

Cu-Ne-HBr 激光器的特性与工作参量

雷建求 梁培辉 沈琪敏 季 鹰 叶 韧 任 虹

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

提要 通过改变气压、脉冲重复频率以及注入电功率等参量,探讨了 Cu-Ne-HBr 激光器的工作特性,测量了一些参量之间的关系,并对此进行了讨论。分析了 HBr 气体在 Cu-Ne-HBr 激光器中的作用。实验得出在充电电压较低(<2 kV)的条件下,器件工作的最佳参量为:混合气压比约 15:1(Ne:HBr),最佳脉冲重复频率 20kHz,最佳混合气压 2.66 kPa 左右。

关键词 Cu-Ne-HBr 激光器,工作参量,运转特性

1 引 言

在铜激光器和溴化铜激光器的基础上加入流动的 HBr 气体,形成 Cu-Ne-HBr 激光器^[1],其特点是工作温度较低(400~600 °C)、开启时间短,且可获得单台高功率、高重复率(15~30 kHz)的铜激光输出,其激光工作方式基本上与纯铜激光器类似,但其激光机理类似于卤化铜激光器^[2]。这样的器件在铜激光的应用中将体现出很大的优越性,给同位素分离、激光医疗、激光加工及激光表演等方面提供了高重复频率光源和快速启动器件。

英国 St Andrews 大学的 C. E. Little 研究小组在这方面工作开展得较早,1989 年他们首次报道了流动的卤素与纯铜在放电加热中反应而形成卤化铜激光器,并获得 18~22 W 激光的输出^[3],继而在 1993 年获得开启时间为 15 min、输出激光功率为 149 W 的 Cu-Ne-HBr 激光器^[1]。1993 年我们初步实验成功 Cu-Ne-HBr 激光运转,最高输出功率接近 10 W^[4],本文在此基础上,对各工作参量进行了测量,并对其工作特性作简单的讨论。

2 实验装置

实验用的 Cu-Ne-HBr 激光器建立在纯铜激光器及溴化铜激光器的基础上,对原有的器件加以改造而成。激光管结构如图 1 所示,它由双层石英玻璃管构成,夹层之间抽成真空,以保证有良好的热绝缘以减少自加热的消耗,内管呈分段的凹槽状,其内、外径分别为 20 mm、25 mm,作为主要激活介质的纯铜分成薄片状均匀地放入凹槽中,凸的部分限制放电沟道,以使放电稳定,激活区域由石英管的内径及管的长度决定。管的两端制作成布儒斯特角,窗口由两片未经镀膜的石英平板玻璃封接,两电极之间距离为 550 mm。

为进一步了解 Cu-Ne-HBr 激光器工作特性以便研制出实用化的器件,我们采用图 2 所示的实验装置对器件一些工作参量之间的关系以及输出光波形进行了测量。实验采用平凹腔结

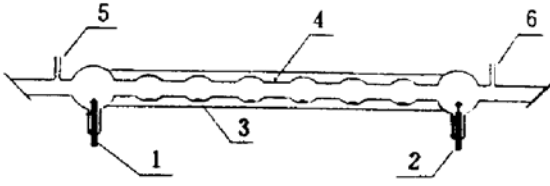


Fig. 1 Schematic of the discharge tube
of a Cu-Ne-HBr laser

1: anode; 2: cathode; 3: copper;
4: vacuum; 5: gas inlet; 6: gas outlet

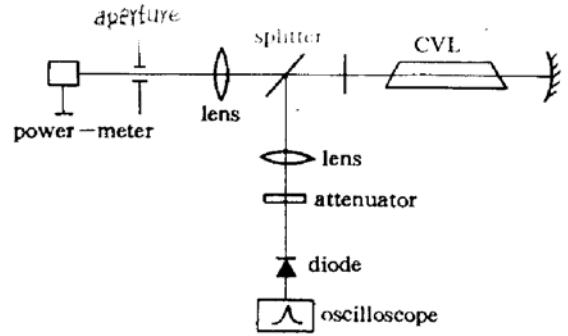


Fig. 2 Experimental setup used in the study
of the Cu-Ne-HBr laser

构,凹面镜曲率半径为 586 mm,其反射面对黄绿光镀全反射膜,另一腔镜为未镀膜的平板镜,谐振腔长 1600 mm,激光功率通过 SD5490 型功率计测量,脉冲激光波形由快速响应光电二极管及示波器进行记录和观测,工作气体为 Ne、HBr,混合气压比为 15:1,其流量及放电管中气压通过两个精密微调气阀来调节。

3 实验结果及讨论

3.1 气压对激光器工作的影响

固定激光器充电电压 1.9kV,脉冲重复频率 20kHz,充电回路中储能电容 2nF,锐化电容 1nF。实验得到激光输出功率随 Ne-HBr 混合气压变化曲线如图 3 所示,当混合气压由 931 Pa 升至 1995 Pa 时,激光器输出功率线性地增长,混合气压继续升高至 2.66 kPa 时,输出激光功率达到最大值,而后随着混合气压的继续升高,激光功率慢慢下降。通过实验观察,在混合气压升高过程中,激光的出现首先是绿光,而后黄光慢慢产生并不断变强,当混合气压上升到约 4.65 kPa 时绿光消失,放电不稳且放电区域收缩,尔后激光振荡终止。对所得实验结果,我们可以借鉴 CuBr 激光机理来加以讨论:Cu-Ne-HBr 激光器的激活介质铜原子通过 HBr 与 Cu 块发生化学反应而获得,因此具有低温工作特性。当放电管内混合气压较低时,放电管内 HBr 量减少,导致铜原子密度的降低,因此难以形成激光输出,随着混合气压的升高,放电管内 HBr 的量增加,铜原子密度亦上升,激光开始出现并不断地得到加强。我们知道在 CuBr 激光器加入 H₂ 可较大幅度地提高激光输出功率,而且最佳氢气压与充电电压相关^[5],同样在 Cu-Ne-HBr 中,在混合气压增加的同时,不仅铜原子数目增加,放电管中 H₂ 的分压也不断上升,最后达到最佳点,从而激光输出功率最大。当混合气压继续升高时,H 的最佳值被打破,激光管中 Br 的浓度亦增大(Br 原子具有强烈的氧化性),导致激光管的放电不稳、放电区域收缩以至激光振荡终止^[3,5,7]。

3.2 充电电压对激光器工作的影响

为了保护激光管以及确保实验稳定重复进行,本实验中激光器的注入电功率保持在 1 kW 以下,当混合气体气压为 2.33 kPa,脉冲重复频率为 20kHz,储能电容及锐化电容容量分别为 2nF、1nF,逐渐增加充电电压,结果得到图 4 所示的输出激光功率与充电电压之间的关系曲线,可见激光输出功率随充电电压的增加几乎线性上升,当充电电压由 1.65 kV 增长到 1.9 kV 时,输出激光功率从 0.04 W 升至 1.24 W,在实验限制的注入电功率条件下无饱和趋势。

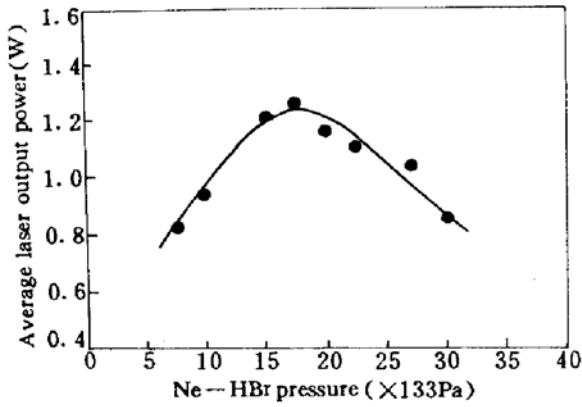


Fig. 3 The dependence of average laser output power on Ne-HBr pressure; p. r. f. 20 kHz, voltage 1.9 kV

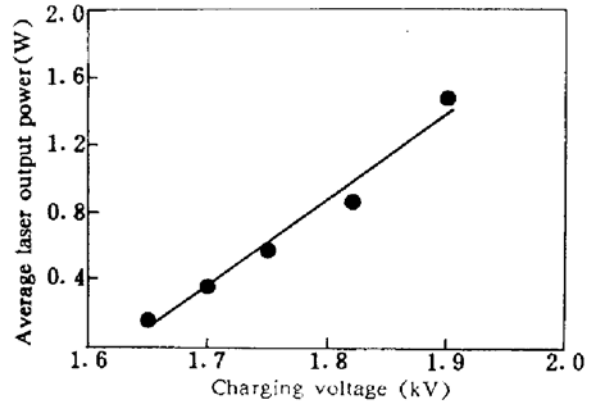


Fig. 4 Average laser output power versus charging voltage; p. r. f. 20 kHz, Ne-HBr pressure 2.33 kPa

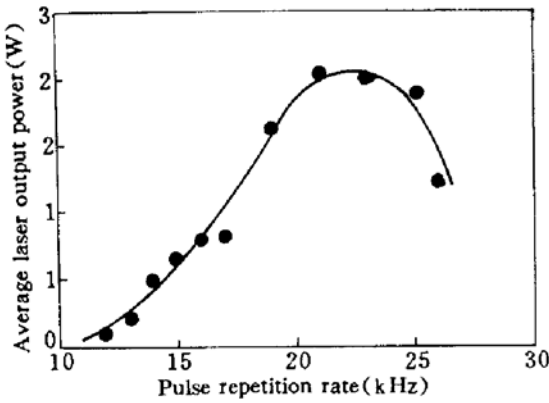


Fig. 5 Average laser output power as a function of p. r. f.; voltage 2.0 kV, Ne-HBr pressure 2.66 kPa

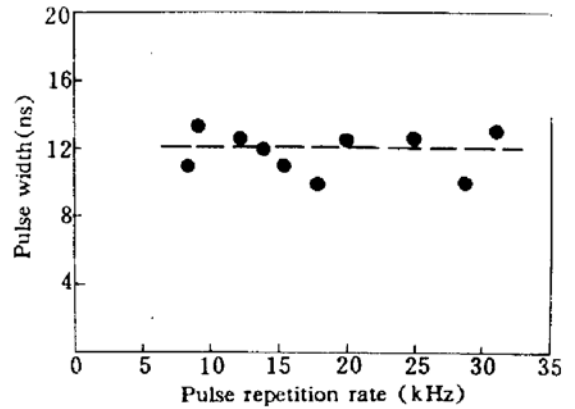


Fig. 6 Dependence of pulse width on pulse repetition rate; Ne-HBr pressure 2.13 kPa, voltage 1.87 kV

3.3 重复频率对激光器工作的影响

实验得到激光输出功率随脉冲重复频率变化的关系如图 5 所示,实验中充电电压固定在 2.0 kV,混合气体气压 2.66 kPa,储能电容 2nF,锐化电容 1nF,操作上当每次改变频率记录激光功率后迅速将频率调节至原位置,以防放电管温度发生变化。图中看到重复频率由 12 kHz 增加到 21 kHz,输出激光功率接近线性增长,当频率从 21 kHz 继续增加至 24 kHz 过程中,激光输出功率保持最佳。实验中还观察到重复频率的改变导致激光脉冲多峰结构上的变化以及输出激光中黄绿光成分比的变化,同时器件工作的最佳重复频率与充电电压有关。以上结果我们可以理解为频率的改变导致放电管储能的改变,从而引起铜的基态和激发态的原子被离化的速率的改变,而造成铜的布居的改变且带来放电管激活介质中各成份的变化。另外,E. S. Livingstone 等人还得出随着储能电容的上升,激光功率的最大值倾向发生在低重复频率处^[6]。

图 6 为实验得到的输出激光脉宽随频率改变而变化的关系(定义脉冲光强一半处对应的宽度为脉冲宽度),在脉冲重复频率变化时,激光脉宽在 12±2 ns 内波动。

另外,在 Ne-HBr 混合气压为 2.39 kPa,脉冲重复频率为 20 kHz,充电电压为 1.6kV 状态下,对输出激光脉冲光波形进行了记录,如图 7 所示,激光脉冲呈单峰状且脉宽为 12 ns,采用“套孔法”测得输出激光束发散角~4 rad,此时光束孔径约为 12 mm。

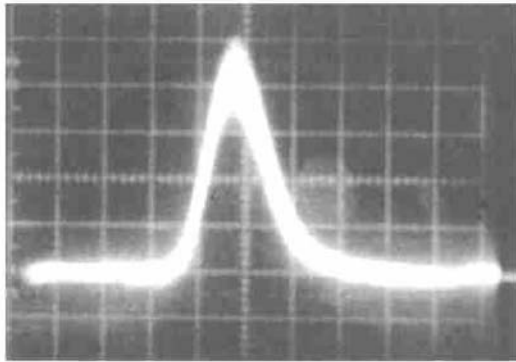


Fig. 7 Pulse profile of the Cu-Ne-HBr laser at p. r. f. 20 kHz. (time scale: 10 ns/div)

4 结 论

从以上实验结果及分析看到,因为 HBr 的加入,其中的 Br 与 Cu 作用使 Cu 在较低温度迅速气化,提供的氢保证了高效率的激光运转,从而使 Cu-Ne-HBr 激光器具有快速启动、结构简单等特点,这些特点给 Cu-Ne-HBr 激光器带来了广阔应用前景。但缺点在于难以长时间稳定工作,必须在充分研究器件的动力学过程后对器件作进一步改进。工作参量测试结果将有助于建立正确的模型,目前我们的实验器件尚属雏型,出光效率较低,放电稳定性较差。其原因

除了激光管中放电电极的结构存在不足外,放电管的结构与激光电源的匹配程度尚待优化,如激光管的管径与管长比、可提供更高频率的谐振电路、控制 Ne、HBr 各气体流量机构等。如果能克服以上缺点,Cu-Ne-HBr 激光器极有可能在激光分离同位素中发挥作用。

致谢 本实验过程中得到了张桂燕高级工程师以及宋秀冬工程师的大力协助,在此致谢。

参 考 文 献

- 1 D. R. Jones, A. Maitland, C. E. Little. A copper HyBrID laser of 120 W average output power and 2.2% efficiency. *Opt. and Quant. Electr.*, 1993, **25**:261
- 2 N. V. Sabotinov, N. K. Vuchkov, D. N. Astadjov. Effect of hydrogen in the CuBr- and CuCl- vapor lasers. *Opt. Commun.*, 1993, **95**:55
- 3 E. S. Livingstone, A. Maitland. A low temperature, segmented metal, copper vapor laser. *J. Phys. E.: Sci. Instrum.*, 1989, **22**:63
- 4 沈琪敏,季 鹰,梁培辉等. 新颖铜激光 Cu-Ne-HBr 激光器研制成功. *中国激光*, 1994, **A21**(3):164
- 5 E. S. Livingstone, D. R. Jones, A. Maitland *et al.*. Characteristics of a copper bromide laser with flowing Ne-HBr buffer gas. *Opt. and Quant. Electr.*, 1992, **24**:73
- 6 D. R. Jones, N. V. Sabotinov, A. Maitland *et al.*. A high-power high-efficiency Cu-Ne-HBr ($\lambda = 510.6 \text{ nm}$, 578.2 nm) laser. *Opt. Commun.*, 1992, **94**:289 ~ 299

Study on the Properties of a Cu-Ne-HBr Laser and Its Operation Parameters

Lei Jianqiu Liang Peihui Shen Qimin Ji Ying Ye Ren Ren Hong

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

Abstract In this paper, the properties of a Cu-Ne-HBr laser have been studied by varying operation parameters, such as gas pressure, pulse repetition rate, and input electrical power. The parametric relation has been measured and the role of HBr gas in the Cu-Ne-HBr laser is analysed briefly. Experimental results show that at lower discharge voltage ($< 2 \text{ kV}$) and mixed gas pressure ratio of about 15:1 (Ne:HBr) the optimum pulse repetition rate is 20 kHz and the optimum pressure is 2.66 kPa, respectively.

Key words Cu-Ne-HBr laser, operation parameter, operation property