



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112003115 B

(45) 授权公告日 2024.05.24

(21) 申请号 202010844443.4

CN 103247934 A, 2013.08.14

(22) 申请日 2020.08.20

CN 107465068 A, 2017.12.12

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 212435026 U, 2021.01.29

申请公布号 CN 112003115 A

US 2005141077 A1, 2005.06.30

WO 2020155696 A1, 2020.08.06

(43) 申请公布日 2020.11.27

房鸿. 基于光子晶体光纤的多波长环形激光器. 《深圳大学学报(理工版)》. 2012, 全文.

(73) 专利权人 广东科学技术职业学院

Silvia Diaz. Stable Dual-Wavelength Erbium Fiber Ring Laser With Optical Feedback for Remote Sensing. 《Journal of Lightwave Technology》. 2016, 全文.

地址 510000 广东省广州市天河区科华街351号

(72) 发明人 郑婉君 余正泓 赵亮 黎红源
马子乾 朱雪斌 王周林 尹海昌
冯海杰 王沛锋 陈宇博 陈春燕

向红丽; 李云. 基于布拉格光栅的多波长掺饵光纤激光器实验研究. 西安邮电大学学报. 2018, (03), 全文.

(74) 专利代理机构 广东省格律诗知识产权代理
事务所(普通合伙) 44781

李坚; 刘鹏; 王静; 郑晶晶; 江微微; 宁提纲; 简水生. 以环行器和光纤光栅为腔镜的可调谐窄线宽激光器. 中国激光. 2009, (05), 全文.

专利代理师 魏亮

陈娇; 童峥嵘; 张卫华; 薛力芳. 采用复合滤波器的温度可调谐多波长光纤激光器(英文). 红外与激光工程. 2018, (01), 全文.

(51) Int. Cl.

H01S 3/067 (2006.01)

H01S 3/00 (2006.01)

审查员 杜东振

(56) 对比文件

CN 102208736 A, 2011.10.05

权利要求书2页 说明书10页 附图2页

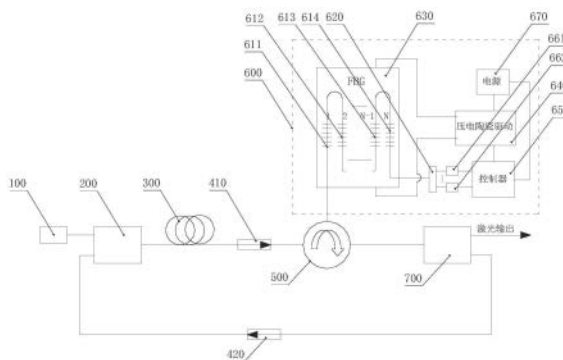
(54) 发明名称

可调谐多波长光纤激光器及其控制方法

光环行器的第二端口; 周期调节装置调节光纤布拉格光栅的周期。

(57) 摘要

本发明提供了一种可调谐多波长光纤激光器及其控制方法, 包括依次串联的泵浦光源、第一波分复用器、增益介质、第一光隔离器、光环行器和光耦合器, 及第二光隔离器及可调谐多波长光波过滤器; 泵浦光源连接第一波分复用器第一输入端, 第一光隔离器输出端连接光环行器第一端口, 光耦合器输入端连接光环行器第三端口, 光耦合器第一输出端输出激光; 第二光隔离器输入端连接光耦合器的第二输出端, 第二光隔离器输出端连接第一波分复用器的第二输入端, 形成闭合光路; 可调谐多波长光波过滤器包括周期调节装置, 及串联的第一光纤布拉格光栅、第二光纤布拉格光栅; 第一光纤布拉格光栅输入端连接



1. 一种可调谐多波长光纤激光器,其特征在于,包括依次采用光纤串联的泵浦光源、第一波分复用器、增益介质、第一光隔离器、光环行器和光耦合器,其中,所述泵浦光源与所述第一波分复用器的第一输入端光纤连接,所述第一光隔离器的输出端与所述光环行器的第一端口光纤连接,所述光耦合器的输入端与所述光环行器的第三端口光纤连接,所述光耦合器的第一输出端用于输出激光;还包括第二光隔离器及可调谐多波长光波过滤器;所述第二光隔离器的输入端与所述光耦合器的第二输出端光纤连接,所述第二光隔离器的输出端与所述第一波分复用器的第二输入端光纤连接,形成闭合光路;所述可调谐多波长光波过滤器包括第一光纤布拉格光栅、第二光纤布拉格光栅和周期调节装置;所述第一光纤布拉格光栅的输入端与所述光环行器的第二端口光纤连接,输出端与所述第二光纤布拉格光栅的输入端光纤连接;所述周期调节装置用于无极调节所述第一光纤布拉格光栅和/或所述第二光纤布拉格光栅的周期;所述光环行器的第一端口、第二端口和第三端口按照固定方向依次设置;所述周期调节装置包括第二波分复用器、第三波分复用器、第一光波检测传感器、第二光波检测传感器、第三光波检测传感器、第四光波检测传感器、周期调节机构和控制系统;所述第二波分复用器的输入端与所述第二光纤布拉格光栅的输出端光纤连接;所述第二波分复用器的第一输出端与所述第一光波检测传感器光纤连接;所述第二波分复用器的第二输出端与所述第二光波检测传感器光纤连接;所述第二波分复用器的第一输出端的设定输出频率大于第二输出端的设定输出频率;所述第一光波检测传感器和所述第二光波检测传感器用于检测所述第二波分复用器输出光波的频率,或波长,或功率的变化;所述光耦合器包括第三输出端;所述第三波分复用器的输入端与所述光耦合器的第三输出端光纤连接;所述第三波分复用器的第一输出端与所述第三光波检测传感器光纤连接;所述第三波分复用器的第二输出端与所述第四光波检测传感器光纤连接;所述第三光波检测传感器用于检测所述第一光纤布拉格光栅的反射光频率,或波长,或功率的变化;所述第四光波检测传感器用于检测所述第二光纤布拉格光栅的反射光频率,或波长,或功率的变化;所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅固定设置在所述周期调节机构上;所述周期调节机构用于对所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅施加轴向应力以改变所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅的栅距;所述控制系统用于控制所述周期调节机构对所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅施加轴向应力的大小;所述控制系统还用于通过获取所述第一光波检测传感器和/或所述第二光波检测传感器的检测结果信息对所述周期调节机构进行负反馈式调节,或者,用于通过获取所述第三光波检测传感器和/或所述第四光波检测传感器的检测结果信息对所述周期调节机构进行负反馈式调节。

2. 根据权利要求1所述的可调谐多波长光纤激光器,其特征在于,

所述周期调节装置包括N个光纤布拉格光栅和N个光波检测传感器;

N个所述光纤布拉格光栅与N个所述光波检测传感器一一对应,即每个光纤布拉格光栅单独对应一个光波检测传感器;

N个所述光纤布拉格光栅的周期各不相同;

所述N为大于等于2的整数。

3. 根据权利要求1所述的可调谐多波长光纤激光器,其特征在于,

所述周期调节机构包括第一周期调节单元、第二周期调节单元;

所述第一光纤布拉格光栅设置在所述第一周期调节单元上；
所述第二光纤布拉格光栅设置在所述第二周期调节单元上；
所述第一周期调节单元、所述第二周期调节单元为独立调节单元，可以独立实现控制和调节。

4. 根据权利要求3所述的可调谐多波长光纤激光器，其特征在于，
所述第一周期调节单元和所述第二周期调节单元为压电陶瓷；
所述控制系统包括控制器、与所述控制器连接的压电陶瓷驱动及电源；
所述压电陶瓷驱动还分别与所述电源和所述压电陶瓷连接；
所述压电陶瓷驱动用于为所述压电陶瓷施加电压；
所述控制器还与光波检测传感器连接，以获取光纤布拉格光栅反射光频率，或波长，或功率的变化信息。

5. 根据权利要求1所述的可调谐多波长光纤激光器，其特征在于，
所述泵浦光源为980nm或1480nm的激光光源；
所述增益介质为掺铒光纤；
与所述泵浦光源对应的，所述第一波分复用器为980/1550nm，或者1480/1550nm的波分复用器。

6. 根据权利要求5所述的可调谐多波长光纤激光器，其特征在于，
所述光耦合器的分光比例为20%/80%，或10%/90%。

7. 一种可调谐多波长光纤激光器的控制方法，所述可调谐多波长光纤激光器为权利要求1-6任何一项所述的可调谐多波长光纤激光器，其特征在于，所述方法包括：

在所述可调谐多波长光纤激光器稳定输出的情况下，

当所述第一光波检测传感器检测到光波功率增大，或所述第二光波检测传感器检测到光波功率减小时，减小所述周期调节机构对所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅施加的轴向应力以减小所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅的栅距；

或者，当所述第一光波检测传感器检测到光波功率减小，或所述第二光波检测传感器检测到光波功率增大时，增大所述周期调节机构对所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅施加的轴向应力以增大所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅的栅距。

8. 一种可调谐多波长光纤激光器的控制方法，所述可调谐多波长光纤激光器为权利要求1-6任何一项所述的可调谐多波长光纤激光器，其特征在于，所述方法包括：

在所述可调谐多波长光纤激光器稳定输出的情况下，

当所述第三光波检测传感器和/或所述第四光波检测传感器检测到光波频率变大时，增大所述周期调节机构对所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅施加的轴向应力以增大所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅的栅距；

或者，当所述第三光波检测传感器和/或所述第四光波检测传感器检测到光波频率变小时，减小所述周期调节机构对所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅施加的轴向应力以减小所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅的栅距。

可调谐多波长光纤激光器及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及通信技术领域,特别是涉及一种可调谐多波长光纤激光器及其控制方法。

背景技术

[0002] 光纤激光器具有输出功率高、光束质量好、转换效率高、阈值低、线宽窄、输出波长多、兼容性好以及结构简单等诸多优点,在光纤通信、光纤传感、军事、工业加工、光信息处理和全色显示等领域有着广阔的应用前景。此外,随着光纤通讯技术的发展,光纤通信系统对传输容量的要求较高,光波分复用系统也成为了通信系统不可或缺的一部分。

[0003] 传统的多波长光纤激光器实现多波长激光的方式有两种:一种是基于每个波长利用单独的增益介质;另一种是通过设计某种特殊结构来抑制增益介质的模式竞争。针对第一种方式,光纤激光器输出的波长越多,其系统的结构越冗余,且在一个固定的系统中输出多波长的光的数量是一定的,输出波长也不可调整。针对第二种方式,由于在室温下掺铒光纤的增益有均匀展宽的特性,这将导致激光器内存在模式竞争,不能稳定的建立多波长的激光输出,传统方法中,有采用液氮冷却掺铒光纤来抑制竞争,但由于其对温度的要求太苛刻,不适用于实际应用。还有基于非线性效应来抑制激光腔内的模式竞争,该系统是通过几公里的单模光纤或昂贵的高非线性光纤来增加非线性效应,导致系统结构非常复杂。

发明内容

[0004] 基于上述,提供一种系统结构简单且能够实现多波长激光自动调整至设定值的可调谐多波长光纤激光器。

[0005] 此外,还提供了上述可调谐多波长光纤激光器的控制方法。

[0006] 一种可调谐多波长光纤激光器,包括依次采用光纤串联的泵浦光源、第一波分复用器、增益介质、第一光隔离器、光环行器和光耦合器,其中,所述泵浦光源与所述第一波分复用器的第一输入端光纤连接,所述第一光隔离器的输出端与所述光环行器的第一端口光纤连接,所述光耦合器的输入端与所述光环行器的第三端口光纤连接,所述光耦合器的第一输出端用于输出激光;还包括第二光隔离器及可调谐多波长光波过滤器;所述第二光隔离器的输入端与所述光耦合器的第二输出端光纤连接,所述第二光隔离器的输出端与所述第一波分复用器的第二输入端光纤连接,形成闭合光路;所述可调谐多波长光波过滤器包括第一光纤布拉格光栅、第二光纤布拉格光栅和周期调节装置;所述第一光纤布拉格光栅的输入端与所述光环行器的第二端口光纤连接,输出端与所述第二光纤布拉格光栅的输入端光纤连接;所述周期调节装置用于无极调节所述第一光纤布拉格光栅和/或所述第二光纤布拉格光栅的周期;所述光环行器的第一端口、第二端口和第三端口按照固定方向依次设置。如此设置,利用了更加简单的光纤激光系统实现了稳定输出较为纯净的激光,同时设计简单易于实现,而且制造成本更低。

[0007] 在其中一个实施例中,所述周期调节装置包括第二波分复用器、第一光波检测传

感器、第二光波检测传感器、周期调节机构和控制系统；所述第二波分复用器的输入端与所述第二光纤布拉格光栅的输出端光纤连接；所述第二波分复用器的第一输出端与所述第一光波检测传感器光纤连接；所述第二波分复用器的第二输出端与所述第二光波检测传感器光纤连接；所述第二波分复用器的第一输出端的设定输出频率大于第二输出端的设定输出频率；所述第一光波检测传感器和所述第二光波检测传感器用于检测所述第二波分复用器输出光波的频率，或波长，或功率的变化；所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅固定设置在所述周期调节机构上；所述周期调节机构用于对所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅施加轴向应力以改变所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅的栅距，即改变所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅的周期。所述控制系统用于控制所述周期调节机构对所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅施加轴向应力的大小，即控制所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅的长度大小、栅距大小。所述控制系统还用于通过获取所述第一光波检测传感器和/或所述第二光波检测传感器的检测结果信息对所述周期调节机构进行负反馈式调节，例如：当温度升高时，第二波分复用器输入的光波中，低频带宽的功率会降低，高频带宽中的功率会增大，为了将第二波分复用器输入的光波恢复至当前应当有的额定状态，可以通过调节周期调节机构减小所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅的栅距来实现，同样的，当温度降低时，第二波分复用器输入的光波中，低频带宽的功率会增大，高频带宽中的功率会降低，为了将第二波分复用器输入的光波恢复至当前应当有的额定状态，可以通过调节周期调节机构增大所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅的栅距来实现。如此设置，不仅能够利用尾纤中的废弃余光，实现本发明多波长激光器根据设定的光波组数值实现自动调节，而且能够利用尾纤中的废弃余光实现相当于温度传感器的功能。

[0008] 在其中一个实施例中，所述周期调节装置包括第三波分复用器、第三光波检测传感器、第四光波检测传感器、周期调节机构和控制系统；所述光耦合器包括第三输出端；所述第三波分复用器的输入端与所述光耦合器的第三输出端光纤连接；所述第三波分复用器的第一输出端与所述第三光波检测传感器光纤连接；所述第三波分复用器的第二输出端与所述第四光波检测传感器光纤连接；所述第三光波检测传感器用于检测所述第一光纤布拉格光栅的反射光频率，或波长，或功率的变化；所述第四光波检测传感器用于检测所述第二光纤布拉格光栅的反射光频率，或波长，或功率的变化；所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅固定设置在所述周期调节机构上；所述周期调节机构用于对所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅施加轴向应力以改变所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅的栅距，即改变所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅的周期。所述控制系统用于控制所述周期调节机构对所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅施加轴向应力的大小，即控制所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅的长度大小、栅距大小。所述控制系统还用于通过获取所述第三光波检测传感器和/或所述第四光波检测传感器的检测结果信息对所述周期调节机构进行负反馈式调节。例如：当温度升高时，所述光耦合器输出激光的带宽频率会向低频方向偏移，这种偏移信息经过所述第三波分复用器后会被所述第三光波检测传感器和所述第四光波检测传感器接收到，通常表现出所述第三光波检测传感器和所述第四光波检测传感器接收到的光波频率都向低频偏移，所述控制系统获取到这些信息后，将通过调节周期调节机构减小所

述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅的栅距来提高输出激光的带宽频率。同样的,当温度降低时,所述光耦合器输出激光的带宽频率会向高频方向偏移,这种偏移信息经过所述第三波分复用器后会被所述第三光波检测传感器和所述第四光波检测传感器接收到,通常表现出所述第三光波检测传感器和所述第四光波检测传感器接收到的光波频率都向高频偏移,所述控制系统获取到这些信息后,将通过调节周期调节机构增大所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅的栅距来降低输出激光的带宽频率。如此一来,通过不断的反馈调节,使得本发明多波长光纤激光器的输出带宽频率始终维持在设定的数值范围内,从而实现常温状态下激光的稳定输出。如此设置,不仅能够实现本发明多波长激光器根据设定的光波组数值实现自动调节,而且能够实现相当于温度传感器的功能。

[0009] 在其中一个实施例中,所述周期调节装置包括N个光纤布拉格光栅和N个光波检测传感器;N个所述光纤布拉格光栅与N个所述光波检测传感器一一对应,即每个光纤布拉格光栅单独对应一个光波检测传感器;N个所述光纤布拉格光栅的周期各不相同;所述N为大于等于2的整数。

[0010] 在其中一个实施例中,所述周期调节装置中包含的多个光波检测传感器的数量与多个光纤布拉格光栅的数量相同;所述光纤布拉格光栅与所述光波检测传感器一一对应,且多个所述光纤布拉格光栅的周期各不相同。

[0011] 在其中一个实施例中,所述周期调节机构包括第一周期调节单元、第二周期调节单元;所述第一光纤布拉格光栅设置在所述第一周期调节单元上;所述第二光纤布拉格光栅设置在所述第二周期调节单元上;所述第一周期调节单元、所述第二周期调节单元为独立调节单元,可以独立实现控制和调节。

[0012] 在其中一个实施例中,所述第一周期调节单元和所述第二周期调节单元为压电陶瓷;所述控制系统包括控制器、与所述控制器连接的压电陶瓷驱动及电源;所述压电陶瓷驱动还分别与所述电源和所述压电陶瓷连接;所述压电陶瓷驱动用于为所述压电陶瓷施加电压;所述控制器还与光波检测传感器连接,以获取光纤布拉格光栅反射光频率,或波长,或功率的变化信息。

[0013] 在其中一个实施例中,所述泵浦光源为980nm或1480nm的激光光源;所述增益介质为掺铒光纤;与所述泵浦光源对应的,所述第一波分复用器为980/1550nm,或者1480/1550nm的波分复用器。

[0014] 在其中一个实施例中,所述光耦合器的分光比例为20%/80%,或10%/90%。

[0015] 上述提供的可调谐多波长光纤激光器仅通过一个光环形器与一个由至少两个串联的光纤布拉格光栅就实现了稳定输出较为纯净的激光,设计简单,易于实现,且制造成本更低。

[0016] 根据上述提供的可调谐多波长光纤激光器,本申请还提供了上述可调谐多波长光纤激光器的控制方法。

[0017] 一种可调谐多波长光纤激光器的控制方法,所述可调谐多波长光纤激光器为上述任何一项实施例中所述周期调节装置包括第二波分复用器、第一光波检测传感器、第二光波检测传感器、周期调节机构和控制系统的可调谐多波长光纤激光器。所述方法包括:在所述可调谐多波长光纤激光器稳定输出的情况下,当所述第一光波检测传感器检测到光波功率增大,或所述第二光波检测传感器检测到光波功率减小时,减小所述周期调节机构对所

述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅施加的轴向应力以减小所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅的栅距;或者,当所述第一光波检测传感器检测到光波功率减小,或所述第二光波检测传感器检测到光波功率增大时,增大所述周期调节机构对所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅施加的轴向应力以增大所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅的栅距。如此设置,不仅能够利用尾纤中的废弃余光,实现本发明多波长激光器根据设定的光波组数值实现自动调节,而且能够利用尾纤中的废弃余光实现相当于温度传感器的功能。

[0018] 此外,本申请还提供了上述可调谐多波长光纤激光器另外一种控制方法。

[0019] 一种可调谐多波长光纤激光器的控制方法,所述可调谐多波长光纤激光器为上述所述周期调节装置包括第三波分复用器、第三光波检测传感器、第四光波检测传感器、周期调节机构和控制系统的可调谐多波长光纤激光器,所述方法包括:在所述可调谐多波长光纤激光器稳定输出的情况下,当所述第三光波检测传感器和/或所述第四光波检测传感器检测到光波频率变大时,增大所述周期调节机构对所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅施加的轴向应力以增大所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅的栅距;或者,当所述第三光波检测传感器和/或所述第四光波检测传感器检测到光波频率变小时,减小所述周期调节机构对所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅施加的轴向应力以减小所述第一光纤布拉格光栅和所述第二光纤布拉格光栅的栅距。如此设置,不仅能够实现本发明多波长激光器根据设定的光波组数值实现自动调节,而且能够实现相当于温度传感器的功能。

附图说明

[0020] 图1为一实施例提供的光纤布拉格光栅串联后尾纤设置有波分复用器和光波传感器作为负反馈信息系统的可调谐多波长光纤激光器系统结构示意图;

[0021] 图2为一实施例提供的在用于激光输出的光耦合器的一出口处采用与串联的光纤布拉格光栅数量同样多的波分复用器出口和对应的光波传感器作为负反馈信息系统的可调谐多波长光纤激光器系统结构示意图。

[0022] 附图标记说明:100.泵浦光源;200.第一波分复用器;300.增益介质;410.第一光隔离器;420.第二光隔离器;500.光环行器;600.可调谐多波长光波过滤器;611.第一光纤布拉格光栅;612.第二光纤布拉格光栅;613.第N-1光纤布拉格光栅;614.第N光纤布拉格光栅;620.第二波分复用器;630.周期调节机构;640.压电陶瓷驱动;650.控制器;661.第一光波检测传感器;662.第二光波检测传感器;663.第三光波检测传感器;664.第四光波检测传感器;665.第N-1光波检测传感器;666.第N光波检测传感器;670.电源;680.第三波分复用器;700.光耦合器。

具体实施方式

[0023] 在本专利文件中,下面讨论的图1-2和用于描述本公开的原理或方法的各种实施例只用于说明,而不应以任何方式解释为限制了本公开的范围。参考附图,本公开的优选实施例将在下文中描述。在下面的描述中,将省略众所周知的功能或配置的详细描述,以免以不必要的细节混淆本公开的主题。而且,本文中使用的术语将根据本发明的功能定义。因

此,所述术语可能会根据用户或操作者的意向或用法而不同。因此,本文中使用的术语必须基于本文中所作的描述来理解。

[0024] 一种可调谐多波长光纤激光器,如图1或图2所示,包括依次采用光纤串联的泵浦光源100、第一波分复用器200、增益介质300、第一光隔离器410、光环行器500和光耦合器700,其中,泵浦光源100与第一波分复用器200的第一输入端光纤连接,第一光隔离器410的输出端与光环行器500的第一端口光纤连接,光耦合器700的输入端与光环行器500的第三端口光纤连接,光耦合器700的第一输出端用于输出激光。可调谐多波长光纤激光器还包括第二光隔离器420及可调谐多波长光波过滤器600。第二光隔离器420的输入端与光耦合器700的第二输出端光纤连接,第二光隔离器420的输出端与第一波分复用器200的第二输入端光纤连接,形成闭合光路。可调谐多波长光波过滤器600包括第一光纤布拉格光栅611、第二光纤布拉格光栅612和周期调节装置。第一光纤布拉格光栅611的输入端与光环行器500的第二端口光纤连接,输出端与第二光纤布拉格光栅612的输入端光纤连接。周期调节装置用于调节第一光纤布拉格光栅611和/或第二光纤布拉格光栅612的周期。光环行器500的第一端口、第二端口和第三端口按照固定方向依次设置。如此设置,利用了更加简单的光纤激光系统实现了稳定输出较为纯净的激光,同时设计简单易于实现,而且制造成本更低。此外,设置一个可以连续变化的周期调节装置还可以实现无极调节第一光纤布拉格光栅611和/或第二光纤布拉格光栅612的周期。

[0025] 在其中一个实施例中,如图1所示,周期调节装置包括第二波分复用器620、第一光波检测传感器661、第二光波检测传感器662、周期调节机构630和控制系统。第二波分复用器620的输入端与第二光纤布拉格光栅612的输出端光纤连接。第二波分复用器620的第一输出端与第一光波检测传感器661光纤连接。第二波分复用器620的第二输出端与第二光波检测传感器662光纤连接。第二波分复用器620的第一输出端的设定输出频率大于第二输出端的设定输出频率。第一光波检测传感器661和第二光波检测传感器662用于检测第二波分复用器620输出光波的频率,或波长,或功率的变化。第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612固定设置在周期调节机构630上。周期调节机构630用于对第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612施加轴向应力以改变第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612的栅距,即改变第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612的周期。控制系统用于控制周期调节机构630对第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612施加轴向应力的大小,即控制第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612的长度大小、栅距大小。控制系统还用于通过获取第一光波检测传感器661和/或第二光波检测传感器662的检测结果信息对周期调节机构630进行负反馈式调节,例如:当温度升高时,第二波分复用器620输入的光波中,低频带宽的功率会降低,高频带宽中的功率会增大,为了将第二波分复用器620输入的光波恢复至当前应当有的额定状态,可以通过调节周期调节机构630减小第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612的栅距来实现,同样的,当温度降低时,第二波分复用器620输入的光波中,低频带宽的功率会增大,高频带宽中的功率会降低,为了将第二波分复用器620输入的光波恢复至当前应当有的额定状态,可以通过调节周期调节机构630增大第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612的栅距来实现。如此设置,不仅能够利用尾纤中的废弃余光,实现本发明多波长激光器根据设定的光波组数值实现自动调节,而且能够利用尾纤中的废弃余光实现相当于温度传感器的功能。

[0026] 在其中一个实施例中,如图1所示,周期调节装置还包括第N-1光纤布拉格光栅613和第N光纤布拉格光栅614。第N-1光纤布拉格光栅613的输出端与第N光纤布拉格光栅614的输入端连接,第N-1光纤布拉格光栅613的输入端与第二光纤布拉格光栅612的输出端连接。第N-1光纤布拉格光栅613和第N光纤布拉格光栅614的栅距。即周期调节装置设置了N个依次串联的且周期互不相同的光纤布拉格光栅。其中N为大于等于3的整数。

[0027] 在其中一个实施例中,如图2所示,周期调节装置包括第三波分复用器680、第三光波检测传感器663、第四光波检测传感器664、周期调节机构630和控制系统。光耦合器700包括第三输出端。第三波分复用器680的输入端与光耦合器700的第三输出端光纤连接。第三波分复用器680的第一输出端与第三光波检测传感器663光纤连接。第三波分复用器680的第二输出端与第四光波检测传感器664光纤连接。第三光波检测传感器663用于检测第一光纤布拉格光栅611的反射光频率,或波长,或功率的变化。第四光波检测传感器664用于检测第二光纤布拉格光栅612的反射光频率,或波长,或功率的变化。第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612固定设置在周期调节机构630上。周期调节机构630用于对第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612施加轴向应力以改变第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612的栅距,即改变第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612的周期。控制系统用于控制周期调节机构630对第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612施加轴向应力的大小,即控制第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612的长度大小、栅距大小。控制系统还用于通过获取第三光波检测传感器663和/或第四光波检测传感器664的检测结果信息对周期调节机构630进行负反馈式调节。例如:当温度升高时,光耦合器700输出激光的带宽频率会向低频方向偏移,这种偏移信息经过第三波分复用器680后会被第三光波检测传感器663和第四光波检测传感器664接收到,通常表现出第三光波检测传感器663和第四光波检测传感器664接收到的光波频率都向低频偏移,控制系统获取到这些信息后,将通过调节周期调节机构630减小第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612的栅距来提高输出激光的带宽频率。同样的,当温度降低时,光耦合器700输出激光的带宽频率会向高频方向偏移,这种偏移信息经过第三波分复用器680后会被第三光波检测传感器663和第四光波检测传感器664接收到,通常表现出第三光波检测传感器663和第四光波检测传感器664接收到的光波频率都向高频偏移,控制系统获取到这些信息后,将通过调节周期调节机构630增大第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612的栅距来降低输出激光的带宽频率。如此一来,通过不断的反馈调节,使得本发明多波长光纤激光器的输出带宽频率始终维持在设定的数值范围内,从而实现常温状态下激光的稳定输出。如此设置,不仅能够实现本发明多波长激光器根据设定的光波组数值实现自动调节,而且能够实现相当于温度传感器的功能。

[0028] 在其中一个实施例中,如图2所示,周期调节装置还包括第N-1光波检测传感器665和第N光波检测传感器666。第三波分复用器680设置有第N-1输出端和第N输出端。第N-1光波检测传感器665与第N-1输出端光纤连接,以用于检测第N-1光纤布拉格光栅613的反射光频率。第N光波检测传感器666与第N输出端光纤连接,以用于检测第N光纤布拉格光栅614的反射光频率。其中N为大于等于3的整数。

[0029] 在其中一个实施例中,如图2所示,周期调节装置包括N个光纤布拉格光栅和N个光波检测传感器。N个光纤布拉格光栅与N个光波检测传感器一一对应,即每个光纤布拉格光

栅单独对应一个光波检测传感器。 N 个光纤布拉格光栅的周期各不相同。 N 为大于等于2的整数。

[0030] 在其中一个实施例中,如图2所示,周期调节装置中包含的多个光波检测传感器的数量与多个光纤布拉格光栅的数量相同。光纤布拉格光栅与光波检测传感器一一对应,且多个光纤布拉格光栅的周期各不相同。

[0031] 在其中一个实施例中,周期调节机构630包括第一周期调节单元、第二周期调节单元。第一光纤布拉格光栅611设置在第一周期调节单元上。第二光纤布拉格光栅612设置在第二周期调节单元上。第一周期调节单元、第二周期调节单元为独立调节单元,可以独立实现控制和调节(图中未显示)。

[0032] 在其中一个实施例中,第一周期调节单元和第二周期调节单元为压电陶瓷。如图或图2所示,控制系统包括控制器650、与控制器650连接的压电陶瓷驱动640及电源670。压电陶瓷驱动640还分别与电源670和压电陶瓷连接。压电陶瓷驱动640用于为压电陶瓷施加电压。控制器650还与光波检测传感器连接,以获取光纤布拉格光栅反射光频率,或波长,或功率的变化信息。

[0033] 在其中一个实施例中,泵浦光源100为980nm的激光光源。增益介质300为掺铒光纤。与泵浦光源100对应的,第一波分复用器200为980/1550nm的波分复用器。

[0034] 在其中一个实施例中,泵浦光源100为1480nm的激光光源。增益介质300为掺铒光纤。与泵浦光源100对应的,第一波分复用器200为480/1550nm的波分复用器。

[0035] 在其中一个实施例中,光耦合器700的分光比例为20%/80%。

[0036] 在其中一个实施例中,光耦合器700的分光比例为10%/90%。

[0037] 在其中一个实施例中,如图1所示,第一波分复用器200将泵浦光源100输出的泵浦光与第二光隔离器420输出的激光耦合后通过光纤输出至增益介质300中,泵浦光使增益介质300中的离子粒子数反转(例如:使掺铒光纤中的铒离子的粒子数反转),并出现自发放大辐射(ASE),形成包含所有第二光隔离器420输出激光波段的自发辐射,宏观上表现为由第二光隔离器420输出的激光得到了放大,产生受激辐射光。受激辐射光经过第一光隔离器410迫使其单向传输至光环形器的第一端口。进入光环形器第一端口的受激辐射光从光环形器第二端口输出至可调谐多波长光波过滤器600。可调谐多波长光波过滤器600将受激辐射光中满足设定波段的光选择出来,并传回光环形器第二端口作为可用光。该可用光从光环形器第二端口进入后从光环形器第三端口输出至光耦合器700。光耦合器700按照设定比例(例如20%/80%,或者10%/90%)设置有2个输出端口,一个用于对外输出激光,另外一个经过第二光隔离器420后通过第一波分复用器200重新耦合进增益介质300中,完成一次循环。可调谐多波长光波过滤器600内设置有周期互不相同的串联光纤布拉格光栅。第一光纤布拉格光栅611全反射与其布拉格波长(频率或周期)相同的光(第一段光波),其他波长(频率或周期)从第一光纤布拉格光栅611透射出去,进入第二光纤布拉格光栅612。第二光纤布拉格光栅612全反射与其布拉格波长(频率或周期)相同的光(第二段光波)从第一光纤布拉格光栅611透射出去,其他波长(频率或周期)从第二光纤布拉格光栅612透射出去,以此类推,当串联有 N 个不同周期的光纤布拉格光栅时,最终第 N 光纤布拉格光栅614将全反射与其布拉格波长(频率或周期)相同的光(第 N 段光波)从前面第 $N-1$ 光纤布拉格光栅613至第一光纤布拉格光栅611透中射出去,其他波长(频率或周期)从第 N 光纤布拉格光栅614透射

出去成为尾纤中的残余透射光。残余透射光经过第二波分复用器620分成至少2路光;第一路通过第二波分复用器620的第一输出端与第一光波检测传感器661光纤连接,第二路通过第二波分复用器620的第二输出端与第二光波检测传感器662光纤连接,第一光波检测传感器661和第二光波检测传感器662用于将检测信息传输给控制系统,通过检测第二波分复用器620的第一输出端和第二输出端光输出功率的变化,可以推演出周期调节装置中各个光纤布拉格光栅的栅距变化(周期变化),从而进行适应性调节。此外,周期调节装置中的光纤布拉格光栅是设置在周期调节机构630上的,通过调节周期调节机构630对光纤布拉格光栅施加轴向应力的大小,可以改变光纤布拉格光栅的栅距,即主动改变光纤布拉格光栅的周期(或波长),从而改变本多波长光纤激光器输出激光中各个波段的频率。

[0038] 在其中一个实施例中,如图2所示,第一波分复用器200将泵浦光源100输出的泵浦光与第二光隔离器420输出的激光耦合后通过光纤输出至增益介质300中,泵浦光使增益介质300中的离子粒子数反转(例如:使掺铒光纤中的铒离子的粒子数反转),并出现自发放大辐射(ASE),形成包含所有第二光隔离器420输出激光波段的自发辐射,宏观上表现为由第二光隔离器420输出的激光得到了放大,产生受激辐射光。受激辐射光经过第一光隔离器410迫使其单向传输至光环形器的第一端口。进入光环形器第一端口的受激辐射光从光环形器第二端口输出至可调谐多波长光波过滤器600。可调谐多波长光波过滤器600将受激辐射光中满足设定波段的光选择出来,并传回光环形器第二端口作为可用光。该可用光从光环形器第二端口进入后从光环形器第三端口输出至光耦合器700。光耦合器700按照设定比例(例如20%/79%/1%,或者10%/89%/1%)设置有3个输出端口,第一输出端口用于对外输出激光,第二输出端口输出的激光经过第二光隔离器420后通过第一波分复用器200重新耦合进增益介质300中,完成一次循环,第三端口输出的激光进入第三波分复用器680被分成N路光,N路光分别通过光纤连接到N个光波检测传感器中,N个光波检测传感器用于将检测信息输出给控制系统。(例如:如图2所示,第一路通过第三波分复用器680的第一输出端与第三光波检测传感器663光纤连接,第二路通过第三波分复用器680的第二输出端与第四光波检测传感器664光纤连接,第N-1路通过第三波分复用器680的第N-1输出端与第N-1光波检测传感器665光纤连接,第N路通过第三波分复用器680的第N输出端与第N光波检测传感器666光纤连接等)。

[0039] 上述提供的可调谐多波长光纤激光器仅通过一个光环形器与一个由至少两个串联的光纤布拉格光栅就实现了稳定输出较为纯净的激光,设计简单,易于实现,且制造成本更低。此外,也更加便于利用尾纤中的残余光波检测主输出激光的输出情况,再通过负反馈将调节信号输出给周期调节装置对主输出激光进行调节。

[0040] 根据上述提供的可调谐多波长光纤激光器,本申请还提供了上述可调谐多波长光纤激光器的控制方法。

[0041] 一种可调谐多波长光纤激光器的控制方法,可调谐多波长光纤激光器为上述任何一项实施例中周期调节装置包括第二波分复用器620、第一光波检测传感器661、第二光波检测传感器662、周期调节机构630和控制系统的可调谐多波长光纤激光器。方法包括:在可调谐多波长光纤激光器稳定输出的情况下,当第一光波检测传感器661检测到光波功率增大,或第二光波检测传感器662检测到光波功率减小时,减小周期调节机构630对第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612施加的轴向应力以减小第一光纤布拉格光栅611

和第二光纤布拉格光栅612的栅距。或者,当第一光波检测传感器661检测到光波功率减小,或第二光波检测传感器662检测到光波功率增大时,增大周期调节机构630对第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612施加的轴向应力以增大第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612的栅距。如此设置,不仅能够利用尾纤中的废弃余光,实现本发明多波长激光器根据设定的光波组数值实现自动调节,而且能够利用尾纤中的废弃余光实现相当于温度传感器的功能。例如:当温度升高时,第二波分复用器620输入的光波中,低频带宽的功率会降低,高频带宽中的功率会增大,此时第一光波检测传感器661检测到光波功率增大,第二光波检测传感器662检测到光波功率减小,为了将第二波分复用器620输入的光波恢复至当前应当有的额定状态,可以通过调节周期调节机构630减小第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612的栅距来实现,同样的,当温度降低时,第二波分复用器620输入的光波中,低频带宽的功率会增大,高频带宽中的功率会降低,此时,第一光波检测传感器661检测到光波功率减小,第二光波检测传感器662检测到光波功率增大,为了将第二波分复用器620输入的光波恢复至当前应当有的额定状态,可以通过调节周期调节机构630增大第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612的栅距来实现。

[0042] 此外,本申请还提供了上述可调谐多波长光纤激光器另外一种控制方法。

[0043] 一种可调谐多波长光纤激光器的控制方法,可调谐多波长光纤激光器为上述周期调节装置包括第三波分复用器680、第三光波检测传感器663、第四光波检测传感器664、周期调节机构630和控制系统的可调谐多波长光纤激光器,方法包括:在可调谐多波长光纤激光器稳定输出的情况下,当第三光波检测传感器663和/或第四光波检测传感器664检测到光波频率变大时,增大周期调节机构630对第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612施加的轴向应力以增大第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612的栅距。或者,当第三光波检测传感器663和/或第四光波检测传感器664检测到光波频率变小时,减小周期调节机构630对第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612施加的轴向应力以减小第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612的栅距。如此设置,不仅能够实现本发明多波长激光器根据设定的光波组数值实现自动调节,而且能够实现相当于温度传感器的功能。例如:当温度升高时,光耦合器700输出激光的带宽频率会向低频方向偏移,这种偏移信息经过第三波分复用器680后会被第三光波检测传感器663和第四光波检测传感器664接收到,通常表现出第三光波检测传感器663和第四光波检测传感器664接收到的光波频率都向低频偏移,控制系统获取到这些信息后,将通过调节周期调节机构630减小第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612的栅距来提高输出激光的带宽频率。同样的,当温度降低时,光耦合器700输出激光的带宽频率会向高频方向偏移,这种偏移信息经过第三波分复用器680后会被第三光波检测传感器663和第四光波检测传感器664接收到,通常表现出第三光波检测传感器663和第四光波检测传感器664接收到的光波频率都向高频偏移,控制系统获取到这些信息后,将通过调节周期调节机构630增大第一光纤布拉格光栅611和第二光纤布拉格光栅612的栅距来降低输出激光的带宽频率。如此一来,通过不断的反馈调节,使得本发明多波长光纤激光器的输出带宽频率始终维持在设定的数值范围内,从而实现常温状态下激光的稳定输出。

[0044] 以上实施例仅表达了本发明的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但并不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在

不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本发明的保护范围。因此,发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。

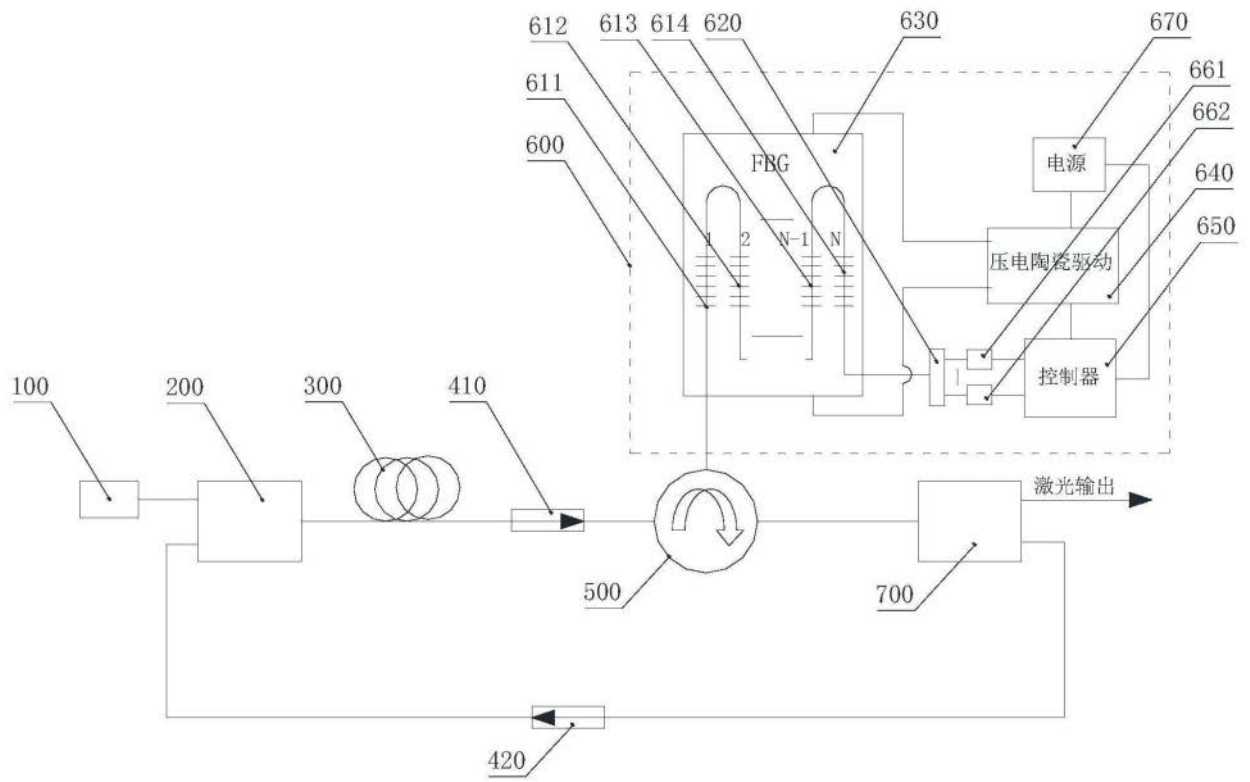


图1

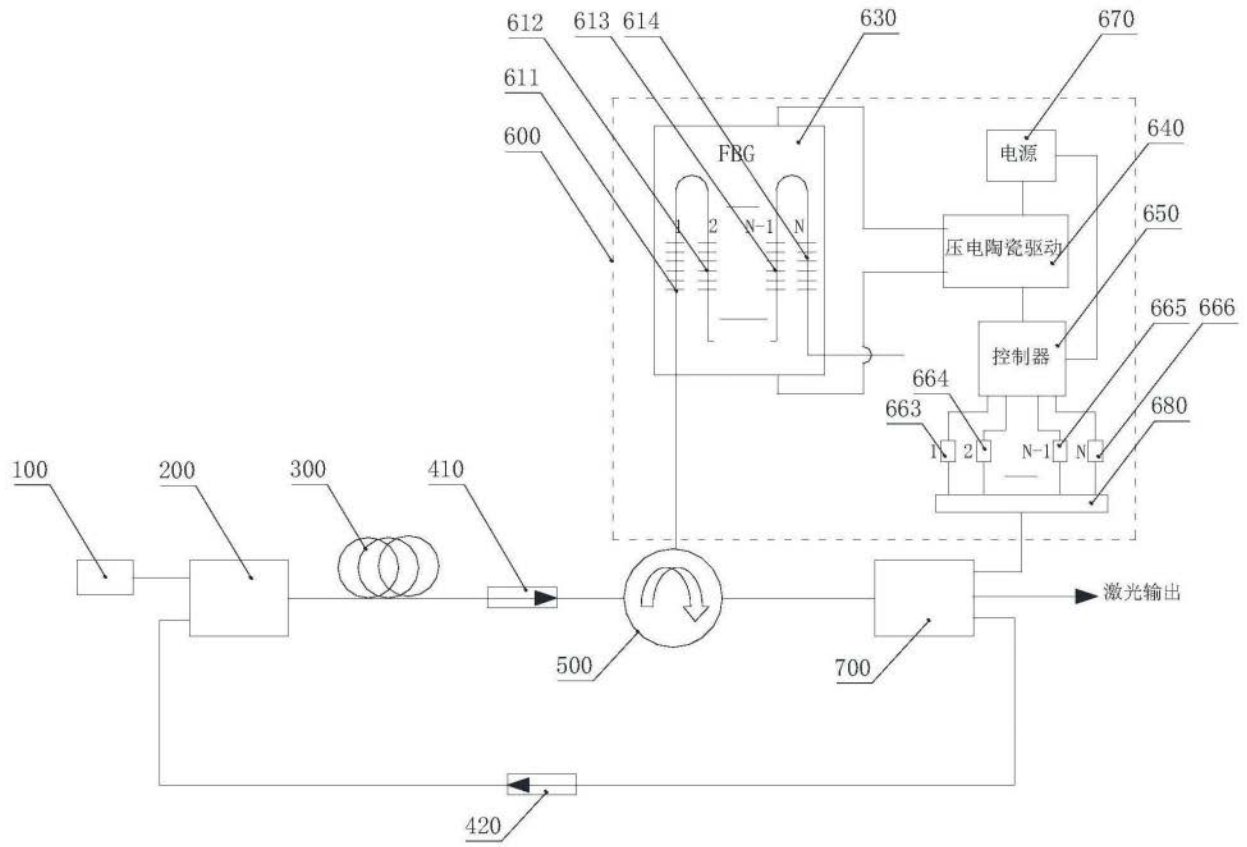


图2