



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103259189 B

(45) 授权公告日 2015. 09. 30

(21) 申请号 201210040512. 1

(22) 申请日 2012. 02. 21

(73) 专利权人 中国计量科学研究院
地址 100013 北京市朝阳区北三环东路 18 号

(72) 发明人 臧二军 赵阳 李烨 曹建平 方占军

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所 11038

代理人 毛丽琴

(51) Int. Cl.

H01S 5/10(2006. 01)

H01S 5/14(2006. 01)

H01S 5/06(2006. 01)

G02B 26/00(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1788217 A, 2006. 06. 14, 全文.

CN 101505033 A, 2009. 08. 12, 全文.

US 6339603 B1, 2002. 01. 15, 全文.

CN 101557075 A, 2009. 10. 14, 全文.

CN 102315588 A, 2012. 01. 11, 说明书第 003, 005-0011, 0013, 0015, 0023, 0038-0039, 0044-0045, 0047, 0052, 0058-0059 段, 说明书附图 1-3.

K. Doringshoff, et al..

Low-noise, tunable diode laser for ultra-high-resolution spectroscopy. 《Optics Letters》. 2007, 第 32 卷 (第 19 期), 第 2876-2878 页.

审查员 何理

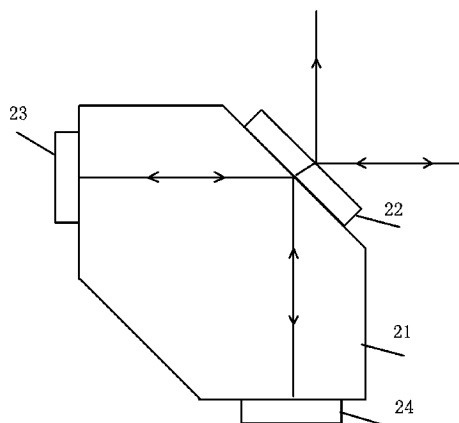
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

法布里-珀罗腔及外腔半导体激光器

(57) 摘要

本发明公开一种法布里-珀罗腔及外腔半导体激光器。其中法布里-珀罗腔包括腔体、耦合镜、第一反射镜和第二反射镜,入射光束通过耦合镜射入腔体内,并正入射在第一反射镜上,入射光束被第一反射镜反射后返回到耦合镜,并在耦合镜处发生反射和透射,经耦合镜反射的光束正入射在第二反射镜上,光束被第二反射镜反射后返回到耦合镜,经耦合镜反射后再正入射在第一反射镜上,实现光束在耦合镜、第一反射镜和第二反射镜之间谐振;经耦合镜透射的透射光束沿着与入射光束共线反向的方向射出。由于法布里-珀罗腔在提供反馈光束时,并不需要额外的电子反馈系统进行控制,因此可降低实现成本,在保证系统稳定的同时进一步压窄了激光光束的线宽。



1. 一种法布里-珀罗腔,其特征在于,法布里-珀罗腔包括腔体、耦合镜、第一反射镜和第二反射镜,其中腔体具有耦合面、第一反射面和第二反射面,耦合镜、第一反射镜和第二反射镜分别设在耦合面、第一反射面和第二反射面上;

入射光束通过耦合镜射入腔体内,并正入射在第一反射镜上,入射光束被第一反射镜反射后返回到耦合镜,并在耦合镜处发生反射和透射,经耦合镜反射的光束正入射在第二反射镜上,光束被第二反射镜反射后返回到耦合镜,经耦合镜反射后再正入射在第一反射镜上,实现光束在耦合镜、第一反射镜和第二反射镜之间谐振;经耦合镜透射的透射光束沿着与入射光束共线反向的方向射出;

其中,第一反射面与第二反射面之间的夹角为 90° ,第一反射面和第二反射面分别与耦合面形成的夹角相同。

2. 根据权利要求1所述的法布里-珀罗腔,其特征在于,

在耦合镜和第一反射镜之间的腔体中设有中空的第一光传播通道,在耦合镜和第二反射镜之间设有中空的第二光传播通道,在腔体中传播的光束通过中空的第一光传输通道和第二光传输通道进行传播。

3. 根据权利要求1或2所述的法布里-珀罗腔,其特征在于,

第一反射镜和第二反射镜为平面高反射镜或凹面高反射镜;
腔体的材料为光学石英玻璃。

4. 根据权利要求1或2所述的法布里-珀罗腔,其特征在于,

耦合镜、第一反射镜和第二反射镜上镀有光学镀膜,镀膜的吸收系数小于50ppm。

5. 根据权利要求4所述的法布里-珀罗腔,其特征在于,

耦合镜上光学镀膜的镀膜反射率为0.99,第一反射镜和第二反射镜上光学镀膜的镀膜反射率大于0.999。

6. 一种外腔半导体激光器,其特征在于,包括半导体激光管、准直透镜、衍射光栅、法布里-珀罗腔,法布里-珀罗腔包括腔体、耦合镜、第一反射镜和第二反射镜,其中腔体具有耦合面、第一反射面和第二反射面,耦合镜、第一反射镜和第二反射镜分别设在耦合面、第一反射面和第二反射面上,其中:

半导体激光管发出的激光光束通过准直透镜入射到衍射光栅,衍射光栅对激光光束进行衍射,将零级衍射光束作为外腔半导体激光器的输出光束;并将一级衍射光束作为入射光束,通过耦合镜射入法布里-珀罗腔的腔体内,并正入射在第一反射镜上,入射光束被第一反射镜反射后返回到耦合镜,并在耦合镜处发生反射和透射,经耦合镜反射的光束正入射在第二反射镜上,光束被第二反射镜反射后返回到耦合镜,经耦合镜反射后再正入射在第一反射镜上,实现光束在耦合镜、第一反射镜和第二反射镜之间谐振;经耦合镜透射的透射光束沿着与入射光束共线反向的方向入射到衍射光栅;衍射光栅对透射光束进行衍射,并将一级衍射光束作为反馈光束,通过准直透镜入射到半导体激光管中,半导体激光管利用反馈光束实现窄线宽的激光输出;

其中,在法布里-珀罗腔中,第一反射面与第二反射面之间的夹角为 90° ,第一反射面和第二反射面分别与耦合面形成的夹角相同。

7. 根据权利要求6所述的外腔半导体激光器,其特征在于,外腔半导体激光器还包括半导体激光管热沉,用于控制半导体激光管的温度,从而控制半导体激光管发出激光光束

的频率。

8. 根据权利要求 6 所述的外腔半导体激光器,其特征在于,外腔半导体激光器还包括第一调节架,衍射光栅安装在第一调节架上,第一调节架用于对衍射光栅的角度和位置进行粗调;光栅调节架还具有第一压电陶瓷,用于对衍射光栅的角度和位置进行微调。

9. 根据权利要求 6 所述的外腔半导体激光器,其特征在于,外腔半导体激光器还包括第二调节架,法布里-珀罗腔安装在第二调节架上,第二调节架还包括法布里-珀罗腔热沉和第二压电陶瓷,其中法布里-珀罗腔热沉用于控制法布里-珀罗腔的温度,从而实现对所述透射光束的频率进行大范围慢速调谐,第二压电陶瓷通过应力改变法布里-珀罗腔的谐振频率,用于对所述透射光束的频率进行小范围快速调谐。

10. 根据权利要求 6-9 中任一项所述的外腔半导体激光器,其特征在于,衍射光栅为透射型光栅或反射型光栅。

11. 根据权利要求 6-9 中任一项所述的外腔半导体激光器,其特征在于,在耦合镜和第一反射镜之间的腔体中设有中空的第一光传播通道,在耦合镜和第二反射镜之间设有中空的第二光传播通道,在腔体中传播的光束通过中空的第一光传输通道和第二光传输通道进行传播。

12. 根据权利要求 6-9 中任一项所述的外腔半导体激光器,其特征在于,第一反射镜和第二反射镜为平面高反射镜或凹面高反射镜;腔体的材料为光学石英玻璃。

13. 根据权利要求 6-9 中任一项所述的外腔半导体激光器,其特征在于,耦合镜、第一反射镜和第二反射镜上镀有光学镀膜,镀膜的吸收系数小于 50ppm。

14. 根据权利要求 6-9 中任一项所述的外腔半导体激光器,其特征在于,耦合镜上光学镀膜的镀膜反射率为 0.99,第一反射镜和第二反射镜上光学镀膜的镀膜反射率大于 0.999。

法布里 - 珀罗腔及外腔半导体激光器

技术领域

[0001] 本发明涉及激光领域,特别是涉及法布里 - 珀罗腔及外腔半导体激光器。

背景技术

[0002] 外腔半导体激光器是科研和工业中的重要激光光源。然而,通常的外腔半导体激光器输出谱线非常宽,一般达到几百千赫甚至几兆赫,这种宽线宽与许多场合的应用要求相距甚远。为了获得窄线宽的激光输出,目前采用的一种现有技术是利用光学反馈方法,将线宽较宽的激光光束入射到一个单独可控的法布里 - 珀罗腔上,利用法布里 - 珀罗腔透射的激光光束反馈到半导体激光管中,从而实现激光线宽的压窄。

[0003] 光学反馈方法的现有技术具体细节请参见 K. **Döringshoff**, I. Ernsting, R. H. Rinkleff, S. Schiller, 和 A. Wicht, Low-noise, tunable diode laser for ultra-high-resolution spectroscopy, OPTICS LETTERS, 第 32 卷第 19 期, 2007 年 10 月。图 1 给出了采用上述光学反馈方法的外腔半导体激光器示意图,其中细线表示光路,粗线表示电子线路。半导体激光管 11 发出的激光光束通过非球面准直透镜 12 到达透射型光栅 13 后,一部分激光光束通过 1/2 波片 14 到达法布里 - 珀罗腔 15 的耦合镜 151。从耦合镜 151 进入腔体的光束在耦合镜 151、第一反射镜 152、第二反射镜 153 之间进行振荡,并通过耦合镜 151 产生两束透射光束,即与耦合镜 151 的入射光束的镜反射光共线同向的第一透射光,以及与该入射光束共线反向的第二透射光。其中第二透射光通过 1/2 波片 14 到达透射型光栅 13 后,通过非球面准直透镜 12 反馈进入半导体激光管 11。由于第二透射光具有低噪声、窄线宽的特点,因此可用于获得窄线宽的激光输出。同时反馈电子系统 16 根据第一透射光与耦合镜的镜反射光将激光频率锁定在该法布里 - 珀罗腔的相应谐振峰上,并将误差信号反馈给第二反射镜 153 上的压电陶瓷上,从而实现法布里 - 珀罗腔 15 的谐振频率锁定。具体的,在反馈电子系统 16 中,经过 1/2 波片和偏振分光棱镜,将上述第一透射光和耦合镜的镜反射光由圆偏振光转换成两个偏振态相互垂直的线偏振光,并分别由两个探测器进行光功率探测,经过差分放大器得到误差信号,将该误差信号反馈到第二反射镜 153 的压电陶瓷上,从而使法布里 - 珀罗腔的谐振频率锁定在激光的频率上。

[0004] 然而,这种方案存在以下明显缺陷:在锁定方式上,由于外部谐振腔容易受到诸如外界振动、外界噪声的干扰,因此会导致外腔谐振频率不稳定。法布里 - 珀罗腔跟踪锁定在不稳定的外部谐振腔上,这不利于保持法布里 - 珀罗腔以及整个系统的稳定性,从而不利于激光线宽压窄的实现。

发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题是提供一种法布里 - 珀罗腔及外腔半导体激光器,从而通过利用光学反馈的方法获得窄线宽的激光输出,并且不需要使用额外的反馈电子系统,在保证系统稳定的同时进一步压窄了激光的线宽。

[0006] 根据本发明的一个方面,提供了一种法布里 - 珀罗腔,其中法布里 - 珀罗腔包括腔

体、耦合镜、第一反射镜和第二反射镜,其中腔体具有耦合面、第一反射面和第二反射面,耦合镜、第一反射镜和第二反射镜分别设在耦合面、第一反射面和第二反射面上;

[0007] 入射光束通过耦合镜射入腔体内,并正入射在第一反射镜上,入射光束被第一反射镜反射后返回到耦合镜,并在耦合镜处发生反射和透射,经耦合镜反射的光束正入射在第二反射镜上,光束被第二反射镜反射后返回到耦合镜,经耦合镜反射后再正入射在第一反射镜上,实现光束在耦合镜、第一反射镜和第二反射镜之间谐振;经耦合镜透射的透射光束沿着与入射光束共线反向的方向射出。

[0008] 根据本发明的一个方面,提供了一种外腔半导体激光器,包括半导体激光管、准直透镜、衍射光栅、法布里-珀罗腔,法布里-珀罗腔包括腔体、耦合镜、第一反射镜和第二反射镜,其中腔体具有耦合面、第一反射面和第二反射面,耦合镜、第一反射镜和第二反射镜分别设在耦合面、第一反射面和第二反射面上,其中:

[0009] 半导体激光管发出的激光光束通过准直透镜入射到衍射光栅,衍射光栅对激光光束进行衍射,将零级衍射光束作为外腔半导体激光器的输出光束;并将一级衍射光束作为入射光束,通过耦合镜射入法布里-珀罗腔的腔体内,并正入射在第一反射镜上,入射光束被第一反射镜反射后返回到耦合镜,并在耦合镜处发生反射和透射,经耦合镜反射的光束正入射在第二反射镜上,光束被第二反射镜反射后返回到耦合镜,经耦合镜反射后再正入射在第一反射镜上,实现光束在耦合镜、第一反射镜和第二反射镜之间谐振;经耦合镜透射的透射光束沿着与入射光束共线反向的方向入射到衍射光栅;衍射光栅对透射光束进行衍射,并将一级衍射光束作为反馈光束,通过准直透镜入射到半导体激光管中,半导体激光管利用反馈光束实现窄线宽的激光输出。

[0010] 本发明通过在法布里-珀罗腔中设置腔体、耦合镜、第一反射镜和第二反射镜,其中腔体具有耦合面、第一反射面和第二反射面,耦合镜、第一反射镜和第二反射镜分别设在耦合面、第一反射面和第二反射面上;入射光束通过耦合镜射入腔体内,并正入射在第一反射镜上,入射光束被第一反射镜反射后返回到耦合镜,并在耦合镜处发生反射和透射,经耦合镜反射的光束正入射在第二反射镜上,光束被第二反射镜反射后返回到耦合镜,经耦合镜反射后再正入射在第一反射镜上,实现光束在耦合镜、第一反射镜和第二反射镜之间谐振;经耦合镜透射的透射光束沿着与入射光束共线反向的方向射出。由于法布里-珀罗腔在实现光学反馈时并不需要额外的电子反馈系统进行控制,因此可降低实现成本,在保证系统稳定的同时进一步压窄了激光光束的线宽。

附图说明

[0011] 图 1 为现有技术中光学反馈外腔半导体激光器的示意图。

[0012] 图 2 为本发明法布里-珀罗腔一个实施例的示意图。

[0013] 图 3 为本发明法布里-珀罗腔另一实施例的示意图。

[0014] 图 4 为本发明外腔半导体激光器一个实施例的示意图。

具体实施方式

[0015] 下面参照附图对本发明进行更全面的描述,其中说明本发明的示例性实施例。

[0016] 图 2 为本发明法布里-珀罗腔一个实施例的示意图。如图 2 所示,法布里-珀罗

腔包括腔体 21、耦合镜 22、第一反射镜 23 和第二反射镜 24, 其中腔体 21 具有耦合面、第一反射面和第二反射面, 耦合镜 22、第一反射镜 23 和第二反射镜 24 分别设在耦合面、第一反射面和第二反射面上。

[0017] 入射光束通过耦合镜 22 射入腔体内, 并正入射在第一反射镜 23 上, 入射光束被第一反射镜 23 反射后返回到耦合镜 22, 并在耦合镜 22 处发生反射和透射, 经耦合镜 22 反射的光束正入射在第二反射镜 24 上, 光束被第二反射镜 24 反射后返回到耦合镜 22, 经耦合镜 22 反射后再正入射在第一反射镜 23 上, 实现光束在耦合镜 22、第一反射镜 23 和第二反射镜 24 之间谐振; 经耦合镜 22 透射的透射光束沿着与入射光束共线反方向的方向射出。

[0018] 基于本发明上述实施例提供的法布里-珀罗腔, 在法布里-珀罗腔中设置腔体、耦合镜、第一反射镜和第二反射镜, 其中腔体具有耦合面、第一反射面和第二反射面, 耦合镜、第一反射镜和第二反射镜分别设在耦合面、第一反射面和第二反射面上; 入射光束通过耦合镜射入腔体内, 并正入射在第一反射镜上, 入射光束被第一反射镜反射后返回到耦合镜, 并在耦合镜处发生反射和透射, 经耦合镜反射的光束正入射在第二反射镜上, 光束被第二反射镜反射后返回到耦合镜, 经耦合镜反射后再正入射在第一反射镜上, 实现光束在耦合镜、第一反射镜和第二反射镜之间谐振; 经耦合镜透射的透射光束沿着与入射光束共线反方向的方向射出。由于法布里-珀罗腔在提供反馈光束时, 并不需要额外的电子反馈系统进行控制, 因此可降低实现成本, 在保证系统稳定的同时进一步压窄了激光光束的线宽。

[0019] 根据本发明另一具体实施例, 第一反射面与第二反射面之间的夹角为 90° , 第一反射面和第二反射面分别与耦合面形成的夹角相同。

[0020] 根据本发明另一具体实施例, 第一反射镜 23 和第二反射镜 24 为平面高反射镜或凹面高反射镜, 腔体材料为光学石英玻璃。

[0021] 根据本发明另一具体实施例, 耦合镜 22、第一反射镜 23 和第二反射镜 24 上镀有光学镀膜, 镀膜的吸收系数小于 50ppm。

[0022] 根据本发明另一具体实施例, 耦合镜 22 上光学镀膜的镀膜反射率为 0.99, 第一反射镜 23 和第二反射镜 24 上光学镀膜的镀膜反射率大于 0.999。

[0023] 图 3 为本发明法布里-珀罗腔另一实施例的示意图。与图 2 所示实施例相比, 在耦合镜 22 和第一反射镜 23 之间的腔体中设有中空的第一光传播通道 31, 在耦合镜 22 和第二反射镜 24 之间设有中空的第二光传播通道 32, 在腔体中传播的光束通过中空的第一光传输通道和第二光传输通道进行传播。由于光束在中空的通道中进行传输, 可以进一步减小传输损耗, 提高法布里-珀罗腔的品质因数, 有利于减小最终输出的激光线宽。

[0024] 图 4 为本发明外腔半导体激光器一个实施例的示意图。如图 4 所示, 外腔半导体激光器包括半导体激光管 41、准直透镜 42、衍射光栅 43、法布里-珀罗腔 44, 法布里-珀罗腔 44 包括腔体 441、耦合镜 442、第一反射镜 443 和第二反射镜 444, 其中腔体 441 具有耦合面、第一反射面和第二反射面, 耦合镜 442、第一反射镜 443 和第二反射镜 444 分别设在耦合面、第一反射面和第二反射面上, 其中:

[0025] 半导体激光管 41 发出的激光光束通过准直透镜 42 入射到衍射光栅 43, 衍射光栅 43 对激光光束进行衍射, 将零级衍射光束作为外腔半导体激光器的输出光束; 并将一级衍射光束作为入射光束, 通过耦合镜 442 射入法布里-珀罗腔 44 的腔体内, 并正入射在第一反射镜 443 上, 入射光束被第一反射镜 443 反射后返回到耦合镜 442, 并在耦合镜 442 处发

生反射和透射,经耦合镜 442 反射的光束正入射在第二反射镜 444 上,光束被第二反射镜 444 反射后返回到耦合镜,经耦合镜 442 反射后再正入射在第一反射镜 443 上,实现光束在耦合镜 442、第一反射镜 443 和第二反射镜 444 之间谐振;经耦合镜 442 透射的透射光束沿着与入射光束共线反向的方向入射到衍射光栅 43;衍射光栅 43 对透射光束进行衍射,并将一级衍射光束作为反馈光束,通过准直透镜 42 入射到半导体激光管 41 中,半导体激光管 41 利用反馈光束实现窄线宽的激光输出。

[0026] 根据本发明实施方式提供的外腔半导体激光器,半导体激光管发出的激光光束通过准直透镜入射到衍射光栅,衍射光栅对激光光束进行衍射,将零级衍射光束作为外腔半导体激光器的输出光束;并将一级衍射光束作为入射光束,通过耦合镜射入法布里-珀罗腔的腔体内,并正入射在第一反射镜上,入射光束被第一反射镜反射后返回到耦合镜,并在耦合镜处发生反射和透射,经耦合镜反射的光束正入射在第二反射镜上,光束被第二反射镜反射后返回到耦合镜,经耦合镜反射后再正入射在第一反射镜上,实现光束在耦合镜、第一反射镜和第二反射镜之间谐振;经耦合镜透射的透射光束沿着与入射光束共线反向的方向入射到衍射光栅;衍射光栅对透射光束进行衍射,并将一级衍射光束作为反馈光束,通过准直透镜入射到半导体激光管中,半导体激光管利用反馈光束实现窄线宽的激光输出。由于法布里-珀罗腔在提供反馈光束时,并不需要额外的电子反馈系统进行控制,因此可降低实现成本,在保证系统稳定的同时进一步压窄了激光光束的线宽。

[0027] 根据本发明另一具体实施例,在法布里-珀罗腔 44 中,第一反射面与第二反射面之间的夹角为 90° ,第一反射面和第二反射面分别与耦合面形成的夹角相同。

[0028] 根据本发明另一具体实施例,衍射光栅可为透射型光栅或反射型光栅。其中对于反射型光栅而言,可进一步有利于对一阶衍射反馈的强度选择和控制。

[0029] 根据本发明另一具体实施例,外腔半导体激光器还包括半导体激光管热沉,用于控制半导体激光管的温度,从而可以调整半导体激光管的激光输出频率。

[0030] 根据本发明另一具体实施例,外腔半导体激光器还包括第一调节架,衍射光栅安装在第一调节架上,光栅调节架还具有第一压电陶瓷,用于对衍射光栅的角度、位置进行微调。其中第一调节架可用于对衍射光栅的角度和位置进行粗调,第一压电陶瓷可用于调整光栅的衍射角度,从而调整激光频率。

[0031] 根据本发明另一具体实施例,外腔半导体激光器还包括第二调节架,法布里-珀罗腔安装在第二调节架上,第二调节架还包括法布里-珀罗腔热沉和第二压电陶瓷,其中法布里-珀罗腔热沉用于控制法布里-珀罗腔的温度,从而实现透射光束频率的大范围慢速调谐,第二压电陶瓷作用于法布里-珀罗腔上,利用应力改变法布里-珀罗腔的谐振频率,用以实现透射光束频率的小范围快速调谐。由于透射光束用于反馈入射到半导体激光管中,因此通过法布里-珀罗腔热沉,最终可以实现对半导体激光器输出光束的频率进行大范围慢速调谐,同时通过第二压电陶瓷,最终可以实现对半导体激光器输出光束的频率进行小范围快速调谐。

[0032] 根据本发明另一具体实施例,法布里-珀罗腔为图 2 或图 3 所示实施例中的法布里-珀罗腔。

[0033] 在一个具体实施例中,功率为 30mW、波长为 689nm 的半导体激光管 41 发出的激光光束,经过焦距为 4mm、数值孔径为 0.6 的非球面准直透镜 42 准直后,入射在刻线密度为

1800g/mm、具有合适的衍射效率、刻线面积大小为 12.5mm×12.5mm、厚度为 6mm 的闪耀衍射光栅 43 上,例如入射角为 20.2°,衍射角为 63.5°。光栅的零阶衍射光或直接镜反射光作为激光器的输出光束。光栅的一阶衍射光模式匹配地入射在法布里-珀罗腔 44 上,将光栅 43,半导体激光管 41 和法布里-珀罗腔 44 组成光栅外腔。法布里-珀罗腔 44 的逆入射反射光具有与法布里-珀罗腔相反的光谱结构,该逆入射反射光作为反馈光沿着与原入射光束共线反向的路径,经光栅 43 返回到半导体激光管 41 中。由于法布里-珀罗腔 44 的选频作用,使得光栅外腔的选频作用被进一步增强,其效果表现为激光振荡的频率噪声被进一步压缩,从而实现激光线宽的压窄,得到短期线宽小于 100kHz。

[0034] 此外,外腔半导体激光器中还可设置非球面准直透镜调整架,用于固定非球面镜及激光束准直的调整,法布里-珀罗腔通过热沉固定在第二调节架上,半导体激光管热沉,非球面准直透镜调整架,第一调节架和第二调节架均被固定在底板上。

[0035] 在本发明中,法布里-珀罗腔腔体采用超低膨胀系数(Ultra Low Expansion,简称:ULE)材料制成,该材料具有非常好的稳定性。反射镜采用石英玻璃制成,其光学面上的反射区域按照超光滑光学加工工艺仔细加工,表面的粗糙度低于 0.5nm。互为 90° 角的两个光学面之间的角度误差以及三个光学面的塔差被控制在 6" 以内,光学镀膜的吸收系数小于 50ppm。作为输入输出耦合面的斜入射面的镀膜反射率为 0.99,正入射的高反射面的镀膜反射率 > 0.999。

[0036] 上述方案中的半导体激光管也可选用其它波长,其它输出功率。衍射光栅也可采用其它刻线密度和大小厚度构成的衍射光栅,也可选用其它的入射角和衍射角。准直透镜也可以采用其它焦距和数值孔径。

[0037] 本发明的描述是为了示例和描述起见而给出的,而并不是无遗漏的或者将本发明限于所公开的形式。很多修改和变化对于本领域的普通技术人员而言是显然的。选择和描述实施例是为了更好说明本发明的原理和实际应用,并且使本领域的普通技术人员能够理解本发明从而设计适于特定用途的带有各种修改的各种实施例。

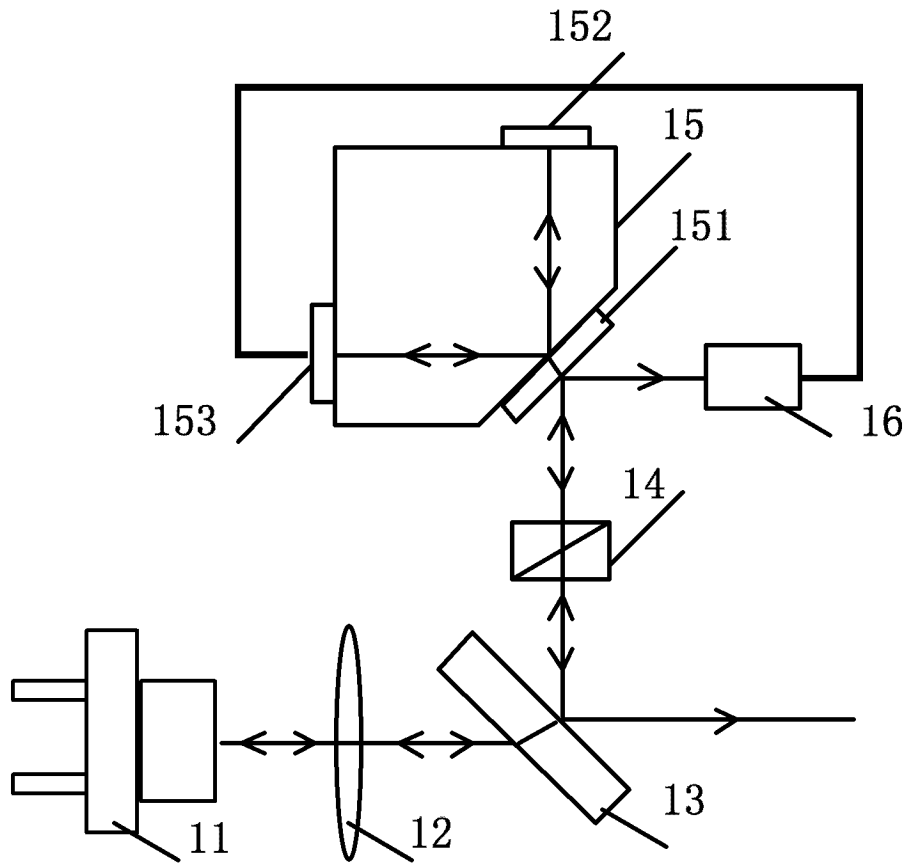


图 1

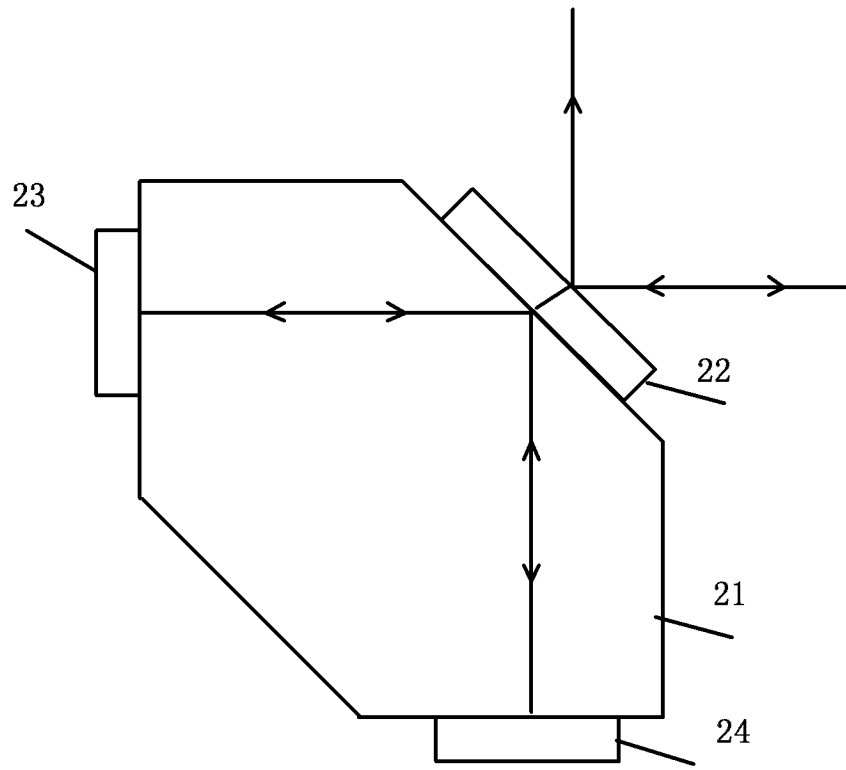


图 2

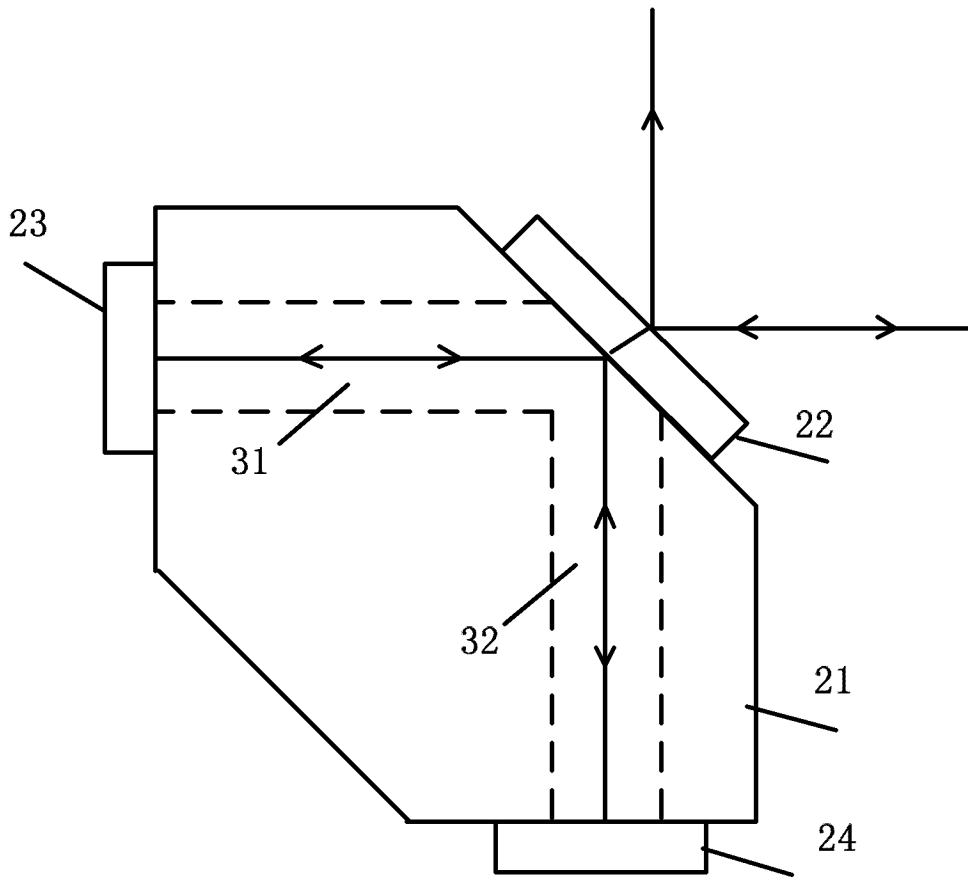


图 3

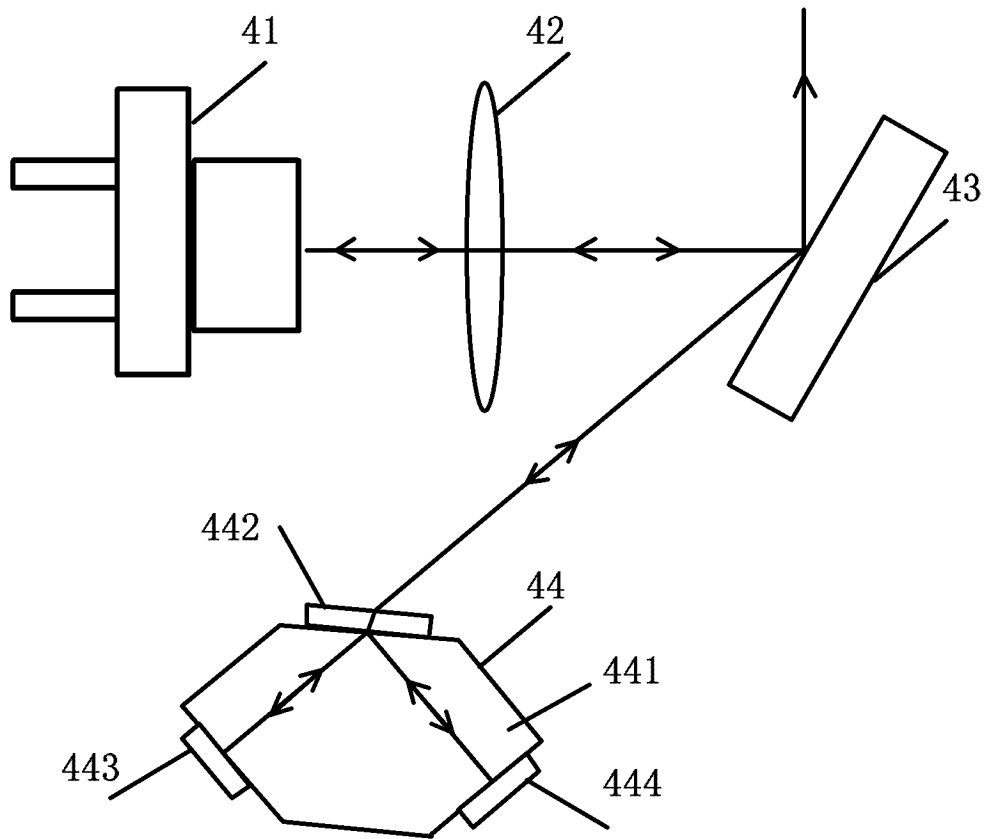


图 4