

氦氖激光管的配气

实验者：余钊焕 合作者：朱 可
(中山大学理工学院，物理学专业 2006 级，学号 06324043)
2008 年 11 月 15 日

【实验目的】

1. 了解真空技术在氦氖激光管制作过程中的应用。
2. 掌握氦氖的激光管配气方法。

【实验仪器】

氦氖激光管充排气真空系统、功率计等。

【实验内容】

确定 6328 埃波长最佳 p , n 值和放电电流值 I 。

【实验原理】

微观的物质系统（原子、分子、离子、晶体等）具有一系列分立能级，当辐射场与其相互作用时引起能级之间的跃迁。这种辐射跃迁总是存在着自发辐射、受激发射以及受激吸收三种类型；且在正常情况下由于处在低能态的粒子数密度总是大于高能态的粒子数密度，所以总的的作用效果是受激吸收大于受激发射，借助外界能源的激励（称为泵浦），破坏正常的热平衡状态，就有可能使得处于高能态的粒子数密度大大增加，以至达到高于低能态的粒子数密度的分布状态，这叫做粒子数反转。实现了粒子数反转的工作物质称为激活介质。当入射光（介质内部的自发辐射即可充当入射光）通过激活介质时，光的受激发射就有可能大于光的受激吸收，光通过激活介质将愈走愈强，发生增益现象（或称光量子放大）。利用光学谐振腔（由两块反射镜组成——其中一块为全反射，另一块为部分反射）产生反馈，则可使这种光量子放大得以维持，形成振荡而得到充分放大。输出大量在频率、相位、偏振、传播方向上都与外来光子完全一致的激光，氦氖激光器利用 Ne 原子作为工作物质，He 原子作为辅助气体可以提高激励效率。氦氖激光

具有丰富的振荡谱线，是由于 Ne 原子具有众多的精细结构子能级所致。在辉光放电条件下，由于电子碰撞激发，很容易积累起相当数量的处于 2^1S_0 或 2^1S_1 亚稳态的 He 原子。这些 He 原子又在与 Ne 原子的碰撞过程中，通过无辐射跃迁，把 Ne 原子由基态激发到 3S 或 2S 等激发态。这个过程称作共振能量转移。正是它造成了以 3S 和 2S 各激发态为上能级、以 2P 和 3P 各激发态为下能级的许多对能级之间的粒子数反转，因此竟可以在这些能级之间获得二百余条激光跃迁谱线，波长范围覆盖了从可见到红外的一大片光谱区。

氦氖气体在跃迁时有 9 条可见区激光谱线，分别是 730 nm、640 nm、635 nm、633 nm、629 nm、512 nm、604 nm、594 nm、543 nm。绿光 543 nm 谱线是 9 条可见光谱线中增益系数最低的一条，约为红光 633 nm 谱线增益的 1/29。虽然有这么多谱线，但是可以得到某个波长最大的增益，并输出这个波长的激光的主要条件还有镜片反射率、氦氖气体的比例、总气压、辉光放电电流的大小和毛细管长度、内径粗细等因素有关。只有腔的损耗小于介质的增益才能建立激光振荡。

首先通过玻管加热、高频除气、分子筛吸附等工艺将激光管内气体排出，使管内真空度达 10^{-3} Pa 以下。

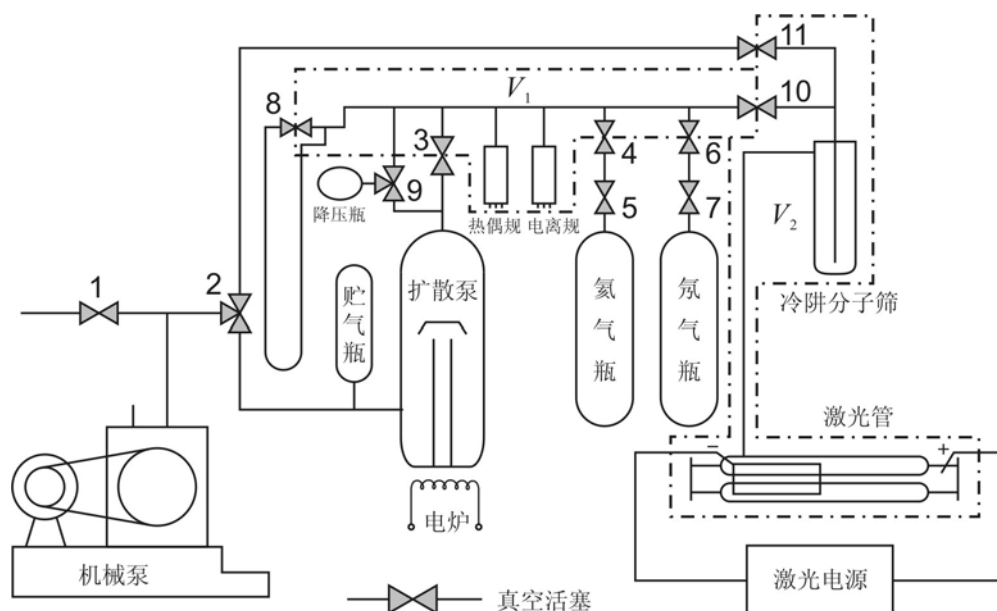


图 1 He-Ne 激光管充排气真空系统图

然后测定体积比 $N = V_2/V_1$ (V_2 和 V_1 的体积参看图 1，其中， V_1 是活塞 3，4，6，8，9 及 10 之间的体积， V_2 是活塞 10 和 11 之间的体积)，A) 在体积 V_1 中先充入任一气体（例如 Ne 气），设此时在 U 型计上得出的压强为 p_A ；B) 打开活

塞 10，气体将充满体积 ($V_1 + V_2$)，设此时在 U 型计上读出的压强为 p_B ，则

$$N = \frac{V_2}{V_1} = \frac{p_A}{p_B} - 1, \text{ 设激光管中 He 气和 Ne 气的气压比为 } n, \text{ He 气和 Ne 气混}$$

合后的总压强为 p ，则应有下面的关系式：

$$\begin{cases} \frac{p_{He}}{p_{Ne}} = n \\ p_{He} + p_{Ne} = p \end{cases} \quad (1)$$

解以上方程，得：

$$p_{He} = \frac{np}{n+1}, \quad p_{Ne} = \frac{p}{n+1} \quad (2)$$

A) 先在体积 ($V_1 + V_2$) 中充入 He 气或 Ne 气，设此时的压强为 p'_{He} 。

B) 关闭活塞 10，抽走 V_1 中的 He 气，当真空度小于 10^{-5} 托时，在 V_1 中充入 Ne 气，设此时的压强为 p'_{Ne} 。

C) 打开活塞 10，使 V_2 中 He 气和 V_1 中 Ne 气充分混合，则混合后的总压强应为 p ，其分压强应为 p_{He} 和 p_{Ne} 。

根据玻义耳—马略特定律，当气体纯度不变时，混合前气体的压强与体积的乘积应等于混合后气体的压强与体积的乘积，即有如下的关系式：

$$p'_{He} V_2 = p_{He} (V_1 + V_2) \quad (3)$$

$$p'_{Ne} V_2 = p_{Ne} (V_1 + V_2) \quad (4)$$

解以上方程组得

$$p'_{He} = np \frac{N+1}{N(n+1)}, \quad p'_{Ne} = p \frac{N+1}{n+1} \quad (5)$$

在上面的推导过程中，气压的单位是毫米水银柱高，而现在的排气充气系统中是用硅油 U 型压强计，所以必须再乘上水银对硅油的比重的比值 K ， p'_{He} ， p'_{Ne} 才为毫米硅油柱高，于是

$$p'_{He} = npK \frac{N+1}{N(n+1)}, \quad p'_{Ne} = pK \frac{N+1}{n+1} \quad (6)$$

【实验步骤】

1. 关闭 1 阀，开机械泵，转动 2 阀通扩散泵，五分钟后开 3 阀，开 10 阀。
开热偶真空计，抽激光管真空度至 15 Pa。
2. 关 10 阀，关 3 阀，接通扩散泵加热电炉并开通冷却水。
3. 计算 p'_{He} 和 p'_{Ne} ，注意它们的单位换算关系。
4. 当扩散泵出气口形成油浪时，开 3 阀抽高真空，当真空度 $p < 10^{-1}$ Pa 时，
开电离真空计，开 10 阀。当系统真空度小于 10^{-5} Torr 时，记下本底压强 p_x 。
5. 充 He 气前，5 应关闭，开 4 将 4、5 之间的空气抽调，然后关 4，待系统
真空度小于 10^{-5} Torr 时，关电离真空计，按以下步骤充气。
6. 充 He，关 3 阀。开 5 关 5；开 4 关 4；开 5 关 5；开 4 关 4。反复进行，
同时观测油柱高度，在 $(V_1 + V_2)$ 体积内充入压强为计算值 p'_{He} 的 He 气。
7. 关 10 开 3，将 V_1 中的 He 气慢慢抽调，反复充 Ne 气前，7 应关闭，开 6
将 6、7 之间的空气抽调，开真空计，待系统真空度小于 10^{-5} Torr 时，关电离真
空计，关 6。开激光电源。
8. 充 Ne，关 3 阀，在 V_1 体积中充入 Ne 气。开 7 关 7；开 6 关 6；开 7 关 7；
开 6 关 6。反复进行，同时观测油柱高度，在 V_1 体积内充入压强为计算值 c 的
Ne 气。
9. 开 10 阀使 V_1 中的 Ne 气与 V_2 里的 He 气充分混合，待 10 分钟后，调节激
光管的放电电流，观察激光功率的变化规律。
10. 利用减压阀 9 减少 p (每次约减 0.5 Torr 至 1.5 Torr)，列表记下实际的 p 、
 P_w 、 I 。
11. 待老师检查数据后，做关机的准备，按一定的程序关机：
A) 先关活塞 13 和活塞 10，然后关闭活塞 3，导通活塞 8。
B) 切断扩散泵加热电源，待油冷却后，关闭活塞 2 和冷却水。
C) 切断机械泵电源，打开活塞 1，使大气进入机械泵内。

【测量数据与数据处理】

在本实验中, $N = 1.15$, $K = 12.26 \pm 0.06$, $n = 7$ 。实验中由于实验仪器的限制, 只能将系统的真空度减小至 $p_x = 1.8 \times 10^{-2} \text{ Pa} = 1.35 \times 10^{-4} \text{ Torr}$ 左右。预定 He 气和 Ne 气刚混合时的总压强 $p = 4.0 \text{ Torr}$, 由式(6)解得应充入 He 气压强 $p'_{\text{He}} = 80.2$ 毫米硅油柱高, 应充入 Ne 气压强 $p'_{\text{Ne}} = 13.2$ 毫米硅油柱高。在实验过程按这两个计算值进行充气。

实验时激光管的放电电流大小由于仪器原因不能随意调节, 只能将其固定为 $I = 7.5 \text{ mA}$ 。逐次减少总压强 p , 测量激光功率 P_W 的数值, 得到下表。

表 1 总压强 p 减小时激光功率 P_W 的变化

$p / \text{毫米硅油柱高}$	51	41	33	23	11
p / Torr	4.2	3.3	2.7	1.9	0.9
P_W / mW	7.1	8.4	9.5	10.5	3.8

上表中第二行是将第一行的总压强 p 的单位由毫米硅油柱高换算为 Torr。用上表数据绘得 $P_W \sim p$ 变化曲线如下图。

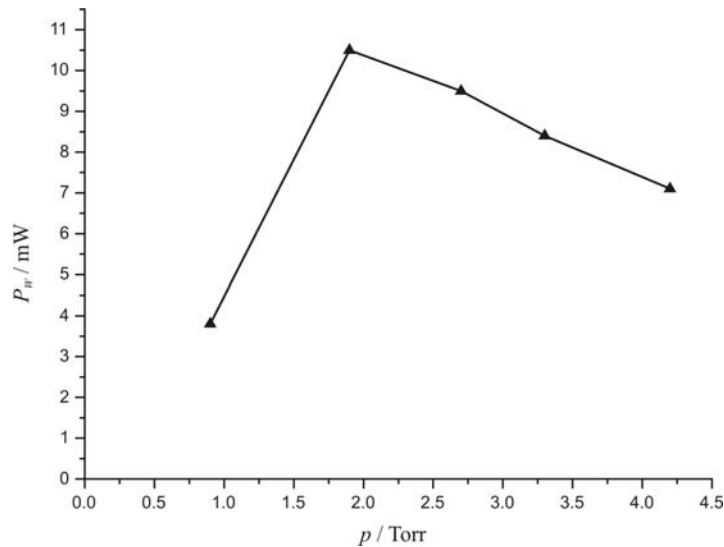


图 2 $P_W \sim p$ 变化曲线

在本实验中, 虽然测得的数据点较少, 但仍可以看出激光功率 P_W 随总压强 p 变化的曲线有一个峰值。在放电电流值 $I = 7.5 \text{ mA}$ 时, 6328 埃波长的最佳 p 值为 $p = 1.9 \text{ Torr}$ 。

【讨论分析】

在本实验中，有以下几个方面容易引起测量误差。

1. 在充气时要求充入压强分别为计算值 p'_{He} 和 p'_{Ne} 的 He 气和 Ne 气体，但用阀门进行充气 and 排气的操作很难手动控制，加上 U 型计的读数误差，不能够非常精确地按照压强的计算值充入气体。计算时假定充气后的总压强为 4.0 Torr，但实际混合后总压强为 4.2 Torr，可见确实有所偏差，因此也不能保证激光管中 He 气和 Ne 气气压比 $n = 7$ 的精确度，进而影响整个实验的测量数据。
2. 在实验中由于仪器本身的能力限制，不能将系统真空度按原先实验要求减小到 10^{-5} Torr 以下，因而在一定程度上影响实验的精确性。
3. 实验中所用的激光电源比较陈旧，已经不能稳定地调节激光管的放电电流，因此只能固定放电电流 $I = 7.5$ mA 进行控制变量的实验，但实际过程中激光电源输出的激光管的放电电流并不非常稳定，而是在 7.5 mA 附近浮动，从而造成误差。
4. 在利用阀门进行减少总压强 p 的操作时，很难手动控制减少量，而且经常在一次操作后压强的减少量太大，致使最终只测得 5 个数据点。由于数据点的数量较少，以最大的 P_w 值作为 $P_w \sim p$ 曲线峰值的做法不甚精确。