

缓冲气体压强对铜蒸气激光器 输出特性的影响

宋桂菊 梁培辉 雷建求

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

提要 实验研究了小口径铜蒸气激光器(CVL)输出特性与缓冲气体压强的关系。实验测出放电管有效阻抗随氖压在 2.0 kPa 到 10.0 kPa 范围内升高而增加。存在最佳氖压值 2.7 kPa, 使激光输出功率最大。随着氖压升高输出激光脉冲持续时间先降低后增加, 极值处氖压为 4.7 kPa。输出光束截面空间强度分布在高压下边缘强中心弱的情形更为严重。

关键词 铜蒸气激光器, 缓冲气体压强, 输出特性

1 引言

铜蒸气激光器(CVL)的使用越来越广泛, 如用于泵浦分离铀同位素所使用的染料激光器、金属加工、倍频等领域, 这就要求对它的输出特性与工作条件的关系有比较完整的认识。特别是在控制多台铜蒸气激光放大链的输出质量时, 整个链的输出特性就由注入种子——小口径 CVL 来决定, 因此了解小口径 CVL 输出特性与各工作条件的关系就非常必要。铜蒸气激光器问世以来, 人们对其输出特性与放电回路各参量及泵浦重复频率等工作条件的关系作了非常详细的研究, 但对输出特性与缓冲气体关系的专门研究却较少, 仅在文献[1, 2]中讨论了缓冲气体压强对输出功率的影响, 文献[3]讨论了大口径(一般指口径大于 4 cm) CVL 中缓冲气体压强的影响, 而对小口径 CVL 中氖压的影响却较少讨论。我们研究了小口径 CVL 的输出特性在不同的缓冲气体压强下的行为, 氖压变化范围从 2.0 kPa 到 10.0 kPa。

2 实验与结果

实验所用 CVL 放电管口径为 3 cm, 长度为 150 cm, 电极间距为 90 cm, 以氖气为缓冲气体, 因此缓冲气体压强即为氖压。激光腔为平凹稳腔, 凹面镜曲率半径为 5 m, 对绿光全反射, 平行平板玻璃为输出端。泵浦脉冲重复频率为 6 kHz, 储能电容为 6 nF。激光脉冲的时间行为用光电二极管接收, 空间行为用 2.54 cm(1 英寸)的 1024 单元的二极管列阵接收, 二者接收后均通过 350 MHz 示波器显示。

在 2.0 kPa 到 10.0 kPa 之间改变氖压, 读取电路中整流电压和整流电流, 忽略电路中其他元件的作用, 二者之比即可近似为放电管的平均等效阻抗。事实上放电管两端的电压和电流

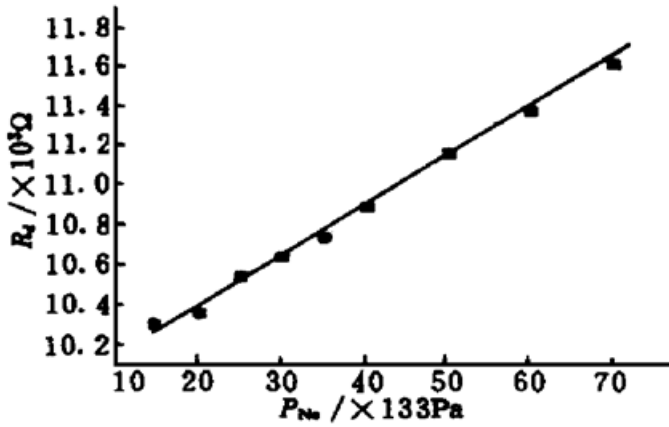


图 1 放电管等效阻抗作为缓冲气体压强的函数
 Fig. 1 Discharge tube resistance as a function of buffer gas pressure

是随时间变化的, 求出的等效阻抗是平均值, 它在微观上反映了放电管内电子密度的变化。当整流电压保持在 5.8 kV 不变, 发现随氖压的逐渐增加, 平均等效阻抗从 10.3 kΩ 增加到 11.6 kΩ, 如图 1 所示。输出功率在最佳氖压 2.7 kPa 处达到最大, 如图 2。低于此压强时, 输出功率随氖压的升高而增加。高于最佳氖压时, 输出功率则随氖压的升高而降低。

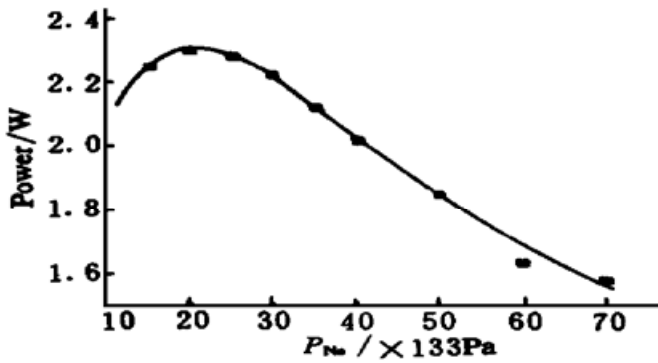


图 2 输出激光功率与缓冲气体压强的关系
 Fig. 2 Laser power as a function of buffer gas pressure

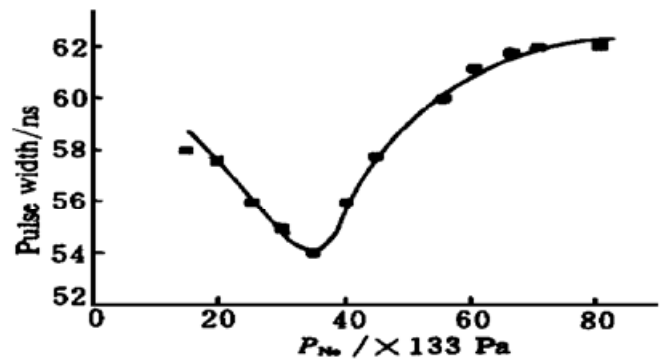


图 3 激光脉冲宽度作为缓冲气体压强的函数
 Fig. 3 Laser pulse width as a function of buffer gas pressure

大口径 CVL 存在明显的趋肤效应^[3], 但小口径 CVL 放电管管壁处的泵浦和放电管中心区域的泵浦也存在一个延时, 只不过比较小, 约几纳秒。保持示波器的延时、水平位置及各旋钮不变, 先记录中心区域脉冲波形, 再记录管壁附近的波形, 以保证两处波形的记录条件相同。图 4、图 5 分别是氖压为 4.0 kPa 和 8.0 kPa 时, 放电管管壁和放电管中心区域两个不同空间位

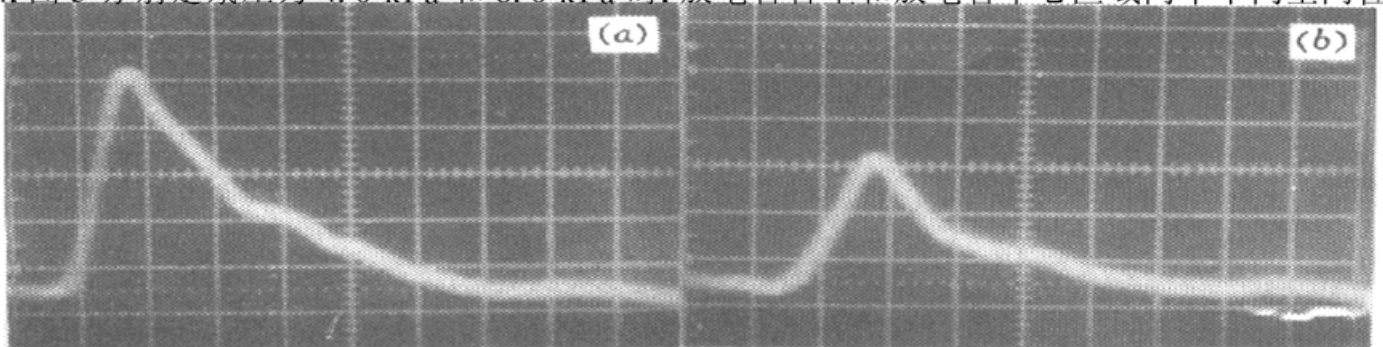


图 4 两个不同径向位置 30×133 Pa 时的激光脉冲波形(10 ns/div)
 (a) 管壁处; (b) 轴

Fig. 4 Output laser temporal pulse waveform on two different radial locations at 30×133 Pa
 (a) tube wall; (b) axial

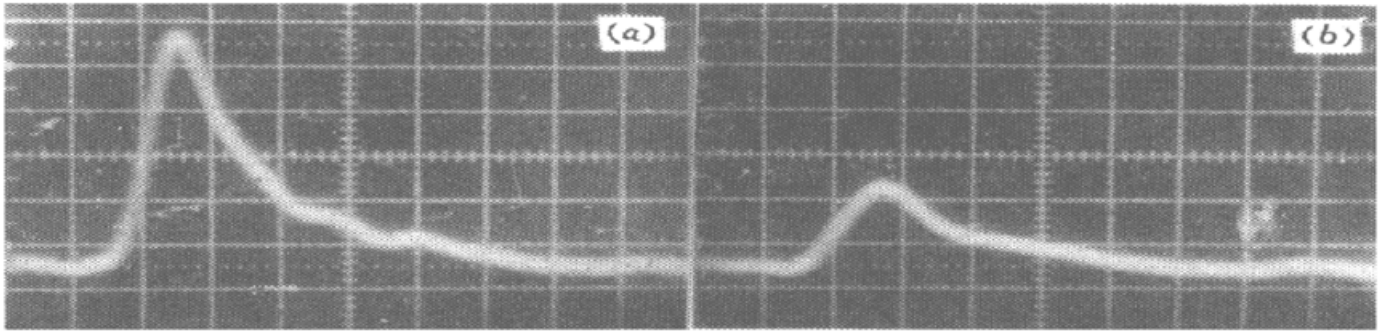


图 5 两个不同径向位置 50×133 Pa 时的激光脉冲波形(10 ns/div)

(a) 管壁处; (b) 轴

Fig. 5 Output laser temporal pulse on two different radial locations at 50×133 Pa

(a) tube wall; (b) axial

置激光脉冲延时的比较。氖压为 8.0 kPa 时, 对比图 4 中分别在管壁和中心区域测得的脉冲波形 (a) 和 (b) 的时间起点, 发现存在明显的延时, 大约为 6 ns。氖压为 4.0 kPa 时图 5 的两脉冲起始时间仅错开一二个纳秒, 管壁和中心区域几乎同时出光。

不同氖压下激光脉冲截面强度分布呈现明显的不同, 图 6 给出了氖压为 2.7 kPa, 6.7 kPa, 8.0 kPa 时的分布图。文献[4, 5]描述了大口径 CVL 光束截面空间分布的不均匀性, 实验所用 3 cm 口径的 CVL 也观察到了光束截面空间分布的不均匀性。从 3 图的比较可看出, 较高氖压对应的输出光束强度截面, 边缘高中心低的趋势更为突出。

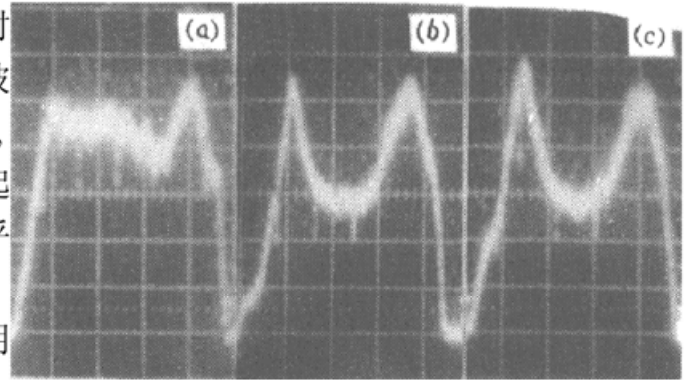


图 6 输出激光脉冲径向强度在不同氖压下的分布

Fig. 6 Output laser pulse intensity distribution in the radial direction at different pressures

(a) 20×133 Pa; (b) 50×133 Pa; (c) 60×133 Pa

3 讨 论

放电管的等效阻抗可表示为^[1]

$$R_d = \frac{lm_e}{neAe^2v}$$

其中, m_e , n_e , e 分别是电子质量、电子数密度和电荷, L , A 为放电管长度和有效横截面积, v 为电子碰撞频率。当放电管内缓冲气体压强增加时, 在放电结束后的等离子复合期间由于更多氖原子的加入, 导致电子温度的降低, 复合速率增加, 致使剩余电子密度减少, 也就是下一个激励脉冲开始的初始电子密度降低。另外氖压升高, 电子碰撞频率增加, 也会造成等效阻抗增加。等效阻抗增加, 电流上升速率下降, 泵浦速率也下降。

从输出功率与氖压的关系图中可看出, 存在一个最佳氖压 2.7 kPa 使输出功率达到最大。铜原子亚稳态能级约为 1.4 eV, 共振能级约为 3.8 eV, 电离电位约为 7.7 eV。氖压过高, 导致电子平均能量过低, 亚稳态的激励优于共振态, 对激光不利, 因而在高于 2.7 kPa 后, 氖压升高, 功率降低。氖压过低, 导致电子平均能量过高, 铜原子的电离优于共振态的激励, 所以低于

2.7 kPa 时, 氖压越低, 输出功率也越低。

亚稳态原子消激发主要通过与慢电子、重粒子和管壁碰撞。氖压较低时则以与慢电子和管壁碰撞为主, 其中电子碰撞消激发速率与冷电子密度 n_e 成正比^[3, 6], 所以氖压升高造成亚稳态原子消激发减弱, 初始亚稳态密度增大, 激光阈值增加, 激光持续时间变短, 激光脉冲宽度变窄。氖压较高时亚稳态原子消激发以与重粒子特别是氖原子碰撞为主要消激发方式^[7], 因此氖压越高, 参与消激发的氖原子越多, 初始亚稳态密度减少, 激光阈值降低, 激光脉冲宽度变宽。从图 3 的实验结果可知, 这个极值氖压为 4.7 kPa。

对放电管径向不同位置来说, 中心区域的亚稳态原子消激发主要通过与慢电子碰撞, 而高氖压时电子密度较低, 所以亚稳态原子消激发几率大大减少。而管壁亚稳态原子除与电子碰撞, 还可同重粒子和管壁碰撞消激发, 所以氖压改变对亚稳态原子密度的影响不如中心区域大。因此, 高氖压使放电管中心区域激发阈值的升高大于对管壁区域的影响, 两空间位置脉冲起始时间差别增大, 输出激光光束中心区域光的强度更低。

参 考 文 献

- 1 M. J. Kushner. A self-consistent model for high repetition rate copper vapor laser. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1981, **QE-17**(8): 1555~ 1565
- 2 Jim J. Chang. Pressure dependence of copper laser output characteristics. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(27): 5230~ 5235
- 3 M. J. Kushner, B. E. Warner. Large-bore copper-vapor lasers: Kinetics and scaling issues. *J. Appl. Phys.*, 1983, **54**(6): 2970~ 2982
- 4 A. A. Isaev, H. Kneipp, M. Rentsch. Role of the pulse repetition frequency in copper vapor lasers. *Sov. J. Quantum Electron.*, 1983, **13**(6): 758~ 762
- 5 P. A. Bokhan, V. I. Silant'ev, V. I. Solomonov. Mechanism for limiting the repetition frequency of pulses from a copper vapor laser. *Sov. J. Quantum Electron.*, 1980, **10**(6): 724~ 727
- 6 A. A. Isaev, G. G. Petrash, I. V. Ponomarev. Relaxation of metastable atoms during the afterglow in a copper vapor laser. *Sov. J. Quantum Electron.*, 1986, **16**(11): 1512~ 1516
- 7 M. J. Kushner, F. E. Culick. Characteristics of the pumping pulse and the output laser pulse for a Cu/CuCl double pulse laser. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1981, **QE-16**(6): 677~ 682

Buffer Gas Pressure Effects on Copper Vapor Laser Output Characteristics

Song Guiju Liang Peihui Lei Jianqiu

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

Abstract An experiment which deals with pressure effects on the output characteristics of a small radial copper vapor laser is described. When the buffer gas pressure is increased from 2.0 kPa to 10.0 kPa, the plasma tube resistance increases. At the optimal pressure about 2.7 kPa, the output power has a maximum. Moreover, following the increasing of the gas pressure, the pulse duration time first decreases and later increases, and the critical pressure is 4.7 kPa. The intensity profile of the laser output shows a lower axial intensity and a higher intensity on the tube wall at the higher pressure.

Key words copper vapor laser, buffer gas pressure, output characteristic