

连续的 DCN 波导激光器

李文莱 徐友刚

(中国科学院物理研究所)

提要: 本文介绍了连续 DCN 波导激光器。激光管由直径 4.8 厘米、长 2.5 米的石英管组成,其输出波长为 195 微米和 190 微米,最大输出功率为 30 毫瓦左右。同时给出实验研究结果以及输出功率与其他参数之间的关系。

A CW DCN waveguide laser

Li Wenlai, Xu Yougang

(Institute of Physics, Academia Sinica)

Abstract: This paper describes a CW waveguide laser operating at DCN lines at 195 μm and 190 μm and presents the experimental results and the relationship between the output power and other parameters.

The laser cavity consists of a fused quartz tube of 4.8 cm in diameter, 2.5 m long. The maximum output power of the laser is of the order of 30 mW.

关于 HCN 激光早有报导^[1], 国内也已研制出几台, 它的波长 $\lambda = 337$ 微米。DCN 激光器输出有两个波长: 190 微米和 195 微米。对于目前一般的 Tokamak 装置, 其等离子体的电子密度为 $\sim 10^{14}$ 厘米⁻³, 采用 HCN 激光束来测量是比较合适的, 但对于更大的 Tokamak 装置, 其电子密度很高, 就需用波长短一些的激光来测量其等离子体电子密度。

为此我们研制了一台 DCN 激光器, 有关它的跃迁机制早有报导^[2], 但有关激光器本身的报导却不多。

我们研制的这台激光器, 放电管的材料是石英玻璃, 其结构如图 1 所示。放电管长



图1 DCN 激光器原理图

2.5 米, 内径 48 毫米, 外径 52 毫米, 电极之间的距离为 2.2 米。油套长 2 米, 内径 63 毫米, 外径 68 毫米。腔的反射镜和输出镜都是全反射镜, 是在抛光的玻璃上镀铝(金)制成的, 反射镜的曲率半径 $R = 10$ 米, 输出镜是平面镜, 在它的中心有一个小孔, 孔径为 5 毫

收稿日期: 1983 年 5 月 17 日。

米。该激光器的费涅耳数以 N 表示, 对于 $\lambda=195$ 微米, $N=1.18$; 对于 $\lambda=190$ 微米, $N=1.21$ 。基本上可以认为这是一个波导式激光器。

阳极材料是黄铜, 阴极材料是钽片, 做成圆筒形, 筒长 12 厘米, 筒的内径 2.5 厘米, 外径 2.54 厘米。使用钽片是因为其耐高温, 溅射率低。在放电过程中因阴极的温度很高, 所以在阴极外面装有水套进行冷却。当阴极变坏时, 可以把水套单独拆下进行清洗并更换阴极, 而不必重调光路。一般在激光器工作 40~60 小时之后就要更换一次阴极。

油套里充的是 275 号硅油。油套的作用有三: 一是保持放电管的温度恒定, 克服热胀冷缩造成的腔长变化; 二是在激光器工作时, 当管壁温度低于 125°C 情况下, 就会在管的内壁上逐渐形成一层有机物沉淀, 这严重地影响了激光器的输出, 以至于无法工作。而温度高于 125°C 时, 就不会产生这种情况; 三是管壁的温度与激光的输出功率有着密切的关系, 主要原因是管壁温度影响到放电时管内 DCN 的生成, 图 2 表示管壁温度对输出功率的影响。此图是在放电电流 $I=1$ 安培、气压 $P=3.4$ 托的情况下得出的。可以看出管壁温度大约在 144°C 时, 输出功率最大。

放电电流 I 的大小直接影响着功率输

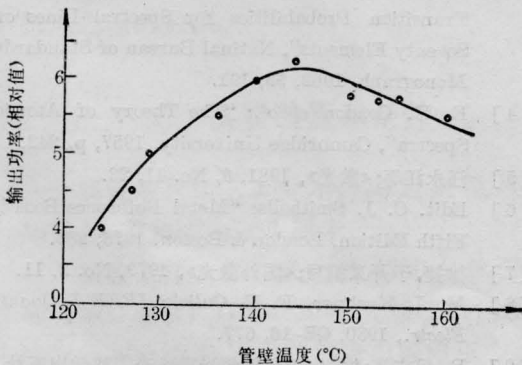


图 2 激光($\lambda=190$ 微米)输出功率与管壁温度的关系

出, 其关系见图 3。这条曲线是在管壁温度为 144°C 、气压为 3.4 托的条件下得出的。值得说明的是当电流变化时, 管内折射率将出现变化, 变化量既是电子密度的函数, 又是波长的函数。波长越长, 相应的折射率变化越大。对于 $\lambda=190$ 微米的光, 折射率的变化是不能忽略的。由于折射率的变化, 将引起振荡波长的变化, 所以当电流变化时要重新调节腔长, 以达到最佳输出。实验也证明了这一点。

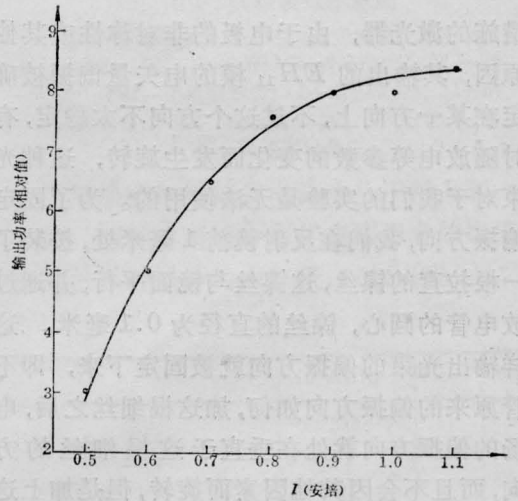


图 3 激光($\lambda=190$ 微米)输出功率与电流的关系

工作气体是 $\text{N}_2 + \text{CD}_4 + \text{He}$, 其中 N_2 和 CD_4 在放电过程中生成 DCN, 而 He 的充入是为了稳定放电并使管内的径向温度梯度变缓。三种气体的混合比按体积计量为:

$$\text{N}_2 : \text{CD}_4 : \text{He} = 1 : 3 : 9$$

为最佳。工作气压对功率输出的影响如图 4 所示。这条曲线是在放电电流 $I=1$ 安培, 管壁温度为 144°C 的情况下得出的。充气的流量是每分钟 8.5 厘米³, 这是在标准大气压下, 20°C 时测得的。

对于波导式圆柱腔来说, EH_{11} 模的输出最大, 而且 EH_{11} 模的电矢量是线偏振的, 光束截面上的光强是单峰高斯分布, 我们的实验就是需要这种模式。但是对于不加任何

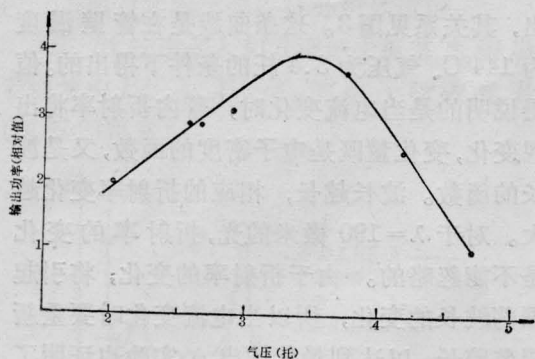


图4 激光($\lambda=190$ 微米)
输出功率与气压的关系

措施的激光器, 由于电极的非对称性或其他原因, 其输出的 EH_{11} 模的电矢量偏振被确定在某一方向上, 不过这个方向不太稳定, 有时随放电等参数的变化而发生旋转, 这种光束对于我们的实验是无法使用的。为了固定偏振方向, 我们在反射镜前 1 毫米处, 按装了一根拉直的镍丝, 这镍丝与镜面平行, 并通过放电管的圆心, 镍丝的直径为 0.1 毫米。这样输出光束的偏振方向就被固定下来, 即不管原来的偏振方向如何, 加这根细丝之后, 电场的偏振方向就处在垂直于这根细丝的方向, 而且不会因其他因素而旋转, 但是加上这

(上接第 195 页)

米。证实有相当大的增益, 当输出镜由透射率 14% 的介质膜镜片改成总反射率 9% 的不镀膜玻片时, 在其他条件均未改变情况下, 输出平均功率从 220 毫瓦提高到 360 毫瓦。

将全反射镜换成曲率半径 3 米, 对 1.3 微米中心波长反射率 99% 的介质膜镜片, 输出镜仍为平板玻片, 也得到激光振荡, 激光平均功率 36 毫瓦。但其中包含有相当多的 5341 Å 超辐射成份, 将此输出激光再经过中心波长 12980 Å, 半宽度 250 Å 的干涉滤光片后测得平均功率为 6.2 毫瓦, 确认为 12900 Å 红外激光输出。

本文承蒙汪永江副教授审阅, 石宝驹同志给予很大支持, 参加实验工作的还有上海激光所李乐、顾原岗同志, 一并表示感谢。

根细丝之后, 实验上发现输出功率比原来减少 10% 左右。

对输出窗口的要求是: 一、损失小, 以便得到大的功率输出; 二、强度高以便承受近一个大气压的压力; 三、对可见光透明, 以便用 He-Ne 激光进行光路校准, 我们采用 50 微米厚的聚脂薄膜作为输出窗口, 其折射率为 1.69。对于波长为 195 微米的光束, 垂直入射时透射可达到 88%, 吸收约为 7.5%。

激光器的连续输出功率约为 30 毫瓦, 比同样尺寸的 HCN 激光的功率要大, 同时我们用自制的铜网式法布里-珀罗干涉仪对 $\lambda=195$ 微米和 $\lambda=190$ 微米的两种波行进行了鉴别, 并发现 $\lambda=190$ 微米的激光功率大于 $\lambda=195$ 微米的激光功率, 其比值约为 10:7。这台激光器可以连续稳定地工作 8 小时以上。由于这是 DCN 激光器的初步实验结果, 有些参数有待于进一步完善。

参 考 文 献

- [1] P. Belland *et al.*; *Appl. Opt.*, 1976, **15**, 3047.
- [2] R. J. Pressey, Ed.; "Handbook of Lasers" Chemical Bubber Co., Cleveland, 1971.

参 考 文 献

- [1] C. J. Chen; *Appl. Phys. Lett.*, 1974, **24**, 499.
- [2] G. 赫兹堡; "原子光谱和原子结构", 科学出版社, 1959, p. 132.
- [3] O. H. Corliss, W. R. Bozman; "Experimental Transition Probabilities for Spectral Lines of Seventy Elements", Natinal Bureau of Standards Monograph, 1962, **53**, 191.
- [4] E. U. Condon *et al.*; "The Theory of Atomic Spectra", Cambridge University, 1957, p. 242.
- [5] 汪永江等;《激光》, 1981, **8**, No. 11, 22.
- [6] Edit. C. J. Smithells; "Metal Reference Book", Fifth Edition, London & Boston, 1976, 233.
- [7] 徐捷, 于开义编写;《国外激光》, 1979, No. 2, 11.
- [8] M. J. Kushner, F. E. Culick; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1980, **QE-16**, 677.
- [9] R. 贝克等; "气体和蒸气激光谱线表", 科学出版社, 1981, p. 47.
- [10] M. Piltch *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1965, **7**, 309.