

文章编号: 0258-702X(2002)02-0110-03

卤化锶激光器的实验研究

姚志欣, 潘佰良, 陈 钢, 方本民, 陈 星

(浙江大学物理系, 浙江杭州 310027)

提要 采用卤化锶替代金属锶作为激光工作物质, 获得多组锶激光振荡, 包括波长 $6.45 \mu\text{m}$ 的锶原子自终止激光, 波长 $1.03/1.09 \mu\text{m}$ 的锶离子自终止激光和波长 $416.2/430.5 \text{ nm}$ 的锶离子复合激光。展望了卤化锶激光器的发展前景。

关键词 卤化锶, 金属蒸气, 激光

中图分类号 TN 248 文献标识码 A

Experiments on Strontium Halide Lasers

YAO Zhi-xin, PAN Bai-liang, CHEN Gang, FANG Ben-min, CHEN Xing

(Department of Physics, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract Strontium halide was substituted for metal strontium by way of lasing substance, a few of strontium laser oscillations have been obtained including strontium atom self-terminating lasing with wavelength $6.45 \mu\text{m}$, strontium ion self-terminating lasing with wavelength $1.03/1.09 \mu\text{m}$, and strontium ion recombination lasing with wavelength $416.2/430.5 \text{ nm}$. The developing foreground of strontium halide laser was prospected.

Key words strontium halide, metal vapor, laser

1 引 言

锶金属蒸气是一种具有多组激光谱线的工作物质, 在氩、氖等缓冲气体环境下, 通过高电压、大电流脉冲放电, 有可能获得一系列的脉冲激光振荡, 包括波长 $6.45 \mu\text{m}$ 的锶原子自终止激光, 波长 $1.03/1.09 \mu\text{m}$ 的锶离子自终止激光^[1]和波长 $416.2/430.5 \text{ nm}$ 的锶离子复合激光^[2]。其中特别受到关注的是锶离子复合激光, 不仅属于短缺的蓝紫波段, 具有较高的电光转换效率, 而且可以获得瓦级以上的激光平均功率^[3], 具有实用价值。

制约锶蒸气激光器进一步发展的关键是锶激光放电管短暂的运转寿命。到目前为止所有锶蒸气激光器均采用金属锶作为激光原材料, 存在着金属锶材料与激光放电管不相容的困难。置放金属锶的激光放电管无非是石英管或陶瓷管, 当采用石英放电

管时, 由于锶在热蒸气状态下会与石英管壁起激烈的化学反应, 夺取石英的主要成分二氧化硅中的氧, 不仅造成石英管壁的腐蚀, 而且造成锶块的损耗。澳大利亚 New England 大学的研究小组总结他们的实验结果时指出, 即使在低损耗的条件下, 稳定的激光运转周期也不过几天^[4], 这与我们 40 小时的实验结果一致^[2]; 当采用陶瓷放电管时, 英国 Oxford 大学的研究小组指出, 由于放电倾向于在锶块附近引发电弧, 造成锶蒸气密度分布极不均匀和强烈的局部过热, 导致陶瓷管破裂, 一般情况下每次置放锶块后典型的运转周期仅几个小时, 他们采用锶蒸气注入方式在避免陶瓷管破裂方面取得了一定的进展^[3]。

借鉴卤化铜替代金属铜作为铜激光器原材料的经验, 我们采用卤化锶替代金属锶作为锶激光器原材料取得了成功。获得了包括波长 $6.45 \mu\text{m}$ 的锶原子自终止激光, 波长 $1.03/1.09 \mu\text{m}$ 的锶离子自终止

收稿日期 2001-01-19; 收到修改稿日期 2001-03-08

基金项目 国家自然科学基金(批准号 69778009)资助项目。

作者简介 姚志欣(1943.1—), 男, 浙江大学物理系教授, 博士生导师, 主要从事金属蒸气激光研究。E-mail: yaozx@css.zju.

激光和波长 416.2/430.5 nm 的铯离子复合激光等多组铯激光振荡, 激光放电管已经累计运转数十小时没有损坏的迹象。

2 理论分析

卤化铜替代金属铜作为铜激光器原材料的主要目的是为了降低激光器的运转温度, 从 ~1600℃ 降低到 ~500℃。但是在卤化铯替代金属铯作为铯激光器原材料的情况下将颠倒过来, 从 ~600℃ 升高到 ~1000℃。单纯的石英放电管已经不能承受, 必须采用陶瓷放电管。根据文献 [5, 6] 在实验基础上给出的饱和蒸气压经验公式, 分别估算出三种卤化铯材料 (SrCl_2 , SrBr_2 和 SrI_2) 在确定饱和蒸气压时的相应温度, 如表 1 所示。为了做出比较, 在表 1 中同时还给出了根据经验公式 [7] 计算得到的相同饱和蒸气压下金属铯所要求的相应温度, 其所对应的 600 ~ 655℃ 是金属铯作为铯激光器原材料时正常运转的温度区间。

表 1 在确定饱和蒸气压下铯及其卤化物的相应温度

Table 1 Temperature of strontium and strontium halides corresponding to fixing saturated vapor pressure

Temperature /°C	Saturated vapor pressure /Pa		
	3.3	6.6	13.2
Working substance			
SrCl_2	1016	1055	1097
SrBr_2	1003	1042	1085
SrI_2	903	938	975
Sr	600	627	655

工作原理与卤化铜激光器是类同的。第一个放电脉冲分解金属卤化物分子, 得到金属粒子, 第二个放电脉冲激励分解后还没有来得及复合的金属粒子, 产生激光。在高重复率连续脉冲放电情况下, 每一个放电脉冲既用于分解金属卤化物分子, 又用于激励金属粒子, 产生激光。但差别还是有的, 关键在于铜激光器的实际工作物质是铜原子, 而铯离子复合激光器的实际工作物质是铯离子, 在高重复率连续脉冲放电情况下, 激励对象分别是前一次被放电脉冲分解后还没有来得及复合的金属原子, 或者是进一步电离后还没有来得及复合的一价金属离子, 鉴于金属离子与电子复合成金属原子的速率远快于金属原子与卤素原子复合成金属卤化物分子的速率, 又缺乏这方面的数据和经验, 所以实验中难以预测脉冲间隔的合理时间。采取的对策是完全仿效卤

化铜激光器的情况, 先采用卤化铯进行波长 6.45 μm 的铯原子自终止激光研究, 在此基础上再探索波长 1.03/1.09 μm 的铯离子自终止激光和波长 416.2/430.5 nm 的铯离子复合激光, 实践表明这样的技术路线十分有效, 我们曾经有 2 年多时间未能用卤化铯获取波长 416.2/430.5 nm 铯离子复合激光的经历, 而在用卤化铯同时实现了波长 6.45 μm 的铯原子自终止激光和波长 1.03/1.09 μm 的铯离子自终止激光几天之后, 就得到了波长 416.2 ~ 430.5 nm 的铯离子复合激光。

3 实验结果和讨论

激光放电管利用先前的隔环结构石英管作为外壳, 其内直径 4 cm, 电极间距 50 cm, 中间熔封 5 个厚 2 mm, 内孔直径 2 cm 的石英环 [8]。内直径 11.3 mm, 壁厚 2.5 mm, 长 46.5 cm 的刚玉管搁在石英环中, 在刚玉管外包裹了一薄层纯三氧化二铝纤维, 一则加强保温, 二则避免石英隔环与刚玉管在高温下发生烧结。石英管外再包裹厚约 2 cm 的纯三氧化二铝纤维, 主要为了保温。约 3 g 纯度 99% 的溴化铯粉末分 4 堆等间隔散布在刚玉管内, 通过放电自加热获得必要的溴化铯蒸气。

在探测波长 6.45 μm 的铯原子自终止激光实验中, 采用普通的谐振倍压电路 [1], 储能电容器容量 1.5 nF, 电源电压 4.85 kV, 脉冲重复频率 17.6 kHz, 缓冲气体氖气压强约 6.0 kPa, 缓慢流动或封闭。激光管窗片和激光输出耦合镜都是氟化镁晶片, 激光全反镜用的是镀金平面镜。最早出现的仅是波长 6.45 μm 的铯原子自终止激光, 随着激励条件的优化, 获得激光输出总的平均功率约 50 mW, 其中除了波长 6.45 μm 的铯原子自终止激光外, 同时还包含有波长 1.03/1.09 μm 的铯离子自终止激光成分, 用滤色片方法 [1] 确认所在实验条件下前者约占 70%, 后者约占 30%。

在探测波长 416.2/430.5 nm 的铯离子复合激光实验中, 采用非对称的 Blumlein 电路 [9], 储能电容器容量分别是 1.0 nF 和 0.5 nF, 电源电压 5.5 kV, 脉冲重复频率 10.7 kHz, 缓冲气体氖气压强约 24.0 kPa, 缓慢流动或封闭。激光管窗片仍然是氟化镁晶片, 激光反射镜是 5 m 曲率半径对中心波长 430.5 nm 全反射的多层介质膜镜片, 激光输出耦合镜是对中心波长 430.5 nm 透过率 13% 的多层介质膜平面镜。获得波长 416.2/430.5 nm 的紫色铯离子复合激光功

率约 8 mW。

实验过程中,我们发现:

(1) 温度有明显的效应。

铯激光器的性能与工作温度密切相关,只能在狭窄的温度区间运转^[4]。通常认为在温度过低时,铯的蒸发量不足,无法得到激光;而在温度过高时,蒸发的铯原子密度太大,致使电子的平均自由程过短,放电电子无法在电场中充分加速获得必要的能量,不足以电离铯原子和进一步激励铯离子。

类似的情况在卤化铯激光器中同样存在,由于各种放电参数,无论是放电电压、脉冲重复频率、缓冲气体压强,还是储能电容器容量、保温材料的性能等,都将通过温度效应产生显著的影响,所以将温度作为标志性参量,据此综合考虑各种放电参数对激光性能的影响是十分有效的。

(2) 材料中的杂质有显著影响。

我们开始采用纯度 95% 的氯化铯,实验中发现,在运转温度随放电时间而上升过程中,放电荧光并不如预期那样由氩气的特征桔色转变为铯蒸气的特征紫色,而是钠黄线的标志色,利用单色仪观察到波长 430.5 nm 的紫色荧光谱线较之钠黄线要微弱许多。假设杂质的主要成分是氯化钠,由于它的挥发性远强于氯化铯,根据经验公式^[7]计算其饱和蒸气压要高出 2~3 个数量级,在此情况下显然不可能实现铯激光。

(3) 氯化铯可能比溴化铯更有效。

SrBr₂ 作为铯激光原材料的实验虽然取得了成功,激光放电管没有明显的损坏,但是 SrBr₂ 的消耗很快,而在陶瓷放电管内只能放置很少 SrBr₂ 材料,多了要遮挡光路,又不如石英管那样,可方便地制作贮料的侧管或凹穴^[2],故一次装料只能维持约 10 h 的运转,持续时间太短。分析是 SrBr₂ 分解后仅有少量的复合,估计采用 SrCl₂ 后情况会有所改善,因为氯的亲势要高于溴。

4 结论和展望

在脉冲放电激励的铯蒸气激光器实验探索中,

我们采用溴化铯替代金属铯作为激光工作物质取得成功,不仅得到多组铯蒸气激光振荡,包括波长 6.45 μm 的铯原子自终止激光,波长 1.03/1.09 μm 的铯离子自终止激光和波长 416.2/430.5 nm 的铯离子复合激光,而且克服了金属铯材料与激光放电管不相容的困难。

要使卤化铯蒸气激光器具备实用价值还有许多工作要做,目前最重要的是解决卤化铯在陶瓷放电管中的贮放或者再生循环难题。如果可以贮放较多,那么可以采用流动式结构,让不断分解产生的卤素随同缓冲气体排除,如果实现再生循环,那么可以采用封离式结构,少量的卤化铯足以维持长时期的运转。

参 考 文 献

- 1 Chen Gang, Yao Zhixin, Pan Bailiang *et al.*. The simultaneous oscillation of atom lasing and ion lasing in strontium vapor [J]. *Acta Physica Sinica* (物理学报), 2001, **50**(7):1294 ~ 1297 (in Chinese)
- 2 Yao Zhixin, Pan Bailiang, Wang Junying *et al.*. Discharge excited Sr⁺ recombination laser [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1996, **A23**(7):600 ~ 602 (in Chinese)
- 3 D. G. Loveland, D. A. Orchard, A. F. Zerrouk *et al.*. Design of a 1.7 W stable long-lived strontium vapour laser [J]. *Meas. Sci. Technol.*, 1991, **2**(11):1083 ~ 1087
- 4 C. W. McLucas, A. I. McIntosh. Discharge heated longitudinal Sr⁺ recombination laser [J]. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1986, **19**(7):1189 ~ 1195
- 5 I. I. Naryshkin, B. I. Glazov, B. M. Halazov. Measurement of the saturated vapor pressure of strontium chloride [J]. *Zh. Prikl. Khim.*, 1968, **41**(6):1329 ~ 1332 (in Russia)
- 6 D. T. Peterson, J. F. Hutchison. Vapor pressures of liquid alkaline earth bromides and iodides [J]. *J. Chemical and Engineering Data*, 1970, **15**(2):320 ~ 323
- 7 C. J. Smithells. *Metals Reference Book* [M]. 5-th Edition. London & Boston: Butterworths, 1976. 231 ~ 233
- 8 Yao Zhixin, Pan Bailiang, Qian Yujun *et al.*. A practical 10 W CuBr laser [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1996, **A23**(1):11 ~ 12 (in Chinese)
- 9 Yao Zhixin, Pan Bailiang, Jin Yongxing *et al.*. The effect of the non-symmetrical Blumlein circuit on Sr⁺ recombination laser [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1997, **A24**(1):25 ~ 26 (in Chinese)