

## CO 激光器的光栅色散腔选支

归振兴 张顺怡

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 本文报导在 CO 激光器中采用光栅色散腔进行了实验比较, 提高了波长的分辨力。

## Grating dispersion cavity for CO lasers

Gui Zhenxing, Zhang Shunyi

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

**Abstract:** This paper reports a grating dispersion cavity used for line selection in CO lasers. Experimental comparison of this cavity with that of conventional grating shows an improvement of wavelength resolution.

## 一、引言

用球面镜-光栅腔(简称光栅腔)选支是进行谱线调谐的常用方法。对于谱线丰富而又密集的 CO 激光器, 由于受光栅分辨力的限制, 往往出现双线或多线同时振荡的现象。为了提高谱线鉴别力, 可采用复合腔选支<sup>[1]</sup>。本文利用双波长振荡用的腔<sup>[2]</sup>(这里我们称光栅色散腔)在连续 CO 激光器中选支, 提高了谱线分辨力, 获得较满意的结果。

## 二、实验装置

实验装置见图 1。放电管内径 15 毫米, 长约 3.2 米, 内充有 CO:Xe:He=1:1.5:15 的混合气体, 总气压为 18 托, 通自来水冷却

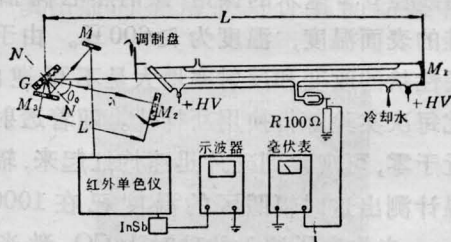


图 1 光栅色散腔选支实验装置图

放电管。

光栅色散腔由球面镜-光栅-平面镜组成。球面镜  $M_1$  的曲率半径  $R=8$  米, 平面光栅为 150 线/毫米, 闪耀波长 5 微米, 一级集光效率 80%,  $M_1-G$  间距为 350 厘米,  $G-M_2$  间距为 28 厘米。谱线调谐是固定光栅与光轴夹角  $\theta_0$ , 通过转动平面镜  $M_2$  来实现的(光栅处在  $\theta_0$  角时, 腔内不产生振荡), 在这

收稿日期: 1982 年 4 月 7 日。

表 1 光栅腔和光栅色散腔对谱线分辨力的比较

腔 型	光 栅 腔	光栅色散腔 $\theta_0=28.06^\circ$
选支波长范围	5.3648 微米 $P_{9-8}(18) \sim 5.8093$ 微米 $P_{15-14}(16)$	
选出谱线数( $P$ 支)	49 条	49 条
其中双线*	12 条	1 条
$\Delta\lambda_{\max}$ 的双线	$\begin{cases} 5.6569 \text{ 微米 } P_{12-11}(23) \\ 5.6642 \text{ 微米 } P_{14-13}(11) \end{cases}$ $\Delta\lambda_{\max}=2.28 \text{ 厘米}^{-1}$	$\begin{cases} 5.5521 \text{ 微米 } P_{11-10}(21) \\ 5.5543 \text{ 微米 } P_{12-11}(15) \end{cases}$ $\Delta\lambda_{\max}=0.71 \text{ 厘米}^{-1}$
可分辨波长**(厘米 $^{-1}$ )	2.62	0.94

注: \* 这里双线是指腔内两条谱线同时振荡。  
\*\* 可分辨波长是根据相邻两单谱线振荡的最小波长差来确定的。

里光栅相当于腔内的一个色散元件。激光由光栅的零级衍射输出。

谱线的调谐是通过光电流信号来检测的<sup>[8]</sup>, 波长数值由 1 米红外单色仪读出(分辨率 10Å)。

三、实验结果和讨论

我们分别比较了光栅色散腔选支和普通光栅腔选支对谱线的分辨力, 结果见表 1。从表 1 可以看到, 光栅色散腔的波长分辨力比普通光栅腔提高了约 3 倍, 可分辨的波长约 0.94 厘米 $^{-1}$ 。

在光栅色散腔中, 由于光两次经过光栅, 其角色散约为:

$$D = \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{2}{d \cos \theta_0}$$

和普通光栅腔比较, 角色散约增加一倍, 而且由于  $\theta_0$  的固定, 在调谐时角色散率不随波长的变化而变化, 因此, 适当选取大的  $\theta_0$  角, 也可提高色散率。

另一方面, 由于光栅的色散作用, 从光栅反射回来的光  $\lambda + \Delta\lambda$  偏离了原入射位置  $2\Delta\alpha$ , 考虑到角色散, 在选择波长上的损耗近似为:

$$\alpha = \left[ \frac{L}{a d \cos \theta_0 / \Delta\lambda - L'} \right]^{1/2}$$

这里  $L$  是  $M_1G$  距离,  $L'$  是  $GM_2$  距离,  $a$  是

管内径。从上式可看到, 光栅色散腔的色散损耗要比自准的光栅腔大二倍, 并且增加  $L'$ , 也可增加色散波长的损耗, 提高了谱线分辨本领。在实际运用中,  $L'$  的增大, 也降低了转动平面镜的精度, 有利于谱线位置分开。

因为光栅色散腔没有工作在自准条件, 因此随着光栅入射光与出射光夹角的增大, 光栅的能量分布曲线向短波方向有微小的移动<sup>[4]</sup>, 这样对于振荡波长  $\lambda$  的一级集光效率随  $\theta_0$  的取值增大而减小, 导致腔内损耗增加而降低输出功率, 我们测量了同一波长在取不同  $\theta_0$  值下的输出功率, 典型结果见图 2。

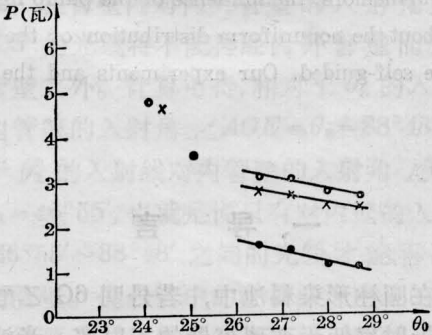


图 2 谱线输出功率与  $\theta_0$  的关系  
○— $P_{10-9}(19)$ ,  $\lambda=5.4508$  微米;  
×— $P_{10-9}(23)$ ,  $\lambda=5.5014$  微米;  
●— $P_{11-10}(22)$ ,  $\lambda=5.5650$  微米

在光栅色散腔中, 激光在两个角度下反射振荡, 因此零级耦合输出的激光出现两束。图上给出的功率值是各谱线的总输出功率

(下转第 37 页)

前所述,假定在波导中存在两个最低阶的混合模为  $\text{EH}_{11}$  与  $\text{EH}_{12}$ ,那么在通过长为  $l_1$ 、半径为  $a$  的波导管后,这两种模之间所产生的相移为<sup>[3]</sup>:

$$\Delta\phi = -(u_{02}^2 - u_{01}^2) \frac{l\lambda}{4\pi a^2}$$

式中  $u_{01}=2.405$ ,  $u_{02}=5.52$  是第一类贝塞尔函数  $J_0(u_{01}r/a)$  与  $J_0(u_{02}r/a)$  的零阶一次根与二次根;  $\lambda$  为光波的波长。在  $\Delta\phi = n \cdot 2\pi$  时,这两种模在输出端的合成将获得极大值。而出射合成波的曲率半径为  $R = 2\pi\omega_0^2/\lambda$ , 式中  $\omega_0$  为波导端口处的光束的半宽度。在我们的实验中,由于采用的波导管的管径为 1 毫米,因而计算出来的  $\Delta\phi$  值极小,即  $\text{EH}_{11}$  与  $\text{EH}_{12}$  模之间的相移可以忽略不计。若设  $\lambda = 6000$  埃,  $\omega_0 = 0.6a$ , 计算出来的合成波的曲率半径  $R = 1.07$  米,那么外腔镜的曲率半径就应该为同一数值时才能与合成波的波阵面相合而获得最佳耦合。由此可知,在  $a \gg \lambda$  的情况下,不必严格地考虑波导的长度,而且由于  $R$  的数值也很大,在近似的情况下也可以用平面镜来代替曲面镜作为外腔镜。此时若能使得整个波导管内的染料溶液受到较均匀的激发,那么我们仍能得到较

好的单模输出,如图 8 的照片所示;其能量用半径法的方法测试估计也有数十毫焦耳。在拍摄这种照片的时候,若使染料浓度逐渐增加,则超辐射的衬底将明显地增强,而当浓度增加到使得波导的轴芯区不再能受到充分的激发时,就会只剩下环型的超辐射输出,而其中心就不会再出现激光斑了。



图 8

感谢上海亚明灯泡厂为我们试制了氙灯,感谢天津化学试剂研究所为我们提供了荧光染料。

## 参 考 文 献

- [1] D. Marcuse; "Theory of Dielectric Optical Waveguides", Academic Press New York and London, 1974, p. 45.
- [2] P. Burlamacchi et al.; *Appl. Opt.*, 1976, **15**, 2684.
- [3] M. Lyszyk et al.; *Opt. Commun.*, 1981, **33**, 327.

(上接第 31 页)

(即两束光功率之和,其中  $\theta_0$  方向振荡的耦合输出光强约是另一束光强的 1.25 倍)。可以看到,随着  $\theta_0$  角越接近自准条件,谱线的输出功率越大。

另外,图中还给出了三条谱线在自准条件下振荡即光栅腔时的输出功率(图中三个孤立的记号),与光栅色散腔比较,输出要大得多,这是由于光栅色散腔经过两次耦合输出,总输出耦合率处于非最佳状态的缘故。假如采用高集光效率的光栅,在腔的另一端耦

合输出,则将会大大提高谱线的输出功率,而又可保持其提高谱线分辨力的特点。

## 参 考 文 献

- [1] 王裕民,张顺怡,归振兴;《科学通报》,1980, No. 24, 1116,
- [2] R. G. Harrlson, S. R. Butcher; *Phys. Lett.*, 1977, **61A**, No. 3, 154.
- [3] 王裕民,归振兴,张顺怡,《光学学报》,1981, **1**, No. 4, 313.
- [4] 刁永富;《仪器制造》,1975, No. 6, 12.