

氙激光器四极特高频放电激励的研究

陆治国

(西安市西北大学物理系, 西安 710069)

提要 报道了四极放电氙激光器的结构以及用特高频(UHF)激励的实验结果。

关键词 四极放电, 特高频激励, 氙激光器

Xe 激光器由于能在 $2\sim 6\ \mu\text{m}$ 输出近十条强激光线^[1],而引起人们的重视。

直流放电的纯氙激光器的压力不高,一般在 1 Pa 左右,由于放电的清除作用不得不附加压力控制装置。在氙中混入氮气能提高激光器的增益^[2],但是强烈的电泳效应不得不放弃简单的直流激励而采用其他方式^[3]。早期使用 30 MHz 的射频激发,但比直流并没有得到多大改善。我们在特高频波段用四极金属放电管获得了满意的效果,使激光器可选用更高的压力工作,有减掉复杂辅助设备的可能。

1 四极放电 Xe 激光器的结构

我们曾在条带传输线中用 200~700 MHz 行波激励对玻璃放电管 Xe 激光器作了研究,并用平行电极系统放电结构进行实验,均说明用 400 MHz 左右激发比直流激发优越^[5]。为了更有效地利用激活空间,我们设计了四极放电管结构,如图 1(a)所示。在金属棒中开槽封入两根电极,并加上下盖以屏蔽。金属棒接地,两根电极加高频电压,放电空间($300\times 5.5\times 5.5\ \text{mm}^3$)将形成如图 1(b)的电场。该电场分布有强的径向分量,并在四角最强而中间电场较弱,这样既可在四角产生大量的电离而提高电子密度又可在中间形成具有适当能量的激发激光上能级的电子,只要我们控制气压、频率和场强即可。实验中观察到可以获得更大的均匀的放电空间,比平行板电极系统更优越,因为少了两个介质壁的影响,而使激活空间加大。

2 实验结果

由于实验中无法完全调节全匹配,激光器总有 10%左右的反射功率,所以在某些频率才能得到稳定的放电。

2.1 纯氙激光器

在 234, 467 和 682 MHz 三个频率上得到不同气压下稳定的均匀放电,并能输出稳定的激光。对于纯氙激光输出 $3.508\ \mu\text{m}$ 的有关能级如图 2 所示,激光的上能级为 $5d_{33}$,下能级为 $6P_{22}$,放电可以通过电子碰撞直接激发 $5d$ 能级,当然更高能级的串级跃迁对 $5d$ 能级的粒子数集

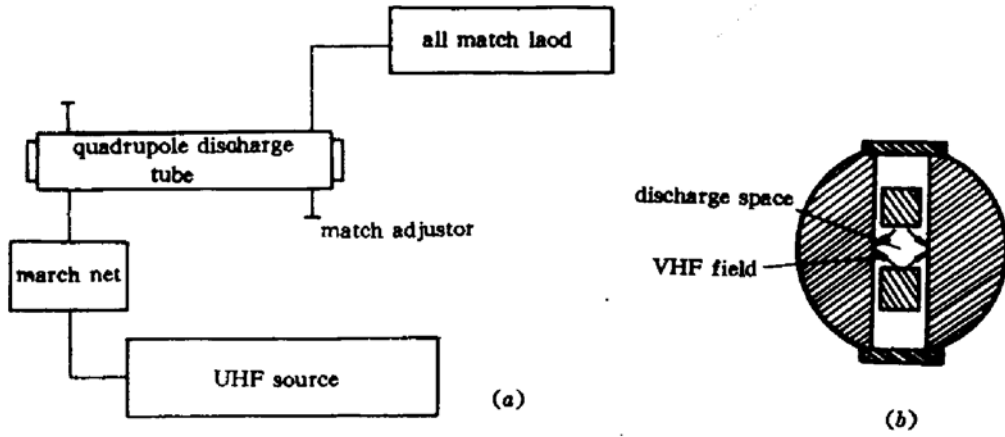


Fig. 1 Experimental apparatus used in UHF discharge excitation
 (a) the experimental setup; (b) quadrupole discharge tube cross-section

居也是有用的。另外下能级 $6S_{11}$ 的抽空也对 $3.508 \mu\text{m}$ 的激光输出有很大影响, 由于在四极放电空间扩散至管壁的消激发过程不同于介质放电管, 因为气压较低, 电子在电场作用下的定向运动对 $6S_{11}$ 能级受激原子向电极作迁移也有一定作用。 $6S_{11}$ 的粒子数集居状况, 可以通过研究 $6P_{22} - 6S_{11}$ 的自发辐射跃迁 992.3 nm 强度知道^[4,5]。实验表明, 该强度对激励频率也有选择性。 $5d$ 的寿命为 $6P$ 寿命的近 30 倍, 其间除 $3.508 \mu\text{m}$ 有高的增益外, 还有 $2.026 \mu\text{m}$ 和 $5.57 \mu\text{m}$, 本实验仅给出 $3.508 \mu\text{m}$ 激光有关的测试结果。

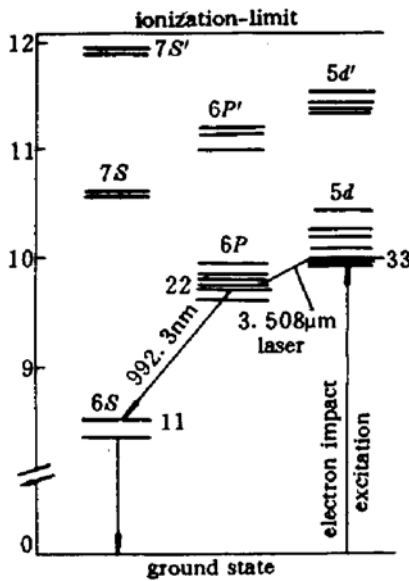


Fig. 2 Simplified energy level diagram for Xenon showing some transitions relevant to the spectroscopic study of the $3.508 \mu\text{m}$ laser

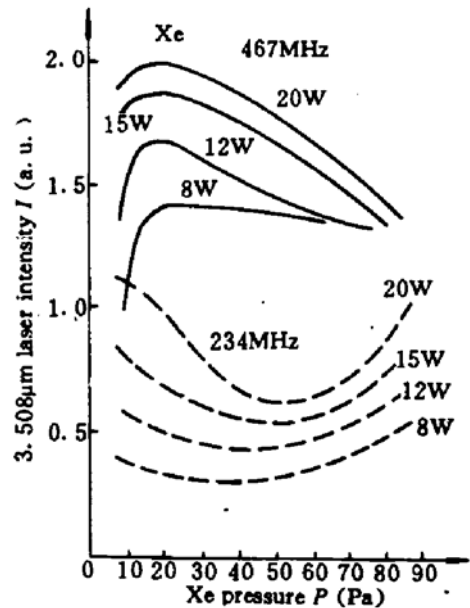


Fig. 3 Xe pressure dependence of $3.508 \mu\text{m}$ laser intensity I with 234 MHz and 467 MHz excitation by 8, 12, 15 and 20 W input power

2.2 氩氙激光器

在纯氙激光器中混入氩能使增益提高。由于氩最低的亚稳电位是 19.8 V , 氙原子的电离电位为 12.08 V , 而 $5d$ 能级的激发电位为 10 V 。所以氩的加入不同于氩氙激光器不是共振转移而是提高了电子浓度, 又没有明显降低平均电子温度。下面给出在四极放电管中在 UHF 波段激励的实验结果。在 234, 465 MHz 两个频率上都表现出混合比对激光输出有较大影响。

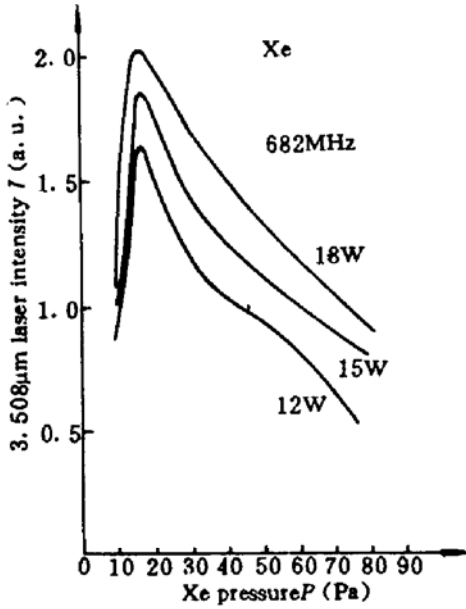


Fig. 4 Xe pressure dependence of 3.508 μm laser intensity I with 682 MHz excitation by 12, 15 and 18 W input power

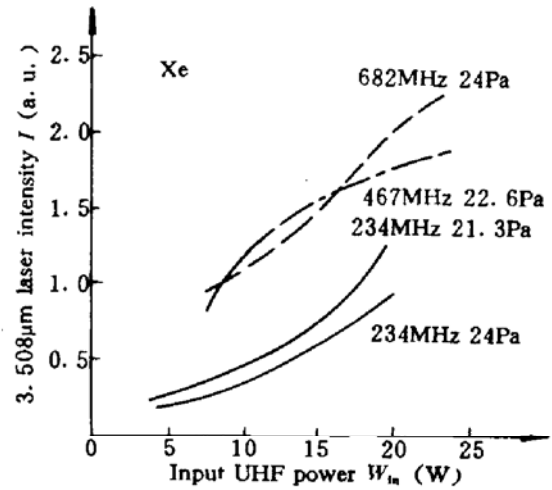


Fig. 5 Plot of 3.508 μm laser intensity I versus input power with 234, 467, and 682 MHz at 21.3~24 Pa Xe pressures

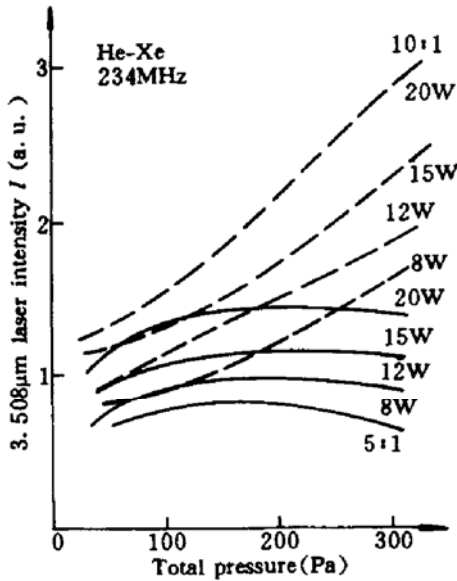


Fig. 6 3.508 μm laser intensity I versus total pressure of 10:1 and 5:1 He: Xe gas mixtures with 234 MHz excitation

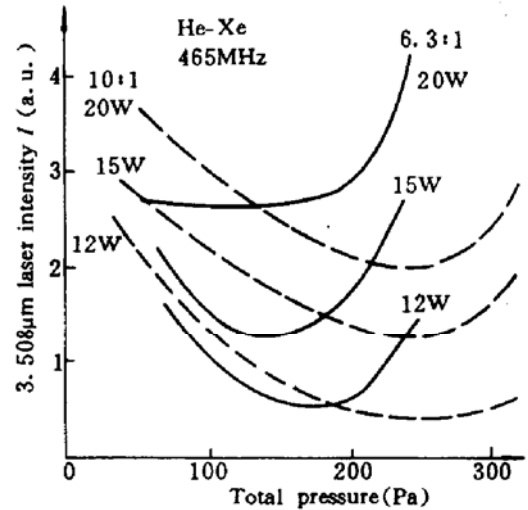


Fig. 7 3.508 μm laser intensity I versus total pressure of 10:1 and 6.3:1 He: Xe gas mixtures with 465 MHz excitation

3 结束语

3.1 在四极金属电极放电管中得到了均匀的 UHF 放电, 并且改变气压、频率和输入功率能够有效地调节平均电子温度, 是激光器可供选择的有效的放电结构。在 260 mm 放电长度上可以得到 10 mW 以上的连续输出。

3.2 利用四极放电可以使纯氙激光器的工作气压明显提高。对直径 6 mm 的放电管直流放电时最佳气压通常在 1 Pa 左右^[1,4], 在放电管直径上气体原子只有 2 次左右碰撞, 而用 465MHz 激发在 13~60 Pa 间激光输出没有明显降低。用 234 MHz 激发时, 在某气压处激光输出为最小, 如图 3。可以认为低气压端电子平均温度高, 而高压端是电子密度提高所引起的。

我们希望工作点选在尽可能高的气压。由图 3 可见, 234 MHz 激发时, 工作气压可达 80 Pa 以上。

高的工作气压对延长器件的寿命是有好处的。输入功率提高时, 5~20 W 范围激光输出几乎成线性增加, 不象直流放电那样, 不仅工作气压低而且输出功率随放电电流的变化敏感。

3.3 对于氦氙激光器, 气压、气体比与频率对激光输出都有明显影响。有趣的是若想工作在较高的气压, 若用 234 MHz 激发, 氦的混入量要多(如 10:1), 若用 465 MHz 激发, 则氦的混入量应适当少些(如 6.3:1)。输入功率超过 20 W 则表现出激发输出强度的逐渐饱和。

3.4 在四极放电 Xe 激光器中没有发现存在直流放电 Xe 激光器的关系式 $PD^n = C$ (式中 P 为工作气压, D 为放电管直径, $n = 3.2 \pm 0.2$, C 为常数^[1])。也没有发现存在平行板放电 Xe 激光器的关系式 $PW_m = C$ (W_m 为最佳激光输出时的输入电功率^[5])。这说明对激活气体原子来说, 四极放电不同于直流放电, 后者主要是等离子体区的径向电场作用, 而前者则直接由放电空间电极附近的场参与^[6], 这可由观察放电空间发光的分布看出。

四极放电不同于平行板放电系统可能是因为在放电空间多了四角的强电场区, 放电空间电子平均能量分散更大, 激光输出随输入功率的提高, 饱和现象不明显, 不能得到激光对输入功率变化的最大值, 所以, 无法证实 $PW_m = C$ 的存在。

致谢 作者感谢英国曼彻斯特大学物理系 T. A. King 教授提供的实验条件和有益的讨论。

参 考 文 献

- 1 C. S. Willett. Introduction to Gas Lasers; Population Inversion Mechanisms, Pergamon Press Ltd. First edition, 1974. 164~169
- 2 P. A. Wolff, N. B. Abraham, S. R. Smith. Measurement of Radial Variation of 3.51 μm Gain In Xenon Discharge Tubes. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1977, QE-13: 400~403
- 3 R. Tang, M. W. Sasnett. High Repetition-Rate Xenon Laser With Transvers Excitation. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1972, QE-8: 166~169
- 4 R. J. Freiberg, L. A. Weaver. Effects of Lasering upon the Electron Gas and Excited-state Populations in Xenon Discharges. *J. of Appl. Phys.*, 1967, 38(1): 250~262
- 5 Zhi-guo Lu, Zhao-hui Wang, D. A. Andrewa et al. Investigation of R. F. Excited Xe Laser. *Proc. SPIE*, 1994, 2118: 246~254
- 6 Zhi-guo Lu, Chang-jun Zhu. Study of Discharge Area in R. F. Excitation CO₂ Lasers. *Proc. SPIE*, 1994, 2118: 108~113

Investigation of Quadrupole UHF Discharge Excitation for Xe Laser

Lu Zhiguo

(Department of Physics, Northwest University, Xi'an 710069)

Abstract The paper reported the construction of a Xe laser and the experimental result with ultra-high frequency discharge excited in a quadrupole metal tube.

Key words quadrupole discharge, UHF excited, Xe laser

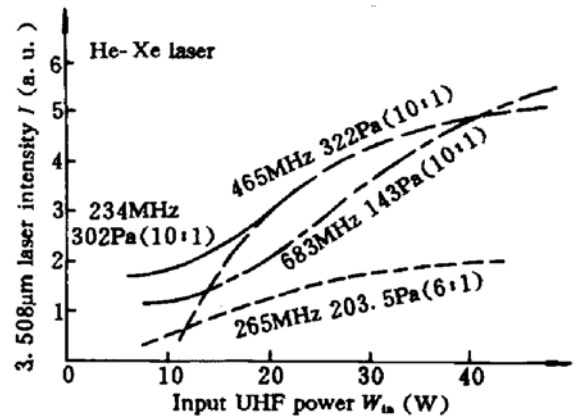


Fig. 8 Plot of 3.508 μm laser intensity I versus input power with 234, 465 and 683 MHz