

文章编号: 1001-3806(2003)06-0547-04

小型 TEA CO₂ 激光器的快速调谐技术研究*

曲彦臣 任德明 胡孝勇 刘逢梅

(哈尔滨工业大学可调谐激光技术国家级重点实验室, 哈尔滨, 150001)

摘要: 报道了两种快速调谐技术的研究——6面转镜+固定光栅法和高频步进电机驱动光栅法。实验表明, 高频步进电机法优于转镜法。实验得到激光器的一级调谐输出谱线 50 余条, 激光输出能量(30~100)mJ。在单台 CO₂ 激光器上实现快速调谐输出波长不同的激光脉冲, 其时间间隔达到 ≤10ms。

关键词: CO₂ 激光器; 快速调谐; 单片机; 差分吸收雷达

中图分类号: TN248.2⁺2 文献标识码: A

Research of rapidly tuning technology of miniature TEA CO₂ laser

Qu Yanchen, Ren Deming, Hu Xiaoyong, Liu Fengmei

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001)

Abstract: In this paper, two rapidly tuning techniques which include a six surface mirrors scanning a fixed grating and a high frequency stepping motor controlling a diffraction grating are presented. It is illustrated in experiments that the means of stepping motor is better than that of rotating mirror. Laser operated at 51 emission lines is obtained, and the pulse energy of laser radiation at first order is about (30~100)mJ. The system can be tuned rapidly different rotational lines with a single laser, the tuning time interval to different lines is not large than 10ms.

Key words: CO₂ laser; rapidly tuning; monolithic microprocessor; differential absorption lidar

引 言

随着科技的进步, 环境保护受到愈来愈多的关注。能够监测大气环境状况的 CO₂ 激光差分吸收雷达(DIAL)属测污激光雷达, 它是遥测大气中微量有毒气体和污染气体的一种有效工具。以直接探测方式工作的 CO₂ DIAL 激光发射机, 一般是用 TEA CO₂ 激光器作光源。差分吸收雷达的工作原理为: 系统向待测区域发射两束波长不同的激光脉冲, 一束波长与待测污染物的气体分子中心吸收谱线(带)相重合, 称为测量光束。该光束在大气中传输时, 受到了污染气体分子的强烈吸收而衰减。为了减少其它气体分子和气溶胶的衰减以及仪器等对测量精度的影响, 还要发射另一波长略偏离待测污染气体分子中心吸收谱线的激光束, 称为参考光束。测出两激光

束的后向散射强度, 经过计算处理就可得到待测污染物的种类和浓度。为了保证在两束激光发射的时间间隔内, 大气是“冻结的”, 发射的时间间隔应约为 10ms。

大气污染物种类繁多, 在(9~11) μm 光谱区内许多污染和有毒物质具有强烈的吸收峰, 因此, 波长可调谐的 TEA CO₂ 激光器就成为差分吸收雷达的理想光源。目前, CO₂ DIAL 使用的激光发射机有两种形式。一种是用两台或多台固定波长或可手动调谐的 CO₂ 激光器, 发射两束激光的时间间隔约 100 μs 。但因其体积庞大, 实用化受到一定限制^[1]。另一种形式是采用单台可调谐的 CO₂ 激光器, 实现两束激光快速切换输出。差分吸收雷达光源的发展趋势是使用一台快调谐激光装置, 其在控制、体积、造价等诸多方面能够满足实际应用的要求。快调谐技术主要有旋转多面光栅^[2]、扫描振镜+固定光栅^[3]、旋转多面镜+固定光栅^[4]等。这些方法虽然都可实现快调谐, 但存在造价高、抗电磁干扰能力较差、控制实现难等诸多缺点。

综合考虑系统的低耗性和可行性, 对 6 面转镜(固定光栅法^[5])和 高频步进电机驱动光栅法^[6] 这两

* 国家自然科学基金及黑龙江省自然科学基金资助项目。

作者简介: 曲彦臣, 男, 1971 年 2 月出生。副教授, 博士。现从事红外激光技术与红外非线性光学方面的研究工作。

收稿日期: 2002 10 15; 收到修改稿日期: 2003 04 30

种快调谐技术进行研究。实验表明,用单片机控制高频步进电机通过传动机构驱动光栅技术^[7],能够可靠的实现 CO₂分子振转能级的 10P, 10R, 9P, 9R 支谱线的一级调谐,并且在 10ms 内输出两束不同波长的激光,实现激光的快速调谐输出。

1 实验条件

1.1 激光器结构

激光器为采用面-线电晕预电离源的小型 TEA CO₂ 激光器^[8],谐振腔采用光栅腔结构,激光头的横截面结构示意图如图 1 所示。激光头外壳直径

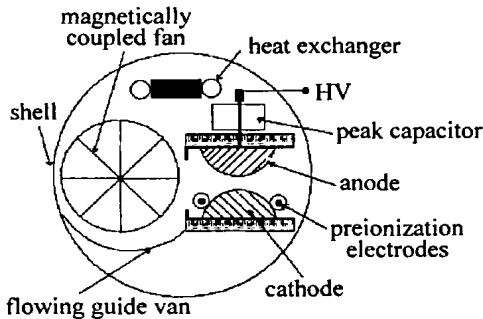


Fig. 1 The cross section of laser head

200mm,长 400mm,其中放置主电极、峰值电容、水冷冷却热交换器和风机等。主电极采用 Chang 氏铝电极,电极间距 10mm,长度 350mm,激活区体积约 32cm³。在阴极的两侧放置一对预电离电极,预电离有利于主放电均匀、稳定,不易产生弧光。峰值电容跨接在主电极之间,以减小放电回路电感。激光器激励电源采用二次谐振倍压电路,充电电压可达到 15kV。谐振腔的耦合输出窗为反射率 85%、曲率半径 10m 的镀膜锗球面镜,激光腔外壳的另一端为硒化锌窗片,为降低腔内反射损耗,窗片以布儒斯特角密封。光栅采用铜基底的平面衍射光栅,刻线为 135 条/mm,一级衍射效率 92%,闪耀波长为 10.6μm。利用磁力耦合驱动器,驱动横流式风机使气体横向流动,在一个大气压时激活区内气体流速达到 5m/s,满足了高重复率要求。

1.2 调谐机构

1.2.1 6 面转镜+ 固定光栅的快速调谐机构 同步触发控制系统由闪耀光栅、同步电机、6 面转镜、角编码器、计数延迟接口电路板(包括两路同步定时/计数器,一路完成脉冲累加,另一路完成时间延迟)、微机和触发电路板等组成,如图 2 所示。转镜在不断转动时,只起到偏转光束的作用。它能使激光束以不同的角度入射到光栅上,相当于光栅在转动,所以可以实现若干支波长激光单调有序的选出。

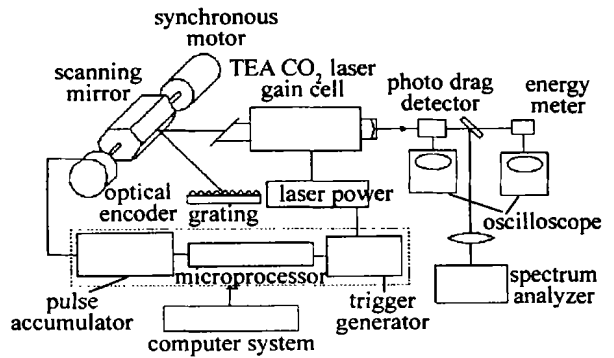


Fig. 2 The rapid tuning mechanism of rotating mirror and fixing grating

6 面转镜采用铝合金材料超精密加工而成。当转镜绕中心轴转动时,要求转镜各反射面的相应角度位置保持不变,即要求各镜面加工要有良好的对称性。加工的铝 6 面转镜,相对塔差为 ±2", 角度误差为 ±5"。

ZPJ 500A 增量式角度编码器每周输出 18000 个方波信号,输入到计数器,由计数器累加编码器输出的脉冲个数。编码器每转一圈输出一个复位脉冲信号,利用该信号使计数器清零,然后重新开始计数。选定编码器的复位点对应的位置为转镜起始位置,则计算机读出的计数器数值,就是转镜的实时转角。由于 TEA CO₂ 激光器的触发放电存在有一定的延迟时间,所以,需要用计算机控制触发电路对激光器实现提前触发,以保证产生所需要的波长激光输出。提前时间等于延迟时间,由实验来确定。同时还应考虑程序控制指令执行时间以及程序增加的人工干预时间。微机将上述考虑所得的延迟时间送入延迟电路中,当达到延迟时间时,延迟电路输出一方波脉冲。触发电路将该脉冲整形放大后,触发激光器实现放电激励。

1.2.2 高频步进电机驱动光栅快速调谐机构 调谐机构由单片机控制的转动机构、零位定位器、触发器和光栅组成^[9]。转动机构包括高频步进电机、蜗轮蜗杆传动机构、光栅平台。电机采用常州宝马公司的 70BF001 型反应式高频步进电机,其运行频率最高可达 16kHz(空载),即每秒钟可运行 16000 步。蜗轮蜗杆的减速比为 1200,步进电机的步距角为 1.5°/步,则蜗轮的转动精度为 27"/步。以 135 条/mm 的光栅计算,CO₂ 分子振转能级跃迁相邻谱线的角度间隔为 3'~7',因此,这一减速比可满足完全分辨开所有谱线而不会漏掉谱线。采用 AT89C51 型 8 位单片机作为调谐控制器的核心,控制电机运转,接收零位信号,在指定光栅角度位置触发激光器进行主放电。调谐控制系统如图 3 所示。单片机输

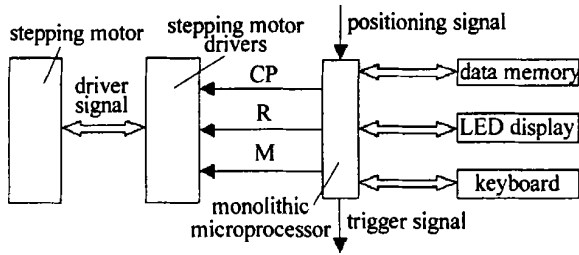


Fig. 3 The tuning and triggering controller

出的信号功率较低,需外加驱动器驱动步进电机。单片机向电机驱动器输出周期可调的步进脉冲信号、正/反转信号和启/停信号。为提高光栅定位精度和激光的再现性,采用双红外零位传感器确定光栅的初始位置。在蜗轮和蜗杆上各安装一红外传感器,由光敏三极管和发光二极管组成。电机执行正转程序,单片机检查到蜗轮上的零位信号后,步进电机减速运转,以减小惯性误差,检查蜗杆上的零位信号,进行二次精确定位。定位精度达到±3",实现良好的激光再现性。单片机内的控制程序由 PLM 语言、C 语言及相应的调试开发工具完成。

可调谐 TEA CO₂ 激光器的放电触发脉冲信号由单片机输出。触发信号脉冲宽度最小可达 40μs,宽度小于 40μs 时,激光电源的可控硅触发电路不响应。一般正常工作状态选用触发信号宽度为 100μs,激光重复频率由触发信号的周期加以调整。可调谐 TEA CO₂ 激光器脉冲重复率可达 100Hz,能够稳定工作而无弧光产生。

2 实验结果与分析

激光器工作气体配比为 $V(\text{CO}_2)V(\text{N}_2)V(\text{He}) = 1:3$,最佳工作气压由实验确定为 $5.32 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。

利用 6 面转镜+固定光栅的快速调谐机构所设计的系统,对实际激光电源的可控硅电路进行了触发实验。分别调试了 25Hz, 30Hz, 50Hz, 75Hz 和 150Hz 5 种频率的控制信号作用于触发电路,使可控硅触发导通实现放电。用 Tek 7834 示波器,测得其输出电平为 2.4V,电流为 20mA。初步实验结果表明,所设计的同步控制系统可以较好地给出同步控制信号,并实现触发放电。

在同步触发系统的实验中发现,由于高速转动磁滞同步电机转速的稳定性、转镜的加工精度,尤其是 6 面转镜与电机轴的安装调整精度以及脉冲计数器本身固有的计数误差,都能够引起转镜转角与激光器触发脉冲同步再现性的波动。有关的技术问题正在深入地研究中。

安装高频步进电机驱动光栅快速调谐机构后,首先进行手动调谐实验。激光调谐系统如图 4 所示。

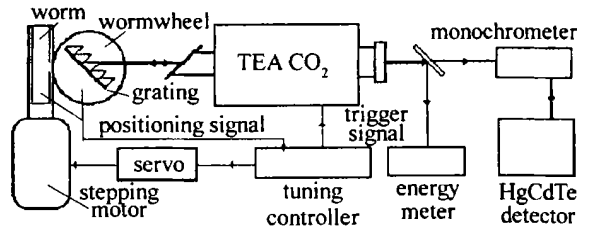


Fig. 4 Schematic diagram of tuning system of TEA CO₂ laser

示。经多次手动调谐实验,得到零级输出谱线 41 条,一级输出谱线 20 条,分别属于 10P 和 10R 支。波长分布如图 5 所示。然后由程序控制步进电机旋转,进行单片机控制光栅调谐选支。编程步进电机单步运行程序,使步进电机每秒运行一步且输出一个触发放电脉冲。记录每一支谱线对应的步进电机运行的步数,作为电机快速运行时的基本数据。调谐输出激光谱线 51 条,激光波长由红外光栅单色仪和 HgCdTe 探测器测量。

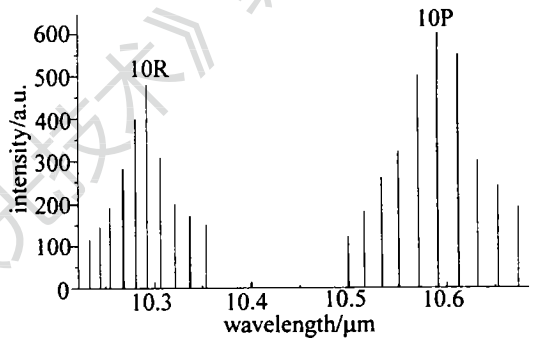


Fig. 5 Wavelength distribution of TEA CO₂ laser

当步进电机以频率 5kHz 运行时,利用单步扫描所得数据,对各支谱线进行快速单次触发。调谐输出 10P(18), 10P(20), 10P(22) 等谱线,由 ED-500 能量计测得激光脉冲最大能量为 100mJ。利用液氮冷却的光伏型 HgCdTe 探测器测量激光脉冲波形,测得激光脉冲宽度约 100ns。在 10ms 时间内输出两不同波长的快速调谐实验结果如图 6 所示,分

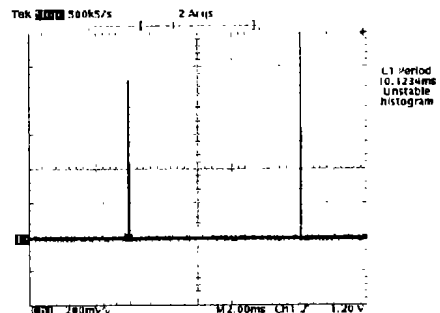


Fig. 6 The oscillogram of rapid tuning laser 10P(14) and 10P(20) lines 分别为 10P(14) 和 10P(20) 谱线。实验结果表明,整个调谐机构运行比较稳定,激光波长再现性较好。为

保证调谐系统工作稳定,须在调谐系统外部实行良好的电磁屏蔽。

在调谐实验中,激光器输出波长的稳定性,取决于光栅零位的复位精度。为了提高复位精度,采用编程控制的双红外零位传感器来对光栅进行零位复位,得到激光波长的波动范围仅为(0.1~0.5)nm,改善了输出激光波长再现性。触发的同步是指光栅转角与所需的激光波长相对应时,实现激光器的触发放电。同步触发技术是利用调谐触发控制器来完成,触发控制器考虑了光栅转角与激光器触发的偏置时间等因素,确定了各支输出激光与光栅位置(步进电机的步数)间的关系。

3 结 论

报道了小型快速调谐 TEA CO₂ 激光器,其快速调谐机构可由两种方案来实现。其中,由单片机控制的步进电机驱动传动机构旋转光栅进行调谐的方案,其可行性由实验所证实。这一激光器能够快速、稳定输出不同波长的激光,可作为差分吸收雷达的

光源。利用单片机随意选择激光输出波长,实现了快速调谐 CO₂ 振转能级跃迁谱线,在 10ms 时间内输出两不同波长激光。该系统结构简单,运行可靠,易于实现。尽管实验是在 TEA CO₂ 激光器上实现的,但这种调谐方法亦可以应用于其它光栅调谐的脉冲激光器,如染料、准分子、远红外激光器等。

参 考 文 献

- [1] Carlisle C B, van der Laan J E, Carr L W *et al.* Appl Opt, 1995, 34 (27): 6187~ 6200.
- [2] Faxvog F R, Mocker H W. Appl Opt, 1982, 21(22): 3986~ 3987.
- [3] Crocker A, Jenkins R M, Johnson M. J Phys E: Sci Instrum, 1985, 18 (1): 133~ 135.
- [4] Fox J, Ahl J L. Appl Opt, 1986, 25(21): 3830~ 3834.
- [5] Qu Y Ch, Hu X Y, Liu F M *et al.* Infrared Physics & Technology, 2000, 41(3): 143~ 147.
- [6] 于志伟, 曲彦臣, 刘逢梅 *et al.* 激光技术, 2000, 24(4): 244~ 247.
- [7] Tan G R, Yang W X, Wang S J *et al.* Infrared Phys, 1991, 131(2): 207~ 209.
- [8] Qu Y Ch, Liu F M, Hu X Y *et al.* Infrared Physics & Technology, 2000, 41(3): 139~ 142.
- [9] 曲彦臣, 胡孝勇, 刘逢梅 *et al.* 激光与红外, 2000, 30(3): 160~ 163.

(上接第 546 页)

易透过半透膜,从而改善了营养物质的跨膜运输和利用。当水分子恢复缔合度时,放出原来吸收的能量,激发各种酶的活性。从而加速了生长阶段生化代谢的启动。因此,作者认为可能是激光的热效应和电磁效应在预处理过程中起作用。

由于加快生化代谢过程的启动, α 淀粉酶、GPT, GOT 的活性提高,尤其是 GPT, GOT 的活性,它们催化的转氨基作用使生物体的蛋白质代谢和糖代谢沟通起来,在一定程度上起着调节蛋白质和糖代谢的平衡作用,从而增强了菘蓝幼苗的代谢水平,导致了可溶性蛋白质、丙酮酸和可溶性糖含量的提高。意味着 He-Ne 激光辐照有利于菘蓝生长和发育,可促进中药大青叶和板蓝根产量的提高。

作者的研究证明,虽然不同时间的激光处理均能不同程度地提高 α 淀粉酶、GPT, GOT 活性及可溶性蛋白质、丙酮酸和可溶性糖含量,但综合而言,

以 5min 的处理效果最好。这一结果将作为今后进一步研究激光对增强 UV-B 辐射损伤菘蓝幼苗修复及防护作用的实验剂量,也可以用于生产实践中。

参 考 文 献

- [1] 陈芳远, 胡能书, 梁 宏 *et al.* 中国激光遗传育种与激光生物学. 长沙: 湖南师范大学出版社, 1991: 2~ 5.
- [2] 李耀维, 冯文新. 应用激光, 1996, 16: 37~ 41.
- [3] 蔡素雯, 齐 智, 马小来. 中国激光, 2000, 27(3): 284~ 288.
- [4] 崔 征. 生药学. 北京: 中国医药科技出版社, 1999: 130~ 132.
- [5] Qi Zh, Yeu M, Han R *et al.* Journal of Photochemistry and Photobiology B Biology, 2000, 59: 33~ 37.
- [6] 汪沛洪. 基础生物化学实验指导. 西安: 陕西科学技术出版社, 1985: 83~ 85.
- [7] 李 琳, 焦新之. 植物生理学通讯, 1980, 6: 52~ 55.
- [8] 张振清. 植物生理学实验手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1985: 274~ 278.
- [9] 向 洋, 丁志宝. 光电子激光, 1997, 8(6): 475~ 478.
- [10] 韩 榕, 王勋陵, 岳 明 *et al.* 光子学报, 2001(10): 1182~ 1186.
- [11] 周培疆, 胡云楚, 凌杏元 *et al.* 物理化学学报, 1999, 15(3): 274~ 278.