

文章编号 : 0258-7025(2001)02-0122-03

新型微波激励汞原子激光器的实验研究

林亚风 钟 钦 曾 淳 陈 哲

(国防科技大学应用物理系 长沙 410073)

提要 介绍一种新型微波激励的光抽运汞原子激光器。该激光器采用全介质内腔同轴型结构,放入微波波导内,采用微波激励产生激光。微波波导内注入的微波功率为 80 W,抽运灯吸收功率为 30 W 左右。激光器腔镜为绿光全反射镜,反射率约为 99.9%,曲率半径为 2 m。激光波长 546.1 nm,激光器最大输出功率达 0.1 mW,输出光斑为多模结构,尺寸约 3 mm 左右。实验结果表明,采用微波激励时,这种激光器结构简单紧凑,可产生具有良好相干性的激光束。

关键词 汞原子激光器,微波激励,微波波导

中图分类号 : TN 248.2+1 文献标识码 : A

Experimental Research of the Microwave Discharge Pumped CW Atomic Mercury Laser

LIN Ya-feng ZHONG Qin ZENG Chun CHEN Zhe

(Department of Applied Physics, NUDT, Changsha 410073)

Abstract In this paper, a kind of microwave-discharge pumped cw atomic mercury laser is introduced and demonstrated. In this experiment the laser is put in a microwave-guide, laser light is produced by means of microwave discharge. Whole dielectric medium, inner-cavity style, and co-axial structure are employed. 80 W microwave power is input in the microwave-guide, 30 W power is absorbed by the mercury medium. Laser cavity consists of 2 m spherical radius mirrors with reflectance of 99.9%. Laser wavelength is 546.1 nm and its maximal power output is 0.1 mW. Light spot size is 3 mm with several transverse modes.

Key words atomic mercury laser, microwave-discharge, microwave guide

1 引 言

自美国海军科学研究所 1974 年发明绿光汞原子激光器之后,美国和英国都进行了多年的研究。在美、英技术资料^[1~3]中,激光管的内径约为 3 mm 左右;激光器光能抽运几何结构采用椭圆(单椭或双椭)紧包和同轴三种;激光器要水冷,温控在 40~50℃;聚光反射器表面采用金属铝材料;采用外腔式结构;激光抽运灯采用直流激励方法,抽运灯接回气管,它的输入功率为数十瓦至数百瓦。图 1 为国外汞原子激光器光能耦合结构图。

可见,国外研究的汞原子激光器结构很复杂,其应用前景很不明确。我们采用一种新型的同轴全内腔结构,利用低功率微波放电方法激励激光器,成功

观察到连续稳定的绿色激光。研究表明,此结构和激励方法是成功的、可行的,同时证明了汞原子激光器具有结构简单并且激发效率较高的特点,初步显示了它的学术和应用前景。

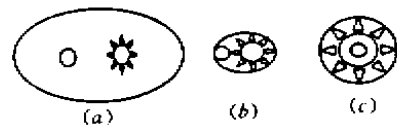


图 1 国外汞原子激光器光能耦合结构图
(a) 椭圆型 (b) 紧包型 (c) 同轴型

Fig.1 Structure of optical pump for atomic mercury laser
(a) elliptical structure; (b) tight-wrapped structure;
(c) co-axial structure

2 工作原理

关于汞原子激光器的工作原理国外较早有报道,可参阅有关参考文献^[1,2]。如图 2 所示为汞原

子能级跃迁图。汞原子激光器采用低压汞灯抽运汞蒸气介质管。在低压汞灯 253.7 nm 和 404.7 nm 双光子作用下,介质管内的汞蒸气原子被激发到 3S_1 激光上能级;激光下能级 3P_2 由于氮气分子的作用不能积累较多的原子,从而形成粒子反转状态。氮气分子的作用除了减少激光下能级粒子数之外,另一作用是将 3P_1 谐振原子转移到 3P_0 亚稳态储存起来。图 3 为低压抽运汞灯的光谱能量分布图。

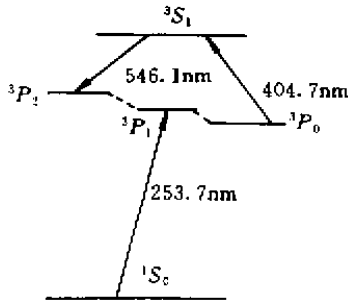


图 2 汞原子能级跃迁图

Fig.2 Atomic mercury energy levels

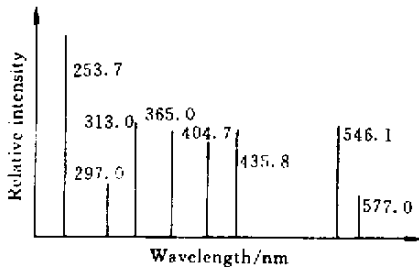


图 3 抽运灯光谱能量分布图

Fig.3 Pumping lamp energy spectrum

3 实 验

按照国外参考资料进行实验,发现技术难度很大。我们研究了一种类似于英国^[4]的装置进行实验,效果不理想。

后重新设计一种无水冷、直流放电、同轴内腔式结构的激光器,放电电流不到 2 A,灯管两端电压为 60 V 左右,灯内缓冲气体氩气压为 6.665×10^2 Pa 左右,实验取得成功,观察到稳定的绿色激光输出,但出光现象维持时间不长,只有几分钟时间,并且没有重复性。实验证明,不要水冷系统可以实现激光振荡,结构大为简化。

通过分析,初步认为出光时间短是因为抽运灯的电极“热溅射”和“清除效应”^[4]造成的。为了避开

汞的“清除效应”和电极污染的问题,改用微波放电方法。实验发现,采用频率为 2540 MHz 的微波加热时,放电很容易实现,并且“清除效应”很弱,灯内的汞含量可降为毫克量级。实验采用 200 W 微波电源,成功地将 40 cm 长的汞原子激光器同轴抽运灯点亮,并且激励出 546.1 nm 激光。图 4 为微波激励汞原子激光器实验装置图。

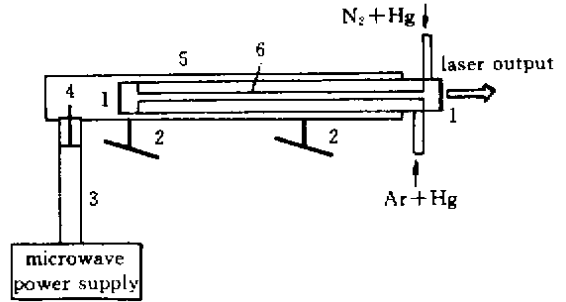


图 4 微波激励汞原子激光器实验装置

- 1 全反镜 2 波导支架 3 50 Ω 同轴电缆;
- 4 微波发射天线 5 微波波导 6 汞原子激光器

Fig.4 Experimental apparatus for microwave discharge

atomic mercury laser

- 1: whole reflectance mirror; 2: wave guide supportance; 3: 50 Ω coaxial cable; 4: microwave launch antenna; 5: microwave guide;
- 6: atomic mercury laser

将封离的同轴型结构激光器(横向外径 $\phi 40$ mm,长 40 cm,激光器内径为 4 mm)放于两个 40 cm 对接为 80 cm 长的微波波导内。从磁控管输出的微波能经 50 Ω 同轴电缆和发射天线引入微波波导,激励汞原子激光器。实验发现,只要较低的微波激发功率即可产生激光振荡,输入波导内的电功率约 80 W,抽运灯吸收的功率约 20 ~ 30 W,和普通日光灯工作时注入的功率相当。实验室环境温度为 25 ~ 30℃。激光器腔镜采用 2 个 2 m 全反球面镜。注入抽运灯内的 Ar 气压为 $133.3 \sim 2.666 \times 10^3$ Pa;注入到激光管内的 N_2 (高纯,99.99% 以上)气压约从 $13.33 \sim 5.332 \times 10^3$ Pa,均可看到激光辐射。输出激光功率最亮时有 0.1 mW,可观察到明显的多模绿色亮点。

4 实验分析

1) 汞原子激光器输出功率不高,不到 1 mW,是由于腔镜没有采用透反镜组合,激光器没有温控系统,环境温度不处在最佳值;另外,汞原子激光器采用普通汞时,原子成分是多同位素(有七种),同位素

的非均匀谱线加宽很强,增益低,若在激光介质管内放入偶质量单同位素汞,其增益会有数倍甚至十倍左右的提高,功率水平可能达到甚至超过普通 He-Ne 激光器。这种激光器效率高,结构简单,尺寸更小。若采用全同位素的汞原子激光器,即抽运汞灯内也用偶质量单同位素汞则尺寸可做得极小。

2) 采用普通汞的激光器长度较大,但同轴型结构非常简单,不宜采用直流或低频放电,采用超过 100 MHz 的电磁场激发,既没有放电电极也没有阴极溅射和电极污染的问题,放电很干净,且寿命较长,采用 2540 MHz 微波频率激发很方便,寿命更长,但放电耦合结构较 100 MHz 左右的射频耦合复杂,激光输出稳定性也较差。

3) 汞原子激光器为光抽运型,没有气体放电的等离子噪声,没有朗缪尔流动,这种激光器可望有非常好的稳定性。

4) 汞原子激光器是通过辅助气体氮气来消除“瓶颈”作用的,这一点不同于 He-Ne 原子激光器。He-Ne 原子激光器不是通过辅助气体 He 气,而是通过“管壁效应”来消除“瓶颈”作用。因此,汞原子激光器的管径不象 He-Ne 激光器管径要做得很小。这一点对于制作普通激光器和环型激光器是有利的,可简化制作工艺。由于激光管径较大,要实现基横模工作方式,腔镜必须采用较大曲率的凹凸腔结构。

5 结 论

汞原子激光器是光抽运型器件,其性能在气体和固体激光器之间,激发方式类似于固体激光器,工作方式类似于气体激光器;采用低压汞灯抽运汞原子气体介质,介质的谱线加宽线型为综合加宽,微波激励时激光器具有长寿命并且结构简单紧凑;激光器的汞灯和激光管内采用偶质量数单同位素汞时,具有较高的增益,有可能制造出类似 He-Ne 激光器的小型化原子激光器。

参 考 文 献

- 1 Max Artusy, Neil Holmes, A. E. Siegman. dc-excited and sealed off operation of the optically pumped 546.1 nm Hg laser. *Appl. Phys. Lett.*, 1976, **28**(3):133134
- 2 N. C. Holmes, A. E. Siegman. The optically pumped mercury vapor laser. *J. Appl. Phys.*, 1978, **49**(6):3155 ~ 3170
- 3 C. Knipe, T. A. King, R. G. Kingdon. Optically pumped mercury laser with UHF excitation. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1986, **19**:2275 ~ 2279
- 4 S. M. Skippon, M. D. Rabbett, T. A. King. Kinetics and operation of the atomic mercury laser. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1983, **16**:2435 ~ 2447
- 5 M. D. Rabbett, S. M. Skippon, T. A. King. DC excited, optically pumped 546.1 nm mercury laser. *Quantum Electronics and Electro-Optics*, ed., P. L. Knight, New York: Wiley, 1982. 287290
- 6 M. D. Rabbett, T. A. King. The role of mercury dimers in the atomic mercury laser. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1985, **18**:781 ~ 787