

外反馈 He-Ne 激光器的非稳特性研究*

高晓明 张为俊 韩亚农 周金运 季 明 王 沛 阎逢旗 周士康
(中国科学院安徽光学精密机械研究所激光光谱开放室, 合肥 230031)

摘要 报道了平面镜和自泵浦相位共轭镜反馈 He-Ne 激光器的非稳特性, 观测了反馈镜位置对激光光强起伏及波动频率的影响, 即在半腔长的整数倍附近, 激光光强具有较大的起伏和秒量级的准周期振荡, 并对其产生机理进行了分析。

关键词 光学反馈, 光强起伏, 波动频率。

1 引 言

光场注入最实际的应用是通过外光学反馈实现激光线宽压窄, 提高纵模选择性, 减少波前畸变。光场注入有着较多的优点, 但如果选择不当, 会引入噪声, 为实际应用带来一些严重的问题, 如在激光器与光纤耦合器中, 光纤面反射会降低调制信号的响应特性, 增加噪声。关于 He-Ne 激光器的噪声特性早在 70 年代就已作过较详尽的研究, 对于噪声的起源主要有以下几种观点^[1]: 1) 模式扫描; 2) $3.39 \mu\text{m}$ 波长竞争; 3) 模拍频噪声等。对于不同的噪声起源, 所对应的波动频率不同。模式扫描具有从几秒到几小时的周期, $3.39 \mu\text{m}$ 波长竞争引起的光强起伏具有 0.05 s 到 10 s 的周期; 而模拍频噪声的频率通常在 100~1000 MHz。Lang 等人^[2]在平面镜反馈半导体激光器中观测到反馈镜距离激光器为腔长的整数倍时, 激光输出光强存在较大的起伏, 其振荡频率为 GHz 量级。Chinone 等人^[3]的研究表明平面镜与半导体激光器距离 L 为 0.3~2.0 cm 时, 光强起伏被有效地抑制; 当 L 为 2~5 cm 时, 光强起伏中高频、低频振荡同时存在。文献指出高频振荡是由于复合腔拍频所致, 可通过速率方程的数值解给出解释, 然而对于低频的起源尚不清楚。Whitten 等人^[4]在染料激光器中利用自泵浦相位共轭镜作为外反馈, 激光会自动地朝长波或短波方向扫描, 当 BaTiO₃ 距离激光器为半腔长时, 激光扫描速度变快。目前对于相位共轭镜反馈引起的波长自扫描的机制尚不清楚, 认为晶体内的运动光栅的多普勒效应是引起波长自扫描的主要原因^[5, 6]。本文利用平面镜及相位共轭镜反馈研究了 He-Ne 激光器的非稳特性, 观测到激光器的非稳特性与外反馈镜位置的依赖关系, 分析了产生这种非稳的可能原因。

2 实验装置

实验光路如图 1 所示。所用光源为 TEM₀₀模的 He-Ne 激光器, 腔长 168 cm, 输出功率为

* 国家科委 863 激光技术青年基金项目资助。

收稿日期: 1997-04-09; 收到修改稿日期: 1997-08-22

35 mW。全反镜或相位共轭镜置于导轨上, 位置变化范围在 65 cm 到 200 cm 之间, BS 为 8% 的反射镜。激光输出直接用功率计 D 连接计算机进行数据采集。反馈镜用镀铝的全反镜或由中国科学院北京物理研究所提供的 Ce·BaTiO₃ 晶体, 用 1/2 波片改变其偏振方向, 以保持入射光的偏振方向在晶体的入射平面内, 光束以 120°角入射到晶体, 其自泵浦相位共轭效率为 60%。

3 实验结果与讨论

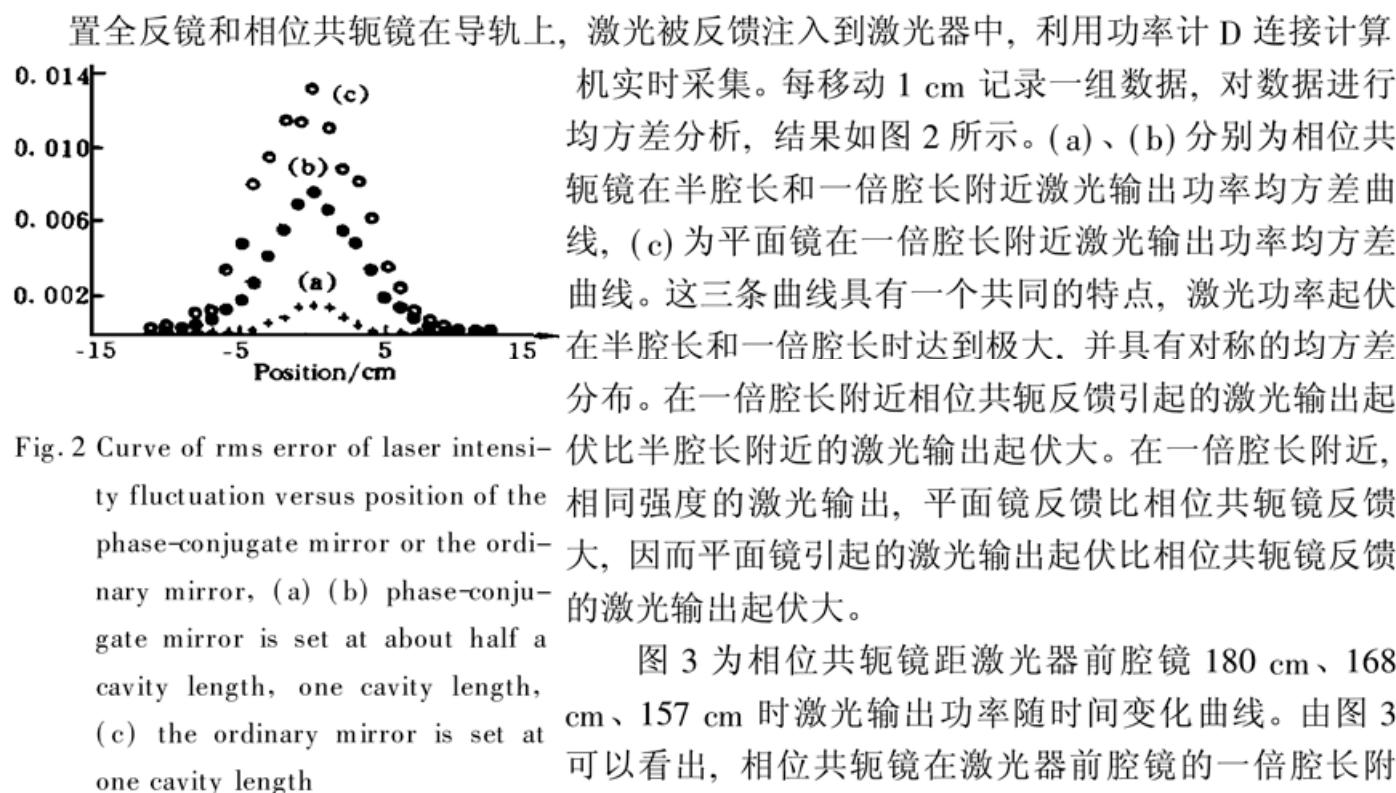


Fig. 2 Curve of rms error of laser intensity fluctuation versus position of the phase-conjugate mirror or the ordinary mirror, (a) (b) phase-conjugate mirror is set at about half a cavity length, one cavity length, (c) the ordinary mirror is set at one cavity length

置全反镜和相位共轭镜在导轨上, 激光被反馈注入到激光器中, 利用功率计 D 连接计算机实时采集。每移动 1 cm 记录一组数据, 对数据进行均方差分析, 结果如图 2 所示。(a)、(b) 分别为相位共轭镜在半腔长和一倍腔长附近激光输出功率均方差曲线, (c) 为平面镜在一倍腔长附近激光输出功率均方差曲线。这三条曲线具有一个共同的特点, 激光功率起伏在半腔长和一倍腔长时达到极大, 并具有对称的均方差分布。在一倍腔长附近相位共轭引起的激光输出起伏比半腔长附近的激光输出起伏大。在一倍腔长附近, 相同强度的激光输出, 平面镜反馈比相位共轭镜反馈大, 因而平面镜引起的激光输出起伏比相位共轭镜反馈的激光输出起伏大。

图 3 为相位共轭镜距激光器前腔镜 180 cm、168 cm、157 cm 时激光输出功率随时间变化曲线。由图 3 可以看出, 相位共轭镜在激光器前腔镜的一倍腔长附近, 激光功率起伏具有准周期波动, 它的脉动频率是非对称分布; 随着相位共轭镜与激光器的距离变近, 激光输出功率的脉动频率变慢, 在大于一倍腔长附近激光光强的脉动频率比小于一倍腔长附近的频率大。在半腔长的整数倍附近激光起伏具有类似的规律。当反馈镜远离半腔长整数倍时, 外光场对激光输出影响较小, 激光输出是稳定的。

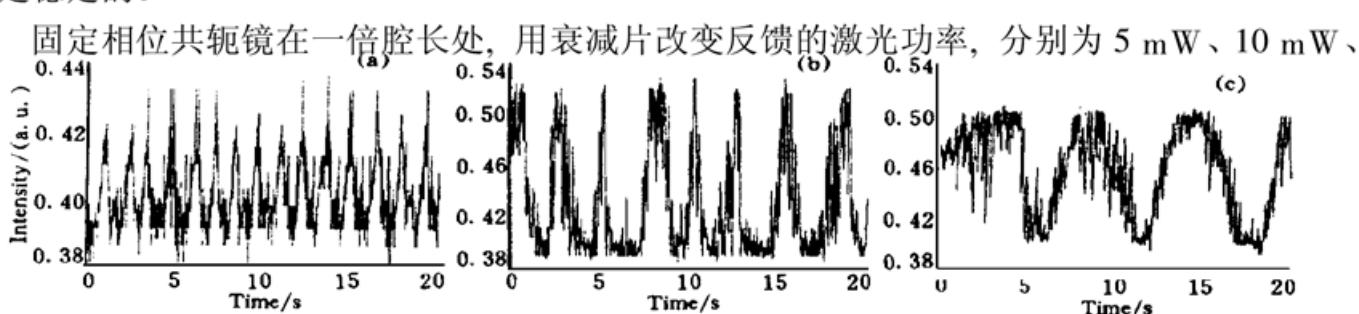


Fig. 3 Curve of laser output power versus time when the distance between phase-conjugate mirror and front cavity mirror of the laser is (a) 180 cm, (b) 168 cm, (c) 157 cm

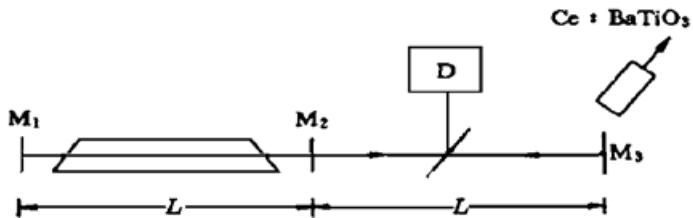


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

15 mW、20 mW, 激光输出随时间变化曲线如图 4 所示。反馈注入量的增加, 光强起伏增大, 脉动频率增加。将激光光斑用一短焦透镜放大, 在远场可以观察到, 当外反馈镜存在时, 激光模式由 TEM₀₀模和具有二个同心圆环的 TEM₀₁交替变化。平面镜和相位共轭镜在半腔长的整数倍附近同样具有以上观测到的变化规律。

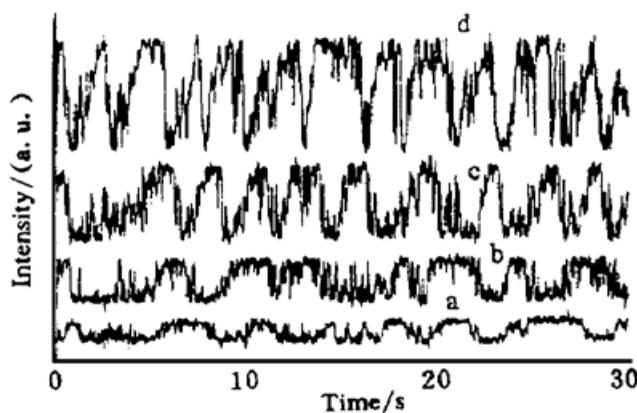


Fig. 4 Curves of laser power output versus time with different feedback power (a) 5 mW, (b) 10 mW, (c) 15 mW, (d) 20 mW as phase-conjugate mirror is set at one cavity length

假设激光器腔长 M₁ 至 M₂ 的长度为 L, 外腔长 M₂~M₃ 的长度为 l, 则复合腔的差频频率为

$$\nu = \frac{n_0 lc}{2nL(nL + n_0 l)} \quad (1)$$

其中 n 为激光工作介质折射率, n₀ 为外腔内大气折射率。对于(1)式来说, 只有当外腔长为激光器的半腔长整数倍时, 差频频率才可能在 M₁~M₂ 之间形成驻波, 此时工作介质与驻波场的相互作用最强。同时由于反馈注入光场的存在, 激光器内的工作介质的折射率发生变化, 当折射率的变

化为 Δn 时, 将引起差频频率 ν 的相对变化为^[7]:

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{n_0 l}{n(nL + n_0 l)} \Delta n \quad (2)$$

由于折射率的变化依赖于激光工作介质的粒

子数、外腔长及频率等因素, 文献[2]给出折射率变化与这三者的依赖关系:

$$\Delta n = n_N \cdot \Delta N + n_\omega \cdot \Delta \omega + n_x \cdot \Delta x \quad (3)$$

其中 ΔN 是粒子数的变化, Δω 是频率的变化, Δx = l - L。

由(3)式假定折射率的变化量与外腔长具有以下关系:

$$\Delta n = \Delta n_0 [1 + \delta(l - L)] \quad (4)$$

则

$$\Delta\nu = \frac{n_0 l \nu}{n(nL + n_0 l)} \Delta n_0 [1 + \delta(l - L)] \quad (5)$$

一般 ν ~ 10⁷, Δn₀ ~ 10⁻⁸ ~ 10⁻⁷, n 与 n₀ 相差不多(它们都十分接近于 1), 则 Δν 为 Hz 量级的变化, 并且频率的变化与外腔长有关。

由(5)式可以看出, 在半腔长整数倍附近, 随着外腔长的增加, 频率 Δν 增大, 这与图 3 所观测的结果相一致。在远离半腔长整数倍的位置, 差频频率与工作介质的相互作用最弱, 因而可观测到稳定的光强输出。l 不变, 改变反馈注入量, 反馈越强, 引起的 Δn 的变化越大, 进而 Δν 越大。

从以上的平面镜和相位共轭镜的实验结果来看, 关于晶体的运动光栅或多普勒效应^[5, 4]是引起激光非稳的理由是不充分的。文献[2, 4]报道在染料和半导体激光器中观测到光强起伏与距离的依赖关系, 以及 He-Ne 激光器的结构中有磁场, 可以排除 3.39 μm 竞争是产生光强起伏的原因。

参 考 文 献

- [1] A. D. Berg, J. P. Wheeler, Laser noise in writing applications. *Opt. Engng.*, 1976, **15**(2) : 84~ 89
- [2] R. Lang, K. Kobayashi, External optical feedback effects on semiconductor injection laser properties. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1980, **QE-16**(3) : 347~ 355
- [3] N. Chinone, K. Aiki, R. Ito, Stabilization of semiconductor laser outputs by a mirror close to a laser facet. *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **33**(12) : 990~ 992
- [4] W. B. Whitten, J. M. Ramsey, Self-scanning of a dye laser due to feedback from a BaTiO₃ phase-conjugate reflector. *Opt. Lett.*, 1984, **9**(2) : 44~ 46
- [5] J. Feinberg, G. D. Bacher, Self-scanning of continuous-wave dye laser bearing a phase resonator cavity. *Opt. Lett.*, 1984, **9**(2) : 420~ 422
- [6] J. M. Ramsay, W. B. Whitten, Phase-conjugate feedback into a continuous-wave ring dye laser. *Opt. Lett.*, 1985, **10**(7) : 362~ 364
- [7] 丁俊华, 崔砚生, 吴美娟等编著, 激光原理及应用. 北京: 清华大学出版社, 1987. 130~ 133

Instability of He-Ne Laser with External Optical Feedback

Gao Xiaoming Zhang Weijun Han Yanong Zhou Jinyun

Ji Ming Wang Pei Yan Fengqi Zhou Shikang

(Laser Spectroscopy Laboratory, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics,
The Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031)

(Received 9 April 1997; revised 22 August 1997)

Abstract The instability characteristics of a He-Ne laser with plane mirror and self-pump phase conjugation feedback are studied. The effects of distance between the feedback mirrors (plane mirror or phase conjugate mirror) and laser on the laser intensity fluctuation and fluctuation frequency are observed. We find that laser intensity has large fluctuation and quasi-periodic oscillation of seconds order when the feedback mirror is at integer multiple of half cavity length. Its mechanism is analyzed.

Key words optical feedback, intensity fluctuations, fluctuation frequency.