

折迭式双波长可调谐单模 TEA CO₂ 激光器*

周岳亮 陈正豪 崔大复 吕惠宾
(中国科学院物理研究所)

提 要

研制了一台折迭式双束可调谐 TEA CO₂ 激光器, 该器件可以同步地产生两束波长在 9.2 μm~10.9 μm 之间独立可调的激光。单线单模输出最大峰值功率为 1 MW, 单线多模输出最大峰值功率为 4 MW。文中对器件的模式选择和双波长输出的同步特性等作了分析并给出了实验结果。

近年来, 各种非线性混频效应的研究、超激发的研究以及利用双光子吸收在分子气体中产生 Laser 振荡的研究对于各类双波长激光的同步输出、光束质量等性能提出了要求^[1~3]。

为研究表面波的非线性激励, 本文研制了一台可以在 9.2 μm~10.9 μm 波长范围内独立调谐的双束 TEA CO₂ 激光器。该器件既可单模输出, 又可多模输出, 视需要而选择。

一、器件结构及特点

本文的器件结构采用了类似文献[4]的外型尺寸、水冷器以及腔内气流循环系统, 重复频率可达 10 次/秒, 一次充气寿命可达 1×10^6 次脉冲。为了避免两光束之间的模式竞争和相互干扰, 将同一对放电电极(长 90 cm、宽 12 cm、间距 4 cm)的激活区分开上下两层使用, 并构成两个独立的谐振腔, 每一谐振腔折迭五次而使实际只有一米长的器件获得了 5 米长的有效增益长度, 并减小了菲涅耳数, 有利于横模选择。

图 1 是器件的光路示意。M₁、M₂ 是中心距离为 27 mm 的 ZnSe 输出镜, 输出窗口可在 $\phi 5 \sim \phi 17$ (mm) 间调节。M₃、M₄、M₅、M₆ 为镀金全反镜, W₁、W₂ 为 NaCl 窗口。M₁、M₃、M₄、M₅、M₆、W₁、G₁ 构成波长为 λ_1 的谐振腔, 由 100 l/mm 光栅 G₁ 自准直调谐, 使用靠近阳极的上层激活区。M₂、M₃、M₄、M₅、M₆、W₂、G₂ 构成波长为 λ_2 的谐振腔, 由 100 l/mm 光栅 G₂ 自准直调谐, 使用靠近阴极的下层激活区。两谐振腔的光路平行运行, 互不干扰。

由于器件增益长度达 5 m, 其总增益很高。粗略的估计, 输出镜的最佳透过率在 70% 左右, 如果仍采用 Ge 作为输出窗口, 就会因为偏离最佳透过率较远而影响激光输出。实验证明, 采用没有镀膜的 ZnSe (透过率 ~70%) 作为输出平镜所得输出功率是 Ge 输出镜 (透过率 50%) 的 1.4 倍。因而对于 λ_1 及 λ_2 两谐振腔, 均采用了透过率 70% 的 ZnSe 作为输出窗镜。

器件采用电晕预电离, 二级 Marx 放电回路。放电电压 ~60 kV, 最佳工作气压

收稿日期: 1982年5月27日, 收到修改稿日期: 1982年8月25日

* 本文曾在“第六届全国激光学术报告会”上宣读。

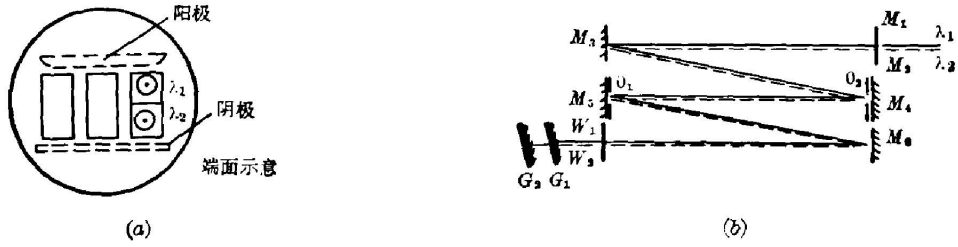


图 1 双光束折迭式振荡光路示意图

Fig. 1 Schematic diagram of folded double wavelength laser.

400 torr~500 torr(CO₂:N₂:He=1:1:2.5)。

二、输出特性

λ_1 和 λ_2 两谐振腔各在放电区域的上下半层平行运行,基本避免了相互间的模式竞争与干扰。两个腔分别由各自的光栅独立调谐。调谐范围均在 $9.2\mu\text{m}\sim 10.9\mu\text{m}$ 内,每束光约有 65 条谱线,采用 CO₂ 谱线分析仪对波长定标。图 2(a), (b) 分别示出 λ_1 与 λ_2 两谐振腔在 $00^\circ 1\sim 10^\circ 0$ 和 $00^\circ 1\sim 02^\circ 0$ 跃迁带的四个支上的激光谱线分布。测量是在两腔同时起振的情况下分别测得的。两个腔的谱线强度和分布形状基本一致。---代表 λ_1 (上束), -▲-▲-代表 λ_2 (下束)。所存在的差别是由于两个腔的调准精度不完全一致而造成的。

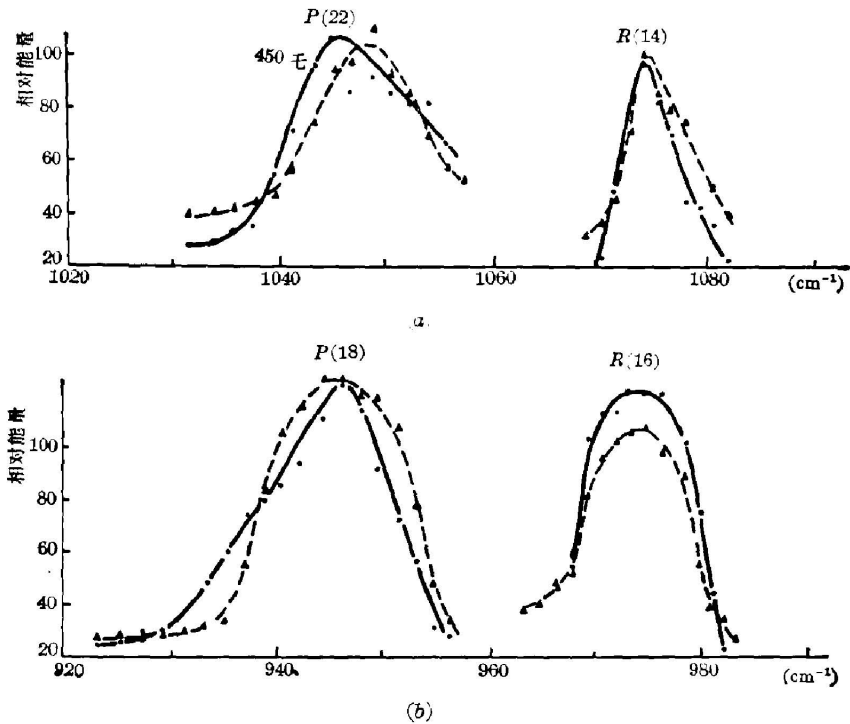


图 2 双波长光栅调谐激光谱线分布图

Fig. 2 Double wavelength spectrum distribution by gratingtuning

当输出镜为 $\phi 17\text{mm}$ 无涂层 ZnSe 平面窗片、工作气压为 450 torr ($\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:1:2.5$)、放电电压 60kV 时,测得上束最强谱线 10P(18) 为每脉冲 480mJ、脉宽 $\sim 120\text{ns}$ 、峰值功率 4MW,最弱谱线 9R(30) 为每脉冲 91mJ、峰值功率 0.7MW。下束最强谱线 10P(20) 亦为每脉冲 480mJ、峰值功率 4MW,最弱谱线 10P(48) 为每脉冲 92mJ、峰值功率 0.8MW。

为了得到双波长输出脉冲的良好同步性,两个腔的光路采用了完全相同的安排。光路折迭全反镜 M_3 、 M_4 、 M_5 、 M_6 是两腔共用(上、下区域)一次调准,使两个腔的损耗差异减到最小,从而也较好地保证了双脉冲的良好同步。

图 3 是检测双波长脉冲同步性的实验排布。与 λ_2 成 45° 角的全反镜 M_4 将其反射到与 λ_1 成 45° 角的 Ge 半透镜 M_3 上,使 λ_2 与 λ_1 汇成一束,经 NaCl 透镜汇聚,入射到 Ge 光子牵引 D 器上,用 SS-6300 示波器 O 观察并记录光脉冲波形。

图 4 是拍摄的光脉冲波形。(a) 为挡住 λ_2 [10P(18)] 时 λ_1 [10R(20)] 的波形 ($2\mu\text{s}/\text{div}$, $0.2\text{V}/\text{div}$), (b) 为挡住 λ_1 时 λ_2 的波形 ($2\mu\text{s}/\text{div}$, $0.2\text{V}/\text{div}$)。 (c) 为 λ_1 、 λ_2 同时检测时的波形 ($2\mu\text{s}/\text{div}$, $0.5\text{V}/\text{div}$)。照片 (c) 显示出双波长脉冲的同步性是十分良好的。

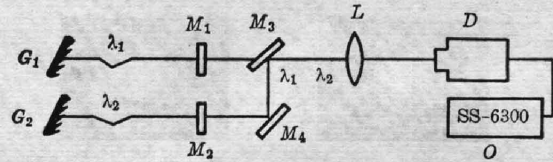
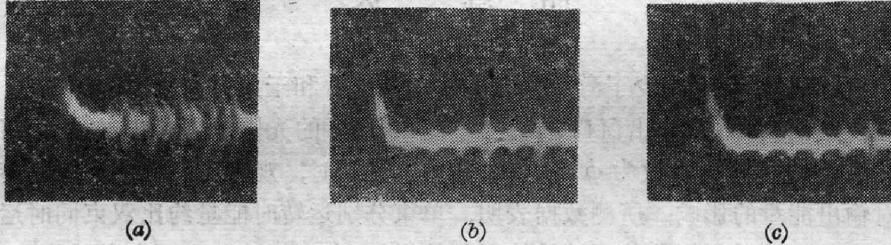


图 3 双波长脉冲同步检测实验排布图
Fig. 3 Measurement of the temporal coincidence of double pulse



(a)

(b)

(c)

图 4 光脉冲波形

Fig. 4 Light pulse waveform

三、横模选择及结果

在利用双频激光进行各种非线性效应研究时,除了要求双脉冲束的同步性外,还需要使器件实现低阶横模的单模运转,特别是 TEM_{00} 模运转。实验表明,在非线形光学实验中,频率转换效率与基频波的横模明显有关^[6],好的模选择常常比从多模运转中可能得到高的总功率更为有利。基于上述原因,对器件进行了横模选择。

本器件的折迭腔结构有利于菲涅耳数的减小。对于具有平平腔结构的一般气体激光器,菲涅耳数 $N = \frac{a^2}{L\lambda} \leq 10$ 时,已经能够使高阶模的衍射损耗大于 10%^[5] 而有良好的选模作用。但实验证明,对于本文的高增益器件,还需把 N 值进一步减小;当 ZnSe 输出镜直径

$2a_1=5\text{ mm}$ 、NaCl 窗直径 $2a_2=14\text{ mm}$ ，即 $N=\frac{a_1a_2}{L\lambda}=0.33$ 时，看到了对横模的明显抑制。

但由于器件的增益路程长达 5 m ，所以单靠减小菲涅耳数还不足以使高阶模的衍射损耗大于每次振荡所产生的增益，因而得不到完全抑制。为此，又分别在两个腔的中间反射镜处各加一对直径 $\phi 7\text{ mm}$ 的限模光阑(如图 1 所示)，从而获得了良好的选模效果。

图 5(a)、(b)分别为上、下腔单独运行时所得 $P(18)$ 线输出光束的远场花样，具有 TEM_{00} 模式特征。(c)为、上下腔同时选模运行时两个输出光束的具有 TEM_{00} 模式特征的远场花样。

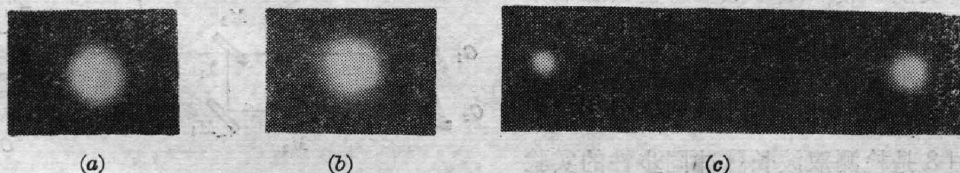


图 5 上、下腔选模输出的光斑远场花样

Fig. 5 Far-field pattern

由于选模的结果，较高阶模得到了抑制，减少了腔内模式竞争而使 TEM_{00} 模的能量要比无限模光阑时成数量级的增加，从而大大提高了基模功率密度。例如对于上腔 $00^\circ 1\sim 10^\circ 0$ 带 $P(20)$ 线和 $R(20)$ 线，测得基模功率密度分别为 1.4 J/cm^2 和 1.24 J/cm^2 ，对于下腔 $P(18)$ 线，测得基模功率密度为 1.47 J/cm^2 。这样的基模功率密度对于许多研究工作的要求是完全能够满足的。

四、讨 论

1. 两腔平行运转大大减少了激活区之间的模式竞争和干扰，的确比文献[1, 3]大有改进。特别当使用 $\phi 5\text{ mm}$ 的输出窗口并在腔内加 $\phi 7\text{ mm}$ 的光阑时，两束光的输出可以彼此毫无干扰。但是当输出窗都改为 $\phi 10\text{ mm}$ ，并拿掉光阑时，观察到了单束分别运转和双束同时运转对输出能量的影响；所测数据表明，单束分别运转时能量约比双束同时运转时高 $5\sim 10\%$ 。显然，随着激光振荡腔两端腔镜面积的增加，上下两腔各自所占激活体积就越大，两束光之间的干扰也会越大。

2. 由于器件的振荡腔很长、纵模间距小，TEA CO_2 激光器又具有很宽的压力展宽增益包络，所以上下两腔均以多纵模运行，光脉冲随时间的分布存在着精细结构(图 4 中没有显示出来)。要想使两脉冲在时间上准确一致，应使两者的精细结构都一致，这很不容易。但如果在腔内插入 SF_6 饱和吸收池选纵模，消除其时间分布的精细结构，就能进一步改善双光束的时间一致性^[2]。

3. 对准稳平-平腔而言，其基模的稳定性很灵敏地与调整精度有关。对于具有普通增益水平的平平腔，即使反射镜有很小的倾斜，也会使 TEM_{00} 模的损耗大于较高阶模的损耗而失去优势。但在本文的情况下，由于增益高，相应地降低了调整精度的要求，反射镜和窗所需准确度利用平行光管或准直 He-Ne 激光器就可达到，但是对限模光阑的空间位置要求却较为严格。若改用平-凹腔，则可降低对限模光阑位置的调准要求，并会进一步改善基模运转的稳定性。

参 考 文 献

- [1] R. G. Harrispn, S. B. Butcher; *Phys. Lett.*, 1977, **61A**, No. 3 (Mar), 154.
- [2] F. F. Geyer, H. Y. Fan; *J. A. P.*, 1979, **50**, No. 1 (Jan) 30.
- [3] H. Loten, R. T. Lynch, Jr.; *Appl. Phys. Lett.*, 1975, **27**, No. 6 (Sep), 344.
- [4] 周岳亮等;《激光》, 1980, 7, No. 1, 29.
- [5] 天津大学精仪系;《激光技术》, (科学出版社, 1972).
- [6] A. Ashkin *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1963, **11**, No. 1 (Jul), 14.

A folded tunable single-mode TEA CO₂ laser with two beams

ZHOU YUELIANG CHEN ZHENGHAO CUI DAFU AND LU HUIBIN

*(Institute of Physics, Academia Sinica, Beijing)**(Received 27 May 1982, revised 25 August 1982)***Abstract**

A folded tunable single-mode TEA CO₂ laser with two beams has been described.

This laser can produce two beams which have the temporal coincidence of the pulses. Each beam can be tuned by grating independently within the range of 9.2 μm ~ 10.9 μm. The highest peak powers of the single-mode/single-line output and the multi-mode/single-line output are about 1 MW and 4 MW respectively.

In this paper Authors discuss the optimum transmittance and the mode selection of this laser and the temporal coincidence of the pulses. Some experimental results are given.