

文章编号: 1000-7032(2010)05-0682-04

室温条件下脉冲 CO 激光辐射特性

杨贵龙, 邵春雷, 李殿军, 郭 劲

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 激光与物质相互作用国家重点实验室, 吉林 长春 130033)

摘要: CO 气体分子发射激光需要在低温 (液氮温度附近) 时才容易实现。为在常温条件下实现 CO 的激光输出, 采用横向激励大气压 (TEA) 脉冲放电的方式对 CO 气体分子在室温条件下的红外发光辐射性能进行了实验研究。在实验所限定的参数条件下, 没有获得 FO 波段激光辐射, 仅实现了 FB 波段的激光输出。典型的指标为: 电光转换效率 1%, 中心波长 $5.3 \mu\text{m}$, 辐射能量 0.22 J 辐射脉宽 (FWHM) 700 ns 相当于辐射的峰值功率达到 0.3 mW 左右; 当以 500 Hz 放电脉冲重复频率运转时, 常温条件下还获得了大于百瓦量级的高平均功率辐射输出。

关键词: CO 激光; 室温运转; FB 波段; FO 波段

中图分类号: TN248.22

PACS 42.55.Lt 42.60.By

PACC: 4255H

文献标识码: A

1 引 言

近年来, 随着研究工作的深入和 CO 激光波段具有的军事应用背景, 有关 CO 分子激光辐射方面的研究更加引起人们的重视, 特别是注重如何解决 CO 分子的辐射温度特性。正像 Basov 教授早在 1983 年所预言的那样^[1]: “CO 是一种很有希望的高功率、高效率激光增益介质, 在激励方法和冷却技术进一步完善之后, CO 激光器必将在 21 世纪的光电子产业中有着举足轻重的地位。” CO 气体分子跃迁的谱线范围分为 FO (First Overtone, 对应波长 $2.6 \sim 4.2 \mu\text{m}$) 波段和 FB (Fundamental Band, 对应波长 $4.8 \sim 8.4 \mu\text{m}$) 波段, 几乎涵盖了中波红外的全部范围^[2-4]。由于 CO 分子气体属于可以高效率地实现大功率发光辐射的少数几种激光增益介质之一, 输出波段还位于大气窗口, 其光谱优势和能量优势结合在一起在各领域以及国防军事工业均有十分广泛的应用。国内外很多著名的研究机构都在竞相开展理论与实验研究, 但主要是连续波激光输出, 如: 1993 年大连理工大学技术物理所成功地研制了一台千瓦级输出的 CO 激光辐射实验装置^[5]; 国外的连续波 CO 激光器已在 FO 波段实现百瓦量

级的激光辐射, FB 波段达到万瓦量级的水平。然而, CO 分子激光辐射的运行条件比较苛刻, 就是其高功率和高效率输出只能限定在低温条件下 (通常需要在液氮温度附近) 运转^[6,7]。

高效率 CO 激光器运转需要在低温条件下实现, 这严重地限制了其应用的范围。低温运转不仅造成实际应用成本的增加和使用不便外, 而且使得 CO 激光器体积庞大和技术变得更加复杂, 比如已经开展的利用气动技术获得 CO 气体等离子体膨胀等方式实现 CO 激光器高效率和高功率辐射输出。到目前为止, 在实现 CO 分子气体的室温运转方面, 人们已经投入了很多的精力^[8], 并发现了适合于作为激光增益介质的 CO 分子及其混合气体的发光辐射性质随着温度的不同有所差别。本文的重点不在于讨论这种温度变化带来的效应, 而是根据 CO 混合气体所辐射的光谱特性及其增益分布在相同的脉冲放电过程中保持不变的特点, 将该混合介质置于光学谐振腔内形成激光振荡辐射输出, 则其所辐射的光谱分布、光强特性以及脉冲宽度等特性都将受到腔参数的制约而有所变化, 也就是说, 腔参数的不同将获得不同辐射特性, 利用 CO 分子与 CO₂ 分子在气体放电方面的共性, 借用原有的 TEA CO₂ 激光器输出原

收稿日期: 2010-03-15 修订日期: 2010-05-24

基金项目: 中国科学院知识创新工程领域前沿项目资助

作者简介: 杨贵龙 (1966-), 男, 吉林长春人, 主要从事大功率脉冲气体激光器的研究。

E-mail yangg@cimpcas.cn, Tel (0431) 86176196

理尝试在常温条件下实现 CO 激光输出的可能性。即,通过对 CO₂ 激光器进行适当的技术改造使之成为一台室温运转的 CO 激光器。

2 实 验

将 CO₂ 激光器改造成为 CO 激光器,除了需要重新设计光学谐振腔和更换气体增益介质以及对于放电回路等基本参数进行适当的调整外,安全问题值得特别重视。CO 属于易燃易爆气体,放电腔的密封以及充气排气如何避免与空气中氧气的混合显得尤为重要。改造后的室温脉冲 CO 激光器采用 TEA 脉冲放电方式,呈现三轴(谐振腔光轴、电流矢量和风速矢量)相互垂直的结构特点,基本的工作过程与原 CO₂ 激光器基本相似。

实验装置的核心部分是脉冲放电回路系统,放电回路采用了紫外预电离后主放电自动放电的 L-C 自动翻转电路形式,即在包括预电离火花针和主放电电极构成的放电回路内。如图 1 所示,整个放电电路主要由延时电感 L_1 、充电电感 L_2 和 L_3 、主放电电容 C_1 、预电离电容 C_2 、锐化电容 C_3 、主放电电极(一对)、预电离火花针、旋转火花开关和高压触发器组成。激光器注入能量的大小,主要由储能放电电容 C_1 的容量和充电电压决定,旋转开关一次触发导通放电就可以完成从预电离到主放电的整个过程。电脉冲触发器的工作频率直接决定了激光辐射的重复频率。为保证在重复频率运转时放电过程稳定,在 CO 混合气体介质密封舱内设置了风机和导流板促使气体高速流动循环,经测试,循环气体在通过一对主放电电极(长度 120 cm、间距 4 cm)时的不均匀性小于 10%,并能保证在高重复频率工作条件下,整个气体的温度变化在 ± 2 °C 范围内。光学谐振腔采用稳定可靠的常规平凹腔结构。整个谐振腔放置在一个由三根钨钢棒构成的高稳定光桥上,可以极大地降低环境温度变化对激光输出参数的影响。平凹稳定腔的全反射镜采用无氧铜镀金反射膜,曲率半径为 $R = 18$ m,输出镜采用不同透过率薄膜的 ZnSe 材料。由主放电电极所决定的 CO 激光增益介质的体积为 2 L 左右。每次 CO 气体介质的脉冲放电只要达到临界的振荡阈值点,都将由谐振腔产生一个相应的脉冲辐射输出,这种结构形式下输出的激光为混合型高斯模式。

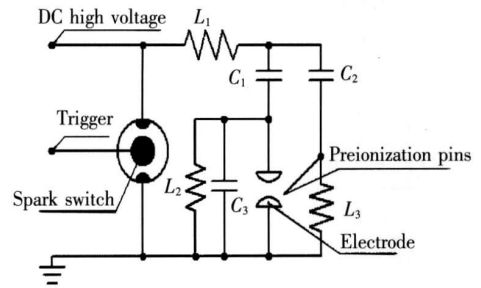


图 1 TEA CO 激光器放电回路原理图

Fig 1 Principle of TEA CO discharge loop circuit

对于室温运转的 CO 激光器,分别使用能量计、功率计、光子牵引探测器和波长标定装置等,研究了 CO 气体在不同的实验条件下的辐射特性。激光器在单脉冲放电时,其辐射的能量特性由 PS-330 R 能量计测试;激光器在重复脉冲放电时,其辐射的功率特性由 LP-3C 功率计直接测试。激光器辐射的脉冲时间特性由 GP-1 光子牵引探测器转变为电信号后采用 TDS3052B 示波器显示;激光器辐射的光谱特性由自制的波长标定装置测定。

3 结果与讨论

在单脉冲条件下,实验进行了 4 种不同气体配比和 2×2 种不同镀膜参数输出镜的 16 组脉冲放电实验辐射输出的实验研究,实验结果如表 1 所示。在 $p_{CO}:p_{N_2}:p_{He} = 1:2:10$ 总气压 50 kPa 混合气体温度 25 °C、放电电压 36 kV 时,得到的最大脉冲能量为 0.22 J 当以 500 Hz 的脉冲重复频率运转时,测得最高 102 W 的平均功率输出,对应的电光转换效率为 1%。理论上如果按照脉冲能量乘以重复频率即 0.22 J 乘以 500 Hz 计算,输出的平均功率应该为 110 W。由此可见,实测数据 102 W 与计算数据 110 W 相近,说明激光器在可以实现稳定重复频率放电的注入能量和气压条件下,单脉冲放电与重复脉冲放电的电光转换效率基本保持不变。由于 $5.3 \mu\text{m}$ 波长在光谱分布上属于 CO 分子跃迁辐射的 FB 波段。表 1 的实验结果显示:在所限定的实验条件下,CO 激光器没有获得 FO 波段的辐射输出。文献 [2] 报道,在 5 °C 时是可以获得 FO 波段激光辐射,主要原因与 CO 混合气体温度较高和输出镜反射率较低有关,这两点的共同作用导致 FO 波段激光振荡阈值偏高。可见,提高实验装置的制冷能力,使输出

镜的最佳反射率应该在 99% 而不是在实验所限定的 95% ~ 98% 范围内, 是获得 FO 波段室温下激光输出的必要条件。

表 1 CO 辐射输出的特性

Table 1 Properties of CO laser radiation

Output mirror reflectivity	$p_{CO} : p_{N_2} : p_{He}$	Energy (J)	Wavelength (μm)
95% (4.8~8.4 μm)	1:1:10	0.16	5.3
	1:2:10	0.18	5.3
	1:3:10	0.16	5.3
	2:1:10	0.12	5.3
98% (4.8~8.4 μm)	1:1:10	0.20	5.3
	1:2:10	0.22	5.3
	1:3:10	0.21	5.3
	2:1:10	0.18	5.3
95% (2.6~4.2 μm)	1:1:10	0	-
	1:2:10	0	-
	1:3:10	0	-
	2:1:10	0	-
98% (2.6~4.2 μm)	1:1:10	0	-
	1:2:10	0	-
	1:3:10	0	-
	2:1:10	0	-

在不同输出镜反射率和不同气体配比的各种条件下, 获得的激光脉冲波形几乎类似。典型的结果如图 2 (a) 所示, 其所辐射的脉冲宽度 (FWHM) 约为 700 ns 对应的脉冲峰值功率达到约 0.3 mW。作为同一台激光器并在基本相同脉冲放电工作参数条件下, CO 激光辐射与 CO₂ 激光辐射波形相差很多: CO 激光波形 FWHM 虽然比 CO₂ 激光波形 FWHM (100 ns) [图 2 (b)] 宽很多, 但却没有 CO₂ 激光所特有的微量量级拖尾脉冲, 这一点对于实际应用是一个可贵的优点。

本实验采用的波长测试装置只能给出 CO 气体辐射波长在测试精度所限范围内的准确值。波长标定的原理如图 3 所示, 已知波长 (0.6328 μm) 的 He-Ne 激光和待测的 CO 激光辐射信号通过 Ge 平片形成同一光路, 照射到红外色散光栅 (100 线/mm) 上, 除了零级色散 (待测激光与 He-Ne

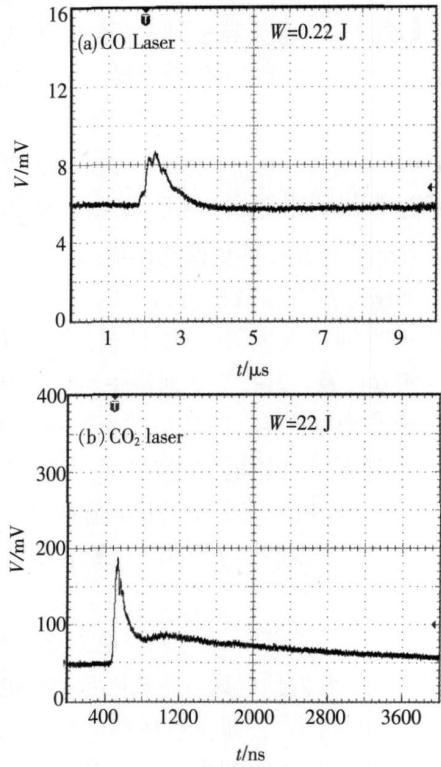


图 2 CO 辐射和 CO₂ 辐射的脉冲波形比较

Fig 2 Comparison of waveforms for CO and CO₂ laser pulses

激光仍然保持同一光路) 之外, 由于波长的不同, 由光栅色散原理可知: 可见的 He-Ne 激光不同的衍射级次的照射位置代表着不同的待测激光波长, 例如, 第 5 级 He-Ne 激光照射位置表示的被测的激光波长是 $0.6328 \mu m \times 5 = 3.164 \mu m$, 相应地, 如果在第 8 和第 9 级之间的波长应该是 $0.6328 \mu m \times 8.5 = 5.3788 \mu m$ 。实验测试过程中, 将第 8 和第 9 级 He-Ne 激光分成十个等间距的测试点, 发现只有在 8.4 级位置处测得有激光辐射外, 其余任何位置处均未测得辐射输出, 证明 CO 辐射的激光波长只有 $0.6328 \mu m \times 8.4 =$

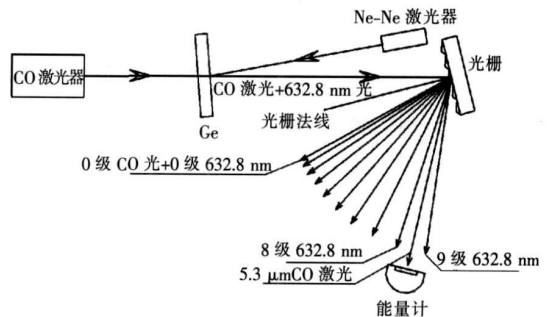


图 3 CO 辐射波长标定原理图

Fig 3 Calibrating principle of CO laser wavelength

5.315 μm 一条中心谱线 (大约在 $\pm 0.06 \mu\text{m}$ 的测试精度范围内)。

4 结 论

在 25 $^{\circ}\text{C}$ 下, 通过借鉴 TEA CO_2 激光器激光输出原理获得了 FB 波段平均功率大于百瓦量级的 CO 激光器辐射输出, 激光脉冲的峰值功率

达到了接近兆瓦的数量级, 并且研究了该激光器基本参数对于 CO 气体分子辐射输出性质的影响。实验没有获得更短波长的 CO 激光器中 FO 波段激光辐射主要原因是运转温度较高和反射镜的反射率较低所致。这为今后的进一步改进 CO 激光器室温下激光输出特性提供了实验基础。

参 考 文 献:

- [1] Lin Junxi, Yu Qingxu. *The Carbon Monoxide Laser* [M]. Dalian: Dalian University of Technology Press, 1997, 10 (in Chinese).
- [2] Zeyfang E, Mayerhofer W, Walther S. Room-temperature repetitively pulsed CO overtone laser [J]. *SPIE*, 2001, **4184**: 30-33.
- [3] Cao Hualiang, Cheng Zuhai, Yu Liangying. Research and progress of high power CO electric discharge laser [J]. *Laser & Optoelectronics Progress* (激光与光电子学进展), 2007, **44**(7): 61-65 (in Chinese).
- [4] Yang Feng, Yu Wenfeng, Chen Liangcai. Optimize design of high power CO laser window coatings [J]. *Laser Journal* (激光杂志), 2007, **28**(4): 18-19 (in Chinese).
- [5] Ding Hongbin, Liu Zhongfan, Wang Yi. Study of discharge system and characteristics of 1 kW closed cycle self sustained CW laser [J]. *Journal of Dalian University of Technology* (大连理工大学学报), 1995, **35**(2): 267-271 (in Chinese).
- [6] Gao Guji, Fu Rulian, Gao Runmei. Sealed-off TEM₀₀ CO lasers at room temperature [J]. *Journal of Optoelectronics • Laser* (光电子 • 激光), 2003, **14**(5): 493-495 (in Chinese).
- [7] Wang Xinbing. Study of CO slab laser excited by RF discharge at room temperature [J]. *Huazhong Univ. of Sci. & Tech.* (华中科技大学学报), 2006, **34**(1): 87-89 (in Chinese).
- [8] Ionin A. Room-temperature repetitively pulsed ϵ -beam sustained carbon monoxide laser [J]. *SPIE*, 1995, **2502**: 44-50.

Properties of Pulsed CO Laser Radiation at Room Temperature

YANG Guibing, SHAO Chunlei, LI Dianjun, GUO Jin

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences

State Key Laboratory of Laser Interaction with Matter, Changchun 130033, China)

Abstract Lasing from CO molecular is easy to realize about liquid nitrogen temperature; however, normally it is hard to lasing at room temperature. To solve this problem, experimental research on CO molecular lasing at room temperature is carried out with TEA technology. The results show that at some limited conditions, there is no FO band lasing but just FB doing. The typical electric optical conversion efficiency is 1%; center wavelength at 5.3 μm ; pulse energy 0.22 J, FWHM 700 ns and peak power 0.3 mW. When the pulse repetition rate is 500 Hz, 100 watts average power is obtained at room temperature.

Key words CO laser; room-temperature operating; fundamental band; first overtone band

CLC number TN248.22

PACS 42.55.Lt; 42.60.By

PACC: 4255H

Document code A