

文章编号: 1001-3806(2004)01-0033-03

垂直偏振态 He-Ne 激光自混合干涉的实验研究

丁迎春, 张书练, 李岩, 朱均

(清华大学 精密系 精密测试技术与仪器国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 从实验上研究了频率分裂激光器中偏振态相互垂直的 o 光和 e 光的自混合干涉现象, 因为 o 光和 e 光之间的模竞争效应, 所以在 o 光和 e 光的反馈曲线中, 最大值和最小值相互对应, 在一个周期中, 最大值出现的次数是一般反馈曲线的 2 倍, 幅值的变化也是一般反馈曲线的 2 倍。

关键词: He-Ne 激光; 自混合干涉; 垂直偏振光; 模竞争效应

中图分类号: TN722.1 **文献标识码:** A

Experimental study on the self-mixing interference with orthogonal polarized He-Ne light

DING Yingchun, ZHANG Shu-lian, LI Yan, ZHU Jun

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

Abstract: The self-mixing interference of orthogonal polarized lights coming from a frequency splitting He-Ne laser is experimentally studied. Owing to mode competitive effects between orthogonal polarized o-light and e-light, maximum of the o-light is corresponding to minimum of the e-light in the feedback curve of the o-light and e-light, or vice versa. In a period, the maximum appears two times when the maximum of the general feedback curve appears one time, and the amplitude also changes two times.

Key words: He-Ne laser; self-mixing interference; orthogonal polarized lights; mode competitive effects

引 言

激光自混合干涉技术由于系统仅有一个通道, 结构简单、紧凑、易准直, 解决了激光干涉系统尺寸庞大、光路复杂、敏感于准直等问题而越来越引起各国学者的关注^[1~3]。从 80 年代开始, 激光自混合干涉原理已经用于测量速度、距离和位移等物理量^[3~6], 并不断地扩展测量领域, 如振动测量、探伤研究和形貌测量等。尽管激光自混合干涉无论在理论上还是在应用上都有了很大的发展, 但是人们探索自混合干涉技术新的应用和改善测量精度的脚步却从来没有停止过。

笔者从实验上研究了频率分裂激光器中产生的偏振态相互垂直的激光的自混合干涉, 与以往的自混合干涉实验相比, 由于偏振态相互垂直的 o 光与

e 光之间的模竞争, 使得 o 光与 e 光的反馈曲线在一个周期中有规律的变化, 峰值的变化次数比一般的反馈曲线多 1 倍。如果把这种自混合干涉技术用于测量位移, 分辨率可以提高 1 倍。

1 实 验

实验装置如图 1 所示。使用半内腔的 He-Ne

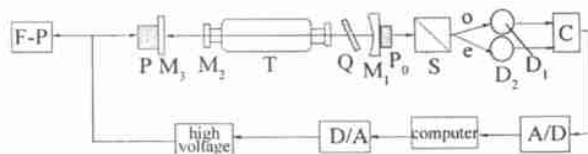


Fig. 1 Experimental setup for self-mixing interference of orthogonal polarized He-Ne light

激光器, 平面镜 M_1 和曲率半径为 1m 的凹面镜 M_2 组成激光器的谐振腔, 它们的反射率分别为 0.986 和 0.999。激光器增益管 T 中充有 $v(^{20}\text{Ne})/v(^{22}\text{Ne}) = 11$: 的混合气体用来抑制输出功率曲线中的兰姆凹陷。 M_1 粘贴在一块压电陶瓷 P_0 上, 可通过控制压电陶瓷的伸缩来控制激光的模在增益曲线上的位置。反射镜 M_3 是外加的反射镜, 它的反射率为

作者简介: 丁迎春(1966-), 女, 副教授, 博士后, 现从事激光技术和回馈研究。

E-mail: dingyc@post.pim.tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2003-03-11; 收到修改稿日期: 2003-06-09

0.5,用于把激光器的输出光回馈进入谐振腔内。P是驱动 M_3 的压电陶瓷。F-P是法布里-珀罗扫描干涉仪。Q是石英晶体片,它可以使He-Ne激光分裂成偏振态相互垂直的o光与e光。S是渥拉斯顿棱镜,用来把垂直偏振光o光与e光分开。 D_1 和 D_2 是光电探测器,分别用来测量o光和e光的光强。C是信号处理电路。

整个探测过程由计算机通过运行软件程序进行控制。它使得驱动腔外反射镜的移动与对激光强度的探测同步进行。推动腔外反射镜的压电陶瓷的电压每变化40V,激光腔镜移动约半个波长。计算机控制它每次测量时从0V加到180V。因此,每次运行程序约测量了4个半周期,程序运行时间约为30s。压电陶瓷的非线性度约为10%。

D_1 和 D_2 所探测的尾光激光强度用数值量表示,没有单位。其激光功率与数值量的对应关系约是0.01mW对应400units。当然这个比例关系是可以通过探测器(光电池)的后续放大电路进行调节的。探测的激光强度的直流噪声为50units,交流噪声为5units。

先介绍等光强点、o光光强较高的点和e光光强较高的点的概念。在无腔外反射镜时,通过改变压电陶瓷的电压可以调谐腔长,在o光与e光的频差为某一个值时(可以通过调节石英晶体片的转角得到),o光与e光的输出功率曲线如图2所示。在图2中,o光与e光曲线的交叉点,叫等光强点。在等光强点的左边可以找到o光光强较高的点,在等光强点的右边可以找到e光光强较高的点。

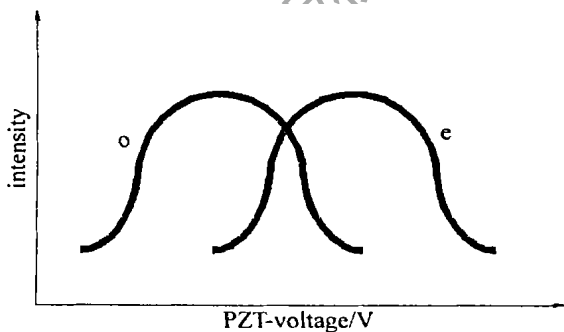


Fig. 2 The power tuning curves of o-light and e-light

在放上腔外反射镜后,先测量了在等光强点o光与e光的反馈曲线,曲线如图3所示。

然后分别在o光光强较高的点和e光光强较高的点测量了o光、e光的反馈曲线,分别如图4和图5所示。

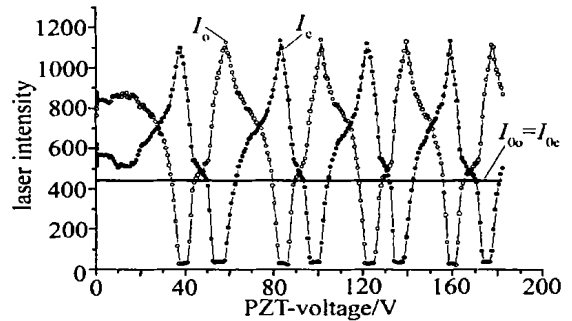


Fig. 3 Feedback curves of o-light and e-light with equal intensity

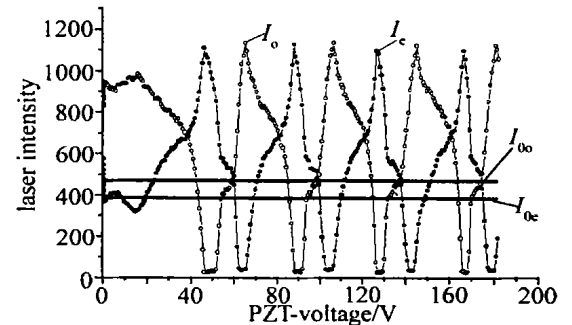


Fig. 4 Feedback curves of o-light and e-light when o-light intensity is bigger than e-light intensity

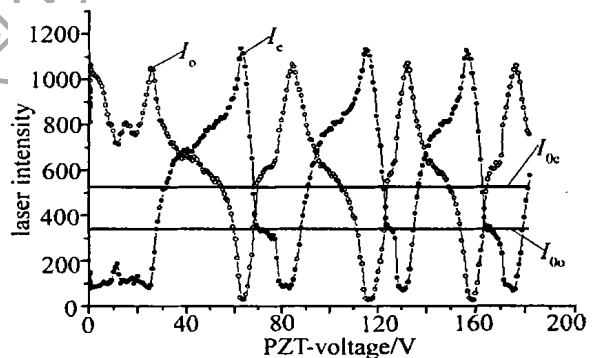


Fig. 5 Feedback curves of o-light and e-light when e-light intensity is bigger than o-light intensity

2 实验结果的分析与讨论

从图3可以看出,由于模竞争效应,使得o光和e光的最大值和最小值相互对应。这里的最小值实际上已经是激光光强为0了,图中在最小值时显示的数量值是噪声信号的直流量。因此,在一个偏振态激光为最大值时,它几乎抢到了所有的激发态原子,而使得另一个偏振态几乎受到了完全的抑制。

对等光强点、o光光强较高的点、e光光强较高的点所得的反馈曲线作进一步更仔细的观察,会发现它们有些微小的不同。在腔外反射镜移动半个波长的周期中,o光和e光各自占优势的时间的比例关系会有所区别。在等光强点,接近各占一半。在o光光强较高的点,o光占优势的时间会较长。在e

光光强较高的点, e 光占优势的时间会较长。对此现象的解释是: 激光初始状态的功率分配使得模竞争中“优势”的分配有某种倾向性。在无回馈时, 设置了 o 光、e 光功率的大小关系。反馈后, 尽管会出现由一个模的频率分裂变成 3 个模的频率分裂, 分裂后的 o 光、e 光各自的功率总值仍基本上保持原有的大小关系。这样, 谁的功率大, 谁占“优势”的时间会相对较长。从以上的分析可以看出, 在等光强点 o 光和 e 光的反馈曲线中, 曲线形状比较对称, 规律性较强。

为了与一般激光反馈实验比较, 做了一般 He-Ne 激光反馈的实验。实验装置与图 1 中不同的是去掉了激光器谐振腔中的石英晶体片 Q 以及渥拉斯顿棱镜 S 和其中的一个光电探测器。在尾光输出功率为 0.1mW 的条件下, 测得的反馈曲线如图 6 所示。

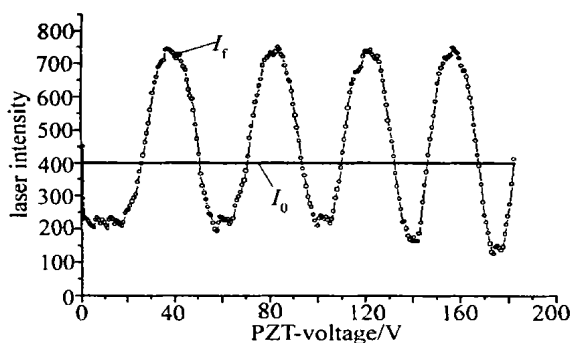


Fig. 6 Feedback curves of ordinary He-Ne laser

比较图 3~图 6 可以看出, 无论是垂直偏振光的反馈还是一般的光反馈, 反馈曲线都是有规律的

变化。在一个周期中(腔外反射镜移动半波长), 垂直偏振光的反馈曲线中最大与最小值的变化次数是一般激光反馈曲线中变化次数的 2 倍。垂直偏振光反馈输出激光强度的幅值是 1200 左右, 而一般激光反馈输出激光强度的幅值是 500~600 左右。如果能把垂直偏振光的反馈用于位移测量, 分辨率能够成倍地提高; 用于扫描显微镜, 扫描显微镜的轴向分辨率也能成倍地提高。

3 结 论

研究了垂直偏振光的自混合干涉, 由于垂直偏振光的模竞争效应, 在等光强点的垂直偏振光的反馈曲线中, o 光和 e 光占优的时间相同, 曲线具有较对称的形状, 并且曲线在一个周期中的峰值变化次数是一般激光反馈曲线的 2 倍, 变化幅度也是一般激光反馈曲线的 2 倍。如果能用于测量领域, 分辨率可以成倍地提高。

参 考 文 献

- [1] PAN M. Opt Lett, 1997, 22(3): 166~169.
- [2] SPENAER P S, SHORE K A. Quantum Semiclass Opt, 1997, 9(5): 819~830.
- [3] NAUMENKO A V, LOIKO N A, TUROVETS S I, J O S A, 1998, B15(2): 551~561.
- [4] SHIBATA T, SHINOHARA S. IEEE Tran Instrum Meas, 1996, 45(2): 499~503.
- [5] BOSCH T, SERVAGENTN, CHELLALIR *et al.* IEEE Tran Instrum Meas, 1998, 47(5): 1326~1329.
- [6] ROOS P A, STEPHENS M, WIEMEN C E. Appl Opt, 1996, 35(34): 6754~6761.

参 考 文 献

- [1] 扬绮琴, 童叶翔. 电镀与精饰, 1999, 18(2): 47~50.
- [2] 王 建, 郁祖湛. 电镀与精饰, 1999, 21(2): 1~4.
- [3] HUANG F, LOU Q H, DONG J X. Applied Surface Science, 2001, 174: 1~6.
- [4] KORDAS K, BALI K, LEPPAVUORI S *et al.* Applied Surface Science, 2000, 154/155: 399~404.

(上接第 28 页)

表面粗糙度也是影响镀膜附着力的重要因素。粗糙度愈小, 附着力愈差。对于不同的材料, 选择不同的表面粗化处理工艺, 可以使基材表面的粗糙度(RMS)控制在合适的范围内, 镀膜附着力可以达到较高的数值。