

文章编号 1004-924X(2006)05-0807-04

TEA CO₂ 激光器主放电延迟时间对效率的影响

李殿军, 杨贵龙

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要:介绍了 TEA CO₂ 激光器火花针紫外预电离与主放电之间的延迟时间对激光器输出电光转换效率影响的实验研究结果。通过改变放电回路中的感抗值,可以改变预电离与主放电之间的延迟时间。实验结果表明:当预电离与主放电的延迟时间在 200~600 ns 范围变化时,激光器输出的电光转换效率存在最佳点,在注入能量相同的情况下,单脉冲能量从 24.0 J 提高到 45.6 J,激光器的电光转换效率从 8% 提高到 15%。经过进一步的参数优化,该激光器的电光转换效率最高可以达到 17% 以上。

关键词: TEA CO₂ 激光器; 预电离; 延迟时间; 转换效率

中图分类号: TN248.2 **文献标识码:** A

Impact of main discharge delay time on optoelectronic conversion efficiency in TEA CO₂ laser

LI Dian-jun, YANG Gui-long

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: This paper introduces to the experiment results of a impact of the delay time changes between spark pin UV preionization and main discharge on the optoelectronic conversion efficiency in a TEA CO₂ laser. By using different inductance values in a discharge circuit, the delay time can be changed. The results indicate that the optoelectronic conversion efficiency has an optimal point when delay time is changed from 200 to 600 ns. In the same injected energy the single pulse output is increased from 24.0 to 45.6 J and optoelectronic conversion efficiency from 8% to 15% respectively. The highest conversion efficiency reaches 17% after further parameters optimization.

Key words: TEA CO₂ laser; preionization; delay time; conversion efficiency

1 引言

高功率高重复频率 TEA CO₂ 激光器在军事、激光推进^[1-3]、工业加工和科研等很多领域内

具有广泛的应用。近年来,激光推进领域对 TEA CO₂ 激光器的深入研究提出了更高的要求,促使 TEA CO₂ 激光器的输出功率、输出能量、稳定性、运转寿命以及光束质量等技术指标得到了进一步提高。为得到较大的激光输出,通常的办法是增

加泵浦能量,但更好的办法是提高激光器的电光转换效率。在大功率脉冲输出的 TEA CO₂ 激光器研究中,目前所见报道的激光器电光转换效率都在 10% 左右^[1,4,5,6,8,9]。解决电光转换效率问题,预电离效果是技术关键之一。比较电子束预电离^[5-6]、紫外预电离^[7-8]、中子和有机种子气体预电离^[9-10]等 TEA CO₂ 激光器常用的各种预电离方式,火花针放电紫外预电离具有技术结构简单、制造成本低、运转费用少、体积相对较小等优点。本文重点介绍采用火花针放电紫外预电离的 TEA CO₂ 激光器系统的主放电延迟电路结构及其对激光器输出能量和电光转换效率影响的实验研究与理论分析结果。

2 TEA CO₂ 激光器电路结构

本文介绍的脉冲 TEA CO₂ 激光器电路采用一种紫外预电离后主放电自动放电的电路形式,电路原理如图 1 所示。整个放电电路主要由延时电感 L_1 、充电电感 L_2 和 L_3 、主放电电容 C_1 、预电离电容 C_2 、锐化电容 C_3 、主放电电极、预电离火花针、旋转开关和高压触发器组成。电路的工作过程:直流高压通过充电电感 L_2 和 L_3 给电容 C_1 和 C_2 充电并达到额定工作电压;当旋转开关在触发信号作用下,开关瞬间短路导通造成电压突变,此时主放电电极处于开路状态,主放电电容 C_1 不能导通放电,只能对锐化电容 C_3 进行充电;锐化电容 C_3 的作用在于能够有效地减小脉冲放电的时间宽度;而预电离火花针相互之间的阻抗较小,因此预电离电容 C_2 可以通过火花针首先实现放电。预电离放电后,主电极间部分气体被电离,导致电

极间的阻抗下降,同时随着锐化电容 C_3 上的电压迅速升高达到其着火电压形成主电极之间的有效均匀辉光放电。从预电离开始到形成主放电的延时时间长短,主要由延时电感 L_1 决定。

3 实验过程及结果

TEA CO₂ 激光器在本实验过程中的基本参数:主电极间距 45 mm,预电离针间距 10 mm,充气比例 CO₂ : N₂ : He = 1 : 1 : 3,总气压是 60 kPa,充电电压 40 kV。实验前将两只 60 kV 高压探头分别接到主放电电极测试点 1 和预电离测试点 2 上,其输出的电压波形由 500 M 带宽的 TDS3052B 型记忆存储示波器记录。激光器输出的脉冲能量直接由 PS-330IR 型能量计测试。在整个实验过程中,保持上述所有参数不变;作为对比,延时电感 L_1 分别取值 2、6、12、20、32 μ H,并分别测量不同电感值条件下的激光输出行为。

实验采用单脉冲放电形式。图 2~6 分别为在不同电感值条件下测得的激光器放电电路的电压波形。第一路波形为主放电波形,高压探头 1 000 : 1,示波器图形每格实际代表 10 kV;第二路波形为预电离放电波形,高压探头是 2 000 : 1,示波器图形上的每格 5 kV 实际代表每格 10 kV。由于放电回路中的电感作用,主放电和预电离放电波形都有谐振现象。从主放电电极间产生的辉光放电均匀性判断,这种谐振并没有影响放电效果。

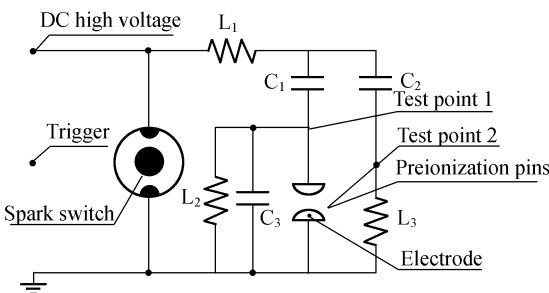


图 1 TEA CO₂ 激光器电路原理图

Fig. 1 Sketch of TEA CO₂ laser circuit

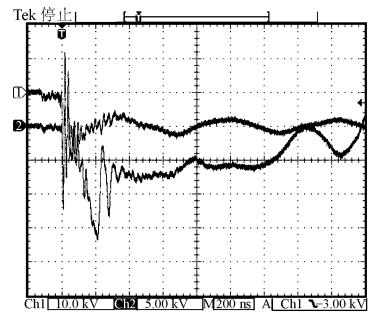


图 2 延时 200 ns 放电波形

Fig. 2 Delay 200 ns discharge waveform

根据充电电感 L_1 的 5 个取值,共计进行了 5 组对比实验,用以检验激光器的输出能量和电光转换效率变化的情况。实验结果参见表 1。

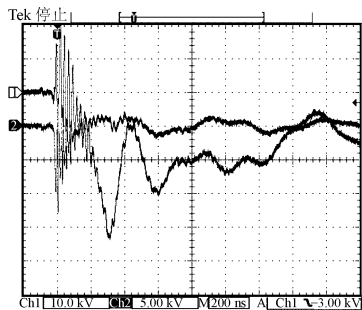


图 3 延时 300 ns 放电波形

Fig. 3 Delay 300 ns discharge waveform

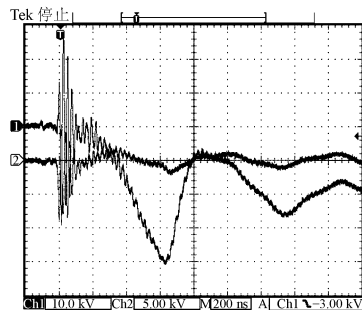


图 6 延时 600 ns 放电波形

Fig. 6 Delay 600 ns discharge waveform

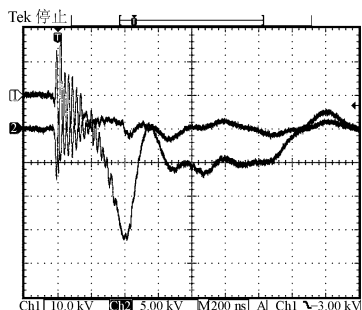


图 4 延时 400 ns 放电波形

Fig. 4 Delay 400 ns discharge waveform

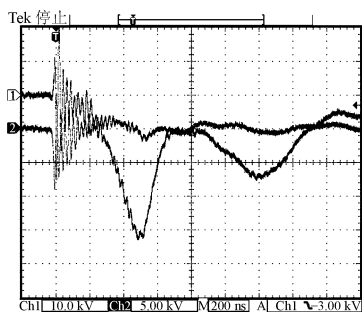


图 5 延时 500 ns 放电波形

Fig. 5 Delay 500 ns discharge waveform

表 1 电感 L₁ 实验数据对比

Tab. 1 Test results with different values of inductor L₁

充电电压(kV)	40	40	40	40	40
电感 L ₁ (μH)	2	6	12	20	32
谐振电压(kV)	43	43	42	42	40
延迟时间(ns)	200	300	400	500	600
脉冲能量(J)	24.0	34.3	45.6	38.1	29.6
电光效率(%)	8.0	11.4	15.2	12.7	9.9

从表 1 的实验结果可以看出,在保持所有参数不变的情况下,随着延时电感 L₁ 取值的不同,

预电离放电电压(表 1 中未列出)、主放电谐振放电电压、主预放电之间的延迟时间、激光输出能量和电光转换效率均有所变化。表 1 的数据表明,延时电感 L₁ 不同取值时产生的主放电谐振电压差异对激光输出能量影响不大,但延时电感 L₁ 不同取值时的电感量变化对主预放电之间的延时作用比较明显。表 1 中有两组实验的谐振主放电电压相同,而输出的激光能量相差很大,说明谐振电压差异并不是造成激光输出能量不同的主因。因此,延时电感 L₁ 不同取值引起主预放电之间延迟时间的差异是决定激光输出能量变化的主要原因。

在此实验基础上,还对激光器的充气气压和充气配比等参数做了进一步优化,目前,该激光器的电光转换效率最高可以达到 17% 以上。

4 实验结果分析

本实验的结果充分说明了延时时间对提高 TEA CO₂ 激光器电光转换效率的重要作用。分析其原因认为,由于直接产生激光作用的效果取决于注入到主放电电极之间的电功率,因此,提高电光转换效率的根本在于解决电能的耦合问题。根据电子学原理,电能实现最佳耦合的关键是满足阻抗匹配条件。从气体放电理论可知,脉冲紫外光对气体电离的充分与否和照射时间密切相关,换句话说,当紫外光刚开始照射时,气体电离是不充分的,随着照射时间增加,被电离的气体逐渐增加直至达到最大值,随后,由于照射作用的停止以及复合作用,被电离的气体逐渐减少,因此,存在着一个最佳电离时间。不同程度的被电离气体在电子学上的宏观表现是其阻抗的不同。据此

可以认为,在延迟时间为 400 ns 时,紫外预电离产生的气体阻抗更接近于实际的阻抗匹配条件,能够把更多的电能耦合到主放电电极间的放电等离子体中,从而产生较强的激光增益作用,输出较大的能量,同时激光器的电光转换效率得到提高。在该种意义上说,虽然紫外预电离放电行为对激光器的输出没有直接的帮助和贡献,但是预电离对气体介质阻抗的改变导致阻抗匹配条件的变化却是提高激光输出能量和电光转换效率的关键所在。

5 结 论

以上介绍了脉冲 TEA CO₂ 激光器电路结构

参数变化对于激光器工作性能影响的实验研究与理论分析结果。通过改变电路中延时电感参数,激光器的单脉冲能量从 24.0 J 提高到 45.6 J,激光器的电光转换效率从 8% 提高到 15% 以上。该激光器也能够以高达数百赫兹重复频率的脉冲方式工作,但在单脉冲放电条件下比在高重复频率工作时能够注入更多的能量和充入更高的气压,其单脉冲输出能量最高可达 53 J 以上。在可以实现稳定重复频率放电的注入能量和气压条件下,重复脉冲放电与单脉冲放电的电光转换效率保持着线性关系,即仍然保持 15% 的电光转换效率不变。

参考文献:

- [1] MYRABO L N. Brief history of the lightcraft technology demonstrator (LTD) project[J]. *AIP Conf. Proc.*, 2003, 664:49-60.
- [2] BOHN W L, SCHALL W O. Laser propulsion activities in Germany[J]. *AIP Conf. Proc.*, 2003, 664:79-94.
- [3] HASSON V. Review of design concepts and diagnostics for 100 kW-class repetitive pulsed CO₂ laser[J]. *SPIE*, 2003, 5120:717-730.
- [4] HATANAKA H. Multikilowatt TEA CO₂ laser driven by an all-solid-state exciter[J]. *SPIE*, 1992, 1810:125-128.
- [5] DAUGHERTY J D. CO₂ TEA lasers IEEE[J]. *J. Quantum Electron.*, 1972, QE-8, 594.
- [6] MARCUS S. Excitation of a long-pulse CO₂ laser with a short-pulse longitudinal electron beam[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1972, 21:18-19.
- [7] SEGUIN H. Photoinitiated and photosustained laser[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1972, 21:414.
- [8] JUDD O P. An efficient electrical CO₂ laser using preionization by ultraviolet radiation[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1973, 22:95-96.
- [9] SCHRIEVER R L. Uniform direct-current discharges in atmospheric pressure He/N₂/CO₂ mixtures using gas additives[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1972, 20:354-356.
- [10] LEVINE L S. Observation of laser oscillation in a 1-atm CO₂N₂He laser pumped by an electrically heated plasma generated via photoionization[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1973, 22:55-57.

作者简介:李殿军(1957—),男,吉林长春人,中科院长春光学精密机械与物理研究所研究员,主要从事大功率气体激光器及其应用的研究。E-mail: lidj0906@163.com。