

# 亚毫米波激光自动测量系统的研制\*

张 迅 梁奂晖 张 萍 罗锡璋 丘茹曼

(中山大学电子与通信工程系,超快速激光光谱学国家重点实验室,广东,广州,510275)

**摘 要** 介绍了以单片机为核心的亚毫米波激光器的自动测量系统,该系统可实现测量工作自动化,并利用双路校正技术,提高了测量准确性和可靠性,运用该系统对小型光泵  $\text{NH}_3$  分子激光器的谱线进行测量,验证了测量系统的性能。

**关键词** 亚毫米波激光器,自动测量系统,F-P 干涉仪,双路校正技术。

## AUTOMATIC MEASUREMENT SYSTEM OF SUBMILLIMETER WAVE LASER \*

ZHANG Xun, LIANG Huan-Hui, ZHANG Ping, LUO Xi-Zhang, QIU Ru-Man

(Department of Electronics, State Key Laboratory of Ultrafast Laser Spectroscopy,  
Zhongshan University, Guangzhou, Guangdong 510275, China)

**Abstract** An automatic measurement system of submillimeter wave laser was introduced, in which a single-chip machine played an important part. This system automatized measurement and used double-path emendation to increase veracity and reliability of measurement. The system was used to measure the spectrum of miniature optically pumped  $\text{NH}_3$  laser, demonstrating the high performance of the system.

**Key words** submillimeter wave laser, automatic measurement system, F-P interferometer, double-parh emendation.

### 引言

1970 年, T. Y. Chang 和 T. J. Bridge<sup>[1]</sup>首次报道了光泵气体亚毫米波激光器,亚毫米波的研究和应用进入一个新阶段,效率低是光泵亚毫米波气体激光器的主要缺点,给亚毫米波激光的测量带来了很大的困难,本文将介绍一种光泵亚毫米波自动测量系统,其目的是将以往需要手工操作的各测量步骤大部分实现自动化,更重要的是对测量系统的光路作了补充,增加了一路参考光路,利用双路校正技术,对光泵亚毫米波激光的泵浦源进行监视和校正,从而较好地解决了由于泵浦源的波动而带来的测量问题,该测量系统以单片机为核心,实施全部的测量、控制过程,微机作为选件,具有其它一些功能(如数据存储、转换、作图等)并提供良好的人机界面。

### 1 光泵亚毫米波激光系统的构成

将 F-P 干涉仪、热释电探测器与设计好的自动测量系统连接好,接上微机,就组成了完整的脉冲式光泵亚毫米波激光实验系统,如图 1 所示,整个光泵亚毫米波激光实验系统由 TEA- $\text{CO}_2$  激光器、亚毫米波激光器、测量以及真空系统组成。

TEA- $\text{CO}_2$  激光器是光泵亚毫米波激光的泵浦源,采用电容火花阵列紫外预电离方式,为了避免高压放电对测量系统的影响,将 TEA- $\text{CO}_2$  激光器安装在金属屏蔽室内,测量系统包括对中红外泵浦激光和亚毫米波激光的测量,亚毫米波信号经过法布里-珀罗(F-P)干涉仪后,用热释电探测器 D1 检测,由双踪记忆示波器显示<sup>[2]</sup>,可以用来测量亚毫米波信号的波长以及研究亚毫米波激光的频谱特性,真空

\* 国家自然科学基金(编号 69771028)、广东省自然科学基金(编号 001173)及教育部“跨世纪优秀人才培养”基金资助项目  
稿件收到日期:2001-02-22,修改稿收到日期:2001-05-03

\* The project supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 69771028) and the Natural Science Foundation of Guangdong Province, China (No. 001173)  
Received 2001-02-22, revised 2001-05-03

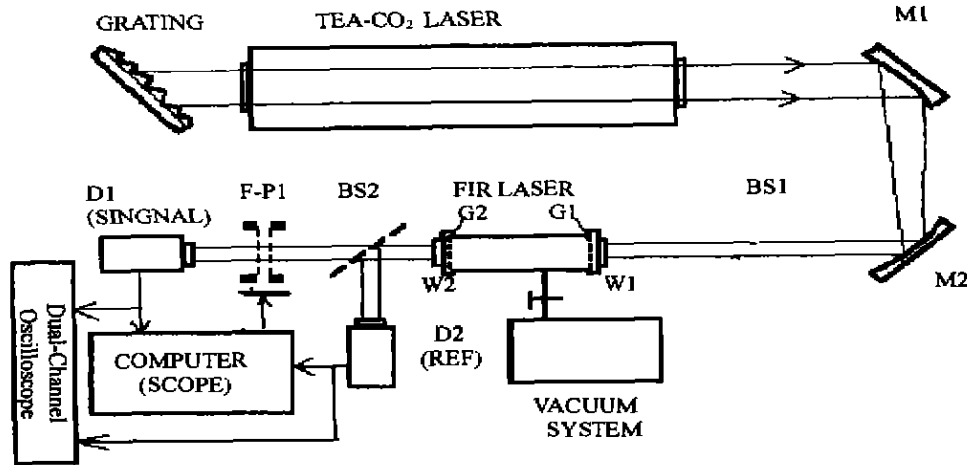


图1 光泵亚毫米波激光实验系统

Fig. 1 Experimental system of optically pumped sub-millimeter wave laser

系统由真空泵、硅油气压计、特制液体气压计及气阀等部分组成。

为减小 TEA-CO<sub>2</sub> 激光器输出不稳定以及其它因素造成亚毫米波激光信号通过 F-P 干涉仪后的检测误差,我们在远红外样品管的输出端和 F-P 干涉仪的输入端之间增加了一个分束器,其远红外透过率在 80% 以上,因此大部分亚毫米波信号透过它而进入 F-P 干涉仪,小部分经反射由热释电探测器 D2 检测,在双踪记忆示波器上显示, D2 的检测信号可以实时检测实验系统的稳定性,决定 D1 的检测数据的取舍,同时还可以 D2 的检测信号为基准,在一定范围内对 D1 的检测信号进行线性处理,这样不仅可节省检测时间,还可提高测量精度,特别是在亚毫米波激光的频谱特性研究中双路检测显得更加重要.需要说明的是,线性处理只是一种很粗糙的近似处理.实际上,当 F-P 干涉仪两网栅的距离一定时, D1 和 D2 两者检测信号的比例并不是严格地成线性关系,还有少数点偏离线性关系甚远.因此双路检测系统主要用于以 D2 的检测信号决定 D1 的检测数据取舍.上述整个测量过程可以用微机控制,自动完成数据的检测和处理<sup>[3]</sup>.

## 2 自动控制系统的设计

脉冲工作的光泵亚毫米波信号干涉仪测量一直存在两个问题:一是干涉仪分辨率与灵敏度的矛盾,二是信号源工作不稳定使测量数据弥散而造成测量可靠性不高.

目前条件测量用的传感器是热释电探测器,光信号由热释电探测器转换成电信号后送入示波器显

示.由于亚毫米波激光是脉冲工作状态,信号持续时间很短.虽然所用的示波器是慢扫描记忆示波器,能显示出信号的轨迹线,但反映亚毫米波激光信号大小的是该轨迹线的峰值,持续时间很短,故峰值位置轨迹较淡.要在短时间内准确的用人眼读取示波器上信号峰值的示数无疑是对测量人员有较高的要求.在实验过程中,为了测出亚毫米波激光谱线的频谱,必须不断地调节 F-P 干涉仪的两平行光栅距离.通常,为测量出一条亚毫米波激光谱线,至少要重复“调节 F-P 平行光栅距离—触发激光器—读取并记录峰值示数”这一过程近百次,可见测量工作强度是比较大的.

亚毫米波激光的产生是 CO<sub>2</sub> 激光作为泵浦源泵浦而得.以目前的实验条件来看, CO<sub>2</sub> 激光器工作不稳定,输出功率时高时低,而且模式和频谱也不稳定,从而造成亚毫米波激光输出不稳定.加上热释电探测器的测量误差较大,使测量结果出现比上述测量困难严重得多的后果,它甚至影响到测量的可行性问题.为抵消泵浦源波动和探测器误差对测量工作的影响,常用的方法是:多次重复实验,去除偏差大的数据,然后取平均值.这样可以在一定程度上抑制泵浦源波动带来的影响,但同时也带来了一些问题:一是实验次数大为增加,延长了实验时间,对于每次只能较稳定地工作一个多小时的 TEA-CO<sub>2</sub> 激光器(目前条件下的泵浦源)是很不利的;二是在数据处理时人为干预因素过大,影响了数据测量的科学性,从现有的文献看,用这样的方法(多次重复取平均)作为实验研究手段来验证光泵亚毫米波激光的理论问题,定性研究没问题,但要做一些略为精确

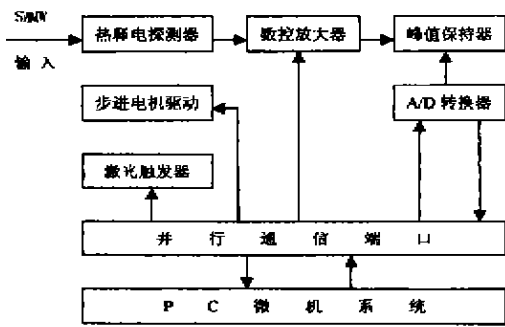


图 2 F-P 干涉仪控制测量系统原理框图  
Fig. 2 Block diagram of measuring system with F-P interferometer control

的定量研究则显得力不从心。

针对脉冲亚毫米波激光器上的 F-P 干涉仪的控制测量系统的研制,其实验研究工作是在脉冲亚毫米波激光器上完成的,考虑到实验测量的种种需要和实验室的现有条件,所设计的 F-P 干涉仪控制测量系统的原理框图如图 2 所示。

首先运行 PC 机上的控制程序,在完成对串行通讯端口的通讯测试及工作状态设置后,控制程序向接口电路发送操作命令,接口电路根据命令解析进行相应的控制操作,这些操作包括:设置放大电路的放大倍数,驱动步进电机前进或后退,触发激光器,启动 A/D 转换和向 PC 机传送当前测量数据。在测量过程中,PC 机不断向串行通讯端口发送命令和从串行通讯端口接收数据,并实时显示所测量到的数据。

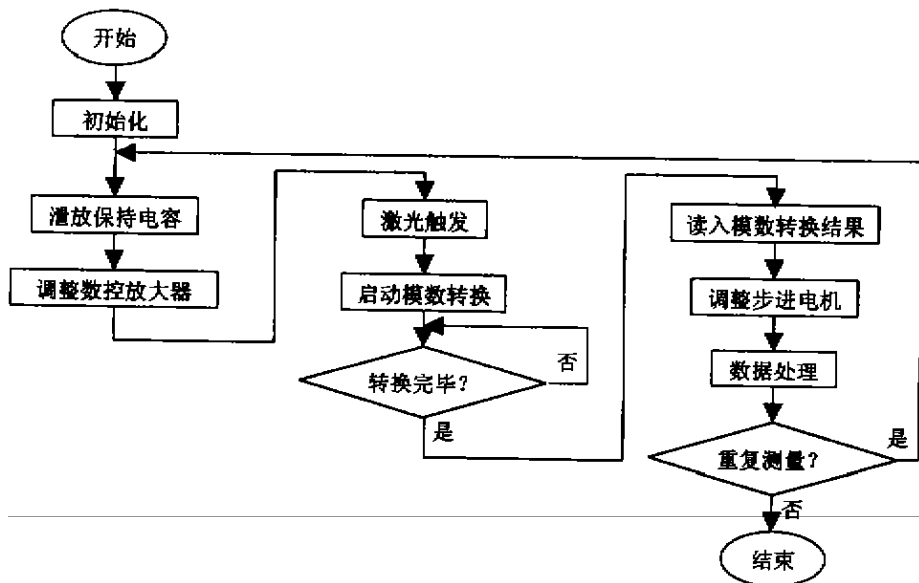


图 4 自动测量系统中软件系统的工程流程图  
Fig. 4 Flow chart of software system in automatic measurement system

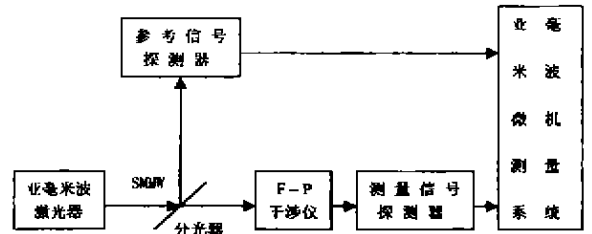


图 3 双路测量校正技术  
Fig. 3 Double-path emendation

由于 TEA-CO<sub>2</sub> 激光器的输出不稳定,输出功率大小经常变化,模式也不稳定,谱线位置常常漂移,导致氨分子激光器的输出不稳定,因此直接影响了对亚毫米波输出特性的测量。为了克服泵功率、谱线和模式不稳定的问题,我们采用双路测量校正技术,对氨分子激光器的输出进行分束,如图 3 所示。

亚毫米波激光器的输出经过分束器分为两路,一路经 F-P 干涉仪送至微机测量系统,另一路送至热释电探测器,再接至亚毫米波微机测量系统,作为亚毫米波激光器的输出功率参考。在每次触发测量时,由亚毫米波微机测量系统完成对亚毫米波经干涉仪后的输出信号峰值测量和亚毫米波激光器参考信号输出峰值的测量进行归一化处理,即可克服泵功率、谱线和模式不稳定的影响,从而得出较为准确的实验数据。

本系统使用 PC 机的并行通信端口进行完全控制,因此,大部分的控制和数据运算会交由 PC 微机处理,对软件系统的编程能够实现全部的测量控制

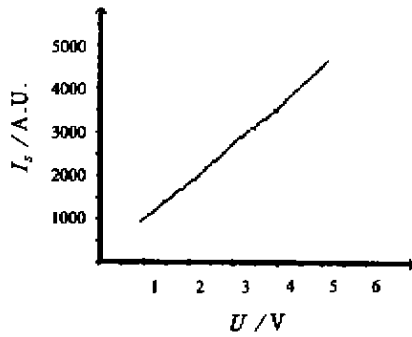


图 5 大信号对比测量图

Fig. 5 Contrast measurement of large signal

操作,软件系统的工程流程图如图 4 所示.

### 3 自动控制系统的性能和测量频谱

为了检验自动测量系统能否可靠运行,我们采取人工读数与自动测量同时进行的手段,把最后的两组数据进行比较.测量采用微机控制的方式,装置如图 4 所示.其中的示波器是供人工读数用的,示波器与单片机系统接收到的是同一个信号,人工读数并记录的数值是每次触发光泵亚毫米波激光器后示波器显示的信号轨迹的峰值.

测量结果显示:人工读数与自动测量系统的读数对应关系比较稳定,并且呈良好的线形关系,其误差一般能够控制在 0.5% 左右.当然,由于系统可能受到一些不可预知的干扰,在 10mV 和 20mV,放大倍数为 10 时,产生了较大的误差.以上实验数据结果可以说明:该自动测量系统在输入范围为 40mV-5V 的时候是相当准确的,其误差低于 0.5%.

对于大信号测量,如图 5 所示,人工读数与自动

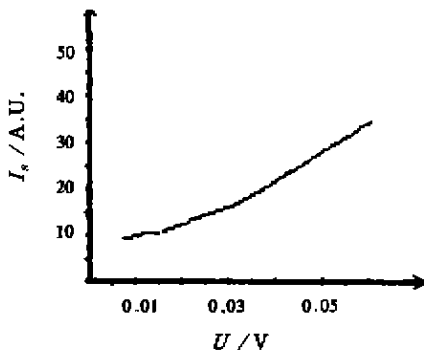


图 6 小信号对比测量图

Fig. 6 Contrast measurement of small signal

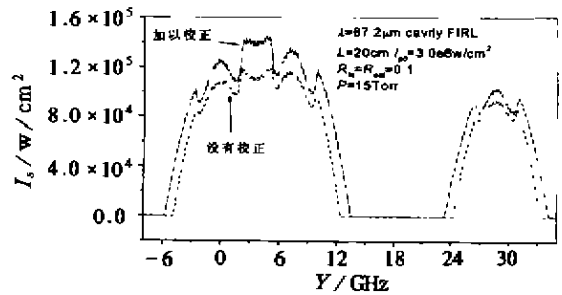


图 7 测量出的频带谱特性曲线

Fig. 7 Measured spectral characteristics by automatic measurement system

测量的读数不但呈线性关系,而且关系曲线基本上是一条过原点的直线,可见自动测量系统的测量大信号时放大电路和峰值保持电路的偏移相对显得很小,线性度较好.

对于小信号测量,如图 6 所示,小于 40W 时线性度不好,并没有经过原点;大于 40mV 之后,呈现出一定的线性度.主要原因是:当信号太小时,电路本身的噪声和偏移严重干扰了信号.由于电路设计时均采用通用型元器件,噪声和偏移在所难免,对于目前条件下光泵亚毫米波信号的测量,这样的精度明显是足够了.

如上所述,在本系统中,为了提高测量的稳定性和测量精度,采用了双路测量校正技术.测量时我们对没用双路测量校正技术和用了双路测量校正技术的测量结果做了对比,如图 7 所示,可以看出用了双路测量校正技术可以进一步提高了亚毫米波实验的测量精度.

### REFERENCES

[1]Chang T Y, Bridges T J, Burkhardt E G. CW laser action at 81.5 and 263.4  $\mu\text{m}$  in optically pumped ammonia gas. *Appl. Phys. Lett.*, 1970, 17:357-358

[2]ZHENG Xing-Shi, LI Yao, LIN Yi-Kun, et al. Submillimeter F-P interferometer with silicon-aluminum meshwork and its application in the study of laser frequency spectrum. *J. Infrared Millim. Waves* (郑兴世, 黎耀, 林怡莹, 等. 硅-铝网栅亚毫米波 F-P 干涉仪及其在激光频谱研究中的应用. *红外与毫米波学报*), 1993, 12(3): 229-232

[3]LI Cong. Automatic measurement system of submillimeter wave laser and study of optically pumped laser spectrum. Thesis of Master Degree, Zhongshan University (李丛. 亚毫米波自动测量系统及光泵激光频谱研究. 中山大学硕士学位论文), 1995