

光束扫描系统

技术领域

[0001] 本发明涉及光扫描技术领域，特别是涉及一种光束扫描系统。

背景技术

[0002] 波束控制是激光雷达、自由空间光通信等领域中的关键技术，且在全息显示以及生物成像等领域中存在潜在应用。

[0003] 目前，波束控制往往会通过光学相控阵列（OPA）的方法来实现，例如，输入激光通过星型耦合器等分至N个阵列波导中，每个阵列波导中均集成有可控相移阵列，每个相位控制的阵列波导均连接二阶线性波导光栅，以线性波导光栅作为表面垂直发射输出器件，多个线性波导光栅发射器等距排列组成一维光学天线阵列。通过调整阵列波导间的相对位相，光栅发射器构成的阵列发射的子波束在空间内相干叠加，实现光束在阵列方向的扫描控制。

[0004] 然而，作为发射器件的波导光栅同时兼具波束合成和平面波导表面垂直输出的功能，无光栅旁瓣的波束合成需要波导光栅间距亚波长排放，而为了输出光束具有小发散角，波导光栅需是大尺寸弱光栅结构，为了满足小间距和长波导并行排放，不可避免地会造成波导光栅间的大耦合干扰。

发明概述

技术问题

[0005] 基于此，有必要针对上述问题，提供一种光束扫描系统。

问题的解决方案

技术解决方案

[0006] 一种光束扫描系统，所述光束扫描系统包括：

[0007] 分束装置，接收激光光束，并将所述激光光束分成若干个子光束后输出；

[0008] 光波导阵列，设置于所述分束装置的输出方向上，用于接收若干个所述子光束并传输若干个所述子光束至预设的波导出射端；

[0009] 光束合成部，连接所述光波导阵列，所述波导出射端输出的各子光束在所述光

束合成部内进行衍射叠加，并合束聚焦于预设的光束出射面；

- [0010] 光束调节装置，设置于所述光束出射面的出射方向上，用于对所述光束出射面输出的光束进行扩束准直，形成扫描光束；
- [0011] 相位调节装置，连接所述光波导阵列，调节所述光波导阵列中各子波波导间的相对位相分布，以调节合成后的光束在所述光束出射面上的聚焦位置，进行第一方向上的光束扫描。
- [0012] 在其中一个实施例中，预设的所述波导出射端设置于半径为 $2R$ 的罗兰圆的圆周；预设的所述光束出射面位于所述罗兰圆内部，且到所述波导出射端的距离为 $2R$ ， R 为正数。
- [0013] 在其中一个实施例中，所述波导出射端处的各所述子波波导的间距小于所述激光光束的波长。
- [0014] 在其中一个实施例中，所述分束装置包括星型耦合器或级联的 $1 \times n$ 波导分束器， n 为大于或等于2的自然数。
- [0015] 在其中一个实施例中，所述光束调节装置包括准直透镜组件。
- [0016] 在其中一个实施例中，所述相位调节装置包括相位调制器。
- [0017] 在其中一个实施例中，所述相位调制器通过将硅波导中的光信号耦合至所述硅波导上的电光介质层波导，利用介质的电光效应进行波导位相调制；或者，所述相位调制器通过将pin结电流注入硅波导，以进行波导位相调制；或者，所述相位调制器通过置于硅波导上方的金属加热器，并利用硅的热光效应进行波导位相调制。
- [0018] 在其中一个实施例中，所述介质层波导包括铌酸锂波导。
- [0019] 在其中一个实施例中，所述光束扫描系统还包括：
- [0020] 激光切换装置，用于切换不同波长的所述激光光束至所述分束装置；
- [0021] 所述激光切换装置通过切换不同波长的所述激光光束，调节合成后的光束在所述光束出射面上的聚焦位置，以调节所述第一方向上的光束扫描角度。
- [0022] 在其中一个实施例中，所述光束扫描系统还包括：
- [0023] 移动平台，连接所述光束调节装置，用于沿第二方向移动所述光束调节装置，以进行第二方向上的光束扫描。

发明的有益效果

有益效果

[0024] 上述光束扫描系统，通过分束装置将激光光束分成若干个子光束，光波导阵列接收若干个子光束并将其传输至预设的波导出射端，经波导出射端输出的各子光束在光束合成部内进行衍射叠加并合束聚集在预设的光束出射面，经光束出射面输出的光束则经光束调节装置进行扩束准直后输出形成扫描光束，同时，通过相位调节装置调节光波导阵列中各子波波导间的相对位相分布，进而可调节合成后的光束在光束出射面上的聚焦位置，进而调节扫描光束的扫描角度，进行第一方向上的光束扫描。本实施例改变了传统技术中通过波导光栅合成和输出光束的方式，将各子光束经波导阵列传输至预设的波导出射端，使得各子光束可在光束合成部进行衍射叠加并合束聚集在预设的光束出射面，通过调节波导阵列中的相对位相分布即可调节光束聚焦在光束出射面上的位置，进而实现光束扫描，由于未采用传统的波导光栅阵列输出结构，避免了传统技术中需同时满足小间距和长波导所带来的大耦合干扰的问题，且通过上述结构实现光束扫描，降低了难度和成本。

对附图的简要说明

附图说明

- [0025] 图1为传统技术中的波束控制结构图；
- [0026] 图2为本申请一实施例提供的光束扫描系统的结构框图；
- [0027] 图3为本申请一实施例提供的光束扫描系统的俯视示意图；
- [0028] 图4为本申请一实施例提供的光束扫描系统的结构框图；
- [0029] 图5为本申请一实施例提供的光束扫描系统的俯视示意图；
- [0030] 图6为本申请一实施例提供的光束扫描系统的主视示意图。
- [0031] 附图标记说明：
- [0032] 100、激光光束；200、分束装置；300、光波导阵列；310、子波波导；320、波导出射端；330、扩散传输区；340、相位调节区；350、聚拢传输区；400、光束合成部；410、光束出射面；500、光束调节装置；600、相位调节装置；700、输入波导；800、激光切换装

置。

发明实施例

本发明的实施方式

[0033] 为了便于理解本发明，下面将参照相关附图对本发明进行更全面的描述。附图中给出了本发明的优选实施方式。但是，本发明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方式。相反的，提供这些实施方式的目的是为了对本发明的公开内容理解得更加透彻全面。

[0034] 在本发明中，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”、“固定”等术语应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或成一体；可以是机械连接，也可以是电连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系，除非另有明确的限定。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0035] 术语“第一”、“第二”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此，限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。在本发明的描述中，“多个”的含义是至少两个，例如两个，三个等，除非另有明确具体的限定。

[0036] 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发明的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中在本发明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，不是旨在限制本发明。本文所使用的术语“及/或”包括一个或多个相关的所列项目的任意的和所有的组合。

[0037] 正如背景技术所述，波束控制已经成为激光雷达、自由空间光通信等领域的关键技术，且在全息显示、生物成像等领域具有潜在的应用。其中，波束控制可以通过机械方式实现，也可以采用光学相控阵列（OPA）的方式实现，光学相控阵列的方式在尺寸、重量和速度上均具有机械方式无法比拟的优势，且采用合适的光子集成芯片技术，如硅光技术，有望实现光学相控阵列与其他相关光电器件和线路单片集成的芯片级激光雷达系统。

[0038] 图1示出了目前基于光子集成芯片OPA波束控制通常采用的方案。具体为，输入

激光通过星型耦合器等分至N个阵列波导中，每个阵列波导中均集成有可控相移阵列，每个相位控制的阵列波导均连接二阶线性波导光栅，以线性波导光栅作为发射输出器件，多个线性波导光栅发射器等距排列组成一维光学天线阵列。通过调整阵列波导间的相对位相，光栅发射器构成的阵列发射的子波束在空间内相干叠加，实现光束在阵列方向的扫描控制。

[0039] 为了有效抑制相位控制的均匀发射光栅的旁瓣，光栅间距 d 需满足 $d < \lambda/2$ ， λ 为激光波长，当然，在某些条件下，该限制条件可以适当放宽，即，满足 $d < \lambda$ 即可，在射频领域中，由于波长较大，放宽后的限制条件比较容易满足，但是光学相控阵列通常工作在微米量级的波长，例如 $1.5\ \mu\text{m}$ ，很难实现上述光栅间距要求。同时，为了使出射光束的发散角尽可能小，通常会采用弱波导光栅在较长距离上将波导中光场表面垂直出射，而若波导距离比较近时，就会存在相互间的耦合干扰，距离较近，串扰越大，波导越长，串扰也越大，且波导阵列中的串扰会大大影响光学相控阵列的性能，同时在相同孔径下，阵列间距小，通常意味着需要更多的阵列单元，阵列相位控制难度随之增大。

[0040] 为了避免光栅发射器间的耦合串扰，同时尽可能减少相控阵列单元数，通常会采用多倍波长的阵列间距，通过光栅发射器阵列的单元间距随机分布的方式，有效消除光栅旁瓣，但这种方案一般会将会将均匀光栅旁瓣中的能量分散在空间而不是集中到主瓣，因此降低了波束效率。

[0041] 本申请正是针对上述矛盾，提供了一种光束扫描系统。

[0042] 在一个实施例中，提供了一种光束扫描系统，参照图2和3，本实施例提供的光束扫描系统包括分束装置200、光波导阵列300、光束合成部400、光束调节装置500以及相位调节装置600。其中：

[0043] 分束装置200接收激光光束100，并将激光光束100分成若干个子光束后输出。光波导阵列300设置于分束装置200的输出方向上，用于接收若干个子光束并传输若干个子光束至预设的波导出射端320。光束合成部400连接光波导阵列300，波导出射端320输出的各子光束在光束合成部400内进行衍射叠加，并合束聚焦于预设的光束出射面410。光束调节装置500设置于光束出射面410的出射方向上，用于对光束出射面410输出的光束进行扩束准直，形成扫描光束。相位调节

装置600连接光波导阵列300，调节光波导阵列300中各子波波导310间的相对位相分布，以调节合成后的光束在光束出射面410上的聚焦位置，进行第一方向上的光束扫描。

- [0044] 具体地，可以先将激光光束100耦合至输入波导700，再通过分束装置200将激光光束100分成若干个子光束。其中，分束装置200可以选用星型耦合器或级联的 $1 \times n$ 波导分束器， n 为大于或等于2的自然数。
- [0045] 光波导阵列300中包括并列设置的若干个子波波导310，分束装置200可以将激光光束100等分至各子波波导310中，各子波波导310传输各子光束至预设的波导出射端320。其中，光波导阵列300具有依次连接的扩散传输区330、相位调节区340和聚拢传输区350，各子波波导310首先在扩散传输区330将分束装置200输出的各子光束扩散式传输，然后进入相位调节区340，最后各子波波导310传输各子光束进入聚拢传输区350，将各子光束聚拢至预设的波导出射端320。
- [0046] 当各子光束到达波导出射端320后，其可以通过波导出射端320输出至自由传输区，也即光束合成部400，各子光束在光束合成部400内进行远场衍射叠加，合束聚焦至预设的光束出射面410，光束出射面410为光束的输出端，由光束出射面410输出的光束再经过光束调节装置500进行扩束准直处理后，形成最终的扫描光束。
- [0047] 在上述光束传播的过程中，可以通过相位调节装置600调节各子波波导310间的相对位相分布，进而可调节在光束合成部400合成后的光束在光束出射面410上的聚焦位置，当合成的光束在光束出射面410上的聚焦位置发生变化后，最终的扫描光束在第一方向上的扫描角度也会发生变化，进而实现第一方向上的光束扫描。其中，第一方向可以为水平方向，也可以为其他方向，本实施例中仅以水平方向（图3中虚线箭头指向）进行说明，图3为光束扫描系统的俯视图。
- [0048] 本实施例中，分束装置200、光波导阵列300、光束合成部400以及相位调节装置600可以集成于同一SOI（Silicon-On-Insulator，绝缘体上硅）芯片上，光束调节装置500可以采用机械结构实现，例如选用准直透镜组件等。
- [0049] 上述光束扫描系统，通过分束装置200将激光光束100分成若干个子光束，光波导阵列300接收若干个子光束并将其传输至预设的波导出射端320，经波导出射

端320输出的各子光束在光束合成部400内进行远场衍射叠加并合束聚集在预设的光束出射面410，经光束出射面410输出的光束则经光束调节装置500进行扩束准直后输出形成扫描光束，同时，通过相位调节装置600调节光波导阵列300中各子波波导310间的相对位相分布，进而可调节合成后的光束在光束出射面410上的聚焦位置，进而调节扫描光束的扫描角度，进行第一方向上的光束扫描。本实施例改变了传统技术中通过波导光栅合成和输出光束的方式，将各子光束经光波导阵列300传输至预设的波导出射端320，使得各子光束可在光束合成部400内进行远场衍射叠加并合束聚集在预设的光束出射面410，通过调节波导阵列中的相对位相分布即可调节光束聚焦在光束出射面410上的位置，进而实现光束扫描，由于未采用传统的波导光栅表面垂直输出结构，避免了传统技术中使用波导光栅表面垂直输出结构时需同时满足小间距和长波导所带来的大耦合干扰的问题，且通过上述结构实现光束扫描，仅需将子光束聚拢至波导出射端320，各子光束即进入自由传输区进行合成，随后聚焦至光束出射面410，输出光束进行扫描，无需采用传统结构中的光栅表面垂直发射器阵列，降低了难度和成本。

[0050] 在其中一个实施例中，预设的波导出射端320设置于半径为 $2R$ 的罗兰圆的圆周；预设的光束出射面410位于罗兰圆内部，且到波导出射端320的距离为 $2R$ ， R 为正数。

[0051] 将光波导阵列300的波导出射端320设置在半径为 $2R$ 的罗兰圆的圆周上，由此光波导阵列300在自由空间的衍射叠加等价于光栅衍射加透镜聚焦的效果，选定的衍射级次的出射光斑便会出现在半径为 R 的圆周上，即，合成后的光束聚焦于半径为 R 的圆周面上，同时该半径为 R 的圆周面距离波导出射端320距离为 $2R$ 。传统的AWG波分复用器会放置多个波导接收不同波长的输出，而在本实施例中，是在SOI芯片上直接刻蚀出输出端面，即光束出射面410，通过改变光波导阵列300中的位相分布，控制固定波长的光束输出在光束出射面410的不同位置，进而垂直于光束出射面410输出不同角度的扫描光束，实现方案较为简单。且传统技术中，一般是波导光栅通过波长调谐引起表面垂直输出角度变化来实现正交于第一方向的波束扫描，需要采用可调激光器，可调激光器往往价格昂贵，而本申请方案无需采用可调激光器即可实现光束扫描，降低了成本。

- [0052] 在其中一个实施例中，波导出射端320处的各子波波导310的间距小于激光光束100的波长，由此可有效抑制光波导阵列300多光束合成的光栅旁瓣，实现高效率波束控制。且本实施例中，光波导阵列300采用逐步靠拢的设计，光波导阵列300中的各子波波导310是在进入光束合成部400前很小的区域（聚拢传输区350）内靠近排放，因此各子波波导310间的耦合串扰可忽略不计。
- [0053] 在其中一个实施例中，光束调节装置 500包括准直透镜组件。本实施例中，可以将准直透镜组件放置在光束出射面410的出射方向上，光束经光束出射面410垂直输出后，经准直透镜组件扩束准直后，形成扫描光束。当合成光束在光束出射面410的不同位置时，经过准直透镜组件处理后，会有不同的光束角度，即可实现光束在水平方向上的一维扫描。以准直透镜组件作为光束调节装置 500，可以降低光束调节装置 500的硬件成本，且利于实施。
- [0054] 在其中一个实施例中，相位调节装置600包括相位调制器。相位调制器是使光的相位按一定规律变化的光调制器，本实施例中，可以单独设置相位调制器，也可以将相位调制器集成于波导阵列中。
- [0055] 具体地，相位调制器可以通过将硅波导中的光信号耦合至硅波导上的电光介质层波导，利用介质的电光效应实现波导位相调制，或者，相位调制器可以通过将pin结电流注入硅波导，以进行波导位相调制，或者，相位调制器通过置于硅波导上方的金属加热器，并利用硅的热光效应进行波导位相调制。
- [0056] 在其中一个实施例中，光束合成部400可以位于SOI芯片的硅波导，即，经波导出射端320输出的各子光束在硅波导进行合束聚焦。作为替换，光束合成部400也可以位于硅波导上的电光介质层波导，即，将硅波导中的光信号耦合至上方的电光介质层波导，进而在电光介质层波导中进行合束聚焦。
- [0057] 在其中一个实施例中，电光介质层波导包括铌酸锂波导。
- [0058] 在其中一个实施例中，参照图4，本实施例提供的光束扫描系统还包括激光切换装置800，激光切换装置800用于切换不同波长的激光光束100至分束装置200。
- [0059] 本实施例中，激光切换装置800通过切换不同波长的激光光束100，调节合成后的光束在光束出射面410上的聚焦位置，以调节第一方向上的光束扫描角度。除

了通过相位调制的方式改变光束在光束出射面410上的聚焦位置之外，本实施例还配置有不同波长的激光以及激光切换装置800，通过激光切换装置800实现输入激光的波长变化，也可以实现光束在光束出射面410上的聚焦位置的变化。

[0060] 在实际应用中，可以保持波长固定的情况下，调制位相分布，以及保持位相分布固定的情况下，切换不同波长的激光光束100，通过结合波长变换以及相位调制来实现光束在光束出射面410更大范围的聚焦，进而得到经光束调节装置 500 扩束准直后的更大范围的光束扫描范围。

[0061] 其中，参照图5，激光切换装置800可以选用光开关，光开关的输入端连接不同波长的激光光束100，输出端连接输入波导700，经输入波导700将切换后的激光传输至分束装置200。由于相位调制和光开关切换速度可以达到GHz，因此即使数千采样点的第一方向上的光束扫描也可以在微秒量级完成。

[0062] 除了实现第一方向的光束扫描之外，本实施例的光束扫描系统还可以实现第二方向的光束扫描。在其中一个实施例中，本实施例提供的光束扫描系统还包括移动平台，移动平台连接光束调节装置 500，用于沿第二方向移动光束调节装置 500，以进行第二方向上的光束扫描。第二方向可以为垂直方向，也可以为其他方向，本实施例中仅以垂直方向进行说明。

[0063] 图6为光束扫描系统的主视图，参照图6，在实际应用中，可以通过移动平台沿垂直方向（图中双向箭头指向）移动光束调节装置 500，进而改变垂直方向上，光束出射面410输出的光束落到光束调节装置 500上的位置，该位置的变化造成最终输出的扫描光束在垂直方向上的角度变化，进而实现垂直方向的光束扫描。在水平方向上高速扫描的基础上，垂直方向的扫描只需 $>30\text{Hz}$ 的扫描频率即可实现 $>30\text{帧/s}$ 的二维光束扫描。

[0064] 本实施例中，移动平台可以包括驱动装置，驱动装置连接光束调节装置 500，通过驱动装置驱动光束调节装置 500沿第二方向移动即可。驱动装置可以选用线性马达或直流电机等驱动设备，设备成本较低，且基于实施。

[0065] 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。

[0066] 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] 一种光束扫描系统，其特征在于，所述光束扫描系统包括：
- 分束装置，接收激光光束，并将所述激光光束分成若干个子光束后输出；
- 光波导阵列，设置于所述分束装置的输出方向上，用于接收若干个所述子光束并传输若干个所述子光束至预设的波导出射端，所述光波导阵列包括聚拢传输区，各所述子光束经所述聚拢传输区聚拢至所述波导出射端；
- 光束合成部，连接所述光波导阵列，所述波导出射端输出的各子光束在所述光束合成部内进行远场衍射叠加，并合束聚焦于预设的光束出射面；
- 光束调节装置，设置于所述光束出射面的出射方向上，用于对所述光束出射面输出的光束进行扩束准直，形成扫描光束；
- 相位调节装置，连接所述光波导阵列，调节所述光波导阵列中各子波波导间的相对位相分布，以调节合成后的光束在所述光束出射面上的聚焦位置，进行第一方向上的光束扫描。
- [权利要求 2] 根据权利要求1所述的光束扫描系统，其特征在于，预设的所述波导出射端设置于半径为 $2R$ 的罗兰圆的圆周；预设的所述光束出射面位于所述罗兰圆内部，且到所述波导出射端的距离为 $2R$ ， R 为正数。
- [权利要求 3] 根据权利要求1所述的光束扫描系统，其特征在于，所述波导出射端处的各所述子波波导的间距小于所述激光光束的波长。
- [权利要求 4] 根据权利要求1所述的光束扫描系统，其特征在于，所述分束装置包括星型耦合器或级联的 $1 \times n$ 波导分束器， n 为大于或等于2的自然数。
- [权利要求 5] 根据权利要求1所述的光束扫描系统，其特征在于，所述光束调节装置包括准直透镜组件。
- [权利要求 6] 根据权利要求1所述的光束扫描系统，其特征在于，所述相位调节装置包括相位调制器。
- [权利要求 7] 根据权利要求6所述的光束扫描系统，其特征在于，所述相位调制器

通过将硅波导中的光信号耦合至所述硅波导上的电光介质层波导，利用介质的电光效应进行波导位相调制；或者，所述相位调制器通过将pin结电流注入硅波导，以进行波导位相调制；或者，所述相位调制器通过置于所述硅波导上方的金属加热器，并利用硅的热光效应进行波导位相调制。

[权利要求 8] 根据权利要求7所述的光束扫描系统，其特征在于，所述介质层波导包括铌酸锂波导。

[权利要求 9] 根据权利要求1所述的光束扫描系统，其特征在于，所述光束扫描系统还包括：
激光切换装置，用于切换不同波长的所述激光光束至所述分束装置；
所述激光切换装置通过切换不同波长的所述激光光束，调节合成后的光束在所述光束出射面上的聚焦位置，以调节所述第一方向上的光束扫描角度。

[权利要求 10] 根据权利要求1所述的光束扫描系统，其特征在于，所述光束扫描系统还包括：
移动平台，连接所述光束调节装置，用于沿第二方向移动所述光束调节装置，以进行第二方向上的光束扫描。