

波束控制器及波束控制方法

技术领域

[0001] 本公开涉及光通信技术领域，特别是涉及一种波束控制器及波束控制方法。

背景技术

[0002] 波束控制作为激光雷达、自由空间光通信等领域的关键技术之一，也可以应用于全息显示、生物成像等领域。目前，随着硅基光子技术的发展，波束控制采用光学相控阵列（OPA）实现，可以具有尺寸较小、速度较快和重量较轻等优势。

[0003] 示例的，光学相控阵列（OPA）包括：星型耦合器或分束器，以及与星型耦合器或分束器耦接的波导阵列。波导阵列由N个平行且排成一列的波导构成，其中，每个波导上集成有可控相移器件，每个波导还与一个二阶线性光栅耦接。多个二阶线性光栅等距排放构成一个一维光学天线阵列，以作为激光输出器件。

[0004] 然而，光学相控阵列（OPA）通常工作在微米量级的波长范围内。为了使二阶线性光栅出射波束的发散角尽可能小，通常需要采用弱光栅在较长距离上将波导所传输的波束以垂直于波导表面的方式出射。由于弱光栅的尺寸较大，在确保波束扫描不出现光栅旁瓣的前提下，相邻二阶线性光栅之间的间距较小，容易导致对应平行排列的波导之间产生耦合串扰。并且，波导的传输距离越长，所产生的串扰越大。从而会大大影响光学相控阵列的光学性能，例如减小其出射角度、降低其扫描输出效率等。

发明概述

技术问题

[0005] 基于此，本公开实施例提供了一种波束控制器及波束控制方法，能够控制合成光束在实现大角度出射的同时具有较高的扫描输出效率。

问题的解决方案

技术解决方案

[0006] 为了实现上述目的，一方面，本公开一些实施例提供了一种波束控制器。该波

束控制器包括：光学相控阵列、自由空间合束区、以及共享光栅发射器。光学相控阵列包括：分束器以及与分束器耦接的波导阵列。分束器被配置为：将初始光束等分为多个子波束。波导阵列包括：与子波束一一对应设置的多个波导。该波导被配置为接收并传输子波束。多个波导的传输尾段呈扇形集中于自由空间合束区。自由空间合束区被配置为：使多个子波束合成于像面上。共享光栅发射器被配置为：将多个子波束合成于像面上的合成光束衍射发射。

[0007] 本公开实施例中，多个子波束的合成、以及合成光束的出射分开独立进行，即：多个子波束的合成利用自由空间合束区内的自由聚焦完成，对应合成光束的出射由共享光栅发射器衍射完成。这样共享光栅发射器的结构可以仅针对合成光束的出射需求设计，而无需再受限于子波束合成的需求，也即：无需同时兼顾将多个子波束聚焦为合成光束的功能，以及将合成光束衍射出射的功能。由此，共享光栅发射器可以具有较大的光束出射角度。

[0008] 并且，多个波导的传输尾段呈扇形集中于自由空间合束区，可以在不影响波导中主要传输部分传输效果的基础上，逐步减小波导传输尾段之间的间距，例如使相邻两个波导的输出端之间的距离小于初始光束的波长，或者小于初始光束的波长的二分之一。此处，波导的输出端即为传输尾段与自由空间合束区交界的端部。从而，可以有效抑制多个子波束聚焦后的合成光束出现光栅旁瓣，以确保或提升波束控制器的扫描输出效率。

[0009] 综上，本公开实施例提供的波束控制器，能够控制合成光束在实现大角度出射的同时具有较高的扫描输出效率。

[0010] 在一些实施例中，像面在基准面上的正投影形状包括：曲率半径为 R 的弧线。自由空间合束区在基准面上的正投影形状包括：曲率半径为 $2R$ 的罗兰圆，罗兰圆的圆心位于前述弧线上。

[0011] 在一些实施例中，相邻两个波导的输出端之间的距离小于初始光束的波长。可选的，每相邻两个波导的输出端之间的距离相等。这样可以使波导阵列中的多个波导具有相同的输出间距，从而容易针对相邻两个波导之间传输距离的差值进行设计和控制。

[0012] 在一些实施例中，相邻两个波导的传输距离之差与波导的群折射率的乘积为初

始光束的波长的整数倍。这样多个波导传输的多个子波束容易在自由空间合束区内进行空间衍射叠加，以聚焦为合成光束于像面上。

[0013] 在一些实施例中，分束器包括级联的多个 1×2 波导式分束器。波导包括顺序连接的传输头段和传输尾段。多个波导的传输头段平行设置，且相邻两个传输头段之间的距离大于第一阈值。

[0014] 在另一些实施例中，分束器包括星型耦合器。波导包括顺序连接的传输头段、传输中段和传输尾段。多个波导的传输头段呈扇形集中于星型耦合器上。多个波导的传输中段平行设置，且相邻两个传输中段之间的距离大于第二阈值。

[0015] 上述第一阈值和第二阈值可以根据实际需求选择设置，以相邻两个波导平行设置的传输段的间距不会对子波束的传输产生耦合串扰为限。

[0016] 在一些实施例中，波导阵列还包括：集成于每个波导上的可控相移器件。可控相移器件被配置为控制子波束的相位。这样利用可控相移器件对子波束的相位进行调节，可以实现多个子波束在波导阵列中相对相位分布的控制。

[0017] 可选的，可控相移器件包括：设置于每个波导上的金属加热层。

[0018] 可选的，波导为掺杂波导，可控相移器件包括：与掺杂波导连接的金属电极。

[0019] 在一些实施例中，波导阵列还包括：集成于每个波导中的可调光衰减器。可调光衰减器被配置为调节波导的传输功率。从而可以利用可调光衰减器，对子波束的强度进行控制，以实现任意形式的波束合成。

[0020] 另一方面，本公开一些实施例提供了一种波束控制方法，应用于上述一些实施例中的波束控制器。所述波束控制方法包括的步骤如下所述。

[0021] 分束器将初始光束等分为多个子波束，并将一个子波束对应传输至一个波导中。

[0022] 多个波导分别将对应的子波束传输至自由空间合束区。

[0023] 多个子波束在自由空间合束区内合成于像面上。

[0024] 共享光栅发射器将多个子波束合成于像面上的合成光束衍射出射。

[0025] 在一些实施例中，所述波束控制方法还包括如下步骤。

[0026] 调节初始光束的波长，使合成光束的扫描角沿第一方向变化。调节子波束的相位，使合成光束的扫描角沿第二方向变化。其中，第一方向和第二方向正交。

发明的有益效果

有益效果

[0027] 本公开实施例提供的波束控制方法，应用于前述一些实施例中的波束控制器。前述波束控制器所能实现的技术效果，该波束控制方法也均能实现，此处不再详述。

对附图的简要说明

附图说明

[0028] 为了更清楚地说明本公开实施例中的技术方案，下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本公开的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0029] 图1为一实施例中提供的一种波束控制器的俯视示意图；

[0030] 图2为一实施例中提供的另一种波束控制器的俯视示意图；

[0031] 图3为一实施例中提供的一种自由空间合束区的结构示意图；

[0032] 图4为一实施例中提供的一种共享光栅发射器的结构示意图；

[0033] 图5为一实施例中提供的一种波导阵列的结构示意图；

[0034] 图6为一实施例中提供的一种初始光束的合成光路和出射光路的示意图；

[0035] 图7为一实施例中提供的另一种初始光束的合成光路及出射光路的示意图。

[0036]

[0037] 附图标记说明：

[0038] 100-波束控制器，1-光学相控阵列，2-自由空间合束区，3-共享光栅发射器，

[0039] 11-分束器，12-波导阵列，120-波导，1210-传输头段，1215-传输中段，

[0040] 1220-传输尾段，121-可控相移器件，122-可调光衰减器，31-弧形齿，

[0041] 111-1×2波导式分束器，S0-像面，La-弧线，Rc-罗兰圆，D1-相邻传输中段之间的距离，

[0042] D2-相邻传输头段之间的距离，D3-相邻输出端之间的距离，

[0043] O1-罗兰圆的圆心，O2-像面的曲率中心，O3-弧形齿的曲率中心，

[0044] α_1 和 α_2 -不同波长条件下合成光束在竖直方向上的出射角度，

[0045] A和B-不同相位条件下合成光束在水平方向上的聚焦位置。

发明实施例

本发明的实施方式

[0046] 为了便于理解本公开，下面将参照相关附图对本公开进行更全面的描述。附图中给出了本公开的实施例。但是，本公开可以以许多不同的形式来实现，并不限于本文所描述的实施例。相反地，提供这些实施例的目的是使本公开的公开内容更加透彻全面。

[0047] 除非另有定义，本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本公开的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中在本公开的说明书中所使用的术语只是为了描述具体的实施例的目的，不是旨在限制本公开。

[0048] 应当明白，当元件或层被称为“在...上”、“与...相邻”、“连接到”或“耦合到”其它元件或层时，其可以直接地在其它元件或层上、与之相邻、连接或耦合到其它元件或层，或者可以存在居间的元件或层。相反，当元件被称为“直接在...上”、“与...直接相邻”、“直接连接到”或“直接耦合到”其它元件或层时，则不存在居间的元件或层。

[0049] 应当明白，尽管可使用术语第一、第二、第三等描述各种元件、部件、区、层和/或部分，但这些元件、部件、区、层和/或部分不应当被这些术语限制。这些术语仅仅用来区分一个元件、部件、区、层或部分与另一个元件、部件、区、层或部分。因此，在不脱离本公开教导之下，下面讨论的第一元件、部件、区、层或部分可表示为第二元件、部件、区、层或部分。

[0050] 空间关系术语例如“在...下”、“在...下面”、“下面的”、“在...之下”、“在...之上”、“上面的”等，在这里可以用于描述图中所示的一个元件或特征与其它元件或特征的关系。应当明白，除了图中所示的取向以外，空间关系术语还包括使用和操作中的器件的不同取向。例如，如果附图中的器件翻转，描述为“在其它元件下面”或“在其之下”或“在其下”元件或特征将取向为在其它元件或特征“上”。因此，示例性术语“在...下面”和“在...下”可包括上和下两个取向。此外，器件也可以包括另外地取向(譬如，旋转90度或其它取向)，并且在此使用的空间描述语相应地被解释。

- [0051] 在此使用时，单数形式的“一”、“一个”和“所述/该”也可以包括复数形式，除非上下文清楚指出另外的方式。还应当理解的是，术语“包括/包含”或“具有”等指定所陈述的特征、整体、步骤、操作、组件、部分或它们的组合的存在，但是不排除存在或添加一个或多个其他特征、整体、步骤、操作、组件、部分或它们的组合的可能性。同时，在本说明书中，术语“和/或”包括相关所列项目的任何及所有组合。
- [0052] 这里参考作为本公开的理想实施例(和中间结构)的示意图的横截面图来描述发明的实施例，这样可以预期由于例如制造技术和/或容差导致的所示形状的变化。因此，本公开的实施例不应当局限于在此所示的区的特定形状，而是包括由于例如制造技术导致的形状偏差。图中显示的区实质上是示意性的，它们的形状并不表示器件的区的实际形状，且并不限定本发明的范围。
- [0053] 请参阅图1和图2，本公开一些实施例提供了一种基于光学相控阵列的波束控制器100。波束控制器100包括：光学相控阵列1、自由空间合束区2、以及共享光栅发射器3。光学相控阵列1包括：分束器11以及与分束器11耦接的波导阵列12。分束器11被配置为：将初始光束等分为多个子波束。波导阵列12包括：与子波束一一对应设置的多个波导120。波导120被配置为接收并传输子波束。多个波导120的传输尾段呈扇形集中于自由空间合束区2。自由空间合束区2被配置为：将多个子波束合成于像面S0上。共享光栅发射器3被配置为：将多个子波束合成于像面S0上的合成光束衍射发射。
- [0054] 分束器11可以采用星型耦合器，或者由多个 1×2 波导式分束器级联构成。分束器11被配置为将初始光束等分为多个子波束，分束器11具有：至少一个输入端、以及多个输出端。分束器11的输入端与光源耦接，分束器11的一个输出端对应输出一个子波束。
- [0055] 可选的，光源为激光芯片，光源出射的光束为：波长在950nm~1550nm之间的近红外光束。光源传输至分束器11的光束为初始光束，初始光束的波长可以通过光源调节。
- [0056] 波导阵列12中波导120的数量与分束器11的输出端的数量对应，例如二者相同。波导120为平面光波导。分束器11和波导阵列12可以采用二氧化硅(SiO₂)、

玻璃、铌酸锂（LiNbO₃）、III-V族半导体化合物、绝缘体上的硅（Silicon-on-Insulator, SOI/SIMOX）、氮化硅（SiN）、氮氧化硅（SiON）、高分子聚合物（Polymer）等材料制备获得。

[0057] 根据分束器11结构的不同，波导120的结构也不同。

[0058] 在一些示例中，如图1所示，分束器11为星型耦合器，分束器11的多个输出端沿圆周分布。波导120包括顺序连接的传输头段1210、传输中段1215和传输尾段1220。多个波导120的传输头段1210呈扇形集中于星型耦合器上，且一个波导120的传输头段1210对应与星型耦合器的一个输出端耦接。多个波导120的传输中段1215平行设置，且相邻两个传输中段1215之间的距离D1大于第一阈值。多个波导120的传输尾段呈扇形集中于自由空间合束区2。

[0059] 在另一些示例中，如图2所示，分束器11由多个1×2波导式分束器111级联构成，分束器11的多个输出端平行排布。波导120包括顺序连接的传输头段1210和传输尾段1220。多个波导120的传输头段1210平行设置，且相邻两个传输头段1210之间的距离D2大于第二阈值。

[0060] 此处，可以理解的是，波导120的传输距离通常较长，但波导120的传输尾段1220的长度需要设置的尽可能小，以使波导120中的主要传输部分为其与相邻波导120平行设置的传输段，例如如图1中的传输中段1215或者图2中的传输头段1210。基于此，第一阈值和第二阈值可以根据实际需求选择设置，以相邻两个波导120平行设置的传输段的间距不会对子波束的传输产生耦合串扰为限。由于波导120的传输尾段1220的长度较短，因此，虽然多个波导120的传输尾段1220呈扇形集中，使得相邻两个传输尾段1220之间的间隔逐渐减小，但相邻两个传输尾段1220之间对子波束传输的耦合串扰也可以忽略不计。

[0061] 本公开实施例中，多个波导120的传输尾段呈扇形集中于自由空间合束区2，使得波导阵列12输出的多个子波束的合成可以在自由空间合束区2内完成，例如使多个子波束聚焦于像面S0上，像面S0为多个子波束在自由空间合束区2内聚焦后的虚拟成像面。自由空间合束区2为自由传输区域（Free Propagation Region，简称FPR）。

[0062] 可选的，如图3所示，像面S0为弧面，像面S0在基准面上的正投影形状包括：

曲率半径为 R 的弧线 La 。相应的，自由空间合束区2在基准面上的正投影形状包括：半径为 $2R$ 的罗兰圆 Rc ，该罗兰圆 Rc 的圆心 $O1$ 位于前述弧线 La 上。

- [0063] 此处，基准面是指与波导阵列12所在平面平行的平面，例如图1、图2和图3中所示的水平面。并且，基于此，多个波导120的传输尾段呈扇形集中于自由空间合束区2，是指多个波导120的输出端沿罗兰圆 Rc 的圆周分布。
- [0064] 本公开实施例中，共享光栅发射器3被配置为将多个子波束合成于像面 $S0$ 上的合成光束衍射发射，共享光栅发射器3可以采用同心二阶光栅结构。例如图4所示，共享光栅发射器3由曲率中心 $O3$ 相同的多个弧形齿31构成。本公开实施例对弧形齿31的数量、曲率半径等不做限定，以合成光束可以从像面 $S0$ 直接出射至共享光栅发射器3内为限。
- [0065] 可选的，像面 $S0$ 位于弧形齿31与其曲率中心 $O3$ 围成的区域内。例如，请结合图3和图4理解，像面 $S0$ 的曲率中心 $O2$ 与弧形齿31的曲率中心 $O3$ 相同。或者，还例如，请继续结合图3和图4理解，像面 $S0$ 与共享光栅发射器3中曲率半径最小的弧形齿31的内表面重叠。
- [0066] 如此，多个子波束合成于像面 $S0$ 上的合成光束，可以沿聚焦方向直线传输至共享光栅发射器3上并被共享光栅发射器3衍射出射。这也就是说，多个子波束聚焦于像面 $S0$ 上的合成光束，会沿垂直于像面 $S0$ 周向的出光方向传输至共享光栅发射器3。共享光栅发射器3具有波长选择功能，在合成光束的波长满足共享光栅发射器3的光栅方程的条件下，合成光束能够通过共享光栅发射器3实现一定角度的衍射出射。并且，初始光束的波长和相位不同，对应合成光束聚焦于像面 $S0$ 的位置以及合成光束的出射角度也不同。共享光栅发射器3采用同心设置的多个弧形齿31，并使像面 $S0$ 位于弧形齿31与其曲率中心 $O3$ 围成的区域内，可以使得多个弧形齿31作为一个整体，对像面 $S0$ 上任一位置的合成光束进行衍射出射。
- [0067] 此外，共享光栅发射器3采用如上结构，相邻两个弧形齿31之间的间距大小并不会对合成光束的衍射出射产生耦合串扰。这样波导阵列12中波导120的数量也无需因共享光栅发射器3的尺寸较小而尽量减少，有利于提高波束控制器100的传输功率。

- [0068] 综上，本公开实施例中，多个子波束的合成、以及合成光束的出射分开独立进行，即：多个子波束的合成利用自由空间合束区2内的自由聚焦完成，对应合成光束的出射由共享光栅发射器3衍射完成。这样共享光栅发射器3的结构可以仅针对合成光束的出射需求设计，而无需再受限于子波束合成的需求，也即：无需同时兼顾将多个子波束聚焦为合成光束的功能，以及将合成光束衍射出射的功能。由此，共享光栅发射器3可以具有较大的光束出射角度。
- [0069] 并且，多个波导120的传输尾段呈扇形集中于自由空间合束区2，可以在不影响波导120中主要传输部分传输效果的基础上，逐步减小波导120传输尾段1220之间的间距，例如使相邻两个波导120的输出端之间的距离小于初始光束的波长，或者小于初始光束的波长的二分之一。此处，波导120的输出端即为传输尾段1220与自由空间合束区2交界的端部。从而，可以有效抑制多个子波束聚焦后的合成光束出现光栅旁瓣，以确保或提升波束控制器100的扫描输出效率。
- [0070] 需要说明的是，在一种可能的实现方式中，相邻两个波导120的传输距离之差与波导120的群折射率的乘积为初始光束的波长的整数倍。这样多个波导120传输的多个子波束容易在自由空间合束区2内进行空间衍射叠加，以聚焦为合成光束于像面S0上。
- [0071] 在此基础上，可选的，如图5所示，每相邻两个波导120的输出端之间的距离D3相等，使得波导阵列12中的多个波导120具有相同的输出间距，这样容易针对相邻两个波导120之间传输距离的差值进行设计和控制。
- [0072] 在一些实施例中，请继续参阅图5，波导阵列12还包括：集成于每个波导120上的可控相移器件（Phase Shifter）121。可控相移器件121被配置为控制子波束的相位。这样利用可控相移器件121对子波束的相位进行调节，可以实现多个子波束在波导阵列12中相对相位分布的控制。
- [0073] 可控相移器件121的结构可以根据实际需求选择设置。例如，可控相移器件121为设置于每个波导120上的金属加热层；这样可以通过金属加热层提供的加热温度来控制对应子波束的相位。或者，还例如，波导120为掺杂波导，可控相移器件121为与波导120连接的金属电极，这样可以通过金属电极传输的电信号来控制对应子波束的相位。

- [0074] 由上，通过调整初始光束的波长，可以使合成光束的出射角度在竖直面内发生变化，以实现合成光束在第一方向（例如竖直方向）上的扫描。初始光束的波长可以决定合成光束在竖直方向上的扫描角。通过可控相移器件121控制对应子波束的相位发生变化，可以使得合成光束在水平面内沿像面S0的周向聚焦于不同位置，以实现合成光束在水平方向上的扫描。子波束的相位可以决定合成光束在第二方向（例如水平方向）上的扫描角。此外，初始光束波长的调整、以及子波束相位的调整，可以择一进行，也可以同时进行。
- [0075] 为了更清楚的说明不同波长和不同相位对合成光束的影响，图6和图7分别示出了两种合成光束在不同波长和不同相位控制下的光路。
- [0076] 如图6所示，初始光束的波长为 λ_1 ，子波束的相位控制采用第一控制方式。波导阵列12传输至自由空间合束区2内的多个子波束，可以在自由空间内衍射叠加后聚焦于像面S0的A点位置（图6中的（a）所示），并在共享光栅发射器3的作用下以夹角 α_1 从水平面（即波束控制器100的表面）出射（图6中的（b）所示）。
- [0077] 如图7所示，初始光束的波长为 λ_2 ，子波束的相位控制采用第二控制方式，其中， $\lambda_2 \neq \lambda_1$ ，第一控制方式与第二控制方式不同。波导阵列12传输至自由空间合束区2内的多个子波束，可以在自由空间内衍射叠加后聚焦于像面S0的B点位置（图7中的（a）所示），并在共享光栅发射器3的作用下以夹角 α_2 从水平面（即波束控制器100的表面）出射（图7中的（b）所示）。
- [0078] 在一些实施例中，请继续参阅图5，波导阵列12还包括：集成于每个波导120中的可调光衰减器（Variable Optical Attenuator，简称VOA）122。可调光衰减器122被配置为调节波导120的传输功率。从而可以利用可调光衰减器122，对子波束的强度进行控制，以实现任意形式的波束合成。
- [0079] 可调光衰减器122的结构可以根据实际需求选择设置。可选的，可调光衰减器122由马赫曾得干涉仪（MZI）构成。通过马赫曾得干涉仪（MZI）调节子波束的相位，可以实现任意比例的功率衰减。
- [0080] 本公开一些实施例提供了一种波束控制方法，应用于上述一些实施例中的波束控制器100。所述波束控制方法包括S100~S400。

- [0081] S100, 分束器11将初始光束等分为多个子波束, 并将一个子波束对应传输至一个波导120中。
- [0082] 此处, 分束器11可以采用星型耦合器, 或者由多个 1×2 波导式分束器级联构成。分束器11的输入端与光源耦接, 分束器11的一个输出端与一个波导120对应耦接。
- [0083] 此外, 光源例如为激光芯片, 光源出射的光束可以为: 波长在 $950\text{nm} \sim 1550\text{nm}$ 之间的近红外光束。光源传输至分束器11的光束为初始光束, 初始光束的波长可以通过光源调节。
- [0084] S200, 多个波导120分别将对应的子波束传输至自由空间合束区2。
- [0085] 此处, 多个波导120的传输尾段呈扇形集中于自由空间合束区2。
- [0086] 此外, 波导120的传输距离通常较长, 但波导120的传输尾段1220的长度需要设置的尽可能小, 以使波导120中的主要传输部分为其与相邻波导120平行设置的传输段, 例如图1中的传输中段1215或者图2中的传输头段1210。基于此, 相邻波导120中平行传输段的间距, 以其不会对子波束的传输产生耦合串扰为限。由于波导120的传输尾段1220的长度较短, 因此, 虽然多个波导120的传输尾段1220呈扇形集中, 使得相邻两个传输尾段1220之间的间隔逐渐减小, 但相邻两个传输尾段1220之间对子波束传输的耦合串扰也可以忽略不计。
- [0087] S300, 多个子波束在自由空间合束区2内合成于像面S0上。
- [0088] 多个波导120的传输尾段呈扇形集中于自由空间合束区2, 使得波导阵列12输出的多个子波束的合成可以在自由空间合束区2内完成, 例如使多个子波束聚焦于像面S0上, 像面S0为多个子波束在自由空间合束区2内聚焦后的虚拟成像面。自由空间合束区2为自由传输区域 (Free Propagation Region, 简称FPR)。
- [0089] S400, 共享光栅发射器3将多个子波束合成于像面S0上的合成光束衍射出射。
- [0090] 多个子波束合成于像面S0上的合成光束, 可以沿聚焦方向直线传输至共享光栅发射器3上并被共享光栅发射器3衍射出射。这也就是说, 多个子波束聚焦于像面S0上的合成光束, 会沿垂直于像面S0周向的出光方向传输至共享光栅发射器3。共享光栅发射器3具有波长选择功能, 在合成光束的波长满足共享光栅发射器3的光栅方程的条件下, 合成光束能够通过共享光栅发射器3实现一定角度的衍

射出射。并且，初始光束的波长和相位不同，对应合成光束聚焦于像面S0的位置以及合成光束的出射角度也不同。

[0091] 本公开实施例提供的波束控制方法，应用于前述一些实施例中的波束控制器。前述波束控制器所能实现的技术效果，该波束控制方法也均能实现，此处不再详述。

[0092] 在一些实施例中，波束控制方法还包括S500。

[0093] S500，调节初始光束的波长，使合成光束的扫描角沿第一方向变化。调节子波束的相位，使合成光束的扫描角沿第二方向变化。其中，第一方向和第二方向正交。

[0094] 此处，初始光束的波长可以通过对光源的控制调节。

[0095] 子波束的相位可以通过集成于每个波导120上的可控相移器件（Phase Shifter）121实现。例如，可控相移器件121为设置于每个波导120上的金属加热层；这样可以通过金属加热层提供的加热温度来控制对应子波束的相位。或者，还例如，波导120为掺杂波导，可控相移器件121为与每个波导120连接的金属电极，这样可以通过金属电极传输的电信号来控制对应子波束的相位。

[0096] 第一方向例如为竖直方向，第二方向例如为水平方向。

[0097] 此外，S500与S300、S400之间并无顺序上的必然限制，也即任一在前执行、或同时执行，均是允许的。

[0098] 在一些实施例中，波束控制方法还包括S600。

[0099] S600，调节波导的传输功率，以使子波束的强度发生变化。

[0100] 此处，波导的传输功率可以通过集成于每个波导120中的可调光衰减器122实现。

[0101] 例如，可调光衰减器122由马赫曾得干涉仪（MZI）构成。通过马赫曾得干涉仪（MZI）调节子波束的相位，可以实现任意比例的功率衰减。从而对子波束的强度进行控制，以实现任意形式的波束合成。

[0102] 此外，S600与S300、S400、S500之间并无顺序上的必然限制，也即任一在前执行、或同时执行，均是允许的。

[0103] 以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合，为使描述简洁，未对上述

实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述，然而，只要这些技术特征的组合不存在矛盾，都应当认为是本说明书记载的范围。

[0104] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本发明的保护范围。因此，本发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。

权利要求书

- [权利要求 1] 一种波束控制器，其特征在于，包括：光学相控阵列、自由空间合束区、以及共享光栅发射器；其中，所述光学相控阵列包括：分束器以及与所述分束器耦接的波导阵列；
- 所述分束器被配置为：将初始光束等分为多个子波束；
- 所述波导阵列包括：与所述子波束一一对应设置的多个波导；所述波导被配置为接收并传输所述子波束；
- 多个所述波导的传输尾段呈扇形集中于所述自由空间合束区；所述自由空间合束区被配置为：使多个所述子波束合成于像面上；
- 所述共享光栅发射器被配置为：将多个所述子波束合成于所述像面上的合成光束衍射发射。
- [权利要求 2] 根据权利要求1所述的波束控制器，其特征在于，
- 所述像面在基准面上的正投影形状包括：曲率半径为 R 的弧线；
- 所述自由空间合束区在所述基准面上的正投影形状包括：半径为 $2R$ 的罗兰圆，所述罗兰圆的圆心位于所述弧线上。
- [权利要求 3] 根据权利要求1所述的波束控制器，其特征在于，相邻两个所述波导的输出端之间的距离小于所述初始光束的波长。
- [权利要求 4] 根据权利要求3所述的波束控制器，其特征在于，每相邻两个所述波导的输出端之间的距离相等。
- [权利要求 5] 根据权利要求1所述的波束控制器，其特征在于，相邻两个所述波导的传输距离之差与所述波导的群折射率的乘积为所述初始光束的波长的整数倍。
- [权利要求 6] 根据权利要求1所述的波束控制器，其特征在于，所述分束器包括星型耦合器；所述波导包括顺序连接的传输头段、传输中段和传输尾段；
- 多个所述波导的传输头段呈扇形集中于所述星型耦合器上；
- 多个所述波导的传输中段平行设置，且相邻两个所述传输中段之间的距离大于第一阈。

- [权利要求 7] 根据权利要求1所述的波束控制器，其特征在于，所述分束器包括级联的多个 1×2 波导式分束器；
所述波导包括顺序连接的传输头段和传输尾段；多个所述波导的传输头段平行设置，且相邻两个所述传输头段之间的距离大于第二阈值。
- [权利要求 8] 根据权利要求1所述的波束控制器，其特征在于，所述波导阵列还包括：集成于每个所述波导上的可控相移器件；所述可控相移器件被配置为控制所述子波束的相位。
- [权利要求 9] 根据权利要求8所述的波束控制器，其特征在于，
所述可控相移器件包括：设置于每个所述波导上的金属加热层；
或，所述波导为掺杂波导；所述可控相移器件包括：与所述掺杂波导连接的金属电极。
- [权利要求 10] 根据权利要求1所述的波束控制器，其特征在于，所述波导阵列还包括：集成于每个所述波导中的可调光衰减器；所述可调光衰减器被配置为调节所述波导的传输功率。
- [权利要求 11] 一种波束控制方法，其特征在于，包括：
分束器将初始光束等分为多个子波束，并将一个所述子波束对应传输至一个波导中；
多个所述波导分别将对应的所述子波束传输至自由空间合束区；
多个所述子波束在所述自由空间合束区内合成于像面上；
共享光栅发射器将多个所述子波束合成于所述像面上的合成光束衍射出射。
- [权利要求 12] 根据权利要求11所述的波束控制方法，其特征在于，所述波束控制方法还包括：
调节所述初始光束的波长，使所述合成光束的扫描角沿第一方向变化；
调节所述子波束的相位，使所述合成光束的扫描角沿第二方向变化；
其中，所述第一方向和所述第二方向正交。