(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2021 年 9 月 23 日 (23.09.2021)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2021/184839 A1

(51) 国际专利分类号:
G01R 33/032 (2006.01) *G01D 5/353* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/134181

(22) 国际申请日: 2020 年 12 月 7 日 (07.12.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202010201648.0 2020年3月20日 (20.03.2020) CN

(71) 申请人: 浙江大学(ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。

(72) 发明人: 张登伟(ZHANG, Dengwei); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。 梁璀(LIANG, Cui); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。

(74) 代理人: 杭州求是专利事务所有限公司(HANGZHOU QIUSHI PATENT OFFICE CO., LTD.); 中国浙江省杭州市西湖区玉古路147号黄鸿年科技综合大楼215室, Zhejiang 310013 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

(54) **Title:** FULL-POLARIZATION FARADAY MAGNETIC FIELD SENSOR BASED ON SAGNAC INTERFERENCE SYSTEM, AND MODULATION METHOD

(54) 发明名称: 基于Sagnac干涉系统的全偏振法拉第磁场传感器及调制方法

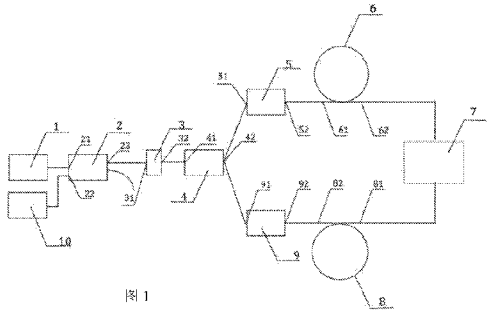


图 1

(57) **Abstract:** A full-polarization Faraday magnetic field sensor based on a Sagnac interference system, and a modulation method. The full-polarization Faraday magnetic field sensor comprises a light source (1), an optical fiber coupler (2), a polarizer (3), a polarization beam splitter (4), polarization controllers (5, 9), a magnetic field sensing unit (7), a detector (10), and polarization-maintaining optical fiber rings (6, 8). An optical signal is emitted by the light source (1), passes through the optical fiber coupler (2) and the polarizer (3) in sequence, and is divided into a clockwise path and an anticlockwise path by the polarization beam splitter (4). The polarization controllers (5, 9) and the polarization-maintaining optical fiber rings (6, 8) respectively exist in the two optical paths. Included angles between the fast axis directions of the two polarization-maintaining optical fiber rings (6, 8) and the polarization direction of the polarizer (3) are respectively clockwise 45° and anticlockwise 45 °. The two polarization-maintaining optical fiber rings (6, 8) are opposite in winding direction and are equal in diameter and number of turns, so as to counteract errors caused by a Sagnac effect. The magnetic field sensing unit (7) is mainly composed of coupling lenses (11, 15), magnetic flux concentrators (12, 14), and a magneto-optical crystal (13), an external magnetic field affects the polarization state of the optical signal, and measurement of the magnetic field can be implemented by detecting a polarization interference result of an output optical signal.

WO 2021/184839 A1

[见续页]

本国际公布:
— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种基于Sagnac干涉系统的全偏振法拉第磁场传感器及调制方法，包括光源（1）、光纤耦合器（2）、起偏器（3）、偏振分束器（4）、偏振控制器（5、9）、磁场传感单元（7）、探测器（10）以及保偏光纤（6、8）。光信号由光源（1）发出，依次经过光纤耦合器（2）、起偏器（3），由偏振分束器（4）分为顺时针、逆时针两路，两条光路中分别存在偏振控制器（5、9）和保偏光纤环（6、8），两个保偏光纤环（6、8）的快轴方向与起偏器（3）偏振方向的夹角分别为顺时针45°和逆时针45°，两个保偏光纤环（6、8）绕制方向相反且直径、圈数相等以抵消Sagnac效应带来的误差，磁场传感单元（7）主要由耦合透镜（11、15）、磁通聚集器（12、14）和磁光晶体（13）组成，外界磁场对光信号偏振态产生影响，通过对输出光信号偏振干涉结果的检测，即可实现对磁场的测量。

基于 Sagnac 干涉系统的全偏振法拉第磁场传感器及调制方法

技术领域

本发明涉及光纤传感技术领域，具体涉及一种基于 Sagnac 干涉系统的全偏振法拉第磁场传感器及调制方法。

背景技术

随着科技的进步和社会的发展，磁场测量技术在科学研究和生产生活的方方面面占据了越来越重要的位置，从民用领域的矿产探测、医疗器械到军用领域的反潜作战、辅助导航，因此对磁场传感器的要求也日趋严格，高精度、数字化、小型化成为新的趋势。

传统的磁场传感器将磁场信号转换为电信号进行测量，但其很容易受到环境电磁场的干扰，理论和实际应用精度不高。因此，光纤传感应运而生。光纤传感自诞生以来就得到飞速发展，其具备抗电磁干扰、动态范围大、测量精度高、易于小型化等优点，应用前景广阔。

光纤磁场传感器是利用光纤传输光信号至待探测区域，光信号受到待测磁场的调制，特定性质发生变化，之后由探测器和信号处理系统获得待测磁场的特性。根据工作原理的不同，目前的光纤磁场传感器主要分为四种：第一种是早期的基于 M-Z 或 Michelson 干涉结构，利用外界磁场变化引起与光纤或光栅固联的磁性材料伸缩形变，导致测量臂上光纤或光栅发生应变，通过测量干涉仪相位的变化或光谱的变化，测量外界磁场，这种传感方式环境稳定性较差，主要因为 M-Z 为非共路双光束干涉结构，两干涉臂上任何非共模干扰（温度、振动、声音）都能导致相位漂移和偏振不稳定性，此外，这种传感方式无法进行矢量磁场的测量；第二种是使用光纤微结构结合磁流体作为敏感单元，基于磁场作用下磁流体折射率发生变化的特性，利用 F-P 腔、M-Z 结构或 Sagnac 结构测量相干后的光强或光谱，测量外界磁场，这种传感方式稳定性较低，原因在于光纤和磁流体对温度较敏感；第三种是利用磁光晶体的高磁光系数，磁场平行于光的传播方向时，在晶体中传播的线偏振光的偏振态发生偏转，偏转的角度与磁场大小、磁光系数、

晶体的长度成线性关系，通过测量偏振光的偏转角度测量磁场，传统的利用磁光晶体法拉第效应的传感方式灵敏度不高，稳定性较差，通过增加磁光晶体长度的方法可以提高灵敏度，但增加了传感器的体积，无法做到小型化；第四种是一些新型的测量方法，包括基于表面等离子体共振、基于洛伦兹力、基于原子磁力仪结构等技术，再利用功能型光纤传感器测量相位、光程、偏振态或折射率，实现对外界磁场的测量，这类传感方式灵敏度不高，稳定性和带宽问题一直无法解决，且只能标量测量，不利于诸多应用场合。

另外，传统的 Sagnac 法拉第磁场传感器通常使线偏振光同时在保偏光纤的快轴和慢轴传输，经过四分之一波片转换为左旋和右旋圆偏振光，被外界磁场调制后，两束圆偏振光产生相位差，再次经过四分之一波片恢复为线偏振光，进行干涉后由探测系统检测相位差，从而得到外界磁场信息。这种方案存在线偏光与圆偏光之间的转换，受限于波片等器件的性能，转换过程存在诸多不可控误差，此外，保偏光纤快轴和慢轴同时传输光信号，存在模式耦合，系统误差较大，导致系统灵敏度不高。

发明内容

为了解决现有的磁场传感器稳定性较差、检测精度较低的缺陷，本发明结合具有高稳定性、高精度的 Sagnac 干涉系统以及具有高磁光系数的磁光晶体，提出一种基于 Sagnac 干涉系统的全偏振法拉第磁场传感器及调制方法，采用了独立的线偏光传输方式，通过偏振控制器对在保偏光纤快轴（或慢轴）上传输的线偏光进行特定调制，经过磁场传感单元后线偏光偏振态发生变化并在输出端发生偏振干涉，通过检测光强直接获取偏振态变化，从而得到外界磁场信息。本发明采用高性能偏振器件用于提升传感器的稳定性，同时在磁场传感单元中通过采用磁通聚集器能够有效提高系统灵敏度。

为了实现上述目的，本发明采用如下技术方案：

一种基于 Sagnac 干涉系统的全偏振法拉第磁场传感器，包括光源、光纤耦合器、起偏器、偏振分束器、偏振控制器、磁场传感单元、探测器以及保偏光纤环；

所述光源的输出端口和探测器的接收端口分别与光纤耦合器同一侧的两个端口光纤连接，光纤耦合器另一侧的一个端口与起偏器光纤连接，且所述的起偏器与偏振分束器一侧的一端口光纤连接；所述的偏振分束器另一侧的一端口通过

第一偏振控制器与第一保偏光纤环光纤连接，且偏振分束器该侧的另一端口通过第二偏振控制器与第二保偏光纤环光纤连接，两个保偏光纤环均与磁场传感单元相连；

所述的第一保偏光纤环和第二保偏光纤环的快轴方向与所述的起偏器的偏振方向夹角呈45°，且夹角方向相反；所述的光纤连接采用保偏光纤；

所述的磁场传感单元包括沿轴向依次布置的第一耦合透镜、第一磁通聚集器、磁光晶体、第二磁通聚集器、第二耦合透镜，所述的第一耦合透镜和第二耦合透镜关于磁光晶体对称，所述的第一磁通聚集器和第二磁通聚集器关于磁光晶体对称；

所述的第一耦合透镜与第一保偏光纤环相连，第二耦合透镜与第二保偏光纤环的相连；所述的第一磁通聚集器和第二磁通聚集器均设有轴向通孔，磁光晶体的两端面分别插入两个轴向通孔中固定；从第一保偏光纤环和第二保偏光纤环输出的两束光能够分别经第一耦合透镜和第二耦合透镜耦合至所述的轴向通孔中。

优选的，所述的第一保偏光纤环和第二保偏光纤环由保偏光纤绕制而成，两个保偏光纤环的直径相同、绕制圈数相同、绕制方向相反。

优选的，所述的磁光晶体两端面的外表面均镀有增透膜。

优选的，所述的第一磁通聚集器和第二磁通聚集器的轴向通孔大小与磁光晶体的直径大小匹配。

本发明还公开了一种基于上述全偏振法拉第磁场传感器的光信号调制方法，具体为：

1）光源出射的光信号依次经过光纤耦合器、起偏器、偏振分束器后分为沿顺时针、逆时针传输的两束光，两束光通过保偏光纤分别传输至第一偏振控制器和第二偏振控制器，利用第一偏振控制器和第二偏振控制器分别在两束光上叠加顺时针45°、逆时针45°的偏振调制；

2）调制后的沿顺时针光路传输的光进入第一保偏光纤环的快轴传输，经第一耦合透镜将光纤光转换为空间光，并耦合至第一磁通聚集器的轴向通孔中，然后依次穿过磁光晶体和第二磁通聚集器，再经第二耦合透镜将空间光转换为光纤光，进入第二保偏光纤环的慢轴传输；

3）调制后的沿逆时针光路传输的光进入第二保偏光纤环的快轴传输，经第二耦合透镜将光纤光转换为空间光，并耦合至第二磁通聚集器的轴向通孔中，然

后依次穿过磁光晶体和第一磁通聚集器，再经第一耦合透镜将空间光转换为光纤光，进入第一保偏光纤环的慢轴传输；

4)沿顺时针光路、逆时针光路传输的光经过磁光晶体后分别产生大小相同、方向相反的法拉第偏转角，且两束光分别各沿快、慢轴传输一半光程，同时返回偏振分束器发生偏振干涉，再经起偏器、光纤耦合器后由探测器对干涉信号进行获取。

本发明具备的有益效果是：

本发明的磁场传感器利用全偏振 Sagnac 系统结合高效磁场传感单元对磁场进行测量，具有大动态范围、高磁场灵敏度等优点。具体而言：

（1）本发明提出的磁场传感器采用 Sagnac 干涉系统，与采用 M-Z 等结构的磁场测量方法相比具有共路干涉的优势，即稳定性高、误差小；

（2）本发明采用高费尔德常数的磁光晶体，与采用磁流体的磁场测量方法相比受温度、振动等环境因素影响小，且可以进行矢量测量，同时具备较大的测量动态范围；

（3）本发明与传统的 Sagnac 法拉第磁场传感器相比，具有创新的原理，采用单独的线偏光传输、偏振控制器调制光信号以及直接的偏振干涉检测等技术方法，具有更好的磁场灵敏度和系统稳定性。

附图说明

图 1 是本发明中基于 Sagnac 干涉系统的全偏振法拉第磁场传感器的示意图；

图 2 是本发明中磁场传感单元的示意图；

图 3 为经过磁场传感单元前后光信号偏振态与起偏器偏振方向夹角关系示意图；

图 4 为经过磁场传感单元前后光信号在保偏光纤中传输方式示意图；

图中：1.光源，2.光纤耦合器，3.起偏器，4.偏振分束器，5.第一偏振控制器，6.保偏光纤环，7.磁场传感单元，8.保偏光纤环，9.第二偏振控制器，10.探测器，11.第一耦合透镜，12.第一磁通聚集器，13.磁光晶体，14.第二磁通聚集器，15.第二耦合透镜。

具体实施方式

下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明。

如图 1 所示，本发明提出的基于 Sagnac 干涉系统的全偏振法拉第磁场传感

器包括光源 1、光纤耦合器 2、起偏器 3、偏振分束器 4、第一偏振控制器 5、第二偏振控制器 6、磁场传感单元 7、探测器 10、第一保偏光纤环 6、第二保偏光纤环 8；光源 1 通过保偏光纤与光纤耦合器 2 的端口 21 连接，光纤耦合器 2 的端口 22 通过保偏光纤与探测器 10 相连，光纤耦合器 2 的端口 23 通过保偏光纤与起偏器 3 的端口 31 连接，起偏器 3 的端口 32 通过保偏光纤与偏振分束器 4 的端口 41 连接，偏振分束器 4 的端口 42 通过保偏光纤与第一偏振控制器 5 的端口 51 连接，第一偏振控制器 5 的端口 52 与第一保偏光纤环 6 的端口 61 连接，第二偏振控制器 9 的端口 92 与第二保偏光纤环 8 的端口 82 连接，第一保偏光纤环 6 的快轴方向与起偏器 3 的偏振方向夹角为顺时针45°（或逆时针45°），对应的第二保偏光纤环 8 的快轴方向与起偏器 3 的偏振方向夹角为逆时针45°（或顺时针45°），即所述的第一保偏光纤环 6 和第二保偏光纤环 8 的快轴方向与所述的起偏器 3 的偏振方向夹角呈 45°，且夹角方向相反。第一保偏光纤环 6 的端口 62 和第二保偏光纤环 8 的端口 81 分别与磁场传感单元 7 两个端口连接，在磁场传感单元 7 处存在光纤光－空间光－光纤光的转换；其中第一保偏光纤环 6 和第二保偏光纤环 8 由保偏光纤绕制，保偏光纤圈数相同，保偏光纤环直径相同，两保偏光纤环绕制方向相反，即第一保偏光纤环 6 顺时针（或逆时针）绕制，对应的第二保偏光纤环 8 逆时针（或顺时针）绕制，以消除 Sagnac 效应带来的误差。

如图 2 所示，所述的磁场传感单元 7 主要包括耦合透镜、磁通聚集器和磁光晶体。磁场传感单元 7 左端通过第一耦合透镜 11 与第一保偏光纤环 6 相连，当顺时针光路上的光经保偏光纤环 6 进入第一耦合透镜 11 时，第一耦合透镜 11 具备将保偏光纤光转换为空间光的能力，同时具备将光束缩小并使其沿特定角度入射磁光晶体的能力；磁光晶体 13 具有高费尔德常数；第一磁通聚集器 12 和第二磁通聚集器 14 置于磁光晶体 13 两端，且磁光晶体两端均部分伸入磁通聚集器的轴向通孔中；磁场传感单元 7 右端通过第二耦合透镜 15 与第二保偏光纤环 8 相连，当顺时针光路上的光从第二耦合透镜 15 出射时，第二耦合透镜 15 具备将空间光转换为光纤光的能力。同理，当逆时针光路上的光从第二耦合透镜 15 进入磁场传感单元 7，并从第一耦合透镜 11 出射时，第二耦合透镜 15 同样具备将保偏光纤光转换为空间光的能力，同时具备将光束缩小并使其沿特定角度入射磁光晶体的能力，第一耦合透镜 11 同样具备将空间光转换为光纤光的能力。综上，两个耦合透镜均具备相同的将入射光缩束、控制方向以及将出射光耦合至光纤的

功能。

本发明的工作原理为：

利用 Sagnac 系统进行偏振检测的基本原理如式（1）所示，可以看出，其干涉输出光强与两束光的偏振夹角以及两束光的相位差有关，类比于陀螺，Sagnac 效应是需要得到相位变化信息，因此要通过各种技术手段消除偏振态的变化引入的误差，主要是各种双折射；本发明将法拉第效应引起的偏振旋转作为目标量，通过采用正反向环绕环等手段抑制相位差的产生，从而在最终的检测系统中可以得到等效的检测精度。

$$I = I_1 + I_2 + I_{12} = I_1 + I_2 + 2\overrightarrow{A_1} \cdot \overrightarrow{A_2} cos\delta = I_1 + I_2 + 2A_1A_2 cos2\theta_F cos\delta \quad (1)$$

式中，I表示检测到的光信号强度，I_1、I_2分别表示沿顺时针、逆时针光路传输的非干涉光信号强度，I_{12}表示沿顺时针、逆时针光路传输的干涉光信号强度，A_1、A_2分别表示沿顺时针、逆时针光路传输的光信号振幅，δ表示沿顺时针、逆时针光路传输的光信号相位差，θ_F表示磁场引起的法拉第偏转角。

本发明中的起偏器的偏振方向与保偏光纤环的两个主轴夹角分别为顺时针和逆时针 45°，线偏光经过偏振分束器后变为分别沿顺时针、逆时针传输的两束光，在起始端利用偏振控制器分别在其上叠加顺时针 45°、逆时针 45°的偏振调制，使其均沿绕制方向相反的两个保偏光纤环的快轴传输，经过晶体后分别产生大小相同、方向相反的法拉第偏转角，如图 3 所示，经过检偏、偏振干涉后，干涉光强为式(2)，可见此时干涉信号强度相对于法拉第偏转角具有最大的变化率：

$$E_1 = E_2 = E_0 \cos\left(\theta + \frac{\pi}{4}\right)$$

$$I = < E_1 * E_2 > = I_0 \cos\left(\theta + \frac{\pi}{4}\right) = \frac{I_0}{2}[1 - \sin(2\theta)] \quad (2)$$

在本发明的一个具体实施中，光源发出的光经光纤耦合器、起偏器、偏振分束器后一分为二，两束线偏光分别经过第一偏振控制器、第二偏振控制器调制，调制方法为：第一偏振控制器 5 和第二偏振控制器 9 分别在两束光上叠加顺时针 45°、逆时针 45°的偏振调制。调制后的两束光进入两个分别沿顺时针、逆时针绕制的保偏光纤环，此处选用在顺时针光路上的第一保偏光纤环为顺时针绕制，逆时针光路上的第二保偏光纤环为逆时针绕制。两束线偏光在到达磁场传感单元前分别沿保偏光纤环的快轴传输，在传感单元处经过光纤光－空间光－光纤光的转换，分别耦合入两个保偏光纤环的慢轴进行传输，如下图 4 所示，这样顺时针、

逆时针传输光分别各沿快、慢轴传输一半光程，慢轴上的主干涉光可以同时到达出射点进行偏振干涉，同时晶体法拉第效应引起的偏振光正交分量由于沿快轴传输，会在出射点与主干涉光拉开一段距离，保证偏振干涉结果不受影响。

光束在经过磁场传感单元时，由第一保偏光纤环 6 的端口 62 出射的沿快轴传输的光经第一耦合透镜 11 耦合至第一磁通聚集器 12 的轴向通孔中，所述的第一耦合透镜 11 将光纤光转换为空间光，同时将光束直径缩小至小于磁光晶体直径数倍至数十倍，同时调整光束入射磁光晶体左端面，穿过磁光晶体后由右端面出射，经第二磁通聚集器 14 收集磁力线，再经第二耦合透镜将空间光耦合入保偏光纤，进入第二保偏光纤环 8 的慢轴传输。

同理，由第二保偏光纤环 8 的端口 81 出射的沿快轴传输的光经第二耦合透镜 15 耦合至第二磁通聚集器 14 的轴向通孔中，所述的第二耦合透镜 15 将光纤光转换为空间光，同时将光束直径缩小至小于磁光晶体直径数倍至数十倍，同时调整光束入射磁光晶体右端面，穿过磁光晶体后由左端面出射，经第一磁通聚集器 12 收集磁力线，再经第一耦合透镜将空间光耦合入保偏光纤，进入第一保偏光纤环 6 的慢轴传输。当磁场传感单元受到沿磁光晶体方向的磁场作用时，由于法拉第效应使经过磁光晶体的偏振光发生法拉第偏转，从而引起偏振干涉光强的变化，通过检测光强和信息处理即可得到外界磁场信息。

本实例中采用具有高偏振消光比的质子交换 Y 波导实现起偏器和偏振分束器功能；偏振控制器采用 EOSPACE 公司的铌酸锂电光调制偏振控制器，通过电压控制可以实现任意输入偏振态到任意输出偏振态的转换，且响应时间小于 100ns；磁光晶体 12 采用圆柱体 Ga：YIG 晶体，其直径为 1.8mm、长度为 2.7mm，其磁光费尔德常数为 8400 rad/m/T；磁通聚集器 11 为圆柱体加圆台体结构，其中圆柱体直径 22mm、长度 13mm，圆台体底面直径 13mm、长度 13mm、锥角 22°，通孔直径 1.8mm，磁光晶体 13 的两端面伸入第一磁通聚集器 11 和第二磁通聚集器 14 轴向通孔中的长度均为 0.3mm，制作磁通聚集器所用材料为坡莫合金 1J85，经仿真和实验验证，该磁通聚集器可将环境磁场放大 400 倍以上。

已知系统中保偏光纤的偏振消光比约为 40dB，Y 波导偏振消光比约为 60dB，所对应的最小可分辨偏振旋转角度为$\Delta\theta = \arctan(1/10^4) \approx 10^{-4} rad$，Sagnac 干涉系统的最小分辨率约为$10^{-6} rad$，因此，在不考虑晶体内反射增强技术的情况下，该系统的理论磁场灵敏度为$\Delta T = 10^{-4}(rad)/8400\ (rad/m/T)/2.7mm/$

$400 \approx 11nT$。

在本发明的一个具体实施中，还可以在所述的磁光晶体两端面的内表面部分区域镀上全反膜，在磁光晶体内部形成反射腔，使光束以一定的角度入射至磁光晶体的反射腔内，多次反射后再出射以增加光程。根据法拉第效应原理，光信号偏振态的变化可以随着光程的增加而线性累积，因此可以有效提高该系统的磁场灵敏度。

本发明所提出的基于 Sagnac 干涉系统的全偏振法拉第磁场传感器作为一种新型磁场传感器，具有动态范围大、稳定性高、磁场灵敏度高、易于小型化等优点，在民用和军用领域均有着广阔的应用前景。

以上所述的实施例只是本发明的一种较佳的方案，然其并非用以限制本发明。有关技术领域的普通技术人员，在不脱离本实用新型的精神和范围的情况下，还可以做出各种变化和变型。因此凡采取等同替换或等效变换的方式所获得的技术方案，均落在本发明的保护范围内。

权利要求书

1. 一种基于 Sagnac 干涉系统的全偏振法拉第磁场传感器，其特征在于，包括光源（1）、光纤耦合器（2）、起偏器（3）、偏振分束器（4）、偏振控制器、磁场传感单元（7）、探测器（10）以及保偏光纤环；

所述光源（1）的输出端口和探测器（10）的接收端口分别与光纤耦合器（2）同一侧的两个端口光纤连接，光纤耦合器（2）另一侧的一个端口与起偏器（3）光纤连接，且所述的起偏器（3）与偏振分束器（4）一侧的一端口光纤连接；所述的偏振分束器（4）另一侧的一端口通过第一偏振控制器（5）与第一保偏光纤环（6）光纤连接，且偏振分束器（4）该侧的另一端口通过第二偏振控制器（9）与第二保偏光纤环（8）光纤连接，两个保偏光纤环均与磁场传感单元（7）相连；

所述的第一保偏光纤环（6）和第二保偏光纤环（8）的快轴方向与所述的起偏器（3）的偏振方向夹角呈45°，且夹角方向相反；所述的光纤连接采用保偏光纤；

所述的磁场传感单元（7）包括沿轴向依次布置的第一耦合透镜（11）、第一磁通聚集器（12）、磁光晶体（13）、第二磁通聚集器（14）、第二耦合透镜（15），所述的第一耦合透镜（11）和第二耦合透镜（15）关于磁光晶体（13）对称，所述的第一磁通聚集器（12）和第二磁通聚集器（14）关于磁光晶体（13）对称；

所述的第一耦合透镜（11）与第一保偏光纤环（6）相连，第二耦合透镜（15）与第二保偏光纤环（8）的相连；所述的第一磁通聚集器（12）和第二磁通聚集器（14）均设有轴向通孔，磁光晶体（13）的两端面分别插入两个轴向通孔中固定；从第一保偏光纤环（6）和第二保偏光纤环（8）输出的两束光能够分别经第一耦合透镜（11）和第二耦合透镜（15）耦合至所述的轴向通孔中。

2. 如权利要求 1 所述的基于 Sagnac 干涉系统的全偏振法拉第磁场传感器，其特征在于，所述的第一保偏光纤环（6）和第二保偏光纤环（8）由保偏光纤绕制而成，两个保偏光纤环的直径相同、绕制圈数相同、绕制方向相反。

3. 如权利要求 1 所述的基于 Sagnac 干涉系统的全偏振法拉第磁场传感器，其特征在于，所述的磁光晶体（13）两端面的外表面均镀有增透膜。

4. 如权利要求 1 所述的基于 Sagnac 干涉系统的全偏振法拉第磁场传感器，其特征在于，所述的第一磁通聚集器（12）和第二磁通聚集器（14）的轴向通孔

大小与磁光晶体（13）的直径大小匹配。

5. 一种基于权利要求1所述的全偏振法拉第磁场传感器的光信号调制方法，其特征在于，包括以下步骤：

1）光源（1）出射的光信号依次经过光纤耦合器（2）、起偏器（3）、偏振分束器（4）后分为沿顺时针、逆时针传输的两束光，两束光通过保偏光纤分别传输至第一偏振控制器（5）和第二偏振控制器（9），利用第一偏振控制器（5）和第二偏振控制器(9)分别在两束光上叠加顺时针45°、逆时针45°的偏振调制；

2）调制后的沿顺时针光路传输的光进入第一保偏光纤环（6）的快轴传输，经第一耦合透镜（11）将光纤光转换为空间光，并耦合至第一磁通聚集器（12）的轴向通孔中，然后依次穿过磁光晶体（13）和第二磁通聚集器（14），再经第二耦合透镜（15）将空间光转换为光纤光，进入第二保偏光纤环（8）的慢轴传输；

3）调制后的沿逆时针光路传输的光进入第二保偏光纤环（8）的快轴传输，经第二耦合透镜（15）将光纤光转换为空间光，并耦合至第二磁通聚集器（14）的轴向通孔中，然后依次穿过磁光晶体（13）和第一磁通聚集器（12），再经第一耦合透镜（11）将空间光转换为光纤光，进入第一保偏光纤环（6）的慢轴传输；

4）沿顺时针光路、逆时针光路传输的光经过磁光晶体（13）后分别产生大小相同、方向相反的法拉第偏转角，且两束光分别各沿快、慢轴传输一半光程，同时返回偏振分束器（4）发生偏振干涉，再经起偏器（3）、光纤耦合器（2）后由探测器（10）对干涉信号进行获取。

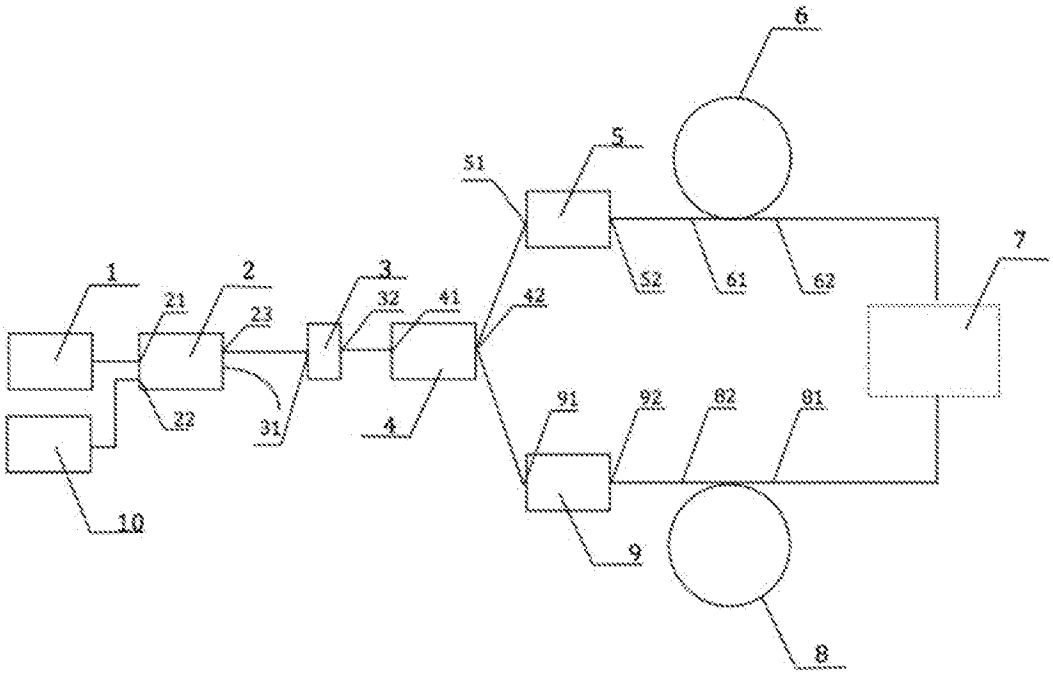

6
5
51
1
2
3
21
23
32
41
42
52
61
62
7
22
31
4
91
92
82
81
10
9
8

图 1

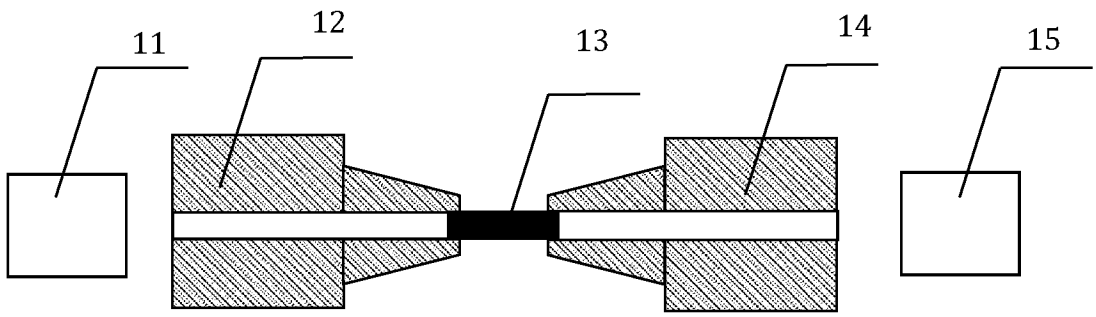

11
12
13
14
15

图 2

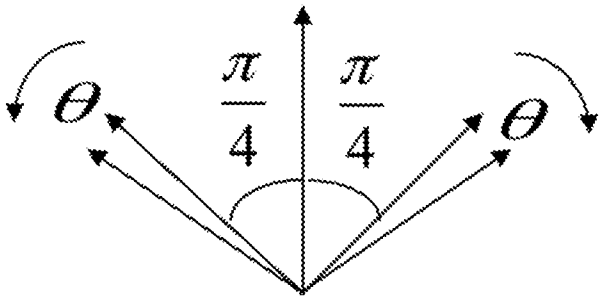


图 3

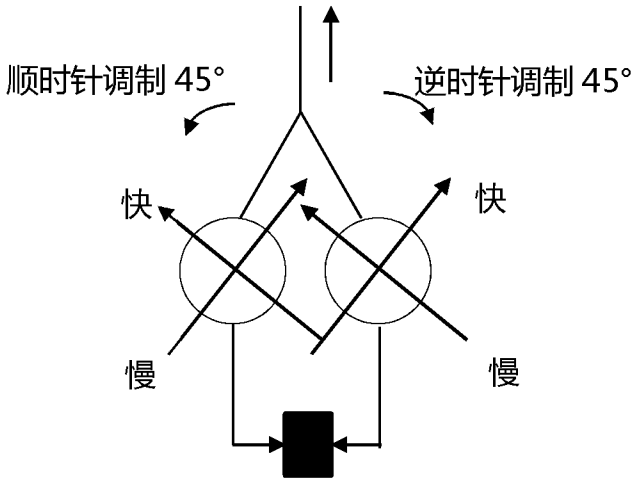


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2020/134181

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 33/032(2006.01)i; G01D 5/353(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01R; ; G01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, EPODOC, WPI, CNKI: 浙江大学, 萨格奈克, 干涉, 偏振, 法拉第, 磁光晶体, 磁场传感器, 起偏器, 快轴, 慢轴, 保偏, 顺时针, 逆时针, 误差, Sagnac, interference, polariz+, Faraday, magnet+, optic, crystal, sensor, polarizer, fast, slow, axis, clockwise, counterclockwise, anticlockwise, error

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 111366881 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 03 July 2020 (2020-07-03) description, paragraphs [0031]-[0046], and figures 1-2	1-5
A	CN 103344925 A (SHANGHAI UNIVERSITY) 09 October 2013 (2013-10-09) description, paragraphs [0013]-[0015], and figures 1-4	1-5
A	CN 107515378 A (CHINA JILIANG UNIVERSITY) 26 December 2017 (2017-12-26) entire document	1-5
A	CN 102023287 A (SHANGHAI UNIVERSITY) 20 April 2011 (2011-04-20) entire document	1-5
A	CN 109556595 A (SHANGHAI XIN YUE LIAN HUI ELECTRONIC TECHNOLOGY CO., LTD.) 02 April 2019 (2019-04-02) entire document	1-5
A	KR 20190139071 A (GWANGJU INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 17 December 2019 (2019-12-17) entire document	1-5

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
03 February 2021	**26 February 2021**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088** **China**	
Facsimile No. **(86-10)62019451**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2020/134181

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 111366881 A	03 July 2020	None	
CN 103344925 A	09 October 2013	None	
CN 107515378 A	26 December 2017	CN 207181650 U	03 April 2018
CN 102023287 A	20 April 2011	None	
CN 109556595 A	02 April 2019	None	
KR 20190139071 A	17 December 2019	None	

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2020/134181

A. 主题的分类

G01R 33/032(2006.01)i; G01D 5/353(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G01R; ; G01D

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用）)

CNPAT, EPODOC, WPI, CNKI：浙江大学，萨格奈克，干涉，偏振，法拉第，磁光晶体，磁场传感器，起偏器，快轴，慢轴，保偏，顺时针，逆时针，误差，Sagnac, interference, polariz+, Faraday, magnet+, optic, crystal, sensor, polarizer, fast, slow, axis, clockwise, counterclockwise, anticlockwise, error

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 111366881 A (浙江大学) 2020年 7月 3日 (2020-07-03) 说明书第[0031]-[0046]段、附图1-2	1-5
A	CN 103344925 A (上海大学) 2013年 10月 9日 (2013-10-09) 说明书第[0013]-[0015]段、附图1-4	1-5
A	CN 107515378 A (中国计量大学) 2017年 12月 26日 (2017-12-26) 全文	1-5
A	CN 102023287 A (上海大学) 2011年 4月 20日 (2011-04-20) 全文	1-5
A	CN 109556595 A (上海新跃联汇电子科技有限公司) 2019年 4月 2日 (2019-04-02) 全文	1-5
A	KR 20190139071 A (GWANGJU INST. SCIENCE & TECHNOLOGY) 2019年 12月 17日 (2019-12-17) 全文	1-5

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

"L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

"P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

"T" 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

"X" 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

"Y" 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

"&" 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2021年 2月 3日	2021年 2月 26日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	徐泽昕
传真号 (86-10)62019451	电话号码 86-（10）-53962570

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2020/134181

检索报告引用的专利文件	公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN 111366881 A	2020年 7月 3日	无	
CN 103344925 A	2013年 10月 9日	无	
CN 107515378 A	2017年 12月 26日	CN 207181650 U	2018年 4月 3日
CN 102023287 A	2011年 4月 20日	无	
CN 109556595 A	2019年 4月 2日	无	
KR 20190139071 A	2019年 12月 17日	无	