



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110168430 B

(45) 授权公告日 2022.08.23

(21) 申请号 201780070963.0

(22) 申请日 2017.11.15

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110168430 A

(43) 申请公布日 2019.08.23

(30) 优先权数据
2016904674 2016.11.16 AU
2017902306 2017.06.16 AU(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2019.05.15(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/AU2017/051255 2017.11.15(87) PCT国际申请的公布数据
W02018/090085 EN 2018.05.24(73) 专利权人 博莱佳私人有限公司
地址 澳大利亚新南威尔士州(72) 发明人 费德里科·安德烈斯·科尔拉特邦迪
西比·普利卡赛里尔
丽贝卡·罗丁 安德列·塔巴基尼(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理有限公司 11262
专利代理师 陆建萍 杨明钊(51) Int.Cl.
G01S 17/08 (2006.01)
G01S 17/89 (2020.01)
G01S 7/481 (2006.01)
G02B 26/08 (2006.01)
G02B 26/10 (2006.01)
G02B 27/09 (2006.01)
G02B 27/10 (2006.01)
G02B 27/12 (2006.01)
G02B 27/14 (2006.01)
G02B 27/42 (2006.01)
G02B 3/06 (2006.01)
G02B 5/04 (2006.01)
G02B 5/08 (2006.01)
G02B 5/10 (2006.01)
G02B 5/18 (2006.01)
G02F 1/29 (2006.01)
H04J 14/02 (2006.01)

审查员 刘洋成

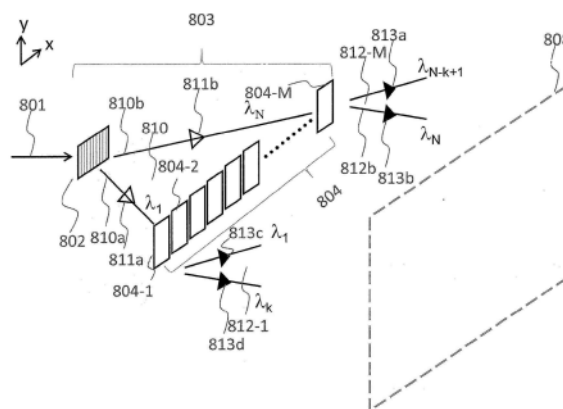
权利要求书2页 说明书11页 附图13页

(54) 发明名称

光束定向器

(57) 摘要

本文描述了一种用于在两个维度上引导光的系统。该系统包括色散元件，该色散元件被布置成基于波长在初始维度上引导光。该系统还包括沿着初始维度布置以接收所引导的光的转向元件的阵列，该转向元件的阵列被配置成进一步引导所接收的光，借此实现光在两个维度上的方向。还描述了一种用于在两个维度上引导光的方法。



1. 一种空间分析系统,包括:

产生源光的光源;

光束定向器,包括用于在两个维度上将光引导到环境中的光学系统,所述光学系统包括:

至少一个色散元件,其被布置成接收包括多个波长中的至少一个波长的光并在空间上色散所述多个波长;

第一转向元件,其被布置成从所述色散元件接收包括第一波长范围的第一光信号,所述第一波长范围包括所述多个波长中的少于所述多个波长的全部的第一多个波长,并且在没有机械移动的情况下在空间上引导所述多个波长中的第一多个波长跨过第一投影;和

第二转向元件,其被布置成从所述色散元件接收包括第二波长范围的第二光信号,所述第二波长范围包括所述多个波长中的少于所述多个波长的全部的且不同于第一多个波长的第二多个波长,并且在没有机械移动的情况下在空间上引导所述多个波长中的第二多个波长跨过第二投影;

其中,所述第一投影和所述第二投影结合在一起在两个维度上延伸;

光接收器,用于从所述环境中接收反射光;以及

处理单元,用于基于所接收的光确定关于所述环境的空间信息,以及其中,

所述源光被调谐以扫描通过所述第一波长范围和所述第二波长范围,由此所述第一光信号和第二光信号分别被转向跨过所述第一投影和第二投影。

2. 根据权利要求1所述的空间分析系统,其中,所述第一投影和第二投影分布在第一维度上,并延伸跨过横向于所述第一维度的第二维度。

3. 根据权利要求2所述的空间分析系统,其中,所述第一投影和所述第二投影基本上是线性的并且基本上平行。

4. 根据权利要求1至3中任一项所述的空间分析系统,其中,所述第一转向元件和第二转向元件是沿着第一维度定位的色散元件,并且其中,所述第一投影和第二投影基本上横向于所述第一维度。

5. 根据权利要求1至3中任一项所述的空间分析系统,其中,所述第一转向元件和第二转向元件是沿着第一维度定位的反射元件,并且其中,所述第一投影和第二投影基本上平行于所述第一维度并且在横向于所述第一维度的第二维度中彼此偏移。

6. 根据权利要求1至3中任一项所述的空间分析系统,其中,所述第一转向元件和第二转向元件是沿着第一维度定位的反射元件,并且其中,所述第一投影和第二投影基本上平行于第二维度并且在横向于所述第二维度的第一维度中彼此偏移。

7. 根据权利要求1至3中任一项所述的空间分析系统,包括被布置成生成由所述色散元件接收的光的光源,其中,所述光源在第一时间段期间生成所述多个波长中的第一多个波长而不是所述多个波长中的第二多个波长,并且在不同于所述第一时间段的第二时间段期间生成所述多个波长中的第二多个波长而不是所述多个波长中的第一多个波长。

8. 一种用于确定环境的空间信息的方法,所述方法包括:

产生源光;

根据用于在两个维度上引导光的方法将所述源光引导到所述环境中,所述方法包括:

在第一转向元件处接收包括分布在所述第一转向元件上的第一波长范围的第一光信

号,并且通过所述第一转向元件在空间上引导所述第一光信号跨过第一投影;

在第二转向元件处接收包括分布在所述第二转向元件上的第二波长范围的第二光信号,所述第二波长范围不同于所述第一波长范围,并且通过所述第二转向元件在空间上引导所述第二光信号跨过第二投影;

其中,所述第一投影和所述第二投影结合在一起在两个维度上延伸;以及

所述第一转向元件和所述第二转向元件包括发散镜和色散元件;

从所述环境中接收反射光;

基于所接收的光确定关于所述环境的空间信息;以及

调谐所述源光以扫描通过所述第一波长范围和所述第二波长范围,由此所述第一光信号和第二光信号分别被转向跨过所述第一投影和第二投影。

9. 根据权利要求8所述的方法,还包括通过使源光穿过色散元件来产生所述第一光信号和所述第二光信号,所述色散元件被布置成将所述源光色散成所述第一光信号和所述第二光信号。

光束定向器

[0001] 公开领域

[0002] 本公开大体上涉及用于引导光束的系统和方法。更具体地,本公开涉及用于在两个维度中引导光束的系统和方法。

[0003] 公开背景

[0004] 光束方向具有若干用途,包括但不限于LiDAR(光探测和测距)应用,其中光被发送到环境中用于制图目的。在三维映射中,其中一个维度与从光束的原点开始的点的范围相关,而另两个维度与在其中光束被转向跨过的二维空间相关(例如,在笛卡尔(x,y)或极坐标(r,θ)中)。

[0005] 公开概述

[0006] 根据本公开的一个方面,提供了一种用于在两个维度上引导光的光学系统,该光包括被分成多个波段的多个波长信道中的所选择的一个波长信道,该系统包括:

[0007] 色散元件,其被布置成基于所述多个波长信道中的所选择的一个波长信道在初始维度上朝向第一方向之一引导所述光;和

[0008] 转向元件的阵列,其沿着所述初始维度布置以接收所引导的光,所述转向元件的阵列被配置成基于其沿着所述初始维度的位置朝向第二方向之一进一步引导所接收的光,所述第二方向基于相应的波段沿着相应的平面对齐,所述平面被分布在与所述初始维度相关联的第一维度上,每个平面延伸跨过基本上垂直于所述第一维度的第二维度。

[0009] 根据本公开的另一个方面,提供了一种用于在两个维度上引导光的方法,该光包括被分成多个波段的多个波长信道中的所选择的一个波长信道,该方法包括:

[0010] 使用色散元件基于所述多个波长信道中的所选择的一个波长信道在沿着初始维度布置的转向元件的阵列处,在所述初始维度上朝向第一方向之一引导所述光;和

[0011] 使用所述转向元件的阵列,基于沿着所述初始维度的位置朝向第二方向之一进一步引导所引导的光,所述第二方向基于相应的波段沿着相应的平面对齐,所述平面分布在与所述初始维度相关联的第一维度上,每个平面延伸跨过基本上垂直于所述第一维度的第二维度。

[0012] 根据本公开的另一方面,提供了一种用于在两个维度上引导光的光学系统,该光学系统包括:

[0013] 至少一个色散元件,其被布置成接收包括多个波长中的至少一个波长的光,并在空间上色散所述多个波长;

[0014] 第一转向元件,其被布置成从所述色散元件接收所述多个波长中的少于所述多个波长的全部的第一多个波长,并且在空间上引导所述多个波长中的第一多个波长跨过第一投影;和

[0015] 第二转向元件,其被布置成从所述色散元件接收所述多个波长中的少于所述多个波长的全部且不同于所述多个波长中的第一多个波长的第二多个波长,并且在空间上引导所述多个波长中的第二多个波长跨过第二投影;

[0016] 其中,所述第一投影和所述第二投影结合在一起在两个维度上延伸。

[0017] 根据本公开的另一方面,提供了一种用于在两个维度上引导光的方法,该方法包括:

[0018] 在第一转向元件处接收包括第一波长范围的第一光信号,并且通过所述第一转向元件在空间上引导所述第一光信号跨过第一投影;

[0019] 在第二转向元件处接收包括不同于所述第一波长范围的第二波长范围的第二光信号,并且通过所述第二转向元件在空间上引导所述第二光信号跨过第二投影;

[0020] 其中,所述第一投影和所述第二投影结合在一起在两个维度上延伸。

[0021] 本公开的其他方面以及在前面段落中描述的方面的其他实施例将从下面的描述中变得明显,下面的描述是通过示例的方式并参考附图给出的。

[0022] 附图简述

[0023] 图1示出了用于对环境进行空间分析 (profiling) 的模块。

[0024] 图2示意性地示出了用于引导光束的系统的布置。

[0025] 图3A和图3B示意性地示出了光束定向器的布置和光束在扫描波长信道上的空间分布。

[0026] 图4A和图4B示意性地示出了光束定向器的另一个布置和光束在扫描波长信道上的空间分布。

[0027] 图5A和图5B示意性地示出了光束定向器的又一个布置和光束在扫描波长信道上的空间分布。

[0028] 图6A和图6B示意性地示出了光束定向器的再一个布置和光束在扫描波长信道上的空间分布。

[0029] 图7A和图7B示意性地示出了光束定向器的另外的布置和光束在扫描波长信道上的空间分布。

[0030] 图8示意性地示出了用于引导光束的系统的布置。

[0031] 图9A和图9B示出了可变线间距光栅的不同布置。

[0032] 图10A和图10B示出了第二色散元件的阵列的另一种布置。

[0033] 图10C示出了第二色散元件的阵列的又一种布置。

[0034] 图11示意性地示出了图8的系统的截取的输出的图像。

具体实施方式

[0035] 本文描述的是一种用于在两个维度上引导光的光学系统。所描述的系统能够基于一个或更多个所选择的波长信道且在没有机械地移动部件的情况下使光转向。虽然本文的描述集中在单个所选择的波长信道上(例如,使用单个波长可调谐光源),但是应当认识到,该描述在稍加修改的情况下也适用于多个所选择的波长信道(例如,使用多色光源或组合多个单波长可调谐光源)。因此,可转向性在扫描速度、方向稳定性和空间分辨率方面分别取决于波长调谐速度、波长稳定性和波长分辨率。由于其静态性质,因此所描述的系统可用于减少对机械性能的依赖,诸如减少机械故障或机械疲劳的发生或影响。

[0036] 所描述的系统可以用作例如在用于估计环境的空间轮廓的空间分析布置中的光束定向器。对于光束方向的其他示例应用包括光谱测定法、光学视线通信、生产线上的2D扫描、投影仪、2D打印机、自适应照明等。虽然以下描述集中在空间轮廓估计上,但是本领域技

术人员将会认识到,该描述在稍作修改的情况下同样适用于其他光束方向应用。

[0037] 图1示出了空间分析布置100的示例。布置100A包括光源102、光束定向器103、光接收器104和处理单元105。在图1的布置中,来自光源102的出射光由光束定向器103在两个维度中的方向上引导到具有空间轮廓的环境110中。如果出射光击中物体或反射表面,则至少一部分的出射光可以被物体或反射表面反射(用实线箭头表示)(例如散射)回到光束定向器103并在光接收器104处被接收。处理单元105可操作地耦合到光源102,以用于控制其操作。处理单元105还可操作地耦合到光接收器104,以用于通过确定反射光行进的往返距离来确定到反射表面的距离。

[0038] 光源102、光束定向器103、光接收器104可以经由自由空间光学器件和/或光波导(诸如,2D或3D波导形式的光纤或光学电路)彼此光学耦合。来自光源102的出射光被提供给光束定向器103,以用于引导到环境中。由光束定向器103收集的任何反射光可以被引导到光接收器104。在一个示例中,出于光学处理的目的,来自光源102的光也经由从光源102到光接收器104的直接光路(未示出)提供给光接收器104。例如,来自光源102的光可以首先进入采样器(例如,90/10光纤耦合器),在该采样器中,大部分光(例如,90%)的光被提供给光束定向器103,而其余的光样本部分(例如,10%)经由直接路径被提供给光接收器104。在另一个示例中,来自光源102的光可以首先进入光学开关的输入端口,并从两个输出端口之一射出,其中一个输出端口将光引导到光束定向器103,而另一个输出端口在由处理单元105确定的时间处将光重新引导到光接收器104。

[0039] 来自光源102的光包括被分组为M个波段的N个波长信道中的所选择的一个波长信道。光源102可以是波长可调谐激光器,允许经由电子控制信号选择期望的波长信道。M个波段可以包括连续的波长信道。例如,N个波长信道由它们的中心波长 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ 指定,并且M个波段是 $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_K\}, \{\lambda_{K+1}, \lambda_{K+2}, \dots, \lambda_{2K}\}, \dots, \{\lambda_{N-K+1}, \lambda_{N-K+2}, \dots, \lambda_N\}$,其中 $k=N/M$

[0040] 第一布置

[0041] 参考图2,所描述的系统203在图1中扮演光束定向器103的角色。所描述的系统203包括色散元件202,该色散元件202被布置成在初始维度(其可以是线性或非线性维度)上引导来自光源102的光201。色散元件202可以是一个或多个光栅和/或一个或多个棱镜。尽管图2中所示的初始维度表现为光路210a(例如,对应于波长信道 λ_1)和光路210b(例如,对应于波长信道 λ_N)之间的连续平面,但是实际上系统203通常基于多个波长信道中的所选择的一个波长信道在任何时间处接受波长信道 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ 中的所选择的一个波长信道。

[0042] 所描述的系统203包括反射元件的阵列(在图2中统称为204),该阵列沿着初始维度布置以接收所引导的光210。为了说明的目的,在图2中示出了不是所描述的系统203的一部分的屏幕208,以描绘当所选择的波长在 λ_1 和 λ_N 之间扫过时被定向的光束212的空间分布。如图2所示,其中反射元件204采取单个平面镜的形式,被定向的光210的光路210a沿着反射光212的光路212b被反射。类似地,被定向的光210的光路210b沿着反射光212的光路212a被反射。在单个平面镜的情况下,图像206是连续线的形式。同样,由于系统203实际上通常在任一时间处接受波长信道 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ 中的所选择的一个波长信道,因此图像206实际上形成一个点,而不是如图2中出于说明目的所描绘的连续线。被定向的光束206的空间分布沿着与由色散元件202引起的初始维度相关联的第一维度214。被定向的光束206不沿着基本上垂直于第一维度214的第二维度216分布。

[0043] 图3至图7示出了采用不同的反射元件的阵列的结果。为了比较的目的,图3A和图3B再现了图2的单个平面镜的情况。在反射元件204是单个平面镜304的情况下,图像206是连续线306的形式,其中所选择的波长在 λ_1 和 λ_N 之间扫描。被引导的光束212的空间分布沿着与色散元件202引起的初始维度相关联的第一维度214。被引导的光束206不沿着第二维度216分布。

[0044] 图4A和图4B表示反射元件204是单个平面镜404的阵列的情况,每个平面镜与相邻镜相隔一个小间隙。图像206是虚线406的形式,其中所选择的波长在 λ_1 和 λ_N 之间扫描。虚线的每个断开部分代表在波长信道的频段上扫描的波长(例如, $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k\}$, $\{\lambda_{k+1}, \lambda_{k+2}, \dots, \lambda_{2k}\}$, \dots 或 $\{\lambda_{N-k+1}, \lambda_{N-k+2}, \dots, \lambda_N\}$)。在这种情况下,被引导的光束212的空间分布仍然沿着与由色散元件202引起的初始维度相关联的第一维度214。被引导的光束206不沿着第二维度216分布。

[0045] 图5A和图5B代表所描述的系统203的布置,其中反射元件204是平面镜的阵列504,每个平面镜与相邻镜相隔一个小间隙,并且围绕沿着第一维度214延伸跨过每个平面镜的直线轴502倾斜或以其他方式有角度地彼此偏移。图像206是阶梯线506的形式,其中所选择的波长在 λ_1 和 λ_N 之间扫描。每一阶梯代表在波长信道的频段上扫描的波长(例如, $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k\}$, $\{\lambda_{k+1}, \lambda_{k+2}, \dots, \lambda_{2k}\}$, \dots 或 $\{\lambda_{N-k+1}, \lambda_{N-k+2}, \dots, \lambda_N\}$)。角度偏移的效果是将所接收的光212朝向分布在第二维度216上的不同的基本上平坦的表面(或本文中的“平面”)反射,其中每个平面延伸跨过第一维度214。被引导的光束206沿着第一维度214和第二维度216分布。然而,不同平面的范围在第一维度214中不重叠。尽管未示出,但是如果平面镜504围绕垂直于轴线502并沿着第二维度216延伸的轴线进一步倾斜或以其他方式彼此进一步成角度,则不同的平面可以被配置成至少部分重叠。这种正交倾斜对图像206的影响是沿着第一维度214平移阶梯线506。对于每个平面镜504的适当量的正交倾斜将平移阶梯线以彼此完全重叠,形成二维转向网格。

[0046] 图6A和图6B代表所描述的系统203的布置,其中反射元件204是发散镜的阵列504(诸如,以反射圆柱体或凸面的形式),每个发散镜与相邻镜相隔一个小间隙,并且通过发散镜中每一个发散镜的中心围绕直线轴602倾斜或以其他方式成角度地彼此偏移。图像206是阶梯线606的形式,其中所选择的波长在 λ_1 和 λ_N 之间扫描。每一阶梯代表在波长信道的频段上扫描的波长(例如, $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k\}$, $\{\lambda_{k+1}, \lambda_{k+2}, \dots, \lambda_{2k}\}$, \dots 或 $\{\lambda_{N-k+1}, \lambda_{N-k+2}, \dots, \lambda_N\}$)。如同图5A和图5B所示的情况,角度偏移的影响是将所接收的光212朝向在第二维度216上分布的不同平面反射,其中每个平面延伸跨过第一维度214。发散镜的用途是为了在第一维度214中扩展每个平面的范围,这可以通过使用不同曲率的分散镜来控制。通常,发散镜的更大曲率导致沿着第一维度214延伸的平面的更大范围。被引导的光束206沿着第一维度214和第二维度216分布。

[0047] 图7A和图7B代表所描述的系统203的布置,其中反射元件204是发散镜的阵列704(诸如,以反射圆柱体或凸面的形式),每个发散镜与相邻镜相隔一个小间隙,并且通过反射镜元件中的每一个反射镜元件围绕弯曲轴702倾斜或以其他方式成角度地彼此偏移。图像206是叠加线706的形式,其中所选择的波长在 λ_1 和 λ_N 之间扫描。每一堆叠代表在波长信道的频段上扫描的波长(例如, $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k\}$, $\{\lambda_{k+1}, \lambda_{k+2}, \dots, \lambda_{2k}\}$, \dots 或 $\{\lambda_{N-k+1}, \lambda_{N-k+2}, \dots, \lambda_N\}$)。如同图5A和图5B所示的情况,角度偏移的影响是将所接收的光212朝向在第二维度216上分布的

不同平面反射,其中每个平面延伸跨过第一维度214。角度偏移可以被调谐以调节堆叠的间隔。发散镜的用途是为了在第一维度214中扩展每个平面的范围,这可以通过使用不同曲率的分散镜来控制。通常,发散镜的更大曲率导致沿着第一维度214延伸的平面的更大范围。在一种布置中,弯曲轴702沿着初始维度中的凹入路径,用于平衡或对齐第一维度214在各个平面上的范围。在另一种布置中,弯曲轴可以是抛物线的。弯曲轴702的曲率可以被调谐以调节相应平面上的范围。被引导的光束206沿着第一维度214和第二维度216分布。

[0048] 使用图7A的布置,所描述的系统203可以被配置成在空间上将出射光引导到两个维度214和216中的多个方向(106a、106b、106c...)之一以进入环境110。出射光被引导的方向对应于或基于多个波长信道中所选择的一个波长信道(以 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ 为中心)。

[0049] 示例

[0050] 在一种配置中,具有多个光谱分量或可调谐波长(例如,可调谐激光器C-波段43nm调谐范围)的光源入射到衍射元件上或穿过衍射元件,该衍射元件诸如棱镜或复合棱镜,其将波长信道的选择转换成一维角色散。在这种配置中,提供 $0.25^\circ/\text{nm}$ 角色散的棱镜将43nm光谱范围转换成 10° 角间距。该配置包括放大望远镜(magnifying telescope)(例如,15X)或凸面镜(例如,半圆),以放大角分散的光。使用15X放大望远镜,角色散被放大到大约 150° 。角度放大器的输出被布置成定位在凹面镜的曲率中心处,使得输出光沿着凸面镜的半径被引导。在这种情况下,在传播的方向垂直于镜面时,入射射线将沿与入射到镜面相同路径但相反方向被反射。

[0051] 在这种配置中,假设凸面镜的半径为0.05m,因此由入射光照射的覆盖 150° 的弧为 $0.13\text{m} = (0.05 \times \pi \times 150^\circ / 180^\circ)$ 。在一个示例中,这个0.13m的弧被分成50个子段,每个子段被配置成定位半径为0.0013m的半圆凸面镜。50个凸半圆的每一个上的入射光将对着 3° 的角度(即, $150^\circ / 50$),但是小的半圆将具有角度放大效果,使得每个子段反射的光将具有 $3^\circ \times 38.19 = 114.59$ 的角色散,其中38.19x的放大是源自半径的比率(即, $0.05 / 0.0013 = 38.19\text{X}$)。

[0052] 然后,这种配置可以按照图7A进行布置。这些小的凸半圆中的每一个都是由管状段构成的。通过相对于前一段在Z轴上倾斜每个管状段 $+0.5^\circ$,使得每个管状段的反射光投射到不同的Z轴角色散上(以 0.5° 的增量)。反射光基于波长信道生成2D图像。在该示例中,2D图像包括50条垂直线,具有 0.5° 的分辨率以及 25° ($50 \times 0.5^\circ$)的垂直视场。水平地,示例配置覆盖 114.59° ,其中分辨率受光源的波长最小变化限制。

[0053] 基于前述内容,提供了一种用于在两个维度上引导光的光学系统。光包括被分组为多个波段的多个波长信道中的所选择的一个波长信道。该系统包括色散元件和反射元件的阵列,该色散元件被布置成在初始维度上基于多个波长信道中的所选择的一个波长信道引导光,该反射元件的阵列沿着初始维度被布置以接收被引导的光,反射元件被布置成基于相应的波段朝向相应的平面反射所接收的光,每个相应的平面延伸跨过与初始维度相关联的第一维度,相应的平面分布在基本垂直于第一维度的第二维度上。

[0054] 还提供了在两个维度上引导光的相对应的方法。该方法包括使用色散元件在初始维度上将光引导到基于多个波长信道中的所选择的一个波长信道沿着初始维度布置的反射元件的阵列处,以及使用反射元件的阵列基于相应的波段朝向相应的平面反射被引导的光,每个相应的平面延伸跨过与初始维度相关联的第一维度,相应的平面分布在基本上垂

直于第一维度的第二维度上。

[0055] 第二布置

[0056] 参考图8,所描述的系统803在图1中扮演光束定向器103的角色。所描述的系统803包括第一色散元件802,该第一色散元件802被布置成在初始维度上朝向第一方向之一(例如,沿着图8中的x轴)引导来自光源102的光801。第一方向中的每一个方向对应于被引导的光810的潜在光路,进而对应于波长信道。例如,如图8所示,光路810a对应于波长信道 λ_1 ,而光路810b对应于波长信道 λ_N 。第一方向中的一些在图8中被表示为空心三角形811a和811b。第一色散元件802可以是一个或更多个衍射光栅和/或一个或更多个棱镜。被引导的光810的角展度取决于波长信道的范围和色散元件802的色散特性。出于说明目的,在一个非限制性示例中,光源102可以包括电信级激光器。电信级激光器可以具有高达40nm的波长调谐范围,诸如从大约1527nm到大约1567nm。色散元件802可以包括具有均匀线间距的衍射光栅(诸如透射光栅)。在一个变型中,衍射光栅可以具有在1000线/mm和1100线/mm之间的光栅周期,便于大约5-10度的角展度。在另一变型中,衍射光栅可以具有大约600线/mm的光栅周期。

[0057] 所描述的系统803还包括沿着初始维度布置的第二色散元件804-1...804-M的阵列(统称为204),以接收引导光810。在这个示例中,存在对应于M个波段的M个第二色散元件。第二色散元件的阵列被配置成朝向第二方向之一进一步引导所接收的光。第二方向中的一些但不是所有的第二方向在图8中被表示为实心三角形813a、813b、813c和813d。如图8所示,基于相应的波段,第二方向沿着相应的基本上平坦的表面(或本文中的“平面”)对齐。例如,朝向色散元件804-1引导的波长信道 $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k\}$ 处的光被阵列804(特别是色散元件804-1)进一步引导朝向沿着对应于M个波段中的第一个波段的最左侧平面812-1对齐的方向。类似地,尽管未示出,但是朝向色散元件804-2引导的波长信道 $\{\lambda_{k+1}, \lambda_{k+2}, \dots, \lambda_{2k}\}$ 处的光被阵列804(特别是色散元件804-2)进一步引导朝向沿着对应于M个波段中的第二个波段的平面对齐的方向,依此类推,朝向色散元件804-M引导的波长信道 $\{\lambda_{N-k+1}, \lambda_{N-k+2}, \dots, \lambda_N\}$ 处的光被阵列804(特别是色散元件804-M)引导朝向沿着对应于M个波段中的第M个的最右侧平面812-M对齐的方向。

[0058] 实际上,系统803不会导致光的平面被引导为输出光束。相反,一条或几条光束(均与相对应的中心波长相关联)在任何一个时间处都被引导为输出光束。图8中的平面表示仅出于说明的目的而被描绘。也就是说,虽然图8所描绘的被引导的光810表现为在光路810a(例如,对应于波长信道 λ_1)和光路810b(例如,对应于波长信道 λ_N)之间在初始维度中的连续平面,并且虽然图8所描绘的另外的被引导的光812表现为连续平面812-1,...812-M,但是系统803通常在任一时间处接受波长信道 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ 中的所选择的一个波长信道。可选地,图8中的平面表示可以被视为捕获从 λ_1 到 λ_N 的快速波长扫描。

[0059] 此外,虽然系统803是使用单个选择的波长信道来描述的,但是本领域技术人员将认识到,该系统可以适于同时或几乎同时接受几个选择的波长信道。在一个示例中,光源102包括多个波长可调谐激光器,每个波长可调谐激光器被调谐以发射不同的波长。

[0060] 为了说明的目的,在图8中描绘了不是所描述的系统803的一部分的屏幕808,以描绘当所选择的波长在 λ_1 和 λ_N 之间扫描时输出光束812的空间分布1000(参见图10和下面的描述)。第二色散元件804的阵列均被配置成根据光入射在单个第二色散元件804内的位置将

接收的光引导朝向第二方向之一。为了说明的目的,该阵列在图8中被描绘为具有单独的色散元件804。如所示,色散元件804可能或者可能不会通过一个间隙以行分隔开。

[0061] 在一种布置中,第二色散元件804的阵列中均包括可变线间距光栅(诸如在传输中),以将接收的光衍射跨过第二维度。可变线间距光栅包括基于在可变线间距光栅上沿着初始维度(例如,沿着x轴)的位置的多个光栅周期。在一种布置中,可变线间距光栅904a在第一边缘处具有较短的光栅周期908,以及在第二相对的边缘处具有较长的光栅周期910。光栅周期可以从第一边缘增加到第二边缘。在一种布置中,多个光栅周期的变化基本上在第二色散元件的阵列804上重复。换句话说,光栅周期可以从第二色散元件中每一个的第一边缘增加到第二边缘。

[0062] 图9A和图9B示出了可变线间距光栅的两个布置。在图9A的布置中,光栅周期从第一边缘到第二边缘(例如,线间距为1060线/mm)连续变化。多个光栅周期中的连续变化表现在平滑光栅线906a中。在这种布置的示例中,第一边缘处的线间距908是800线/mm,而第二边缘处的线间距910是1050线/mm。即使波长没有变化,这样的线间距的范围也足以引起大约30到35度的光束发散。可以使用其它线间距。阵列长度可以是40mm。在这个示例中,每个可变线间距光栅的宽度(即,从第一边缘到第二边缘的距离)可以是1mm,从而允许阵列804中大约40个色散元件。

[0063] 光栅的长度可以是20mm,从而允许大约至少18,000条光栅线。在图9B的布置中,光栅周期从第一边缘离散地变化到第二边缘。多个光栅周期中的离散变化表现在阶梯光栅线906b中。注意,仅出于说明的目的,沿x轴的阶梯由沿y轴的线连接,但是实际上可能没有沿y轴的光栅线。

[0064] 在使用连续可变线间距光栅的情况下,诸如图9A所示,系统903还可以包括聚焦元件(未示出),以将在可变线间距光栅处接收的光限制(例如,聚焦)在初始维度处。聚焦动作目的是保持光束沿初始维度的空间范围足够小,以基本上看到或照亮近似均匀间距的光栅。在一个示例中,聚焦元件是在初始维度(即,沿着x轴)弯曲的柱面透镜。在光被聚焦元件聚焦并在可变线间距光栅处接收时受到限制之后,从可变线间距光栅射出的光可能发散并需要准直。在一种布置中,系统803包括用于准直聚焦光的准直元件。虽然系统803可以包括额外的光学元件来整形、引导、过滤或以其他方式影响准直光,但是准直光最终被引导到环境110。

[0065] 在另一种布置中,第二色散元件可以均包括位置相关的反射元件,用作图9A或图9B的可变线间距光栅。在第一配置中,类似于图9B中的离散可变线间距光栅,每个色散元件804-X包括一组反射元件(例如,平面镜或MEM),每个反射元件沿着初始维度被定位并且被布置成将光反射到第二方向中的一个相应方向。例如,为了提供这种可选布置,图9B中的离散可变线间距光栅的每个部分(如通过接收的光所看到的,具有局部且均匀的光栅周期)可以由平面镜代替,该平面镜成角度地将来自第一色散元件的光反射到沿着平面812-1、812-2...812-M中的相对应的平面对齐的相应方向,该相应方向与相应平面镜沿着初始维度的位置相关联。在第二配置中,类似于图9A的连续可变线间距光栅,第一配置的一组反射元件可以整体形成为弯曲的反射表面。换句话说,这种可选布置的两种配置实现了与可变线间距光栅的相应部分相同的引导效果。虽然严格地说,在该可选布置中,仅反射元件不会基于波长来引导光,但是它们基于来自第一色散元件的初始色散和空间相关的反射角的集体效应

来实现第二色散元件的整体色散效应。换句话说,即使反射元件的阵列本身不是色散的,但是均接收不同波长信道并以不同角度反射接收的光的反射元件被认为实现了第二色散元件的功能,因为反射元件提供波长可寻址的转向。

[0066] 图10A示出了这种可选布置的第二配置1000A。配置1000A包括第二色散元件(在该图示中为1004-1,1004-2,⋯1004-11)的阵列1004,每个包括弯曲反射表面1006。如图10B中示意性描绘的,每个第二色散元件(例如,1004-1)的弯曲反射表面1006可以被理解为通过围绕平行于x轴的轴线1008在x-y平面中“扭转”平坦表面1006A而形成。例如,参考图10B(a)和(b),从平坦反射表面1006A开始,元件1004-1的第一边缘1010可变形地围绕轴线1008在一个方向(例如,顺时针)旋转,而元件1004-1的第二且相对的边缘1012可变形地围绕轴线1008在相反方向(例如,逆时针)旋转。实际上,弯曲表面1006的形成可以不通过变形,而是通过例如高精度铣削,然后进行表面抛光和(例如用金)涂覆。

[0067] 参考图10B(c),其以虚线示出了最终的表面轮廓,由第一色散元件802引导的并入射到第一边缘1010附近的光(图10B(c)中的 \bullet_1)被反射朝向一个y方向(例如,正y方向),而由第一色散元件802引导并入射到第二边缘1012附近的光(图10B中的 λ_k)被反射朝向不同的y方向(例如,负y方向)。换句话说,反射表面的法向量基于沿x轴的位置而变化。法向量变化可以是位置连续的或离散的。沿着x轴定位的每个附加的第二色散元件1004-X被类似地配置有在相反方向上“扭转”的第一边缘和第二边缘,从而有助于随着波长变化而进行光栅光束转向。例如,当光在波段内 λ_1 至 λ_k 内改变波长时(即,当入射到一个第二色散元件上时),光从正y方向到负y方向被扫描,并且当光改变波长到下一个波段 λ_{k+1} 至 λ_{2k} 时(即,当入射到下一个第二色散元件上时),光沿着x轴步进,等等。如所提及的,在一种配置中,每个第二色散元件1004-X的弯曲表面1006可选地由一组平坦反射元件形成,每个平坦反射元件角度递增地反射光,例如从正y方向到负y方向。

[0068] 在图10A的布置1000A中,在相邻色散元件1004-X之间的边界处存在突变阶梯。这里,突变阶梯包括与x-y平面正交的邻接表面1014,并且邻接相邻色散元件1004-X的弯曲表面1006。在图10C所示的可选布置1000C中,突变阶梯在x方向上表现为之字形。这里,邻接表面1014C是接收入射光的弯曲表面1006C的镜像。沿着装置1000C的顶端1018和底端1020的之字形图案是彼此颠倒的形式。图11示意性地示出了定位在系统803的输出端以拦截出射光的屏幕808的图像1100。图11中的每个点代表波长信道 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ 中的所选择的一个波长信道。注意,实际上每个点基于所选择的波长信道独立出现,但是为了说明的目的,图11中描绘了所有的点,好像它们可以同时被捕获一样。图像1100指示M个组(1102-1,1102-2⋯1102-M)的光输出。M个组的光输出对应于M个第二色散元件(804-1⋯M)、M个波段和M个平面(812-1⋯M)。这些平面分布在第一维度上,其中每个平面延伸跨过基本上垂直于第一维度的第二维度。第一维度可以不一定与初始维度(即,图8中的x轴)完全一致,以及第二维度可以不一定与正交于初始维度的维度(即,图8中的y轴)完全一致。如图11所示,每组光输出被表示为与y轴成小角度倾斜。小角度倾斜源于由第一色散元件202产生并且照射沿着每个第二色散元件的初始维度的不同位置所需的小波长相关的色散,以提供在第二维度中的位置相关的色散。这种倾斜实际上例如通过物理地调整安装角度是可忽略和/或容易地校正或调整的,使得平面812-1、812-2⋯812-M与物理世界框架中的真实垂直轴(即,子午线)对齐。

[0069] 使用图8的布置,所描述的系统803可以被配置成在空间上将出射光引导到两个维

度814和816中的多个方向(106a、106b、106c...)之一以进入环境110。出射光被引导的方向对应于或基于多个波长信道(以 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ 为中心)中所选择的一个波长信道。

[0070] 总体布置

[0071] 前述公开描述了包括反射、折射和衍射元件中的一个或更多个的布置,以便于波长相关的二维光转向。更一般地,可以通过基于多个波长信道中的所选择的一个波长信道将光沿着一个维度引导到不同的位置,并且基于不同的位置使用用于将光沿着另一个维度转向到不同方向的一个或更多个转向元件进一步引导光来实现转向。波长相关方向可以使用例如色散元件来实现,色散元件诸如一个或更多个棱镜、一个或更多个光栅和一个或更多个棱栅的任意组合。转向元件经由例如对光的反射、折射或衍射来施加位置相关方向影响。例如,在图7A和图7B的布置中,转向元件是凸反射表面的阵列,其法向向量随位置而变化。作为另一个示例,在图9A和图9B的布置中,转向元件是可变线间距光栅的阵列,其光栅周期随位置而变化。作为又一个示例,在图10A和图10B的布置中,转向元件是弯曲的或“扭转的”反射表面的阵列,其法向向量随位置而变化。

[0072] 如本领域技术人员将认识到的,反射、折射和衍射元件中的任何一个通常具有基于另外两个元件中的任一者或两者的类似对应元件,以施加位置相关方向影响。例如,凹面(凸面)镜和凸面(凹面)镜是聚焦(散焦)元件的反射-折射对应物,其中前者用于反射模式,而后者用于透射模式。作为示例,在图7A和图7B的布置中,凸反射表面的阵列可以由凹面镜的阵列代替作为转向元件。作为上面已经描述的另一个示例,图9A和图9B的布置中的可变线间距光栅的阵列可以被图10A和图10B的弯曲的或“扭转的”反射表面的阵列代替作为转向元件。因此,转向元件可以是反射、折射或衍射元件的一个或更多个的形式。对一种类型的元件的描述可以在稍作修改的情况下适用于另一种类型的元件。

[0073] 现在描述了本公开的布置,对于本领域技术人员明显的是,所描述的布置中的至少一个具有以下优点:

[0074] • 使用波长相关的光束定向器在基于波长的方向上引导出射光,没有或几乎没有惯性来提高光束重定向的速度。

[0075] • 在一个维度中的定向转向中表现出的波长可调谐性可以使用许多类似的转向元件(诸如,反射、折射和衍射元件中的一个或更多个)转换成两个维度。

[0076] 应当理解,在本说明书中公开和定义的公开内容延伸到从文本或附图中提及或明显的两个或更多个单独特征的所有可选组合。所有这些不同的组合构成了本公开的各种可选方面。例如,根据以下陈述提供了公开内容:

[0077] i. 一种用于在两个维度上引导光的光学系统,所述光包括分组成多个波段的多个波长信道中的所选择的一个波长信道,所述系统包括:

[0078] 色散元件,其被布置成基于所述多个波长信道中的所选择的一个波长信道在初始维度上引导所述光;和

[0079] 转向元件的阵列,其沿着所述初始维度布置以接收所引导的光,所述转向元件被布置成基于相应的波段朝向相应的平面引导所接收的光,每个相应的平面延伸跨过与所述初始维度相关联的第一维度,相应的平面分布在基本上垂直于所述第一维度的第二维度上。

[0080] ii. 根据陈述i.所述的光学系统,其中,转向元件的阵列均包括反射元件、折射元

件和衍射元件中的任何一个。

[0081] iii. 根据陈述ii. 所述的光学系统, 其中, 反射元件的阵列沿着初始维度布置, 以遵循凹入路径, 用于平衡或对齐相应平面上的第一维度的范围。

[0082] iv. 根据陈述iii. 所述的光学系统, 其中, 反射元件的阵列彼此成角度偏移, 以将接收的光反射朝向相应的平面。

[0083] v. 根据陈述i. 所述的光学系统, 其中, 所述色散元件包括一个或更多个光栅和一个或更多个棱镜, 以用于在所述初始维度上引导光。

[0084] vi. 一种在两个维度上引导光的方法, 所述光包括分组成多个波段的多个波长信道中的所选择的一个波长信道, 所述方法包括:

[0085] 使用色散元件在基于所述多个波长信道中的所选择的一个波长信道沿着初始维度布置的反射元件的阵列处在所述初始维度上引导所述光; 和

[0086] 使用反射元件的阵列, 基于相应的波段朝向相应的平面反射所引导的光, 每个相应的平面延伸跨过与所述初始维度相关联的第一维度, 相应的平面分布在基本垂直于所述第一维度的第二维度上。

[0087] vii. 一种用于在两个维度上引导光的光学系统, 所述光包括分组成多个波段的多个波长信道中的所选择的一个波长信道, 所述系统包括:

[0088] 第一色散元件, 其被布置成基于所述多个波长信道中的所选择的一个波长信道在初始维度上朝向第一方向之一引导所述光; 和

[0089] 第二色散元件的阵列, 其沿着所述初始维度布置以接收所引导的光, 所述第二色散元件的阵列被配置成朝向第二方向之一进一步引导所接收的光, 所述第二方向基于相应的波段沿着相应的平面对齐, 所述平面分布在与所述初始维度相关联的第一维度上, 每个平面延伸跨过基本上垂直于所述第一维度的第二维度。

[0090] viii. 根据陈述vii. 所述的光学系统, 其中, 所述第二色散元件的阵列均包括可变线间距光栅, 以衍射所述接收的光跨过所述第二维度。

[0091] ix. 根据陈述viii. 所述的光学系统, 其中, 所述可变线间距光栅包括在所述可变线间距光栅上基于沿着所述初始维度的位置的多个光栅周期。

[0092] x. 根据陈述ix. 所述的光学系统, 其中, 所述多个光栅周期沿着所述初始维度连续变化。

[0093] xi. 根据陈述x. 所述的光学系统, 其中, 所述多个光栅周期沿着所述初始维度离散变化。

[0094] xii. 根据陈述ix.-xi. 中任一项所述的光学系统, 其中, 所述多个光栅周期的变化基本上在所述第二色散元件的阵列上重复。

[0095] xiii. 根据陈述ix.-xii. 中的一项所述的光学系统, 其中, 所述第二方向对应于所述可变线距光栅上沿着初始维度的位置。

[0096] xiv. 根据陈述ix.-xiii. 中任一项所述的光学系统, 还包括将在所述可变线间距光栅处接收的所述引导的光限制在所述初始维度中的聚焦元件。

[0097] xv. 根据陈述xiv. 所述的光学系统, 其中, 所述聚焦元件是柱面透镜。

[0098] xvi. 根据陈述xiv. 或xv所述的光学系统, 还包括准直元件, 其用于准直由所述聚焦元件聚焦的光。

[0099] xvii. 根据陈述vii.所述的光学系统,其中,所述第一色散元件包括用于在所述初始维度上引导光的一个或更多个光栅和一个或更多个棱镜的任意组合。

[0100] xviii. 一种在两个维度上引导光的方法,所述光包括分组成多个波段的多个波长信道中的所选择的一个波长信道,所述方法包括:

[0101] 使用第一色散元件,基于多个波长信道中的所选择的一个波长信道在沿着初始维度布置的第二色散元件的阵列处,在初始维度上朝向第一方向之一引导光;以及

[0102] 使用第二色散元件的阵列朝向第二方向之一进一步引导所引导的光,第二方向基于相应的波段沿着相应的平面对齐,该平面分布在与初始维度相关联的第一维度上,每个平面延伸跨过基本上垂直于第一维度的第二维度。

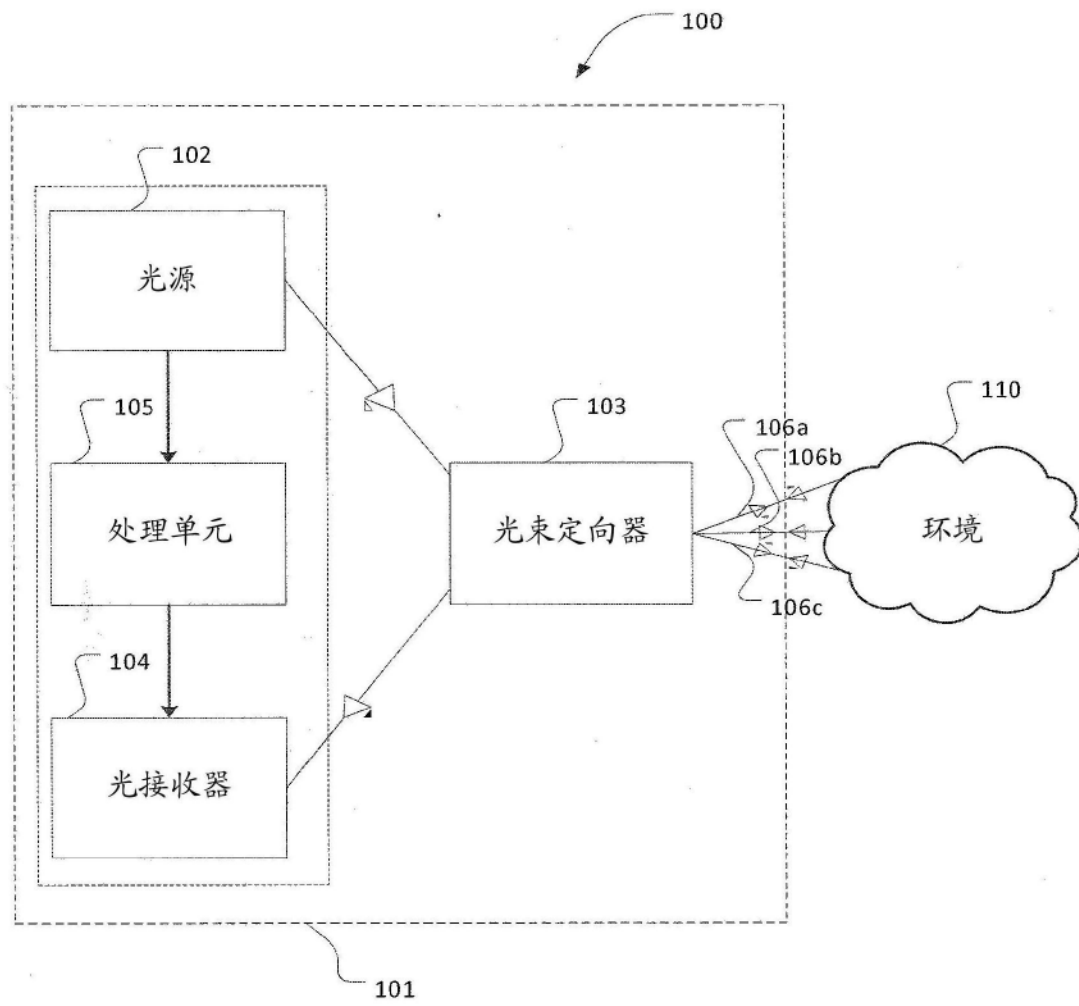


图1

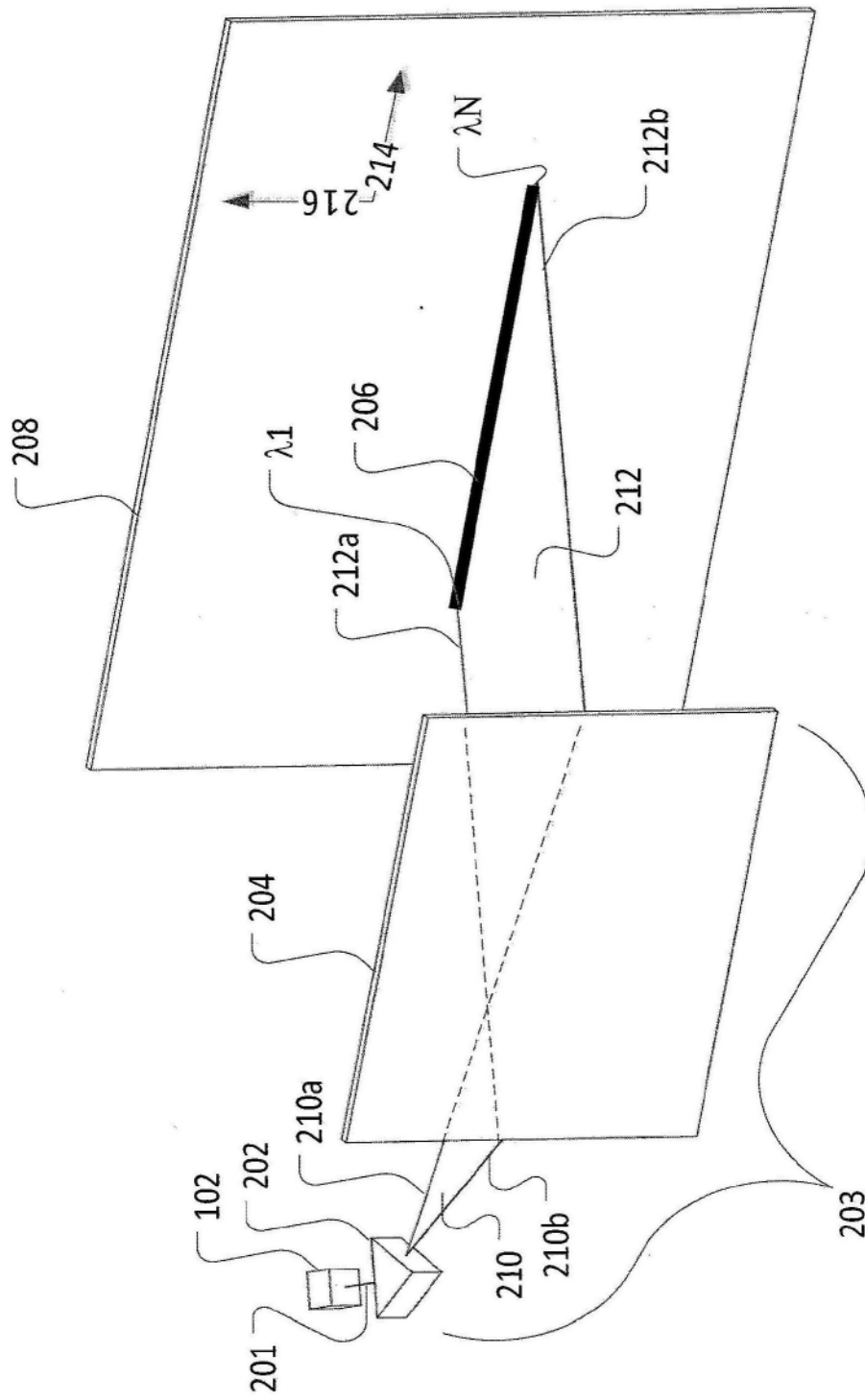


图2

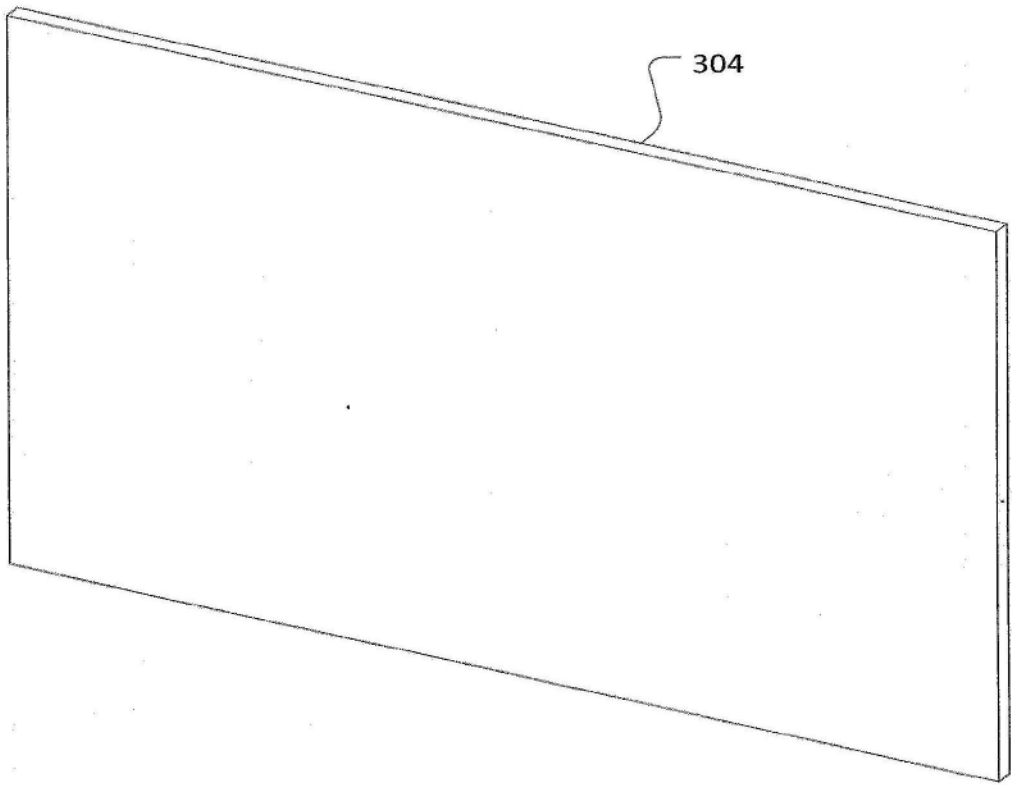


图3A

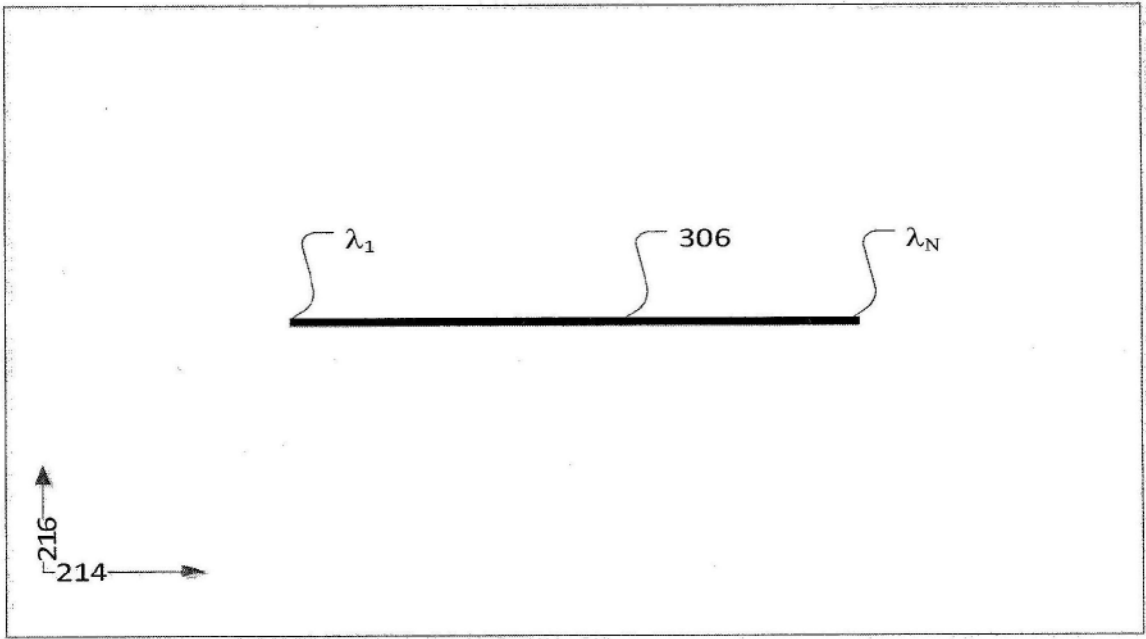


图3B

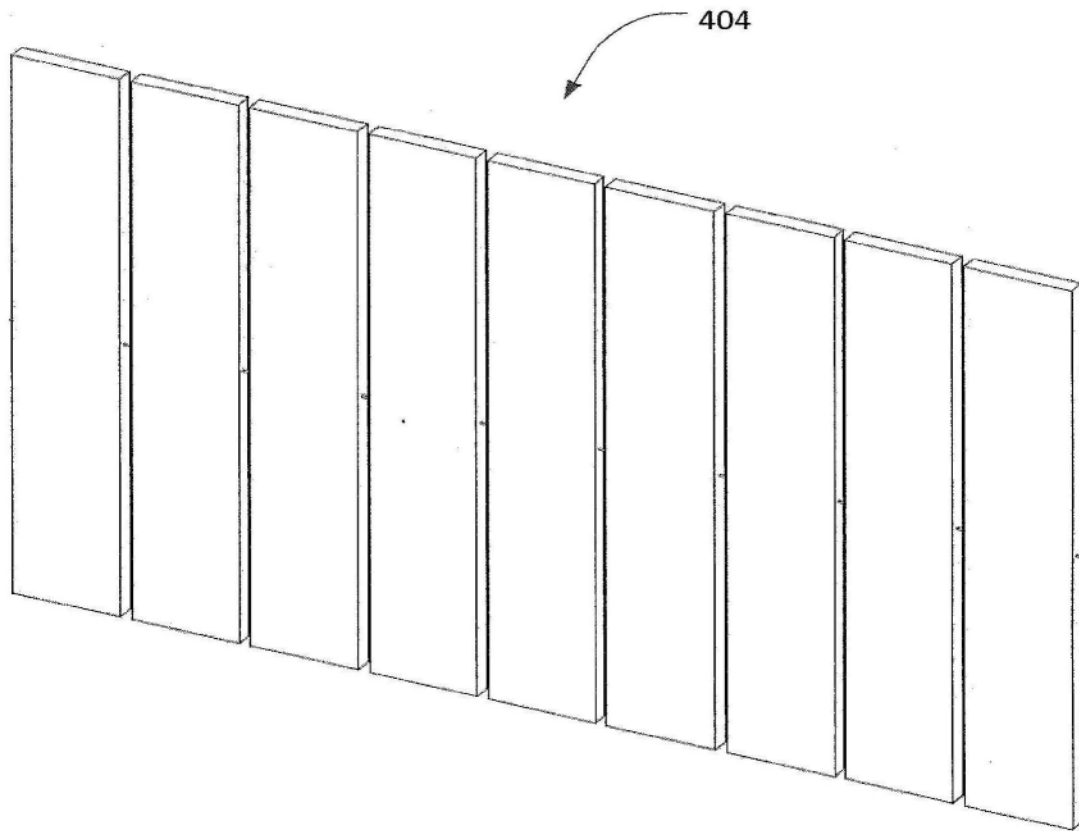


图4A

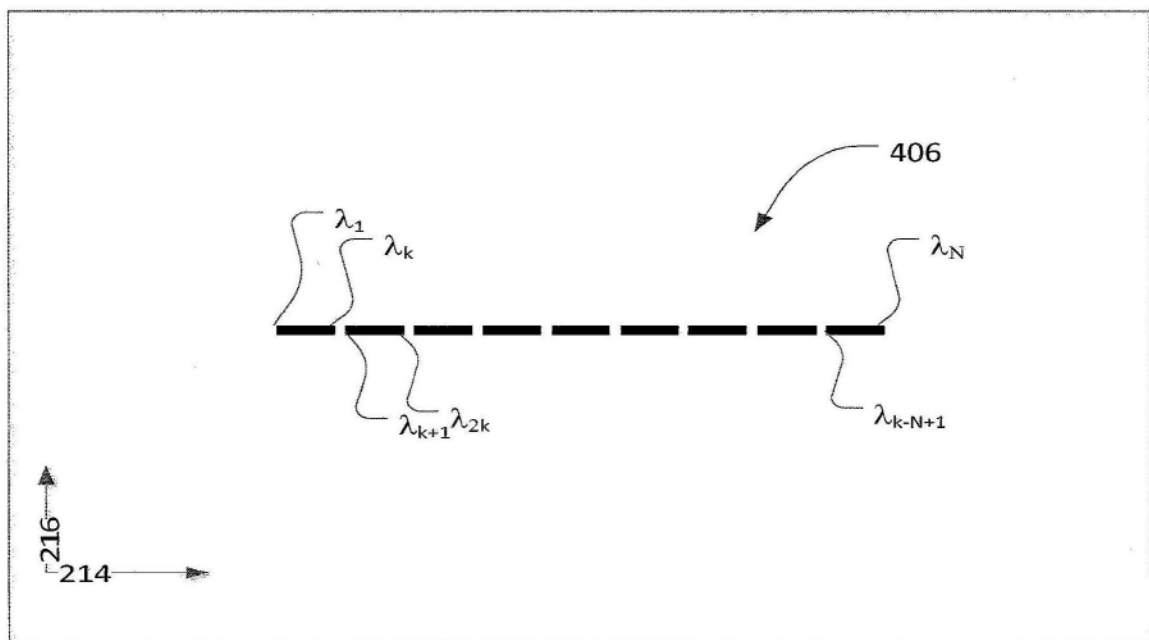


图4B

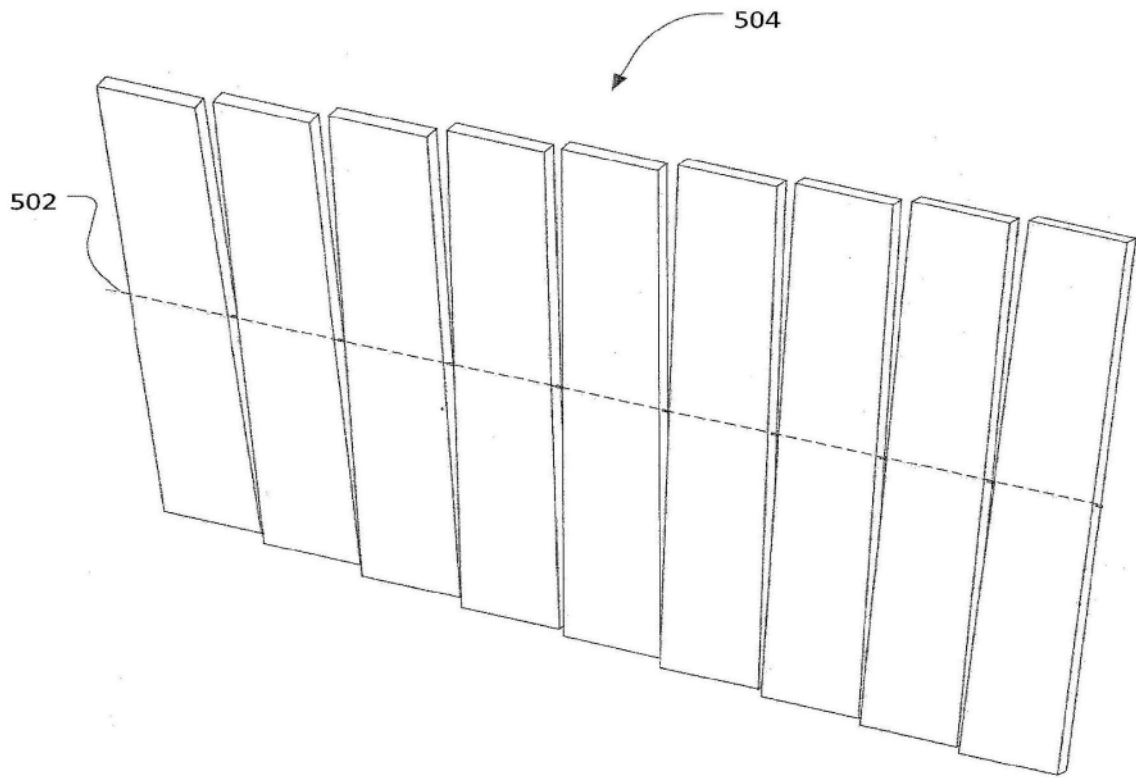


图5A

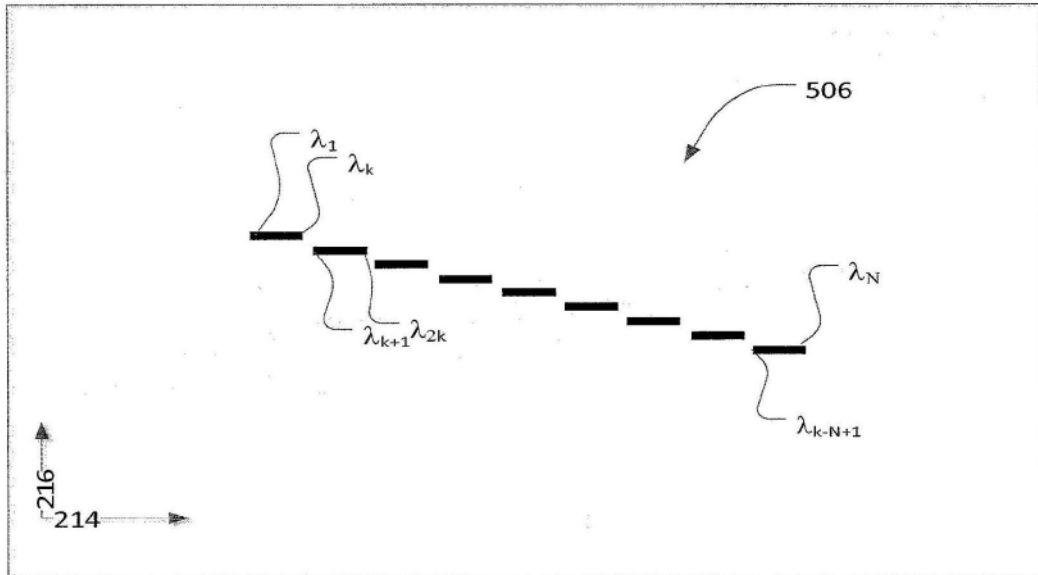


图5B

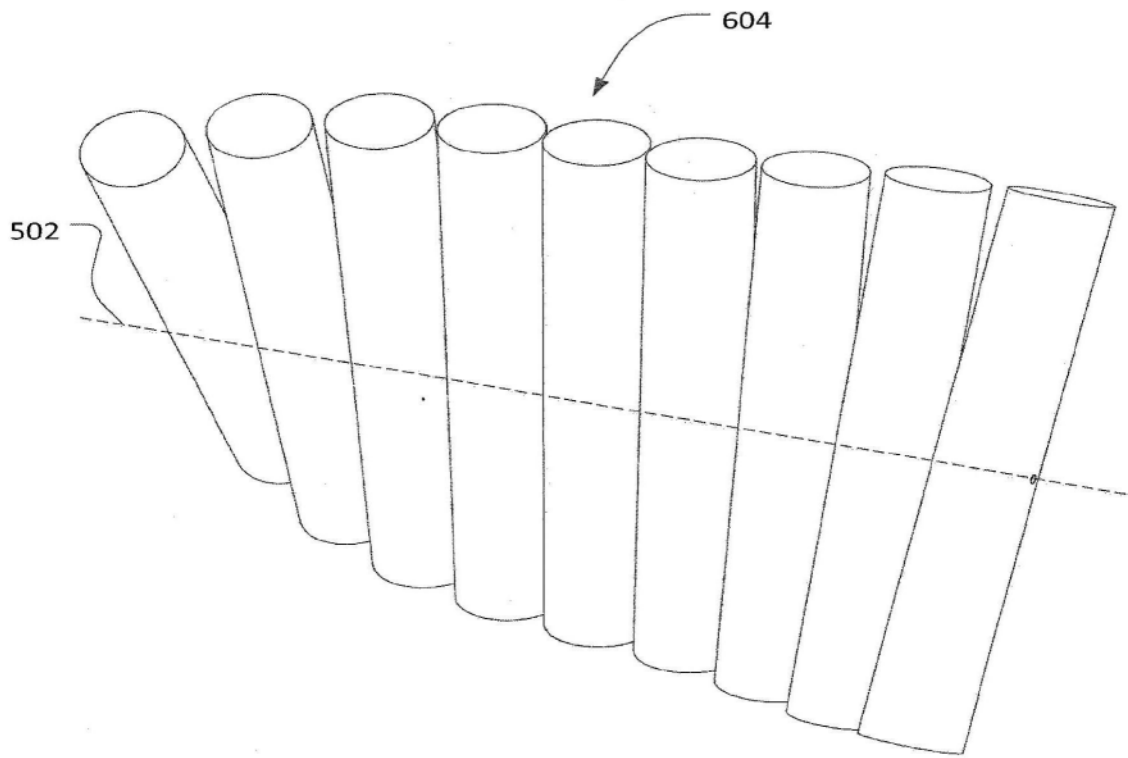


图6A

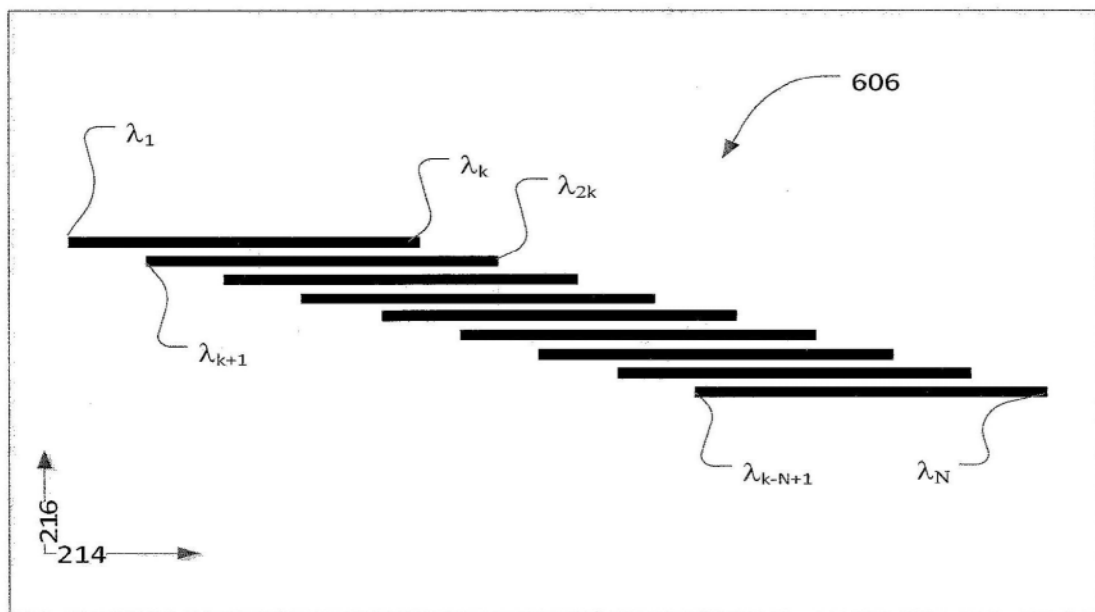


图6B

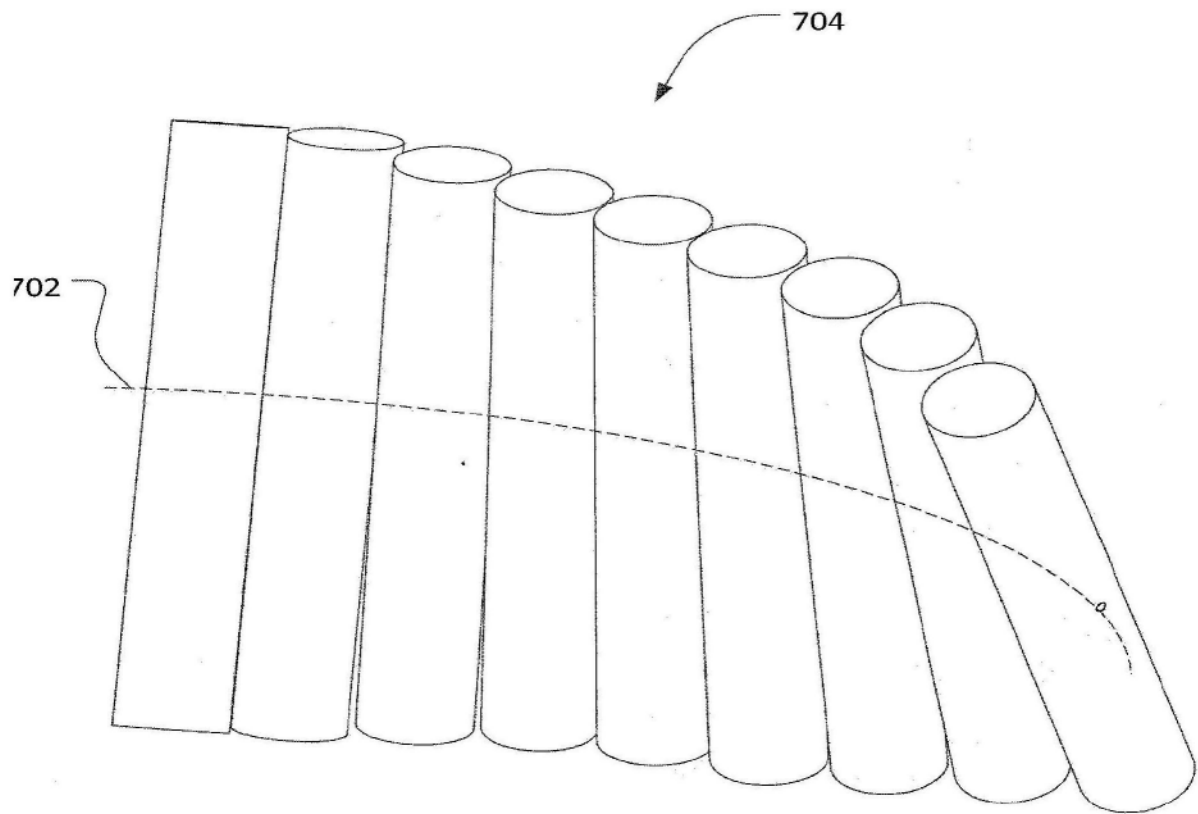


图7A

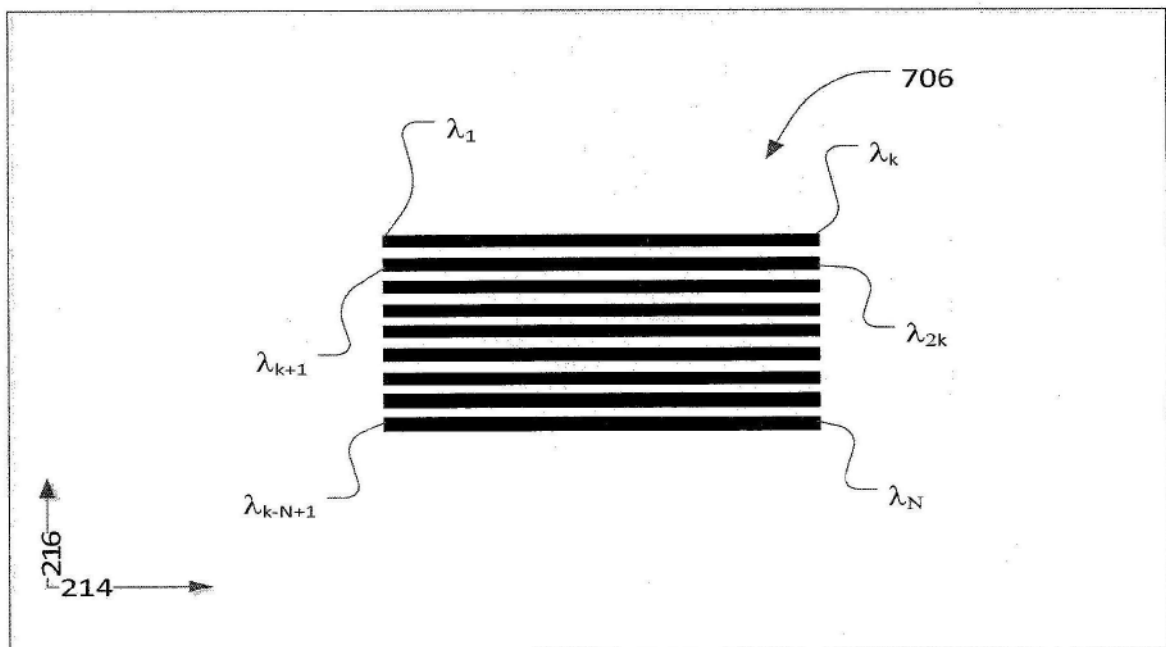


图7B

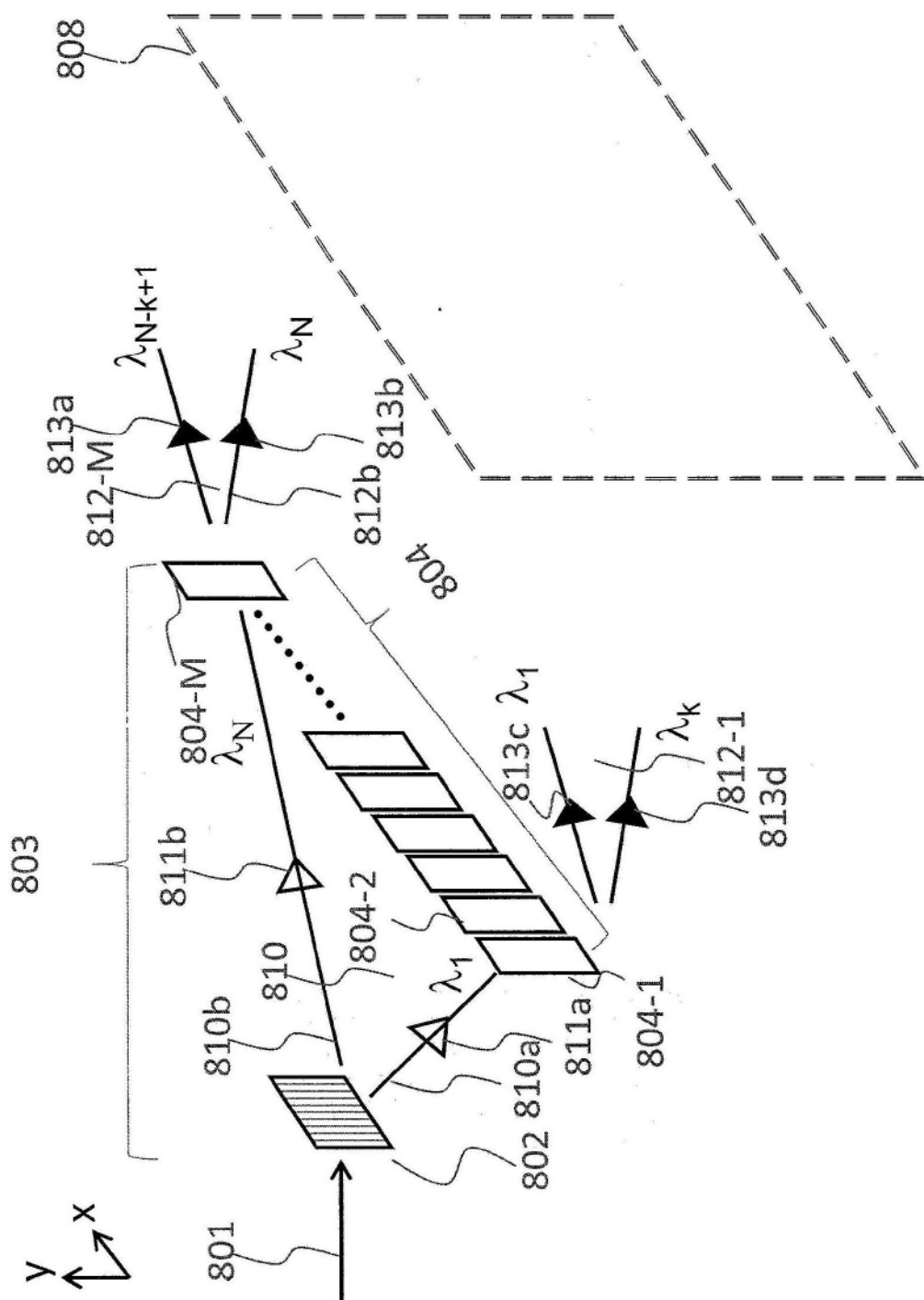


图8

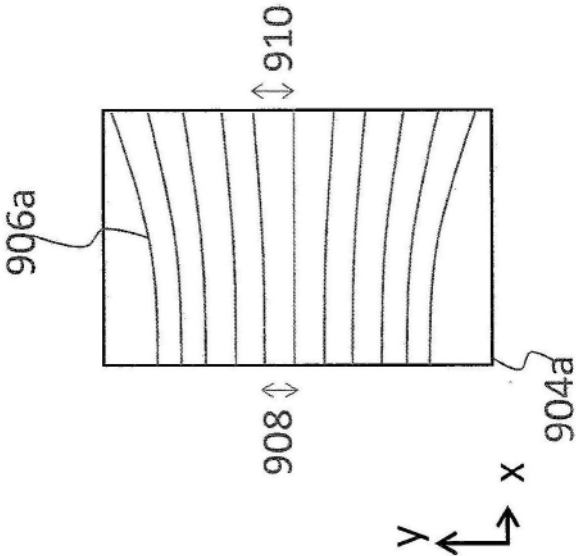


图9A

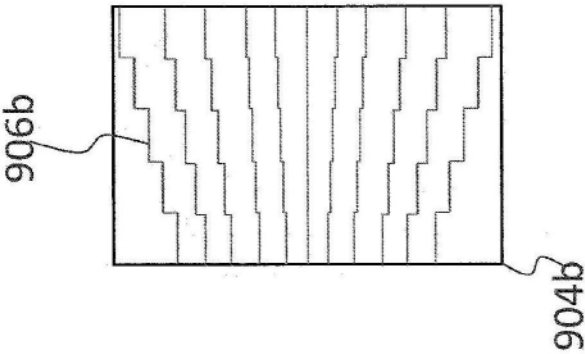


图9B

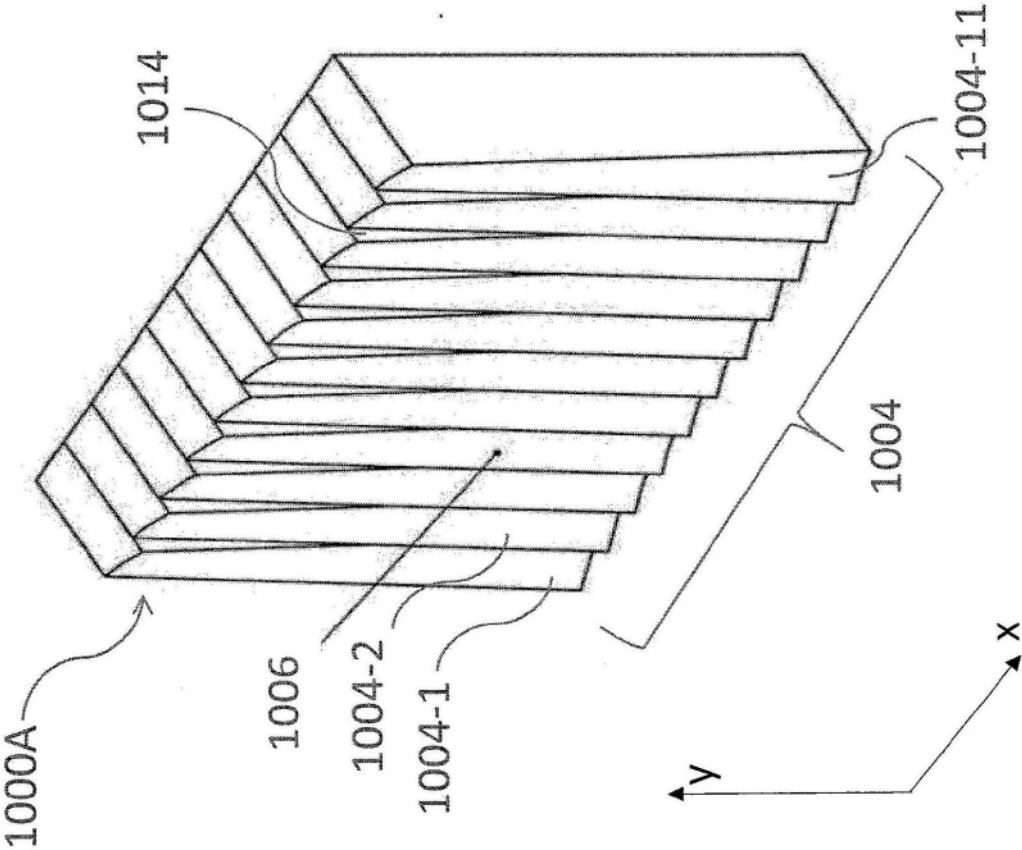


图10A

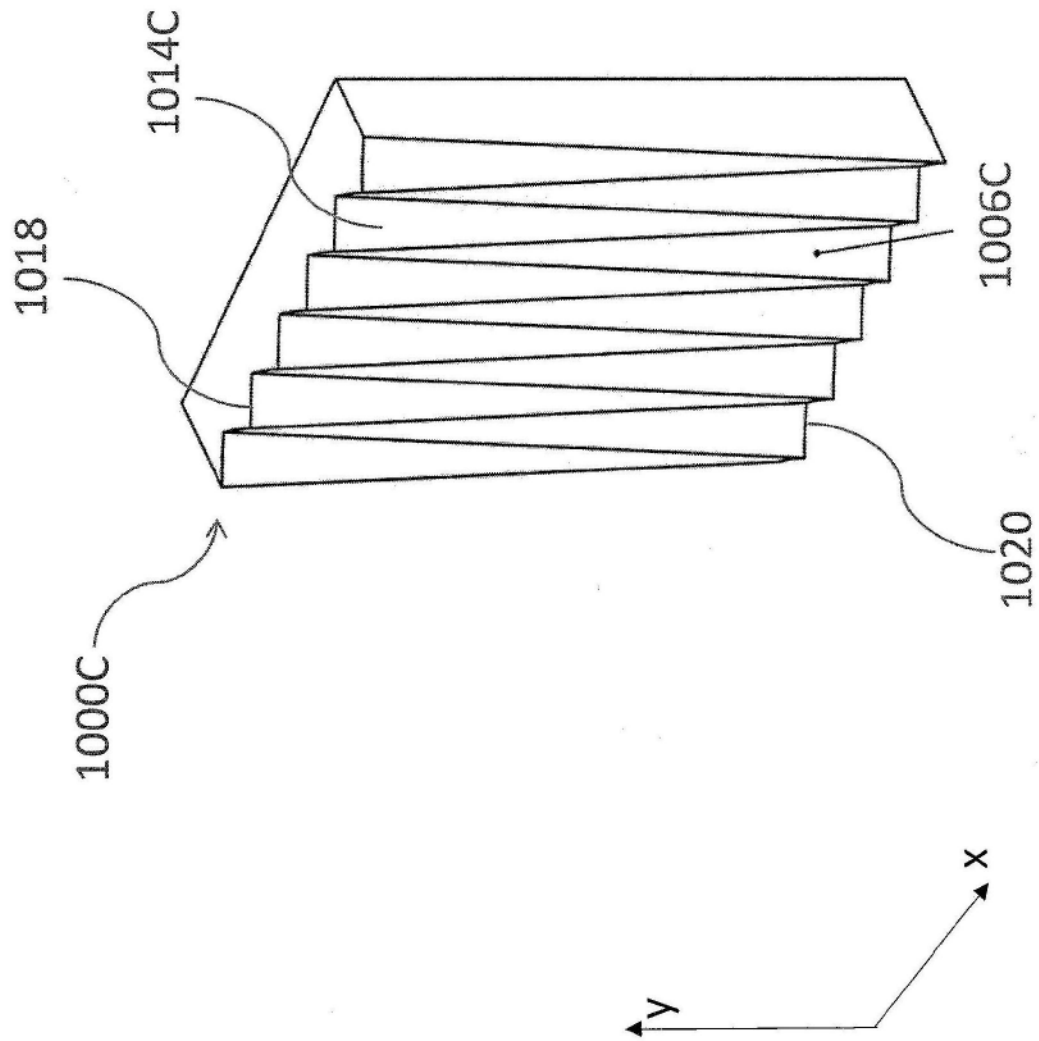


图10C

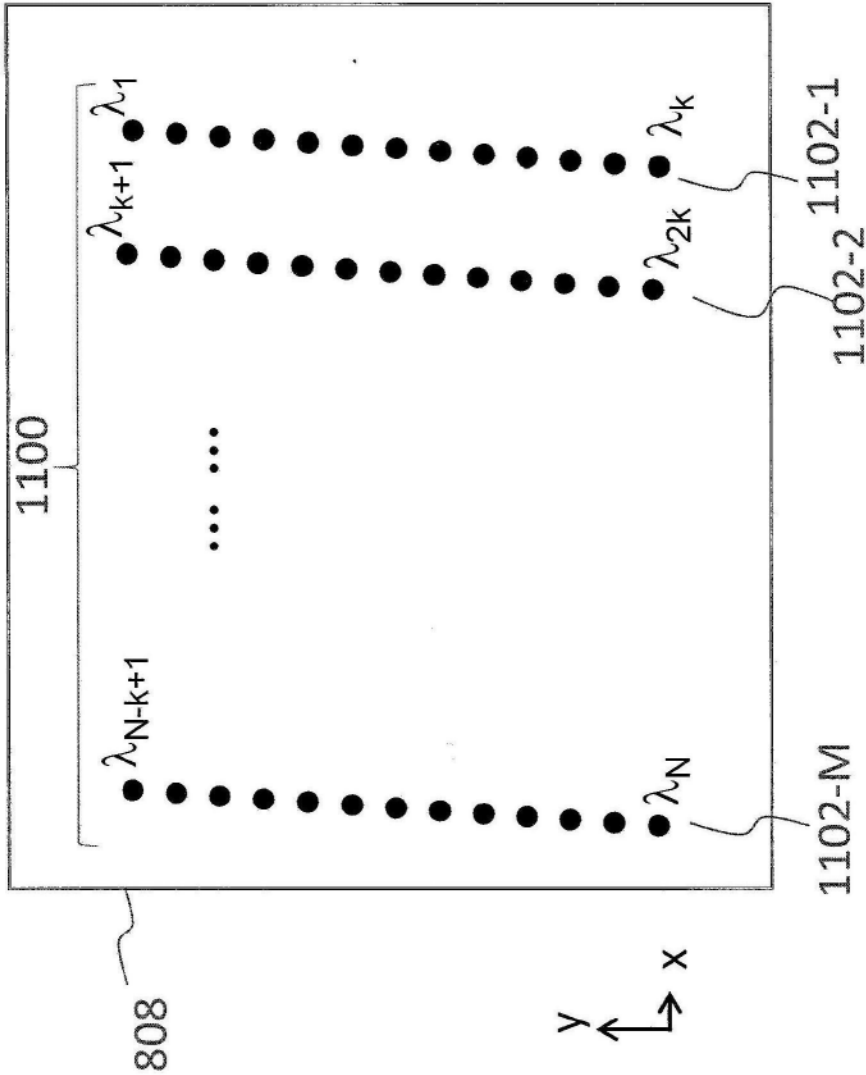


图11