



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 218158612 U

(45) 授权公告日 2022. 12. 27

(21) 申请号 202221087742.9

(22) 申请日 2022.05.07

(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 徐凯凯 温宏梅

(51) Int. Cl.  
G02F 1/01 (2006.01)  
G02B 6/02 (2006.01)

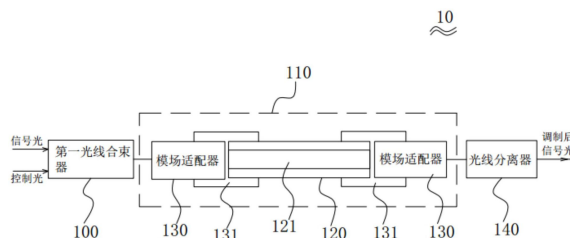
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 实用新型名称

一种基于气体填充空芯光纤的全光相位调制器

(57) 摘要

本实用新型公开了一种基于气体填充空芯光纤的全光相位调制器,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,空芯微结构光纤组件设置在第一光线合束器的出光端,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;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。不采用热敏材料来改变信号光的相位,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,减少插入损耗,提高了调制带宽。



1. 一种基于气体填充空芯光纤的全光相位调制器,其特征在于,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;  
空芯微结构光纤组件,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,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;  
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,并用于分离出所述信号光。
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器,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。
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器,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。
4. 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器,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。
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器,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信号光源和控制光源连接;  
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。
6. 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器,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。
7. 根据权利要求6所述的基于气体填充空芯光纤的全光相位调制器,其特征在于,所述滤波器对信号光透过率大于80%,且对控制光透过率小于1%。
8. 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器,其特征在于,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。
9. 根据权利要求1-8任一所述的基于气体填充空芯光纤的全光相位调制器,其特征在于,所述空芯微结构光纤组件包括空芯光子带隙光纤、空芯反谐振负曲率光纤、空芯布拉格光纤、或空芯玻璃管。
10. 根据权利要求9所述的基于气体填充空芯光纤的全光相位调制器,其特征在于,所述第一光线合束器包括:拉锥式波分复用器、玻片式波分复用器或/和能量合束器。

## 一种基于气体填充空芯光纤的全光相位调制器

### 技术领域

[0001] 本实用新型涉及光相位调制技术领域,尤其涉及的是一种基于气体填充空芯光纤的全光相位调制器。

### 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 $\mu\text{m}$ 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。

### 实用新型内容

[0005] 鉴于上述现有技术的不足,本实用新型的目的在于提供一种基于气体填充空芯光纤的全光相位调制器,不采用热敏材料来改变信号光的相位,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,减少插入损耗,提高了调制带宽。是一种具有低插入损耗、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全光相位调制器。

[0006] 本实用新型的技术方案如下:

[0007] 一种基于气体填充空芯光纤的全光相位调制器,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;

[0008] 空芯微结构光纤组件,空芯微结构光纤组件设置在第一光线合束器的出光端,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;

[0009] 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。

[0010] 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;

[0011] 反谐振部位于透明包层内并环绕一圈形成密封内腔。

- [0012] 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。
- [0013] 进一步,空芯微结构光纤组件还包括:
- [0014] 模场适配器,模场适配器设置在空芯微结构光纤的端部;
- [0015] 桥接件,桥接件固定连接模场适配器和空芯微结构光纤;
- [0016] 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。
- [0017] 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信号光源和控制光源连接;
- [0018] 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。
- [0019] 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。
- [0020] 进一步,滤波器对信号光透过率大于80%,且对控制光透过率小于1%。
- [0021] 进一步,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。
- [0022] 进一步,空芯微结构光纤组件包括空芯光子带隙光纤、空芯反谐振负曲率光纤、空芯布拉格光纤、或空芯玻璃管。
- [0023] 进一步,第一光线合束器包括:拉锥式波分复用器、玻片式波分复用器或/和能量合束器;
- [0024] 吸收性气体包括:乙炔、甲烷或/和二氧化碳。
- [0025] 有益效果:与现有技术相比,本实用新型提出的一种基于气体填充空芯光纤的全光相位调制器,其中使信号光主要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,从而提高了调制带宽。

#### 附图说明

- [0026] 图1为本实用新型一种基于气体填充空芯光纤的全光相位调制器的实施例的结构框图;
- [0027] 图2为本实用新型一种基于气体填充空芯光纤的全光相位调制器的实施例的空芯微结构光纤的截面示意图;
- [0028] 图3为本实用新型一种基于气体填充空芯光纤的全光相位调制器的实施例的第一种光线分离器的原理框图;
- [0029] 图4为本实用新型一种基于气体填充空芯光纤的全光相位调制器的实施例的第二种光线分离器的原理框图;
- [0030] 图5为本实用新型一种基于气体填充空芯光纤的全光相位调制器的实施例在100kHz调制频率下的输出信号图;
- [0031] 图6为本实用新型一种基于气体填充空芯光纤的全光相位调制器的实施例在

100kHz调制频率下相位调制幅度与控制光功率关系图。

[0032] 图中各标号:10、全光相位调制器;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。

### 具体实施方式

[0033] 本实用新型提供了一种基于气体填充空芯光纤的全光相位调制器,为使本实用新型的目的、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实用新型进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本实用新型,并不用于限定本实用新型。

[0034] 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10 dB,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器,以改善上述问题。

[0035] 本实施例的具体结构如下:

[0036] 如图1所示,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器 10,用于通过控制光对信号光进行调制。全光相位调制器10具体包括:第一光线合束器100,空芯微结构光纤组件110,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。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。

[0037] 本实施例中的全光相位调制器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。本方案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的耐受功率,从而提高了调制带宽。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。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。

[0038] 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和控制光源连接,从而使信号光源所发出的信号光、以及控制光源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。

[0039] 本实施例中由全光驱动组件提供控制光源,控制光源采用光纤实现与相位调制器的远程连接,即通过光纤连接全光驱动组件的输出端和第一光线合束器100的其中一个输入端,从而实现与控制光源的远程连接。保证本全光相位调制器10所处位置的无源化。

[0040] 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。

[0041] 如图1、图2所示,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。

[0042] 另外的结构中,连接方式包括但不限于熔接、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。

[0043] 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 $\pi$ 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。

[0044] 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)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快2-3个量级的响应速度。

[0045] 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。

[0046] 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%。

[0047] 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,本实施例的全光相位调制器10具有两种结构,具体如下:

[0048] 如图3所示,第一种全光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。从而实现对控制光的有效过滤,得到调制后的信号光。

[0049] 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。

[0050] 如图4所示,第二种全光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。

[0051] 如图5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6所示,在约300mW控制光功率调制幅度下,本实施例的全光相位调制器能够在 100kHz的调制频率下实现 $\pi$ 相移,调制频率比基于二维材料涂覆微纳光纤的全光相位调制器高约2个量级。

[0052] 综上所述,本实施例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全光相位调制器相比,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,因此本全光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。

[0053] 应当理解的是,本实用新型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实用新型所附权利要求要求的保护范围。



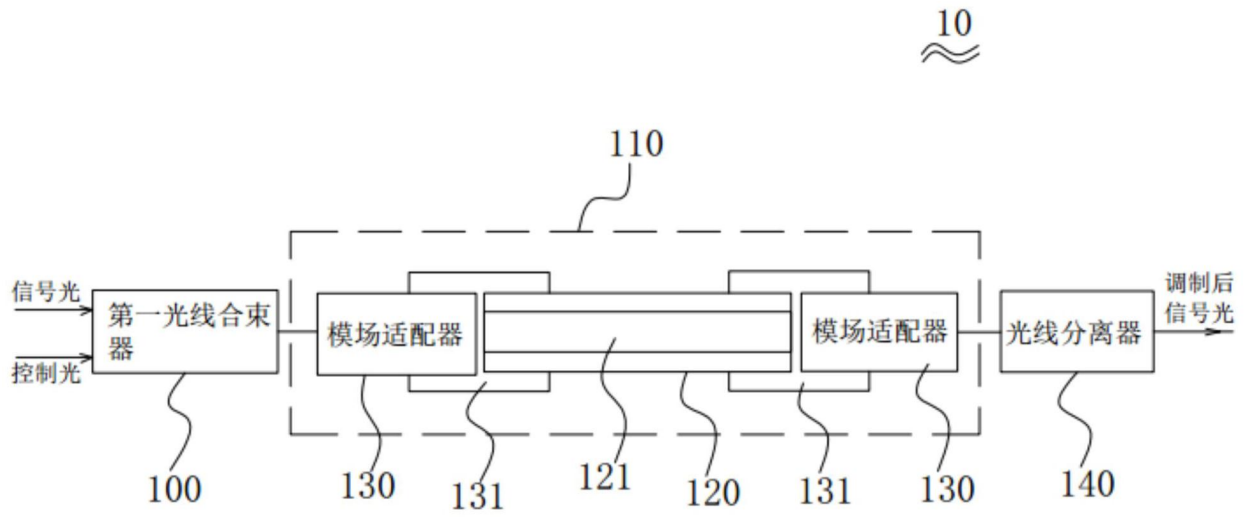


图1

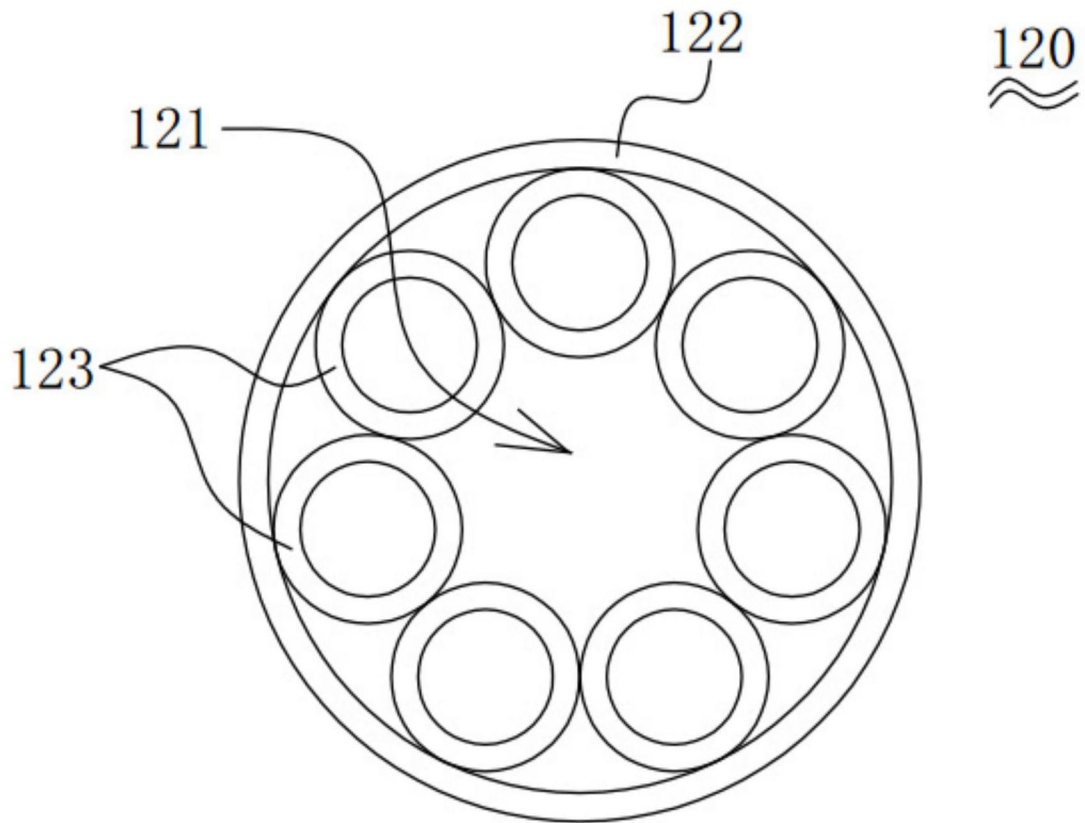


图2

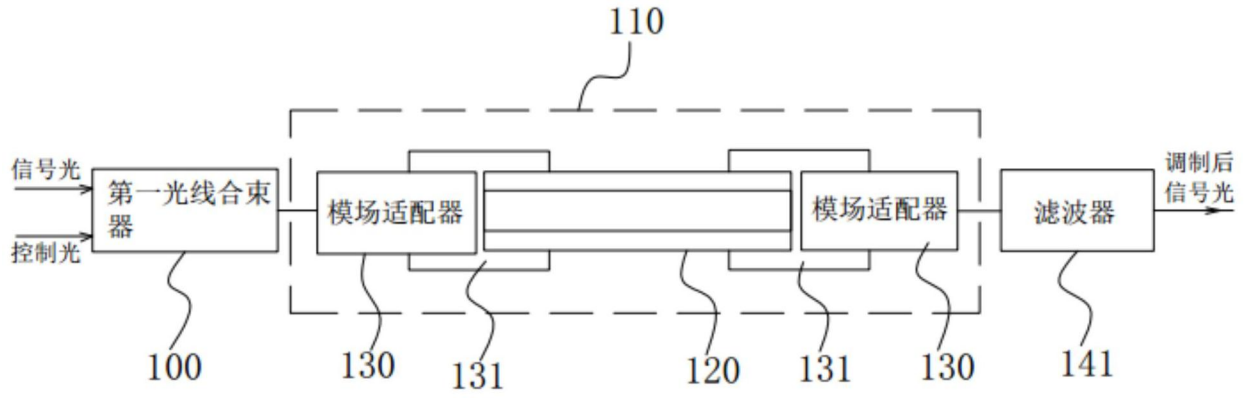


图3

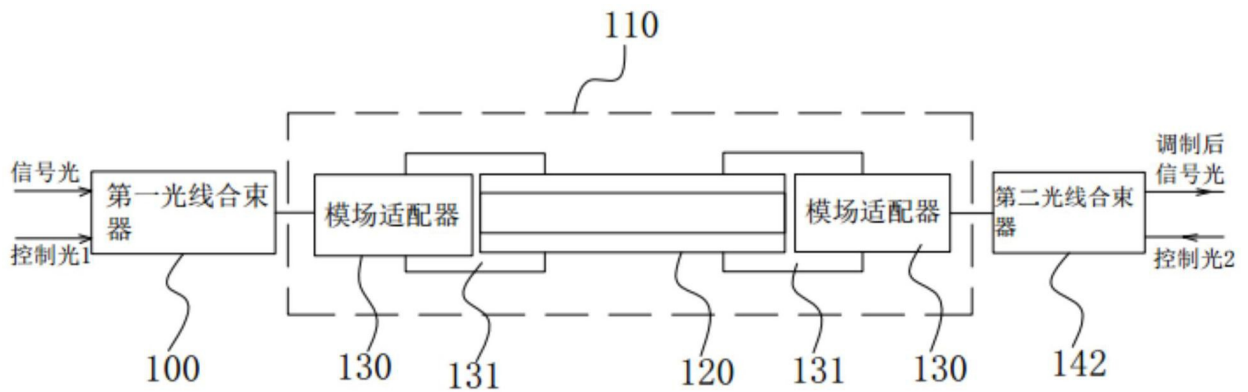


图4

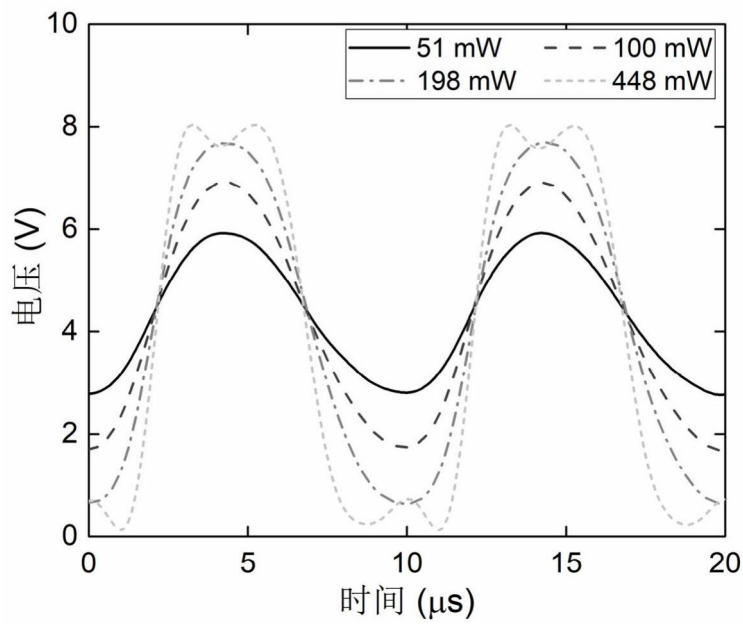


图5

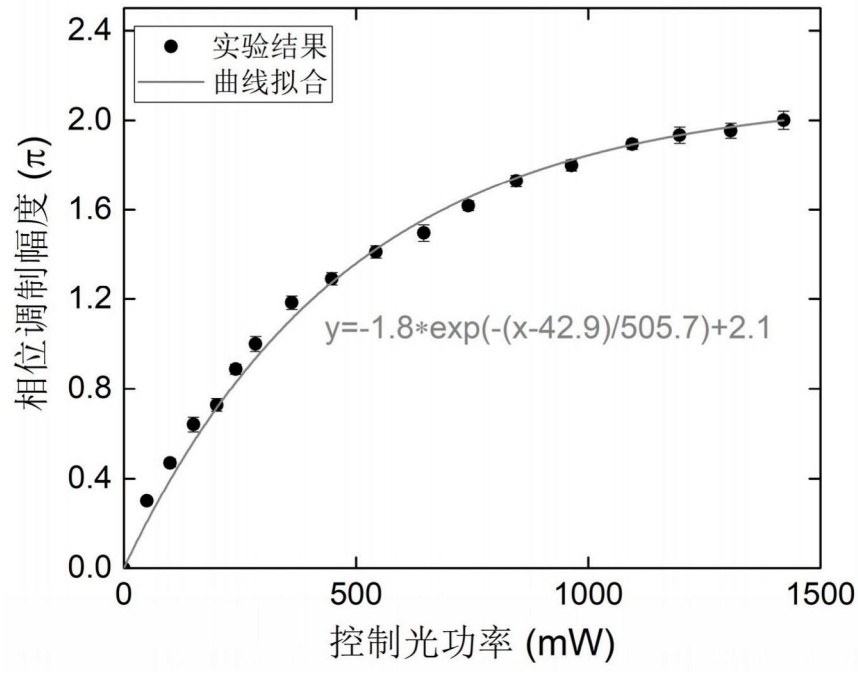


图6