

1. 一种光纤气体激光器，包括激励气体、光学共振腔和激励源，其特征在于，该光学共振腔由空心光纤和单模光纤耦合器构成，所述单模光纤耦合器两臂为实心光纤，所述两臂分别和所述空心光纤的两端相连接，所述空心光纤的纤芯中充满作为增益介质的激励气体。

2. 权利要求 1 所述的光纤气体激光器，其特征在于，所述空心光纤的纤芯直径为 $5\sim 200\ \mu\text{m}$ 。

3. 如权利要求 1 所述的光纤气体激光器，其特征在于，所述空心光纤是毛细导光管、空心布拉格光纤、空心菲涅尔光纤或空心光子带隙光纤。

4. 如权利要求 1 所述的光纤气体激光器，其特征在于，该激励气体为氩氟混合气。

5. 如权利要求 1 所述的光纤气体激光器，其特征在于，该光纤气体激光器还包括储气室，所述储气室环绕所述空心光纤设置，所述空心光纤的处于所述储气室中的部分开设有气孔，以连通所述纤芯和所述储气室。

6. 如权利要求 1 所述的光纤气体激光器，其特征在于，该光纤气体激光器还包括储气室，所述空心光纤和所述实心光纤的连接部处留有尺寸小于或等于所述纤芯直径的间隙，所述储气室环绕所述连接部设置，所述间隙连通所述纤芯和所述储气室。

7. 如权利要求 6 所述的光纤气体激光器，其特征在于，所述空心光纤由两段连接而成，所述空心光纤的连接部处留有尺寸小于或等于所述纤芯直径的间隙，所述连接部处设置有储气室，所述间隙连通所述纤芯和所述储气室。

8. 如权利要求 5、6 或 7 所述的光纤气体激光器，其特征在于，该激励源是直流放电激励装置，包括设置于所述储气室内的阴极和阳极。

9. 如权利要求 8 所述的光纤气体激光器，其特征在于，该激励源还包括与该直流放电激励装置结合的射频放电激励装置。

10. 如权利要求 1 所述的光纤气体激光器，其特征在于，该激励

源是射频激励装置,包括射频发射源以及卷绕在所述空心光纤上的至少一个感应线圈。

11. 如权利要求 1 所述的光纤气体激光器,其特征在于,该激励源是电容耦合射频激励装置,包括至少一对将所述空心光纤夹在中间的平板电极。

12. 一种光纤型环形激光陀螺仪,其特征在于,该光纤型环形激光陀螺仪包括如权利要求 1 所述的光纤气体激光器。

13. 如权利要求 12 所述的光纤型环形激光陀螺仪,其特征在于,该光纤型环形激光陀螺仪还包括由光纤调制器,反馈控制器和光纤补偿器构成的共振腔长度控制装置。

14. 如权利要求 13 所述的光纤型环形激光陀螺仪,其特征在于,该光纤调制器和该光纤补偿器是卷绕着光纤的同一压电陶瓷元件。

15. 如权利要求 13 所述的光纤型环形激光陀螺仪,其特征在于,该光纤调制器和该光纤补偿器分别是卷绕着光纤的不同压电陶瓷元件。

16. 如权利要求 12 所述的光纤型环形激光陀螺仪,其特征在于,该光纤型环形激光陀螺仪还包括拍频数据读取系统。

17. 如权利要求 16 所述的光纤型环形激光陀螺仪,其特征在于,该拍频数据读取系统包括 3×3 耦合器以及和该耦合器的三个输出端连接的三个光探测器。

光纤气体激光器和具有该激光器的光纤型环形激光陀螺仪

技术领域

本发明涉及一种光纤激光器和具有该激光器的光纤型环形激光陀螺仪，特别涉及一种光纤气体激光器和具有该激光器的光纤型环形激光陀螺仪。

背景技术

陀螺仪是用于测量惯性坐标系中的转动的仪器。陀螺仪的应用在我们周围无处不存在，例如，在国防领域中导弹的精确制导、潜艇长期潜伏在水下的精确导航、行进中的坦克保持火炮和瞄准系统的稳定等都离不开陀螺仪。在国民经济领域中，工程测量的精确定位、石油钻探的精确定向、机器人动作精确控制等也要靠陀螺仪。即使在日常生活中，人们在不知不觉中也已经或将得益于陀螺仪。比如飞机在飞行中使旅客感到十分平稳和舒适是得益于陀螺仪构成的航向姿态参考系统。随着列车提速，消除车厢摆动尤其高速转弯时的摆动，就要借助于陀螺仪。还有，汽车行驶中的定位和导向，在目前主要靠全球定位系统（GPS），但GPS的使用存在着被动性的缺点，当GPS与陀螺组合在一起时，才使汽车导向和自动驾驶真正具备了主动性。

陀螺仪的种类很多，包括机电的、激光的、光纤的、压电的和微机械的等等。其中，光学陀螺仪的工作原理是萨格纳克效应（Sagnac effect）。萨格纳克效应是指同一光源同一光路，两束反向传播光束之间的光程差或相位差与其光学系统相对于惯性空间旋转的角速度成正比的现象。

光学陀螺仪中一种重要的类型是环形激光陀螺仪（RLG）。其中，激光陀螺仪的主要部件是激光器。一般的激光器都是由三部分组成：激光工作物质、激励（泵浦）系统以及光学共振腔。用于激光陀螺仪的激光器需要做成环型腔结构。激光陀螺仪可分为内腔式和外腔式结构。请参见图1a和图1b，图1a示出了现有技术中的外腔式环形激光陀螺仪；图1b示出了现有技术中的内腔式环形激光陀螺仪。

图1a的外腔式结构中，是将一个氦氖放电管（增益管或叫放大器）7置于由三面镜子8构成的环形光学共振腔内。氦氖放大器7能在光学共振腔内

产生沿相反方向传播的激光。陀螺仪转动的情况下，两束反向传播的激光束的光路和频率将存在差别，两束光的频率差和角速度之间的关系如下：

$$\Delta f = f_{cw} - f_{ccw} = -\frac{4A}{\lambda P} \Omega \quad (1)$$

其中， λ 是激光的波长， f_{cw} 和 f_{ccw} 分别是顺时针激光束和逆时针激光束的频率， A 是环型光路所包围的面积， P 是光路的周长， Ω 是转速。

如图 1b 所示，内腔式结构的增益介质充满整个环形腔，腔体是由在石英或其它低膨胀材料上打出存放激励气体的环形毛细孔道 9 和电极引入孔 10，毛细孔道 9 也就是环型共振腔的光通路。介质膜反射镜 8 用光胶粘在高度抛光的腔体端面以形成低损耗共振腔。内腔式激光陀螺仪的两束反向传播的激光的频率差和角速度之间的关系如下也由式 (1) 给出。

为了实现高精度陀螺仪，无论对内腔式还是对外腔式结构，都需对其腔长进行精确控制从而使激光的平均频率 $(f_{cw}+f_{ccw})/2$ 稳定在最大增益处；需应用双阳极，共阴极结构以消除朗缪尔流动效应对陀螺性能的影响；需应用特殊的合光棱镜 11 使反向传输的两束激光形成干涉条纹并应用光探测器和后续电子电路来读取两束激光的频率差。

和机械陀螺仪相比，环形激光陀螺仪的优点是没有运动部件，因而对摇动、振动等很多误差源不是很敏感，并且修正误差的时间也很短。此外，环形激光陀螺仪还具有很大的线性动态范围（从低于 $0.01^\circ/\text{hr}$ 到 $1000^\circ/\text{hr}$ ）和数字（频率）式输出。但是，环形激光陀螺仪对环型腔体的制作和镜子的质量要求很高，其所采用的生产技术也是其它领域所不常采用的特殊技术，因此制造成本很高。

光学陀螺仪的另一种重要类型是干涉型光纤陀螺仪 (IFOG)。图 2 示出了这种类型的陀螺仪。陀螺仪转动时，通过同一个敏感光纤环圈 12 中沿相反方向传输的两束光之间会产生光程差（相位差或叫相移）。两束光的相位差和角速度之间的关系为：

$$\Delta\phi = \frac{8\pi AN}{\lambda c} \Omega = \frac{2\pi LD}{\lambda c} \Omega \quad (2)$$

其中 L 为光纤的长度， D 为光纤环的直径， N 为光纤绕环的圈数。由于干涉效应，探测器 (D) 处的光强将随相位差的变化而变化，因此可用来测

量角速度。干涉型光纤陀螺仪常常采用宽带低相干光源。这样的光源配合以高质量的偏振器、保偏光纤、特殊的光纤环绕制和磁场屏蔽技术，基本上消除了由于反射、散射、克尔效应、偏振效应、时间相关热效应和外部磁场效应所带来的噪音和误差。干涉型光纤陀螺仪的优点也包括没有运动部件，从而降低了振动和加速度对陀螺仪性能的影响。此外，干涉型光纤陀螺仪还能利用光纤通讯领域已有的元件，因而制造成本较低。但是，由于干涉型光纤陀螺仪对角速率的灵敏度与光纤环圈中的光纤长度成正比，因此如要获得理想的测量效果，需要数百米到数公里长的单模光纤。干涉型光纤陀螺的输出为模拟信号，其输出光强度和角速度呈非线性（正弦或余弦）关系；这就限制了光纤陀螺的线性测量范围，为了实现在较大转速范围内的线性输出，需要通过反馈控制在环路中引进附加相移来补偿转动引起的相移（即使陀螺工作在闭环状态）。另外，由式（2）所知，两束光的相位差和角速度之间的比例因子和波长成反比；由于宽带光源波长较难定义而且不很稳定，因此导致陀螺比例因子的不稳定。

发明内容

有鉴于现有技术中的环形激光陀螺仪的制作工艺复杂、难度高以及干涉型光纤陀螺仪模拟输出和比例因子的不稳定等问题，本发明的目的在于提供一种综合这两种陀螺仪的优点而避免其缺陷的光纤气体激光器和具有该激光器的光纤型环形激光陀螺仪。

为了实现上述目的，本发明提供了一种光纤气体激光器，包括激励气体、光学共振腔和激励源，其特征在于，该光学共振腔由空心光纤和单模光纤耦合器构成，所述单模光纤耦合器两臂为实心光纤，所述两臂分别和所述空心光纤的两端相连接，所述空心光纤的纤芯中充满作为增益介质的激励气体。

根据本发明的光纤气体激光器，其中，所述空心光纤的纤芯直径为 5~200 μm 。

根据本发明的光纤气体激光器，其中，所述空心光纤是毛细导光管、空心布拉格光纤、空心菲涅尔光纤和空心光子带隙光纤。

根据本发明的光纤气体激光器，其中，该激励气体为氦氖混合气。

根据本发明的光纤气体激光器，其中，该光纤气体激光器还包括储气室，所述储气室环绕所述空心光纤设置，所述空心光纤的处于所述储气室中的部分开设有气孔，以连通所述纤芯和所述储气室。

根据本发明的光纤气体激光器，其中，该光纤气体激光器还包括储气室，所述空心光纤和所述实心光纤的连接部处留有尺寸小于或等于所述纤芯直径的间隙，所述储气室设置在该连接部处，所述间隙连通所述纤芯和所述储气室。

根据本发明的光纤气体激光器，其中，所述空芯光纤由两段连接而成，所述空心光纤的连接部处留有尺寸小于或等于所述纤芯直径的间隙，所述连接部设置有储气室，所述间隙连通所述纤芯和所述储气室。

根据本发明的光纤气体激光器，其中，该激励源是直流放电激励装置，包括设置于所述储气室内的阴极和阳极。

根据本发明的光纤气体激光器，其中，该激励源还包括与该直流放电激励装置结合的射频放电激励装置。

根据本发明的光纤气体激光器，其中，该激励源是射频激励装置，包括射频发射源以及卷绕在所述空心光纤上的至少一个感应线圈。

根据本发明的光纤气体激光器，其中，该激励源是电容耦合射频激励装置，包括至少一对将所述空心光纤夹在中间的平板电极。

本发明还提供了一种光纤型环形激光陀螺仪，该光纤型环形激光陀螺仪包括如上所述的光纤气体激光器。

根据本发明的光纤型环形激光陀螺仪，还包括共振腔长度控制装置，包括光纤调制器，反馈控制器和光纤补偿器。

根据本发明的光纤型环形激光陀螺仪，其中，该光纤调制器和该光纤补偿器是卷绕着光纤的同一压电陶瓷元件。

根据本发明的光纤型环形激光陀螺仪，其中，该光纤调制器和该光纤补偿器分别是卷绕着光纤的不同压电陶瓷元件。

根据本发明的光纤型环形激光陀螺仪，还包括拍频数据读取系统。

根据本发明的光纤型环形激光陀螺仪，其中，该拍频读取系统包括 3×3 耦合器以及和该耦合器的三个输出端连接的三个光探测器。

本发明中的光纤气体激光器中采用填充氩氖混合气的空心光纤形成光

波导和放电管，放大效果好，结构简单，成本低廉，易于制造。

对本发明的光纤型环形激光陀螺仪的散粒噪音引起的性能极限进行初步评估，结果显示：该散粒噪音性能极限与干涉型光纤陀螺仪和常规 RLG 相似。但是，本发明的光纤型环形激光陀螺仪既不需要长光纤，也不需要高质量的镜子，实现了成本的降低。光纤环的长度可以在保持陀螺仪整体尺寸小的情况下根据性能需要在一定范围内改变，具有一定的尺寸可调性。

本发明中具有上述激光器的光纤型环形激光陀螺仪成本低廉、性能广泛，可以用于自动导航系统、机器人应用、地质探测、导弹稳定性、油井钻孔、战术武器导向、火箭导航系统等。

附图说明

图 1a 示出了现有技术中的外腔式环形激光陀螺仪；图 1b 示出了现有技术中的内腔式环形激光陀螺仪；

图 2 示出了现有技术中的干涉型光纤陀螺仪；

图 3 示出了根据本发明第一实施例的光纤气体激光器；

图 4 示出了根据本发明第二实施例的光纤气体激光器；

图 5a 至 5d 示出了可用于本发明的几种空芯光纤的截面图；

图 6 示出了用于根据本发明的光纤型环形激光陀螺仪的拍频读取系统；

图 7 示出了用于根据本发明的光纤型环形激光陀螺仪的共振腔长度控制装置。

具体实施方式

下面将参照下述附图通过例子对本发明进行说明。

图 3 示出了根据本发明第一实施例的光纤气体激光器。

根据本发明第一实施例的光纤气体激光器包括电激励源、光学共振腔以及激励气体。光学共振腔是空心光纤 11、12 和单模光纤耦合器 2 两臂的实心光纤 21、22 利用现有低损耗连接技术连接而成的光纤环形腔。空心光纤 11、12 的中空部分充满激励气体，作为增益管（放电管）。激励源是直流放电激励装置。

具体的，两段长度基本相等的空心光纤 11、12 的一端通过固定装置（未

示出)保持一定间隙对接,构成光纤气体激光器的增益管,空心光纤 11、12 的纤芯中填充氦氟激励气体,用作增益介质。该填充了激励气体的空心光纤 11、12 同时也用作光纤气体激光器的放电管。空心光纤 11、12 的另一端分别与单模光纤耦合器 2 的两臂 21、22 通过固定装置(未示出)保持一定间隙对接,构成光纤环形腔。

空心光纤 11 和 12 之间以及空心光纤 11、12 和实心光纤 21、22 之间的连接部处分别设有储气室 31、32 和 33。各个连接部分别设置在储气室 31、32 和 33 中,空心光纤 11、12 内部的激励气体和储气室 31、32、33 内部存储的相同气体连通。储气室 31、32、33 的容积比空心光纤 11、12 的纤芯内部的容积大的多,用于当空心光纤 11、12 纤芯中的氦氟气体受到激励源的激励,压力发生变化时及时对其进行调整,以保持空心光纤 11、12 内部氦氟气体的气压稳定。

为了保持空心光纤 11、12 纤芯中的气体与储气室 31、32、33 中的气体连通,本实施例中,使对接的空心光纤之间以及实心光纤 21、22 和空心光纤 11、12 之间保持很小的间隙 A、B、C,间隙 A、B、C 的尺寸小于或等于空心光纤纤芯的直径。间隙 A、B、C 可以作为气体通道,实现储气室 31、32、33 和空心光纤 11、12 纤芯内的气体流通。本实施例中,设置多个储气室 31、32、33 以及将储气室 32、33 设置为相对于储气室 31 对称,有助于确保纤芯内部气体压力的平衡和消除朗缪尔流动效应的影响。

直流放电激励装置包括阴极 41 和阳极 42、43。由于空心光纤 11、12 的纤芯尺寸很小,不能像传统的气体激光器那样容纳电极,因此阴极 41 设置在位于空心光纤 11、12 之间的连接部处的储气室 31 内,阳极 42、43 分别设置于空心光纤 11、12 和实心光纤 21、22 之间的连接部处的储气室 32 和 33 内。

单模光纤耦合器 2 是实心光纤 21、22 制成的单模光纤定向耦合器(SMF 耦合器),用以和空心光纤 11、12 对接,筛选出反向传播的光束。单模光纤耦合器 2 的耦合比很小,例如可以是 1:99。实心光纤 21、22 和空心光纤 11、12 的连接会出现连接损耗和回波反射,但是由于空心光纤气体增益管(放电管)具有相当大的放大倍数,这种连接损耗不会对包括空心光纤 11、12 的光纤气体激光器的效果造成实质性影响。同时也可以利用现有光纤连接技

术对连接处进行处理，以减小这种连接损耗与反射。例如，可使耦合器两臂的实心光纤 21、22 和空心光纤 11、12 保持一定的角度互相连接，从而减少反射回光纤中的光。

图 4 示出了根据本发明第二实施例的光纤气体激光器。

根据本发明第二实施例的光纤气体激光器包括电激励源、光学共振腔、以及激励气体。光学共振腔是将空心光纤 1 和单模光纤耦合器 2 两臂的实心光纤 21、22 利用现有低损耗连接技术连接而成的光纤环形腔。空心光纤 1 的中空部分充满激励气体，作为增益管（放电管）。激励源是射频放电激励装置。

具体的，空心光纤 1 构成光纤气体激光器的增益管，空心光纤 1 的纤芯中填充氦氖激励气体，用作增益介质。该填充了激励气体的空心光纤 1 同时也用作光纤气体激光器的放电管。空心光纤 1 的两端分别与作为单模光纤耦合器 2 的两臂的实心光纤 21、22 之间无间隙连接，例如，可以熔接或胶接，以构成光纤环形腔并确保光纤环中不存在运动部分。

空心光纤 1 的中间位置设有储气室 31，靠近空心光纤 1 和实心光纤 21、22 的连接部的位置分别设有储气室 32 和 33。位于储气室 31、32 和 33 中的空心光纤 1 的侧壁上开设小孔（未显示），以实现储气室 31、32 和 33 中气体和纤芯内气体的连通。

单模光纤耦合器 2 的结构和第一实施例相同。

射频放电激励装置包括射频发射源 45，以及卷绕着空心光纤 1 的两个感应线圈 44，如此布置的感应线圈 44 用作传递射频能量的方式。尽管图中只显示了两个感应线圈 44，很容易理解的是，感应线圈 44 也可以是一个或多个。

激励源也可以采用电容耦合射频放电装置，即采用一对或多对电极板将空心光纤 1 夹在中间。

激励源还可以采用直流放电激励和射频放电激励相结合的方式。

如上所述，第一、二实施例中的光纤型环形激光陀螺仪均采用了空心光纤的纤芯构成气体激光器的增益管（放电管）。空心光纤可以有很多种类，包括低损耗的毛细导光管、空心布拉格光纤、空心菲涅尔光纤和空心光子带隙光纤。图 5a、5b、5c、5d 示出了几种空心光子带隙光纤的截面图示例。空

心光子带隙光纤可以通过将石英毛细管周期性地叠放成密集堆积的六角形点阵配列，去除 7 个，19 个或更多的中心毛细管制成。现有空心光纤的损耗已经很小，小于 0.5dB/m。因此较容易实现低损耗环形腔，只要氦氖放大器提供适当的增益，就可以产生激光。

从上述对第一、二实施例的描述中可见，向纤芯中填充氦氖混合气体，该光纤即可用作工作波长为 0.6328 μ m 或 1.15 μ m 的放大器，从而构成波导氦氖激光器。空芯光纤的纤芯尺寸在 5 μ m 到 200 μ m 之间，均可用于上述第一和第二实施例中。通过调制适当的氦氖混合气的比例、混合气体总气压、放电构型等参数，可以实现 1~10dB/m 的增益。甚至当将空心光纤绕成直径仅有几厘米的环路时，空心光纤的损耗没有明显的降低。由此，可以制成结构紧凑的激光器，进而制成结构紧凑的光纤型环形激光陀螺仪。

以本发明第一、二实施例的光纤气体激光器作为主体，制成根据本发明的光纤型环形激光陀螺仪，这样的光纤型环形激光陀螺仪具有制作简单、体积小，尺寸可调的优点，而检测精度却仍可达到常规的 RLG 的程度。

如图 6 所示，本发明的光纤型环形激光陀螺仪还包括拍频读取系统。该系统包括 3×3 耦合器 5 以及三个光探测器 D1、D2、D3，光探测器 D1、D2、D3 分别和 3×3 耦合器 5 的三个输出部分相连，其中 3×3 耦合器 5 的分光比相等。光探测器 D1、D2 和 D3 产生三相相位电子信号，该信号的频率等于两束输入光的频率差 $\Delta f = f_{cw} - f_{ccw}$ ，由此可以读取拍频。通过利用三相相位信号替代单相相位信号，可以测定转动的极性。或者，还可以和常规 RLG 一样，通过使两束激光保持一个小角度干涉产生移动的干涉条纹来读取频率差；通过测定条纹的移动，可以测定转动的极性和速率。

和常规 RLG 一样，还需要对本发明的激光器的光学共振腔长度进行调节，以将激光的平均频率 $(f_{cw} + f_{ccw}) / 2$ 稳定在最大增益处。因此，本实施例中的光纤型环形激光陀螺仪还包括稳频装置或者称为共振腔长度控制装置。

如图 7 所示，本发明的光纤型环形激光陀螺仪还包括共振腔长度控制装置，该共振腔长度控制装置包括光纤调制器、光纤补偿器和反馈控制器。

光纤调制器和光纤补偿器可以是分别卷绕着光纤的两个压电陶瓷元件；通过外加电压使压电元件尺寸发生变化，从而引起单模光纤或者空心光纤的

长度和折射率发生变化，以改变光程或相位。将小抖动信号（如频率为 30kHz 的正弦交流信号）加到光纤调制器上，可以调制两束反向输出激光的强度，用相敏检波器解调，以提供误差信号去驱动光纤补偿器，控制共振腔的长度，以达到稳频效果。光纤调制器和光纤补偿器也可以是卷绕着光纤的同一压电元件，抖动信号和误差补偿信号可以加到该同一个压电陶瓷元件上。本实施例中，光纤调制器和光纤补偿器即是卷绕着光纤的同一压电元件 6，压电元件 6 和反馈控制器 61 连接。

本发明中采用填充氦氖混合气的空心光纤形成光波导和放电管，放大效果好，结构简单，成本低廉，易于制造。

对这样的光纤型环形激光陀螺仪的散粒噪音引起的性能极限进行的初步理论评估显示：该散粒噪音性能极限与干涉型光纤陀螺仪和常规 RLG 相似。但是，本发明的光纤型环形激光陀螺仪既不需要长光纤，也不需要高质量的镜子，实现了成本的降低。光纤环的长度可以在保持陀螺仪整体尺寸小的情况下根据性能需要在一定范围内改变，具有一定的尺寸可调性。

本发明中具有上述激光器的光纤型环形激光陀螺仪成本低廉、性能广泛，可以用于自动导航系统、机器人应用、地质探测、导弹稳定性、油井钻孔、战术武器导向、火箭导航系统等。

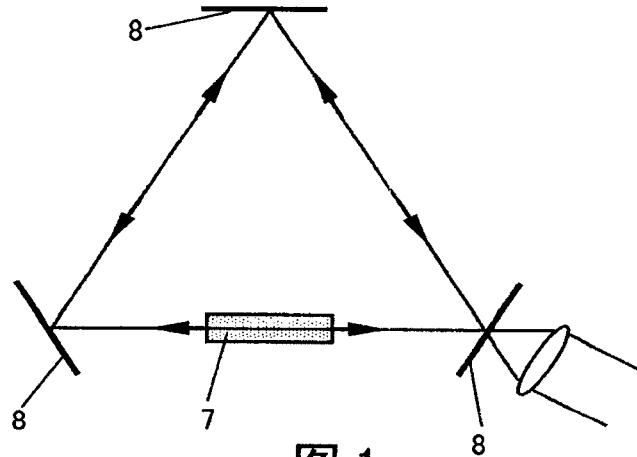


图 1a

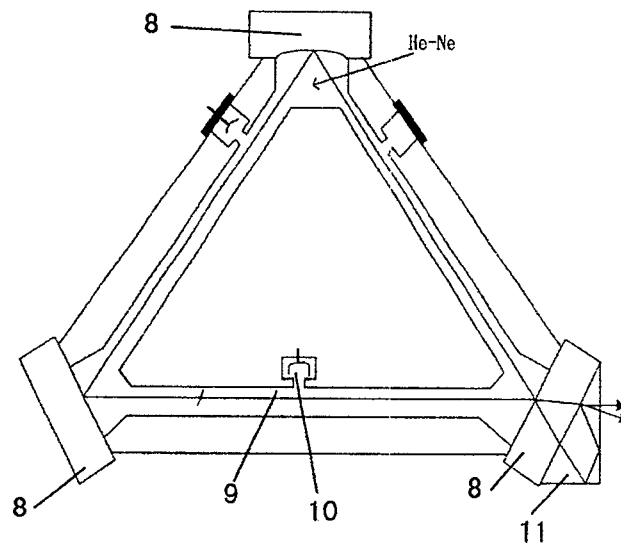


图 1b

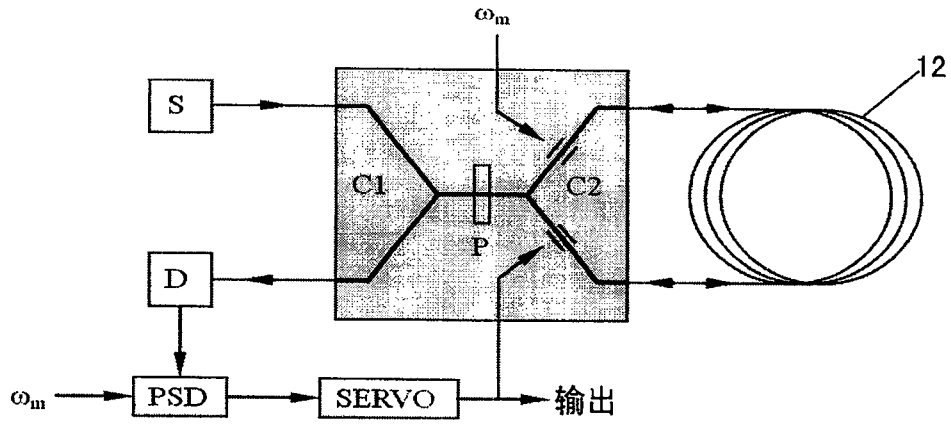


图 2

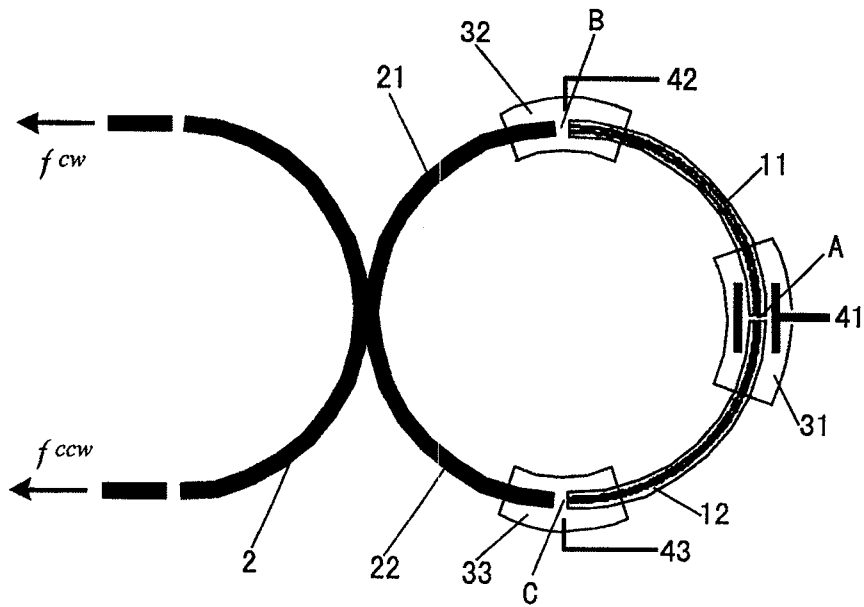


图 3

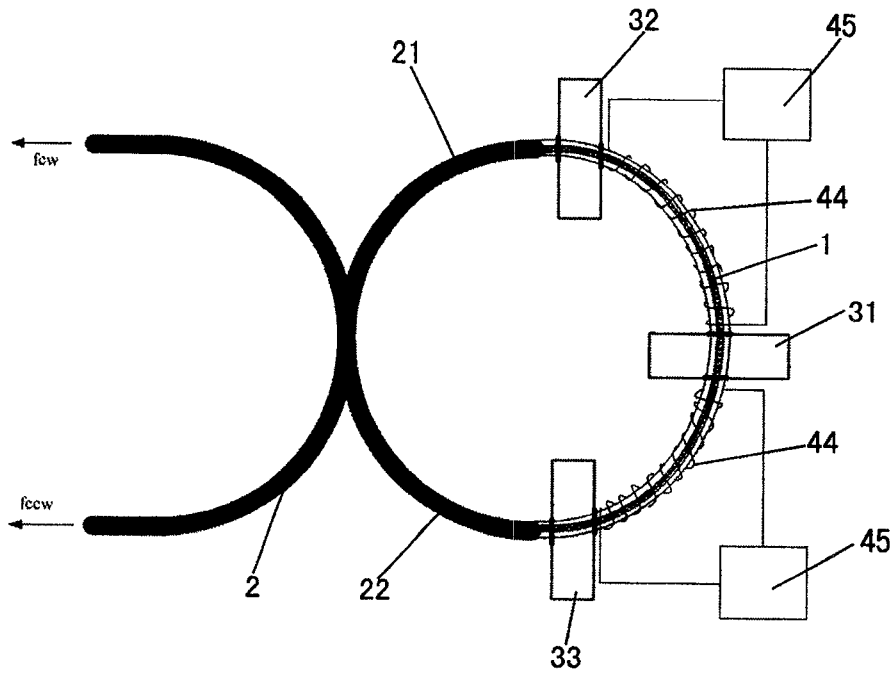


图 4

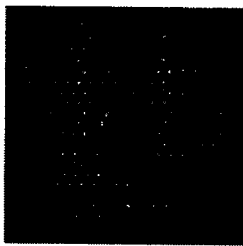


图 5a

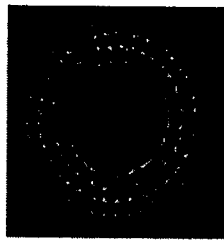


图 5b

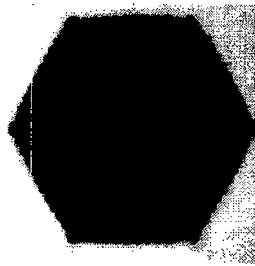


图 5c

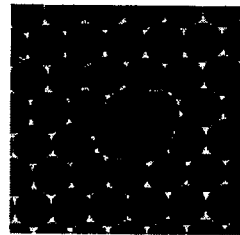


图 5d

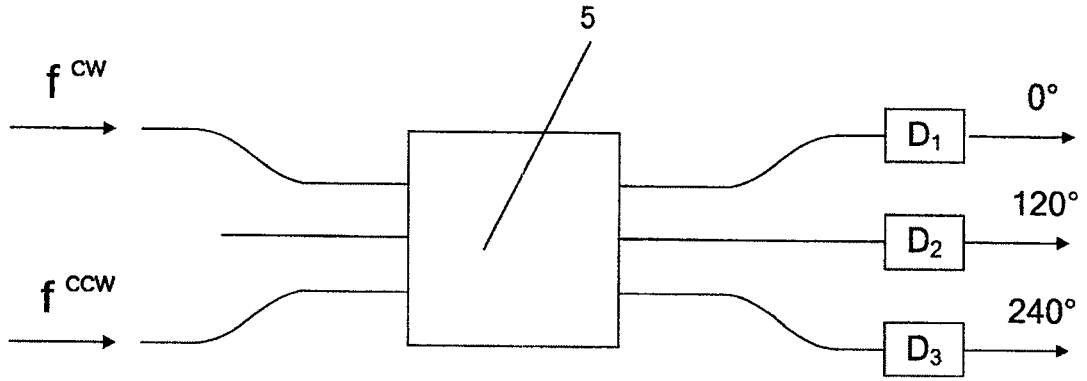


图 6

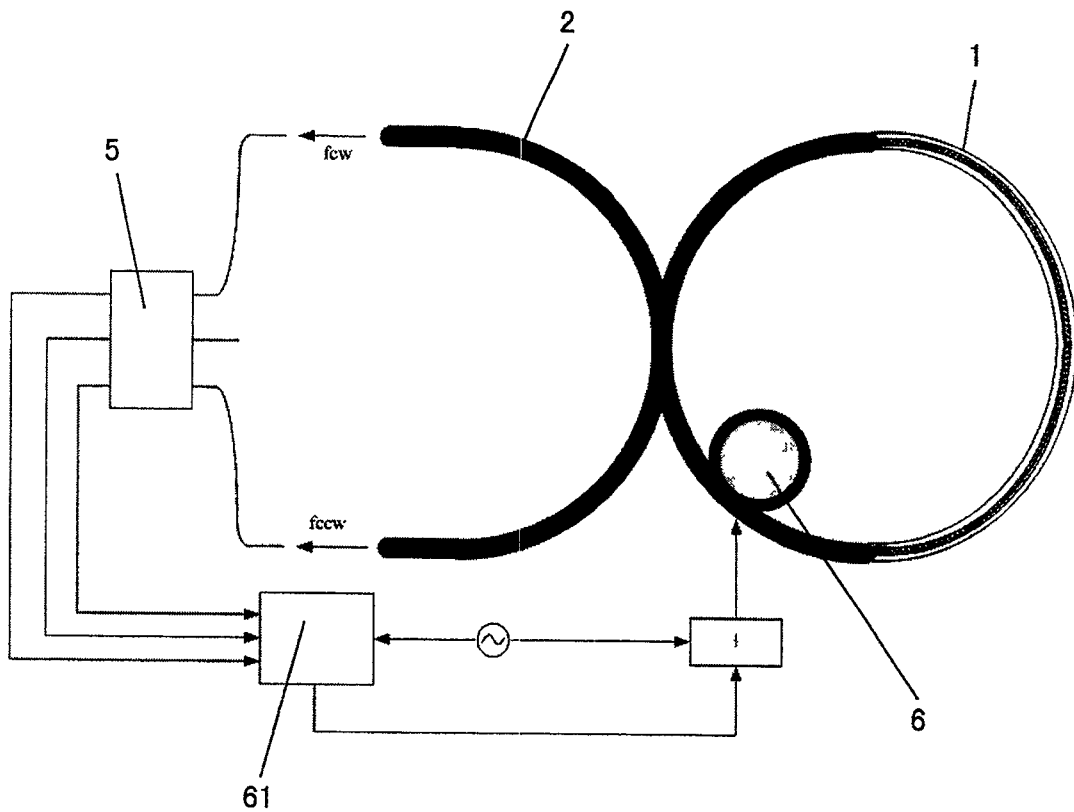


图 7