

# 光反馈激光开关干涉仪

李天初

(中国计量科学院, 100013)

## A light feed-back flip-flop laser interferometer

Li Tianchu

(National Institute of Metrology, Beijing)

**Abstract:** Feeding a polarized light beam back into a small quasi-isotropic He-Ne laser, a "Light Feed-back Polarized Flip-flop Laser Interferometer" is constructed. With the movement of the feed-back mirror, the polarization of the laser will flip-flop, and this square wave output is an accurate measurement of the displacement of the feed-back mirror.

**Key words:** interferometer, light feed-back

近年来, 用光反馈实现半导体激光双稳态的研究十分活跃<sup>[1,2]</sup>。在小型准各向同性(全内腔) He-Ne 激光中, 同样可以建立“双稳态”。这种“双稳态”的光反馈激光开关干涉仪可用来产生精密的位移位置信号。

### 一、光反馈干涉

用图 1 所示实验装置将激光反馈回半内腔内。设腔内向输出镜方向传播的光场强度为  $E_0 \cdot e^{i\omega t}$ , 则经输出镜反射后向离开输出镜方向行进的光场强为

$$E_r = E_0 \cdot r \cdot e^{i(\omega t + \phi_1)} \quad (1)$$

式中,  $r$  为输出镜反射比;  $\omega$  为光圆频率;  $\phi_1$  为腔镜反射相移。而经腔外反馈镜 2 反射又进入腔内的光场强为

$$\begin{aligned} E_f &= E_0 \cdot (1 - r^2) \cdot \epsilon \cdot e^{i(2kL + \phi_2)} \\ &= E_0 \cdot (1 - r^2) \cdot \epsilon \cdot e^{i\left(\frac{4\pi L}{\lambda} + \phi\right)} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\epsilon = r_f \cdot \prod_{i=1}^n t_i \quad (3)$$

这里,  $\epsilon$  为等效反馈总反射比;  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ;  $L$  为激光

输出镜到反馈镜的距离(光程);  $\phi_2$  为反馈镜反射相移;  $r_f$  为反馈镜反射比;  $t_i$  为反馈光路各界面的透射比;  $n$  为界面序数。这时腔内向离开输出镜方向传播的总场强(忽略反射相移)为

$$E_s = E_r + E_f = E_0 \cdot \left[ r + \epsilon \cdot (1 - r^2) \cdot e^{i\frac{4\pi L}{\lambda}} \right] \cdot e^{i\omega t} = E_0 \cdot r' \cdot e^{i\omega t} \quad (4)$$

$$r' = r + \epsilon (1 - r^2) \cdot e^{i\frac{4\pi L}{\lambda}} \quad (5)$$

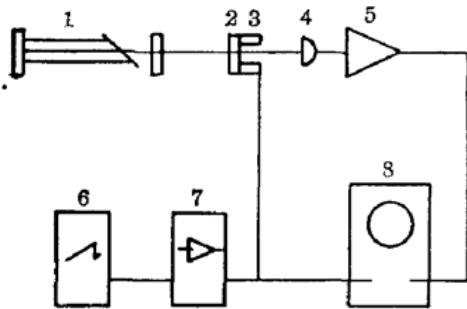


图 1

1—激光器; 2—反馈镜; 3—PZT; 4—接收器; 5—前放; 6—扫描信号发生器; 7—PZT 放大器; 8—示波器

$r'$  的物理意义是代表了整个反馈效应的等效输出镜反射比。

由(4)式可知,腔内考虑了耦合效应后的光场强  $E_r$  是波长  $\lambda$  和距离  $L$  的函数。反馈光相位为

$$\phi = \frac{4\pi L}{\lambda}; \quad d\phi = \frac{4\pi}{\lambda} dL - \frac{4\pi L}{\lambda^2} d\lambda. \quad (6)$$

当  $\lambda$  不变时,  $L$  的连续变化将导致  $E_r$  周期性变化,变化的周期是  $\lambda/2$ 。

## 二、光反馈激光偏振开关干涉

在图 1 所示实验装置中,改用一只准各向同性的小型全内腔 He-Ne 激光管,并在激光器和反馈镜之间插入偏振片。

这时(5)式描述的输出腔镜等效反射比应按偏振片的挡光方向  $x$  和通光方向  $y$  分别写为

$$\begin{cases} r'_x = r_x \\ r'_y = r_y + \epsilon \cdot (1 - r^2) \cdot e^{i \frac{4\pi L}{\lambda}} \end{cases} \quad (7)$$

并可得  $x$ 、 $y$  方向等效反射比之差:

$$\Delta r' = r'_y - r'_x = \Delta r + \epsilon \cdot (1 - r^2) \cdot e^{i \frac{4\pi L}{\lambda}} \quad (8)$$

$$\Delta r = r_y - r_x \quad (9)$$

这就是说,由于引入了偏振光反馈,使原来各向同性的激光腔出现了沿  $x$ 、 $y$  方向各向异性,而且这种各向异性是(7)式表达的以  $dL = \lambda/2$  为周期的函数。

早在 1966 年,人们就注意到,单模全内腔激光的线偏振态可以在两个互相垂直的方向之间迅速跃变<sup>[3]</sup>。更严格的理论推导证明,当

$$\dot{E}_y/E_y - \dot{E}_x/E_x = \frac{1}{2} \omega \{1/Q_x(\omega_x) - 1/Q_y(\omega_y) + [(\alpha_{x(\omega_x)}^i - \alpha_{y(\omega_y)}^i)]/\epsilon_0\} \quad (10)$$

改变符号时,激光的偏振方向就发生跃变<sup>[4]</sup>。

用激光的竞争理论可以更直观地解释这种现象。在全内腔激光管中,增益、损耗和谐振条件都没有明显的方向性。只是由于腔准直不完善或腔镜镀膜层有微小各向异性而残存着非常小的各向异性。这种微小各向异性使激光在某个方向易于起振,而激光一旦在这个方向起振,立刻通过竞争抑制其他方向可能的振荡直到这种各向异性被破坏为止。从式(8),当  $\Delta r' > 0$ ,  $x$  方向损耗大,激光沿  $y$  偏振方向振荡;当反馈镜移动导致  $\Delta r' < 0$  时,  $y$  方向等效损耗大于  $x$  向,

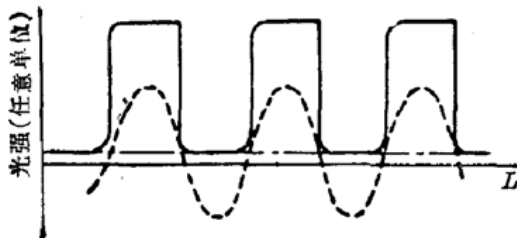


图 2

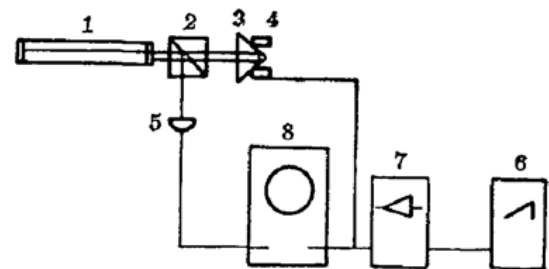


图 3

1—激光管; 2—PBS; 3—直角棱镜反馈镜; 4—PZT; 5—接收器; 6—扫描信号发生器; 7—PZT 放大器; 8—示波器

此时, 激光就会由于竞争效应从  $y$  偏振方向突然跳到  $x$  向。图 2 示出了用图 3 装置得到的这个效应的实验曲线。为便于理解, 图中用虚线画出了(8)式所示的  $x$ 、 $y$  向等效反射比之差  $\Delta r'$  (设  $\Delta r = 0$ )。

图 3 示出一个实际用在精密位移位置发生器中的反馈开关干涉仪。这里用偏振分光镜 (PBS) 代替偏振片, 接收器接收 PBS 的高态反射光几乎是激光全部输出, 所以接收信号的  $S/N$  得以大大提高。图 3 中又用直角棱镜取代平面镜作为反馈镜, 使光折返后又入射到激光输出镜 (但与激光光轴有一偏移), 经反射依原路反馈入激光。这种光路实现了一次光倍频, 即直角棱镜反馈镜每移过  $\lambda/4$ , 干涉信号输出一个方波。显然, 如果再增加一次光倍频, 还可以得到周期为  $\lambda/8$  的干涉信号。

在图 3 装置中采用了一只小型全内腔平-凹反射镜的 He-Ne 激光器, 其腔长 140mm, 输出平面反射镜反射率 0.97, 输出功率 0.4 mW。干涉仪置于实验室防振工作台上。按图 3 所示光路, 用以上参数 (设每个空气、玻璃界面透过率 0.96, 全反射率 0.99) 由(8)式, 可得

$$\Delta r' = 0.025 \cdot e^{i \frac{8\pi L}{\lambda}}$$

即, 激光器在  $y$  方向的等效损耗变化达  $\pm 2.5\%$ 。实验表明, 这种开关干涉仪输出信号的  $S/N$  极高, 用普通 Si 光电池不加任何放大器接收, 高低态电平差达 0.5 V, 低态直流电平  $< 0.15$  V。开关信号可在示波器上观察, 也可用记录器记录。在不给反馈镜 PZT 加扫描信号时, 可用肉眼观察到由于热漂移距离变化产生的光的亮灭开关。此时用示波器 0.01 V/cm 挡仍看不到输出信号的噪声。据此估计开关干涉信号的  $S/N > 500$ , 总的干涉条纹位移定位不确定度优于  $0.02 \mu\text{m} (2\sigma)$ 。

这种开关量的位移干涉仪比常用的“F-P”干涉仪或迈克尔逊干涉仪有明显优点: 1. 因为输出几乎理想的方波, 所以定位精度极高; 2. 信号强,  $S/N$  高, 精度不受激光光强变化影响; 3. 结构简单, 调整方便, 稳定性好; 4. 避免了用 F-P 腔测量位移时存在的光反馈误差。

### 参 考 文 献

- 1 J. M. Liu and Y. C. Chen, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-21**, 298 (1985)
- 2 D. Hugon and G. Stephan, *J. Physique*, **47**, 153 (1986)
- 3 W. Culshaw and Kannelaud, *Phys. Rev.*, **141**, 237 (1966)
- 4 G. Stephan and D. Hugon, *Phys. Rev. Lett.*, **55**, 703 (1985)

(收稿日期: 1988年8月11日)