

微波放电氦氖激光器的研究

陆治国

廖江红

(西北大学物理系, 西安 710069)

(中国科学院长春光机所, 长春 130022)

D. A. Andrews T. A. King

(曼彻斯特大学, 英国)

提要 在 200 MHz~1500 MHz~2000 MHz 范围内, 通过测量氦的侧光谱和 632.8 nm 小信号增益随激励频率的影响, 研究了氦氖激光器微波激励的频率特性。

关键词 微波激励, He-Ne 激光器增益

1 引 言

早期的氦氖激光器也用射频激励, 通常使用的频率为 20~30 MHz 左右^[1], 由于不比直流有更多的优点而逐渐被放弃。近年来由于环形激光器采用射频放电比直流放电有更多的优点引起了新的兴趣。因为射频放电可以避免因直流放电引起的等离子体的漂移和气体漂移, 而这种漂移又会迭加到输出差频上^[1]。当然使用射频放电, 也可不设内电极, 可使体积缩小, 工艺简单, 寿命延长。

激励放电的最佳频率受很多因素的制约。然而不同的激光器对上能级的泵浦作用和对下能级的抽空情况的影响因素, 则是最为重要的。

本文将从两个方面研究对激励频率的影响因素, 一是观察激励频率对氦的侧光谱影响, 从而找出激光器的上能级对氦的最佳激发要求的频率, 二是改变激发频率, 观察 632.8 nm 输出的小信号增益。本实验使用的频率范围为 200 MHz~1500 MHz~2000 MHz, 均采用行波激励。

2 氦的微波和直流激励

对于氦, 我们最关心的是 $2^1S(20.55 \text{ eV})$ 和 $2^3S(19.77 \text{ eV})$ 两个亚稳能级。在氦氖激光器中, 前者直接影响 632.8 nm 和 $3.39 \mu\text{m}$ 激光输出的上能级粒子数, 后者则影响到 $1.15 \mu\text{m}$ 激光上能级的粒子数。对于我们关心的两个上述亚稳能级, 它的粒子数的增加, 主要来源于两个方面, 一是直接碰撞激发, 二是上能级跃迁回到该能级的所谓级联辐射引起的粒子数的增加。

在氦的三重态谱线中,级联辐射总是导致 2^3S 亚稳态的粒子数增加。在单态谱系中,级联辐射既可能导致 1^1S 基态,也可能导致 2^1S 亚稳态的增加^[2]。我们在 26.6 ~ 399 Pa 范围内用 200 MHz~1500 MHz~2000 MHz 频率激发,观察了从 300.0~620.0 nm 谱线的强度变化。根据大量的记录,找出随气压与激发频率变化的谱线是 335.4 nm, 356.3 nm, 388.9 nm, 447.1 nm, 492.2 nm, 501.5 nm, 587.6 nm。

图 1 列举了我们关心的氦的能级^[2],从中可以看出,对 2^1S 和 2^3S 亚稳态粒子数增加有影响的自发辐射应是 501.5 nm 和 388.9 nm。在我们的实验中,未看到 396.5 nm 和 318.8 nm 随激发频率变化的情况。因此,暂且忽略相应能级向 2^1S 和 2^3S 级联跃迁的影响。

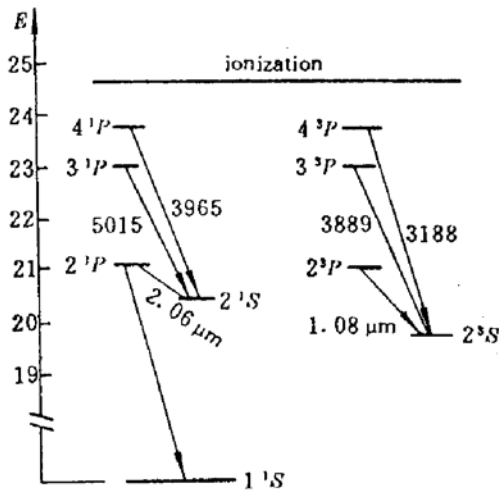


Fig. 1 Related spectral diagram of helium

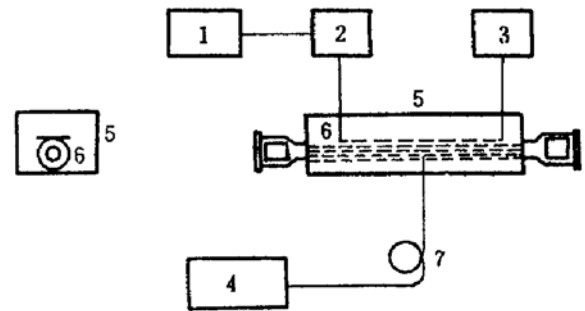


Fig. 2 Experimental apparatus used in microwave discharge excitation and side-light spectrum measurements

1: excited supply (with power display for output and reflection); 2: match network; 3: all-match load; 4: OMA-III; 5: stripline transmission line; 6: discharge tube; 7: fibre

实验装置如图 2 所示。放电管放在条带传输线(Stripline)中,激励电源通过匹配网络经条带传输线到全匹配负载。如前述采用行波激励。侧光谱用光纤传到几米外的 OMA III,以尽可能避免微波电场对测试仪器的影响。

实验结果如图 3 (a), (b) 所示。如前述 501.5 nm 辐射增加对 2^1S 粒子数增加有贡献。它直接影响到 632.8 nm 和 3.39 μm 激光辐射的上能级。图 3(a) 表明,只要氦的气压不是太低(如 26.6 Pa),用 1300 MHz 以上频率激发比用直流好。对于影响 2^3S 粒子数的 388.9 nm 的自发辐射来说,图 3 (b) 表明微波激励不比直流更好。这就提示我们对于 1.15 μm 的激光辐射,如无特殊需要不必用微波激发,在气压稍高时(79.8 Pa 以上),在实验条件下,未得到 501.5 nm 和 388.9 nm 自发辐射的最大值,一旦出现,说明电子能量更适合激发 3^1P 和 3^3P 的高能级,对于 2^1S 和 2^3S 并不有利。

3 微波激励频率改变对 He-Ne 激光器 632.8 nm 小信号增益的影响

激励频率的改变对小信号增益的影响能全面反映对激光器的影响。采用的实验装置如图 4 所示。象图 2 一样,将放电管置于条带传输线中,即采用行波激励。用于测试的氦氖激光分成两束,一路通过放电管,另一路通过可变衰减器,放电管未点燃前,调可变衰减器,使锁相放大器的指示为零。点燃放电管,改变气压与激励频率,得到图 5 所示的实验结果。放电电源输出

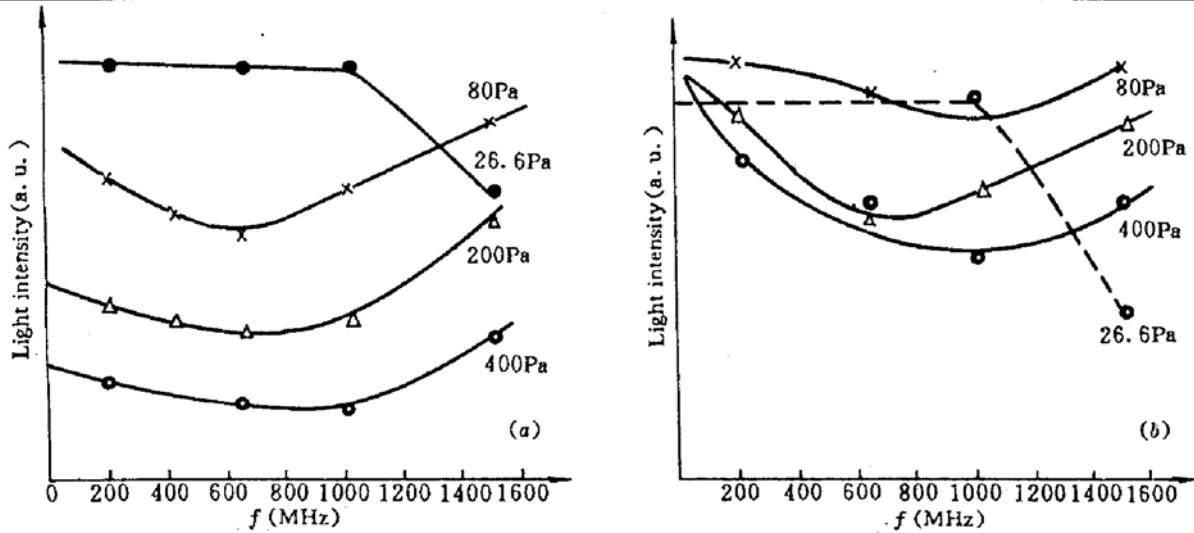


Fig. 3 The dependence of spontaneous emission intensity excited frequency and gas pressure wavelength
(a) 501.5 nm, (b) 388.9 nm

功率保持 50 W, 放电管直径为 3.5 mm, 长度为 450 mm, He : Ne = 9 : 1。实验结果表明, 在 186.2~266 Pa 左右, 900~1800 MHz 有较高的增益。当气压较高时(如高于 239.4 Pa)使用微波激发有明显的好处。当充气压力接近直流激励的最佳值附近, 直流与微波最佳频率时的增益相近。当气压偏高, 微波激发频率合适时, 增益远高于直流。较高的工作气压对延长器件寿命是有好处的。

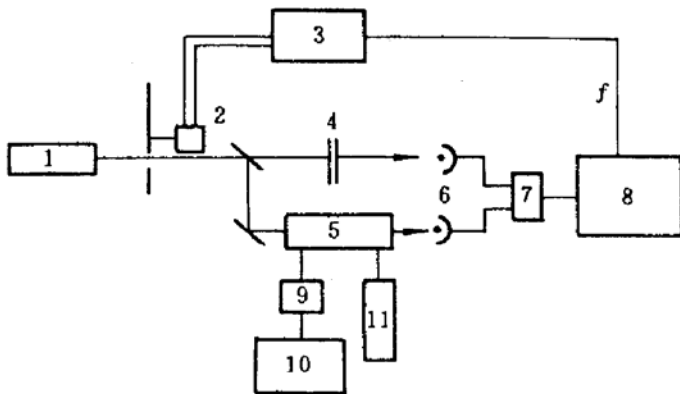


Fig. 4 Experimental scheme used in measurement of small signal gain G versus excited supply frequency at 632.8 nm
1: 632.8 nm He-Ne laser; 2: chopper; 3: chopper supply and modulation output; 4: variable attenuator; 5: stripline transmission line (discharge tube inside); 6: photodetector; 7: subtractor; 8: lock-in amplifier; 9: match network; 10: excited supply; 11: all-match load

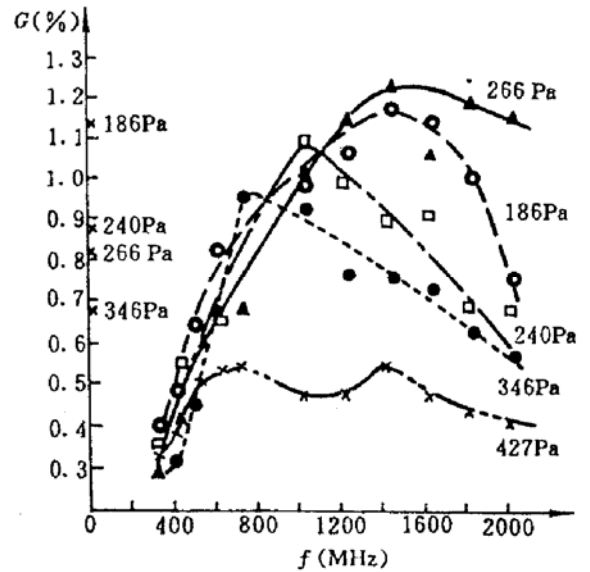


Fig. 5 Small signal gain G at 632.8 nm versus excited frequency and gas pressure

4 结 论

如前所述, 对放电激发最佳频率的讨论, 是一个复杂的问题。如激发装置的结构与电参数、能量耦合方式、激励方式、等离子体的吸收与反射、电子能量分布等等因素的影响都是非常重要的。但分析激光有关能级粒子数所受的影响则更为本质。对于我们讨论的两个亚稳能级, 就直接碰撞激发来说, 最好通过解电子能量分布的波尔兹曼方程^[3]来说明, 但对上能级级联辐射的影响通过测量上能级向亚稳能级的辐射强度则是一个重要方法, 小信号增益则反映了二者

的综合结果。它表明用 1500 MHz 以上激发 He-Ne 激光器的 632.8 nm 输出,是比较好的。

参 考 文 献

- 1 M. J. Beesley. *Laser and Their Applications*. Taylor & Francis Ltd. London; 1971. 107, 153
- 2 G. Bekefi. *Principles of Laser Plasmas*, John Wiley & Sons Inc. 1976. Chapter 5
- 3 B. E. Cherrington. *Gaseous Electronics and Gas Laser*. Pergamon Press, 1979. Chapter 4

Inverstigation of a Microwave Discharge He-Ne Laser

Lu Zhiguo

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

Liao Jianghong

(Changchun Institute of Optical and Fine Mechanical, Academia Sinica, Changchun 130022)

D. A. Andrews, T. A. King

(Manchester University, U. K.)

Abstract Over a frequency range of 200 MHz~1500 MHz~2000 MHz, the side-light spectrum of helium microwave discharge and the dependence of small signal gain at 632.8 nm on excited frequency were measured. The microwave excited frequency characteristics of a He-Ne laser has been investigated.

Key words microwave excited, He-Ne laser gain