

钙离子复合激光的实验研究*

金永兴 姚志欣 潘佰良 马涛 陈星

(浙江大学物理系 杭州 310027)

提要 报道了一台平均功率为 50 mW 的钙离子复合激光实验装置。通过改变缓冲气体压强、脉冲重复率及输入电功率等参量,分析了 He-Ca⁺ 复合激光的工作特性,测量了一些参量之间的关系。

关键词 放电等离子体, 钙离子复合激光

放电激励的钙离子复合激光,原始工作物质是金属钙的蒸气,实际的激光介质是一价钙离子,主要由放电形成的二价钙离子与电子复合获得。激光波长为紫外 373.7 nm 和 370.6 nm,也是一种典型的放电等离子体复合类型激光器件。钙作为碱土金属成员之一,1973 年和 430.5 nm,416.2 nm 锶离子复合激光以及 1.25 μm 钡离子复合激光同时被报道^[1]。由于它和锶离子复合激光一样能实现瓦级平均功率^[2],因而引起持续不断的研究,它能广泛应用在激光化学、激光生物学和激光光谱学等方面。通过高压缓冲气体氦和高重复频率、脉冲纵向放电激励,激光产生在脉冲放电结束之后的等离子体复合阶段。我们的实验表明工作温度为 650°C 是适宜的,通过放电自加热维持,在缓冲气体中产生大约 5.2 Pa 的钙原子蒸气。

钙原子外壳有 2 个电子,第 1 电离位为 6.1 eV,第 2 电离位 11.8 eV,在脉冲放电过程中,混合于缓冲气体中的钙原子大部分转变为正 2 价钙离子,在脉冲电流快速下降(约 100 ns)后,2 价钙离子与电子复合成一价钙离子,通过第二类电子碰撞,在能级 $5^2S_{1/2}$ 和 $4^2P_{1/2,3/2}$ 之间形成粒子数反转,从而产生激光。因离子与电子的复合速率反比于电子温度的 4.5 次方^[3],所以要求放电结束后,电子温度迅速下降,因此氦气为最合适的缓冲气体^[4]。

1 实验装置

He-Ca⁺ 复合激光实验研究是在以前报道的 He-Sr⁺ 复合激光实验装置上完成的^[5],石英放电管内直径为 1.2 cm,电极间距为 34 cm,纯度为 98% 的粒状金属钙均匀放置在沿放电管底部的 7 个浅凹穴中,谐振腔由一对介质膜镜片组成,其曲率半径均为 5 m,对激光波长反射率分别为 99.8% 和 85%。

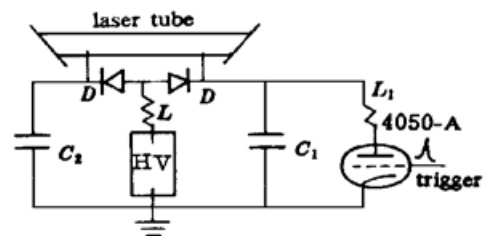


图 1 充放电电路

Fig. 1 Charge and discharge circuit

充放电电路采用如图 1 所示的非对称 Blumlein 电路, $C_1 = 2$ nF, $C_2 = 1$ nF, 其电容不相

* 国家自然科学基金资助项目,批准号 69478002。

等对消除电流脉冲后沿振荡有明显的效果^[6], 充氢闸流管是 4050-A 型, 电感 L_1 既保护闸流管, 又对消除脉冲电流后沿的振荡有较大的作用^[5], 其值约 $1.0 \mu\text{H}$ 。

2 实验结果和分析

采用放电自加热形式, 由于碱土金属在热蒸气状态下与石英管壁起剧烈的化学作用, 对一个干净的石英管, 第一次装料后需放电老练约 4 h, 当石英管壁充分发黑后, 才观察到激光振荡。稳定运转时, 缓冲气体不需要流动, 第二次开机一般也不需要换气。每次加钙粒约 0.5 g 可维持约 30h 运转, 通常一周时间, 每天开机 1~2 次, 每次约 3 h, 开始激光输出功率为 50 mW 左右, 最后降至 10 mW 以下, 每 3 h 的运转基本上是稳定的, 平均功率起伏不超过 10%。激光功率的逐日下降估计是由于钙的损耗及钙与石英管壁作用的结果, 一周后拆卸放电管检查, 几乎见不到金属钙成分。

2.1 气压对激光功率的影响

固定充电电压为 5.0 kV, 脉冲重复频率 4.7 kHz, 实验得到激光的输出平均功率随 He 气压变化如图 2 所示。缓冲气体原子与电子的碰撞对降低电子温度有很大的作用, 原则上缓冲气体压强越高越好^[7], 但气压太高, 导致放电困难, 所以缓冲气体压强也有一个最佳值。从图 2 可看出, 当气压从 4.0 kPa 升至 14.0 kPa 时, 激光输出功率线性增长, 气压继续升至 16.0 kPa 时, 输出功率达到最大值, 而后随着气压继续升高, 激光功率慢慢下降, 随着气压进一步升高, 放电变暗直至激光振荡终止。起初激光功率随气压升高而增大, 表明随缓冲气体压强升高, 主要由于余辉电子与较多的氦原子碰撞, 有助于更快降低电子温度, 二价钙离子与电子的复合速率增大, 从而提高输出功率; 缓冲气压进一步增长, 将使电子平均自由程减少, 导致放电期间电子温度过低, 影响到钙原子的电离度, 从而钙离子减少, 使激光输出功率下降。

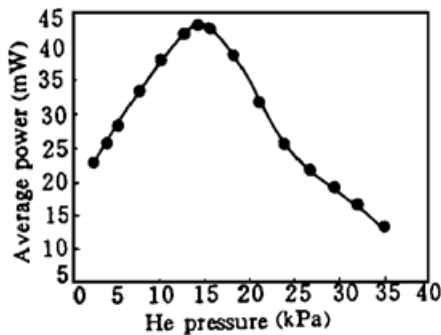


图 2 激光平均功率与氦气压强关系, 重复频率 4.7 kHz, 充电电压 5.0 kV

Fig. 2 The dependence of average laser output power on He pressure: p. r. f. 4.7 kHz, voltage 5.0 kV

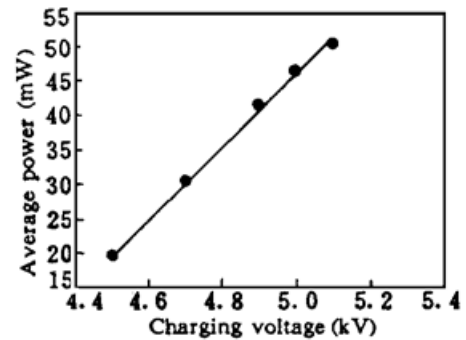


图 3 激光平均功率与充电电压的关系, 重复频率 4.5 kHz, 氦气压强 14.7 kPa

Fig. 3 Average laser output power versus charging voltage: p. r. f. 4.5 kHz, He pressure 14.7 kPa

2.2 充电电压对激光功率的影响

缓冲气体压强为 14.7 kPa, 脉冲重复率为 4.5 kHz, 放电电路参数不变, 因激光功率对温度比较敏感, 为避免温度积累的影响, 选定自平衡温度的电压为 4.7 kV。然后每次快速提升或降低电压, 在温度积累效应显示出来之前完成测量, 随即恢复电压参数, 待运转稳定后再开始第 2 次测量。输出激光功率与充电电压之间的关系曲线如图 3 所示, 激光输出功率随充电电压升高的增加几乎呈线性, 当充电电压从 4.5 kV 增加到 5.1 kV 时, 输出功率从 20 mW 升至 48

mW, 电压的提升有助于钙原子电离, 使二价钙离子密度增加, 从而提高输出功率。

2.3 重复频率对激光功率的影响

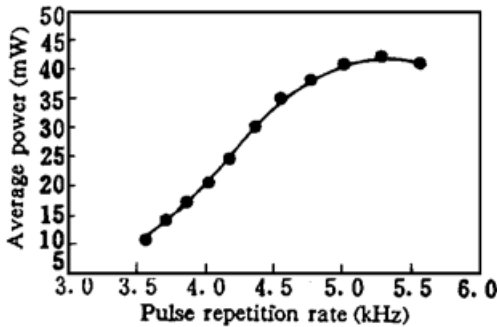


图 4 激光平均功率与重复频率的关系, 充电电压 5.0 kV, 氦气压强 14.7 kPa

Fig. 4 Average laser output power as a function of p. r. f. . Voltage 5.0 kV, He pressure 14.7 kPa

实验中充电电压固定在 5.0 kV, 缓冲气体压强为 14.7 kPa, 放电电路参数不变, 为避免温度效应, 采用与 2.2 节一样方式, 每次改变重复频率记录光功率后, 仍将频率调回原来的位置。实验得到的激光输出功率随脉冲重复频率变化关系如图 4 所示, 图中看到重复频率从 3.5 kHz 增加到 4.6 kHz, 输出激光功率呈线性增长, 频率在 5.3 kHz 时激光输出功率达到最大值, 高频时曲线变得平坦, 显然是温度积累效应的影响。

测量了激光脉冲的宽度(FWHM), 与先前报道的锶离子复合激光脉冲相似^[6]约 200 ns。激励参数没有能做到最佳组合, 目前的电光转换效率最高约

0.05%, 主要是由于钙离子复合激光的工作温度区间比较窄, 激光放电管容易过热, 已有实验报道^[2], 在提高充电电压和重复频率的情况下, 采用外界强迫冷却, 频率可高达 29 kHz, 激光输出功率成倍增长。

参 考 文 献

- 1 E. L. Latush, M. F. Sem. Stimulated emission due to transitions in alkaline-earth metal ions. *Sov. J. Quant. Electr.*, 1973, **3**(3) : 216
- 2 E. L. Latush, M. F. Sem, L. M. BuKshpun *et al.*. Gas-discharge recombination lasers based on strontium and Calcium vapors: A review. *Opt. Spectrosc.*, 1992, **72**(5) : 672
- 3 V. V. Zhukov, E. L. Latush, V. S. Mikhalevskii *et al.*. Recombination lasers utilizing vapors of chemical elements. *Sov. J. Quant. Electr.*, 1977, **7**(6) : 704
- 4 C. E. Lettle, J. A. Piper. Average-power scaling of self-heated Sr⁺ afterglow recombination lasers. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1990, **QE-26**(5) : 903
- 5 姚志欣, 潘佰良, 王军营 等. 放电激励的锶离子复合激光器. *中国激光*, 1996, **A23**(7) : 600
- 6 姚志欣, 潘佰良, 金永兴 等. 非对称 Blumlein 电路在锶离子复合激光器中的作用. *中国激光*, 1997, **A24**(1) : 25~ 26
- 7 C. W. McLucas, A. I. McIntosh. Investigation of laser emission in Sr⁺ and Ca⁺. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1987, **20** : 591

Experimental Study of a Ca⁺ Recombination Laser

Jin Yongxing Yao Zhixin Pan Bailiang Ma Tao Chen Xing
(Department of Physics, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract An average power of 50 mW was experimentally obtained in a Ca⁺ recombination laser. The properties of the Ca⁺ recombination laser were studied with varying operation parameters, such as buffer gas pressure, pulse repetition rate and input electrical power. The parametric relation has been measured and the operation characteristic was analysed briefly.

Key words discharge plasma, calcium ion recombination laser