



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115513764 B

(45) 授权公告日 2024.07.19

(21) 申请号 202211122749.4

H01S 3/067 (2006.01)

(22) 申请日 2022.09.15

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 107181159 A, 2017.09.19

申请公布号 CN 115513764 A

CN 202103307 U, 2012.01.04

(43) 申请公布日 2022.12.23

审查员 张思朝

(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 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

专利代理人 双瑞晨

(51) Int.Cl.

H01S 3/1123 (2023.01)

权利要求书2页 说明书8页 附图4页

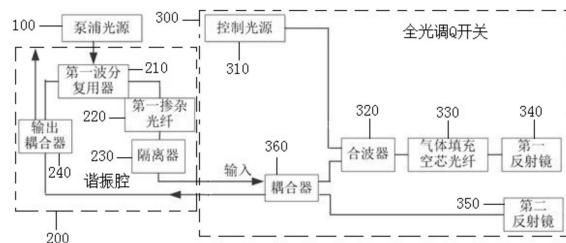
(54) 发明名称

全光调Q开关、全光调Q激光器及其脉冲激光输出方法

(57) 摘要

本发明公开了一种全光调Q开关、全光调Q激光器及其脉冲激光输出方法，全光调Q开关包括：用于产生重频且功率波形可调的控制光的控制光源；用于将接入的腔内激光传输至合波器及第二反射镜以及将干涉后的调制光与腔内激光输出至谐振腔的耦合器；用于将接入的腔内激光与控制光合束后输出至气体填充空芯光纤的合波器；用于在控制光的调控下对合束光进行调制得到调制光并传输至第一反射镜的气体填充空芯光纤；用于将经干涉后的调制光从气体填充空芯光纤与合波器反射至耦合器的第一反射镜；用于将干涉后的腔内激光反射至耦合器的第二反射镜。本发明实现了腔内激光光路的全光纤化，具有工作波段宽、耐受功率高、结构紧凑、插入损耗低的优点。

CN 115513764 B



CN

1.一种全光调Q开关,其特征在于,包括:控制光源、合波器、气体填充空芯光纤、第一反射镜、第二反射镜与耦合器;其中,

所述控制光源与所述合波器连接,用于产生重频且功率波形可调的控制光并传输至所述合波器;

所述耦合器分别与所述合波器以及所述第二反射镜连接,用于将接入的腔内激光分别传输至所述合波器以及所述第二反射镜;

所述合波器分别与所述气体填充空芯光纤以及所述耦合器连接,用于将接入的所述腔内激光与所述控制光合束后输出合束光至所述气体填充空芯光纤;

所述气体填充空芯光纤分别与所述合波器以及所述第一反射镜连接,用于在所述控制光的调控下对所述合束光进行调制得到调制光并将所述调制光传输至所述第一反射镜;

所述第一反射镜用于将经干涉后的所述调制光依次从所述气体填充空芯光纤与所述合波器反射至所述耦合器;

所述第二反射镜用于将经干涉后的所述腔内激光反射至所述耦合器;

所述耦合器还用于将干涉后的所述调制光与所述腔内激光输出至谐振腔;

其中,通过对所述调制光的相位进行调制以对全光调Q开关的损耗进行调制。

2.根据权利要求1所述的全光调Q开关,其特征在于,所述耦合器包括:输入端口、输出端口、第一输入输出端口与第二输入输出端口;其中,

所述输入端口与谐振腔连接,接入谐振腔输出的腔内激光;

所述第一输入输出端口与所述合波器连接,所述第二输入输出端口与所述第二反射镜连接,所述腔内激光经所述第一输入输出端口与所述第二输入输出端口分成两束后分别输出至所述合波器与所述第二反射镜;

所述输出端口与谐振腔连接,所述第一反射镜反射的所述调制光以及所述第二反射镜反射的腔内激光分别经所述第一输入输出端口与所述第二输入输出端口进入至所述耦合器,并从所述输出端口输出至谐振腔。

3.根据权利要求1所述的全光调Q开关,其特征在于,所述气体填充空芯光纤的纤芯导光区域为气体区域,所述气体包括乙炔或甲烷;其中,所述气体的填充压力为0.1-5巴。

4.根据权利要求3所述的全光调Q开关,其特征在于,所述气体填充空芯光纤的长度为1-100厘米,纤芯直径为5-100微米。

5.根据权利要求4所述的全光调Q开关,其特征在于,所述控制光源的输出平均功率大于等于10毫瓦;所述控制光源的工作波长与所述气体填充空芯光纤的工作波长的波长差小于1纳米。

6.根据权利要求1所述的全光调Q开关,其特征在于,所述合波器的合波方式包括波长合波与能量合波;所述合波器的平均耐受功率大于等于100毫瓦。

7.根据权利要求1所述的全光调Q开关,其特征在于,所述第一反射镜与所述第二反射镜的反射率均大于等于50%。

8.一种全光调Q激光器,其特征在于,包括:泵浦光源、谐振腔以及如权利要求1-7任一项所述的全光调Q开关;其中,

所述泵浦光源与所述谐振腔连接,用于产生泵浦光并传输至所述谐振腔;

所述谐振腔分别与所述泵浦光源以及所述全光调Q开关连接,用于根据所述泵浦光输

出腔内激光至所述全光调Q开关；

所述全光调Q开关用于通过所述控制光对所述合束光进行调制后得到调制光，并将所述调制光与所述腔内激光经干涉后输出至所述谐振腔，以对所述谐振腔的损耗进行调制。

9. 根据权利要求8所述的全光调Q激光器，其特征在于，所述谐振腔包括：第一波分复用器、第一掺杂光纤、隔离器与输出耦合器；其中，

所述第一波分复用器分别与所述泵浦光源、所述第一掺杂光纤以及所述输出耦合器连接；

所述第一掺杂光纤分别与所述第一波分复用器以及所述隔离器连接；

所述隔离器与所述耦合器的输入端连接；

所述输出耦合器与所述耦合器的输出端连接；

或者，所述谐振腔包括：高反FBG、第二波分复用器、第二掺杂光纤与低反FBG；其中，

所述第二波分复用器分别与所述泵浦光源、所述高反FBG以及所述的第二掺杂光纤连接；

所述第二掺杂光纤与所述耦合器的输入端连接；

所述低反FBG与所述耦合器的输出端连接。

10. 一种应用于如权利要求8所述的全光调Q激光器的脉冲激光输出方法，其特征在于，包括：

泵浦光源产生的泵浦光经所述谐振腔后输出腔内激光至所述耦合器并经所述耦合器分两路分别传输至所述合波器以及所述第二反射镜；

所述控制光源产生控制光并传输至所述合波器；

所述合波器将所述控制光与所述腔内激光合束后输出合束光至所述气体填充空芯光纤，并经所述气体填充空芯光纤后输出调制光；

通过所述第一反射镜与所述第二反射镜将经干涉后的所述调制光与所述腔内激光反射至所述耦合器并从所述耦合器输出至所述谐振腔，以对所述谐振腔的损耗进行调制，并输出脉冲激光。

全光调Q开关、全光调Q激光器及其脉冲激光输出方法

技术领域

[0001] 本发明涉及激光器件技术领域，尤其涉及的是一种全光调Q开关、全光调Q激光器及其脉冲激光输出方法。

背景技术

[0002] 在调Q脉冲激光器在材料加工、激光雷达测距、激光诱导击穿光谱学、医疗等领域具有重要作用。调Q脉冲激光器的基本原理是对激光谐振腔内的损耗进行调制，当Q开关关闭、腔内损耗高时，无法达到激光振荡阈值，在泵浦源激励下上能级的粒子数逐渐累积，此时打开Q开关，腔内损耗降低，上能级的反转粒子数远远高于激光振荡阈值，迅速通过受激辐射跃迁至下能级，储存的能量以短脉冲形式释放，从而获得高峰值功率的短脉冲激光输出。

[0003] 主动调Q光纤激光器以其重频可调、结构紧凑、易操作维护、输出稳定等优势，已在工业打标等场景获得广泛应用。目前调Q开关主要采用尾纤输出型的电光、声光调制器，这类电调制器件具有以下缺陷：紧凑性、插入损耗与全光纤器件相比较差；电光、声光晶体耐受功率相对较低，限制了激光器峰值功率的提高；工作波段较窄。

[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一种全光调Q开关、全光调Q激光器及其脉冲激光输出方法，以解决现有调Q开关采用尾纤输出型的电光、声光调制器相对全光纤器件紧凑性、插入损耗存在差距、耐受功率较低、工作波段较窄的问题。

[0006] 本发明的技术方案如下：

[0007] 一种全光调Q开关，其包括：控制光源、合波器、气体填充空芯光纤、第一反射镜、第二反射镜与耦合器；其中，

[0008] 所述控制光源与所述合波器连接，用于产生重频且功率波形可调的控制光并传输至所述合波器；

[0009] 所述耦合器分别与所述合波器以及所述第二反射镜连接，用于将接入的腔内激光分别传输至所述合波器以及所述第二反射镜；

[0010] 所述合波器分别与所述气体填充空芯光纤以及所述耦合器连接，用于将接入的所述腔内激光与所述控制光合束后输出合束光至所述气体填充空芯光纤；

[0011] 所述气体填充空芯光纤分别与所述合波器以及所述第一反射镜连接，用于在所述控制光的调控下对所述合束光进行调制得到调制光并将所述调制光传输至所述第一反射镜；

[0012] 所述第一反射镜用于将经干涉后的所述调制光依次从所述气体填充空芯光纤与所述合波器反射至所述耦合器；

[0013] 所述第二反射镜用于将经干涉后的所述腔内激光反射至所述耦合器；

- [0014] 所述耦合器还用于将干涉后的所述调制光与所述腔内激光输出至谐振腔；
- [0015] 其中，通过对所述调制光的相位进行调制以对全光调Q开关的损耗进行调制。
- [0016] 本发明的进一步设置，所述耦合器包括：输入端口、输出端口、第一输入输出端口与第二输入输出端口；其中，
- [0017] 所述输入端口与谐振腔连接，接入谐振腔输出的腔内激光；
- [0018] 所述第一输入输出端口与所述合波器连接，所述第二输入输出端口与所述第二反射镜连接，所述腔内激光经所述第一输入输出端口与所述第二输入输出端口分成两束后分别输出至所述合波器与所述第二反射镜；
- [0019] 所述输出端口与谐振腔连接，所述第一反射镜反射的所述调制光以及所述第二反射镜反射的腔内激光分别经所述第一输入输出端口与所述第二输入输出端口进入至所述耦合器，并从所述输出端口输出至谐振腔。
- [0020] 本发明的进一步设置，所述气体填充空芯光纤的纤芯导光区域为气体区域，所述气体包括乙炔或甲烷；其中，所述气体的填充压力为0.1-5巴。
- [0021] 本发明的进一步设置，所述气体填充空芯光纤的长度为1-100厘米，纤芯直径为5-100微米。
- [0022] 本发明的进一步设置，所述控制光源的输出平均功率大于等于10毫瓦；所述控制光源的工作波长与所述气体填充空芯光纤的工作波长的波长差小于1纳米。
- [0023] 本发明的进一步设置，所述合波器的合波方式包括波长合波与能量合波；所述合波器的平均耐受功率大于等于100毫瓦。
- [0024] 本发明的进一步设置，所述第一反射镜与所述第二反射镜的反射率均大于等于50%。
- [0025] 基于同样的发明构思，本发明还提供了一种全调Q激光器，其包括：泵浦光源、谐振腔以及如上述所述的全光调Q开关；其中，
- [0026] 所述泵浦光源与所述谐振腔连接，用于产生泵浦光并传输至所述谐振腔；
- [0027] 所述谐振腔分别与所述泵浦光源以及所述全光调Q开关连接，用于根据所述泵浦光输出腔内激光至所述全光调Q开关；
- [0028] 所述全光调Q开关用于通过所述控制光对所述合束光进行调制后得到调制光，并将所述调制光与所述腔内激光经干涉后输出至所述谐振腔，以对所述谐振腔的损耗进行调制。
- [0029] 本发明的进一步设置，所述谐振腔包括：第一波分复用器、第一掺杂光纤、隔离器与输出耦合器；其中
- [0030] 所述第一波分复用器分别与所述泵浦光源、所述第一掺杂光纤以及所述输出耦合器连接；
- [0031] 所述第一掺杂光纤分别与所述第一波分复用器以及所述隔离器连接；
- [0032] 所述隔离器与所述耦合器的输入端连接；
- [0033] 所述输出耦合器与所述耦合器的输出端连接；
- [0034] 或者，所述谐振腔包括：高反光纤布拉格光栅、第二波分复用器、第二掺杂光纤与低反光纤布拉格光栅；其中，
- [0035] 所述第二波分复用器分别与所述泵浦光源、所述高反布拉格光栅以及所述的第二

掺杂光纤连接；

[0036] 所述第二掺杂光纤与所述耦合器的输入端连接；

[0037] 所述低反布拉格光栅与所述耦合器的输出端连接。

[0038] 基于同样的发明构思，本发明还提供了一种应用于如上述所述的全光主动调Q激光器的脉冲激光输出方法，其包括：

[0039] 所述泵浦光源产生的泵浦光经所述谐振腔后输出腔内激光至所述耦合器并经所述耦合器分两路分别传输至所述合波器以及所述第二反射镜；

[0040] 所述控制光源产生控制光并传输至所述合波器；

[0041] 所述合波器将所述控制光与所述腔内激光合束后输出合束光至所述气体填充空芯光纤，并经所述气体填充空芯光纤后输出调制光；

[0042] 通过所述第一反射镜与所述第二反射镜将经干涉后的所述调制光与所述腔内激光反射至所述耦合器并从所述耦合器输出至所述谐振腔，以对所述谐振腔的损耗进行调制，并输出脉冲激光。

[0043] 本发明所提供的一种全光调Q开关、全光调Q激光器及其脉冲激光输出方法，通过泵浦光源产生的泵浦光经谐振腔后输出腔内激光至耦合器并经耦合器分两路分别传输至合波器以及第二反射镜，同时控制光源产生控制光并传输至合波器，其后合波器将控制光与腔内激光合束后输出合束光至气体填充空芯光纤，并经气体填充空芯光纤后输出调制光，其后通过第一反射镜与第二反射镜将经干涉后的调制光与腔内激光反射至耦合器并从耦合器输出至谐振腔，以对谐振腔的损耗进行调制，并输出脉冲激光。可见，本发明提供的全光调Q开关为全光纤结构，保证了谐振腔的全光纤化，以使光纤激光器结构更加紧凑、插入损耗更低。并且，全光调Q开关可以工作于气体填充空芯光纤导光波段内没有填充气体吸收线的任意波长，不受传统电光、声光晶体材料吸收和低损伤阈值的影响，工作波段可以覆盖从可见光到中红外波段，不仅工作波段宽，且耐受光功率高。

附图说明

[0044] 为了更清楚的说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域普通人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图示出的结构获得其他的附图。

[0045] 图1是本发明一个实施例中全光调Q激光器的结构示意图。

[0046] 图2是本发明中控制光源的功率与全光调Q开关的输出功率变化图。

[0047] 图3是本发明一个实施例中气体填充空芯光纤的截面示意图。

[0048] 图4是本发明一个实施例中90kHz重频下的输出激光脉冲图。

[0049] 图5是本发明一个实施例中不同重频下的输出激光脉冲图。

[0050] 图6是本发明中另一实施例中全光调Q激光器的结构示意图。

[0051] 图7是本发明中全光调Q激光器的脉冲激光输出方法的流程示意图。

[0052] 附图中各标记：100、泵浦光源；200、谐振腔；210、第一波分复用器；220、第一掺杂光纤；230、隔离器；240、输出耦合器；250、高反FBG；260、第二波分复用器；270、第二掺杂光纤；280、低反FBG；300、全光调Q开关；310、控制光源；320、合波器；330、气体填充空芯光纤；

340、第一反射镜；350、第二反射镜；360、耦合器。

具体实施方式

[0053] 本发明提供一种全光调Q开关、全光调Q激光器及其脉冲激光输出方法，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。

[0054] 在实施方式和申请专利范围内，除非文中对于冠词有特别限定，否则“一”、“一个”、“所述”和“该”也可包括复数形式。若本发明实施例中有涉及“第一”、“第二”等的描述，则该“第一”、“第二”等的描述仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示其相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此，限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。

[0055] 应该进一步理解的是，本发明的说明书中使用的措辞“包括”是指存在所述特征、整数、步骤、操作、元件和/或组件，但是并不排除存在或添加一个或多个其他特征、整数、步骤、操作、元件、组件和/或它们的组。应该理解，当我们称元件被“连接”或“耦接”到另一元件时，它可以直接连接或耦接到其他元件，或者也可以存在中间元件。此外，这里使用的“连接”或“耦接”可以包括无线连接或无线耦接。这里使用的措辞“和/或”包括一个或更多个相关联的列出现项的全部或任一单元和全部组合。

[0056] 本技术领域技术人员可以理解，除非另外定义，这里使用的所有术语（包括技术术语和科学术语），具有与本发明所属领域中的普通技术人员的一般理解相同的意义。还应该理解的是，诸如通用字典中定义的那些术语，应该被理解为具有与现有技术的上下文中的意义一致的意义，并且除非像这里一样被特定定义，否则不会用理想化或过于正式的含义来解释。

[0057] 另外，各个实施例之间的技术方案可以相互结合，但是必须是以本领域普通技术人员能够实现为基础，当技术方案的结合出现相互矛盾或无法实现时应当认为这种技术方案的结合不存在，也不在本发明要求的保护范围之内。

[0058] 请同时参阅图1至图6，本发明提供了一种全光调Q激光器的较佳实施例。

[0059] 如图1所示，本发明提供了一种全光主动调Q激光器，其包括：泵浦光源100、谐振腔200以及全光调Q开关300。其中，所述泵浦光源100与所述谐振腔200连接，用于产生泵浦光并传输至所述谐振腔200；所述谐振腔200分别与所述泵浦光源100以及所述全光调Q开关300连接，用于根据所述泵浦光输出腔内激光至所述全光调Q开关300；所述全光调Q开关300用于对所述腔内激光进行调制以对所述谐振腔200的损耗进行调制。

[0060] 具体地，所述普泵浦光源100为半导体激光二极管或光纤激光器，工作波长为980nm。所述泵浦光源100产生的泵浦光经所述谐振腔200后输出腔内激光至所述全光调Q开关300，其后所述全光调Q开关300对所述腔内激光进行调制以对所述谐振腔200的损耗进行调制，从而使所述谐振腔200输出脉冲激光。

[0061] 请继续参阅图1，所述全光调Q开关300包括：控制光源310、合波器320、气体填充空芯光纤330、第一反射镜340、第二反射镜350与耦合器360；其中，所述控制光源310与所述合波器320连接，用于产生重频且功率波形可调的控制光并传输至所述合波器320；所述耦合器360分别与所述合波器320以及所述第二反射镜350连接，用于将接入的腔内激光分别传

输至所述合波器320以及所述第二反射镜350；所述合波器320分别与所述气体填充空芯光纤330以及所述耦合器360连接，用于将接入的所述腔内激光与所述控制光合束后输出合束光至所述气体填充空芯光纤330；所述气体填充空芯光纤330分别与所述合波器320以及所述第一反射镜340连接，用于在所述控制光的调控下对所述合束光进行调制得到调制光并将所述调制光传输至所述第一反射镜340；所述第一反射镜340用于将经干涉后的所述调制光依次从所述气体填充空芯光纤330与所述合波器320反射至所述耦合器360；所述第二反射镜350用于将经干涉后的所述腔内激光反射至所述耦合器360；所述耦合器360还用于将干涉后的所述调制光与所述腔内激光输出至谐振腔200；其中，通过对所述调制光的相位进行调制以对全光调Q开关300的损耗进行调制。

[0062] 具体地，所述控制光源310为功率或波长可调谐激光器，所述控制光源310的功率或波长可以调制，调制的方式包括内部调制、外部调制等方式。在一种实现方式中，所述控制光源310采用外部调制的工作波长为1530nm的激光器，以产生重频、功率波形可调的控制光。

[0063] 所述气体填充空芯光纤330内填充有能够吸收控制光能量的气体，经过快速驰豫过程释放能量，引起填充气体的温度和折射率变化从而调制通过所述气体填充空芯光纤330的激光相位，并经过干涉仪(迈克尔逊干涉仪)的干涉后实现全光调Q开关300的损耗调制。因全光调Q开关300的损耗变化与所述控制光源310的强度变化一致，即所述控制光源310功率或波长的改变能够引起所述气体填充空芯光纤330中激光相位的变化，进而实现对全光调Q开关300的损耗进行调制，即实现光控调Q开关。

[0064] 具体实施时，所述泵浦光源100产生的泵浦光经所述谐振腔200后输出腔内激光至所述耦合器360并经所述耦合器360分两路分别传输至所述合波器320以及所述第二反射镜350，同时所述控制光源310产生控制光并传输至所述合波器320，其后所述合波器320将控制光与腔内激光合束后输出合束光至所述气体填充空芯光纤330，并经所述气体填充空芯光纤330后输出调制光，其后通过所述第一反射镜340与所述第二反射镜350将经干涉后的调制光与腔内激光反射至所述耦合器360并从所述耦合器360输出至所述谐振腔200，以对所述谐振腔200的损耗进行调制，并输出脉冲激光。其中，经过干涉后的两路激光的激光强度与两路激光的相位差有关，所述耦合器360输出的激光的强度变化能够改变所述谐振腔200内的损耗大小，从而调整Q值。

[0065] 另外，所述全光调Q开关300的损耗变化与所述控制光源310的强度变化一致。如图2所示，控制光源310输出重频5kHz、占空比50%的脉冲光，全光调Q开关300的输出同样表现为重频5kHz、占空比50%的脉冲，证明了可以通过调制控制光的功率对全光调Q开关300的损耗进行调制，实现了光控调Q开关，其中全光调Q开关300的响应时间常数约4.5μs。

[0066] 可见，本发明提供的全光调Q开关300为全光纤结构，实现了光控调Q开关，以光控调Q方式替换了传统的电控调Q方式，保证了谐振腔200激光光路的全光纤化，谐振腔200内无任何空间光学元件，以使光纤激光器结构更加紧凑、插入损耗更低、抗振动且光束质量好。并且，全光调Q开关300可以工作于气体填充空芯光纤330导光波段内没有填充气体吸收线的任意波长，不受传统电光、声光晶体材料吸收和低损伤阈值的影响，工作波段可以覆盖从可见光到中红外波段，不仅工作波段宽(电控调Q方式的工作波段集中在1064nm和1550nm附件)，且耐受光功率高，可用于主动调Q激光器中，产生脉宽、重频可调的高功率脉冲激光，

且因全光调Q开关300为光控开关,所述控制光源310与所述合波器320其之间采用光纤方式连接,可以实现光电分离,从而提高了抗电磁干扰性能。

[0067] 请参阅图1,在一个实施例的进一步地实施方式中,所述耦合器360包括:输入端口、输出端口、第一输入输出端口与第二输入输出端口;其中,所述输入端口与谐振腔200连接,接入谐振腔200输出的腔内激光;所述第一输入输出端口与所述合波器320连接,所述第二输入输出端口与所述第二反射镜350连接,所述腔内激光经所述第一输入输出端口与所述第二输入输出端口分成两束后分别输出至所述合波器320与所述第二反射镜350;所述输出端口与谐振腔200连接,所述第一反射镜340反射的所述调制光以及所述第二反射镜350反射的腔内激光分别经所述第一输入输出端口与所述第二输入输出端口进入至所述耦合器360,并从所述输出端口输出至谐振腔200。

[0068] 具体地,所述耦合器360为四端口器件,包括输入端口、输出端口、第一输入输出端口与第二输入输出端口,所述谐振腔200输出的腔内激光经所述输入端口进入全光调Q开关300并经所述第一输入输出端口与所述第二输入输出端口分两路分别输出至所述合波器320与所述第二反射镜350,其后其中一路经所述气体填充空芯光纤330后,输出调制光至所述第一反射镜340,另一路直接到达所述第二反射镜350,其后两路经干涉后激光从所述第一反射镜340与所述第二反射镜350反射至所述第一输入输出端口与所述第二输入输出端口,并经所述输出端口输出至所述谐振腔200。其中,所述输出端口输出的激光的强度变化,能够改变所述谐振腔200内的损耗以及Q值。

[0069] 请参阅图1与图3,在一个实施例的进一步地实施方式中,所述气体填充空芯光纤330的纤芯导光区域为气体区域,所述气体包括乙炔或甲烷;其中,所述气体的填充压力为0.1-5巴。

[0070] 具体地,所述气体填充空芯光纤330内填充有能够吸收光能量的气体,气体吸收线对准控制光源310波长而远离腔内激光波长,气体吸收控制光源310的能量后通过光热效应释放热量,引起所述气体填充空芯光纤330中气体温度和折射率变化,进而改变通过气体填充空芯光纤330的激光相位。

[0071] 其中,填充气体在1200-1700nm波长范围内具有吸收强度不低于 $10-24\text{cm}^{-1}/(\text{molecule}\cdot\text{cm}^{-2})$ 的吸收线,气体的种类可以是但不限于是乙炔、甲烷等。其中,气体的填充压力为0.1-5bar,例如,可以是3bar。

[0072] 以填充的气体为乙炔为例,当所述气体填充空芯光纤330内填充的气体为乙炔时,乙炔的填充浓度大于90%,填充压力为1atm(1.01325巴),所述气体填充空芯光纤330与单模光纤通过机械熔接,所述乙炔气体被气密封于所述气体填充空芯光纤330中。

[0073] 其中,所述气体填充空芯光纤330的长度为1-100厘米,例如可以是10厘米、20厘米、50厘米,纤芯直径为5-100微米,例如可以是10微米、20微米、50微米。

[0074] 所述控制光源310的功率或波长的改变能够改变乙炔吸收的光能量。当所述控制光源310的激光波长1530.371nm对准乙炔的P(9)吸收线时,乙炔气体吸收控制光能量,经过快速驰豫过程释放能量,引起乙炔气体温度和折射率变化,从而调制通过所述气体填充空芯光纤330的激光相位输出调制光,并进一步经干涉仪后实现谐振腔200内的损耗调制。可见,全光调Q开关300基于气体分子光热效应实现,并得益于气体填充空芯光纤330的宽导光波段以及气体的窄带吸收特性,全光调Q开关300可以工作于气体填充空芯光纤330导光波

段内没有填充气体吸收线的任意波长,不受传统电光、声光晶体材料吸收和低损伤阈值的影响,工作波段可以覆盖从可见光到中红外波段,且耐受光功率高,有利于扩展调Q激光器的工作波长范围、提高调Q激光器的峰值功率。

[0075] 在一个实施例的进一步地实施方式中,所述控制光源310的输出平均功率大于等于10毫瓦;所述控制光源310的工作波长与所述气体填充空芯光纤330的工作波长的波长差小于1纳米。

[0076] 具体地,所述控制光源310的平均功率大于10mW,以满足大功率输出,且所述控制光源310的工作波长靠近所述气体填充空芯光纤330的吸收线,例如,所述控制光源310的工作波长与所述气体填充空芯光纤330的工作波长的波长差小于1纳米,以使所述气体填充空芯光纤330内的气体能够吸收到光能量。

[0077] 在一个实施例的进一步地实施方式中,所述合波器320的合波方式包括波长合波与能量合波;所述合波器320的平均耐受功率大于等于100毫瓦。

[0078] 具体地,所述合波器320为波分复用器或者泵浦合束器,所述合波器320的合波方式包括但不限于波长合波和能量合波,能够将所述控制光源310输出的控制光与所述谐振腔200输出的腔内激光合为一路后输出。其中,所述合波器320的平均耐受功率大于等于100毫瓦,耐受功率高。

[0079] 在一个实施例的进一步地实施方式中,所述第一反射镜340与所述第二反射镜350的反射率均大于等于50%。

[0080] 具体地,所述第一反射镜340与所述第二反射镜350均为带尾纤的镀膜反射镜或法拉第旋转镜,所述第一反射镜340与所述第二反射镜350的反射率均较高,在50%以上,以使所述调制光与所述腔内激光这两路激光反射至所述耦合器360的能量足够。在一种实现方式中,所述第一反射镜340与所述第二反射镜350的反射率均在90%以上。

[0081] 请参阅图1,在一些实施例中,所述谐振腔200包括:第一波分复用器210、第一掺杂光纤220、隔离器230与输出耦合器240;其中所述第一波分复用器210分别与所述泵浦光源100、所述第一掺杂光纤220以及所述输出耦合器240连接;所述第一掺杂光纤220分别与所述第一波分复用器210以及所述隔离器230连接;所述隔离器230与所述耦合器360的输入端连接;所述输出耦合器240与所述耦合器360的输出端连接。

[0082] 具体地,所述第一波分复用器210、第一掺杂光纤220、隔离器230、输出耦合器240与所述全光调Q开关300构成一环型激光谐振腔200,可通过所述控制光源310来调制品质因数,即调制谐振腔200的损耗。

[0083] 所述第一掺杂光纤220为增益光纤,增益光纤为稀土离子掺杂光纤,可以是但不限于掺镱光纤、掺铒光纤、掺铒光纤、铒镱共掺光纤、掺铥光纤、掺钬光纤。

[0084] 以所述第一掺杂光纤220为掺铒光纤为例。当所述泵浦光源100输出的泵浦光经所述第一波分复用器210(工作波长980/1550nm)后进入所述谐振腔200,被所述掺铒光纤中的铒离子吸收,铒离子由低能级跃迁到高能级,粒子数发生反转。通过所述控制光源310使得全光调Q开关300处于高损耗状态,谐振腔200内的损耗大于增益,无法达到激光振荡条件,因此上能级粒子不断积累。其后通过改变所述控制光源310的输出功率,使得全光调Q开关300处于低损耗状态,上能级粒子数此时远高于激光振荡阈值,因此迅速产生短脉冲激光,激光能量通过所述输出耦合器240(1:99)离开所述谐振腔200,形成短脉冲输出。如图4所

示,图4为90kHz重频下的激光脉冲输出图,由图4可知,脉冲序列清晰稳定,脉宽约1.4μs。如图5所示,图5为不同调制频率下的脉冲输出,在10kHz-90kHz频率下均为稳定的调Q脉冲,可见脉冲输出稳定,其中脉冲的重频由控制光源310决定。

[0085] 请参阅图6,在一些实施例中,所述谐振腔200包括:高反FBG250(光纤布拉格光栅)、第二波分复用器260、第二掺杂光纤270与低反FBG280;其中,所述第二波分复用器260分别与所述泵浦光源100、所述高反FBG250以及所述的第二掺杂光纤270连接;所述第二掺杂光纤270与所述耦合器360的输入端连接;所述低反FBG280与所述耦合器360的输出端连接。

[0086] 具体地,所述高反FBG250、第二波分复用器260、第二掺杂光纤270、低反FBG280与所述全光调Q开关300构成基于光纤布拉格光栅的线型激光谐振腔200,可通过所述控制光源310来调制品质因数,即调制谐振腔200的损耗,线型激光谐振腔200的主动调Q的原理与环型激光谐振腔200的原理相同,因而不再赘述。

[0087] 请参阅图7,在一些实施例中,本发明还提供了一种应用于如上述所述的全光主动调Q激光器的脉冲激光输出方法,其包括以下步骤:

[0088] S100、所述泵浦光源产生的泵浦光经所述谐振腔后输出腔内激光至所述耦合器并经所述耦合器分两路分别传输至所述合波器以及所述第二反射镜;具体如一种全光主动调Q激光器的实施例所述,在此不再赘述。

[0089] S200、所述控制光源产生控制光并传输至所述合波器;具体如一种全光主动调Q激光器的实施例所述,在此不再赘述。

[0090] S300、所述合波器将所述控制光与所述腔内激光合束后输出合束光至所述气体填充空芯光纤,并经所述气体填充空芯光纤后输出调制光;具体如一种全光主动调Q激光器的实施例所述,在此不再赘述。

[0091] S400、通过所述第一反射镜与所述第二反射镜将经干涉后的所述调制光与所述腔内激光反射至所述耦合器并从所述耦合器输出至所述谐振腔,以对所述谐振腔的损耗进行调制,并输出脉冲激光。具体如一种全光主动调Q激光器的实施例所述,在此不再赘述。

[0092] 综上所述,本发明所提供的一种全光调Q开关、全光调Q激光器及其脉冲激光输出方法,具有以下有益效果:

[0093] 全光调Q开关为全光纤结构,保证了谐振腔的全光纤化,以使光纤激光器结构更加紧凑、插入损耗更低;

[0094] 全光调Q开关可以工作于气体填充空芯光纤导光波段内没有填充气体吸收线的任意波长,不受传统电光、声光晶体材料吸收和低损伤阈值的影响,工作波段可以覆盖从可见光到中红外波段,不仅工作波段宽,且耐受光功率高,可用于主动调Q激光器中,产生脉宽、重频可调的高功率脉冲激光;

[0095] 全光调Q开关为光控开关,所述光控光源与所述合波器其之间采用光纤方式连接,可以实现光电分离,从而提高了抗电磁干扰性能。

[0096] 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。

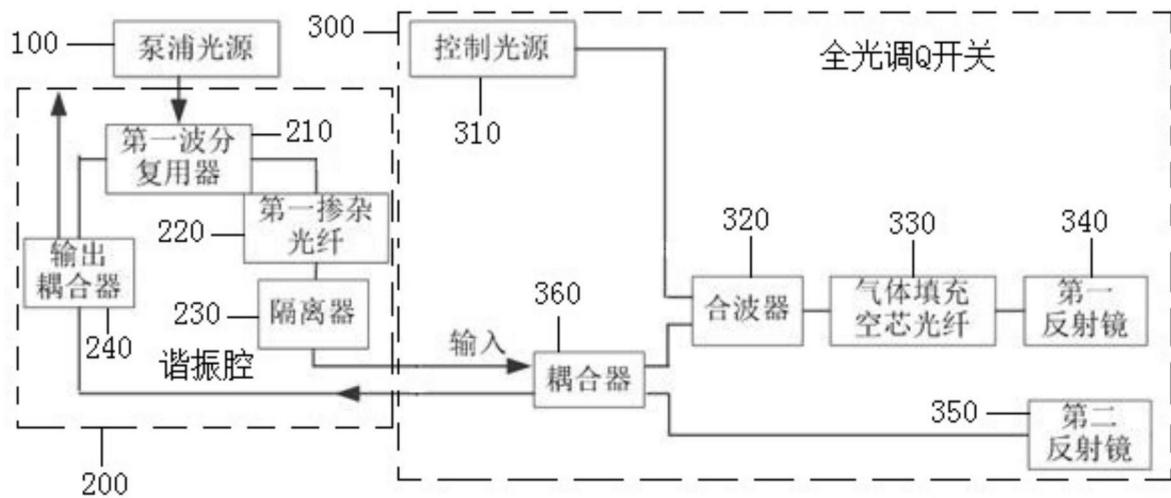


图1

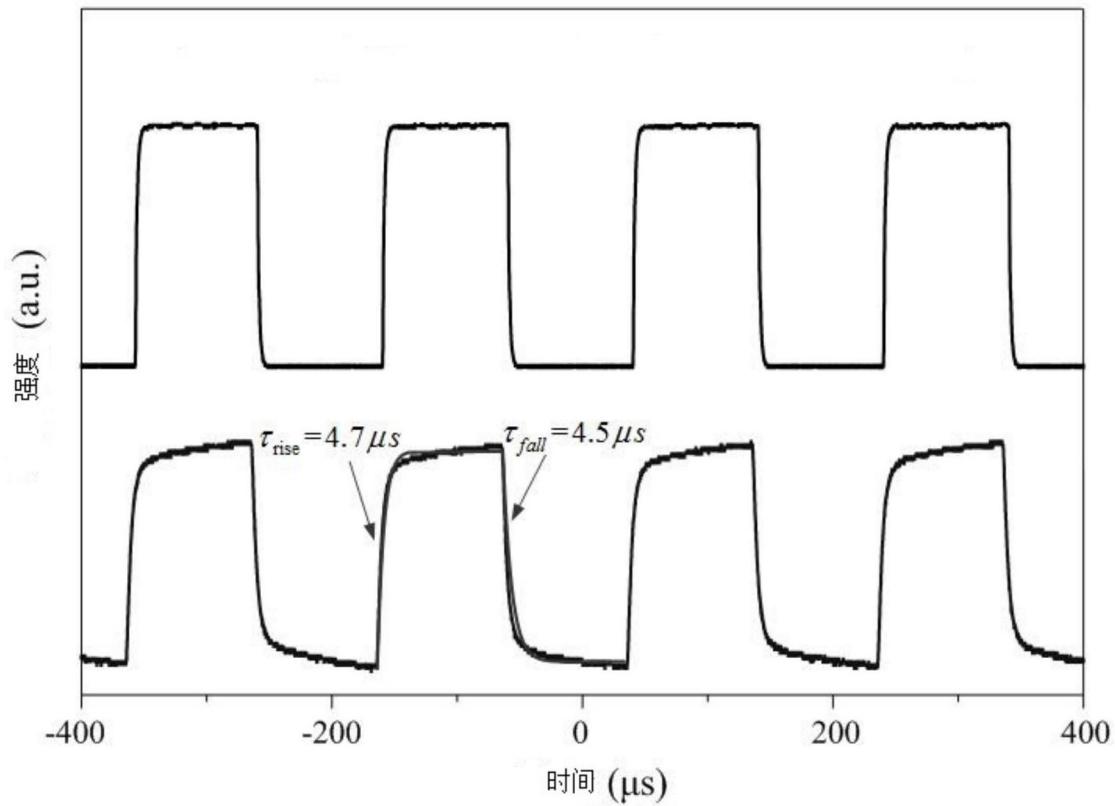


图2

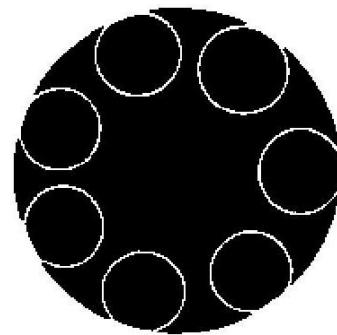


图3

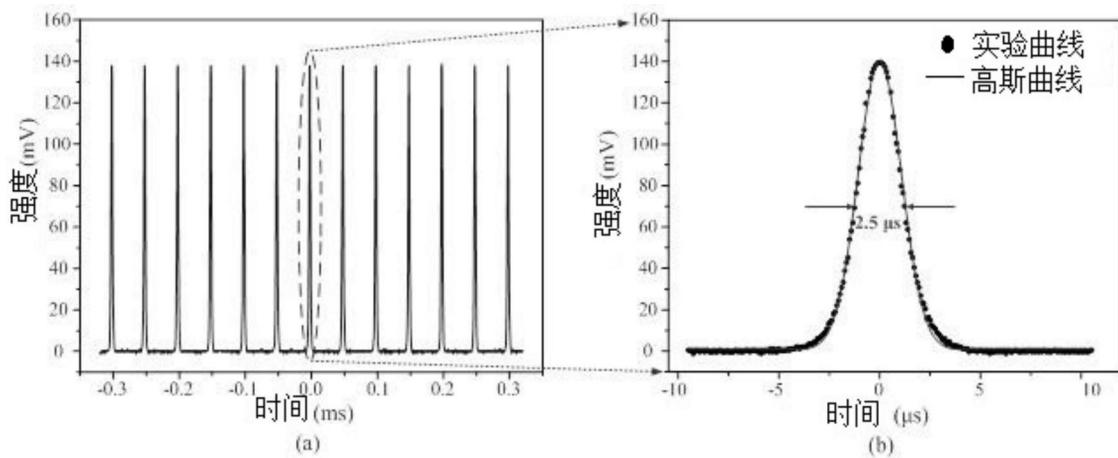


图4

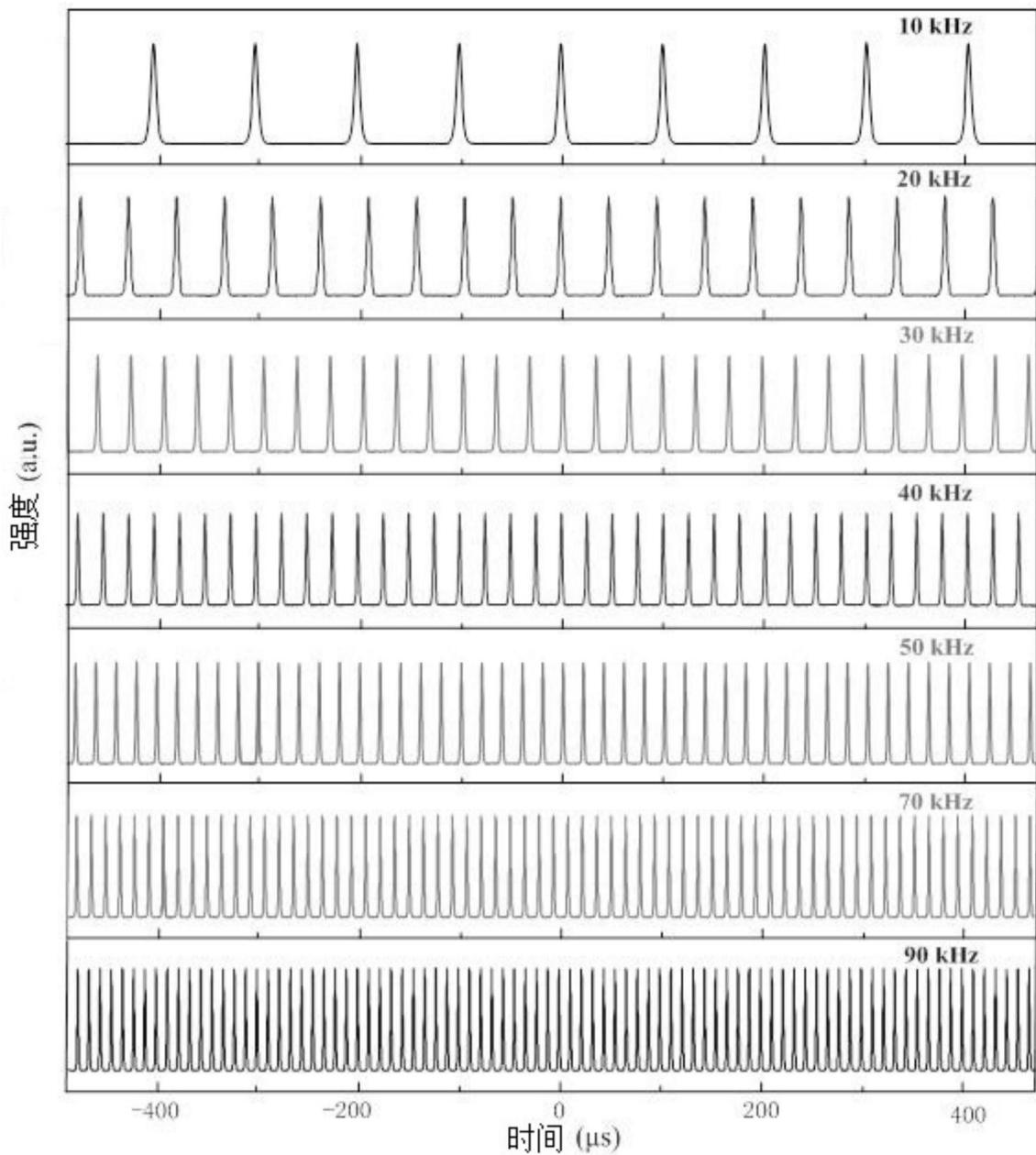


图5

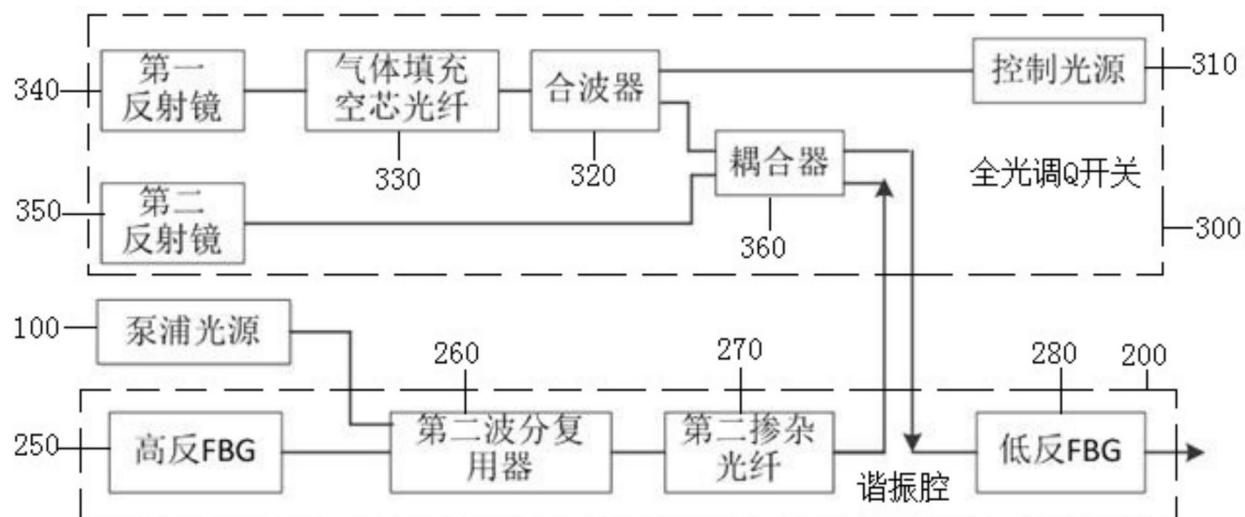


图6

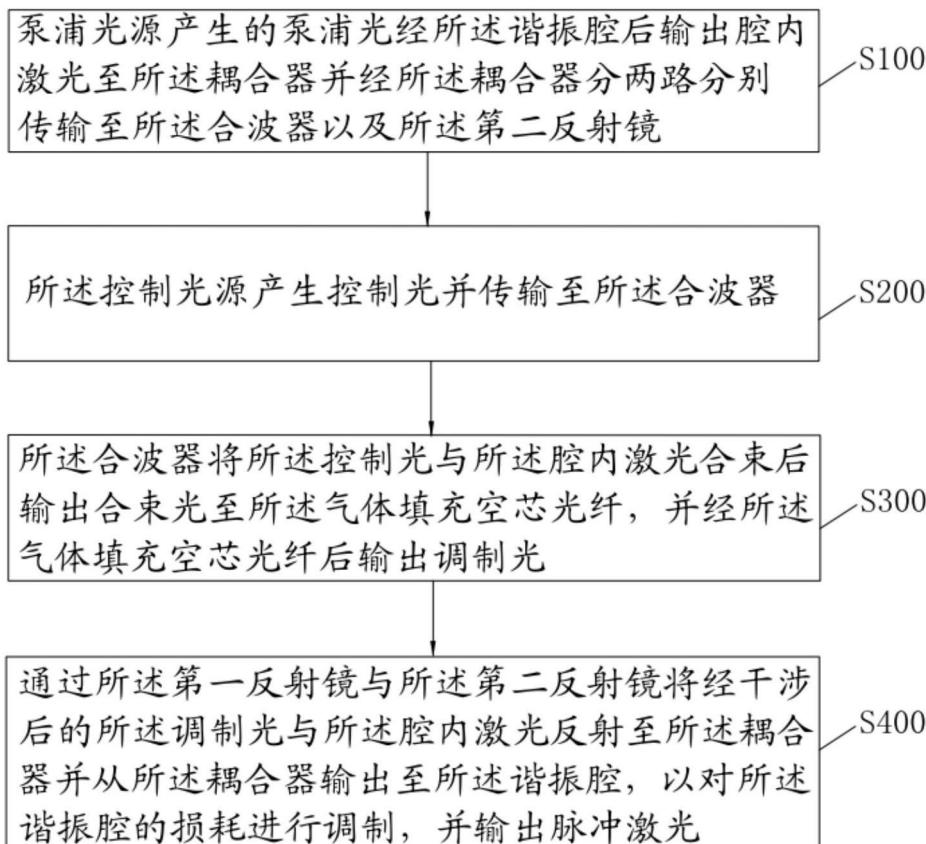


图7