

〈测量技术〉

## MEMS 红外光源光谱特性及温度特性测试研究

张鹏<sup>1,2</sup>, 丑修建<sup>1,2</sup>, 刘立<sup>1,2</sup>, 王二伟<sup>1,2</sup>, 张辉<sup>1,2</sup>

(1. 中北大学 电子测试技术重点实验室, 山西 太原 030051;

2. 中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 山西 太原 030051)

**摘要:** MEMS 红外光源是基于微机电系统 (MEMS) 制造工艺的红外光源器件, 为明确 MEMS 红外光源的辐射光谱分布特性和温度特性, 采用 SR5000 光谱辐射计对 MEMS 红外光源进行辐射光谱分布特性测试, 所得数据表明所选光源的红外光谱分布主要在 3~5 μm 之间, 中心波长位于 3.6 μm, 该波段红外光具有接近 90% 的大气透过率; 采用红外测温仪和热敏电阻对光源辐射体温度进行测试, 结果显示所选 MEMS 红外光源温度特性优良, 适用范围广泛。

**关键词:** MEMS 红外光源; 辐射光谱; 光谱测试; 温度特性

**中图分类号:** TN214, TN383      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-8891(2017)03-0288-04

## Research on Spectral and Temperature Characteristic Test of MEMS Infrared Light Source

ZHANG Peng, CHOU Xiujian, LIU Li, WANG Erwei, ZHANG Hui

(1. Science and Technology on Electronic Test and Measurement Laboratory, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. Key Laboratory of Instrumentation Science & Dynamic Measurement, Ministry of Education,

North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** MEMS infrared light source is based on micro-electromechanical system (MEMS) fabrication technology. To clarify the radiation spectral distribution characteristic and temperature characteristic, a SR5000 spectroradiometer was adopted for testing MEMS infrared light radiation spectral distribution. The results show that the infrared spectrum of the light source selected mainly distributes between 3-5 μm, and the center wavelength is at 3.6 μm. The infrared thermometer and thermistor had been taken to test the light radiation temperature. The results show that the temperature characteristic of the selected MEMS infrared light source is excellent, and the light source has a wide scope of application.

**Key words:** MEMS infrared light source, radiation spectrum, spectral testing, temperature characteristic

### 0 引言

随着现代科技的飞速发展, 对光电系统微型化、轻型化和高效率提出了更迫切的需求, 微机电系统 (MEMS) 工艺这一革命性技术的出现为满足相应需求提供了几乎完美的解决途径<sup>[1-3]</sup>。MEMS 红外光源是采用 MEMS 工艺加工集成于半导体衬底上的有源器件, 其工作机理是普朗克辐射体通电致自加热效应, 激发光源辐射层辐射红外光<sup>[4-5]</sup>, 具有辐射强度相对较高、电光转化效率高、可实现变频调制等特点,

正逐步取代传统红外光源成为目标识别、红外光电通信等先进红外系统的核心器件<sup>[6]</sup>。因此, MEMS 红外光源各种辐射特性的深入研究对其实际应用意义重大<sup>[7]</sup>。

红外系统中, 光源的辐射特性对所在红外系统的整体性能有着直接影响, 而光源的温度特性决定其应用范围和整体成本, 但目前为止关于 MEMS 红外光源相关特性的具体表述并不多。本文针对性开展了 MEMS 红外光源相关特性研究, 明确了该类型光源的光谱辐射特性和温度特性。

收稿日期: 2016-06-01; 修订日期: 2016-08-05.

作者简介: 张鹏 (1991-), 男, 河南方城人, 硕士研究生, 主要从事微纳传感与执行器件研究。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51275492); 中国博士后科学基金 (2013T60557, 2012T52118); 江苏省博士后科研计划项目 (1201038C)。

## 1 MEMS 红外光源光谱特性测试

### 1.1 测试设备

选取 SR5000 智能光谱辐射计进行 MEMS 红外光源的辐射光谱分布特性测试<sup>[8]</sup>。SR5000 智能光谱辐射计具有自动校准、实时数据分析和显示、数秒内完成光谱响应校准计算等优点,可实现被测目标光谱辐射特性的高精度和高灵敏度的实时、非接触性测量,该光谱辐射计内部自配黑体精度优于 0.1℃,采用共光学系统实现测量无视差,进而可实现 3 m 到无穷远距离的光学聚焦,仪器斩波频率为 25~1800 Hz,光谱扫描速度可达 0.015~10 次/s。

### 1.2 测试原理

SR5000 光谱辐射计输出的电压信号为:

$$S_V = K(\lambda)(W_o - W_c) = K(\lambda)[W_o - P_L(\lambda, T_{IBB})] \quad (1)$$

式中:  $K(\lambda)$  是 SR5000 的光谱响应系数;  $W_o$  是斩波器开启时探测器接收到的辐射值;  $W_c$  是斩波器关闭时探测器接收到的辐射值;  $P_L(\lambda, T_{IBB})$  为光谱辐射计内部黑体的普朗克辐射值;  $S_V$  是光谱辐射计的测量输出电压。在实际测试中,需要得到光谱辐射计的光谱响应系数  $K(\lambda)$  再经过计算得到  $W_o$  的值。

测试待测器件前应将 SR5000 光谱辐射计对准标准黑体源校准。对于辐射量为  $P_L(\lambda, T_{BB})$  的标准黑体源,则可测得此时光谱辐射计输出电压值  $S_V^C$ :

$$S_V^C(\lambda) = K(\lambda)[P_L(\lambda, T_{BB}) - P_L(\lambda, T_{IBB})] \quad (2)$$

计算得到:

$$K(\lambda) = S_V^C(\lambda) / [P_L(\lambda, T_{BB}) - P_L(\lambda, T_{IBB})] \quad (3)$$

校准完毕,不改变测试条件,对待测器件辐射特性进行测试,根据前述公式可计算出斩波器开启时探测器接收的辐射能量值,即目标辐射强度:

$$W_o = S_V / K(\lambda) + P_L(\lambda, T_{IBB}) \quad (4)$$

此即为所测 MEMS 红外光源辐射强度。

### 1.3 测试过程

测试具体过程步骤如下:

1) 首先利用标准黑体源进行 SR5000 光谱辐射计响应灵敏度的校准,本文采用 SR20 标准黑体源。

SR5000 测试参数设置斩波器频率  $f=800$  Hz,增益  $G=100$ ,视场  $FOV=6$  mrad<sup>[9]</sup>,采样时间  $T_{scan}=2$  s。采用 SR20 黑体对设备进行校准,设置黑体温度  $T_{BB}=200$ ℃,出口直径  $\phi_{BB}=3.2$  mm,测试距离  $L_c=4.4$  m。启动 SR5000 智能光谱辐射计自带光谱灵敏度校准程序进行现场校准。红外光源光谱特性测试系统如图 1 所示。

2) 校准完毕后取走 SR20 黑体,将待测 MEMS 红外光源放置在原 SR20 黑体的位置,连接光源驱动

电路<sup>[10]</sup>。采用固纬 GPS4303C 线性直流可调稳压电源作为驱动电源,保证光源供电稳定和驱动电压的连续性调整。

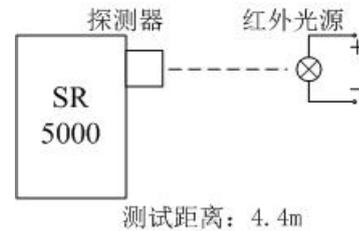


图 1 红外光源光谱特性测试系统示意图

Fig.1 Schematic diagram of infrared light source spectral characteristics test system

3) 点亮光源开始测试,待光谱辐射计输出数值稳定后记录测试数据。待测光源供电电压从 5.0 V 开始,以 0.4 V 为步进间隔逐次调整,分别测试 5.0、5.4、5.8、6.2、6.6 V 五组数据。

实验室环境温度为 23℃、相对湿度为 65%。测试时参数设定后应关闭实验室不相关光源,将可能影响红外光源测试效果的热源尽可能移出光谱幅设计测试视场,以保证测试数据尽可能准确。

对测得的 MEMS 红外光源在 5 组不同驱动电压下的光谱辐射数据采用数据分析与制图软件 Origin 进行分析制图,如图 2 所示。由图可知,所测 MEMS 红外光源光谱分布主要在 3~5  $\mu\text{m}$ ,中心波长在 3.6  $\mu\text{m}$  处,其中在 2.3~2.7  $\mu\text{m}$  区间、4.1~4.4  $\mu\text{m}$  区间出现短暂尖峰和辐射强度骤降,分析原因,其中 2.3~2.7  $\mu\text{m}$  波段的尖峰是仪器内部噪声导致,4.1~4.4  $\mu\text{m}$  波段的辐射强度下降是相应波段辐射能量为大气中二氧化碳与水蒸气吸收所致,均属正常现象。

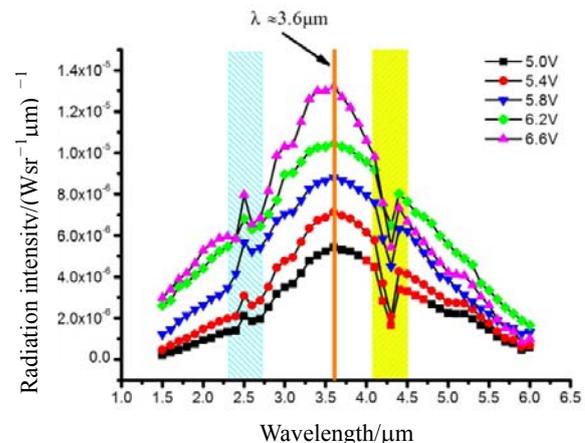


图 2 MEMS 红外光源光谱辐射特性曲线

Fig.2 Spectral radiation distribution curves of the MEMS infrared light source under different driving voltages

## 2 MEMS 红外光源温度特性测试

MEMS 红外光源的辐射体温度特性对其应用范围有着决定性影响。辐射温度过高则要求应用该红外光源的系统整体有较强高温承受能力，包括电子元件、封装材料、应用环境等，而实际情况是现行常见通用型电子元件大多不具备耐高温性能；然而辐射温度太低又不能实现辐射特定波段红外线的要求。故而对 MEMS 红外光源辐射体温度进行可靠测试分析很有必要并且意义重大。

采取两种方式进行 MEMS 红外光源辐射体温度特性测试，分别是红外测温仪 Infrared Thermometer GM 系列测温 and 热敏电阻测温，再对测试方法所得结果进行分析对比。

### 2.1 红外测温仪法

图3为 Infrared Thermometer GM1150 测温仪工作原理流程框图，本文即根据该原理测试 MEMS 红外光源辐射温度特性。红外测温仪利用其温度传感器将物体红外辐射热信号转换为电信号，形成辐射体辐射能-辐射温度-电信号三者之间的对应关系，然后根据电信号计算辐射体温度<sup>[11]</sup>。选择红外测温仪对红外光源进行温度特性测试时，光源尺寸相对测温仪敏感头较大，直接测试无法满足所仪器要求的物距比，故采取措施拆掉测温仪前端部件，然后严格参考红外测温仪说明书的测试物距要求（如图4所示）调整测试参数进行测试。

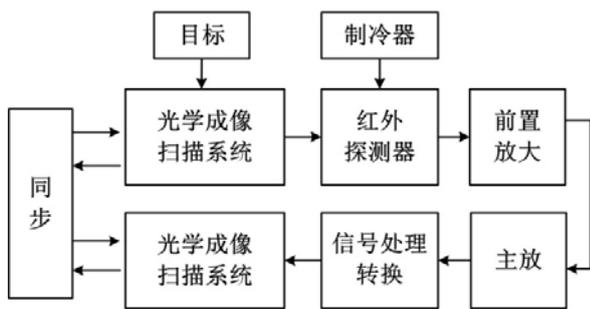


图3 红外测温仪测温原理

Fig.3 Measuring principle of the infrared thermometer

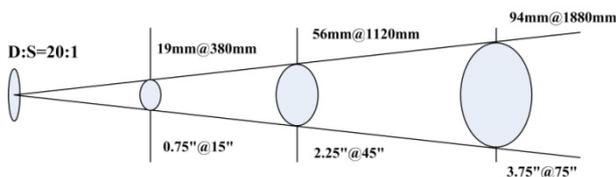


图4 红外测温仪测试物距比要求

Fig.4 Distance coefficient of the infrared thermometer

### 2.2 热敏电阻法

热敏电阻法<sup>[12]</sup>选取热敏电阻作为温度敏感单元，

搭建温度采集系统对采集数据进行处理并显示探测温度，其工作平台搭建如图5所示。热敏电阻测温法工作原理是电阻值跟随所测器件温度变化产生线性改变，对电阻值数据进行处理转化即可实现温度数值的测试。热敏电阻法测温即将热敏电阻直接贴附在光源上，所收集数据是光源加电工作时辐射体表面温度，该数据相对更接近实际温度。热敏电阻测温属于直接测试法。

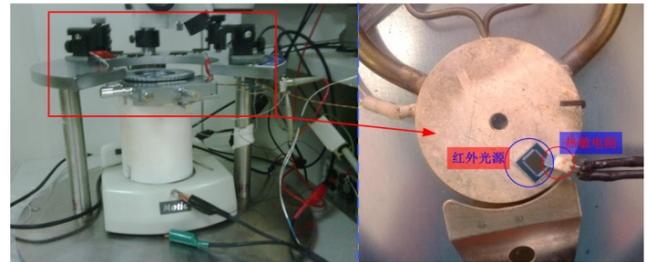


图5 热敏电阻法光源温度测试平台

Fig.5 Light source temperature test platform using thermistor

两种温度特性测试方法的测试环境和光源驱动电压参数相同，均为环境温度 21℃，湿度 48%，采取 5V 电压驱动。

### 2.3 测试结果

测温仪法和热敏电阻法分别进行的 MEMS 红外光源辐射体温度特性测试结果对照如表1所示。

表1 光源辐射体温度测试结果

Table 1 Test results of temperature features for the light source				
	驱动电压/V	温度 1/℃	温度 2/℃	温度 3/℃
红外测温	5	74.7	79.3 (遮纸)	83.69(遮白胶带)
热敏电阻	5	70.3	88.8	105.4

两组测试结果均表明辐射体测试温度与光源发光薄膜辐射温度理论值 400℃有较大差距，究其原因，主要因为所测 MEMS 红外光源设计方案采用悬浮式结构，虽然光源器件发光薄膜与基底结构之间仅仅是毫米级空间，但已经在很大程度上降低了热量的汇聚，释放了辐射体的高温。分析测试数据可知，本文所测 MEMS 热辐射型红外光源辐射体温度在正常温度范围内，对封装结构及应用系统的耐高温性能没有特殊要求。

## 3 结论

所测 MEMS 红外光源从辐射原理可认定为热辐射型窄带输出红外光源，其辐射光谱主要分布在 3~5 μm 区间，中心波长在 3.6 μm 处，大气透射性能良好；光源器件制造所采用的悬浮体结构设计实现了器件较好的散热性能，封装后的光源器件在正常工作时温

度低于 150℃, 表明其温度特性良好。综上所述, MEMS 红外光源具备众多优点, 此种光源可广泛应用于红外光电通信、目标识别、特殊环境物体搜索及人员救援、特殊气体监测等领域, 在未来的应用中必将发挥重要的社会作用并创造巨大的经济价值。

#### 参考文献:

- [1] 范伟政, 乔大勇. 微机电系统[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2011.  
FAN W Z, QIAO D Y. *Micro ElectroMechanical Systems*[M]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University Press, 2011.
- [2] 石庚辰. 微机电系统技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.  
SHI G C. *Micro Electro Mechanical Systems*[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2002.
- [3] 孔龄婕, 杨玉华, 张鹏, 等. 硅基 MEMS 红外光源热稳定性测试研究[J]. 红外技术, 2015, 37(10): 873-876.  
KONG L J, YANG Y H, ZHANG P, et al. The testing research of thermal stability of silicon MEMS infrared source[J]. *Infrared Technology*, 2015, 37(10): 873-876.
- [4] 程美英. 硅基微机械红外光源的设计和制备[D]. 厦门: 厦门大学, 2009.  
CHENG M Y. Design and fabrication of silicon-based micromachined infrared emitter[D]. Xiamen: Xiamen University, 2009.
- [5] 李兰, 刘铮, 邹德恕, 等. MEMS 技术用于红外器件制作[J]. 激光与红外, 2003(3): 212-214.  
LI L, LIU Z, ZOU D S, et al. Application of MEMS technology to infrared devices fabrication[J]. *Laser & Infrared*, 2003(3): 212-214.
- [6] Laine D C, Al-Jourani M M, Carpenter S, et al. Pulsed wideband IR thermal source[J]. *IEEE Proceedings-Optoelectronics*, 1997, 144(5): 315-322.
- [7] 刘颖, 徐金涛, 秦波. 超辐射发光二极管光源的分析与补偿研究[J]. 光学技术, 2016(1): 5-9.  
LIU Y, XU J T, QIN B. Research on analysis and compensation of the super-luminescent diodes light source[J]. *Optical Technique*, 2016(1): 5-9.
- [8] 王小鹏. 典型军用目标红外辐射特性测试研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2004: 7-10.  
WANG X P. Testing research of infrared radiation characteristics of typical military targets[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2004: 7-10.
- [9] Wang J, Gao J B, Ma L, et al. Testing of the SR5000 spectroradiometer performance[C]//*Proc. of SPIE*, 2002, 4927: 664-672.
- [10] 刘燕妮, 王梦达. 功率反馈式高稳定光源电路设计[J]. 现代电子技术, 2016(2): 122-125.  
LIU Y N, WANG M D. Design of high stable light source circuit with power feedback[J]. *Modern Electronics Technique*, 2016(2): 122-125.
- [11] 孙晓刚, 李云红. 红外热像仪测温技术发展综述[J]. 激光与红外, 2008(2): 101-104.  
SUN X G, LI Y H. Review of the development of temperature measurement technology with infrared thermal image[J]. *Laser & Infrared*, 2008(2): 101-104.
- [12] 邓雷. NTC 热敏电阻在精确测温系统中的应用分析[J]. 数字技术与应用, 2013(10): 100-101.  
DENG L. Analysis of NTC thermistors in precision temperature measurement system[J]. *Digital Technology and Application*, 2013(10): 100-101.