



(21) 申请号 202011276836.6

(22) 申请日 2017.12.21

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112363270 A

(43) 申请公布日 2021.02.12

(30) 优先权数据
62/438,898 2016.12.23 US
62/464,298 2017.02.27 US

(62) 分案原申请数据
201780079410.1 2017.12.21

(73) 专利权人 奇跃公司
地址 美国佛罗里达州

(72) 发明人 T·M·达尔林普尔
C·卡尔里斯勒 J·舍费尔
A·C·杜纳 V·马瑟

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所
11247

专利代理师 姜利芳 杨晓光

(51) Int.Cl.
G02B 6/02 (2006.01)
G02B 26/10 (2006.01)
G02B 6/00 (2006.01)

(56) 对比文件
US 7590324 B1, 2009.09.15
JP 2004177817 A, 2004.06.24
JP 2011529200 A, 2011.12.01
CN 1449504 A, 2003.10.15
CN 101061411 A, 2007.10.24
CN 102132178 A, 2011.07.20
CN 1205443 A, 1999.01.20
US 2009052854 A1, 2009.02.26
US 2006007514 A1, 2006.01.12

审查员 曾毅

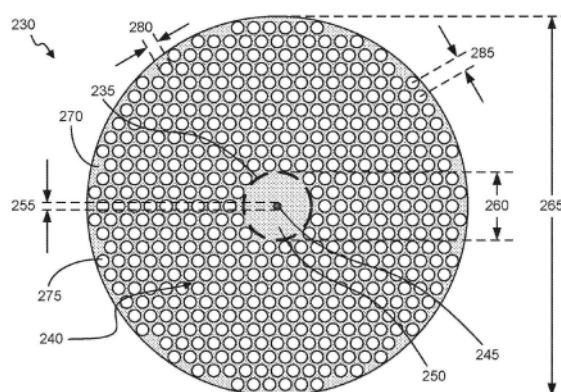
权利要求书2页 说明书20页 附图7页

(54) 发明名称

用于光纤扫描器的微结构化光纤振荡器和波导

(57) 摘要

所描述的是光纤和包括光纤的扫描光纤显示器。所公开的光纤包括被定位在中心波导元件与外周边之间的多个质量调节区域(诸如气体填充区域)以用于与缺少所述多个质量调节区域的光纤相比较减少所述光纤的质量。



1. 一种光纤,包括:
波导元件,其沿着轴延伸;
机械区域,其在所述波导元件周围,其中,所述机械区域被定位在所述波导元件与外周边之间,并且其中,所述机械区域包括具有第一密度的第一材料;以及
多个质量调节区域,其被定位在所述机械区域内,其中,所述多个质量调节区域包括具有小于所述第一密度的第二密度的第二材料,其中,所述多个质量调节区域被布置在所述机械区域内使得所述光纤展现出0.4%或更少的垂直惯性矩之间的百分比差异。
2. 根据权利要求1所述的光纤,其中,所述波导元件包括中央芯区域和所述中央芯区域周围的包层。
3. 根据权利要求2所述的光纤,其中,所述包层包括所述第一材料,并且其中,所述中央芯区域包括第三材料。
4. 根据权利要求2所述的光纤,其中,所述包层和所述机械区域包括单块体。
5. 根据权利要求1所述的光纤,其中,所述波导元件包括多个芯区域和所述多个芯区域周围的包层。
6. 根据权利要求1所述的光纤,其中,所述多个质量调节区域包括一个或多个气体填充区域、空气填充区域、一个或多个聚合物填充区域、一个或多个玻璃填充区域、一个或多个排空区域或者这些的任何组合。
7. 根据权利要求1所述的光纤,其中,所述多个质量调节区域包括多排质量调节元件,其中,所述多排围绕所述波导元件同心地布置。
8. 根据权利要求1所述的光纤,其中,所述多个质量调节区域围绕所述轴以对称配置来布置。
9. 根据权利要求1所述的光纤,其中,所述多个质量调节区域利用平行于所述轴的轴来布置。
10. 根据权利要求1所述的光纤,其中,所述多个质量调节区域占用所述机械区域的体积的30%与90%之间。
11. 根据权利要求1所述的光纤,其中,与可比较光纤相比,所述多个质量调节区域减少所述光纤单位长度的质量,所述可比较光纤包括与所述波导元件相同的对应的波导元件以及与所述机械区域相同的对应的机械区域,不同的是,所述对应的机械区域不包括被定位在所述对应的波导元件与所述可比较光纤的对应的外周边之间的质量调节区域。
12. 根据权利要求1所述的光纤,其中,所述光纤具有有效悬臂长度,并且其中,与可比较光纤相比,所述多个质量调节区域增加所述光纤的谐振振荡频率,所述可比较光纤具有所述有效悬臂长度并且包括与所述波导元件相同的对应的波导元件以及与所述机械区域相同的对应的机械区域,不同的是,所述对应的机械区域不包括被定位在所述对应的波导元件与所述可比较光纤的对应的外周边之间的质量调节区域。
13. 根据权利要求1所述的光纤,其中,与可比较光纤相比,所述多个质量调节区域增加针对给定操作频率的所述光纤的有效悬臂长度,所述可比较光纤包括与所述波导元件相同的对应的波导元件以及与所述机械区域相同的对应的机械区域,不同的是,所述对应的机械区域不包括被定位在所述对应的波导元件与所述可比较光纤的对应的外周边之间的质量调节区域。

14. 根据权利要求1所述的光纤,其中,所述光纤具有谐振频率,并且其中,与可比较光纤相比,所述多个质量调节区域增加所述光纤的有效悬臂长度,所述可比较光纤具有所述谐振频率并且包括与所述波导元件相同的对应的波导元件以及与所述机械区域相同的对应的机械区域,不同的是,所述对应的机械区域不包括被定位在所述对应的波导元件与所述可比较光纤的对应的外周边之间的质量调节区域。

15. 一种扫描光纤显示器,包括:

光纤,其中,所述光纤包括:

波导元件,其沿着轴延伸;

机械区域,其在所述波导元件周围,其中,所述机械区域被定位在所述波导元件与外周边之间,并且其中,所述机械区域包括具有第一密度的第一材料;以及

多个质量调节区域,其被定位在所述机械区域内,其中,所述多个质量调节区域包括具有小于所述第一密度的第二密度的第二材料,其中,所述多个质量调节区域被布置在所述机械区域内使得所述光纤展现出0.4%或更少的垂直惯性矩之间的百分比差异;以及

致动器,其与所述光纤机械接触,所述致动器用于引起所述光纤的振荡。

16. 根据权利要求15所述的扫描光纤显示器,其中,所述致动器包括压电换能器、电磁音圈或热致动器。

17. 根据权利要求15所述的扫描光纤显示器,其中,所述致动器包括用于控制所述光纤的端部以二维运动的二维致动器。

18. 根据权利要求15所述的扫描光纤显示器,还包括与所述光纤的所述波导元件光学通信的可见光源。

19. 根据权利要求15所述的扫描光纤显示器,还包括与所述光纤的所述波导元件光学通信的多色可切换光源。

20. 一种光纤,包括:

波导元件,其沿着轴延伸;

机械区域,其在所述波导元件周围,其中,所述机械区域被定位在所述波导元件与外周边之间,并且其中,所述机械区域包括第一材料;以及

多个面积二次矩调节区域,其被定位在所述机械区域内,其中,所述多个面积二次矩调节区域被布置在所述机械区域内使得所述光纤展现出0.4%或更少的垂直惯性矩之间的百分比差异,并且其中,所述多个面积二次矩调节区域包括用于生成与可比较光纤不同的所述机械区域的面积二次矩的第二材料,所述可比较光纤包括与所述机械区域相同的对应的机械区域,不同的是,所述对应的机械区域不包括被定位在对应的波导元件与所述可比较光纤的对应的外周边之间的所述多个面积二次矩调节区域。

用于光纤扫描器的微结构化光纤振荡器和波导

[0001] 本申请是国际申请号为PCT/US2017/067973、国际申请日为2017年12月21日、中国国家申请号为201780079410.1、标题为“用于光纤扫描器的微结构化光纤振荡器和波导”的专利申请的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉引用

[0003] 本申请要求于2016年12月23日提交的美国临时申请号62/438,898和于2017年2月27日提交的美国临时申请号62/464,298的权益和优先权,其以整体内容通过引用并入本文。

背景技术

[0004] 光纤已经被用于各种用途,包括通信、传感器和成像。各种构造的光纤存在并且通常包括具有附加缓冲区的波导结构,诸如由中央芯和周围包层制成的波导,以及可选地包括以提供处理或暴露于环境条件期间的保护的夹套层。需要附加的光纤设计和优化来改进和扩大在其中采用或可以采用光纤的各种应用。

发明内容

[0005] 本申请涉及光波导。更具体地,并且非限制性地,本申请涉及光纤和光纤振荡器,诸如用于扫描光纤显示器,其中,所述光纤包括波导元件和具有被定位在所述波导元件与所述光纤的外周边之间的一个或多个质量降低元件的机械区域。所述质量降低元件的包括有利地提供包含具有对于视场的改进的所述光纤的扫描光纤显示器,诸如当与常规光纤振荡器的使用相比较时。

[0006] 扫描设备通常针对频率的扫描范围进行折中。例如,通常,随着频率增加,扫描范围减小。类似地,随着扫描范围增加,频率减小。然而,在许多应用中,诸如扫描光学投影仪,具有大操作频率和大范围是期望的。频率可以对于分辨率和刷新率二者是重要的。例如,在扫描光纤显示器中,频率可能直接地影响刷新率,因为光纤的重复振荡可以指示输出视图可以多么频繁地改变。

[0007] 然而,针对给定投影仪设计,范围可能对于视场是重要的。例如,振荡光纤的所述最大幅度或者范围可以提供关于由所述光纤生成的输出图像可以多么宽的限制。随着所述振荡范围增加,可以提供更宽的视场。

[0008] 由于其小形状因子和有用的分辨率和视场,因而扫描设备还可以用作显示设备。然而,为了获得具有高扫描范围的高频扫描设备,需要本领域中的创新。目前所描述的光纤允许改进的视场投影仪,同时维持小形状因子。作为示例,通过将所公开的光纤并入扫描光纤显示器投影仪中,所述投影仪的所述视场可以相对于常规扫描光纤显示设备增加。

[0009] 在第一方面中,所提供的是光纤。所公开的光纤在本文中还可以称为微结构化光纤。示例的光纤包括以下那些光纤,其包括:波导元件,其沿着轴延伸;机械区域,其在所述波导元件周围,诸如被定位在所述波导元件与外周边之间并且包括具有第一密度的第一材料的机械区域;以及多个质量调节区域,其被定位在所述机械区域内,诸如包括具有小于所

述第一密度的第二密度的第二材料的多个质量调节区域。这样的质量调节区域可以可选地包括空气或者可以对应于材料被移除或以其他方式不在所述机械区域的区域。将理解到,所述第一材料和第二材料还可以具有不同的光学性质,诸如不同的折射率。

[0010] 作为另一示例,所公开的光纤包括包含如下部件的光纤:波导元件,其沿着轴延伸;机械区域,其在所述波导元件周围,诸如被定位在所述波导元件与外周边之间并且包括第一材料的机械区域;以及多个面积二次矩调节区域,其被定位在所述机械区域内,诸如,与除相同光纤的对应的机械区域不包括被定位在对应的波导元件与所述相同光纤的对应的外周边之间的面积二次矩调节区域之外的相同光纤相比,用于修改所述机械区域的总体面积二次矩的多个面积二次矩调节区域。作为示例,面积二次矩调节区域可以展现出与所述第一材料的单位横截面积质量不同的单位横截面积质量并且导致所述机械区域的所述总体面积二次矩的修改。作为另一示例,面积二次矩调节区域可以展现出与所述第一材料的密度不同的密度并且导致所述机械区域的所述总体面积二次矩的修改。将理解到,术语面积二次矩指区域或者对象的几何性质,如在机械工程的领域中已知的,并且其他术语可以可交换地用于面积二次矩,包括惯性面积矩、二次面积矩和平面面积惯性矩。

[0011] 各种波导元件对于本文所描述的光纤是有用的。波导元件可以包括中央芯区域和所述中央芯区域周围的包层。可选地,所述中央芯区域具有大约 $5\mu\text{m}$ 到大约 $25\mu\text{m}$ 的直径。可选地,所述包层具有大约 $5\mu\text{m}$ 到大约 $200\mu\text{m}$ 的直径。可选地,所述包层包括所述第一材料。可选地,所述中央芯区域包括第三材料。可选地,所述中央芯区域包括第二材料。可选地,所述包层包括所述第三材料。可选地,所述包层和所述机械区域包括单块体。例如,所述质量调节区域可以可选地被定位在所述包层内或者作为其一部分。

[0012] 可选地,所述波导元件对应于单模波导元件或者多模波导元件。其他有用的波导元件包括包含多个芯区域和所述多个芯区域周围的包层的那些波导元件。可选地,所述多个芯区域中的每一个可以是相同或者不同的材料。预期了其他波导元件,包括包含中空(即,排空)或气体或空气填充区域(诸如,气体填充芯区域)的那些波导元件。将理解到,中空或气体或空气填充芯在高功率应用中可以是有用的,因为气体或者空气可以比玻璃或另外固体材料吸收更少的能量。可选地,还可以利用排空区域(即,真空填充区域)。还将理解到,芯和包层区域可以展示不同的光学性质,诸如不同的折射率。

[0013] 各种质量调节区域可以与本文所描述的光纤一起采用。例如,所述质量调节区域可以包括但不限于一个或多个气体或者空气填充区域、一个或多个聚合物填充区域、一个或多个玻璃填充区域、一个或多个排空区域或者这些的任何组合。作为示例,所述机械区域可以包括第一玻璃,并且所述质量调节区域可以包括与所述第一玻璃不同的第二玻璃。可选地,所述多个质量调节区域包括多排质量调节元件。例如,所述多排可以围绕所述中央波导元件同心地布置。可选地,所述多个质量调节区域以围绕所述轴的对称配置来布置。可选地,所述多个质量调节区域中的每一个具有圆形截面形状、卵形截面形状或者多边形截面形状。还可以利用截面形状的组合。可选地,每个质量调节区域具有大约 $1\mu\text{m}$ 到大约 $25\mu\text{m}$ 的横向尺寸或直径的截面形状。可选地,所述多个质量调节区域贯穿所述光纤的长度,诸如其中,每个质量调节区域具有其自己的纵轴。可选地,每个纵轴利用平行于所述光纤的所述轴的轴布置。其他配置是可能的,包括质量降低材料的单独单元或者区域被包括在所述光纤的部分中。所述质量调节区域可以可选地延展所述光纤的所述整个长度或者仅所述光纤的

一部分。备选地,所述质量调节区域可以贯穿所述机械区域随机或者均匀分布,或者垂直于光轴或波导轴或者与其有角度延展。可选地,所述多个质量降低区域之间的节距是大约 $1\mu\text{m}$ 到大约 $25\mu\text{m}$ 。可选地,所述多个质量调节区域占用所述机械区域的体积的大约30%与大约90%之间。这样的分数或者百分比体积在本文中可以称为质量降低分数或者质量降低填充分数。在包括空气或者气体的质量降低区域的情况下,这样的分数或者百分比体积可以称为空气填充分数或者气体填充分数。

[0014] 可选地,所述光纤包括具有多个不同截面配置的复合光纤。例如,所述光纤可以包括:第一段,其包括第一截面配置;以及第二段,其包括第二截面配置。以这种方式,光纤可以包括微结构化段和非微结构化段。分段光纤可以被制造为具有不同的截面配置的单个光纤。分段光纤还可以通过拼接不同的截面配置的光纤来构建。

[0015] 将理解到,包括质量降低区域可以允许选择、调谐或者以其他方式修改光纤的机械性质。例如,所述光纤的外部直径可以与所述光纤的指向角成正比。可选地,所述机械区域的质量调节填充分数与所述光纤的指向角成正比。可选地,所述质量调节填充分数由所述质量调节区域的直径与所述质量调节区域之间的节距的比表示。

[0016] 将理解到,与可比较光纤相比,所述多个质量调节区域可以减少所述光纤单位长度质量,所述可比较光纤包括与所述波导元件相同的对应的波导元件以及与所述机械区域相同的对应的机械区域,例外的是,所述对应的机械区域不包括被定位在所述对应的波导元件与所述可比较光纤的对应的外周边之间的质量调节区域。

[0017] 光纤可以展现出有效悬臂长度。可选地,与可比较光纤相比,所述多个质量调节区域增加所述光纤的谐振振荡频率,所述可比较光纤具有所述有效悬臂长度并且包括与所述波导元件相同的对应的波导元件以及与所述机械区域相同的对应的机械区域,例外的是,所述对应的机械区域不包括被定位在所述对应的波导元件与所述可比较光纤的对应的外周边之间的质量调节区域。可选地,与可比较光纤相比,所述多个质量调节区域增加针对给定操作或者谐振频率的所述光纤的有效悬臂长度,所述可比较光纤包括与所述波导元件相同的对应的波导元件以及与所述机械区域相同的对应的机械区域,例外的是,所述对应的机械区域不包括被定位在所述对应的波导元件与所述可比较光纤的对应的外周边之间的质量调节区域。

[0018] 光纤(诸如具有有效悬臂长度的那些光纤)可以具有谐振频率。可选地,与可比较光纤相比,所述多个质量调节区域增加所述光纤的有效悬臂长度,所述可比较光纤具有所述谐振频率并且包括与所述波导元件相同的对应的波导元件以及与所述机械区域相同的对应的机械区域,例外的是,所述对应的机械区域不包括被定位在所述对应的波导元件与所述可比较光纤的对应的外周边之间的质量调节区域。

[0019] 在另一方面中,提供了扫描光纤显示器。例如,扫描光纤显示器可以可选地包括上文所描述的光纤中的任一个以及与所述光纤机械接触的致动器,所述致动器用于引起所述光纤的振荡。作为示例,扫描光纤显示器中的光纤可以可选地包括:波导元件,其沿着轴延伸;机械区域,其在所述波导元件周围,诸如,被定位在所述波导元件与外周边之间并且包括具有第一密度的第一材料的机械区域;以及多个质量调节区域,其被定位在所述机械区域内,诸如包括具有小于所述第一密度的第二密度的第二材料的多个质量调节区域。

[0020] 各种致动器和致动器配置对于本文所描述的扫描光纤显示器是有用的。例如,所

述致动器可选地包括压电换能器、电磁音圈或热致动器。可选地,所述致动器包括用于控制所述光纤的端部以二维运动的二维致动器。有用的致动器包括在可控频率处振荡并且可以被配置为在光纤的自然或者谐振频率处或附近操作的那些致动器。

[0021] 所公开的所述扫描光纤显示器可以可选地进一步包括与所述光纤的所述波导元件光学通信的可见光源。例如,可以使用与所述光纤的所述波导元件光学通信的多色可切换光源。以这种方式,彩色图像可以通过控制输入所述波导元件中的光(诸如,通过根据所述光纤的所述位置调节颜色或者强度)由所述扫描光纤显示器输出。

[0022] 在参考以下描述、权利要求和附图之后,前述内容连同其他特征和实施例一起将变得更明显。将理解到,以上方面的光纤和扫描光纤显示器可以可选地包括在以下描述中所描述的特征和方面。

附图说明

[0023] 图1A和图1B提供了根据一些实施例的示例的光纤系统的示意图。

[0024] 图2A提供了示例的常规光纤的剖面的示意图。图2B提供了示例的微结构化光纤的剖面的示意图。

[0025] 图3A、图3B、图3C和图3D提供了用于微结构化光纤的不同的剖面的示意图。

[0026] 图4A和图4B提供了示出使用常规光纤与微结构化光纤之间的比较的示例光纤系统的示意图。

[0027] 图5A提供了由使用常规光纤的扫描光纤显示器实现的螺旋输出图案的示意图。图5B提供了由使用微结构化光纤的扫描光纤显示器实现的螺旋输出图案的示意图。

[0028] 图6提供了示出作为质量降低区域的直径与节距的比的函数并且作为质量降低区域的直径的函数的光纤的指向角中的增益的绘图。

具体实施方式

[0029] 在本文中描述的是光纤、光纤振荡器和扫描光纤显示器的实施例。所公开的光纤有利地提供对于针对固定振荡频率或者谐振频率的振荡幅度或者指向角的改进,诸如当与具有相同固定振荡频率或者谐振频率但是利用常规光纤的光纤振荡器比较时。

[0030] 由于其构造和材料性质,因而所公开的光纤具有与常规光纤的那些不同的机械特性。例如,常规光纤可以包括芯区域和包层区域来限定波导元件。这些区域可以是具有不同的折射率的光学材料的固体,以便实现全内反射并且沿光纤的轴向下波导光束。

[0031] 本文所公开的光纤(还被称为微结构化光纤)可以可选地利用具有不同的折射率的材料类似波导元件,例如,但是其还包括波导元件周围的机械区域,诸如未主要地被用于波导光束而是相反被用于调谐、选择或以其他方式修改光纤的机械性质(诸如以实现期望的机械性质)的机械区域。作为示例,一个或多个面积二次矩调节区域可以被包括在机械区域中,与除了其不包括一个或多个面积二次矩调节区域之外的相同的光纤相比较,该一个或多个面积二次矩调节区域可以用于修改光纤的面积二次矩。在特定示例中,可以通过修改机械区域的质量调节面积的二次矩。例如,一个或多个质量调节区域可以被包括在机械区域中,与除了其不包括一个或多个质量降低区域之外的相同的光纤相比较,该一个或多个质量调节区域可以用于减少光纤的质量或者单位长度质量。示例的质量调节区域包

括空气填充区域(或者其他气体填充区域)或者包括其他材料的区域,该其他来料具有小于被用于波导元件或者机械区域的材料的密度的密度。例如,可以采用具有小于在波导元件或者机械区域中使用的材料的密度的塑料、聚合物或者玻璃。质量中的该降低可以例如允许期望机械性质的光纤产生并且使用。另外,质量中的降低可以对应于机械区域的面积矩的修改。

[0032] 将理解到,相同光纤可以指具有相同几何形状、材料和/或构造的两个光纤,并且对相同光纤之间的例外的引用可以指该例外是一个光纤与另一光纤不同的一个特性,诸如一个光纤微结构化并且一个光纤未微结构化。例如,光纤可以包括芯,诸如具有第一截面尺寸(诸如直径)并且由第一光学材料制成的芯;以及在芯周围的包层,诸如具有第二截面尺寸(诸如外部直径)并且由第二光学材料制成的包层。除了其包括一个或多个质量调节区域(诸如空气或者气体填充区域)之外相同的光纤可以指如下微结构化光纤:其包括芯,诸如具有第一截面尺寸并且由第一光学材料制成的芯;在芯周围的包层,诸如具有第二截面尺寸并且由第二光学材料制成的包层;以及位于包层中的一个或多个质量调节区域。将理解到,相同光纤可以具有除由于质量降低区域的存在出现的质量降低区域之外的其他特性差异,诸如不同的单位长度质量、或者针对固定振荡光纤长度的不同的谐振频率、或者针对固定谐振频率的不同的振荡光纤长度。

[0033] 还将理解到,取决于某些属性在相同光纤之间是否相同,相同光纤可以具有稍微不同的特性。例如,除包括微结构化机械区域之外相同并且具有相同振荡长度的两个光纤将具有不同的谐振频率,诸如其中,微结构化光纤具有较高的谐振频率。作为另一示例,除包括微结构化机械区域之外相同并且具有相同谐振频率的两个光纤将具有不同的振荡长度,诸如其中,微结构化光纤具有较长的振荡长度。

[0034] 有利地,所公开的光纤可以提供针对给定扫描频率的扫描光纤显示器的改进的视场。例如,与使用除其不包括一个或多个质量降低区域之外的具有相同谐振频率的相同光纤(即,非微结构化光纤)的扫描光纤显示器的视场相比较,使用包括机械区域的微结构化光纤的扫描光纤显示器可以具有增加的视场,所述机械区域包括一个或多个质量降低区域。由于视场可能是增强现实设备的消费者接受中的限制因素,因而增加视场可以对于增加消费者采用是有益的。将理解到,在一些扫描光纤显示器实施例,可以通过针对给定操作频率增加振荡光纤的长度来增加视场,因为这将导致振荡光纤的最大指向角的增加。

[0035] 图1A提供了示例的光纤系统100的示意图。示例的光纤系统包括光源105、耦合光学器件110和光纤115。例如,光源105可以包括发光二极管、激光器或者其他可见光源。光源105可以可选地包括多个子源或者多色光源,诸如输出电磁辐射的不同波长的源。在实施例中,光源105可以是可切换的,诸如以允许作为时间的函数的光源105的输出或者强度上的控制。

[0036] 耦合光学器件110可以包括一个或多个光学元件,诸如透镜、反射镜、反射器等,该一个或多个光学元件以使得来自光源105的光能够适合地被引导到光纤115的用于波导的芯120的配置来布置。因此,光源105可以以与光纤115的波导元件光学通信来定位。将理解到,高效地耦合来自光源105的光所需要的耦合光学器件可以取决于光源105和光纤115的几何形状、材料和/或数值孔径。

[0037] 如所图示的,光纤115包括芯120和包层125并且具有轴130,轴130可以对应于例如

光轴或者波导轴。可以在光纤115的相对端处输出被耦合到芯120中并且沿着光纤115的长度波导的来自光源105的光。将理解到,从光纤115输出的光的光斑形状和方向可以取决于光纤115的几何形状、材料和/或数值孔径。通常,来自光纤的输出展现出锥形形状135,具有再次由光纤115的几何形状、材料和/或数值孔径限定的锥形135的角。在视场方面,以非振荡配置的光纤115未展现出超过锥形135的角的视场140中的增加。在偏转角方面,以非振荡配置的光纤115展现出零的偏转角。

[0038] 图1B提供了光纤系统150(诸如可以存在于扫描光纤显示系统中)的示意图。可以例如在于2014年1月15日提交并且在公开号US2015/0268415下公开的美国专利申请号14/156,366中找到扫描光纤显示系统的一般细节,其以整体内容通过引用并入本文。

[0039] 图1B省略了来自光纤系统150的任何光源或者耦合元件的描绘,以便不妨碍其他细节。光纤系统150包括光纤155(其可以对应于光纤115)和致动器160。致动器160可以被用于将振荡运动给予到光纤155中。光纤155的振荡可以被建模为或者对应于具有固定端和自由端的悬臂振荡器。例如,致动器160可以是或包括压电致动器、电磁音圈或者热致动器。致动器160可以允许光纤155在二维中的振荡运动上的控制并且可以包括两个或两个以上独立的可致动轴。利用图1B中的虚线描绘光纤155的振荡运动的程度。由于振荡运动,光纤155展现出超过光纤155的输出锥形的视场中的增加。在视场方面,光纤系统150展现出比光纤155的输出锥形更大的视场165。

[0040] 图2A提供了光纤200的示意性剖视图。光纤200可以对应于常规光纤,并且包括芯205和围绕芯205的包层210。芯205被图示为具有芯直径215并且包层210被图示为具有外部直径220。将理解到,芯直径215和外部直径220可以是特定光纤实施例的特性,并且因此可以具有任何适合的值。

[0041] 将理解到,除非另外指出,否则附图中所图示的特征的尺寸可以不按比例,但是图或者不同图的某些方面被描绘以图示不同的配置或者元件之间的尺寸中的差异。还将理解到,附加材料(诸如缓冲器、夹套、或者其他涂覆或防护材料)可以在包层或机械区域外部构建,但是可能未示出在附图中。

[0042] 图2B提供了微结构化光纤230的实施例的示意性剖视图。微结构化光纤230包括波导元件235和波导元件周围的机械区域240。出于说明目的,在图2B中示出虚线以更好地标识波导元件235与机械区域240之间的过渡。在图2B中,波导元件235包括芯245和芯245周围的包层250。芯245被描绘为具有芯直径255,波导元件235被描绘为具有包层直径260,并且光纤230被描绘为具有外部直径265。

[0043] 机械区域240在图2B中被描绘为包括固体区域270和位于波导元件235与机械区域240和微结构化光纤230的外周边之间的质量降低区域275。示例的质量调节区域包括但不限于流体填充区域、气体或空气填充区域、聚合物填充区域、玻璃填充区域和/或排空区域(例如,真空填充),其中,流体、气体或空气、聚合物、玻璃填充或者排空区域具有小于固体区域270、包层250、芯245或这些的任何组合的密度的密度。可选地,固体区域270包括与包层250相同的材料和/或具有类似或者相同的光学和/或机械性质。可选地,固体区域270和包层250包括不同的材料和/或具有不同的光学和/或机械性质。将理解到,附加材料(诸如缓冲器、夹套、或者其他涂覆或防护材料)可以在机械区域240的外周边外部构建,但是此处未图示。

[0044] 质量降低区域275可以贯穿机械区域240均匀地和/或规则地分布,并且可以使用任何适合或期望的几何形状和分布以便获得用于微结构化光纤230的感兴趣的特定机械性质。将理解到,质量降低区域275可以沿着平行于彼此和/或平行于光纤轴(诸如波导轴或光轴)的轴来布置。可选地,质量降低区域275可以沿着垂直于光轴或者相对于光轴成角度的其他方向(诸如沿着相交轴)布置,然而,机械区域240的至少一部分包括质量降低区域。质量降低区域275还可以贯穿机械区域240随机地、均匀地或不均匀地分布(可选地沿着非特定轴)。如在图2B中所图示的,质量降低区域275展现出均匀截面,其被示出为圆形并且具有直径280。节距285对应于相邻质量降低区域275之间的中心到中心的间距。质量降低区域275可以展现出关于微结构化光纤230的轴(诸如波导轴或者光轴)的对称性,诸如圆柱对称性。光纤230可以可选地展现出旋转对称性。

[0045] 非限制性地,微结构化光纤230可以通过堆叠适当尺寸的材料的长度以形成旨在用于生成微结构化光纤230的总体预制件结构(诸如通过使用适合的直径、壁厚度、材料、形状等的实心管和/或空心管)来构建。示例的玻璃可以包括但不限于硅玻璃、氟化物玻璃、磷酸盐玻璃、硫属化物玻璃。在一些实施例中,可以使用塑料或者聚合物,诸如聚甲基丙烯酸甲酯、聚苯乙烯、含氟聚合物或者聚硅氧烷。取决于制造方法和材料,预制件可以被放置在熔炉中以加热并且融合预制件的不同部件,并且加热的预制件可以被拉成一股光纤。可选地,可以使用挤压法,诸如针对包括聚合物或者塑性材料的光纤。将理解到,各种技术、材料和方法可以被用于制造光纤并且许多商业光纤制造商存在并且可以提供用于基于指定参数制造光纤的服务。

[0046] 出于比较的说明性目的,光纤200的芯205的芯直径215可以可选地与微结构化光纤230的芯245的芯直径255相同。光纤200的外部直径220可以可选地与微结构化光纤230的外部直径265相同。芯205和芯255可以可选地包括相同材料。包层210和包层250和机械区域240的固体区域270(非质量降低区域)可以可选地包括相同材料。在该方面中,除微结构化光纤230包括质量降低区域275,而光纤200包括不包括质量降低区域的固体包层210之外,光纤200可以被认为与微结构化光纤230相同。

[0047] 微结构化光纤230的不同的部件可以具有任何适合的尺寸,并且某些尺寸可以选择以提供特定性质,诸如光学性质和机械性质。例如,芯245可以具有但不限于大约5 μm 到大约25 μm 的直径。将理解到,如本文所使用的,术语大约旨在包括指定值附近的变化,诸如如果值稍微更小或稍微更大则将不修改操作效果的变化。在一些实施例中,术语大约可以涉及值的精度或者公差。在一些实施例中,术语大约可以对应于 $\pm 1\%$ 或更少的变化、 $\pm 5\%$ 或更少的变化或者 $\pm 10\%$ 或更少的变化。

[0048] 作为另一示例,波导元件235可以具有但不限于大约5 μm 到大约200 μm (诸如大约5 μm 到大约125 μm)的直径。在一些实施例中,包层250可以具有但不限于大约5 μm 到大约200 μm (诸如大约5 μm 到大约125 μm)的直径或者厚度,并且可以可选地被认为包含机械区域或者可以是与机械区域240的集成体或者单块体(unitary body)并且因此可以具有对应于外部直径265的直径或者厚度。外部直径265还可以具有任何适合的尺寸,诸如大约10 μm 到大约200 μm ,并且可以匹配常规光纤200的外部直径220。示例的外部直径可以包括大约40 μm 、大约50 μm 、大约80 μm 、大约100 μm 、大约125 μm 、大约150 μm 、大约175 μm 和大约200 μm 。

[0049] 质量降低区域275中的每一个可以具有任何适合的尺寸或者形状,并且可以例如

具有但不限于以下各项的截面尺寸(诸如直径、半径、边长或者轴长):大约1 μm 到大约25 μm 、大约1 μm 到大约5 μm 、大约5 μm 到大约10 μm 、大约10 μm 到大约15 μm 、大约15 μm 到大约20 μm 、或者大约20 μm 到大约25 μm 。质量降低区域275之间的节距280也可以具有任何适合的尺寸,并且可以由质量降低区域275的截面尺寸限定。例如,节距280可以大于质量降低区域275的直径。节距280可以具有但不限于大约1 μm 到大约25 μm 、大约1 μm 到大约5 μm 、大约5 μm 到大约10 μm 、大约10 μm 到大约15 μm 、大约15 μm 到大约20 μm 、或者大约20 μm 到大约25 μm 之间的长度。基于质量降低区域的尺寸、数目、间隔和布置,光纤230和/或机械区域240的质量降低分数可以具有任何适合的。在实施例中,多个质量降低区域占用光纤230的体积或者机械区域240的体积的大约1%与90%之间。可选地,多个质量降低区域占用在光纤230的体积或者机械区域240的体积的大约30%与大约90%之间、大约30%或更大、大约40%或更大、大约50%或更大、大约60%或更大、大约70%或更大、大约80%或更大或大约90%。

[0050] 取决于特定配置,在一些实施例中,质量降低区域可以展现出关于微结构化光纤的轴的4度(4-fold)或6度(6-fold)或其他对称性,诸如圆柱对称性、旋转对称性或者径向对称性。另外,可以利用用于质量降低区域的其他截面形状。例如,质量降低区域的截面可以展现出多边形形状(诸如三角形、正方形、矩形、六边形等)、圆、圆形或卵形或者任何其他适合的形状。在一些实施例中,质量降低区域的截面可以具有规则对称的形状,诸如圆形、卵形、椭圆、多边形等。在实施例中,可以利用不同的截面成形的质量降低区域的组合。在实施例中,相邻质量降低区域之间的间隔可以是均匀或不均匀的。在实施例中,不同的质量降低区域的截面尺寸(诸如直径、半径、轴长、边长等)可以是均匀或不均匀的。

[0051] 图3A-3D描绘了根据各种实施例的展现出由机械区域围绕的波导元件的不同微结构化光纤的示意性剖视图。图3A中的微结构化光纤300A包括同心地布置在中心波导元件周围的多排质量降低区域。图3B中的微结构化光纤300B包括以6度对称配置布置的圆形质量降低区域。图3C中的微结构化光纤300C包括以4度对称配置布置的正方形质量降低区域。图3D中的微结构化光纤300D包括卵形质量降低区域的同心环。

[0052] 虽然上文所描述的微结构化光纤的波导元件对应于常规芯/包层区域,但是其他波导元件配置是可能和预期的。例如,在一些实施例中,多个芯区域可以由单个包层或者区域围绕。另外,多个光纤可以以并排式或者以二维阵列配置布置以为扫描光纤显示器(还被称为光纤扫描显示器)提供附加视场。美国专利申请号14/156,366描述了六边形包装的多芯光纤(诸如包括以六边形布置的配置的7或19个芯),以及用于光纤扫描显示器的振荡光纤阵列。将理解到,在实施例中,在材料之间(诸如在芯与包层之间或者在玻璃与空气之间)的折射率的改变可以提供波导效果(诸如通过全内反射的过程)。如此,在材料之间的过渡可以是实现波导所需要的全部,并且因此常规光纤的大包层可以被修改为包括质量降低区域,同时仍然保持提供波导的较高折射率材料的芯周围的固体中心部分。各种光纤配置是可能的,包括单模配置和多模配置。出于生成光学显示器的目的,对于光纤而言具有可见电磁区域中的高透明度/低损耗是有益的。

[0053] 出于比较目的,图4A和图4B提供了光纤系统400和450的示意图。光纤系统400和450可以例如用于扫描光纤显示系统中。图4A和图4B省略了来自光纤系统400和450的任何光源或者耦合元件的描绘以便不妨碍其他细节。在图4A中,光纤系统400包括光纤405和致动器410。在图4A中还示出了光纤405的剖面415,图示了光纤405是包括芯和包层的常规光

纤。致动器410可以被用于将振荡运动给予到光纤405中。利用图4A中的虚线描绘光纤405的振荡运动的程度。在视场方面,光纤系统400展现出视场420。光纤405的悬臂部分具有长度425。

[0054] 在图4B中,光纤系统450包括微结构化光纤455和致动器460。在图4A中还示出了微结构化光纤455的截面465,其图示了微结构化光纤465包括波导元件和波导元件周围的微结构化机械区域,该微结构化机械区域包括多个质量降低区域。致动器460可以用于将振荡运动给予到微结构化光纤455中。致动器460可以在我们大约在微结构化光纤455的谐振频率处振荡,诸如在微结构化光纤455的自然频率的5%内或者在微结构化光纤455的谐振频率的1%内。在实施例中,谐振频率可以对应于本征频率或者自然频率。在实施例中,致动器460在提供微结构化光纤455的指向角或偏转中的增益的频率处操作。利用图4B中的虚线描绘微结构化光纤455的振荡运动的程度。在视场方面,微结构化光纤系统450展现出视场470。微结构化光纤455的悬臂部分具有长度475。

[0055] 将理解到,悬臂光纤的谐振频率可以通常与悬臂的长度的平方成正比。例如,如果光纤405的长度425加倍,则将期望光纤405的谐振频率增加4倍。类似地,如果微结构化光纤455的长度475减半,则将期望微结构化光纤475的谐振频率减少四分之一。

[0056] 还将理解到,悬臂光纤的质量的分布也可能影响谐振频率。例如,假定除微结构化光纤455的质量降低区域之外光纤405和微结构化光纤455是相同的(直径、材料等),与光纤405相比较,包括质量降低区域可以减少微结构化光纤455的单位长度质量。因此,为了光纤405和微结构化光纤455的谐振频率是相同的,光纤405和微结构化光纤455将展现出不同的长度,其中,长度425小于长度475。有利地,长度中的该差异将允许微结构化光纤455的视场470和/或指向角大于光纤405的视场420和/或指向角。

[0057] 将理解到,光纤的其他特性可以影响光纤的谐振频率和/或指向角,诸如最大指向角。可能影响频率或者指向角的示例特性包括光纤外部直径、波导元件的直径、质量降低分数、质量降低区域的数量、分布和截面尺寸(例如,直径)、相邻质量降低区域之间的节距、质量降低区域材料密度、波导元件设计、芯材料、包层材料、机械区域的固体材料等。

[0058] 在一些实施例中,扫描光纤显示器利用悬臂光纤的振荡运动来使用光纤投影图像。例如,悬臂光纤的振荡运动可以以二维控制以生成螺旋图案,诸如通过适当地驱动致动器。在一些实施例中,可以对输入光进行控制和定时,使得振荡光纤的输出可以利用重复的振荡运动和用于生成图像序列的定时的光输出在螺旋图案内生成期望图像。美国专利申请号14/156,366描述了悬臂光纤可以如何用于生成投影图像或者图像序列。然而,本文所描述的实施例有利地允许扫描光纤显示器的视场、指向角和投影输出图像尺寸和/或分辨率通过使用微结构化光纤增加。

[0059] 例如,图5A描绘了用于包含具有芯和包层并且没有包层材料中的质量降低区域的常规光纤的常规扫描光纤显示器(诸如类似于图4A的光纤系统400)的螺旋图案500。螺旋图案的直径505由使用的扫描光纤显示器的最大指向角限制。

[0060] 相比之下,图5B描绘了用于包含包括波导元件和波导元件周围的微结构化机械区域(其包括多个质量降低区域)的可比较微结构化光纤的扫描光纤显示器(诸如图4B的光纤系统450)的可比较的螺旋图案550。螺旋图案550展现出由使用的扫描光纤显示器的最大指向角限定的直径555。

[0061] 对于在相同谐振频率(其隐含增加的悬臂长度)下操作的相同常规和微结构化光纤(即,除在微结构化光纤中包括质量降低区域之外相同的),螺旋图案550的直径555将大于螺旋图案500的直径505,这对应于通过使用微结构化光纤实现的视场和/或最大指向角中的增加。非限制性地,微结构化光纤的使用可以有利地将视场和/或指向角增加多达大约30%。在一些情况下,可以实现多达大约50%或多达大约70%的视场和/或指向角中的增加。在一些实施例中,可以实现大约30%与大约40%之间的视场和/或指向角中的增加。

[0062] 各种微结构化光纤可以具有不同的光学和机械性质。在一些实施例中,微结构化光纤可以具有以下光学规格中的一个或多个:大约435nm到大约645nm的光传输范围;大约1.4 μ m的红、绿和/或蓝光的输出模场直径,具有大约 $\pm 0.15\mu$ m的公差;大约0.25的红、绿和/或蓝光的数值孔径;针对大约435nm与645nm之间的任何或所有波长的小于或大约30dB/km的光传输损耗;以及单模的低接头损耗($\phi 1.2\mu$ m, NA)。

[0063] 在一些实施例中,微结构化光纤可以具有以下机械规格中的一个或多个:在大约80 μ m与大约125 μ m之间或者在大约40 μ m与大约200 μ m之间的外部直径;在大约40 μ m与外部直径之间的机械区域的直径;大约70%或更大的机械区域中的质量降低分数(例如,气体或者空气填充分数);大约500nm或更少的同心芯/外部直径;大约0.4%或更少的垂直惯性矩之间的百分比差异,这指示微结构化光纤在x和y轴上是近似对称的(其中,z是光纤长度轴);以及大约1%或更少的归因于在空气填充区域中收集的水的重量改变。

[0064] 将理解到,旋转对称性可以对于本文所公开的光纤是有用的并且可以对于一些实施例是有利的,并且因此微结构化光纤可以可选地具有旋转对称性。旋转对称性可以指光纤的刚度(K_r)在所有径向方向(θ)上是相同的(参见图2A用于直接参考)。换句话说,对于沿着由 θ 定义的任何径向方向作用的力而言,光纤将仅在径向方向上平移。在静态情况下,胡克定理给出 $F_r = K_r \cdot \delta_r$ 。利用旋转对称性,应注意到,不存在正交于径向方向的平移。这还可以通过说明光纤的主方向不唯一来表征。

[0065] 已经采用的术语和表达被用作描述而非限制的术语,并且不存在这样的属术语和表达的使用排除所示和所描述的特征或其部分的任何等同物的意图,但是应认识到,各种修改在要求保护的本发明的范围内是可能的。因此,应当理解,虽然已经通过优选的实施例和可选的特征具体公开了本发明,但是在本文中所公开的概念的修改和变型可以诉诸于本领域的技术人员,并且这样的修改和变型被认为是在如由随附的权利要求限定的本发明的范围之内。

[0066] 出于说明和描述的目的,已经呈现本发明的示例性实施例的以上描述。其不旨在是详尽的或者将本发明限于所描述的精确形式,并且鉴于以上教导,许多修改和变型是可能的。选择并且描述实施例以便解释本发明的原理和其实际应用,从而使得本领域的技术人员能够在各种实施例以及如适于预期的特定用途的各种修改中利用本发明。

[0067] 当在本文中公开了一组取代者时,应当理解,单独地公开可以使用取代者形成的那些组的所有个体成员和所有子组和种类。当在本文中使用马库什组或其他分组时,该组的所有个体成员和该组的可能的所有组合和子组合旨在单独地包括在本公开中。如本文所使用的,“和/或”意味着由“和/或”分离的列表中的项的一个、全部或任何组合被包括在列表中;例如“1、2和/或3”等效于“‘1’或‘2’或‘3’或‘1和2’或‘1和3’或‘2和3’或‘1、2和3’”。

[0068] 除非另外说明,否则所描述或者所例示的部件的每个公式或者组合可以用于实践

本发明。材料的特定名称旨在是示例性的,众所周知,本领域的普通技术人员可以不同地命名相同材料。本领域的普通技术人员将理解到,在不依靠过度实验的情况下,除具体示例的那些之外的方法、设备元件、原始材料和合成方法可以用于本发明的实践中。任何这样的方法、设备元件、原始材料和合成方法的所有已知功能等同物旨在被包括在本发明中。无论何时在说明书中给定范围(例如,温度范围、时间范围或者组成范围),所有中间范围和子范围以及包括在给定范围中的所有个体值旨在包括在本公开中。在不脱离本发明的实施例的精神和范围的情况下,可以以任何适合的方式组合特定实施例的特定细节。然而,本发明的其他实施例可以涉及与每个个体方面有关的特定实施例或者这些个体方面的特定组合。

[0069] 还可以通过参考以下非限制性示例理解本发明。

[0070] 示例1:机械优值函数的描述:

[0071] 悬臂光纤振荡器

[0072] 该示例描述了如何最大化指向角,并且因此增加光纤的端部的视场,同时保持振荡器的自然频率恒定。在一些实施例中,这可以通过最小化悬臂振荡器的质量同时最大化面积二次矩实现。该示例得出:对于给定尺寸光纤,如何针对薄壁管光纤实现最佳性能(针对给定操作频率的最大偏转)。有利地,当与相同传统光纤相比较时,包含该技术的微结构化光纤可以展现出近似30%或更好的优值函数增加(即,指向角中的增加)。

[0073] 为了确定优值函数,需要光纤的截面的面积二次矩。在面积二次矩的计算中使用以下定义:

[0074] $I_{T,MS}$: 截面面积二次矩 (T=标准光纤, MS=微结构化光纤)

[0075] $A_{T,MS}$: 截面面积

[0076] A_{H_i} : 微结构中的孔(空气填充区域)的面积

[0077] r_i : 从孔到截面面积的中性轴的垂直距离

[0078] T : 指示实心光纤的下标

[0079] MS : 指示微结构化光纤的下标

[0080] J : 自然频率模/谐波数

[0081] $\beta(j)$: j 阶模的模常量

[0082] d : 杆直径。

[0083] 对于实心杆, $I_T = d^4/64$ 。作为约束,自然频率 f_n 被固定为相同,用于固体和微结构化设计的直接比较。对于悬臂梁,从欧拉方程获得自然频率:

$$[0084] \quad f_n = \frac{1}{2\pi} \beta \cdot L \cdot j^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho AL^4}}$$

[0085] 对于显示器的高刷新率,扫描光纤的操作频率高是有用的。同时,实现振荡器的大偏转是期望的,因为这与视场和分辨率成正比。

[0086] 由于扫描光纤投影仪是谐振设备,因而操作频率大约等于自然频率(在1%内)。这意味着我们必须选择系统参数,使得如由以上方程估计的系统自然频率保持高。

[0087] 从微结构化光纤的视角,以上方程给出对于 I (面积二次矩)和 A (实心光纤的固体横截面积减去孔的面积)对振荡器的自然频率和相关联的长度的影响的直接理解。

[0088] 通过检查该方程,增加 I 与 A 的比增加自然频率。通过将孔插入在中性轴附近移除

中性轴附近的质量(对I的小影响),可以在微结构化光纤中利用该性质,因为这由于是距中性轴的距离平方的函数同时保持外部直径或周边附近的质量而具有对I的小影响。这进一步来自以下等式,其中应当示出,截面(孔)对于面积二次矩的贡献是距中性轴的距离平方的函数。

[0089] 根据平行轴定理,微结构化光纤的面积二次矩是:

$$[0090] \quad I_{MS} = I_T - \sum_{i=1}^N A_{H_i} \cdot r_i^2$$

[0091] 因此,可以最远离中性轴删除截面(即,插入的孔或降低质量区域)以升高自然频率或者针对给定自然频率增加振荡器长度L。插入孔允许升高振荡器自然频率,或者针对给定自然频率增加振荡器长度(L)。注意,所有孔对面积(A)产生相同的影响而不管其位置,而最靠近中心轴的孔比更远离中心轴的孔使自然频率升高更多。

[0092] 以下优值函数分析描述了在偏转角方面微结构化光纤如何与实心光纤相比较。在该分析中,频率保持恒定并且面积二次矩和束截面的面积变化。优值函数量化偏转角中的增益。使用用于自然频率的以上表达:

$$[0093] \quad f_{n_i} = \frac{1}{2\pi} \beta \cdot L \cdot (n_i)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho AL^4}} = \frac{1}{2\pi} \beta \cdot L \cdot (n_i)^2 \cdot \frac{r_g}{L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

[0094] 求解将频率约束为常量的L的值产生:

$$[0095] \quad L^4 = \frac{EI}{A\rho\pi^2\beta L(n_i)^4 f_n^2} = \frac{I}{A} \cdot \frac{E}{\rho\pi^2\beta L(n_i)^4 f_n^2}$$

$$[0096] \quad L = \sqrt[4]{\frac{I}{A}} \cdot \sqrt[4]{\frac{E}{\rho\pi^2\beta L(n_i)^2 f_n^2}}$$

[0097] 固定频率(f_n)、密度(ρ)、模常量($\beta L(n_i)$) (将1阶模与1阶模、2阶模与2阶模等相比较)和模量(E)恒定,以上表达减少如下:

$$[0098] \quad L = \text{constant} \cdot \sqrt[4]{\frac{I}{A}} \text{ 或者 } L \propto \sqrt[4]{\frac{I}{A}}$$

[0099] 根据频率响应函数,在谐振处的响应被标识为随着静态偏转缩放。因此,考虑在点和分布载荷下的束的静态偏转。在每种情况下,确定结构化设备的偏转与实心光纤悬臂的偏转角的比。注意,可以针对最大偏转优化微结构化的图案,但是其还必须调谐用于具有单模的可见光的传输。

[0100] 利用末尾处的集中载荷计算束的斜率:

$$[0101] \quad \alpha = \frac{-FL^2}{2EI}$$

[0102] 其中, α 是偏转角,E是杨氏模量,I是面积二次矩,L是悬臂长度,并且F是力。利用分布载荷计算束的斜率

$$[0103] \quad \alpha = \frac{-WL^3}{6EI}$$

[0104] 其中,W是单位长度载荷。

[0105] 针对恒定频率振荡器的角偏转增益的表达推导如下。对于集中力模型,假定 $E_{MS} = E_T$:

$$[0106] \quad \frac{\alpha_{MS}}{\alpha_T} = \frac{-FL_{MS}^2}{2E_{MS}I_{MS}} \cdot \frac{2E_T I_T}{-FL_T^2} = \frac{L_{MS}^2 I_T}{L_T^2 I_{MS}}$$

$$[0107] \quad L^2 \propto \sqrt{\frac{I}{A}} = r_g \quad L_{MS}^2 \propto \sqrt{\frac{I_{MS}}{A_{MS}}}$$

$$[0108] \quad \frac{\alpha_{MS}}{\alpha_T} \approx \sqrt{\frac{I_{MS} A_T}{A_{MS} I_T}} \frac{I_T}{I_{MS}} = \frac{r_{gMS}}{r_{gT}} \frac{I_T}{I_{MS}} = \sqrt{\frac{I_T A_T}{A_{MS} I_{MS}}}$$

[0109] 这表示允许使用用于截面的面积和面积二次矩计算的增益关系。

[0110] 对于分布力模型:

$$[0111] \quad L^3 \propto \left(\frac{I}{A}\right)^{\frac{3}{4}} \quad L_{MS}^3 \propto I_{MS}/A_{MS}^{\frac{3}{4}}$$

$$[0112] \quad \frac{\alpha_{MS}}{\alpha_T} \approx \frac{L_{MS}^3}{L_T^3} \frac{I_T}{I_{MS}} = \left(\frac{I_{MS} A_T}{A_{MS} I_T}\right)^{\frac{3}{4}} \frac{I_T}{I_{MS}} = \left(\frac{A_T}{A_{MS}}\right)^{\frac{3}{4}} \left(\frac{I_T}{I_{MS}}\right)^{0.25}$$

[0113] 这表示虑及使用截面的面积和面积二次矩计算的增益关系。

[0114] 将动态模式形状近似为用于相对应力计算的分布载荷的动态模式形状:

$$[0115] \quad \frac{\sigma_{MS}}{\sigma_T} = \frac{z_{MS} \rho_{MS} A_{MS} L_{MS}^2 I_T}{z_T \rho_T A_T L_T^2 I_T I_{MS}}$$

$$[0116] \quad L_{MS}^3 \propto \left(I_{MS}/A_{MS}\right)^{\frac{3}{4}}, \quad L_T^3 \propto \left(I_T/A_T\right)^{\frac{3}{4}}, \quad (L_{MS}^3)^{\frac{2}{3}} \propto \left(\left(I_{MS}/A_{MS}\right)^{\frac{3}{4}}\right)^{\frac{2}{3}}, \quad L_{MS}^2 \propto$$

$$\left(I_{MS}/A_{MS}\right)^{\frac{1}{2}},$$

$$[0117] \quad L_T^2 \propto \left(I_T/A_T\right)^{\frac{1}{2}}$$

[0118] 假定z和ρ是常量:

$$[0119] \quad \frac{\sigma_{MS}}{\sigma_T} \propto \frac{A_{MS} I_T \left(I_{MS}/A_{MS}\right)^{\frac{1}{2}}}{A_T I_{MS} \left(I_T/A_T\right)^{\frac{1}{2}}} \propto \frac{\sqrt{A_{MS} I_T I_{MS}}}{\sqrt{A_T I_{MS} I_T}} \propto \sqrt{\frac{A_{MS}}{A_T}}$$

[0120] 这指示对于相同振荡频率,降低质量的光纤具有较长悬臂长度。

[0121] 图6提供了示出基于以上方程基于125 μm 的光纤外部直径的固体或常规光纤上的微结构化光纤的指向角中的增益的优值函数的绘图。虽然该示例描述了在空气填充区域方面的质量降低,但是将理解到,在类似分析下可以使用其他质量降低材料。绘图提供了示出作为空气填充区域的直径与节距的比的函数并且作为空气填充区域的直径的函数的光纤的指向角中的最大增益的表面,并且指示光纤的效果。将理解到,可能的最大增益是期望的,但是必须考虑某些机械考虑。例如,光纤必须能够在没有折断的情况下进行振荡。如此,微结构化区域的直径应当小于光纤的外部直径以便光纤具有机械完整性。此外,空气填充区域的直径与空气填充区域的节距的比应当小于1,否则空气填充区域将重叠并且占用光纤的不可用量。如在图6中所图示的,预期102.9 μm 的微结构化(空气填充)区域的直径以及0.873的直径/节距,以提供1.725的增益,其对应于转向角中的72.5%的增加。

[0122] 示例2:微结构化光纤性能分析

[0123] 用于最大化机械系统的自然频率的要求是直接的。对于集总参数系统,诸如连接无阻尼的单个自由度弹簧的质量,自然频率 f_n (Hz) 是模态刚度 $k \left(\frac{\text{N}}{\text{m}} \right)$ 和模态质量 m (kg) 的函数。自然频率是

$$[0124] \quad f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

[0125] 在这种情况下,对于该问题上的给定约束,存在仅两个参数并且刚度可以增加或者质量减小以升高自然频率。对于真实连续系统,类似悬臂束,还应当考虑图1B中所图示的光纤扫描器(具有模量 E 、密度 ρ 、截面面积 A 和面积二次矩 I)、质量分布、材料性质、边界条件(用于光纤的保持方法)和波束尺寸之间的关系,以及显示器的操作参数(视场、刷新率、分辨率)。改变束的长度的几何函数是可能的。这通常在锥形束的情况下完成,但是此处未考虑。相反,针对其潜在益处检查微结构化或者光子带隙型光纤。首先提供了振荡器的简要背景。

[0126] 欧拉伯努利束(Euler Bernoulli Beam)的横向运动的自然频率方程是

$$[0127] \quad f_n = \frac{\beta L(i)^2}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho A L^4}} = \frac{\beta L(i)^2}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{(\rho A L) L^3}} = \frac{\beta L(i)^2}{2\pi L^2} \sqrt{\left(\frac{E}{\rho}\right) \left(\frac{I}{A}\right)} = \frac{\beta L(i)^2}{2\pi L^2} R_g \sqrt{SM} \quad (2)$$

[0128] 其中:

[0129] α : 悬臂光纤的指向角和端部

[0130] $I, I_{T,MS}$: 截面面积二次矩

[0131] T : 标准的、直的、圆柱形光纤的下标

[0132] MS : 微结构化光纤的下标

[0133] $A, A_{T,MS}$: 悬臂的截面面积(长度上恒定的一即,无锥形化光纤)。

[0134] $A_{H,i}$: 微结构中的孔的面积(在一些设计中非恒定的)。

[0135] r_i : 从孔到中性轴的垂直距离

[0136] T : 指示固体传统光纤的下标

[0137] MS : 指示微结构化光纤的下标

[0138] i : 振动模数(例如,振动和自然频率的1阶、2阶、3阶模)

[0139] $\beta(i)$: 用于 i 阶模的模常量,取决于边界条件(悬臂、自由、简单支持)

- [0140] D:振荡器(光纤)外部直径
 [0141] d:用于管的振动器(光纤)内部直径
 [0142] δ :横向束偏转
 [0143] L:悬臂长度
 [0144] E:杨氏模量
 [0145] ρ :密度
 [0146] f_n :束的自然频率—仅考虑1阶模

[0147] SM:比模量(或比刚度) $\frac{E}{\rho}$

[0148] R_g :回转半径 $\sqrt{\frac{I}{A}}$

[0149] ξ :振荡器的阻尼比

[0150] 上文回转半径被定义为

$$[0151] \quad R_g = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (3)$$

[0152] 通过检查方程2,独立变量对束的自然频率的影响可以识别如下:

- [0153] • 增加杨氏模量(E),增加自然频率
- [0154] • 增加面积二次矩(I),增加自然频率
- [0155] • 增加密度,减小自然频率
- [0156] • 增加截面面积(A),减小自然频率
- [0157] • 增加长度(L),减小自然频率
- [0158] • 自然频率随着模常量(β)线性地变化。该常量是边界条件的函数。可以执行以下中的任何一个或多个以升高自然频率。

[0159] 修改边界条件。

[0160] 改变波导保持方法以增加常量 βL (i)。保持方法由稳定性要求、驱动能量耦合和制造方法限制。

[0161] 修改材料性质。

[0162] 增加杨氏模量(E)。这是困难的,因为光波导材料是有限的。

[0163] 减少密度(ρ)。这也是困难的,因为光波导材料特别是在大量生产的上下文中是有限的。

[0164] 这些目标通过引入被定义为 $\left(\frac{E}{\rho}\right)$ 的比模量或比刚度的思想组合。因此,最大化比刚度可以是期望的,尽管这由商业材料限制。这平衡了材料性质中的改变以允许直接材料比较。

[0165] 修改质量分布。

[0166] 减少悬臂长度(L)。虽然这是可能的,但是这样的改变可能减少横向偏转(对于施加的端部荷载的静态偏转与 L^3 成正比)。

[0167] 减少截面面积(A)。这减少质量,但是也减少面积二次矩(I)并且因此减少刚度。

[0168] 增加面积二次矩 (I)。在面积二次矩中的增加大于面积中的增加的程度, 这增加自然频率。升高截面面积并且因此增加减少自然频率的质量。因此, 此处 I 与 A 的比 $\left(\frac{I}{A}\right)$ 是重要因素。因此, 相对于 (A) 将面积二次矩 (I) 标准化是有利的。从方程 3 回忆这是回转半径的定义。这在设计微结构化振荡器时是有用的方法。参见方程 14。

[0169] 因此, 与材料性质一样, 将对自然频率的质量分布效果标准化是有用的。有利地, 这通过用于描述关于中心轴的区域分布的回转半径的性质完成。

[0170] 从方程 2, 可以使用定义振荡器设计交易空间的比例关系 (从关系除去的元素是常量)。使用该比例关系, 因为感兴趣的是不同的振荡器类型之间的相对性能。基于等式 2:

[0171] 在波束的自然频率 f_n 方面,

$$[0172] \quad f_n \propto \frac{R_g \sqrt{SM}}{L^2} \quad (4)$$

$$[0173] \quad f_n \propto R_g \quad (5)$$

$$[0174] \quad f_n \propto \sqrt{SM} \quad (6)$$

$$[0175] \quad f_n \propto \frac{1}{L^2} \quad (7)$$

[0176] 对于固定频率而言, 悬臂长度 (L) 是

$$[0177] \quad L \propto \sqrt{R_g} \quad (8)$$

$$[0178] \quad L^2 \propto \frac{1}{f_n} \quad (9)$$

$$[0179] \quad L \propto \frac{1}{\sqrt{f_n}} \quad (10)$$

[0180] 不同的振荡器之间的频率增益与比模量的平方根、回转半径 (I/A 的平方根)、边界常量 $\frac{\beta L(i)^2}{2\pi L^2}$ 成正比并且与悬臂长度的平方根成反比。

[0181] 在光纤扫描应用中, 同时地使自然频率 (f_n) 和横向偏转 (δ) 最大化是期望的。在方程 11 中标识最大可实现偏转, 其中, 通常, 自然频率中的增加对应于横向偏转中的降低。因此, 长度中的改变在没有其他改变的情况下在增加总体系统性能时不总是有用的。

[0182] 回忆对于准静态分析, 具有单位长度分布载荷的悬臂束的偏转是

$$[0183] \quad \delta = \frac{wL^4}{8EI} = \frac{\rho \cdot A \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I} = \frac{L^4}{8 \cdot SM \cdot R_g^2} \quad (11)$$

[0184] 然而, 分布载荷与悬臂长度 (L^1) 成正比, 因此偏转 (δ) 和悬臂长度相关为

$$[0185] \quad \delta \propto L^3 \quad (12)$$

[0186] 因此, 可以从等式 8 根据回转半径 (R_g) 书写优值函数:

$$[0187] \quad \delta \propto (R_g)^{\frac{3}{2}} = \left(\frac{I}{A}\right)^{\frac{3}{4}} \quad (13)$$

$$[0188] \quad \alpha \propto (R_g)^{\frac{2}{3}} = R_g = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (14)$$

[0189] 为了比较具有相同自然频率的两个振荡器(下标1、2),偏转增益是:

$$[0190] \quad \frac{\delta_2}{\delta_1} \propto \left(\frac{R_{g_2}}{R_{g_1}}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (15)$$

[0191] 并且指向角增益是:

$$[0192] \quad \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \propto \frac{R_{g_2}}{R_{g_1}} \quad (16)$$

[0193] 这些优值函数被应用到微结构化光纤以探索与传统非锥形光纤振荡器相比的期望的相对增益。

[0194] 具有外部直径(D)和内部直径(d)的空心光纤的回转半径是:

$$[0195] \quad R_{g_{MS}} = \frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{4} \quad (17)$$

[0196] 因此,对于微结构化光纤,对于薄壁管实现回转半径的最高值。

[0197] 对于实心光纤的回转半径是:

$$[0198] \quad R_{g_T} = \frac{D}{4} \quad (18)$$

[0199] 由于振荡器的自然频率与回转半径成正比,因而可以针对指定光纤直径使该参数最大化。

[0200] 面积二次矩是

$$[0201] \quad I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \quad (19)$$

[0202] 截面光纤面积是

$$[0203] \quad A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (20)$$

[0204] 为了说明由微结构化光纤实现的增益,考虑基于一些共同光纤尺寸和薄壁管的微结构化截面(极限)的示例。考虑125 μm 直径的实心光纤和具有10 μm 壁厚度(内部直径105 μm)的125 μm 直径的微结构化光纤的简化模型。

[0205] 实心光纤的面积二次矩是

$$[0206] \quad I_T = \frac{\pi}{64} (125^4 - 0^4) = 12 \cdot 10^6 \mu\text{m}^4 \quad (21)$$

[0207] 实心光纤的横截面积是

$$[0208] \quad A_T = \frac{\pi}{4} (125^2 - 0^2) = 12,300 \mu\text{m}^2 \quad (22)$$

[0209] 微结构化光纤的面积二次矩是

$$[0210] \quad I_{MS} = \frac{\pi}{64} (125^4 - 105^4) = 6 \cdot 10^6 \mu\text{m}^4 \quad (23)$$

[0211] 微结构化光纤的横截面积是

$$[0212] \quad A_{MS} = \frac{\pi}{4}(125^2 - 105^2) = 3,610\mu m^2 \quad (24)$$

[0213] 回转半径比是

$$[0214] \quad \frac{R_{g_{MS}}}{R_{g_T}} = \sqrt{\frac{I_{MS} A_T}{A_{MS} I_T}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 10^6 \cdot 12,300}{3,610 \cdot 12 \cdot 10^6}} = 1.31 \quad (25)$$

[0215] 使用根据等式14的相对偏转增益,并且代入根据等式23的结果以得到具有10 μm 壁厚度的125 μm 外部直径光纤(空心)的最好情况增益,与实心光纤相比,微结构化光纤的偏转增益是

$$[0216] \quad \frac{\delta_{MS}}{\delta_T} \propto \left(\frac{R_{g_{MS}}}{R_{g_T}} \right)^{\frac{3}{2}} = (1.31)^{\frac{3}{2}} = 1.5 \quad (26)$$

[0217] 因此,该改变导致针对给定自然频率和材料的偏转中的~50%的增加。

[0218] 现在,确定针对两个设计的所有参数以验证。针对悬臂长度求解方程2:

$$[0219] \quad L = \sqrt{\frac{\beta L(i)^2}{2\pi \cdot f_n} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}} \quad (27)$$

[0220] 计算用于实心光纤的悬臂长度:

$$[0221] \quad L_T = \sqrt{\left(\frac{(1.875104)^2}{2\pi \cdot 25,000} \sqrt{\frac{73 \cdot 10^9 Pa \cdot 12 \cdot 10^6 \mu m^4 \cdot (1 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{\mu m^2})^2}{2200 \frac{Kg}{m^3} \cdot 12,300 \cdot \mu m^2}} \right)} = 2.007 \text{ mm} \quad (28)$$

[0222] 计算用于微结构化光纤的悬臂长度:

$$[0223] \quad L_{MS} = \sqrt{\left(\frac{(1.875104)^2}{2\pi \cdot 25,000} \sqrt{\frac{73 \cdot 10^9 Pa \cdot 6 \cdot 10^6 \mu m^4 \cdot (1 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{\mu m^2})^2}{2200 \frac{Kg}{m^3} \cdot 3,610 \cdot \mu m^2}} \right)} = 2.293 \text{ mm} \quad (29)$$

[0224] 验证优值函数,这些结果使用方程8比较:

$$[0225] \quad \frac{L_T}{L_{MS}} \propto \frac{\sqrt{R_{g_T}}}{\sqrt{R_{g_{MS}}}} = \sqrt{1.31} = 1.15 = \frac{2.293 \text{ mm}}{2.007 \text{ mm}} \quad (30)$$

[0226] 最后,为了检查结果,使用准静态分析作为来自方程24的优值函数针对恒定载荷比较期望偏转:

$$[0227] \quad \frac{\delta_{MS}}{\delta_T} = \frac{L_{MS}^3}{L_T^3} = \frac{(2.293 \text{ mm})^3}{(2.007 \text{ mm})^3} = 1.499 \quad (29)$$

[0228] 最后,直接基于根据方程23的回转半径应用方程14,提供偏转增益:

$$[0229] \quad \frac{\delta_2}{\delta_1} \propto \left(\frac{R_{g_2}}{R_{g_1}} \right)^{\frac{3}{2}} = (1.31)^{\frac{3}{2}} = 1.499$$

[0230] 注意,此处所描述的~1.5x增益基于具有125 μm 的外部直径的光纤的理想10 μm 壁厚度。实际上,具有相同尺寸的真实光纤的结果是稍微小些。

[0231] 方程2可以针对长度被求解为

$$[0232] \quad L^2 = \frac{\beta L(i)^2}{2\pi f_n} R_g \sqrt{SM} \quad \text{或者} \quad L = \sqrt{\frac{\beta L(i)^2}{2\pi f_n} R_g \sqrt{SM}} = \beta L(i) \sqrt{\frac{R_g(SM)^{0.5}}{2\pi f_n}} \quad (30)$$

[0233] 根据此

$$[0234] \quad L \propto \sqrt{R_g} = \sqrt[4]{\frac{I}{A}} \quad \text{并且} \quad L \propto \sqrt[4]{SM} = \sqrt[4]{\frac{E}{\rho}} \quad (31)$$

[0235] 根据方程31,明显的是,当面积二次矩与面积的比最大化时,长度最大化。

[0236] 作为另一示例,具有80 μm 的外部直径和大约60kHz的自然频率的实心光纤被考虑并且与具有大约43.7%的总体空气填充分数(如上文利用具有10 μm 壁厚度的80 μm 光纤建模的)和大约60kHz的自然频率的微结构化光纤相比较以确定指向角中的增加。

[0237] 微结构化光纤的面积二次矩是

$$[0238] \quad I_{TMS} = \frac{\pi}{64} (80^4 - 60^4) = 1.374 \cdot 10^6 \mu\text{m}^4 \quad (32)$$

[0239] 微结构化光纤的横截面积是

$$[0240] \quad A_{TMS} = \frac{\pi}{4} (80^2 - 60^2) = 2200 \mu\text{m}^2 \quad (33)$$

[0241] 微结构化光纤的长度是:

$$[0242] \quad L_{MS} = \sqrt{\left(\frac{(1.875104)^2}{2\pi \cdot 25,000} \sqrt{\frac{73 \cdot 10^9 \text{Pa} \cdot 1.374 \cdot 10^6 \mu\text{m}^4 \cdot \left(1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\mu\text{m}^2}\right)^2}{2200 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 2200 \cdot \mu\text{m}^2}} \right)} = 1.159 \text{ mm} \quad (34)$$

[0243] 实心光纤的面积二次矩是

$$[0244] \quad I_T = \frac{\pi}{64} (80^4 - 0^4) = 2.01 \cdot 10^6 \mu\text{m}^4 \quad (35)$$

[0245] 实心光纤的横截面积是:

$$[0246] \quad A_T = \frac{\pi}{4} (80^2 - 0^2) = 5025 \mu\text{m}^2 \quad (36)$$

[0247] 实心光纤的长度是:

$$[0248] \quad L_T = \sqrt{\left(\frac{(1.875104)^2}{2\pi \cdot 60,000} \sqrt{\frac{73 \cdot 10^9 \text{Pa} \cdot 2.01 \cdot 10^6 \mu\text{m}^4 \cdot \left(1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\mu\text{m}^2}\right)^2}{2200 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 5025 \cdot \mu\text{m}^2}} \right)} = 1.037 \text{ mm} \quad (37)$$

[0249] 微结构化光纤与实心光纤的长度的比LMS/LT是1.12。使用方程16,指向角中的相对增加是

$$[0250] \quad \frac{\alpha_{MS}}{\alpha_T} \propto \frac{R_{gMS}}{R_{gT}} = \sqrt{\frac{I_{MS} A_T}{I_T A_{MS}}} = \sqrt{\frac{1.374 \cdot 10^6 \mu\text{m}^4 \cdot 5025 \mu\text{m}^2}{2.01 \cdot 10^6 \mu\text{m}^4 \cdot 2200 \mu\text{m}^2}} = 1.25 \quad (38)$$

[0251] 因此,通过将80 μm 光纤微结构化,指向角可以增加25%。

[0252] 示例3:用于扫描光纤显示器的示例光纤

[0253] 该示例描述了包括多个质量降低区域的微结构化光纤实施例和光纤在扫描光纤

显示器中的使用。微结构化光纤通过堆叠光学硅管的长度制成以形成总体预制件结构。光学材料的单个实心管定位在预制件的中心处并且用于对应于最后形成的光纤的波导区域的芯。一系列实心硅管定位在预制件中的实心管周围并且用于对应于最后形成的光纤的波导区域的包层。空心硅管定位在预制件中的一系列实心硅管周围并且用于对应于最后形成的光纤的机械区域的质量调节区域。最后,实心硅管的环定位在空心硅管的外部并且用于对应于最后形成的光纤的机械区域的外部实心边缘或者周边。装配的预制件被加热以将部件彼此融合并且然后根据已知的光纤拉丝技术被拉成光纤。

[0254] 所产生的光纤对应于微结构化光纤。所产生的光纤具有芯区域(诸如具有大约 $5\mu\text{m}$ 直径芯)、包层区域(诸如具有大约 $25\mu\text{m}$ 外部直径)和具有大约 $80\mu\text{m}$ 直径的机械区域。微结构化光纤展现出例如大约44%的总体空气填充分数。如与等效非微结构化光纤相比较,微结构化光纤展现出机械区域中的对应减少的质量。

[0255] 扫描光纤显示器通过相对于机械致动器以悬臂配置定位微结构化光纤产生,使得微结构化光纤的长度是自由的(即,无支持的)。微结构化光纤的无支持部分的长度是大约 1.159mm 。 1.159mm 悬臂微结构化光纤展现出大约 60kHz 的谐振频率。当在谐振频率处振荡时,微结构化光纤的最大指向角是大约 12.5° 。

[0256] 作为比较,具有大约 60kHz 谐振频率(即,与上文所描述的微结构化光纤相同的谐振频率)的悬臂配置中的等效非微结构化(即,实心)光纤在长度方面具有大约 1.037mm 并且具有大约 10° 的最大指向角。

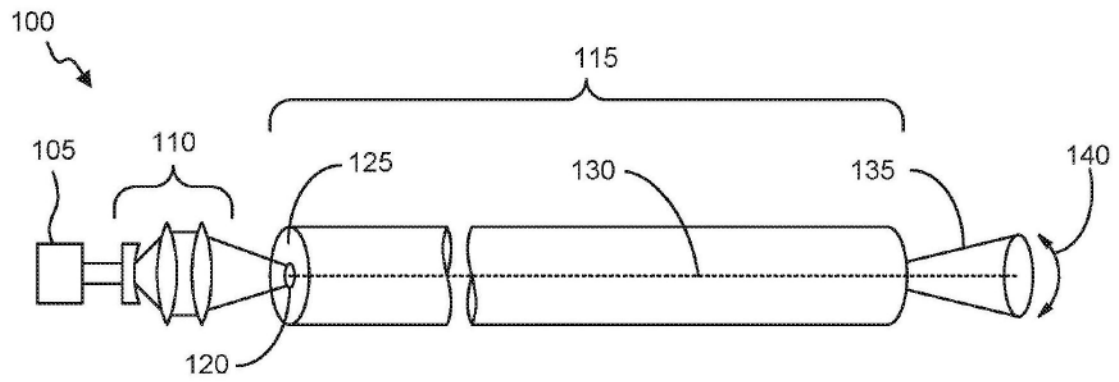


图1A

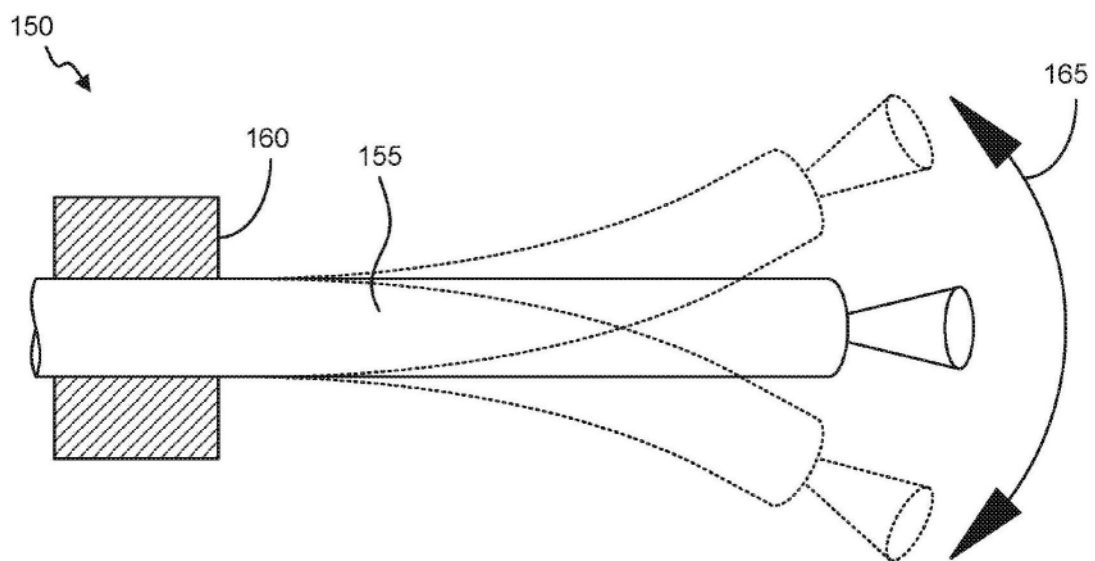


图1B

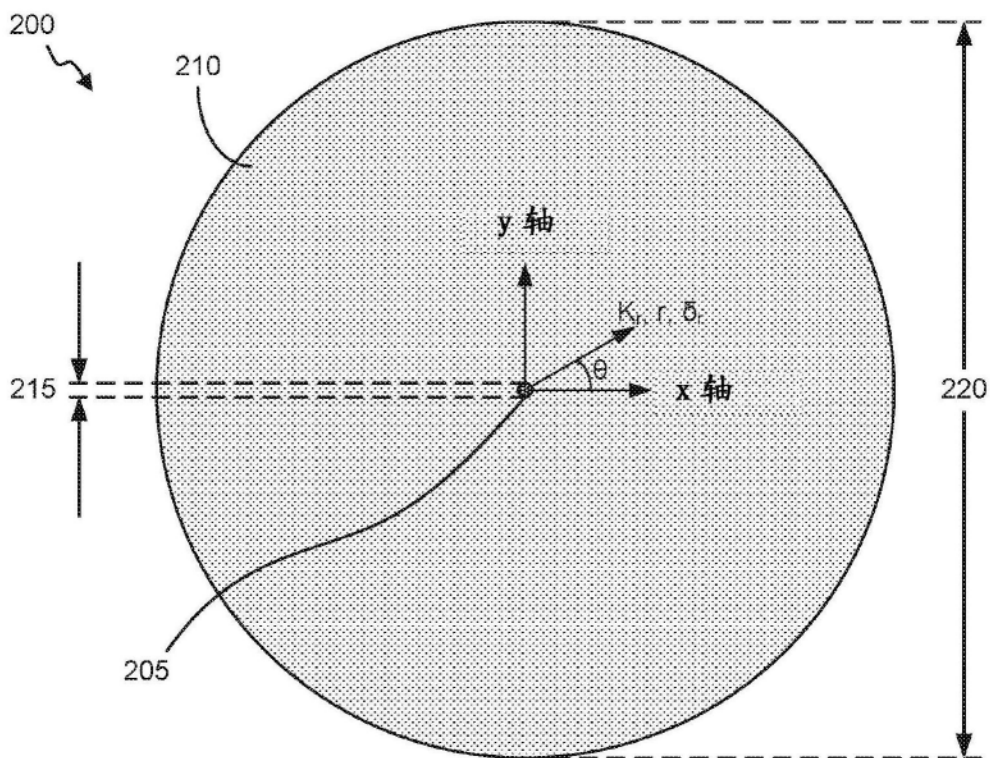


图2A

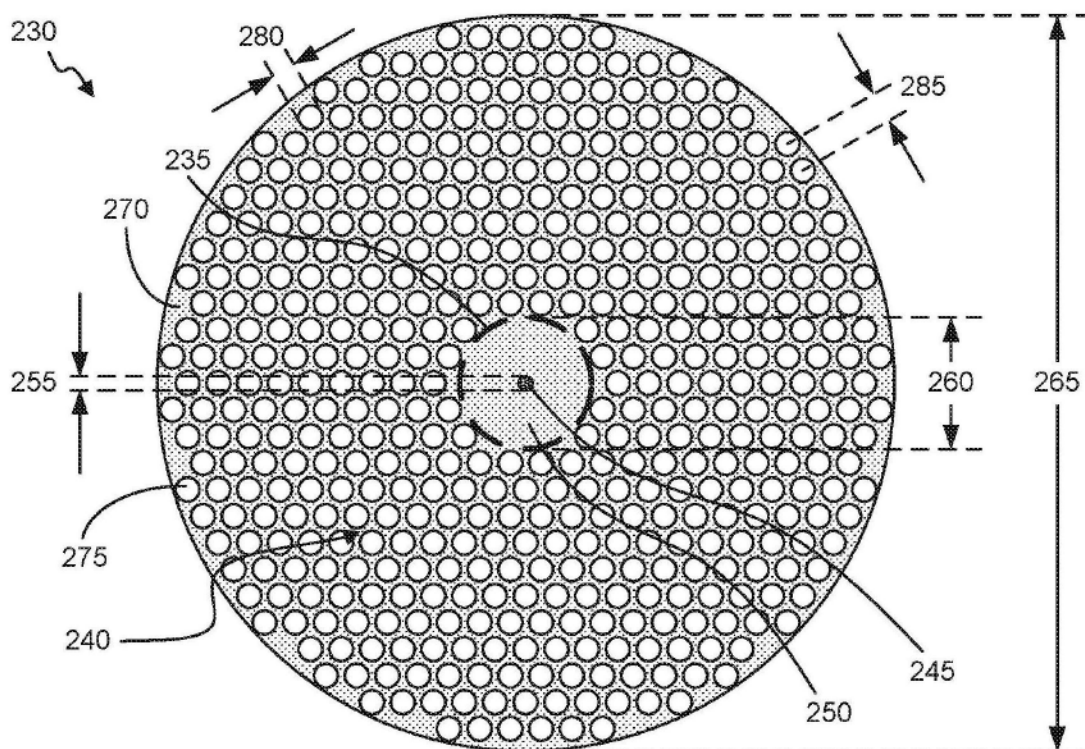


图2B

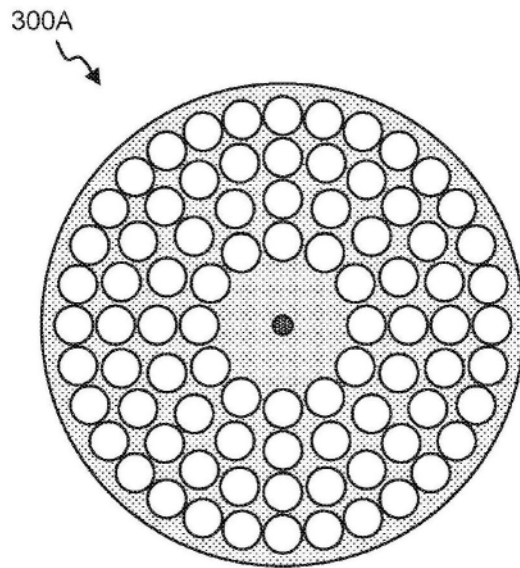


图3A

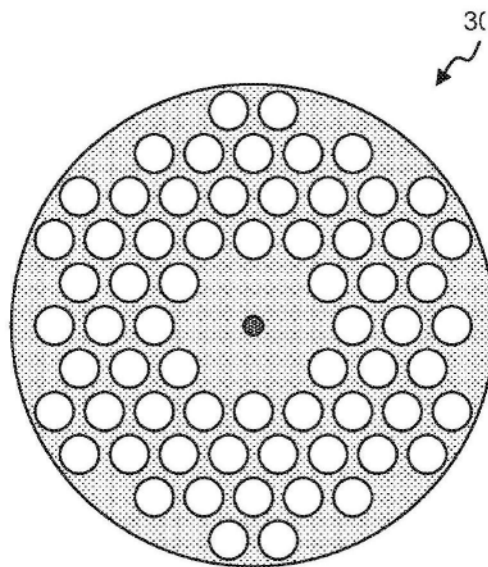


图3B

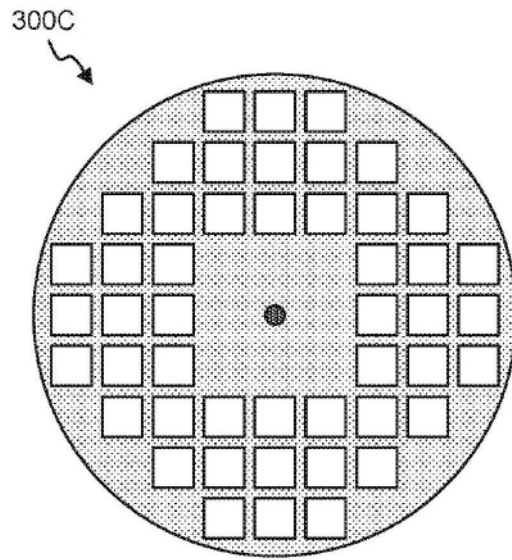


图3C

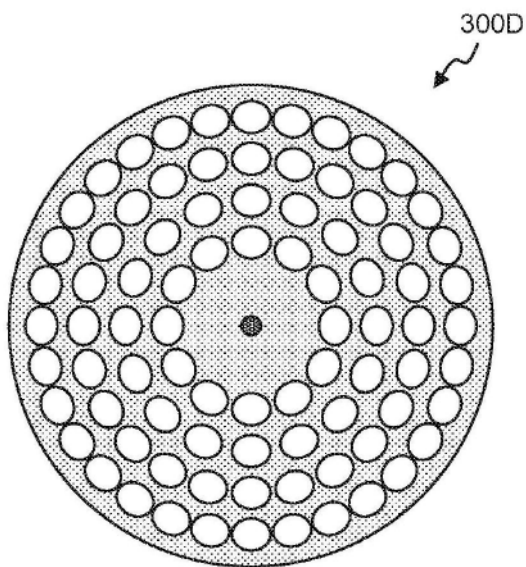


图3D

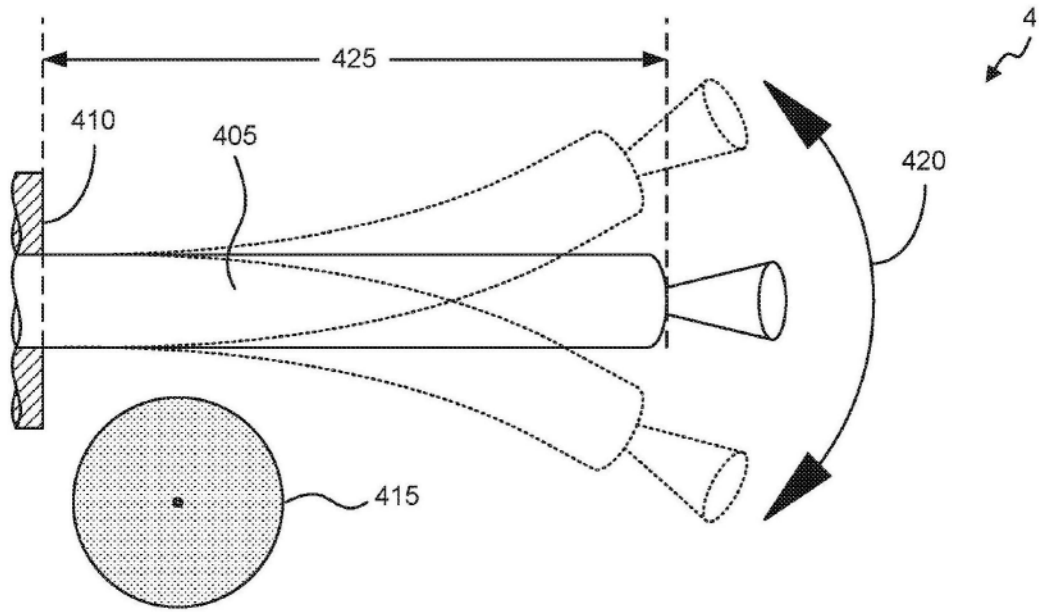


图4A

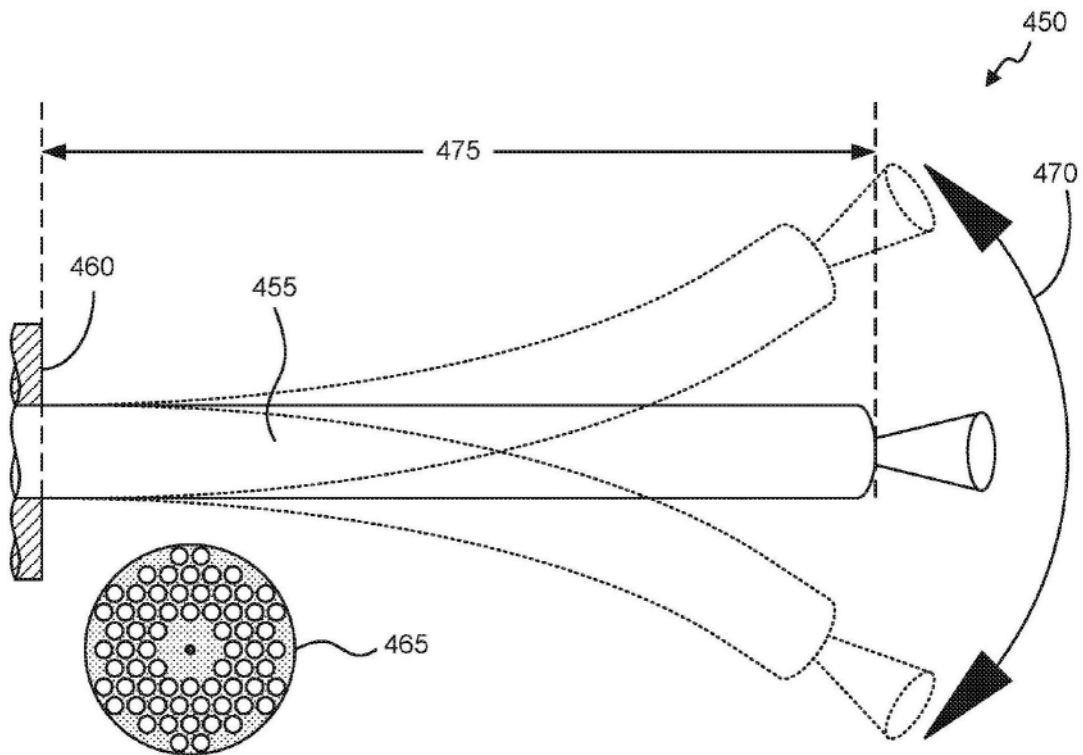


图4B

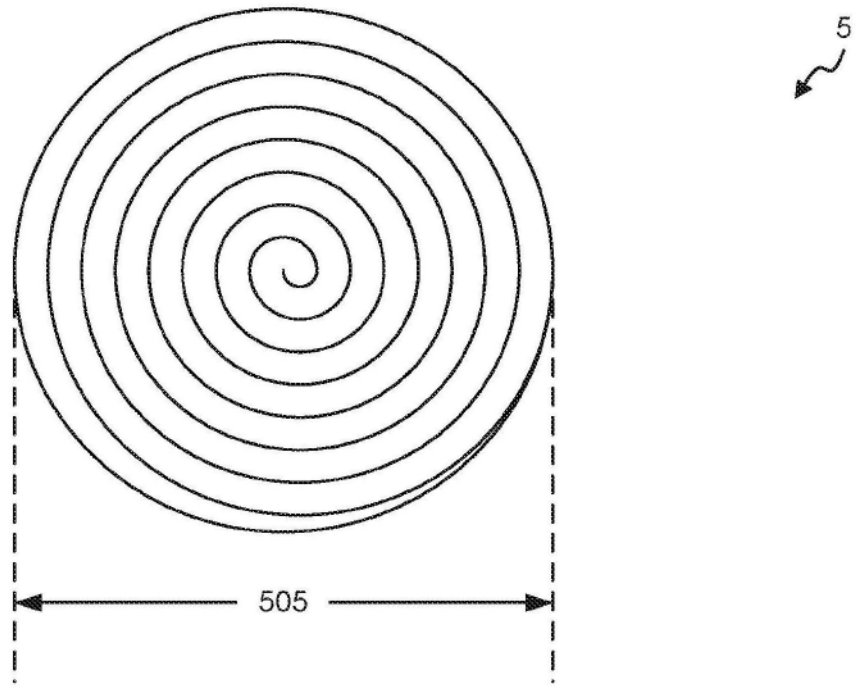


图5A

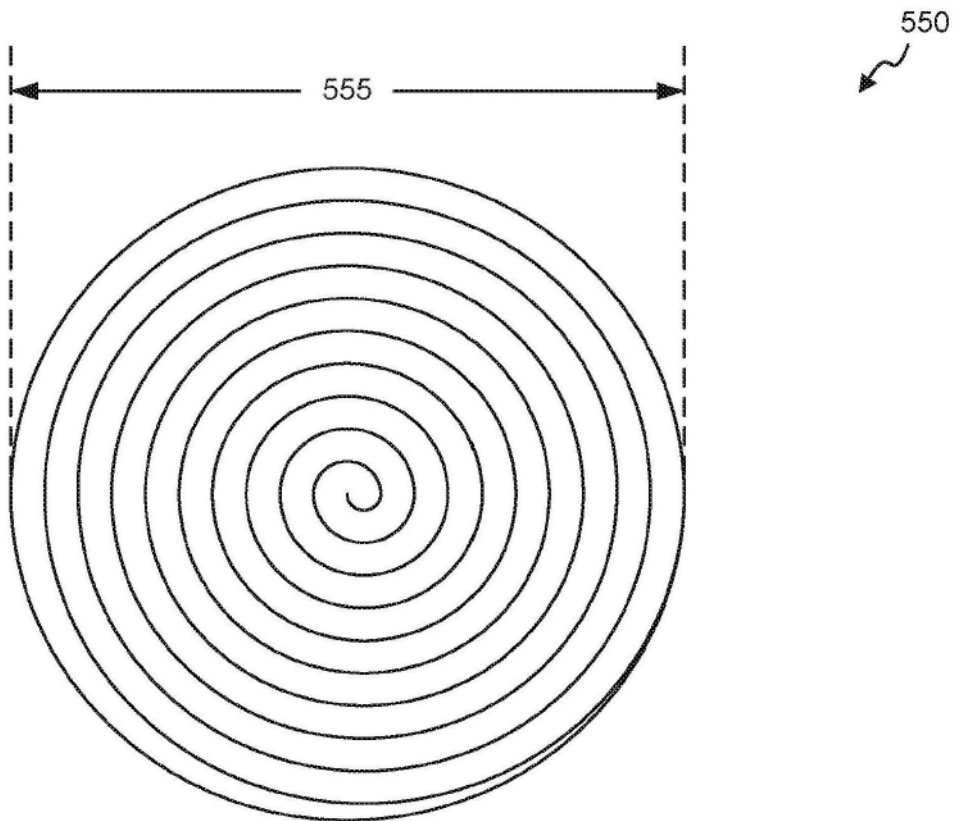


图5B

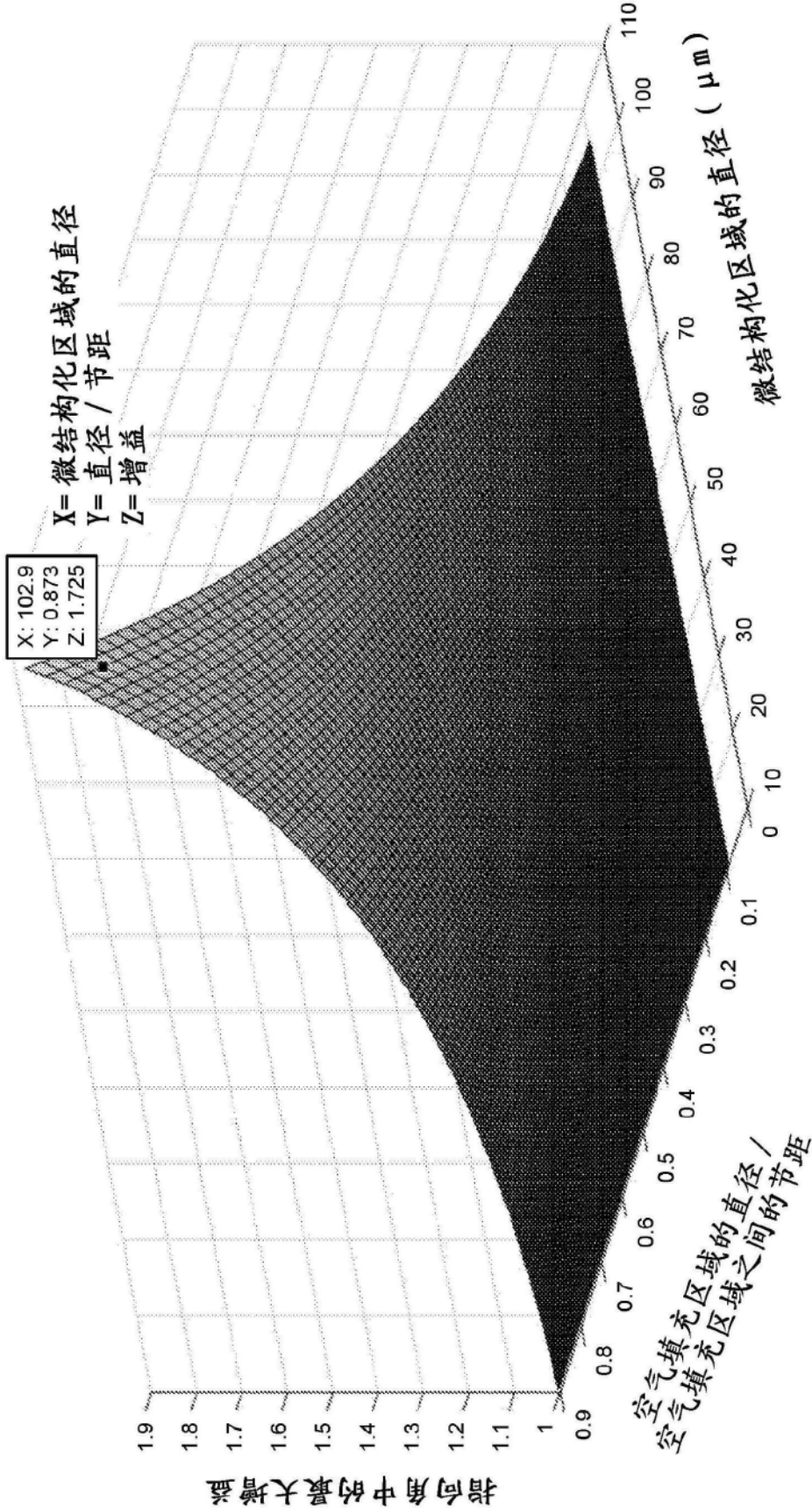


图6