

# 用平面 F-P 扫描干涉仪测量双谱线 激光振荡模

邹大挺 田 芊

(清华大学精密仪器系, 北京 100862)

**提要:** 本文提出了用平面 F-P 扫描干涉仪测量双谱线激光振荡模的方法, 并对  $3.3922\ \mu\text{m}$  和  $3.3912\ \mu\text{m}$  双谱线 He-Ne 激光振荡模进行了实际测量。

**关键词:** 激光模式测量, 扫描干涉仪

## Mode measurement of dual-line laser with planar mirror F-P scanning interferometer

Zou Dating, Tian Qian

(Dept. of Precision Instruments, Tsinghua University, Beijing)

**Abstract:** This paper puts forward a workable way of measuring dual-line laser longitudinal modes with a planar mirror F-P scanning interferometer, and makes a measurement of longitudinal modes of  $3.3922\ \mu\text{m}$  dual-line He-Ne laser.

**Key words:** laser mode measurement, scanning interferometer

### 一、引 言

$3.3922\ \mu\text{m}$  和  $3.3912\ \mu\text{m}$  双谱线激光器是红外双谱线 He-Ne 激光器合成波干涉计量系统的关键器件<sup>[1]</sup>, 它的腔长约为 500 mm, 要求工作在图 1 所示的两等光强状态(A、B 分别是等光强点), 并且, 每一谱线的振荡模应是单纵模。由于谱线  $\lambda_1 = 3.3922\ \mu\text{m}$  和  $\lambda_2 = 3.3912\ \mu\text{m}$  的综合加宽增益线型的宽度(FWHM)为  $\Delta\nu_G \approx 450\ \text{MHz}$ , 这个宽度大于腔模间隔  $\Delta\nu_C (\approx 300\ \text{MHz})$ , 所以, 有可能在一个谱线增益线宽内形成双纵模振荡。在腔长约为 430 mm 的单谱线  $\lambda_1$  跃迁的 He-Ne 激光器中, H. Matsumoto 已经用实验表明: 当谐振腔腔长被调谐时, 激光运转存在双纵

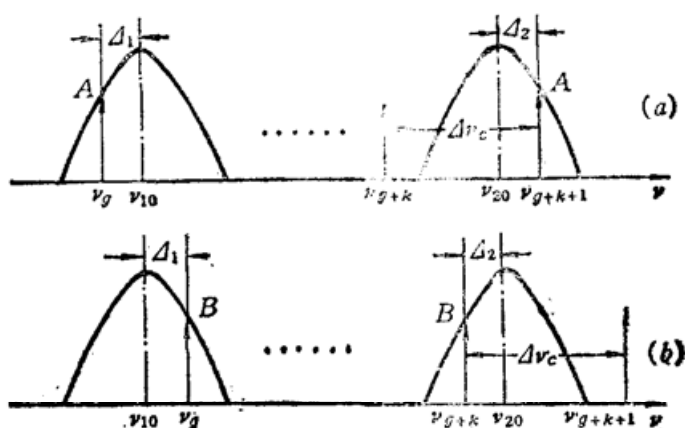


Fig. 1. Equal intensity operation of  $\lambda_1$  and  $\lambda_2$ :

(a) for operating point A, and  
(b) for operating point B

模振荡区<sup>[2]</sup>。本文用平面 F-P 扫描干涉仪测量双谱线 He-Ne 激光器的振荡模式, 研究是否存在双纵模振荡区? 等光强工作点处是否能保证一线一模振荡?

### 二、平面 F-P 扫描干涉仪测量双谱线激光振荡模式的原理

用扫描干涉仪测量双谱线激光纵模模式的关键是要解决输出信号中以下两个问题: 1. 避免谱线  $\lambda_1$  的纵模与谱线  $\lambda_2$  的纵模之间的信号重迭; 2. 能方便地分辨每个谱线的振荡模谱信号。这就要求扫描干涉仪的自由光谱区  $\Delta\nu_m$  应有一个合适的值。这对间隔固定的球面镜共焦腔扫描干涉仪是难以做到的, 但平面镜扫描干涉仪的腔间隔可调, 能建立合适的自由光谱区  $\Delta\nu_m$ , 以满足上述两个要求。

用平面 F-P 扫描干涉仪测量激光模式, 实际上是利用 PZT 对 F-P 间隔调谐, 使其分立的各透射峰逐个扫过激光振荡模 (或说振荡频率), 得到振荡模式信号。3.3922  $\mu\text{m}$  和 3.3912  $\mu\text{m}$  双谱线激光器, 每一谱线下可能起振的纵模一般不多于两个。所以, 这里对双线四模振荡情况, 讨论一下 F-P 扫描干涉仪有效地测量激光模式时所应选择的自由光谱区  $\Delta\nu_m$  值。图 2(a) 示意给出了三个不同的 F-P 腔间隔  $d$  下 (不同的  $d$  对应于不同的  $\Delta\nu_m$ ), F-P 的透射峰与双谱线振荡模在频率轴上的相互位置关系。设 PZT 扫描使 F-P 腔的透射峰向频率降低的方向移动, 则可得出图 2(b) 所示的透射光强信号 (或说模谱)。由图可见,  $d_1$  情形中两谱线的透射模谱相互重迭;  $d_2$  情形中有  $\Delta\nu_0 = \Delta\nu_b$  ( $\Delta\nu_0$ 、 $\Delta\nu_b$  均是不同谱线的振荡模信号之间隔, 见图)。在这两种情形下, 都不能从 F-P 的输出信号中有效地判断激光腔内是一线一模振荡, 还是一线二模振荡。只有当间隔为  $d_3$  时, 由于  $\Delta\nu_0 \neq \Delta\nu_b$ , 很容易判定自由光谱区范围, 分辨出每一谱线的模谱和每一谱线内振荡纵模的个数, 这就是说  $d_3$  所对应的 F-P 自由光谱区  $\Delta\nu_m$  值是合适的。那么, 怎样选取  $\Delta\nu_m$  呢? 按图 2(a) 中  $d_3$  情形, 由第  $m$  和第  $m+k$  个透射峰与激光模的相互位置关系, 可得出 F-P 扫描干涉仪自由光谱区  $\Delta\nu_m$  的选取条件 (由透射峰  $m$  和  $m+k-1$  与激光模的位置关系, 也可得出相似的结果):

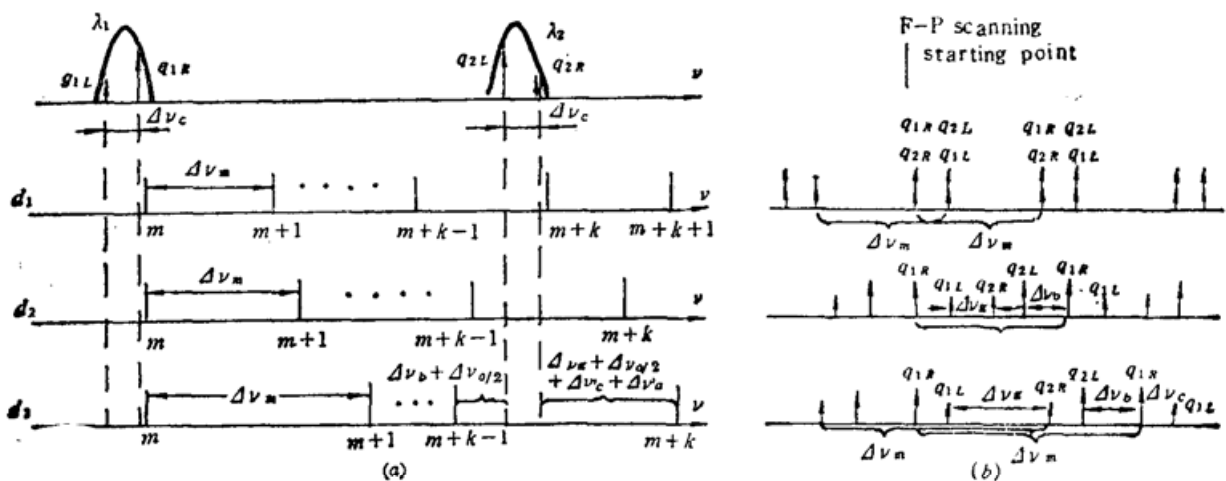


Fig. 2

- (a) Interrelation between F-P transmission peaks and laser oscillating modes;
- (b) Output mode-spectrum of F-P interferometer. Note: this figure doesn't show FWHM of transmission signal produced by linewidth of laser and width of F-P transmission peak

$$\begin{cases} \Delta\nu_m \geq 2\Delta\nu_c + 2\Delta\nu_a + \Delta\nu_b + \Delta\nu_g \\ \Delta\nu_g \neq \Delta\nu_b, \quad \Delta\nu_g < \Delta\nu_b \\ k \cdot \Delta\nu_m = \Delta\nu_{21} + 3\Delta\nu_c/2 + \Delta\nu_g + \Delta\nu_a \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $k$  是整数;  $\Delta\nu_a$  是 F-P 透射光强的宽度 (FWHM);  $\Delta\nu_{21}$  是两谱线中心频率  $\nu_{10}$  和  $\nu_{20}$  之差, 即  $\Delta\nu_{21} = \nu_{20} - \nu_{10}$ 。

对于  $3.3922 \mu\text{m}$  和  $3.3912 \mu\text{m}$  双谱线 He-Ne 激光器,  $\Delta\nu_{21} = (n + 1/2)\Delta\nu_c$  ( $n$  是整数); 利用关系式  $\Delta\nu_c = c/2L_c$  和  $\Delta\nu_m = c/2d$  ( $c$  是光速,  $d, L_c$  分别是扫描干涉仪间隔和激光谐振腔长度); 并令  $a = \Delta\nu_a/\Delta\nu_c$  ( $a \leq 1$ ),  $b = \Delta\nu_b/\Delta\nu_c$ ,  $g = \Delta\nu_g/\Delta\nu_c$ , 则可由 (1) 式得出 F-P 扫描干涉仪测量双谱线振荡模时, 选取间隔  $d$  的条件:

$$\begin{cases} d \leq L_c/[2(1+a) + b + g] \\ d = k \cdot L_c/[n + 2 + g + a] \\ g \neq b, \quad b > g \end{cases} \quad (2)$$

式中, 参数  $a$  与 F-P 的细度和激光线宽有关, 通常, 激光线宽很小,  $a$  主要由扫描干涉仪细度决定;  $n = I_n[\Delta\nu_{21}/\Delta\nu_m]$  ( $I_n$  是取整函数); 参数  $b, g$  是人为选取的, 为使两谱线相邻模谱 (图 2(b) 中  $d_s$  情形的  $q_{1L}, q_{2R}$  和  $q_{2L}, q_{1R}$ ) 之间有足够宽度, 以便于分辨各谱线模谱, 一般可按下列条件选取:

$$b \geq 2, \quad g \geq 2 \quad (3)$$

在实际应用中, 通常先给定  $g$  值, 然后, 通过试探法调整整数  $k$  来确定  $d$  值。其步骤是: 先取  $b = 2, g = 2$ , 代入 (2) 中第一式定出  $d$  的取值上限; 再按  $d$  的取值范围, 取一个整数  $k$ , 连同给定的  $g$  值代入 (2) 中第二式, 确定  $d$ ; 并按  $b = L_c/d - 2(1+a) - g$  求  $b$ , 算出  $\beta = b/g$  值, 一般, 当  $\beta$  满足下式时,

$$\beta \geq 1.2 \quad (4)$$

才能方便地在示波器显示屏上分辨出  $\Delta\nu_b, \Delta\nu_g$  的不同。

### 三、实验装置和实验结果

测量  $3.3922 \mu\text{m}$  和  $3.3912 \mu\text{m}$  双谱线 He-Ne 激光器纵模实验装置如图 3 所示。其中  $632.8 \text{ nm}$  激光作为调整光路之用, F-P 是 VIPP 型扫描干涉仪。图中, 由石英平片 (Quartz)

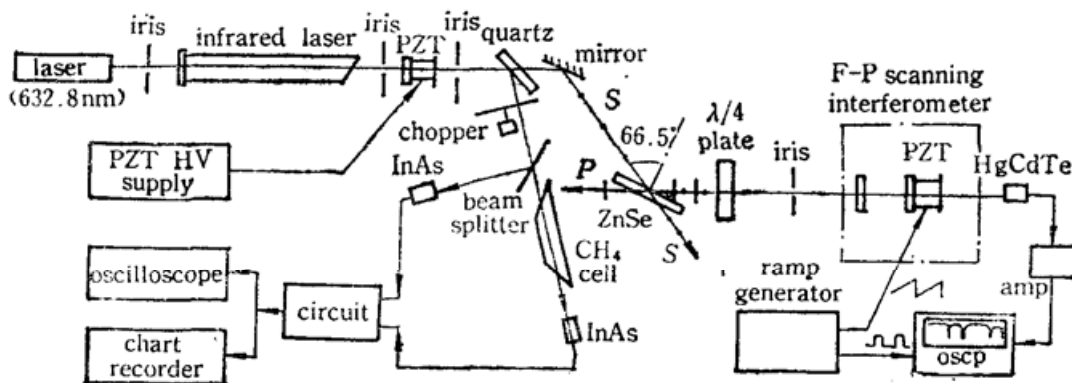
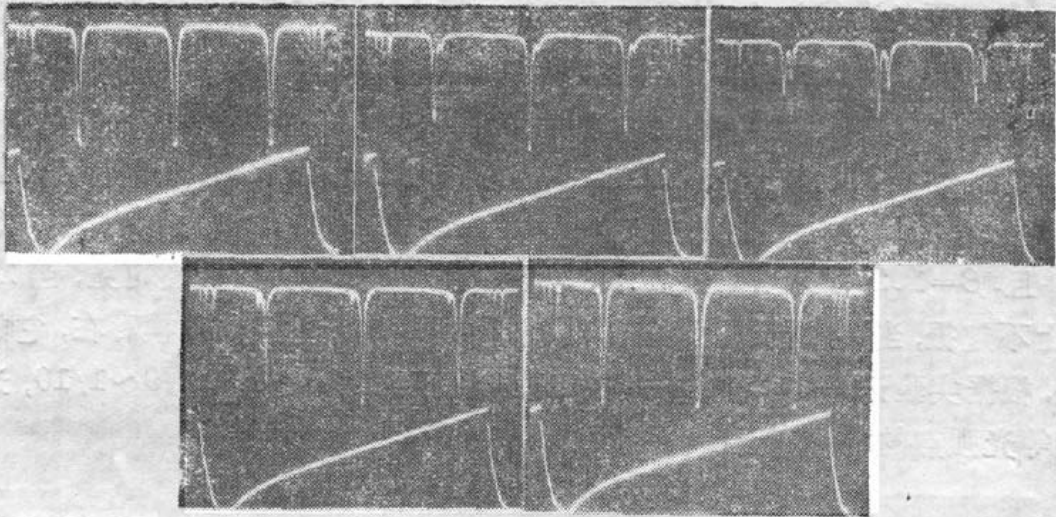
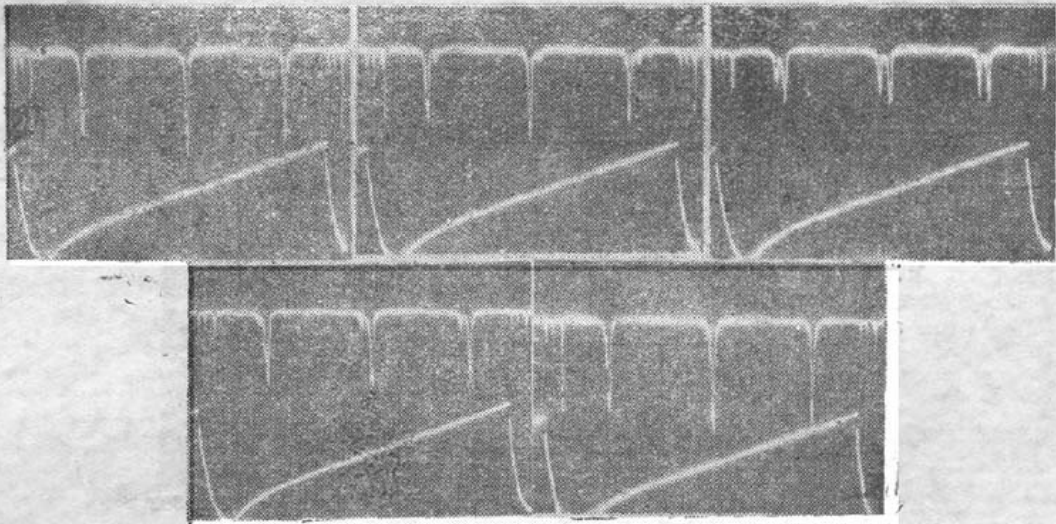


Fig. 3 Experimental set-up for measuring longitudinal modes of dual-line He-Ne laser

Fig. 4 (a) Oscillating modes of  $\lambda_1$ Fig. 4 (b) Oscillating modes of  $\lambda_2$ 

反射的光,用来监视激光器功率调谐曲线。为了分析比较实验结果,分别对单谱线振荡和双谱线振荡两种情况进行了实验测量。测量单谱线( $\lambda_1$ 或 $\lambda_2$ )振荡模式时,调谐曲线的监测部分与上图稍有不同。实验中,所用激光腔长约为497mm, F-P的扫描频率为20Hz,手动调节激光腔PZT上的电压,这样可以得到整个激光功率调谐曲线内的振荡模式情况。

### 3.1 $\lambda_1$ 和 $\lambda_2$ 单独振荡的模谱

这时, F-P腔间隔 $d \approx 50$ mm, 相应的自由光谱区为3GHz, 由于镀制的 $3.39 \mu\text{m}$ 平面镜反射率不高, 目前的细度只有30左右, 模式分辨率约为100MHz, 由于所用激光器的纵模间隔约为300MHz, 故尚能用现有扫描干涉仪观察纵模模式。图4(a), (b)是 $\lambda_1$ 和 $\lambda_2$ 独立振荡时, 在激光器腔长扫描过程中 $\lambda_1$ 模式变化情况的实验照片(由于 $\lambda_1$ 具有较大的增益, 故当 $\lambda_1$ 处在增益线中心时, 透射峰信号出现了饱和)。由实验照片可以看出, 在PZT调腔过程中,  $\lambda_1$ 和 $\lambda_2$ 都出现双纵模振荡。根据同时记录

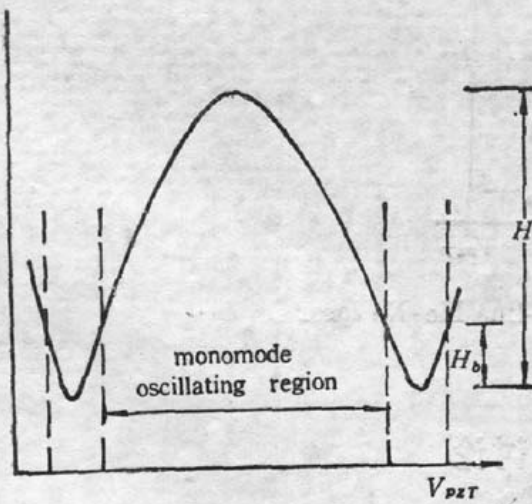


Fig. 5 Output power of a single laser line

的功率曲线,发现两条谱线 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 的双模区和单模区大小基本相同,如图5所示。双模区所占比例约为 $1/3 \sim 1/4$ ,这个数值较日本H. Matsumoto的结果<sup>[2]</sup>稍小。

### 3.2 双谱线振荡模谱

实验中,参数 $\alpha \approx 0.33$ ,  $n = 86$ , 选定 $g \approx 2.85$ 。考虑到干涉仪的细度较低,为使仪器对纵模有足够的分辨力,取最大可能的整数值 $k = 10$ (当 $k > 10$ 时,  $\beta > 1$ ),则由公式(3)得出,  $d \approx 54.5$  mm, 并且,  $\beta = 1.26$ , 满足(4)式要求。实验结果如图6所示,由图可见,当 $\lambda_1$ 处于最大值时, $\lambda_2$ 基本上不起振,当 $\lambda_2$ 处于最大值时, $\lambda_1$ 仍有微弱振荡,并且有双模存在,它的出现和消失交换得很快,根据实验记录的双谱线功率曲线,双模区约为 $H_b/H \approx 1/9 \sim 1/10$ ,这样小的双模区不会影响等光强点的稳频和干涉测量。

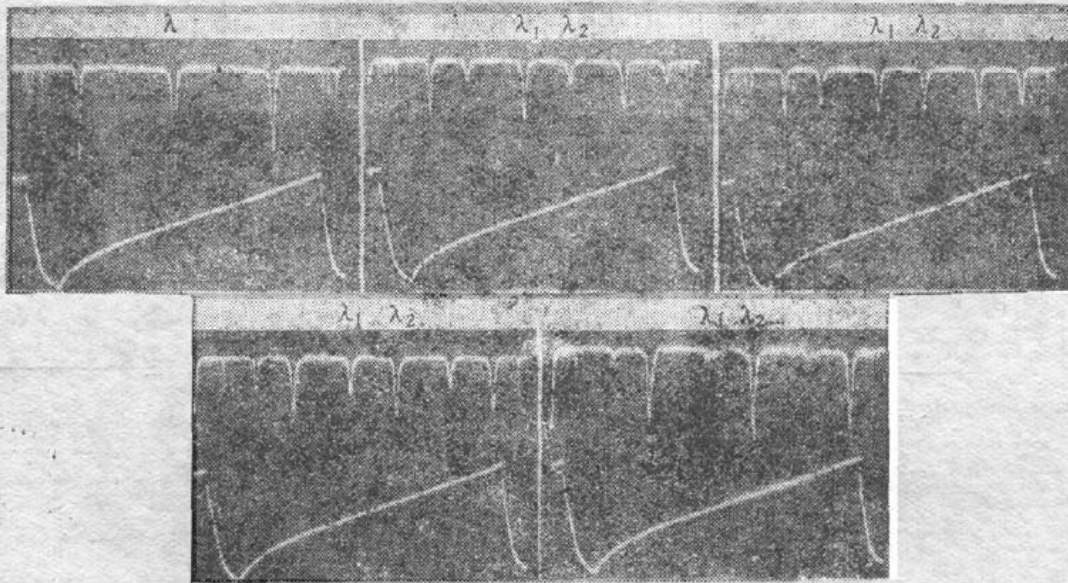


Fig. 6 Oscillating modes of dual-line He-Ne laser

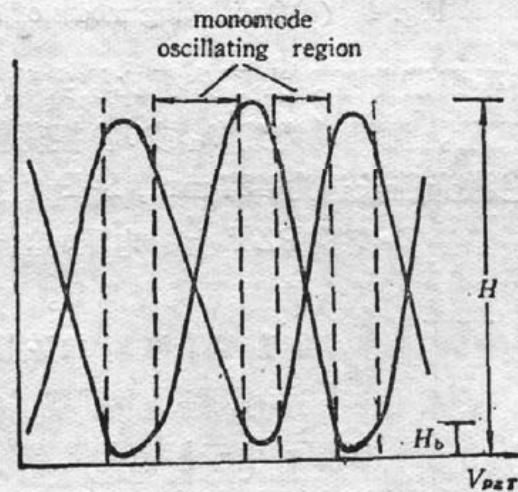


Fig. 7 Output power of  $\lambda_1$  and  $\lambda_2$  dual-line He-Ne laser

## 四、实验结果的分析 and 讨论

单谱线振荡和双谱线振荡模式测量的实验结果表明: $\lambda_1$ (或 $\lambda_2$ )单独振荡时,存在较大的双模区,当 $\lambda_1$ 和 $\lambda_2$ 同时振荡时, $\lambda_1$ 和 $\lambda_2$ 仍有可能出现双模区,但很小,并且在等光强工作点处是

一线一模振荡。产生这个结果的原因是： $\lambda_1(3s_2 \rightarrow 3p_4)$  跃迁) 和  $\lambda_2(3s_2 \rightarrow 3p_2)$  跃迁) 具有公共上能级  $3s_2$ ，当  $\lambda_1, \lambda_2$  同时振荡时，每条谱线的实际增益将比单线振荡时小，它们的实际增益可表示如下：

$$\begin{cases} G_1 = G_1^0 - \beta_1 I_1 - \theta_{12} I_2 \\ G_2 = G_2^0 - \beta_2 I_2 - \theta_{21} I_1 \end{cases} \quad (5)$$

其中， $G$  为增益， $G^0$  为小信号增益， $I$  为光强， $\beta$  为自饱和系数， $\theta$  为互饱和系数，下标 1、2 分别与  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  相对应。由 (5) 式知，由于谱线之间的互饱和效应，双谱线同时振荡时， $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  的增益下降了，出光带宽减小了，从而大大减小了双模振荡区。

上述实验结果也说明：平面扫描干涉仪测量多谱线振荡激光模式是可行的。由双谱线模式的测量方法，可进一步导出用平面 F-P 扫描干涉仪测量更多谱线(如三谱线)振荡模式的有关条件。

### 参 考 文 献

- 1 邹大挺 *et al.*, 中国激光, **19**(1), 31~37 (1992)
- 2 H. Matsumot, *Japan. J. of Appl. Phys.*, **19**(4), 713(1980)