

放电激励的铯离子复合激光器*

姚志欣 潘佰良 王军营 金永兴

(浙江大学物理系, 杭州 310027)

提要 分析测量了放电激励的铯离子复合激光的电光特性, 报道了一台平均功率 200 mW 的实验装置。

关键词 放电等离子体, 铯离子复合激光

1 引 言

铯离子复合激光器是一种新颖机制的金属蒸气激光器件, 通常也采用高重复率脉冲纵向放电激励, 但激光并不象铜蒸气激光那样发生于放电脉冲前沿, 甚至在整个放电脉冲持续期间都没有激光, 而是在放电脉冲结束之后, 在由放电脉冲形成的铯离子和电子等离子体复合过程中产生的。

铯是碱土金属, 其外壳仅有 2 个电子, 第 1 个电子的电离电位为 5.7 eV, 第 2 个电子的电离电位为 11.0 eV, 都很容易被电离。高电压大电流脉冲放电后, 混合于缓冲气体中的铯原子蒸气中的大部分转变为正 2 价的铯离子, 而且几乎全部处于基态, 因为类氦结构, 其第一激发态较基态高 40 eV^[1]。由于等离子体中 2 价铯离子与电子复合成 1 价铯离子的速率远大于 1 价铯离子与电子复合成铯原子的速率, 因此在脉冲放电过后的余辉等离子体中, 主要成分将是 1 价铯离子。等离子体与电子的三体碰撞复合速率反比于电子温度的 4.5 次方^[2], 为了尽快获得产生激光作用的铯离子, 要求脉冲放电之后电子温度迅速下降, 电子能量经弹性碰撞迅速转移至惰性气体原子, 质量最轻的惰性气体氦被认为是唯一适用的缓冲气体^[3]。对放电脉冲的前沿没有特别的要求, 但对放电脉冲的后沿, 不仅要求下降陡峭, 而且要求下降后不再起伏, 无论是反向电流或正向二次放电, 都将使电子加热而使复合激光受到限制。

1 价铯离子的能级分布具有典型的碱土金属离子能级结构特征, 激光上能级 6S 与激光下能级 5P 间隔为 2.9 eV, 远远超出其它任意 2 根相邻能级间隔, 其结果是以上下激光能级为分界可明显地将能级划分为 2 群, 每群内能级密集, 离子的自发跃迁和离子与低能电子的超弹性碰撞将使处于同一能群的粒子聚集于该能群的最低能级而将高能级的粒子排空, 正是这一机制造就铯离子激光能级的粒子数反转, 激光上能级 $6S_{1/2}$ 恰好是高能量能群的最低能级, 激光下能级 $5P_{1/2}$ 和 $5P_{3/2}$ 恰好是低能量能群的最高能级, 相应的激光波长分别是 416.2 nm 和 430.5 nm, 根据总和定则, 由于能级的统计权重差异, 后者的跃迁强度将是前者的 2 倍^[4], 因此在一

* 国家自然科学基金和浙江省自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1996 年 1 月 8 日; 收到修改稿日期: 1996 年 2 月 12 日

般情况下, 波长 430.5 nm 的谱线占激光振荡的绝大部分。

2 实验装置

自行设计的石英放电管如图 1 所示, 内直径为 1.2 cm, 电极间距 40 cm。从 98% 纯度金属铯棒切割下来的厚约 1 mm 小铯片均匀布置在沿放电管底部的 9 个浅凹穴中, 凹穴的设置既能实现放电自加热, 又避免了对激光通道的遮挡, 克服了激光光斑缺损的弊端^[6]。谐振腔由一对对激光波长反射率分别为 99.8% 和 70% 的介质膜镜片构成, 曲率半径均为 5 m, 间距为 1.5 m。

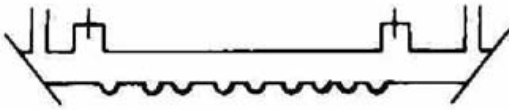


Fig. 1 Quartz discharge tube

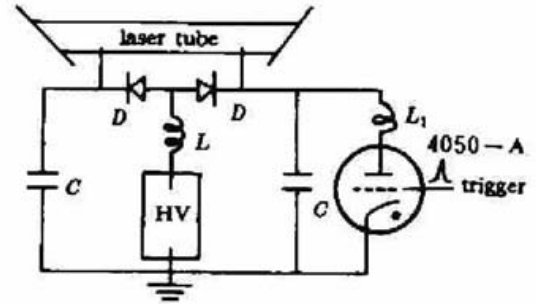


Fig. 2 Discharge circuit

采用对称布置的 Blumlein 放电回路, 如图 2 所示。充氢闸流管是 4050-A 型, 电容 $C = 2$ nF, 闸流管阳极上串接的小电感 L_1 , 它对于消除脉冲电流后沿的振荡有明显的作用^[6], 在我们的实验中约为 1.5 μ H。

3 实验结果和分析

用 Model 110 脉冲电流探测圈测放电电流脉冲, 快响应强流二极管测激光脉冲, 同时送入 COS6100 五通道示波器的 2 个通道, 拍摄到的照片见图 3。图中横标尺每格 200 ns, 领先的是电流脉冲, 滞后的是激光脉冲, 从图 3 可以看出, 激光脉冲在电流脉冲结束之后发生, 表现出放电等离子体复合激光的固有特征。电流脉冲的后沿有宽约 200 ns 的坪区, 电流的持续反映电子正在从外电场获取能量, 电子温度不可能降低, 限制了等离子体复合, 从而遏制了激光。如能

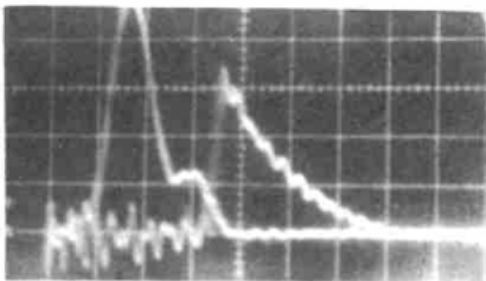


Fig. 3 A typical electro-optic photograph

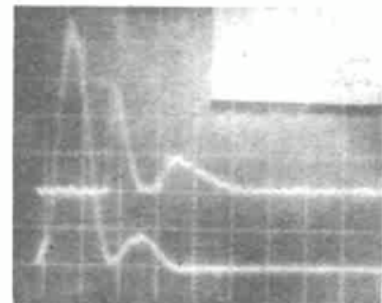


Fig. 4 Oscilloscope traces of the of current pulse and light signal

消除这个坪区, 不仅将使激光脉冲的前沿提前约 200ns, 而且其幅度也会增大, 有助于增加激光脉冲能量和激光平均功率。我们采用改变串接小电感 L_1 量值的方法, 电流脉冲后沿的坪区

倒是消除了,可是紧接着又产生了二次放电,形成了振荡波形,电流脉冲振荡的第2个波峰,电子被外电场再次加热,导致激光被完全遏制,使激光脉冲出现低谷,在电流脉冲的尾翼,电子温度迅速降低,等离子体复合速率增大,激光再次出现,结果激光脉冲也形成振荡波形,除了时间差以外,电流脉冲振荡的波谷和第2个波峰,恰好对应激光振荡的波峰和波谷,如图4所示。为了清晰起见,示波器上电脉冲信号和光脉冲信号的零电平位置是分开的。

采用自行设计的新颖金属筒式加热器^[7],铝套筒外径 $\phi 70$ mm,缠绕的BQ-13A绝缘加热带电功率320 W,控制铝套筒的温度作为放电管稳态运转的外边界条件,测量到的石英放电管外壁温度约560 ℃。充电电压为9 kV,脉冲重复频率为4 kHz,缓冲气体氮压约为40 kPa,除初始净化约1 h外,稳态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。由于镨块的消耗和窗口的污染,每次加镨块约0.5 g可维持约40 h运转,开始时激光输出平均功率为200 mW以上,最后降至约20 mW,但运转始终十分平稳。通常每次开机3~4 h,也曾经一次连续工作8 h,期间功率起伏不超出20%。该激光放电管已经累计运转100 h以上,没有发现明显的损坏。

致谢 本工作先期曾得到浙江大学科研启动费的支持,预研阶段曾与上海光机所王玉芝副研究员进行有益的讨论,承蒙她赠阅镨等离子体复合发光实验研究的总结报告,一并在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 R. J. Carman. A self-consistent model for a longitudinal discharge excited He-Sr recombination laser. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1990, QE-26(9): 1588
- 2 V. V. Zhukov, E. L. Latush, V. S. Mikhalevskii *et al.*. Recombination lasers utilizing vapors of chemical elements. *Sov. Quant. Electr.*, 1977, 7(6): 704
- 3 C. E. Lettle, J. A. Piper. Average-power scaling of self-heated Sr⁺ afterglow recombination lasers. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1990, QE-26(5): 903
- 4 G. 赫兹堡. 原子光谱和原子结构. 北京: 科学出版社, 1959. 132
- 5 D. G. Loveland, D. A. Orchard, A. F. Zerrouk *et al.*. Design of a 1.7 W stable long-lived strontium vapour laser. *Meas. Sci. Technol.*, 1991, 2(7): 1083
- 6 C. W. McClucas, A. I. McIntosh. Discharge heated longitudinal Sr⁺ recombination laser. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1986, 19: 1189
- 7 姚志欣, 潘佰良, 钱育军等. 实用化10W溴化亚铜激光器. *中国激光*, 1996, A23(1): 11

Discharge Excited Sr⁺ Recombination Laser

Yao Zhixin Pan Boliang Wang Junying Jin Yongxing

(Department of Physics, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract The electro-optic characteristics of a discharge excited strontium-ion recombination laser have been analysed and measured. An average output power of 200 mW is experimentally obtained.

Key words discharge plasma, strontium-ion recombination laser