

缓冲气体流动的 Cu/CuCl 蒸气激光器

汪永江 孙威 姚志欣 石宝驹

(浙江大学)

提要: 本文报导了几种以氯化亚铜为工作物质的铜蒸气激光器, 在放电管中有缓冲气体流动。采用了两种高重复率脉冲电路: (1) 储能电容器直接对激光管放电; (2) 储能电容器通过脉冲变压器放电作输出耦合。直径 2.5 厘米、电极间距 50 厘米的一支激光管输出最大平均功率 2.4 瓦, 脉冲功率 29 千瓦。直径 1.1 厘米、电极间距 30 厘米的一支激光管输出最大平均功率 1 瓦, 脉冲功率 5 千瓦, 输出功率为 0.5 瓦左右时, 累积使用时间估计有 100 小时。

Cu/CuCl vapor lasers with flowing buffer gas

Wang Yongjiang Sun Wei Yao Zhixing Shi Baoju

(Zhejiang University)

Abstract: Some types of copper vapor lasers using copper chloride as a lasant and flowing neon as buffer gas are reported. Two kinds of high repetition pulsed electric circuits have been used with an energy storage capacitor discharging: (1) directly through a laser tube, (2) through a pulsed transformer for output coupling. The maximum output power of a laser tube of 2.5 cm in diameter and electrode separation of 50 cm is 2.4W and the peak power 29 KW. The maximum output power of a laser tube of 1.1 cm diameter and electrode separation of 30 cm is 1 W, and the peak power 5 KW, and it operates at an average power of 0.5 W for an accumulative period of about 100 hrs.

一、引言

最近铜蒸气激光技术的进展^[1~5]表明铜蒸气激光器是一种增益较大、较有效的中等功率的可见光激光器。用金属铜得到铜蒸气需要 1500°C 左右的工作温度^[1], 激光器制造较复杂。因此, 改用铜的卤化物^[6,7]代替铜, 工作温度降至 400~500°C 就可以获得激光。由于存在一些不可逆过程, 使密封式卤化铜

激光器中工作条件不断恶化, 输出功率不断下降, 限制了激光器的寿命, 文献报导的最长实际寿命不过 100 小时左右^[8]。本文以氯化亚铜为工作物质, 放电管内通以流动的氖气。它除了起到缓冲气体的作用外, 还可以带走一些反应中不可逆的产物, 如氯气等。可以减轻对布氏窗片的污染, 并且有助于铜原子在放电区的均匀化。我们采用管外电炉加热

收稿日期: 1981年3月9日。

* 周一江、陈巧玲同志参加了部分工作。

和放电自加热两种加热方式, 进行了一系列实验, 获得了一些结果。

二、实验装置

我们所用的放电管如图 1 所示。这些管子由石英玻璃制成, 阴极和阳极各为直径 5 毫米的钨棒和钨棒, 棒与钼片点焊连接, 钼片与石英玻璃间采用气泡封接。这种电极经过长时间运行, 无明显的损坏。图 1(a) 所示的放电管电极间距为 50 厘米, 内径 2.5 厘米。放电管置于保温器 H 中, 温度维持在 400°C 左右, 当激光器正常工作以后, 保温器 H 中的电炉可以关闭。缓冲气体氩从 GI 入口, 徐徐流过放电区, 由 GO 出口。氩气压强为 $10\sim 50$ 托, 其流动装置如图 2 所示。因为氩是流动的, 其纯度要求不高, 工业纯就可以使用, 放电管的清洁、除气等处理要求也并不严格。流量一般取 0.5 毫克·秒 $^{-1}$ 。每小时消耗氩 1.8 克, 折合为标准状态约 2 升。图 1(b) 中的放电管电极间距 30 厘米, 管内径 1.1 厘米, 它采用放电自加热。这种加热方式导致沿放电区有温度梯度, 靠近阴极部分的温度比阳极部分约高 150°C 左右。图 1(c) 的放电管外面包裹着一层真空保温套, 套由石英玻璃制成, 抽成 10^{-6} 托的真空度。CuCl 放在放电管外的夹层里, 放电管管壁上有小孔与夹层连通, 它完全靠放电自加热使 CuCl 蒸发。我们观察到, 用了保温套, 沿放电管的温度较均匀, 在同样的电源功率下, 管温较高, 保温的效果较好。但是, 也存在一个问题, 即这种放电管的温度较难控制。

我们用平凹谐振腔, 凹面镜的曲率半径为 5 米, 镀上高反介质膜, 对 5106 \AA 的反射率大于 99%。图 1(a) 的输出腔片为一块不镀膜的平面镜, 对 5106 \AA 的反射率为 9%。图 1(b) 的输出腔片为一块镀膜平面镜, 对 5106 \AA 的反射率为 20%。

铜蒸气激光器在脉冲电路中工作, 采用

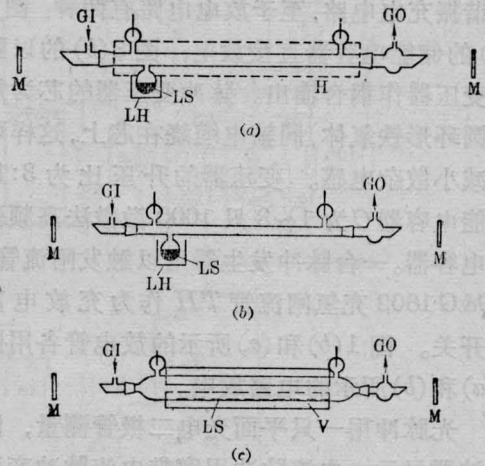


图 1 三种不同型式的铜蒸气激光器

M —腔片; GI —缓冲气体入口; GO —缓冲气体出口; H —保温器; LS —工作物质 CuCl ; LH —工作物质加热器; V —真空套

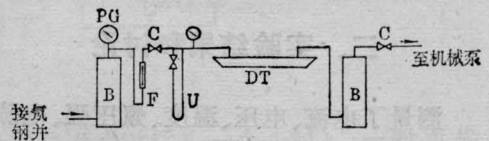
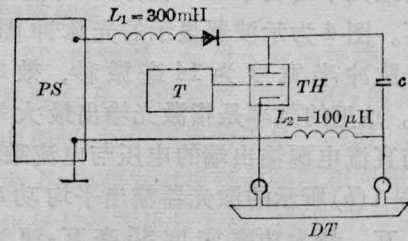
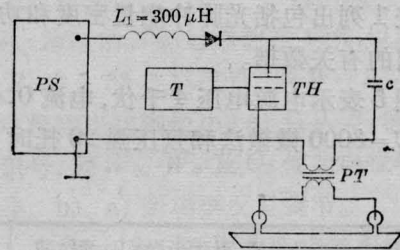


图 2 氩气流动装置

PG —压强计; C —控制阀; F —流量计; B —储气瓶; DT —放电管; U —U 形压强计



(a) 谐振充电, 电容器直接放电



(b) 谐振充电, 脉冲变压器耦合输出

图 3

PS —直流电源; L_1 、 L_2 —自感线圈 $L_1 \gg L_2$; TH —充氩闸流管 EG&G1802; T —脉冲发生器; C —储能电容器; PT —脉冲变压器; DT —放电管

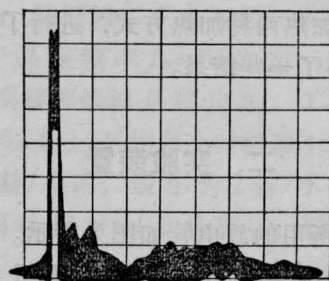
了谐振充电电路,至于放电电路有两种:图3(a)的储能电容器直接放电;图3(b)的以脉冲变压器作耦合输出。脉冲变压器的芯为片状圆环形铁氧体,同轴电缆绕在芯上,这样可以减小散杂电感。变压器的升压比为3:1,储能电容器 C 为1~3只1000微微法高频瓷介电容器。一台脉冲发生器用以触发闸流管。EG&G 1802 充氢闸流管 TH 作为充放电高速开关。图1(b)和(a)所示的放电管各用图3(a)和(b)所示的电路放电。

光脉冲用一只平面光电二极管测量,由示波器显示。电流脉冲用宽带电流脉冲变压器探测。充电电流及直流电压直接从直流电源的表上读出。

三、实验结果和讨论

测量了电流、电压、温度、氖压强、电脉冲延迟时间对激光性能的影响。在电脉冲重复率为6千赫时,用图1(a)所示的激光器获得输出最大平均功率2.4瓦,光脉冲能量0.4毫焦耳。图4为示波器显示的光脉冲图象,读出光脉冲半宽度为14毫微秒,效率为0.2%。这里的效率是指激光输出最大平均功率与直流电源输出端的电压与电流乘积之比。图1(b)所示的激光器输出平均功率最大为1瓦,最大功率密度35毫瓦·厘米⁻³。光脉冲半宽度为20毫微秒,脉冲功率5千瓦。表1列出包括光脉冲能量密度和功率密度在内的有关数据。

图5表示电源电压4千伏,电流0.4安,电容 $C=3000$ 微微法和氖压强20托时光脉



50 毫微秒

图4 示波器上显示的光脉冲

冲能量密度与脉冲延迟时间的关系。从曲线读出最佳脉冲延迟时间为90微秒,相当于脉冲重复率11千赫,最小延迟时间75微秒,最大延迟时间130微秒。

双脉冲放电的CuCl激光器中,第一个脉冲主要是离解CuCl,第二个脉冲激励基态Cu原子产生粒子数反转^[6]。在连续放电的情况下,已不可能孤立地把每个脉冲的作用分开,它们都起着离解和抽运的双重作用。脉冲延迟时间太长,已离解的Cu和Cl会复合;延迟时间太短,Cu的亚稳能级来不及倒空,不能建立足够的粒子数反转,所以,图5的曲线出现了一个适中的最佳延迟时间。

$C=3,000$ 微微法,脉冲重复率11千赫,电源电压从3变到5千瓦的过程中,光功率与电源电压和电流的关系如图6(a)所示。从这条曲线得到的光脉冲能量密度与电脉冲能量密度的关系如图6(b)所示。从图6(b)可见,激光脉冲能量密度随电脉冲能量密度增加达到一个极大值,而后渐趋减小。这一关系类似于光脉冲能量密度与铜原子密度的关

表 1

电极间距 (厘米)	激光最大 平均功率 (瓦)	最大平均 功率密度 (毫瓦·厘米 ⁻³)	光脉冲 能量 (毫焦耳)	脉冲半 宽度 (毫微秒)	脉冲 重复率 (赫)	脉冲功率 (千瓦)	光脉冲能量 密度 (微焦耳·厘米 ⁻³)	脉冲最大 功率密度 (千瓦·厘米 ⁻³)	效率 %
50	2.4	9.8	0.4	14	6	29	1.6	0.12	0.2
30	1	35	0.1	20	10	5	3.5	0.18	0.1

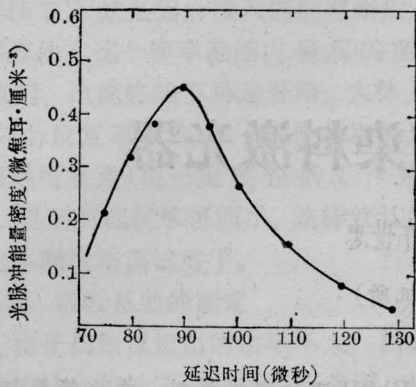
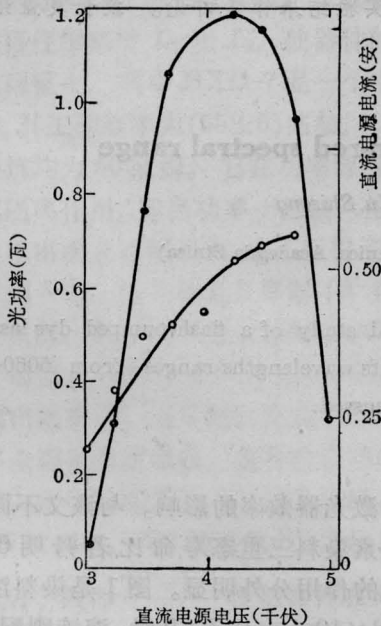
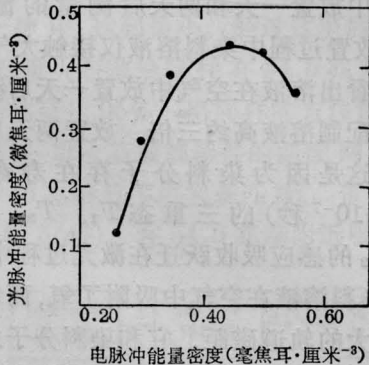


图5 光脉冲能量密度与脉冲延迟时间的关系



(a) 激光功率和电源电压与电流间的关系



(b) 光脉冲能量密度与电脉冲能量密度的关系

图 6

系^[9]。在电脉冲能量密度较小的情况下,不足以供应足够的铜原子,所以,光脉冲能量密度

较小,随着电脉冲能量密度的增加,超过CuCl分子离解能3.8电子伏特^[10]的电子增多,离解愈益频繁,铜原子密度迅速增加,光脉冲能量也随着变大。但是,当铜原子密度超过一定值之后,电子温度、进而激光抽运率都随铜原子密度的增加而下降^[9]。再者,测量^[12]表明,铜原子密度的增加,使下能级的衰减率变慢,影响了亚稳态的消激发。这些因素可能部分地决定着电脉冲能量密度较大时,光脉冲能量密度减小。铜原子密度增加导致光功率减弱这一事实是铜的卤化物和纯金属激光器向大功率发展的障碍之一。在放电稳定的情况下,内径2.5厘米的放电管内光束体积约占管体积的1/4。而内径1.1厘米的放电管,光束体积约略地就等于管体积,所以,直径1.1厘米放电管的光能量密度较直径2.5厘米的管子为高。

最后,要向对我们工作给予支持和指导的美国加州理工学院陈哲人博士表示感谢。

参 考 文 献

- [1] W. T. Walter, N. Solimene; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1966, **QE-2**, 474.
- [2] A. A. Isaev *et al.*; *JETP Lett.*, 1972, **16**, 27.
- [3] A. A. Isaev, G. Lemmerman; *Sov. J. Quant. Electr.*, 1977, **7**, 799.
- [4] N. M. Nerheim *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1978, **QE-14**, 686.
- [5] Che Jen Chen *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **33**, No. 2, 146.
- [6] C. J. Chen *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1973, **23**, 514.
- [7] C. J. Chen, G. R. Russell; *Appl. Phys. Lett.*, 1975, **26**, 504.
- [8] C. S. Liu, D. W. Feldman; "Digest of Technical Papers", International Conference on Lasers, Shanghai 1980, 62.
- [9] R. S. Hargrove *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1979, **QE-15**, 1228.
- [10] American Institute of Physics Handbook, 3rd edition 1972, 7.
- [11] G. R. Russell *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1972, **12**, 565.
- [12] B. G. Bricks *et al.*; *Bull. Amer. Phys. Soc.*, 1978, **23**, 153.