

脉冲间隔可调的双脉冲 TEA CO₂ 激光器

李相银 孙 宁 施振邦
(华东工学院 应用物理系, 南京)

提 要

本文介绍一种新颖的 TEA CO₂ 激光器。它是采用共腔式结构, 在一次激励下可获得脉冲时间间隔 τ 从 0~150 μ s 的连续可变的双脉冲、而无需气体循环的系统。本文还给出了该器件的结构、控制电路的设计特点, 实验结果及结论。

关键词: TEA CO₂ 激光器; 脉冲对。

脉冲工作的 TEA CO₂ 激光器已有很多的论著, 但对于高重复率(大于 100 Hz)的 TEA CO₂ 激光器目前报道的还不多^[1], 其原因在于这种器件运转时必须要有气体循环系统, 使气体在脉冲的间隙期间不断地得到更换。以重复率为 500 Hz 的器件为例, 其气体的流量要达到 100~200 l/s^[3]。这就必然会导致器件结构十分复杂。如果要求脉冲的重复率更高, 如 10⁵ Hz(这相当于脉冲的时间间隔为几十 μ s)则循环系统将十分庞大。然而, 对于时间间隔为 μ s 级的一对脉冲在燃烧、爆轰过程的瞬态测量以及环境监测等方面, 却有着广阔的应用前景^[2]。因此, 获得时间间隔为 μ s 级的脉冲对(或脉冲系列)是有重要意义的, 这也是许多激光工作者长期追求的目标。本文结合我们研制的双脉冲 TEA CO₂ 激光器的成果, 综述其结构设计, 控制电路的特点及器件的实验结果。

一、双脉冲 TEA CO₂ 激光器结构设计特点

本文所提出的双脉冲 TEA CO₂ 激光器是属于共腔式的结构, 它可获得脉冲时间间隔从零开始连续可调的一对光脉冲而无需气体循环系统。

图 1 为器件的结构及供电系统的示意图。

激光器由两对电极置于同一谐振腔内组成。谐振腔是由锪平镜和曲率半径 >10 m 的镀金凹面镜组成的平凹腔。每对电极由两个支架组装成一个整体。两对电极的四个支架必须同时加工, 以保证两对电极同轴。器件的外壳由 $\phi 10 \times 110$ cm 的有机玻璃管构成, 两端盖分别用密封圈与壳体连接, 这样便于器件的装调、清洁处理, 有利于研究气体组分对输出能量、光脉冲宽度和器件寿命的影响。供电系统是由负高压电源分别对两个储能电容 C_1 、 C_1' 充电, 在双脉冲控制器的控制下, 分别点燃两个冷阴极闸流管 T_1 、 T_1' (自然电压为 28 kV, 触发电压为 6.3 kV), 经过脉冲成形网络 $L_1 C_2$ 、 $L_1' C_2'$ 后, 先后在两个主电极上获得比各自予电离电压延迟的高压脉冲, 并分别在两个主电极间产生辉光放电, 从而得到两个光脉冲的输出。

一般都认为器件电极的设计, 应采用儒可夫斯基电极或江氏电极, 以获得最大的均匀辉

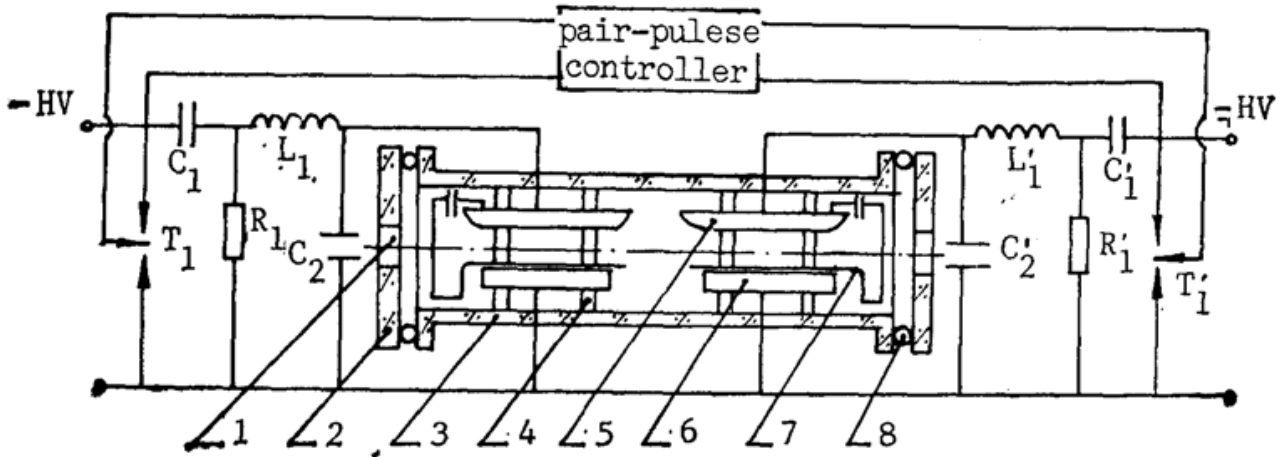


Fig. 1 Schematic of device construction and power supply system

1. mirror; 2. end cover; 3. shell; 4. stand; 5. anode; 6. cathode
7. preionization electrode; 8. seal ring

光放电区。电极的外形尺寸可由公式 $y = \frac{a}{\pi} \exp\left(\frac{\pi x}{a}\right) + \frac{a}{2}$ (儒可夫斯基电极), 或 $x = u + k \cos v - \sin hu$, $y = v + k \sin v \cos hu$ (江氏电极) 获得^[4]。但是, 这种电极的加工十分复杂, 很难保证得到理想的电极面型, 而且电极面型的计算是在电极间没有自由电荷或阴极表面电荷均匀分布的条件下获得的。而实际上, 在双放电予电离情况下, 阴极表面不可能获得完全均匀的电荷分布, 且这种不均匀性的线度与主电极对的间距相比不可忽略。这样, 在主放电脉冲开始作用的瞬间, 在阴极与阳极之间也不可能获得一个完全均匀的电场, 于是上述面型设计公式的推导条件不复存在。因此, 我们认为要获得良好的体积辉光放电的关键, 不是在于理想的电极面型的设计, 而是在于予电离技术, 即电极面型可采用平板面型而边缘用圆弧过渡, 这不但可使设计简化而且加工方便。实验证明这样的设计是成功的^[5]。

在重复率 TEA CO₂ 激光器件中, 由于电极在脉冲放电期间能量快速释放, 在气体介质中形成因气体的绝热膨胀而产生冲击波, 并且以声速向外传播。因此, 在放电区域内的气体密度、等子体密度、气体温度的分布不均匀。这种不均匀性的消失是有一定的弛豫时间的, 因此它不但影响着激光能量的输出, 而且也限制了重复率的提高。特别是在高重复率的情况下(脉冲的时间间隔为 μs 级), 这种不均匀性极易引起弧光放电而严重影响器件的工作和寿命。在设计双脉冲器件电极对的置放时, 要考虑第一个脉冲放电后, 在谐振腔中形成的以声速传播的介质不均匀性。为此两组电极之间要有一定的间距, 间距的大小由三个因素决定, 首先是谐振腔中介质扰动的传播速度, 其次是器件的双脉冲时间间隔, 最后还要考虑器件结构的合理性和调试的简易。

根据物理学原理^[6]知道, 这种介质不均匀的传播速度可按下式来计算:

$$v = \sqrt{\frac{rRT}{\mu}}$$

其中: r 为气体定压克分子比热与定容克分子比热之比, R 为混合气体常数, 气体温度 K ; μ 为气体的克分子质量。应注意, CO₂ 激光器中充的是 CO₂ 和 N₂ 的混合气体。因此应以混合气体来计算。由上式可知, 介质扰动的传播速度与气体介质的温度、气体的克分子质量有关, 而这两者又取决于器件的输入能量、气体的特性和组分。因此要精确计算这个问题是复杂的。根据 Roper 等人的研究^[7]在 CO₂ 激光器介质中的声速约为 450 m/s 左右, 因此二组

电极的间距设计为 6 cm(脉冲间隔为 150 μ s)。考虑到这个间距,器件的总长度应为 90 cm, (每组电极的放电体积为 $33 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$)。通过实验,没有发现因两组电极的放电扰动而降低输出能量的现象。当然,从减小两组电极的相互影响的角度来看,增加器件的总长是有利的。但不适当地增加长度将会给器件的精确调试增加困难。

二、器件的控制电路

双脉冲器件在电路结构上的主要特点是有一个双脉冲控制器。它给出一对时间间隔从 0~150 μ s 连续可调的脉冲。图 2 为电路框图,同时也给出了各点波形图。

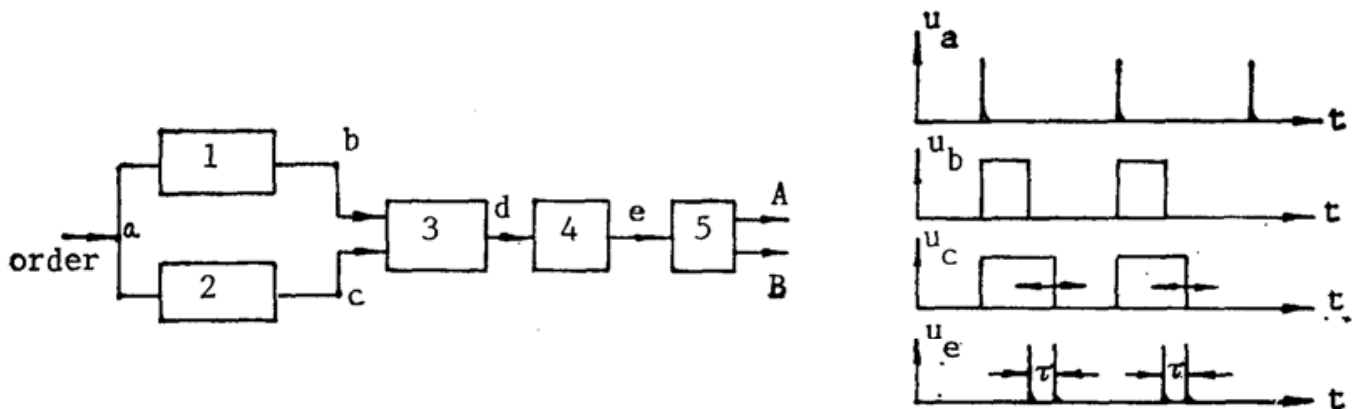


Fig. 2 Block diagram of circuit and waveshape diagram

时间指令信号可以是逐次手动馈给,亦可以是重复率馈给,视工作需要而定。此信号分别推动标准宽度脉冲发生器和可调宽度脉冲发生器。两种不同宽度的脉冲进入比较器进行宽度比较,以实现双脉冲时间间隔从零开始调节。这些电路均需加入抗干扰环节。门电路及高压脉冲发生器的应用是本控制器的特点。TEA CO_2 激光器工作电压均在 20 kV 左右,因此电路在工作时受到强烈的干扰,破坏了 A、B 两路脉冲的时间关系。虽然采用了一系列抗干扰措施,但电路不时地受到干扰,产生误触发。这种干扰主要来源于:(1)器件工作在 20 kV 左右的高压下,这样在高压元件、激光器件的壳体表面均有漏电流,漏电流的大小随器件充、放电而变化,这种变化可通过冷阴极闸流管触发电路而作用于控制器,从而影响各点电位的稳定;

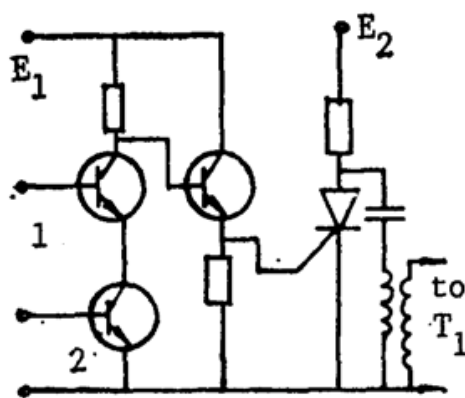


Fig. 3 Gate principle diagram

- 1. from comparator;
- 2. from full signal;
- 3. to T_1

(2)高压脉冲发生器为冷阴极闸流管提供触发电压,其值约为 6 kV,因此 A 路工作时产生的强烈干扰,直接影响着控制器的稳定性;(3)冷阴极闸流管及器件本身放电时,其瞬时峰值电流可达 200 A 以上,这也是一种强烈的干扰源。在双脉冲器件中,由于 A 路所形成的干扰恰发生在双脉冲的时间间隔内,因而对 B 路的工作影响尤为严重。对于后两个干扰只能依靠严密的屏蔽和可靠的接地,以及在电路中加强抗干扰环节,以减少其影响。对于前一个干扰,采用插入门电路的办法获得良好的效果。门电路的工作是在高压充电期间,将门关闭,这时即使脉冲信号发生器 1、2 工作不稳定也不会有信号输出点燃闸流管。一旦充电完毕,电路各点电位达到稳定后,门电路 4 工作,使时间比

信号输出点燃闸流管。一旦充电完毕,电路各点电位达到稳定后,门电路 4 工作,使时间比

较器 3 的信号得以通过,从而启动高压脉冲发生器 5,以控制两组电极放电。门电路的简单原理如图 3 所示。

最后应提出,为获得准确的双脉冲时间间隔,火花隙必须在指定的时间下导通,这就要求火花隙间的气压稳定和触发火花隙的电压要足够强且前沿要陡。采用冷阴极闸流管和高压脉冲发生器可获得较为满意的效果。当然,高压脉冲发生器的设计关键在于脉冲变压器。它既要有足够强的幅度又要避免形成强烈的振荡输出,否则容易损坏可控硅元件。

三、实验结果

1. 寿命试验:器件的寿命一般包含两方面的内容,即贮存寿命和工作寿命。双脉冲 TEA CO₂ 激光器采用组件结构,其最大的特点是可以随意折装,可对器件进行清理和改变气体的配比,这有利于研究器件的性能。但是,这种结构由于连接环节多,容易造成慢性漏气而影响器件的贮存寿命。本器件的一次充气贮存寿命大于 5 天。工作状态为: $P_{\text{CO}_2}:P_{\text{N}_2}=1:1$, 总气压为 280 Torr 的无 He 条件下,工作电压 18 kV, 储能电容为 0.1 μf , 以 1 pps 的重复率运转,连续工作 10^4 pulses 时,输出总能量不低于 130 mJ。

2. 性能测试:我们对器件进行了脉冲宽度和输出能量的测量,并观察了在不同时间间隔 τ 时其输出能量的大小。脉冲宽度的测量,采用中科院电子所提供的光子牵引探测器配以日本 OS-2100 A 示波器进行观察、读数。能量的测定,采用中科院物理所提供的 LPE-1 型数显功率/能量计。测试条件为 $P_{\text{CO}_2}:P_{\text{N}_2}=1:1$, $P_{\text{CO}_2}+P_{\text{N}_2}=280$ Torr, 充电电压为 18 kV, 储能电容为 0.1 μf 。谐振腔为平凹腔,凹面镜的曲率半径为 20 m。

测试结果如图 4(a)~4(e)所示。

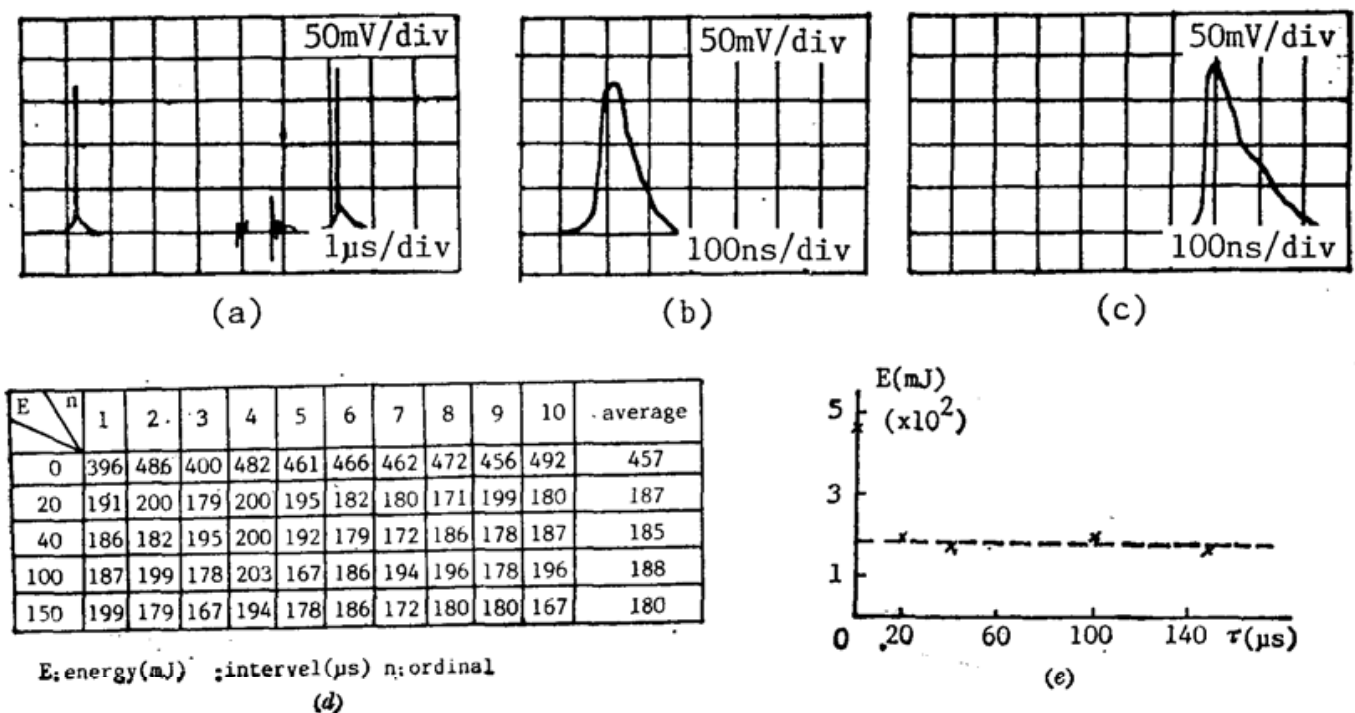


Fig. 4 Results of measurement

(a) dual pulse shape; (b) pulse A, FWHM ~ 70 ns;
(c) pulse B, scanning after trigger relay at A channel of oscilloscope

四、结 论

(1) 在脉冲时间间隔较小时,可直接在示波器上观察到两个脉冲的波形。利用延时扫描来分别测定两个脉冲的半功率宽度,其值约为 70 ns。当双脉冲的时间间隔较大时,由于在第二个脉冲前面存在着明显的放电干扰而掩盖了第二个脉冲的波形,影响了双脉冲的观察。

(2) 当 $\tau=0$ 时,即两组电极同时触发,测得的能量最大值可达 490 mJ;而在 $\tau \neq 0$ 时,测得的能量均约为 $\tau=0$ 时的一半。这是由于能量计具有峰值保持电路,因此它只能测量其中一个脉冲的能量。

(3) 在 τ 比较小时,第二个脉冲的幅度大于第一个脉冲的幅度,这可能就是 J. A. Fox 提出的第一个脉冲后,腔未倒空所致。而在 τ 比较大时,则往往是后一个脉冲小于前一个脉冲,这可能是由于气体中的声波引起介质的扰动而影响了它的输出。

(4) TEA CO₂ 激光器发散角大,光轴有飘移现象,而在双脉冲 TEA CO₂ 激光器中没有发现由于前一脉冲放电所形成的介质扰动引起附加的光轴偏移。

(5) 综上所述,我们认为在一个谐振腔中,放置两对电极以获得时间间隔从 0~150 μ s 连续可调的双脉冲方案是可行的,这可能为光化学、瞬态过程的全息测量提供新的光源。

(6) 根据我们的研究认为,从原理上说,在一组谐振腔中设置多对电极以获得序列脉冲输出是可能的。当然,考虑到增益与损耗的关系,序列脉冲的数目不可能无限增多。三个脉冲的方案正在试验之中。

参 考 文 献

- [1] Dzakowic & Wutzke; *J. Appl. Phys.*, 1973, **44**, No. 11 (Jul), 5061~5063.
- [2] Jay A. Fox; *Appl. Phys. Lett.*, 1980, **37**, No. 7 (Oct), 590~591.
- [3] V. Yu. Baranov; *Appl. Optics*, 1980, **19**, No. 6 (Mar), 930~936
- [4] 赫光生等;《激光器设计基础》,上海科技出版社,1979), 186~188.
- [5] 张殿坤等;《华东工学院学报》,1984, No. 1 (Mar), 112~115.
- [6] 福里斯;《普通物理学》,(人民教育出版社,北京,1964), 476~478.
- [7] V. G. Roper *et al.*; *Optics Commun.*, 1978, **25**, No. 2 (May), 235~240.

A double-pulse TEA CO₂ laser with adjustable pulse interval

LI XIANGYIN, SUN NING AND SHI ZHENBANG

(Department of Applied Physics, East China Institute of Technology, Nanjing)

(Received 31 March 1989; revised 16 June 1989)

Abstract

A novel transversely excited atmosphere carbon dioxide laser is described in this paper. It is constructed by common optical cavity. The device produces two pulses with adjustable time interval up to 150 μs under single excitation, which is obtained without gas flow. The design features of the construction and control circuit are presented. The experimental result and conclusion are given.

Key words: TEA CO₂ lasers; pulses.