

# 一种实用化实时测温系统工作波长优化设计的进一步分析\*

施德恒<sup>1,2,3</sup> 刘玉芳<sup>1</sup> 孙金锋<sup>1,3</sup> 陈玉科<sup>2</sup> 黄国庆<sup>2</sup>

(1 河南师范大学物理系, 新乡 453002)

(2 空军第一航空学院基础部, 信阳 464000)

(3 四川大学原子与分子物理研究所, 成都 610065)

**摘要** 基于 Kirchhoff 定律, 依照测温系统的各主要技术参数与各主要技术指标(温度分辨力、测温灵敏度、相对测温灵敏度及测温准确度)之间的关系, 对利用激光并采用钽酸锂热释电探测器作光电转换器件的实用化实时测温系统的工作波长进行了进一步的优化设计. 实验表明, 在测温范围 400 ~ 1200 °C 内, 系统的测温误差符合设计要求.

**关键词** 辐射测温; 热释电探测器; 温度分辨力; 测温灵敏度; 测温准确度 半导体激光器

**中图分类号** TN247 **文献标识码** A

## 0 引言

可以将高温的测量方法分为接触式测温法和非接触式测温法两类<sup>[1]</sup>. 就非接触式的辐射测温法而言, 又可将其分为被动式辐射测温法<sup>[2-4]</sup>及主动式辐射测温法<sup>[5-8]</sup>两种. 在主动式辐射测温法中, 有使用主动红外辐射源作为测量光源的<sup>[8]</sup>, 也有使用半导体激光器作为测量光源的<sup>[5-7]</sup>.

在主动式辐射测温系统中, 由于使用了激光器或红外辐射源作为系统的测量光源, 因而都能实时、准确地测出被测目标的真实温度, 且都具有较高的测温确定度和灵敏度.

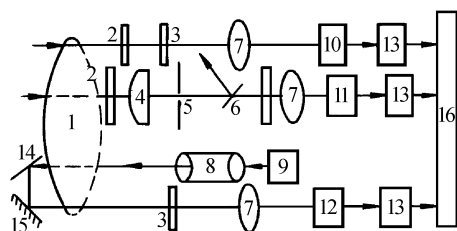
研究表明, 在采用钽酸锂热释电探测器作光电转换器件并使用半导体激光器作测量光源的测温系统中, 仪器的测温确定度受多种因素的影响. 文献[9~12]分别从仪器测温的标准差、系统的温度分辨力、测温范围、相对孔径之间的相互制约关系以及抗干扰能力等多方面对仪器的工作波长、波长带宽、光源及其它技术参数(如相对孔径等)进行了优化设计, 并详尽地分析了系统的抗反射辐射的能力. 本文则在文献[10]的基础上, 从探测器的温度分辨力、探测器输出的  $V(T) \sim T$  曲线的温度灵敏度和相对温度灵敏度以及与系统的测量精度间的相互制约关系出发, 对其工作波长的优化设计进行进一步的分析. 结果表明, 在系统工作波长  $\lambda = 2.00 \mu\text{m}$  时, 可使  $V(T) \sim T$  曲线的温度灵敏度和相对温度灵敏度处于最佳位置. 同时, 也能使测温准确度达到

最小, 温度分辨力达到最大.

## 1 系统结构与测温原理

### 1.1 系统结构

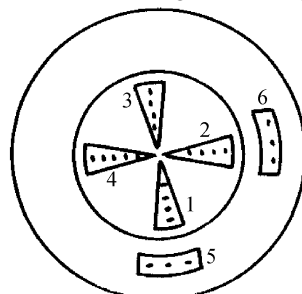
图1为实用化实时测温系统的原理结构方框图. 仪器工作时, 半导体激光器产生的连续激光束, 先由准直镜准直、扩束镜扩束、调制盘(见图2, 其中, 1、2、3、5、6用于透过激光、红外辐射; 4仅用于透过红外辐射. 1、2、3、5、6与4的中心波长不同; 1、2、3与5、6的带宽不同)调制成脉冲激光束, 再由分束



1: chopper; 2: protection window; 3: narrow-band optical filter; 4: objective lens; 5: aperture stop; 6: field stop; 7: focusing lens; 8: collimating and extending lens; 9: laser diode; 10: synchronous detector; 11: measurement detector; 12: monitoring detector; 13: signal amplifying and controlling circuit; 14: beam splitter; 15: reflector; 16: chip microprocessor system

图1 系统的原理结构简图

Fig. 1 Schematic diagram of the system



1, 2, 3, 4: narrow-band optical filter; 5, 6: synchronous filter

图2 调制盘结构简图

Fig. 2 Schematic diagram of the chopper

\*河南省科技攻关计划项目(编号:001120321)

Tel: 0373-3869326 Email: scattering@sina. com. cn

收稿日期: 2003-06-25

镜分束后发射. 一方面, 检测接收镜头接收到的光信号, 经调制盘调制、滤波后, 再经由钽酸锂热释电探测器(检测探测器)构成的光电转换系统转换成电信号; 另一方面, 经分束器分出的一部分激光能量, 经窄带干涉滤光片滤光后也由钽酸锂探测器(监测探测器)转变成电信号, 该信号用于标准化激光光源的发射能量.

透过调制盘上镶嵌的同步滤光片的光信号, 也由钽酸锂探测器(同步探测器)转变成电信号. 该信号用于后续各个电路的触发与同步.

## 1.2 测量原理

当无激光束进入检测探测器时, 检测探测器接收到的仅是待测目标的辐射能  $P_1$

$$P_1 = \frac{\pi}{4} \left( \frac{D}{f'} \right)^2 \tau_0 A \eta \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon_\lambda \tau_\lambda L_\lambda d\lambda \quad (1)$$

式中,  $D$  为入射光瞳直径;  $f'$  为光学系统的焦距;  $\tau_0$  为大气的衰减系数;  $A$  为探测器的灵敏元面积;  $\eta$  为调制盘的调制系数;  $\varepsilon_\lambda$  为温度为  $T$  的待测目标在波长  $\lambda$  处的发射率;  $L_\lambda$  为温度为  $T$  的黑体在波长  $\lambda$  处的单色辐出度;  $\tau_\lambda$  为光学系统对波长为  $\lambda$  的光的总透过率.

当有激光束进入检测探测器时, 检测探测器接收到的能量  $P_2$  则由待测目标反射的激光能量及待测目标辐射的红外能量这两部分组成

$$P_2 = \frac{\pi}{4} \left( \frac{D}{f'} \right)^2 \tau_0 A \eta \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon_\lambda \tau_\lambda L_\lambda d\lambda + \frac{\pi}{4} \left( \frac{D}{f'} \right)^2 \tau_0 A \eta \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \gamma \beta \tau_\lambda E_\lambda d\lambda \quad (2)$$

式中,  $\gamma$  为待测目标表面的反射率;  $\beta$  为待测表面镜面反射特性的光学校正系数;  $E_\lambda$  为入射待测表面的单色激光能量.

由基尔霍夫定律, 可以得出

$$\gamma = 1 - \varepsilon_\lambda \quad (3)$$

在极窄的波段(带宽  $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = 10 \text{ nm}$ )内, 可以认为  $\varepsilon_\lambda$  及  $\tau_\lambda$  均与波长无关. 文献[5]也已指出, 对于同一待测面,  $\beta$  是常数. 据此, 可将式(1)、(2)简化为

$$P_1 = \frac{\pi}{4} \left( \frac{D}{f'} \right)^2 \tau_0 A \eta \varepsilon_\lambda \tau_\lambda \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_\lambda d\lambda \quad (4)$$

$$P_2 = \frac{\pi}{4} \left( \frac{D}{f'} \right)^2 \tau_0 A \eta \varepsilon_\lambda \tau_\lambda \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_\lambda d\lambda + \frac{\pi}{4} \left( \frac{D}{f'} \right)^2 \tau_0 A \eta \gamma \beta \tau_\lambda \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda d\lambda \quad (5)$$

由式(4)、(5)可以导出

$$\varepsilon_\lambda = 1 - \frac{4f'^2(P_2 - P_1)}{\pi D^2 \tau_0 A \eta \tau_\lambda \beta P_3} \quad (6)$$

式中

$$P_3 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda d\lambda \quad (7)$$

为入射待测目标表面的激光能量, 由监测探测器监测得到. 再结合黑体辐射公式

$$L_\lambda = 2\pi hc^2 \lambda^{-5} [\exp(hc/\lambda kT) - 1]^{-1} \quad (8)$$

即可算出待测目标的温度. 式中,  $h$  为普朗克常数,  $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $k$  为玻耳兹曼常数,  $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ ;  $c$  为光速,  $c = 2.998 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

## 2 系统优化设计的进一步分析

### 2.1 基于系统温度分辨力的考虑

高温下当黑体的温度  $T$  改变  $\Delta T$  时, 波长  $\lambda$  处的单色辐射能  $L_\lambda$  的改变量  $\Delta L_\lambda$  可表述为

$$\Delta L_\lambda = \int_T^{T+\Delta T} \frac{\partial L_\lambda}{\partial T} dT \quad (9)$$

当  $\Delta T$  很小时, 式(9)可简化成

$$\Delta L_\lambda = \left( \frac{\partial L_\lambda}{\partial T} \right) \Delta T \quad (10)$$

由式(8)得

$$\frac{\partial L_\lambda}{\partial T} = \frac{2\pi h^2 c^3}{k} \frac{\exp(hc/\lambda kT)}{\lambda^6 T^2 [\exp(hc/\lambda kT) - 1]^2} \quad (11)$$

根据式(4), 可以导出当温度  $T$  改变  $\Delta T$  时, 系统接收到的辐射能变化量为

$$\Delta P_1 = \frac{\pi}{4} \left( \frac{D}{f'} \right)^2 \tau_0 A \eta \varepsilon_\lambda \tau_\lambda \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Delta L_\lambda d\lambda \quad (12)$$

在极窄的波段内, 可近似认为  $\Delta L_\lambda$  不随  $\lambda$  变化. 据此, 可将式(12)简化为

$$\Delta P_1 = \frac{\pi}{4} \left( \frac{D}{f'} \right)^2 \tau_0 A \eta \varepsilon_\lambda \tau_\lambda \Delta L_\lambda \Delta\lambda \quad (13)$$

只有当系统接收到的辐射能的变化量  $\Delta P_1$  不小于钽酸锂热释电探测器的噪声等效功率时, 才能引起系统的响应. 即

$$\Delta P_1 \geq NEP \quad (14)$$

式中

$$NEP = \frac{V_s}{V_N} \frac{\sqrt{A \Delta f}}{D^*} \quad (15)$$

式中,  $V_s/V_N$  为信噪比, 在推算系统的极限灵敏度时, 取  $V_s/V_N = 1$ ;  $D^*$  为探测器的探测率;  $\Delta f$  为后续的选频放大器的带宽.

将式(10)、(11)、(13)及式(15)代入式(14)中, 可以导出

$$\Delta T = \frac{2kT^2 \lambda^6 \sqrt{A \Delta f}}{\pi^2 h^2 c^3 \tau_0 A \Delta\lambda \eta \tau_\lambda D^* \varepsilon_\lambda (D/f')^2} \cdot \frac{[\exp(hc/\lambda kT) - 1]^2}{\exp(hc/\lambda kT)} \quad (16)$$

式(16)中的  $\Delta T$  即为系统的温度分辨力.

对于实际的测量环境, 可取大气的传播系数  $\tau_0 =$

0.80, 光学系统的光的总透过率  $\tau_\lambda = 0.50$ , 钽酸锂热释电探测器的探测率  $D^* = 7.0 \times 10^7 \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \text{ W}^{-1}$ , 探测器的灵敏元面积  $A = \pi(0.1/2)^2 \text{ cm}^2$ , 调制盘的调制系数  $\eta = 0.80$ , 实际系统所用的窄带干涉滤光片的光谱带宽  $\Delta\lambda = 10 \text{ nm}$ , 选频放大器的带宽  $\Delta f = 10 \text{ Hz}$ , 光学系统的焦距  $f' = 15 \text{ cm}$ , 通光口径  $D = 10 \text{ cm}$ , 并以抛光的钢铸件(温度  $370 \sim 1040 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\varepsilon_\lambda = 0.52 \sim 0.56$ )作为测量对象(为讨论方便,  $\varepsilon_\lambda$  取平均值:  $\varepsilon_\lambda = 0.54$ ).

按式(16)作出的系统的温度分辨力随系统工作波长的变化曲线, 如图3所示. 由图3可见, 对同一温度进行测量时, 系统的工作波长越短, 其温度分辨力的值就越大, 也即系统对被测温度变化的反应就越不灵敏. 但这并不意味着系统的工作波长越长, 系统对温度变化的反应就越灵敏. 由曲线的变化趋势可明显地看出, 系统的极限灵敏度随波长的变化存在着一个极值点, 且这个极值点的位置随被测温度的不同而变化较大. 但总的来讲, 这个极值点介于  $2.0 \sim 3.0 \mu\text{m}$  之间.

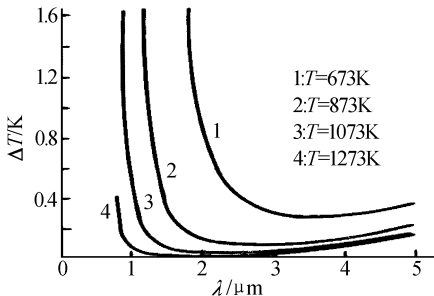


图3 在不同的温度  $T$  下, 系统的温度分辨力  $\Delta T$  随系统工作波长  $\lambda$  的变化曲线

Fig.3 Temperature resolving power  $\Delta T$  versus working wavelengths  $\lambda$  at different temperatures  $T$

### 2.2 基于 $V(T) \sim T$ 曲线温度灵敏度的考虑

仪器的测温准确度不仅受探头部分的温度分辨力的影响, 还受二次仪表的测温灵敏度的约束. 对本仪器而言, 二次仪表的测温灵敏度则又由  $V(T) \sim T$  曲线的灵敏度、电路的放大倍数及 A/D 芯片的分辨率决定. 由于  $V(T) \sim (T)$  曲线是进行温度测量的基础, 因此为保证二次仪表的测温灵敏度, 通过优化系统参数来保证  $V(T) \sim (T)$  曲线的温度灵敏度十分重要<sup>[13]</sup>.

当无脉冲激光束入射待测目标的表面时, 钽酸锂热释电探测器输出的电信号的强度  $V(T)$  可写成<sup>[14]</sup>

$$V(T) = R(\lambda)P_1 \tag{17}$$

式中  $R(\lambda)$  为光电探测器的光谱响应度, 定义为探测器输出的电压信号的强度与探测器接收到的光辐射通量之比值.

为分析上的方便, 同时也不失一般性, 取  $R(\lambda)$

=1. 于是, 式(17)可简化成

$$V(T) = P_1 \tag{18}$$

如果将待测温度每变化  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  时, 信号电平的变化量定义为  $V(T) \sim T$  曲线的温度灵敏度  $S$ <sup>[14,16,17]</sup>. 则有

$$S = \frac{\Delta V(T)}{\Delta T} \tag{19}$$

据此容易写出某一温度点处的测温灵敏度

$$S = \frac{\partial V(T)}{\partial T} \tag{20}$$

利用式(4)可以导出

$$S = \frac{\pi}{4} \left( \frac{D}{f'} \right)^2 \tau_0 A \eta \varepsilon_\lambda \tau_\lambda \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\partial L_\lambda}{\partial T} d\lambda \tag{21}$$

将式(11)代入式(21)中, 并利用  $\Delta\lambda$  很小这一近似条件, 可以导出

$$S = \frac{\pi}{4} \left( \frac{D}{f'} \right)^2 \tau_0 A \eta \varepsilon_\lambda \tau_\lambda \frac{2\pi h^2 c^3}{k} \cdot \frac{\exp(hc/\lambda kT)}{\lambda^6 T^2 [\exp(hc/\lambda kT) - 1]^2} \Delta\lambda \tag{22}$$

仍以前述抛光的钢铸件作为测量对象. 在不同的系统工作波长下按式(22)作出的测温灵敏度随被测温度的变化曲线, 以及在不同的被测温度下作出的测温灵敏度随系统工作波长的变化曲线, 分别如图4、5所示.

由图4、图5可见: 1) 在同一波长、不同的温度下进行测量, 则被测温度越高,  $V(T) \sim T$  曲线的温度灵

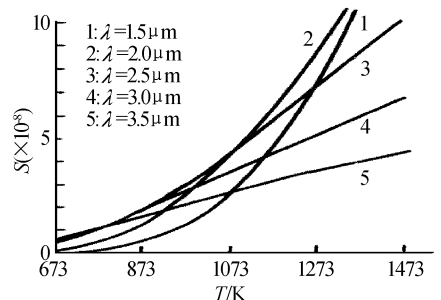


图4 不同波长下的温度灵敏度  $S$  随被测温度  $T$  的变化曲线

Fig.4 Sensitivity  $S$  versus temperature  $T$  at different working wavelengths  $\lambda$

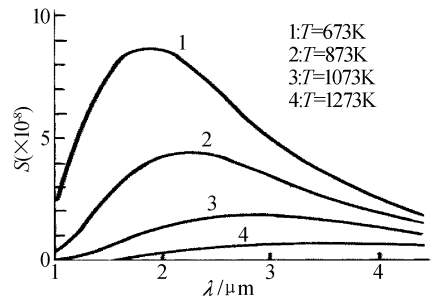


图5 不同被测温度下的温度灵敏度  $S$  随波长  $\lambda$  的变化曲线

Fig.5 Sensitivity  $S$  versus working wavelengths  $\lambda$  at different temperatures  $T$

灵敏度就越高,反之,则越低;2)在不同波长、同一温度下进行测量,则  $V(T) \sim T$  曲线的温度灵敏度随工作波长的变化明显地存在着一个极值点,且这个极值点在仪器的测温范围内大致位于  $1.8 \sim 3.0 \mu\text{m}$  之间.

### 2.3 基于大气透射窗口的考虑

图6给出了  $1.0 \sim 3.0 \mu\text{m}$  内海平面  $300 \text{ m}$  长度的路径上大气的透射光谱曲线<sup>[14]</sup>. 由图8显见,在  $1.0 \sim 3.0 \mu\text{m}$  范围内,仅在  $1.0 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 、 $1.3 \sim 1.8 \mu\text{m}$ 、 $2.0 \sim 2.4 \mu\text{m}$  区域内,才能避开  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$  等的光谱吸收.

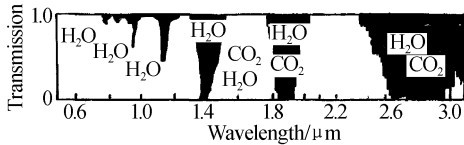


图6  $1.0 \sim 3.0 \mu\text{m}$  内的大气透射谱

结合2.1、2.2节得出的结论,系统的工作波长若介于  $2.0 \sim 2.4 \mu\text{m}$  之间,则既能满足系统对温度分辨力的要求,又能使  $V(T) \sim T$  曲线的温度灵敏度处于最佳位置.

### 2.4 基于 $V(T) \sim T$ 曲线的相对温度灵敏度及测温确定度的考虑

为进一步分析比较,定义当待测目标表面的温度每变化  $1 \text{ K}$  时,  $V(T) \sim T$  曲线的相对变化量为系统的相对温度灵敏度  $S_r$ <sup>[14,16,17]</sup>.

$$S_r = \left( \frac{\Delta V}{V} \right) / \left( \frac{\Delta T}{T} \right) \quad (23)$$

据此可以导出某一温度点处  $V(T) \sim T$  曲线的相对温度灵敏度

$$S_r = \frac{hc}{k} \frac{1}{\lambda T} \frac{\exp(hc/\lambda kT)}{\exp(hc/\lambda kT) - 1} \quad (24)$$

以  $S_r$  为纵坐标、以  $\lambda T$  为横坐标作出的  $S_r \sim \lambda T$  曲线,如图7所示.

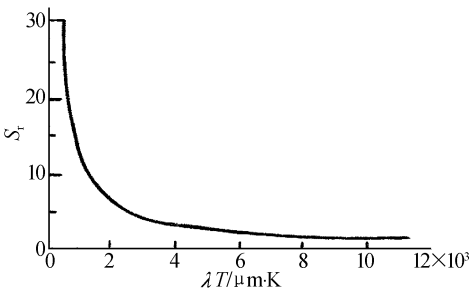


图7 相对温度灵敏度  $S_r$  随  $\lambda T$  的变化曲线

Fig. 7 Curve of  $S_r$  versus  $\lambda T$

由图7可以看出,当  $\lambda T < 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}$  时,  $S_r \sim \lambda T$  曲线十分陡峭,也即  $S_r$  随  $\lambda T$  的变化十分灵敏. 这说明,当  $\lambda$  确定时,只要被测温度有微小的变化,就能引起  $S_r$  较大的变化.

为进一步阐明相对温度灵敏度的含义,将式(23)改写成

$$\Delta T = T \Delta V(T) / [V(T) S_r] \quad (25)$$

式(25)表明,当干扰光造成探头输出的电信号波动为  $\Delta V(T)$  时,因该光干扰引起的温度波动为  $T \Delta V(T) / [V(T) S_r]$ . 因此,相对温度灵敏度  $S_r$  越高,则  $\Delta T$  越小,也即测量结果越准确.

本仪器要求准确测量的温度范围为  $400 \sim 1200^\circ\text{C}$ , 因此只要系统的工作波长  $\lambda < \frac{2898}{1473} \approx 2 \mu\text{m}$ , 其  $S_r \sim \lambda T$  曲线就可以处在十分灵敏的区域.

再结合上节得到的结果,并结合  $2.00 \mu\text{m}$  附近半导体激光器的实际情况和文献[9]对半导体激光光源发射能量的要求,本文选取  $\lambda = 2.00 \mu\text{m}$  作为系统的工作波长.

## 3 实验结果

以前述抛光的钢铸件作为测量目标,采用波长为  $2.00 \mu\text{m}$  的 InGaAs/I 半导体激光器作为激光光源、中心波长为  $2.00 \mu\text{m}$  的窄带干涉滤光片(带宽  $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = 10 \text{ nm}$ ) 进行测温实验,得到的实验结果见表1. 由表1可见实验结果是较为准确的.

表1 不同温度下的温度不确定度实验结果

temperature/K	701	848	954	1038	1279
measurement inaccuracy/K	1.0	1.5	1.9	2.1	2.4

## 4 结论

本文按照测温系统的各主要技术参数与各主要技术指标(温度分辨力、测温灵敏度、相对测温灵敏度及测温确定度)之间的关系,合理地确定了系统的工作波长,从而既保证了系统的测温灵敏度,又保证了系统的温度分辨力及测温确定度.

### 参考文献

- 1 Khan M A, Allemand C, Eagar T W. Noncontact temperature measurement I: interpolation based techniques. *Rev Sci Instrum*, 1991, **62**(2): 392 ~ 402
- 2 Hahn J, Rhee W C. Reference wavelength method for a two-color pyrometer. *Appl Opt*, 1987, **26**(24): 5276 ~ 5279
- 3 Hunter G B, Allemand C D, Eagar T W. Multiwavelength pyrometer. *Opt Eng*, 1985, **24**(6): 1081 ~ 1085
- 4 Tamura Y, Tatsuwaki M, Sugimura T, et al. Temperature measurement of steel in the furnace, In: *Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry*. New York: American Institute of Physics, 1982, **5**: 505 ~ 512
- 5 Krivtsum V, Grass B, Hergenroder R, et al. Temperature measurement of liquids by differential absorption of two diode laser: Application of contactless optical detection in isotachophoresis. *Applied Spectroscopy*, 2001, **55**(9): 1251 ~ 1258
- 6 Fan C H, Longtin J P. Laser-based measurement of temperature or concentration change at liquids surfaces.

- Journal of Heat Transfer, Transactions ASME*, 2000, **122** (4):757~762
- 7 Kee H H, Lees G P, Newson T P. Technique for measuring distributed temperature with 35cm spatial resolution utilizing the Landau-Placzek ratio. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2000, **12**(7):873~875
- 8 胡瑞华, 栾松, 孙宁克. 发射率和温度同时测定的辐射测温仪. *红外技术*, 1998, **20**(2):21~22  
Hu R H, Luan S, Sun N K. *Infrared Technology*, 1998, **20** (2):21~22
- 9 施德恒, 黄国庆, 刘玉芳, 等. 一种实用化实时测温系统的优化设计. *光学学报*, 2003, **23**(11):1394~1401  
Shi D H, Huang G Q, Liu Y F, et al. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(11):1394~1401
- 10 施德恒, 黄国庆, 刘玉芳. 一种实用化实时测温系统工作波长的最优设计. *中国激光*, 2003, **30**(6):545~550  
Shi D H, Huang G Q, Liu Y F. *Chinese Journal of Lasers*, 2003, **30**(6):545~550
- 11 施德恒, 刘玉芳, 孙金锋, 等. 反射辐射和探测器本身的辐射对实时测温系统测温精度的影响及其抑制. *中国激光*, 2004, **31**(1):105-110  
Shi D H, Liu Y F, Sun J F, et al. *Chinese Journal of Lasers*, 2004, **31**(1):105-110
- 12 施德恒, 刘玉芳, 孙金锋, 等. 影响实用化实时测温系统测温精度的几个因素. *红外与毫米波学报*, 2004, (待发表)  
Shi D H, Liu Y F, Sun J F, et al. *J Infrared Milim Waves*, 2004, (to be printed)
- 13 施德恒, 孙金锋, 陈玉科, 等. 实用化高精度双波长光纤测温系统波长带宽的优化设计. *中国激光*, 2004, (待发表)  
Shi D H, Sun J F, Chen Y K, et al. *Chinese Journal of Lasers*, 2004, (to be printed)
- 14 Dewitt D P. Inferring temperature from optical radiation measurement. *Opt Eng*, 1986, **25**(4):596~601
- 15 王勇, 廖延彪, 辛军, 等. 实用化双折射式光纤温度传感器最佳设计. *光学学报*, 1999, **19**(1):87~92  
Wang Y, Liao Y B, Xin J, et al. *Acta Optica Sinica*, 1999, **19**(1):87~92
- 16 辛军, 冯其波, 林铁生, 等. 高精度双波长非接触光纤高温计的波长最优设计. *中国激光*, 1999, **A26**(2):121~126  
Xin J, Feng Q B, Lin T S, et al. *Chinese Journal of Lasers*, 1999, **A26**(2):121~126
- 17 王玮, 周邦全, 张在宣, 等. 分布型光纤拉曼温度传感器系统的测温精度. *光学学报*, 1999, **19**(1):100~105  
Wang W, Zhou B Q, Zhang Z X, et al. *Acta Optica Sinica*, 1999, **19**(1):100~105

## Further Analyses about Working Wavelength Optimization of a Practical Real-time Temperature Measurement System

Shi Deheng<sup>1,2,3</sup>, Liu Yufang<sup>1</sup>, Sun Jinfeng<sup>1,3</sup>, Chen Yuke<sup>2</sup>, Huang Guoqing<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Physics, Henan Normal University, Xinxiang 453002

<sup>2</sup> Department of Foundation, The First Aeronautical College of Air Force, Xinyang 464000

<sup>3</sup> Institute of Atomic and Molecular Physics, Sichuan University, Chengdu 610065

Received date: 2003-06-25

**Abstract** Based on the Kirchoff law, according to the relationships between various technical parameters and main specifications (temperature resolving power, temperature measurement sensitivity, relative temperature measurement sensitivity, and temperature measurement accuracy), an optimal method of the practical real-time temperature measurement system using laser diode and LiTaO<sub>3</sub> pyroelectric detector is proposed. Experimental results show that temperature measurement accuracy is suitable for our requirement in the range of 400~1200°C.

**Keywords** Temperature measurement by radiation; Pyroelectric detector; Temperature resolving power; Temperature measurement sensitivity; Temperature measurement accuracy; Laser diode



**Shi Deheng** was born on June 28, 1964, in Henna, China. He received the B. S. degree from Henan Normal University in 1987 and the M. S. degree from University of Science and Technology of China in 1990. Since 1990, he has been working in the First Aeronautical College of Air Force and specializing in atomic and molecular physics and applied optics. Now he is a doctoral student guided by professor Sun Jinfeng in Henan Normal University.