

文章编号: 1001-3806(2003)01-0011-03

## 脉冲预电离非自持纵向放电 CO<sub>2</sub> 激光器

于延宁 万重怡

(中国科学院电子学研究所, 北京, 100080)

摘要: 研究了脉冲预电离的非自持纵向放电 CO<sub>2</sub> 激光器。采用了一种新颖的螺旋形横向脉冲预电离结构。激光器的主放电和输出功率由外加的预电离脉冲控制, 可省去限流电阻。最大电光转换效率达 19%。

关键词: 纵向放电; 脉冲预电离; 非自持放电; 螺旋形电极结构

中图分类号: TN248.2<sup>+</sup>2 文献标识码: A

## Non-self-sustained longitudinal discharge CO<sub>2</sub> laser with pulsed preionization

Yu Yanning, Wan Chongyi

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

**Abstract:** A non-self-sustained longitudinal discharge CO<sub>2</sub> laser with pulsed preionization was studied for the first time. A novel spiral transversely pulsed preionization scheme is employed. The main discharge and output power of the laser are controlled by applied preionization pulses. The laser can operate free of ballast resistor. The maximum electro-optical efficiency of 19% is obtained.

**Key words:** longitudinal discharge; pulsed pre-ionization; non-self-sustained discharge; spiral electrode structure

### 引 言

CO<sub>2</sub>激光器是效率最高的激光器之一, 近年来, 由于激光加工等应用方面的需要, 激光器的发展趋于小型化、高效率、高光束质量和新的控制方法。不同的激励方式和预电离技术广泛应用于各类激光器<sup>[1~4]</sup>。根据激光动力学原理, CO<sub>2</sub>分子的激发和电离所需要的最佳  $E/P$  值是不同的, 电离时的  $E/P$  值至少约为激发时的 10 倍<sup>[5]</sup>, 因此, 为了提高激光器的效率, 一个有效的方法就是将电离和激发过程分开, 使激发和电离分别处于各自最佳的  $E/P$  值, 以求获得最高的电光转换效率。这可以采用非自持放电来实现。激光器的主放电电压选择在击穿电压以下, 低  $E/P$  值利于 CO<sub>2</sub> 分子的激发。仅有主放电电压加于相应电极时, 激光器没有放电输出, 在预电离脉冲启动时才有主放电。由于主放电是由脉冲电离源来驱动, 所以, 非自持放电还有一个突出的优点就是激光器的可控性非常好, 能够通过改变预电离放电参数控制激光输出功率的大小, 这在许

多应用中有重要意义。

产生电离的方式有很多, 但主要有两类: 一是直接注入电离源, 如电子束注入, X 射线注入; 另一类是通过预电离放电产生电子, 如脉冲预电离, 电晕预电离, 紫外光预电离, RF 预电离等等。文中给出了一种新的脉冲预电离非自持纵向放电设计, 提高了激光器的电光转换效率和输出功率。同时还研究了各种放电参数对输出功率的影响。

### 1 实验装置和设计原理

图 1a 为激光器放电管结构和电路示意图。激光器的放电管由内径为 7.5mm、厚度为 1mm 的玻

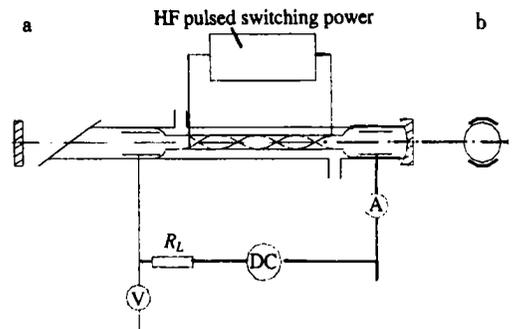


Fig. 1 Scheme of laser structure and discharge circuit  
 $R_L$  - ballast resistor; V - voltage meter; A - ampere meter; DC - direct current power

作者简介: 于延宁, 女, 1973 年出生。博士研究生。主要从事新型激光器的研究。

收稿日期: 2002-03-31

璃管制成。主放电电极是圆筒形镍电极,位于放电管的两端,其一端接直流电源的高压,另一端接地。电极间距 50cm。两条带状铜箔呈螺旋状紧贴在放电管外壁作为预电离电极。当高重频脉冲电压加于预电离铜箔电极上时,使放电管内的气体发生脉冲预电离放电,预电离放电充满了阴极和阳极间的全部放电区。预电离降低了击穿电压使主放电发生。

从图 1a 的放电管预电离部分取其横截面,如图 1b 所示,上下两层铜箔平行放置作为预电离电极。为了使预电离放电在空间分布上更加均匀,采用了螺旋结构,但在任一横截面上两个预电离电极都是正对平行的。设阴极与阳极间距为  $L$ ,放电管外径为  $D$ ,带状预电离电极宽度为  $\pi D/6$ ,则预电离电极间距在  $0.866D$  和  $D$  之间。因  $L \gg D$ ,相同电压下的电场强度之比理论上为  $L/D$ ,这在结构上能满足预电离的  $E/P$  值大于主放电  $E/P$  值的要求。采用了脉冲预电离的非自持放电,因预电离电极间距小,故可降低脉冲预电离源的电压。脉冲预电离放电产生了均匀的初始电子,也使主放电电压大大下降。

实验中,放电管是一端以 ZnSe 布儒斯特窗密封的半外腔结构。激光谐振腔由曲率半径为 2m 的镀金凹球面全反镜和反射率为 85% 的 ZnSe 平面耦合输出镜组成,腔长为 1m,激光介质是  $V(\text{CO}_2):V(\text{N}_2):V(\text{He})=1:1:4$  的混合气。脉冲开关电源的输出是正负交替的方波脉冲,电压幅值变化范围是 0~3kV,重复率在 500Hz 至 47kHz 之间。主放电采用最高电压为 22kV 的可调压直流电源。 $R_L$  为放电镇流电阻,电压表 V 和安培表 A 分别用于测量主放电电压和电流。激光功率由 Moletron PM30 型功率计测量。

由图 1b 可知,预电离电极间距很小,约等于放电管直径(7.5mm),而主电极间距为 50cm,当脉冲方波电压加于相应的预电离电极时,脉冲电压的高频分量通过放电管壁耦合进入放电管,使放电管中产生充足的预电离电子,降低了主放电电极间的击穿电压,使放电管在主放电电压远低于击穿电压的情况下得以放电。进入放电管的脉冲能量耦合效率与脉冲上升沿的陡度、带状电极与放电管间的耦合电容的大小有关。在一定的范围内选择主、预电离电压的大小,使主放电和预电离的  $E/P$  值都处于最佳值,可最大限度地提高激光器的电光转换效率。

## 2 实验结果与讨论

正如预期的那样,激光器能成功地工作在非自

持放电方式下。由于预电离电极结构呈螺旋形分布,放电的轴对称性好,由热敏纸记录的激光输出光斑表明激光器工作在 TEM<sub>00</sub> 模式,典型的激光光斑如图 2 所示。

Fig. 2 Laser beam spot

从图 3 中可以看出,在相同气压和预电离脉冲频率下,输出功率随主放电电压的升高而增大,这是因为随着主放电电压的升高注入功率增加的缘故。在同一主放电电压下,脉冲预电离频率越高,输出功率越大,这说明预电离电压重复频率越高,预电离效果越好,并且上一脉冲对下一脉冲也起了预电离的作用,使主放电在更低的电压下可达到相同的输出功率。同时由于降低了主放电的  $E/P$  值,放电更有利于 CO<sub>2</sub> 分子激发。

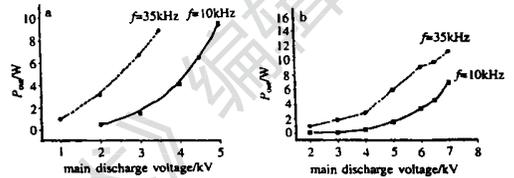


Fig. 3 Different relation between average power and main discharge voltage

a- pressure of mixture: 1.3kPa  
b- pressure of mixture: 2.7kPa

图 4 为不同频率时转换效率与主放电电压的关系。可以看出,在高的脉冲预电离频率和低的主放电电压下,激光器的电光转换效率很高,达到 19%,随着注入电功率的增加,电光转换效率下降,这一方面是因为电压的升高使主放电的  $E/P$  值升高,电子碰撞激发截面偏离了最佳范围;另一方面电压的升高使放电电流增大,导致气体温度升高,使转换效率下降。实验上还与自持直流放电进行了对比。在自持放电时须附加 200kΩ 以上的镇流电阻才能得到较为稳定的放电,消耗在电阻上的功率约占总功率的 30%~50%,而非自持放电情况下,限流电阻  $R_L$  一般为 5kΩ~10kΩ,在主放电电压较低的条件(5kV 以下),甚至可以完全免去,因此,非自持放电的效率远高于自

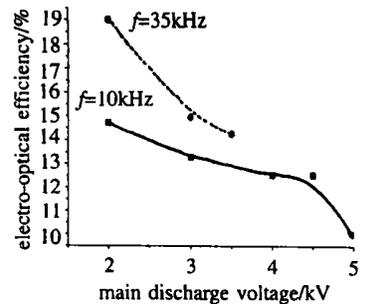


Fig. 4 Different relation between electro-optical efficiency and DC voltage  
pressure of mixture: 1.3kPa

持放电的效率。

为了了解预电离对功率的控制作用和影响,对脉冲预电离电压的脉冲宽度、重复频率和幅值进行了研究。图 5 为混合气压 2.7kPa、预电离脉冲重复频率

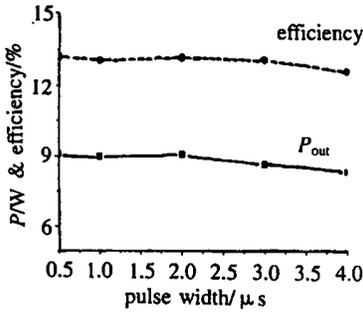


Fig. 5 Dependences of power & efficiency on pulse width pressure of mixture: 2.7k Pa

35kHz、脉冲电压 2.5kV、主放电电压 6kV 时输出功率和电光转换效率随脉冲宽度的变化关系。由图可知,输出功率随脉冲宽度的变化不大,几乎可以忽略,取为 0.5μs,使预电离消耗的功率保持最低。

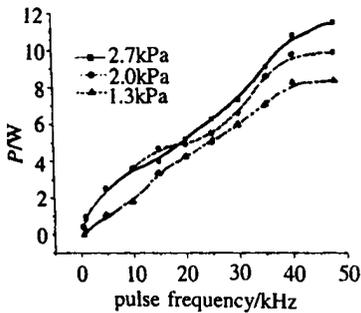


Fig. 6 Different relation between output power and pulse repetition frequency

通过调节预电离脉冲频率控制输出功率的大小。图 7 为  $P = 2.7kPa$ 、频率为 35kHz 情况下输出功率和效率随脉冲电压的变化关系。从图中可看出,输出

功率随脉冲电压的升高存在一最佳值。这说明预电离存在最佳的  $E/P$  值,高于或低于此值均会使激光器的输出功率下降。

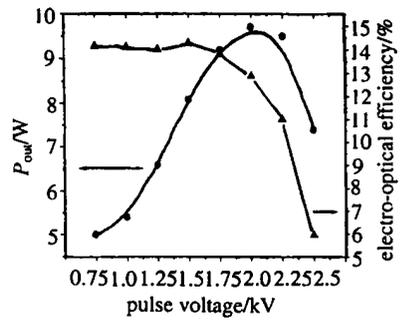


Fig. 7 Relations between output power or efficiency and pulsed voltage

### 3 结论

采用螺旋结构横向脉冲预电离技术首次研究了非自持纵向放电 CO<sub>2</sub> 激光器,取得了很好的结果。实验证明该方式的非自持放电能够大幅度降低工作电压,可省去限流电阻,提高电光转换效率,且脉冲预电离电源对输出功率具有极好的控制性,这些有利于激光器的多种应用。

非常感谢周锦文副研究员、王东蕾工程师在实验中的帮助和讨论,并感谢谭荣清研究员和吴谨副研究员对本工作的支持。

### 参 考 文 献

- [1] Colley A D, Baker H J, Hall D R. A P L, 1992, 61(2): 136~138.
- [2] Generalov N A, Gorbuleiko M I, Solov' yov N G *et al.* Gas lasers-recent developments and future prospects. Nether Lands: Kluwer Academic Publisher. 1996: 323~ 341.
- [3] Nath A K. Opt Engng, 1994, 33(6): 1889~ 1893.
- [4] Nagai H, Hishii M, Tanaka M *et al.* IEEE J Q E, 1993, 29(12): 2898~ 2908.
- [5] William L. Physical Review A, 1970, 2(5): 1989~ 2000.

(上接第 10 页)

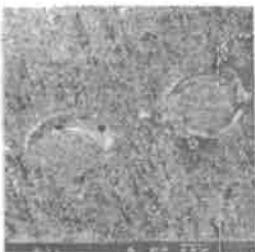


Fig. 5 Roll surface plane profile after laser texturing

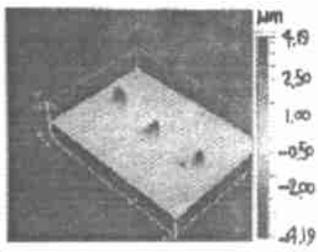


Fig. 6 Roll surface 3D profile after laser texturing

镜的光学系统中产生干涉图像,然后通过目镜上电子扫描摄像仪转换成离散点阵信号并输入计算机进行处理,得到如图 6 所示的微观三维形貌尺寸。从图 6 可以看出,脉冲激光加工后的轧辊表面形貌尺寸与预先设计的非常吻合。

### 5 结 论

(1) 针对由摩擦学角度设计的微凸形状轧辊表面新形貌,提出了脉冲激光毛化的新机制,并成功实现了该新形貌。(2) 单脉冲能量的大小和分布(脉冲波形、脉冲能量、脉冲宽度、离焦量等)是形成微凸的微观新形貌和尺寸的关键因素。(3) 微凸形状新形貌的激光加工初步取得成功,为进一步研究该形貌在轧制时的复映关系及毛化后钢板的冲压性能等提供了基础。

### 参 考 文 献

- [1] 林子光. 机械设计, 2000, 4(4): 24~ 27.
- [2] 陈光南. 应用激光, 1996, 16(4): 155~ 158.
- [3] Pfestorf M, Engel U, Geiger M. J Mach Tools Manufact, 1998, 38(5-6): 607~ 614.
- [4] Tzeng Y F. J Mater Proc Technol, 2000, 102: 40~ 47.