

文章编号: 1672-8785(2020)09-0020-05

12.5 μm 碲镉汞探测器工作温度 对输出电平的影响

王 亮 刘建伟 吴 卿

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要: 12.5 μm 碲镉汞探测器的输出电平对工作温度非常敏感, 因此需要对其温度敏感度进行研究。试验中, 通过调节探测器的工作温度来采集其输出电平, 并对数据进行分析。结果表明, 工作波长和暗电流随温度变化是导致输出电平变化的主要因素; 12.5 μm 碲镉汞探测器的最佳工作温度在 60 K 附近。该方法操作简单, 无需使用复杂的操作设备。大部分红外实验室均可满足此试验要求。

关键词: 碲镉汞; 截止波长; 暗电流; 工作温度

中图分类号: TN213 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2020.09.003

Effect of Operating Temperature on Output Level of 12.5 μm HgCdTe Detector

WANG Liang, LIU Jian-wei, WU Qing

(North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China)

Abstract: The output level of 12.5 μm HgCdTe detector is very sensitive to the working temperature, so it is necessary to study the temperature sensitivity. When doing experiments, adjust the working temperature of the detector, collect its output level and analyze the data. It can be seen from the analysis results that the variation of working wavelength and dark current with temperature is the main factor leading to the change of output level. The best working temperature of the 12.5 μm HgCdTe detector is around 60 K. The experimental method is simple to operate and does not require complicated operating equipment. Most infrared laboratories can meet the experimental requirements.

Key words: HgCdTe; cut-off wavelength; dark current; operating temperature

0 引言

碲镉汞探测器由于可任意调节截止波长而成为目前应用范围最广的制冷型探测器, 在航天航空及地基应用领域有着广泛的前景。根据普朗克黑体辐射公式可知, 随着目标温度的降

低, 目标辐射的峰值波长逐渐向长波及甚长波方向移动。所以在对低温背景及弱小目标进行探测时, 12.5 μm 碲镉汞探测器具有非常明显的优势。越来越多的用户开始关注 12.5 μm 碲镉汞探测器的发展及其性能指标情况。

收稿日期: 2020-07-26

作者简介: 王亮(1986-), 男, 北京人, 高级工程师, 主要从事红外探测器评价工作。

E-mail: a491138408@126.com

然而随着碲镉汞器件截止波长的增加, 探测器对自身的工作温度及稳定性也提出了极高的要求。本文先介绍碲镉汞探测器的组成模块, 然后由试验得到工作温度改变时 $12.5\ \mu\text{m}$ 探测器的输出电平特性。通过分析原因提出实现 $12.5\ \mu\text{m}$ 探测器性能时工作温度的变化要求。

1 探测器组件介绍

探测器组件由制冷模块、碲镉汞探测器模块、读出电路模块和杜瓦模块等四部分组成(见图 1)。

制冷模块用于将碲镉汞探测器及读出电路制冷到低温, 可采用液冷(如液氮和液氦)、气冷(如高压氮气和高压氩气)以及机械制冷(如 GM 机和斯特林制冷机)等方式。一般甚长波探测器均采用机械制冷以达到更低的工作温度。

碲镉汞探测器模块用于将红外光子转换成电子, 可通过调节碲与镉的组分比例来改变截止波长。根据具体应用, 碲镉汞探测器通常被做成短波($1\sim 3\ \mu\text{m}$)、中波($3\sim 5\ \mu\text{m}$)、长波($8\sim 10\ \mu\text{m}$)以及甚长波($8\sim 12\ \mu\text{m}$)器件。

读出电路模块用于提供探测器所需要的电压, 然后通过积分电容将探测器产生的电子转换成电信号并将其读出。读出电路一般由硅制成。

杜瓦模块为探测器提供真空环境以及良好的光学窗口。杜瓦外壳一般为金属材料, 光学窗口一般采用蓝宝石或者锗材料。

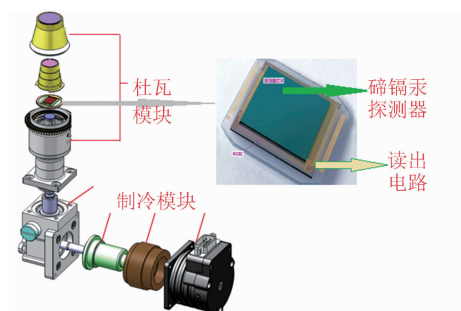


图 1 探测器组件的构成示意图

2 试验

本次试验采用的制冷机为可变温斯特林制

冷机。通过改变制冷机的工作温度可改变探测器的工作温度。

图 2 为试验操作流程。首先, 选取一个 $12.5\ \mu\text{m}$ 碲镉汞探测器(其波长曲线如图 3 所示)。正常工作后使其面对 $20\ ^\circ\text{C}$ 黑体, 然后改变制冷机的工作温度, 即从 $80\ \text{K}$ 逐渐降到 $56\ \text{K}$ 。采集每个工作温度点的输出电平, 并将其绘制成图(结果见图 4)。

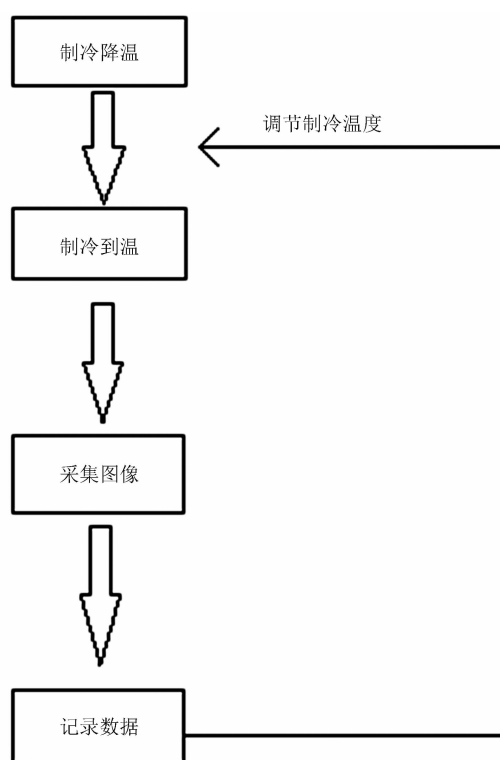


图 2 试验操作流程

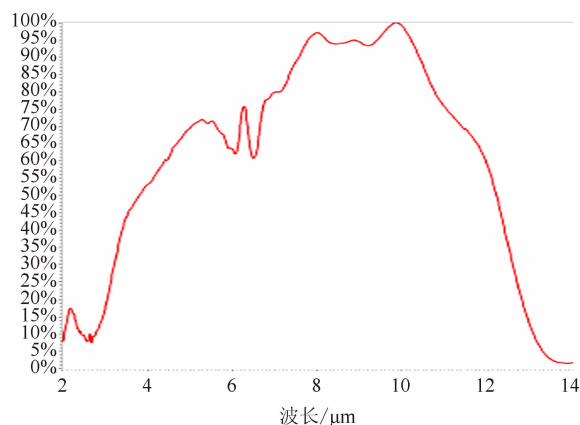


图 3 $12.5\ \mu\text{m}$ 探测器的光谱响应曲线

通过分析数据发现, 当工作温度从 $80\ \text{K}$ 降低到 $70\ \text{K}$ 时, 输出电平大幅下降。所以在

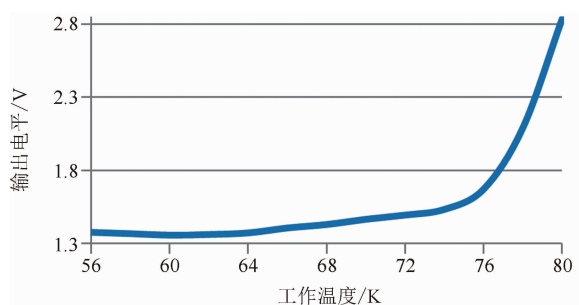


图 4 输出电平与工作温度的关系图

此范围内, 输出电平极易受工作温度变化的影响, 显然不能满足甚长波探测器的应用要求。

一般在 60 K 左右时, 由探测器工作温度变化导致的输出电平波动很平缓, 这有利于探测器应用。我们就探测器的工作温度在 60 K 左右变化时对输出电平的影响进行了细化分析(结果见图 5)。

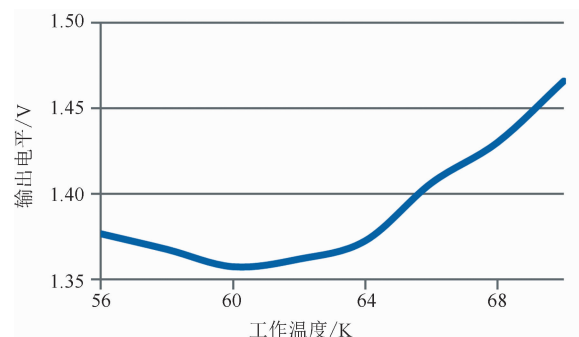


图 5 不同工作温度下的输出电平图

在从 70 K 到 56 K 的降温过程中, 探测器的输出电平逐渐降低, 但是到 60 K 以下时, 输出电平出现拐点, 且逐渐升高。下面对此进行深入分析。

3 试验分析

通过对碲镉汞探测器的自身特性进行分析可以发现, 当探测器的工作温度发生变化时, 探测器自身响应的截止波长以及暗电流将随之改变。探测器的输出电压可分为光响应电压和暗电流电压两种。其中, 光响应电压受到截止波长的影响; 暗电流电压与暗电流相关。所以截止波长和暗电流的变化均会对输出电平产生影响。下面对截止波长和暗电流进行逐一分析。

3.1 光响应电压分析

碲镉汞是一种Ⅱ-VI族化合物半导体材料,

其能带参数为

$$E_g = 1.93x + 5.35 \times 10^{-4} \times T \times (1 - 2x) - 0.81 \times x^2 + 0.832x^3 - 0.302 \quad (1)$$

式中, x 是镉的组分比例, T 是碲镉汞的工作温度。

探测器的截止波长计算公式为

$$\lambda = 1.24 / E_g \quad (2)$$

因此, 当 x 为 0.21324 时, 碲镉汞在 60 K 工作温度下的截止波长为 12.5 μm 。当 x 值不变时, 在 80 K 到 56 K 的工作温度范围内, 碲镉汞的工作温度与截止波长的关系如表 1 所示。

表 1 截止波长与工作温度的关系

x	E_g/eV	T/K	截止波长/ μm
0.21324	0.105	80	11.77
	0.105	78	11.84
	0.104	76	11.91
	0.103	74	11.98
	0.103	72	12.05
	0.102	70	12.13
	0.102	68	12.20
	0.101	66	12.27
	0.100	64	12.35
	0.100	62	12.42
	0.099	60	12.50
	0.099	58	12.58
	0.098	56	12.66

探测器截止波长的增加可使探测器的响应光谱范围增大。探测器接收的光子数量增加可使探测器产生的光响应电压增大。

基于表 1 中的数据, 利用普朗克黑体辐射公式:

$$I(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda K T} - 1)} \quad (3)$$

式中, h 为普朗克常数, $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; c 为光速, $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$; K 为玻耳兹曼常数, $K = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ 。根据探测器正常工作的相关测试条件, 可以计算出 12.5 μm 甚长波组件在不同工作温度下的输出光响应电压(见图 6)。

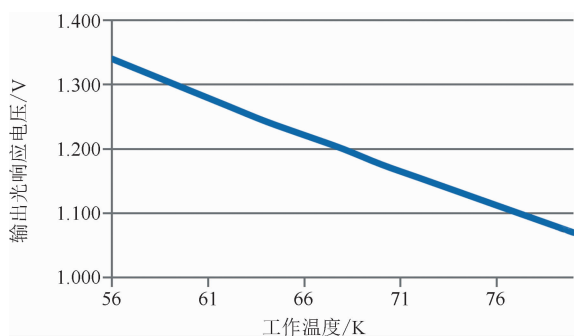


图 6 不同工作温度下的输出光响应电压

光响应电压随工作温度的降低而增大。这与探测器的输出电压变化不同。因此, 我们还要分析探测器的暗电流随工作温度的变化情况。

3.2 暗电流电压分析

通过查询资料可知, 碲镉汞的暗电流主要有 5 种类型, 分别是扩散电流、产生-复合电流、直接隧穿电流、陷阱辅助隧穿电流以及表面漏电流。其中, 表面漏电流与碲镉汞材料的杂质以及器件工艺关系很大, 导致很难计算出暗电流电压。因此, 一般直接测试暗电流。具体采用封口冷屏的方式, 如图 7 所示。

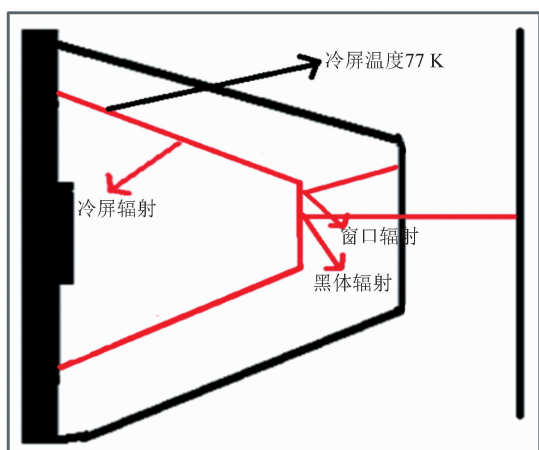


图 7 封口冷屏的示意图

图 7 中, 探测器无法接收到外界光辐射。同时改变探测器的工作温度, 此时探测器产生的电压被称作暗电流电压。利用该方法得到的暗电流电压如图 8 所示。

暗电流电压随工作温度降低而产生的变化是非线性的。当工作温度在 80 K~76 K 范围内时, 暗电流电压大幅下降; 在 60 K 以下时

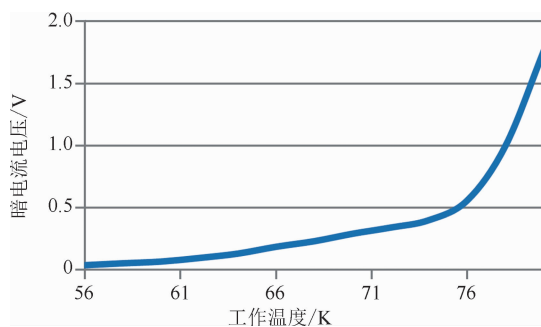


图 8 暗电流电压与工作温度的关系

逐渐变得平缓。

通过对比可发现, 在 60 K~80 K 工作温度区间内, 探测器输出电压的变化趋势与暗电流电压的变化趋势相似。所以, 在此温度范围内, 输出电压主要受暗电流的影响较大。当工作温度降低到 60 K 以下时, 暗电流电压的变化幅度大幅降低。而探测器的输出光响应电压随工作温度基本成线性变化。在 60 K 工作温度以下持续下降时, 光响应电压的增加幅度超过暗电流电压的降低幅度, 即此时出现拐点。

将输出电压、光响应电压和暗电流电压显示在一张图里, 如图 9 所示。

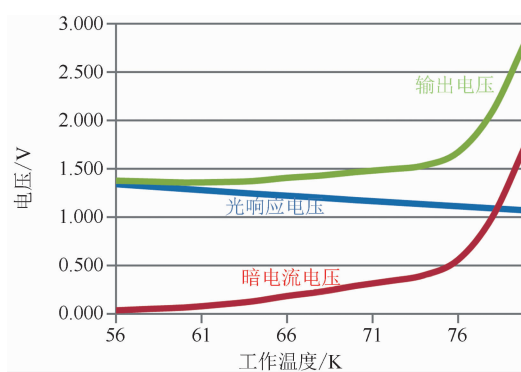


图 9 各种输出电压与工作温度的关系曲线

4 总结

采用机械制冷时, 制冷机的制冷温度不是一成不变的。随着制冷机的工作环境温度、自身机体温度以及力学动态环境的变化, 制冷机的制冷温度也会改变。通过试验验证和机理分析可知, 为了使甚长波探测器达到最佳性能, 需要分析探测器的工作温度与输出电压的关系, 找到制冷机出现一定波动时探测器输出电压变化最小的温度点。最佳的工作温度可以减

少因工作温度波动带来的输出电压变化，使探测器性能达到最佳。

参考文献

- [1] 何力, 杨定江, 倪国强. 先进焦平面技术导论 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [2] 毛京湘, 舒畅, 王晓娟, 等. 红外焦平面探测器暗电流计算 [J]. 红外, 2012, 38(3): 1-8.
- [3] Antoni R 著. 周海宪, 程云芳译. 红外探测器 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [4] 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.