

一米以上全外腔氦-氖激光器的 制造工艺问题

上海激光陀螺协作组

提 要

本文讨论了两个问题：一、一米以上全外腔氦氖激光器布儒斯特角的烧结工艺。用此法布氏角的倾角误差和扭角误差可在 $15'$ 以内；二、选择最佳氦氖气压比和总气压，以获得较强的输出功率。

自 1961 年氦-氖激光器问世后，随着科学技术的发展，氦氖激光器的制造工艺亦不断改进。激励方式从射频至交、直流放电；电极从热阴极发展为冷阴极；阴极材料由钨至当前普遍采用铝，并且不断采用新材料和新工艺，如铝在氧气中通过大电流产生一薄层氧化铝，以减少阴极溅射提高器件的寿命。器件的输出功率除了与毛细管的直度、窗口的清洁度、反射镜的质量、输出镜的匹配有关外，与布氏角的倾角误差、扭角误差和充气比例、总气压有很大关系，本文就后面提及的两个问题进行讨论。

一、布儒斯特角的烧结工艺

由于布氏角的倾角误差引起光强度的损失如表 1^[1] 所示。

表 1 倾角误差与光强度损失的关系

布氏角的大小	倾角误差	光强度的损失
$51^{\circ}34'$	$+5^{\circ}$	0.23%
$52^{\circ}34'$	$+4^{\circ}$	0.15
$53^{\circ}34'$	$+3^{\circ}$	0.09
$54^{\circ}34'$	$+2^{\circ}$	0.04
$55^{\circ}34'$	$+1^{\circ}$	0.01
$56^{\circ}34'$	0	0
$57^{\circ}34'$	-1°	0.01
$58^{\circ}34'$	-2°	0.05
$59^{\circ}34'$	-3°	0.11
$60^{\circ}34'$	-4°	0.21
$61^{\circ}34'$	-5°	0.37

表中窗口材料用 k_9 玻璃，波长为 6328 \AA 。

由于布氏角的扭角误差引起光强度的损失为

$$I' = I \cos^2 \alpha^{[1]}$$

式中 I' 为输出光的强度, I 为输入光的强度, α 为扭角误差。表 2 列出了扭角误差引起的光强度损失。

表 2 扭角误差与光强度损失的关系

扭 角 误 差	光 强 度 的 损 失
1°	0.04%
2°	0.12
3°	0.28
4°	0.48
5°	0.76

从上表可以看出扭角误差引起的光强度损失约为倾角误差引起光强度损失的 2~4 倍, 因此在全外腔氦氖激光器制造中要特别注意扭角误差。为了把这两种误差减小到最低限度, 同时保证用环氧剂粘结窗口玻璃时不漏气, 可以将已磨好布氏窗口的一段玻璃管用光学仪器校正, 使器件毛细管与玻璃管的窗口成布氏角, 然后进行玻璃烧结。

烧接布氏窗口的具体步骤如下(参见图 1):

1. 为了使扭角误差最小, 把测角仪(精度为 1') 安放在一块平板上, 平板置平至 1' 左右。然后将深度尺在平板前后的两个位置来回移动, 以校正平行光管的视线为水平线。调节安放器件的上下螺丝, 使器件的毛细管中心大致在水平线上, 一般可以校正至 10' 左右。若毛细管中心线与水平线交角太大, 则当测角仪从器件的一端搬至另一端时, 将找不到由载物台上平面镜所发射出来的象(见步骤 2.4)。

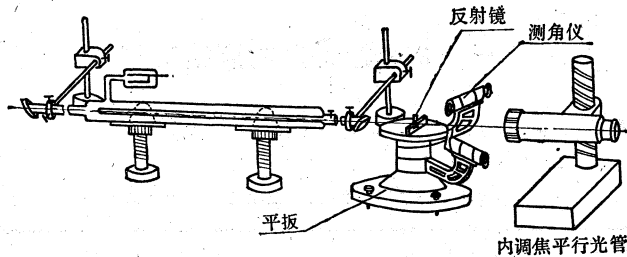


图 1 烧接布氏窗口时各仪器的排列

2. 微调平行光管使其视线通过器件毛细管中心。在测角仪载物台上安放一块平面反射镜, 调节平面反射镜或载物台的位置, 使反射镜的反射象与平行光管的十字丝重合。将测角仪的镜筒对准平面镜, 调节镜筒的位置, 使镜筒内的十字丝与平面镜的反射象重合, 并读出度盘读数 θ_0 。

3. 安放测角仪镜筒至 θ_1 位置, $\theta_1 = \theta_0 \pm 56^\circ 34'$ 。(正负号由测角仪镜筒转动角度的方向而定, 布氏角的大小由波长和窗口玻璃的材料决定)。在长 6 厘米带有布氏窗口的一段玻璃管上, 用树脂冷胶贴上一块窗口玻璃, 调整这段小管子, 使其与器件的毛细管同心和由窗口玻璃反射的象与测角仪镜筒中的十字丝重合, 然后把这段小管子与器件烧结。利用玻璃热胀冷缩原理, 当反射象在十字丝下方时, 微烧窗口管子的上部; 当象在十字丝的右边时, 微烧窗口管子的左边。用此方法可以使反射象几乎与十字丝重合。然后用电吹风熔化冷胶, 取下窗口玻璃, 并用乙醇洗净窗口, 以备环氧粘结剂粘合一块质量较高的窗口玻璃。

4. 平行光管、测角仪与平台搬至器件的另一端(即图 2(a)、2(b)中所示的第二位置), 重

复1~3步骤。由于器件毛细管中心线与水平线成 α 角,所以平面镜反射象的水平丝与测角仪镜筒中十字丝的水平丝不重合。如果测角仪搬至第二位置时,不动镜筒的上下螺丝,如图2(a)所示,则两只布氏角向垂线的同一侧偏转 α 角;如果调节镜筒上下螺丝,使镜筒转动 2α 角,平面镜的反射象就与镜筒内十字丝重合,如图2(b)所示,则两只布氏角向垂线的两侧各偏转 α 角,因而产生 2α 的扭角误差。所以测角仪从器件一端搬至另一端时,切勿动镜筒的上下螺丝。

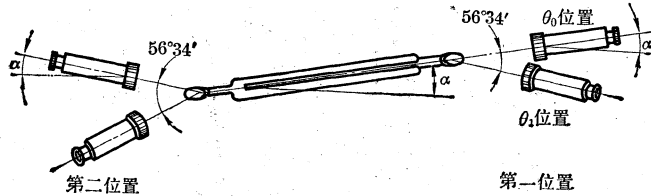


图2 (a) 测角仪镜筒位置的正确安放

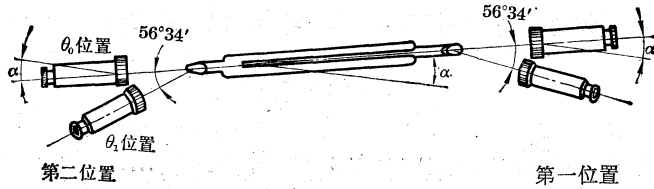


图2 (b) 测角仪镜筒位置的错误安放

用上述方法烧结布氏角,可以避免因器件过长而带来磨角的困难,以及因工作人员操作不熟练而使窗口磨得高低不平,贴片后发生缓慢的漏气现象。从实践中得到扭角误差与倾角误差可以在 $15'$ 以内。

二、如何选择氦氖气压比和总气压的最佳值

全外腔氦氖激光器的输出功率与许多因素有关,如输出镜的透射率、腔结构(即所采用反射镜曲率半径的大小和毛细管的内径)、器件与窗片的清洁度、玻璃外壳和电极的除气、布氏角倾角误差和扭角误差的大小、氦氖气体的比例和总气压等。在输出镜透射率、腔结构……固定的情况下,对选择适当的气压比和总气压做了一些实验^{[2][3]},这对提高器件的输出功率是有益的。

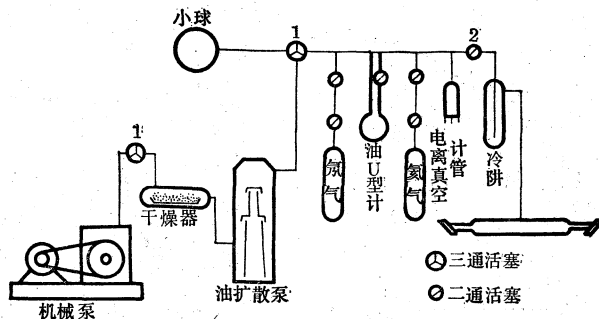


图3 排气台的结构

实验所用排气台的结构如图3所示。假设排气系统的体积为 V_1 (即活塞1、2之间的体

积), 器件的体积为 V_2 (即活塞 2 以后的体积), 总气压为 P ; 气体比为 n 。充气步骤如下:

1. 打开活塞 1、2, 将整个系统抽至 $1 \sim 2 \times 10^{-5}$ 托的真空度。关活塞 1、2 充以气压 P_{Ne} 的氖气, 然后打开活塞 2, 使整个系统都充满氖气, 此时系统的气压为 P'_{Ne} 。

2. 关掉活塞 2, 打开活塞 1, 把体积 V_1 抽至真空。

3. 关掉活塞 1, 充以气压为 P_{He} 的氦气, 然后打开活塞 2, 使氦气及氖气混合半小时。根据玻意耳-马略特定律, 从 n 、 P 可以推导出充氦气和氖气的气压。

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_{Ne}}{P'_{Ne}} - 1$$

$$P_{He} = \left(1 + \frac{V_2}{V_1}\right) \frac{nP}{n+1} = n(P_{Ne} - P'_{Ne})$$

$$P_{Ne} = \frac{V_1}{V_2} \left(1 + \frac{V_2}{V_1}\right) \frac{P}{n+1}。$$

为了得到同一气压比时不同的总气压, 可以将活塞 2 关掉, 打开活塞 1, 抽掉 V_1 体积内气压为 P 的氦氖混合气体, 然后关掉活塞 1, 打开活塞 2, 得到器件的总气压为 P_1 ,

$$P_1 = \frac{P}{1 + \frac{V_1}{V_2}}$$

反复多次, 可以得到同一气压比时不同的总气压 P 、 P_1 、 P_2 ……。若器件体积较小, 可以用活塞 1 左端的玻璃小球, 把小球抽至真空, 然后将 V_1 、 V_2 内的氦氖气扩散至小球内, 以获得不同的气压 (如果随便抽掉一些氦氖混合气体, 因为氦原子运动速度比氖原子快, 使氦气抽掉多一点, 因而气体比例不准确)。

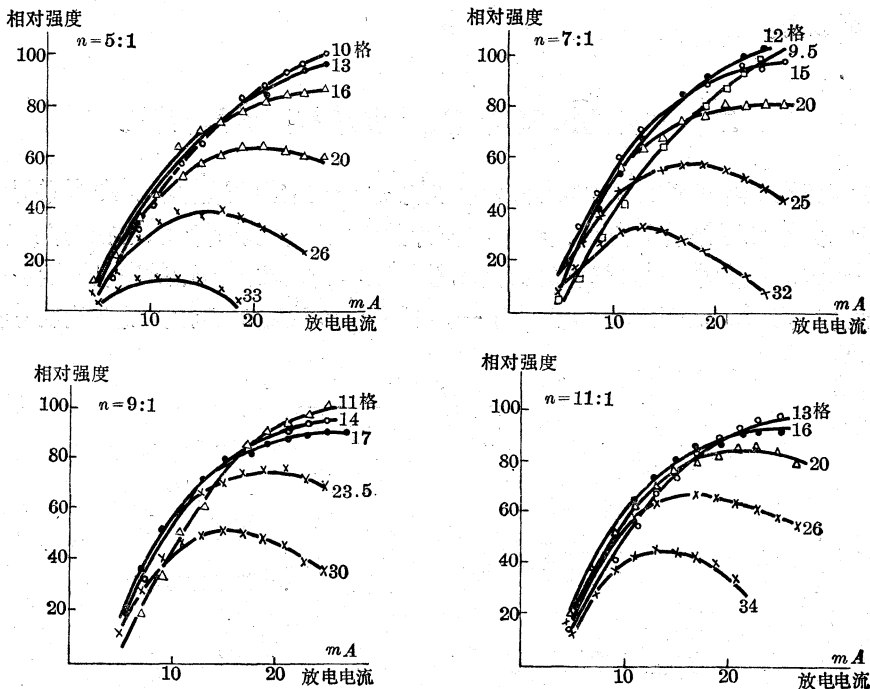


图 4 在一定气压比下不同总气压时, 放电电流与相对强度的关系

我们采用上述方法选择气压比和总气压的最佳值, 下面列举一个实例。

器件内径 $d=5.3$ 毫米, 放电长度 $l=1.04$ 米, 器件全长 1.3 米, 腔长 $L=1.5$ 米, 腔结构为一块 $R=2$ 米的全反射镜和另一块涂 9 层介质膜的平面输出镜, 用一块硅片做接收元件, 其光电流大小表示光的相对强度。

从实验得到一定气压比下不同总气压时放电电流和相对强度的关系(由于接收元件未定标, 所以仅得到相对功率)。

从图 4 中得到的在一定气压比下总气压与相对强度峰值的关系示于表 3。用此数值作图得到最佳气压比的选择图(图 5)。

表 3 气压比的选择

5:1		7:1		9:1		11:1	
总气压(格)	相对强度峰值	总气压(格)	相对强度峰值	总气压(格)	相对强度峰值	总气压(格)	相对强度峰值
33	15.5	32	33.0	30	52.0	34	46.5
26	39.0	25	58.0	23.5	75.0	26	68.5
20	64.5	19	83.0	18	91.0	20.5	85.0
16	88.0	15	98.5	14	96.0	16	94.0

表中油 U 型计压差 13 格(即 13 毫米)为总气 1 托。从图 5 可得总气压在 16.5~34 格之内, 最佳气压比为 9:1 或 11:1。考虑到氖气成分多一点, 器件容易产生振荡, 我们选择最佳气压比为 9:1。

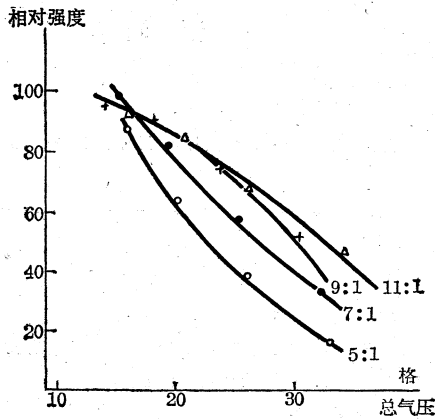


图 5 最佳气压比的选择图

在放电电流不变、气压比为 9:1 的情况下, 作总气压与相对强度的关系图以选择最佳总气压。

表 4 放电电流为 5、10……25 毫安时, 总气压与相对强度的关系

放电电流(毫安)	总 气 压 (格)					
	30	23.5	18	14	11	8.5
	相 对 强 度					
5	14.5	16.0	16.5	13.5	7.5	1.7
10	43.5	54.5	55.5	54.5	42.5	24.0
15	52.0	70.5	78.5	78.5	71.5	49.5
20	47.0	74.8	87.0	90.5	90.5	69.5
25	36.5	70.0	91.0	95.8	100.0	82.2

从图6可得放电电流为5毫安、10毫安……25时,最佳总气压分别为23格、18格、16格、13格、11格。一米以上氦氖激光器放电电流一般在10~15毫安左右,所以总气压应选择在16~18格左右。

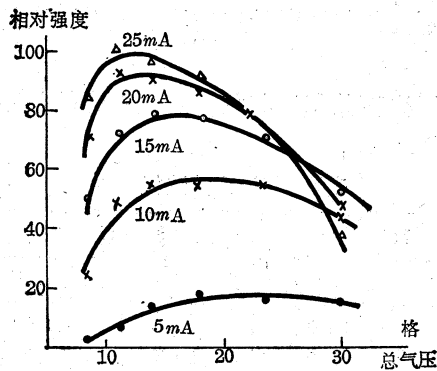


图6 总气压的选择图

用上述方法求得器件气压比和总气压的最佳值,以获得较强的输出功率。本文提出了实验的方法和一些结果。要得到较强的输出功率,除了上述提及的两个问题以外,还与腔结构、输出镜透射率的选择有关,有待今后进一步深入。

参 考 资 料

- [1] C. Θ. 福里斯, A. B. 季莫列娃, 《普通物理学》第三卷 93~153 页。
- [2] A. D—655437.
- [3] Klaus. D. Mielenz, Karl. F. Mefflen, *Appl. Opt.* **4** Vol. 4, No. 5, 1965, 565~567.

(上接第61页)

- [2] P. W. Harrison, *Proc. Instn. Mech. Engrs.*, 183 (pt. 3D) (1968~69)
- [3] G. J. Reicher, K. D. Harris, *Proc. Instn. Mech. Engrs.* 183 (pt. 3D) (1968~69)
- [4] G. Carey, P. A. Hickman, *ISA Transactions*, **9**, (1970), 222
- [5] A. Maitland, M. H. Dunn, *Laser Physics*, 1969, London
- [6] B. G. Whitford, *Appl. Opt.*, **11**(1972), 2069
- [7] W. B. Herrmannsfeldt, *et. al.*, *Appl. Opt.*, **7** (1968), 995
- [8] 安东滋等, *电子技术*, **12** (1970), 39
- [9] *Laser Letter*, **2**(1965), 2
- [10] H. D. Betz, *Appl. Opt.*, **8** (1969), 1007
- [11] T. R. Pryor, *et. al.*, *Appl. Opt.*, **11** (1972), 308
- [12] S. J. Bennett, J. W. C. Gates *J. phys. E: Scient. Instrum.*, **3** (1970), 65
- [13] A. Chrzanowski, *et. al.*, *Appl. Opt.*, **11** (1972), 319
- [14] J. Dyson, *Nature*, **216** (1967), 782.
- [15] J. A. Strasser, *Aerospace Technology*, **21** (1968), 24
- [16] P. A. Hickman, *Laser Focus*, **4** (1968), 24
- [17] J. D. Bohlin, *Appl. Opt.*, **11** (1972), 961
- [18] 黑岩英, *エレクトロニクス*, **16** (1971), 802