

铯蒸气中原子激光与离子激光的同时振荡^{*}

陈 钢 姚志欣 潘佰良 方本民 陈 坤

(浙江大学物理系 杭州 310027)

(2000 年 12 月 17 日收到)

通过铯蒸气中的高频脉冲放电,实现了铯原子 $6.45\ \mu\text{m}$ 自终止跃迁激光和铯离子 $1.03\ \mu\text{m}/1.09\ \mu\text{m}$ 自终止跃迁激光的同时振荡.其中 $6.45\ \mu\text{m}$ 激光最大激光平均功率为 273 mW.在对比实验的基础上分析和讨论了主要工作参数对这两组激光输出影响的差异.

关键词:铯蒸气激光,自终止跃迁

PACC:4255H, 4260D, 4260H

1 引 言

铯蒸气是一种具有多重激光谱线的工作物质,将高电压、大电流、高重复率放电激励脉冲通过氢、氖等缓冲气体环境下的铯蒸气时,就有可能实现多重激光振荡.我们以前的实验曾经利用一价铯离子作为激光工作物质,同时获得了碰撞辐射复合类型(波长为 $416.2\ \text{nm}/430.5\ \text{nm}$)和自终止跃迁类型(波长为 $1.03\ \mu\text{m}/1.09\ \mu\text{m}$)两组不同机理、不同波长激光的交替振荡^[1].

1966 年, Walter 等人关于以铜蒸气激光器为代表的自终止跃迁激光系统的经典论述中,就曾经预言有铯离子的 $1.03\ \mu\text{m}/1.09\ \mu\text{m}$ 激光谱线,与此同时还预言了铯原子的 $6.45\ \mu\text{m}$ 激光谱线^[2].1968 年,这两组自终止跃迁激光都得到证实^[3].由于 $6.45\ \mu\text{m}$ 谱线恰好位于水分子的一个吸收带中,因此曾设想将运转于该谱线的铯蒸气激光器用于大气湿度监测而引起关注.1978 年,前苏联就曾以此报道过 $6.45\ \mu\text{m}$ 激光为主,同时包括 $6.45\ \mu\text{m}$ 和 $1.03\ \mu\text{m}/1.09\ \mu\text{m}$ 等多重激光谱线的脉冲铯蒸气激光器,在最大激光平均功率 1.2 W 中, $6.45\ \mu\text{m}$ 谱线的激光份额约占 75%^[4].据我们所知,该 0.9 W 激光功率也是迄今为止的最高数值.本文报道的实验探索,同样证实了虽然是相同的自终止跃迁激光机理,但却是利用不同激光工作物质(铯原子和一价铯离子)中这两组不同波长激光共存和相互竞争的现象.

2 实验布置

实验布置类同文献[1],为同时实现包括 $6.45\ \mu\text{m}$ 波长在内的多重激光振荡,谐振腔作了适当的改动.因为玻璃或石英材料对 $6.45\ \mu\text{m}$ 波长的谱线几乎完全吸收,故放电管的两端通光窗口均采用约 1 mm 厚的 MgF_2 晶片,该晶片在 $6.45\ \mu\text{m}$ 波长处仍有约 95% 的透过率,为所研究的多重谱线获得激光振荡提供了必要的保证.谐振腔的全反镜是镀银的宽谱平面镜,输出耦合镜同样是上述 MgF_2 晶片.为了分辨出不同波长各组激光的功率份额,实验中用到两块滤波片,其中 1 号片是市售的 YAG 激光用多层介质膜半透片,基底用 3mm 厚 K9 玻璃,对中心波长 $1.06\ \mu\text{m}$ 的透过率标定为 50%,透过带宽为 $\pm 0.04\ \mu\text{m}$,恰好完全覆盖了所研究的 $1.03\ \mu\text{m}/1.09\ \mu\text{m}$ 波段.2 号片是 4 mm 厚的熔融石英片,其对波长从 0.4 到 $3.5\ \mu\text{m}$ 范围内的透过率均取作 92%.

由于研究中的铯原子 $6.45\ \mu\text{m}$ 波长激光和铯离子 $1.03\ \mu\text{m}/1.09\ \mu\text{m}$ 波长激光均属于自终止跃迁类型激光,不包含碰撞辐射复合跃迁类型,所以没有采用 Blumlein 电路,而是原先的简单谐振充电回路^[5],储能电容器的容量为 1000pF.

3 实验结果及分析

文献[4]报道的脉冲铯蒸气激光器的多重激光

^{*} 国家自然科学基金(批准号:19974037 和 10004008)资助的课题.

谱线中,除了上述的 $6.45\text{ }\mu\text{m}$ 和 $1.03\text{ }\mu\text{m}/1.09\text{ }\mu\text{m}$ 这两组激光谱线外,还有一组 $3\text{ }\mu\text{m}$ 附近的激光谱线,在我们的实验中不仅得到证实,而且有了新的发现,已经另行报道^[6].

激光的鉴别主要利用中国科学院上海光学精密机械研究所的红外频率上转换测试板(适用于 $0.85\text{--}1.55\text{ }\mu\text{m}$),当激光输出中包含 $1.03\text{ }\mu\text{m}/1.09\text{ }\mu\text{m}$ 成分时,在测试板上将显示明显的红色光斑,后移测试板如果确认其发散角很小,可以证明为激光无疑.它的激光功率可通过 1 号片测量,届时其他成分被 K9 基底完全吸收, 4 mm 厚的石英片只完全吸收 $6.45\text{ }\mu\text{m}$ 波长成分,用功率计测出遮挡石英片前后的功率差,扣除其他成分激光 92% 的透过量,不难确定 $6.45\text{ }\mu\text{m}$ 波长激光份额. $3\text{ }\mu\text{m}$ 附近激光的鉴别,用的是 WDG30 红外平面光栅单色仪^[6].

实验开始采用氦气作为缓冲气体,调整到最佳工作条件时,氦压约为 5.2 kPa ,电源电压为 4.6 kV ,脉冲重复频率为 14.8 kHz ,边界温度控制在 $130\text{ }^\circ\text{C}$. 在此工作参数下得到激光输出总功率最高达 110 mW ,没有观察到 $3\text{ }\mu\text{m}$ 附近的激光成分.分别采用 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 滤波片和石英滤波片,所确认 $1.03\text{ }\mu\text{m}/1.09\text{ }\mu\text{m}$ 谱线的功率占总功率的份额同样都是 80% 左右.

实验继而采用氦气替换氦气作为缓冲气体,调整到最佳工作条件时,氦压约为 7.6 kPa ,电源电压为 4.8 kV ,脉冲重复频率为 18.6 kHz ,边界温度控制在 $117\text{ }^\circ\text{C}$.在此工作参数下得到激光输出总功率最高达 273 mW .用红外平面光栅单色仪可以确认 $3\text{ }\mu\text{m}$ 附近激光成分的存在,在总的激光平均功率 $180\text{--}210\text{ mW}$ 范围内,多次直接测量总的激光平均功率和分别通过上述两块滤波片后的激光平均功率三种情况后,求解联立方程组确定 $6.45\text{ }\mu\text{m}$, $1.03\text{ }\mu\text{m}/1.09\text{ }\mu\text{m}$ 和 $3\text{ }\mu\text{m}$ 附近这三组激光功率在总功率中所占的份额分别约为 65%, 30% 和 5%. 以上实验表明,缓冲气体的种类对镱蒸气激光有大的影响,文献 4 亦有氦气替换氦气作为缓冲气体导致功率减半的说法.

分别测量并给出了激光输出总的平均功率 P_t , $1.03\text{ }\mu\text{m}/1.09\text{ }\mu\text{m}$ 激光分功率 P_i 与电源电压、脉冲重复频率关系的实验曲线,同时给出了 $1.03\text{ }\mu\text{m}/1.09\text{ }\mu\text{m}$ 激光成分所占份额的相应变化,如图 1 至图 4 所示.

图 1 和图 3 是实验测量结果,图 2 和图 4 则分

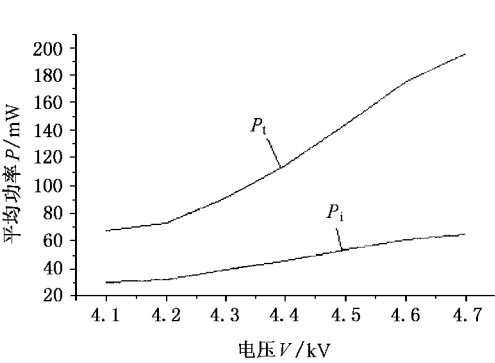


图 1 激光总功率 P_t 、分功率 P_i 与电源电压的关系

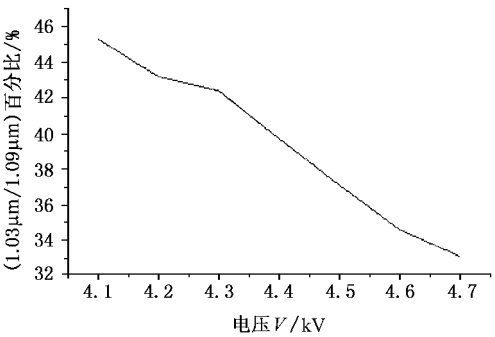


图 2 $1.03\text{ }\mu\text{m}/1.09\text{ }\mu\text{m}$ 激光所占份额与电源电压的关系

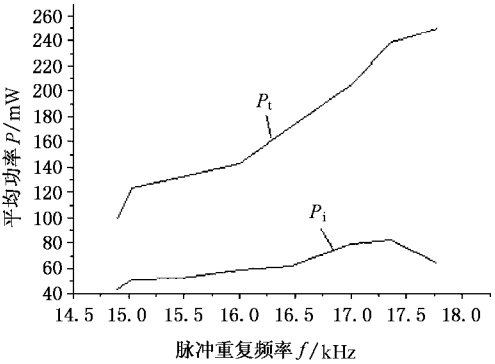


图 3 激光总功率 P_t 、分功率 P_i 与重复频率的关系

别根据图 1 和图 3 作数值拟合.从图 1 和图 3 可以看出,无论是电源电压的升高,还是脉冲重复频率的增大,结果都会使总的激光输出功率增大.显然来自于输入电功率的提高,在储能电容器容量不变的情况下,输入电功率正比于电源电压的平方和脉冲重复频率的乘积.

从图 2 和图 4 可以看出,随着电压或频率的升高, $1.03\text{ }\mu\text{m}/1.09\text{ }\mu\text{m}$ 激光的份额在不断下降,或者说 $6.45\text{ }\mu\text{m}$ 激光的份额在持续增长.因为 $6.45\text{ }\mu\text{m}$ 激

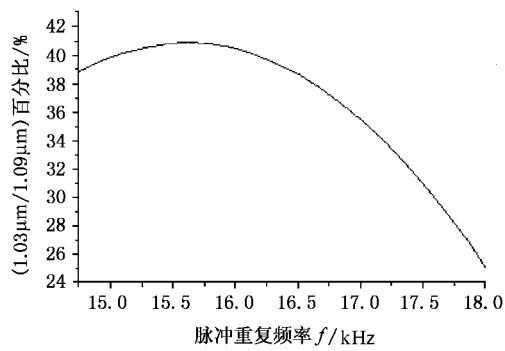


图 4 1.03 μm / 1.09 μm 激光所占份额与重复频率的关系

光属于铯的原子谱线,它的激光上能级较之铯原子基态高约 2.7 eV,而 1.03 μm / 1.09 μm 激光属于铯的离子谱线,它的激光上能级较之铯离子基态高约 3.0 eV,还没有算及铯原子的电离电位 5.7 eV.对 Walter 等人确立的自终止跃迁激光系统,最重要的是对激光上能级的共振激励,所以如果激励期间电子平均能量降低,就铯离子自终止激光与铯原子自终止激光而言,将有利于后者.在我们以放电自加热为主的实验布置下,伴随着电源电压的升高或脉冲重复频率的增大,也就是输入电功率的增大,激光器的运转温度随之上升,导致蒸气中铯原子密度增加,其与温度升高呈指数增长规律,在激励过程中电子

的平均自由程将因此而急剧下降,电子从电场获取能量减少,电子平均能量因此而降低.

比较图 1 和图 3,或者图 2 和图 4,都可以发现离子激光份额相对减少的程度不同,频率增大的作用较之电压升高的影响更大一些.如果考虑到它们除了都导致温度升高、电子平均自由程降低之外,当电压升高时,电子能量却可以由于电场强度的增高而得到部分补偿时,这种差异也在意料之中.

4 结 论

脉冲放电激励的高重复率金属蒸气激光器件中,原子蒸气和离子蒸气是两种不同的激光介质.一般情况下,两者的激励条件虽然不同,但却密切相关,有可能同时兼顾.本文实现了铯原子 6.45 μm 波长和铯离子 1.03 μm / 1.09 μm 波长自终止激光的同时振荡.

本文的实验还表明,对自终止跃迁类型的铯蒸气激光器,氦气作为缓冲气体优于氖气,得到的最大激光输出平均功率分别达到 273 和 110 mW.随着输入电功率的增大,原子激光的份额随之增加,在总的激光输出平均功率 180—210 mW 范围内,6.45 μm 波长原子激光的份额约占 65%.

[1] B.M.Fang *et al.*, *Acta Physica Sinica*, **49**(2000),1652(in Chinese) [方本民等,物理学报 **49**(2000),1652].

[2] W.T.Walter *et al.*, *IEEE J. Quant. Electron.*, **2**(1966) A74.

[3] J.S.Deech *et al.*, *IEEE J. Quant. Electron.*, **4**(1968) A74.

[4] A.V.Platonov *et al.*, *Sov. J. Quant. Electron.*, **8**(1978),120.

[5] Z.X.Yao *et al.*, *Chinese J. Lasers*, **A23**(1996),11(in Chinese) [姚志欣等,中国激光 **A23**(1996),11].

[6] Z.X.Yao *et al.*, *Acta Physica Sinica*, **50**(2001),1070(in Chinese) [姚志欣等,物理学报 **50**(2001),1070].

SIMULTANEOUS OSCILLATION OF ATOM LASING AND ION LASING IN STRONTIUM VAPOR^{*}

CHEN GANG YAO ZHI-XIN PAN BAI-LIANG FANG BEN-MIN CHEN KUN

(*Department of Physics , Zhejiang University , Hangzhou 310027 , China*)

(Received 17 December 2000)

ABSTRACT

Simultaneous oscillation of self-terminating lasing in strontium atoms ($6.45\mu\text{m}$) and ions ($1.03\mu\text{m}/1.09\mu\text{m}$) was obtained by high-repetition-rate pulsed discharge. The maximum average output power reaches 273mW. The effects on laser output characteristics versus main working parameters were analyzed and discussed on the basis of comparison of experiments.

Keywords : strontium vapor laser , self-terminating transition

PACC : 4255H , 4260D , 4260H

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 19974037 and 10004008).