

文章编号: 1671-8836(2006)03-0323-04

用硅双结型色敏器件测量色温

饶 源¹, 陈炳若^{1,2†}

(1. 武汉大学 物理科学与技术学院, 湖北 武汉 430072;
2. 中国科学院 传感技术国家重点联合实验室, 上海 200050)

摘 要: 提出了一种用硅双结型色敏器件测量色温的方法. 在合理的测控电路下, 硅双结型色敏器件的电流对数比与实验灯泡的色温值呈良好的单值对应, 经单片机处理后可以得到分段线性关系. 通过对电流对数比与波长曲线的数据拟合, 结果表明, 用硅双结型色敏器件测量色温, 其测量温度可以到 10^4 K 以上, 精度可以达到 10 K. 本文的方法与传统方法相比减少了工作量, 降低了费用, 具有通用性和实用价值.

关 键 词: 硅双结型色敏管; 色温; 短路电流比-色温特性

中图分类号: TN 364 **文献标识码:** A

0 引 言

当一个实际光源所发出光的颜色和黑体在某一温度下热辐射光的颜色相同时, 就可以用黑体的这个颜色温度来表示光源的温度, 称为光源的色温^[1]. 它专门用来度量发光体颜色成分, 代表着光源的颜色特性和光谱特性. 摄影、电影放映和公共场所的照明, 对光源的色温有较高的要求, 在冶金、化工等工业领域及卫星监视等航空领域, 色温的确定更是必不可少的^[2].

传统色温测量主要采用两种方法: 用色温表测量光源色温是根据蓝灵敏光电探测器 $\bar{x}(\lambda)$ 和红灵敏光电探测器 $\bar{z}(\lambda)$ 的响应之比 z/x 求出相应光源的色温^[3], 这种方法使用简便, 但是色温表价格较高, 不利于普及. 用光谱辐射法测量色温主要是以光谱功率分布为基础, 计算出光源的色坐标、色温、显色指数、光强度和光通量. 此法读数精确, 但是工作量明显很大, 而且仪器费用更为昂贵.

由于硅双结型色敏器件具有尺寸小, 使用简单, 成本低等优点, 在单色光波长测量、复色光峰值波长的确定以及色差辨识方面的研究工作都得到了重要进展^[4]. 国内外的研究工作主要集中在对色敏器件结构和性能的改进上^[5~8], 但用它来测量色温, 迄今未见报道. 本文在对光源的色温进行理论计算的基

础上, 通过设计合理控制电路, 及单片机辅助处理, 对双结色敏器件的色温测量进行了实验研究, 给出了硅双结型色敏管的短路电流比与色温特性曲线, 为色温的测量提供了一个新的途径.

1 色温测量的实现

1.1 色温计算

单位黑体辐射理论是建立在热辐射基础上的, 像白炽灯(包括卤钨灯)一类热辐射体, 光源的光谱能量分布与黑体的光谱能量分布比较接近, 都是连续光谱, 用色温概念可很好地描述这类光源的颜色. 各种文献中采用的计算色温的公式不尽相同, 但基本上都肯定了色温随电压的线性变化, 本文选取一种使用较广、计算方便的近似公式, 其关系可以表示为:

$$\begin{aligned} U/U_0 &= (T/T_0)^{2.7}, \\ T &= T_0(U/U_0)^{1/2.7} \end{aligned} \quad (1)$$

式中: U_0 (V) 为光源的额定电压; U (V) 为光源的实际电压; T_0 (K) 为额定电压下光源的色温; T (K) 为实际电压所对应的实际色温.

对于固定的标准灯泡, 只要将加在灯上的电压(或通过灯的电流)调到同一数值, 也就是说灯丝被加热到同一温度时, 它发出的光亮度 and 光的颜色总是恒定的, 即色温总是一定的.

收稿日期: 2005-10-08 †通讯联系人 E-mail: brchen@whu.edu.cn
基金项目: 湖北省科技厅重点攻关项目资助(2002AA101B06)
作者简介: 饶 源(1982-), 女, 硕士生, 现从事半导体光电器件的应用及研制.

1.2 硅双结型色敏器件工作原理

硅双结型色敏器件由两个深浅不同的 PN 结构成,它的结构及等效电路如图 1 所示.硅双结型色敏器件的工作是基于入射光在硅中的入射深度随波长而变化的原理.波长不同的入射光所激发产生的光电流被这两个 PN 结的势垒区所收集时,会有不同的短路电流输出^[9],且深结短路光电流(I_{sc2})和浅结短路光电流(I_{sc1})比的对数 $\ln(I_{sc2}/I_{sc1})$ 与入射光波长有良好的线性关系,因此可以用电流比表征颜色,并很方便地由电流比确定入射光波长,进而识别颜色,分辨色差.

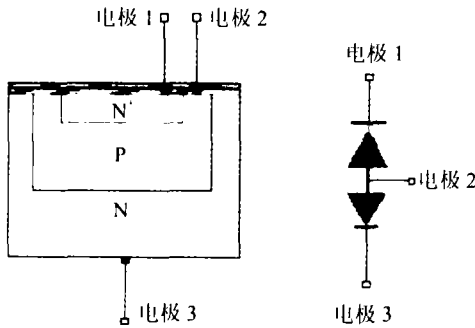


图 1 色敏器件的结构和等效电路图

在物理学中,如果对铁、钨等标准黑体从绝对零度(-273)起开始加温,随着温度升高,黑体会发出有颜色的可见光,光的颜色随着温度的升高而逐渐发生变化.在复色光探测时,短路电流比对应的波长就是其峰值波长,它仍是颜色的表征^{[10],[11]},推测它有望用于测量色温.

此外,与单个 PN 结探测光信号不同,光信号强度和环境的波动对双结色敏器件的深结和浅结光电流造成的影响是同步的,双结色敏器件输出的光电流只与光源的颜色信息有关,在使用中不受信号波动的影响,能稳定的反映光源特性.在色温探测时,只要色温不变、光源颜色不变,色敏器件两个结的光电流的比值就不会变化,因此不影响测量结果,这对使用者十分具有吸引力.同时,色敏器件还具有工艺简单、成本低、体积小、响应速度快等优点,有望用于实时的在线监测.

2 实验与方法

实验以白炽灯的色温为测量对象,白炽灯显色性好,便于控光,可以直接在标准电源上使用,且价格便宜.实验中采用的充气钨丝白炽灯额定电压为 6 V,额定功率为 15 W,其特征与标准照明体 A 光源十分相近,称其为类 A 光源,它在额定电压下的

色温约为 2 856 K^[12].充气钨丝白炽灯采用稳压电源提供稳定的工作状态.实验在标准光具座上进行,将白炽灯封闭起来,仅留一个小孔投射到硅双结色敏管上.色温判读的依据是两个结的短路电流,其准确的读取关系到测量精度,两个结的短路电流必须同时测量,不能先后进行.用两个内阻很小的 AC15/5 直流复射式检流计模拟短路状态,同时测量两个结的短路电流 I_{sc2} 与 I_{sc1} ,两个检流计的电学性能要尽可能挑选得一致.

硅双结色敏器件色温测量的实用化,还必须有合理的测控电路和应用程序支持.当待测光信号太小时,将影响探测的动态范围和精度,例如上述实验中探测的白炽灯下限电压是 3.5 V,相对的色温在 2 300 K 以上.对应于不同的色温,硅双结型色敏器件输出的电流信号十分微弱,一般为 20 ~ 50 nA,对这种光电信号必须放大.电路设计根据硅双结色敏器件的特性,为了保证双结色敏器件的电流比不因电流的放大而变化,两路光电流必须同时、等幅度放大.测控电路在硬件上分为放大、滤波、A/D 转换和单片机控制系统 4 部分,其工作原理框图如图 2 所示.第一级放大采用了 OP177 高性能运算放大器,它具有极高的精度,漏电流低、输入阻抗高,OP177 输出的信号虽然已经达到了 20 ~ 50 mV,但还是比较小,不能直接驱动后续的数字电路,还须加后续的放大电路.然而经过多级放大后的信号里不可避免地有很多干扰信号,为了将干扰信号降到最低,除了在单片机里进行了数字滤波外,在电路中还选用了二个二阶有源滤波器作为模拟滤波器.两个结的电流比是通过单片机来进行处理的,这就需把模拟信号转化为合适的数字信号.在这里为了兼顾系统的精度和成本,采用了 10 位 A/D 转换器 TLC1549.系统还设计了有补偿电路,以保证温度变化和时间变化对同一信号测得的两个结的电流比是相同的.最后,两个结的电流比的计算以及电流比与色温关系的确定及显示,均通过单片机完成.采用如

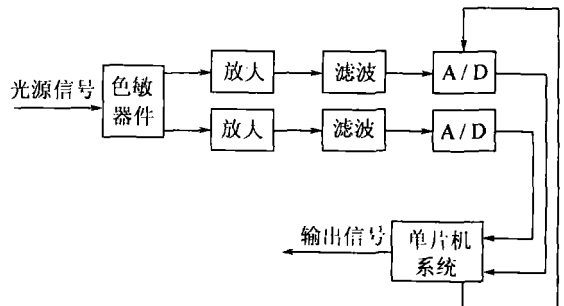


图 2 色温测量的电路工作原理框图

图 2 所示的测量系统可以充分发挥色敏器件的性能,以保证测量结果的可靠性和精确性.

3 结果与分析

实验中,首先利用(1)式计算出色温与电压的关系(如图 3 所示),它描写待测光源在不同工作电压时所对应的色温的理论值.然后改变充气钨丝白炽灯的工作电压,在不同的电压下,灯光的颜色是不同的,光源的温度也是不同的,多点测量数据表明硅双结型色敏管的深浅结短路电流比与白炽灯工作电压有确定的关系,根据图 3 的色温理论值,用画图软件 Origin 转化为短路电流比与色温特性曲线,如图 4 所示,它表明光源色温随着所加电压接近线性变化.实验中在标准光具座上改变光源与色敏探测器的相对位置,或是将白炽灯工作的电压(或通过灯的电流)经改变后每次总调到同一数值,结果表明色敏器件有稳定不变的电流比输出,这说明只要灯丝被加热到对应的同一温度.它发出的光亮度和光颜色就保持不变,即色温相对于工作电压有确定值.

由图 4 可以看出,随白炽灯工作电压(V)的升高,硅双结色敏器件的短路电流比的对数 $\ln(I_{sc2}/I_{sc1})$ 逐渐减小,表现出光源的色光向短波长过渡,色温值 T 逐渐增大,类 A 光源的典型色温值 2 856 K

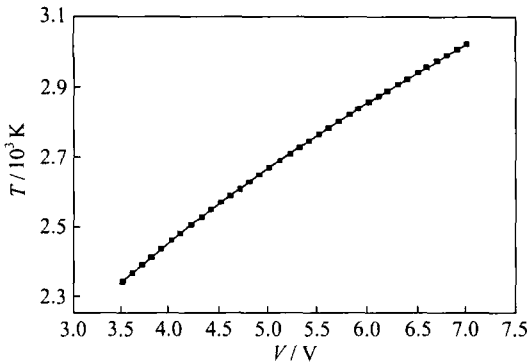


图 3 白炽灯理论色温值与电压特性关系

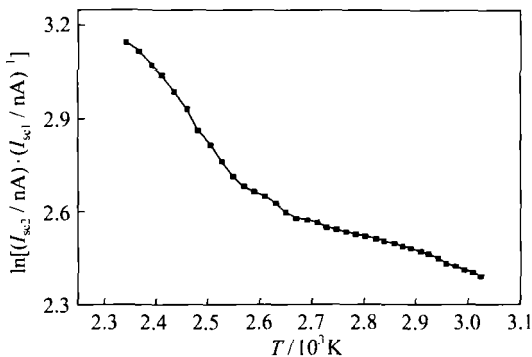


图 4 深浅结电流比与色温特性关系

也处于其间,这与色温测量理论是相符的.电流比的对数与色温值呈良好的单值对应,经单片机处理,可以得到分段线性关系,证明了用双结色敏器件测量色温的可行性.实验中改变光源与色敏器件的相对位置,获得稳定不变的电流比进一步验证了色敏器件以电流比作为颜色表征的可靠性.

武汉大学自行研制的硅双结色敏器件 CS-1^[10]实际的电流比与波长关系如图 5 所示,其光谱响应范围覆盖硅基光电器件,达到 400~1 100 nm,短路电流与入射到其有效面积上的光通量保持很好的线性关系.图 4 是采用 CS-1 对特定光源作出的,其色温测量范围受到类 A 光源工作状态限制,对比图 4 和图 5,可见本实验仅用了硅双结色敏器件 CS-1 的有效区域中很小一部分.根据图 5 作线性外推,其色温测量范围可达 10⁴ K 以上.

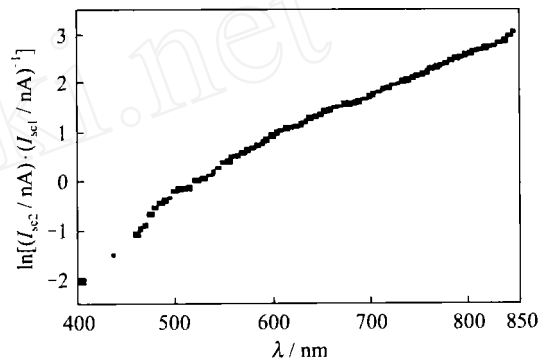


图 5 CS-1 电流比与波长特性曲线

硅双结色敏器件 CS-1 在测控电路和应用程序支持下,对单色光的测量精度可以达到 0.1 nm,对复色光的测量精度可以达到 10 nm.根据综合单色光复色光的精度推算,对色温的测量精度有望达到 10 K,由图 5 可见,曲线的分段斜率不完全相同,可见具体精度随不同的色温而波动.本文对硅双结色敏器件测量色温的可行性进行了实验研究,色温测量的标定工作需要标准实验室进行,许多深入细致的工作有待进一步展开.

4 结 论

色温的确定在摄影、照明和冶金化工方面必不可少,本文从理论上证明了硅双结型色敏器件深浅结电流比与色温有确定的关系,并给出了深浅结电流比与色温关系特性曲线.它经单片机处理后表现了良好的线性关系,通过对自行研制的 CS-1 的深浅结电流比与色温曲线的线性外推,其色温测量范围可以到 10⁴ K 以上,测量精度有望达到 10 K.

参考文献:

- [1] Javier H A. Calculating Correlated Temperatures across the Entire Gamut of Day Light and Sky Light Chromaticities [J]. *Applied Optics*, 1999, **38** (27): 5703-5709.
- [2] Oaku H, Shimada M, Mitom Y. Calibration of Ocean Color Temperature Scanner (OCTS) [J]. *Oceanographic Literature Review*, 1998, **45** (6): 1072.
- [3] 朴大植. 实用颜色温度测量方法的研究[J]. 现代计量测试, 1999, (1): 48-53.
Piao Dazhi. Practical Measuring Method for Color Temperature[J]. *Modern Metrology*, 1999, (1): 48-53 (Ch).
- [4] 王 飏, 陈炳若, 魏正和, 等. 硅双结型颜色传感器的研究[J]. 传感技术学报, 2000, **6** (2): 92-95.
Wang Biao, Chen Bingruo, Wei Zhenghe, et al. Study of Si Color Transducer with Double PN Junction [J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2000, **6** (2): 92-95 (Ch).
- [5] Chen B R, Wang S, Du K. The Identification of Color Difference of Polychromatic Light by Silicon Color Sensor with Double PN Junction [J]. *Sensors and Actuators*, 2003, **A109**: 72-75.
- [6] Wolffenbutter R F, Graaf D G. Performance of an Integrated Silicon Colour Sensor with a Digital Output in Terms of Response to Colours in the Colour Triangle [J]. *Sensors and Actuators*, 1990, **A21-23**: 574-580.
- [7] Mohajzadeh S, Nashan A, Selvakumar C R. Numeric Simulation of a p-n-p-n Color Sensor for Simultaneous Color Detection [J]. *Sensors and Actuators*, 1994, **A44** (2): 119-124.
- [8] Zimmer J, Knipp D, Stiebig H, et al. Amorphous Silicon-Based Unipolar Detector for Color Recognition [J]. *IEEE Trans on Electron Devices*, 1999, **45** (5): 884-891.
- [9] Dalla B G F, Zorzi N, Bellutti P, et al. Triple Junction Color Sensor Fully Compatible with CMOS Technology: Results of Test Chip [J]. *Microelectronic Test Structures*, 2002, **8** (1): 217-222.
- [10] 王 嵩, 陈炳若, 季 峰. 硅色敏器件对复色光色差辨别能力的数值分析[J]. 武汉大学学报(理学版), 2004, **50** (1): 47-50.
Wang Song, Chen Bingruo, Ji Feng. Numerical Analysis for Resolution on Color Difference of Polychromatic Light by Silicon Color Sensor with Double Junction [J]. *Journal of Wuhan Univ (Nat Sci Ed)*, 2004, **50** (1): 47-50 (Ch).
- [11] Wang S, Chen B R. The Feature of Color Comparator with Double Si PN Junction [J]. *Asia Pacific Optical Communications*, 2003, **2** (1): 141-142.
- [12] 陈炳若, 李世清, 黄启俊, 等. 辐照对光电二极管光电流的影响[J]. 武汉大学学报(自然科学版), 1995, **41** (3): 357-362.
Chen Bingruo, Li Shiqing, Huang Qijun, et al. Effect of γ -ray Irradiation on the Photo Current of Si Photodiode [J]. *Journal of Wuhan Univ (Nat Sci Ed)*, 1995, **41** (3): 357-362 (Ch).

Measurement of Color Temperature by Si Color Sensor with Double PN Junction

RAO Yuan¹, CHEN Bingruo^{1,2}

(1. School of Physics and Technology, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei, China;

2. State Key Laboratory of Transducer Technology, Chinese Academy Science, Shanghai 200050, China)

Abstract: The measurement method of color temperature by Si color sensor with double PN junction is first presented in this article. Based on right measurement circuit, the color temperature of a shiner is in definite relationship with the proportion of deep and shallow junction current of a color sensor correspondingly, good linearity is shown after being processed by the computer. Through the fitting and calculation of short-circuit current ratio to wavelength characteristic, the maximum measurable range of color sensor can reach 10^4 K, and the measurement precision can be 10 K. Compared to the tradition ones, it enjoys the merits of little workload and cheap cost, and is proven to be generalized and effective.

Key words: Si color sensor with double PN junction; color temperature; shortcircuit current ratiocolor temperature property