

光导 PbS 焦平面探测器制备中负载电阻的选取

侯治锦^{1,2}, 司俊杰^{1,2}, 王巍^{1,2}, 吕衍秋^{1,2}, 王锦春^{1,2}, 陈湘伟¹

(1. 中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471099;

2. 红外探测器技术航空科技重点实验室, 河南 洛阳 471099)

摘要: 负载电阻分流方式通常用于消除光导 PbS 探测器的背景电流, 其中各探测单元光敏元电阻与相对应负载的阻值可以相等, 也可以成一固定比例。为研究不同负载电阻均可应用于光导 PbS 焦平面探测器, 采用尺寸同为 $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$ 的光敏元、分别为 $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$ 和 $200\ \mu\text{m} \times 50\ \mu\text{m}$ 的负载研制了线列 1×128 光导 PbS 红外焦平面探测器。利用红外焦平面测试系统对不同负载电阻制备的器件性能进行了测试与分析。研究表明, 采用不同负载电阻均获得了性能正常的器件; 在相同的光敏元工作参数下, 器件的平均黑体响应率、平均黑体探测率基本一致, 负载对其均无影响。研究结果验证了仅通过调节负载电阻即可使器件背景输出电平平坦化的可行性。

关键词: 负载电阻分流方式; 焦平面; 光导; 硫化铅

中图分类号: TN215 文献标志码: A 文章编号: 1007-2276(2014)09-2793-05

Resistance selection of blind sensitive element in PC PbS IRFPA detector fabrication

Hou Zhijin^{1,2}, Si Junjie^{1,2}, Wang Wei^{1,2}, Lv Yanqiu^{1,2}, Wang Jinchun^{1,2}, Chen Xiangwei¹

(1. China Airborne Missile Academy, Luoyang 471099, China;

2. Aviation Key Laboratory of Science and Technology on Infrared Detector, Luoyang 471099, China)

Abstract: Resistance selection of blind element used in linear photoconductive (PC) PbS detector for counteracting background current was analyzed. It was found that the blind element resistance can be chosen to be same as, or to be a fixed ratio to that of relevant sensitive element. And the ratio should be equal with ratio of biases applied to blind element and relevant detector. Two linear PC 1×128 PbS infrared focal plane array (IRFPA) detectors, with sensitive element size of $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$, and blind element size of $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$ and $200\ \mu\text{m} \times 50\ \mu\text{m}$, were fabricated and their performance were tested by IRFPA test system. Results show that when the working condition satisfied average responsivity and average detectivity are same for using different blind elements. Results validate the feasibility that background output uniformity improvement of IRFPAs by tuning the resistance of blind element.

Key words: resistance selection of blind sensitive element; focal plane array; photoconductive; PbS

收稿日期: 2014-01-15; 修订日期: 2014-02-20

基金项目: 航空科学基金(2007ZC12003)

作者简介: 侯治锦(1982-), 男, 硕士生, 主要从事红外焦平面探测器方面的研究。Email: changhui090504@126.com

导师简介: 司俊杰(1963-), 男, 研究员, 博士, 主要从事红外探测器方面的研究。Email: Si_Junjie@126.com

0 引言

铅盐探测器以其室温工作、成本低(相对于制冷型红外探测器)、响应时间短、性能高(相对于热探测器)等优点满足成本低、灵敏和响应时间短等应用而备受关注^[1-2]。PbS 探测器作为工作于近红外波段(1~3 μm)最早期发展的典型光导探测器,其薄膜光电响应特性研究历史悠久。光导 PbS 焦平面探测器在导弹制导、工业控制、红外成像等军民两用领域有着广泛应用^[3-5]。国外 Cal Sensors 公司和 Northrop Grumman 公司早已报道了 1×128、1×256、320×240 等 PbS 线列和面阵焦平面探测器,国内关于此方面的研究很少。

负载电阻分流方式通常用来分流探测器的偏置电流,该方式中各探测单元包括同时制备的电阻相等的探测光敏元和相对应的负载^[6-7]。线列 1×128 光导 PbS 焦平面探测器采用该负载电阻分流方式时,由于制备均匀性的原因,使采用化学浴沉淀法制备的薄膜阻值有差别,负载阻值与光敏元阻值不相等,在相同的偏压下,背景输出电平不平坦,从而影响探测器性能。针对这种情况,尝试激光调阻应用于背景输出电平平坦化。针对激光调阻只能使材料阻值变大的特点,用激光调阻对线列 1×128 光导 PbS 焦平面探测器的阻值调节有两种实现方法:一种为用激光对光敏元阻值和负载阻值都进行调节,使两者相等;另一种为用激光只对负载阻值进行调节。采用激光对光敏元阻值进行调节时牺牲了光敏元面积,因此综合考虑选择用激光对负载阻值进行调节,拟将负载的阻值调大,使光敏元阻值和负载阻值成一定比例。针对此问题,提出了不同负载电阻均可应用于光导 Pbs 焦平面探测器的研究,旨在探索负载电阻分流方式中各种探测单元光敏元相对应的负载电阻选取方法,研究结果验证了仅通过调节负载电阻即可使器件背景输出电平平坦化的可行性。

1 理论分析

光导探测器需在偏流或偏压条件下工作。为了避免偏置电流直接在积分电容上积分,以致出现信噪比降低及信号饱和现象,在设计光导型探测器芯

片和读出电路的接口时需考虑选择合适的分流方式来实现分流偏置电流。文中采用负载电阻分流方式来实现分流偏置电流的目的。负载电阻分流方式具体做法是每个探测单元包含同时制备的两个 PbS 探测器,其中一个作为光敏元使用,另外一个作负载使用。

负载电阻分流方式中线列 PbS 各探测单元光敏元与负载的阻值可以相等,也可以成一固定比例。

理论分析如下:

文中采用电容反馈跨阻放大器(CTIA)读出电路。单元电路原理图如图 1 所示,图中, R_d 为光敏元阻值; R_b 为负载阻值; V_{ref} 为参考电平; I_o 为背景输出电流; V_d 为加载在 R_d 上的偏压; V_b 为加载在 R_b 上的偏压。

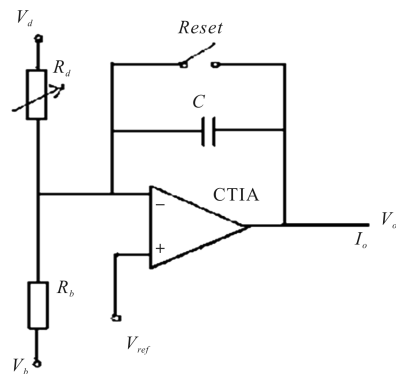


图 1 线列 1×128 元光导 PbS 焦平面探测器单元电路原理图

Fig.1 Pixel configuration for 1×128 linear PbS IRFPA detector

假定电流注入 CTIA 方向为正,对采用负载电阻分流方式的焦平面探测器而言,则有:

$$I_o = \frac{V_d - V_{ref}}{R_d} - \frac{V_{ref} - V_b}{R_b} \quad (1)$$

若使背景输出电流为 0,由公式(1)分析可得:

当 $R_d = R_b$,

$$V_d - V_{ref} = V_{ref} - V_b \quad (2)$$

当 $R_d \neq R_b$,

$$\frac{V_d - V_{ref}}{V_{ref} - V_b} = \frac{R_d}{R_b} \quad (3)$$

由公式(2)、(3)可知,当光敏元与负载的阻值相等时,此时将光敏元和负载所加偏压设置为相等,则输出电流为 0;当光敏元与负载成一固定比例时,通过调节负载上的偏压(调节加载在光敏元的偏压会影响探测器的响应率和探测率),使光敏元两端偏压和负载两端偏压之间的比值与光敏元阻值和负载阻

值之间的比值相同,则输出电流同样为 0。由于负载与光敏元为同时制备的 PbS 光敏薄膜,故两者电阻温度系数相同,因此温度波动不影响分析结论。

2 线列 PbS 焦平面探测器制备

为了验证前述理论,光敏元与负载的阻值相等时选取常规尺寸,光敏元尺寸与负载尺寸同为 $100\ \mu\text{m}\times 100\ \mu\text{m}$;光敏元与负载的阻值成一定比例时,选取两者阻值相差较大的尺寸,此处选取光敏元尺寸为 $100\ \mu\text{m}\times 100\ \mu\text{m}$ 、负载尺寸为 $200\ \mu\text{m}\times 50\ \mu\text{m}$ 。采用不同的负载分别制备了线列 1×128 元光导 PbS 焦平面探测器。其中探测器光敏元尺寸同为 $100\ \mu\text{m}\times 100\ \mu\text{m}$,中心距为 $100\ \mu\text{m}$ 。线列 1×128 元光导 PbS 焦平面探测器采用 PbS 芯片和 CTIA 读出电路通过金丝球焊互连而成。PbS 薄膜是用化学浴沉淀法制备的,衬底为石英玻璃。在作为负载电阻的 PbS 探测器上,采用表面镀有厚度为 $1000\ \text{\AA}$ ($1\ \text{\AA}=0.1\ \text{nm}$) 金膜的玻璃片遮挡,从而避免其接受辐射。芯片与读出电路密封在封装壳体内,壳体内充入氮气。封装壳体中间为探测器芯片,左右为读出电路,底端为过渡引线片。窗口采用 k9 玻璃。制备好的线列 1×128 元光导 PbS 焦平面探测器如图 2 所示。

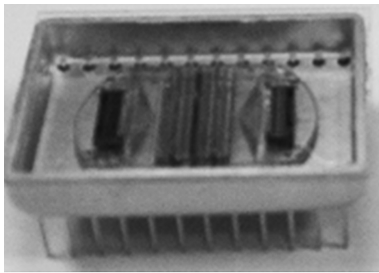


图 2 线列 1×128 元光导 PbS 焦平面探测器

Fig.2 1×128 linear PC PbS IRFPA detector

3 测试分析与验证

依据红外焦平面阵列特性参数测试技术规范^[8]进行了测试。线列 1×128 元光导 PbS 焦平面探测器测试条件如表 1 所示。

在上述测试条件下,采用常规的红外焦平面的测试方法,并通过改变负载两端的偏压,完成了负载尺寸为 $100\ \mu\text{m}\times 100\ \mu\text{m}$ 和 $200\ \mu\text{m}\times 50\ \mu\text{m}$ 的线列 1×128 光导 PbS 焦平面探测器的测试。

表 1 线列 1×128 元光导 PbS 焦平面探测器测试条件

Tab.1 Characteristics of 1×128 linear PbS IRFPA detector

Characteristics	Value
Room temperature	300 K
Working temperature	700 K
Working wave band	1-3 μm
Diameter of hole of diaphragm	5 mm
Distance between hole of diaphragm and photosensitive detector	30 cm
Size of photosensitive element	$100\ \mu\text{m}\times 100\ \mu\text{m}$
Bias voltage	0.5-4 V

性能表现如下。

(1) 负载尺寸为 $100\ \mu\text{m}\times 100\ \mu\text{m}$ 的焦平面探测器

探测器偏压为 3 V,积分时间为 20 μs ,读出电路偏置电压为 3.5 V,负载两端所加偏压为 3 V,与光敏元两端所加偏压(即探测器偏压)相等,此时焦平面探测器平均黑体响应率为 $4.19\times 10^6\ \text{V/W}$,平均黑体探测率为 $5.79\times 10^9\ \text{cm}\cdot\text{Hz}^{1/2}\cdot\text{W}^{-1}$ 。

(2) 负载尺寸为 $200\ \mu\text{m}\times 50\ \mu\text{m}$ 的焦平面探测器

这里选择通过调节负载两端的偏压使光敏元两端偏压和负载两端偏压之间的比值与光敏元阻值和负载阻值之间的比值相同。所得结果如下:负载两端所加偏压为 10 V,其它条件不变,此时焦平面探测器平均黑体响应率为 $4.28\times 10^6\ \text{V/W}$,平均黑体探测率为 $5.85\times 10^9\ \text{cm}\cdot\text{Hz}^{1/2}\cdot\text{W}^{-1}$ 。

负载两端所加偏压为 10 V 的理由分析如下:尺寸为 $200\ \mu\text{m}\times 50\ \mu\text{m}$ 的 128 元 PbS 探测器的平均阻值为 $360\ \text{k}\Omega$,尺寸为 $100\ \mu\text{m}\times 100\ \mu\text{m}$ 的 128 元 PbS 探测器的平均阻值为 $110\ \text{k}\Omega$,两者阻值之比约为 3.27,光敏元两端所加偏压为 3 V,由于光敏元两端偏压和负载两端偏压之间的比值与光敏元阻值和负载阻值之间的比值相同,经计算,负载两端所加偏压为 9.81 V,与负载两端实际所加偏压 10 V 有偏差,这是由 PbS 探测器自身阻值随环境如温度、湿度等产生一定的波动造成的。

负载尺寸为 $100\ \mu\text{m}\times 100\ \mu\text{m}$ 和 $200\ \mu\text{m}\times 50\ \mu\text{m}$ 的线列 1×128 光导 PbS 焦平面探测器的工作参数及性能指标归纳对比如表 2、表 3 所示。

表 2 探测器工作参数对比表

Tab.2 Comparison of working parameters of detector

Working parameters	Value	
Size of reference element	100 $\mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$	200 $\mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$
Bias voltage applied to PbS detector	3 V	3 V
Integration time	20 μs	20 μs
Integration capacity	16 pF	16 pF
Bias voltage applied to ROIC	3.5 V	3.5 V

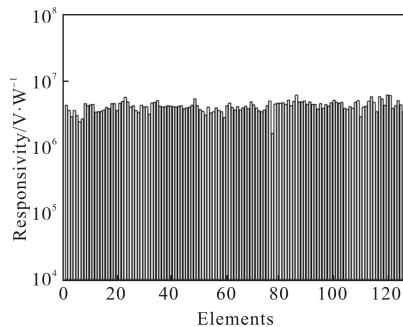
表 3 探测器性能指标对比表

Tab.3 Comparison of detector performance

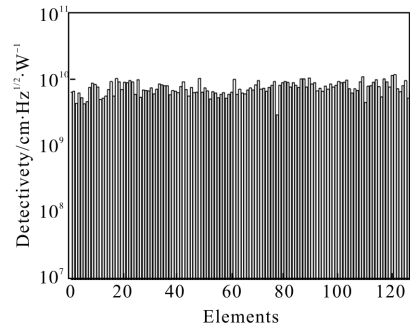
Parameter	Value	
Size of photosensitive element	100 $\mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$	100 $\mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$
Pitch of two neighbor elements	100 μm	100 μm
Size of reference	100 $\mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$	200 $\mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$
Working wave band	1–3 μm	1–3 μm
Average responsivity	$4.19 \times 10^6 \text{ V/W}$	$4.28 \times 10^6 \text{ V/W}$
Average detectivity	$5.79 \times 10^9 \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$	$5.85 \times 10^9 \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$
Room temperature	300 K	300 K

从表 2、表 3 可以看出,经实际测试,负载尺寸为 100 $\mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$ 和 200 $\mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$ 的线列 1 \times 128 光导 PbS 焦平面探测器的平均黑体响应率、平均黑体探测率在光敏元工作参数相同的条件下基本一致。这表明,负载电阻分流型电路中各探测单元光敏元与相对应的负载阻值可以相等,也可以成一固定比例。无论选择哪种方案,探测器在相同的光敏元工作参数下,负载对探测器的平均黑体响应率、平均黑体探测率均无影响。

图 3 和图 4 给出了线列 1 \times 128 光导 PbS 焦平面

图 3 线列 1 \times 128 光导 PbS 焦平面探测器响应率Fig.3 Responsivity of 1 \times 128 linear PbS IRFPA detector

探测器的响应率和探测率。可以看出,该光导 PbS 焦平面探测器具有较好的均匀性和正常的光电性能。

图 4 线列 1 \times 128 光导 PbS 焦平面探测器探测率Fig.4 Detectivity of 1 \times 128 linear PbS IRFPA detector

4 结论

文中研究了不同负载电阻均可在光导 PbS 焦平面探测器上的应用。采用尺寸同为 100 $\mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$ 的光敏元、分别为 100 $\mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$ 和 200 $\mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$ 的负载制备了线列 1 \times 128 光导 PbS 焦平面探测器。实验图表表明,采用不同负载电阻均获得了性能正常的器件;器件的平均黑体响应率、平均黑体探测率在光敏元工作参数下相同的条件下基本一致,负载对其均无影响。结果表明,负载电阻分流方式中各探测单元光敏元与相对应的负载的阻值可以相等,也可以成一固定比例。器件制备与测试结果有效验证了该结论。验证结果可以预期,合理选择相应的实验方法,同时采用性能较佳的激光器,能够利用激光调阻法使线列光导 PbS 焦平面探测器的背景输出均匀性得到改善,器件性能得到进一步的优化。

参考文献:

- [1] Sánchez F J, Rodrigo M T, Vergara G, et al. Progress on monolithic integration of cheap IRFPAs of polycrystalline PbSe[C]//SPIE, 2005, 5783: 592–598.
- [2] Rodrigo M T, Sánchez F J, Torquemada M C, et al. Polycrystalline lead selenide x - y addressed uncooled focal plane arrays [J]. *Infrared Physics & Technology*, 2003, 44: 281–287
- [3] Steven Jost, John Barret. Lead salt room-temperature MWIR FPA[C]//SPIE, 2001, 4369: 355–359.
- [4] Torquemada M C, Villamayor V, Rodrigo M T, et al. Polycrystalline PbSe x - y addressed uncooled FPAs[C]//SPIE,

- 2003, 5074: 592-599.
- [5] Cai Yi, Hu Xu. Short wave infrared imaging technology and its defence application [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, 35(6): 643-647. (in Chinese)
蔡毅, 胡旭. 短波红外成像技术及其军事应用 [J]. 红外与激光工程, 2006, 35(6): 643-647.
- [6] Chen Xiqu, Yi Xinjian, Wang Qiang. Low-noise readout circuit of VO₂-based uncooled focal plane array [J]. *J Infrared Millim Waves*, 2006, 25(4): 246-250. (in Chinese)
陈西曲, 易新建, 王强. 具有低噪读出特性的 VO₂ 非致冷焦平面读出电路[J]. 红外与毫米波学报, 2006, 25(4): 246-250.
- [7] Chen Xiqu, Li Xianghui, Yi Xinjian, et al. New readout circuit of uncooled infrared focal plane arrays without TEC [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, 35 (5): 551-554. (in Chinese)
陈西曲, 李祥辉, 易新建, 等. 新型无 TEC 的非制冷 IRFPA 读出电路研究[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(5): 551-554.
- [8] GB/T 17444-1998. The technical nonns for measurement and test of characteristic parameters of infrared focal plane arrays[S]. Beijing: Chinese Standard Press, 1998. (in Chinese)
GB/T 17444-1998. 红外焦平面阵列特性参数测试技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.