

文章编号: 1001-3806(2006)02-0218-03

不含热池的 11 μm 附近热带连续波 CO₂ 激光器实验研究

杨元杰, 李育德*, 刘静伦, 张力军, 许德富
(四川大学 电子信息学院 光电科学技术系, 成都 610064)

摘要: 报道了一种非流动传统型连续波凹面光栅选支 CO₂ 激光器, 为了得到 11 μm 附近的一些热带谱线输出, 在不加 CO₂ 热吸收池的情况下, 通过采用较大曲率半径的凹面闪耀光栅 (闪耀波长 10.6 μm 、曲率半径 10m、刻线 150mm⁻¹) 和适当地增加腔长 (4.5m) 来提高谐振腔的选支能力。除了得到常规带 00⁰1-[10⁰Q 02⁰0]_{I, II} R(56) 至 P(56) 100 多条谱线之外, 还得到 11 μm 附近其它谱线 16 条, 其中包括 01¹1-03¹0 谱带 7 条、00¹1-11¹0 谱带 1 条、同位素 C¹³O₂¹⁶ 00⁰1-10⁰0 谱线 5 条、C¹³O₂¹⁸ 00⁰1-10⁰0 谱线 3 条。所有谱线的输出功率均在 1.6W 以上。

关键词: 激光器; CO₂ 激光器; 连续波; CO₂ 热吸收池; 同位素; 热带

中图分类号: TN248.2+2 **文献标识码:** A

Experimental study of a hot-cell-free CW CO₂ laser at 11 μm wavelength region hot bands

YANG Yuan-jie, LI Yu-de, LIU Jing-lun, ZHANG Li-jun, XU De-fu

(Department of Optoelectronic Science and Technology, School of Electronic and Information Science, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract The purpose is to describe the design and the construction of a no-flow conventional CW CO₂ laser with line selected by concave grating. In order to obtain the lines at 11 μm wavelength region, a concave grating (150 lines/mm, blazed at 10.6 μm) with a 10m radius curvature and a longer cavity (4.5m) is employed to increase the resolution of the cavity without a hot CO₂ absorption cell in the cavity. In this laser, besides more than 100 laser lines observed from R(56) to P(56) in the regular 00⁰1-[10⁰Q 02⁰0]_{I, II} band, another 16 lines in 11 μm wavelength region including 7 lines in the 01¹1-03¹0 band, 1 line in the 00¹1-11¹0 band, 5 lines in the isotope C¹³O₂¹⁶ 00⁰1-10⁰0 band and 3 lines in the isotope C¹³O₂¹⁸ 00⁰1-10⁰0 band, are also observed. The output power of every line is above 1.6W.

Key words laser; CO₂ laser; continuous wave (CW); hot CO₂ absorption cell; isotope; hot band

引 言

自从世界上第 1 台 CO₂ 激光器由 PATEL^[1,2] 于 1964 年研制成功以来, 封离型、流动型、气动型、横向激励型、波导阵列型等多种形式的激光器相继出现。CO₂ 激光器以其独特的优点在工业、军事、医学等多个领域发挥着不可替代的作用。已有很多关于 CO₂ 激光器设计及其应用方面的文献报道^[3-5]。由于其激光波长 10.6 μm 处于大气窗口, 故十分适宜于制导、测距、通信等方面的应用。CO₂ 激光器输出的波长范围为 9 μm ~ 18 μm , 相邻谱线间隔 1cm⁻¹ ~ 2cm⁻¹, 谱线非常丰富, 仅常规带 00⁰1-[10⁰Q 02⁰0]_{I, II} 跃迁谱线就有 100 多条, 此外, 01¹1-03¹Q, 01¹0-11¹Q, 14⁰0-05¹0 等跃

迁中也有大量振动谱线, 但它们的功率远小于 00⁰1-10⁰0 的跃迁。虽然有这么多条荧光谱线, 但由于竞争效应, 处于强线 (高增益线) 附近的弱线 (低增益线) 一般很难获得输出^[6]。不同波长谱线的特性及用途也各不相同, 因此, 研制出可调谐的多谱线输出的 CO₂ 激光器对于光与物质的相互作用、激光光谱、光化学、激光生物效应等方面的研究都具有重要意义。

在 CO₂ 激光的各振荡谱线中, 为了获得非常规带谱线的输出, 常用的方法是在激光器中添加 CO₂ 热吸收池或其它一些特殊装置来抑制常规带谱线的振荡^[7-11]。EVENSON, CHOU 等^[12,13] 报道了 CO₂ 激光热带的一些新谱线, 在这些谱线的获得过程中虽然激光器没加热吸收池, 但所用的放电管做了一些特殊处理。在不加热吸收池也不对放电管做其它特殊处理的情况下, 通常认为较难获得非常规带振荡。作者在这方面进行了一些尝试性的工作, 在不加 CO₂ 热吸收池也不对放电管做其它特殊处理的情况下, 利用工业纯

作者简介: 杨元杰 (1979-), 男, 硕士研究生, 主要从事激光与光通信的光器件与技术方面的研究工作。

* 通讯联系人。E-mail: lyude15@yahoo.com.cn

收稿日期: 2005-01-13 收到修改稿日期: 2005-03-03

CO₂ 得到了部分热带和同位素谱线的输出, 且功率均在 1.6W 以上。所用的 CO₂ 激光器采用凹面光栅凹面全反镜高 Q 值选支稳定腔。光栅的一级衍射效率 97%, 其效率为 3% 的零级衍射给出输出。由腔模式理论, 选择较大曲率半径的凹面光栅和较长的腔长可增大偏离中心轴振荡支线的损耗, 从而实现单支输出。在此传统型连续波 CO₂ 激光器实验中除得到常规带 $00^0 1-[10^0 0 02^0 0]_{I, II}$ R(56) 至 P(56) 100 多条谱线外, 还得到属于热带跃迁的 $01^1 1-03^1 0$ 谱带 P 支 7 条, $00^1 1-11^1 0$ 谱带 P 支 1 条, 以及同位素 C¹³O₂¹⁶ 谱线 $00^0 1-10^0 0$ P 支和 R 支 5 条, C¹³O₂¹⁸ $00^0 1-10^0 0$ 谱线 R 支 4 条, 详见本文中第 2 节。所有输出谱线的功率均在 1.6W 以上。C¹³O₂¹⁶ 激光谱线的穿透能力强, 可作激光测距、激光雷达的光源, 国内外在这方面的研究和报道较多^[14-16]。

1 实验装置

所用实验装置如图 1 所示, CO₂ 激光器为半内腔

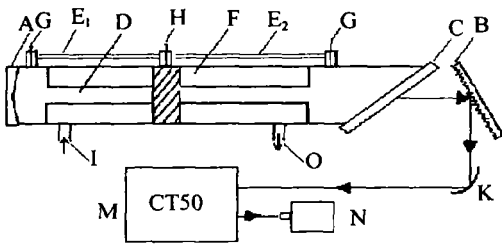


Fig 1 Schematic diagram of the apparatus

式纵向放电激励凹面光栅选支连续可调谐 CO₂ 激光器。谐振腔由凹面镜 A 和凹面光栅 B 组成, 腔长 4.5m, 布儒斯特窗片采用红外材料 ZnSe, 这是因为 ZnSe 在 10.6 μm 附近的吸收系数较小, 只有 0.005cm^{-1} , 且具有导热性能好、不潮解、化学性能稳定和机械性能好等特点^[17]; 布氏角为 $67^\circ 28'$; 凹面反射镜 A 的曲率半径为 5m, 由玻璃磨制而成表面镀有金膜, 在红外波段的反射率高达 98% 以上。凹面反射光栅 B 的闪耀波长 10.6 μm , 曲率半径 10m, 刻线 150mm^{-1} , 是不锈钢基底原刻光栅。放电管 D 为内径 16mm, 长 4m 的石英管, 因其较长所以需要分两段进行激励, 采用两个分离的直流辉光放电激励电源。G 为阳极, H 为阴极; E₁, E₂ 为细长的回气管。为了使放电稳定, 放电电路中串联 200k Ω 限流电阻。放电管外套冷水管 F 进行冷却, 冷水管环形间隙为 8mm。I 为进水口; O 为出水口。K 为凹面镜, M 为 CT50 单色仪, N 为探测器。

光栅固定在一个可沿垂直轴旋转的经纬仪上 (图中未画出), 这是为了方便调节光栅的角度以用于选支。光栅的旋转角度精确到 0.1° , 衍射光栅具有谐振

腔反射镜的反射作用和色散元件的双重作用, 既对沿轴光线有足够的准直反馈能力, 又能有效地进行不同波长的选择, 其选支原理在很多文献^[17] 上均有介绍, 在此不再重复。采用一级振荡、零级输出的输出耦合方式。输出谱线经凹面镜反射进入 CT50 单色仪测波长。

2 实验结果

利用上述实验装置, 在气压比为 $p(\text{CO}_2):p(\text{N}_2):p(\text{He}) = 1:1.15:4.6$ 总气压 744.85Pa 放电电流 25mA 的情况下得到常规带 $00^0 1-[10^0 0 02^0 0]_{I, II}$ R(56) 至 P(56) 100 多条谱线, 除此之外, 还得到热带谱线和同位素谱线 16 条, 如表 1 所示, 所有谱线均为基模。表中各谱线的波长来自文献 [6] 和文献 [13], 实验中所用单色仪的精度为 1nm。

Table 1 The output power at various rotational lines from the tuned CW CO₂ laser

band	line	wavelength/ μm	output power/W
	P(19)	10.9735	1.8
	P(21)	10.9950	2.0
	P(23)	11.0165	2.5
C ¹² O ₂ ¹⁶	$01^1 1-03^1 0$		
	P(24)	11.0300	2.25
	P(25)	11.0385	2.0
	P(26)	11.0535	2.1
	P(27)	11.0610	2.0
C ¹² O ₂ ¹⁶	$00^1 1-11^1 0$		
	P(17)	10.951486	1.6
	P(6)	11.00503495	2.1
	R(42)	10.61310290	2.6
C ¹³ O ₂ ¹⁶	$00^0 1-10^0 0$		
	R(36)	10.65214962	3.6
	R(20)	10.76824046	3.8
	R(12)	10.83292931	3.5
	R(18)	10.63030402	3.2
C ¹³ O ₂ ¹⁸	$00^0 1-10^0 0$		
	R(24)	10.59205288	5.2
	R(28)	10.56799780	4.6

3 结论

CO₂ 激光器输出波长范围在 9 μm ~18 μm , 相邻两条振荡谱线间隔 1cm^{-1} ~ 2cm^{-1} , 谱线丰富, 用途广泛^[18]。为了研究和利用 CO₂ 激光在 11 μm 附近的一些特性并在腔内进行光化学反应, 设计研制了这台可调谐连续 CO₂ 激光器。该实验装置简单, 工作稳定, 实验结果基本上满足要求。实验结果证明, 采用高 Q 值选支谐振腔并增长放电管长度确保较高增益, 可以实现常规带的 100 多条谱线振荡, 并且有一定数量的热带和同位素谱线输出。同时还在通过实验改进参

数,以期能够获得更大的输出功率和更多的谱线。实验证明,通过增加放电管长度,在不加热吸收池的情况下,便可获得热带谱线输出,使 CO₂ 激光器的输出谱线密度大大增加,且便于调谐,这对于光与物质的相互作用、激光光谱、光化学、激光生物效应等方面的研究都具有重要意义。本文中的工作对激光器的设计有一定的参考价值。

参 考 文 献

- [1] PATLE C K N. Interpretation of CO₂ optical maser experiments [J]. Phys Rev Lett 1964 12(21): 588~ 590.
- [2] PATLE C K N. Continuous-wave laser action on vibrational rotational transitions of CO₂ [J]. Phys Rev 1964 136(5): A1187~ A1193.
- [3] YANG F, HUANG W, ZHANG B *et al*. Temperature field distribution and thermal distortion of thin film coatings irradiated by CO₂ laser [J]. Laser Technology, 2004, 28(3): 255~ 258(in Chinese).
- [4] LIU J G, CHEN C H, ZHENG T Sh *et al*. Experimental study of CO₂ laser induced locally chemical depositions of copper [J]. Laser Technology 2003, 27(1): 16~ 18(in Chinese).
- [5] CHEN C H, LU J G, ZHENG T Sh *et al*. The research of adhesion of metal layer deposited on epoxyresin board by CO₂ laser induced from aqueous solution [J]. Laser Technology, 2004 28(1): 26~ 29(in Chinese).
- [6] LIU J H, XU R F. Laser devices and techniques [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press 1995 35(in Chinese).
- [7] REID J SEM SEN K. New CO₂ laser bands in 9-11 μ m wavelength region [J]. A P L, 1976, 29(4): 250~ 251.
- [8] REID J SEM SEN K. Laser power and gain measurement on the sequence band of CO₂ [J]. JA P, 1977, 48(7): 2712~ 2717.
- [9] WHIFFORD B G, SEMSEN K J, RED J. Heterodyne frequency measurements of CO₂ laser hotband transitions [J]. Opt Commun 1977, 22: 261~ 264.
- [10] SOLODUKHIN A S. Hot cell free sequence band CO₂ laser [J]. Journal of Modern Optics 1987, 34(4): 577~ 580.
- [11] LIY D, YIH Y, ZHOU Y W. Experimental study of a CW CO₂ laser on the sequence bands [J]. Chinese Applied Laser 1999, 19(6): 359~ 360(in Chinese).
- [12] EVENSON K M, CHOU Ch Ch, BACH B W *et al*. New CW CO₂ laser lines: The 9 μ m hot band [J]. IEEE J Q E, 1994, 30(5): 1187~ 1188.
- [13] CHOU Ch Ch, EVENSON K M, ZINK K R *et al*. New CO₂ laser lines in 11 μ m wavelength region: New hot bands [J]. IEEE J Q E, 1995 31(2): 343~ 345.
- [14] LIN J Q, WANG X H, HAN T L *et al*. Isotope ¹³CO₂ laser and its application [J]. Journal of Optoelectronics • Laser 1996 7(2): 119~ 124(in Chinese).
- [15] SIDDOWAY J C. Calculated and observed laser transitions using C¹⁴O₂¹⁶ [J]. JA P, 1968, 39(10): 4854~ 4855.
- [16] FREED C, ROSS A H M, DONNELL R G O. Determination of laser line frequencies and vibrational rotational constants of ¹²C¹⁸O₂, ¹³C¹⁶O₂, and ¹³C¹⁸O₂ isotopes from measurements of CW beat frequencies with fast HgCdTe photodiodes and microwave frequency counters [J]. J Mol Spectrosc, 1974 49(3): 439~ 453.
- [17] MA J W, CHEN Y Q. Laser devices [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press 2002. 56(in Chinese).
- [18] CAI B R, WANG R F, WEIG H *et al*. Laser devices [M]. Changsha: Hunan Science and Technology Press 1981. 92(in Chinese).

(上接第 211页)

程。通过计算,还发现初始啁啾无论正负都会加剧三阶色散的影响,所以,在三阶色散不能忽略的情况下,通过初始啁啾来补偿色散的方法应该慎用。

参 考 文 献

- [1] LINKE R A. Modulation induced transient chirping in single frequency lasers [J]. IEEE J Q E, 1985 21(6): 593~ 597.
- [2] WU J W, XIA G Q, WU Zh M. Transmission characteristics of super-Gaussian optical pulse in the single-mode optical fiber [J]. Laser Technology 2003, 27(4): 342~ 344 348(in Chinese).
- [3] XIE Y M. A numerical study on propagation properties of optical super-Gaussian shaped pulses in monomode fibers [J]. Journal of Gannan Teacher College, 2004 25(3): 3~ 4(in Chinese).
- [4] FANG Sh Q, ZHAO Sh H, DONG Sh F *et al*. Analysis of the propagation characteristics of super-Gaussian pulses in the single-mode fibers [J]. Journal of Shanxi Institute of Technology, 2004, 20(2): 10~ 13(in Chinese).
- [5] AGRAWAL G P. Nonlinear fiber optics & applications of nonlinear fiber optics [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry 2002 49~ 51(in Chinese).
- [6] ZHANG Sh E, SONG W M. Influence of higher order dispersion on optical pulse propagates along single fiber [J]. Journal of North China Electric Power University, 2003 30(4): 90~ 92(in Chinese).