

文章编号: 1001-3806(2007)05-0459-03

双折射外腔双频激光器光回馈

刘 音, 李 岩*

(清华大学 精密仪器系 精密仪器与测试技术国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 为了研究双频激光器的光回馈特性, 采用双折射外腔光回馈的方法, 进行了理论分析和实验验证, 取得了双频激光器中条纹倍频现象的数据。结果表明, 光回馈系统分辨率提高了 1 倍, 同时利用双频激光器两垂直偏振光间的模竞争, 使得倍频条纹的调制幅度明显增大, 从而使得光回馈系统的灵敏度大大提高。实验结果与理论分析吻合, 这对提高光回馈系统的分辨率是有帮助的。

关键词: 激光技术; 光回馈; 模竞争; 自混合干涉; 双频激光器

中图分类号: O436.1 **文献标识码:** A

Optical feedback in dual frequency lasers with birefringent external cavity

LIU Yin, LI Yan

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

Abstract In order to study the optical feedback characteristics of the dual frequency laser, a birefringent external cavity was studied through both theoretical analysis and experiments. In the experiments, the phenomenon of the fringe frequency doubled was observed. It was found that the resolution of the optical feedback system was doubled and the sensitivity of the optical feedback system was also improved after the modes competition between both the polarized light beams. The work is useful for improving the resolution of the optical feedback systems.

Key words laser technique; optical feedback; modes competition; self mixing; dual frequency lasers

引 言

光回馈^[1,2]是指在激光应用系统中, 激光器输出光被外部物体反射或散射后, 部分光反馈回激光谐振腔内并与腔内光混合, 引起激光器的输出光强变化的现象, 该现象也称作自混合干涉^[3,4]或背向散射调制^[5,6]。

KING^[7]于 1963 年首次报道了光回馈现象, 发现一个可移动的外部反射镜能引起激光光强的波动, 光强波动的条纹类似于传统的双光束干涉现象, 外部反射镜每移动半个光波波长的位移, 激光器光强变化一个条纹, 条纹的波动深度与传统双光束干涉系统可比较。光回馈干涉仪具有和传统的干涉仪相同的相位灵敏度, 而且结构简单紧凑。

而在研究双折射外腔光回馈的过程中发现了条纹

倍频现象^[8], 即双折射外腔中的石英晶体在某一特定转角下可使得光回馈系统的光回馈条纹成倍增加, 从而提高了光回馈系统分辨率。但在系统分辨率提高的同时, 光强条纹的波动深度减小了, 系统的灵敏度也随之降低。

作者将双频激光器^[9-11]引入双折射外腔的光回馈系统, 不仅观测到双频激光器中的条纹倍频现象, 而且利用双频激光器两垂直偏振光间的模竞争, 使得倍频条纹的调制幅度明显增大, 因此, 以双频激光器为光源的双折射外腔光回馈系统, 不仅可以使光回馈系统的分辨率提高 1 倍, 而且也可以使光回馈系统的灵敏度大大提高。

1 实验装置

图 1 为以 He-Ne 双频激光器为光源的双折射外腔光回馈系统示意图。M₁ 和 M₂ 组成了 He-Ne 激光器的谐振腔, 两腔镜反射率依次为 R₁ = 0.99 和 R₂ = 0.98。G 为石英晶壳, 用来封装激光器谐振腔; M₃ 为外腔反射镜, 其反射率为 R₃ = 0.4。由压电陶瓷 P 驱动; Q 为石英晶体; θ 为石英晶轴与光线方向间的夹角; T 为激光器的增透窗片; B 为施加在激光器增益管

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50575116, 50410479)

作者简介: 刘 音 (1982-), 女, 硕士研究生, 主要从事双频激光器的研究。

* 通讯联系人。E-mail: liyan@mails.tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2006-07-10 收到修改稿日期: 2006-09-11

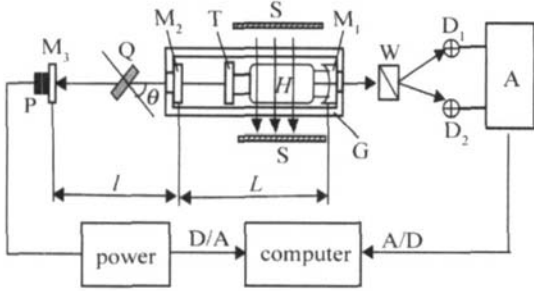


Fig 1 The experimental setup

上的横向磁场,它由两块平行放置的磁铁 S 产生。由于磁场 H 的加入,同时考虑到增透窗片 T 上的残余应力,该激光器为 1 支塞曼-双折射双频激光器,它输出的频差为 1 MHz。W 为渥拉斯顿棱镜,它将激光器尾光中的两垂直偏振光分开,分别由光电探测器 D₁ 和 D₂ 探测并转换为电信号,电信号经放大电路 A 放大后由安装在计算机上的 A/D 采集卡采集存储在计算机上。压电陶瓷 P 由高压电源模块驱动,高压电源模块则由计算机上的采集卡的 D/A 输出信号控制。D/A 输出电压每变化约 60mV,压电陶瓷 P 伸长量变化半个光波长。激光器腔长 L = 135mm,外腔腔长 l = 205mm。

2 理论分析

以单纵模激光器为光源的双折射外腔光回馈系统,其光强表达式为^[8]:

$$I = I_0 \left\{ 1 + \frac{K\beta}{2L} \left[\cos\phi + \cos(\phi + \delta_1) \right] + R_3 \left[\cos(2\phi + \delta) + \cos(2\phi + \delta + 2\delta_1) \right] \right\} \quad (1)$$

式中, δ_1 是两垂直偏振光在外腔往返一次时,由石英晶体双折射效应所引起的相位差。 δ 是由外腔非准直所引起的附加相位差; $\phi = 4\pi l_0/\lambda$ 为 o 光在外腔往返一次所引起的相位差,其中 l_0 为 o 光腔的物理腔长, λ 为激光器输出光束的波长, K 和 β 均为常数。 I_0 为激光器无光回馈时的光强。由 (1) 式可知,光回馈系统光强由 3 部分组成: 直流分量 I_0 , 一倍频分量 $I_0 K\beta \times [\cos\phi + \cos(\phi + \delta_1)]/2L$, 以及二倍频分量 $I_0 K\beta R_3 \times [\cos(2\phi + \delta) + \cos(2\phi + \delta + 2\delta_1)]/2L$ 。激光器光强条纹的周期由一倍频分量部分决定,因此,外腔长每变化半个波长,激光器光强变化 1 个周期。

而在双频激光器中由于两垂直偏振光(垂直光和平行光)共享增益介质,激光器在无光回馈时的两光单位长度内的线性增益总和与有光回馈时的两光单位长度内的线性增益总和相等,如下式所示:

$$g_{0\perp} + g_{0\parallel} = g_{\perp} + g_{\parallel} \quad (2)$$

式中, $g_{0\perp}$ 和 g_{\perp} 分别为垂直光在无光回馈和有光回馈时的单位长度内的线性增益, $g_{0\parallel}$ 和 g_{\parallel} 则分别为平行

光在无光回馈和有光回馈时的单位长度内的线性增益。

由 (2) 式可以得到:

$$\Delta g_{\perp} = -\Delta g_{\parallel} \quad (3)$$

由于光回馈系统的激光光强与单位长度内的线性增益变化 Δg 的关系为^[12]:

$$I = I_0(1 - K\Delta g) \quad (4)$$

考虑平行光光强为:

$$I_{\parallel} = I_{0\parallel} \left\{ 1 + \frac{K\beta}{2L} \left[\cos\phi + \cos(\phi + \delta_1) \right] + R_3 \left[\cos(2\phi + \delta) + \cos(2\phi + \delta + 2\delta_1) \right] \right\} \quad (5)$$

则垂直光的光强为:

$$I_{\perp} = I_{0\perp} \left\{ 1 - \frac{K\beta}{2L} \left[\cos\phi + \cos(\phi + \delta_1) \right] + R_3 \left[\cos(2\phi + \delta) + \cos(2\phi + \delta + 2\delta_1) \right] \right\} \quad (6)$$

由 (5) 式和 (6) 式可知,垂直光与平行光光强中的交流部分的变化趋势是相反的。当 $\delta_1 = 0$ 时, (5) 式和 (6) 式简化为:

$$I_{\parallel} = I_{0\parallel} \left\{ 1 + \frac{K\beta}{L} \left[\cos\phi + R_3 \cos(2\phi + \delta_1) \right] \right\} \quad (7)$$

$$I_{\perp} = I_{0\perp} \left\{ 1 - \frac{K\beta}{L} \left[\cos\phi + R_3 \cos(2\phi + \delta_1) \right] \right\} \quad (8)$$

而当 $\delta_1 = \pi$ 时, (5) 式和 (6) 式将变为:

$$I_{\parallel} = I_{0\parallel} \left[1 + \frac{K\beta}{2L} R_3 \cos(2\phi + \delta) \right] \quad (9)$$

$$I_{\perp} = I_{0\perp} \left[1 - \frac{K\beta}{2L} R_3 \cos(2\phi + \delta) \right] \quad (10)$$

与 (7) 式和 (8) 式相比, (9) 式和 (10) 式中没有一倍频分量, (9) 式和 (10) 式中光强条纹频率仅由二倍频分量部分决定,因此 $\delta_1 = \pi$ 时的光强条纹频率是 $\delta_1 = 0$ 时光强条纹频率的两倍,这就是双频激光器中光强条纹倍频的机理。由于双频激光器频差很小,两相邻频率光强相当,即 $I_{0\perp} \approx I_{0\parallel}$ 。如果将 (9) 式和 (10) 式相减,可以抵消二者的直流分量,同时也可以使得交流分量的波动幅值提高 1 倍,这不仅可以消除激光器光强漂移所引起的误记数,而且还能够成倍提高系统的灵敏度。

3 实验结果

首先将石英晶体旋转至其转角 $\theta = 0$ 的位置,此时 $\delta_1 = 0$,在光回馈存在的条件下所得的两垂直偏振光光强曲线如图 2a 所示,图中横轴为采集卡输出电压,该电压每变化约 60mV,压电陶瓷 P 伸长量变化半个光波长;纵轴为激光器光强。两垂直偏振光光强变化趋势相反,并且外腔长每变化半个光波长,两光光强变化一个周期。而当调节石英晶体使其转角 $\theta = 5.7^\circ$ 时,

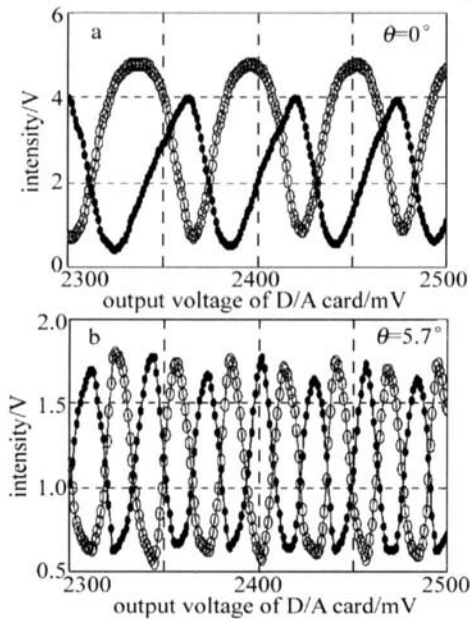


Fig 2 Laser output intensity versus output voltage of D/A card

两光光强曲线如图 2b 所示, 此时 $\delta_q = \pi$ 。两垂直偏振光光强变化趋势仍相反, 但此时外腔长每变化半个光波长, 两光光强变化了两个周期, 激光器光强条纹倍频现象发生。图 3 则是基于 (7) 式 ~ (10) 式进行的计算机模拟, 与图 2 相比, 可知实验结果与理论分析相吻合。

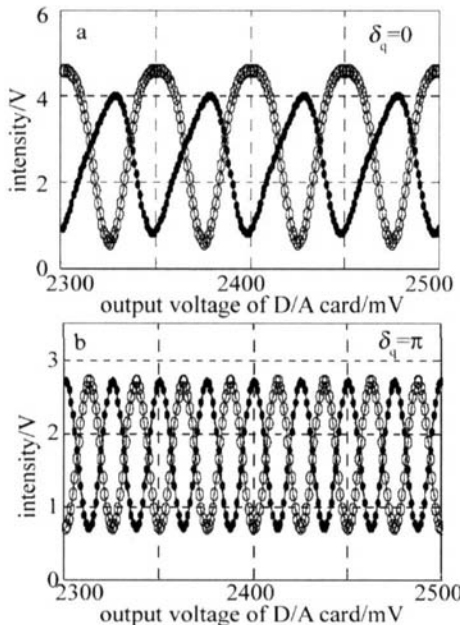


Fig 3 Simulation of the laser output intensity versus output voltage of D/A card

与参考文献 [8] 中的条纹倍频现象相比, 文中的单偏振光的倍频条纹波动深度要大于参考文献 [8] 中的倍频条纹的波动深度, 这主要是因为文中所用激光器为双频激光器, 两垂直偏振光间有一定的模竞争, 模竞争使得单偏光的波动深度增大。同时文中的两垂直偏振光光强变化趋势相反, 如将二者相减可以成倍增大

光强倍频条纹的波动幅度, 从而成倍增加系统的灵敏度。两光信号相减也可消除两光光强中的直流分量, 从而能够消除由于激光器光强漂移所引起的误记数。

4 结 论

作者研究了以双频激光器为光源的双折射外腔的光回馈系统的特性, 建立了双折射外腔条件下双频激光器光回馈的理论模型。实验中发现了双频激光器中的条纹倍频现象, 该现象使得光回馈系统的分辨率提高了 1 倍。传统的光回馈系统, 外腔反射镜每移动半个光波长的位移, 激光器光强变化一个周期, 而对于文中的以双频激光器为光源的双折射外腔光回馈系统则是当外腔反射镜每移动 $1/4$ 个光波长的位移时, 激光器光强变化 1 个周期。实验结果与理论分析吻合。由于双频激光器两垂直偏振光间存在模竞争, 故倍频条纹的调制幅度明显增大, 从而光回馈系统的灵敏度也得到了提高。

参 考 文 献

- [1] LENSTRA D, VAN V M, JASKORZYNSKA B. On the theory of a single mode laser with weak optical feedback [J]. *Physica* 1984, C125 (2): 255~264
- [2] WAN X J, ZHANG Sh L, TAN Y D. Development of optical feedback technology of LD pumped microchip lasers [J]. *Laser Technology* 2006, 30(1): 10~14 (in Chinese).
- [3] DING Y Ch, ZHANG Sh L, LI Y *et al*. Experimental study on the self mixing interference with orthogonal polarized He-Ne light [J]. *Laser Technology* 2004, 28(1): 33~35 (in Chinese).
- [4] LIU G, ZHANG Sh L, ZHU J *et al*. Interference of two beams in a He-Ne laser with optical feedback [J]. *Laser Technology* 2003, 27(5): 470~472 (in Chinese).
- [5] CHURNSIDE JH. Signal to noise in a backscatter modulated Doppler velocimeter [J]. *Appl Opt* 1984, 23(13): 61~65
- [6] PETER JD, GREGG M G. Backscatter modulated Doppler velocimeter [J]. *Appl Opt* 1984, 23(13): 2097~2104
- [7] KING P, STEWARD G. Metrology with an optical maser [J]. *New Science* 1963, 17(1): 180.
- [8] LIU G, ZHANG Sh L, ZHU J *et al*. Optical feedback laser with a quartz crystal plate in the external cavity [J]. *Appl Opt* 2003, 42(33): 6636~6639.
- [9] ZHANG Sh L, XU T. Orthogonally linear polarized lasers (I) — principle and devices [J]. *Progress in Natural Science*, 2005, 15(7): 586~595.
- [10] ZHANG Sh L, LIU G. Orthogonal linear polarized lasers (II) — study on the physical phenomena [J]. *Progress in Natural Science* 2005, 15(10): 865~876.
- [11] ZHANG Sh L, DU W H, LIU G. Orthogonal linear polarized lasers (III) — applications in self sensing [J]. *Progress in Natural Science* 2005, 15(11): 961~971.
- [12] WANG W M, GRATAN K T V, PALMER A W *et al*. Self mixing interference inside a single mode diode laser for optical sensing applications [J]. *IEEE Journal of Lightwave Technology*, 1994, 12(9): 1577~1587