



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115097657 B

(45) 授权公告日 2024. 10. 22

(21) 申请号 202210490684.2

(22) 申请日 2022.05.07

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 115097657 A

(43) 申请公布日 2022.09.23

(73) 专利权人 香港理工大学深圳研究院
地址 518057 广东省深圳市南山区粤海街
道高新技术产业园南区粤兴一道18号
香港理工大学产学研大楼205室

(72) 发明人 靳伟 姜寿林 郭林浩 陈非凡
何海律

(74) 专利代理机构 深圳市君胜知识产权代理事
务所(普通合伙) 44268
专利代理师 朱阳波

(51) Int. Cl.

G02F 1/01 (2006.01)

G02F 1/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 218158612 U, 2022.12.27

审查员 朱思韦

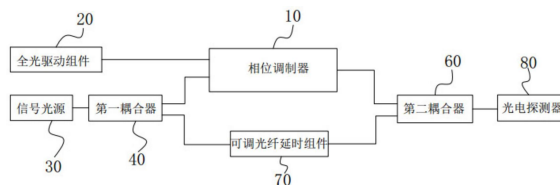
权利要求书2页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称

基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统及调制方法

(57) 摘要

本发明公开了基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统及调制方法,包括产生控制光的全光驱动组件,产生信号光的信号光源;第一耦合器,设置在信号光源的输出端,第一耦合器具有第一输出端以及第二输出端;相位调制器,入光端分别连接全光驱动组件和第一输出端,相位调制器包括空芯微结构光纤组件,空芯微结构光纤组件具有密封内腔,密封内腔中装有吸收性气体,并通过控制光改变吸收性气体的温度和折射率以引起信号光的相位变化;第二耦合器有第一输入端和第二输入端,第一输入端连接相位调制器的输出端;可调光纤延时组件,输入端连接第二输出端,输出端连接第二输入端;光电探测器,连接第二耦合器的输出端。具有低插入损耗、宽工作波段的优点。



1. 一种基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统,包括用于产生控制光的全光驱动组件,用于产生信号光的信号光源,其特征在于,所述全光相位调制系统还包括:

第一耦合器,所述第一耦合器设置在所述信号光源的输出端,所述第一耦合器具有第一输出端以及第二输出端;

相位调制器,所述相位调制器的入光端分别连接所述全光驱动组件和所述第一输出端,所述相位调制器包括空芯微结构光纤组件,所述空芯微结构光纤组件具有密封内腔,所述密封内腔中装有吸收性气体,并通过控制光改变所述吸收性气体的温度和折射率以引起所述信号光的相位变化;

第二耦合器,所述第二耦合器具有第一输入端和第二输入端,所述第一输入端连接所述相位调制器的输出端;

可调光纤延时组件,所述可调光纤延时组件的输入端连接所述第二输出端,所述可调光纤延时组件的输出端连接所述第二输入端;

光电探测器,所述光电探测器连接所述第二耦合器的输出端。

2. 根据权利要求1所述的基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统,其特征在于,所述全光驱动组件包括:

控制光源,所述控制光源用于产生控制光;

强度调制器,强度调制器设置在所述控制光源的出光端,并用于周期性地改变控制光的功率;

放大器,所述放大器设置在所述强度调制器的出光端,并用于放大控制光的功率。

3. 根据权利要求2所述的基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统,其特征在于,所述控制光源为单频激光器,所述单频激光器所发出的控制光的波长为1530.371nm,控制光具有对准乙炔的P(9)吸收线的特性。

4. 根据权利要求1所述的基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统,其特征在于,所述相位调制器还包括:第一光线合束器,所述第一光线合束器用于将控制光与信号光合波;所述空芯微结构光纤组件设置在所述第一光线合束器的出光端;

光线分离器,所述光线分离器设置在所述空芯微结构光纤组件的出光端,并用于分离出信号光。

5. 根据权利要求4所述的基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统,其特征在于,所述空芯微结构光纤组件包括空芯微结构光纤,所述空芯微结构光纤包括透明包层,以及反谐振部;

所述反谐振部位于所述透明包层内并环绕一圈形成所述密封内腔。

6. 根据权利要求5所述的基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统,其特征在于,所述反谐振部包括多个透明反谐振环,多个所述透明反谐振环环绕一圈设置在所述透明包层内。

7. 根据权利要求5所述的基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统,其特征在于,所述空芯微结构光纤组件还包括:

模场适配器,所述模场适配器设置在所述空芯微结构光纤的端部;

桥接件,所述桥接件固定连接所述模场适配器和所述空芯微结构光纤;

所述空芯微结构光纤的进光端和出光端均设置有所述模场适配器以及所述桥接件。

8. 根据权利要求7所述的基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统,其特征在于,所述第一光线合束器具有两个输入端口,两个所述输入端口分别与第一输出端和所述全光驱动组件的输出端相连接;

所述第一光线合束器的输出端口连接所述空芯微结构光纤进光端的所述模场适配器。

9. 根据权利要求4-8任一所述的基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统,其特征在于,所述光线分离器包括滤波器,所述滤波器连接在所述空芯微结构光纤组件的出光端,并用于过滤掉控制光;或者

所述光线分离器包括第二光线合束器,所述第二光线合束器连接在所述空芯微结构光纤的出光端,并用于剥除从所述空芯微结构光纤组件中所射出的控制光。

10. 一种基于气体填充空芯光纤的全光相位调制方法,其特征在于,应用于如权利要求1-9任一所述的基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统,包括步骤:

控制全光驱动组件产生控制光,并对控制光进行调制;

控制信号光源产生信号光;

获取光电探测器所输出的电压信号,其中电压信号为第二耦合器所输出的光信号被光电探测器接收并转换得到,光信号为信号光在吸收性气体改变温度和折射率而引起相位变化后得到,控制光与气体分子发生相互作用而改变吸收性气体的温度和折射率。

基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统及调制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光相位调制技术领域,尤其涉及的是基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统及调制方法。

背景技术

[0002] 光相位调制器是光纤通信及传感领域的重要器件,传统电光相位调制器主要采用铌酸锂晶体材料,通过电信号改变晶体折射率从而调制信号光的相位。受限于晶体材料本征特性以及与石英光纤的异质集成,该器件普遍存在插入损耗大、集成度低、工作波段窄、不抗电磁干扰等不足。全光相位调制方法采用紧凑的全光纤结构,可以与光纤系统实现低损耗的连接,通过泵浦光实现对信号光相位的全光域调控,能够远程无源调制,因此受到了广泛的关注。

[0003] 现有的相位调制器通常采用侧边抛磨光纤作为波导载体,在抛磨面被覆热敏材料,通过泵浦光与热敏材料相互作用,引起热敏材料的温度变化,从而改变抛磨纤芯的有效折射率。或者波导载体通过微纳光纤上的 μm 级厚度的黑磷材料吸收控制光引起光热效应实现全光相位调制。现在技术中,其均是利用热敏材料对控制光倏逝场的吸收产生热量,从而引起波导折射率的改变,对波导中信号光相位产生调制。但受限于热敏材料本征吸收以及不完美涂覆引起的散射效应,插入损耗高达10dB,通光波段较窄,从而限制了调制器的调制带宽。

[0004] 因此,现有技术还有待于改进和发展。

发明内容

[0005] 鉴于上述现有技术的不足,本发明的目的在于提供基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统及调制方法,具有低插入损耗、宽工作波段、调制带宽更大、易于制备、可实现远程传输控制光的优点。

[0006] 本发明的技术方案如下:

[0007] 基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统,包括用于产生控制光的全光驱动组件,用于产生信号光的信号光源;

[0008] 全光相位调制系统还包括:

[0009] 第一耦合器,第一耦合器设置在信号光源的输出端,第一耦合器具有第一输出端以及第二输出端;

[0010] 相位调制器,相位调制器的入光端分别连接全光驱动组件和第一输出端,相位调制器包括空芯微结构光纤组件,空芯微结构光纤组件具有密封内腔,密封内腔中装有吸收性气体,并通过控制光改变吸收性气体的温度和折射率以引起信号光的相位变化;

[0011] 第二耦合器,第二耦合器具有第一输入端和第二输入端,第一输入端连接相位调制器的输出端;

[0012] 可调光纤延时组件,可调光纤延时组件的输入端连接第二输出端,可调光纤延时

组件的输出端连接第二输入端；

[0013] 光电探测器,光电探测器连接第二耦合器的输出端。

[0014] 进一步,全光驱动组件包括:

[0015] 控制光源,控制光源用于产生控制光;

[0016] 强度调制器,强度调制器设置在控制光源的出光端,并用于周期性地改变控制光的功率;

[0017] 放大器,放大器设置在强度调制器的出光端,并用于放大控制光的功率。

[0018] 进一步,控制光源为单频激光器,单频激光器所发出的控制光的波长为1530.371nm,控制光具有对准乙炔的P(9)吸收线的特性。

[0019] 进一步,相位调制器还包括:第一光线合束器,第一光线合束器用于将控制光与信号光合波;空芯微结构光纤组件设置在第一光线合束器的出光端;

[0020] 光线分离器,光线分离器设置在空芯微结构光纤组件的出光端,并用于分离出信号光。

[0021] 进一步,空芯微结构光纤组件包括空芯微结构光纤,空芯微结构光纤包括透明包层,以及反谐振部;

[0022] 反谐振部位于透明包层内并环绕一圈形成密封内腔。

[0023] 进一步,反谐振部包括多个透明反谐振环,多个透明反谐振环环绕一圈设置在透明包层内。

[0024] 进一步,空芯微结构光纤组件还包括:

[0025] 模场适配器,模场适配器设置在空芯微结构光纤的端部;

[0026] 桥接件,桥接件固定连接模场适配器和空芯微结构光纤;

[0027] 空芯微结构光纤的进光端和出光端均设置有模场适配器以及桥接件。

[0028] 进一步,第一光线合束器具有两个输入端口,两个输入端口分别与第一输出端和全光驱动组件的输出端相连接;

[0029] 第一光线合束器的输出端口连接空芯微结构光纤进光端的模场适配器。

[0030] 进一步,光线分离器包括滤波器,滤波器连接在空芯微结构光纤组件的出光端,并用于过滤掉控制光;或者

[0031] 光线分离器包括第二光线合束器,第二光线合束器连接在空芯微结构光纤的出光端,并用于剥除从空芯微结构光纤组件中所射出的控制光。

[0032] 基于相同的构思,本方案还提出一种基于气体填充空芯光纤的全光相位调制方法,应用于如上所述的基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统,包括步骤:

[0033] 控制全光驱动组件产生控制光,并对控制光进行调制;

[0034] 控制信号光源产生信号光;

[0035] 获取光电探测器所输出的电压信号,其中电压信号为第二耦合器所输出的光信号被光电探测器接收并转换得到,光信号为信号光在吸收性气体改变温度和折射率而引起相位变化后得到,控制光与气体分子发生相互作用而改变吸收性气体的温度和折射率。

[0036] 有益效果:与现有技术相比,本发明提出的基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统及调制方法,其中主要通过全光驱动组件产生控制光,信号光源产生信号光,信号光在空芯微结构光纤组件的具有吸收性气体的密封内腔中传输,并通过控制光改变所述吸收

性气体的温度和折射率以引起所述信号光的相位变化;不同于固体光热材料,气体分子仅在离散的窄吸收线处有较强吸收,在吸收线外的信号光波长则几乎无吸收,避免了材料本征吸收以及不完美涂覆引起的散射效应的问题,因此能够在宽波段内实现极低的插入损耗,且具有远高于全固体相位调制器的耐受功率。与黑磷涂覆微纳光纤全光相位调制器相比,微结构包层加快了热量的传导速度,从而提高了调制带宽。因此,具有低插入损耗、宽工作波段、调制带宽更大、易于制备、可实现远程光控的优点。

附图说明

[0037] 图1为本发明基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统的实施例的结构原理框图;

[0038] 图2为本发明基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统的全光驱动组件和相位调制器的结构原理框图;

[0039] 图3为本发明基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统的实施例的相位调制器的结构原理框图;

[0040] 图4为本发明基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统的实施例的空芯微结构光纤的截面示意图;

[0041] 图5为本发明基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统的实施例的第一种光线分离器的原理框图;

[0042] 图6为本发明基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统的实施例的第二种光线分离器的原理框图;

[0043] 图7为本发明基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统的实施例在100kHz调制频率下的输出信号图;

[0044] 图8为本发明基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统的实施例在100kHz调制频率下相位调制幅度与控制光功率关系图。

[0045] 图中各标号:10、相位调制器;100、第一光线合束器;110、空芯微结构光纤组件;120、空芯微结构光纤;121、密封内腔;122、透明包层;123、反谐振部;130、模场适配器;131、桥接件;140、光线分离器;141、滤波器;142、第二光线合束器;20、全光驱动组件;200、控制光源;210、强度调制器;220、放大器;30、信号光源;40、第一耦合器;60、第二耦合器;70、可调光纤延时组件;80、光电探测器。

具体实施方式

[0046] 本发明提供了基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统及调制方法,为使本发明的目的、技术方案及效果更加清楚、明确,以下参照附图并举实例对本发明进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0047] 对信号光进行调制的方案很多,其中原理是利用热敏材料对控制光倏逝场的吸收产生热量,从而引起波导折射率的改变,对波导中信号光相位产生调制。但受限于热敏材料本征吸收以及不完美涂覆引起的散射效应,插入损耗高达10dB,通光波段较窄;受限于空气的缓慢散热,调制带宽通常低于100Hz。且热敏材料由于需要波导后处理以及材料涂覆,制备较为复杂,长期可靠性难以满足实用需求。而为解决热敏材料的局限性问题,可以采用全

光相位调制技术进行改善,尽管全光相位调制技术具有低插损、宽波段、可远程等诸多本征优势,但当前的全光相位调制器主要采用二维材料涂覆微纳光纤(二维材料是指是指电子仅可在两个维度的纳米尺度(1-100nm)上自由运动(平面运动)的材料),普遍存在制备难度大、器件吸收与散射损耗大、有效调制频率低的问题,全光调制的本征技术优势并未得到充分发挥。因此,本实施例提出一种基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统,以改善上述问题。

[0048] 本实施例的具体结构如下:

[0049] 如图1所示,本实施例提出基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统包括:用于产生控制光的全光驱动组件20,用于产生信号光的信号光源30,第一耦合器40,相位调制器10,第二耦合器60,可调光纤延时组件70以及光电探测器80。第一耦合器40设置在信号光源30的输出端,第一耦合器40具有第一输出端以及第二输出端。相位调制器10的入光端分别连接全光驱动组件20和第一输出端,如图2所示,相位调制器10包括空芯微结构光纤组件110,空芯微结构光纤组件110具有密封内腔121,密封内腔121中装有吸收性气体,并通过控制光改变吸收性气体的温度和折射率以引起信号光的相位变化。如图1所示,第二耦合器60具有第一输入端和第二输入端,第一输入端连接相位调制器10的输出端;可调光纤延时组件70的输入端连接第二输出端,可调光纤延时组件70的输出端连接第二输入端,光电探测器80连接第二耦合器60的输出端。从而使信号光源30所发出的信号光经过第一耦合器40分成两路,其中第一路通过第一输出端进入相位调制器10,同时全光驱动组件20所产生的控制光进入到相位调制器10内,密封内腔121中装有吸收性气体,并通过控制光改变吸收性气体的温度和折射率以引起信号光的相位变化,变化相位后的信号光从第一输入端进入第二耦合器60。另外的第二路通过第二输出端进入可调光纤延时组件70,可调光纤延时组件70用于缓慢调节两路之间的相对相位差,避免环境扰动对测试结果的影响。从可调光纤延时组件70中射出的信号光从第二输入端进入第二耦合器60。从而透射的两路信号光分别从两个端口进入第二耦合器60,通过第二耦合器60后输出光信号被光电探测器80接收并转换为电压信号。

[0050] 本实施例中充分利用空芯微结构光纤组件110中光功率密度高、光与吸收性气体相互作用强的特点,通过实时改变控制光的功率或波长,能够同步改变控制光与吸收性气体的光热作用效率,并引起吸收性气体的温度与折射率的改变,进而实现对在同一物理空间中通过的信号光的相位调制。本实施例中的信号光主要在空芯微结构光纤组件110的具有吸收性气体的密封内腔121中传输,不同于固体光热材料,气体分子仅在离散的窄吸收线处有较强吸收,在吸收线外的信号光波长则几乎无吸收,避免了材料本征吸收以及不完美涂覆引起的散射效应的问题,因此能够在宽波段内实现极低的插入损耗,另外也不需要波导后处理以及材料涂覆的复杂工艺过程,降低成本,提高效率;且具有远高于全固体相位调制器10的耐受功率,从而提高了调制带宽。此外,与已有的基于二维材料涂覆微纳光纤全光相位调制器10相比,本方案也简化了制备过程,优化调制器的结构,降低制备难度,器件吸收与散射损耗小,得益于具有较大散热系数的空芯微结构光纤组件110,本方案所能够实现的调制带宽高2-3个量级,且制作工艺简单,具有更高的实用价值。

[0051] 如图1、图2所示,本实施例中的全光驱动组件20包括:控制光源200,强度调制器210,以及放大器220。所述控制光源200用于产生控制光,控制光源200采用单频激光器,单

频激光器所发出的控制光的波长为1530.371nm,控制光具有对准乙炔的P(9)吸收线的特性,控制光源200还可以采用其他窄线宽激光器,也能实现本方案所要达到的效果。强度调制器210设置在所述控制光源200的出光端,并用于周期性地改变控制光的功率。具体为,通过改变施加到强度调制器210的信号而调制进入到空芯微结构光纤120中的控制光的功率,进而调制信号光的相位,也可以通过固定控制光功率而改变控制光波长的方式进行相位调制。所述放大器220设置在所述强度调制器210的出光端,并用于放大控制光的功率,本实施例中的放大器220采用掺铒光纤放大器220,对上述调制后的控制光功率进行放大,而且通过光纤实现控制光源200与相位调制器10的远程连接,即通过光纤连接全光驱动组件20的输出端和相位调制器10的输入端,从而实现与控制光源200的远程连接,保证本全光相位调制器10所处位置的无源化。

[0052] 除上述的采用外部调制光功率方式的全光驱动组件20结构外,全光驱动组件20还可以通过直接调制控制光源的电流对其功率或波长进行内调制的方式来实现。

[0053] 如图2、图3所示,相位调制器10具体还包括:第一光线合束器100,以及光线分离器140。第一光线合束器100具有合波的功能,用于将控制光与信号光合波。空芯微结构光纤组件110设置在第一光线合束器100的出光端,空芯微结构光纤组件110的密封内腔121中的吸收性气体,通过控制光改变吸收性气体的温度和折射率以引起信号光的相位变化。光线分离器140设置在空芯微结构光纤组件110的出光端,具有分离光的功能,并用于分离出信号光,分离出的信号光为调制后的所需要的信号光。

[0054] 本实施例中的相位调制器10通过第一光线合束器100将控制光与信号光合波;合波后的光经过空芯微结构光纤组件110,且空芯微结构光纤组件110内以吸收性气体作为光热材料,充分利用空芯微结构光纤组件110中光功率密度高、光与吸收性气体相互作用强的特点,通过实时改变控制光的功率或波长,能够同步改变控制光与吸收性气体的光热作用效率,并引起吸收性气体的温度与折射率的改变,进而实现对在同一物理空间中通过的信号光的相位调制。而穿过空芯微结构光纤组件110后的信号光和控制光经过光线分离器140,可将信号光分离出来,实现对信号光的相位调制。

[0055] 本实施例中的第一光线合束器100具有两个输入端口,两个输入端口分别与信号光源30和控制光源200连接,从而使信号光源30所发出的信号光、以及控制光源200所发出的控制光共同进入到第一光线合束器100内进行合波,第一光线合束器100的输出端口连接空芯微结构光纤120进光端,从而将合波后的信号光和控制光稳定的送入到空芯微结构光纤120。

[0056] 本实施例中的第一光线合束器100包括:拉锥式波分复用器、玻片式波分复用器或/和能量合束器。易于想到,还可以采用其他类型的复用器或合束器,只要是可将两种光线进行合束,均能取得本方案的效果。

[0057] 本实施例中空芯微结构光纤组件110包括空芯微结构光纤120,以及连接在空芯微结构光纤120的进光端和出光端的连接件,两端的连接件分别连接第一光线合束器100以及光线分离器140。连接件具体包括:模场适配器130和桥接件131;模场适配器130设置在空芯微结构光纤120的端部,桥接件131固定连接模场适配器130和空芯微结构光纤120;从而使空芯微结构光纤120的进光端和出光端均设置有模场适配器130以及桥接件131。具体的,模场适配器130由单模光纤热扩芯加工制成,从而可减小常规单模光纤与空芯微结构光纤120

的连接损耗。模场适配器130与空芯微结构光纤120对准后由桥接件131进行固定,使吸收性气体通过模场适配器130与空芯微结构光纤120之间的缝隙自由扩散进入空芯微结构光纤120的密封内腔121中,然后进一步点胶密封整个连接处,实现对空芯微结构光纤120的完全密封。

[0058] 另外的结构中,连接方法包括但不限于熔接、可插拔式接头、固定式机械对接等,只要用于实现实芯单模光纤与空芯微结构光纤120的低损耗互连,且所述连接件具有良好的气密性,能够避免填充气体泄漏,均能取得本方案的效果。

[0059] 如图4所示,本实施例中的空芯微结构光纤120包括透明包层122,以及反谐振部123。透明包层122位于最外围,且为全固的二氧化硅包层,形成透明空芯微结构光纤120的最外层;反谐振部123位于透明包层122内并环绕一圈形成密封内腔121,从而使空芯微结构光纤120为反谐振空芯光纤,具有反谐振的功能。密封内腔121内所密封的吸收性气体的浓度很高,目的是实现信号光超过 π 的相位调制,且全封闭在光纤中。从而当控制光作用于气体分子时,温度变化达数十K甚至上百K(例如10K-900K),从而使射入到密封内腔121中的信号光可以实现大的相位调制。通过反谐振部123与透明包层122所形成的空芯微结构光纤在反应过程中加快了热量的传导速度,从而提高了调制带宽。

[0060] 本实施例中的反谐振部123包括多个透明反谐振环,多个透明反谐振环环绕一圈设置在透明包层122内,多个透明反谐振环作为微结构,或在透明包层122的内壁、或在反谐振环的外壁设置微结构。本实施例中的透明包层122内均匀分布七个反谐振环,反谐振环为二氧化硅材质的环状结构,七个反谐振环环绕所形成的内层为空芯导光区域,空芯导光区域内充满吸收性气体,光在该区域与气体分子发生相互作用。该反谐振部123所形成的微结构可以保证控制光与信号光在纤芯区域中低损耗传输,同时使模场直径仅数十微米(10微米-90微米),整个空芯微结构光纤120长度为5厘米,因此光功率密度高,光热作用强,当控制光功率较高时能够产生并积累更多的热量。而当控制光功率为0时,热量又能够通过周围的二氧化硅微结构(反谐振部123)和透明包层122迅速向外传导,因而能够实现比微纳光纤相位调制器10快2-3个量级的响应速度。

[0061] 另外的结构中,空芯微结构光纤组件110还可以是空芯光子带隙光纤、空芯反谐振负曲率光纤、空芯布拉格光纤、或空芯玻璃管。采用上述光纤结构,且长度不小于1厘米,同样可以完成对信号光的调制。

[0062] 本实施例中的吸收性气体应在近红外波段具有强吸收线,具体包括但不限于乙炔、甲烷或/和二氧化碳中的一种或几种,另外还可以是其他吸收性气体,主要在控制光的照射下具有产生热量,均能取得本方案的效果。另外在对控制光和信号光的稳定输送所用的缓冲气体包括但不限于氮气、氩气等,在混合气体中的吸收性气体体积分数不低于1%。

[0063] 空芯微结构光纤组件110的输出端连接到光线分离器140。通过光线分离器140对输出的控制光和信号光进行处理,获取调制后的信号光。根据采用的光线分离器140的种类的不同,本实施例的相位调制器10具有两种结构,具体如下:

[0064] 如图5所示,第一种相位调制器中的光线分离器140具体包括滤波器141,滤波器141连接在空芯微结构光纤组件110的出光端,并用于过滤掉控制光。控制光使吸收性气体产生变化并通过热光效应作用于同一物理通道中传输的信号光,实现对信号光的相位调制。这一过程中大部分的控制光能量被气体分子所吸收,只有少部分控制光随信号光一同

进入滤波器141,该滤波器141对信号光的透射率大,对控制光的透射率小,因此经过滤波后的输出光中仅包含经过相位调制的信号光。从而实现了对控制光的有效过滤,得到调制后的信号光。

[0065] 本实施例中的所述滤波器141对信号光透过率大于80%,且对控制光透过率小于1%,具体可以采用对信号光透过率达到99%的滤波器141,这样就能得到稳定的信号光。本实施例中的滤波器141包括但不限于:波分复用器、光纤光栅、窄带滤光片等。

[0066] 如图6所示,第二种相位调制器中的光线分离器140具体包括第二光线合束器142,第二光线合束器142连接在空芯微结构光纤120的出光端,并用于剥除从空芯微结构光纤组件110中所射出的控制光。与第一种结构不同的是:控制光分为两路分别从空芯微结构光纤组件110的两端进入空芯微结构光纤120的密封内腔121,这样可以对空芯微结构光纤120的两端的气体分别进行作用,从而使两端能同时产生热量。而且通过第一光线合束器100起到合波作用,而通过第二光线合束器142能将残余控制光功率剥除进行剥除,而使信号光输出。与第一种结构相比,采用第二光线合束器142的方案,可以在相同的总控制光功率下,由于控制光从两端与吸收性气体进行反应,降低了控制光从入射端(单从一端)作用到空芯微结构光纤120的温度变化,使得空芯微结构光纤120中温度纵向分布更加均匀,提高了器件的可靠性。第二光线合束器142包括但不限于拉锥式波分复用器、玻片式波分复用器、能量合束器等。

[0067] 如图7所示,本方案在应用时,对控制光的功率施加峰峰值幅度为51mW、频率为100kHz的正弦调制时,马赫-曾德尔干涉仪输出的信号光强度也表现为100kHz的正弦调制。随着控制光功率调制幅度的增加,信号光强度调制幅度也增加,根据干涉仪输出的光强度可以计算出相应的相位调制幅度。如图8所示,在约300mW控制光功率调制幅度下,本实施例的相位调制器10能够在100kHz的调制频率下实现 π 相移,调制频率比基于二维材料涂覆微纳光纤的相位调制器高约2个量级。

[0068] 基于相同的构思,本方案还提出一种基于气体填充空芯光纤的全光相位调制方法,应用于如上所述的基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统。包括如下步骤:

[0069] 步骤S100、控制全光驱动组件产生控制光,并对控制光进行调制。

[0070] 通过上述的全光驱动组件可以远程产生控制光,且通过全光驱动组件先对控制光进行调制。

[0071] 步骤S200、控制信号光源产生信号光;

[0072] 步骤S300、获取光电探测器所输出的电压信号,其中电压信号为第二耦合器所输出的光信号被光电探测器接收并转换得到,光信号为信号光在吸收性气体改变温度和折射率而引起相位变化后得到,控制光与气体分子发生相互作用而改变吸收性气体的温度和折射率。

[0073] 上述透射的两路信号光分别从两个端口进入第二耦合器,通过第二耦合器后输出光信号被光电探测器接收并转换为电压信号。获取光电探测器所输出的电压信号后,可以通过电压信号而分析信号光的调制情况。

[0074] 综上所述,本方案所提出的基于气体填充空芯光纤的全光相位调制系统及调制方法,创新性地采用空芯微结构光纤作为载体,以高浓度气体作为光热材料填充到空芯微结构光纤中,且通过全光驱动组件提供控制光源,采用光纤实现全光驱动组件与相位调制器

的远程连接,从而保证相位调制器所处位置的无源化。通过改变全光驱动组件中控制光的功率或者波长,可以使得填充的吸收性气体吸收的光能量发生变化,进而改变气体的温度和折射率,进而对同一物理空间中通过的信号光相位产生调制。与二维材料涂覆微纳光纤相位调制器相比,空芯微结构光纤中光与气体几乎完全处于同一物理通道中,交叠面积大,光功率密度高,光与气体相互作用强;产生的热量能够通过空芯微结构光纤及时传导,因此本相位调制器的响应速度更快,调制带宽更高;无需二维材料制备与转移,信号光不受二维材料本征吸收以及不完美的涂覆工艺的影响,插入损耗更小,且具有更高的耐受光功率和更好的稳定性。

[0075] 应当理解的是,本发明的应用不限于上述的举例,对本领域普通技术人员来说,可以根据上述说明加以改进或变换,所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

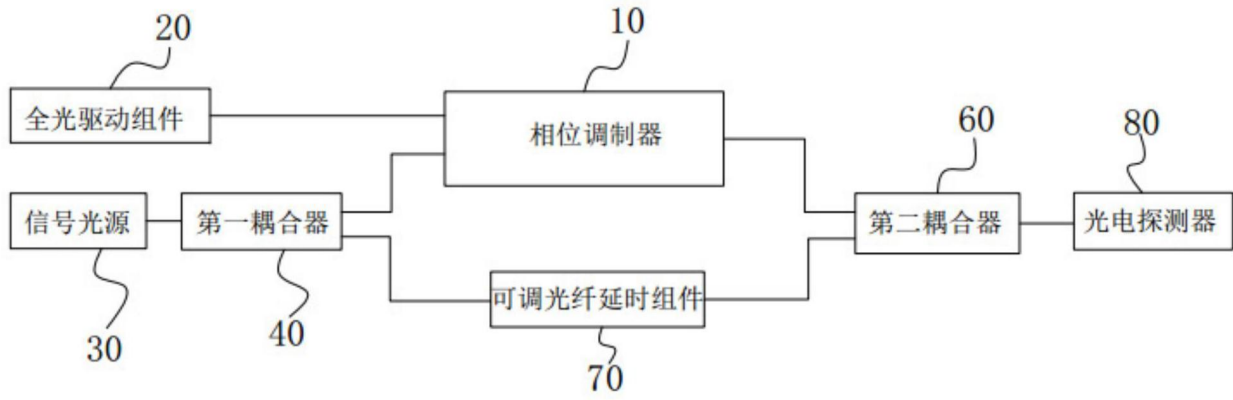


图1

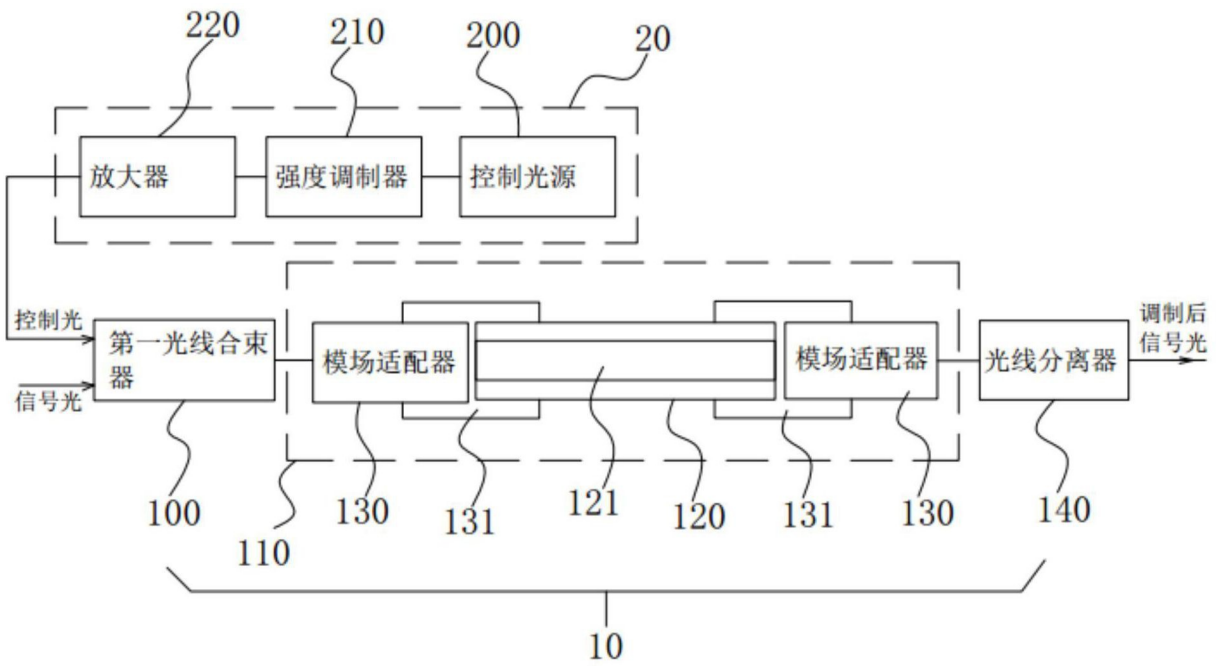


图2

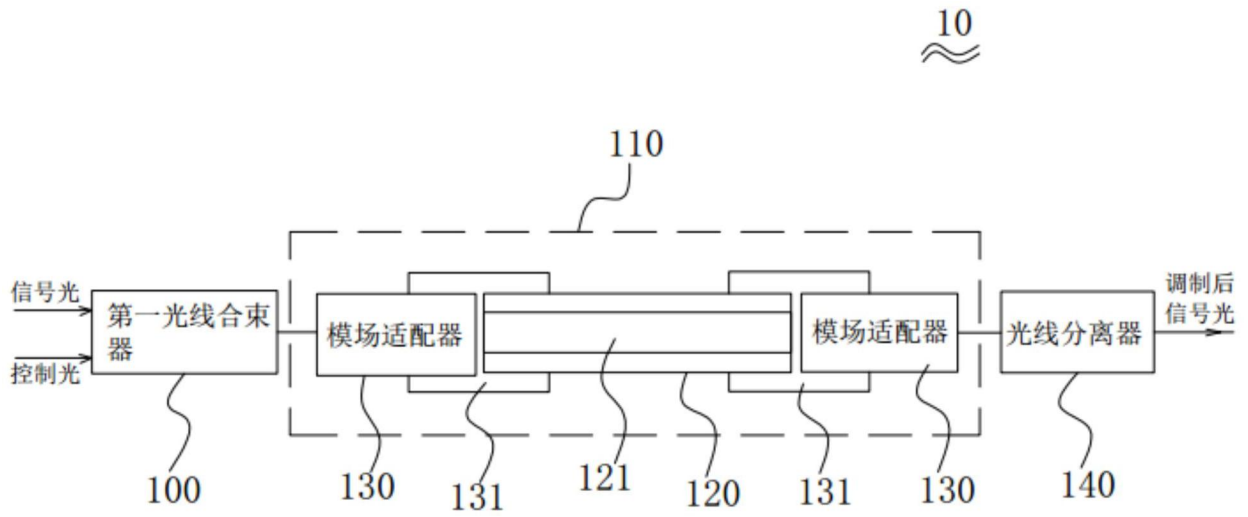


图3

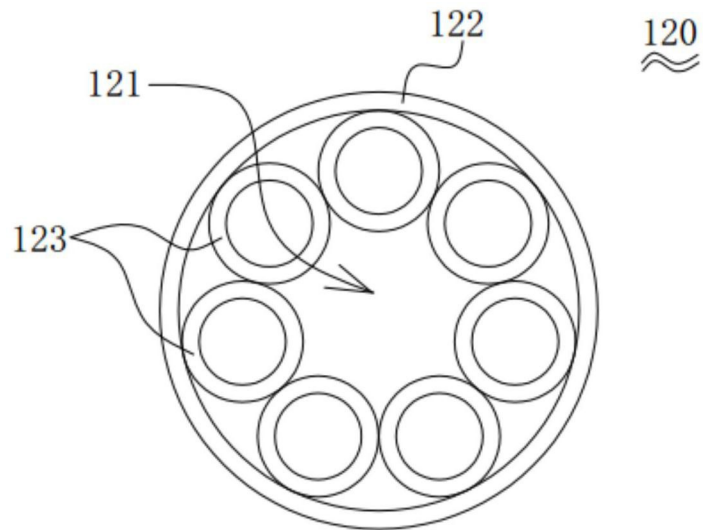


图4

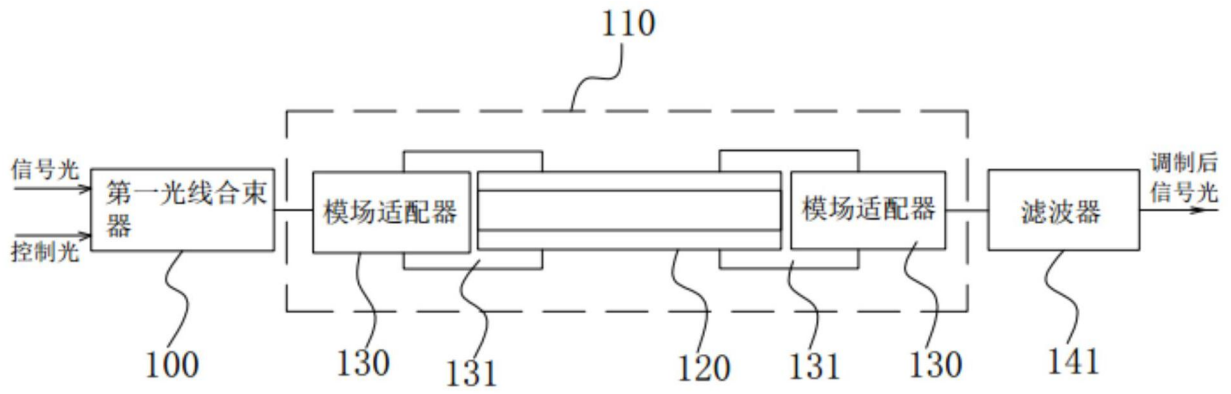


图5

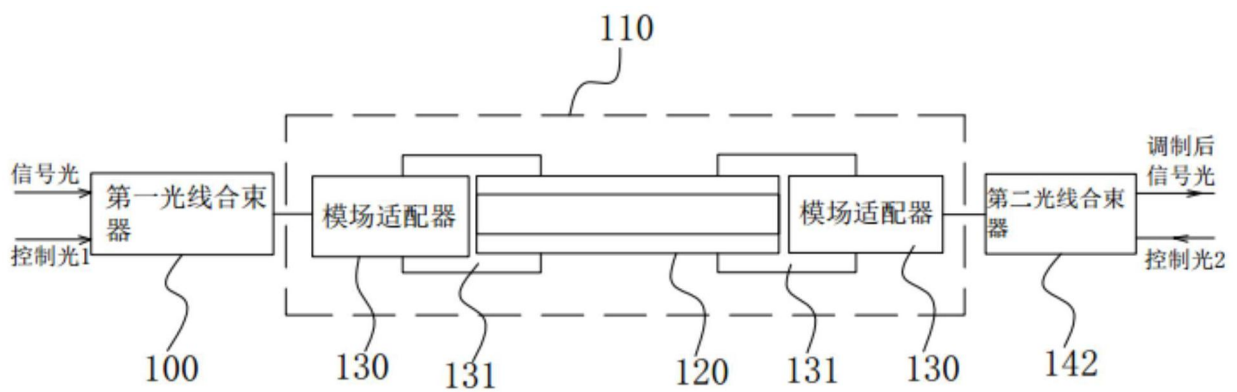


图6

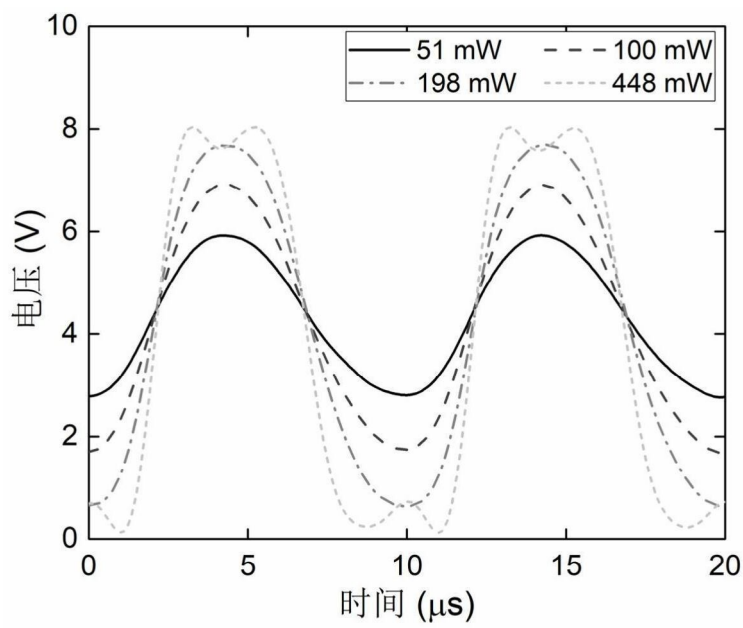


图7

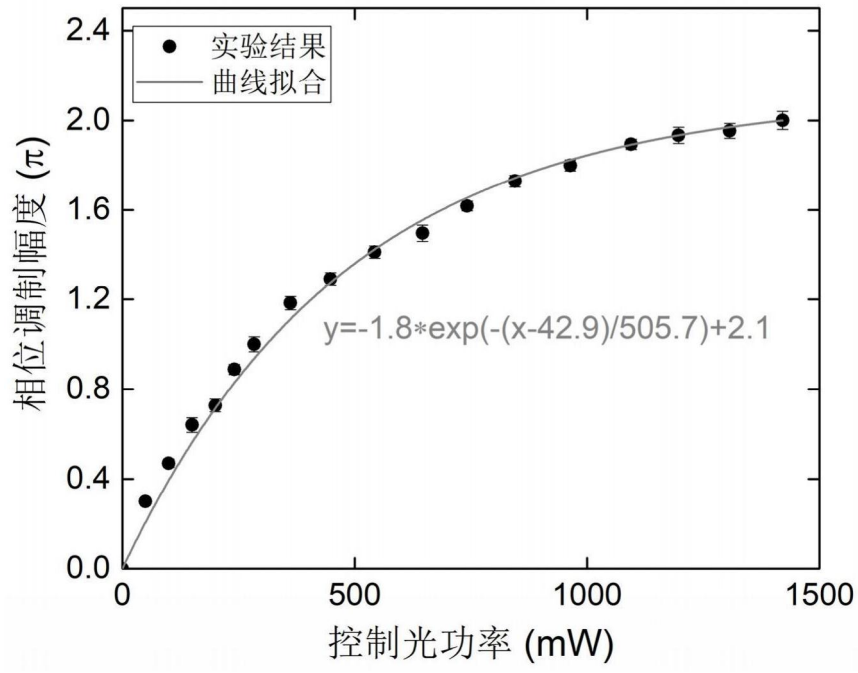


图8