

文章编号:1001-5078(2007)01-0037-04

具有时间同步性的双脉冲 TEA CO₂ 激光器实验研究

李忠华, 李育德, 廖均梅, 刘效勇, 冉瑞江
(四川大学电子信息学院, 四川 成都 610064)

摘要:设计了一种新型双波长 TEA CO₂ 激光器,该激光器由两个空间上部分重叠的光栅和一个锗镜构成光栅-平面腔,两光栅一前一后放置,相互利用,共同建立双频振荡,由锗镜输出频率不同的双波长激光。输出双脉冲不仅具有一定的空间重叠性,而且具有一定的时间同步性。文章在简述激光器结构的基础上,重点介绍了对输出双脉冲的时间同步性的研究。

关键词:激光技术;TEA CO₂ 激光器;双波长;时间同步

中图分类号:TN248 **文献标识码:**A

Experimental Investigation on Time-synchronized Dual-wavelength TEA CO₂ Laser

LI Zhong-hua, LI Yu-de, LIAO Jun-mei, LIU Xiao-yong, RAN Rui-jiang
(School of Electronic and Information Science, Sichuan University, Chengdu, 610064, China)

Abstract: A new kind of dual-wavelength TEA CO₂ laser which possesses satisfied space-overlap, as well as desired time-synchronization is designed. Such TEA CO₂ laser in experiment contains a grating-plane cavity, which is formed by one Ge plate and two gratings. The two gratings overlap partially in the space. One grating is put in front of the other, thus they can make use of each other and establish double-frequency oscillation.

Key words: laser technology; TEA CO₂ laser; dual-wavelength; time-synchronization

1 引言

TEA CO₂ 激光器对物质的多光子激发和对同位素的分离有着广泛的应用^[1-2]。在这些应用中,双频 TEA CO₂ 激光器要明显优于单频 TEA CO₂ 激光器^[3]。一般的双频 TEA CO₂ 激光器为图 1 中的方案^[4],谐振腔 GM₁ 利用 Littrow 衍射选择输出一条支链,谐振腔 M₂GM₁ 选择输出另一支链。其缺点是:因为两波长完全同空间,存在竞争,所以不容易同时获得两波长振荡。而文献[5]、[6]利用两个光栅来输出双波长脉冲,输出的双脉冲具有一定的空间重叠性,但是两脉冲时间间隔较大。事实上,如果输出双脉冲具有良好的时间同步性,对于分离同位素来说是具有重要意义。文献[7]给出了一种方案:在一个谐振腔中利用两对电极错开一定时间来获得双脉冲,输出脉冲的时间间隔可以在 0 ~ 150 μs 连续调整,但是为了得到准确的双脉冲时间间隔,对控

制电路要求比较高。文献[8]报道了通过控制两个高压放电开关的时间间隔来实现双脉冲激光输出。文献[7]、[8]中提供的双脉冲都是单一频率的,本文给出了一种新型的双波长激光器,这种激光器能够同时输出不同频率的双脉冲。输出双脉冲不仅具有一定的空间重叠性,而且具有一定的时间同步性。

2 实验原理

如图 2 所示,光栅 G₂ 和锗镜 M₁ 构成谐振腔,利用 Littrow 衍射选择一条支链;光栅 G₁、铜镜 M₄ 和锗镜 M₁ 构成一谐振腔,选择另一支链。这两个谐振腔在空间上重叠,从而使得输出脉冲具有空间重叠性。

作者简介:李忠华(1979-),男,四川大学电子信息学院研究生,主要从事高功率气体激光器技术研究。

收稿日期:2006-05-24

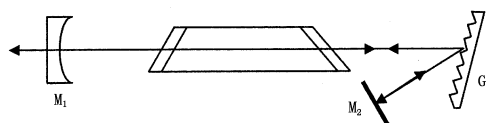


图1 双频 TEA CO₂ 激光器的腔结构

Fig. 1 cavity arrangement for double wavelength operation

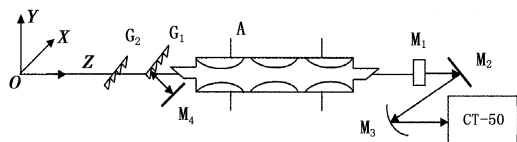


图2 实验装置示意图

Fig. 2 schematic diagram of the experimental setup

以 10P(18) 线为例来说明铜镜 M₄ 和光栅 G₁ 的调整。根据 Littrow 衍射, 某一波长的光入射到光栅上后, 一级衍射光线沿入射光线方向返回, 即入射角 α 等于衍射角 β , 如图 3 所示, 入射光线方向不变, 光栅沿着顺时针方向转动, 那么入射角 α 便相应增大。根据光栅方程^[9], 衍射角 β 也随之改变。通过改变 α 角来调节输出光线的损耗, 以改善两输出脉冲的时间间隔。10P(18) 对应的 Littrow 角 $\alpha_0 = 52^\circ 28' 10''$, 在这个基础上增大 α , 则 β 随之变化的情况见表 1。

表 1 衍射角随入射角的变化情况

Tab. 1 cross reference list of angle

$\alpha_0 = 52^\circ 28' 10''$	α	β	$\alpha - \beta$
$\alpha_0 + 5^\circ$	$57^\circ 28' 10''$	$47^\circ 56' 59''$	$9^\circ 31' 11''$
$\alpha_0 + 7^\circ$	$59^\circ 28' 10''$	$47^\circ 24' 37''$	$13^\circ 4' 33''$
$\alpha_0 + 10^\circ$	$62^\circ 28' 10''$	$44^\circ 20' 18''$	$18^\circ 7' 52''$
$\alpha_0 + 13^\circ$	$65^\circ 28' 10''$	$42^\circ 31' 30''$	$22^\circ 56' 40''$
$\alpha_0 + 15^\circ$	$67^\circ 28' 10''$	$41^\circ 27' 5''$	$26^\circ 1' 5''$

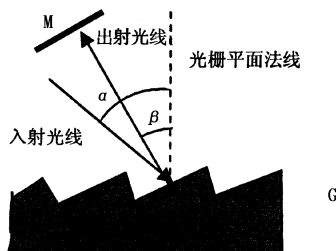


图3 衍射光栅的基本结构

Fig. 3 basic diagram of diffraction grating

从表 1 可以看出, 某一波长的光入射到光栅上后, 其一级衍射光线不再沿入射光线返回。为了在谐振腔中形成一级振荡, 采取图 3 所示的方法, 在衍射光线的方向上加一个平面镀金铜镜 M, 使衍射光线沿原路返回到槽面, 那么入射角变为 β , 衍射角变为 α , 这样光束沿初始入射光方向返回到光腔。

3 实验装置及其工作特点

3.1 实验装置图

如图 2 所示, A 为串连在一起的三节放电室, 每节的增益体积为 $100\text{cm} \times 3\text{cm} \times 3\text{cm}$ 。激光器谐振腔采用光栅 - 平面腔, 光栅的参量如表 2 所示。振荡形成的激光由反射率 80% 的铜镜 M₁ 输出, M₂、M₄ 为平面镀金铜镜, M₃ 为凹面镀金铜镜。整个谐振腔由平行光管校正。建立如图 2 的坐标系, Z 轴代表光轴, XY 平面垂直于光轴, 其中 X 轴代表光栅 G₁ 的中心坐标。激光输出后由日产 CT-50 单色仪检测其波长。

表 2 光栅的参量

Tab. 2 data of brazed gratings

brazed grating	G ₁	G ₂
grooves per/mm	150	150
first order diffraction efficiency/%	95	95
radius of curvature /m	10	6
area = X × Y /mm ²	60 × 37	55 × 51

3.2 工作特点

通过多种比例的混和气体实验, 发现当 N₂:CO₂:He = 50:50:260, 总气压为 $360 \times 133.3\text{Pa}$, 放电电压为 $2.7 \times 10^4\text{V}$ 左右时, 出光稳定, 而且不容易有弧光。实验中, 调节光栅转台, 让光栅 G₁ 选择 10P(16) 振荡线, G₂ 选择 10P(8) 振荡线。当遮住 G1 后, 几乎测量不到能量输出。遮住 G2 后输出能量为 0.22J, 两光栅同时使用时, 总输出能量为 0.83J, 这就说明两个光栅相互利用, 并非独立振荡。

4 实验结果及其分析

4.1 输出脉冲的空间重叠性

实验中先调节输出脉冲的空间重叠性, 后调节光栅转台角度, 使其分别调谐于 10P(18) 线和 10P(8) 线中心频率, 这时输出光斑的横截面能量分布特性如表 3, 总输出能量为 0.85J。



(a) all (b) left (c) right (d) underside (e) top

图4 激光光斑

Fig. 4 laser facula

由表 3 可以看出: (1) 输出两脉冲的能量都集中在光斑的右上部分; (2) 随着光栅 G₁ 位置的移动, 两支线的输出能量比在变化, 这是由于两光栅有效使用面积不同造成的。激光器输出光斑如图 4 所

示,从图中可以看出,输出脉冲能量在横截面上的分布与能量计测量的结果一致。

表 3 输出光斑的横截面能量分布特性

Tab.3 energy distribution on the cross section of output beams (energy units:arbitrary unit)

(a)光栅 G₁ 位置在(23 + 4.40) mm 处

(a)grating G₁'s position is(23 + 4.40) mm

zones on the section	10P(8)energy			10P(18)energy		
top	10	12.9	9.2	10	11	14.2
underside	2	0.8	0.5	0.8	1	1
left	3.2	4.1	5	3.8	3.2	3
right	12.8	10	13	8.2	7.5	13.8

(b)光栅 G₁ 位置在(23 + 0) mm 处

(b)grating G₁'s position is(23 + 0) mm

zones on the section	10P(8)energy			10P(18)energy		
top	17	14	16.5	2.8	3.2	3.5
underside	0.3	0.3	0.3	2	2	1.8
left	6	5.2	5	2.5	2.5	2
right	16.5	14.5	12.5	3	3.2	3.6

(c)光栅 G₁ 位置在(23 - 2.5) mm 处

(c)grating G₁'s position is(23 - 2.5) mm

zones on the section	10P(8)energy			10P(18)energy		
top	8	13	12.2	6	5	8.8
underside	2	3	6	2	4.2	4.8
left	4.2	5.8	3	2.8	2.8	3
right	14.9	17	9.9	12.8	12.8	12

4.2 输出脉冲的时间同步性

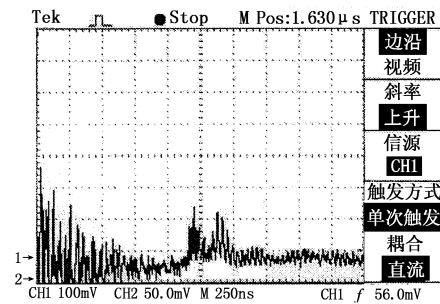
1) 光栅调谐 TEA CO₂ 激光器脉冲输出特性

调节光栅转台角度,使光栅 G₁ 调谐于 10P(18) 线的中心频率, G₂ 调谐于 10P(8) 线的中心频率。再按照表 1 所给的方式,把 G₁ 角度分别增加 5°、7° 等,然后调整铜镜所对应的角度,而 G₂ 角度则保持不动。

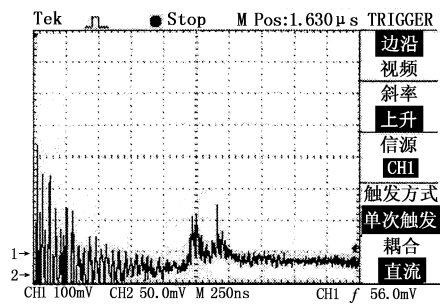
由实验得知:当 G₁ 对应的角度为 $\alpha_0 + 5^\circ, \alpha_0 + 7^\circ, \alpha_0 + 13^\circ$ 以及 $\alpha_0 + 15^\circ$ 时,通过单色仪测量得到两个不同频率的波长,但是从示波器输出的为单一脉冲,即没有观察到两个不同频率光脉冲的分离。

当 G₁ 对应的角度调整到 $\alpha_0 + 10^\circ$ 时,由单色仪

测量得到光栅 G₁ 输出为 10P(16) 线, G₂ 输出为 10P(8) 线,说明角度的改变对光栅 G₁ 选线有一定的影响。同时,在示波器上观察到两个不同频率光脉冲的分离,这样可以通过改变 α_0 来输出不同的支线,如图 5 所示。从图 5 可以看出:(1)两输出脉冲的时间间隔为 200ns 左右;(2)两脉冲的波峰起伏有变化,说明两个不同频率的谱线存在着一定的竞争,但是没有影响两脉冲的输出;(3)激光器不是单纵模输出,每个脉冲都有一定宽度,这正是我们所熟悉的 TEA CO₂ 激光器输出脉冲波形。



(a)



(b)

图 5 双脉冲输出波形 (t = 250ns)

Fig.5 output waveforms of two pulses

the units of the time axes are all 250ns/division

2) 光栅失调时输出脉冲的特性

图 6 给出了光栅 G₁ 的入射角从 62°27'21" 变化到 62°29'00" 时,激光器输出双脉冲时间间隔变化情况。从图中可以看出:(1)光栅入射角在一定范围内变化时,光栅仍具有一定的选择性,并没有同时输出其他的波长^[10]; (2)光栅对应角度在 62°27'45" 左右时,两脉冲的时间间隔比较小,大约为 200ns,但是随着角度失谐增大,两脉冲的时间间隔也增大; (3)两脉冲的能量比并不完全固定,这与谱线的竞争有关。

图 7 给出了一组光栅 G₁ 调整为 $\alpha_0 + 0^\circ$ 时的输出。比较图 6 和图 7 可以看出:(1)图 6 中两脉冲的时间间隔明显比图 7 中两脉冲的时间间隔小;(2)光栅角度的改变 ($\alpha_0 + 10^\circ$) 对于输出脉冲能量大小影响不大,这与我们的测量结果一致。

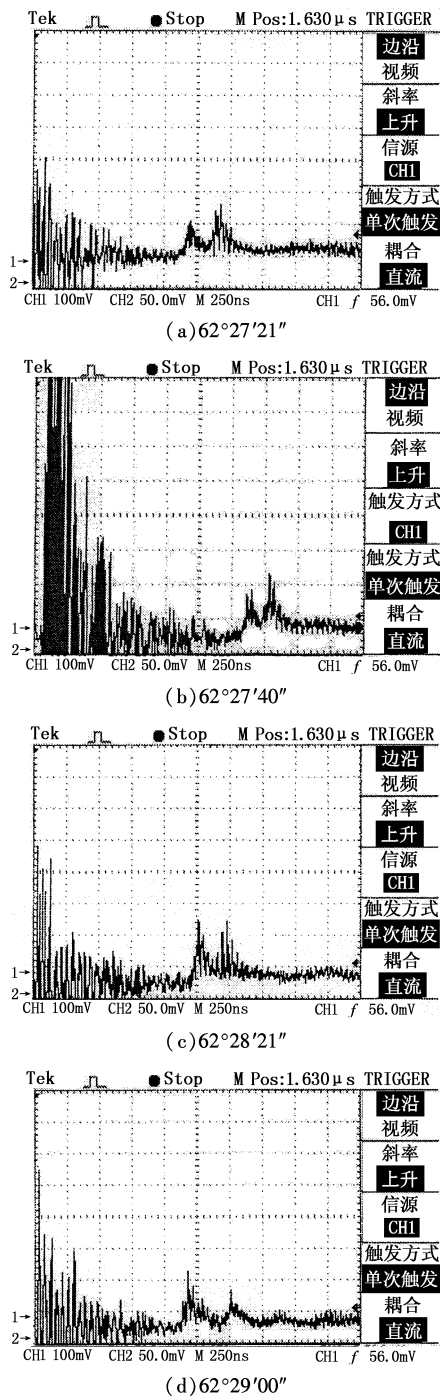


图6 双脉冲输出波形(当 G_1 角度不同时, $t = 250\text{ns}$)

Fig. 6 output waveforms of two pulses
when G_1 's angles are different

the units of the time axes are all 250ns/division

5 结束语

综上所述,该激光器利用前后放置的两光栅实现了输出不同频率的双波长激光,并且两输出脉冲具有一定的空间重叠性,同时输出脉冲时间间隔可以调整到 200ns 左右。通过调谐两光栅转台的角度,可以得到不同支线的输出。实验中我们输出了 10P(12)和 10P(18), 10P(8)和 10P(18), 10P(16)

和 10P(18)等几组线,这些激光谱线都可以用来分离硼同位素。

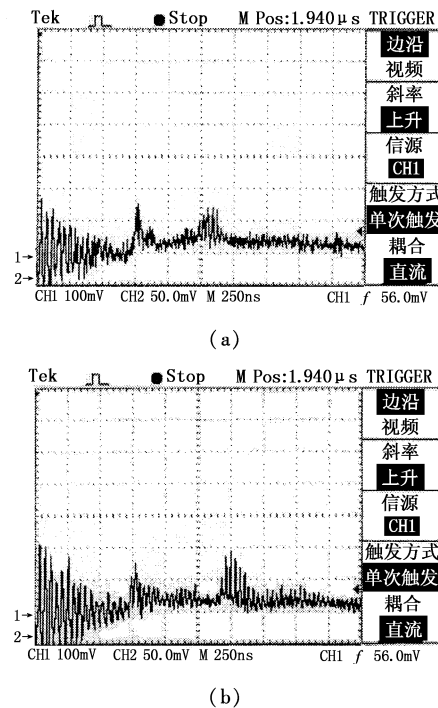


图7 双脉冲输出波形(当 G_1 角度为 $\alpha_0 + 0^{\circ}$, $t = 250\text{ns}$)

Fig. 7 output waveforms of two pulses
when G_1 's angles is $\alpha_0 + 0^{\circ}$

the units of the time axes are all 250ns/division

参考文献:

- [1] 胡树发,等. 激光分离同位素法概述[J]. Chemistry and Adhesion, 1999, (1): 34 - 35.
- [2] 王德武. 激光分离同位素理论及其应用[M]. 北京: 原子能出版社, 1999.
- [3] 潘大任, 谭吉春. 双频 CO_2 激光多光子离解 CF_3CHCl_2 分离氘[J]. 中国激光, 1982, (3): 152 - 156.
- [4] R G Harrison, S R Butcher. Tunable Simultaneous Double Wavelength Operation of A TEA CO_2 Laser[J]. Physics Letters, 1977, 61A(3): 154 - 156.
- [5] 许德富, 李育德, 刘智峰, 等. 具有同空间特性的双波长可调谐 TEA CO_2 激光器[J]. 光学技术, 2005, 31(3): 384 - 387.
- [6] 刘智峰, 李育德, 许德富, 等. 具有空间重叠性的双波长 TEA CO_2 激光器研究[J]. 激光与红外, 2005, 35(4): 250 - 254.
- [7] 李相银, 孙宁, 施振邦. 脉冲间隔可调的双脉冲 TEA CO_2 激光器[J]. 光学学报, 1990, 10(2): 168 - 172.
- [8] 吴谨, 王东蕾, 唐永新, 等. 顺序放电高重复频 TEA CO_2 激光器[J]. 中国激光, 2005, 32(1): 1 - 4.
- [9] 姚启钧. 光学教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 1989.
- [10] 吴谨. 光栅调谐 TEA CO_2 激光器理论计算模型[J]. 光学学报, 2004, 24(4): 472 - 476.