

文章编号:1001-5078(2009)11-1183-05

· 光电技术与系统 ·

激光调制法的热敏探测器时间常数测试系统

何玲玲, 简献忠, 郭利辉

(上海理工大学光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘要:为了解决目前热敏探测器时间常数测试中存在的测试不方便, 测量误差大的问题, 设计了一种新型的热敏探测器时间常数测试系统。它用可调制半导体激光器替代黑体辐射源, 通过 VC 调用 MATLAB 来实现图形的输出和时间常数的计算。实验结果表明该方法的测量精度很高, 并且操作起来简单方便, 为热敏探测器的时间常数测试和科研提供了有力的工具。

关键词:时间常数; 激光调制法; 热敏探测器; VC 调用 MATLAB

中图分类号:TP206⁺.1; TN215 **文献标识码:**A

Test system of time constant for thermal detector by modulated laser

HE Ling-ling, JIAN Xian-zhong, GUO Li-hui

(College of Optics, Electronics and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Only select a thermal detector with reasonable time constant, we can obtain the information needed for different sources. Therefore, time constant is an important system design parameter, and how to measure the time constant accurately is a primary issue for system designers to concern. In order to resolve the problem of inconvenient to test and having high error rate during the time constant testing, a new test system of time constant for thermal detector is designed in this article. This system bases on semiconductor modulated laser, which replaces blackbody radiation source, and uses the technology of VC call MATLAB realizing graphic model output and time constant calculate. The results of experiments show that this method has high precision and is easy and convenient to operate. The system provides a powerful tool for scientific research and testing time constant for thermal detector.

Key words: time constant; modulated laser; thermal detector; VC call MATLAB

1 引言

随着我国工农业生产和科学技术的迅速发展, 红外技术在各个领域中得到日益广泛的应用。由于热敏探测器的探测率高, 对波长基本上没有选择性, 能在室温下使用以及结构较牢靠, 稳定性较好等优点, 因此在国防、工业生产、交通运输及科研战线等方面都有了广泛的应用^[1]。热敏探测器性能的优劣直接关系到获取数据的准确性和可信性。

时间常数是热敏探测器响应速度的度量, 是它的一个重要技术参数, 也是衡量热敏探测器动态测试性能的一项重要指标。在工农业生产、航天、环保、国防和科研等许多应用领域, 对热敏探测器的时间常数都有具体的要求。因此, 设计一套测试精度

高、可靠性高、使用方便的热敏探测器时间常数测试系统是科研和生产的重要保证, 是一项十分有意义的工作^[2]。

目前用于测量热敏探测器时间常数的方法有很多^[3-4], 然而, 利用可调制激光器作为辐射源的热敏探测器时间常数自动测试系统, 国内尚无同类产品。该系统利用调制激光脉冲作为辐射源, 运用高精度的数据采集卡进行实时采样, 通过 VB 调用 MATLAB 来实现图形的绘制和时间常数的计算, 输出被

基金项目: 上海市教委科技创新项目 (No. 08LZ143) 资助。

作者简介: 何玲玲 (1985 -), 女, 在读硕士研究生, 主要研究方向为嵌入式系统控制。E-mail: ruobing_he@126.com

收稿日期: 2009-05-08; 修订日期: 2009-06-26

测热敏探测器的响应曲线和时间常数。利用该系统对热敏探测器的时间常数进行测试分析,得到了较理想的实验结果。

2 系统工作原理

2.1 系统辐射源的选择

这是一个集光、机、电于一体的测试系统,该系统正常工作的前提是要有一个合适的辐射源。辐射源有很多,比如热辐射体,包括黑体、灰体、选择性辐射体等,激光、白炽灯等都可以作为信息源。在以往的光电检测系统中,常用普通光源或者黑体作为辐射源,然而,普通光源和黑体的光谱特性、辐射强度、辐射稳定性和方向性以及抗干扰能力等都难以得到很好的保证和控制,这就给探测器的检测和测量带来诸多不便。而且,由于黑体体积较大,使用黑体作为辐射源的测试系统,仪器很难做到小型化。

随着半导体技术和激光技术的飞速发展,半导体激光器的价格逐步降低,其应用批量和应用领域不断扩大。由于半导体激光器具有体积小、质量轻、可靠性高、转换效率高、功耗低、驱动电源简单、可直接调制、结构简单、价格低廉、使用安全等诸多优点,因而得到了广泛的应用。因此,该测试系统采用了先进的可调制半导体激光器作为系统辐射源。该激光器的输出功率为 1 mW。

2.2 激光调制原理

在光电探测系统中,不可避免地会有各种各样

$$\Delta R_T = R_T \alpha_T \Delta T = R_T \alpha_T \frac{\alpha \Phi_0 \tau_T}{C_\theta (1 + \omega^2 \tau_T^2)^{1/2}} = R_T \alpha_T \frac{\alpha \Phi_0}{G (1 + \omega^2 \tau_T^2)^{1/2}} \quad (2)$$

式中, R_T 为温度 T 时的电阻值, ω 为工作频率, G 为探测器与周围环境的热传导系数。 $\tau_T = C_\theta / G$ 是热敏探测器的热时间常数^[9]。

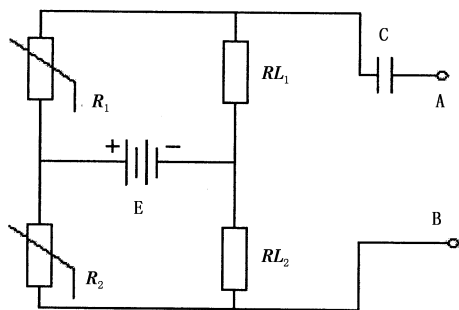


图1 热敏探测器桥式电路

Fig.1 the bridge circuit of thermal detectors

热敏探测器通常接成桥式电路的形式,如图1所示。其中, R_1 、 R_2 是两块性能完全相同的热敏电阻,其中一块是主元件,一块是补偿元件。 R_{L1} 和 R_{L2}

的干扰,比如自然光或者杂散光信号、背景辐射、电磁干扰、振动干扰等,为了提高系统的抗干扰能力,必须对辐射信号进行调制。

常用的对激光进行调制的方法主要有频率调制法和脉冲调制法。由于当调制频率降低到一定程度时,信号的增加会受到时间常数的限制^[5],所以用频率调制法来对激光进行调制是很难精确测得时间常数的。因此,该系统采用了脉冲调制法^[6-8]。

2.3 热敏探测器信号检测原理

热敏探测器是将入射到探测器上的辐射能转换为热能,然后再把热能转换成电能的器件。它是由锰、镍、钴的氧化物按一定比例混合,经高温烧结而制成的。半导体材料对光的吸收除了直接产生光生载流子的本征吸收和杂质吸收外,还有不直接产生载流子的晶格吸收和自由电子吸收等,并且不同程度地转变为热能,引起晶格振动的加剧,器件温度的上升,即器件的电阻值发生变化^[9]。

设入射辐射的辐射功率为 $\Phi_e = \Phi_0 e^{j\omega t}$,探测器表面材料的吸收系数为 α ,当热敏电阻接收入射辐射后,温度变化 ΔT ,根据能量守恒原理,器件吸收的辐射功率等于器件内能的增量与热交换能量之和,可以推导出 ΔT 的幅值为^[9]:

$$\Delta T = \frac{\alpha \Phi_0 \tau_T}{C_\theta (1 + \omega^2 \tau_T^2)^{1/2}} \quad (1)$$

设热敏电阻的温度系数为 α_T ,当其温度变化 ΔT 时,其阻值变化量为:

是两个负载电阻,其中一个是可调的。

当辐射作用于热敏探测器主元件时,主元件电阻阻值发生 ΔR 变化,电桥失去平衡,此时,可得出输出电压 V_L 与入射辐射功率 Φ_0 之间的关系为:

$$V_L = \frac{V_A R_{L1} \alpha_T \alpha \Phi_0 R_1}{(R_1 + R_{L1})^2 G \sqrt{1 + (\omega \tau_T)^2}} \quad (3)$$

当已调制的激光辐射照射到被测热敏探测器平面上时,就会引起探测器响应电压的变化,我们通过对该电压信号进行采集,放大和数据处理就可以测试计算出该热敏探测器的时间常数了。

3 系统硬件结构、工作过程及软件设计

3.1 系统硬件结构

该测试系统集成光、机、电于一体,其硬件部分主要由以下几部分组成:半导体激光辐射源,光隔离镜筒,XY 二维平移台,步进电机细分驱动电路板,前置放大器,信号采集电路板,PC 机等。该系统的硬

件结果如图2所示。

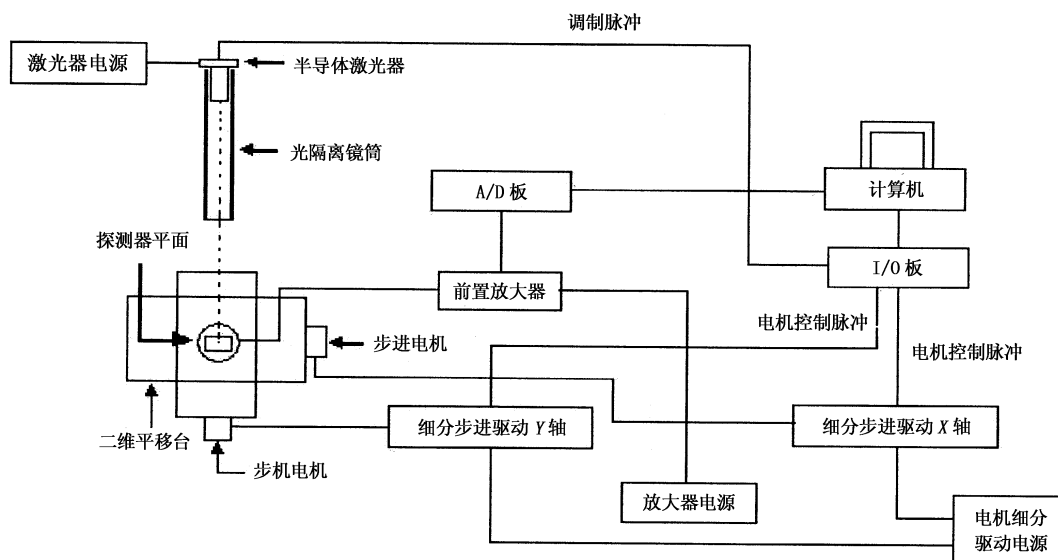


图2 系统硬件结构图

Fig.2 system hardware structure

由于背景辐射对光电探测系统是一个严重的干扰,各种自然光和杂散光信号以及空气的流动都会干扰激光的工作,为了提高系统的抗干扰能力,所以加了黑色的光隔离镜筒。

为了便于探测器的更换,调节光路的方便以及探测结果的可重复性,我们采用了步进电机控制的二维平移台来完成。该方法与传统的移动光学系统的方法相比有许多优点:①避免了由于移动光学系统造成的辐射强度的改变以及光路的不正;②避免了由于机械振动造成的光路偏差;③使得探测器平面易于固定和更换,避免对光学系统产生影响。该设计保证了测试系统的稳定性和测试精度。

考虑到测试系统的运行平稳性和步进电机的噪声问题,我们不采用步进电机的整步运行方式,而采用步进电机的细分驱动方式来控制步进电机。细分驱动是减小步距角,提高步进分辨率,增加电机运行平稳性的一种行之有效的方法,能够满足高精定位和精密加工的要求。

由于热敏探测器输出的信号极为微弱,只有 $1 \sim 100 \mu\text{V}$,如此小的信号是不容易进行采集和处理的,故电路中要有一个高增益的放大电路,将探测器的输出信号放大至后端A/D电路所能接受的范围($-5 \text{ V} \sim +5 \text{ V}$)。热敏探测器直接与前置放大电路连接,以避免微弱信号传输中产生的干扰,整个放大电路的输出用屏蔽线缆与采集电路相连,采集后的大信号直接送到工控机进行处理,提高了系统

的抗干扰性能。

CPU的控制是整个系统的核心,CPU控制着放大器的控制钳位,控制着激光的调制,同时也控制着二维平台的控制脉冲与A/D采样脉冲,我们采用稳定性较好的工控机来实现控制和数据处理以及图形显示,这保障了整个信号传输过程中的信号完整性和可靠性。

3.2 系统工作过程

该测试系统的工作过程如下:首先将系统进行初始化,再看热敏探测器装好了没有,如果没装好或者需要更换探测器的话,就先点击“更换探测器”按钮,使得二维平台移动到初始设置的位置,然后装好探测器,如果事先探测器已经装好了,这一步可以省略。接下来将二维平台复位,使得光路正好对正,激光光斑正好全部照射到热敏探测器上,然后由工控机通过I/O口输出放大器控制钳位电平,从控制钳位电平的下降沿开始采集数据,紧接着通过控制相应I/O口输出的电平来打开激光光源,当数据采集4000 ms后关闭激光光源。数据采集完成后,将数据保存在自己定义的数组中,通过VC调用MATLAB就可以进行图形的绘制以及时间常数的计算了。

由于上电后,器件和系统的稳定都有一个过程,如果装好探测器马上就开始测量的话会发现绘出的响应曲线在理论上应该是平稳值的地方却是不断上升的,这样测出的时间常数是不准确的,需要等2 min,待系统稳定之后再测试。为了便于操作,装好

探测器之后,不用等待,直接点击“两分钟之后开始采集”,系统会自动等待两分钟之后再开始采集,如果对同一个探测器再继续进行测量的话,由于第一次采集已经等待了两分钟,系统已经进入稳定状态,不用再等待了,直接“开始采集”就可以马上采集了。

3.3 系统软件设计

该系统软件是用 Visual C++ 6.0 编写的,主要有系统初始化模块、数据采集模块、脉冲调制模块、二维平台运动控制模块、图形生成模块和时间常数的计算模块这几部分组成。该系统主程序的流程图如图 3 所示。

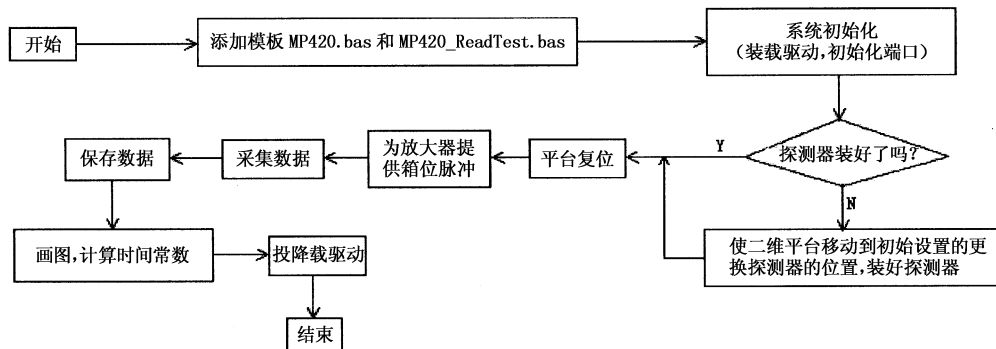


图 3 主程序流程图

Fig. 3 flowchat of main program

使用 VC++ 6.0 编程时,首先要添加模块文件“MP420. bas”和“MP420_ReadTest. bas”。文件“MP420. bas”中包含了 DLL 动态链接库中所有的 API 函数,然后在程序开始处加载驱动,在程序退出时卸载驱动,这样在程序中就可以调用 API 函数了。文件“MP420_ReadTest. bas”中包含了数据的连续采集功能,把该模块文件添加到工程中,通过调用该模块中的全局变量就能实现数据的连续采集了。

画图和时间常数的计算是通过 VC 调用 MATLAB 来实现的。用 MATLAB 编写完画图和计算时间常数的函数后,分别将它们生成两个不同的 COM 组件,为了使组件能够在其他计算机上使用,就需要将 COM 组件打包,然后将生成的 COM 组件对应的 DLL 文件添加到 VC 工程的引用中去,这样就可以在 VC 中进行使用了。

4 测试结果与分析

该系统采用的是 12 位的 A/D 采集卡,采样频率是 33.33 kHz,输入电压的范围是 $-5\text{ V} \sim +5\text{ V}$,测试精度是 $10/2^{12} \approx 0.0024\text{ V}$ 。下面分别给出利用我们设计的时间常数测试系统对一个热敏探测器进行测试所得出的采集波形以及时间常数,并根据波形进行分析。

4.1 电压随时间变化的整体曲线

图 4 是利用我们设计的测试系统采集数据后通过 VC 调用 MATLAB 所画出的波形。

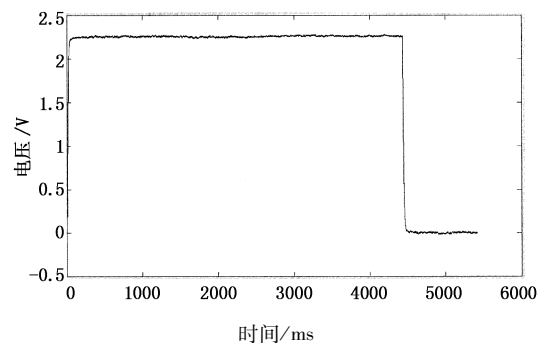


图 4 测试系统采集数据后画出的波形

Fig. 4 waveform drawn by the test system

图 4 显示出了在整个采集的过程中,采集的电压值随时间变化的关系。可以看出,当打开激光光源,使光照射探测器时,产生的电压信号达到稳定值需要一定的时间,当关闭激光光源停止光照时,电压信号完全消失也需要一定的时间。信号产生和消失的这种滞后过程称为热敏探测器的惰性,通常用时间常数来表示惰性的大小。

4.2 上升沿曲线

要计算热敏探测器的时间常数就需要分析所采集的波形的上升沿,将图 4 的波形进行局部放大,使其显示出采集的电压值随时间逐渐上升直到稳定的过程。局部放大后的波形如图 5 所示。

从图 5 可以看出,通过 VC 调用 MATLAB 的图形输出技术,所画的波形的局部放大功能非常好,即使放大很多倍,曲线依然很清晰、平滑,这也说明我们采集的数据噪声很小,这对时间常数的计算是十分有利的。

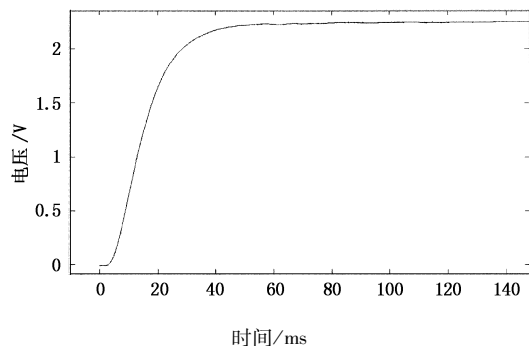


图5 测试系统采集的上升沿

Fig.5 the rising curve sampled by the test system

4.3 时间常数

用该测试软件直接计算出被测的热敏探测器

表1 对同一个热敏探测器连续测量10次的结果

Tab.1 the result of testing the same detector for 10 times

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
时间常数/ms	13.38	13.44	13.41	13.35	13.32	13.38	13.47	13.41	13.44	13.35

传统上,通过观看示波器上的波形,依靠人眼去估算最大值的63.2%,然后读出从起始点到最大值的63.2%所对应的时间即为时间常数^[10-11],但是这种方式引起误差的原因太多,采集出同一个波形,不同的人能读出不同的时间常数。而且把示波器上的波形拉得太大的话会看不清楚,读数的误差就更大了,虽然可以采用较为精确的示波器,但是这样示波器的成本会很高。

从表1可以看出,对同一个热敏探测器连续进行10次测量,测量的结果都在13.38 ms左右,测得的时间常数的最大值和最小值相差只有0.15 ms,相对误差只有1.1%。这说明该测试系统的测量精度是相当高的,并且该系统的重复性也是相当好的。

该测试系统能够方便地对不同的热敏探测器的时间常数进行测试,不同的探测器都有一组自己的测试数据和一副自己的采集波形图,并有一个自己的时间常数,看起来简单、方便、直观。

5 结论

本文开发了一种新型的测量热敏探测器时间常数的测试系统,它采用半导体激光器作为辐射源,使得仪器易做到小型化,而且该系统操作简单,方便实用,最重要的是能够较精确的测量热敏探测器的时间常数,为工农业生产、航空航天、军用民用等许多领域选择合适的响应速度的热敏探测器以及测量热敏探测器的时间常数提供了一种强有力的工具。

该测试系统测量的重复性好、精度高,具有较强

的时间常数是13.38 ms。在这个测试系统中,测量的时间常数产生误差的原因主要有:①热干扰:环境温度以及空气流动对探头元件性能的影响,以及杂散的热信号进入探测器引起的干扰。虽然在测量的时候,探测器是用黑色的镜筒罩着的,但是还是会有少量的热信号进入探测器从而引起误差;②探测器本身有少许噪声;③电磁干扰;④振动干扰。

为了检测该测试系统的稳定性以及测量的精确性,我们对同一个探测器的时间常数连续测量了10次,每相邻两次之间的时间间隔是1 min,测量的结果如表1所示。

的应用价值,可供相关测试参考,而且系统的成本不是很高,相比高精度的示波器,该系统的成本要低得多,并且其稳定性较好,可长期使用。因而具有良好的社会效益与经济效益。

参考文献:

- [1] 李乔龙. 热敏电阻红外探测器应用中的几个问题[J]. 铁道车辆,1976,(5):8-15.
- [2] 黄亮,郝晓剑,周汉昌. 热电偶时间常数测试技术研究[J]. 传感器世界,2006,(9):16-18.
- [3] 郑阳新. 热敏电阻器热时间常数测试方法的研究[J]. 仪表技术与传感器,1989,(6):36-39.
- [4] 杨淑连. 热电阻时间常数的测试[J]. 传感器与微系统,2006(5):73-74,77.
- [5] 王景武. 热电探测器的脉冲响应[J]. 激光与红外,1983(2):43,49-51.
- [6] 高业胜. 红外探测器时间常数测试系统(一)[J]. 航空计测技术,1999(5):9-12.
- [7] 高业胜. 红外探测器时间常数测试系统(二)[J]. 航空计测技术,1999(6):13-15.
- [8] 杨述平. 激光调制法的热电偶时间常数测量[J]. 中北大学学报:自然科学版,2007(3):246-250.
- [9] 赵虎,简献忠,居滋培. 热探测器特性测试系统的开发[J]. 仪器仪表学报,2005(Z1):241-242,245.
- [10] 李德裕,邵伟,王文晶. 红外探测器频率响应和时间常数[J]. 试验技术与试验机,2002,(3):26,59.
- [11] 路立平,冯建勤,鹿晓力. 温度传感器的热时间常数及其测试方法[J]. 仪表技术与传感器,2005,(7):17-18.