

文章编号: 0258-7025(2001)08-0725-04

新型脉冲 CO₂ 激光器参数的测量*

刘翠青 程兆谷 李现勤 许国良 蒋金波 石鸿斌 赵全忠 黄慧杰

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

提要 采用预电离脉冲群开关技术,在一具有独特电极结构的横流 CO₂ 激光器上实现了高功率脉冲激光输出。详细介绍了从预电离到主放电,最终到激光输出的整个过程中,对电压、电流波形及光波形各参数的测量方法,并进行了简要分析;提出一种利用光的偏振特性对光进行衰减,测量光的方法。

关键词 预电离脉冲群开关技术,电极结构,脉冲 CO₂ 激光输出

中图分类号 TN 248.2⁺2 文献标识码 A

Measurement on Parameter of a Novel Pulsed CO₂ Laser

LIU Cui-qing CHENG Zhao-gu LI Xian-qin XU Guo-liang

JIANG Jin-bo SHI Hong-bin ZHAO Quan-zhong HUANG Hui-jie

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract The output of a high-power pulsed CO₂ laser has been produced from a transverse-flow CO₂ laser which has particular electrode structure and using the preionized pulse-train switched technique. The measurement on the voltage wave, current wave and light wave has been introduced in detail, during from preionization to main discharge and finally, to laser output, and the results of the waves have been analyzed in brief. Moreover, a way of light measurement has been put forward by means of attenuating the light which is based on the light polarization feature.

Key words preionized pulse train switched technique, electrode structure, pulsed CO₂ laser output

1 引言

高平均功率脉冲 CO₂ 激光在众多领域都有广泛的应用,诸如高精度的切割、焊接、打孔、飞机去漆、海洋水声探测以及激光同位素分离和激光化学等方面。美国 ARL 研制的 HPPL-300 脉冲 CO₂ 激光器^[1]为电子束控制预电离、脉冲主电源激励激光器,重复频率 1~10 Hz,单脉冲能量 100~1400 J,脉宽 50 μs;日本三菱公司的快轴流 CO₂ 激光器采取主电源用无声放电^[2]的调制方法达到了脉冲输出;德国的 Rofin-Sinar 公司采用调制射频主电源方法实现了脉冲输出的快轴流 CO₂ 激光器^[3],激光输出最高频率达 25kHz,脉宽 30 μs;美国光谱物理公司的 810 快轴流 CO₂ 激光器则采用开关主电源的方法达到脉冲输出。以上这些脉冲输出 CO₂ 激光器的电源系

统技术复杂,而且造价昂贵,不利于在国内发展。

本实验利用独特的电极结构,并采用预电离脉冲群开关技术实现了脉冲激光输出^[4,5]。该电极具有结构简单、密封性好、注入功率大、电源制作技术难度低且造价低廉等优点。

2 脉冲激光输出原理

2.1 预电离脉冲调制

为实现脉冲激光输出,采用的办法是先对预电离调制,从而间接实现主放电的调制,最终实现脉冲激光输出。其原理如图 1 所示:在 5 kHz 脉冲信号后加入一个与门,与门的另一端加入一振荡信号,改变振荡信号的周期和占空比,即可得到周期及占空比可调的脉冲群信号。本实验中,对其预电离电源进行调制,形成开 6 个关 6 个的脉冲重复频率为 417 Hz 的脉冲群序列。

* 国家自然科学基金(批准号 No. 60078017)资助项目。

收稿日期:2000-11-23;收到修改稿日期:2001-03-02

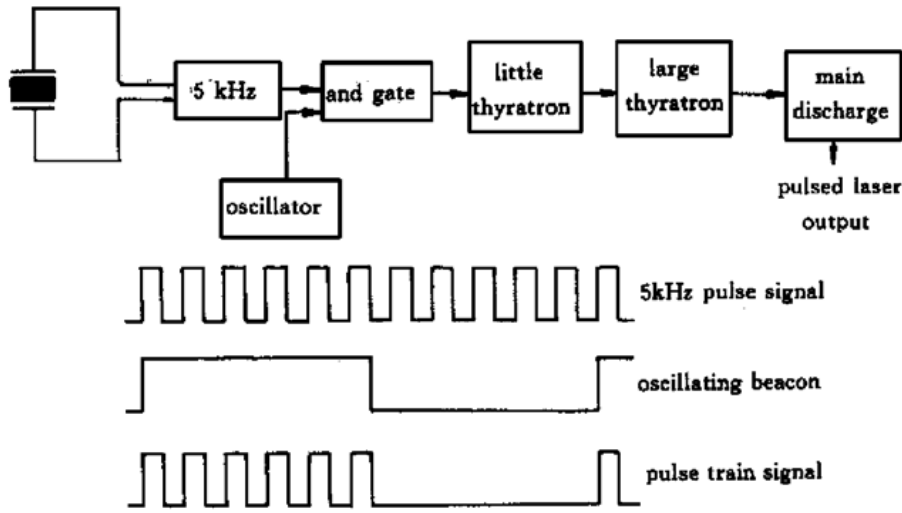


图 1 激光脉冲输出原理图
Fig. 1 Elementary diagram for the pulsed laser output

2.2 脉冲群开关放电技术

脉冲群开关放电技术的核心思想是:在非自持辉光放电条件下,利用气体辉光放电的着火电压与维持电压之间的差异,采用预电离脉冲群序列作为开关来控制主放电,只要调制仅几百瓦平均功率的预电离脉冲序列,就可达到控制几十千瓦乃至更大的主放电脉冲注入,实现高平均功率重复脉冲 CO₂ 激光输出。

图 2 为预电离脉冲群开关控制主放电电路图。图中 L_s 为饱和电感, D 为耐反向高电压的二极管, C_s 为储能电容, C_b 为脉冲预电离针限流电容, C_1 , C_2 为隔直电容, L_b 为旁路电感, L_f 为直流滤波电感,同时对脉冲信号起隔离作用, R 为阳极条限流电阻, HT 为闸流管。图中(1)为预电离针,(2)为水冷阴极铜管,(3)为条状铜阳极,此三部分为该电极结构中最重要组成部分。图 2 中,主放电的直流电源通过直流滤波电感 L_f , 限流电阻 R , 条状铜阳极, 铜管阴极以及放电气体形成主放电回路; 脉冲直流电源的正极通过饱和电感 L_s , 二极管 D , 储能电容 C_s 和旁路电感 L_b 构成充电回路。预电离脉冲放电过程是: 储能电容 C_s 中的能量由开关脉冲信号触发闸流管 HT 导通, 经放电产生高电压的脉冲群, 脉冲群中的每个高频高压脉冲, 将在脉冲预电离针与水冷铜管及条状铜阳极之间产生预电离, 形成放电区初始电子密度, 在阴阳极间直流主电源电场的作用下, 初始电子向阳极漂移, 与分子发生碰撞, 并雪崩式增长, 很快形成较大的电子密度, 在直流主放电电源驱动下, 主放电过程便得以进行。在一个脉冲群中, 后

继预电离脉冲进一步增强主放电, 形成峰值光功率输出。单个高频脉冲结束后, 主放电以复合为主进行, 电子密度下降, 电流减小。在脉冲群之间, 由于高频高压脉冲被关掉, 预电离“熄灭”, 致使非自持辉光放电特性的主放电暂时终止。

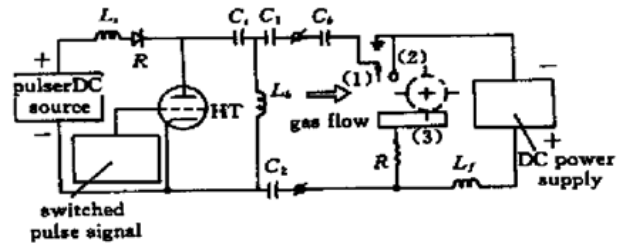


图 2 脉冲群开关控制主放电电路简图
Fig. 2 Electrical diagram of preionized pulse-train switched technique

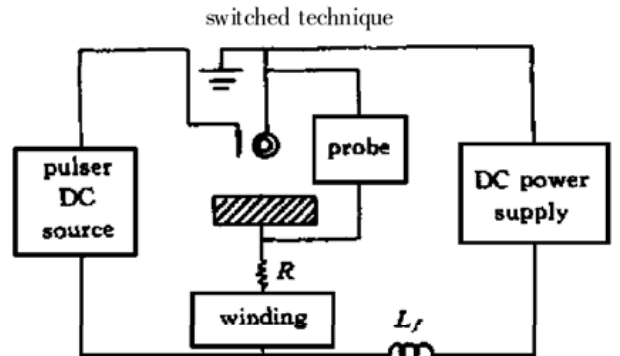


图 3 电压、电流测量原理图
Fig. 3 Test pattern for voltage and current

3 参数测量

3.1 电压、电流测量

对在预电离、主放电情况下阴极与阳极之间的电压、电流波形的测量如图 3 所示。测量电压时, 实

验中采用了 Tektronix P6015A 高压探头, 探头接在阴极与阳极之间, 用示波器可直接测出探头输出端的电压波形。对阴阳极之间电流的测量, 采用 Model 110 Rogowski 线圈, 此线圈能将 1A 的交流电流输入直接转换为 0.1 V 的电压输出, 线圈输出端接一示波器, 便可测出其电流波形。测量结果如图 4~ 7 所示。

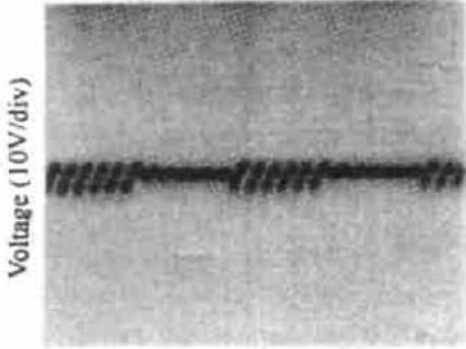


图 4 预电离电压波形, 扫描速率= 9.5 ms/div
Fig. 4 Waveform of preionized voltage
sweep speed= 0.5 ms/div

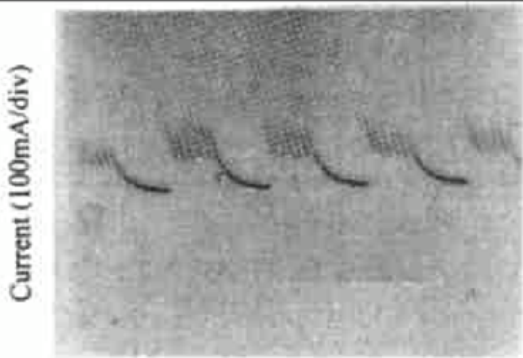


图 5 预电离脉冲电流波形, 扫描速率= 1 ms/div
Fig. 5 Waveform of preionized current
sweep speed= 1 ms/div

图 4, 5 分别为脉冲群预电离电压、电流波形。脉冲群序列的重复频率为 417 Hz, 每个脉冲群中包含 6 个高频(5 kHz) 脉冲。在每一个脉冲群内, 预电离脉冲电流逐渐减小, 而脉冲电压逐渐增加。在相邻两脉冲间, 电流渐变为零, 而电压逐渐增大到最大稳定值。这是由于预电离脉冲瞬态电流流经限流电阻 R 产生压降, 且 $\Delta U = R \Delta I$, 所以, 预电离电流 ΔI 大时, 限流电阻 R 上压降 ΔU 增大, 测出的阴阳两极间的电压反而减小。脉冲群之间, 由于无预电离作用, 电流渐变为零, 所以电压升高到最大。

图 6, 7 分别为主放电的电压、电流波形。根据对图 4, 5 的分析可判断: 图 7 中的电流最大值对应于图 6 中的电压最低值, 原因依然是限流电阻 R 的

分压作用所致。从图 6 可看出, 加入主放电电流时, 预电离脉冲群开关对阴阳两极间的电压影响很大, 这一点明显不同于未加主放电时的预电离情形, 如图 4; 还可明显看出主放电已被预电离脉冲群序列开关调制。

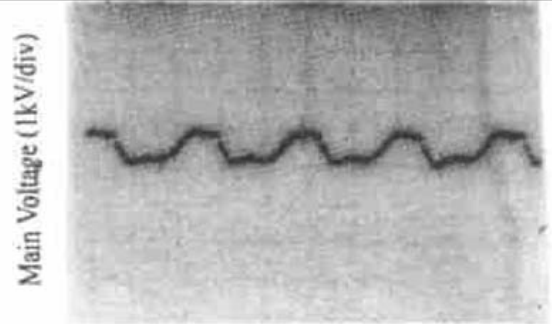


图 6 主放电电压波形, 扫描速率= 1 ms/div
Fig. 6 Waveform of voltage for the main discharge
sweep speed= 1 ms/div



图 7 主电流波形, 扫描速率= 1 ms/div
Fig. 7 Waveform of current for the main discharge
sweep speed= 1 ms/div

3.2 激光输出测量

本实验的光输出是波长为 10.6 μm 的红外激光。测量时, 平均主放电电压为 2.5 kV, 平均主放电电流为 16 A, 激光平均输出功率为 5.5 kW。实验中采用 GAT300 快速热释电探测器将接收到的光信号转变为电信号, 并接入示波器测量其波形。由于激光输出平均功率达千瓦量级, 而此探测器最多能接收几十毫瓦的激光输入。所以, 对激光输出测量的关键技术是如何有效地将千瓦量级的光衰减到毫瓦量级。为此, 提出一种新的衰减方案: 利用光的偏振特性进行衰减。

据光的偏振特性可知: 当自然光以布儒斯特角入射到晶体上时, 由于偏振方向平行于入射面的 P_p 波的反射率为零, 所以反射光中不存在 P_p 波。本实验中, 该激光器采用由两块 45° 镜作为转折镜的 Π 型折叠腔, 其输出为垂直于光腔平面的接近 100% 线偏振光^[6]; 另外, 该激光器输出光束的光斑

直径达 40 mm 以上, 而实际探测器的接收孔径约为 1~ 2 mm。所以经过衰减后, 探测器光敏面实际接收的光功率约为几十毫瓦量级, 可达到探测条件。实验装置如图 8 所示: 从激光器出射的光经水冷石墨光阑第一级衰减后, 以布儒斯特角入射到 ZnSe 晶体上, 此晶体固定在一可调节倾斜角度的平面上, 通过调节平面的倾斜角度来改变激光的入射角度。用 GAT300 快速热释电探测器接收微弱的反射光, 并用示波器接收, 可得激光光输出波形, 如图 9 中上波形所示。图 9 中下波形为主放电电流波形。从图中可看出: 随着主放电电流的被调制, 激光输出也明显被调制, 形成脉冲激光输出。

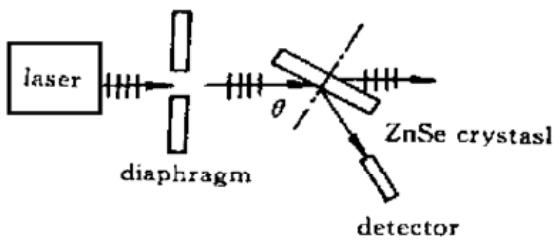


图 8 实验装置图
Fig. 8 Experimental setup

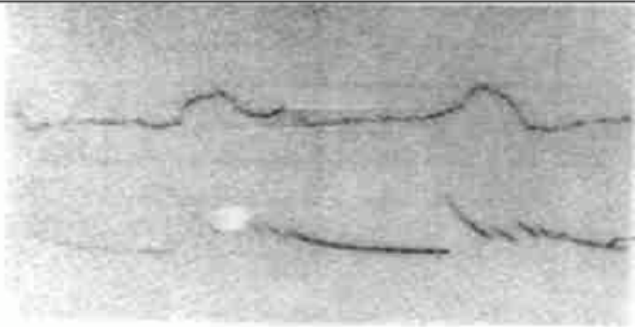


图 9 光电测量波形

上波形为激光输出波形, 下波形为主放电电流波形,
扫描速率= 0.5 ms/div

Fig. 9 Waveforms of laser output and main discharge current (sweep speed= 0.5 ms/div)

采用布儒斯特角对具有偏振光特性的数千瓦量级乃至更高功率的 CO₂ 激光器进行衰减的优点是: 其元件, 如 ZnSe 和 GaAs, 可以不镀膜而满足衰减要求, 既节省费用, 又减小了镀膜后衰减元件易破坏的缺点。

4 结 论

本实验在一定频率和一定脉冲开关数下测定了激光输出的一系列参数, 为脉冲群开关技术的进一步研究奠定了基础。从测量光波的方法中可看出, 利用光的偏振特性可作一简便有效的衰减器。进一步的工作将研究各种开关频率对输出光波的影响以及光的调制深度等问题。

参 考 文 献

- 1 O. L. Zappa. High power repetitively pulsed industrial CO₂ laser. *SPIE*, 1989, **1042**: 17~ 24
- 2 Koji Yasui, Masaki Kuzumoto, Shuji Ogawa *et al.*. Silent-discharge excited TEM₀₀ 2.5 kW CO₂ laser. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1989, **25**: 836~ 840
- 3 Junichi NishiMae, Kenji Yoshizawa. Development of C excited by 2.45 GHz microwave discharge. *SPIE*, 1990, **1225**: 340~ 348
- 4 Cheng Zhaogu, Wang Runwen, Ma Yingli *et al.*. A Pulsed Preionization Tube-Bar Electrode. China, Patent No: 89106601. 2, Patent of invention. 1992. 4. 15 (in Chinese)
- 5 Cheng Zhaogu, Li Xianqin, Ma Yingli *et al.*. A CO₂ Laser with High Energy and Broad Pulse Width. China, Patent No: ZL99252127. 0, Patent of utility model. 2000. 9. 9 (in Chinese)
- 6 Luo Jiangtao, Cheng Zhaogu, Yang Baochun *et al.*. Output polarization properties of a 5 kW transverse-flow CO₂ laser. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1995, **15**(8): 987~ 990 (in Chinese)