

文章编号: 1001-3806(2010)01-0088-03

双波长可调谐 TEA CO₂ 激光器的脉冲输出特性

卢彦兆, 王新兵*, 董 旬, 张学玲

(华中科技大学 光电子科学与工程学院 武汉光电国家实验室, 武汉 430074)

摘要: 为了获得两束波长不同的可调谐 CO₂ 激光脉冲, 采用了双光栅与输出镜构成双谐振腔的结构设计。实验中, 对影响激光器脉冲输出能量和调谐范围的参量作了具体分析。结果表明, 两个谐振腔可以独立振荡输出不同波长的两束激光, 二者之间不存在竞争影响, 并且均可在大范围内调谐输出; 通过对两个光栅做小幅度失谐调整, 可以实现两束激光脉冲同步输出。

关键词: 激光技术; 横向激励大气压 CO₂ 激光器; 双波长可调谐; 时间同步

中图分类号: TN248.2*2 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2010.01.025

Pulse characteristics of a dual-wavelength tunable TEA CO₂ laser

LU Yan-zhao, WANG Xin-bing, DONG Ju, ZHANG Xue-ling

(Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, College of Optoelectronics Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to get a dual-wavelength tunable CO₂ laser, a two-resonator laser was developed, which consists of an output coupler and two diffraction gratings. The output pulse characteristics and tuning range were also analyzed experimentally. The experimental results indicate that the two resonators can oscillate independently. Two widely tunable laser pulses are generated without spatial competition. The temporal synchronization of the lines is controlled by rotating the gratings within a narrow range for varying their losses.

Key words: laser technique; transversely excited atmospheric CO₂ laser; dual-wavelength tunable; temporal synchronization

引 言

可调谐横向激励大气压 (transversely excited atmospheric, TEA) CO₂ 激光器在激光雷达、大气监测、激光化学、光抽运远红外等研究领域都有着广泛的应用^[1-4]。其中, 双波长可调谐 TEA CO₂ 激光器在差频产生太赫兹波的研究中有重要应用^[5-6], 能够产生两束波长可调谐的激光脉冲, 是进行非线性光学差频过程的前提条件。目前, 获得双波长可调谐 CO₂ 激光脉冲输出的方法主要分为 3 种: 一是使用两台同步触发的可调谐激光器, 同步输出两束波长可调谐的激光脉冲^[6], 但是这需要两台激光器, 装置结构较为复杂; 二是在一台激光器上利用部分重叠或同一增益区域产生两个波长不同的脉冲^[7-8], 但是由于两波长之间共用了增益介质, 存在竞争, 波长调谐范围较窄; 三是本文中采用的方案, 采用双光栅的结构设计, 同样是一台激光

器输出两个波长的脉冲, 但由于两个光栅构成的双谐振腔相互独立, 输出光束平行互不重叠, 这样更利于进行差频等激光混频实验中的相位匹配过程, 而且双波长输出稳定, 均能够在较大范围内调谐。

1 双波长激光器的结构

双波长可调谐激光器由 1 台 TEA CO₂ 激光器改造而成。结构如图 1 所示, 激光器采用紫外预电离, 放



Fig. 1 Schematic diagram of the dual-wavelength TEA CO₂ laser

电区域长 100cm, 横截面为 (30mm × 20mm) 的矩形。R₁ 是透过率为 70% 的 ZnSe 输出镜。R₂ 是全透的 ZnSe 镜, 起到密封和通光的作用。闪耀光栅 G₁, G₂ 分别和输出镜 R₁ 构成两个独立的谐振腔, 光栅 G₁, G₂ 的闪耀波长是 10.6μm, 均为 150line/mm, 1 级衍射效率 91% 的平面光栅, 光栅的刻画面积为 (15mm × 10mm)。两个光栅分别置于同一平面前后放置的两个旋转台上, 光栅法线与光轴之间的夹角 α 可精密控制。输出波长 λ 由光栅方程 $2d\sin\alpha = m\lambda$ (式中 m 取

作者简介: 卢彦兆 (1985-), 男, 博士研究生, 现主要从事新型气体激光器和太赫兹源的研究。

* 通讯联系人。E-mail: xbwang@mail.hust.edu.cn

收稿日期: 2008-10-06; 收到修改稿日期: 2008-12-27

1, d 是光栅常数)确定^[9]。

2 实验结果及分析

2.1 激光器的调谐输出特性

双波长激光器的两个光栅和透射输出镜分别组成两个独立的谐振腔。实验中多次测量激光器的脉冲输出能量。测量结果表明,双波长同时输出时的总脉冲能量总是等于两个波长单独输出脉冲能量之和。并且两束激光之间没有空间重叠,因此二者之间不存在着竞争和干扰,均可在较大范围内调谐输出。在热敏纸上记录的两波长同时输出的光斑图样如图2所示。

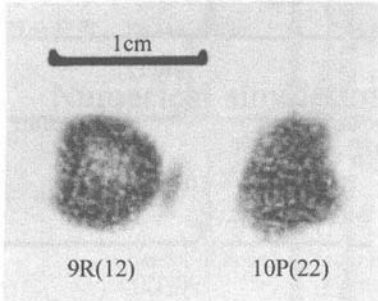


Fig. 2 Beam profiles of two wavelengths recorded on thermo-sensitive paper

当总气压为 80kPa、气体体积混合比例 $V(\text{CO}_2):V(\text{N}_2):V(\text{He}) = 1:1:6$ 、工作电压是 23kV 时,双波长激光同时输出,其中一波长的输出能量和调谐范围如图3所示。脉冲能量由 Gentec ED500 能量计

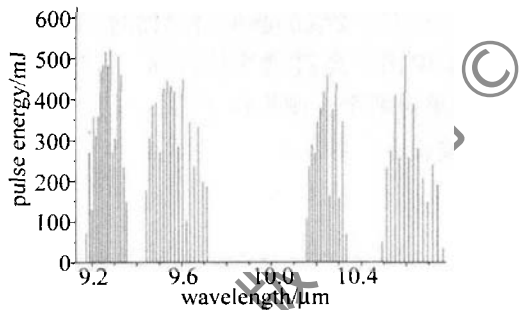


Fig. 3 Distribution of tuning range and pulse energy

测量,输出谱线使用 Optical Engineering 公司 CO₂ Spectrum Analyzer 谱线仪测量。两个光栅的有效利用面积相等,所以两波长输出的调谐范围和脉冲能量分布也几乎相同。波长调谐范围均为 9.17 μm ~ 10.76 μm ,共 62 条谱线。另外,可以通过平移光栅,改变两个光栅的相对利用面积,来调节每一谐振腔的输出能量。

2.2 气体配比、气压、放电电压对脉冲输出特性的影响

2.2.1 气体配比对脉冲能量、调谐范围的影响 气体配比对脉冲输出能量的影响较为明显。在实验中,总气压为 80kPa,He 的体积分数 $\varphi_{(\text{He})} = 0.75$,放电电压是 23kV,通过改变 CO₂ 和 N₂ 的体积来改变气体混合

比,以 9R(12),9P(20),10R(14),10P(20) 4 条谱线为例,说明气体配比对脉冲能量的影响,如图4所示。

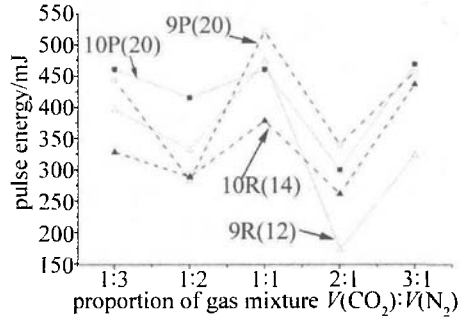


Fig. 4 Effect of different gas mixtures on pulse energy

在其它条件一定时,双波长激光器在 $V(\text{CO}_2):V(\text{N}_2) = 1:1$ 时,大部分支线输出能量达到最大。如果增大 CO₂ 比例到 2:1 或者减小 CO₂ 比例到 1:2,脉冲能量都会降低。若继续增大 CO₂ 比例到 3:1 时,发现由于增加了 CO₂ 气体分子比例,输出脉冲能量有所提高;若增大 N₂ 比例使得 $V(\text{CO}_2):V(\text{N}_2) = 1:3$ 时,脉冲能量也会增加。

另外,气体配对比此激光器调谐范围的影响也较为明显。将不同气体配比情况下,可调谐激光器的调谐范围记录于图5中,在每一振转跃迁带的边缘做出

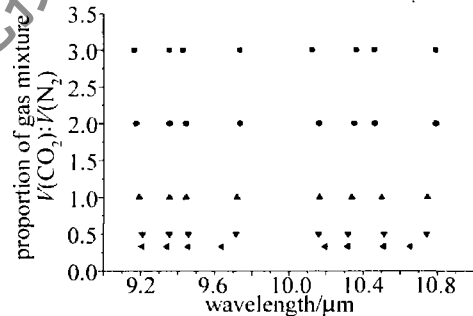


Fig. 5 Effect of different gas mixtures on tuning range

了标示。随着 CO₂ 在混合气体里所占比例的提高,激光器的调谐范围要变宽。当 $V(\text{CO}_2):V(\text{N}_2)$ 体积比例是 3:1 时,具有最宽的调谐范围,可输出 75 条谱线。而当 $V(\text{CO}_2):V(\text{N}_2) = 1:3$ 时,输出的谱线最少,调谐范围最窄,甚至在 10 μm 跃迁带部分增益较高的谱线也没有出现。因此,气体配对比调谐范围有着重要的影响,CO₂ 在混合气体里的含量越高,激光器的调谐范围越宽。

2.2.2 气压对脉冲能量的影响 激光脉冲的能量随气压增高成比例的增大,这是因为气压增高,参加激励的气体分子增多,使得反转粒子数增多,脉冲输出能量就越大。保持气体体积配比是 $V(\text{CO}_2):V(\text{N}_2):V(\text{He}) = 1:1:6$,工作电压是 23kV,在不同气压下测得的 4 条谱线的能量输出情况见图6。每条谱线的输出能量都是随着气压的增大而增大,但是增长的速率不一样。在气压较低时,9P(20) 输出能量要低于 10P(20),但在

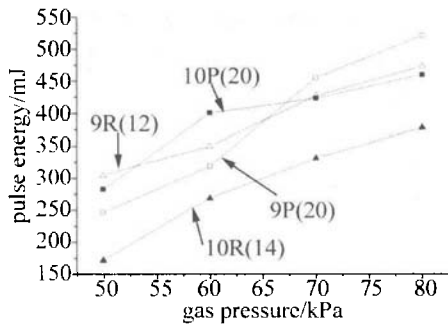


Fig. 6 Variation of pulse energy as a function of gas pressure

气压较高时,9P(20)则要高于10P(20)。因此,总气压的改变会影响不同支线的输出能量比值。总气压为80kPa时,各支线输出达到最大,未出现饱和。但工作气压不宜过大,避免放电不均匀,发生弧光放电。

2.2.3 放电电压对脉冲能量的影响 激光器的脉冲输出能量与放电电压呈线性关系。放电电压越高,注入的激励能量就越多,输出能量越大。在图7实验中,气

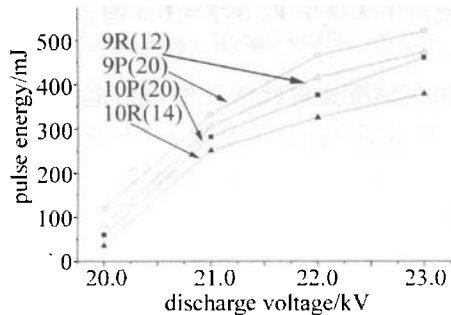


Fig. 7 Variation of pulse energy as a function of discharge voltage

压是80kPa的混合气体,气体配比是 $V(\text{CO}_2):V(\text{N}_2):V(\text{He})=1:1:6$,各支线的能量输出均随着放电电压的提高而增大,曲线未出现饱和,但是激励电压也不宜过大,否则会过渡到弧光放电。当放电电压是23kV时,各支线达到输出最大值。4条支线能量的相对强弱没有变化,说明激光脉冲输出稳定。

2.3 双波长脉冲输出的时间同步性

要继续利用此双波长可调谐激光器做非线性光学混频实验,就要求两个谐振腔输出的脉冲具有时间同步性。虽然两个波长来自同一次放电过程,但是二者没有共用谐振腔,增益和损耗均不同,所以振荡建立的时间不尽相同。并且即使是同一谐振腔内不同支线的起振时间也不一样,起振时间的快慢决定于选频支线的增益特性和谐振腔的损耗。

要尽量缩短延迟时间,可以采取改变支线增益或增加谐振腔损耗的方法。一是可以调整放电电压。放电激励电压越大,光栅选频的支线获得的增益就越大,振荡建立时间越短。而不同支线对放电电压变化的反应是不一样的,因此,可以通过调整放电电压来调整两个波长之间的时间间隔。而且,还可以在脉冲先起振

的谐振腔里插入损耗元件,例如聚四氟乙烯(teflon)薄片^[10],由于损耗增加,该支线的振荡建立时间会有所增加。通过调整损耗元件的厚度以及摆放位置可以使得双波长脉冲达到同步要求。

另外,还可以通过对光栅做适量角度失谐,增加损耗来调节双波长之间的时间延迟^[7]。因为在输出峰值附近的一定角度范围内,光栅仍然可以调谐输出。图8a是使用光子牵引探测器和HgCdTe探测器分别对同时输出的两束光10P(26),9R(12)记录的波形。

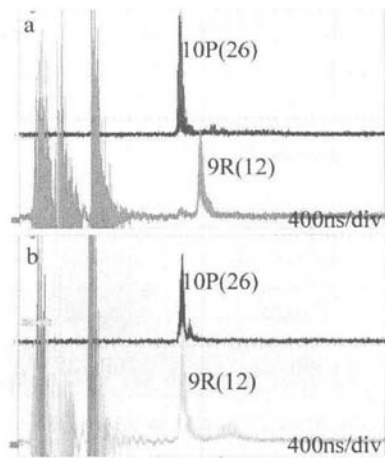


Fig. 8 a—temporal waveforms of two wavelength pulses b—temporal waveforms of two synchronized pulses

可以看到,9R(12)脉冲较10P(26)脉冲滞后约250ns。通过小幅度转动两个光栅,使得谐振腔少量失谐,图8b显示9R(12)支线的起振时间提前,基本与10P(26)支线同步输出。通过谱线仪测量,两支线均未改变。因此,如果对两个光栅都做适量的角度失谐调整,可以使得双波长输出的脉冲具有时间同步性。

3 结论

此激光器可以输出两束波长独立调谐的激光脉冲,二者不存在谱线竞争和干扰,输出光束平行且空间不重叠,更利于激光混频的相位匹配过程。激光器的放电电压和混合气体的气压,气体配比影响着输出的脉冲能量,其中气体对比对双波长激光器的调谐范围有着重要的影响。并且,通过对光栅作适量失谐调整,可以实现双波长激光脉冲同步输出。此双波长可调谐TEA CO₂激光器在差频产生太赫兹波实验中将有重要的应用。

参考文献

- [1] KARAPUZIKOV A I, MALOV A N, SHERSTOV I V. Tunable TEA CO₂ laser for long-range DIAL lidar [J]. *Infrared Physics & Technology*, 2000, 41(2): 77-85.
- [2] QU Y Ch, REN D M, HU X Y, et al. Research of rapidly tuning technology of miniature TEA CO₂ laser [J]. *Laser Technology*, 2003, 27(6): 547-550 (in Chinese).

(下转第94页)

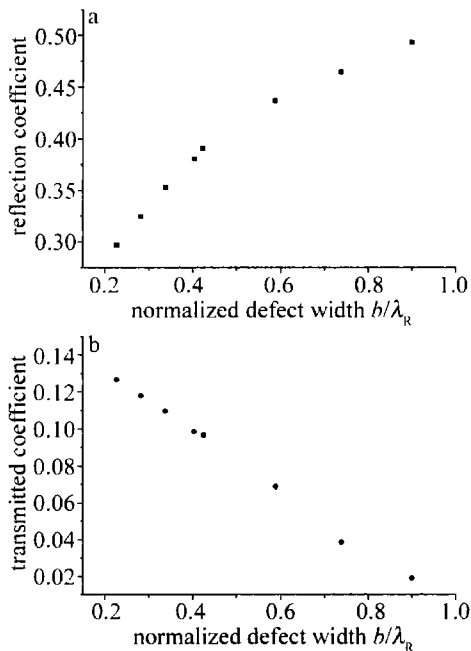


Fig. 8 The reflection coefficient and transmitted coefficient of Rayleigh waves as a function of the normalized defect width, λ_R is the wave length of Rayleigh wave

别为 Rayleigh 波反射率和透射率与归一化缺陷宽度之间的关系。从图中同样可以看出,随着缺陷宽度的增加, Rayleigh 波反射率逐渐增加,而 Rayleigh 波的透射率逐渐减小。

3 结论

采用有限元数值方法研究了弹性声表面波与不同深度、不同宽度的两组缺陷相互作用过程,并探讨了缺陷深度、宽度对 Rayleigh 波的反射率和透射率的影响。

数值结果表明:弹性声表面波与表面缺陷相互作用后,产生反射 Rayleigh 波和透射 Rayleigh 波;随着表面缺陷深度和宽度的增加, Rayleigh 波反射率相应增加,而透射率相应减小。

参 考 文 献

- [1] ZHANG Sh Y. Laser ultrasound and nondestructive evaluation in materials [J]. Applied Acoustics, 1992, 11(4): 1-6 (in Chinese).
- [2] ZHAO Y, SHEN Zh H, LU J, *et al.* Laser thermo-elastic generated surface acoustic waves on cylindrical coating-substrate system [J]. Laser Technology, 2006, 30(6): 647-650 (in Chinese).
- [3] LIU S W, HUANG J H. Transient dynamic responses of a cracked solid subjected to in-plane loadings [J]. International Journal of Solids and Structures, 2003, 40(18): 4925-4940.
- [4] CHO Y, ROSE J L. An elastodynamic hybrid boundary element study for elastic guided wave interactions with a surface breaking defect [J]. International Journal of Solids and Structures, 2000, 37(30): 4103-4124.
- [5] CRANE L J, GILCHRIST M D, MILLER J J H. Analysis of rayleigh-lamb wave scattering by a crack in an elastic plate [J]. Computational Mechanics, 1997, 19(6): 533-537.
- [6] SONG W T, POPOVICS J S, ALDRIN J C, *et al.* Measurement of surface wave transmission coefficient across surface-breaking cracks and notches in concrete [J]. J Acoust Soc Amer, 2003, 113(2): 717-725.
- [7] ZHAO X L, ROSE J L. Boundary element modeling for defect characterization potential in a wave guide [J]. International Journal of Solids and Structures, 2003, 40(11): 2645-2658.
- [8] ZHAO Y, SHEN Zh H, LU J, *et al.* Simulation on laser-induced surface acoustic wave on isotropic cylinders by finite element method [J]. Opt & Laser Technol, 2007, 39(4): 774-777.
- [9] KASS M, FUKUSHIMA S, GOHSHI Y, *et al.* A basic analysis of pulsed photoacoustic signals using the finite elements method [J]. J A P, 1988, 64(3): 972-976.
- [10] ROSE J L. Ultrasonics waves in solid media [M]. Unisted Kingdom: Cambridge University Press, 1999: 90-95.

(上接第 90 页)

- [3] PAN D R, TAN J C. Deuterium separation by multiple-photon dissociation of 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoromethane in a two-frequency CO₂ laser field [J]. Chinese Journal of Lasers, 1982, 9(3): 152-156 (in Chinese).
- [4] LI T Q, RAN Y, QIN J Y. Study on tuning characteristics of optically pumped cavity NH₃ submillimeter wave laser [J]. Laser & Infrared, 2002, 32(1): 30-32 (in Chinese).
- [5] TOCHITSKY S Y, SUNG C, TRUBNICK S E, *et al.* High power tunable, 0.5 ~ 0.3THz radiation source based on nonlinear difference frequency mixing of CO₂ laser lines [J]. J O S A, 2007, B24(9): 2509-2516.
- [6] JIANG Y, DING Y J. Efficient terahertz generation from two collinearly propagating CO₂ laser pulses [J]. A P L, 2007, 91(9): 091108.
- [7] LI Zh H, LI Y D, LIAO J M, *et al.* Experimental investigation of time-synchronized dual-wavelength TEA CO₂ laser [J]. Laser & Infrared, 2007, 37(1): 37-40 (in Chinese).
- [8] HARRISON R G, BUTCHER S R. Tunable simultaneous double wavelength operation of a TEA CO₂ laser [J]. Phys Lett, 1977, A61(3): 154-156.
- [9] HARD T M. Laser wavelength selection and output coupling by a grating [J]. Appl Opt, 1970, 9(8): 1825-1830.
- [10] APOLLONOV V V, GRIBENYUKOV A I, KOROTKOVA V V, *et al.* Subtraction of the CO₂ laser radiation frequencies in a ZnGeP₂ crystal [J]. Quantum Electronics, 1996, 26(5): 469-470.