

稳定CO₂激光器输出的有效措施 —消除窗干涉效应的影响*

孙祉伟 赵建荣

(中国科学院力学研究所)

【提要】 文献〔1〕论证了锪窗的干涉效应是造成CO₂激光器输出不稳定的重要因素。为了消除干涉效应的影响,改善激光输出的稳定性,文本提供了某些具体措施。实践证明,这些措施确实有效。多年来人们一直在探求影响CO₂激光器输出稳定性的各种因素〔2〕~〔6〕。但是锪窗本身的干涉效应却一直未予以重视。文献〔1〕曾论证过它是造成激光器输出不稳定的重要因素。实践表明,不消除干涉效应的影响,就不能根本解决功率的波动。高稳定输出的激光器,除了在其它方面作了努力外,实际上也是消除了干涉效应影响的结果。

一、稳定激光器输出的方法

在相干光入射下两表面平行的锪窗透射率为〔1〕:

$$T_{\text{相干}} = T_a T_b e^{-\alpha d} \left[(1 - \sqrt{R_a R_b} e^{-\alpha d})^2 + 4\sqrt{R_a R_b} e^{-\alpha d} \sin^2 \frac{\delta}{2} \right] \quad (1)$$

其中 R_a , R_b , T_a , T_b 分别代表 a 、 b 面各自的反射和透射率, α 为吸收系数, d 为厚度, 而

$$\delta = \frac{4\pi n_1 d \cos\theta}{\lambda_0} \quad (2)$$

n_1 为锪的折射率, θ 为折射角, λ_0 为入射光在真空中的波长。

当锪窗厚度固定时, 满足 $\delta = (2K + 1)\pi$ 的波长 (K 为整数) 具有反射极大值。然而, 当激光器运转时, 锪窗会因吸收它所透过的激光而变热, 热膨胀使厚度发生变化 (同样也会受环境温度及散热情况的影响)。这就造成了激光输出功率的漂移、谱线的更替和横模的变换〔1〕。实验结果见表 1。

应指出, 激光束一般是由锪窗的中心位置附近通过的, 场强的分布也不是均匀的 (例如

* 本文于1980年12月收到。

表1 锺窗冷却水温度变化对激光输出的影响

温 度 (°C)	谱 线		功 率 (瓦)	横 模
	00°1~10°0	00°1~02°0		
23	P_{16}	P_{16} (很弱)	4.7	TEM_{01}^*
22	P_{20}, P_{16} (极弱)		4.9	TEM_{00}
21	P_{12}	P_{16} (很弱)	4.6	$TEM_{00} + TEM_{01}^*$
20	P_{18}	P_{16} (很弱)	4.6	$TEM_{00} + TEM_{01}^*$
19	P_{18}, P_{22} (极弱)		4.8	TEM_{01}^*
18	P_{20}		4.9	TEM_{00}
17	P_{18}, P_{16}		4.6	$TEM_{00} + TEM_{01}^*$
16	P_{18}, P_{20} (弱)		4.7	TEM_{01}^*

说明: 1. 激光器长1米, 内径6毫米, 石英管体。功率波动最大幅度: 一分钟为10.4%, 半小时为 $\pm 1\%$ 。

2. 温度是用美国Sylvania公司产品 Model 750 Heat exchanger控制的, 精度为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。

3. 光谱是用美国Opt. Eng., Inc. 产品Model 16-A CO_2 laser spectrum analyzer观察的。

对 TEM_{00} 模是高斯分布)。这相当于锺窗中心有一热源, 其四周又通过空气或流水冷却, 因而从中心到边缘有一个温度梯度, 与这个温度梯度相应的是中心厚、边缘薄的厚度变化。于是锺窗可视为一凸透镜。厚度的不一致必然会使透射随其厚度(或温度)变化的峰谷变得平坦起来, 还可以引起模结构的畸变。当窗材料的吸收大、折射率高、导热率低时, 该效应会变得明显起来。我们在实验中发现当Ge窗在正常工作温度下, 这种现象并不明显, 因此在讨论中可忽略它的影响。

消除Ge窗两表面间光的干涉的最好办法当然是在锺窗的外表面镀以100%的增透膜, 完全消除外表面的反射, 从而避免干涉。但这是难以达到的, 而且一般只能在较窄的波长范围内达到最好的透射效果。目前单层增透膜(通常是蒸镀1/4波长厚度的ZnS)最多只能获得99%的透射率。图1的二条曲线分别为 $T_a = 0.64, T_b = 0.99$ (单面增透膜, 另一面不镀膜的锺片)和 $T_a = 0.12, T_b = 0.99$ 的锺片的透射率随相位(对应于厚度)的变化情况。即使有了99%的增透膜, 干涉效应仍很明显。

一个简单有效的办法是: 选取平行度差的锺片

做窗口, 外侧镀以尽可能高的增透膜, 内侧镀以所需之耦合度的膜层。这样做只是稍许增加了些损耗, 却保证了激光输出的稳定。由[7]得到, 对5瓦输出功率的激光器最佳耦合度为12%, 设窗的外表面镀以99%的增透膜, 当外表面不平行时它所造成的损耗只有几十毫瓦, 却获得了稳定输出的激光。当然, 锺窗两表面不平行会给光腔的准直带来一些麻烦, 因为振荡

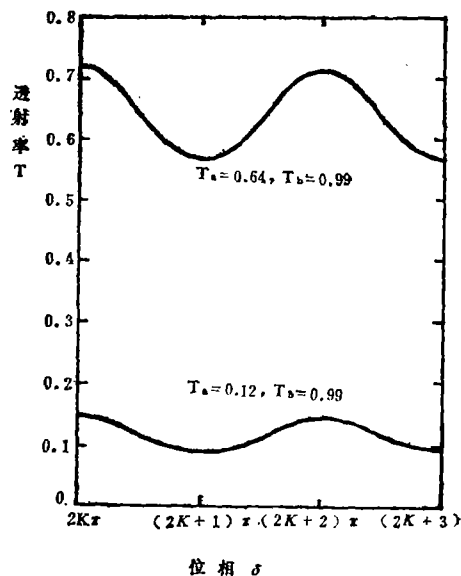


图 1

是由内表面的反射维持的,但准直时看到的是外表面的反射像。保证准直的办法是:研磨管体端面,使之与管轴垂直。则锗片在端面上转动时反射到平行光管中的像应是以管轴为圆心的圆(若锗的两表面平行,则该圆缩为圆心一点)。贴好全反射镜后,固定并记下锗片在端口的位 置,调整平行光管,使反射像在中心。贴锗片时,使其位置复原即可。若用二台平行光管,从管体两端准直会更方便,但要细心调整二平行光管,使其在视觉范围内严格同轴。

这种方法与传统的选择窗口标准是不一致的。激光器的制造者总是要求窗口有尽可能高的平行度[8],以达到低损耗、高效率,从而得到较高的功率输出。但是,这将提高激光器的成本,窗口不可能绝对平行,损耗总是不能避免的。如对内径为1厘米,腔长为1米的激光器,锗窗楔角为10秒,一次反射仍造成0.5%的损耗。因此,从稳定激光输出的角度出发完全可以选择平行度较差的锗片做窗口,同时也降低了成本。

第二个办法是设法固定锗窗的温度。温度固定后,其厚度将不再改变。因此干涉情况不随时间变化,输出也就稳定了。为此目的,可在锗窗表面贴以环状金属管,并通以恒温冷却水,温度平衡后,输出即可稳定。但水温的改变就会造成激光输出功率、频率、横模的改变。表1给出了实验中的一例。

当激光器输出功率较小时(几瓦)也可在锗窗上贴一散热片(可利用紫铜波纹管)。当吸收的光能与通过散热片散出的热量平衡时,输出也稳定下来。但需在开机后等待较长的时间才能获得稳定输出,而且易受环境影响。

二、稳定实验

激光器的制造程序和电源设备见[5]。

为了检验平行度差的锗窗能否有效地消除干涉影响,稳定激光输出。选用了楔角约150"的锗片做窗口。外侧镀增透膜,内侧不镀膜。腔体采用95硬玻璃制成。用响应时间为0.1秒的积分球功率计测其功率,用CO₂激光光谱仪测其谱线,其输出功率(50瓦时)波动的最大幅度(在10分钟内)小于±1%,在1分钟内小于±0.3%,输出谱线恒稳定在P₂₀上,大幅度改变锗窗的冷却水温度,输出仍不变。

固定锗窗温度也可获得较好的稳定输出。如对一些腔长为一米、楔角约40"的不镀膜锗窗构成的激光器,若不控制锗窗的温度,功率波动幅度达6%,输出谱线和横模也不断变化;若在锗窗上贴一通以恒温水的紫铜管,则在10分钟内功率变化的最大幅度小于±0.5%;若在锗窗上贴一波纹管,开机后需经过较长的时间(约半小时)才可得到稳定输出。

三、讨 论

关于稳定度,文中给出的都是在某一时间间隔内功率变化的最大幅度,它反映的是功率偏离值的最坏情况。可以按照下式来计算稳定度[4]:

$$S = \frac{0.677}{I} \sqrt{\frac{\sum (J_n - \bar{I})^2}{N - 1}} \quad (3)$$

式中 I_n 为第 n 次测量的功率值, \bar{I} 为平均值。由于偏离较大的数据只是极少数, 按此式计算的稳定度, 其稳定指标会大大提高。例如, 实验用腔长为一米的石英管体激光器, 在一分钟内功率的最大波动幅度小于 $\pm 0.4\%$, 半小时内小于 $\pm 1\%$ 。而由 (3) 式表征的稳定度一分钟内为 0.2% , 半小时内为 0.3% 。

在测量稳定度的实验中, 采用快速响应功率计, 每秒测一次输出功率并由数字电压表和打印机精确记录。用响应速度慢的功率计, 测得的功率是较长时间的平均值, 测量值不一定能很好地反映激光稳定度的指标。

文献[4]中的激光器需开机一个半小时后才能获得稳定输出, 从本实验分析得出, 锗窗需要相当长的时间才能达到温度平衡, 干涉效应的影响才消失因而造成需开机较长时间后, 输出才能稳定。而用表面不平行锗窗和贴水冷铜管的锗窗构成的器件, 开机后 5~10 分钟即可稳定。

CO_2 激光器是光功率器件, 并且又可连续输出, Ge 的折射率和吸收系数均较大, 故干涉效应明显。本文所讨论的内容原则上也适用于其它激光器件。特别是对于连续输出功率较高、窗材料折射率高吸收率大的器件, 如 CO 激光器等。

参 考 文 献

- [1] 孙祉伟, 赵建荣, 激光, 7, 10, (1980), 13
- [2] Reynolds R. S., NASA CR-95055
- [3] Sasnett M. W., NASA CR-102617
- [4] 王玉芝, 刘亚淑, 许如明, 激光, 6, 9, (1979), 46
- [5] 丁家强, 赵建荣, 方慧英, 激光, 6, 3, (1979), 26
- [6] 黄启文, 张明宝, 王宗进, 激光, 6, 7, (1979), 38
- [7] Fahlen T. S., Appl. Opt., 12, 10, (1973), 2381
- [8] 刘惠芳, 激光与红外, 1, (1977), 1

The Valid Means to Stabilize the Output of CO_2 Laser —to Eliminate the Influence of the Window's Interference Effect

Sun, Chih-wei Chao, Chien-jung

(Institute of Mechanics Academia Sinica)

ABSTRACT: This paper demonstrates our previous work [1] that Ge window's interference effect is an important factor affecting CO_2 laser output stability. In order to eliminate the influence and to improve the stability of CO_2 laser, means are suggested in this paper. As a matter of experience, the means proved itself available. In principle, the contents analysed and discussed in this paper is suitable for other kinds of laser devices.