

# HgCdTe 红外探测器信号抑漂与一致性研究

周振林

(哈尔滨铁路局科学技术研究所, 黑龙江 哈尔滨 150006)

**摘要:**对三级半导体制冷 HgCdTe 红外探测器信号输出不一致性和信号漂移产生原因进行深入分析与研究,并说明使其输出一致与信号稳定的必要性,着重论证了调整偏置电流对探测器输出的影响,并采用校零技术,信号合成与还原技术等对抑制漂移的基本方法。

**关键词:**半导体恒温制冷;红外探测器;漂移;校零

**中图分类号:**TN215 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2014.03.008

## Study on signal floating suppression and consistency of the HgCdTe infrared detector

ZHOU Zhen-lin

(Harbin Institute of Science and Technologies Research, Harbin Railway Bureau, Harbin 150006, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of signal floating and non-consistency of the three-stage thermoelectrically cooled photoconductive (PC) HgCdTe Infrared detectors, the causes are analyzed and studied. The necessity of output consistency and signal stabilization is pointed out. This paper focuses on the influence of adjusting the bias current on the output voltage. It is used the zero-calibration technology, the signal synthesis and the restoring technology to eliminate and control the voltage floating.

**Key words:** constant cooling by thermo-conductor; infrared detector; voltage floating; zero-calibration

### 1 引言

目前,在已知的各种红外探测器材料中,HgCdTe 依然是重要和首选的红外探测器件,其突出性能是在整个红外波段( $1 \sim 20 \mu\text{m}$ )具有很高的光子吸收率;与其他材料相比,同样的温度下,HgCdTe 热激发载流子产生的暗电流最小<sup>[1]</sup>;红外信号响应速度快(时间常数在  $2 \mu\text{s}$ )等特点。半导体三级制冷下的 HgCdTe 充氮封装,制成的红外探测器具有灵敏度高、性能稳定等优势。

当然在制作 HgCdTe 合成材料过程中<sup>[2]</sup>,由于生产工艺的因素,往往导致 HgCdTe 元件静态物理特性和输出特性的差异,从而使器件信号响应率随元件不同而产生一定变化,另外,在半导体制冷器恒温过程中,因电流稳定性原因,探测器输出信号放大后会产生一定的漂移,随着时间的增加漂移也不断加大,甚至漂移信号最终会淹没实际热电信号,因

此,解决因电制冷和元件自身因素产生的漂移尤为重要<sup>[3]</sup>。

本文着重分析了 HgCdTe 的性能,调整偏置电流的方法,信号校零技术及温度校准电压技术,实现在三级半导体制冷下 HgCdTe 红外探测器抑漂和信号输出一致,这对大量使用该探测器领域具有非常重要的意义。

### 2 半导体制冷 HgCdTe 元件信号放大一致性

#### 2.1 HgCdTe 元件生产背景

目前国内使用较为普遍的 HgCdTe 元件均为手工制作,鉴于制造工艺和材料切割差异,每个 HgCdTe 元件的非制冷阻抗是不一样的,光波响应

**作者简介:**周振林(1964-),男,工学学士,高级工程师,研究方向是对高速铁路车辆的轴承、车轮及走行部进行红外线探测,及时发现高温故障。E-mail:zhouzhenlin@veic.com.cn

**收稿日期:**2013-07-03;**修订日期:**2013-08-08

率也不一样,也就造成每个封装后的 HgCdTe 器件会出现相同目标温度温升,而不同的热电敏感效应结果,因此,在实际应用中,或大量使用该探测器的领域,每个探测器一般选取一个标准热源(简称热靶)作为温度量化中介,首先把热靶在环境温度基础上加热一定高度,并记录热源加热过程中 HgCdTe 元件的输出电压和热靶的热力学温度,形成热电效应曲线,当探测实际发热物体时,取得探测器的输出电压,在热电效应曲线中查找对应的热力学温度,以此来达到整个系统输出热力学温度的目的,依照这样的方法,三大缺点影响探测效果:①环境温度变化对其影响较大;②系统输出热力学温度会产生波动且不稳定;③所探测目标温度范围受限(一般 130℃ 温升,因热靶不可能加热过高)。如果找到一条适合所有探测器的曲线,那么这个热靶就没有存在必要了,优点就明显显现,尤其在探测更高温和较大温升范围的领域更加有效。实现这样的目的,唯一要求就是做成输出一致的 HgCdTe 红外探测器。

## 2.2 HgCdTe 电信号一致性调整

HgCdTe 元件本身的特性差异已无法改变,只有借助于外围电路来改变其最终输出大小,图 1 为可调探测器输出初级信号放大电路。 $R_1$  为 HgCdTe 元件接入偏置电流保护电阻; $R_2$  为 HgCdTe 元件微调电阻; $R_3, R_4$  电压参考点 B 电位值设置电阻; $R_5$  为初级放大倍数设置电阻;AD620 为高精度放大器; $I_D$  为元件的偏置电流。

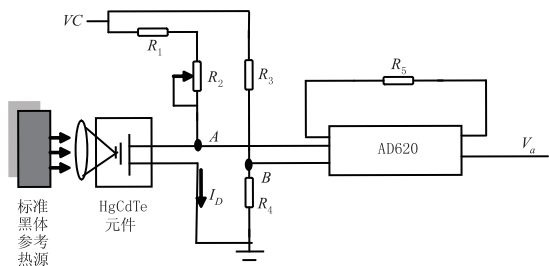


图 1 HgCdTe 元件信号输出一级放大

Fig. 1 First amplification of the output voltage of HgCdTe detector

偏置保护电阻  $R_1$  起到保护 HgCdTe 元件的目的,通过 HgCdTe 元件电流过大会烧坏该器件,该偏置电流一般小于 3 mA,电位器  $R_2$  使 HgCdTe 元件工作在 3 mA 以内。

根据 HgCdTe 元件的固有特性,其信号输出大小除其与本身内效应阻值变化大小有关外,由通过偏置电流  $I_D$  大小也决定着输出信号增量,虽然元件个体有一定差异,内阻不能任意调整,但通过精密调整该偏置电流  $I_D$ ,使其输出一致变得可行,调整前

要借助于高低温标准黑体来完成。图 1 可见,设置高低温标准黑体低温段温度  $T_0$ ,调整  $R_2$  使 A 点电压为  $V_{A0}$ ,设置高低温标准黑体高温段温度  $T_1$ ,得到 A 点电压为  $V_{A1}$ ,  $V_a$  的电压增量与偏置电流调整关系计算如下:

$$V_{A0} = I_D R_{A0} \quad (1)$$

$$V_{A1} = I_D R_{A1} \quad (2)$$

$$V_{A0} = (49.4/R_5 + 1) V_{A0} \\ = (49.4/R_5 + 1) I_D R_{A0} \quad (3)$$

$$V_{A1} = (49.4/R_5 + 1) V_{A1} \\ = (49.4/R_5 + 1) I_D R_{A1} \quad (4)$$

$$\Delta V_a = ((49.4 + R_5)/R_5)(V_{A1} - V_{A0}) \\ = (49.4/R_5 + 1) I_D (R_{A1} - R_{A0}) \quad (5)$$

式(5)中, $R_{A0}$ 为黑体低温下 HgCdTe 元件的阻值; $R_{A1}$ 为黑体高温下 HgCdTe 元件的阻值。

根据 HgCdTe 元件的波长谐振特性,不同的目标温度段, $\Delta V_a$  是不一样的,高端温度温升的  $\Delta V_a$  与低端温度温升相差很大,因此,调整偏置电流的同时,兼顾  $R_5$  大小的选取,避免输出出现溢出饱和。

对于不同元件,通过调整  $R_2$ ,来满足公式(3)中的  $\Delta V_a$  的大小一致性,从而使 HgCdTe 元件输出经过放大后保持一致,一般需要几次调整,方能做到高低端温度的兼顾,当 HgCdTe 元件的工作温度需要变更时,还需要再加一组偏置电流调整电路,通过模拟开关选取需要哪组电路起作用。

## 3 元件恒温与抑制漂移

### 3.1 半导体制冷恒温控制与漂移产生的原因

HgCdTe 元件必须工作在恒温环境,图 2 为 HgCdTe 元件恒温控制电路, $T_y$  为 HgCdTe 元件内工作温度标称电压信号,044 N 为大功率驱动管。

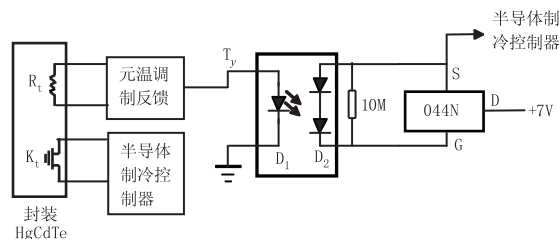


图 2 HgCdTe 元件恒温控制电路框图

Fig. 2 HgCdTe detector's cooling control circuit diagram

经过调制后的元温信号  $T_y$  的大小反映了 HgCdTe 元件内的恒定温度的高低,当环境温度升高时,元件内热敏电阻  $R_t$  阻值相应减少,从而使  $T_y$  值增加,当  $T_y$  的增加并达到一定阈值时,二极管  $D_1$  的导通并发光,同时驱动  $D_2$  导通,大功率驱动 044 N 的输出电流,使元件内温度降低, $R_t$  开始增大,元温

调制反馈电路又要拉低  $T_y$  电压,导致二极管  $D_2$  截止,阻止 044 N 输出电流,在 044 N 输出截止震荡中逐步趋于平稳,实现元件工作温度基本不变,保证 HgCdTe 元件的正常稳定输出。

但事实上,由于元器件制冷器本身的特性,电源的干净程度及元件内热传导等因素,都不可能使元件工作在绝对恒温的环境,总是存在元件背景温度的微小变化,尤其电源的噪音与元件内热传导不确定性,结果造成元件产生了漂移电压,随着时间的增加电压,漂移不断增加,长时间的漂移信号和有效探测信号进行叠加,产生很大输出误差,实验证明,24 h 的漂移相当温度变化  $5^\circ\text{C}$  以上,元件不同,漂移程度不同,只有有效抑制漂移,才能输出精确的温度值。

### 3.2 抑制漂移的方法

上述可见,漂移产生的原因主要来源于 HgCdTe 元件的输出,而放大电路的漂移可以忽略,如图 3 所示,  $V_a$  为上一级放大电路的输出信号,漂移大小在该端体现,消除漂移的基本方法就是在探测器对准一个静态常温参考热源时(该热源温度可测),使  $V_o$  输出一直保持为零(简称校零),当需要对有效目标发热物体探测时,取消校零,并获取目标温度与参考热源间的温差电压,电路工作原理如下:当控制模拟开关把  $M$  与  $N$  点导通后,  $V_o$  大小就会通过校零控制电路反馈到放大器的电压参考端,无论  $V_o$  怎样变化,电路都会保证  $V_b$  与  $V_a$  相等,把  $V_o$  拉回到 0 状态,从而完成校零控制,在校零状态下,无论元件输出多大的漂移,  $V_o$  输出始终为 0。

当探测器需要探测有效目标热源时,控制模拟开关把  $M$  和  $N$  点断开,此时,放大器输出信号为待测目标温度与静态常温参考热源的和,因此,对于一个长时间需要探测的目标热源,定时进行校零是非常必要的,校零操作时间是非常短的,不会影响热源探测精度。

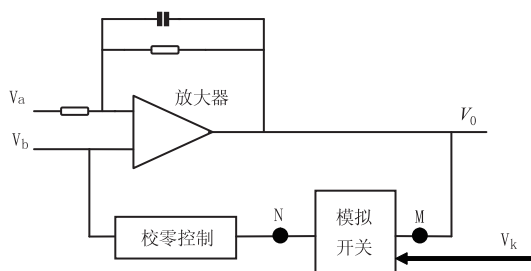


图3 校零与二级放大电路

Fig. 3 Zero-calibration and second amplification circuit diagram

当然在校零期间,探测器必须要有一个静态的

标准的目标热源作为参考,并不断采集该参考热源的电压值,以便把参考热源的电压值与实际热源的电压输出值进行合成输出。

### 4 信号合成与还原

常态参考热源的电压值的准确性也是很重要的,一般植入一高精度铂电阻(PT1000)来获取温度电压值,因探测器对其照射时间较长,所以无要求其辐射系数,铂电阻实时反馈常态参考热源的变化,通过调制电路调制成电压信号送单片机采集,单片机得到该信号后经过运算,形成探测器特征曲线内的对应的温度电压信号数值,通过 D/A 数模转换器生成模拟信号加到电压校准控制电路,同时输出电压值  $V_H$ ,如图 4 所示,  $V_o$  为校零放大级放大后的信号,  $V_{out}$  为最后合成输出电压信号,其大小如下:

$$V_{out} = K V_o + V_H$$

式中,  $V_{out}$  为最终输出温度电压信号;  $K$  为后级放大器的放大倍数;  $V_o$  为后级放大输入信号;  $V_H$  为常态参考热源调制电压。

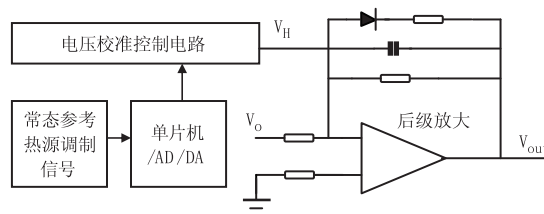


图4 输出电压校准及合成放大电路

Fig. 4 Output voltage verification and composing amplification circuit diagram

如图 4 所示电路中,二极管与倍数因子电阻组成一个非线性放大电路,其主要目的是抑制探测器在高端目标温度输出饱和问题,增加探测目标的温升范围。

### 5 结论

输出一致性和漂移抑制是 HgCdTe 红外探测器领域有待解决的重要技术,通过实验可知,在偏置电流 3 mA 内调整余量很大,元件特性保持不变的情况下,从 0.5 ~ 2.3 mA 内完全可以调制出输出特性完全一致的复合电路,温升范围可达  $200^\circ\text{C}$  或更高。抑制漂移和校零电路的使用,以及最终的信号合成与还原,实现了半导体制冷下的 HgCdTe 红外探测器信号漂移的抑制,使 HgCdTe 红外探测器输出更具有使用价值, HgCdTe 红外探测器在铁路轴温探测领域有大量运用,本技术的运用将是该器件在铁路车辆轴温探测中,将具有很重要的意义。

## 参考文献:

- [1] Zeng Gehong. Performance HgCdTe infrared detector at different temperatures[J]. Infrared Technology, 2012, 34(1): 1-3. (in Chinese)  
曾戈虹. HgCdTe 红外探测器性能分析[J]. 红外技术, 2012, 34(1): 1-3.
- [2] Li Songshan, Wang yue, Zhu Hong. Experiment and research on laser countermeasure of infrared sensor[J]. Laser & Infrared, 2012, 42(5): 547-550. (in Chinese)  
李松山, 王岳, 朱虹. 红外传感器的带外激光对抗技术试验研究[J]. 激光与红外, 2012, 42(5): 547-550.
- [3] Sun Zhiyuan, Qiao Yanfeng, Zhu Wei. Influence of IRFPA drifting characteristic on measurement precision[J]. Laser & Infrared, 2008, 38(3): 238-241. (in Chinese)  
孙志远, 乔彦峰, 朱玮. 红外探测器的漂移特性对测温精度的影响[J]. 激光与红外, 2008, 38(3): 238-241.