

掺氢改善大口径铜蒸气激光器的输出特性

李海兰 陶永祥 尹宪华 杨 燕

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 研究了在大口径铜蒸气激光器(CVL)的氖缓冲气体内掺入氢气对激光输出特性的影响。实验表明, 掺入微量氢气使输出功率增加 25%, 输出光束的空间特性得以改善。

关键词 铜蒸气激光器, 掺氢, 氖气。

近年来已有许多关于在金属蒸气激光器的缓冲气体内掺入杂质气体从而提高激光性能的报道。掺入的杂质气体包括 Cs、CH₄、H₂ 等, 其中只有氢气增加了输出功率, 改善了光束性能。Huang 等人^[1]首先报道了在中等管径(32 mm)铜蒸气激光器的缓冲气体内掺入 53~93 Pa(0.8%~1%)的氢气, 使输出功率增加 50%, 效率增加 60%, 并且显著改善了激光输出强度的空间分布。本文实验研究了在大口径铜蒸气激光器放电管内掺入氢气对激光性能的影响。

大口径铜蒸气激光器余辉阶段内电子的冷却主要是靠它与管壁和缓冲气体粒子的碰撞。氢气与缓冲气体粒子相比它对电子有较大的弹性碰撞横截面和电子能量损失率。氢气的掺入增加了余辉阶段电子的弹性能量传递率, 从而有效地冷却了电子。另外, H⁻ 和 H⁺ 虽然只占整个氢气数量的一小部分, 但是这些粒子的弹性碰撞截面比不带电的氢粒子近似大三个数量级^[2], 它们能够更有效地冷却电子。在余辉期间, 铜的粒子数分布近似按电子温度达到热平衡, 因而在下一个激励脉冲开始前有效地冷却电子, 也就减少了铜亚稳态的布居。此外, 游离态氢在所有材料中具有最高的热导率, 也有效地降低了放电管中心气体温度, 使得管中心的亚稳态铜粒子数相应减少, 改善了光束截面的强度分布, 同时增加了输出功率。

关于掺氢改善铜蒸气激光器输出特性的机理还有其他一些观点。Astadjov 等^[3]认为在余辉阶段 H₂ 游离成的 H 吸附了电子而形成 H⁻, 导致脉冲前电子密度的减少, 改善了脉冲放电的阻抗匹配条件。Bokhan 等人提出氢气能够快速冷却电子有助于余辉阶段等离子体复合, 从而减少预脉冲电子密度, 有利于激励脉冲期间上能级的抽运。

1 实验装置

图 1 是实验中所用的大口径铜蒸气激光器结构图。放电管为 $\phi 65 \text{ mm} \times 2200 \text{ mm}$ 高纯氧化铝管。在陶瓷管外面有用以保温的定型陶瓷纤维支撑着, 使工作时放电管内壁能达到 1450℃。在定型陶瓷纤维外有一石英管, 用来构成真空室。石英管外是不锈钢水冷套, 水冷

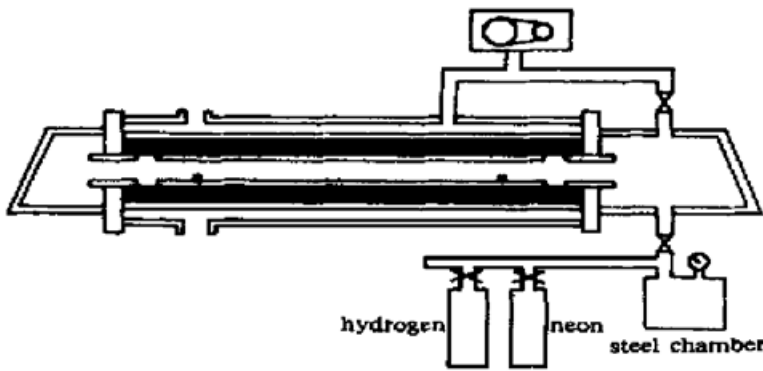


Fig. 1 Schematic diagram of copper vapor laser

套良好接地。器件连接一个由机械泵和扩散泵构成的高真空体系。在与铜蒸气激光器放电管相连的不锈钢真空瓶中 ($\phi 12 \text{ cm} \times 32 \text{ cm}$) 进行氢气和氖气的混合。首先通过铜蒸气激光器的高真空体系抽真空, 然后关上与放电管相连的针阀, 向瓶中依次充入氢气、氖气, 可获得各种百分比的氢、氖混合气体, 最后打开针阀将混合气体充入放电管内。充入的氢、氖气压用精密压力表测量(量程为 100 kPa, 精度为 0.5 kPa)。用分离装置在放电管外进行氢、氖预混, 能够使混合气体的百分比较为准确。一次混合可以进行多次实验, 在实际工作中更加方便。

铜蒸气激光器的放电电路为双闸流管(型号 4050A, 北京 1412 所) 并联交替触发的脉冲放电电路。储能电容 $C_s = 9 \text{ nF}$, 充电电感 $L = 350 \text{ mH}$, 锐化电容 $C_p = 3 \text{ nF}$, 重复频率 $f = 5 \text{ kHz}$ 激励电压脉冲用接在放电管和锐化电容间的高压探头来测量(TekP6015A)。放电管的激励电流用 Pearson 410A 电流探测器测量。显示器为 Tek2465B(400 MHz) 示波器。

谐振腔由两块 $\phi 100 \text{ mm}$ 的平板玻璃组成, 其中一块镀对 510.6 nm 和 578.2 nm 全反的介质膜。激光输出功率用功率计测量, 放电管内壁温度用高温计测量。

2 实验结果和讨论

图 2 给出了纯氖最佳工作状态下的输入和输出功率的关系曲线, 当工作气压为 $4 \times 10^3 \text{ Pa}$ 时, 获得最大输出功率 60 W。为了比较, 在掺氢实验中, 向放电管充入的氢氖混合气压固定在 $4 \times 10^3 \text{ Pa}$ 左右。图 3 是氢气的掺入比例与输出功率的关系曲线, 从图中可以看出掺氢 0.5% ~ 1% (20 ~ 40 Pa) 获得了 75 W 的最大输出功率。与纯氖相比较, 输出功率增加 25%。

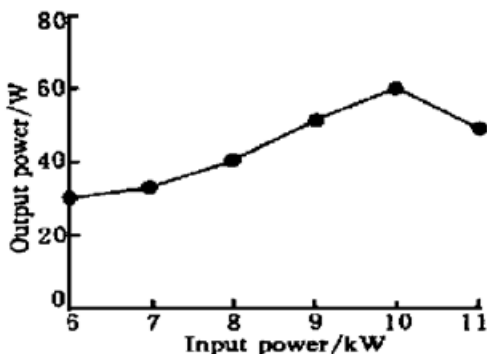


Fig. 2 Laser power as a function of the input power in Ne buffer gas

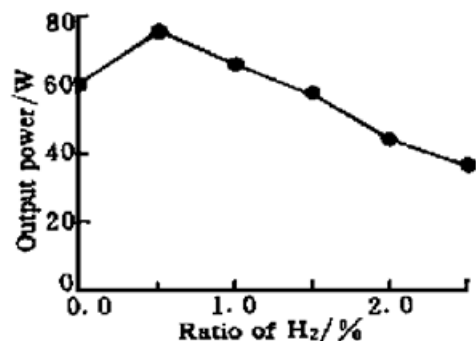


Fig. 3 Dependence of laser output on mixture ratio

为了精确测定掺氢的影响, 必须注意去除等离子管内残余的氢和水蒸气。我们发现通常铜蒸气激光器设计中的纤维氧化铝绝缘层在冷却时会吸附大量氢气。去除残留氢气最有效的方法是纯氖作缓冲气体时, 让铜蒸气激光器工作较长时间(8 小时以上)。

图 4 是掺氢 0.5% 时铜蒸气激光器的放电电压波形和激励电流波形。与纯氖相比较, 放电电流峰值幅度有少量降低。激励阶段掺氢对激光性能的积极影响(弹性影响)被电离的能量

损失(非弹性影响)平衡掉。激励脉冲期间非弹性电子能量损失给氖气的很少,这是因为氖气的截面小。但是氢气相对氖气有很大的动量传递截面,因而掺氢会增加非弹性能量损失。如果进一步增加掺氢的比例,非弹性能量损失的增大会导致整个激光输出功率的降低。从图 3 中可以看出,当掺入氢气比例超过 1.3% 后,激光输出功率低于 60 W;掺氢 2.5% 时,激光输出功率降为 38 W。

大口径铜蒸气激光器由于放电管中心气体温度过高使得光束出现了黑心现象。即光束截面强度分布呈现中间低、两边高的形状,降低了光束质量,影响了激光输出。掺入氢气后,由于氢分子的游离增加了热导,使气体导热性能变好,从而降低了轴心气体温度。使激光输出强度的空间轮廓变得均匀,有效地缓解了黑心现象。

结 论 通过实验研究了掺氢对大口径铜蒸气激光器激光性能的影响。氢气的掺入能够改善放电管和它的激励电路之间的阻抗匹配而增加了等离子管的功率贮存,研究表明阻抗匹配的改善对激光性能的影响是很小的。观察到的输出功率的增加和光束质量的改善主要是由于余辉阶段增强的电子冷却导致亚稳态密度的降低和等离子管径向温度的变化。

参 考 文 献

- [1] Huang Z G, Namba K, Shimizu F. Influence of molecular gases on the output characteristics of a copper vapor laser. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1986, **25**(11): 1677~ 1679
- [2] Mildren R P, Brown D J W, Carman R J *et al.*. The effect of hydrogen additive on population densities in the afterglow of barium vapor lasers. *Opt. Commun.*, 1995, **120**(1, 2): 112~ 120
- [3] Astadjov D N, Sabotinov N V, Vuchkov N K. Effect of hydrogen on CuBr laser power and efficiency. *Opt. Commun.*, 1985, **56**(4): 279~ 282
- [4] Withford M J, Brown D J W, Piper J A. Optimization of H₂-Ne buffer gas mixtures for copper vapor lasers. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1996, **QE-32**(8): 1310~ 1315

Improvement of Output Characteristics of a Large-Bore Copper Vapor Laser with Hydrogen Additive

Li Hailan Tao Yongxiang Yin Xianhua Yang Yan

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 16 December 1998; revised 11 March 1999)

Abstract The effect of hydrogen additive in the Ne buffer gas on the output characteristics of a large-bore copper vapor laser has been investigated. The output power and beam spatial characteristics are significantly improved by hydrogen additive.

Key words copper vapor laser, hydrogen additive, neon.

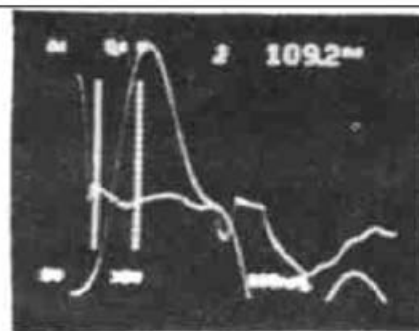


Fig. 4 Discharging voltage waveform and current waveform of laser tube with 0.5% H₂ additive