

·激光技术·

TEA CO₂激光器光栅调谐选支技术研究

毕祥丽, 宋毅恒, 高文清, 周冠军

(光电信息控制和安全技术重点实验室, 河北 三河 065201)

摘要:介绍了光栅调谐原理,分析了闪耀光栅性能和选择了光栅参数;设计了TEA CO₂激光器光栅调谐选支系统,对可调谐选支输出控制系统的软、硬件进行了设计开发;实验表明,研制的TEA CO₂激光器光栅调谐选支系统,可精准、快速地实现光栅选支谱线输出。

关键词: TEA CO₂激光器;光栅调谐;闪耀光栅;红外零位传感器

中图分类号: TN248.2*2

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255-(2012)02-0031-03

Research on Grating Tuning Line Selection Technology of TEA CO₂ Laser

BI Xiang-li, SONG Yi-heng, GAO Wen-qing, ZHOU Guan-jun

(Science and Technology on Electro-Optical Information Security Control Laboratory, Sanhe 065201, China)

Abstract: The principle of the grating tuning is introduced, the performance of the blazed grating is analyzed and the grating parameters are selected. The system of the grating tuning line selection of TEA CO₂ laser is designed, the hardware and software of the tuning line selection output control system are developed. The experiment shows that the system of the grating tuning line selection of TEA CO₂ laser can accurately and fast realize the output of the grating line selection.

Key words: TEA CO₂ laser; grating tuning; blazed grating; infrared zero position sensor

横向激励大气 CO₂ 激光器^[1](Transversely Excited Atmospheric Pressure CO₂ Laser)具有高脉冲能量、高峰值功率、高重复频率、高转换效率、波谱范围宽、波长可调谐等优点,介绍了一种 TEA CO₂ 激光器光栅调谐选支技术。

光能量几乎全部集中到所需要的一级光谱上^[3],所以可调谐 TEA CO₂ 激光器中的调谐器件一般使用闪耀光栅。

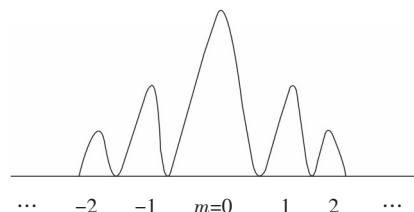


图1 光栅衍射光谱的光强分布示意图

1 光栅调谐原理和光栅参数选择

1.1 光栅调谐原理

光栅是一种高分辨率的色散器件,具有很好的频率选择特性。光栅光谱的级次越高,色散本领和色分辨本领越大,但光强分布却是级次越高光强越小,尤其是无色散的零级占了总能量很大一部分(图1),这不利于应用^[2]。闪耀光栅能克服这个缺点,使

当波长为 λ 的光束以 $i=\theta$ 入射到光栅常数为 d 的衍射光栅上时(如图2),由光栅方程得到

$$2d \sin i = m_L \lambda_L \quad (1)$$

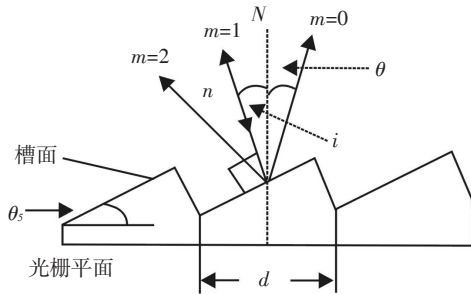
这种情况称为光栅的自准直或 Littrow^[4]结构。

收稿日期:2012-03-15

基金项目:光电信息控制和安全技术重点实验室基金项目

作者简介:毕祥丽(1977-),女,吉林人,工程硕士,工程师,研究方向为光电技术。

自准直波长 λ_L 随入射角 i 改变,其他波长的光则以不同角度返回激光腔,即受到较大的损耗而不能起振,此时光栅就成了一个波长选择器。在光栅的衍射光



i 为入射角, θ 为衍射角, m 为光栅衍射级

图2 闪耀光栅横截面示意图

中,除了自准直 m_L 级外,还存在非自准直衍射级,为使损耗减到最低,衍射级最好只有一个。Hard^[5]证明当

$$0.5\lambda_L < d < 1.5\lambda_L \quad (2)$$

时,可保证光栅方程只有零级损失和一级衍射存在,当入射角为 $19.5^\circ \rightarrow 90^\circ$ 时,可将损耗减少到最小限度。此时式(1)变为

$$2d\sin i = \lambda_L \quad (3)$$

这时 λ_L 的一级谱线就落在入射光的反方向上,与单个槽面衍射的中央极大重合,波长 λ_L 的一级谱线也就获得最大的光强度。

考虑激光器频率的调谐特性、稳定性、实用性等因素,在TEA CO₂激光器的调谐中,采用光栅调谐选支是一种较理想的方式。如图3所示,TEA CO₂激光器光栅调谐腔的一端是由光栅作为全反镜,另一端是以半透半反镜作为输出耦合,形成可调谐激光谐振腔^[6]。利用闪耀光栅的自准直衍射级实现激光振荡,增大不需要波长的损耗,抑制其振荡,使其不满足振荡阈值,从而使TEA CO₂激光器获得单一波长和最大的激光能量输出。

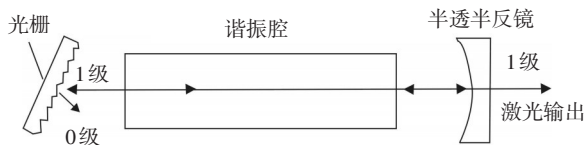


图3 光栅腔TEA CO₂激光器调谐选支示意图

1.2 光栅参数选择

色散本领与色分辨本领是表征光栅性能的最主

要指标。

光栅的角色散本领^[7]为

$$\frac{dr}{d\lambda_L} = \frac{m_L}{d \cos r} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{d}{m_L}\right)^2 - \left(\frac{\lambda_L}{2}\right)^2}} \quad (4)$$

当 $m=1$, d 接近 $\lambda_L/2$ 时,自准直的角色散非常大,而且刻线密度越大色散越大。对于CO₂激光器满足判据(2)的光栅刻线密度为66~150线/mm。

色散本领只能反映谱线中心分离程度,不能说明两条谱线是否重叠,还需用色分辨本领来说明光栅所能分辨的最小波长差。一级光谱的色分辨本领为^[8]

$$A = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = N \quad (5)$$

由式(5)可知,一级光谱色分辨本领正比于光栅线数 N ,而与光栅常数 d 无关。

TEA CO₂激光器的输出波长范围为9.13~11.05 μm ,文中光栅调谐选支系统选择的光栅参数为:闪耀角为 32° ,闪耀波长为10.6 μm ,光栅刻线密度为100条/mm,光栅尺寸为40 mm×25 mm×5 mm。下面验证所选光栅是否满足选支要求:

$$(1) \text{光栅常数 } d = \frac{1}{\text{光栅线数密度}} = \frac{1}{100 \text{条/mm}} =$$

10 μm ,代入式(2)计算可得, $5.3 < 10 < 15.9$,满足式(2)的条件,可将激光器的损耗降低到最小程度。

(2)光栅刻线密度为100 line/mm,满足光栅的角色散对光栅刻线密度为66~150 line/mm范围的要求。

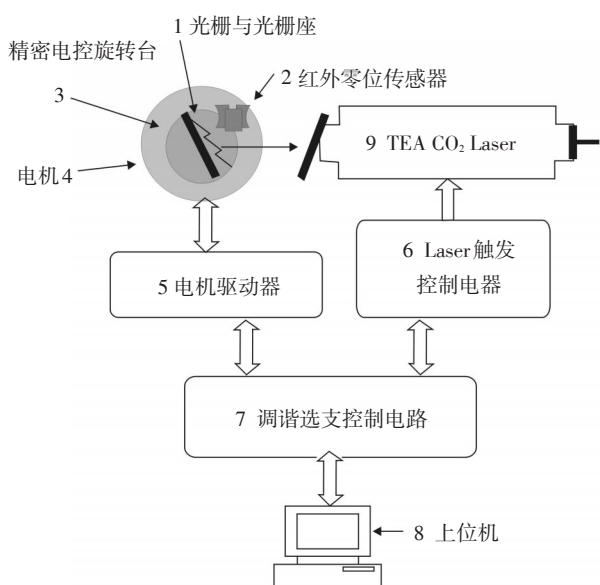
(3)光栅尺寸25 mm×40 mm,则光栅线数 $N=100 \times 40=4\ 000$,代入式(5),得到光栅能分辨的最小波长差 $\Delta\lambda = \lambda/N=10.6/4\ 000=2.65 \text{ nm}$,而CO₂谱线间隔为7.3~25 nm,因此光栅满足一级光谱的色分辨本领要求。

经上述分析,说明所选光栅完全满足TEA CO₂激光器调谐选支对精度的要求。

2 TEA CO₂激光器光栅调谐选支系统

激光调谐选支系统如图4所示,由光栅与光栅座、高频步进电机、精密电控旋转台(其中蜗轮蜗杆减速比1:180)、调谐选支控制器、电机驱动器、上位控制计算机组成。

图4中光栅座能够对光栅进行精确调整;3精密电控旋转台是承载光栅的器件;2红外零位传感器是

图4 TEA CO₂激光调谐选支系统组成

定位反馈元件;7调谐选支控制电路通过控制电机驱动系统,使光栅能够旋转到所需要的激光波长对应的旋转角度,实现TEA CO₂激光器光谱的有序输出;8为上位控制计算机,通过RS-232串口达到接收红外零位传感器反馈回来的信号与控制电机驱动器系统,并在光栅转动到所需要的激光波长位置时,同时触发激光器,从而完成自动控制整个系统的目的。

在步进电机的选择上,为保证光栅调谐选支系统满足分辨率要求,首先要考虑电机的步距角。电机步距角选择取决于负载的精度要求,将光栅的最小分辨率换算到电机轴上,每个当量电机能走多少角度,电机的步距角应小于等于此角度。文中选用精密电控旋转台的技术指标见表1,其采用的是精加工蜗轮蜗杆传动机构,可使角度全圆无极限调整,并带有红外零位传感器,可反馈零位信号。步进电机步距角为1.8°/步,半步运转即为0.9°/半步。减速比为180:1,计算得到电动旋转台转动精度为:0.9°/180=0.3'/步。CO₂分子振转相邻谱线最小间隔(9R(52)与9R(50))大约为4'。故光栅选支系统精度完全能够满足分辨相邻两支谱线的分辨率要求。光栅与精密

表1 精密电控旋转台主要技术指标

型号	MRS102
传动比	180:1
分辨率	0.000 2°
重复定位精度	< 0.005°
最大速度	25°/s
步进电机(1.8°)	42步进电机
最大静转矩(Ncm)	40

电动旋转台的实物如图5。

经上述分析,光栅调谐选支系统各元件参数已经确定,由式(3)得光栅衍射角计算公式为

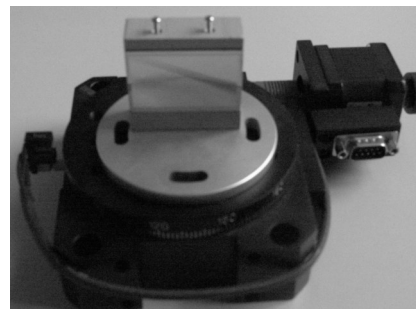


图5 光栅与精密电控旋转台实物图

$$i = \arcsin\left(\frac{\lambda_L}{2d}\right) \quad (6)$$

则本系统输出默认跃迁谱线10P(22)的参数: $\lambda_L = 10.6114 \mu\text{m}$, $d = 10 \mu\text{m}$,由式(6)得 $i = 32.04397552^\circ$,与闪耀角 32° 的相对角度差为 $2.638531453'$,设此处电机为初始位置0。系统输出如10P(18)、10P(20)、10P(24)、10R(18)、9P(18)等不同跃迁线,由式(6)得到光栅衍射角,再求出与闪耀角的相对角度差,最后计算出电机输出不同跃迁线时所需要的运动步数值,从而实现调谐选支功能。

3 调试与实验分析

光栅调谐选支软件开发时必须考虑调谐输出波长的顺序,尽可能缩短选支时间,为了使所设计的程序能够既快又好地实现系统功能,进行了如下调试实验。

(1)电机驱动器细分和电流参数设置实验。按图4连接选支系统,根据电机带负载运行是否平稳有力与长时间运转情况下驱动器的温升等情况,经过多次实验,电机驱动器细分模式选择半步,输出电流选择1.8 A。

(2)红外零位传感器反馈的光栅零位信号实验。光栅零位信号的精准度,直接影响到光栅选支输出谱线的精确性。所以将光栅零位信号连接单片机外部中断INT0引脚,采用下降沿触发中断,这样根据下降沿来确定零位会非常精准。图6为光栅零位信号波形。

(3)调用步进、归零与光栅选支子程序,进行电

(下转第57页)

er, 1993: 254–267.

- [15] Yunhong L, Ho K C, Kwan C. Array pattern synthesis with frequency invariant property for concentric ring array[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2006, 54 (2): 780–784.
- [16] Chan S C, Chen H H. Uniform concentric circular arrays with frequency – invariant characteristics–Theory, design, adaptive beamforming and DOA estimation[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2007,55(1):165–177.
- [17] Chen H H, Chan S C, Ho K L. Adaptive beamforming using frequency invariant uniform concentric circular arrays[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Pa-

pers, 2007, 54(2): 1938–949.

- [18] Chen H H, Chan S C. Theory and design of uniform concentric circular arrays with frequency invariant characteristics [C]/ in Proc. IEEE ICASSP, 2005: 805–808.
- [19] Abhayapala T D, Bhatta H. Coherent Broadband Source Localization by Modal Space Processing [C]/ IEEE.10th International Conference on Telecommunications, 23 Feb– 1 March, 2003: 1617–1623.
- [20] Wang B H, Guo Y, Wang Y L, et al. Frequency-invariant pattern synthesis of conformal array antenna with low cross-polarisation[J]. Microwaves, Antennas & Propagation, IET, 2008, 2: 442–450.

(上接第33页)

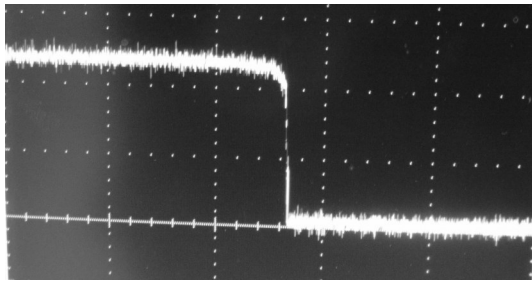


图6 光栅零位信号波形图

机频率值设置实验。当调用归零和复位子程序时,要考虑转台旋转找到零点与复位位置的精度和运行快慢,经过反复实验,确定执行归零和复位子程序时,电机频率为500 Hz。执行选支子程序时,由于输出不同波长电机运转步数差值很大,考虑到选支精确性和速度的需求,经反复实验,确定调用光栅选支子程序时,电机运行频率为126 Hz。

(4)光栅选支系统运行性能实验。经反复实验,硬件器件与电路均未出现发热和坏损现象,软件系统的功能指标均满足,表明系统软、硬件设计精确、稳定、可靠。实验结果表明,系统能实现精准、快速的光栅选支谱线输出,整个调谐系统运行稳定,激光波长再现性好。用CO₂光谱仪和光子牵引探测器得到波长与能量分布如图7。

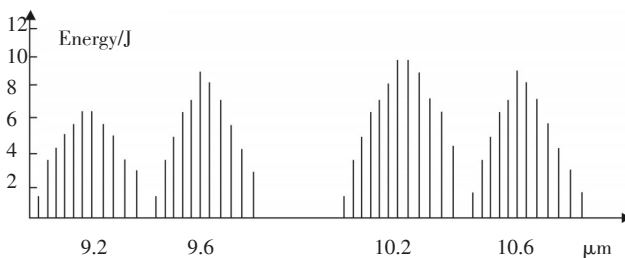


图7 TEA CO₂激光器光栅调谐选支输出谱线

4 结 论

成功研制了稳定、可靠的TEA CO₂激光器光栅调谐选支系统,可实现精准、快速的光栅选支谱线输出,通过实验表明,光栅调谐选支系统具有光栅零位信号精度高、波长调谐输出速度快、系统运行稳定、结构简单和使用方便等优点。

参考文献

- [1] A J Beaulieu. Transversely Excited Atmospheric Pressure CO₂ Lasers[J]. Appl.Phys.Lett.,1970, 16(12):504–505.
- [2] 赵凯华,钟锡华.光学(下册)[M].北京:北京大学出版社,2001:18–27.
- [3] 曾泳淮.关于平面反射是闪耀光栅问题的讨论[J].大学化学,1997,10:47–49.
- [4] Chris Palmer. Diffraction Grating Handbook[S].6th Edition. Newport Corporation, 2005.
- [5] T M Hard. Laser Wavelength Selection and OutPut Coupling by a Grating[J]. APPI.Opt., 1970, 9(8):1825–1830.
- [6] 陈春雨.可调谐折叠腔TEA CO₂激光器实验研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2005.
- [7] 蔡伯荣,王瑞丰,程泽东,等.激光器件[M].长沙:湖南科学技术出版社,1983.
- [8] 董句.TEA CO₂激光器可调谐输出及自动控制研究[D].武汉:华中科技大学,2001:10.