

文章编号: 1001-5078 (2006) 10-0940-03

TEA CO₂ 激光器 11μm 波段谱线特性研究

廖均梅, 李育德, 李忠华, 刘效勇, 冉瑞江, 陈梅
(四川大学光电科学技术系, 四川 成都 610064)

摘要: 采用双光栅谐振腔和增长放电增益区的方法, 进行了 TEA CO₂ 激光器 11μm 波段谱线输出特性研究。在混合气体的比例为 CO₂ N₂ He = 70 90 270 和总压 430 × 133. 3 Pa 情况下, 获得数条谱线的激光输出。着重研究了波长为 11013 nm 的激光谱线的输出特性, 其脉宽为 400 ns 左右, 且脉宽随电压变化。谱线能量随光栅中心的位移而变化, 当光栅中心在放电区中心轴线上时有最大的能量输出。光斑能量分布接近低阶模或基模分布。

关键词: TEA CO₂ 激光器; 热带; 序列带; 谱线特性

中图分类号: TN248. 2⁺ 2

文献标识码: A

The Study on the Output Character of 11μm Wavelength Region TEA CO₂ Laser

LIAO Jun-mei, LI Yu-de, LI Zhong-hua, LIU Xiao-yong, RAN Rui-jiang, CHEN Mei
(Department of Opto-Electronic Science and Technology, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract: Adopting the two grating cavities and lengthening the gain region of discharge, the output character of the TEA CO₂ 11μm lines were studied. Under the optimum proportion of mixing gases 18. 4% CO₂, 23. 7% N₂, 57. 9% He and at total pressure of 430 × 133. 3 Pa, several laser lines were observed. The output character of the laser line is studied which wavelength is 11013 nm. The pulse width of wavelength 11013 nm is 400 ns around and the pulse width varies with the main discharge voltage variation. Line's energy varies with the displacement of grating. While the centre of grating is in the axis of discharge chamber, the maximal energy output will appear. The energy distribution of the spot is close to the energy distribution of the lower order mode or fundamental mode.

Key words: TEA CO₂ laser; hot line; sequence line; output character

1 引言

TEA CO₂ 激光器最常见的是常规带的跃迁。除常规带外还有序列带和热带跃迁。序列带 CO₂ 激光器属 $00^0 n - [10^0 (n - 1), 02^0 (n - 1)]$, $n \geq 2$ 的跃迁。Reid 和 Siemsen^[1] 最先观察到序列带激光谱线 $00^0 2 - [10^0 1, 02^0 1]$, Che-Chung Chou 和 K. M. Evenson 等又发现了热带激光谱线, 热带激光谱线包括 $00^0 3 - [10^0 2, 02^0 2]$, $01^0 1 - [11^0, 0, 03^0 0]$, $01^1 1 - [11^1 0, 03^1 0]$ ^[2], $01^1 2 - [11^1 1, 03^1 1]$, $02^2 1 - [12^2 0, 04^2 0]$ ^[3], 发现的这些谱线比常规带情况下的 CO₂ 激光跃迁辐射增加一倍多, 且跃迁辐射不会被 CO₂ 气体所吸收, 在激光光谱、光泵激光器、大气传输等应用领域有重要意义。工作于常规带和序列带、热带的 TEA CO₂ 激光器被列为光雷达系统的

最佳光源之一, 并在大气污染物检测方面获得成功^[5]。要得到序列带或热带的激光的常用方法, 有在谐振腔内安放一个 CO₂ 热池来抑制常规带谱线^[4]。本实验是想在较长增益区和较高分辨率的谐振腔条件下获得 11μm 波段谱线激光输出。实验采用的是光栅-光栅腔结构, 试验不同的混气比例, 最终得到几条激光谱线, 波长分别为 11005 nm、11013 nm 和 11015 nm。本文着重对波长 11013 nm 的谱线作了输出能量特性和波形特性研究。当光栅中心在放电

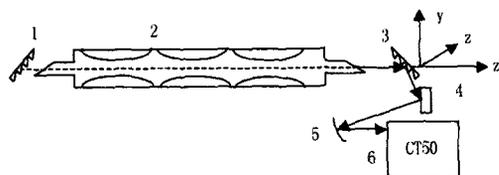
基金项目: 中国核动力研究设计院核燃料及材料国家重点实验室基金 (51481030103SC0101) 资助。

作者简介: 廖均梅, 四川大学光学专业研究生, 从事激光器器件和激光技术方面的研究。

收稿日期: 2006-03-13

区中心轴线上时,该谱线有最大的能量输出。

2 实验条件



1. 平面闪耀光栅; 2. 放电管; 3. 凹面闪耀光栅; 4. 平面反射镜;
5. 凹面反射镜; 6. CT50单色仪

图 1 实验装置示意图

实验采用图 1 所示装置,谐振腔为光栅 - 光栅腔结构,由刻线 150 线 /mm,曲率半径 R 为 10m,一级衍射效率可达 95%的凹面闪耀光栅 3和刻线 150 线 /mm,衍射效率 95%以上的平面闪耀光栅 1 组成。谐振腔总长为 5.745m,放电管的放电区总长 3.845m,放电管的两端用 ZnSe片以布氏角密封,一端到平面光栅 1 的距离是 0.75m,另一端到凹面光栅 3 的距离是 1.15m,电压 27000V,反射镜 4 和 5 的反射率均为 90%。

测试表明,所用 CT50 (臂长 50cm) 单色仪足以将序列带、热带谱线和常规带谱线区分开来 (少数靠得很近的除外)。所测到的已知谱线与已公布的数据符合。如对于常规带, P36 线和 P54 线测得的波长读数分别是 10764nm 和 10989nm。资料公布的这些波长分别是 10764.052nm 和 10988.783nm。精度可达 ±0.5nm,可见所用单色仪能够对激光谱线波长进行较精确的测试。激光输出波形的观察是通过光子牵引探测器接收后由 100兆数字示波器来进行的,100兆示波器对观察 100ns 左右脉宽波形是基本可行的,常规带脉宽与我们曾用 300兆示波器测得的基本符合。激光输出能量、波长及波形见后文。

3 实验结果及说明

3.1 波长测定

我们进行了多种混气比例及总压条件下的出光实验,其中较好的是 CO₂ N₂ He = 70 90 220,总压为 380 ×133.3Pa。最佳混气比例及总压为 CO₂ N₂ He = 70 90 270 和 430 ×133.3Pa,在此最佳混合气体比例和电压 27kV 的条件下,得到的激光线较多较强。实验中,为保持稳定放电,我们注意保持室内干燥。我们测出了几条激光线波长及能量,最大输出能量达到 701.4mJ,具体波长、能量如表 1 所示。

表 1 激光谱线测试结果

波长 /nm	能量 /mJ
11005	133.6
11013	701.4
11015	400.8

在 001 - 110 带,只有 P23 的波长 11015.934nm 与所测波长 11015nm 很相近,其它波长与所测的三条线均不相符。

在 001 - 100 带,只有 P56 的波长 11015.9060nm 与所测波长 11015nm 很相近。这个带的 C¹³O₂¹⁶ 的波长中, P6 的波长 11005.03495nm 与所测波长 11005nm 相符。同样这个带的 C¹³O₂¹⁸ 的波长中, P26 的波长 11004.49241nm 波长与所测波长 11005nm 相符,这个带的其它波长与所测的三条线均不相符。

在 001 - 030 带, P23 的波长 11016.5nm 与所测波长 11015nm 相近。

在 00⁰3 - 10⁰2 带,根据计算可能存在的波长有 10986.255nm (J = 50)、11012.180nm (J = 52)、11038.538nm (J = 54)^[6]。只有 11012.180nm 与所测波长 11013nm 很相近。

3.2 激光的输出特性

3.2.1 激光输出模式

从光斑图样我们可以得知能量分布接近低阶模或基模分布。光斑图样如图 2 所示。

图 2 近场光斑图样

3.2.2 能量分布

我们对激光谱线 (波长为 11013nm) 作了能量分析。具体方法是,在凹面光栅后光斑中央处放一个大小可调的光阑,在光阑后放探测器,测量能量。改变光阑大小,测出不同条件下的能量,算出在不同区域内的能量密度,如表 2 所示。

表 2 激光束横截面上的能量分布

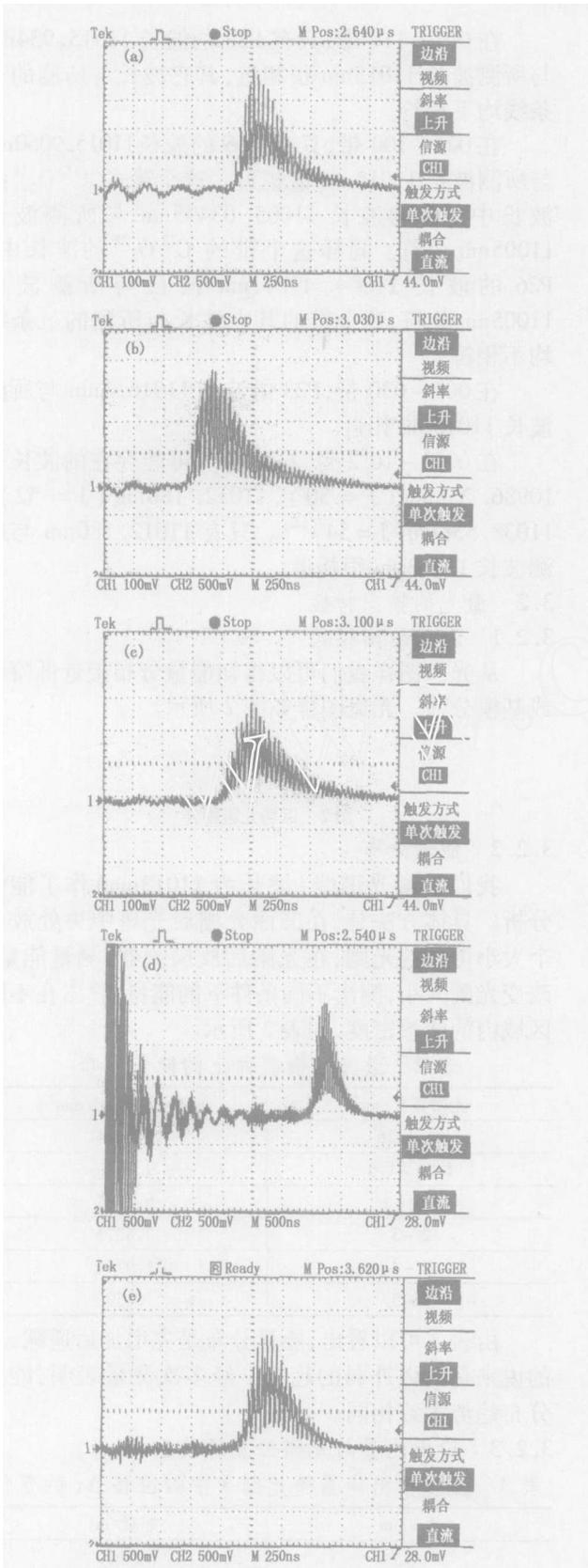
光阑直径 /mm	能量密度 / (mJ/mm ²)
0 - 1.26	5.3014
1.26 - 1.5	9.7640
1.5 - 2	6.0752
2 - 3	3.8273
3 - 4	1.9744
4 - 5	0.59

由表 2 可以看出,能量分布是先增加后递减,总的说来是内强外弱的趋势。经多次测量表明,能量分布趋势大致相同。

3.2.3 输出能量与光栅位置的关系

表 3 激光输出能量随光栅 3 中心位移 x 的变化

x /mm	能量 /mJ
- 1.74	62.625
- 1.24	106.88
- 0.74	116.9
- 0.24	155.31
0.26	73.48
0.76	56.3625



(a)波长为 11013nm 的谱线的波形图,电压为 27kV。a、b、c 的时标均为 250ns 格; (b)、(c)波长也为 11013nm 的谱线的波形图,电压分别为 26.8kV、25kV; (d)、(e)波长为 11015nm 的谱线的波形图,电压为 27kV,时标分别为 500ns 格和 250ns 格

图 3 脉冲波形

我们还改变光栅的位置来测量输出激光谱线(波长为 11013nm)的能量变化。把从光栅 1 到光栅 3 的方向(即放电管中心轴线)作为 Z 轴, X 轴和 Y 轴如图 1 所示, X 轴表示光栅中心的位移,激光输出能量随光栅 3 中心位移的变化如表 3 所示。

从能量变化趋势可以看出:谱线输出能量是随光栅 3 中心的位移的变化而变化的,位移越大,能量越小。当光栅中心在 X 轴上时,有最大的能量输出。所以要想得到高能量的谱线输出,应让光栅中心在放电管中心轴线上。

3.2.4 脉冲波形

从波形图(图 3)可知,脉宽随电压的变化而变化,脉宽为 400ns 左右。

4 结论

采用双光栅腔和较长增益区,在最佳混合气体比较 CO_2 N_2 $\text{He} = 70$ 90 270 及总压 $430 \times 133.3 \text{Pa}$, 获得了 $11\mu\text{m}$ 波段谱线输出。光强最强的是波长为 11013nm 的谱线。通过对波长 11013nm 激光谱线的测试表明,它的最大输出能量是 701.4mJ,脉宽 400ns 左右,且脉宽随电压的变化而变化。谱线能量随光栅位置的不同而有所变化,当光栅中心在放电管中心轴线上时有最大的能量输出。分析光斑能量分布发现,能量分布总的说来与低阶模或基模接近。

参考文献:

- [1] J Reid, K Siemsen New CO_2 laser bands in the 9-11 μm wavelength region[J]. Appl Phys Lett, 1976, 29: 250 - 251.
- [2] KM Evenson, Chen-Chung Chou, B W Bach, et al New CW CO_2 Laser Lines: The 9- μm Hot Band[J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, 1994, 30 (5): 1187 - 1188.
- [3] Chen-Chung Chou, KM Evenson, KR Zink, et al New CO_2 Laser Lines in the 11- μm Wavelength Region: New Hot Bands[J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, 1995, 31 (2): 343 - 345.
- [4] J Reid, K Siemsen Laser power and gain measurements on the sequence bands of CO_2 [J]. J. Appl Phys, 1977, 48: 2712 - 2717.
- [5] 张莉莉,任德明,等. $\text{TEA}^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$ 激光器的实验研究[J]. 中国激光, 2005, 32 (9): 1169 - 1172.
- [6] J Siemsen, B G Whitford Heterodyne Frequency Measurements of CO_2 Laser Transitions[J]. Optics Communications, 1977, 22 (1): 13 - 15.