

HeNe双频激光器频差的激光内雕赋值法*

朱守深 张书练† 刘维新 牛海莎

(清华大学, 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 北京 100084)

(2013年9月10日收到; 2013年12月9日收到修改稿)

在精密测量领域, HeNe激光器是制造激光干涉仪的首选. 但能够产生中频差4—40 MHz的双折射-塞曼双频HeNe激光器的频差是随机的, 小到几百kHz, 大到十几MHz. 为了让频差能够满足制作双频激光干涉仪的要求, 曾出现过弹性加力法、钻孔应力调节法等调整和频差赋值的方法. 但这些方法在实际应用中都不是很理想. 采用激光内雕法赋值频差, 通过在激光器的平面输出镜内部雕刻出不同图案, 使平面镜内部产生满足要求的相位延迟, 达到为频差赋值的目的. 激光内雕法有很多优点: 不损害激光器, 美观; 功率损失小, 出光强度可接近原始光强度; 可反复赋值, 频差在0—60 MHz范围内可调整; 频差的稳定性好, 采用稳频措施后频差的波动范围小于每小时10 kHz.

关键词: 双折射-塞曼, 频差, HeNe激光器, 激光内雕**PACS:** 42.25.Lc, 42.25.Hz, 43.25.Jh, 32.60.+i**DOI:** 10.7498/aps.63.064201

1 引言

由于He-Ne激光器有良好的频率稳定性, 一直是外差式双频激光干涉仪的首选光源, 被广泛用于先进制造行业和纳米技术领域作为距离测量、速度测量、振动测量、形貌测量、实时位置测控等. 双频激光干涉仪的频差决定了干涉仪可测量的目标运动速度大小, 输出功率决定了干涉仪带负载能力和测量距离. 为满足高速测量和多自由度测量的需求, 双频激光干涉仪的光源系统要有更高的输出功率和更大的频差.

国外中、小频差激光干涉仪一般采用纵向塞曼效应产生频率分裂, 使HeNe激光器输出两正交圆偏振光. 但这种原理获得的频差一般小于4 MHz, 且随着频差增大, 输出光功率会迅速下降. 在普通HeNe激光器的垂直方向加磁场使激光产生频率分裂的横向塞曼效应可以输出两正交线偏振光, 但频差比纵向塞曼效应更小, 一般为1 MHz以下, 无法满足要求.

文献[1]使用“偏振双反射膜”可以产生5 MHz

频差, 但这种方法因为没有复现性而被放弃. 文献[2]和厂家采用声光移频的方法来产生频差, 但系统庞大复杂, 成本很高, 不利于推广使用. 文献[3]中使用双纵模稳频, 产生了1 GHz以上的频差, 但功率很弱, 且后续处理电路非常复杂. 文献[4]通过在腔内插入双折射器元件的方法, 得到了40 MHz以上的大频差, 但使用半外腔式HeNe激光器, 也不适用于双频激光干涉仪的制作. 因此, 目前适合双频激光干涉仪发展需求的频差应该为5—10 MHz, 输出总功率大于0.7 mW.

采用弹性加力[5]和钻孔应力调节[6]的双折射-塞曼激光器也可以获得较大的频差和功率输出, 但前者控制复杂, 频差稳定性很差; 后者对激光器的损害很大, 影响了激光器的寿命, 频差的稳定性也较差.

激光内雕机通常用于水晶像的制作. 采用激光内雕法赋值频差既可以获得较大的频差调整量和稳定的频差, 又很少损失激光功率, 非常适合作外差式双频激光干涉仪的光源.

* 国家重大专项 (批准号: 2009ZX02208-009) 资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: zhust09@gmail.com

2 双折射-塞曼双频激光器原理

基于双折射镜技术的双折射-塞曼双频HeNe激光器由凹面镜 M_c 、平面镜 M_f 组成谐振腔。与普通HeNe激光器不同的是,双折射-塞曼激光器输出平面镜靠近内侧的一面镀增透膜系,靠近外侧的一面镀高反射膜系,如图1。

由于输出平面镜相当于在腔内置入的双折射元件,其内部应力的存在使输出平面镜变为了各向异性介质。在双频激光器的轴线垂直方向加204高斯的磁场后,“塞曼效应”使原来的增益曲线分裂为三条:一条 π 增益线,两条 σ 增益线。一个模式的光被分裂为平行于磁场方向的线偏振的 π 光和垂直

于磁场方向的线偏振的 σ 光^[7-9]。

用沃拉斯顿棱镜将两正交偏振光分开后分别记录两束光的光强,即得到双频激光器的 π 和 σ 光强-时间曲线(如图2)。其中, π 光与 σ 光为一对正交线偏振光,其频率之差称为频差。由于在制作双折射-塞曼双频激光器过程中,高温封接使激光器的平面输出镜本身产生一定的应力,这种应力带来的频差比普通HeNe激光器大得多。但由于封接应力是不固定值,频差的大小也是随机的,小到几百kHz,大到十几MHz。为了满足制作双频激光干涉仪光源的频差需求,需要对输出平面镜上的应力进行调整,改变其大小,以赋值频差。

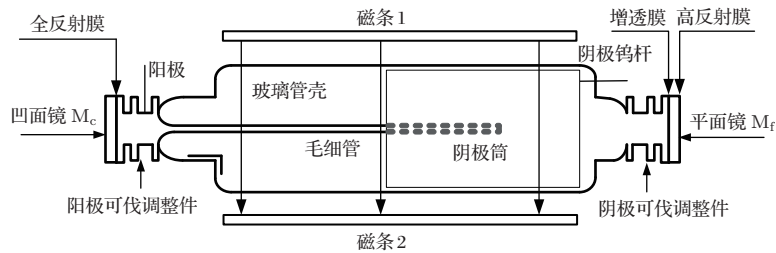


图1 双折射-塞曼双频激光器

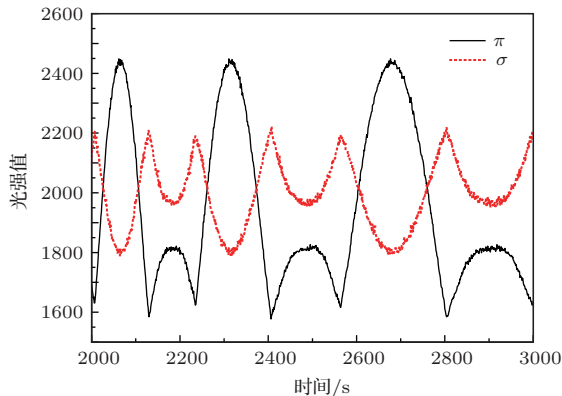


图2 横向加204高斯磁场后的 π 和 σ 光强-时间调谐曲线

3 激光内雕法赋值频差的原理

实验证明:双折射-塞曼双频激光器产生的频差与加在激光器上的磁场大小无关(磁场仅影响 π 和 σ 光的高低,不影响曲线特征),而只与输出平面镜上的应力带来的相位延迟量有关。

当激光器的输出平面镜内部存在应力时,平面镜片便由各向同性介质变为各向异性介质。当激光经过这样的介质时,沿两个主轴方向偏振的光的折射率就有了微小差别,分别为 n_x, n_y 。折射率之差可用下式表示:

$$\Delta n = n_x - n_y = (c_x - c_y)(\sigma_x^F - \sigma_y^F), \quad (1)$$

式中, c_x, c_y 分别为沿两个主轴方向材料的光学系数; σ_x^F, σ_y^F 分别对应这两个方向上的应力大小。其带来的频差值可用下式表示:

$$\Delta \nu = \frac{\nu}{L} \frac{8\lambda}{\pi D} \frac{F}{f_0}, \quad (2)$$

式中: $\Delta \nu$ 为频差大小,单位为MHz; D 为输出平面镜的直径, F 为应力大小, $f_0 = \lambda / (c_x - c_y)$ 为材料条纹值。采用激光内雕法赋值频差,可以比较准确地控制频差量的增减,对激光器本身几乎没有损害。

如图3所示,放置元件后,测试双折射-塞曼激光器的频差。用胶棒轻触激光器的输出镜,找出使频差增加和减小的最佳方向,标记在激光器的输出镜上。一般使频率增加和减小的两个最佳方向是正交的。在确定了需要“雕刻”的位置后,根据需要修正的频差值确定内雕机工作电流的大小、点阵的数量和密度等参数。

调整内雕机使其光束避开输出平面镜的高反射膜层,聚焦在距平面镜表面约0.5 mm深处,进行雕刻,如图4所示。雕刻完成之后,再次测量频差大小。如果一次不能准确地赋值,可再次重复修正赋值。

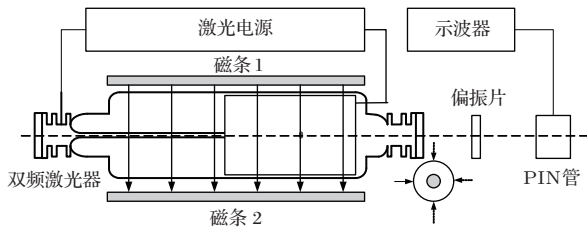


图3 双折射-塞曼双频激光器的主应力方向测试示意图

在应力仪下观察“雕刻”过的平面镜球形点阵, 在一个方向上呈蓝色, 另一个与之垂直的方向上呈黄色. 点云周围的应力分布情况代表了这两个方向上相位延迟量的分布状态.

4 频差赋值后的频差-时间调谐曲线

分别记录双频激光器在频差赋值之前和之后 (如图5所示) 的 π 与 σ 光的频率差-时间调谐曲线, 如图6所示. 可以看到: 双频激光器的原始频差约为3.9 MHz, 且其频差-时间曲线比较杂乱, 规律性差; 采用激光内雕法赋值后的频差平均值约为

5.68 MHz, 且频差-时间 (腔长) 曲线呈现“S”形.

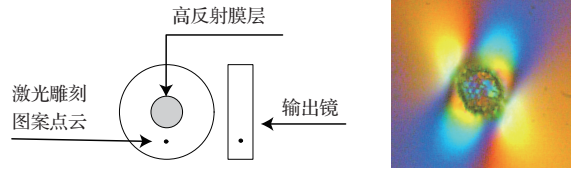


图4 激光内雕法示意图及雕刻后的应力分布



图5 激光内雕赋值频差的双频激光器

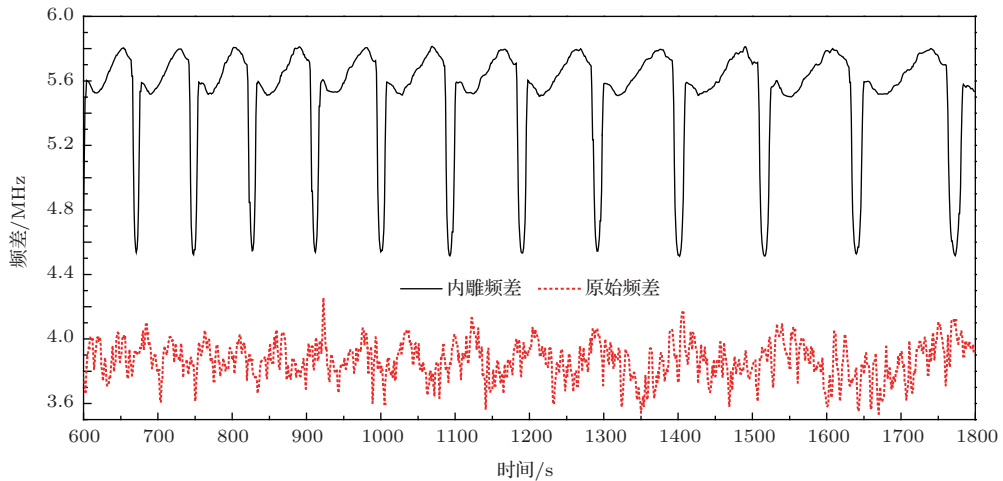


图6 双频激光器在频差赋值前后的频差-时间调谐曲线

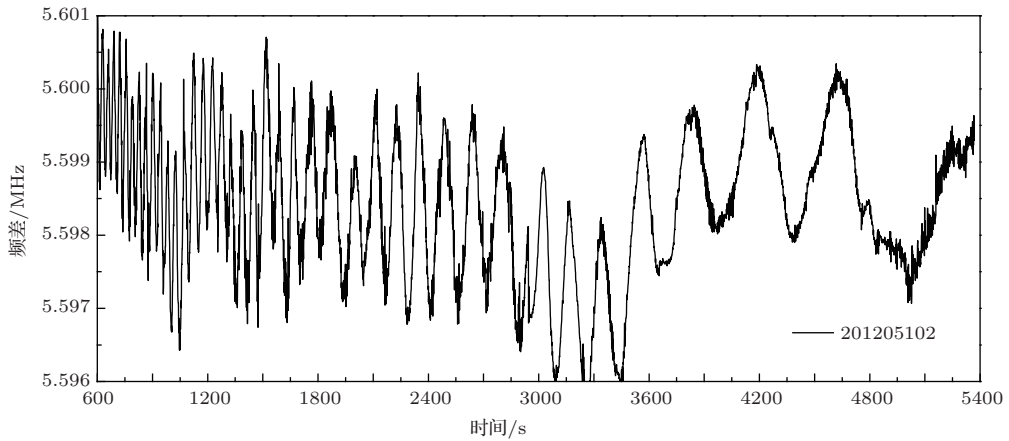


图7 双折射-塞曼双频激光器 1.5 h 频差曲线

基于 π 与 σ 光强-时间调谐曲线和频差-时间调谐曲线,采用“等光强点法”进行腔长稳定,形成“腔长增大- π 、 σ 光强差变大-散热-腔长缩短- π 、 σ 光强差变小-加热”的闭环控制后,频差的波动更小,如图7所示.腔长稳定后,在1.5 h的测试过程中,双频激光器的频差波动小于5 kHz.

5 结 论

双折射-塞曼双频激光器的原始频差是由高温封接产生的,随机性较大.采用激光内雕法,可以改变双频激光器平面输出镜上的应力分布,调整频差,经过调整的激光器频差更稳定.这种双频激光器满足了外差式双频激光干涉仪对中频差、大功率的要求,特别适合用于作为外差式双频激光干涉仪的光源系统.

参考文献

- [1] Gao S, Yin C Y, Guo J H 2002 *Acta Metrol. Sin.* **23** 241 (in Chinese) [高赛, 殷纯永, 郭继华 2002 计量学报 **23** 241]
- [2] Dandliker R, Thalmann R, Prongué D 1987 *The 14th Congress of the International Commission for Optics* **9**
- [3] Zhang H, Shen N Z 2005 *Spectrosc. Spectr. Anal.* **25** 1009 (in Chinese) [张辉, 沈乃微 2005 光谱学与光谱分析 **25** 1009]
- [4] Zhang S L, Li K L, Jin G F 1994 *Opt. Engineer.* **33** 2430
- [5] Ren L B, Ding Y C, Zhou L F, Zhang S L 2008 *Infrared and Laser Engineering* **37** 814 (in Chinese) [任利兵, 丁迎春, 周鲁飞, 张书练 2008 红外与激光工程 **37** 814]
- [6] Zhou L F, Zhang S L, Huang Y, Guo H 2008 *Laser Phys.* **12** 1517
- [7] Cui L, Zhang S L, Wan X J 2008 *Chin. Phys. B* **17** 644
- [8] Tan Y D, Zhang S L 2010 *Chin. Phys. B* **19** 034203
- [9] Ren C, Tan Y D, Zhang S L 2009 *Chin. Phys. B* **18** 3438

Laser-micro-engraving method to modify frequency difference of two-frequency HeNe lasers*

Zhu Shou-Shen Zhang Shu-Lian[†] Liu Wei-Xin Niu Hai-Sha

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

(Received 10 September 2013; revised manuscript received 9 December 2013)

Abstract

In the field of precision measurement, HeNe laser is the first choice for fabricating laser interferometer. But the frequency difference of Birefringence-Zeeman dual-frequency HeNe laser, which can produce a medium frequency difference of 4–40 MHz, is randomly from as small as hundreds of kHz to as large as a dozen of MHz. To meet the production requirements for frequency difference of dual-frequency laser interferometer, there are some methods such as elastic strength and hole-drilling stress adjustment. But in the practical application, these methods are not very satisfactory. Laser-micro-engraving method assigns frequency difference by engraving a pattern in the plane mirror, and causes the phase retardation to achieve the purpose of frequency difference assignment. Laser engraving technique has many advantages: harmless to the laser, beauty, low power loss. The output power is close to the original light intensity. The frequency difference can be repeatedly adjusted and is stable. By frequency stabilization, the frequency difference fluctuates in a range of less than 10 kHz per hour.

Keywords: Birefringence-Zeeman, frequency difference, HeNe laser, laser-micro-engraving

PACS: 42.25.Lc, 42.25.Hz, 43.25.Jh, 32.60.+i

DOI: [10.7498/aps.63.064201](https://doi.org/10.7498/aps.63.064201)

* Project supported by National Key S&T Special Projects of China (Grant No. 2009ZX02208-009).

[†] Corresponding author. E-mail: zhust09@gmail.com