

文章编号: 1001-3806(2002)06-0409-02

小型 TEA CO₂ 激光器的温度特性

吴 谨 万重怡 刘世明 王东蕾 卢葱葱
(中国科学院电子学研究所, 北京, 100080)

摘要: 对小型 TEA CO₂ 激光器的输出脉冲能量与温度的关系进行了实验测试和理论分析, 结果表明, 在一定温度范围内激光输出脉冲能量随温度的升高而近似线性下降。

关键词: 小型 TEA CO₂ 激光器; 温度特性; 六温度模型速率方程

中图分类号: TN248.2⁺2 文献标识码: A

Temperature characteristics of a mini-TEA CO₂ laser

Wu Jin, Wan Chongyi, Liu Shiming, Wang Donglei, Lu Congcong
(Institute of Electronics, the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)

Abstract: Temperature characteristics of a mini TEA CO₂ laser are tested experimentally and analyzed theoretically. The results show that under the temperature range considered, the laser output pulse energy decreases almost linearly as the gas temperature increases.

Key words: mini TEA CO₂ laser; temperature characteristics; six temperature model rate equations

引 言

CO₂ 激光器的输出波长在 9μm~11.6μm 范围内, 该波段激光具有良好的透过大气、雾、霾等的能力, 而且可以和工作于 8μm~12μm 波段的红外热像仪兼容, 因此, 在民用和军事应用上, 这种激光器都有一定的潜力。正是基于这样的背景, 国内外对小型高重复频率 TEA CO₂ 激光器投入了相当的精力进行研究^[1,2]。

当使用环境温度变化大时, 对激光器的环境温度适应性便提出了要求, 因此, 研究这种激光器在低温环境下的输出特性是很有意义的。对笔者自行研制的一台小型高重复频率 TEA CO₂ 激光器的温度特性进行了实验测试和简单理论分析。

1 激光器结构

激光器采用电晕预电离方式^[3]。激光器的放电电极为改进型 Chang's 电极^[4], 放电增益区体积为 10mm×10mm×350mm, 谐振腔由 R=4m 的全反铜镜和 R=-4m、反射率为 70% 的 ZnSe 输出耦

合镜组成, 长度为 0.6m。高压放电开关采用高压触

发管。放电电路

如图 1 所示。图

中, C_s 为贮能电

容, C_r 为与高压触

发管并联的反转

电容, C_p 为峰化

电容, R 为旁路电

阻, SG 为高压触

发管, 产生预电离的介质管放在阳

极的两侧。

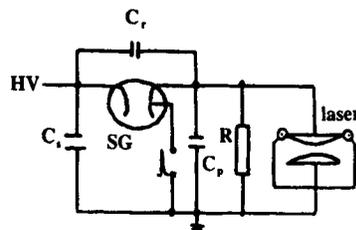


Fig. 1 Discharge circuits of a mini TEA CO₂ laser

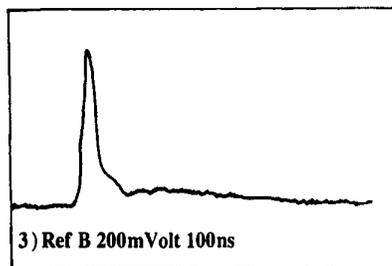


Fig. 2 Laser pulse profile

激光混合采用 $V(\text{CO}_2): V(\text{H}_2): V(\text{He}) = 1.8: 1: 4$, 并掺有少量 CO 和 H₂, 总气压为 101kPa。采用这种结构和充气配比的激光器, 输出脉冲峰值功率大于 1MW, 输出激光脉冲波形如图 2 所示(由光子牵引探测器和 Tektronix TDS-220 示波器测得), 其中激光脉冲宽度(FWHM)约为 45ns。

作者简介: 吴 谨, 男, 1965 年 12 月出生。博士, 副研究员。现从事脉冲气体激光技术研究工作。

收稿日期: 2001-12-12

2 实测激光器的输出温度特性

激光器的温度特性实验是参照国家关于设备环境适应性检测标准的规定进行的。在每个环境温度点上,要保温 4h 以上,使系统达到充分的温度平衡。在每个温度点上,贮能电容 C_s 的充电电压均为 21kV,即注入能量相同。考虑到激光器是高重复频率激光器。每个温度点上激光脉冲能量是在重复频率工作时测量的。

实测激光器输出脉冲能量随环境温度的变化关系如图 3 所示,可以看到,在所涉及的环境温度范围,即从 270K 到 325K 范围,激光脉冲输出能量随温度呈近似线性下降的规律。图中,三角形为实测数据点,直线为根据实测数据拟合而得,表达式为:

$$E = 756.0 - 2.26T \quad (1)$$

式中, E 为激光输出脉冲能量,以 mJ 为单位, T 为绝对温度,以 K 为单位。

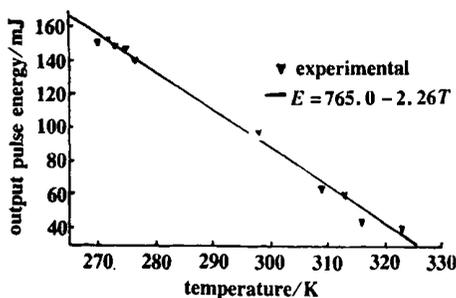


Fig. 3 Measured laser output energy vs temperature

如图 3 所示,环境温度为 273K 时激光输出脉冲能量比环境温度为 298K 时的激光输出能量大约高出 50%。这说明,激光器的输出性能随环境温度变化较大;同时也说明,低温运转时激光器的输出效率比高温运转时高,将激光器置于低温环境下运行,对提高激光输出能力是有效的。

3 理论分析

上面的实验表明,在一定温度范围内,激光器的输出脉冲能量随环境温度的升高而下降的。从理论上讲,气体温度的变化一方面影响振转能级上的粒子数分布,另一方面,还会影响各种弛豫时间常数、各能级的电子泵浦速率等。因此,在各种不同温度下,激光器的小信号增益系数是不一样的,输出脉冲能量也就不一样。

TEA CO₂ 激光器的动力学过程可以用速率方程描述。选取 Smith 和 Thomson 提供的六温度模型速率方程组^[5]。该方程组建立在简谐振子模型

的基础上,可以用于描述采用 CO₂-N₂H_e-CO 激光混合气的 TEA CO₂ 激光器的输出温度特性。初始条件的选择依据文献[6],并根据谐振腔参数进行了计算。

放电泵浦电子数密度函数和实际的泵浦电路参数、激光混合气组成等因素有关,计算比较复杂。文献[7]中给出了放电泵浦电子数密度函数经验公式为:

$$N_e(t) = N_0 \cdot \exp\left[-\frac{t}{t_A}\right] \cdot \left[1 - \exp\left[-\frac{t}{t_B}\right]\right] \quad (2)$$

根据实际激光器的放电电路参数和实测的放电电流脉冲波形,选取:

$$\begin{aligned} N_0 &= 9 \times 10^{19} \\ t_B &= 2 \cdot t_A = 50\text{ns} \end{aligned} \quad (3)$$

由此计算的输出激光脉冲波形如图 4 所示。

从图 4 可见,计算结果和实际测量结果(见图 2)类似,输出能量、脉冲峰值功率、脉冲宽度等相近,激光脉冲拖尾略有不同。据此计算得到的激光器输出温度特性如图 5 所示。

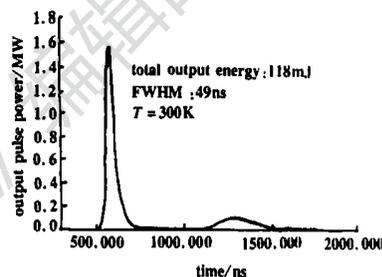


Fig. 4 Simulated laser output pulse profile

据此计算得到的激光器输出温度特性如图 5 所示。

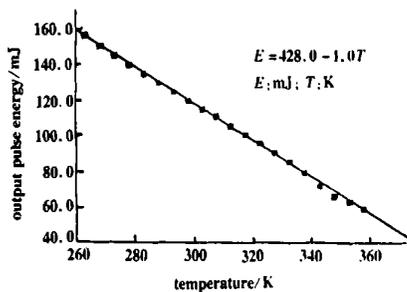


Fig. 5 Calculated output pulse energy vs temperature

图 5 中的直线为计算数据点的简单线性拟合,表达式为: $E = 428.0 - 1.0 \cdot T$ (4)

可见,在理论上激光器的输出脉冲能量在所计算的温度范围内也是近似线性下降的。这种随着温度升高激光输出能量近似线性下降的趋势和图 3 的实验测试结果基本相符。但由于理论模型的非完备性,计算曲线下降较慢。

4 结论

从实验和理论两方面对一台小型高重复频率 (下转第 424 页)

到近乎理想的形貌,他们还打算将该法用于二极管激光中微透镜的制造等。葡萄牙的 Liu^[18]等人运用 248nm 的 KrF 准分子激光器也对 PAMM 等光学材料的加工和抛光进行了研究,得到了很好的效果。因此,光学元件的激光抛光技术的发展将会很大程度地推动激光核聚变的发展。在光纤通信中,光纤连接及半导体激光器准直用的微透镜的抛光则是微细抛光。当这些光学元件的尺寸小于 1cm 时,加工、校正作业将很困难,用传统的抛光方法来完成有很大的难度^[16]。2000 年, Udrea 等人^[7]利用一台 10W 的单模纵流连续 CO₂ 激光器,功率密度为 140W/cm²,对光纤的连接端表面进行了抛光,使表面粗糙度从 3μm 减少到 100nm。如果激光抛光技术得到发展,就能够加工出更好的微光学元件,将会促进光纤通信的发展,从而产生巨大的经济效益。

总之,基于激光烧蚀的非接触式高精度激光抛光技术在这些方面有很大的应用前景。在激光抛光过程中,采用精密检测和反馈控制技术,原理上可以将抛光精度提高到测量界限。激光抛光在其它方面也有很好的应用前景,这里就不再赘述了。

4 结束语

激光抛光技术作为一项新技术,目前还处于发展阶段,在该领域还有许多工作要做。虽然激光抛光技术具有很多优点,但也存在一些问题。首先,设备的成本高、抛光的费用比较贵,这在一定程度上限制了该技术的发展。但随着激光器成本的降低,抛光工艺的进一步改进,这些问题会得到解决。其次,抛光过程中的检测技术和精密控制技术要求相当

高,且因相互之间的技术保密,为进一步发展增加了难度。再其次,如果利用激光对超硬材料表面进行抛光时,因为它比较适合材料粗抛光后的精抛光,所以如直接利用它对样品进行抛光,由于材料的剥离量小,效率就比较低,此时,一般是综合使用多种抛光方法。但是对其它的非超硬材料进行抛光时,则它既可以对材料进行粗抛光也可以进行精抛光。总之,激光抛光技术的发展会推动激光精密加工技术和激光微细加工技术的更快发展。

参考文献

- [1] 赵兴科,王中,郑玉峰 *et al.* 表面技术, 2000, 29(2): 6~7.
- [2] 滕霖,任敬心. 航空精密制造技术, 1996, 32(3): 5~8.
- [3] Mvan F. Diamond and Related Materials, 2000, (9): 925~928.
- [4] Gloor S, Luthy W, Weber H P *et al.* Appl Surface Science, 1999, 138~139: 135~139.
- [5] Cappelli E, Matei G, Orlando S *et al.* Diamond and Related Materials, 1999, (8): 257~261.
- [6] Pimenov S M, Kononenko V V, Ralccchenko V G *et al.* Appl Phys, 1999, A69: 81~88.
- [7] Udrea M, Orun H, Alaccakir A. Opt Engng, 2001, 40(9): 2026.
- [8] 郑翠微,吉禾译. 激光与光电子进展, 2001, 423(3): 10~15.
- [9] Stenzel E, Gogoll S, Sils J. Appl Surface Science, 1997, 109/110: 162~167.
- [10] Pedraza A J. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 1998, 141: 709~718.
- [11] Folwaczny, Mehl A, Hafner C *et al.* Dent Mater, 1998, 14: 186.
- [12] Sun J, Zhang L C, Mai Y W *et al.* J Mater Processing Technol, 2000, 105: 204~213.
- [13] 张恒大,刘敬明,宋建华 *et al.* 表面技术, 2001, 30(1): 16.
- [14] 张峥,霍晓. 真空科学与技术, 2000, 20(4): 270~274.
- [15] 郭钟宁,王成勇,张凤林 *et al.* 工具技术, 1999, (11): 3~7.
- [16] 马军山. 激光与光电子进展, 2001, 428(8): 38~43.
- [17] Wallace J. Laser Focus World, 1999(7): 37~38.
- [18] Liu Z Q, Feng Y, Yi X S. Appl Surface Science, 2000, 165: 303.

(上接第 410 页)

TEA CO₂ 激光器的温度特性进行了初步研究,在所涉及的温度范围内,激光器输出脉冲能量随环境温度的升高基本上呈线性下降的趋势。理论和实验均表明,TEA CO₂ 激光器输出脉冲能量随混合气体工作温度变化而变动非常明显。和室温(25℃)相比,当工作温度降到 0℃时,激光输出能量提高近 50%;而室温升高到 50℃时,激光输出能量下降近 50%。

在环境温度变化较大的场合,如野外,必须使激光器所处的小环境温度不随外界环境温度变化而发生变化,这时,就需要有恒温措施。

结果表明,降低激光工作气体的温度有利于提高输出脉冲能量,特别是在高功率 TEA CO₂ 激光器

的设计中,采用强制冷力的循环冷却液使激光混合气体在较低温度下运转更是值得采用的一项措施。

参考文献

- [1] Cohn D B, Hasselbeck M P, Affleck W H *et al.* SPIE, 1989, 1042: 63~69.
- [2] 侯天晋,江东,郑从众 *et al.* 激光技术, 1996, 20(6): 346~348.
- [3] Machetti R, Penco E, Salvetti G. Corona discharge preionizer for gas discharge. US Patent 4718072, Jan. 1988.
- [4] Sheng Y G, Wan Ch Y. Appl Laser, 1999, 19(4): 151~153 (in Chinese).
- [5] Smith K, Thomson R M. Computer modeling of gas laser. N Y: Plenum Press, 1978.
- [6] Soukieh M, Ghani B A, Hammadi M. Opt & Laser Technol, 1998, 30: 451~457.
- [7] Manes K R, Seguin H J. J A P, 1972, 32(12): 5073~5078.