

HCN(氰化氢)亚毫米波激光器的研制*

林貽堃 丘秉生 郑兴世

(无线电电子学系)

摘 要

我们研制的小型HCN(氰化氢)激光器,可作为实验室用亚毫米波讯号源,能长时间稳定工作,需要工作气体少。实验中已观察到波长为 $337\mu\text{m}$ 及 $311\mu\text{m}$ 的激光谱线,最佳输出功率可达 4.5mW 。

HCN气体激光器是最早出现的一种亚毫米波激光器,它基于HCN分子振转能级之间的量子跃迁而产生受激发射^[1]。对应于 $J=10(11^1_0)$ 与 $J=9(04^0_0)$ 的能级跃迁,波长为 $337\mu\text{m}$ 的谱线,输出功率较强;对应于 $J=11(11^1_0)$ 与 $J=10(04^0_0)$ 的是 $311\mu\text{m}$,强度较弱。由于HCN激光器能连续稳定地工作,有较强的输出功率。且其波长靠近 $350\mu\text{m}$ 的大气传输“窗口”,因而多被采用于光的频率测量^[2]、等离子体诊断^[3]、亚毫米波通讯及其他基础研究^[4]等方面。

HCN激光器的输出功率,不仅和它的结构参数如放电管内径、长度、光腔Q值等有关,而且还有赖于混合气体的成份比例、压强、流速、工作电流、管壁温度等因素。从已报导的资料看,单位体积的输出功率差别很大。典型的如P. Belland报导的^[5]放电管内径为 5cm ,光腔间距 242cm ,混合气体比例为 $\text{N}_2:\text{CH}_4:\text{He}=3:8:36$,流速为 $100\text{毫升}\cdot\text{大气压}/\text{分}$,输出功率为 100mW 。而R. Volk报导的^[6]放电管内径为 10cm ,光腔间距为 390cm ,混合气体比例 $\text{N}_2:\text{CH}_4:\text{He}=1:1:1$,流速为 $10\text{毫升}\cdot\text{大气压}/\text{分}$,输出功率仅 50mW 。单位体积的输出功率,前者比后者大了十几倍。究其主要原因,除工艺结构等差别外,是因为在一定的范围内,输出功率随气体的流速的增加而几乎线性地增加;其次,在混合气体中适当增加氮气的比例,也有利于输出功率的提高。混合气体的流速大,氮的比例高,消耗比较贵重的氮气多,排放的有害气体也多些。在基础研究工作中,往往不需要太大的功率,根据这些考虑,我们制作了一台体积较小,流速低,消耗氮气较少(甚至不用氮气)的HCN激光器,最大输出功率为 4.5mW 。

一、HCN 激光器 结 构

我们制作的HCN激光器,如图一所示。放电管是一内径为 4.8cm 的硬质玻璃管,

*李国如、丁中、黄小军协助部分工作。

腔体由相距为1.35m,直径为8cm的两块镀金反射镜组成,一块为平镜,另一块是曲率半径为3m的凹镜,中央有一 $\Phi 4\text{mm}$ 的输出耦合孔。腔体长度由石英玻璃支撑架保证,避免了由于放电管壁的温升而引起腔体长度的改变,有利输出功率和工作波长的稳定。在平面镜的一端装有滑动调节机构,通过旋转传动齿轮使平镜相对于石英支撑架作平动,使腔体调谐,也可用同步马达带动传动齿轮,实现腔体长度扫描。平镜后面连接有波纹管,以保证反射镜的调节而又气密。放电区域装有油冷套,用循环的变压器油冷却放电管,当工作条件改变时,用可控硅调整油泵速率,维持管壁温度基本恒定。阴极用钼片做成,以减少溅射;阳极为不锈钢片圆筒,它们分别装有水冷套,用流动水冷却电极。

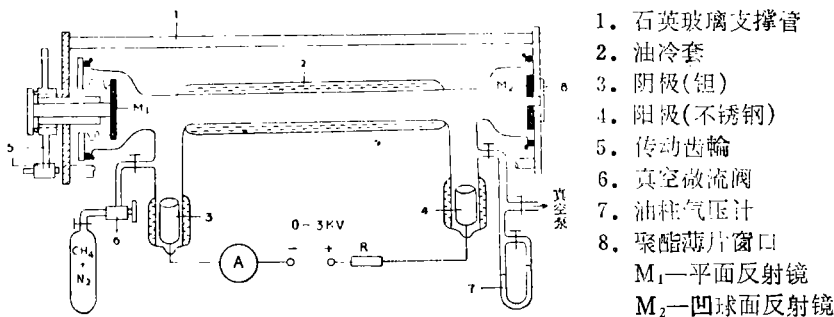


图1 HCN激光器主体结构

HCN激光器一般采用 N_2 、 CH_4 、 He 的混合气体为工作物质。在辉光放电的条件下,混合气体经过分解及再结合,生成反转态的HCN分子,同时也有一些棕黑色的有机聚合物沉积在管壁,造成污染,并影响激光器的输出。这些沉积物随着管壁温度的增加而减少,因此较高的管壁温度,有利于增加和稳定输出功率。并且需要采用流动气体才能维持连续工作。我们的试验表明,采用封闭式工作,充一次气只能维持激光器连续工作20分钟左右,且输出功率很不稳定。采用流动混合气体供给,则可以维持长时间的稳定工作。工作时,由机械泵排出的有害气体,通过管道进入氢氧化钠水溶液经中和反应后再排放出去。

二、实验结果

我们制作的这台HCN激光器,用流动气体供给,使用速率为1升/秒的机械泵排气时,气体流量约20毫升·大气压/分,激光器可以连续地工作四小时以上,并且当使用同步马达带动传动齿轮,作改变腔体长度的扫描时,探测器输出端连接记录仪记录,可以观察到对应于 $337\mu\text{m}$ 及 $311\mu\text{m}$ 的激光谱线。

实验中我们用红外区定标的激光功率计(LW—1型)测量绝对功率;用上海技术物理所及四机部1411所提供的热释电探测器作相对功率测量。斩波器频率为12.5赫芝。波长测量用自制的亚毫米波法布里—珀罗干涉仪,测量精确度约0.1%。

我们曾使用多种混合气体进行试验,比如:

(1) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ (丙铵): N_2 : He = 1 : 1 : 1.5

(2) $(C_2H_6)_2O$ (乙醚) : N_2 : He = 2 : 1 : 1

(3) CH_4 : N_2 : He = 2 : 1 : 1

(4) CH_4 : N_2 = 2 : 1

利用这些混合气体作为工作物质, 均有波长为 $337\mu m$ 的激光谱线, 并且均有毫瓦级的输出, 但功率大小有差异。

我们就混合气体压强及工作电流对HCN激光器输出功率的影响进行了测量。实验结果, 输出功率依赖于气体压强的关系曲线示于图2, 输出功率与工作电流的关系曲线(气体压强为参变量)示于图3。

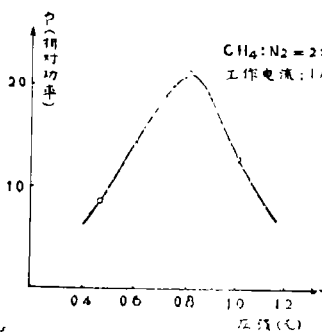


图2 输出功率与气体压强曲线

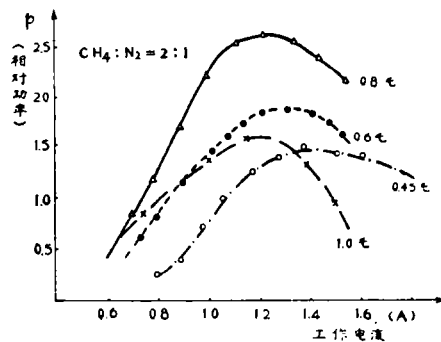


图3 输出功率与工作电流关系曲线

实验表明, HCN激光器的输出功率强烈地依赖于气体压强, 对于一定比例的混合气体, 有一个使输出功率达到最大值的最佳压强。比如, 混合气体为 $CH_4 : N_2 = 2 : 1$ 时, 最佳压强为 $0.7 \sim 0.8$ 托, 如果混合气体中添加了缓冲气体氦气, 则最佳压强相应增加, 如 $CH_4 : N_2 : He = 2 : 1 : 1$ 时, 最佳压强为 $1.2 \sim 1.4$ 托, 同时输出功率也跟着提高。从图3的曲线簇可以看出: 当气体压强不同时, 最大输出功率所对应的工作电流也不同。一般地说, 压强较低时, 最佳工作电流要大一些; 压强较高时, 最佳工作电流要小一些。比如在我们的实验情况下, 压强为 0.5 托时最佳工作电流为 $1.4A$, 压强为 0.8 托时, 最佳工作电流降为 $1.1 \sim 1.2A$ 。

绝对功率测量表明, 我们研制的这台HCN激光器, 通常有 $2 \sim 3.5mw$ 的输出, 最佳可达 $4.5mw$ 。

我们研制的器件还不够完善, 直流电源供给也没有稳流装置, 有待进一步改进提高。

参 考 文 献

- [1] D. R. Lide et al., *Appl. Phys. Lett.*, 11(1967), 62.
- [2] T.G. BLaney et al., *Proc. Roy. Soc. London*, A355(1977), 61
- [3] Jean Pierre Crenn, *IEEE MTT--27*, (1979), 573.
- [4] MiKio Tscisi et al., *IEEE MTT--29*, (1979), 873.
- [5] P.Belland et al., *J. Phys.*, D8(1975), 2113.
- [6] R. Volk, *Phys. Lett.*, 42A(1972), 321

Investigation of CW HCN Submillimeter Wave Laser

Lin Yikun Qiu Bingsheng Zheng Xingshi

Abstract

A CW HCN laser has been built as a light source for far-infrared measurement. The laser is constructed of glass tube with an inner diameter of 4.8cm, with gold-coated mirrors as the cavity. The active length of laser is about 1.15m. The output coupling is a hole of 4mm diameter on the concave mirror. The length of cavity is stabilized by three quartz spacers. The laser operates with the mixture of methane, nitrogen and helium. The laser lines of wavelength $337\mu\text{m}$ and $311\mu\text{m}$ are observed. Gas mixture of various volume ratios are tested for optimum output and the output about 4.5mw has been obtained.