

〈材料与器件〉

红外焦平面探测器暗电流计算

毛京湘, 舒 畅, 王晓娟, 谢 刚, 黄俊博, 周嘉鼎
(昆明物理研究所, 云南 昆明 650223)

摘要: 红外焦平面探测器的暗电流一般是在零视场(即盲冷屏)条件下进行测试,但这种测试方法必须改变组件结构,只适用于实验室测试。介绍了一种不需要改变组件结构,仅通过基本的性能测试就可以从理论上分析计算得到红外焦平面器件暗电流的方法。对 320×256 长波探测器组件的试验结果表明,用该方法得到的暗电流结果与用盲冷屏得到的暗电流结果非常接近,可作为红外焦平面探测器暗电流评估的快捷方法。

关键词: 红外探测器; 焦平面; 暗电流

中图分类号: TN305

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2016)03-0236-03

Computation of Dark Currents in Infrared Focal Plane Detector

MAO Jingxiang, SHU Chang, WANG Xiaojuan, XIE Gang, HUANG Junbo, ZHOU Jiading
(Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China)

Abstract: The dark current of infrared FPA detectors is usually measured in the zero field of view (i.e. the blind cold shield), but this method can be only used in laboratory because the assembly structure must be changed. A method that the dark current of infrared FPA detectors can be analyzed and computed in theory through basic parameters measurement is presented, which need not change the assembly structure. Experiment for a 320×256 LW infrared detector shows that this method gets a similar dark current result compared with the blind shield method, so it can be applied to evaluate the dark current of infrared FPA detectors as a shortcut method.

Key words: infrared detector, FPA, dark current

0 引言

对于红外焦平面探测器,暗电流是制约探测器性能达到较好指标的一个重要因素^[1-5]。由于红外焦平面探测器产生的光电流信号都是通过读出电路转化成电压信号输出,直接测量器件每个探测元的暗电流比较复杂。国外一般是在零视场(0FOV,即盲冷屏)条件下测试焦平面探测器的暗电流输出电压得到^[6-9],但这种测试方法仍受到一定的限制,即必须改变组件的结构,将正常冷屏换成盲冷屏才能得到,而对于一般已封装好又希望了解其暗电流大小的组件,这种方法就不可能实现。本文介绍了一种通过基本的性能测试就可以从理论上分析计算得到焦平面器件暗电流的方法。

1 理论计算

红外焦平面探测器 p-n 结的伏-安特性可表示为^[10]:

$$I = -I_{sc} + I_{sa} \times \left\{ \exp\left[\frac{(q \times V_B)}{(\beta k T)}\right] - 1 \right\} + G_s \times V_B \quad (1)$$

式中: I_{sc} 为入射的背景光电流, A; I_{sa} 为反向饱和电流, A; V_B 为 p-n 结上所加的偏置电压, V; G_s 为 p-n 结的分路电导, Ω^{-1} ; q 为电子电荷, 1.6×10^{-19} C; T 为探测器的工作温度, K; k 为玻耳兹曼常数, 1.38×10^{-23} J/K; β 为常数,对于理想 p-n 结, $\beta=1$ 。

焦平面探测器所获得的背景光电流由下式表示^[10]:

$$I_{sc} = \eta \times q \times E_p \times A_d \quad (2)$$

式中: η 为探测器的量子效率, %; A_d 为探测器光敏

面积, cm^2 ; E_p 为探测器的光子辐照度。

在一定的黑体温度 T 下, 当红外焦平面探测器的视场角为 FOV 时, 探测器在其光谱响应范围为 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 范围内的光子辐照度 E_p (单位时间单位面积上的光子数) 可以由普朗克公式算出^[10]:

$$E_p(\lambda, T) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{2c}{\lambda^4 \{ \exp[hc/(\lambda kT)] - 1 \}} \text{FOV} d\lambda \quad (3)$$

式中: h 为普朗克常数, $6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$; c 为光速, $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

正常情况下, 在规定的线性动态范围内, 探测器的 p-n 结注入电流 I 通过读出电路转化电压信号 V , 这是一个线性的关系, 满足下式:

$$V = \frac{Q}{C} = \frac{It_{\text{int}}}{C} \quad (4)$$

式中: C 为读出电路的积分电容, C ; t_{int} 为读出电路的积分时间, s 。

当其他条件不变, 探测器在面源黑体辐照下, 背景温度从 T_1 升至 T_2 时, 探测器输出信号电压分别为 $V(T_1)$ 和 $V(T_2)$, 如果读出电路给探测器所加的偏置电压 V_B 不变, 则式(1)等式右端后两项不产生变化或变化很小, 这两项我们称之为暗电流。本文假定从 T_1 升至 T_2 时暗电流产生的微小变化忽略不计, 由暗电流产生的输出信号电压记为 V_{dark} 。在 T_1 时, 由背景光电流产生的输出信号电压为 $V_{\text{ph}}(T_1)$, 在 T_2 时, 由背景光电流产生的输出信号电压为 $V_{\text{ph}}(T_2)$, 由式(1)、(4)可得:

$$V(T_1) = V_{\text{ph}}(T_1) + V_{\text{dark}} \quad (5)$$

$$V(T_2) = V_{\text{ph}}(T_2) + V_{\text{dark}} \quad (6)$$

假设探测器的量子效率不变, 由式(2)、(4)可得:

$$\frac{V_{\text{ph}}(T_2)}{V_{\text{ph}}(T_1)} = \frac{E_p(\lambda, T_2)}{E_p(\lambda, T_1)} = k_E \quad (7)$$

在 T_1 、 T_2 不变时, 式(3)代入式(7)可算出 k_E 是常数。

由式(5)~(7)可得 T_1 时由于光电流所产生的信号电压为:

$$V_{\text{ph}}(T_1) = \frac{V(T_2) - V(T_1)}{(k_E - 1)} \quad (8)$$

由于暗电流所产生的信号电压为:

$$V_{\text{dark}} = \frac{k_E \times V(T_1) - V(T_2)}{k_E - 1} \quad (9)$$

暗电流由下式计算:

$$I_{\text{dark}} = \frac{C \times V_{\text{dark}}}{t_{\text{int}}} \quad (10)$$

从式(9)、(10)可以看出, 只要能得到在背景温度 T_1 和 T_2 时探测器输出信号电压 $V(T_1)$ 和 $V(T_2)$ 即可计算出探测器的暗电流。准确实现两个背景温度下输出信号电压的测试是影响到计算结果的关键因素, 首先必须保证在两个背景温度条件下输出信号电压都在其线性动态范围内, 其次要选择两个合适的背景温度, 两个背景温度差越小, 虽然产生的误差越小, 但也需综合考虑黑体的控温精度及测试系统的采集精度, 具体测试方法通常按国家标准 GB/T 17444-2013 进行^[11]。

2 试验及结果分析

选取一只进口的长波 $320 \times 256 \text{ LW}$ 焦平面探测器组件进行基本的性能测试, 测试黑体温度: T_1 为 293 K , T_2 为 308 K , 积分时间为 $300 \mu\text{s}$, 组件的光谱响应范围为 $7.7 \sim 9.5 \mu\text{m}$, 读出电路的积分电容为 2.1 pF , 通过式(7)计算得到 k_E 为 1.32 , 通过测试系统采样得到组件在两个黑体温度下的输出信号电压后, 由公式(9)、(10)可计算得到该组件的平均暗电流约为 0.791 nA , 整个面阵的暗电流图见图 1。

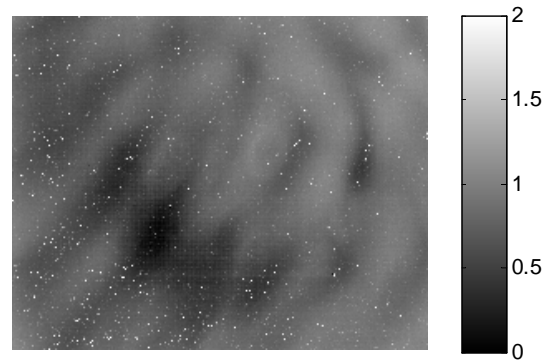


图1 理论的计算暗电流图

Fig.1 Dark current computed in theory

为了验证上述计算结果, 打开组件, 将组件冷屏换成盲冷屏后进行测试, 测试得到的暗电流平均值为 0.768 nA , 整个面阵的暗电流图见图 2。

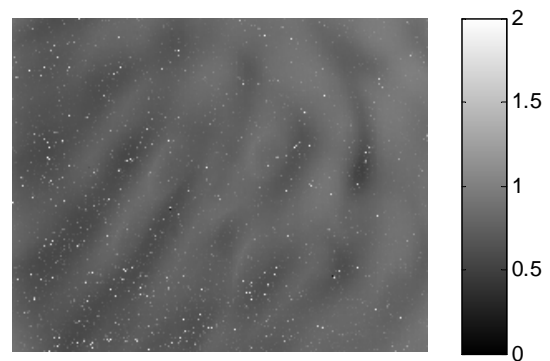


图2 盲冷屏暗电流图

Fig.2 Dark current by blind cold shield

从试验结果看出,通过基本的性能测试计算得到的暗电流与通过盲冷屏测试得到的暗电流结果很接近,平均暗电流相差仅为 0.023 nA,暗电流图的相似度也非常高。图 1 中局部区域的暗电流结果偏低,估计与冷屏的杂散光有关。

3 结论

介绍了一种通过基本的测试就可以计算焦平面器件暗电流的方法,并与通过盲冷屏暗电流测试方法进行了对比试验验证,二者得到的结果非常接近,虽然冷屏的杂散光等对结果有一定的影响,但计算方法方便和快捷,不需要专门改变器件的结构进行测试,作为一般情况下器件的暗电流评估仍具有较高的参考价值。

参考文献:

- [1] Nguyen T, Musca C A, Dell J M, et al. Dark currents in long wavelength infrared HgCdTe gated photodiodes[J]. *Journal of Electronic Materials*, 2004, **33**(6): 621-629.
- [2] Juang F S, Su Y K, Chang S M, et al. Analysis of the dark current of focal-plane-array $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ diode[J]. *Materials Chemistry and Physics*, 2000, **64**: 131-136.
- [3] 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.
Wang Yi-feng, Mao Jing-xiang, Liu Li-ming, et al. On the dark current in mercury cadmium telluride photodiodes[J]. *Infrared*, 2012, **33**(8): 1-8.
- [4] 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.
Wang Yi-feng, Mao Jing-xiang, Liu Li-ming, et al. On the dark current in mercury cadmium telluride photodiodes[J]. *Infrared*, 2012, **33**(9): 6-13.
- [5] 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.
Shi Yan-li. Dark current characteristics analyses of HgCdTe photovoltaic detectors with vertical p-n junction[J]. *Infrared technology*, 2006, **28**(8): 474-477.
- [6] Baier N, Mollard L, Gravrand O, et al. Very long wavelength infrared detection with p-on-n LPE HgCdTe[J]. *SPIE*, 2012, **8353**: 83532N.
- [7] A Rogalski. *HgCdTe Infrared Detector Material: History, Status and Outlook*[M]. Institute of Physics Publishing, Reports on Progress in Physics. 2005, **68**: 2304-2313.
- [8] Manissadjian A, Tribolet P, Destefanis G, et al. Long wave HgCdTe staring arrays at Sofradir: from 9 μm to 13 μm cut-offs for high performance applications[J]. *SPIE*, 2005, **5783**: 231-242.
- [9] Chorier P, Vuillermet M. Sofradir infrared detectors for space applications[J]. *SPIE*, 2005, **5978**: 597817-1-7.
- [10] 吴宗凡, 柳美琳, 张绍举, 等. *红外与微光技术*[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
Wu Zong-fan, Liu Mei-lin, Zhao Shao-ju, et al. *Infrared and Night Vision Technology*[M]. Beijing: National Defence of Industry Press, 1998.
- [11] 丁瑞军, 梁平治, 唐红兰, 等. GB/T 17444-2013 红外焦平面阵列参数测试方法[S]//中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 北京: 中国标准出版社, 2014.
Ding Rui-jun, Liang Ping-zhi, Tang Hong-lan, et al. GB/T 17444-2013 Measuring methods for parameters of infrared focal plane arrays[S]. The State Administration of quality supervision and inspection of the people's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China, Beijing: China Standard Press, 2014.