(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 119834056 A
(43)申请公布日 2025.04.15

(21)申请号 202411723169.X

(22)申请日 2024.11.28

(71)申请人 山西大学
地址 030006 山西省太原市坞城路92号

(72)发明人 王彦华 杨涛 许航 王军民

(74)专利代理机构 太原晋科知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 14110
专利代理师 赵江艳

(51)Int.Cl.
H01S 5/0687(2006.01)
H01S 5/06(2006.01)
H01S 5/14(2006.01)

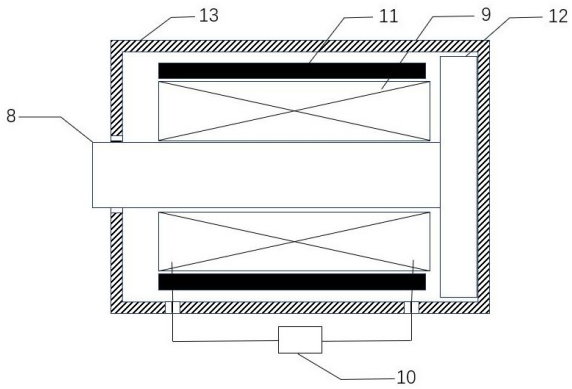
权利要求书2页 说明书9页 附图4页

(54)发明名称

一种高响应带宽的光栅外腔控制装置及稳频激光器系统

(57)摘要

本发明属于激光技术领域,公开了一种高响应带宽的光栅外腔控制装置及稳频激光器系统。光栅外腔控制装置包括光栅固定架、磁致伸缩致动器及其驱动电流源;光栅固定架用于设置光栅,磁致伸缩致动器用于驱动光栅固定架转动以改变激光器光栅外腔的光栅角度和外腔长度;磁致伸缩致动器包括磁致伸缩杆、固定座、永磁体和螺线管,磁致伸缩杆的一端固定在固定座上,另一端作为磁致伸缩致动器的自由端,螺线管套设在磁致伸缩杆外周,用于在电流源的驱动下为磁致伸缩杆提供轴向磁场,永磁体用于为磁致伸缩杆提供偏置磁场。稳频激光器系统涉及光栅和电流两类三个反馈环路的具体结构和分别针对单致动器和双致动器两种光栅外腔控制装置的稳频闭环环路。本发明提高了激光器的响应带宽,可大大改善激光器的线宽和噪声特性,提高环境适应性和长期稳定性。



CN 119834056 A

1.一种高响应带宽的光栅外腔控制装置,其特征在于,包括:磁致伸缩致动器(5)和电流源(10);

所述磁致伸缩致动器(5)用于驱动激光器的光栅(3)转动,以改变激光器的光栅外腔的光栅角度和外腔长度;

所述磁致伸缩致动器(5)包括磁致伸缩杆(8)、固定座(12)、永磁体(11)和螺线管(9),所述磁致伸缩杆(8)的一端固定在固定座(12)上,另一端作为磁致伸缩致动器(5)的自由端,所述螺线管(9)套设在所述磁致伸缩杆(8)外周,用于在电流源(10)的驱动下为所述磁致伸缩杆(8)提供轴向磁场,所述永磁体(11)用于为所述磁致伸缩杆(8)提供偏置磁场。

2.根据权利要求1所述的一种高响应带宽的光栅外腔控制装置,其特征在于,还包括用于设置光栅(3)的光栅固定架(4),所述光栅固定架(4)为弹性材料一体成型的U型结构,U型结构的一侧为固定设置在激光器底座上的支撑块,另一侧为用于设置光栅(3)的弹性块;所述磁致伸缩致动器(5)的固定端与支撑块固定连接,自由端与弹性块连接,所述磁致伸缩致动器(5)用于驱动弹性块绕支撑块与弹性块的连接处转动。

3.根据权利要求2所述的一种高响应带宽的光栅外腔控制装置,其特征在于,所述支撑块与弹性块之间还设置有回弹弹簧(6)。

4.根据权利要求1所述的一种高响应带宽的光栅外腔控制装置,其特征在于,所述磁致伸缩致动器(5)还包括磁致伸缩杆固定端单端的固定座(12)和用于屏蔽磁场干扰的磁屏蔽罩(13),所述磁屏蔽罩(13)上设置有用于使磁致伸缩杆(8)活动端伸出的开口。

5.根据权利要求1所述的一种高响应带宽的光栅外腔控制装置,其特征在于,还包括用于设置光栅(3)的光栅固定架(4),所述光栅固定架(4)的一端通过转轴(7)与激光器底座(28)连接,另一端两侧分别设置有一个磁致伸缩致动器(5),所述磁致伸缩致动器(5)的固定端与激光器底座(28)连接,自由端分别用于驱动所述光栅固定架(4)顺时针和逆时针转动。

6.根据权利要求5所述的一种高响应带宽的光栅外腔控制装置,其特征在于,还包括分别位于光栅固定架(4)两侧的两个凸台(29),所述凸台(29)固定设置在激光器底座(28)上,所述磁致伸缩致动器(5)的固定端固定设置在所述凸台(29)上。

7.根据权利要求5所述的一种高响应带宽的光栅外腔控制装置,其特征在于,其中一个磁致伸缩致动器(5)被光栅反馈环路信号直接驱动,另一个磁致伸缩致动器(5)被所述光栅反馈环路信号经反相器后的信号驱动。

8.一种高响应带宽的稳频激光器系统,包括激光器本体(14),所述激光器本体(14)包括激光二极管(1)、准直透镜(2)、光栅(3)和激光器底座(28),其特征在于,所述激光器本体(14)还包括权利要求1~7任一项所述的光栅外腔控制装置。

9.根据权利要求8所述的一种高响应带宽的稳频激光器系统,其特征在于,还包括频率参考装置(15)、驱动恒流源(17)、调制信号发生器(19)、以及由乘法器(20)、低通滤波器(21);

驱动恒流源(17)用于向激光二极管(1)输入电流驱动其发光,调制器发生器(19)有两个输出端,第一个输出端与驱动恒流源(17)的输入端连接,用于输出调制信号,第二个输出端将调制信号相移后发送给乘法器(20)的第一个输入端;激光二极管的输出激光经准直透镜(2)和光栅(3)后输出,输出的激光经频率参考装置(15)后输出到乘法器(20)的第二个输

入端,经乘法器(20)和低通滤波器(21)得到稳频所需的鉴频信号;

鉴频信号分为两路,第一路经第一PID控制器(23),形成反馈电信号,经前馈控制器(24)后分为两个支路,其中第一支路输出至电流源(10),构成光栅反馈环路;第二支路输出至驱动恒流源(17),构成电流反馈环路;

第二路经第二PID控制器(26)后输出反馈电信号至所述激光二极管(1),构成高速电流反馈环路。

10.根据权利要求9所述的一种高响应带宽的稳频激光器系统,其特征在于,还包括第一滤波器(22)、第二滤波器(25)、移相器(27)、加法器(18)、扫频信号发生器(16);

第一滤波器(22)设置在第一PID控制器(23)的输入端,第二滤波器(25)设置在第二PID控制器(26)的输入端,移相器(27)设置在第二个PID(26)的输出端;

加法器(18)的第一输入端与扫频信号发生器(16)的输出端连接,第二输入端与所前馈控制器(24)的输出端连接;加法器(18)的输出端与驱动恒流源(17)的输入端连接。

一种高响应带宽的光栅外腔控制装置及稳频激光器系统

技术领域

[0001] 本发明属于激光技术领域,具体涉及面向窄线宽激光器的一种高响应带宽的光栅外腔控制装置及对应的稳频激光器系统。

背景技术

[0002] 半导体激光器是一种广泛应用于科研、工业和医疗领域的重要器件,其性能对各个领域的应用效果至关重要,其中光栅外腔反馈激光器(ECDL,External Cavity Diode Laser),可实现激光二极管输出激光的线宽压窄和频率连续可调谐,是半导体激光器高端应用的经典方案。单独控制激光二极管的注入电流或ECDL的光栅反馈外腔的光栅位置(位置的改变可以带来腔长和光栅反馈角度的变化)都能改变激光的频率,并可用于激光频率的开环调谐或闭环校正。由于电流调整导致激光器的输出频率和输出功率同步变化,同时半导体激光二极管的电学和物理特性,激光器的阈值电流、斜效率、热效应和非线性效应等物理特性决定了半导体激光器注入电流的调整范围有限。最终大范围的电流调整还可能会导致激光器的性能急剧下降,甚至导致激光器损坏。另一方面,光栅控制通常涉及光路和机械结构的调整,这些机械结构的物理特性和精度限制了光栅控制的调整范围。由于模式竞争的需求,ECDL光栅外腔的连续不跳模调谐时反馈强度不能变化太大,导致最终光栅机械结构的行程受限。更重要的是光栅光机系统和驱动机构的响应速度直接关系着通过光栅进行激光频率调制的响应带宽。此处对于频率连续调谐或电流和光栅的调整范围或限制,都是基于频率不跳模连续可调谐特性需求。技术上的解决方案通常选择前馈的方式,同步调整光栅和电流来增加不跳模连续可调谐范围。

[0003] 当前常用的ECDL激光器光栅外腔控制方案基于压电效应的PZT(压电陶瓷致动器)控制机构,通过调节PZT上的驱动电压改变致动器的长度,从而改变光栅的角度或位置,实现对激光频率的低速控制。这一方面是由于压电陶瓷材料响应带宽不够,通常在kHz量级,推动力在百牛量级;另一方面传统的PZT光栅驱动机构驱动光栅时还受限于弹性形变下机械结构的弹性回复速度制约。基于PZT的光栅驱动机构响应带宽有限,扫频速度有限,并导致形成的稳频闭环带宽有限。而高速的频率控制或调谐则需要通过改变注入电流来实现。但是由于电流和光栅控制的响应带宽不同、响应速度差别大、调整范围不同,导致开环时协同调谐系统动态范围有限,稳频闭环反馈时反馈环路校正能力有限、闭环带宽较小,最终激光器的稳频闭环在带宽范围内频率噪声抑制能力有限,稳频激光器会因各种因素的长期漂移导致跳模而失锁,制约了激光器及其稳频系统在长期工作时的稳定性。

[0004] 总之,由于PZT驱动光栅反馈环路单独作用带宽有限,即使采用前馈的方式,可以改善连续可调谐范围,但是工作带宽有限,造成激光器输出频率以及输出噪声特性对环境的敏感,使得半导体激光器及其稳频系统的环境适应性和长期连续运行稳定性依然有限。因此,有必要发明一种全新的激光器光栅外腔控制装置及稳频方法,以解决现有方法在响应带宽上存在的缺陷。

发明内容

[0005] 为了解决现有技术中半导体激光器光栅外腔的机械运动速度慢、时延较大导致其稳频响应带宽受限的技术问题,本发明提出了一种高响应带宽的光栅外腔控制装置及激光器系统,利用磁致伸缩致动器驱动光栅,实现了对激光器中光栅位置及角度的快速控制,实现光栅外腔对激光器输出激光频率的快速调谐和高带宽稳频闭环。

[0006] 为了解决上述技术问题,本发明采用的技术方案为:一种高响应带宽的光栅外腔控制装置,包括:磁致伸缩致动器和电流源;所述磁致伸缩致动器用于驱动激光器的光栅转动,以改变激光器的光栅外腔的光栅角度和外腔长度;

所述磁致伸缩致动器包括磁致伸缩杆、固定座、永磁体和螺线管,所述磁致伸缩杆的一端固定在固定座上,另一端作为磁致伸缩致动器的自由端,所述螺线管套设在所述磁致伸缩杆外周,用于在电流源的驱动下为所述磁致伸缩杆提供轴向磁场,所述永磁体用于为所述磁致伸缩杆提供偏置磁场。

[0007] 所述的一种高响应带宽的光栅外腔单致动器控制装置,还包括用于设置光栅的光栅固定架,所述光栅固定架为弹性材料一体成型的U型结构,U型结构的一侧为固定设置在激光器底座上的支撑块,另一侧为用于设置光栅的弹性块;所述磁致伸缩致动器的固定端与支撑块固定连接,自由端与弹性块连接,所述磁致伸缩致动器用于驱动弹性块绕支撑块与弹性块的连接处转动;

所述支撑块与弹性块之间还设置有回弹弹簧。

[0008] 所述磁致伸缩致动器还包括磁致伸缩杆固定端单端的固定座和用于屏蔽磁场干扰的磁屏蔽罩,所述磁屏蔽罩上设置有用于使磁致伸缩杆活动端伸出的开口。

[0009] 所述的一种高响应带宽的光栅外腔单致动器控制装置,还包括用于设置光栅的光栅固定架,所述光栅固定架的一端通过转轴与激光器底座连接,另一端两侧分别设置有一个磁致伸缩致动器,所述磁致伸缩致动器的固定端与激光器底座连接,自由端分别用于驱动所述光栅固定架顺时针和逆时针转动。

[0010] 所述的一种高响应带宽的光栅外腔双致动器控制装置,还包括分别位于光栅固定架两侧的两个凸台,所述凸台固定设置在激光器底座上,所述磁致伸缩致动器的固定端固定设置在所述凸台上。

[0011] 所述的一种高响应带宽的光栅外腔双致动器控制装置,其中一个磁致伸缩致动器被光栅反馈环路信号直接驱动,另一个磁致伸缩致动器被所述光栅反馈环路信号经反相器后的信号驱动。

[0012] 此外,本发明还提供了一种高响应带宽的稳频激光器系统,包括激光器本体,所述激光器本体包括激光二极管、准直透镜、光栅和激光器底座,其特征在于,所述激光器本体还包括权利要求~任一项所述的激光器光栅外腔控制装置。

[0013] 所述的一种高响应带宽的稳频激光器系统,还包括频率参考装置、驱动恒流源、调制信号发生器、以及由乘法器、低通滤波器;

驱动恒流源用于向激光二极管输入电流驱动其发光,调制器发生器有两个输出端,第一个输出端与驱动恒流源的输入端连接,用于输出调制信号,第二个输出端将调制信号相移后发送给乘法器的第一个输入端;激光二极管的输出激光经准直透镜和光栅后输出,输出的激光经频率参考装置后输出到乘法器的第二个输入端,经乘法器和低通滤波器

得到稳频所需的鉴频信号;

鉴频信号分为两路,第一路经第一PID控制器,形成反馈电信号,经前馈控制器后分为两个支路,其中第一支路输出至电流源,构成光栅反馈环路;第二支路输出至驱动恒流源,构成电流反反馈环路;

第二路经第二PID控制器后输出反馈电信号至所述激光二极管,构成高速电流反馈环路。

[0014] 所述的一种高响应带宽的稳频激光器系统,还包括第一滤波器、第二滤波器、移相器、加法器、扫频信号发生器;

第一滤波器设置在第一PID控制器的输入端,第二滤波器设置在第二PID控制器的输入端,移相器设置在第二个PID的输出端;

加法器的第一输入端与扫频信号发生器的输出端连接,第二输入端与所前馈控制器的输出端连接;加法器的输出端与驱动恒流源的输入端连接。

[0015] 本发明与现有技术相比具有以下有益效果:

1、本发明提出了一种高响应带宽的光栅外腔控制装置及激光器系统,通过磁致伸缩致动器驱动光栅外腔,由于磁致伸缩材料高达兆赫兹的响应带宽和更大驱动力的优势,提升了光栅调节的效率和响应性能,改善了激光器的光栅反馈响应特性,响应带宽可以达到MHz量级。

[0016] 2、本发明还通过构建高带宽快速响应闭环反馈控制系统对激光器进行稳频,增强了激光器带宽内频率噪声和频率漂移的抑制能力,抑制了更大范围、更高频率的激光频率起伏,减少了环境干扰对激光器性能的影响,增强了激光器整体系统的抗干扰能力,提高长期稳定性和环境适应性。

[0017] 总之,本发明将磁致伸缩材料及磁致伸缩致动器装置作为光栅外腔驱动机构,对高响应速度的控制装置和低噪声、高带宽的稳频系统有重要的意义,可大大改善激光器的线宽和噪声特性,提高环境适应性和长期稳定性。

附图说明

[0018] 图1为本发明实施例一提供的一种高响应带宽的光栅外腔控制装置的应用实例示意图;

图2为本发明实施例一提供的一种高响应带宽的单致动器光栅外腔控制装置结构示意图;

图3为本发明实施例中提供的磁致伸缩致动器的结构示意图;

图4为本发明实施例一中提供的一种高响应带宽的单致动器光栅外腔控制装置在激光器中的应用示意图;

图5为本发明实施例二中提供的一种高响应带宽的双致动器光栅外腔控制装置结构示意图;

图6为本发明实施例二中提供的一种高响应带宽的双致动器光栅外腔控制装置在激光器中的应用示意图;

图7为本发明实施例四中提供的一种高响应带宽的稳频激光器系统结构示意图;

图中:1-激光二极管、2-准直透镜、3-光栅、4-光栅固定架、5-磁致伸缩致动器、6-

回弹弹簧、7-转轴、8-磁致伸缩杆、9-螺线管、10-电流源、11-永磁体、12-固定座、13-磁屏蔽罩、14-激光器本体、15-频率参考装置、16-扫频信号发生器、17-驱动恒流源、18-加法器、19-调制信号发生器、20-乘法器、21-低通滤波器、22-第一滤波器、23-第一PID控制器、24-前馈控制器、25-第二滤波器、26-第二PID控制器、27-移相器、28-激光器底座、29-凸台。

具体实施方式

[0019] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例;基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0020] 实施例一

本发明实施例一提供了一种高响应带宽的单致动器光栅外腔控制实施范例,涉及图1、2、3和4所示。如图1所示,光栅需要在合适的位置附近绕轴往返运动;如图2所示,激光器光栅外腔单致动器控制装置包括:光栅3、光栅固定架4、磁致伸缩致动器5和回弹弹簧6。所述光栅固定架4用于固定设置光栅3,所述磁致伸缩致动器5用于驱动所述光栅固定架4运动,以改变激光器的光栅外腔的光栅角度和外腔长度。

[0021] 具体地,光栅固定架4作为运动部件,用于实现光栅3与磁致伸缩致动器5之间的稳固连接,磁致伸缩致动器5在工作过程中产生的推力,通过所述光栅固定架4有效地传递至光栅3,以确保两者之间的精确配合与功能性联动;所述磁致伸缩致动器5一方面基于应力大,推力强的磁致伸缩特性,实现对光栅运动的精密控制,另一方面基于高响应带宽的磁致伸缩特性,实现对光栅运动的高速控制;所述回弹弹簧6一方面用于为磁致伸缩致动器提供预应力,优化其工作状态,另一方面辅助光栅固定架4弹性回弹,提高系统运动响应速度。

[0022] 如图3所示,本实施例中,所述磁致伸缩致动器5包括磁致伸缩杆8、固定座12、永磁体11和螺线管9,所述磁致伸缩杆8的一端固定在固定座12上,另一端作为磁致伸缩致动器5的自由端,所述螺线管9套设在所述磁致伸缩杆8外周,用于在电流源10的驱动下为所述磁致伸缩杆8提供轴向磁场,所述永磁体11用于为所述磁致伸缩杆8提供最优伸缩特性工作点所需的偏置磁场。

[0023] 具体地,本实施例中,永磁体11均匀设置在螺线管9外周,用于向磁致伸缩杆8所在位置提供均匀的磁场作为其工作的偏置磁场,确保磁致伸缩杆8能够维持在最佳的磁致伸缩效能状态,从而实现其性能的最优化。固定座12用于安装并约束磁致伸缩杆8,以确保其能够沿预设方向进行可控的线性延伸,即赋予磁致伸缩杆8以指向特定方向的驱动力或推力;所述磁致伸缩杆8在磁场作用下,产生同磁场方向对应的形变,使得磁致伸缩杆8的长度在永磁体11预设磁场偏置导致的磁致应变基础上,随电流源10的控制电压信号而改变,从而可快速控制光栅3的角度和光栅外腔腔长,经过外腔的光反馈后可实现控制电压信号对输出激光频率的快速调谐或调制。其中,电流源10为压控电流源。

[0024] 本实施例中,永磁体11可以为磁致伸缩致动器5提供稳定且优化的偏置磁场参数,确保磁致伸缩杆8能够在最佳磁致伸缩效能状态下工作,此优化措施显著提升了磁致伸缩杆8的致动线性性与精度,为实现更精细的光栅位置或角度控制奠定了基础。

[0025] 进一步地,如图3所示,所述磁致伸缩致动器5还包括用于屏蔽磁场干扰的磁屏蔽

罩13,所述磁屏蔽罩13上设置有用于使磁致伸缩杆8伸出的开口。磁屏蔽材料制作的磁屏蔽罩13,一方面避免外部磁场变化对磁致伸缩杆8形变的干扰,另一方面隔离内部磁场,保障电磁环境的兼容性。由于磁致伸缩杆8机械形变所需磁场强弱由螺线管9中电流的大小决定,因此,需要压控电流源10输出稳定的电流,保证磁致伸缩杆8的伸缩稳定性。

[0026] 本实施例中,磁致伸缩杆8为磁致伸缩材料,磁致伸缩材料响应时间为由施加磁场到产生相应的应变所需的时间,在微秒量级,频率特性好,磁致伸缩材料的响应带宽可以达到兆赫兹量级,基于高响应带宽的磁致伸缩特性,可以实现高速光栅运动控制,构成快速的闭环,这种快速的闭环控制机制可以显著减少干扰对激光器性能的影响;所述磁致伸缩杆8在磁致伸缩应变时产生的推力很大,直径约10mm的磁致伸缩材料的棒材,磁致伸缩时产生约200公斤的推力,有助于提供更好的驱动能力,实现光栅更快速更精确的控制。

[0027] 具体地,如图2所示,本实施例中,所述光栅固定架4为弹性材料一体成型的U型结构,U型结构的一侧为固定设置在激光器底座上的支撑块,另一侧为用于设置光栅3的弹性块;所述磁致伸缩致动器5的固定端与支撑块固定连接,自由端与弹性块连接,所述磁致伸缩致动器5用于驱动弹性块绕支撑块与弹性块的连接处转动;其中,光栅固定架4的弹性块在单个磁致伸缩致动器5的伸缩推动作用下转动,并依靠柔性支架的机械结构和材料弹性回复。

[0028] 进一步地,本实施例中,如图2所示,所述支撑块与弹性块之间还设置有回弹弹簧6。由于磁致伸缩致动器5具有较大的驱动能力,在同回弹弹簧6配合使用后,使光栅外腔机构往复运动和激光频率连续调谐的速度上限不再受到光栅固定架4弹性形变回复速度的限制,提高了光栅回复运动的速度,改善装置的响应特性。

[0029] 如图4所示,为本发明实施例一提供的一种高响应带宽的单致动器光栅外腔控制装置在激光器中的应用示意图,激光器主体包括激光二极管1,准直透镜2和光栅3,激光二极管1发出的激光经准直透镜2准直后,入射至所述光栅3上,经光栅衍射光形成外腔光学反馈,实现窄线宽连续可调谐的激光输出。光栅固定架4的弹性块在磁致伸缩致动器5的驱动下,可以绕支撑块与弹性块的连接处转动,进而带动所述光栅转动,进而调谐激光器输出激光的波长和频率。所述磁致伸缩致动器5可快速地改变光栅3的位置或角度,构成快速响应的激光线宽压窄系统,在激光器开环工作时实现快速扫频,在激光器稳频系统工作时实现高带宽的闭环反馈。

[0030] 实施例二

本发明实施例二提供了一种高响应带宽的双致动器光栅外腔控制实施范例,涉及图1、3、5和6所示。如图1所示,光栅需要在合适的位置附近绕轴往返运动;如图3所示,与实施例一相同的是利用了的相同的磁致伸缩致动器5;如图5所示,光栅固定架4用于固定设置光栅3,与实施例一不同的是,本实施例中,利用了两个磁致伸缩致动器5,所述所述两个磁致伸缩致动器5用于驱动所述光栅固定架4转动,以改变激光器的光栅外腔的长度。如图5所示,与实施例一不同的是,本实施例中,所述光栅固定架4为直线形结构,其一端通过转轴7与激光器底座28连接,另一端两侧分别设置有一个磁致伸缩致动器5,所述磁致伸缩致动器5的固定端与激光器底座28固定连接,自由端分别用于驱动所述光栅固定架4顺时针和逆时针转动。

[0031] 进一步地,本实施例提供的一种高响应带宽的光栅外腔双致动器控制装置,还包

括分别位于光栅固定架4两侧,在激光器底座28上的两个凸台29,所述凸台29固定在激光器底座28上,所述磁致伸缩致动器5的固定端设置在所述凸台29上。

[0032] 本实施例中,所述光栅固定架4围绕转轴7在两个磁致伸缩致动器5的协调配合下实现往复驱动,通过两个产生方向相反驱动力的的磁致伸缩致动器5的协同工作,可实现光栅3位置的精密控制,此时光栅只有转动的机械运动自由度。所述光栅3的角度和对应光栅外腔的腔长控制无需依赖转动轴处的弹性形变,完全依赖两个磁致伸缩致动器5推力的配合,从而使激光频率连续调谐的速度上限不再受到弹性形变回复频率的限制,可以获得更快的光栅驱动速度,完全实现了对光栅转动的精准控制。

[0033] 进一步地,由于磁致伸缩材料的伸长和复位特性有区别,类似有磁滞回线的现象,则本实施例通过两个磁致伸缩致动器5可以进行互补,提高磁致伸缩致动器5的驱动电流与光栅运动之间的线性关系。两个磁致伸缩致动器5中的第一个伸长时使光栅顺时针转动,此时第二个磁致伸缩致动器处于回缩状态;当第二个磁致伸缩致动器伸长时使光栅逆时针转动复位,此时第一个磁致伸缩致动器处于回缩状态,通过两个磁致伸缩致动器5的驱动电流的相对关系协同工作,可以保证光栅摆动过程中的稳定性,提高外腔长度控制的稳定性。具体地,当得到光栅环路信号后,其中一个磁致伸缩致动器(5)被光栅反馈环路信号直接驱动,另一个磁致伸缩致动器(5)被所述光栅反馈环路信号经反相器后的信号驱动。

[0034] 如图6所示,为本发明实施例二中提供的一种高响应带宽的双致动器光栅外腔控制装置在激光器中的应用示意图;同实施例一和图4所示类似,激光器主体包括激光二极管1,准直透镜2和光栅3,激光二极管1发出的激光经准直透镜2准直后,入射至所述光栅3上,经光栅衍射光形成外腔光学反馈,实现窄线宽连续可调谐的激光输出。同实施例一不同的是,本实施例通过两个磁致伸缩致动器5 驱动直线形结构的光栅固定架4进行往复运动。具体可以通过精细调校各致动器的性能参数,实现它们之间的协同工作。这一优化确保了两个磁致伸缩致动器能够共同产生更加精准、稳定和往复式的推力输出,同时可以使光栅外腔不再受限于传统方案中光栅固定架4的弹性形变响应上限,此时只有转动的控制,从而使激光频率连续调谐的速度上限不再受到弹性形变回复速度的限制,可以提高整个机构的响应带宽,进而实现对光栅位置或角度的精确控制,最终实现激光器输出频率相对于参考频率的高带宽闭环锁定。

[0035] 实施例三

本发明实施例三提供了一种高响应带宽的光栅外腔激光器,包括激光器本体14,所述激光器本体包括14激光二极管1,准直透镜2和光栅3,以及激光器底座28。所述激光器本体14还包括实施例一或实施例二所述的激光器光栅外腔控制装置。

[0036] 此外,本实施例中,光栅3的位置和转动轴心依据连续可调谐无跳模要求,综合考虑扫频时输出激光模式对光栅衍射角和外腔腔长的需求确定。

[0037] 实施例四

如图7所示,本发明实施例四提供了一种基于具有高响应带宽的光栅外腔控制装置的稳频激光器系统结构,除了包括实施例三中所述的激光器本体14外,还包括频率参考装置15、驱动恒流源17、调制信号发生器19、以及由乘法器20、低通滤波器21构成的鉴频信号处理装置。获得的鉴频信号分为两路构成三个主要的反馈环路。

[0038] 具体地,如图7所示,所述驱动恒流源17用于向所述激光二极管1输入电流驱动其

发光,所述调制器发生器19有两个输出端,第一个输出端与所述驱动恒流源17的输入端连接,用于输出调制信号调制所述驱动恒流源17的输出电流,第二个输出端将调制信号合理相移后发送给乘法器20的第一个输入端;所述激光二极管的输出激光经准直透镜2和光栅3后输出,输出的激光经频率参考装置15后输出到乘法器20的第二个输入端,利用乘法器20,低通滤波器21得到稳频所需的鉴频信号。其中鉴频信号分为两路。

[0039] 具体地,如图7所示,鉴频信号第一路经第一滤波器22后,发送至第一PID控制器23,形成反馈电信号,所述反馈电信号经前馈控制器24后分为两路。其中第一路输出至磁致伸缩致动器5的电流源10控制光栅外腔的运动,构成第一个闭环反馈环路为光栅反馈;另一路输出至加法器18并控制驱动恒流源17,实现对激光器恒流源电流的控制,形成激光二极管1的注入电流校正,构成第二个闭环反馈环路为电流反馈。从而通过光栅和电流联合校正稳频系统带宽内频率漂移和提高连续工作不跳模的长期稳定性的功能。实施例中,由于采用磁致伸缩致动器5控制光栅角度,则可以利用前馈控制器24直接处理光栅和电流两路反馈信号,相比于传统PZT驱动更加有效。

[0040] 进一步地,如图7所示,鉴频信号第二路经第二滤波器25后,发送给第二PID控制器26和移相器27;经过移相器27后输出反馈电信号至所述激光二极管1的电流输入端,构成第三个闭环反馈环路为高速电流反馈环路。本实施例中,通过移相器27可以构建激光频率快速校正环路,该环路通过直接控制半导体激光二极管的注入电流,实现了对激光频率的高速调整,可针对上述第一环路的因为恒流源17和磁致伸缩致动器5驱动源噪声导致的残余噪声进行有效补偿和校正,改善最终的激光频率或相位噪声特性。

[0041] 总之,本实施例中利用鉴频信号进行了光栅和电流两类反馈,分别控制光栅外腔反馈的光栅位置和激光二极管的驱动电流。其中电流反馈涉及直接控制驱动恒流源的中频电流反馈和直接控制激光二极管1管脚的高速电流反馈,高速的电流反馈可以实现高速频率漂移校正,用于优化频率噪声以及相位噪声。如果对于激光器的线宽、频率噪声以及相位噪声要求不高,可以不构建高速电流反馈环路。

[0042] 进一步地,本实施例的一种高响应带宽的激光器稳频系统,还包括加法器18、扫频信号发生器16,加法器18的第一输入端与所述扫频信号发生器16的输出端连接,第二输入端与所述前馈控制器24的输出端连接;加法器18的输出端与驱动恒流源17的输入端连接。

[0043] 具体地,本实施例中,所述频率参考装置15可以为饱和吸收光谱装置或高稳定性的FP腔,其可以为激光稳频提供以原子跃迁线或谐振腔共振频率为基础的激光频率参考。

[0044] 具体地,本实施例中,当激光器本体14中的激光器光栅外腔控制装置采用实施例二的结构时,则前馈控制器24输出的光栅反馈环路信号需要分为两路,一路直接控制一个磁致伸缩致动器5,另一路经反相器后构成互补控制信号,控制另一个磁致伸缩致动器5。从而兼容两个磁致伸缩致动器5在伸缩运动控制中的差异,互补协同控制光栅的逆时针和顺时针转动,进一步提高激光器的频率响应带宽。

[0045] 实施例五

本发明实施例五提供了实施例四所述的一种高响应带宽的激光器的稳频方法,包括以下步骤:

步骤1:通过扫频信号发生器16生成低频扫频信号,控制激光器本体14的驱动恒流源17来改变激光二极管1的注入电流或者通过控制磁致伸缩致动器5中驱动电流源10的方

式改变光栅外腔的位置和角度,实现对激光器频率的连续扫描与调谐;

步骤2:通过频率参考装置15获取激光稳频所需的激光光谱。其中,频率参考装置15可以为如饱和吸收光谱装置或高稳定性的FP腔等。在激光通过频率参考装置15获得饱和吸收光谱或者FP光学参考腔后,可获得透射或反射光谱,为激光稳频提供以原子跃迁线或谐振腔共振频率为基础的激光频率参考。光谱共振峰的线宽和信号的信噪比需要通过调整光路的几何结构以及包括探测器响应特性、光的功率以及偏振等光电学参数优化。

[0046] 步骤3:鉴频信号的优化。在获得所述激光频率参考光谱的基础上,调制信号发生器19输出两路信号,其中一路用于通过调制注入电流、光栅驱动器或驱动其他激光器外部光路上的调制器对激光频率进行高频调制,第二路作为参考信号输入乘法器20;乘法器20的另一路输入信号来自频率参考装置15,为被高频信号调制激光频率参考光谱(饱和吸收光谱或FP腔光谱);乘法器20的输出经过低通滤波器21后可获得鉴频信号。鉴频信号信噪比需要特别关注,制约鉴频信号带宽的低通滤波器21响应特性需要根据带宽需求同信噪比进行权衡。

[0047] 步骤4:闭环初步优化。通过对第一滤波器22、第二滤波器25、第一PID控制器23和第二PID控制器26以及前馈控制器24的参数调试,包括选择滤波频率特性和比例、积分、微分参数(PID)优化环路动态响应特性实现光栅和中频电流闭环反馈环路的协调,用于校正激光器相对于稳频目标参考频率的频率漂移和长期稳定性优化,实现高带宽闭环反馈的激光稳频,重点以闭环带宽和长期稳定性为闭环相关参数初步优化判据。初步优化过程中涉及两个闭环,具体为所述第一个闭环反馈环路为光栅反馈以及第二个闭环反馈环路为电流反馈,主要承担激光频率漂移校正和长期稳定性优化功能。

[0048] 步骤5:闭环噪声优化。鉴于磁致伸缩致动器5构建的光栅反馈机构具有高响应带宽,导致电流和光栅反馈环路的响应带宽都可以达到MHz量级,由于两类环路都最终受限于驱动源噪声水平的影响,具有残余噪声。由于直接控制激光二极管的电流具有更高的带宽,导致可以通过第三个反馈环路,高速电流反馈进行稳频系统噪声优化。具体实施中可以通过优化第二滤波器25和移相器27的参数改善稳频系统的频率噪声和相位噪声指标。

[0049] 其中,能够方便地实施基于噪声特性表征的参数优化是本发明引入高带宽磁致伸缩光栅驱动方案的特征效果。

[0050] 综上所述,本发明提供了一种高响应带宽的光栅外腔控制装置及激光器系统,由于磁致伸缩材料的响应带宽高达兆赫兹和驱动力大的性能,通过磁致伸缩致动器驱动光栅,提升了光栅控制并调节激光频率的效率和响应性能,改善了激光器的光栅反馈响应特性,响应带宽可以达到MHz量级。此外,本发明还通过构建高带宽快速响应闭环反馈控制系统对激光器进行稳频,减少干扰对激光器性能的影响,增强了激光器带宽内频率漂移抑制能力,提高了抑制更高频率的激光频率起伏,增强了激光器整体系统的抗干扰能力,提高长期稳定性和环境适应性。总之,本发明将磁致伸缩材料作为光栅外腔驱动机构,对高响应速度的控制装置和低噪声、高带宽的稳频系统有重要的意义,可改善激光器的线宽和噪声特性,提高了环境适应性和长期稳定性。

[0051] 最后应说明的是:以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进

行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的范围。

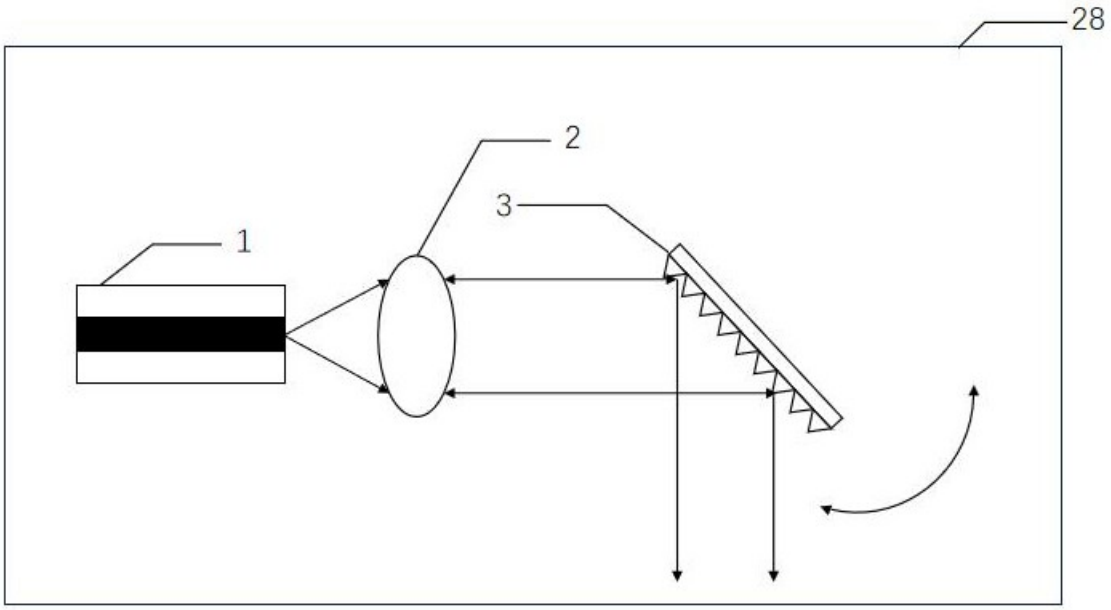


图1

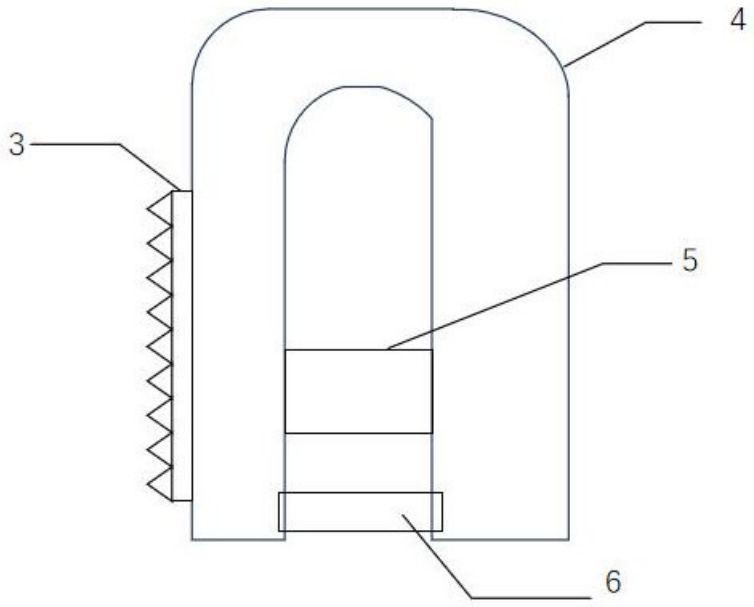


图2

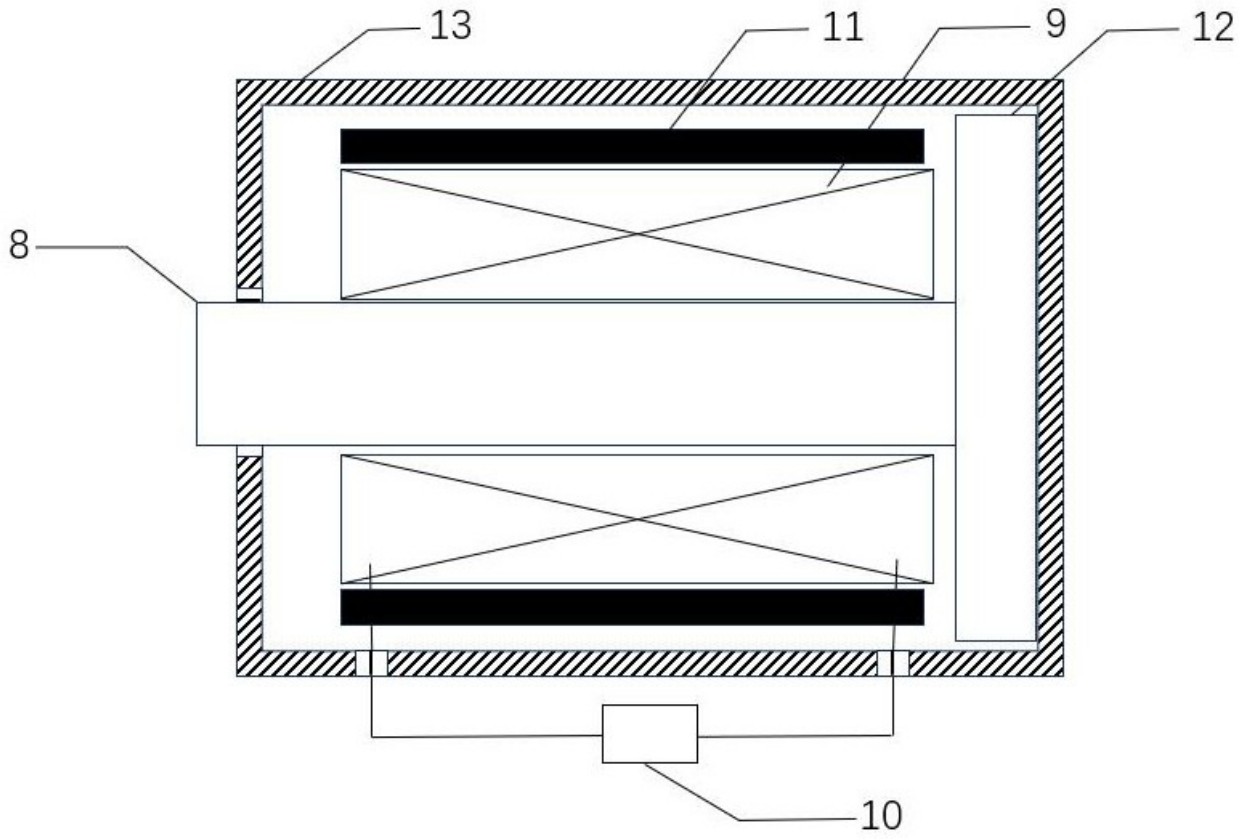


图3

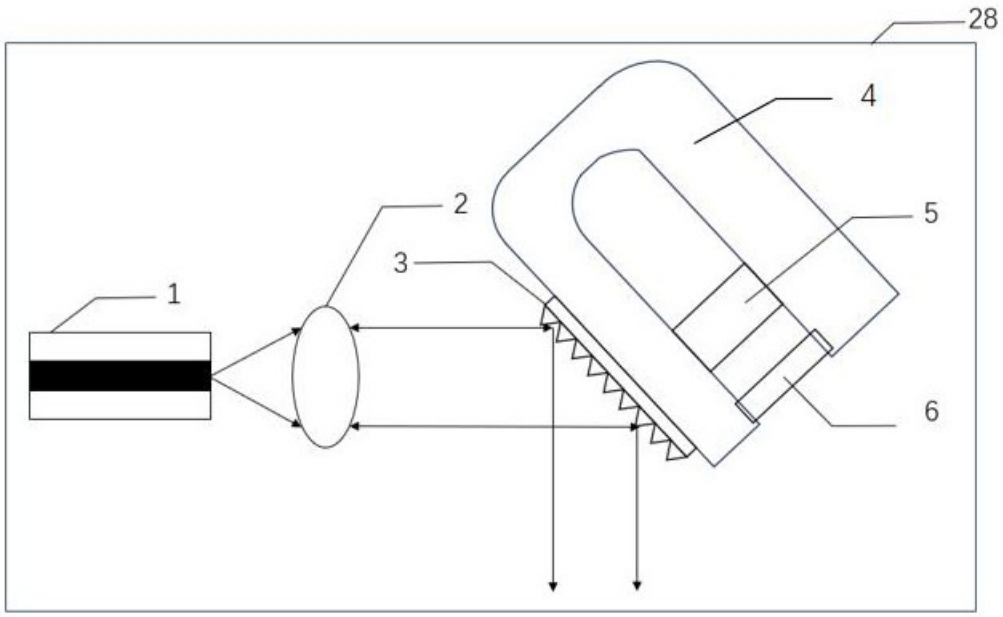


图4

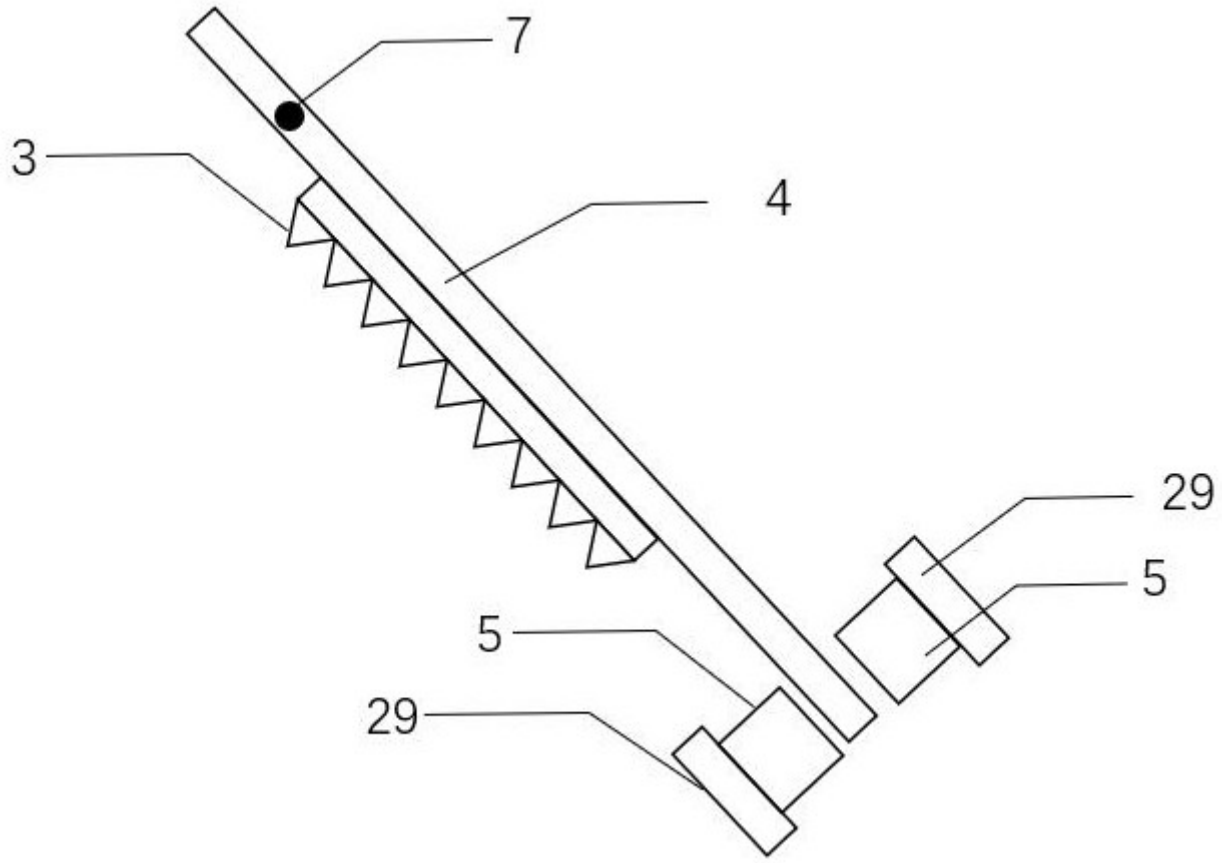


图5

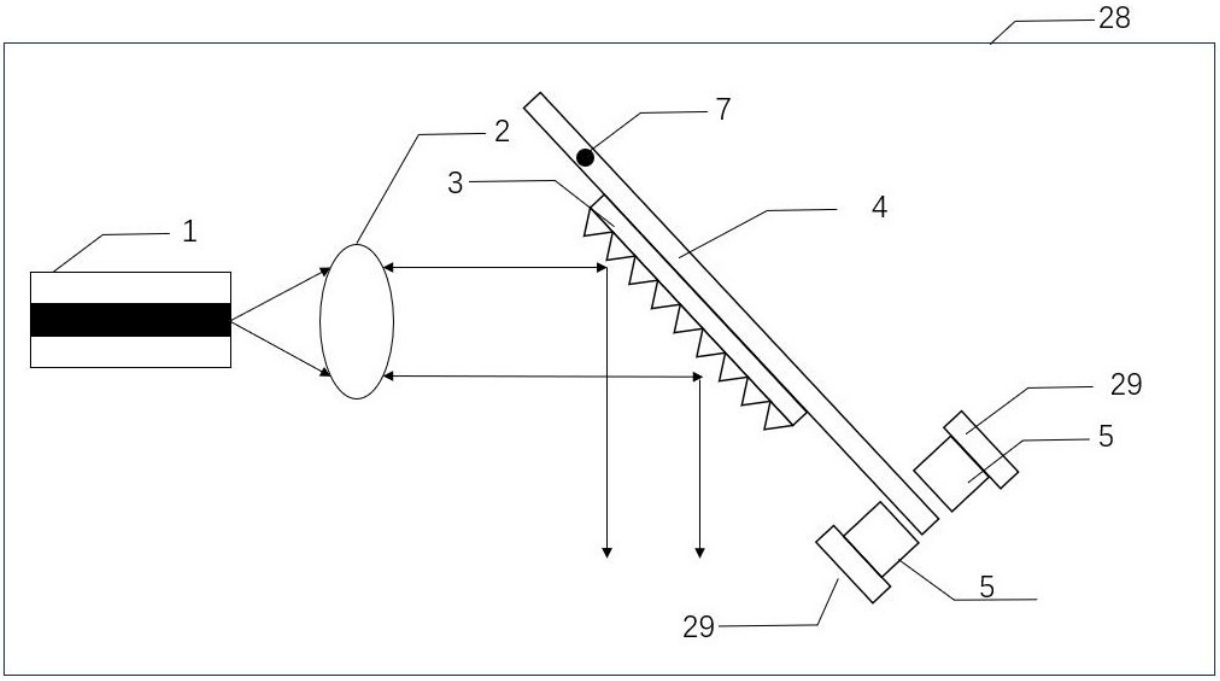


图6

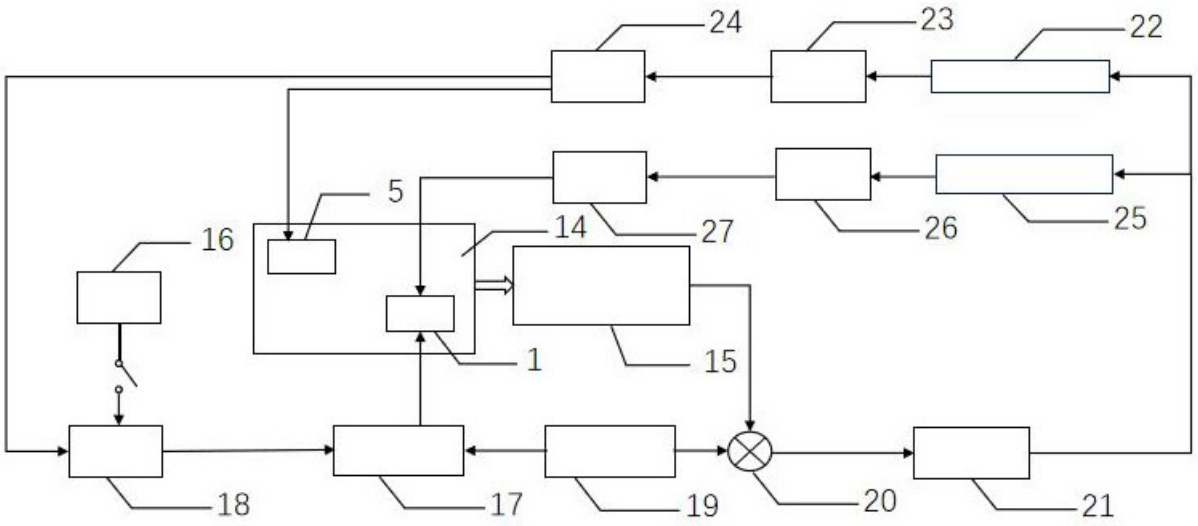


图7