



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112113556 A

(43) 申请公布日 2020.12.22

(21) 申请号 202010884896.X

(22) 申请日 2020.08.28

(71) 申请人 哈尔滨工程大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区南通大街145号

(72) 发明人 杨柳 耿靖童 张勇刚 赵舒华 梁家泰

(74) 专利代理机构 哈尔滨市阳光惠远知识产权代理有限公司 23211

代理人 刘景祥

(51) Int.Cl.

G01C 19/72 (2006.01)

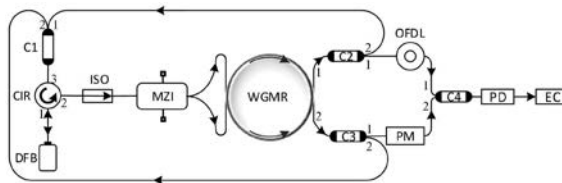
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于自注入锁频的高灵敏度谐振式微光学陀螺及其检测方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于自注入锁频的高灵敏度谐振式微光学陀螺及其检测方法。所述DFB与CIR的1号端口相连接,所述CIR的2号端口通过ISO与MZI相连接,所述MZI的两个输出端分别与WGMR的两个输入端相连接,所述WGMR的1号输出端与C2的输入端相连接,所述WGMR的2号输出端与C3输入端相连接,所述C2的2号输出端与C1的1号输入端相连接,所述C3的2号输出端与C1的2号输入端相连接,所述C1的输出端与CIR的3号端口相连接,所述C2的1号输出端通过OFDL与C4的1号输入端相连接,所述C3的1号输出端通过PM与C4的2号输入端相连接,所述C4的输出端与PD相连接,所述PD与EC相连接。本发明能够有效抑制偏振波动噪声和工作光源频率漂移带来的误差。



1. 一种基于自注入锁频的高灵敏度谐振式微光学陀螺,其特征在于,所述高灵敏度谐振式微光学陀螺包括:工作光源DFB、环形器CIR、隔离器ISO、马赫-曾德尔干涉仪MZI、微谐振腔WGMR、合束耦合器C1、分束耦合器C2、分束耦合器C3、合束耦合器C4、光纤延迟线OFDL、相位调制器PM、光电探测器PD和时间检测电路EC;

所述工作光源DFB与环形器CIR的1号端口相连接,所述环形器CIR的2号端口通过隔离器ISO与马赫-曾德尔干涉仪MZI相连接,所述马赫-曾德尔干涉仪MZI的两个输出端分别与微谐振腔WGMR的两个输入端相连接,所述微谐振腔WGMR的1号输出端与分束耦合器C2的输入端相连接,所述微谐振腔WGMR的2号输出端与分束耦合器C3输入端相连接,

所述分束耦合器C2的2号输出端与合束耦合器C1的1号输入端相连接,所述分束耦合器C3的2号输出端与合束耦合器C1的2号输入端相连接,所述C1的输出端与CIR的3号端口相连接,

所述分束耦合器C2的1号输出端通过光纤延迟线OFDL与合束耦合器C4的1号输入端相连接,所述分束耦合器C3的1号输出端通过相位调制器PM与合束耦合器C4的2号输入端相连接,

所述合束耦合器C4的输出端与光电探测器PD相连接,所述光电探测器PD与时间检测电路EC相连接。

2. 根据权利要求1所述一种基于自注入锁频的高灵敏度谐振式微光学陀螺的检测方法,其特征在于,所述检测方法包括以下步骤:

步骤1:工作光源DFB输出的单纵模激光经过逆时针环形器CIR和隔离器ISO后进入马赫-曾德尔干涉仪MZI;

步骤2:马赫-曾德尔干涉仪MZI周期性地控制微型谐振腔WGMR中光波沿顺时针或逆时针传播;

步骤3:当马赫-曾德尔干涉仪MZI控制微型谐振腔WGMR中光波沿顺时针传播时,经过分束耦合器C3的1号输出端口的的光波经过相位调制器PM进行周期性频率调制;经过分束耦合器C3的2号输出端口的的光波经过通过合束耦合器C1和环形器CIR自注入回工作光源DFB内;

步骤4:当马赫-曾德尔干涉仪MZI控制微型谐振腔WGMR中光波沿逆时针传播时,经过分束耦合器C2的1号输出端口的的光波经过光纤延迟线OFDL使前半个周期的光波时间延迟半个周期,使同一周期内沿两个方向传输的光波在输出时重叠;经过分束耦合器C2的2号输出端口的的光波经过通过合束耦合器C1和环形器CIR自注入回工作光源DFB内;

步骤5:步骤3中经过相位调制器PM进行周期性频率调制的光波与步骤4中经过光纤延迟线OFDL的同一周期内重叠输出的光波,经过合束耦合器C4耦合,产生拍频信号,通过时间检测电路EC检测该拍频信号的频率周期,以此推算陀螺实际转速。

3. 根据权利要求1所述一种基于自注入锁频的高灵敏度谐振式微光学陀螺的检测方法,其特征在于,所述步骤5中经过相位调制器PM进行周期性频率调制的光波与经过光纤延迟线OFDL的同一周期内重叠输出的光波场的表达式为,

$$E_1(t) = E_{01} \cos [ (\omega_0 - \Delta \omega_{\text{sag}}/2 + \Delta \omega_{\text{err1}}) t + \phi_1 ] \quad (1)$$

$$E_2(t) = E_{02} \cos [ (\omega_0 + \Delta \omega_{\text{sag}}/2 + \Delta \omega_{\text{err2}} + \omega_{\text{tri}}) t + \phi_2 ] \quad (2)$$

其中,  $\omega_0$  为工作光源DFB输出激光频率;  $\Delta \omega_{\text{sag}}$  为由于陀螺转速引起的频率差;  $\Delta \omega_{\text{err1}}$ 、 $\Delta \omega_{\text{err2}}$  为频率误差;  $\phi_1$ 、 $\phi_2$  分别为两路光信号的初始相位;  $\omega_{\text{tri}}$  为相位调制器的调

制频率。

4. 根据权利要求3所述一种基于自注入锁频的高灵敏度谐振式微光学陀螺的检测方法,其特征在于,所述马赫-曾德尔干涉仪MZI的一个切换周期内  $\Delta \omega_{\text{err}1} = \Delta \omega_{\text{err}2}$ ,并消除频率误差,则输出拍频信号为,

$$\begin{aligned} I(t) &= [E_1(t) + E_2(t)][E_1(t) + E_2(t)]^* \\ &= E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02} \cos\left[(\Delta\omega_{\text{sag}} + \omega_{\text{tri}})t + \Delta\phi\right] \end{aligned} \quad (3)$$

其中,  $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$ ; 根据输出的拍频信号,使得时间检测电路EC检测的拍频信号的周期为  $T = \frac{1}{\Delta\omega_{\text{sag}} + \omega_{\text{tri}}}$ ; 相位调制器PM采用三角波相位调制,且调制的频率是周期性的,即

$$\omega_{\text{tri}} = \begin{cases} +\omega_{\text{tri}0} & nT_{\text{tri}} < t \leq \left(n + \frac{1}{2}\right)T_{\text{tri}} \\ -\omega_{\text{tri}0} & \left(n + \frac{1}{2}\right)T_{\text{tri}} < t \leq (n+1)T_{\text{tri}} \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $\omega_{\text{tri}0}$ 是频率调制的幅值,  $T_{\text{tri}}$ 是调制周期。

5. 根据权利要求4所述一种基于自注入锁频的高灵敏度谐振式微光学陀螺的检测方法,其特征在于,根据公式(4)测得的拍频信号的周期为,

$$T = \begin{cases} \frac{1}{\Delta\omega_{\text{sag}} + \omega_{\text{tri}0}} & nT_{\text{tri}} < t \leq \left(n + \frac{1}{2}\right)T_{\text{tri}} \\ \frac{1}{\Delta\omega_{\text{sag}} - \omega_{\text{tri}0}} & \left(n + \frac{1}{2}\right)T_{\text{tri}} < t \leq (n+1)T_{\text{tri}} \end{cases} \quad (5)$$

通过时间检测电路EC检测该拍频信号的周期,并根据角速度与谐振频差的线性关系获得旋转角速度信息,

$$\Delta\omega_{\text{sag}} = \frac{2\pi D}{n \cdot \lambda} \Omega \quad (6)$$

其中,  $D$ 为微谐振腔直径,  $n$ 为微谐振腔介质的折射率,  $\lambda$ 为工作光源DFB的工作波长,  $\Omega$ 是陀螺旋转角速度。

## 一种基于自注入锁频的高灵敏度谐振式微光学陀螺及其检测方法

### 技术领域：

[0001] 本发明属于光学陀螺领域；具体涉及一种基于自注入锁频的高灵敏度谐振式微光学陀螺及其检测方法。

### 背景技术：

[0002] 陀螺仪是一种能够精确地确定运动物体角速度的传感器，它是现代航空，航海，航天和国防工业中广泛使用的一种惯性导航仪器。近年来，在国家重大工程需求下，惯性技术的快速发展对惯性器件提出了更高的要求，在确保满足高精度需求的同时，还要求它具备微体积、低功耗、高可靠性、低成本和抗振动冲击等特性。陀螺仪的发展水平直接影响着惯性导航和制导系统的关键性能，在国防领域发挥着不可替代的作用。

[0003] 目前在光学陀螺领域中，激光陀螺内部光电部件繁多，制作难度大、成本较高；干涉式光纤陀螺精度与内部光纤绕环的长度有关，高精度干涉式光纤陀螺需要几千米长的环，难以进行小型化设计。相比之下，谐振式光学陀螺是通过检测由Sagnac效应引起的腔内相向传输光束的谐振频差来实现旋转角速率的检测，以谐振腔作为其核心敏感部件，其最小可达到毫米级别以下的微型腔，顺应了器件小型化的发展趋势，并且具有较高的加工重复性、器件集成化潜力和灵敏度。

[0004] 现有的自注入锁频谐振式光学陀螺，有的只对一个传输方向的谐振频率进行频率锁定，因此只能依旧检测光场强度，很难克服偏振波动噪声等光学噪声以及激光器频率漂移带来的误差，且无法区分陀螺旋转方向，有的分别对两个激光器进行自注入，很难克服两个不同激光器带来的互易性误差。

### 发明内容：

[0005] 本发明的目的是提供一种基于自注入锁频的高灵敏度谐振式微光学陀螺及其检测方法，能够有效抑制偏振波动噪声和工作光源频率漂移带来的误差，提升谐振式光学陀螺灵敏度。

[0006] 上述的目的通过以下的技术方案实现：

[0007] 一种基于自注入锁频的高灵敏度谐振式微光学陀螺，所述高灵敏度谐振式微光学陀螺包括：工作光源DFB、环形器CIR、隔离器ISO、马赫-曾德尔干涉仪MZI、微谐振腔WGMR、合束耦合器C1、分束耦合器C2、分束耦合器C3、合束耦合器C4、光纤延迟线OFDL、相位调制器PM、光电探测器PD和时间检测电路EC；

[0008] 所述工作光源DFB与环形器CIR的1号端口相连接，所述环形器CIR的2号端口通过隔离器ISO与马赫-曾德尔干涉仪MZI相连接，所述马赫-曾德尔干涉仪MZI的两个输出端分别与微谐振腔WGMR的两个输入端相连接，所述微谐振腔WGMR的1号输出端与分束耦合器C2的输入端相连接，所述微谐振腔WGMR的2号输出端与分束耦合器C3输入端相连接，

[0009] 所述分束耦合器C2的2号输出端与合束耦合器C1的1号输入端相连接，所述分束耦

合器C3的2号输出端与合束耦合器C1的2号输入端相连接,所述C1的输出端与CIR的3号端口相连接,

[0010] 所述分束耦合器C2的1号输出端通过光纤延迟线OFDL与合束耦合器C4的1号输入端相连接,所述分束耦合器C3的1号输出端通过相位调制器PM与合束耦合器C4的2号输入端相连接,

[0011] 所述合束耦合器C4的输出端与光学探测器PD相连接,所述光电探测器PD与时间检测电路EC相连接。

[0012] 一种基于自注入锁频的高灵敏度谐振式微光学陀螺的检测方法,所述检测方法包括以下步骤:

[0013] 步骤1:工作光源DFB输出的单纵模激光经过逆时针环形器CIR和隔离器ISO后进入马赫-曾德尔干涉仪MZI;

[0014] 步骤2:马赫-曾德尔干涉仪MZI周期性地控制微型谐振腔WGMR中光波沿顺时针或逆时针传播;

[0015] 步骤3:当马赫-曾德尔干涉仪MZI控制微型谐振腔WGMR中光波沿顺时针传播时,经过分束耦合器C3的1号输出端口的的光波经过相位调制器PM进行周期性频率调制;经过分束耦合器C3的2号输出端口的的光波经过通过合束耦合器C1和环形器CIR自注入回工作光源DFB内;

[0016] 步骤4:当马赫-曾德尔干涉仪MZI控制微型谐振腔WGMR中光波沿逆时针传播时,经过分束耦合器C2的1号输出端口的的光波经过光纤延迟线OFDL使前半个周期的光波时间延迟半个周期,使同一周期内沿两个方向传输的光波在输出时重叠;经过分束耦合器C2的2号输出端口的的光波经过通过合束耦合器C1和环形器CIR自注入回工作光源DFB内;

[0017] 步骤5:步骤3中经过相位调制器PM进行周期性频率调制的光波与步骤4中经过光纤延迟线OFDL的同一周期内重叠输出的光波,经过合束耦合器C4耦合,产生拍频信号,通过时间检测电路EC检测该拍频信号的频率周期,以此推算陀螺实际转速。

[0018] 进一步的,所述步骤5中经过相位调制器PM进行周期性频率调制的光波与经过光纤延迟线OFDL的同一周期内重叠输出的光波场的表达式为,

$$[0019] \quad E_1(t) = E_{01} \cos[(\omega_0 - \Delta\omega_{\text{sag}}/2 + \Delta\omega_{\text{err1}})t + \phi_1] \quad (1)$$

$$[0020] \quad E_2(t) = E_{02} \cos[(\omega_0 + \Delta\omega_{\text{sag}}/2 + \Delta\omega_{\text{err2}} + \omega_{\text{tri}})t + \phi_2] \quad (2)$$

[0021] 其中,  $\omega_0$  为工作光源DFB输出激光频率;  $\Delta\omega_{\text{sag}}$  为由于陀螺转速引起的频率差;  $\Delta\omega_{\text{err1}}$ 、 $\Delta\omega_{\text{err2}}$  为频率误差;  $\phi_1$ 、 $\phi_2$  分别为两路光信号的初始相位;  $\omega_{\text{tri}}$  为相位调制器的调制频率。

[0022] 进一步的,所述马赫-曾德尔干涉仪MZI的一个切换周期内  $\Delta\omega_{\text{err1}} = \Delta\omega_{\text{err2}}$ ,并消除频率误差,则输出拍频信号为,

$$[0023] \quad I(t) = [E_1(t) + E_2(t)][E_1(t) + E_2(t)]^* \quad (3)$$

$$= E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02} \cos[(\Delta\omega_{\text{sag}} + \omega_{\text{tri}})t + \Delta\phi]$$

[0024] 其中,  $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$ ; 根据输出的拍频信号,使得时间检测电路EC检测的拍频信号

的周期为  $T = \frac{1}{\Delta\omega_{\text{sag}} + \omega_{\text{tri}}}$ ; 相位调制器PM采用三角波相位调制,且调制的频率是周期性的,

即

$$[0025] \quad \omega_{tri} = \begin{cases} +\omega_{tri0} & nT_{tri} < t \leq \left(n + \frac{1}{2}\right)T_{tri} \\ -\omega_{tri0} & \left(n + \frac{1}{2}\right)T_{tri} < t \leq (n+1)T_{tri} \end{cases} \quad (4)$$

[0026] 其中,  $\omega_{tri0}$ 是频率调制的幅值,  $T_{tri}$ 是调制周期。

[0027] 进一步的, 根据公式(4)测得的拍频信号的周期为,

$$[0028] \quad T = \begin{cases} \frac{1}{\Delta\omega_{sag} + \omega_{tri0}} & nT_{tri} < t \leq \left(n + \frac{1}{2}\right)T_{tri} \\ \frac{1}{\Delta\omega_{sag} - \omega_{tri0}} & \left(n + \frac{1}{2}\right)T_{tri} < t \leq (n+1)T_{tri} \end{cases} \quad (5)$$

[0029] 通过时间检测电路EC检测该拍频信号的周期, 并根据角速度与谐振频差的线性关系获得旋转角速度信息,

$$[0030] \quad \Delta\omega_{sag} = \frac{2\pi D}{n \cdot \lambda} \Omega \quad (6)$$

[0031] 其中,  $D$ 为微谐振腔直径,  $n$ 为微谐振腔介质的折射率,  $\lambda$ 为工作光源DFB的工作波长,  $\Omega$ 是陀螺旋转角速度。

[0032] 有益效果:

[0033] 本发明的工作光源采用一个小型DFB激光器, 谐振腔采用回音壁模式微盘谐振腔, 能够简化谐振式光学陀螺结构、减小体积; 通过自注入锁定技术, 激光器周期性地锁定顺、逆时针两传输方向光波的谐振频率, 还可以压窄激光器线宽, 降低激光器的线宽要求; 直接检测拍频信号频率, 可以大幅减小偏振波动噪声等光学噪声的影响, 还可以通过缩短周期的时间来消除激光器频率漂移带来的误差, 能有效提高陀螺灵敏度。可见, 本发明降低陀螺体积的同时, 还能提升陀螺的灵敏度。

**附图说明:**

[0034] 图1是本发明的结构示意图。

[0035] 图2是本发明的自注入锁定曲线。

[0036] 图3是本发明的不同线宽激光拍频信号的归一化输出光强图。

[0037] 图4是本发明的不同调制频率下角速度测量的灵敏度图。

**具体实施方式:**

[0038] 下面将结合本发明实施例中的附图对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述, 显然, 所描述的实施例仅仅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。

[0039] 一种基于自注入锁频的高灵敏度谐振式微光学陀螺, 所述高灵敏度谐振式微光学陀螺包括: 工作光源DFB、环形器CIR、隔离器ISO、马赫-曾德尔干涉仪MZI、微谐振腔WGMR、合

束耦合器C1、分束耦合器C2、分束耦合器C3、合束耦合器C4、光纤延迟线OFDL、相位调制器PM、光电探测器PD和时间检测电路EC；

[0040] 所述工作光源DFB与环形器CIR的1号端口相连接，所述环形器CIR的2号端口通过隔离器ISO与马赫-曾德尔干涉仪MZI相连接，所述马赫-曾德尔干涉仪MZI的两个输出端分别与微谐振腔WGMR的两个输入端相连接，所述微谐振腔WGMR的1号输出端与分束耦合器C2的输入端相连接，所述微谐振腔WGMR的2号输出端与分束耦合器C3输入端相连接，

[0041] 所述分束耦合器C2的2号输出端与合束耦合器C1的1号输入端相连接，所述分束耦合器C3的2号输出端与合束耦合器C1的2号输入端相连接，所述C1的输出端与CIR的3号端口相连接，

[0042] 所述分束耦合器C2的1号输出端通过光纤延迟线OFDL与合束耦合器C4的1号输入端相连接，所述分束耦合器C3的1号输出端通过相位调制器PM与合束耦合器C4的2号输入端相连接，

[0043] 所述合束耦合器C4的输出端与光学探测器PD相连接，所述光电探测器PD与时间检测电路EC相连接，

[0044] 所述合束耦合器C1、分束耦合器C2、分束耦合器C3、合束耦合器C4、环形器CIR、工作光源DFB、隔离器ISO、马赫-曾德尔干涉仪MZI、微谐振腔WGMR、光纤延迟线OFDL、相位调制器PM和光电探测器PD均为具有保偏特性的元件，且工作波长相同，例如均为1550nm，

[0045] 所述环形器CIR为三端口光纤逆时针环形器，

[0046] 所述工作光源DFB为单纵模输出半导体激光器，光谱线宽可以为几个Mhz，功率大于10mW，

[0047] 所述微光学谐振腔WGMR为高Q回音壁式微盘谐振腔，其材料可以为氧化硅、氟化钙、氟化镁、氟化钡等氟化物材料，Q因子大于 $10^9$ ，直径为几个厘米，

[0048] 所述隔离器ISO为两级光纤隔离器，隔离度大于28dB。一种基于自注入锁频的高灵敏度谐振式微光学陀螺的检测方法，所述检测方法包括以下步骤：

[0049] 步骤1：工作光源DFB输出的单纵模激光经过逆时针环形器CIR和隔离器ISO后进入马赫-曾德尔干涉仪MZI；隔离器ISO的作用是防止光路中背向散射光注入光源影响光源输出；

[0050] 步骤2：马赫-曾德尔干涉仪MZI周期性地控制微型谐振腔WGMR中光波沿顺时针或逆时针传播；

[0051] 步骤3：当马赫-曾德尔干涉仪MZI控制微型谐振腔WGMR中光波沿顺时针传播时，经过分束耦合器C3的1号输出端口的的光波经过相位调制器PM进行周期性频率调制；以减少陀螺小角速度旋转时的检测时间并判断陀螺转动方向；经过分束耦合器C3的2号输出端口的的光波经过通过合束耦合器C1和环形器CIR自注入回工作光源DFB内；使工作光源周期性地依次锁定顺时针和逆时针传输光波的谐振频率；

[0052] 步骤4：当马赫-曾德尔干涉仪MZI控制微型谐振腔WGMR中光波沿逆时针传播时，经过分束耦合器C2的1号输出端口的的光波经过光纤延迟线OFDL使前半个周期的光波时间延迟半个周期，使同一周期内沿两个方向传输的光波在输出时重叠；经过分束耦合器C2的2号输出端口的的光波经过通过合束耦合器C1和环形器CIR自注入回工作光源DFB内；

[0053] 步骤5：步骤3中经过相位调制器PM进行周期性频率调制的光波与步骤4中经过光

纤延迟线OFDL的同一周期内重叠输出的光波,经过合束耦合器C4耦合,产生拍频信号,通过时间检测电路EC检测该拍频信号的频率周期,以此推算陀螺实际转速。

[0054] 进一步的,所述步骤3和步骤4中涉及的激光器自注入锁定曲线的表达式为,

$$[0055] \quad \xi = \zeta + \frac{K}{\tau_{in}} \sqrt{1+\eta^2} \cdot \sin(\psi) \quad (7)$$

[0056] 其中, $\xi$ 为激光器初始自由运行频率和谐振腔谐振频率的频差; $\zeta$ 为激光器自注入锁定后稳态频率和谐振腔谐振频率的频差; $K$ 为反馈系数; $\tau_{in}$ 为激光在激光器谐振腔内部往返时间; $\eta$ 为线宽增长因子; $\psi$ 为相位延迟。其特征在在于,如图2所示:

[0057] 通过调节工作光源的温度或驱动电流使自由运行的激光频率逐渐接近谐振腔的谐振频率,在转折点处,它会跳跃到内部频率稳定的区域并处于自注入锁定状态,也就是说激光器自注入锁定后的稳态频率会稳定在谐振腔的谐振频率附近,直到激光器自由运行频率超出了锁频范围。

[0058] 此外,激光器自注入不仅可以锁定频率还可以压窄激光器线宽,基于外腔反馈的激光器线宽压窄表达式为,

$$[0059] \quad \Delta\omega_s = \frac{\Delta\omega_0}{\left[1 + \frac{K}{\tau_{in}} \sqrt{1+\eta^2} \cdot \cos(\psi)\right]^2} \quad (8)$$

[0060] 其中, $\Delta\omega_0$ 为激光器初始线宽; $\Delta\omega_s$ 为激光器压窄后的线宽; $\tau$ 为总的反馈延迟时间。其特征在在于,如图3所示:

[0061] 从图中可以看出,当激光器线宽缩小时,拍频信号强度的归一化振幅增加,这是因为透射系数的绝对值随着激光线宽的减小而增大。因此,缩小谱线宽度可以增加拍频的幅值,有利于提高频率检测精度。

[0062] 进一步的,所述步骤5中经过相位调制器PM进行周期性频率调制的光波与经过光纤延迟线OFDL的同一周期内重叠输出的光波场的表达式为,

$$[0063] \quad E_1(t) = E_{01} \cos[(\omega_0 - \Delta\omega_{sag}/2 + \Delta\omega_{err1})t + \phi_1] \quad (1)$$

$$[0064] \quad E_2(t) = E_{02} \cos[(\omega_0 + \Delta\omega_{sag}/2 + \Delta\omega_{err2} + \omega_{tri})t + \phi_2] \quad (2)$$

[0065] 其中, $\omega_0$ 为工作光源DFB输出激光频率; $\Delta\omega_{sag}$ 为由于陀螺转速引起的频率差; $\Delta\omega_{err1}$ 、 $\Delta\omega_{err2}$ 为频率误差; $\phi_1$ 、 $\phi_2$ 分别为两路光信号的初始相位; $\omega_{tri}$ 为相位调制器的调制频率。

[0066] 进一步的,所述马赫-曾德尔干涉仪MZI的一个切换周期内 $\Delta\omega_{err1} = \Delta\omega_{err2}$ ,并消除频率误差,则输出拍频信号为,

$$[0067] \quad \begin{aligned} I(t) &= [E_1(t) + E_2(t)][E_1(t) + E_2(t)]^* \\ &= E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02} \cos[(\Delta\omega_{sag} + \omega_{tri})t + \Delta\phi] \end{aligned} \quad (3)$$

[0068] 其中, $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$ ;根据输出的拍频信号,使得时间检测电路EC检测的拍频信号

的周期为 $T = \frac{1}{\Delta\omega_{sag} + \omega_{tri}}$ ;相位调制器PM采用三角波相位调制,且调制的频率是周期性的,

即



$$[0069] \quad \omega_{tri} = \begin{cases} +\omega_{tri0} & nT_{tri} < t \leq \left(n + \frac{1}{2}\right)T_{tri} \\ -\omega_{tri0} & \left(n + \frac{1}{2}\right)T_{tri} < t \leq (n+1)T_{tri} \end{cases} \quad (4)$$

[0070] 其中,  $\omega_{tri0}$ 是频率调制的幅值,  $T_{tri}$ 是调制周期。

[0071] 进一步的, 根据公式 (4) 测得的拍频信号的周期为,

$$[0072] \quad T = \begin{cases} \frac{1}{\Delta\omega_{sag} + \omega_{tri0}} & nT_{tri} < t \leq \left(n + \frac{1}{2}\right)T_{tri} \\ \frac{1}{\Delta\omega_{sag} - \omega_{tri0}} & \left(n + \frac{1}{2}\right)T_{tri} < t \leq (n+1)T_{tri} \end{cases} \quad (5)$$

[0073] 通过时间检测电路EC检测该拍频信号的周期, 并根据角速度与谐振频差的线性关系获得旋转角速度信息,

$$[0074] \quad \Delta\omega_{sag} = \frac{2\pi D}{n \cdot \lambda} \Omega \quad (6)$$

[0075] 其中,  $D$ 为微谐振腔直径,  $n$ 为微谐振腔介质的折射率,  $\lambda$ 为工作光源DFB的工作波长,  $\Omega$ 是陀螺旋转角速度。

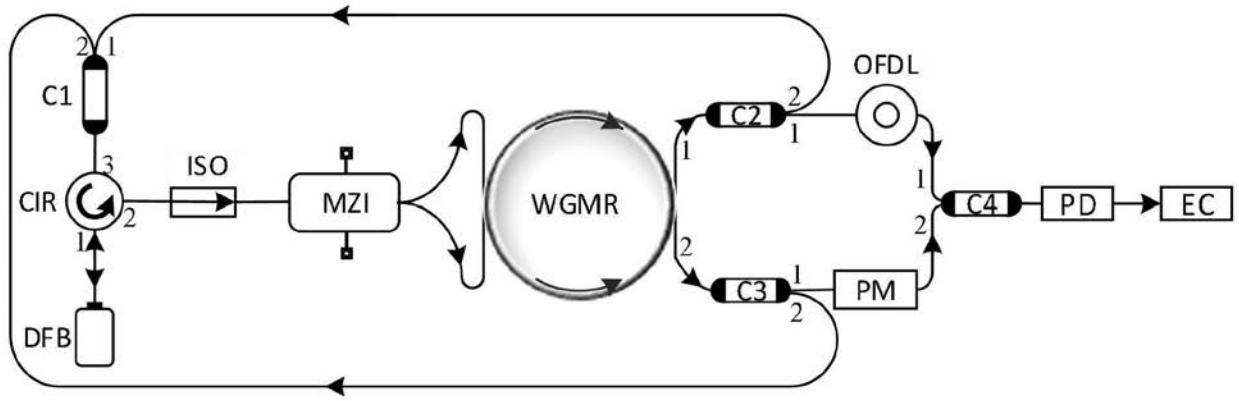


图1

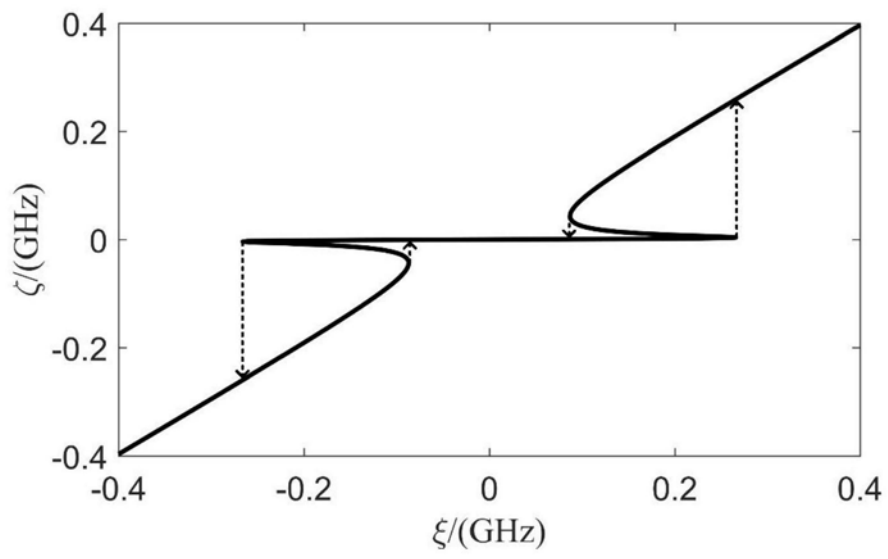


图2

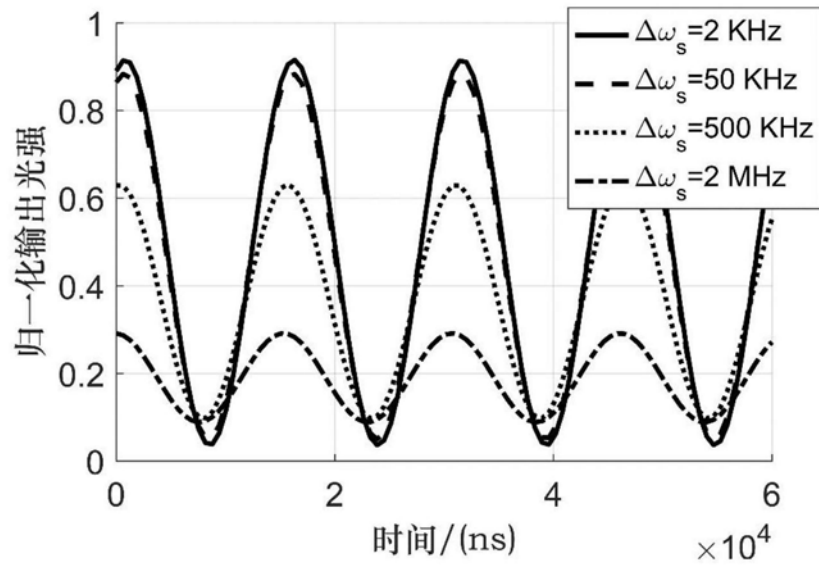


图3

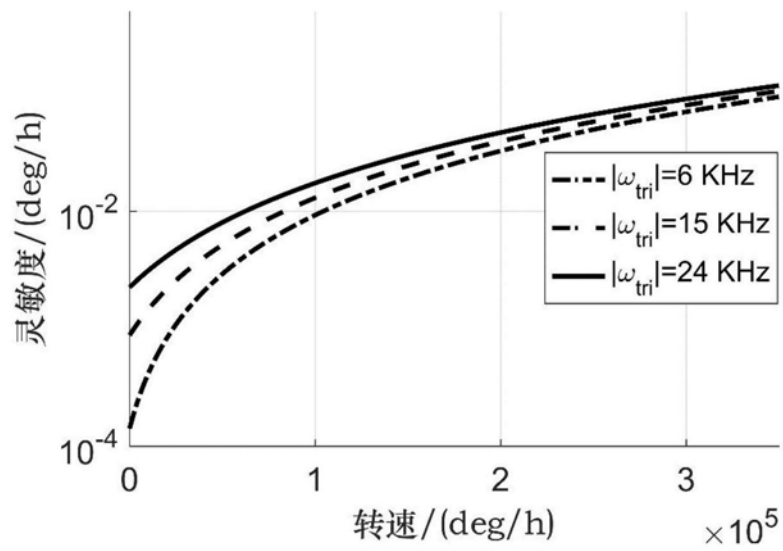


图4