

在6个大气压下工作的电子束 控制的CO₂激光器

郭物鸣 杨宏耀 王建纬 徐亦庄 吴念乐
(清华大学现代应用物理系)

提 要

本文报道在6个大气压下工作的电子束控制的CO₂激光器的性质,对激光器的放电特性与频率的可调性进行了研究。

关键词: CO₂激光器。

一、引 言

高压连续调频(9 μm~11 μm)CO₂激光器是一种极有用的激光器。由于它具有较大的脉冲能量,故对于激光化学和非线性光学的科研都是一种重要的光源。

曾有许多人研究过在高压下工作的电子束控制的CO₂激光器^[1~7]。通常选择气压在10个大气压以上。在这种条件下,激光器可以连续调频。Alimpiev等人^[8]指出在6个大气压(CO₂:N₂=1:1)的条件下,波长与光栅角度改变的关系是线性时,即不出现频率牵引效应。他们获得的总的平滑调频区达到86 cm⁻¹。作者设计与安装了一台可以在高压下工作的电子束控制的CO₂激光器,并对其性能进行了研究。

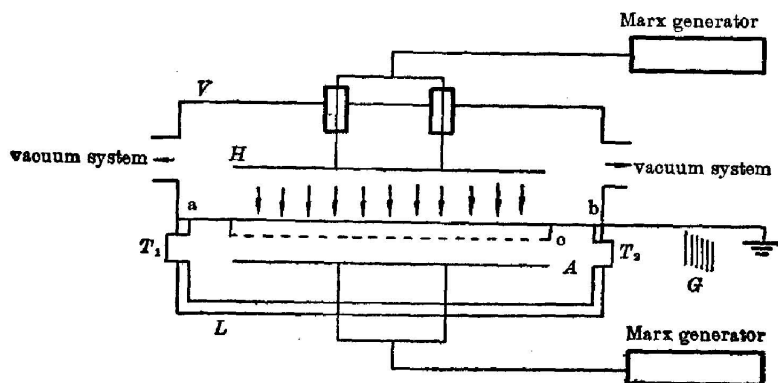
本文着重研究激光器在6个大气压工作时的调频特性,特别选择气体成分为

$$\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:2:3$$

着重研究10P支的调频特性,测量其在固定放电条件下激光输出能量与波长的关系。通过改变电子枪的电压与主放电的电压,找出它的较佳工作条件与无弧放电条件。

二、激光器的结构

激光器主要是由电子枪室V和气体放电室L两部分组成。如图1所示。电子枪室V由不锈钢筒组成,两端接真空机组。真空度可达 4×10^{-6} Torr,电子枪H用长钼条(或刀片钢条)制作,在高电压下可以发射电子。气体放电室L用可以承受10个大气压的厚有机玻璃做成。L与V之间用一层25 μm厚的钛膜或100 μm厚的涤纶薄膜ab隔开。它们不仅能承受高的压差,同时又能保证较强的电子束通过。气体放电室L中的阳极A用铝制成,长98 cm,宽3 cm,阴极C用钼网做成,阴极与阳极的间隔可以改变。最大间隔为3 cm,所

Fig. 1 Schematic diagram of the CO₂ laser

以最大放电体积为 0.88 lit。在本实验时用的间隔为 2.2 cm, 放电体积为 0.65 lit。

本文所采用的激光腔为组合腔^[9], 由硒化锌(或 Ge)平晶 T_1 与 T_2 以及光栅 G 组成。 G 为 120 l/mm 的炫耀光栅。通过旋转光栅来改变激光的波长。 T_1 为输出镜。当激光能量较大时, 宜用 Ge 片作为输出镜, 但 Ge 片较易损伤, 不便于长期工作; 在输出能量不超过 3J 情况下用硒化锌平晶为输出镜, 输出镜所受损伤小, 可以长期工作, 对于研究激光的调频特性是有利的。

由于在 6 个大气压下增益较大, 当 T_1 与 T_2 严格平行时, 它们组成的平行平面腔足以使得 $10P(14)$ 振荡, 实际上, 我们观察到了双波长振荡, 其一为 $10P(14)$, 另一波长则随光栅旋转而改变。这样的双波长激光器在某些实验中也许是有用的。当我们的目的是研究激光波长与能量随光栅转动而变化时, 我们希望抑制掉由 T_1 与 T_2 组成激光腔的振荡。为此, 我们有意把 T_2 略微调偏。此时得到单波长激光, 脉冲能量也有较大提高。特别是用 Ge 片作为输出镜时, 输出能量可高达 15J*。

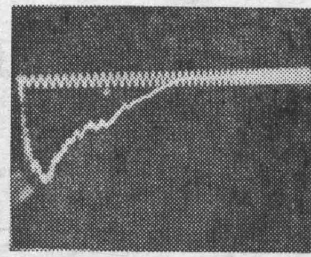
光栅用马达驱动, 其速率用秒钟控制, 使光栅转角为 $0.0033^\circ/\text{sec}$ 在 $10P$ 光谱区内, 这相当于波长改变为 $\Delta\lambda = 0.00074 \mu\text{m}$ 。

电子枪电源是一个三级 Marx 发生器, 它的每一级电容为 $0.12 \mu\text{F}$, 最高电压为 90 kV。三级串联, 最高电压为 270 kV。主电源是一个二级 Marx 发生器。它的每一级电容为 $1.1 \mu\text{F}$, 最高电压为 60 kV, 两级串联, 最高电压为 120 kV。两个电源的触发时间可以调节, 实际上我们采用同时触发。

三、放电特性

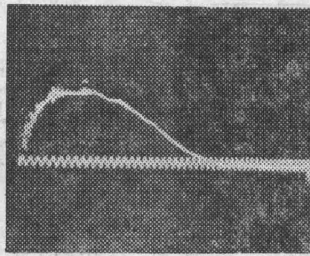
由于激光脉宽取决于放电特性, 为了得到较窄的脉宽, 在电路设计与安装中注意到尽量减小回路电感, 以求获得较短的电脉冲和较陡的前沿。本文以标准方法^[10] 使用 OK19M2 高压示波器、光子牵引探测器与 Tektronix 466 记忆示波器对激光器的放电特性进行了测量。测量结果如图 2 所示。

* 作者曾用 KCl 的布儒斯特窗代替 T_2 , 但因脉冲能量提高, KCl 晶体严重损伤。



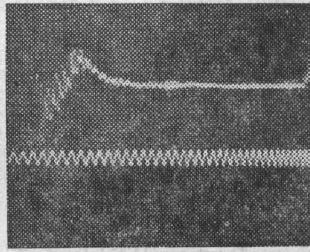
(a)

Electron gun voltage
Time scale 12.9 MHz
Pulse head $0.23 \mu\text{s}$
Pulse width $0.5 \mu\text{s}$
Peak voltage 204.3 kV



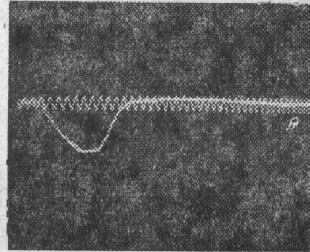
(b)

Electron gun current
Time scale 12.9 MHz
Pulse head $0.35 \mu\text{s}$
Pulse width $1.36 \mu\text{s}$
Peak current 5.9 kA



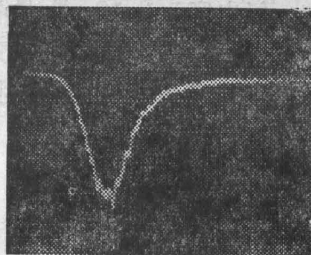
(c)

Main discharge voltage
Time scale 12.9 MHz
Pulse head $0.3 \mu\text{s}$
Peak voltage 71 kV
Tail voltage 49 kV



(d)

Main discharge current
Time scale 12.9 MHz
Pulse head $0.4 \mu\text{s}$
Pulse width $0.54 \mu\text{s}$
Peak current 7.5 kA



(e)

Laser pulse shape
20 ns/div.
Pulse width 60 ns

从图 2(a)~图 2(d)可见,电压与电流波头都是较短的,正是这部分决定了激光的脉宽。由图 2(e)可见,激光脉宽约为 60 ns,是比较窄的。

我们还测量了电子枪电压与主放电电压的时延。发现,尽管触发是同时的,电子枪电压一般超前约 $0.1 \mu\text{s}$ 。

对电子束电流的测量表明,钛膜的厚度对透过的电子束流的大小有较大影响。在电子枪电压为 240 kV 时,厚度为 $50 \mu\text{m}$ 钛膜透过的电子束流仅为电子枪电流的五分之一左右。

当电子枪电压降到 200 kV 时, 厚度为 25 μm 钛膜透过的电子束流达电子枪电流的五分之四。

在激光器放电过程中出现电弧是不利的。它会影响激光输出能量, 甚至使激光不能振荡, 作者认为产生电弧的原因有两: (1) 是主放电电压过高, 已达到击穿电压; (2) 是电子束能量过低, 造成气体电离不够充分。因此实验要求主放电电压有一上限, 而电子枪电压则有一下限。在注意到这两个条件时就可以获得无弧放电。实验表明, 在钛膜厚为 25 μm 时, 电子枪电压不要低于 230 kV, 而主放电电压则不要高于 52 kV, 即相当于场强与气压比为 $(E/p) = 3.9 \text{ kV/cm}\cdot\text{atm}$ 。这种条件是 Daugherty 指出的最佳值^[11]。

四、激光波长的测定

作者认为, 研究激光器的输出特性, 最好是在光栅每转过一微小角度后即测量激光波长与能量。一方面测定波长与光栅转角的关系, 另一方面测定能量随波长的变化, 所以实验采用了图 3 所示的装置。激光射在 KCl 制作分束器上分成两束, 一束 (大部分能量) 进入光谱仪*, 另一束 (小部分能量) 进入能量计**。从测定分束器的分束比, 可以由能量计读数算出入射总激光能量。

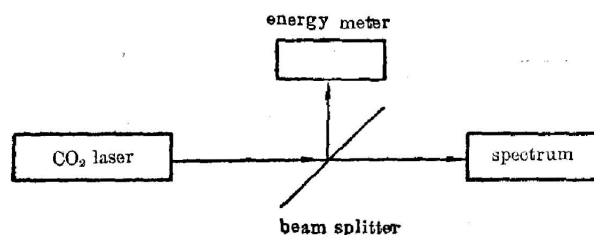


Fig. 3 Arrangement for the measurement of laser wavelength and energy

光谱仪是自制的 2m 光谱仪。让激光直接照到一个 1101/mm 的炫耀光栅上, 衍射光经过 KCl 透镜 (焦距 1.8 米) 成像于自制的热敏材料上。这种热敏材料比普通的热敏纸的灵敏度为高, 适宜于记录脉冲 CO₂ 激光。光谱仪有较高的分辨率, 在 10 P 光谱区内, 两相邻支线在记录材料成像的间隔为 3~4 mm。我们用 CW CO₂ 选频激光器的 10 P 支线进行了定标, 如图 4 所示。脉冲激光在热敏材料上成像较大, 直径达 4 mm。为了避免不同波长的像重叠, 在每一脉冲照射后, 使记录材料上升 4 mm。这样就得到图 4 所示的斜线形的谱图。

实验时, 光栅每次转角为 $\Delta\alpha = 0.02^\circ$, 相当于波长改变为 $\Delta\lambda = 0.0044 \mu\text{m}$, 即相邻支线波长差的五分之一。从光谱图可见 $\Delta\alpha$ 与 $\Delta\lambda$ 是正比的, 与 Alimpiev 等人^[8]的结果一致。

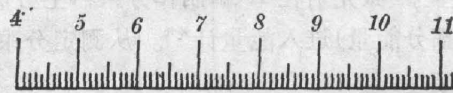
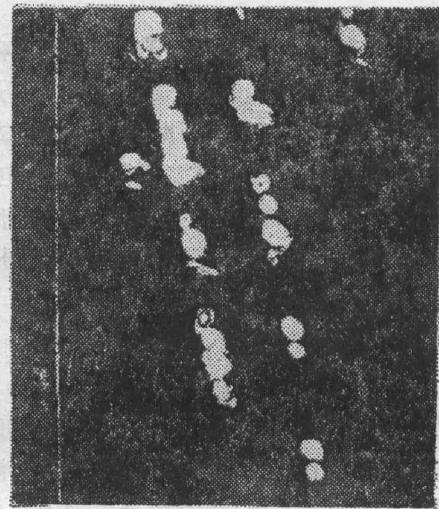
从图 4 可见, 在某些光栅位置时, 光谱图无记录, 但能量计有记录。这可能是由于记录材料有一能量密度阈值, 低于此阈值不能记录。

在图 5 中, 同时由光谱仪与能量计记录下来的点用“ \odot ”表示, 仅仅由能量计记录下来的点则用“ \times ”表示。此时对应的波长是由光栅转过的角度 $\Delta\alpha_0^*$ 计算得的。

* 用来记录光谱的热敏材料只有较高激光能量下才能记录成像。

** 能量计是中国科学院物理研究所的 LPE-1A 型能量计, 灵敏度较高。

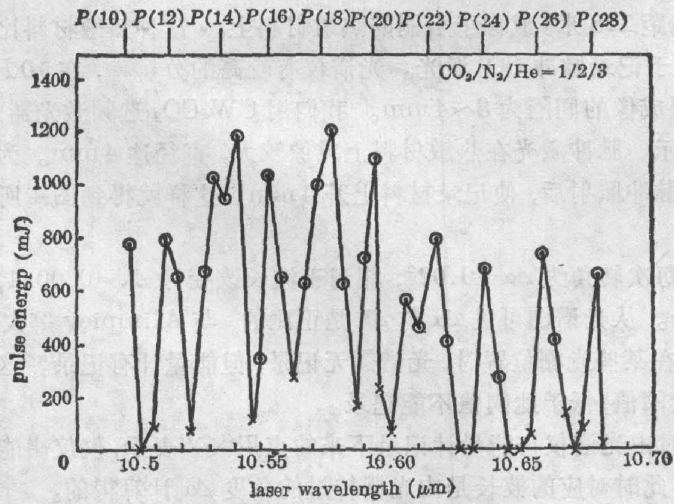
Pulsed CO₂ laser spectrum



CW CO₂ laser spectrum



Fig 4 Pulsed CO₂ laser spectrum



Electron gun voltage 234 kV Main discharge voltage 50 kV

Fig. 5 Laser energy versus wavelength

由图 5 可见, 在 6 个大气压下工作时, CO₂ 谱线有较大展宽, 如果我们利用图 5 来估计谱线宽度, 可得宽度为 30 GHz, 即 5 GHz/atm, 与 Alcock 等人的数据^[2]一致。

在图 5 中可见, 如果补充以能量计的读数, 在给定的放电条件下, 从 10P(12)到 10P(22)已经连续调频, 但能量起伏较大, 不便于应用。当然可以改变激光腔的参数, 或改变放电条件, 从而扩大连续调频的范围。然而, 要得到一个光滑连续调频激光器, 还应增加工作气压, 我们现在正在从事 10 个大气压以上的 CO₂ 激光器的研究。

在设计激光器时曾得到中国科学院上海光学精密机械研究所庄斗南、陆载通同志的帮助, 谨表谢忱。参加这项工作的还有赵钧、王以炳同志。他们亦对工作做出了有益的贡献。

参 考 文 献

- [1] N. G. Basov *et al.*; *JETP*, 1973, **64**, No. 1 (Jan), 108.
- [2] A. J. Alcock, K. Leopold *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1973, **23**, No. 10 (15 Nov), 562.
- [3] N. W. Harris *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1974, **25**, No. 3 (1 Aug), 148.
- [4] F. O'Neill, W. T. Whitney; *Appl. Phys. Lett.*, 1975, **26**, No. 8 (15 Apr), 454.
- [5] F. O'Neill, W. T. Whitney; *Appl. Phys. Lett.*, 1977, **31**, No. 4 (15 Aug), 270.
- [6] N. W. Harris *et al.*; *Opt. Commun.*, 1976, **16**, No. 1 (Jan), 57.
- [7] Wan Chongyi, C. Schwab *et al.*; *Opt. Commun.*, 1983, **46**, No. 5/6 (15 Jul), 311.
- [8] S. S. Alimpiev *et al.*; *Lett. in JTP*, 1979, **13**, No. 5 (May), 816.
- [9] G. J. Ernst, W. J. Witteman; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1971, **QE-7**, No. 10 (Oct), 484.
- [10] 私人通讯。
- [11] J. D. Daugherty; *Electron beam ionized lasers*, in «*Principles of Laser Plasmas* Ed. G. Bekefi», (J. Wiley & Sons, 1976).

The operation of an electron-beam controlled CO₂ laser at 6 atmospheres

GUO WUMING, YANG HONGYAO, WANG JIANWEI, XU YIZHUANG AND WU NIANLI

(Department of Modern Applied Physics, Tsinghua University)

(Received 9 April 1986)

Abstract

The operation of an electron-beam controlled CO₂ laser at 6 atmospheres is reported. The discharge characteristic and the frequency tunability are studied.

Key Words: CO₂ laser.