

文章编号: 1672-8785(2017)08-0044-04

一种太赫兹探测器的温度修正方法研究

董 杰 张 鹏 韩顺利 吴寅初

(中国电子科技集团公司第四十一研究所, 山东 青岛 266555)

摘 要: 提出了一种热电堆型太赫兹探测器的温度修正方法, 此方法可以有效减少周围环境温度变化对探测器零点漂移和响应度等指标的影响。首先, 我们用两个指标基本相同的热电堆探测器进行并联输出, 其中一个作为主探测器, 另一个作为参考探测器, 有效减少了外界干扰引起的零点漂移。其次, 我们在太赫兹探测器周围引入以温度传感器为主的温度补偿装置, 通过 FPGA 控制实时获得周围环境的温度, 并结合探测器的响应度修正系数以完成温度补偿。结果表明, 零点漂移噪声由 3.76 mV 降到了 0.49 mV, 温漂引起的响应度变化量也从 19.5 mV/W 降低到了 2.7 mV/W。此修正方法可以大幅降低温度噪声的影响, 从而有效提高太赫兹探测器的性能。

关键词: 热电堆; 太赫兹探测器; 温度补偿装置

中图分类号: TN215 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2017.08.009

Study of Temperature Correction Method of a Terahertz Detector

DONG Jie, ZHANG Peng, HAN Shun-li, WU Yin-chu

(The 41st Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Qingdao 266555, China)

Abstract: The temperature correction method of a thermopile-type terahertz detector is proposed. By this method, the influence of ambient temperature on the zero drift and responsibility of the detector can be reduced effectively. Firstly, two thermopile detectors with same specifications output in parallel. One of the detectors is used as the main detector and the other one is used as the reference detector. Thus, the zero drift caused by external disturbance is reduced effectively. Secondly, a temperature-compensated device containing a temperature transducer is introduced around the thermopile detector. By using a FPGA controller to obtain ambient temperature in real time and incorporating the responsibility correction coefficient of the detector, temperature compensation is completed. The results show that the zero-drift noise is reduced from 3.76 mV to 0.49 mV and the responsibility variation caused by temperature drift is reduced from 19.5 mV/W to 2.7 mV/W. This temperature correction method can greatly reduce the impact of temperature noise and effectively improve the performance of terahertz detectors.

Key words: thermopile; terahertz detector; temperature-compensated device

0 引言

在太赫兹技术的研究和发展过程中, 太赫

兹光功率的测量是基础。无论是高功率太赫兹源的研制^[1], 还是高灵敏度太赫兹探测器的标定, 都离不开功率计对太赫兹功率的测量。现阶段

收稿日期: 2017-04-10

作者简介: 董杰(1988-), 男, 山东青岛人, 硕士, 工程师, 主要从事太赫兹测试技术的研究。

E-mail: eiqd@ei41.com

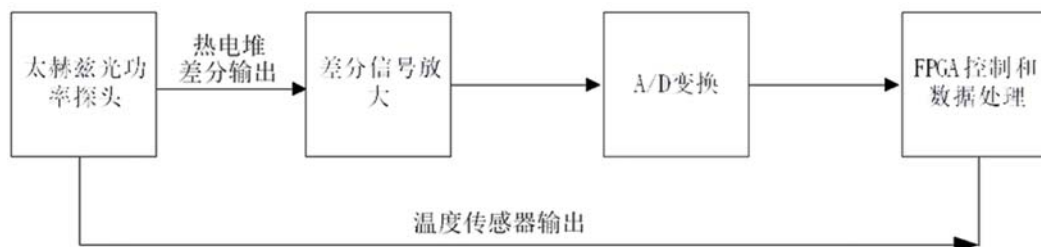


图 1 太赫兹光功率的测试系统

段对于太赫兹功率的测量大多采用非相干测试方式^[2,3],即太赫兹光入射到太赫兹探测器后,探测器输出光电流信号;对光电流信号进行运算分析,实现太赫兹功率的非相干测试。目前,太赫兹功率的测试技术仍处于初步发展阶段,主要有基于辐射热测量、基于热膨胀、基于热释电效应和基于塞贝克效应的热电堆探测器的功率测试技术等。

热电堆探测器是由若干个基于塞贝克效应的热电偶串联而成^[4],其中热电偶由两种可以产生显著温差电的 P 型和 N 型半导体材料构成。把两种材料的一个结点涂黑或覆盖上镀黑的薄片,以吸收辐射并引起温升,该结点称为热结点;未加热的一端称为冷结点。热电堆探测器作为一种感温型探测器,当有太赫兹光照射时,在热结点和冷结点之间会产生温差,回路中会产生温差电动势;通过测量温差电动势便可获得辐射功率。鉴于热电堆探测器具有无需提供外部供电、常温环境下可正常工作、宽光谱范围响应以及工作稳定等优点^[5],可广泛应用于红外、远红外等波段的功率探测。但热电堆探测器为热电类探测器,其性能极易受外界环境尤其是温度变化的影响。因此,需要研究工作于太赫兹频段的热电堆探测器在不同环境温度下的性能,并对太赫兹探测器进行温度修正。

1 太赫兹探测器的温度修正装置

太赫兹光功率测试装置的组成如图 1 所示。太赫兹光功率探头的主要功能是,把太赫兹光功率值输入热电堆探测器,转换成对应的电压值,此电压经后续的差分信号放大电路、A/D 变换电路后进入 FPGA 控制器中,进行数据处理;另

外,用于温度补偿的温度传感器被放入探头里面,用于测量热电堆探测器周围的实时温度,测得的温度值被传入 FPGA,用于对探测器在实时温度下的响应度进行校准。

太赫兹光功率探头是太赫兹光功率测试系统的核心部分,其结构设计如图 2 所示。内部经黑色氧化处理的金属外壳用于减少外界电磁干扰的影响。金属套筒用于遮挡,以防部分杂散光入射到热电堆探测器。底部热沉用于传递热电堆探测器冷端的能量,保持冷端温度恒定。吸收体主要用于增加入射太赫兹光的吸收,以此提高热电堆探测器的响应度;吸收体通过导热硅胶与热电堆探测器热端相粘连。为了降低外界环境对热电堆探测器零点输出的影响,探头内的两个性能基本相同的热电堆探测器以并联方式连接,一个热电堆探测器位于太赫兹光功率探头的入射口处,作为主探测器,用于接收太赫兹光;另一个作为参考探测器,用于测试环境辐射。旁边的温度传感器与 FPGA 控制端直连,通过 FPGA 控制可以获得探头内部环境的实时温度。实验所用温度传感器的型号为 DS18B20,其最小温度分辨率可达 0.0625 °C,完全可以满足系统的温度补偿需求。

2 减少太赫兹探测器零点漂移的设计与测试

采用双热电堆探测器并联的输出方式,以减少周围辐射噪声的影响。把主探测器的负端输出和参考探测器的负端输出通过导线相连,把两个探测器的正端输出作差分输出用于减少周围辐射噪声对零点输出的影响。假设周围环境的变化会为热电堆探测器引入一个 U_0 的噪声

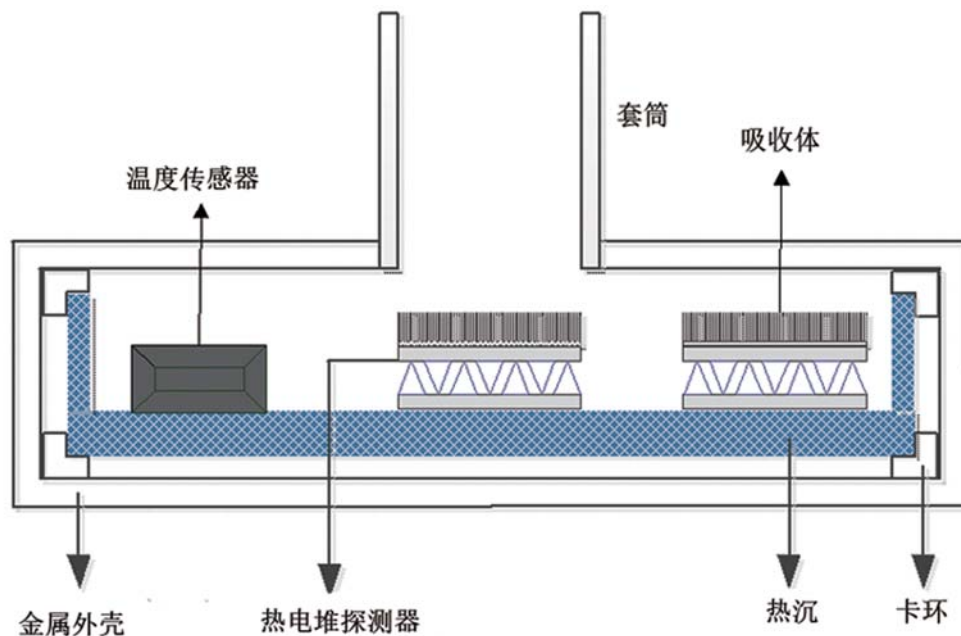


图 2 太赫兹光功率探头的设计

输出电压，由于两个探测器处于同一环境中，所以两个探测器引入的噪声大小应该相等，即 $U_{\text{主正}} - U_{\text{主负}} = U_{\text{参正}} - U_{\text{参负}} = U_0$ 。两个探测器负端相连后， $U_{\text{主正}} - U_{\text{参正}} = 0$ 。因此，把两个正端输出做差分输出，可大大减少周围环境变化对零点输出的影响。

把双热电堆结构探测器和单个热电堆探测器同时放入环境试验箱内，通过设定环境试验箱内的温度，测量无太赫兹光照射时探测器的零点输出，结果如图 3 所示。从图中可以看出，单个热电堆探测器的零点输出随温度变化波动较大，输出的平均噪声是 3.76 mV；双热电堆结构探测器的零点输出随温度变化相对平缓，输

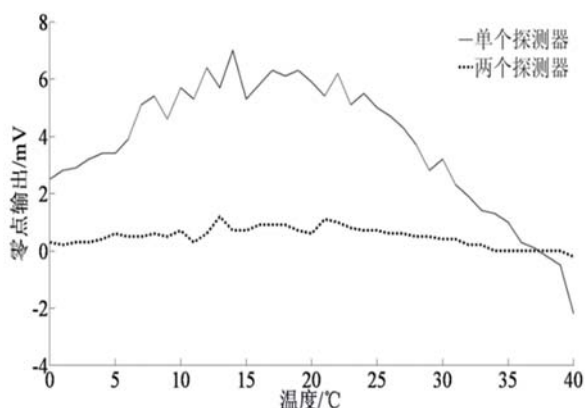


图 3 热电堆探测器的零点输出与温度关系

出的平均噪声是 0.49 mV。实验结果表明，与单个热电堆探测器相比，本文设计的双热电堆探测器结构的功率探头零点输出更稳定，噪声更小。

3 太赫兹探测器的温度修正方法

由于热电堆探测器属于热电类探测器，其特性对周围温度的变化极其敏感，尤其是响应度指标。探测器的响应度定义为探测器的输出电压或者电流与入射辐射量的比值^[6]。本文系统中，热电堆探测器的响应度为探测器的输出电压值与入射到探测器表面的太赫兹功率值之比，它是探测器最重要的指标之一。在对热电堆探测器输出值的测量过程中，我们发现其响应度会随温度的变化而变化，具体如图 4 中的黑线所示。把热电堆探测器放入环境试验箱内，以模拟周围环境温度的变化，用稳定输出 20 mW 的连续太赫兹激光器照射探测器。从图 4 中可以看出，探测器的输出电压随着周围温度的升高而明显增大。为解决此问题，我们引入以温度传感器 DS18B20 为主的温度补偿装置，把温度传感器放入探头内部靠近探测器的位置，并通过 FPGA 控制来实时获得探测器周围的温度值。为获得较理想的实验结果，我们把每个温度下的响应度都补偿到常温 25℃，然后把不同温度下

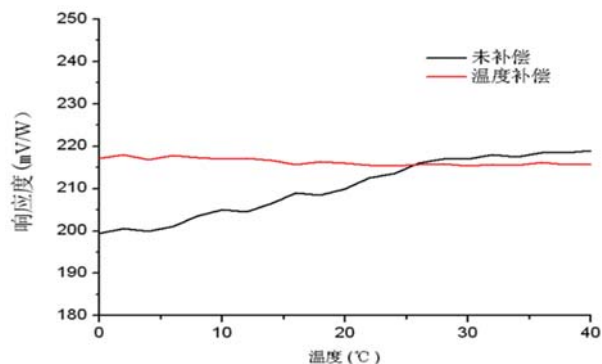


图 4 热电堆探测器的输出电压随温度的变化

的响应修正系数存入内部存储器中。通过以上热电堆探测器的温度补偿装置, 可以获得任意环境温度下的温度值和探测器的输出值; 然后结合存储器中不同温度下的响应修正系数, 便可完成对热电堆探测器的温度补偿, 具体测量结果如图 4 中红线所示。经过此温度补偿装置后, 在 $0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 范围内, 响应度变化量由 19.5 mV/W 降低到 2.7 mV/W , 大大降低了太赫兹探测器的温度漂移, 使太赫兹探测器能在宽温度范围内获得更加准确的信号输出。

4 总结

提出了一种热电堆型太赫兹探测器的温度修正方法, 利用双热电堆探测器并联方式和引

入温度补偿装置, 降低了太赫兹探测器的零点漂移和响应度温度漂移等噪声。结果表明, 零点漂移噪声由 3.76 mV 降到 0.49 mV , 温度漂移引起的响应度变化量也从 19.5 mV/W 降低到 2.7 mV/W 。此修正方法可以大幅降低周围温度噪声的影响, 从而有效提高太赫兹探测器的性能。

参考文献

- [1] Stone M R, Naftaly M, Miles R E. Generation of Continuous Wave Terahertz Radiation Using a Two Mode Titanium Sapphire Laser Containing an Intracavity Fabry-Perot etalon [J]. *Journal of Applied Physics*, 2005, **97**(10): 103108.
- [2] Jiang Yi, Jin B B, Xu W W, et al. Terahertz Detectors Based on Superconducting Hot Electron Bolometers [J]. *Science China*, 2012, **55**(1): 64–71.
- [3] Pradere C, Caumes J P, Toutain J, et al. Absolute Self-calibrated Room-temperature Terahertz Powermeter [J]. *Applied Optics*, 2013, **52**(11): 2320–2324.
- [4] Graf A, Arndt M, Gerlach G. Seebach's Effect in Micro Machined Thermopiles for Infrared Detection [J]. *A Review Proc Estonian Acad Sci Eng*, 2007, **13**(4): 338–353.
- [5] 吴宗凡, 柳美琳, 张绍举, 等. *红外与激光技术* [M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [6] Mancarella F, Roncaglia A, Passini M, et al. Wafer-level Testing of Thermopile IR Detectors [C]. Irvine: The 4th IEEE Conference on Sensors, 2005.

(上接第 18 页)

3 结束语

本文根据三级像差理论计算出了光学系统的初始结构参数。通过实现视场离轴以及增加非球面的高次项对其进行了优化。在没有使用自由曲面的情况下, 设计出了一种具有 $30^{\circ} \times 4^{\circ}$ 长条形大视场且 F 数为 3.5 的大相对孔径离轴三反系统。该系统基于线阵探测器实现推扫成像, 可以解决遥感相机中既要获得大视场又要满足宽光谱、无遮拦和结构紧凑要求的难题。本文系统的成像质量优良, 接近衍射极限。实际效果将在后续研制中予以测试和验证, 未来可在中高分辨率星载光学系统中广泛应用。随着自由曲面

加工与检验技术的不断成熟, 基于自由曲面的离轴三反系统将会具有更大的视场。

参考文献

- [1] 宋睿. 欧空局 Proba-V 微卫星发射成功 [J]. *航天返回与遥感*, 2013, **34**(3): 81.
- [2] 潘君骅. *光学非球面的设计、加工与检验* [M]. 苏州: 苏州大学出版社, 2004.
- [3] 李晓彤. *几何光学·像差·光学设计* [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2014.
- [4] 丁学专. 航天遥感反射式光学系统设计 [J]. *红外技术*, 2007, **29**(5): 253–256.
- [5] 庞志海. 新型大视场无遮拦三反光学系统设计 [J]. *红外与激光工程*, 2013, **42**(9): 2449–2452.
- [6] 张东阁. 大视场高分辨率空间红外光学系统关键技术研究 [D]. 上海: 中国科学院上海技术物理研究所, 2014.