

· 研究简报 ·

超短光泵 NH_3 远红外激光器*

邹钜佳 林贻堃

(无线电电子学系)

摘 要

在对光泵远红外激光器样品管最佳长度研究成果的基础上发现, 如果泵浦频偏和泵浦功率密度总是保持不变, 激光器的工作气体压强越高则激光器的样品管长度就越短。我们安装了长度只有1cm的光泵 NH_3 远红外激光器并成功地出光。

关键词 光泵远红外激光器, 超小型气体激光器

远红外激光的应用已为宇航通信所重视^[1]。其关键问题之一是相干信号源的小型化。我们在研究光泵亚毫米波激光器的最佳样品管长度的过程中发现, 在泵浦频率、泵浦功率密度一定的条件下, 激光器的工作气体压强越大则样品管的最佳长度越短。如果大幅度增加工作气体压强, 则有可能使激光器的管长大大缩小而形成超短型光泵亚毫米波激光器。

1 超短管长远红外激光器原理

光泵远红外(OPFIR)激光器起始光源是远红外背景辐射噪声。根据黑体辐射理论, 波长为 $500\mu\text{m}$ 的远红外背景噪声是 $\sim 10^{-15}\text{W}/\text{cm}^2$ ^[2], 如果要求OPFIR激光器输出功率为 $\sim 10\text{W}/\text{cm}^2$, 则背景噪声必须被放大 $(e^{\overline{G} \cdot Z})10^{16}$ 倍。一般传统的放大自发辐射(ASE)或超辐射式OPFIR激光器, 工作气压只有几托, 平均增益较低, $\overline{G} \sim 0.37\text{cm}^{-1}$ ^[2]。要达到上述要求的远红外输出, 则OPFIR激光器管长要在1m以上。根据密度矩阵理论^[3], 所求得的远红外激光信号在激光管内的变化过程表明^[4,5], 远红外激光信号随管长增加而加强的速率随工作气体压强不同而异。工作气体压强越大, 信号增加越快。由此推知, 如果把工作气体压强加至很高(数十至数百托), 则可望在较短管长情况下获得较高的信号增益。若 $\overline{G} \sim 37\text{cm}^{-1}$, 则只需 $Z = 1\text{cm}$ 管长即可产生上述远红外激光输出。

另外, 由于工作气体压强加大, 谱线的线宽因压力增宽而变大。如果压力足够大,

本文1988年4月18日收到

* 国家自然科学基金资助课题

以至相邻两谱线互相重叠,则有可能设计出频率可连续调谐的OPFIR激光器。事实上,这种方法已用于连续可调谐的多大气压TEA—CO₂激光器上^[6]。

2 实验装置

实验装置如图1所示。中红外泵浦源是一台脉冲式反射光栅调谐的TEA—CO₂激光器。远红外激光器采用超辐射无腔式结构。中红外激光器经两个平面镜M₁和M₂反射,再经曲率半径分别为3.2m和2.0m的凹面镜M₃, M₄后,聚焦于远红外激光管内距输入端约5 cm处。由于中红外激光要经过大角度(90°)反射,不宜在M₁和M₂处直接用凹面镜。为了减小球面象差,特采用了上述的光路结构。远红外激光器是一根长约1.8m,内径为3.4cm的硬质玻璃波导。波导的输入端窗口是NaCl晶体,它对中红外光是透明的。波导的另一端用2 mm厚的铝板密封。远红外管内装有热释电探测器,利用管外磁铁的移动使管内探测器作相应移动,可连续测量不同管长Z情况下远红外的输出能量。为了尽可能收集全部的远红外激光信号,在探测器前面加上了长5 cm,端口径为φ32mm的光锥。光锥端口装有3 mm厚的聚四氟乙烯片,它能干净地滤除中红外光泵信号,同时又具有良好的远红外透过性。热释电探测器输出信号的幅度正比于它接收到的能量。通过记忆示波器监视该幅值即可得远红外能量的相对值。为了避免TEA—CO₂激光器放电火花对测量系统的干扰,TEA—CO₂激光器被安装在屏蔽室内,如图1中虚线所示。

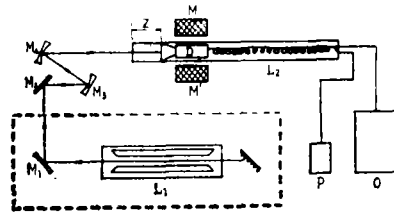


图1 实验装置. L₁—TEA—CO₂激光器; L₂—ASE式FIR激光器; M₁, M₂—平面镜; M₃, M₄—凹面镜; M, M'—磁铁; D—热释电探测器; P—探测器电源; O—记忆示波器

Fig.1 Experimental setup

实验中利用TEA—CO₂激光器的9R(16)线泵浦氨气(NH₃)产生波长为90.4μm的远红外激光(超辐射式)。相应的NH₃部分能级及参数如图2所示。实验表明,在9R(16)泵浦能量~1.3J时,如果增加氨气的工作压强至几十托或更大,则可能使管长极短(1 cm)的激光管产生远红外激光。详细结果如图3所示。

实验中利用TEA—CO₂激光器的9R(16)线泵浦氨气(NH₃)产生波长为90.4μm的远红外激光(超辐射式)。相应的NH₃部分能级及参数如图2所示。实验表明,在9R(16)泵浦能量~1.3J时,如果增加氨气的工作压强至几十托或更大,则可能使管长极短(1 cm)的激光管产生远红外激光。详细结果如图3所示。

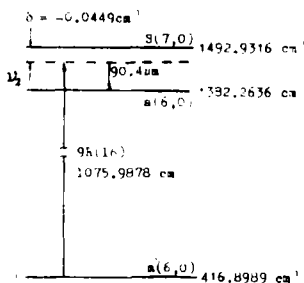


图2 NH₃分子部分能级图 Fig.2 Part of the energy levels of NH₃ molecules

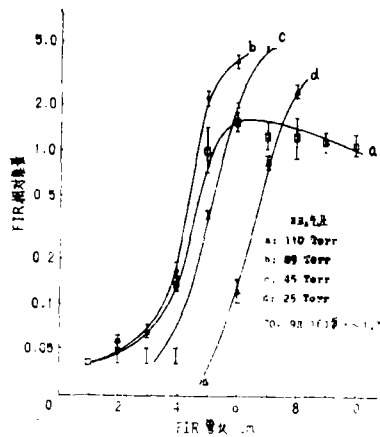


图3 超短光泵NH₃远红外激光器实验结果 Fig.3 The experimental results of miniature optically pumped NH₃ FIR laser

3 理论计算

我们以CO₂的9R(16)泵浦NH₃分子产生90.4μm的亚毫米激光为对象,设其谐振腔长度为1cm,工作气体压强为70托,泵浦功率为10⁷W/cm²为例进行理论计算^[4],结果如图4.这结果是在假设了腔没有损耗和腔对外耦合很小的情况下得出的,与实际情况不一定相符,但表明腔式光泵亚毫米波激光器制成1cm大小的超小型结构是可能的,并为实验获得的样品管只有1cm长的激光器所证实.

4 结果讨论

在实验中,还用其它CO₂激光谱线泵浦氨气,同样发现可使较短管长的OPFIR激光器出光.

就传统使用的OPFIR激光器与这里使用的激光器相比较,后者的管长只有前者的百分之几,而工作气压约是前者的10倍.这与密度矩阵理论所预言的结果是相符的.必须指出,我们在这里所用的是最简单的无腔超辐射式结构,因而激光器的效率很低,远红外激光输出只有几十微焦耳(μJ).如果使用腔式结构,可望使短管长的激光器产生较强的远红外输出.

由于激光器的工作气压很高,用这种超辐射方式产生的远红外激光的谱线线宽是很大的.如果氨气分子激光谱线的压力增宽~50MHz/Torr^[3,7,8],当工作气压是100 Torr时,则线宽可达5 GHz.通过适当的处理,如果令系统有一定的反馈,则这种超短管长远红外激光器的频率调谐范围将达5 GHz或更大.图4结果表明工作气压为70 Torr时可得~3 GHz的可调谐宽度.

值得注意的是,如果采用更大功率的TEA—CO₂激光器作泵浦源(我们实验所用的TEA—CO₂激光器的输出能量较低,只有1~3 J),则NH₃远红外激光器的气压可望进一步提高,使更短管长的激光器产生更高输出功率,更宽调谐范围的远红外激光.

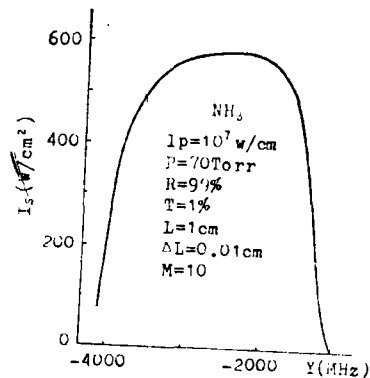


图4 超小型腔式光泵亚毫米波激光器
Fig.4 Miniature cavity OPSMM laser

参 考 文 献

- [1] M. A. Frerking, 12th. Int. IR-MM Waves Conf. Digest, 1987, 111
- [2] T. A. De Temple, Pulse Optically Pumped Far Infrared Lasers, K. J. Button, Ed., Infrared and Millimeter Waves, Vol.1, Academic Press, Inc, New York, 1979, 152
- [3] R. H. Pantell, H. E. Puthoff, Fundamentals of Quantum Electronics, Chap. 1 & 2, John Willey & Sons, Inc, New York, 1969

- [4] Lin Yikun, Qiu Bingsheng, *The Energy Exchange and the Optimum Length of the Sample Tube of OPFIRL*, Int. J. IR & MM Waves, 8 (1987), 673
- [5] Li Yao, Lin Yikun, *Study of the Saturation Effect and Output Power of Optically Pumped FIR Laser*, Int. J. IR & MM Waves, 6(1985), 1075
- [6] R. S. Taylor et al., *Electrical and Gain Characteristic of a Multiatmospheric UV-preionized CO₂ Laser*, IEEE J. Quantum Electron., Vol QE-15 (1979), 131
- [7] C. H. Townes, A. L. Schawlow, *Microwave Spectroscopy*, Chap. 12, McGraw Hill, New York, 1955
- [8] T. Shimizu et al., *Studies of Molecular Relaxation by Infrared and Microwave Coherent Transients*, Appl. Phys., 21 (1980) 29-34

Miniature Optically Pumped NH₃ FIR Laser

Zou Jujia* Lin Yikun

Abstract

A miniature optically pumped NH₃ FIR laser was studied experimentally. On the basis of theoretical study of the optimum length of sample tube of optically pumped FIR lasers, we found that, if the pumping detuning and the output power density of TE CO₂ laser always keep unchanged, the higher the operating pressure of the laser system is, the shorter the optimum length of the sample tube will be. The optically pumped NH₃ FIR laser with the length of sample tube as short as 1cm was built up and lase successfully. This is the shortest optically pumped FIR laser in the world.

Keywords optically pumped FIR laser, miniature gas laser

*Department of Radio Electronics