

微型化绝对辐射计研制

方伟¹ 王玉鹏¹ 叶新¹ 杨东军^{1,2}

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所光电技术研发中心; 2. 中国科学院研究生院 吉林长春 130033)

摘要:为了给航天仪器提供一个长期实时的绝对标准,解决航天仪器测量绝对精度低并且长期稳定性下降的问题,本论文介绍一种采用微机械技术把绝对辐射计微型化的新型绝对辐射计,可把它作为定标基准源引入光谱仪定标系统。其工作原理是利用光电等效性,用电功率标定光功率,采用双测辐射热计精确对称补偿技术,以降低热沉温漂影响,测辐射热计采用金刚石片做衬底,上面采用MEMS技术集成了加热丝、热敏电阻与吸收。对研制出的原理样机进行了性能测试,结果相对于太阳辐照绝对辐射计(Solar Irradiance Absolute Radiometer, SIAR)灵敏度提高3个量级,时间常数缩短8倍,重复性达0.15%。微型化绝对辐射计可作为航天和地面光谱仪的实时绝对定标标准,使仪器的绝对定标精度提高1个量级。

关键词:绝对定标 定标基准 微型化绝对辐射计 ESR
中图分类号:O571 **文献标识码:**A

文章编号:1674-098X(2011)09(a)-0002-02

1 引言

目前国际上航天仪器中绝对辐射计的绝对定标精度可达0.5%,而一般的光谱仪等相对型仪器绝对定标精度只能达到5%,相差一个量级。其原因是由于定标原理、方法不同而引起的:绝对辐射计的定标原理是采用光电等效性,用可精确定标的电功率实时定标未知的入射光辐射功率;而一般的光谱仪都采用积分球或标准灯定标,在地面标定好发射后认为积分球或标准灯是不变的,定期对仪器进行标定。如20年内参加了5项任务(SPACELAB 1, ATLAS 1, 2和3和EURECA)、并计划ISS上进行测量的SOLSPEC太阳光谱仪,仪器内部校正灯用了氙灯、钨丝灯和氦空心阴极灯三种标准光源分别校正紫外、可见和IR,仪器结构复杂,体积大,且长期在轨工作很难保证高稳定度。

长春光机所研制SIARs^[1-3]绝对辐射计已有二十年的历史,达到世界同类仪器先进水平,两次参加IPC国际日射计比对,并在神舟三号飞船上进行了五个月的飞行实验,目前做为风云三号气象卫星的有效载荷已在轨工作一年多,获得数据与国际上同期卫星测得数据符合良好。SIAR-2a、SIAR-2b放在瑞士世界(辐射)标准组WSG上,与WSG仪器同步测试6年,长期稳定性良好。本论文介绍的新型光电探测器ESR就是采用微机械等技术把绝对辐射计微型化

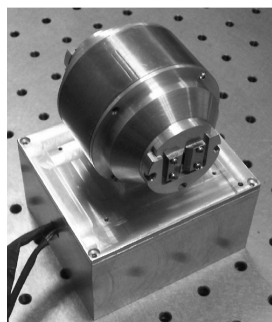


图1 ESR的照片

后可引入光谱仪定标系统,给仪器提供长期实时的绝对标准,使仪器的绝对定标精度提高一个量级。

经光谱仪分光后入射到ESR的能量被减弱了很多,所以可计算出微型化新型光电探测器ESR的测量最大辐射功率为100 μ W,用16bit AD器件采样,动态范围 10^4 ,最小可探测功率为 10^{-8} W。ESR以波长扫描的方式进行光谱的绝对测量,要完成快速扫描,就需要ESR的测量时间短、精度高,测量周期要求10s以内,因此ESR的时间常数要 ≤ 0.5 s。以前研制的SIARs绝对辐射计测量最大辐射功率设计为100mW,动态范围 10^4 ,16bitAD采样,最小可探测功率为 10^{-5} W,时间常数为15s。因此,理想ESR应该比SIARs响应度提高 10^3 ,时间常数下降30倍。

2 结构

图1是微型化绝对辐射计ESR的外观照片,ESR由一个低导热率绝缘悬挂系统支撑,维持较低的热传导,如图1所示。

ESR由两个测辐射热计组成,一个作为工作测辐射热计(Active Bolometer)接受光谱辐射照射,另一个参考测辐射热计(Reference Bolometer)用作桥接电路的热电参考元件,它们工作在相同的热环境中,降低温度漂移对测量带来的影响。测辐射热计在球形反射镜的中心,它同光具座热绝缘,在反射镜半球上开光谱狭缝(7mm $\times$ 0.3mm),通过让少量的光线被多次吸收来增加有效黑度。

ESR的关键技术难点是需要保证精度的前提下大幅缩短时间常数,这必须选用导热极好且绝缘性能好的热阻材料,测辐射热计采用具有较高热传导性能的金金刚石片,金刚石条的前表面镀有NiP黑;两组50k Ω 的热敏电阻粘贴在该表面上,进行温度测量;一个100k Ω 的电加热片固定在金刚石条的背面,提供电加热替代功率。

响应度和时间常数这两个指标是相互制约的,热导率增大,时间常数减小,但响

应度下降,反之亦然。因此必须在二者之间权衡。

3 电子学系统设计

图2是ESR工作的电学原理框图。整个系统从功能上可以分为信号产生,前置放大,二级放大,滤波,AD采样,电加热电路及DSP单元七部分。实际设计中,将硬件电路分三个模块实现,分别是前置放大模块,模拟信号处理模块和数字处理模块。

工作测辐射热计和参考测辐射热计的热敏电阻和两个平衡电阻构成了四臂电桥,当工作测辐射热计接受光谱辐射时,测辐射热计产生温差,即桥式电路有一温差信号输出到前置仪表放大器。

DSP作为系统的控制核心,系统主要控制过程包括:产生载波的AD9833的初始化和配置,进行数据采样的AD的初始化和配置,外部IO口的设置,定时器设置,外设中断的响应顺序控制,电机的控制,串口数据的处理及传输,加热PWM波的设置及控制,预热控制流程,测光控制流程等。DSP以PID算法形成闭环处理,通过计算采样AD669的输出电压来计算照射在测辐射热计上的辐射功率。

4 结果

光谱绝对测量仪器有以下几个关键指标:灵敏度S,时间常数 τ ,最小可探测功率 P_m 。

灵敏度测量:探测器的灵敏度S为探测器接受的辐射功率mW和温度传感器(热敏电阻电桥)输出信号的比值。得到

$$S = 1.3133e^{-009} W$$

时间常数测量:实际计算中,采用多次计算时间常数并取平均的方法,得到

$$\tau = 1.836s$$

最小可探测功率:

噪声信号 N_b 为电桥输出信号的均方根值。热敏电阻电桥输出信号选取高加热功

本项目由国家自然科学基金(61077080)与中国科学院知识创新工程领域前沿资助。

作者简介:方伟(1965-),女,博士,研究员,博士生导师,1987年于山东大学获得学士学位,1997年于长春光机所研究生部获得硕士学位,2005年于中国科学院研究生院获得博士学位,主要从事辐射计量及空间光学遥感仪器研究。

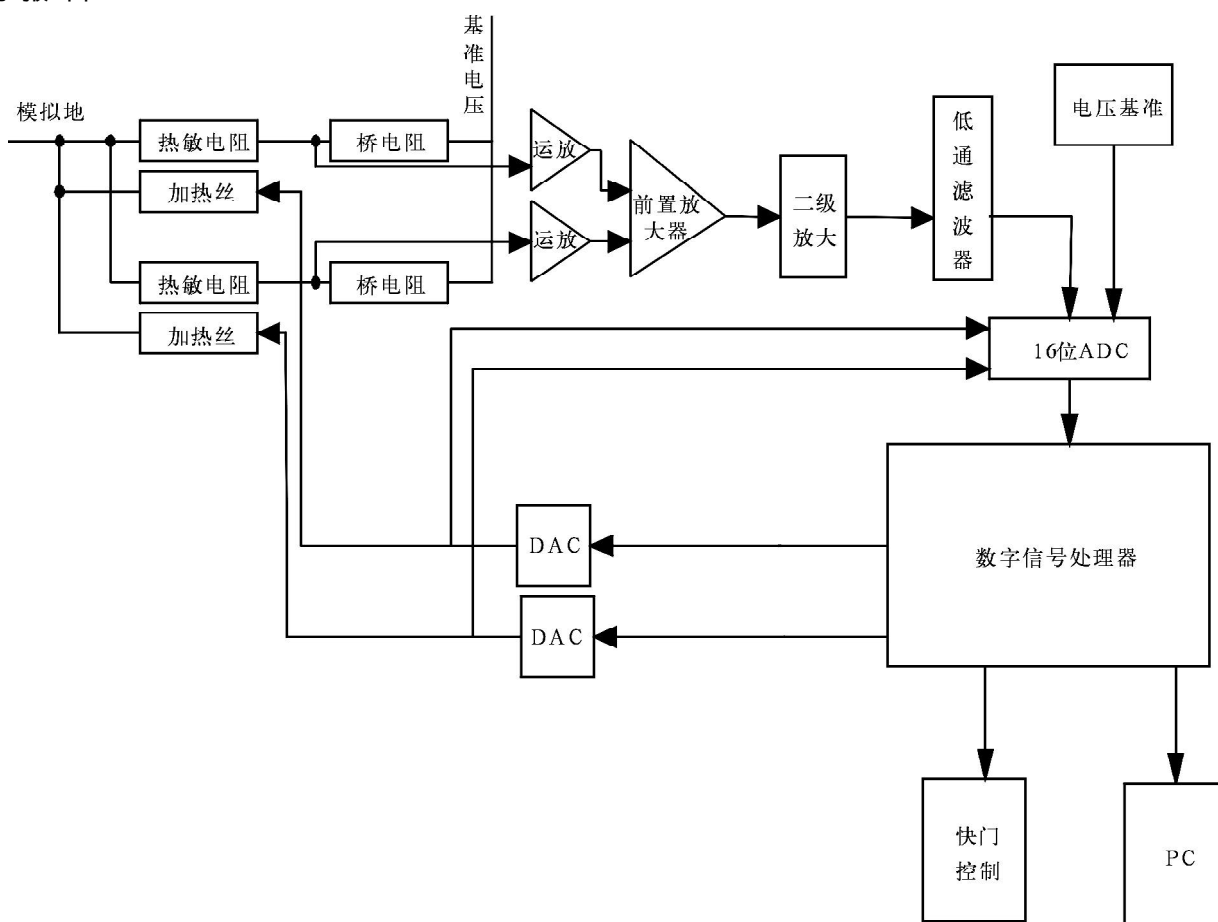


图2 ESR工作的电学原理框图

率时电桥输出 T_H , 取热敏电阻电桥最后 $n=20$ 个输出数据

$$N_b = \frac{\sqrt{\sum_{i=381}^{400} (T_2(i) - T_h)^2}}{(n-1)} = 6.515$$

最小可探测功率

$$P_m = S \cdot N_b = 8.552e^{-009} W$$

仪器的良好重复性是定标精度的保障。在光源、环境等均稳定的试验条件下, 测量绝对辐射计的辐射功率, 光辐射功率平均值为 $1.7129 \times 10^{-4} W$ 时, 误差 (1σ) 为 $2.6017 \times 10^{-7} W$, 相对误差 0.152%。

5 结语

本文的特色在于摒弃传统的与绝对辐射计设计思路, 而创新性地将热传导快、绝缘性能极好的金刚石片引入到绝对定标基

准中, 采用 MEMS 方法将电加热康铜或锰铜电阻丝牢固地集成在金刚石片上, 这就使热传递能更迅速, 使得微型化后的绝对辐射计的灵敏度和响应度得到提高, 经试验测试, 相对于传统的 SIAR 和 DCICAR 绝对辐射计, 灵敏度提高 3 个量级, 时间常数缩短 8 倍, 重复性良好, 基本满足作为光谱仪定标基准源的要求, 但时间常数距理想情况还有一定差距, 还需要进一步优化系统参数, 不断改进工艺, 真正成为航天光谱仪的实时绝对定标标准, 使在轨仪器的绝对定标精度提高一个量级。这也是未来航天仪器在轨定标的发展方向。

通过测试发现, 环境的温度变化, 对系统测量精度产生很大影响, 要进一步提高测量系统的精度, 还要设计一套精密系统, 进一步降低环境对绝对辐射计测量系统的

影响。

在科学发展中, 天上技术和地面技术是相互促进的, 这种微型化绝对定标基准的更广阔的应用空间应该是在地面。现在只是原理样机, 如果通过更深入的研究后转化成地面定标标准探测器, 一定会为地面辐射定标带来很多方便。

参考文献

- [1] 方伟, 金锡峰. 一种双锥腔补偿型绝对辐射计的研制. 太阳能学报, 1992.
- [2] 方伟, 禹秉熙, 姚海顺. 太阳辐照绝对辐射计 (SIAR-1) 与国际比对. 光学学报, 2003.
- [3] 气象卫星有效载荷技术. 北京: 宇航出版社, 2005.

(上接1页)

- [5] 赵胜利, 文九巴, 张玉兰. 氧化镍薄膜的制备及电化学性质[J]. 化学通报, 2006, 69(1): 62-65.
- [6] Sasi B, Gopchandran, K G. Preparation and characterization of nanostructured NiO thin films by reactive-pulsed laser ablation technique

- [J]. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2007, 91: 1505-1509.
- [7] Gupta R K, Ghosh K, Kahol P K. Fabrication and characterization of NiO/ZnO p-n junctions by pulsed laser deposition [J]. Physica E, 2009, 41(4): 617-620.
- [8] Kakehi Y, Nakao S, Satoh K, et al.

- Room-temperature epitaxial growth of NiO(111) thin films by pulsed laser deposition [J]. Journal of Crystal Growth, 2002, 237: 591-595.
- [9] 贝力, 朱骏, 赵丹, 等. 脉冲激光沉积制备 NiO(111) 外延薄膜及其结构研究[J]. 电子元件与材料, 2009, 28(7): 36-38.