

文章编号: 0258-7025(2001)06-0509-04

全内腔角块定频差双折射 双频 He-Ne 激光器及其稳频研究^{*}

肖 岩 张书练 韩艳梅 李 岩

(清华大学精密仪器系精密测试技术及仪器国家重点实验室 北京 100084)

提要 介绍了全内腔角块定频差双折射双频 He-Ne 激光器的结构设计,用等光强法对其进行热伺服稳频,在 8 h 工作时间内,稳频精度在 2×10^{-7} 以上。

关键词 双折射双频激光器,角块,稳频

中图分类号 TN 248.2+1 文献标识码 A

Full-inner-cavity Birefringence Dual-frequency He-Ne Laser with Fixed Frequency-difference by Angle-block and Frequency-stabilization

XIAO Yan ZHANG Shu-lian HAN Yan-mei LI Yan

(State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instrument,
Tsinghua University, Department of Precision Instrument, Beijing 100084)

Abstract This paper discusses the design of full-inner-cavity birefringence dual-frequency He-Ne laser with fixed frequency-difference by angle-block structure, and the frequency-stabilization schemes of serving the laser with heater through the equal light intensity methods. The frequency stability is better than 2×10^{-7} within 8 hours.

Key words birefringence dual-frequency laser, angle-block, frequency stabilization

1 引 言

双折射双频激光器是清华大学精密测试技术及仪器国家重点实验室研制的一种新型激光器。这种新型激光器可输出两个频率的偏振方向相互垂直的线偏振光,而且其频差大小可以调节^[1~7]。由于双折射双频激光器具有大频差、线偏振光输出等优良特性,所以它在激光测量、激光传感器等方面有着广阔的应用前景。

全内腔角块定频差双折射双频 He-Ne 激光器是我们设计并研制的一种结构新颖的双折射双频激光器。它是基于对双折射双频激光器的特殊结构要求,在对以往激光器封接形式优缺点分析的基础上设计的。

双折射双频激光器在精密测量中的广泛应用要求对其进行稳频。事实上,由于激光器不宜太短以

保证有较大光功率,以及环境温度的随机性,有时双折射双频激光器只输出一种频率的光。若不稳频,就不能产生稳定的拍频信号。双折射双频激光器的稳频研究是一个新课题,我们在研究双折射双频激光器的特性和对已有方法的比选的基础上,提出了全内腔角块定频差双折射双频 He-Ne 激光器的稳频方案,并设计制造了稳频系统,取得了良好的效果,为其实际应用奠定了基础。

2 全内腔角块结构设计

这种新型激光器是在 He-Ne 激光谐振腔内插入石英晶体,由于石英晶体的双折射效应, o 光和 e 光在谐振腔内传播时虽然几何腔长同样长,但物理腔长对两种光不一样,输出两个正交线偏振模,称之为双折射双频激光器,其原理如图 1 所示。图中, T 为放电管, M_1, M_2 为激光腔镜,它们与 T 共同组成传统的激光腔; Q 为石英晶体,正是由于它的加入,形成了这种新型的激光器。石英晶体的晶轴和激光束

^{*} 北京自然科学基金资助课题。

的夹角为 θ , θ 通常很小, 激光器输出的频率的频差可随此夹角连续变化, 但在一般情况下, 激光器一旦封接完成, 每只激光器的频差是一定的。

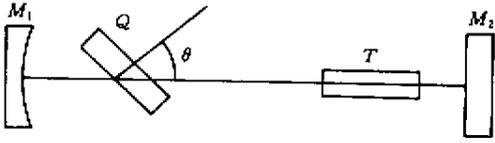


图 1 双折射双频激光器结构示意图

Fig.1 Structure schematic drawing

由于激光谐振腔内插入石英晶片, 所以对激光器的结构设计提出了新的要求。在以往的激光器结构设计中, 窗片与激光管壁的封接形式有两种, 即硬封接和软封接。硬封接是指利用玻璃粉末在其熔融态时将窗片与激光管壁粘合。其特点是封接牢固, 可靠性强, 不易漏气, 但要求被连接的两部分具有相同的热膨胀系数, 否则将在被连接的管颈和反射镜内产生应力。软封接是指用环氧树脂粘合窗片和激光管壁。其特点是允许被连接两部分在热膨胀性能方面有一定差异, 封接工艺简单, 但环氧树脂存在漏气和放气问题, 影响寿命。

基于硬封接的要求, 又由于 $\alpha_{\text{quartz}} = 5 \times 10^{-7}$, 增益管材料为硬质玻璃 11[#], $\alpha_{\text{glass 11}^{\#}} = 6 \times 10^{-6}$, 所以石英晶片作为激光器窗片与增益管进行硬封接是不可取的, 因此我们提出以下的全内腔角块式结构设计以解决这个问题。如图 2 所示, 反射镜由 K4 玻璃研磨镀膜而成, 与增益管硬封接。角块实为一楔形圆筒, 楔角为 θ , 其一端平面与反射镜贴紧, 圆筒中空是为了通光和防止磨损窗片镀膜层。石英晶片由弹簧压紧在角块上, 使晶片的晶轴与光束方向成 θ 角。这种结构设计有效地改善了原有封接形式的不利影响, 并且结构简单, 工艺易于实现, 精度也较高。

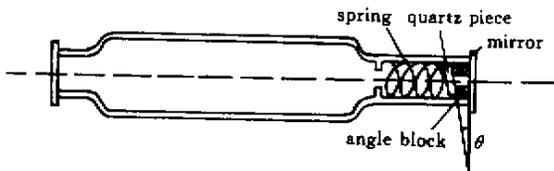


图 2 角块结构示意图

Fig.2 Structure schematic of angle block

3 双折射双频激光器功率调谐特性

由于双折射双频激光器的增益管内充入了双同位素 Ne , 这使得 o 光和 e 光的输出功率曲线并不重合, 在一个出光带宽内的功率与腔长的调谐曲线及两模式之间的差值曲线的原理图如图 3 所示。

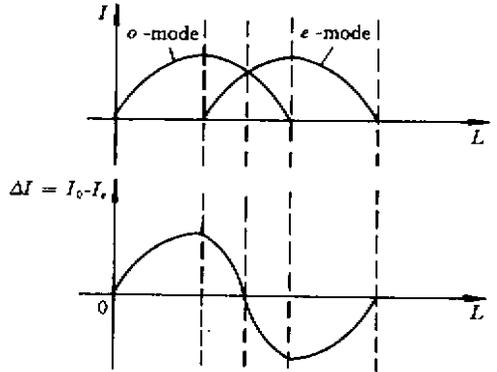


图 3 光强差与腔长的调谐原理曲线

Fig.3 Schematic drawing of intensities of two modes and intensity as a function of L difference

从图 3 可以初步看出, 两模式的光强差曲线在一个出光带宽的中间部分基本呈线性, 而且当两模式光强相等时, 光强差为零, 这为后续稳频方法和稳频参量的选择提供了依据。双折射双频激光器的这种功率调谐特性在实验中也得到了验证。

4 双折射双频激光器稳频方法的选取

对于一个工作在基模 (TEM_{00q}) 的自由运转的激光器来说, 其振荡频率为

$$\nu = q \frac{c}{2nL} \quad (1)$$

式中, q 为模的阶数, c 为真空中光速, L 为腔长, n 为腔内平均折射率。从式中可以看出来, 若腔长 L 或折射率 n 发生变化, 都会导致激光振荡频率的变化。影响频率稳定的外界因素主要有温度变化、大气变化、机械振动、磁场影响等; 内部因素主要有管内气压变化、放电电流变化、自发辐射所造成的无规噪声等。其中外部因素对激光器频率的影响较大, 而在本课题中使用的是全内腔激光器, 所以激光器腔长的变化是影响频率稳定的最主要因素。因此, 频率变化可表示为

$$\Delta\nu = -\nu \frac{\Delta L}{L} \quad (2)$$

由上式可推出, 激光器腔长每变化 $\lambda/2$, 激光频率就漂移一个纵模。所以, 从一定意义上说, 激光器的稳

频就是稳定腔长的问题。

由于光波频率一般在 10^{14} Hz 量级,无法对它直接进行测量和比较。因此,稳频的本质是:找到一个特征量 δ ,使得激光频率(或波长)的微小变化引起特征量 δ 的显著变化,而且它们之间的变化关系比较固定。这样,通过稳定 δ 间接达到稳定激光频率的目的。目前,所有的稳频方案都是基于这一原理的。在对双折射双频激光器进行稳频时,当然也要遵从这一原理。但是,由于没有较成熟的双折射双频激光器的稳频经验可以借鉴,所以,仍要对各种特征量和稳频原理进行比选。

对于双折射双频激光器来说,拍频、光强差等都是双频激光器所特有的特征量。基于对双折射双频激光器功率调谐特性的分析,可知其光强差与腔长有着密切的关系。所以,在稳频过程中选取光强差作为双折射双频激光器的稳频参量。

稳频方法分为极值法和非极值法。在极值法稳频中,因为极值点一般是谱线的中心频率,为自然基准,受外界环境影响小,所以频率的复现性都很好。但是为了寻找极值点,必须加搜索信号,这样就不可避免地使输出光都带有调制。在非极值法稳频中,输出光一般没有调制,但是由于稳频参考点离开了谱线中心,因此频率的复现性较差。

通过比较可知,等光强法的稳频参考点是原子谱线中心,输出光无调制,且系统简单易实现;另外,等光强法能够得到强度相等的两模,这正好与双折射双频激光器的功率调谐特性相适应,并且能够得到较强的拍频信号,有利于测量应用。热伺服法适用于全内腔激光器,能够达到 10^{-8} 的稳频精度,已能够满足要求,实验装置也比较简单,易于实现。所以,我们采用等光强、热伺服法来设计全内腔角块定频差双折射双频激光器的稳频系统。

为了判断等光强法的可行性,我们研究了双折射双频激光器的功率差调谐特性。由于双折射双频激光器的输出光为两个偏振方向相互正交的线偏振光,因此需要用偏振分光棱镜将它们分开,再用两套接收电路接收,就能同时对两束光的光强进行采样和比较。而偏振分光棱镜能否将两个正交线偏振光很好地分开,将直接关系到稳频的精度,甚至能否稳频的问题。若没有将它们很好地分开,那么两束光彼此分别混入了另一束光的光强信号,就有可能得不到光强差信号,即使得到了光强差信号,也比真正的光强差小,系统将不灵敏。所以应十分仔细地调节偏振分光棱镜,找到合适的分光位置。

调节偏振分光棱镜时我们注意到一个重要问题:由于采用尾光稳频,调节时不能以激光器前端出射光的偏振态作为调节依据,因为双折射双频激光器前后端输出光的偏振态是不一致的。

图 4 是等光强法原理实验装置示意图。实验时通过绕在激光管上的电阻丝加热激光管,调谐腔长;同时用两套光电三极管及相应放大电路分别接收两模的光强信号,送入差动放大器,得到光强差信号,用记录仪记录下来。实验测得的两模的实际光强差与腔长的调谐曲线如图 5 所示,它与原理曲线吻合。

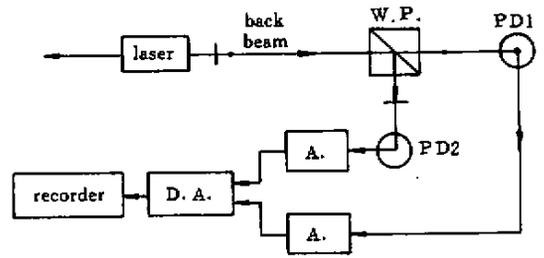


图 4 等光强法实验装置图

Fig. 4 Setup of principle experiments

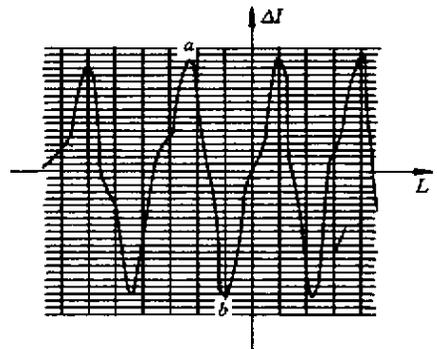


图 5 光强差与腔长的调谐实验曲线

Fig. 5 Experimental curves of difference in intensities

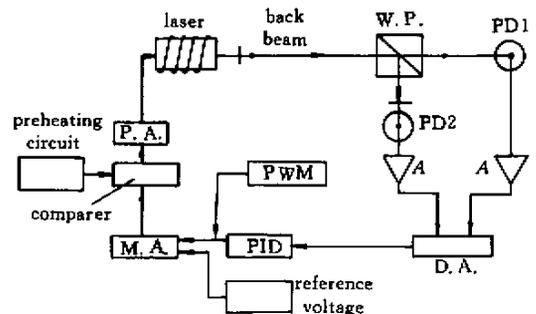


图 6 稳频系统总框图

Fig. 6 Frequency-stabilization system

从图 5 来看,光强差信号 ΔI 随腔长的调谐周期性重复,说明它们之间的关系比较稳定。另一方面,曲线基本关于零点对称分布。因此,只要保证光强差为零,即可将光频稳定在增益曲线的中心频率 ν_0 附近。可以利用图中的 ab 段进行稳频,因为这一段线性度较好,可近似看作直线,直线的斜率也较大,这对稳频系统的线性和稳频精度都是非常有利的。

5 双折射双频激光器的稳频实验

图 6 是系统总体框图,两束正交线偏振光经偏振分光棱镜分开后,分别经光电接收、前置放大后送入差动放大器,得到光强差信号。PID 调节电路即比例积分微分控制电路,对光强差信号进行处理后得到控制信号,它和 PWM(Pulse Width Modulator)电路产生的脉宽调制信号进行合成,然后送入中级放大电路,得到反馈信号,再经过功率放大后加到电阻丝两端,加热激光器,控制腔长,从而实现稳频。预热过程中,预热延时电路产生 15 V 正电压,经过比较器使系统开环,对激光管加热,建立稳频工作点。当激光管达到一定温度后,延时结束,比较器输出反馈信号,启动系统进入闭环状态,实现稳频。此延时即为预热时间,本系统的预热时间为 20 min。参考电压的大小可以改变稳频工作点。

6 结 论

全内腔角块定频差双折射双频 He-Ne 激光器在实验中体现了良好的工作性能,充分说明了全内腔

角块结构设计的实用性。在对其进行稳频的过程中,我们注意了建立热稳频温度梯度和稳频参数的匹配调节,并且达到了预期的实验效果。在 8 h 的工作时间内,温度稳定度在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 的实验条件下,稳频精度在 2×10^{-7} 以上。

致谢 感谢李克兰教授,中国计量科学院钱进、安家鸾、刘秀英等同志对本研究的支持。

参 考 文 献

- 1 Yang Sen, Zhang Shulian. The frequency split phenomenon in a He-Ne laser with a rotational quartz plate in its cavity. *Opt. Commun.*, 1988, **68**: 55 ~ 57
- 2 Zhang Shulian, He Wenkai. The laser mode split by rotating an intracavity, tilt cut crystal quartz plate around its surface normal. *Opt. Commun.*, 1993, **97**(3): 210 ~ 214
- 3 Shulian Zhang, Min Lu, Guofan Jin *et al.*. Laser frequency split by an electro-optical element in its cavity. *Opt. Comm.*, 1993, **96**(4): 245 ~ 248
- 4 Shulian Zhang, Kelan Li, Minxian Wu *et al.*. The pattern of mode competition between two frequencies produced by mode split technology by tuning of the cavity length. *Opt. Comm.*, 1992, **90**(4): 279 ~ 282
- 5 Zhang Shulian, Han Yanmei. Tuning curves of 70 MHz frequency differences for He-Ne standing-wave lasers. *Chinese Physics Letter*, 1993, **10**(12): 728 ~ 730
- 6 Zhang Shulian, Guo Hui, Li Kelan *et al.*. Laser longitudinal mode splitting phenomenon and its applications in laser physics and active metrology sensors. *Optics and Laser in Engineering*, 1995, **23**: 1 ~ 28
- 7 Zhang Shulian, Li Kelan, Ren Ming *et al.*. Investigation of high-resolution angle sensing with laser mode split technology. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(12): 1967~1970