

室温电激励CO激光器

黄元网 孟刚

(中国科学院武汉物理所)

提 要

本文报导我们研制的室温内腔封闭式电激励CO激光器,在5~6微米波段内输出相干辐射,连续多线输出功率2~3瓦(放电管长约120厘米)。实验研究了影响激光输出功率的一些因素。简单讨论了有关激光器运转机理的某些问题。

一、实验安排

用95料硬质玻璃制成两种实验型激光管,如图1。图1(a)是由水冷套和放电管组成的双层同心结构,称A型光管;图1(b)是三层同心结构,称B型光管。放电阴极及阳极为镍空心圆筒。镀金球面镜和平面多层介质膜输出镜组成平凹式光学腔,镜片用真空黑蜡粘贴于光管两端。激光管参数列于表1。

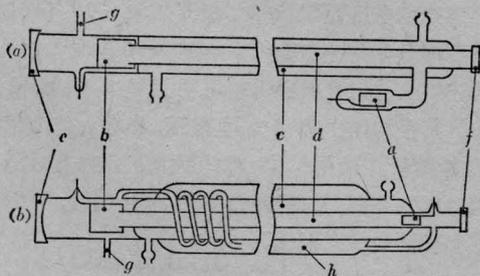


图1 实验型CO激光管

a—阴极; b—阳极; c—水冷套; d—放电管; e—全反镜; f—输出镜; g—充气管; h—贮气套

光管充填气体氦、氮、氙为国产商业气体(光谱纯),氙是荷兰进口气体(分析纯)。一氧化碳由实验室自行制备:将甲酸和磷酸混合加热至100°C左右,产生的CO气通过氢

氧化钾和浓硫酸后供光管充填。经色谱分析,CO气体中杂气氧的含量小于千分之一。因限于条件,没有精确测量全部杂气含量。

表1 激光管参数

光管型号	A	B
放电管直径(厘米)	1.4	1.0
放电长度(厘米)	108	120
腔长(厘米)	142	145
全反镜曲率半径(厘米)	500	300
输出镜透过率 (在5~6微米波段)	5%	5%

激光功率用上海产的JG-3型功率计测量。用带NaCl棱镜的单色仪配合铈化钡探测器测试激光谱线波长的大致分布范围。

二、实验结果

1. 充填气体成分的影响

测量结果列于表2。

由表2可见,对于室温封闭式CO激光器而言,CO、Xe和He是不可缺少的填充气体,N₂和Ar气是无益的。

收稿日期:1978年8月18日。

表2 气体成分对CO激光功率的影响(B型光管)

气体成分及分压 (托)	冷却水 温(K)	输出功 率(瓦)	效率 (%)	所处波段 (微米)
CO:He (1.15:11.6)	307	0	0	
CO:Xe (1.3:3)	305	0	0	
CO:He:N ₂ (1.15:11.6:1.6)	307	0	0	
CO:N ₂ :Ar 1.23:1.23:5.6	305	0	0	
CO:Xe:N ₂ :Ar (1.3:3.3:1.15:4.8)	305	0	0	
CO:Xe:He (1.08:3:12)	305	2.52	2.5	5~6
CO:Xe:He:N ₂ (1.08:3:12:2.1)	305	2.57	1.5	5~6
CO:Xe:He:空气 (1.08:3.4:14:0.15)	305	0	0	

效率指输出激光功率与光管输入电功率(管压降与放电电流之乘积)之比。

2. 气体分压的影响

实际测量各种气体分压对CO激光输出功率的影响如图2、3、4所示。由图可见,对一特定激光管,选择适当气体分压可使激光功率达到极大。

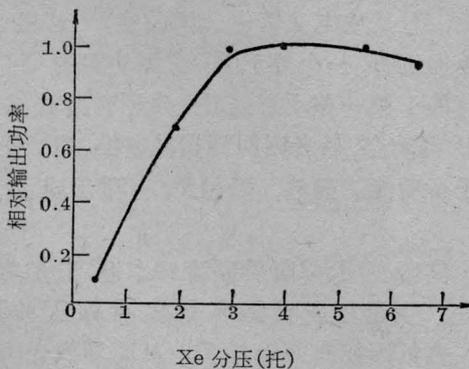


图2 Xe分压对激光功率的影响

A型光管,冷却水温295K,CO:He=1:11.2(托),
放电电流15毫安

3. 放电电流的影响

放电电流对激光功率的影响如图5所

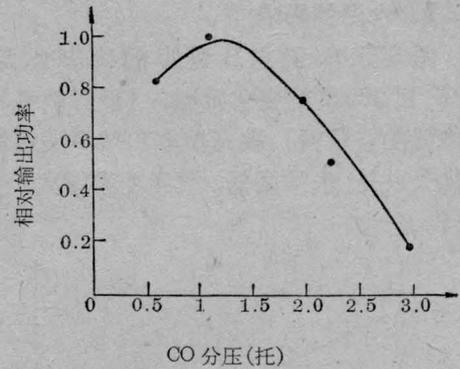


图3 CO分压对激光功率的影响

A型光管,冷却水温295K, Xe:He=2.8:10(托),
放电电流15毫安

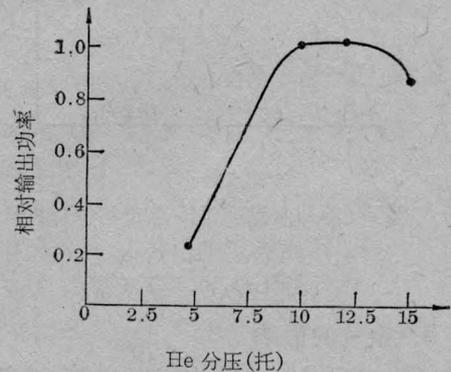


图4 He分压对激光功率的影响

A型光管,CO:Xe=1:2.1(托),放电
电流15毫安,冷却水温295K

示,选择适当的放电电流可使激光功率达到极大。

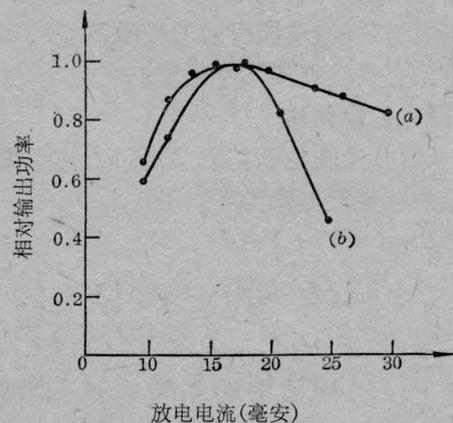


图5 放电电流对激光功率的影响

(a) B型管,冷却水温305K,CO:Xe:He=1.1:3:12(托);
(b) A型管,冷却水温293K,CO:Xe:He=1:3:11(托)

4. 水温的影响

图6示出了当B型管的冷却水温在269K到296K的变化范围内(低温端系用冰水加氯化铵获得),激光功率和效率随水温的变化关系是:水温度低,激光功率增大,效率提高。

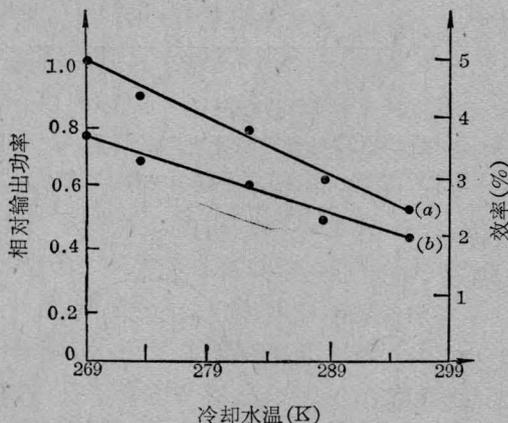


图6 冷却水温度对激光功率(a)和效率(b)的影响

CO: Xe: He=1.15:3:12.4(托)

5. 杂气的影响

由表2可见,光管内充入0.15托空气,激光器就无功率输出。

三、CO激光器机理

电激励CO激光器,利用CO分子在电子基态的振动-转动能级间的受激跃迁。现简单讨论有关机理的几个问题。

1. 能级结构

CO分子在电子基态 $X^+\Sigma$ 时,其振-转能级的项值近似式为^[1a]:

$$T = G(V) + F_V(J) \\ \approx \left[\omega_e \left(V + \frac{1}{2} \right) - \omega_e x_e \left(V + \frac{1}{2} \right)^2 \right] \\ + [B_V J(J+1) - D_V J^2(J+1)^2] \quad (1)$$

式中 V, J 分别是振动和转动量子数, $\omega_e, \omega_e x_e, B_V, D_V$ 为CO分子的有关系数。

由(1)式所得能级图好似一列阶梯。

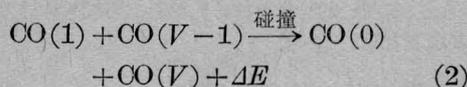
2. 电能向振动能的转移

电激励CO激光管中存在辉光放电,电子与分子的共振非弹性散射使CO分子获得电子的部分动能而激发到低振动态上。一些作者^[2~4]从理论和实验上研究了这类问题,发现当电子平均能量在1~2电子伏之间时,电子动能主要向CO的振动能转移,在此范围内,若 E/N (E 为放电管中电场, N 为管中总的中性粒子数密度)的值减低,振动激发效率增高。

在我们实验中所用的几种充填气体中, Xe的离化能最低且具有大的离化横截面,故Xe的存在减少了放电过程中的高能电子数,减低了电子的平均能量,从而也降低了 E/N 的值,这就是Xe气对于室温CO激光器的成功运转所不可缺少的原因。

3. 非谐泵浦和粒子数反转

CO分子由低振动态到高振动态的激发是通过非谐泵浦机制实现的,即



ΔE 是非谐偏差。令 $J=0$,由(1)式得

$$\Delta E (\text{厘米}^{-1}) = [G(1) - G(0)] - [G(V) \\ - G(V-1)] = 2\omega_e x_e (V-1) \quad (3)$$

有关理论表明,当 $\Delta E > kT_g$ 时(k 是玻尔兹曼常数, T_g 是放电光管内气体温度),过程(2)可单向进行,一个处于 $V-1$ 振动态的CO分子与处于第一振动态的CO分子碰撞后激发到 V 振动态,后者则回到振动基态, ΔE 变成分子运动能。显然,低的 T_g 有利于非谐泵浦。

实验表明,降低管壁冷却水温,激光功率增大。实验还表明要填充较高分压的He气。这都因能有效降低 T_g ,从而导致介质的激光增益提高的缘故。He气有较高的热导系数,能有效地将管内分子动能传至管壁。

按刚性转子近似,CO分子在一振动态中按转动态的热分布为^[1b]

$$N_J \propto (2J+1) e^{-BJ(J+1)hc/kT} \quad (4)$$

N_J 是在温度 T 时转动能级 J 上的分子数。 B 是刚性转子常数。由(4)式可求得当

$$J = J_m = \sqrt{kT/2Bhc} - 1/2$$

时, N_J 为极大。图 7 是对应 $T = T_g = 300\text{K}$

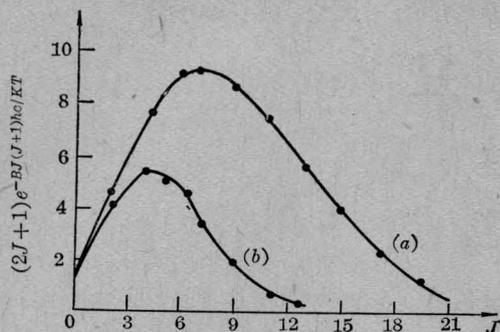


图 7 CO 分子在 $V=8$ 振动态中按转动能级的热分布

曲线(a): $T=300\text{K}$; 曲线(b): $T=100\text{K}$

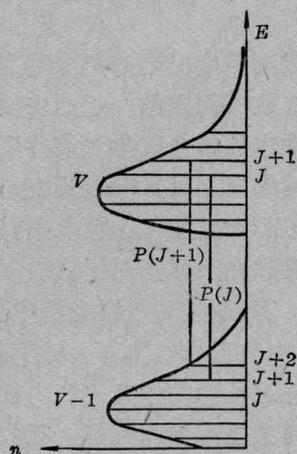


图 8 说明某些振-转能级间实现 CO 分子反转分布的示意图

及 100K 的两条分布曲线 (设 $V=8$, 则 $B \approx B_V = 1.7868^{[1c]}$)。

由于 B_V 与 B_{V-1} 相差极微, 故相邻两振动能态中分子按转动态的分布基本相同。图 8 表明, 即使振动能级 V 和 $V-1$ 间未实现分子数完全反转 (随着 V 的增大, CO 分子的自发辐射速率和分子间振动-平动碰撞弛豫速率均增大, 故通过非谱泵浦不易实现高振动态间分子数反转)。而 $P(J)$ 、 $P(J+1)$ 等 P 支线 ($J > J_m$) 所对应的能级间却已实现了分子数反转, 因此, 这些跃迁线具有激光增益。

四、结束语

该文报导的实验型光管, 其放电管准直度及光腔校准精度尚欠佳, 输出镜亦未最佳化。作者相信, 随着这些方面的改进, 激光效率会有进一步提高。光管寿命问题也尚待研究。

参考文献

- [1] Herzberg, G.; Spectra of Diatomic Molecules, New York, Van Nostrand.
(a) Chapter III, p. 107.
(b) Chapter III, p. 124.
(c) Appendix p. 521.
- [2] M. L. Bhaumik; AD-729257.
- [3] G. J. Schulz; Phys. Rev., 1964, A135, 988.
- [4] W. L. Nighan; Appl. Phys. Lett., 1972, 20, 96.

山东省召开船舶工业激光应用经验交流会

山东激光学会和青岛造船学会于今年 4 月 10 日至 14 日在青岛联合召开山东省船舶工业激光应用经验交流会。会议交流了无余量分段造船、划线、主机轴系、舵系、机座平面度和同心度的测量以及船体变形、船架、水尺测量等, 还有切割、港口码头起重机电轨测量、吊车装配定位测量, 车间内行车导板测量等也在会上作了介绍。会上关于空间两点测距、二

次曝光技术应用的讨论引起了代表们的浓厚兴趣。

会议认为, 在船舶工业中采用激光技术, 不仅可以提高工效, 减轻劳动强度, 节省人力物力, 而且可以提高修造船的质量和速度, 解决一些长期以来难以解决的问题, 很值得推广。

(山东激光学会 刘合勤)