

钙离子自终止激光器的实验研究*

周国耀 姚志欣 潘佰良 李士本 陈 钢

(浙江大学物理系 杭州 310027)

提要 实现了高重复率纵向脉冲放电激励的一价钙离子蒸气自终止激光振荡, 波长 854.2/866.2 nm 的红外双谱线激光输出, 最大激光平均功率 176 mW. 测量了一些参量之间的关系, 讨论了其工作特性.

关键词 钙离子, 自终止跃迁, 激光器

在 W. T. Walter 的论文中着重报道了两种金属蒸气自终止激光材料, 除了铜原子蒸气激光外, 还有一种是波长 854.2/866.2 nm 的钙离子蒸气激光^[1]. 与铜原子蒸气激光的迅猛发展形成鲜明对比的是钙离子蒸气激光进展缓慢, 迄今为止报道的激光输出平均功率最高 0.775 W, 功率密度 2.0 mW/cm^3 ^[2]. 国内还未见钙离子自终止激光的报道.

通过一价钙离子能级结构与中性铜原子能级结构的比较和分析, 不难确认一价钙离子是一种很好的自终止激光工作物质, 尤其是在高重复率脉冲运转条件下, 有可能获得高功率输出. 通过实验研究, 调整优化实验参量, 我们在较小的放电管中获得激光输出最高平均功率 176 mW, 功率密度 4.5 mW/cm^3 的实验结果.

实验采用的石英放电管类同文献[3], 普通谐振倍压电路同文献[4], 选用一块对红外 860 nm 附近反射率为 95% 的平板介质膜镜片作为反射镜, 另一块玻璃平镜作为耦合输出镜, 构成平-平介稳腔, 腔镜间距为 1.2 m.

用红外频率上转换测试板(适用于 0.85~1.5 μm)观测到相当强的红色光斑, 且发散角很小, 证实为红外激光. 在获得钙离子红外激光后, 测量了激光脉冲与电流脉冲波形的相对位置关系, 得到的结果如图 1 所示. 实验中使用 Tektronix TDS754C 型数字示波器, 放电电流脉冲用 Model 110 电流转换器探测, 测量时考虑了光脉冲和电脉冲传输的延时, 各信号间基本做到同步. 图中领先的波峰为激光脉冲波形, 滞后的波峰为电流脉冲波形, 示波器的时间刻度为 50 ns/div. 由图 1 可知, 在钙离子激光中, 激光脉冲出现于电流脉冲前沿约 1/2 处, 而且光脉冲很窄, 半宽度约为 30 ns, 完全符合



图 1 同时显示的钙离子激光脉冲和其放电激励电流脉冲的波形

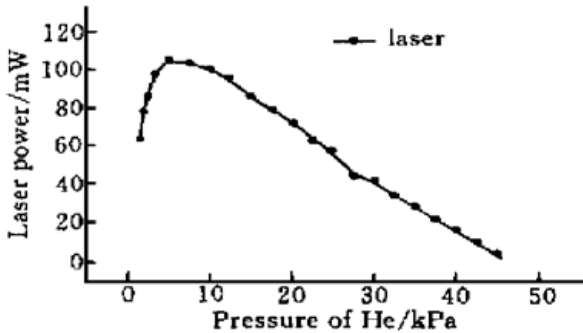
Fig. 1 Waveforms of calcium ion laser pulse and current pulse

* 国家自然科学基金(批准号: 69778009)资助项目.

收稿日期: 1999-04-09; 收到修改稿日期: 1999-05-17

Walter 关于自终止激光的描述^[1].

在稳定工作的情况下测量了氦缓冲气体压强、放电脉冲重复频率与激光功率之间的实验关系. 在激光功率和气压关系的实验中, 由于气压的变化将导致放电管阻抗的改变, 造成输入电功率的改变, 影响温度平衡. 所以我们采用恒功率输入方式, 在每次改变气压后, 微调频率和电压, 以维持输入电功率不变为原则. 由于管温只与输入电功率有关, 输入电功率不变即保证了放电管的温度稳定, 以此避免温度效应. 实验初始条件为充电电压 5.0 kV, 重复频率 16 kHz, 实测平均电流 0.3 A, 实验中始终维持输入电功率约为 1.5 kW, 结果如图 2 所示.



2 输入电功率恒定时激光功率与氦气压强的关系

Fig. 2 Laser power as a function of He pressure in constant input power

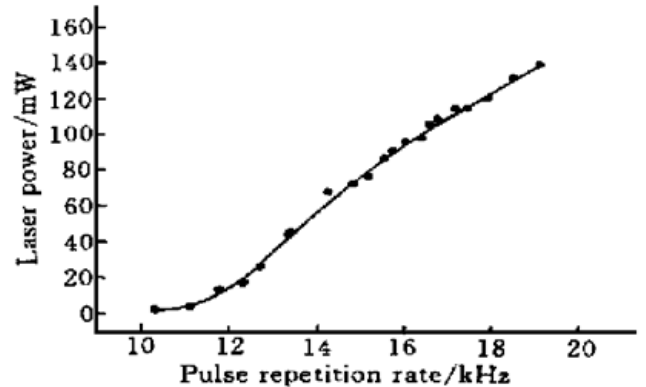


图 3 激光功率与脉冲重复率的关系

Fig. 3 Laser power as a function of pulse repetition frequency

由图 2 可知当缓冲气体压强约 7 kPa 时, 激光功率达到极大值. 气压较低时, 气体分子密度较低, 电子平均自由程较大, 在电场加速下电子平均能量过高, 有可能将钙离子二次电离, 产生过量的二价钙离子, 降低了一价钙离子激光效率; 气压较高时, 气体分子密度较高, 电子的平均自由程减小, 电子激发能量不够, 故而激光减弱.

在谐振充电情况下, 输入电功率与频率成正比, 调整频率即改变输入电功率, 得到钙离子激光的输出功率和脉冲重复频率的关系如图 3. 工作条件为充电电压 5.0 kV, 氦缓冲气体压强 10 kPa. 在 12~19 kHz 的频率变化范围内, 激光功率增长与频率提高近似呈线性关系, 为了避免激光放电管过热, 未作进一步提高频率的实验. 我们认为, 由于钙离子自终止激光器采用连续脉冲方式工作, 在每个电脉冲期间, 不仅要使钙离子抽运至激光上能级, 还需要将钙原子电离成为一价钙离子, 为下次的激励做好准备. 根据估算, 在我们采用的脉冲放电条件下, 一价钙离子和电子等离子体的复合时间常数大约是 60 μ s. 因此将脉冲重复率提高到超过 16 kHz, 也就是脉冲间隔短于 60 μ s, 对于钙离子激光是合适的.

在现有激光放电管和谐振腔镜片条件下, 当电压为 5.0 kV, 频率为 20 kHz, 氦气压为 7.0 kPa 时, 获得了最大平均功率 176 mW 的激光输出, 功率密度达到 4.5 mW/cm³, 就功率密度而言, 已经超过了迄今为止文献报道最大激光输出平均功率 0.775 W 时的功率密度 2.0 mW/cm³^[3], 关键在于其频率相对于后者提高了大约 3 倍.

参 考 文 献

- 1 W. T. Walter, N. Solimene, M. Piltch *et al.*. 6C3-efficient pulsed gas discharge lasers. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1966, **QE-2**(9): 474~ 479
- 2 T. W. Karras, A discharge-heated calcium vapor laser, in Proc. Int. Conf. on Lasers '81, McLean,

VA, USA: STS Press, 1982. 871~ 876

- 3 Jin Yongxing, Yao Zhixin, Pan Bailiang *et al.*. Experimental study of a Ca^+ recombination laser. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1997, **A24**(6): 486~ 488 (in Chinese)
- 4 Yao Zhixin, Pan Boliang, Qian Yujun *et al.*. A practical 10 W CuBr laser. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1996, **A23**(1): 11 (in Chinese)

Experimental Study on Calcium Ion Self-terminating Laser

Zhou Guoyao Yao Zhixin Pan Bailiang Li Shibin Chen Gang

(Physics Department of Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract A calcium ion self-terminating laser has been achieved with high-repetition-frequency by longitudinal discharge stimulation. The maximum average laser power of 176 mW is obtained. Some parameters are measured and the characteristics are discussed.

Key words calcium ion, self-terminating transition, laser