

# 高重复率 TEA CO<sub>2</sub> 激光器放电特性研究

李玲芝

(哈尔滨科技大学技术物理系, 哈尔滨, 150080)

刘逢梅 赵景山 王雨三 胡孝勇

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 哈尔滨, 150001)

**摘要:** 本文介绍一种用于 TEA CO<sub>2</sub> 激光器的倍压电路和放电过程, 对放电参数作了理论计算, 给出了激光器运转时的  $E/N$  值和气体放电的电阻特性, 并将理论模型与实验结果作了比较。

**关键词:** CO<sub>2</sub> 激光器 横向激励 放电

## Study on discharge parameters of a high repetition rate TEA CO<sub>2</sub> laser

Li Lingzhi

(Department of Physics, Harbin University of Science and Technology)

Liu Fengmei, Zhao Jingshan, Wang Yusan, Hu Xiaoyong

(Institute of Opto-Electronics, Harbin Institute of Technology)

**Abstract:** The voltage doubled circuit of a high repetition rate TEA CO<sub>2</sub> laser and its discharge processes are described theoretically. The calculated results of discharge voltage, discharge current, discharge resistance and the value of  $E/N$  are yielded out. The theoretical results are coincident with the experimental ones.

**Key words:** CO<sub>2</sub> laser transverse excitation discharge

### 一、引言

激光器的电路设计影响着激光器的寿命和工作特性。特别是对于高重复率的小型器件, 为保证其快速均匀放电, 提高转换效率, 必须了解气体放电时所经历的过程和所涉及的各种参数。因此, 从理论上研究激光器的放电特性是十分有意义的。

自第一台横向激励大气压 CO<sub>2</sub> 激光器出现以来, 人们采用了各种各样的方法提高放电的均匀性, 并作了大量的研究工作。但从理论上分析气体放电过程的工作并不多, 比较典型的有 Midorikawa 等人<sup>[1]</sup>的对 2atm, 5atm 和 10atm 的气体放电参数的计算。国内的有陈义红等人<sup>[2]</sup>对 Blumine 型电路及放电过程的分析。本文报导了对接近大气压下倍压电路气体放电过程的分析及有关参数的计算。理论计算值与实验结果吻合较好。

### 二、激光器结构及激励电路

激光器的结构如图 1 所示, 采用了磁力拖动封闭式气体循环系统。激励电路原理图如图 2 所示, 采用谐振充电与预电离放电兼容的放电电路。

主放电阳极采用改进型张氏电极<sup>[3]</sup>, 阴极为平板型电极。阴极上均匀放置的 23 根与阴极

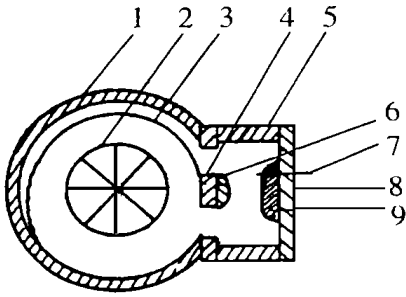


Fig. 1 The structure of laser head  
1—gas reservoir 2—fan 3—fluoride guider  
4— anode slab 5—cavity 6— anode 7—W  
needle 8—cathode slab 9—cathode

绝缘的钨针同阴极构成了紫外预电离的电极。放电激活体积为 10mm × 20mm × 260mm。激励电路中  $C_s$  是储能电容,  $C_p$  为峰值电容。这种谐振充电与预电离放电兼容的激励电路, 可使  $C_p$  充电电压达到某一最大值时, 放电激励处于最佳状态, 实现对工作气体的放电激励。

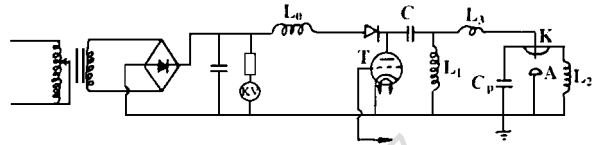


Fig. 2 Principle circuit of discharge

### 三、气体放电特性

激光器气体放电部分可等效于一电感  $L'$  和一瞬时放电电阻  $R(t)$  (图 3)。

$L'$  包括等离子体电感,  $C_p$  电容上的电感和传输线上的电感。

放电电压为:

$$V_R = \frac{1}{C_p} \int i dt - L' \frac{di}{dt} \quad (1)$$

放电电流为:

$$i = n_e(t) u_{des} \quad (2)$$

经过整理有<sup>[2]</sup>:

$$\frac{dE}{dt} = 2E \frac{u_p - E d}{i L'} + \gamma n_e e - K$$

$$\frac{du_p}{dt} = i / C_p \quad (3)$$

$$i = n_e(t) u_{des}$$

式中,  $E$  为放电区电场强度 [ $E(t) = V_R(t) / d$ ],  $d$  为放电间距,  $\gamma$  为电子复合系数,  $K = (\alpha - a) u_d$ ,  $\alpha$  是电离系数,  $a$  是附着系数,  $u_d$  是迁移速率,  $n_e$  是电子密度,  $e$  是电子电荷,  $S$  为放电气体横截面积。

放电电阻:

$$R(t) = V_R(t) / i \quad (4)$$

电子密度<sup>[2]</sup>:

$$dn_e / dt = (\alpha - a) u_d n_e - \gamma n_e^2 \quad (5)$$

(5) 式可用数值解法解出:

$$n_e(t + \Delta t) = [K n_e(t) \exp(K \Delta t)] / [K - \gamma n_e(t) + \gamma n_e(t) \exp(K \Delta t)] \quad (6)$$

采用上述的数学模型, 工作气体配比为  $CO_2 : N_2 : He = 1 : 1 : 3$ , 气压为 500Torr,  $L_3 = 50nH$ ,  $S = 1 \times 26(cm^2)$ ,  $C_p = 2 \times 2700pF$ ,  $d = 2cm$ , 当步长  $\Delta t$  为  $2 \times 10^{-9}s$  时, 由计算机数值计算可得到气体放电电压、电流波形及电子密度和放电电阻随时间变化的曲线(图 4~ 7)。由电压波形可看出气体放电是属于快放电型的, 放电时间仅为 30ns, 能量可在短时间内快速注入气体中。气体放电时的电场强度是  $E = 13kV/cm \sim 14kV/cm$ , 相应的放电电压为  $V = 26kV \sim 28kV$ ,  $E/N$  值为  $8.1 \times 10^{-16} \sim 8.7 \times 10^{-6}V[cm^2]$ 。电子密度升到  $10^{14}cm^{-3}$  以后基本上保持稳定, 与此相对应的放电电阻曲线中的一段约 30ns 是比较平直的(准稳阶段), 气体放电时大部分能量都

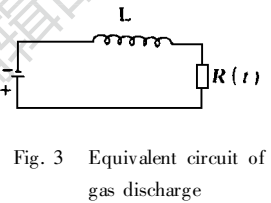


Fig. 3 Equivalent circuit of gas discharge

是在这一段时间内注入到气体中的。观察图 6 和图 7, 随着电子密度的增加, 电阻值不断减小。电子密度随时间变化的曲线与文献[ 1] 符合得很好。

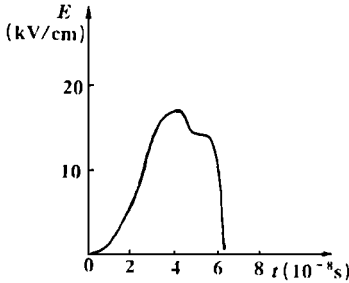


Fig. 4 The calculated discharge current pulse

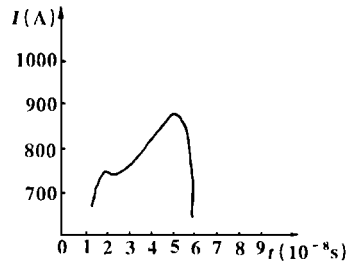


Fig. 5 The calculated discharge voltage pulse

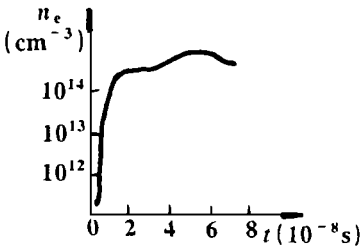


Fig. 6 The calculated electron density

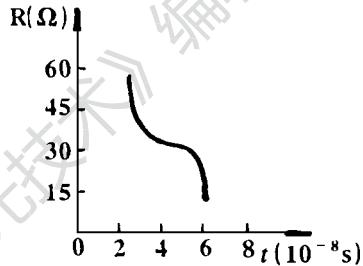


Fig. 7 The calculated discharge resistance

#### 四、实验测量结果

用高压探头和示波器测量激光器的放电电压波形如图 8 所示。可以看到, 放电电压峰值约为 26kV, 与理论值 26kV ~ 28kV 吻合很好。放电电压的脉宽实测值约为 40ns, 理论值为 30ns, 其误差仅为 25%, 说明计算值是合理的。另外, 用分压法对放电电流波形进行了测量。实验中采用 100 个 1Ω 电阻并联后串入放电电路, 这样引入放电电路电流测试线路的外来电阻仅为 0.01Ω, 与放电过程中电阻的理论计算值 30Ω 相比可以忽略。但是, 由于测试电路分压电阻所具有的电感影响, 将会使放电电流波形变宽。用这种方法在实验中测得的电流波形如图 9 所示。可以看出, 实测放电电流的上升时间约为 50ns, 大于理论计算值的 35ns, 误差约为 30%。实测电流下降时间为 50ns, 理论计算值为 15ns, 误差为 70%。其误差与放电电压相比明显变大, 这是因为上述测试方法中引入的电感影响造成的。而理论计算和实际工作时的放电电路中不包含这部分电感。这与前面的分析是相符的。因此, 实际工作电路的放电电流上升和下降时间均将



Fig. 8 The measured discharge voltage pulse

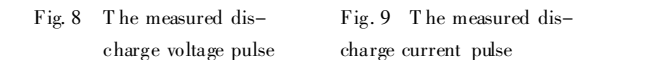


Fig. 9 The measured discharge current pulse

用高压探头和示波器测量激光器的放电电压波形如图 8 所示。可以看到, 放电电压峰值约为 26kV, 与理论值 26kV ~ 28kV 吻合很好。放电电压的脉宽实测值约为 40ns, 理论值为 30ns, 其误差仅为 25%, 说明计算值是合理的。另外, 用分压法对放电电流波形进行了测量。实验中采用 100 个 1Ω 电阻并联后串入放电电路, 这样引入放电电路电流测试线路的外来电阻仅为 0.01Ω, 与放电过程中电阻的理论计算值 30Ω 相比可以忽略。但是, 由于测试电路分压电阻所具有的电感影响, 将会使放电电流波形变宽。用这种方法在实验中测得的电流波形如图 9 所示。可以看出, 实测放电电流的上升时间约为 50ns, 大于理论计算值的 35ns, 误差约为 30%。实测电流下降时间为 50ns, 理论计算值为 15ns, 误差为 70%。其误差与放电电压相比明显变大, 这是因为上述测试方法中引入的电感影响造成的。而理论计算和实际工作时的放电电路中不包含这部分电感。这与前面的分析是相符的。因此, 实际工作电路的放电电流上升和下降时间均将

# 频谱面定位的研究

叶柳

叶树钧

(安徽大学物理系, 合肥, 230039)

(安徽教育学院物理系, 合肥, 230061)

摘要: 本文应用傅里叶光学理论和散斑运动特性, 从理论和实验上解决了频谱面的定位问题。

关键词: 频谱面 散斑

## Determination of location of optical spectrum plan

Ye Liu

(Department of Physics, Anhui University)

Ye Shujun

(Department of Physics, Anhui Educational College)

**Abstract:** According Fourier optical theory and speckle motion characters, the problem to found the location of a spectrum plan in a optical system has been investigated. The experiment results proved the theoretical analysis is correct. The method can be used in optical information processing system.

**Key words:** frequency plane speckle

小于 50ns, 即更接近于计算值。

激光器在前述的条件下, 当脉冲重复频率为 50pps 时, 得到单脉冲能量为 240mJ, 平均输出功率为 6W, 脉宽为 50ns 的输出。激光器稳定工作寿命达  $10^5$  次以上。

### 五、结 论

利用计算机数值模拟方法, 首次对在近大气压下的 TEA CO<sub>2</sub> 激光器倍压电路放电状态进行了计算, 获得了放电电压、放电电流、放电电阻、电子密度和  $E/N$  等放电状态参量的理论值。理论计算值和实验结果符合很好。其结果将有利于进一步改进激光器的放电过程。

### 参 考 文 献

- 1 Midorikawa K, Wakabayashi K, Nakamura K *et al.* J A P, 1982; 53(5): 3410
- 2 陈义红, 李万荣, 刘扬满 *et al.* 激光技术, 1987; 11(2): 30
- 3 张福泉. 应用激光联刊, 1982; (4): 32

作者简介: 李玲芝, 女, 1961 年出生。理学硕士。多年来从事激光技术及激光应用方面的工作。主要研究方向有: CO<sub>2</sub> 激光器, 光散射, 光纤应用等。

收稿日期: 1995-03-07 收到修改稿日期: 1995-06-06