

文章编号: 1672-8785(2019)09-0012-06

# 长波碲镉汞探测器工作温度对 输出图像的影响

张小倩 王 亮

(中国电子科技集团第十一研究所, 北京 100015)

**摘 要:** 为分析长波碲镉汞探测器在高低温环境下盲元增加的问题, 通过试验对长波碲镉汞探测器组件进行测试, 并观察输出图像。可以发现, 改变环境温度后, 经探测器校正的所得图像发生变化。分析原因并对其进行了试验验证。结果表明, 环境温度会影响探测器的输出图像及性能, 即芯片的工作温度变化会引起暗电流和波长变化。

**关键词:** 碲镉汞; 环境温度; 盲元; 暗电流

**中图分类号:** TN2      **文献标志码:** A      **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2019.09.003

## Influence of Operating Temperature of Long-Wave HgCdTe Detector on Output Image

ZHANG Xiao-qian, WANG Liang

(11th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Beijing 100015, China)

**Abstract:** In order to analyze the problem of the increase of blind elements in the long-wave HgCdTe detector under high and low temperature environments, the long-wave HgCdTe detector assembly is tested through experiments and the output images are observed. It can be found that the corrected detector image changes after changing the ambient temperature. Analyze the cause and verify it experimentally. The results show that the ambient temperature can affect the output image and performance of the detector, that is, changes in the operating temperature of the chip can cause changes in dark current and wavelength.

**Key words:** HgCdTe; ambient temperature; blind element; dark current

### 0 引言

红外探测器广泛应用于航天遥感、空间探测、国防安全、环境监测和工业控制等各个领域, 其工作温度有低温、常温和高温之分。可靠性是红外探测器技术发展的主要瓶颈之一。盲元是指红外焦平面的失效像元, 它是红外探

测器的关键性能指标之一, 可用作可靠性评价和失效分析手段的重要参数<sup>[1]</sup>。

通过观察探测器的输出图像来判断盲元和均匀性等, 然后分析和验证高低温下探测器图像及性能变化的原因。由于暗电流和波长随温度变化, 改变环境温度会影响探测器性能。由

收稿日期: 2019-07-23

作者简介: 张小倩(1995-), 女, 北京人, 助理工程师, 主要研究方向为红外探测器测试与评价。

E-mail: 1249503157@qq.com

此为材料、器件以及制冷环节提供相关合理建议, 从而将更优质的探测器提供给客户。

## 1 实验

对于观察输出图像的测试, 可将其归结为两种不同温度黑体辐照条件下的响应电压测试, 包括黑体温度  $T_0$  辐照条件下的信号电压测试以及黑体温度  $T$  辐照条件下的信号电压测试<sup>[2]</sup>。

如图 1 所示, 测试系统由黑体、被测器件、电子电路和计算机等几部分构成。测试条件如下: 黑体温度稳定, 输出不加调制; 黑体辐射应保证焦平面各像元均匀辐照; 采用面源黑体进行测试; 长波红外焦平面区间测试的黑体温度  $T_0$  和  $T$  分别选用 293 K 和 308 K<sup>[2]</sup>。

按图 1 连接测试系统, 执行系统预设; 调整测试系统, 为被测组件增加指定电压, 使设备保持正常运行。探测器进行两点校正 (20℃~35℃) 后, 面对 35℃ 黑体恒定温度; 改变环境温度, 观察探测器校正后的输出图像。试验组件采用像元间距为 30  $\mu\text{m}$  的 320  $\times$  256 长波红外探测器组件。表 1 列出了常温下面对 20℃/35℃ 采集的计算性能数据。

图 2 所示为试验现象。其中, 图 2(a) 为通过 20℃、35℃ 两点校正剔除盲元后得到的图像。此时, 烘箱环境为 20℃, 电平分布均匀, 峰峰值相差小于 5 个码值, 制冷机电流为 0.35 A, 制冷机控温 78.05 K。图 2(b) 中, 烘箱环境为 5℃, 电平分布不均匀, 峰

表 1 计算性能数据

| 参数    | 数值               |
|-------|------------------|
| 器件号   | IDAM6L-18004     |
| 盲元    | 633 个            |
| 噪声    | 0.414 V          |
| 非均匀性  | 5.49%            |
| 后截止波长 | 10 $\mu\text{m}$ |

峰值相差小于 20 个码值, 制冷机电流为 0.32 A, 制冷机控温 77.94 K。图 2(c) 中, 烘箱环境为 20℃, 电平分布均匀, 峰峰值相差小于 5 个码值, 制冷机电流为 0.35 A, 制冷机控温 78.05 K; 图 2(d) 中, 烘箱环境为 35℃, 电平分布不均匀, 峰峰值相差小于 30 个码值, 制冷机电流为 0.38 A, 制冷机控温 78.21 K; 图 2(e) 中, 烘箱环境为 45℃, 电平分布不均匀, 峰峰值相差小于 60 个码值, 制冷机电流为 0.42 A, 制冷机控温 78.91 K; 图 2(f) 中, 烘箱环境为 5℃, 电平分布不均匀, 峰峰值相差小于 20 个码值, 制冷机电流为 0.32 A, 制冷机控温 77.94 K。

实验结果表明, 在改变环境温度后, 经探测器校正的图像发生变化。环境温度下降时, 图像中出现一定量的白色盲元, 并伴有渐变的圆圈; 环境温度上升时, 图像中出现一定量的黑色盲元, 并伴有渐变的圆圈, 其渐变颜色与低温环境时相反。同时, 图像的非均匀性残留也发生了改变。在 20℃ 环境温度校正后, 非均匀性残留为 4.3‰ 左右 (要求 5‰)。当环境温度降至 5℃

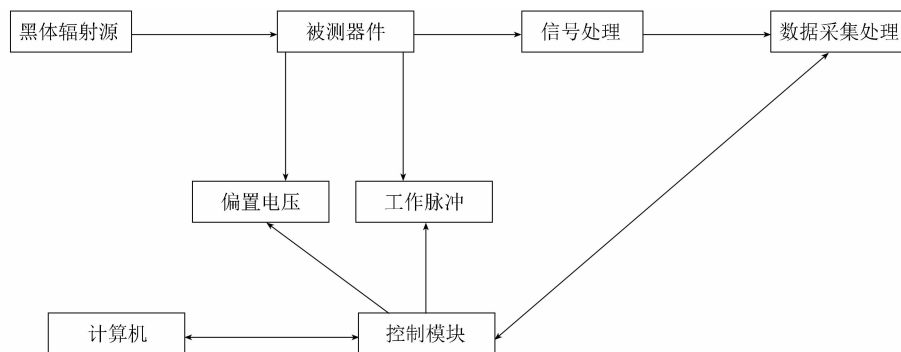


图 1 测试系统框图

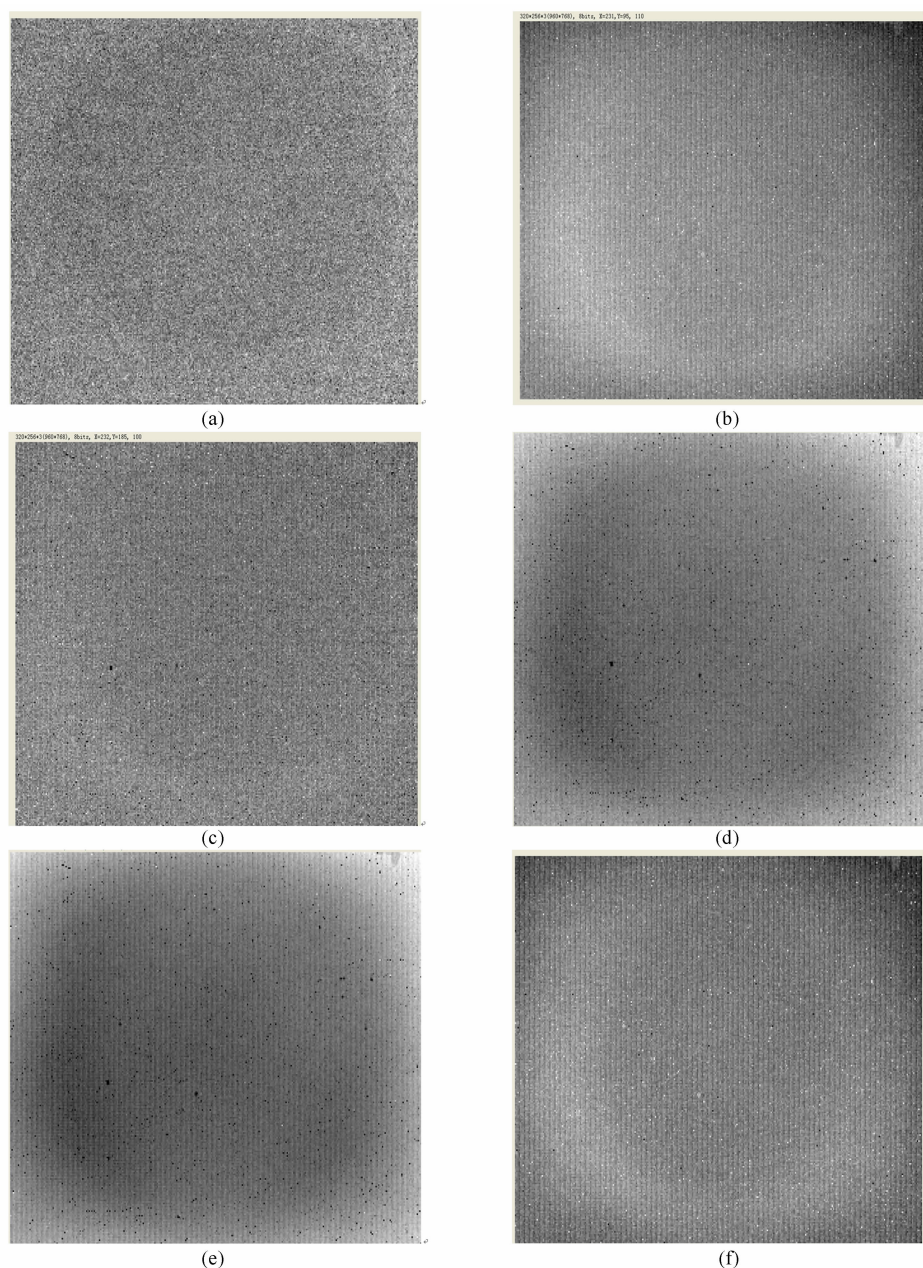


图 2 试验现象

时,剔除白色坏元后,非均匀性残留为  $14.3\text{‰}$ ;当环境温度增至  $45^{\circ}\text{C}$  时,剔除黑色坏元后,非均匀性残留为  $28.4\text{‰}$ 。

制冷电流的增加导致制冷机工作时温度发生一定变化。当环境温度很高时,探测器的噪声和暗电流都会变大,那么焦平面组件的许多指标(比如波长、信噪比和输出图像等)也会受到影响。究其原因,是红外探测器材料的能隙很小<sup>[3]</sup>。所以通常给探测器配置制冷机,并将其调节到合适的

工作温度且稳定在允许的误差范围内。这样,暗电流就会减小,信噪比增大<sup>[3]</sup>。在真正的使用过程中,红外成像系统要迅速启动,到达正常的工作状态,而且还一定要保持稳定工作,所以制冷机有一个稳定的控温点显得十分重要<sup>[3]</sup>。

## 2 实验验证

采用像元间距为  $30\text{ }\mu\text{m}$  的  $320\times 256$  长波红外探测器组件进行  $20^{\circ}\text{C}/35^{\circ}\text{C}$  两点校正,面对  $20^{\circ}\text{C}$  黑体采集图像;调制冷机的控温温



度, 在不同工作温度下采集图像(结果见图 3)。图 3(a)中, 制冷机控温 75.8 K, 图像正常, 输出电平均值为 3.080 V; 图 3(b)中, 制冷机控温 76.48 K, 图像较差, 输出电平均值为 3.083 V; 图 3(c)中, 制冷机控温 76.98 K, 图像较差, 输出电平均值为 3.081 V; 图 3(d)中, 制冷机控温 76.09 K, 图像正常, 输出电平均值为 3.080 V; 图 3(e)中, 制冷机控温 75.49 K, 图像较差, 输出电平均值为 3.074 V; 图 3(f)中, 制冷机控温 75.38 K, 图像较差, 输出电平均值为 3.072 V。

可以看出, 改变制冷机工作温度时的输出图像与上述试验中的现象一致。因此确认是制冷电流的增加导致制冷机的工作温度变化, 即芯片的工作温度发生改变, 进而影响探测器的输出图像及性能。

### 3 实验分析

#### 3.1 暗电流

暗电流的机制成分通常包括扩散电流  $I_{\text{diff}}$ 、产生-复合电流  $I_{\text{gr}}$ 、直接隧穿电流  $I_{\text{bbt}}$ 、陷阱辅助隧穿电流  $I_{\text{tat}}$  以及表面漏电流。在工作偏压和背景不变的情况下, 受工作温度影响最大

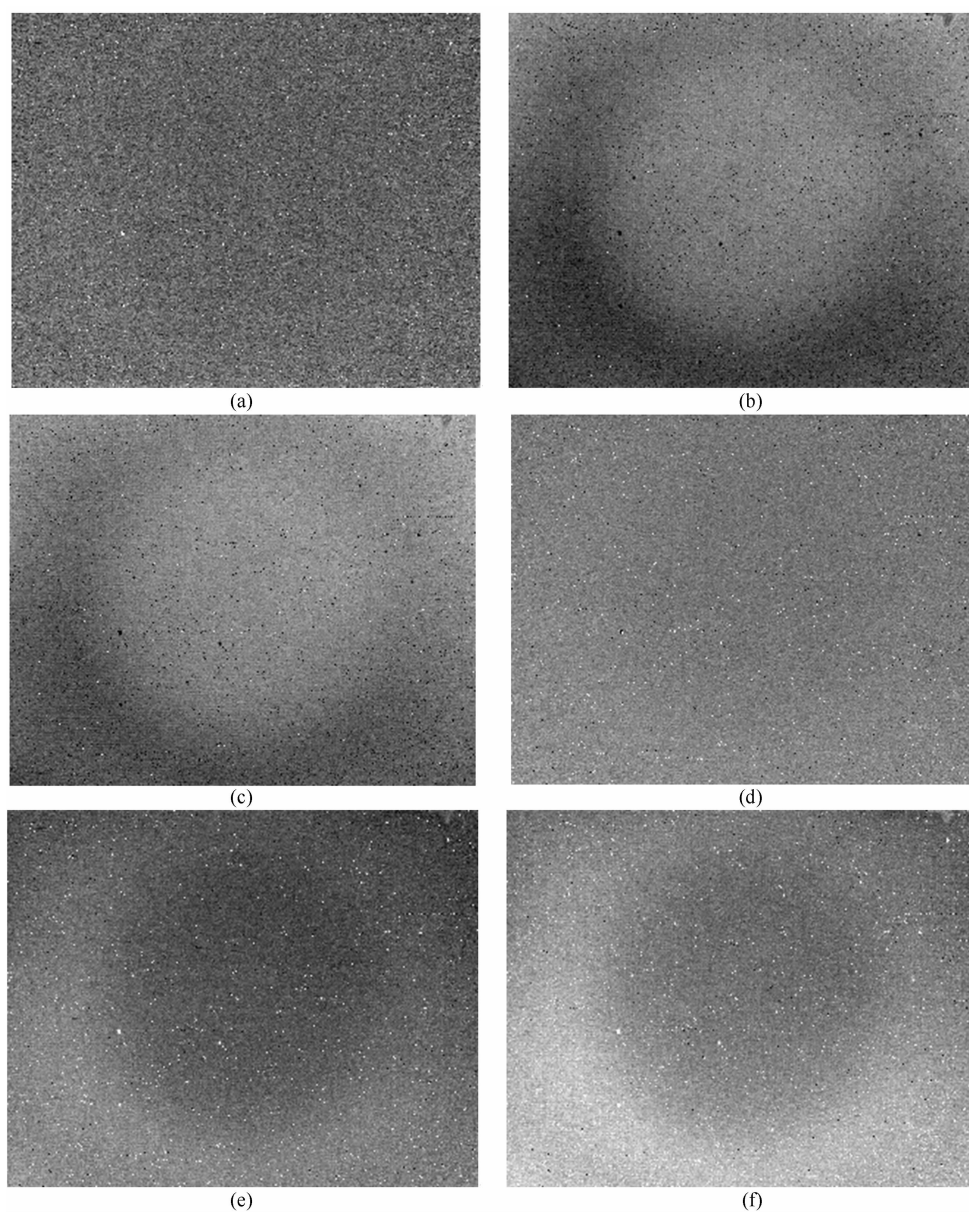


图 3 实验现象

的是扩散电流  $I_{\text{diff}}$ 。扩散电流属于热电流机制，它随温度的变化关系为

$$I_{\text{diff}} \propto n_i^2 \propto e^{-E_g/kT} \quad (1)$$

式中， $n_i$  为本征载流子浓度； $E_g$  为能带宽度； $k$  为玻尔兹曼常数； $T$  为温度。随着温度的降低， $I_{\text{diff}}$  快速减小。在较低的温度下， $I_{\text{gr}}$ 、 $I_{\text{bbt}}$ 、 $I_{\text{tat}}$  和表面电流开始主导暗电流<sup>[4]</sup>。

从理论上来讲，在不同温度下，每个像元的运动强度不一样。随着温度升高，像元的移动速度加快，而且不稳定像元变化的幅度会更大一些，导致暗电流增加得更明显<sup>[6]</sup>。

### 3.1.1 暗电流测试方法

采用无背景辐射盲冷屏测试方法，即通过在芯片前加装盲冷屏，使盲冷屏和探测器达到一样的工作温度 ( $\leq 90$  K)。该温度下，辐射产生的信号比暗电流产生的信号小数个量级。我们把这种情况下的暗电流作为无背景辐射暗电流，其计算公式为

$$I_a = |V_{S1} - V_{S2}| \times C / (t_2 - t_1) \quad (2)$$

式中， $I_a$  为探测器的暗电流 (nA/pixel/s)； $V_{S1}$  为积分时间  $t_1$  下的输出电平 (V)； $V_{S2}$  为积分时间  $t_2$  下的输出电平 (V)； $C$  为积分电容 (F)。

### 3.1.2 实验

通过式(2)与实际测试结果对应，如图4所示。可以看出，暗电流随探测器工作温度的升高而增大。在理想情况下，根据国标剔除盲元后，

各像元响应应该是相同的，但是无法用国标剔除的盲元，在这里被称为不稳定像元。它们对温度变化更加敏感。当电平响应过高或者过低时，在输出图像中表现为过亮点或者过暗点。

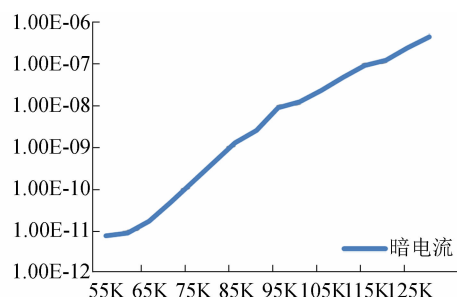


图4 暗电流与温度的关系图

### 3.2 波长变化

探测器波长会随温度发生相应的线性变化。如式(3)和式(4)所示，随着温度的降低，波长都会变长。

$$E_g = -0.302 + 1.93x + 5.35 \times 10^{-4} \times T(1 - 2x) - 0.810x^2 + 0.832x^3 \text{ (eV)} \quad (3)$$

$$\lambda_c = 1.24/E_g \quad (4)$$

通过式(3)及式(4)与实际测试结果对应，如图5所示。可以看出，长波红外探测器组件的温度每下降1 K，波长延长0.0225  $\mu\text{m}$ 。因此，制冷温度改变，探测器工作温度改变，导致暗电流和波长都会改变，使输出图像不稳定。

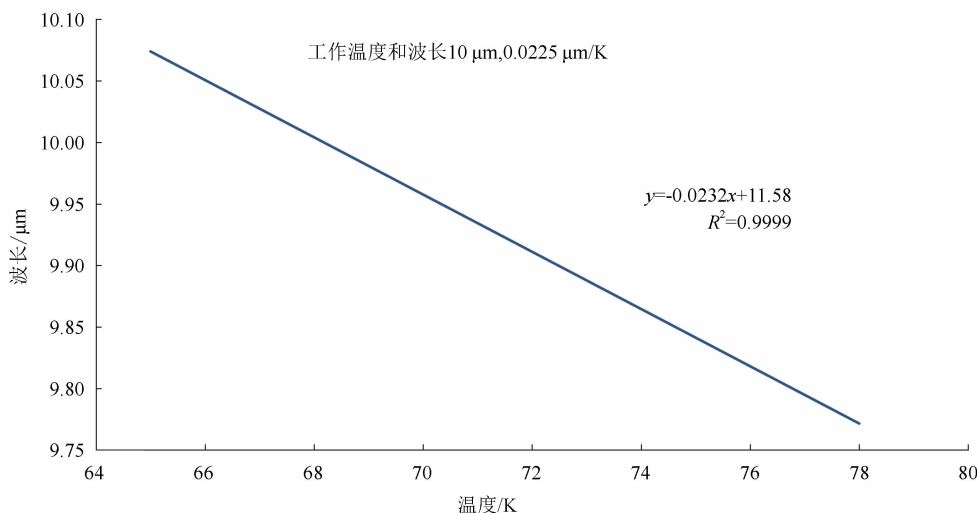


图5 波长与温度的关系图

## 4 结束语

通过改变环境温度来测试像元间距为  $30\text{ }\mu\text{m}$  的  $320\times 256$  碲镉汞长波红外探测器组件, 观察输出图像、分析原因并对其进行试验验证。结果表明, 制冷电流增大导致制冷机的工作温度发生改变。究其原因, 是探测器的暗电流和波长随温度变化。所以当制冷温度改变时, 探测器的输出图像及性能均会发生变化。

芯片工作温度的改变导致不稳定像元(无法用国标剔除的盲元)变得更加不稳定, 无法满足应用要求。这就需要优化器件工艺, 降低不稳定像元的数量, 同时对长波用制冷机进行高低温工作筛选, 优先选择环境变化导致控温变化率低的制冷机。本研究对于材料器件的工艺性以及后期的器件筛选方法具有

指导性意义。

## 参考文献

- [1] 史衍丽. 垂直 pn 结的碲镉汞光伏探测器暗电流特性分析 [J]. 红外技术, 2006, 28(8): 474-477.
- [2] 中国国家标准化管理委员会. 红外焦平面阵列参数测试方法: GB/T 17444-2013 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [3] 黄新栋. 制冷型红外探测器高精度制冷控温系统 [J]. 红外技术, 2012, 34(9): 10-20.
- [4] 王忆锋, 毛京湘, 刘黎明, 等. 论碲镉汞光电二极管的暗电流(上) [J]. 红外, 2012, 33(8): 1-8.
- [5] 王忆锋, 毛京湘, 刘黎明, 等. 论碲镉汞光电二极管的暗电流(下) [J]. 红外, 2012, 33(9): 6-13.
- [6] 范永强. 嵌入式智能光电传感器的研究 [D]. 大庆: 大庆石油学院, 2008.