端回光光栅,所述耦入光栅使所述外部光束在所述波导基板内传播并形成朝向所述混合光栅传播的第一路光和未朝向所述混合光栅传播的第二路光;所述耦入端回光光栅配置为对所述第二路光进行衍射,以使之朝向所述混合光栅传播,并且所述设计方法还包括:对所述耦入光栅和所述耦入端回光光栅进行配置。

[0039] 有利地,所述衍射光波导还包括设置在所述波导基板上的耦入端回光光栅,所述耦入光栅使所述外部光束在所述波导基板内传播并形成朝向所述混合光栅传播的第一路光和未朝向所述混合光栅传播的第二路光;所述耦入端回光光栅配置为对所述第二路光进行衍射,以使之朝向所述混合光栅传播;所述设计方法还包括:对所述耦入光栅和所述耦入端回光光栅进行配置;并且所述处理(3)中基于所述配置的耦入光栅和耦入端回光光栅,对所述耦出光栅和所述回光光栅进行优化处理。

[0040] 根据本发明实施例,在耦出区域中将耦出光栅与回光光栅混合,一方面,回光光栅能够防止光能量离开耦出区域,从而有利于充分地将光能量通过耦出光栅耦出;另一方面,允许更加灵活地对耦出区域中传播的光进行重新定向/分配,从而有利于进一步提高衍射光波导的出射光场的均匀性。

附图说明

[0041] 通过阅读参照以下附图所作的对非限制性实施例的详细描述,本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

[0042] 图1为根据本发明实施例的衍射光波导的一示例的示意图;

[0043] 图2示意性地示出二维耦出光栅的光栅矢量的示例;

[0044] 图3示意性地示出一维耦出光栅的光栅矢量的示例;

[0045] 图4示意性地示出二维回光光栅的光栅矢量的示例;

- [0046] 图5示意性地示出二维耦出光栅与二维回光光栅的光学结构排布周期的关系；
- [0047] 图6示意性地示出一维回光光栅的光栅矢量的示例；
- [0048] 图7为未经过耦出区域中回光光栅作用而被耦出的光的光学路径中的光栅矢量分析图；
- [0049] 图8为经过耦出区域中回光光栅作用而被耦出的光的光学路径中的光栅矢量分析图；
- [0050] 图9示意性地示出耦入光栅和耦入端回光光栅的光栅矢量；
- [0051] 图10为根据本发明实施例的衍射光波导的另一示例的示意图；
- [0052] 图11为根据本发明实施例一的衍射光波导设计方法的流程图；
- [0053] 图12为根据本发明实施例二的衍射光波导设计方法的流程图；
- [0054] 图13示意性地示出初始化的光栅的光学结构和优化后的光栅的光学结构的示例；
- [0055] 图14示出了对光学结构进行优化处理的示例性方法的流程图；
- [0056] 图15为根据本发明实施例三的衍射光波导设计方法的流程图；
- [0057] 图16为现有技术的用于显示的衍射光波导的示意图。

具体实施方式

[0058] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步的详细说明。可以理解的是，此处所描述的具体实施例仅仅用于解释相关发明，而非对该发明的限定。为了便于描述，附图中仅示出了与发明相关的部分。需要说明的是，在不冲突的情况下，本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0059] 图1示意性地示出根据本发明实施例的显示用衍射光波导的一示例，即衍射光波导1。如图1所示，衍射光波导1包括波导基板1a和设置在波导基板1a上的耦入区域10和耦出区域20。波导基板1a外部的光束通过形成在耦入区域10的耦入光栅10a被耦合到波导基板1a中并通过全反射在波导基板1a中进行传播，然后在耦出区域20中通过衍射从波导基板1a耦出。

[0060] 如图1所示，耦出区域20形成有混合光栅并且包括多个分区。根据本发明实施例，耦出区域20的混合光栅包括分别形成在不同分区中的多个耦出光栅21和至少一个回光光栅22，并且至少一个回光光栅22位于耦出光栅21之间。耦出光栅21配置为将传播到其中的光的至少一部分通过衍射从波导基板1a耦出。回光光栅22配置为对来自耦出光栅21的以一传播方向进入其中的光进行衍射，使之主要以与该传播方向相反的方向返回。

[0061] 根据本发明实施例，在耦出区域中将耦出光栅与回光光栅混合，使回光光栅能够被置于耦出光栅之间（回光光栅与耦出光栅可以形成在波导基板的不同的表面上）。这样，一方面，回光光栅能够防止光能量离开耦出区域，从而有利于充分地将光能量通过耦出光栅耦出，以提供例如更加明亮的显示；另一方面，混合在耦出光栅之中的回光光栅还允许更加灵活地对耦出区域中传播的光进行重新定向/分配，从而有利于进一步提高衍射光波导的出射光场的均匀性。

[0062] 有利地，在衍射光波导1的耦出区域20中形成数量较多的分区，从而使得上述“混合”的效果更佳。例如，耦出区域20的分区的数量优选大于等于20，更优选大于等于50。

[0063] 在图1所示示例中，耦出区域20包括多个不规则的分区。这些不规则的分区可以利

用计算机程序以随机的方式生成,并通过优化处理筛选而得到。相比于采用规则分区的情况,不规则分区不拘泥于划分分区的规则,从而能够具有更高的设计自由度,使得基于该不规则分区对衍射光波导的设计更容易趋近于最优解。当然,应该理解,根据本发明实施例的衍射光波导的耦出区域也可以包括规则的分区或者规则分区与不规则分区的组合。

[0064] 衍射光波导1中,形成有回光光栅22的各分区的面积优选小于人眼平均瞳孔面积,更优选小于人眼平均瞳孔面积的一半。这对于回光光栅与耦出光栅形成在波导基板的同一表面上的情况尤其有利。

[0065] 下面将结合图1以及图2至图9更加详细地介绍可用于根据本发明实施例的衍射光波导的耦出光栅和回光光栅。

[0066] 继续参照图1,衍射光波导1的耦出区域20中的多个耦出光栅21可以包括分别形成在不同分区中的多个二维耦出光栅(图1中对应未被填充的区域)21a。

[0067] 在本申请中,采用“光栅矢量”描述光栅结构的周期性特点,其中,“光栅矢量”的方向平行于光栅的结构周期性变化/布置所沿的方向(例如垂直于光栅刻线/线槽的方向)并且与光栅的正一级衍射光的传播方向一致;“光栅矢量”的大小为 $2\pi/d$,其中d为光栅结构在“光栅矢量”的方向上的周期,又称“光栅周期”。

[0068] 图2示意性地示出可用于根据本发明实施例的衍射光波导1的二维耦出光栅21a的光栅矢量的示例。二维光栅由在平面内呈二维周期布置的光学结构构成。在图2所示示例中,二维耦出光栅21a为光学结构呈六边形排布的光栅,其具有第一光栅矢量G1、第二光栅矢量G2和第三光栅矢量G3(见图2中所示箭头),可以等效为如图所示的三个一维光栅的叠加。在图2的图示中,为了清楚起见,将光栅矢量G1、G2、G3分开画出,但是应该理解,二维耦出光栅21a的任一处都同时存在/形成上述三个光栅矢量。应该理解,可用于根据本发明实施例的衍射光波导的耦出区域的二维耦出光栅并不限于采用光学结构呈六边形排布的光栅,而且也不限于具有三个光栅矢量的光栅。

[0069] 为了提高衍射光波导1的光耦合效率,优选地,多个二维耦出光栅21a具有彼此相同的光栅矢量。

[0070] 优选地,至少一个二维耦出光栅21a具有与另一个二维耦出光栅21a不同的光学结构。这里,二维光栅的不同光学结构可以包括具有不同的横截面形状、横截面尺寸以及/或者不同高度或深度(凸起形的光学结构的高度或凹陷形光学结构的深度)的光学结构。通过改变不同二维耦出光栅21a的光学结构,可以改变光栅的衍射效率,从而调节对应分区的光耦出效率,帮助提高衍射光波导的出射光场的均匀性。

[0071] 可选地,根据本发明优选实施例,耦出光栅21还可以包括形成在不同分区中的多个一维耦出光栅21b。图1中示出了具有不同光栅矢量的多种一维耦出光栅21b-1、21b-2和21b-3。图3示意性地示出一维耦出光栅21b-1、21b-2和21b-3的光栅矢量的示例。在图3所示示例中,一维耦出光栅21b-1具有第一光栅矢量G1,一维耦出光栅21b-2具有第二光栅矢量G2,一维耦出光栅21b-3具有第三光栅矢量G3。这里,第一光栅矢量G1、第二光栅矢量G2和第三光栅矢量G3即为同一耦出区域20中的二维耦出光栅21a的上述介绍的三个光栅矢量。相应地,这些一维耦出光栅21b的光栅周期与二维耦出光栅21a在相同方向上的光栅周期相同。

[0072] 应该理解的是,尽管图1中示出衍射光波导1的耦出光栅21包括分别具有所述光栅

矢量 G_1 、 G_2 和 G_3 的三种一维耦出光栅,但是耦出光栅21可以包括更少或更多种的一维耦出光栅,例如可以包括具有所述第一光栅矢量的第一一维光栅、具有所述第二光栅矢量的第二一维光栅和具有所述第三光栅矢量的第三一维光栅中的至少两者。

[0073] 从加工制造的角度来说,一维光栅相比于二维光栅更容易加工,对光栅设计的还原度更高。因此,根据本发明实施例,在耦出区域中结合采用一维和二维耦出光栅的衍射光波导更易于制造,有利于降低成本,提高成品率。

[0074] 此外,有利地,至少一个一维耦出光栅21b可以具有与另一个一维耦出光栅21b相同的光栅矢量和不同的光学结构。这里,一维光栅的不同光学结构可以包括具有不同的刻槽倾角、刻槽占空比以及/或者不同高度或深度(凸起形的光学结构的高度或凹陷形光学结构的深度)的光学结构。通过改变不同一维耦出光栅21b的光学结构,可以改变光栅的衍射效率,从而调节对应分区的光耦出效率,帮助提高衍射光波导的出射光场的均匀性。

[0075] 根据本发明实施例的衍射光波导1中,耦出区域20中的回光光栅22的光栅周期为耦出光栅21在相同方向上的光栅周期的一半。如图1所示,回光光栅22可以包括形成在不同分区中的多个二维回光光栅22a。作为替代或补充,回光光栅22可以包括形成在不同分区中的多个一维回光光栅22b。图1中示出了具有不同光栅矢量的多种一维回光光栅22b-1、22b-2和22b-3。

[0076] 图4示意性地示出可用于根据本发明实施例的衍射光波导1的二维回光光栅22a的光栅矢量的示例;图5示意性地示出二维耦出光栅21a与二维回光光栅22a的光学结构排布周期的关系。结合参照图4和图5,二维回光光栅22a的排布周期 T_x' 、 T_y' 分别为二维耦出光栅21a在相同方向上的排布周期 T_x 、 T_y 的一半;相应地,二维回光光栅22a的光栅周期分别为二维耦出光栅21a在相同方向上的光栅周期的一半。从图4所示光栅矢量来看,二维回光光栅22a具有第一回光光栅矢量 G_1' 、第二回光光栅矢量 G_2' 和第三回光光栅矢量 G_3' (见图4中所示箭头),并且光栅矢量 G_1' 、 G_2' 、 G_3' 的方向与二维耦出光栅21a的光栅矢量 G_1 、 G_2 、 G_3 相同,并且大小为后者的两倍。

[0077] 优选地,至少一个二维回光光栅22a具有与另一个二维回光光栅22a不同的光学结构,例如具有不同的横截面形状、横截面尺寸以及/或者不同高度或深度的光学结构。这样可以调节不同分区中回光的效率,有利于实现更加精细的光的重新定向和分配,帮助提高衍射光波导的出射光场的均匀性。

[0078] 图1中示出了具有不同光栅矢量的多种一维回光光栅22b-1、22b-2和22b-3。图6示意性地示出一维回光光栅22b-1、22b-2和22b-3的光栅矢量的示例。在图6所示示例中,一维回光光栅22b-1具有第一回光光栅矢量 G_1' ,一维回光光栅22b-2具有第二回光光栅矢量 G_2' ,一维回光光栅22b-3具有第三回光光栅矢量 G_3' 。这里,第一回光光栅矢量 G_1' 、第二回光光栅矢量 G_2' 和第三回光光栅矢量 G_3' 即为二维回光光栅22a的上述介绍的三个光栅矢量。

[0079] 尽管图1中示出分别具有光栅矢量 G_1' 、 G_2' 、 G_3' 的三种一维回光光栅,但是根据本发明实施例的衍射光波导中,耦出区域20的回光光栅22可以包括更少或更多种的一维回光光栅。

[0080] 优选地,至少一个一维回光光栅22b具有与另一个一维回光光栅22b不同的光栅矢量。

[0081] 优选地,至少一个一维回光光栅22b具有与另一个一维回光光栅22b相同的光栅矢量和不同的光学结构,例如具有不同的刻槽倾角、刻槽占空比以及/或者不同高度或深度的光学结构。这样可以调节不同分区中回光的效率,有利于实现更加精细的光的重新定向和分配,帮助提高衍射光波导的出射光场的均匀性。而且,由于一维光栅相比于二维光栅更容易加工,对光栅设计的还原度更高,所以有利于降低成本,提高成品率。

[0082] 图7示出衍射光波导1中未经过耦出区域中回光光栅作用时被耦出的光的三种光学路径的光栅矢量分析图(分别见图7中的图形(a)、图形(b)和图形(c));图8示出衍射光波导1中经过耦出区域中回光光栅作用时被耦出的光的三种光学路径的光栅矢量分析图(分别见图8中的图形(a)、图形(b)和图形(c))。图7和图8中所示光栅矢量 G_{10} 为耦入光栅10a的光栅矢量。应该理解,图7和图8中所示光栅矢量 G_1 、 G_2 、 G_3 以及它们的相反矢量 $-G_1$ 、 $-G_2$ 、 $-G_3$ 可以是由于二维耦出光栅21a的作用,也可以是由于一维耦出光栅21b的作用;图8所示光栅矢量 $-G_1'$ 、 $-G_2'$ 、 $-G_3'$ 可以由于二维回光光栅22a的作用,也可以是由于一维回光光栅22b的作用。

[0083] 如图7和图8所示,衍射光波导1中,经由耦入光栅10a耦入并在耦出区域20经过耦出光栅21的作用或者耦出光栅21与回光光栅22的共同作用而从波导基板1a耦出的光,其光学路径中,发生衍射的光栅的光栅矢量和为零。这样,从波导基板1a耦出的光保持与入射到耦入光栅10a上的光相同的角度,从而能够还原入射的光所承载有的显示信息。

[0084] 返回参照图1,除了耦出光栅21和回光光栅22,耦出区域20还可以在至少一个分区中形成无衍射结构的非衍射分区23。每一个非衍射分区23的面积优选小于人眼平均瞳孔面积,更优选小于人眼平均瞳孔面积的一半。

[0085] 此外,参照图1,根据本发明实施例的衍射光波导1还可以包括设置在波导基板1a上的耦入端回光光栅30。衍射光波导1的耦入光栅10a构造为对入射其上的外部光束进行衍射,通过例如正一级衍射形成朝向耦出区域20中的混合光栅传播的第一路光,同时其例如未被完全抑制的负一级衍射还形成未朝向混合光栅传播的第二路光。耦入端回光光栅30配置为对未朝向混合光栅传播的第二路光进行衍射,以使之朝向混合光栅传播。

[0086] 图9示意性地示出耦入光栅10a的光栅矢量 G_{10} 和耦入端回光光栅30的光栅矢量 G_{30} 。在图9所示示例中,耦入光栅10a和耦入端回光光栅30均为一维光栅,光栅矢量 G_{30} 的方向与光栅矢量 G_{10} 的方向相同,而其大小为光栅矢量 G_{10} 的两倍。如图9所示,光依次经过耦入光栅10a以及耦入端回光光栅30的衍射,其光学路径中的光栅矢量和等于耦入光栅10a的光栅矢量 G_{10} 。耦入端回光光栅30有利于提高整个衍射光波导1的光耦合效率。

[0087] 仅为示例的目的,图10示出根据本发明实施例的衍射光波导的另一示例,即衍射光波导1'。如图10所示,衍射光波导1'包括波导基板1a'和设置在波导基板1a'上的耦入区域10'和耦出区域20'。衍射光波导1'可以与参照图1介绍的衍射光波导1具有基本上相同的结构,不同之处在于:衍射光波导1'中耦出区域20'的分区为规则分区。

[0088] 此外,如图10所示,根据本发明实施例的衍射光波导1'的耦入区域10'可以相对于耦出区域20'非对中设置。

[0089] 根据本发明实施例的衍射光波导可以应用于显示设备中。这样的显示设备例如为近眼显示设备,其包括镜片和用于将镜片保持为靠近眼睛的框架,其中镜片可以包括如上介绍的根据本发明实施例的衍射光波导。优选地,显示设备可以为增强现实显示设备或虚

拟现实显示设备。

[0090] 下面,参照图11至图15介绍根据本发明实施例的显示用衍射光波导的设计方法。

[0091] 图11为根据本发明实施例一的衍射光波导设计方法M100的流程图。设计方法M100可以用于根据本发明实施例的衍射光波导的设计。如图11所示,设计方法M100包括以下处理:

[0092] S110:对目标区域进行划分,形成多个分区;

[0093] S120:对多个分区进行分配,从中选择多个分区作为耦出分区,选择至少一个分区作为回光分区,使得至少一个所述回光分区位于多个耦出分区之间;以及

[0094] S130:在耦出分区中配置耦出光栅,在回光分区中配置回光光栅。

[0095] 这里,“目标区域”对应于根据本发明实施例的衍射光波导的耦出区域。根据本发明实施例,对目标区域的划分可以是规则划分/分区,也可以是随机划分/分区。相应地,处理S110可以包括对目标区域进行规则分区,也可以包括对目标区域进行随机分区;或者,处理S110可以包括对目标区域的一部分进行随机分区,对另一部分进行规则分区。仅作为举例,划分时可以按照预定的分区规则对耦出区域进行划分而形成分区,也可以是通过计算机程序根据一定的预设条件生成分区。例如,基于预定的分区数量,通过在目标区域(耦出区域)中进行随机撒点形成分区种子,然后基于这些分区种子生成例如维诺分区图,并对应维诺分区图形成耦出区域的多个分区。应该理解,根据本发明的设计方法并不限于特定的划分规则或方法。

[0096] 优选地,通过处理S110对目标区域形成数量较多的分区,例如数量大于等于20,更优选地数量大于等于50。

[0097] 处理S120中可以选择多个分区作为回光分区。优选地,选择多个分区中面积小于人眼平均瞳孔面积的分区作为回光分区;更优选地,选择面积小于人眼平均瞳孔面积一半的分区作为回光分区。

[0098] 根据本发明的其它实施例,处理S120中还可以包括:从多个分区中选择面积小于人眼平均瞳孔面积的至少一个分区作为非衍射分区;优选地,选择面积小于人眼平均瞳孔面积一半的分区作为非衍射分区。非衍射分区中不形成衍射结构。

[0099] 在确定了耦出分区和回光分区之后,进入处理S130。

[0100] 在处理S130中,可以在一部分耦出分区中配置二维耦出光栅,在另一部分耦出分区中配置一维耦出光栅。优选地,配置多个二维耦出光栅,使得它们具有彼此相同的光栅矢量。

[0101] 此外,优选地,配置一维耦出光栅,使得它们的光栅周期与二维耦出光栅在相同方向上的光栅周期相同。例如,可以配置具有第一光栅矢量、第二光栅矢量和第三光栅矢量的二维耦出光栅,并且配置具有第一光栅矢量的第一一维光栅、具有第二光栅矢量的第二一维光栅和具有第三光栅矢量的第三一维光栅中的至少两者。

[0102] 在处理S130中,可以在回光分区中配置二维回光光栅,也可以配置一维回光光栅。优选地,可以在一部分回光分区中配置二维回光光栅,在另一部分回光分区中配置一维回光光栅。

[0103] 根据本发明实施例,配置回光光栅,使得它们的周期为耦出光栅在相同方向上的光栅周期的一半,这意味着回光光栅具有与耦出光栅方向相同且大小为后者两倍的光栅矢

量。优选地,配置多个二维回光光栅,使得它们具有彼此相同的光栅矢量。

[0104] 此外,优选地,配置一维耦出光栅,使得它们的光栅周期与二维耦出光栅在相同方向上的光栅周期相同。例如,可以配置具有第一光栅矢量、第二光栅矢量和第三光栅矢量的二维耦出光栅,并且配置具有第一光栅矢量的第一一维光栅、具有第二光栅矢量的第二一维光栅和具有第三光栅矢量的第三一维光栅中的至少两者。

[0105] 此外,如以上介绍的,根据本发明实施例的衍射光波导可以包括耦入端回光光栅,耦入端回光光栅配置为对来自耦入光栅的第二路光进行衍射,以使之朝向混合光栅传播;相应地,根据本发明实施例的设计方法M100还可以包括对耦入光栅和耦入端回光光栅进行配置。应该理解,设计方法M100中对耦入光栅和耦入端回光光栅的配置可以在以上介绍的处理S110、S120和/或S130之前或之后进行,也可以与这些处理并行地进行。

[0106] 图12为根据本发明实施例二的衍射光波导设计方法M200的流程图。如图12所示,设计方法M200包括以下处理:

[0107] S210:对目标区域进行划分,形成多个分区;

[0108] S220:对多个分区进行分配,从中选择多个分区作为耦出分区,选择至少一个分区作为回光分区,使得至少一个所述回光分区位于多个耦出分区之间;

[0109] S231:在耦出分区中初始化耦出光栅,在回光分区中初始化回光光栅;以及

[0110] S232:以耦出光栅的光学结构的至少一项参数以及回光光栅的光学结构的至少一项参数为优化变量,对耦出光栅和回光光栅进行优化处理,得到所述目标区域的优化结果。

[0111] 处理S210和S220可以与图11所示设计方法M100中的处理S110和S120相同或类似,在此不再赘述。

[0112] 设计方法M200与设计方法M100的不同之处在于:设计方法M200中在通过处理S231对光栅进行初始的配置之后,进一步通过处理S232对光栅光学结构进行优化处理,以实现光栅的优化的配置。

[0113] 处理S231的相关内容和实现方式可以与以上就设计方法M100的处理S130所介绍的相同,在此不再赘述。

[0114] 处理S232中,优化处理的优化目标可以包括衍射光波导的出射光场的光能量分布均匀性。在一些实现方式中,可以采用人眼视窗的范围(能够看到图像的人眼活动范围)内的光能量分布非均匀性来表征衍射光波导的出射光场的光能量分布均匀性。在另一些实现方式中,可以采用人眼在任一位置能够接收/看到的视角范围内的光能量均匀性来表征衍射光波导的出射光场的光能量分布均匀性。在其它实现方式中,也可以结合采用上述两者表征光能量分布均匀性的方式,例如通过加权计算。

[0115] 作为替代或补充,优化处理的优化目标可以包括光能量耦合效率。若进入衍射光波导的耦入光栅的入射光能量为 I_{in} ,从耦出光栅出射的总光能量为 I_E ,则衍射光波导的光能量耦合效率为 $r = I_E / I_{in}$ 。作为示例,根据本发明实施例的衍射光波导设计方法1可以将光能量耦合效率 r 大于或等于一预定值作为优化目标之一。

[0116] 优化变量可以包括耦出光栅和回光光栅的光学结构的横截面形状及/或横截面尺寸、刻槽倾角及/或占空比、以及/或者光学结构的高度或深度等参数。

[0117] “优化处理”在这里指的是这样一个处理过程:通过改变优化变量(例如光栅光学结构的至少一个参数)的赋值获得对应于优化目标的多个评价结果(例如表示光能量分布

均匀性及/或光能量耦合效率的量值),并以是否符合优化目标为标准,选择其中一个评价结果并将该结果对应的优化变量的赋值以及其它参数(例如分区的情况)作为优化结果。

[0118] 仅为示例目的,在图13中示意性地示出在设计方法M200中初始化的耦出光栅/回光光栅的光学结构(见图13中左侧图形所示六边形排布的横截面为正方形的光学结构A)和优化之后的耦出光栅/回光光栅的光学结构B(见图13中右侧图形所示呈相同的六边形排布的横截面为不规则形状并具有增大的横截面尺寸的光学结构B)。在图13所示示例中,以至少包括光学结构的横截面形状和尺寸的参数作为优化变量进行优化。举例而言,在优化过程中,从初始化的光学结构A开始,可以采用遗传算法(GA)、粒子群算法(PSO)、模拟退火算法(SA)等来改变光学结构的横截面形状和尺寸等参数,基于改变之后的参数进行仿真计算,得到例如光能量分布均匀性指标和/或光能量耦合效率指标,并根据指标与优化目的的符合程度来确定优化之后的光学结构,例如得到图13中右侧图形所示的结构B。

[0119] 为了便于理解,图14示出了对光学结构进行优化处理的示例性方法M10的流程图。在例如设计方法M200中通过处理S231对耦出光栅和回光光栅初始化之后,可以执行方法M10以对光学结构进行优化处理。如图14所示,根据方法M10,首先执行处理S11,其中基于初始化的光栅,计算并记录仿真计算得到的光能量分布均匀性指标 γ_0 和/或光能量耦合效率指标 r_0 ,记录为最优结果。然后,在处理S12中改变光栅(例如耦出光栅和回光光栅)优化变量(二维光栅的光学结构的横截面/形貌、深度/高度等;一维光栅的光学结构的占空比、深度/高度等),并在处理S13中计算改变优化变量之后的当前仿真结果,即光能量分布均匀性指标 γ_i 和/或光能量耦合效率指标 r_i 。接下来,在处理S14中判断当前仿真结果是否优于所记录的最优结果,并且判断结果是当前仿真结果优于最优结果,则执行处理S15,即将当前仿真结果记录为最优结果,同时将计数复位为0;如果当前仿真结果不优于最优结果,则进入处理S16,其中将计数+1。处理S15和处理S16执行完成之后均进入处理S17,其中判断计数是否大于预定值n。如果计数大于预定值n,则进入处理S18将最后记录的最优结果对应的优化变量的赋值以及其它参数作为优化处理方法M10的优化结果输出。

[0120] 应该理解,上述参照图14介绍的方法M10仅为示例性的,而非限制性的;本发明在优化处理的实现方式方面不受上述示例的限制。

[0121] 此外,如以上介绍的,根据本发明实施例的衍射光波导可以包括耦入端回光光栅,耦入端回光光栅配置为对来自耦入光栅的第二路光进行衍射,以使之朝向混合光栅传播;相应地,根据本发明实施例的设计方法M200还可以包括对耦入光栅和耦入端回光光栅进行配置;并且处理232中基于所配置的耦入光栅和耦入端回光光栅,对耦出光栅和回光光栅进行优化处理。在一些实施例中,设计方法M200中对耦入光栅和耦入端回光光栅的配置在处理S232之前进行;在另一些实施例中,可以同时或以一定次序地与改变耦出区域的耦出光栅和回光光栅的光学结构以及改变耦入光栅、耦入端回光光栅的光学结构,从而实现对这些光栅的优化处理。

[0122] 根据本发明实施例的衍射光波导设计方法在对光栅结构进行优化的同时,还可以进一步结合例如对目标区域的分区的优化。仅为示例的目的,在图15中示出根据本发明实施例三的衍射光波导设计方法M300的流程图。

[0123] 设计方法M300的处理S310、S320、S331、S332与参照图12介绍的设计方法M200的处理S210、S220、S231、S232相同,在此不再赘述。

[0124] 与设计方法M200相比,设计方法M300进一步包括处理S340,其中改变对目标区域的划分,形成新的多个分区。如图15所示,方法M300设计为在处理S340之后返回处理S320以基于新的多个分区,重复执行处理S320至处理S332,得到多项优化结果。

[0125] 设计方法M300还包括处理S350,其中根据最符合优化目标的一项优化结果,确定衍射光波导的分区和对应的光栅的光学结构。

[0126] 设计方法M300在处理S332之后可以执行一项判断处理S335,并根据判断的结果决定是执行处理S340,还是进入处理S350。在图15所示示例中,判断S335为“是否遍历预设的分区方式”,如果判断结果为“否”则进入处理S340,如果判断结果为“是”则进入处理S350。然而,应该理解,上述的判断S335中的判断条件仅为示例性的,而非限制性的。例如,上述判断也可以是分区数量是否遍历预定范围等等。

[0127] 以上描述仅为本申请的较佳实施例以及对所运用技术原理的说明。本领域技术人员应当理解,本申请中所涉及的发明范围,并不限于上述技术特征的特定组合而成的技术方案,同时也应涵盖在不脱离所述发明构思的情况下,由上述技术特征或其等同特征进行任意组合而形成的其它技术方案。例如上述特征与本申请中公开的(但不限于)具有类似功能的技术特征进行互相替换而形成的技术方案。

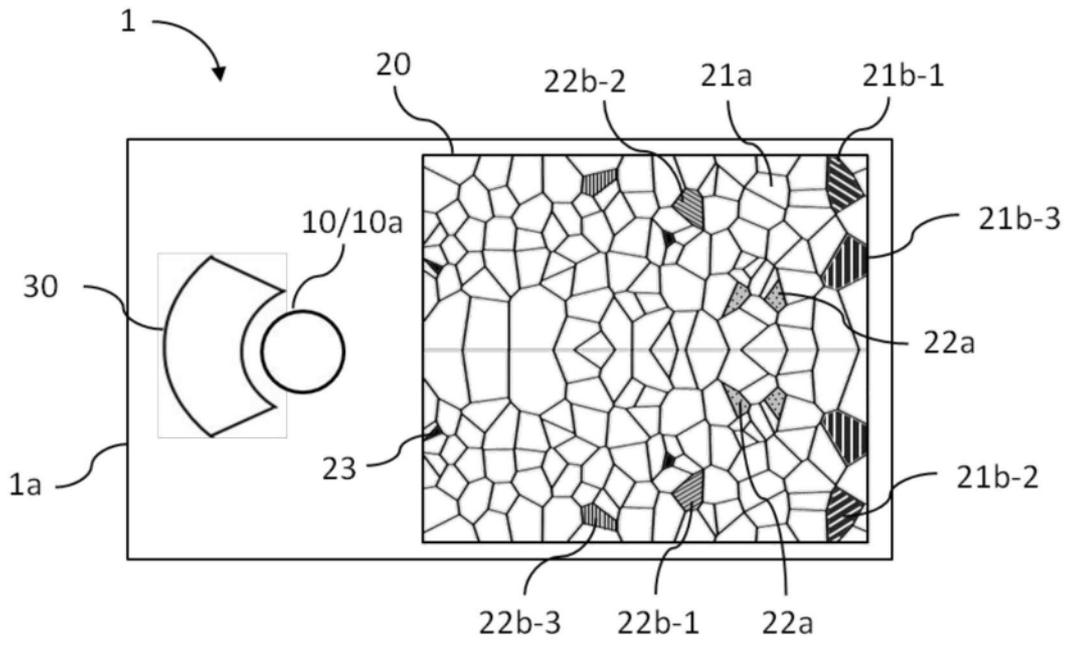


图1

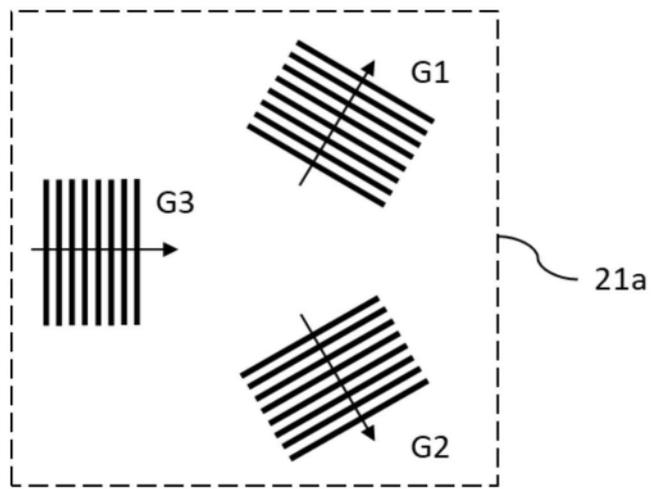


图2

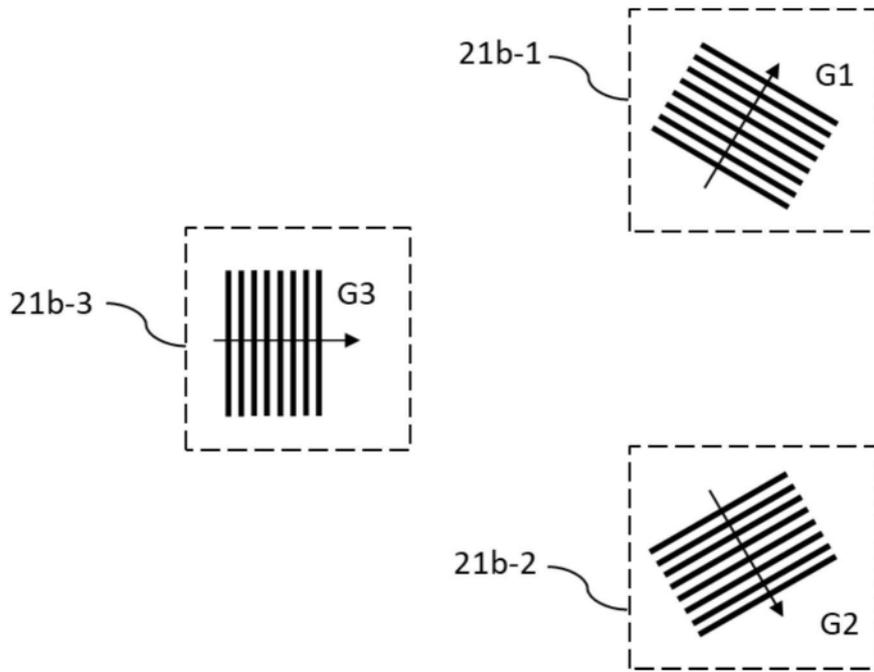


图3

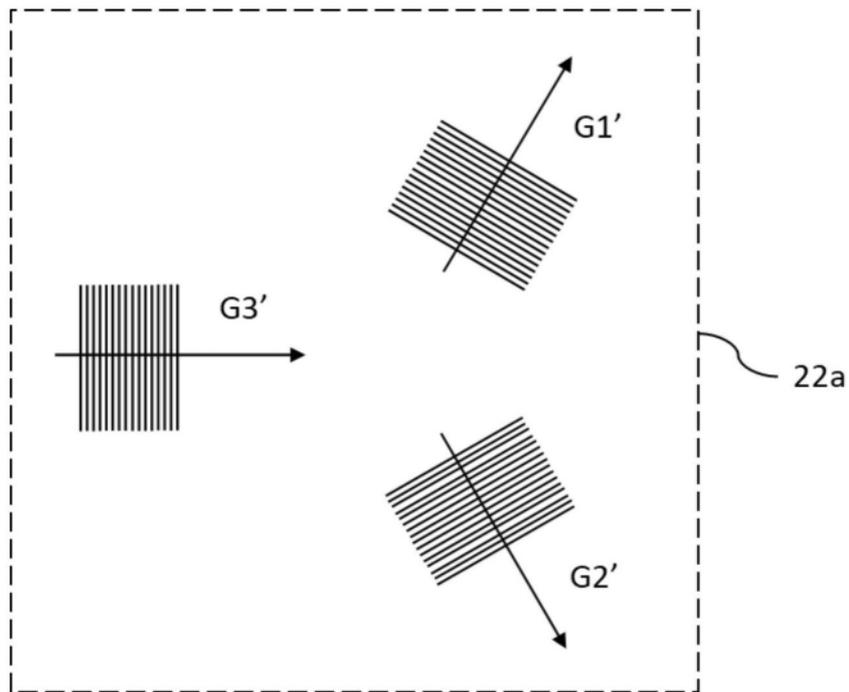


图4

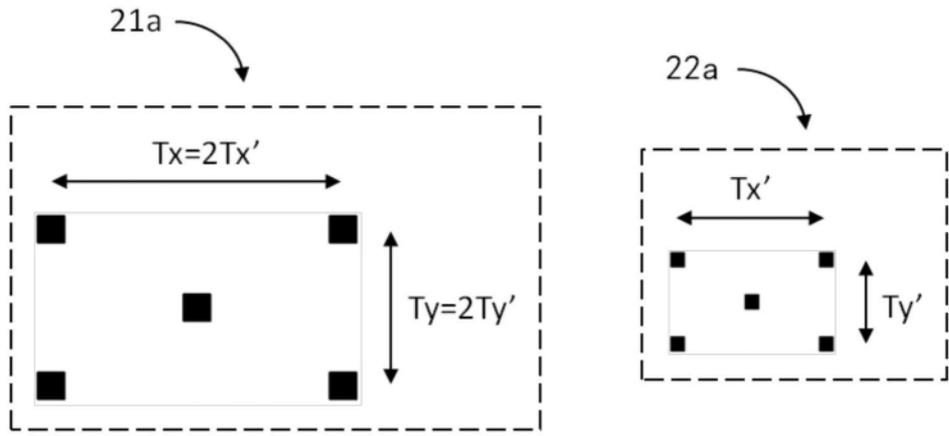


图5

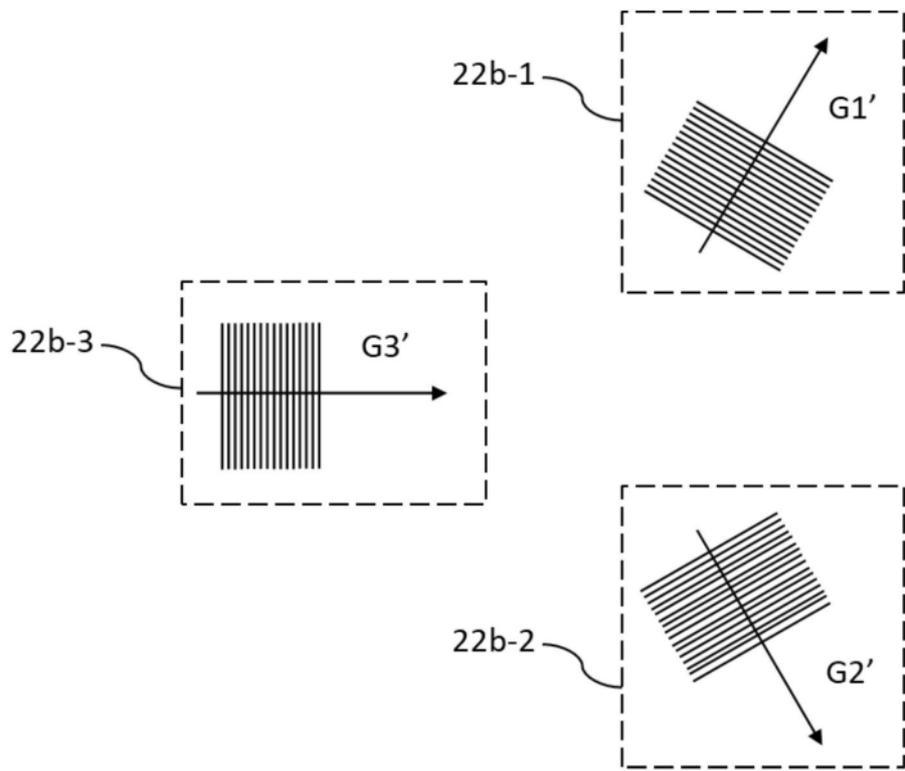


图6

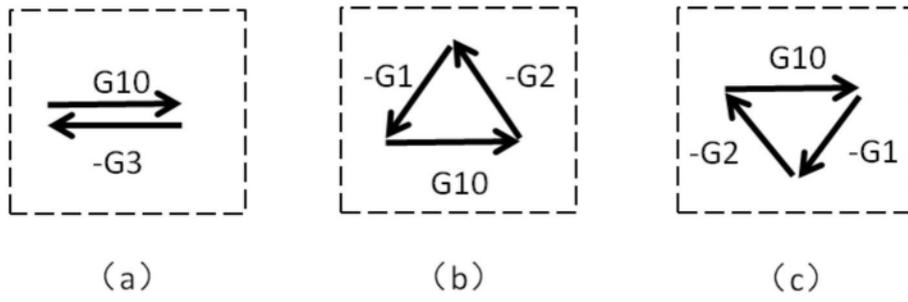


图7

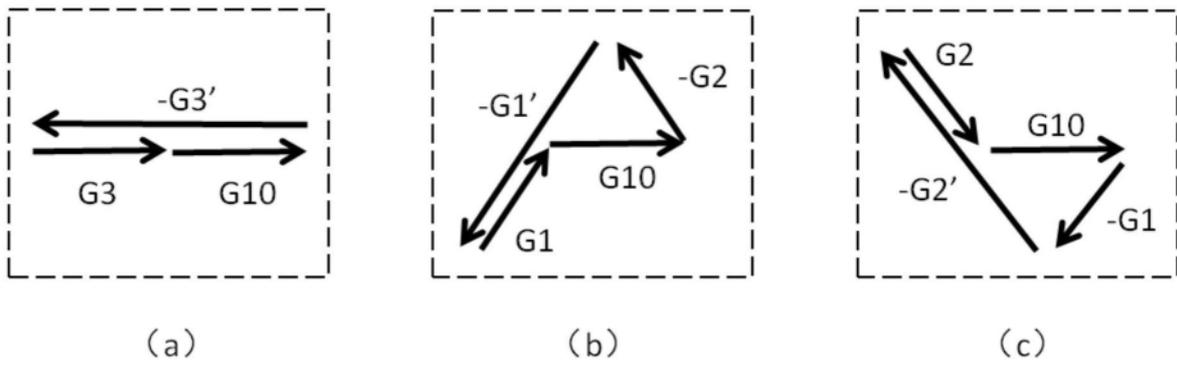


图8

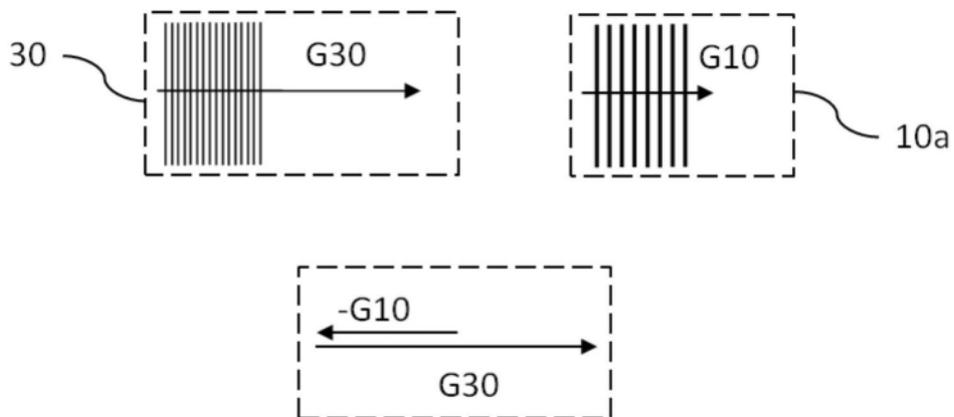


图9

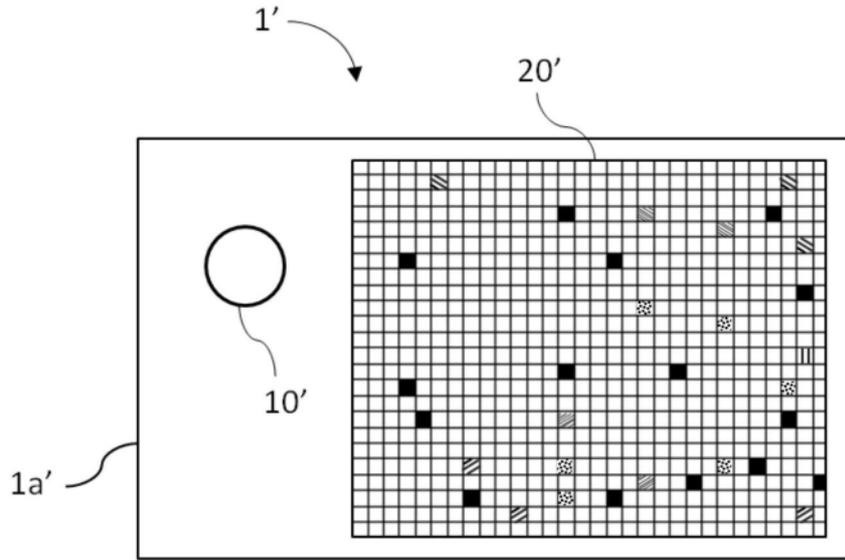


图10

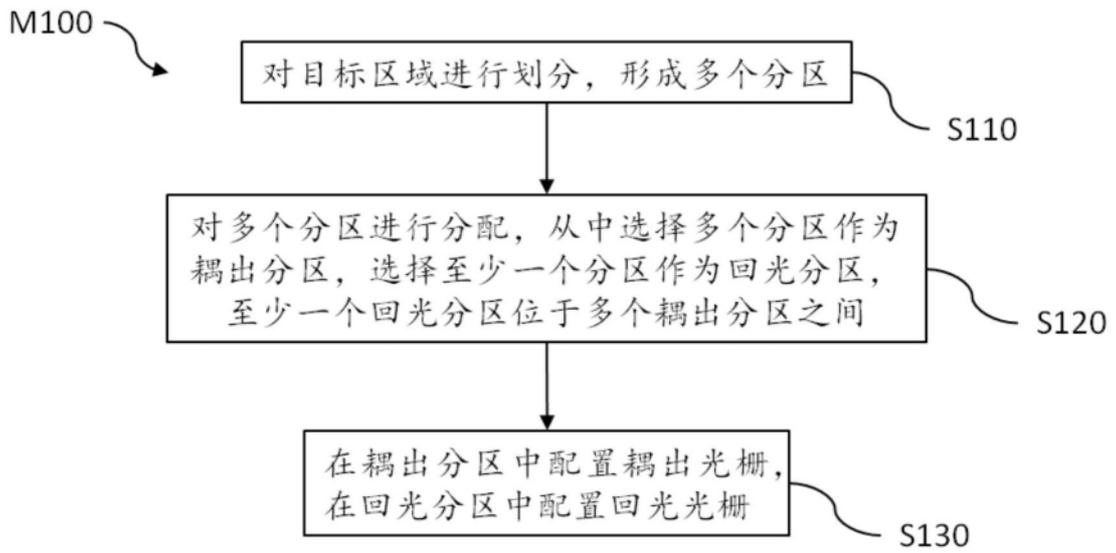


图11

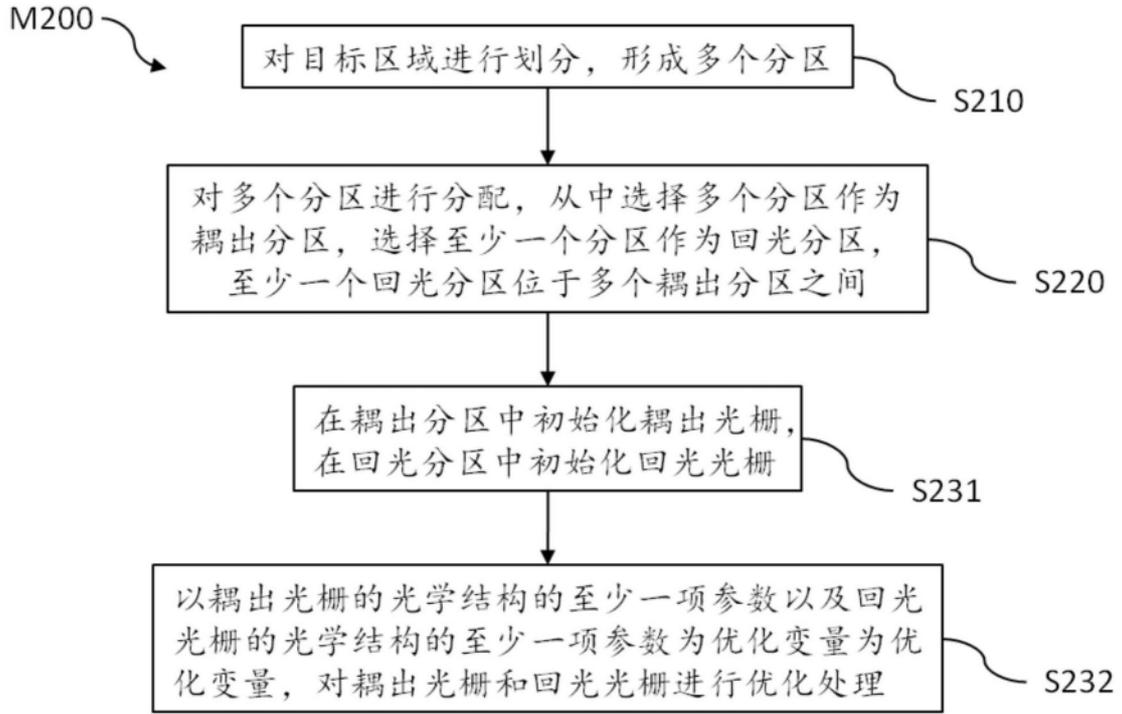


图12

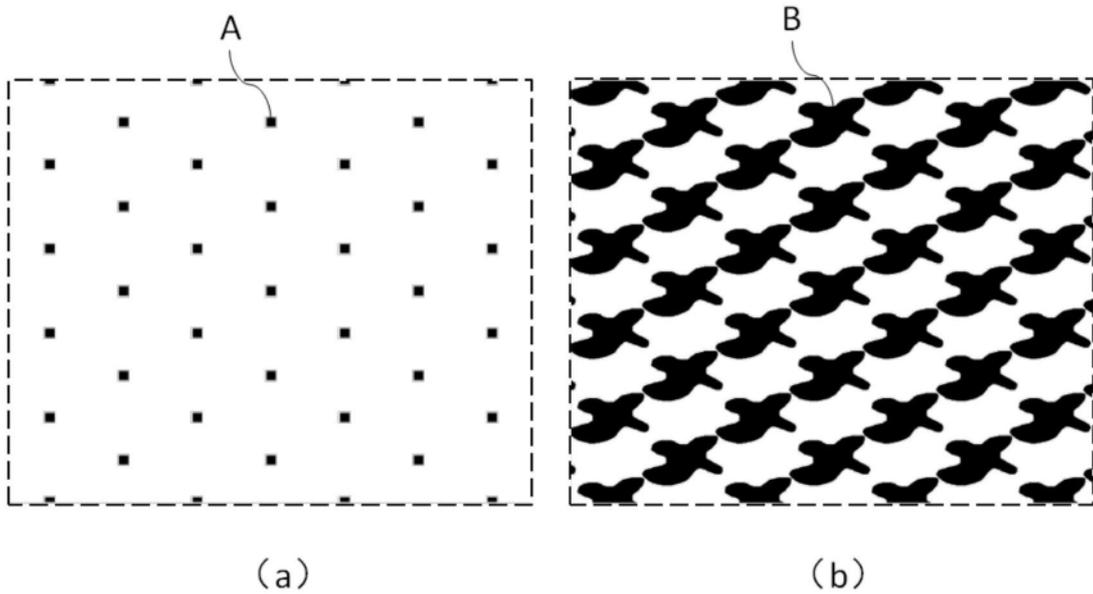


图13

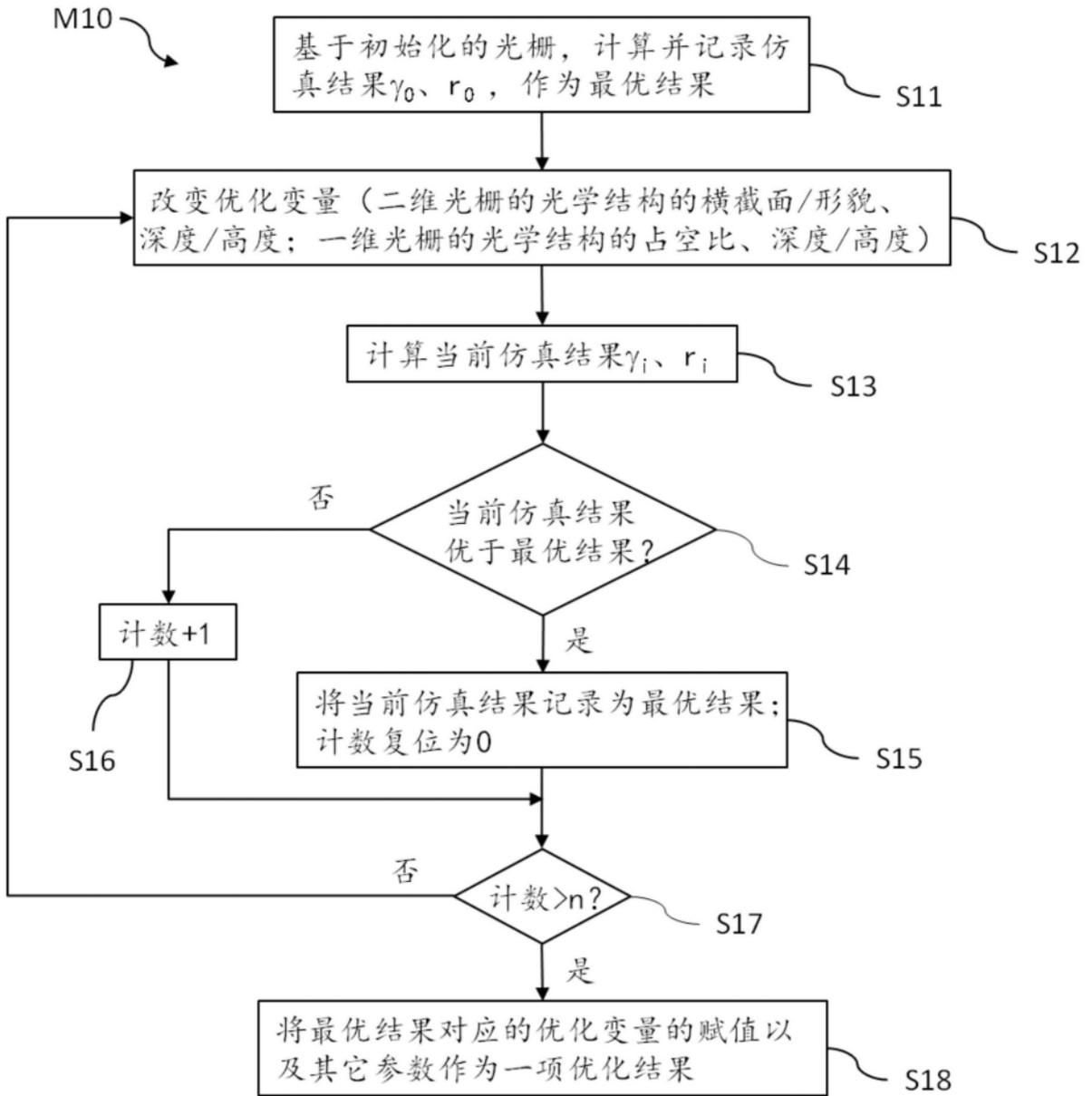


图14

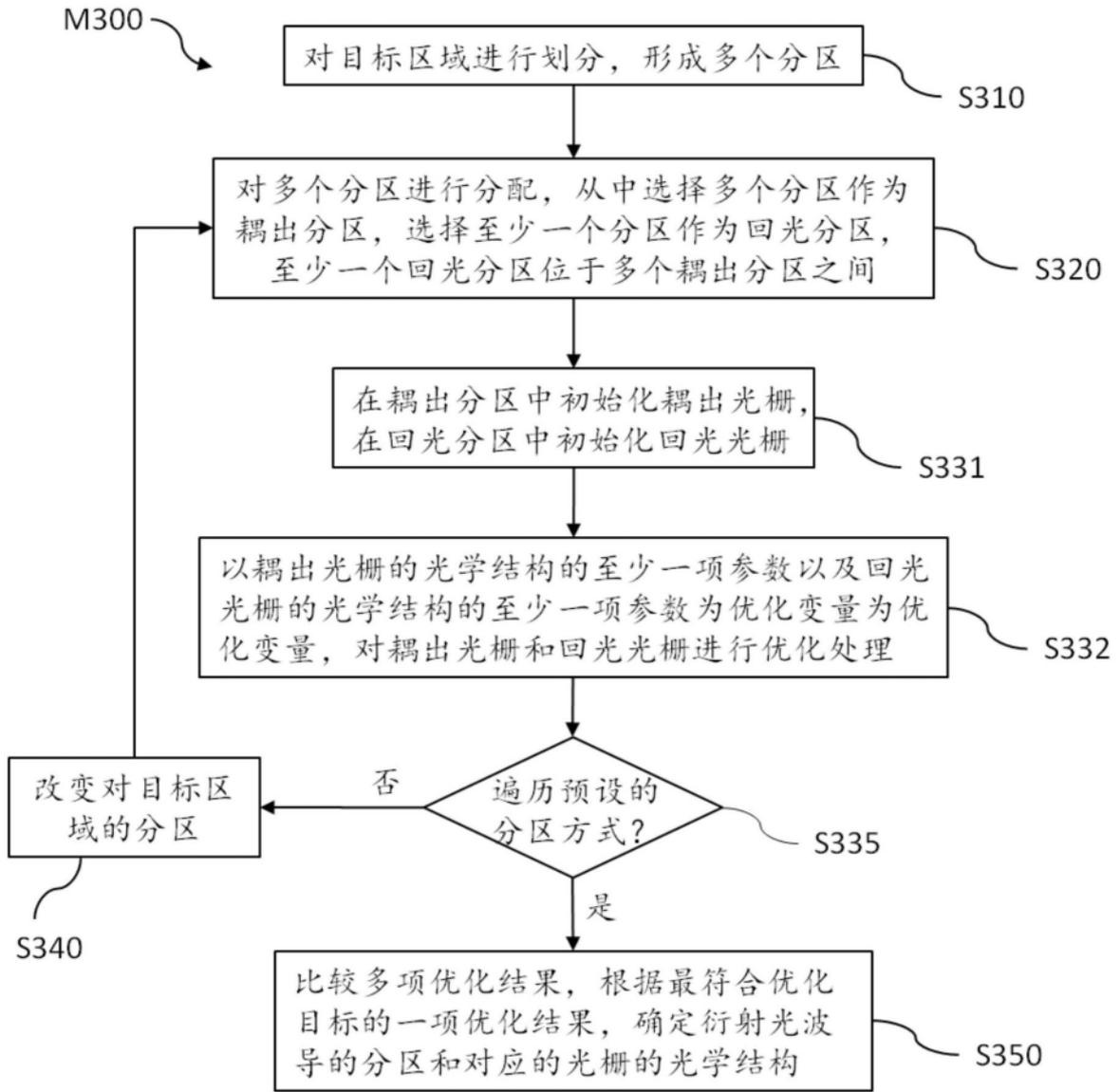


图15

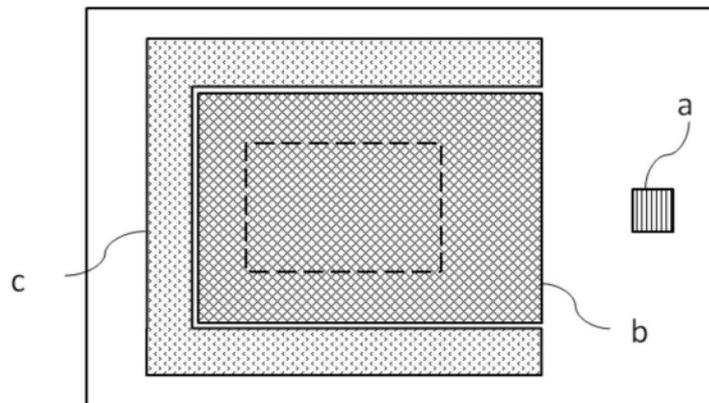


图16