

## 百瓦级横流 CO<sub>2</sub> 激光器的放电实验研究

卢 宏 陈清明 陈培锋 李晓平

(华中理工大学激光技术国家重点实验室, 武汉, 430074)

**摘要:** 采用独创的约束放电激励方法, 研制了一台百瓦级横流 CO<sub>2</sub> 激光器, 激光器总体技术方案为气体横向流动, 纵向约束放电。并进行了激光器伏安特性实验, 注入放电功率达 2440W。

**关键词:** 约束放电 CO<sub>2</sub> 激光器 放电系统 伏-安特性

### Experimental study on discharge for hundred-watts transverse-flow CO<sub>2</sub> laser

Lu Hong, Chen Qingming, Chen Peifeng, Li Xiaoping

(National Laboratory of Laser Technology, HUST, Wuhan, 430074)

**Abstract:** The hundred-watt transverse-flow CO<sub>2</sub> laser is designed. The laser utilized the technique of gas transverse flow and longitudinal confined discharge to obtain the maximum discharge area and the uniform discharge property. *V-A* characteristic of the laser has been detected, and the *V-A* curve is a slow variation. In our system, the maximum discharge power is high up to 2440W, the quantum efficiency is 40%, the electron-photo transfer efficiency is 10% ~ 20%.

**Key words:** confined discharge CO<sub>2</sub> laser discharge system *V-A* characteristics

## 引 言

近年来, 激光加工业增长幅度最快的是中小功率(250W 以下) CO<sub>2</sub> 激光器<sup>[1]</sup>。国外主导

氮乙酰胺衍生物更适用于红光及近红外波段的光限幅。在今后的富勒烯光限幅研究中, 富勒烯衍生物的可调谐光限幅特性研究将成为光限幅研究的一个重要研究领域。

## 参 考 文 献

- 1 Tutt L, Kost A. *Nature*, 1992; 356: 255~ 256
- 2 Bentivegna F, Canva M, Georges P *et al.* *A P L*, 1993; 62(15): 1721~ 1723
- 3 Joshi M P, Mishra S R, Rawat H S *et al.* *A P L*, 1993; 62(15): 1763~ 1765
- 4 Kost A, Tutt L, Klein M B *et al.* *Opt Lett*, 1993; 18(5): 334~ 336
- 5 宋瑛林, 杨 森, 王瑞波. *中国激光*, 1994; A21(8): 653~ 656
- 6 Signorini R. *Chem Commun*, 1996; 1891~ 1892
- 7 Smilowitz L, McBranch D, Klimov V *et al.* *Opt Lett*, 1996; 21(13): 922~ 924
- 8 Menghetti M, Signorini R, Zerbetto M *et al.* *Synthetic Metals*, 1997; 86: 2353~ 2354
- 9 Ebbesen T W, Tanigaki K, Kuroshina S. *Chem Phys Lett*, 1994; 181(6): 501~ 504

作者简介: 宋瑛林, 男, 1966 年 12 月出生。副研究员。主要从事非线性光学及光限幅等研究工作。

产品是射频激励扩散冷却 CO<sub>2</sub> 激光器,它在调制性能、紧凑程度、气体消耗和长寿命稳定运行诸方面,均较传统的封离型玻璃管 CO<sub>2</sub> 激光器优越。我国目前的射频激励 CO<sub>2</sub> 激光器仍处在研究开发阶段,尚无成熟产品,整体水平要达到国外同类型产品水平仍需较长过程,同时,射频激励 CO<sub>2</sub> 激光器本身也存在着价格昂贵和射频泄漏等问题。

气体流动技术对于 CO<sub>2</sub> 气体激光器性能有强烈影响,从散热角度来说,强迫对流冷却比自然扩散冷却要有效得多,横流 CO<sub>2</sub> 激光器是发展较为完善的激光器。为此,我们吸收现有横流 CO<sub>2</sub> 激光器技术优点,采用约束放电激励方法<sup>[2~4]</sup>,研制了一种百瓦级横流 CO<sub>2</sub> 激光器。采用这种放电激励可以使 CO<sub>2</sub> 激光器向着高功率、小体积、紧凑型方向发展。该激光器的体积可以与国际上的射频激励扩散冷却型 CO<sub>2</sub> 激光器相当,但避免了使用射频激励方法带来的电磁污染,且成本低,符合我国国情。

### 1 电极结构

我们采用了多根阴极放电针对平板的放电结构,两轴正交式横流方式<sup>[5]</sup>,即气体流动方向同放电方向一致而与光轴方向垂直(见图1)。这种形式的特点是放电区域大,受激放大

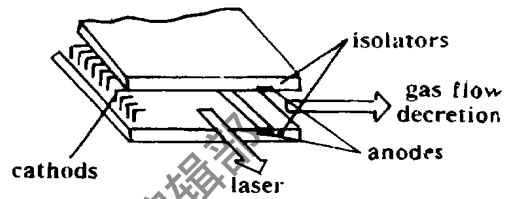


Fig. 1 The gas flow direction and laser beam are vertically arrangement

的体积大,放电区均匀对称性较三轴正交横流方式好,放电稳定性较三轴正交式差,不过采用的约束放电激励方式,提高了放电稳定性;而且二轴正交横流方式适合于多折光学谐振腔的布局,有利于获得高光束质量。

图2给出了基于约束放电设计的放电室的结构示意图。放电室由阴极放电针、平板放电极、永久磁铁及绝缘材料组成。采用两排阴极放电针对双阳极平板的放电结构,阴极针与阳极板间距

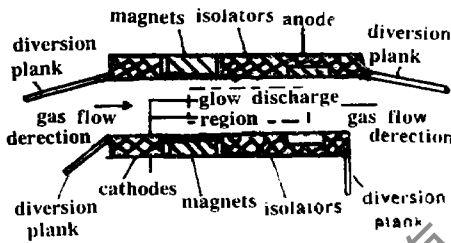


Fig. 2 Schematic diagram of magnetically confined gas discharge

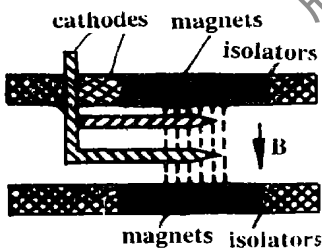


Fig. 3 The structure of discharge chamber

为 50mm,阴极针用钼,阳极为紫铜板。每颗针接一镇流电阻,起平衡放电电流作用。阴极针有 180 根,为使放电区的宽度展开到整个放电室,提高放电均匀性,阴极针分上下两排放置,所有针都均匀分布,间距为 5mm,这样,

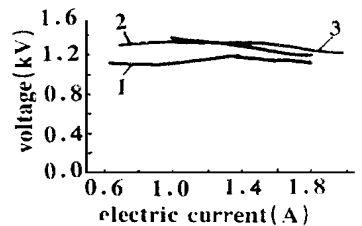


Fig. 4 The V-A curve of the CO<sub>2</sub> laser excited by confined discharge  
1-P = 8.0kPa 2-P = 9.3kPa 3-P = 10.6kPa

有效放电长度为 180×5mm= 900mm,放电区范围为 900mm×50mm×20mm。由于阴极针的位置在放电区上游,其周围气体是经过热交换后已冷却的气体,因此,在正常辉光放电条件下其温度不会因放电而加热到很高。为在高度方向充分扩展放电体积,放电区下游的阳极板分为上下两排,每排长度为 900mm。一台横向流动风机为放电通道提供 20m/s 左右的风速。

在约束放电电极中,磁场的方向总是选取与放电区电场垂直方向,而且磁场强度最佳作用

范围是放电区电子浓度高的阴极区域。在我们设计的电极中,磁铁的安装形式如图 3 所示,放电室中靠近阴极针附近的上、下位置各有一排平行排列的永久磁铁,南、北极性相对,从而在放电的阴极区域形成一片均匀的磁场作用范围。在两排磁铁的中心位置,磁场的特征强度为 0.15T。

## 2 放电特性

激光器的放电特性与工作气体压力、混合比例、气动性能、放电区温度、放电电极结构及其材料性能等因素有关。当工作气体的混合比为 CO<sub>2</sub>: N<sub>2</sub>: He= 1: 10: 24,总气压分别为 8.0kPa, 9.3kPa 和 10.6kPa,冷却循环水温度 20℃,混合气体循环流动速度约为 20m/s 时,在电源为高压直流电源,每根针串接 80kΩ 镇流电阻(总等效镇流电阻为 440Ω)的实验条件下,辉光放电  $V-A$  特性曲线如图 4 所示。可以看出,辉光放电的  $V-A$  特性曲线非常平缓,放电电压几乎不随电流的变化而改变。气压越高,辉光放电起辉电压越高,总的注入功率越大,相应的放电功率也越大,这是由于气体压力升高后,电子与气体分子的碰撞加大,电子的平均自由程减少,为达到气体分子的电离能,电子所需要的外加场强也需相应增加。图 5 是分别在 8.0kPa, 9.3kPa 和 10.6kPa 三种气压条件下放电注入功率与放电电流的关系曲线。可以看出,随着放电电流的增大,放电注入功率基本上随电流呈线性增长;在其它条件不变的情况下,注入电功率密度与气压成正比。为检验磁场对放电的作用,我们还作了一个有趣的实验,将放电室内所布置的磁场去掉一部分,保留一部分,然后分别进行放电,结果表明,在其它条件不变情况下,同一结构的放电室在无磁场的条件下,不能实现正常稳定的辉光放电,这表明约束放电激励方式具有提高放电稳定性的作用。

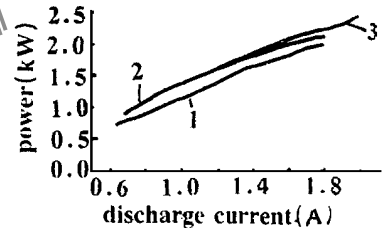


Fig. 5 The relationship of input power and discharge current

1— $P = 8.0\text{kPa}$  2— $P = 9.3\text{kPa}$  3— $P = 10.6\text{kPa}$

## 3 结 论

在所设计的激光器件中,得到最大放电功率为 2440W, CO<sub>2</sub> 激光器量子效率约为 40%, 电光转换效率约为 10% ~ 20%, 若按 10% 转换效率计算,装上光腔后相应的激光输出功率预计为 240W 左右,上述实验结果说明所采用的气体两轴垂直横向流动,纵向约束放电这一技术方案是正确可行的;并且,根据横流 CO<sub>2</sub> 激光器特性,继续提高气体循环流动速度,注入功率水平将会进一步提高。这种方式的 CO<sub>2</sub> 激光器具有成本低且可靠性强的特点。

### 参 考 文 献

- 1 Anderson S G. L F World, 1997; 1: 72~ 92
- 2 Li J, Chen Q M. J Phys D, 1993; 26: 1541~ 1544
- 3 Xu Q H, Chen Q M, Li J. J Phys D, 1994; 27: 795~ 800
- 4 陈清明,周凤晴,李晓平 *et al.* 激光技术, 1995; 19(5): 261
- 5 闫毓禾,钟敏霖主编. 高功率激光加工及其应用. 天津:天津科学技术出版社, 1994: 28~ 31

作者简介:卢 宏,男,1965 年 3 月出生。硕士,工程师。现从事新型气体激光器件的研究工作。