

微桥电阻的辐射特性研究*

李守荣

(华北电力大学 信息工程系, 北京 102206)

摘要:随着微机械加工技术的发展,电阻阵列成为一种最具发展潜力的动态红外景象产生器。在半实物(HWIL)仿真系统中,它被用来对红外摄像机、导弹寻的器以及各种红外探测系统的实时性能进行测试和评估。电阻阵列采用电阻元作为其微辐射元,当电流流过时,电阻元产生热量进而产生红外辐射。通过控制流过每个电阻元的电流就可以控制电阻的温度,从而达到显示红外图像的目的。介绍了利用表面微机械加工技术研制的电阻阵列基本组成单元——微桥电阻的辐射特性,主要包括:微桥电阻介质膜红外光谱辐射率、等效黑体辐射温度以及温度分辨率等,并通过分析得出该微桥电阻具有低功耗、高等效黑体辐射温度的特点,能够满足中波和长波红外目标模拟的需要。

关键词:微桥电阻; 红外光谱辐射率; 等效黑体辐射温度; 温度分辨率; 半实物仿真
中图分类号:V448.15 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2005)04-0442-04

Radiation characteristics of suspend resistor*

LI Shou-rong

(Department of Information Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: With the development of the technology of micromechanical processing, the Resistor Array becomes one of the most promising IR scene generators. In the Hardware-in-the-loop (HWIL) simulation system, it is usually used to test the real-time performance of IR camera, seeker and other IR detector systems. Resistor Array IR scene generator adopts resistors as their microemitters. When current passes each resistor, it is heated and produces IR radiation. By adjusting the current of each resistor, the temperature of the resistor can be controlled, and then the IR scene is generated. Radiation characteristics (including IR emissivity of dielectric film, effective blackbody temperature, temperature resolution) of suspend resistor—the basic cell of Resistor Array dynamic IR scene generator are introduced. Our analyses show that the suspend resistor has the characteristics of low power dissipation and high effective blackbody temperature, which can meet the simulation requirement of MWIR and LWIR radiation in hardware-in-the-loop simulation system.

Key words: Suspend resistor; IR emissivity; Effective blackbody temperature; Temperature resolution; Hardware-in-the-loop simulation

收稿日期:2004-11-01; 修订日期:2004-12-10

* 基金项目:国家自然科学基金支持项目(60402004)

作者简介:李守荣(1974-),女,安徽金寨人,讲师,博士,从事光电器件研究。

0 引言

电阻阵列动态红外景象产生器的单元结构通常有三种^[1-3]:硅桥电阻结构、薄膜电阻结构和微桥电阻结构。微桥电阻结构是电阻阵列动态红外景象产生器技术发展的必然要求^[4,5]。图 1 为微桥电阻的单元结构图^[6],主要由两条细长的“腿”支撑着的介质薄膜组成,在介质薄膜上淀积合适的电阻材料作为发热电阻。桥面与带电路的衬底间留有 2 μm 的间隙,真空中,仅由两条细长的“腿”提供热传导通道到作为热沉的衬底。微桥电阻有如下的优点:通过将电路放置在像元下面,大大提高了阵列中热辐射元的占空比同时能够很好地实现热隔离;由于结构中两条细长的“腿”是由导热率很小的介质薄膜组成(通常为 Si₃N₄),提供的能量能更有效地转换成热辐射,可以大大减小功耗;与硅桥电阻和薄膜电阻的单元结构相比,在材料的选择和结构的设计上微桥结构有更大的选择^[7]。因此,从占空比、功耗和无热串扰等方面来看,微桥电阻作为电阻阵列动态红外景象产生器的基本组成单元,能够实现低功耗、高辐射和无串音的图像输出,适合于多种红外目标的模拟。文中介绍了微桥电阻的工作原理、制造工艺及研制成功的微桥电阻红外辐射特性的测试结果及分析。

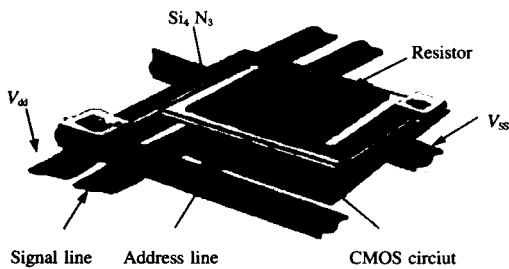


图 1 微桥电阻的结构

Fig.1 Schematic of suspend resistor

1 微桥电阻的工作原理及制造工艺

微桥电阻作为电阻阵列动态红外景象产生器的基本组成单元,其工作原理很简单^[3,6]:当微桥电阻通过电流时微辐射元被加热而产生红外辐射。依据 Plank 定理,温度不同的物体产生的红外辐射不同,通过控制流过每个微桥电阻的电流来控制每个电阻的

温度,从而控制每个微辐射元的辐射强度以达到显示红外图像的目的。

微桥电阻制造的主要工艺过程^[3,8](如图 2 所示):

- (1) 在硅基片中制备单元电路;
- (2) 涂布聚酰亚胺,聚酰亚胺经亚胺化后作为牺牲层(Sacrifice Layer, SL);
- (3) 淀积氮化硅作为电阻的支撑材料;
- (4) 溅射氮化钛作为发热电阻;
- (5) 淀积氮氧化硅薄膜作为应力平衡层;
- (6) 去掉牺牲层,形成悬空的微桥。

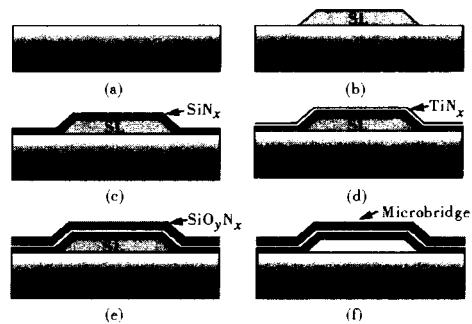


图 2 微辐射元的制造工艺流程

Fig.2 Process flow of microemitter

图 3 为我们研制出的微桥电阻的扫描电子显微照片。微桥电阻是由氮化硅和氮氧化硅复合介质膜、桥面电阻和桥腿电阻组成。复合介质膜作为微桥电阻的支撑和钝化层,桥面电阻 TiN 作为发热电阻,桥腿电阻 Ti 和 Al 作为电极。桥面与衬底反射层之间的距离约为 2 μm,很好地实现了热隔离,并减小了功耗。

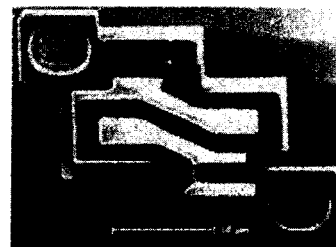


图 3 微辐射元的扫描电子显微照片

Fig.3 SEM photograph of microemitter

2 微桥电阻的辐射特性研究

2.1 微桥电阻介质膜红外光谱辐射率

根据微桥电阻的结构和制作工艺,一般认为微桥

电阻的红外辐射是靠电阻加热介质膜来实现的。因此,测定得到的介质膜的红外辐射率的值近似等于微桥的红外辐射率。利用SR5000光谱辐射计和SR450面黑体对构成微桥电阻的辐射率进行测试。测试结果如图4所示。根据图4的数据计算得到微桥电阻在3~5 μm 波段的光谱平均辐射率为0.292,在8~14 μm 波段的光谱平均辐射率为0.352。

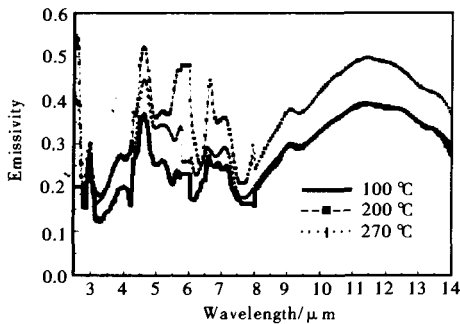


图4 微桥电阻介质膜光谱辐射率曲线
Fig.4 IR emissivity curve of dielectric film

2.2 等效黑体辐射温度和温度分辨率

在实际应用中,微桥电阻的辐射特性通常用等效黑体辐射温度来表征。因为在利用动态红外景象产生器对导引头进行测试时,在导引头的工作波段内,红外景象产生器辐射面上辐射能量的空间分布可以等效为温度的空间分布,该温度就是等效黑体辐射温度。等效黑体辐射温度与微桥电阻的实际温度存在如下关系:

$$T_r^4 = \varepsilon T^4 + (1 - \varepsilon) T_a^4 \varepsilon' \quad (1)$$

式中 T_r 为微桥电阻的等效黑体辐射温度; ε 为微桥电阻的发射率; T 为微桥电阻的实际温度; T_a 为环境温度; ε' 为环境的发射率。

由于微桥电阻在3~5 μm 和8~12 μm 波段的光谱辐射特性不同,分别用TVS-5500型热成像系统和AGEMA900测温热像仪对典型器件M_B_06(其阻值为1820 Ω)的辐射特性进行了测试。TVS-5500型热成像系统的光谱范围为2~5.5 μm , AGEMA900测温热像仪的光谱范围为8~12 μm 。由于测试系统的原因,在2~5.5 μm 波段测试时器件真空封装,而8~12 μm 波段测试时器件暴露在空气中,真空封装与否只

影响其功耗不影响光谱辐射特性(曲线形状)。测试结果如图5、图6所示。从测试结果可以看出,微桥电阻的等效黑体辐射温度随所加电压的增加而非线性增加。等效黑体辐射温度可以达到200 $^{\circ}\text{C}$ 以上,能够满足中波和长波红外模拟的需求^[9,10]。从电压与等效黑体辐射温度关系曲线还可以看出,微桥电阻在较低的功耗下能得到较高的等效黑体辐射温度。微桥电阻更适合于进一步大面积化。另外,在忽略由于发射率不同引起的等效黑体辐射温度不同的影响下,真空封装器件的功耗要比暴露在空气下要小很多。因此,在实际应用中器件通常采取真空封装。

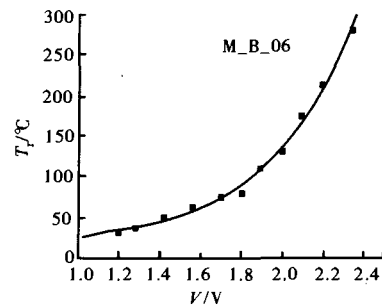


图5 2~5.5 μm 波段的电压与等效黑体辐射温度的关系曲线
Fig.5 Voltage as a function of effective blackbody temperature at waveband of 2~5.5 μm

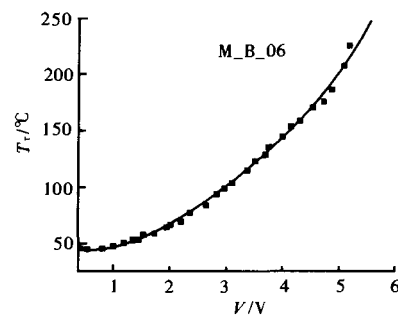


图6 8~12 μm 波段的电压与等效黑体辐射温度的关系曲线
Fig.6 Voltage as a function of effective blackbody temperature at waveband of 8~12 μm

利用图5、图6得到的测试结果,可以通过拟合电压-等效黑体辐射温度关系曲线(实线为拟合线)得到温度分辨率值。在实际应用中温度分辨率是指所加的控制电压变化一个很小的增量时,所引起的微桥电阻等效黑体辐射温度的变化量。采用四次方曲线拟合法,求出等效黑体辐射温度(T_r)~电压(V)拟合方程,

再由拟合方程求得温度分辨率曲线。由于在不同的温度范围,对温度分辨率的要求不一样,对每一条温度分辨率曲线,各取两个典型值。对器件 M_B_06 在 2~5.5 μm 波段电压与等效黑体辐射温度关系曲线进行拟合,得到拟合方程式为:

$$T_r = -241.57527 + 567.97561V - 393.53616V^2 + 81.91357V^3 + 10.01093V^4$$

$$\frac{\partial T_r}{\partial V} = -567.97561 + 393.53616 \times 2V - 81.91357 \times 3V^2 + 10.01093 \times 4V^3$$

$$\left. \frac{\partial T_r}{\partial V} \right|_{V=1V} = 0.07 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{mV}; \quad \left. \frac{\partial T_r}{\partial V} \right|_{V=4V} = 0.30 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{mV} \quad (2)$$

对器件 M_B_06 在 8~12 μm 波段电压与等效黑体辐射温度关系曲线进行拟合,得到的拟合方程式为:

$$T_r = 54.474 - 31.450V + 28.329V^2 - 5.752V^3 + 0.504V^4$$

$$\frac{\partial T_r}{\partial V} = -31.450 + 56.659V - 17.257V^2 + 2.017V^3$$

$$\left. \frac{\partial T_r}{\partial V} \right|_{V=1V} = 0.01 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{mV}; \quad \left. \frac{\partial T_r}{\partial V} \right|_{V=4V} = 0.048 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{mV} \quad (3)$$

器件 M_B_06 在 2~5.5 μm 波段的拟合结果所计算出的温度分辨率在高温段和低温段分别为 0.07 和 0.30 $^\circ\text{C}/\text{mV}$, 在 8~12 μm 波段的拟合结果所计算出的温度分辨率在高温段和低温段分别为 0.01 和 0.048 $^\circ\text{C}/\text{mV}$ 。由计算结果可以看出,微桥电阻的温度分辨率的值随电压 V 而变化,在低温段较小,高温段较大。根据温度分辨率的值可以为合理地划分图像的灰度等级提供依据。

3 结论

根据电阻阵列动态红外景象产生器对其组成单元性能的要求,对微桥电阻的辐射性能进行了测试。测试结果表明,微桥电阻具有能够满足中波和长波红外模拟在等效黑体辐射温度范围和温度分辨率等方面的要求^[11],且该微桥电阻的功耗低,适合于进一步面

阵化。

参考文献:

- [1] LI Shou-rong, LIANG Ping-zhi. Dynamic IR scene generation technology[J]. Infrared and Laser Engineering(李守荣,梁平治. 动态红外景象产生技术. 红外与激光工程), 2001, 30(3): 184-189.
- [2] Lake S P. Description and performance of an electrically heated pixel IR scene generator[A]. SPIE[C]. 1991, 1486: 286-293.
- [3] Cole B E, Han C J, Higashi R E, et al. Infrared cryogenic scene projector arrays[J]. Sensors and Actuators A, 1995, 48: 193-202.
- [4] DONG Yan-zhi, ZHOU Xiao-dong. Scene projection research of infrared imaging in hardware in the loop simulation[J]. Laser & Infrared(董言治,周晓东. 红外成像半实物仿真中景象投影方式的研究. 激光与红外), 2004, 34(4): 243-246.
- [5] LOU Shu-li, ZHOU Xiao-dong, DONG Yan-zhi. Research on the method of dynamic infrared scene generation[J]. Infrared and Laser Engineering(娄树理,周晓东,董言治. 动态红外景象生成方法研究. 红外与激光工程), 2004, 33(4): 427-431.
- [6] Cole B, Weeres S, Hidley R, et al. Honeywell resistor array development and future directions[A]. SPIE[C]. 1999, 3697: 188-196.
- [7] Cole B E, Han C J. Low power infrared scene projector array and method of manufacture[P]. U S Patent: 5600148, 1997-4.
- [8] LI Shou-rong, LIANG Ping-zhi, QU Xin-ping. Development of IR microemitter[J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves(李守荣,梁平治,屈新萍. 红外微辐射元的研制. 红外与毫米波学报), 2003, 22(4): 277-280.
- [9] Pritchard A P, Balmord Mark D, Venables Mark A, et al. Developments in the design and performance of IR scene projector devices at BAE Systems[A]. SPIE[C]. 2000, 4027: 342-349.
- [10] Lawrence E, Olson Eric M, Goldsmith II George C, et al. Characterization measurements of the wideband infrared scene projector resistor array[A]. SPIE[C]. 1996, 2742: 25-37.
- [11] JI Dong-chao, XIAO Ming-qing, HE Zhong-wu, et al. Design of semi physical simulation system for missile infrared control and guide system[J]. Fire Control & Command Control(姬东朝,肖明清,贺中武,等. 红外导弹制导系统的半实物仿真系统设计. 火力与指挥控制), 2003, 28(6): 78-80.