

# 印刷电路板预电离 3.6 kW TEA CO<sub>2</sub> 激光器

吕 岩 于延宁 万重怡 刘世明 谭荣清 周锦文 吴 谨 杨 华

(中国科学院电子学研究所, 北京 100080)

**摘 要** 在 TEA CO<sub>2</sub> 激光器中采用印刷电路板预电离结构, 在单节放电体积为 5 cm × 4 cm × 90 cm 的两节串连的激光器中获得了 20.4 J 单脉冲能量输出, 电光转换效率达 12.8%。激光器重复频率工作时, 气体清洗系数大于 3, 在最高重复频率 180 Hz 下获得了 3.6 kW 平均输出功率。

**关键词** TEA CO<sub>2</sub> 激光器; 印刷电路板预电离; 平均功率; 脉冲重复频率

**中图分类号** TN248.2      **文献标识码** A

## 0 引言

采用预电离技术是 TEA CO<sub>2</sub> 激光器获得大体积均匀主放电的前提条件。印刷电路板预电离技术利用分布式电容耦合的预电器结构, 在主放电阴极附近产生较强的紫外光预电离。其具有良好的预电离强度和预电离均匀性的结合, 有利于产生高重复频率和高平均功率的脉冲激光。高重复频率高平均功率 TEA CO<sub>2</sub> 激光器在光化学、同位素分离、激光雷达和激光加工等科学研究和工程应用中具有重要价值。平均功率为百瓦和千瓦量级的 TEA CO<sub>2</sub> 激光器已见报导<sup>[1~4]</sup>。在横向放电激励的 TEA CO<sub>2</sub> 激光器中一般都要采用预电离技术来获得大体积均匀稳定的主放电。印刷电路板(Printed Circuit Board)预电离技术<sup>[5]</sup>是中科院电子学研究所自行研制的一种新型预电离技术, 其采用双面敷铜的印刷电路板作为一种分布式电容耦合器, 可以产生均匀的紫外光预电离。利用这种预电离技术我们已从 1 cm × 1 cm × 35 cm 放电体积获得了 217 mJ 的脉冲能量<sup>[6]</sup>。本文报道了将这种预电离技术运用于更大的激光器放电体积, 并成功地获得了 20.4 J 的单脉冲能量输出和 3.6 kW 的平均功率输出。

## 1 激光器结构

TEA CO<sub>2</sub> 激光器由两节直径为 0.9 m 的相同的模块串联组成, 每节包括一对由线性扩展的 Ernst 曲面电极<sup>[7,8]</sup>和平面电极构成的主放电电极、印刷电路板预电离器、切向风机和热交换器, 激光器外观如图 1。

印刷电路板预电离器以及主放电电极的结构已在文献<sup>[6]</sup>中有详细描述, 这种结构采用双面覆铜的印刷电路板作为分布式电容耦合器阵列, 可实现在平面电极两侧产生均匀的预电离放电, 如图 2。当高

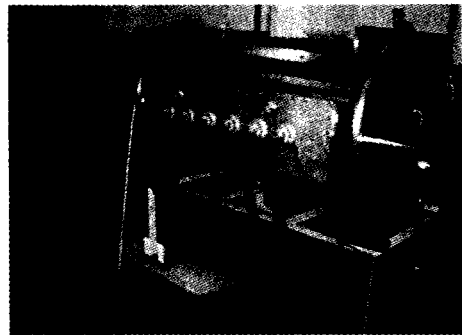


图 1 激光器外观图  
Fig. 1 Appearance of the laser

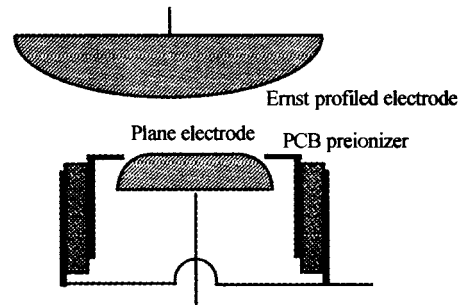


图 2 主放电电极和印刷电路板预电离器结构  
Fig. 2 Configuration of main discharge electrodes and PCB preionizer

压脉冲加于主放电平面电极上时, 首先在平面电极和印刷电路板预电离器间发生预电离放电, 然后在主放电电极间产生均匀的主放电。我们研究了三种预电离结构。第一种是预电离器在阳极附近, 预电离放电产生的紫外光照射对面的主放电阴极和整个放电区, 由阴极产生的光电发射和放电区媒质的紫外光预电离导致了均匀的主放电。第二种结构是预电离器在阴极附近, 由预电离放电直接为阴极区提供均匀的初始电子, 同时预电离放电产生的紫外光也照射这个放电区的激光气体造成体积光电离。第三种结构类似于第二种结构, 但是在预电离器上方增加了一个由绝缘材料制成的挡板, 挡板的存在使预电离放电只照射阴极区附近的薄层空间, 不照射阳极和大部分主放电区。在单脉冲放电条件下的实验结果表明后两种结构的放电效果优于第一种的放电效果。这说明预电离的机理主要是阴极区的预电

离,所以在我们的高重复频率放电中采用第二种预电离结构,即平面电极为主放电阴极.

如图 3,印刷电路板预电离器端部由镍片阵列组成.镍片阵列与主放电平面电极的距离为 0.3 cm,主放电电极间距为 5 cm,激光器的有效放电宽度和增益长度分别为 4 cm 和 180 cm.因此激光器的增益体积由文献[2]中的 0.0351 增加到现在的 3.6l.



图 3 印刷电路板预电离器端部俯视图  
Fig. 3 Planform of PCB preionizer end

激励电路由旋转火花隙开关电路<sup>[9,10]</sup>同时控制两节激光器的放电.如图 4,每节模块的主放电电容为 0.2 μF,200 μH 的电感与激光器的放电区并联.实验中采用 CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He=1:1:4 的激光混合气体,气压为 33.3 kPa.切向风机在放电区产生 30 m/s 的均匀的气体流速,激光器工作在重复频率为 180 Hz 时可以保证放电区的清洗系数大于 3.

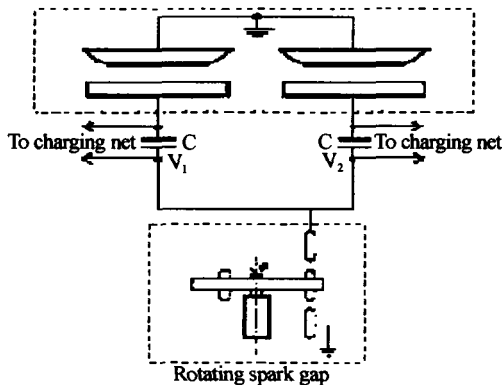


图 4 激励电路图  
Fig. 4 Diagram of excitation circuit

实验中,激光器的谐振腔为平凹稳定腔,一端为曲率半径为 12 m 的镀金的凹全反镜,另一端以 NaCl 布儒斯特窗密封.输出耦合镜采用透过率 50% 的 ZnSe 平面镜.谐振腔总长度 3.8 m.激光器输出光束经楔形 NaCl 分束器分束后,平均输出功率分别由激光手持功率计(SJG-1kW)和流水功率计(Moletron PM5K)测量,激光脉冲波形由光子牵引探测器和数字存储示波器(Tektronix TDS220)监测.

### 2 实验结果与分析

实验中激光器的工作气压采用 33.3 kPa,首先测量了激光单脉冲输出的光斑情况.图 5 为放电电压 28.3 kV 时,单脉冲激光直接打在热敏纸上的记录.从图中可以看出单脉冲输出光强比较均匀,光斑尺寸为 4.8 cm×3.6 cm.



图 5 热敏纸上记录的光斑  
Fig. 5 The spot recorded on thermo-sensitive paper

实验中还还对输出激光的单脉冲能量进行了测量,在放电电压 28.3 kV 时获得的脉冲输出能量为 20.4 J.激光器的电光转换效率是激光器的重要参数之一,可通过计算输出能量与注入电能量的比值得出.在放电电压 28.3 kV 时激光器注入能量为 160 J,因此电光转换效率为 12.8%.

图 6 为激光脉冲波形图.其尖峰脉冲宽度为 200 ns,并有长拖尾.

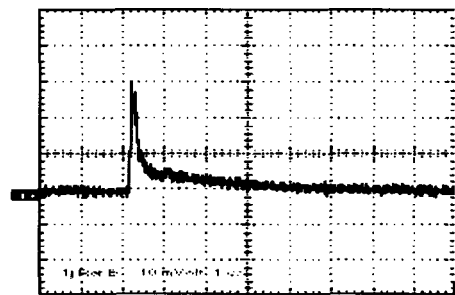


图 6 激光脉冲波形  
Fig. 6 Laser pulse shape

在激光器单脉冲工作状态良好的前提下,进行了重复频率放电实验.实验中激光器的输出平均功率随脉冲重复频率和放电电压的增加而增大.在工作电压 32 kV、重复频率 180 Hz 的情况下获得了最高 3.6 kW 的平均输出功率.

### 3 结论

本文证实了采用印刷电路板预电离技术的 TEA CO<sub>2</sub> 激光器的输出功率的比例放大能力,最高重复频率为 180 Hz,输出平均功率达到 3.6 kW.实验中发现采用印刷电路板预电离技术的 TEA CO<sub>2</sub> 激光器有继续提高输出功率的潜力,进一步提高气流速度,可相应提高激光器工作的重复频率,有可能达到 10 kW 的平均输出功率水平.

致谢:作者非常感谢王东蕾副研究员、王永工程师等同志在实验过程中给予的技术上的帮助.

#### 参考文献

1 Brown R T. Mini-TEA 1000 Hz CO<sub>2</sub> laser. *Appl Opt*, 1984, 23(15):2485~2487  
2 Chis I, Clura A, Draganescu V, et al. Design and performance of a high repetition rate TEA CO<sub>2</sub> laser. *J*

- Phys E Sci Instrum*, 1988, **21**(4):393~396
- 3 Okita Y, Yasuoka K, Ishii A, *et al.* Long-pulse high-repetition-rate transversely excited CO<sub>2</sub> laser for material processing. *SPIE*, 1994, **2118**:22~31
  - 4 Schweizer G, Werner L. Industrial 2 kW TEA CO<sub>2</sub> laser for paint stripping of aircraft. *SPIE*, 1995, **2502**:57~62
  - 5 万重怡,程亮,周锦文,等. 脉冲气体激光器. 中国专利, ZL 00109165.4  
Wan C Y, Cheng L, Zhou J W, *et al.* Pulsed gas lasers. Chinese patent, ZL 00109165.4
  - 6 程亮,万重怡,周锦文,等. 印刷电路板预电离小型 TEA CO<sub>2</sub> 激光器. 中国激光, 2002, **A29**(1):7~9  
Cheng L, Wan C Y, Zhou J W, *et al.* *Chinese J Lasers*, 2002, **A29**(1):7~9
  - 7 Ernst G J. Uniform-field electrodes with minimum width. *Opt Commun*, 1984, **49**(4):275~277
  - 8 绳宇纲,万重怡. 三维均匀场电极的设计. 中国激光, 2000, **A27**(12):1~4  
Sheng Y G, Wan C Y. *Chinese J Lasers*, 2000, **A27**(12):1~4
  - 9 万重怡,刘世明,周锦文. 高重复频率高功率激光器. 中国专利, ZL 941152014  
Wan C Y, Liu S M, Zhou J W. High-repetition-rate high power lasers. Chinese patent, ZL 941152014
  - 10 Wan Chongyi, Liu Shiming, Jinwen Zhou, *et al.* High repetition rate industrial TEA CO<sub>2</sub> laser with output power of 1.5 kW. *SPIE*, 1995, **2502**:87~94

### A 3.6 kW TEA Laser Using Printed Circuit Board Preionization

Lü Yan, Yu Yanning, Wan Chongyi, Liu Shiming, Tan Rongqing, Zhou Jinwen, Wu Jin, Yang Hua

*Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*

Received date: 2004-05-24

**Abstract** Preionization technique is the key technology of TEA CO<sub>2</sub> lasers to obtain large volume uniform main discharge. The Printed Circuit Board (PCB) preionization technique utilizes a distributing capacitor coupler configuration to produce relatively strong UV preionization around cathode. The combination of appropriate preionization intensity and better uniformity make it more suitable for producing high-pulse-repetition and high average power laser. 20.4 J pulse output energy is obtained from a PCB preionized TEA CO<sub>2</sub> laser. The experimental setup consists of two same laser modules each of which has a 5 cm×4 cm×90 cm discharge volume. The electro-optical conversion efficiency reaches 12.8%. The clearing ratio is over 3 when the laser operates at repetition rate. Average power as high as 3.6 kW is achieved at the maximum repetition rate of 180 Hz.

**Keywords** TEA CO<sub>2</sub> Lasers; PCB preionization; Average power; Pulse repetition rate



**Lü Yan** was born in July 1977. He graduated from Qingdao University in 1999, and is currently a PhD student at Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences. His research field is mainly on TEA CO<sub>2</sub> lasers.