



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103532012 B

(45)授权公告日 2016.08.24

(21)申请号 201210233734.5

CN 102025107 A,2011.04.20,

(22)申请日 2012.07.06

US 2002/0186743 A1,2002.12.12,

(73)专利权人 中国科学院深圳先进技术研究院
地址 518055 广东省深圳市南山区西丽大学
学城学苑大道1068号

审查员 何理

(72)发明人 肖啸 鲁远甫 于峰崎 金雷

(74)专利代理机构 广州华进联合专利商标代理
有限公司 44224

代理人 吴平

(51)Int.Cl.

H01S 5/14(2006.01)

G02B 1/11(2015.01)

(56)对比文件

US 6959023 B1,2005.10.25,

WO 2007/004509 A1,2007.01.11,

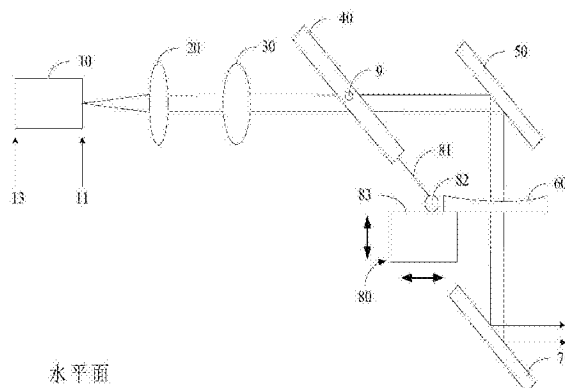
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

外腔半导体激光器

(57)摘要

一种外腔半导体激光器,包括半导体光放大器和依次设置于所述半导体光放大器输出光的光路上的准直透镜、布儒斯特窗片、可旋转的单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片、部分反射镜,以及致动机构;所述准直透镜的出射光入射到所述布儒斯特窗片上的入射角为布儒斯特角;所述部分反射镜垂直于所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片出射光的光路;所述致动机构与所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片以及所述部分反射镜传动连接,以使所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片旋转,且使所述部分反射镜沿自身的法线方向移动。上述外腔半导体激光器可以实现输出波长的线性连续调谐,并且输出光的方向不随波长调谐而改变。



1. 一种外腔半导体激光器,其特征在于,包括:

半导体光放大器和依次设置于所述半导体光放大器输出光的光路上的准直透镜、布儒斯特窗片、可旋转的单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片、部分反射镜,以及致动机构;

所述准直透镜的出射光入射到所述布儒斯特窗片上的入射角为布儒斯特角;

所述部分反射镜垂直于所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片出射光的光路;

所述致动机构与所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片以及所述部分反射镜传动连接,以使所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片旋转,且使所述部分反射镜沿自身的法线方向移动;

其中,所述致动机构包括传动杆、传动球以及推动块,所述传动杆的一端与所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片连接,另一端与所述传动球连接,所述推动块推动所述传动球可使所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片逆时针旋转,且推动块接近并推动所述部分反射镜沿其入射光入射的反方向移动。

2. 根据权利要求1所述的外腔半导体激光器,其特征在于,还包括第一平面完全反射镜以及第二平面完全反射镜,所述第一平面完全反射镜设于所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片出射光的光路上,所述第一平面完全反射镜的反射光的光路垂直于所述部分反射镜;所述第二平面完全反射镜设于所述部分反射镜出射光的光路上。

3. 根据权利要求1或2所述的外腔半导体激光器,其特征在于,还包括用于控制所述半导体光放大器温度的热电制冷器,使所述半导体光放大器在25℃下运行。

4. 根据权利要求3所述的外腔半导体激光器,其特征在于,所述半导体光放大器的出光口镀有减反膜,与所述出光口相对的面上镀有高反膜。

5. 根据权利要求4所述的外腔半导体激光器,其特征在于,所述布儒斯特窗片由未镀膜的K9玻璃制成,呈圆形,其直径为20mm,物理厚度为2mm,所述布儒斯特角为56.6度。

6. 根据权利要求5所述的外腔半导体激光器,其特征在于,所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片为干涉滤光片,其膜系结构如下:

$$\text{Air} | (\text{HL})^{\text{P}} \text{H} - 2\text{L} - \text{H} (\text{LH})^{\text{P}} | \text{Glass}$$

其中,Air为空气,Glass为基片,H为四分之一波长光学厚度的Ta₂O₅折射介质层,L为四分之一波长光学厚度的SiO₂折射介质层,P为相应介质层的重复个数。

7. 根据权利要求6所述的外腔半导体激光器,其特征在于,所述Ta₂O₅折射介质层的折射率为2.06,物理厚度为193.57nm,所述SiO₂折射介质层的折射率为1.46,物理厚度为273.12nm,所述基片为K9玻璃基片,物理厚度为2mm,折射率为1.5168,所述相应介质层的重复个数为7。

8. 根据权利要求7所述的外腔半导体激光器,其特征在于,所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片的基片上镀有减反膜,所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片的膜系结构如下:

$$\text{Air} | (\text{HL})^{\text{P}} \text{H} - 2\text{L} - \text{H} (\text{LH})^{\text{P}} | \text{Glass} | \text{AR}$$

其中,AR是减反膜。

9. 根据权利要求8所述的外腔半导体激光器,其特征在于,所述部分反射镜由K9玻璃制成,呈圆形,直径为25.4mm,其入射面为凹面,曲率半径为500mm,凹面上涂镀有反射率为50%~90%的部分反射膜,所述部分反射镜的出射面为平面,所述平面上涂镀有减反膜,所

述部分反射镜的凹面与所述半导体光放大器涂镀有高反膜的面构成平-凹谐振腔。

10. 根据权利要求9所述的外腔半导体激光器,其特征在於,所述部分反射膜的反射率为60%。

外腔半导体激光器

技术领域

[0001] 本发明涉及激光设备,特别是涉及一种外腔半导体激光器。

背景技术

[0002] 外腔半导体激光器成本低、体积小,能很好的实现大功率单模发射,其商品已被广泛应用于频分复用和相干光通信等系统。

[0003] 目前,外腔式半导体激光器已经发展出来了多种结构,虽然各不相同,但它们的设计原则都一样,就是在外腔中插入分光元件,通过调节分光元件与腔外的反馈机构来实现激光波长的调谐。

[0004] 传统的两种外腔结构是基于衍射光栅的Littrow结构和Littman-Metcalf结构,其输出光束的波长不能被线性调谐,并且输出光束的方向会随着波长的调谐而改变的。

发明内容

[0005] 基于此,有必要针对上述问题,提供一种输出光波长可线性调谐且输出光方向不随波长调谐而改变的外腔半导体激光器。

[0006] 一种外腔半导体激光器,包括:

[0007] 半导体光放大器和依次设置于所述半导体光放大器输出光的光路上的准直透镜、布儒斯特窗片、可旋转的单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片、部分反射镜,以及致动机构;

[0008] 所述准直透镜的出射光入射到所述布儒斯特窗片上的入射角为布儒斯特角;

[0009] 所述部分反射镜垂直于所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片出射光的光路;

[0010] 所述致动机构与所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片以及所述部分反射镜传动连接,以使所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片旋转,且使所述部分反射镜沿自身的法线方向移动。

[0011] 在其中一个实施例中,还包括第一平面完全反射镜以及第二平面完全反射镜,所述第一平面完全反射镜设于所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片出射光的光路上,所述第一平面完全反射镜的反射光的光路垂直于所述部分反射镜;所述第二平面完全反射镜设于所述部分反射镜出射光的光路上。

[0012] 在其中一个实施例中,所述致动机构包括传动杆、传动球以及推动块,所述传动杆的一端与所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片连接,另一端与所述传动球连接,所述推动块推动所述传动球可使所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片逆时针旋转,且推动块接近并推动所述部分反射镜沿其入射光入射的反方向移动。

[0013] 在其中一个实施例中,还包括用于控制所述半导体光放大器温度的热电制冷器,使所述半导体光放大器在25℃下运行。

[0014] 在其中一个实施例中,所述半导体光放大器的出光口镀有减反膜,与所述出光口相对的面上镀有高反膜。

[0015] 在其中一个实施例中,所述布儒斯特窗片由未镀膜的K9玻璃制成,呈圆形,其直径

为20mm,物理厚度为2mm,所述布儒斯特角为56.6度。

[0016] 在其中一个实施例中,所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片为干涉滤光片,所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片的膜系结构如下:

[0017] $\text{Air} | (\text{HL})^P \text{H} - 2\text{L} - \text{H}(\text{LH})^P | \text{Glass}$

[0018] 其中,Air为空气,Glass为基片,H为四分之一波长光学厚度的 Ta_2O_5 折射介质层,L为四分之一波长光学厚度的 SiO_2 折射介质层,P为相应介质层的重复个数。

[0019] 在其中一个实施例中,所述 Ta_2O_5 折射介质层的折射率为2.06,物理厚度为193.57nm,所述 SiO_2 折射介质层的折射率为1.46,物理厚度为273.12nm,所述基片为K9玻璃基片,物理厚度为2mm,折射率为1.5168,所述相应介质层的重复个数为7。

[0020] 在其中一个实施例中,所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片的基片上镀有减反膜,其膜系结构如下:

[0021] $\text{Air} | (\text{HL})^P \text{H} - 2\text{L} - \text{H}(\text{LH})^P | \text{Glass} | \text{AR}$

[0022] 其中,AR是减反膜。

[0023] 在其中一个实施例中,所述部分反射镜由K9玻璃制成,呈圆形,直径为25.4mm,其入射面为凹面,曲率半径为500mm,凹面上涂镀有反射率为50%~90%的部分反射膜,所述部分反射镜的出射面为平面,所述平面上涂镀有减反膜,所述部分反射镜的凹面与所述半导体光放大器涂镀有高反膜的面构成平-凹谐振腔。

[0024] 在其中一个实施例中,所述部分反射膜的反射率为60%。

[0025] 上述外腔半导体激光器,通过致动机构使单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片转动,且使部分反射镜沿其法线方向移动,以调节单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片的透射中心波长以及激光器的外腔纵模波长,由于透射中心波长以及外腔纵模波长均随致动机构的位移线性变化,因此可以实现输出波长的线性连续调谐,并且调谐时不会对光路造成影响,输出光的方向不随波长调谐而改变。

附图说明

[0026] 图1为一实施例的外腔半导体激光器的结构示意图;

[0027] 图2为一实施例的致动机构原理图;

[0028] 图3为一实施例的单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片的透射中心波长对应的分数模数的变化图。

具体实施方式

[0029] 如图1所示,一种外腔半导体激光器,包括半导体光放大器10和依次设置于所述半导体光放大器10输出光的光路上的准直透镜20、布儒斯特窗片30、可旋转的单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40、第一平面完全反射镜50、部分反射镜60、第二平面完全反射镜70,以及致动机构80。

[0030] 半导体光放大器10的出光口11镀有反射率小于0.01%的减反膜,与所述出光口11相对的面12上镀有反射率大于等于90%的高反膜,构成反射式半导体光放大器(RSOA)。对于镀有减反膜的出光口11而言,其对半导体光放大器10内部光的反射率应越低越好,一般应低于 10^{-3} 量级;半导体光放大器10具有较高的偏振相关增益,输出的近红外光主要是TE偏振

光(偏振方向垂直于水平面,水平面请参考图1以及图2所在的纸面),此外还有少量的TM偏振光(偏振方向平行于水平面);此外,半导体光放大器10需要用热电制冷器(TEC)来控制其温度,使其稳定地运行在25℃下;同时,半导体光放大器10的驱动电流被设定为230mA。具体参数见表1。

[0031]

参数	单位	最小值	典型值	最大值
中心波长	nm	--	1550	--
3dB 带宽	nm	--	60	--
峰值波长处的小信号增益	dB	--	25	--
输出功率	mW	2	3	5
偏振相关增益	dB	12	--	--
阈值电流	mA	--	15	--
工作温度范围	℃	15	--	70
保存温度范围	℃	10	--	70
光束输出	自由空间准直输出			
镀膜	一侧镀高反膜,反射率为90%;另一侧镀减反膜,反射率低于0.01%			

[0032] 表1

[0033] 准直透镜20用于将近红外光校准为近红外平行光,其出射光入射所述布儒斯特窗片30的入射角为布儒斯特角。

[0034] 布儒斯特窗片30由未镀膜的K9玻璃制成,呈圆形,其直径为20mm,物理厚度为2mm,其所在平面与水平面的交线与所述近红外平行光垂直,且该窗片30与水平面的夹角为33.4度,使所述近红外平行光以56.6度的布儒斯特角入射到布儒斯特窗片30上,以滤除所述平行光束中的TM偏振光,从而保证激光器的最终输出为纯的TE偏振光。

[0035] 单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40设于所述布儒斯特窗片30的出射光路上,可绕垂直于所述光路的轴9旋转。

[0036] 单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40为窄带干涉滤光片,单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片的膜系结构如下:

[0037] $Air|(HL)^PH-2L-H(LH)^P|Glass$

[0038] 其中,Air为空气,Glass为基片,其由K9玻璃制成,物理厚度为2mm,折射率为1.5168;H为四分之一波长光学厚度、折射率为2.06、物理厚度为193.57nm的Ta₂O₅折射介质层;L为四分之一波长光学厚度、折射率为1.46、物理厚度为273.12nm的SiO₂折射介质层,P为相应介质层的重复个数,优选为7,此时可滤除外腔中的多个起振纵模,只留下一个单纵模输出。

[0039] 为了防止光束在基片中来回反射,可以在基片上涂镀减反膜,镀膜后的单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40的膜系结构为 $Air|(HL)^PH-2L-H(LH)^P|Glass|AR$,其中,AR是减

反膜。

[0040] 如图2所示,单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40的透射中心波长可以通过改变其倾角 θ 的大小来改变:倾角 θ 越大,透射中心波长越小。并且,对于横电场光(TE偏振光)或横磁场光(TM偏振光)来说,单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40的透射中心波长与其倾角 θ 的余弦在一定范围内呈线性关系。

[0041] 所述第一平面完全反射镜50设于所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40的出射光路上,所述第一平面完全反射镜50的反射光的光路垂直于所述部分反射镜60;所述第二平面完全反射镜70设于所述部分反射镜60的出射光路上,部分反射镜60的出射光为激光器的输出光,其经所述第二平面完全反射镜70的反射后输出。

[0042] 所述部分反射镜60由K9玻璃制成,呈圆形,直径为25.4mm,其入射面为凹面,曲率半径为500mm,凹面上涂镀有反射率为50%~90%的部分反射膜,部分反射镜60的出射面为平面,平面上涂镀有减反膜;部分反射镜60的凹面与半导体光放大器10涂镀有高反膜的面构成平-凹谐振腔,以使得谐振腔形成稳定的振荡,光束在入射到部分反射镜60的凹面上以后,将会聚反射回光源。当部分反射膜的反射率为60%时,平-凹谐振腔的输出激光波长值、线宽、输出功率将达到最佳。

[0043] 所述致动机构80与所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40以及所述部分反射镜60传动连接,以使所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40旋转,且使所述部分反射镜60沿自身的法线方向移动,以调节所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40的透射中心波长以及激光器的外腔纵模波长,从而线性地调谐输出激光的波长。

[0044] 具体地,所述致动机构80包括传动杆81、传动球82以及推动块83,所述传动杆81的一端与所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40连接,另一端与传动球82连接,所述推动块83可在水平面上左右往复运动。当推动块83沿水平方向往右运动时,它将推动所述传动球82,使得所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40绕轴9逆时针转动;同时,推动块83在往右运动时将慢慢靠近并连接所述部分反射镜60,进而推动所述部分反射镜60向后运动(即沿其入射光的反方向移动)。当推动块83在水平面上往前运动时,它将带动所述部分反射镜60沿其入射光的方向移动;同时,所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40自身所携带的弹性回复装置能使其随着推动块83运动而绕轴9顺时针转动。

[0045] 具体地,传动球82可以做成表面光洁度很好的标准球体,摩擦阻力极小,推动块83用来接触传动球82的接触平面同样做成表面光洁度很好的平面,摩擦阻力极小,可以确保单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40在推动块83的带动下运动的灵敏度。沿着水平面方向左右驱动推动块83,可使单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40绕轴9转动;沿着水平面方向前后驱动推动块83,也能使部分反射镜60同步地前后运动。

[0046] 弹性回复装置可对单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40施加一个沿顺时针方向的弹力(回复力),当推动块83偏离了初始位置(即图2中的位置1)驱动单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40和部分反射镜60运动时,将克服弹力,当推动块83返回初始位置时,单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40因弹力作用而跟随推动块83运动。

[0047] 可以理解的是,第一平面完全发射机50、第二平面完全反射镜70也可以简化,只要改变部分反射镜60的位置,并使所述部分反射镜60垂直于所述单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40的出射光路,并使致动机构80能推动所述部分反射镜60沿其入射光的反方向移

动即可,此时激光器的输出光由所述部分反射镜60直接输出。

[0048] 如图2所示,把单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40垂直于布儒斯特窗片出射光路时的位置记为初始位置(图2中的位置1),当推动块83(图2中未示出)由初始位置开始推进时,有两个运动会因此同时发生:1)单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40的逆时针转动;2)部分反射镜60的向前运动(其入射光入射的反方向)。单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40的逆时针转动会使得其透射中心波长逐步减小;部分反射镜60的向前运动会使得整个激光系统的外腔往返光程逐步减小,从而外腔纵模波长逐步减小。可以证明,当推动块83由初始位置推进到某一区域时,单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40的透射中心波长将与某一个外腔纵模波长保持同步地减小。此时,激光器将输出波长连续可调(无跳模)的单纵模激光,且调谐时不会对光路造成影响,输出光束的方向不会随波长的调谐而改变。并且激光器结构简单,成本较低。

[0049] 假设在初始位置时,整个外腔往返光程总长(即初始外腔往返光程总长)为 $OPL(0)$;当推动块83(图2中未示出)由初始位置向前推进 x (mm)后(到达图2中的位置2),外腔往返光程长度的改变量是 $OPD(x)$;单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40的基片物理厚度为 h 、基片的折射率为 n ,从转轴9的中心到球体82的球心的距离为 L 。根据图2, $OPD(x)$ 的表达式为:

$$[0050] \quad OPD(x) = 2 \left[nh - \frac{n^2 h L}{\sqrt{n^2 L^2 + x^2} - 2xL} - h + x + \frac{2xhL - x^2 h + h(L-x)\sqrt{n^2 L^2 + x^2} - 2xL}{L\sqrt{n^2 L^2 + x^2} - 2xL} \right] \quad (1)$$

[0051] 那么,当推动块83由初始位置推进 x (mm)时,新的外腔往返光程总长为 $OPL(x) = OPL(0) - OPD(x)$ 。由此,可以求出推动块83在推进到新位置以后的外腔往返光程总长。

[0052] 同时,在推动块83向前推进 x (mm)后,通过下式,可以求出单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40的旋转角度 θ ,

$$[0053] \quad \cos \theta = \frac{L-x}{L} \quad (2)$$

[0054] 这里的 θ 也正是此时激光光束在单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40处的入射角。对于一个给定的单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40,其透射中心波长 $\lambda_s(x)$ 是其光束入射角 θ 的函数,由于入射角 θ 已经求出,所以此时的 $\lambda_s(x)$ 也是一个定值,可以相应求出。依据单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40的透射特性和外腔半导体激光器的激射原理,单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40的透射中心波长的变化与外腔半导体激光器外腔纵模波长的变化之间存在着一种准线性的关系。

[0055] 因而,定义单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40的透射中心波长所对应的分数纵模数为 $m_s(x)$,当推动块83向前推进了 x (mm)后,有

$$[0056] \quad m_s(x) = \frac{OPL(x)}{\lambda_s(x)} \quad (3)$$

[0057] 随着 x 的连续改变, $m_s(x)$ 也在发生着改变。

[0058] 这里, $h=2$ (mm)、 $n=1.5168$ 。

[0059] 若轴9的中心到传动球82的球心的距离为81mm,则激光器的初始外腔往返光程总长(即从半导体光放大器10涂镀有高反膜的一端13到部分反射镜60的凹面的往返光程长

度)OPL(0)为449.9mm。那么,当推动块83向前推进5.9~6.7mm时,外腔半导体激光器的输出波长将处于无跳模连续可调的范围,这种连续可调表现为外腔半导体激光器的输出波长随推动块83的位移线性变化。由于外腔半导体激光器的外腔往返光程较长,所以可以获得比较窄的输出激光线宽。在实际的输出性能测试中,随着推动块83向前推进5.9~6.7mm,外腔半导体激光器的输出波长在1547.203~1552.426nm的范围内呈现出基本的线性变化、输出功率则较为稳定地保持在40~50microwatts之间、输出纵模模式始终为单纵模、其线宽也较为稳定地保持在100~150MHz之间。基于上述参数,我们可以对外腔半导体激光器100进行封装及定型。当然,上述参数都可以有 $\pm 5\%$ 的浮动。

[0060] 图3为“ $m_s(x)-x$ ”曲线图,由图可见,随着推动块83由初始位置开始逐步推进,单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40的透射中心波长所对应的分数纵模数将先增大、后减小。在增大与减小之间有一个平稳的过渡区域,此区域内的分数纵模数基本维持稳定不变,说明在此区域中,单腔全介质薄膜法布里-珀罗滤光片40的透射中心波长正与某一个外腔纵模波长保持着同步地变化。也就是说,在此区域内,外腔半导体激光器的输出波长处于无跳模连续可调的状态。

[0061] 以上所述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本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,本发明的保护范围应以所附权利要求为准。

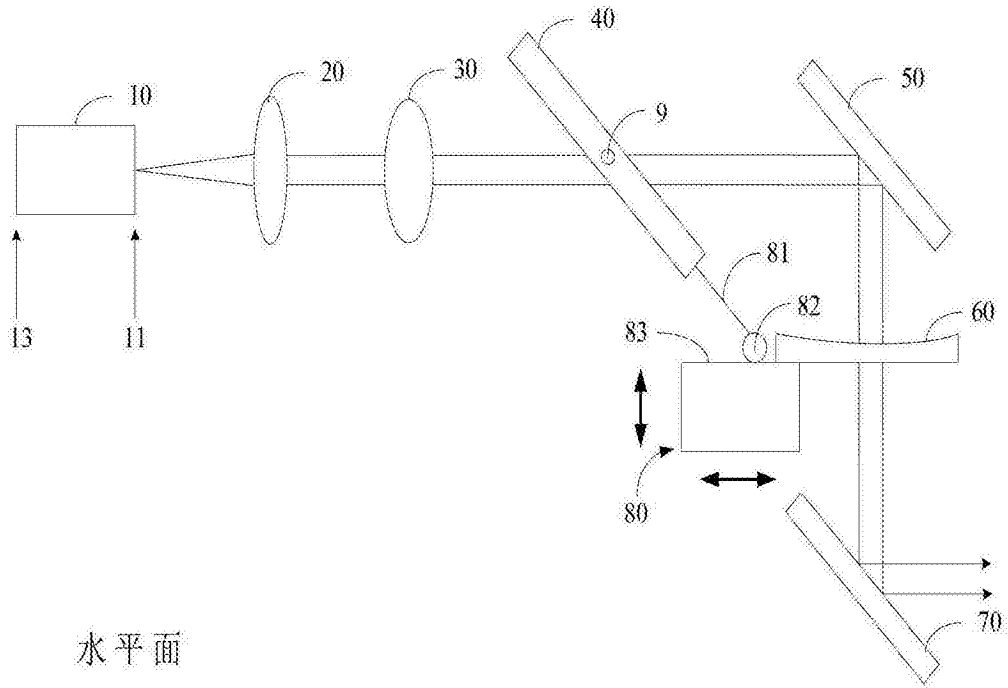


图1

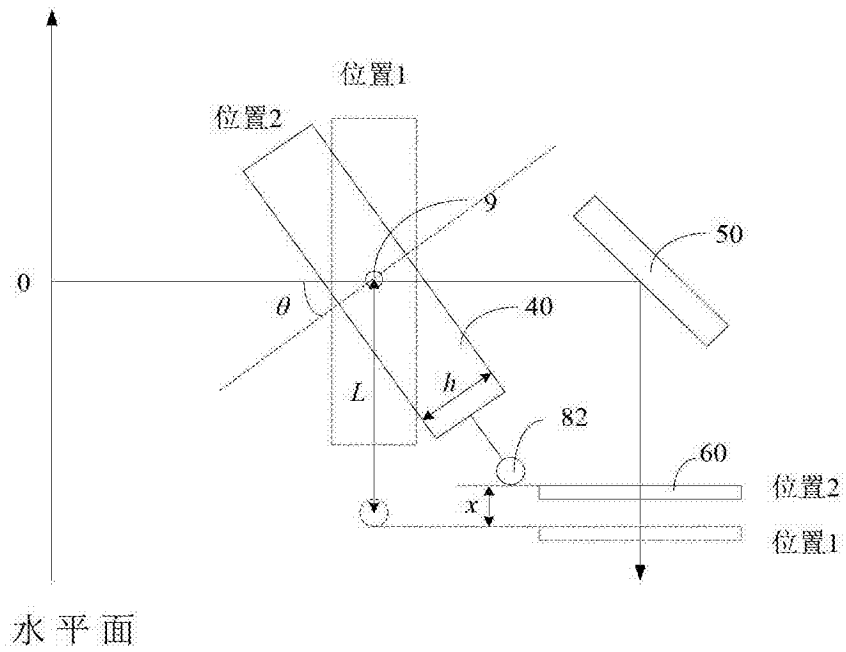


图2

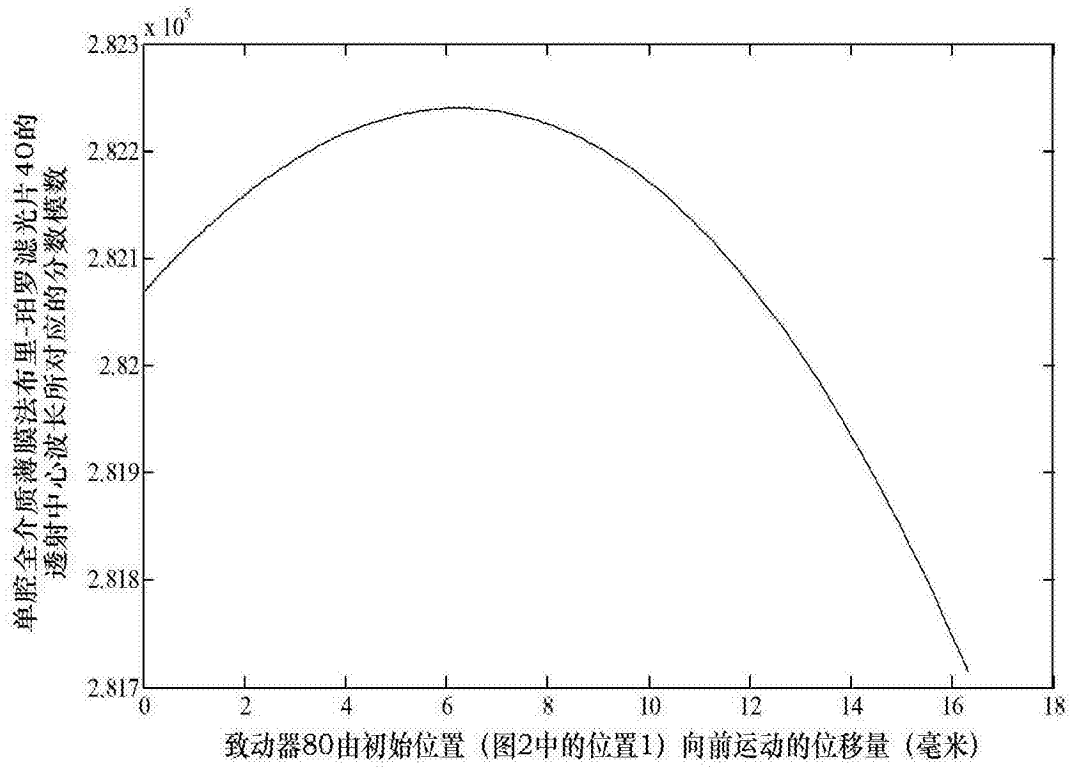


图3