



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113589438 B

(45) 授权公告日 2022.09.23

(21) 申请号 202110863863.1

(56) 对比文件

(22) 申请日 2021.07.29

CN 101004465 A, 2007.07.25

CN 101957477 A, 2011.01.26

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113589438 A

审查员 钟杰

(43) 申请公布日 2021.11.02

(73) 专利权人 西南交通大学

地址 611756 四川省成都市二环路北一段

(72) 发明人 郑狄 李晶 潘炜 闫连山

(74) 专利代理机构 成都华风专利事务所(普通

合伙) 51223

专利代理师 张巨箭

(51) Int. Cl.

G02B 6/293 (2006.01)

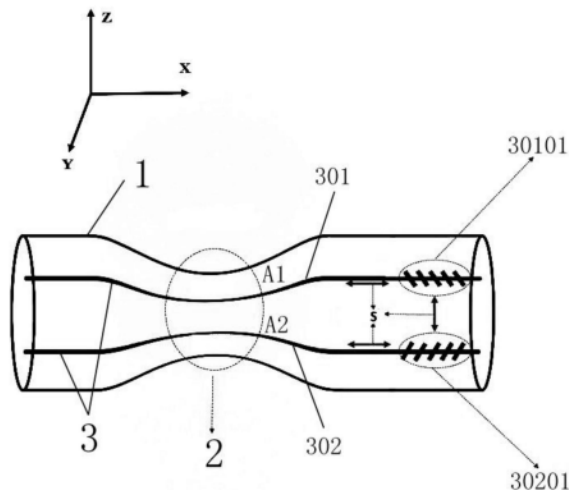
权利要求书2页 说明书10页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜、方法和光系统

(57) 摘要

本发明公开了一种基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜、方法和光系统, Sagnac全反镜包括具有锥形耦合器的双芯光纤, 所述双芯光纤包括对称分布在光纤中性轴两侧的第一纤芯和第二纤芯; 在第一纤芯上刻写有与第一纤芯成135°夹角的第一45°倾斜光纤光栅, 第二纤芯上刻写有与第二纤芯成45°夹角的第二45°倾斜光纤光栅, 第一45°倾斜光纤光栅和第二45°倾斜光纤光栅沿光纤长度方向上的同一位置处。本发明具有单模光纤构成Sagnac全反镜的特点(即实现全反功能), 无需其他分立器件, 并且由于双芯光纤与单模光纤相比, 具有“实现功能器件的纤维集成化、体积小、便于与其他功能器件集成、稳定性高”的特点。



1. 一种基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜,其特征在于:包括具有锥形耦合器的双芯光纤,所述双芯光纤包括对称分布在光纤中性轴两侧的第一纤芯和第二纤芯;在第一纤芯上刻写有第一 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅,第二纤芯上刻写有第二 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅,第一 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅和第二 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅沿光纤长度方向上的同一位置处;所述第一 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅远离光纤中性轴的一侧相较于另一侧靠近锥形耦合器,所述第二 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅远离光纤中性轴的一侧相较于另一侧靠近锥形耦合器。

2. 根据权利要求1所述的一种基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜,其特征在于:两根所述纤芯的非锥形耦合器部分均相互平行,且光栅平面与第一纤芯和第二纤芯所组成的平面一致。

3. 根据权利要求1所述的一种基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜,其特征在于:所述倾斜光纤光栅的长度大于20mm。

4. 根据权利要求1所述的一种基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜,其特征在于:所述锥形耦合器为3dB耦合器。

5. 一种如权利要求1~4中任意一项所述的基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜的使用方法,其特征在于:包括以下步骤:

从第一纤芯输入的光信号,经过锥形耦合器后分别从A1端口和A2端口输出两路信号,所述A1端口为锥形耦合器靠近倾斜光纤光栅侧的一端,所述A2端口为锥形耦合器靠近倾斜光纤光栅侧的另一端,所述A1端口位于第一纤芯上,所述A2端口位于第二纤芯上;

两路信号分别经过第一 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅和第二 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅时,第一纤芯和第二纤芯构成一个等效的光纤环路,在两个纤芯中相向传输的两路信号再次回到锥形耦合器并发生干涉;

从第一纤芯输出。

6. 一种光系统,其特征在于:包括:

如权利要求1~4中任意一项所述的基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜;

单模光纤,设置于锥形耦合器远离倾斜光纤光栅的一侧,与其中一根纤芯连接;

光环形器,其中一个端口与所述单模光纤连接。

7. 一种基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜的制备方法,其特征在于:包括以下步骤:

采用熔融拉锥的形式在双芯光纤上构造一个锥形耦合器,所述双芯光纤包括对称分布在光纤中性轴两侧的第一纤芯和第二纤芯;

在第一纤芯上刻写第一 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅,第二纤芯上刻写第二 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅,第一 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅和第二 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅沿光纤长度方向上的同一位置处;所述第一 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅远离光纤中性轴的一侧相较于另一侧靠近锥形耦合器,所述第二 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅远离光纤中性轴的一侧相较于另一侧靠近锥形耦合器。

8. 根据权利要求7所述的一种基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜制备方法,其特征在于:两根所述纤芯的非锥形耦合器部分均相互平行,且光栅平面与第一纤芯和第二纤芯所组成的平面一致。

9. 根据权利要求8所述的一种基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜制备方法,其特征在于:所述倾斜光纤光栅的长度大于20mm。

10. 根据权利要求9所述的一种基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜制备方法,其特征

在于:所述锥形耦合器为3dB耦合器。

## 一种基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜、方法和光系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光纤领域,尤其涉及一种基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜、方法和光系统。

### 背景技术

[0002] Sagnac全反镜一种新颖的全光纤器件,在众多应用中受到了广泛的关注。Sagnac提出 Sagnac效应并进行了一系列实验之后,人们在其基础上制作了光纤Sagnac环。入射光经光耦合器后分成两束后各自在环中绕一周后仍在光纤耦合器处相遇并发生干涉。相向传输的两束光是被透射还是被反射,由它们的相对相位决定。如果采用3dB耦合器,入射光将被全部反射,此时Sagnac环相当于一个全反镜。传统的Sagnac环多用于制作光纤陀螺,随着光纤技术的发展,光纤Sagnac环越来越多的被应用到其他领域中,如光纤声传感器、梳状滤波器、光纤全反镜等。近年来,许多学者通过改变Sagnac环的结构或嵌入其他介质,使其应用更加广泛。

[0003] 传统的Sagnac环结构如图1所示,采用3dB耦合器与单模光纤构成,耦合器的两个输出端口连接在一起形成闭环,入射光从Sagnac干涉仪的一个端口输入,经过耦合器后分成两束相干光,分别沿顺时针和逆时针方向传输,它们经过环路的传播后返回耦合器,相干叠加后再从耦合器输入侧的两个端口分别输出,反向传输两束光的相位差决定了反射光和透射光的强度。(V.Vali,R.W.Shorthill."Fiber ring interferometer,"Applied Optics,1976, 15(5):1099.)。但是传统的Sagnac环结构采用分立器件,即一个2\*2的3dB光耦合器,并利用普通单模光纤形成环腔,总体来说具有体积较大、元件分离、稳定性差等缺点。廖莎莎等人采用Sagnac环结构,提出了一种基于绝缘体上硅的高反射率、低温度敏感性的片上光反射镜方案。(廖莎莎,张甜甜,包航,刘继伟,廖希."高反射率、低温度敏感性的片上光反射镜,"光学学报,2021,41(04):195-202.)。但是该方案采用硅基制备,成本较高,难以实际应用。

[0004] 同时,现有技术中只采用单模光纤,并且在传播过程中偏振态不发生改变(可以采用保偏光纤或者光纤偏振控制器)。并且,假设功率非常低,以至于非线性效应(尤其是克尔效应)可以忽略。另外,假设光纤中没有光强损耗,并且光纤耦合器的功率分离比为50:50(即,3-dB耦合器)。在这种情况下,干涉条件使所有输入的光重新返回到入射端口。这表明此时光纤环反射镜是一个很理想的反射器,工作在很大的波长范围内,并且在任意偏振态的情况。光纤环的长度对结果也没有影响。同样的,光纤环中的环境效应,例如温度改变,不会有影响,因为它不能影响偏振态。但是,当采用单模光纤做Sagnac全反镜时,由于单模光纤自身的体积较大,在一些情况会出现安装不方便、以及与其他部件集成不好的问题。

[0005] 双芯光纤是一种具有特殊折射率分布的特种光纤,它突破了常规光纤的折射率分布结构,在同一根光纤中排布了两根相互平行的纤芯,既可以作为光传输介质,又可构造新的光器件。20世纪60年代初期,就有学者研究光在两个平行波导间的能量耦合。1980年,

双芯光纤的实验验证使耦合模理论得到重大突破。1981年,研究人员利用双芯光纤对弯曲波导耦合特性的测量以及耦合系数与弯曲半径间的关系,设计出光纤型光方向耦合开关。80年代末,研究人员利用双芯光纤对波长和偏振态的选择性以及光谱特性,把双芯光纤初步应用于光传感器件,包括温度、应力和位移的测量。随后双芯光纤的非线性效应也被研究,用于实现被动锁模器件和超快速全光开关。基于双芯光纤制作的光纤器件,具有器件尺寸易精确控制、耦合区机械应力小、更加紧凑稳定和不易受外界影响等优点,在光传感和光通信等多个领域得到了广泛的应用,主要体现在光纤滤波器、光干涉仪、光连接器、光纤放大器、光分插复用器、光纤开关、光学镊子和光纤传感器等方面。因此研究双芯光纤具有重要的理论和实际意义,随着研究的深入必将会给光纤通信和光纤传感带来新的突破。

[0006] 双芯光纤与单模光纤相比,天生就具有“实现功能器件的纤维集成化,体积小,便于与其他功能器件集成,稳定性高”的特性,但是双芯光纤并没有用于实现Sagnac全反镜的先例。

[0007] 因此在现有技术中,以双芯光纤的结构制作出来的Sagnac全反镜、方法和光系统,属于本领域亟待解决的问题。

### 发明内容

[0008] 本发明的目的在于克服现有技术的不足,提供一种基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜、方法和光系统。

[0009] 本发明的目的是通过以下技术方案来实现的:

[0010] 本发明的第一方面,提供一种基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜,包括具有锥形耦合器的双芯光纤,所述双芯光纤包括对称分布在光纤中性轴两侧的第一纤芯和第二纤芯;在第一纤芯上刻写有第一45°倾斜光纤光栅,第二纤芯上刻写有第二45°倾斜光纤光栅,第一45°倾斜光纤光栅和第二45°倾斜光纤光栅沿光纤长度方向上的同一位置处;所述第一45°倾斜光纤光栅远离光纤中性轴的一侧相较于另一侧靠近锥形耦合器,所述第二45°倾斜光纤光栅远离光线中性轴的一侧相较于另一侧靠近锥形耦合器。

[0011] 进一步地,两根所述纤芯的非锥形耦合器部分均相互平行,且光栅平面与第一纤芯和第二纤芯所组成的平面一致。

[0012] 进一步地,所述倾斜光纤光栅的长度大于20mm以上。

[0013] 进一步地,所述锥形耦合器为3dB耦合器。

[0014] 本发明的第二方面,提供一种所述的基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜的使用方法,包括以下步骤:

[0015] 从第一纤芯输入的光信号,经过锥形耦合器后分别从A1端口和A2端口输出两路信号,所述A1端口为锥形耦合器靠近倾斜光纤光栅侧的一端,所述A2端口为锥形耦合器靠近倾斜光纤光栅侧的另一端,所述A1端口位于第一纤芯上,所述A2端口位于第二纤芯上;

[0016] 两路信号分别经过第一45°倾斜光纤光栅和第二45°倾斜光纤光栅时,第一纤芯和第二纤芯构成一个等效的光纤环路,在两个纤芯中相向传输的两路信号再次回到锥形耦合器并发生干涉;

[0017] 从第一纤芯输出。

[0018] 本发明的第三方面,提供一种光系统,包括:

- [0019] 所述的基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜；
- [0020] 单模光纤,设置于锥形耦合器远离倾斜光纤光栅的一侧,与其中一根纤芯连接；
- [0021] 光环形器,其中一个端口与所述单模光纤连接。
- [0022] 本发明的第四方面,提供一种基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜的制备方法,包括以下步骤：
- [0023] 采用熔融拉锥的形式在双芯光纤上构造一个锥形耦合器,所述双芯光纤包括对称分布在光纤中性轴两侧的第一纤芯和第二纤芯；
- [0024] 在第一纤芯上刻写第一 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅,第二纤芯上刻写第二 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅,第一 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅和第二 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅沿光纤长度方向上的同一位置处；所述第一 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅远离光纤中性轴的一侧相较于另一侧靠近锥形耦合器,所述第二 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅远离光线中性轴的一侧相较于另一侧靠近锥形耦合器。
- [0025] 进一步地,两根所述纤芯的非锥形耦合器部分均相互平行,且光栅平面与第一纤芯和第二纤芯所组成的平面一致。
- [0026] 进一步地,所述倾斜光纤光栅的长度大于20mm以上。
- [0027] 进一步地,所述锥形耦合器为3dB耦合器。
- [0028] 本发明的有益效果是：
- [0029] (1) 当采用本示例性实施例的采用双芯光纤构造的Sagnac全反镜,将光路和光器件微缩集成到一根光纤中,不仅具有单模光纤构成Sagnac全反镜的特点(即实现全反功能),无需其他分立器件,并且由于双芯光纤与单模光纤相比,具有“实现功能器件的纤维集成化、体积小、便于与其他功能器件集成、稳定性高”的特点,因此实现了Sagnac全反镜的小型化、集成化。其中,只需要单根双芯光纤即可实现Sagnac全反镜的方案:锥形耦合器通过对双芯光纤拉锥实现;而Sagnac的环腔结构通过在两个纤芯中分别写入两个 $45^\circ$ 的倾斜光栅实现。
- [0030] 也就是说,利用Sagnac结构实现输入信号的全反射,不对输入信号的光谱进行改变(即不会产生干涉谱);并且在本示例性实施例的Sagnac结构中,在倾斜光纤光栅的协助下,双芯光纤的两个纤芯形成了一个环腔。也就是说,经3dB耦合器(需要额外说明的是,当锥形耦合器为3dB耦合器时,功率分离比可以达到50:50)输出的两路信号将在环腔中反向传输,但两路信号经历的传输路径相同。
- [0031] 对应的使用方法、光系统、制备方法和制备设备也具有相同的优点。
- [0032] (2) 而在本发明的又一示例性实施例中,两根所述纤芯的非锥形耦合器部分均相互平行,且光栅平面与第一纤芯和第二纤芯所组成的平面一致。同时,由于纤芯通道间的光路由受到TFG倾角以及长度影响,因此主副芯中写入TFG时,倾斜角度( $45^\circ$ )及长度应一致,以避免由于写入参数差异而导致耦合损耗大、辐射功率低等现象。
- [0033] (3) 而在本发明的又一示例性实施例中,所述倾斜光纤光栅的长度大于20mm以上,从而以确保光栅具有足够强的辐射模耦合效率和偏振相关性(提高光的辐射和耦合效率)。
- [0034] (4) 而在本发明的又一示例性实施例中,当锥形耦合器的功率比为50:50时(即3dB耦合器),所有输入光的S波分量(TE模)重新返回到入射端口。

## 附图说明

- [0035] 图1为现有技术中的Sagnac全反镜的结构示意图；
- [0036] 图2为本发明一示例性实施例中的Sagnac全反镜的结构示意图；
- [0037] 图3为本发明一示例性实施例中的45°倾斜光纤光栅的原理示意图；
- [0038] 图4为本发明又一示例性实施例中的光系统结构示意图；
- [0039] 图5为本发明一示例性实施例中的Sagnac全反镜的制备方法流程图；
- [0040] 图中,1-双芯光纤,2-锥形耦合器,3-纤芯,301-第一纤芯,30101-第一45°倾斜光纤光栅,302-第二纤芯,30201-第二45°倾斜光纤光栅,4-单模光纤,5-光环形器。

## 具体实施方式

[0041] 下面结合附图对本发明的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0042] 在本发明的描述中,需要说明的是,属于“中心”、“上”、“下”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“内”、“外”等指示的方向或位置关系为基于附图所述的方向或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。

[0043] 在本发明的描述中,需要说明的是,除非另有明确的规定和限定,属于“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或一体地连接;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。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。

[0044] 在本申请使用的术语是仅仅出于描述特定实施例的目的,而非旨在限制本申请。在本申请和所附权利要求书中所使用的单数形式的“一种”、“所述”和“该”也旨在包括多数形式,除非上下文清楚地表示其他含义。还应当理解,本文中使用的术语“和/或”是指并包含一个或多个相关联的列出项目的任何或所有可能组合。

[0045] 应当理解,尽管在本申请可能采用术语第一、第二、第三等来描述各种信息,但这些信息不应限于这些术语。这些术语仅用来将同一类型的信息彼此区分开。例如,在不脱离本申请范围的情况下,第一信息也可以被称为第二信息,类似地,第二信息也可以被称为第一信息。取决于语境,如在此所使用的词语“如果”可以被解释成为“在……时”或“当……时”或“响应于确定”。此外,属于“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。

[0046] 此外,下面所描述的本发明不同实施方式中所涉及的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互结合。

[0047] 其中,现有技术的Sagnac全反镜只采用单模光纤,并且在传播过程中偏振态不发生改变(可以采用保偏光纤或者光纤偏振控制器)。并且,假设功率非常低,以至于非线性效应(尤其是克尔效应)可以忽略。另外,假设光纤中没有光强损耗,并且光纤耦合器的功率分离比为50:50(即,3-dB耦合器)。在这种情况下,干涉条件使所有输入的光重新返回到入射端口。这表明此时光纤环反射镜是一个很理想的反射器,工作在很大的波长范围内,

并且在任意偏振态的情况。光纤环的长度对结果也没有影响。同样的,光纤环中的环境效应,例如温度改变,不会有影响,因为它不能影响偏振态。但是,当采用单模光纤做Sagnac全反镜时,由于单模光纤自身的体积较大,在一些情况会出现安装不方便、以及与其他部件集成不好的问题。

[0048] 双芯光纤是一种具有特殊折射率分布的特种光纤,它突破了常规光纤的折射率分布结构,在同一根光纤中排布了两根相互平行的纤芯,既可以作为光传输介质,又可构造新的光器件。双芯光纤与单模光纤相比,天生就具有“实现功能器件的纤维集成化,体积小,便于与其他功能器件集成,稳定性高”的特性,但是双芯光纤并没有用于实现Sagnac全反镜的先例。

[0049] 因此在下述示例性实施例中,解决了本领域亟待解决的问题,提供了以双芯光纤的结构制作出来的Sagnac全反镜、方法和光系统。

[0050] 参见图2,图2示出了本发明一示例性实施例提供的一种基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜,包括具有锥形耦合器2的双芯光纤1,所述双芯光纤1包括对称分布在光纤中性轴两侧的第一纤芯301和第二纤芯302;在第一纤芯上301刻写有第一45°倾斜光纤光栅30101,第二纤芯302上刻写有第二45°倾斜光纤光栅30201,第一45°倾斜光纤光栅30101和第二45°倾斜光纤光栅30201(TFG)沿光纤长度方向上的同一位置处;所述第一45°倾斜光纤光栅30101远离光纤中性轴的一侧相较于另一侧靠近锥形耦合器2,所述第二45°倾斜光纤光栅30201远离光线中性轴的一侧相较于另一侧靠近锥形耦合器2(即第一45°倾斜光纤光栅和第一光纤远离锥形耦合器2的一侧为135°,而第二45°倾斜光纤光栅和第二光纤远离锥形耦合器2的一侧为45°)。

[0051] 为方便说明,在如图2所示的Sagnac全反镜中,以双芯光纤1的方向为x轴(正方向为锥形耦合器2到倾斜光纤光栅30101),以另外两个垂直方向为y方向和z方向。另外,双芯光纤1中的两根纤芯3分别为第一纤芯301和第二纤芯302。

[0052] 另外需要说明的是,双芯光纤1在包层中存在两个纤芯3,属于特种光纤;从物理结构出发,双芯光纤1主要分为同轴双芯光纤和非同轴双芯光纤。其中,同轴双芯光纤,也称作双包层光纤或双环芯光纤,即包层中的两个纤芯3在以包层圆心为轴线的同一轴线上,表现为内外两个纤芯3的结构。而本示例性实施例采用的是非同轴式的双芯光纤1,非同轴双芯光纤1为在一个在包层中存在两个独立纤芯3的光纤。

[0053] 另外,非同轴双芯光纤可分为轴对称(相对于光纤包层的圆心)的非同轴双芯光纤和轴偏移的非同轴双芯光纤。轴偏移的非同轴双芯光纤的两个纤芯3仍是平行芯,但是两个纤芯3的对称轴向光纤一侧偏移。典型的例如可以使其中一个纤芯3正好位于整个双芯光纤1的中轴上。而在本示例性实施例中采用和附图中采用的是轴对称的非同轴对称双芯光纤,即两个纤芯3对称于光纤中性轴。

[0054] 具体地,当采用本示例性实施例中的Sagnac全反镜时,从第一纤芯301输入的光信号,经过锥形耦合器2后分别从A1端口和A2端口输出两路信号,所述A1端口为锥形耦合器2靠近倾斜光纤光栅侧(第一45°倾斜光纤光栅30101和第二45°倾斜光纤光栅30201)的一端,所述A2端口为锥形耦合器2靠近倾斜光纤光栅侧的另一端,所述A1端口位于第一纤芯301上,所述A2端口位于第二纤芯302上;

[0055] 两路信号分别经过第一45°倾斜光纤光栅30101和第二45°倾斜光纤光栅30201时,



借助于倾斜光纤光栅的强偏振相关辐射及耦合特性,第一纤芯301和第二纤芯302构成一个等效的光纤环路,在两个纤芯3中相向传输的两路信号再次回到锥形耦合器2并发生干涉;

[0056] 从第一纤芯301输出(尤其为当耦合器的功率比为50:50时(即,3dB耦合器),所有输入光的S波分量(TE模)重新返回到入射端口)。

[0057] 因此,当采用本示例性实施例的采用双芯光纤构造的Sagnac全反镜,将光路和光器件微缩集成到一根光纤中,不仅具有单模光纤构成Sagnac全反镜的特点(即实现全反功能),无需其他分立器件(即图1中的耦合器),并且由于双芯光纤与单模光纤相比,具有“实现功能器件的纤维集成化、体积小、便于与其他功能器件集成、稳定性高”的特点,因此实现了Sagnac全反镜的小型化、集成化。其中,只需要单根双芯光纤即可实现Sagnac全反镜的方案:锥形耦合器通过对双芯光纤拉锥实现;而Sagnac的环腔结构通过在两个纤芯中分别写入两个45°的倾斜光栅实现。

[0058] 其中,通过在双芯光纤1上熔融拉锥制备锥形耦合器和刻写45°倾斜光纤光栅,并利用45°倾斜光纤光栅的强偏振相关辐射及耦合特性,通过45°倾斜光纤光栅(TFG1和TFG2)的“输入纤芯导模—辐射模—输出纤芯导模”这一过程,将空间上分离的两个纤芯等效连接起来形成Sagnac环境。如图3所示,由于第一纤芯301或第一纤芯302中的45°倾斜光纤光栅(TFG1和TFG2)具有强偏振相关辐射及耦合特性,可将输入光的S偏振分量辐射出纤芯3,而P偏振分量继续保留在纤芯3中低损耗传输,或将纤芯3外S偏振分量的辐射光耦合到纤芯3中传输,实现线偏振Sagnac全反镜。

[0059] 需要说明的是,与Michelson干涉仪相比:(1)本示例性实施例的Sagnac全反镜的目的是利用Sagnac结构实现输入信号的全反射,不对输入信号的光谱进行改变(即不会产生干涉谱),与现有技术中利用双芯保偏光纤构造Michelson干涉仪结构的目的并不相同(目的是产生干涉信号,其光谱特定为周期性的干涉谱)。(2)并且在本示例性实施例的Sagnac结构中,在倾斜光纤光栅的协助下,双芯光纤的两个纤芯形成了一个环腔。也就是说,经3dB耦合器(需要额外说明的是,当锥形耦合器2为3dB耦合器时,功率分离比可以达到50:50)输出的两路信号将在环腔中反向传输,但两路信号经历的传输路径相同。而现有技术中的Michelson干涉仪是利用两臂(这里是双芯光纤的两个纤芯)的反射信号产生干涉,两个反射信号只在本纤芯中传输。也就是说,两个参与干涉的反射信号具有不同的传输路径。

[0060] 另外,对于倾斜光纤光栅,本示例性实施例提供了计算纤芯3中光栅倾角以及光最强耦合入射波长的理论模型,包括:

[0061] 获取双芯光纤1中偏振角(布儒斯特角),保证一束非偏振光以布儒斯特角照射在界面上时,反射光被全偏振(S偏振),而折射光被部分偏振(P偏振),利用斯内尔定律,可以求出偏振角:

$$[0062] \quad \theta_B = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1)}$$

[0063] 式中, $n_1$ 和 $n_2$ 分别为介质折射率, $\theta_B$ 是偏振角。在光纤光栅中, $n_1$ 和 $n_2$ 分别是未经紫外光改性和经紫外光改性的纤芯区域的折射率。由于倾斜光纤光栅即TFG利用相位掩膜技术制作,因此单光子吸收引起的折射率变化大约在 $10^{-5}$ - $10^{-3}$ 范围内。这种变化非常小,因

此偏振角为 $45^\circ$ ，即TFG倾斜角度为 $45^\circ$ 时，才能保证S偏振光束以较高的切换效率辐射出主芯、耦合到副芯。

[0064] 优选地，在本示例性实施例中，所述一种基于双芯光纤1的线偏振Sagnac全反镜的方法的 $45^\circ$ TFG最强耦合波长由相位匹配条件决定，该条件定义为：

$$[0065] \quad \vec{K}_R = \vec{K}_{core} + \vec{K}_G \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (2)}$$

[0066] 式中， $\vec{K}_R$ 、 $\vec{K}_{core}$ 和 $\vec{K}_G$ 分别是辐射光，纤芯模式和光栅本身的波矢量；具体地，忽略振幅差异，最强耦合波长可表示为：

$$[0067] \quad \lambda_{strongest} = 2n \Lambda_G \cos\theta \backslash * \text{MERGEFORMAT (3)}$$

[0068] 式中， $n$ 为纤芯3的折射率， $\Lambda_G$ 是光栅的正常周期， $\theta$ 是TFG在纤芯3中的倾斜角( $45^\circ$ )。因此，通过确定纤芯折射率、TFG周期以及倾斜角，即可确定切换效率最高的耦合波长。

[0069] 更优地，在一示例性实施例中，如图2所示，两根所述纤芯3的非锥形耦合器2部分均相互平行，且光栅平面与第一纤芯301和第二纤芯302所组成的平面一致。

[0070] 同时，由于纤芯3通道间的光路由受到TFG倾角以及长度影响，因此在主副芯中写入TFG时，倾斜角度( $45^\circ$ )及长度(大于20mm)应一致，并且位于同一平面，从而以避免由于写入参数差异而导致耦合损耗大、辐射功率低等现象。

[0071] 更优地，在一示例性实施例中，所述倾斜光纤光栅的长度大于20mm以上，从而以确保光栅具有足够强的辐射模耦合效率和偏振相关性(这样可以提高光的辐射和耦合效率)。

[0072] 更优地，在一示例性实施例中，所述双芯光纤1纤芯的直径均为 $8.5\mu\text{m}$ ，包层直径为 $125\mu\text{m}$ ，第一纤芯301与第二纤芯302距离光纤端面几何中心距离均为 $42\mu\text{m}$ ；而每次写入的倾斜光纤光栅长度应大于20mm，以保证S偏振光束较高的辐射功率。在第一纤芯301中写入的 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅(TFG1)与纤芯成 $135^\circ$ 夹角，在第一纤芯302中写入的 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅(TFG2)与纤芯成 $45^\circ$ 夹角(如图2所示)。

[0073] 更优地，在一示例性实施例中，所述锥形耦合器2为3dB耦合器。

[0074] 在该示例性实施例中，当耦锥形合器2的功率比为50:50时(即3dB耦合器)，所有输入光的S波分量(TE模)重新返回到入射端口。

[0075] 由于具有相同的发明构思，基于上述任一Sagnac全反镜的示例性实施例，本发明的又一示例性实施例中提供一种所述的基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜的使用方法，包括以下步骤：

[0076] 从第一纤芯301输入的光信号，经过锥形耦合器2后分别从A1端口和A2端口输出两路信号，所述A1端口为锥形耦合器2靠近倾斜光纤光栅侧(第一 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅30101和第二 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅30201)的一端，所述A2端口为锥形耦合器2靠近倾斜光纤光栅侧的另一端，所述A1端口位于第一纤芯301上，所述A2端口位于第二纤芯302上；

[0077] 两路信号分别经过第一 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅30101和第二 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅30201时，借助于倾斜光纤光栅的强偏振相关辐射及耦合特性，第一纤芯301和第二纤芯302构成一个等效的光纤环路，在两个纤芯3中相向传输的两路信号再次回到锥形耦合器2并发生干涉；

[0078] 从第一纤芯301输出(尤其为当耦合器的功率比为50:50时(即,3dB耦合器),所有输入光的S波分量(TE模)重新返回到入射端口)。

[0079] 由于该内容在对Sagnac全反镜的一示例性实施例的阐述过程中已经进行了说明,因此在此不进行赘述。

[0080] 由于具有相同的发明构思,基于上述任一Sagnac全反镜的示例性实施例,本发明的又一示例性实施例中提供一种光系统,如图4所示,包括:

[0081] 所述的基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜;

[0082] 单模光纤4,设置于锥形耦合器2远离倾斜光纤光栅的一侧,与其中一根纤芯3连接;

[0083] 光环形器5,其中一个端口与所述单模光纤4连接。

[0084] 具体地,如图4所示,从光环形器6的1号端口输入的光信号,从光环形器5的2号端口输出,然后通过单模光纤4沿x轴正方向从第一纤芯301进入基于双芯光纤1的Sagnac全反镜中,光信号经过Sagnac全反镜后的反射后,沿着x轴反方向从第一纤芯301反射回来。接着,从第一纤芯301反射回来的光信号经过单模光纤后从光环形器5的2号端口输入,经过光环形器5后,从光环形器5的3号端口输出。

[0085] 具体的,在本示例性实施例中,第一纤芯301和第二纤芯302都可作为输入及反射端口,当单模光纤4与双芯光纤1的第一纤芯301熔接时,第一纤芯301作为输入及反射端口,反射信号从第一纤芯301提取,此时的第二纤芯302没有反射信号;相应地,当单模光纤4与双芯光纤1的第二纤芯302熔接时,第二纤芯302作为输入及反射端口,反射信号从第二纤芯302提取。

[0086] 另外,单模光纤4与双芯光纤1的熔接利用熔接机制备,利用熔接机的手动模式将单模光纤4与双芯光纤1的其中一个纤芯3进行对芯熔接。

[0087] 由于前述示例性实施例的Sagnac全反镜采用双芯光纤构造,因此使用Sagnac全反镜的光系统,不仅具有单模光纤构成Sagnac全反镜的特点(即实现全反功能),而且方便与其他功能器件集成、且稳定性高,达到减小光系统体积的目的,满足一定要求。

[0088] 在其中一示例性实施例中,以Sagnac全反镜的光系统具有非常广泛应用,它的其中一类重要应用是制作光纤陀螺。光纤陀螺是以效应为基本原理,随着光纤技术迅速发展而出现的一种新型光纤旋转传感器。由于它的相位调制传感方式具有极高灵敏度以及精巧和高机械强度的实用性,它已成为航天、航空、航海等诸多领域中最具有发展前景的惯性部件。过去的陀螺主要属机械型,其工作原理是带有转动轮或转动球所产生的大角度惯量测量。而近几年出现的光纤陀螺可将旋转传感器的灵敏度提高了几个数量级,展现出极大的开发潜力。光纤陀螺与传统的机械陀螺相比较具有以下优点:没有运动部件,不存在磨损,因此寿命长,启动快构造简单,可靠性高耗电小动态范围宽等。而在又一示例性实施例中,以Sagnac全反镜的光系统的另一个重要应用是用于构造光纤滤波器;针对不同的应用有多种构造方案。

[0089] 无论光系统是上述哪种的应用,或者其他的应用,都具有减小体积、方便与其他功能器件集成、且稳定性高的功能。

[0090] 本发明的又一示例性实施例提供一种基于双芯光纤的线偏振Sagnac全反镜的制备方法,如图5所示,包括以下步骤:

[0091] 采用熔融拉锥的形式在双芯光纤1上构造一个锥形耦合器2,所述双芯光纤1包括对称分布在光纤中性轴两侧的第一纤芯301和第二纤芯302;

[0092] 在第一纤芯上301刻写有第一45°倾斜光纤光栅30101,第二纤芯302上刻写有第二45°倾斜光纤光栅30201,第一45°倾斜光纤光栅30101和第二45°倾斜光纤光栅30201(TFG)沿光纤长度方向上的同一位置处;所述第一45°倾斜光纤光栅30101远离光纤中性轴的一侧相较于另一侧靠近锥形耦合器2,所述第二45°倾斜光纤光栅30201远离光线中性轴的一侧相较于另一侧靠近锥形耦合器2。

[0093] 其中需要说明的是,熔接器为公知的光纤熔接技术,工作原理是利用高压电弧将两光纤断面熔化的同时用高精度运动机构平缓推进让两根光纤融合成一根,以实现光纤模场的耦合。在本示例性实施例中,所述锥形耦合器2(优选为3dB耦合器)通过熔融拉锥方式制备。在制备过程中,需将双芯光纤1靠近熔接点一定距离的位置剥离1cm左右的涂覆层,然后将裸纤部分对上火头位置在光纤拉锥机夹具上进行熔融拉锥,同时通过监测拉锥过程中直通端光功率变化来判断双芯光纤1两个纤芯3的耦合程度,当直通端光功率下降到接近初始值一半时停止拉锥。

[0094] 另外,刻写步骤也为公知技术。具体地,在本示例性实施例中,沿光纤长度方向上的同一位置处,对于写入于两根纤芯3的两个中心波长与反射率相同的倾斜光纤光栅,利用相位掩膜紫外曝光法写入光纤。通过聚焦紫外激光光束透过倾斜相位掩模板形成干涉条纹,在光纤纤芯处得到周期性的折射率调制。由于光纤的圆形结构,制备过程中TFG的倾角与掩模板倾角有关;为了保证写入的TFG倾角为45°,掩模板倾角应为33.7°。其中,倾斜光纤光栅具有足够高的反射率,通过适当调整入射光的偏振状态,可以实现90%以上的辐射效率。

[0095] 具体地:对于刻写的设备,具体包括:

[0096] 248nm准分子激光器;

[0097] 光路准直系统,接收所述准分子激光器的信号;

[0098] 光束聚焦系统,聚焦紫外激光光束透过相位掩模板形成干涉条纹,在光纤纤芯3处得到周期性的折射率调制。

[0099] 由于光纤的圆形结构,制备过程中TFG的倾角与掩模板倾角有关,两者关系可表示为:

$$[0100] \quad \theta_G = \frac{\pi}{2} - \arctan\left(\frac{1}{n \times \tan \theta_M}\right) \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (4)}$$

[0101] 式中,n为紫外激光下的光纤折射率, $\theta_G$ 是光栅倾斜角, $\theta_M$ 是掩模板倾斜角。由于TFG倾角为45°时,才能保证S偏振光束以较高的切换效率辐射出主芯、耦合到副芯。因此根据该公式可知在纤芯中写入45°TFG时掩模板倾角为33.7°。

[0102] 对于45°TFG:首先通过所述光路准直系统接收所述准分子激光器输出的信号,并将该信号输出到光束聚焦系统;光束聚焦系统输出端对准双芯光纤主芯或副芯中要写入TFG部分,通过聚焦紫外激光光束透过倾斜相位掩模板形成干涉条纹。

[0103] 另外,由于纤芯通道间的光路由受到TFG倾角以及长度影响,因此在主副芯中写入TFG时,倾斜角度(45°)及长度(大于20mm)应一致,以避免由于写入参数差异而导致耦合损耗大、辐射功率低等现象。

[0104] 具体地,当采用本示例性实施例中的Sagnac全反镜时,从第一纤芯301输入的光信号,经过锥形耦合器2后分别从A1端口和A2端口输出两路信号,所述A1端口为锥形耦合器2靠近倾斜光纤光栅侧(第一45°倾斜光纤光栅30101和第二45°倾斜光纤光栅30201)的一端,所述A2端口为锥形耦合器2靠近倾斜光纤光栅侧的另一端,所述A1端口位于第一纤芯301上,所述A2端口位于第二纤芯302上;

[0105] 两路信号分别经过第一45°倾斜光纤光栅30101和第二45°倾斜光纤光栅30201时,借助于倾斜光纤光栅的强偏振相关辐射及耦合特性,第一纤芯301和第二纤芯302构成一个等效的光纤环路,在两个纤芯3中相向传输的两路信号再次回到锥形耦合器2并发生干涉;

[0106] 从第一纤芯301输出(尤其为当耦合器的功率比为50:50时(即,3dB耦合器),所有输入光的S波分量(TE模)重新返回到入射端口)。

[0107] 该示例性实施例中的作用与所述Sagnac全反镜的示例性实施例的发明构思相同,因此不进行赘述。

[0108] 更优地,在一示例性实施例中,两根所述纤芯3的非锥形耦合器2部分均相互平行,且光栅平面与第一纤芯301和第二纤芯302所组成的平面一致。

[0109] 更优地,在一示例性实施例中,所述第一纤芯301和第二纤芯302的长度大于20mm以上,从而以确保光栅具有足够强的辐射模耦合效率和偏振相关性。

[0110] 更优地,在一示例性实施例中,所述锥形耦合器2为3dB耦合器。

[0111] 本发明的又一示例性实施例提供一种基于双芯光纤的纤维集成Sagnac全反镜的制备装置,包括:

[0112] 熔接器,用于采用熔融拉锥的形式在双芯光纤1上构造一个锥形耦合器2,所述双芯光纤1包括对称分布在光纤中性轴两侧的第一纤芯301和第二纤芯302;

[0113] 刻写装置,用于在第一纤芯301上刻写第一45°倾斜光纤光栅30101,第二纤芯302上刻写第二45°倾斜光纤光栅30201,第一45°倾斜光纤光栅30101和第二45°倾斜光纤光栅30201(TFG)沿光纤长度方向上的同一位置处;所述第一45°倾斜光纤光栅30101远离光纤中性轴的一侧相较于另一侧靠近锥形耦合器2,所述第二45°倾斜光纤光栅30201远离光线中性轴的一侧相较于另一侧靠近锥形耦合器2。

[0114] 其中需要说明的是,该示例性实施例中的作用与所述Sagnac全反镜的示例性实施例的发明构思相同,因此不进行赘述。

[0115] 更优地,在一示例性实施例中,两根所述纤芯3的非锥形耦合器2部分均相互平行,且光栅平面与第一纤芯301和第二纤芯302所组成的平面一致。

[0116] 更优地,在一示例性实施例中,所述第一纤芯301和第二纤芯302的长度大于20mm以上,从而以确保光栅具有足够强的辐射模耦合效率和偏振相关性。

[0117] 更优地,在一示例性实施例中,所述锥形耦合器2为3dB耦合器。

[0118] 显然,上述实施例仅仅是为清楚地说明所作的举例,而并非对实施方式的限定,对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其他不同形式的变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引申出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造的保护范围之内。

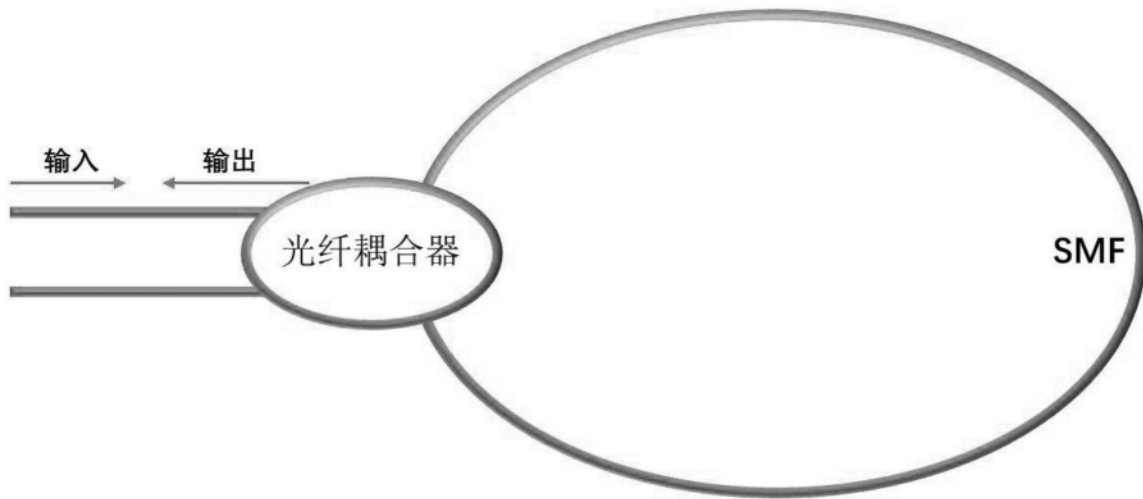


图1

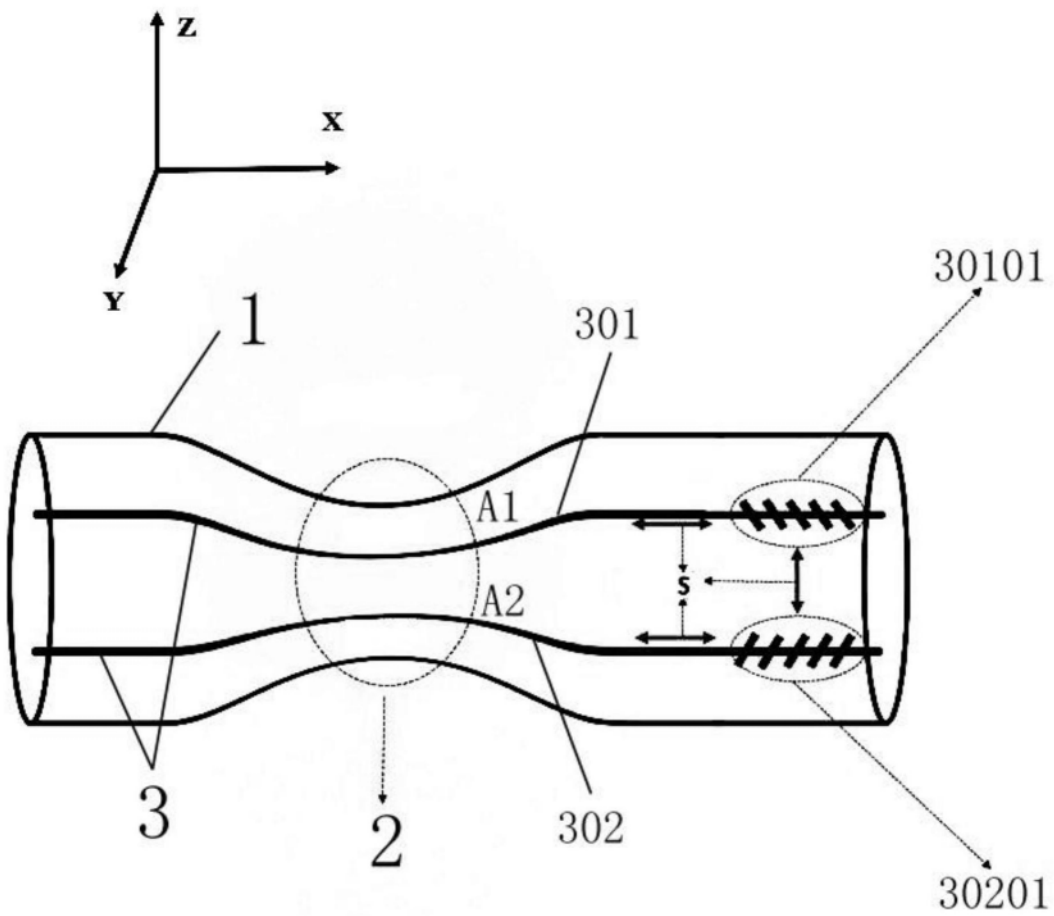


图2

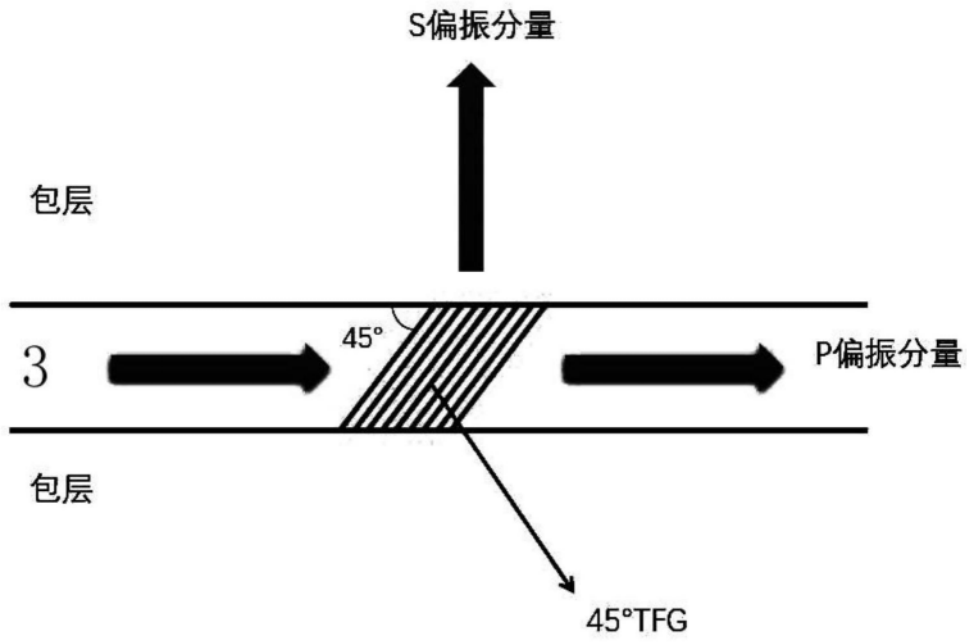


图3

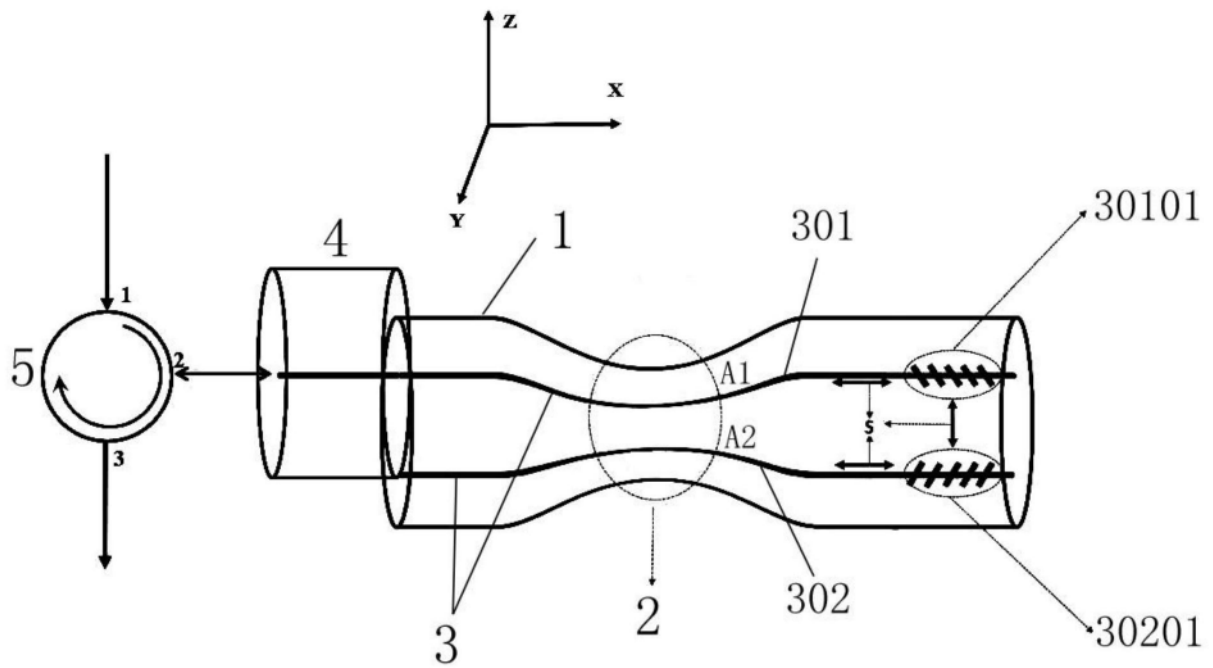


图4

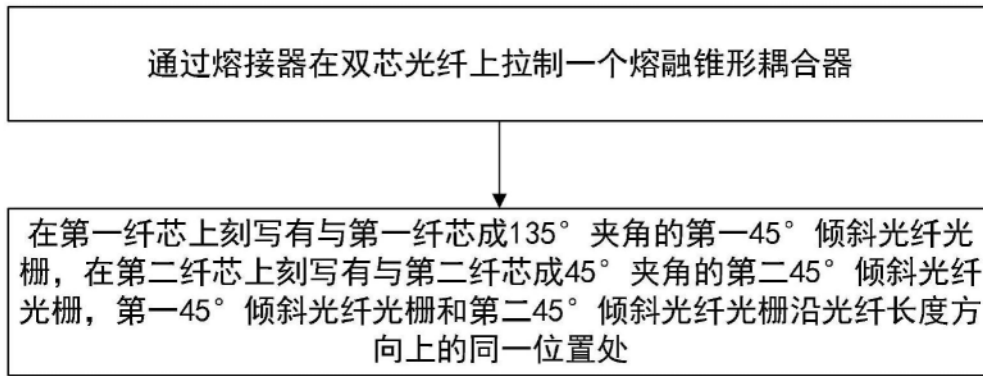


图5