

一种红宝石荧光光纤温度传感器的研究

刘 英

(广东佛山高明电视大学理工部 佛山 528000)

刘桂雄

(华南理工大学机电工程系 广州 510641)

摘要 介绍一种基于具有稳定的物理和化学性能、价格便宜的红宝石晶体荧光光谱温度特性的光纤温度传感器的原理及系统设计方法。研究表明,该光纤传感器具有性能稳定、成本低的特点,特别适合于对大型机电设备内部温度以及各种加热炉、感应炉的温度测量。

关键词 红宝石 温度传感器 光纤传感器

1 引 言

光纤温度传感器它一改常规热电偶、热敏电阻、辐射式温度计等测温方式,用介质材料取代金属材料,用光信号取代电信号,从根本上避免了电磁场的干扰,并可用于易燃易爆强腐蚀的环境下,所以自70年代末以来得以迅速发展,并已经成为监测大型发电机转子动态温度,检测高压电力传输线附近元部件的温升、以及加热炉和感应炉温度的重要手段。

目前研究较多的有液晶型传感器、砷化镓半导体吸收式传感器、液体组元式传感器和荧光型传感器。由于上述传感器的敏感材料的温度特性受环境影响较大,要求传感器具有长期稳定性将存在着一定的困难,这也阻碍了产品化的进程。作者从90年代初起,查阅了国内外有关文献资料以及进行了大量调研后发现,红宝石晶体具有稳定的物理及化学特性,而且价格便宜,利用其荧光光谱是温度的函数,做成光纤传感器将很具有吸引力。在本文中,作者将就红宝石荧光光纤温度传感器的原理、系统结构设计以及信号处理方法等方面的内容作简单全面的介绍。

2 红宝石荧光光纤温度传感器

2.1 红宝石晶体荧光谱与温度的关系

早在 1963 年,著名学者 G. Burn 和 M. Nathan 提出了红宝石(含有 0.05% Cr_2O_3 的 Al_2O_3 晶体)量子效率理论^[1]。认为 Al_2O_3 中 Cr^{3+} 的量子效率从 77 到 240 不随温度变化恒为 1, 而 R 线区的量子效率随温度升高呈下降的趋势。一方面红宝石荧光的总辐射能独立于温度, 另一方面荧光辐射能的分布随温度的变化而变化。

由于荧光谱的温度特性关系着传感器的整体设计方案, 因此, 我们用岛津 FR-540 荧光光谱仪对安徽光机所生产的红宝石进行荧光温度光谱特性测定。通过对红宝石在 20 ~ 150 的荧光光谱测试分析, 发现红宝石在 40 ~ 150 具有良好的温度特性, 荧光谱曲线下的面积随温度的升高在 600 ~ 700nm 波段线性下降, 700nm 以后波段基本不随温度变化。此外, 回差实验中也证明了红宝石作为温敏元件有着很小的回程误差; 用不同峰值波长的光源激发红宝石晶体的实验, 也表明了选用绿色光源激发红宝石将是较佳选择。我们的设计方案正是基于上面的实验结论考虑的。

2.2 传感器的方案及结构设计

根据上面的实验结论和基于性能稳定、结构简单、造价低的原则, 红宝石荧光光纤温度传感器的原理图如图 1 所示。图中 LED 为中心波长 565nm 的绿色发光二极管; P 为红宝石探头; Y 为分光比为 3.5 : 1 的 Y 型分路器; F_1 、 F_2 为高通红色截止型玻璃 HB700、HB600; PIN-FET 为具有放大作用的光电探测器。

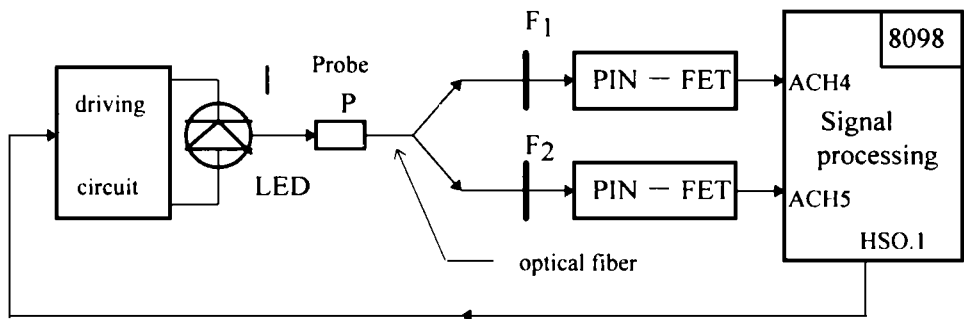


Fig. 1 The illustration of sensor principle

传感器的工作过程为 8098 单片机发出空度比为 56% 的方波通过驱动电路, 驱动绿色发光二极管, LED 与大芯径石英光纤直接耦合, 激励光通过光纤去激发红宝石 P 发出荧光, 此荧光通过 Y 型分路器分成二路: 一路为信号臂, 一路为参考臂, 分别滤光后进入两个特性基本一致的光电探测器, 转换成电压信号, 然后用单片机进行数据处理, 求得温度值。

一般截取 R 线区的荧光信号要用到金属膜窄带干涉滤光片, 而传感器中选用高通红色截止型玻璃 HB700、HB600。这是由于目前国内生产的金属膜窄带干涉滤光片峰值透过率较低、

受潮后透过波长易变、寿命短,有色玻璃则性能较稳定、透过率高、品种齐全。截取 700nm 以后的荧光信号作为信号臂,600nm 以后的信号作为参考臂(可滤去透射过来的激励光),这样在信号处理上采用了信号臂与参考臂的比较,就可克服激励光源指数衰减带来的测量误差。在实验中发现信号臂荧光强度要远远弱于参考臂,通过观测输出值,将两路信号的分光比调整为 3.5 : 1 较为合适。

此外,红宝石晶体中 Cr^{3+} 的吸收带在光谱的蓝区和绿区,所以光路中使用了绿色高亮度自聚光发光二极管与大芯径多模光纤相耦合,由于 LED 发光点周围采用了微型凹面镜进行聚光,使其散射角减少到 30° ;提高了光纤与光源的耦合效率。探头的制作是整个传感器设计的难点和重点,当激励光穿过红宝石时,将在晶体内形成了一条光带,光带四周伴有荧光散射,为了高效率的接收荧光信号,避开透射过来的激励光,应适当地选择红宝石的直径和长度,并在表面涂上银粉,以保证较高的荧光接收率。

2.3 信号处理方法及检测电路

红宝石荧光衰变时间常数是温度的函数,室温下寿命时间常数 $t = 3.5\text{ms}$,为了有效地提取荧光余辉信号,选择 LED 的调制频率不宜过高,但仪表有一定的实时性要求,调制频率又不宜太低,故驱动电流的周期定为 32ms,其中 LED 开 14ms 关 18ms。由于传感器的设计采用了输入光纤与输出光纤对接的方式,将一部分激励光穿透红宝石。虽然在荧光信号进入光电探测器之前,通过了玻璃滤光片,但荧光中仍掺有激励光,因此我们在提取 LED 熄灭后荧光信号,用荧光衰减的面积,反映此时被测物体的温度。

考虑采样信号波形应满足的要求,因此需要设计一个高性能的检测电路。电路应能提高 S/N 比,消除电源电压及电子器件带来的高低频噪声,补偿电子线路的温漂,同时有较宽的工作频带,使放大后的波形基本能反映荧光的衰变规律。检测与放大电路原理图如图 2 所示。

光电探测器输出的电压

经过一级放大后直接进入 8098 的 A/D 通道,外围电路简单,减少了电子线路带进的各种噪声。当然如果反映温度变化的荧光较弱,也可通过软件放大,克服硬件放大电路带来的热噪声,提高传感器的精度。

2.4 实验研究

传感器的性能测试实验装置如图 3 所示。所用装置主要有:上海 501 型超级恒温水浴、国家二等标准水银温度计、5 $\frac{1}{2}$ 位数字电压表和示波器等。在实验中,探头受恒温水浴温度的影响,促使输出信号发生变化,用 5 $\frac{1}{2}$ 数字万用表可测得输出电压有效值随温度的变化规律及变化的灵敏度。其测试结果如表 1 所示。从实验结果可以看出,传感信号输出 V_2/V_1 随探头所在

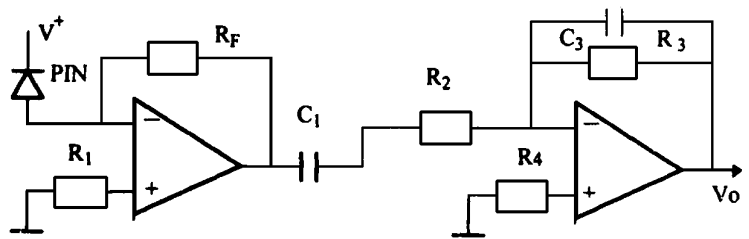


Fig. 2 Detecting and amplifying circuit

恒温水浴温度的升高而减小, 并成为较好的线性关系。计算可以发现, 若用直线方程来代替实验曲线, 则实验曲线的最大非线性度约为 8.9%, 故在信号处理软件中, 可采用分段线性化来提高线性度。

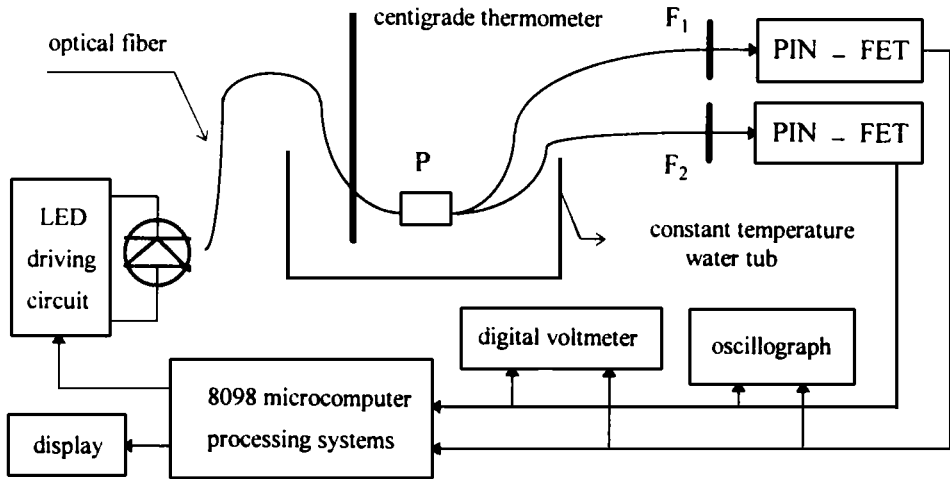


Fig. 3 Schematic diagram of sensor testing

Table 1 Results of testing sensor

temperature t ()	20	30	40	50	60	70	80	90	95
output V_2/V_1	0.9746	0.9740	0.9732	0.9635	0.9537	0.8760	0.7996	0.7143	0.6755

3 结 束 语

本文简要地介绍一种红宝石荧光光纤温度传感器的原理、系统结构设计和信号处理方法等方面的内容, 该传感器充分利用红宝石晶体有着稳定的物理及化学性质、价格便宜, 拥有良好的荧光光谱温度特性, 做成新一类光纤传感器将很具吸引力。

由于条件限制, 传感器选用国产红宝石, 含有其他杂质和荧光效率不高。如果能解决感温材料的质量问题且在晶体加工时注意取向, 相信传感性能会大大提高。

参 考 文 献

- 1 Burns G, Nathan M. Quantum Efficiency of Ruby. J of Appl Phys, 1963, 34(3): 703 ~ 708
- 2 张兆威, 王兆民. 激光光谱学原理及技术. 北京: 北京理工大学出版社, 1990

The Research on a Ruby Fluorescence Optical Fiber Temperature Sensor

LIU Ying

(Dept. of Science and Technology, TV University of Feshan Gaoming, Feshan 528000)

LIU Gui-Xiong

(Dept. of Mechatronic Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641)

Abstract

In this paper, the system design and principle of a optical fiber temperature sensor are presented. It is based on the fluorescence emission spectrum of ruby crystal that has stable physical and chemical characters and low price. The result of research proves that the optical fiber sensor has stable character and low cost, specially fits for detecting the inside temperature of large machinery electricity equipments and all kinds of heating furnace and inducting furnace.

Key words: Ruby, Temperature sensor, Optical fiber sensor

刘 英 女, 1992年毕业于天津大学, 获自动化仪表与装置工学硕士学位, 毕业后一直从事光电技术及自动化仪表方面的教学与科研工作, 承担过大型进口机电设备的安装、调试和改造工程。现为广东佛山高明电视大学教师。