

文章编号: 0258-702X(2001)07-0580-03

# TEA CO<sub>2</sub> 激光输出的平顶型模式研究

谭荣清 万重怡 谢文杰

(中国科学院电子学研究所 北京 100080)

**提要** 对 TEA CO<sub>2</sub> 激光器较为均匀的“平顶型”输出模式的成因进行了探讨,在其他条件相同的情况下,分别测量了不同饱和程度下激光器输出光的能量密度分布,通过实验证实,在 TEA CO<sub>2</sub> 激光器中,由于其增益较高,存在着较为强烈的饱和效应,因而引起了激光模式的展宽和均匀化。

**关键词** TEA CO<sub>2</sub> 激光器;“平顶型”模式;饱和效应

中图分类号 TN 248.2+2 文献标识码 A

## Investigation on the Flat-top Mode of a TEA CO<sub>2</sub> Laser

TAN Rong-qing WAN Chong-yi XIE Wen-jie

(Institute of Electronics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

**Abstract** The output mode of a TEA CO<sub>2</sub> laser is a “flat-top” type rather than Gauss distribution predicted by the conventional theory. In this paper, the formation mechanism is investigated. The energy distributions of the output beams in different degree of saturation are measured while the other conditions remain unchanged. It has been demonstrated experimentally that the intense saturation due to the high gain in the TEA CO<sub>2</sub> laser is responsible for the output mode’s widening and uniformizing.

**Key words** TEA CO<sub>2</sub> laser, flat-top mode, saturation

### 1 引言

激光器的输出模式是衡量激光器输出光束质量的重要因素之一,它与激光器的应用有很大的关系。自从激光器于 20 世纪 60 年代问世以来,就已对激光器的模式进行了比较深入和全面的研究<sup>[1,2]</sup>,并形成了比较完备的理论体系。对于实际中经常采用的稳定腔,按传统理论,当它具有圆对称性时,其模式可用拉盖尔-高斯函数描述;当它具有矩形对称性时,其模式可用厄米-高斯函数描述,其基模为高斯光束。这在许多情况下,是与实验相符的。例如在低气压 CO<sub>2</sub> 激光器中,激光器的输出模式通常符合高斯分布。但对于 TEA CO<sub>2</sub> 激光器,情况有所不同。TEA CO<sub>2</sub> 激光器输出光的能量分布一般比较均匀,甚至是大体均匀地充满整个增益截面,被称为“平顶型”(“Top Flat”)分布。这与传统理论相差较大。本文通过实验研究了 TEA CO<sub>2</sub> 激光器的模式分布。

### 2 实验及结果

图 1 所示为 TEA CO<sub>2</sub> 激光器输出光的典型情况。其中,图 1(a)为激光器输出光的光斑,其形状大小基本与放电截面相同,图 1(b)为测量得到的相应的激光能量密度分布。从图中可以看出,激光器输出光的能量密度分布在与激光器放电截面相应的整个范围内,基本为均匀分布。激光器输出光的能量密度分布为“平顶型”。为了深入研究这一现象的成因,我们进一步作了下面的一组实验。

使用 MARK IV Laser Beam Profile 测量了 TEA

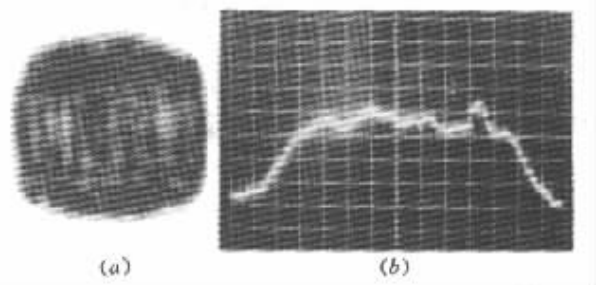


图 1 TEA CO<sub>2</sub> 激光器输出光束的典型情况

Fig. 1 Typical case for TEA CO<sub>2</sub> laser’s output beam

CO<sub>2</sub> 激光器的输出光束的能量分布。实验装置如图 2 所示。实验中的激光器为平-凹腔结构<sup>[3]</sup>, 激光谐振腔由  $R = 10\text{ m}$  的凹面全反射镜和相距  $2.4\text{ m}$  的平行平面输出镜组成, 输出镜的透过率为  $72\%$ 。增益介质的体积为  $120\text{ cm} \times 2.5\text{ cm} \times 2.5\text{ cm}$ , 在全反射镜附近设置了直径为  $20\text{ mm}$  的光阑。由于激光器为全外腔结构, 在激光器腔体的两端使用了 NaCl 晶体作为布儒斯特窗口, 因此谐振腔不再具有圆对称性<sup>[2]</sup>。由于该激光器输出脉冲的能量较大, 为焦耳量级, 必须对输出光束进行衰减, 以保证探测器的正常使用。实验中, 采用 NaCl 晶体表面的反射对激光束进行衰减, NaCl 的反射表面加工成平面, NaCl 晶体加工成楔形, 只利用单面的反射光束进行测量, 反射率约  $4\%$ 。按上述方法进行衰减, 一方面可避免对激光束的能量密度分布产生影响, 另一方面也可有效避免强激光对衰减光学元件的破坏。Laser Beam Profile 的探头为一个 60 元的探测器线列阵, 各单元的间距为  $0.4375\text{ mm}$ 。为使问题简化, 只研究输出光沿  $x$  方向(水平)的能量分布。对于沿  $y$  方向(竖直)的能量分布测量, 结果基本相同。

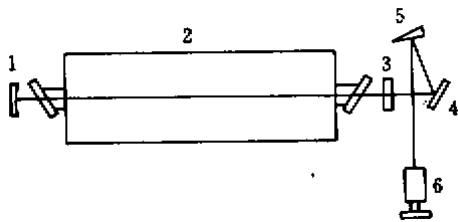


图 2 实验装置示意图

1: 全反射镜 2: 激光器腔体 3: 输出镜;

4: 平面反射镜 5: NaCl 晶体 6: Laser Beam Profile

Fig.2 Schematic of the experimental setup

1: full reflector; 2: laser's chamber; 3: output coupler;

4: plane reflector; 5: NaCl crystal; 6: Laser Beam Profile

在激光器输出端附近(距输出镜  $1.5\text{ m}$ )测量了激光器输出光的能量密度分布, 如图 3 所示。图中, 水平方向每格对应的距离为  $2.19\text{ mm}$ 。图 3 为 TEA CO<sub>2</sub> 激光器的典型工作情况, 注入能量为  $54\text{ J}$ , 输出光能量为  $3.3\text{ J}$ , 输出光的平均能量密度约  $975\text{ mJ/cm}^2$ 。根据文献<sup>[4]</sup>的方法估算, 增益介质的饱和能量密度约为  $74\text{ mJ/cm}^2$ 。激光器谐振腔内的能量密度明显高于增益介质的饱和能量密度, 激光器处于强饱和状态。从图中可以看出, 激光器输出光为典型的“平顶型”结构, 光束宽度约为  $18.4\text{ mm}$ , 激光能量在光斑中心附近的相当大的范围内大体均匀地

分布。

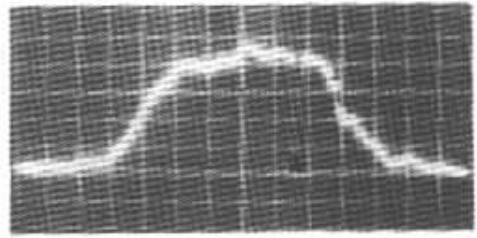


图 3 测量的激光器输出光能量密度分布(强饱和情况)

Fig.3 Measured laser output beam's energy density distribution (intense saturation)

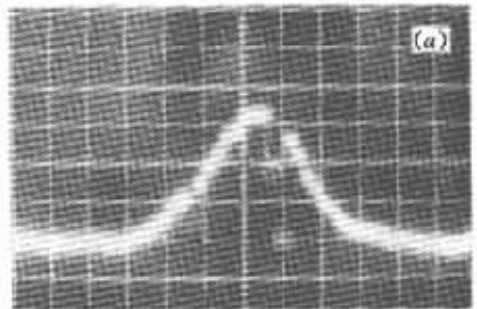


图 4 (a)测量的激光器输出光能量密度分布(弱饱和情况)

(b)计算得出的理想的高斯分布  
Fig.4 (a) Measured laser output beam's energy density distribution (weak saturation); (b) Calculated ideal Gauss profile

保持上述实验装置不变, 仅仅改变激光器的注入能量。在上述相同位置测量了输出光的能量密度分布, 如图 4(a)所示。这时, 激光器的注入能量为  $18\text{ J}$ , 激光器输出光能量为  $25\text{ mJ}$ , 输出光的平均能量密度约  $30\text{ mJ/cm}^2$ 。激光器谐振腔内的能量密度明显小于增益介质的饱和能量密度, 为弱饱和的情况。为便于比较, 图 4(b)中还同时示出了计算得出的理想的高斯分布, 其光束宽度为  $9.0\text{ mm}$ 。从图 4 可以看出, 激光器的输出光基本为高斯分布, 光束宽度为  $9.2\text{ mm}$ , 与理论值接近。

实验中还同时测量了注入能量介于上述两种情况之间时, 激光器输出光束的能量密度分布。其中, 图 5(a)对应的注入能量为  $30.4\text{ J}$ , 激光器输出能量为  $353\text{ mJ}$ , 从图中可以得到光束宽度为  $16.6\text{ mm}$ , 激光器输出光的平均能量密度约  $128\text{ mJ/cm}^2$ 。图

5(b)对应的注入能量为 24.3 J,激光器输出能量为 180 mJ,光束宽度为 13.1 mm,激光器输出光的平均能量密度约 105 mJ/cm<sup>2</sup>。

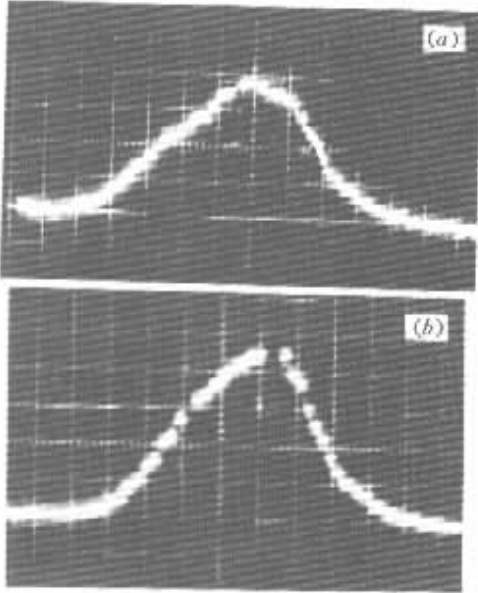


图 5 测量的激光器输出光能量密度分布  
(a)注入能量为 30.4 J;(b)注入能量为 24.3 J

Fig.5 Measured laser output beam's energy density distribution

(a) deposit energy :30.4 J ;(b) deposit energy :24.3 J

### 3 分析及讨论

综合实验结果可以看出,对于完全相同的激光器谐振腔,在不同的饱和程度下,激光器输出光有很大的不同。在弱饱和情况下,激光器输出光的能量密度分布基本为高斯分布。而在强饱和情况下,激光器输出光为“平顶型”结构。按图 4,图 5(b),图 5(a),图 3 的顺序,激光器腔体内的饱和效应逐渐增强,激光器输出光的宽度也随之逐渐变宽,直至成

为“平顶型”光束。由此可见,在 TEA CO<sub>2</sub> 激光器中经常出现的“平顶型”的输出光能量分布,是由于激光器中存在的强烈的饱和效应而引起的。

在传统理论中,通常是考虑谐振腔中没有增益介质或增益介质的增益很小的情况。在这种情况下,对激光器输出光的空间分布起决定作用的是衍射作用。而 TEA CO<sub>2</sub> 激光器的增益一般较高,在腔内存在着强烈的饱和效应。由于光束中心的饱和效应比光束边缘大很多,引起光束中心的增益下降较多而其边缘的增益下降较少。这一效应使光强分布趋于均匀化。所以在 TEA CO<sub>2</sub> 激光器中,衍射和饱和效应共同影响激光器输出光的空间分布,起决定作用的主要是饱和效应,由于饱和效应的作用,输出光斑一般为均匀的“平顶型”结构。

### 4 结 论

通过实验测量证实,在 TEA CO<sub>2</sub> 激光器中,由于较高增益的激光介质中存在着强烈的饱和效应,使得输出光束分布被展宽和均匀化,输出光束分布呈“平顶型”结构。这对高光束质量激光器谐振腔的设计具有重要意义。

致谢 本工作得到了刘世明、周锦文、齐继兰、吴谨等同志的大力协助,在此表示衷心的感谢。

### 参 考 文 献

- 1 A. G. Fox, T. Li. Resonant modes in a maser interferometer. *Bell. Sys. Tech. J.*, 1961, **40**(2): 453 ~ 488
- 2 A. E. Siegman. *Lasers*. University Science Books, California: Mill Valley, 1986. 558922
- 3 Chongyi Wan, Shiming Liu, Jinwen Zhou *et al.*. High repetition rate TEA CO<sub>2</sub> laser with average power 1.5 kW. *SPIE*, 1995, **2502**: 87 ~ 94
- 4 W. J. Witteman. edited by K. Shimoda. *The CO<sub>2</sub> laser*. Springer-Verlag, 1987. 275, 5662
- 5 A. J. Beaulieu. High peak power gas lasers. *Proc. IEEE*, 1971, **59**(4): 667674