

文章编号: 1672-8785(2019)11-0017-06

不同冷屏黑化工艺对红外探测器性能的影响

付志凯 魏 威 张 磊 李冬冰

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要: 结合红外探测器的光学性能设计, 介绍了利用冷屏黑化层工艺来吸收和抑制杂散辐射的原理。基于同一种冷屏结构, 对比了三种不同的表面黑化工艺, 并测试分析了冷屏黑化层的表面吸收率等物理性能参数。通过红外探测器性能测试, 分析了不同冷屏黑化工艺对红外探测器性能的实际影响。结果表明, 在 2~14 μm 波段, 2# 和 3# 冷屏黑化工艺的 surface 吸收率的一致性较好; 在 8~11 μm 波段, 它们对红外探测器的杂散辐射具有良好的吸收与抑制效果。

关键词: 红外探测器; 冷屏; 黑化工艺

中图分类号: TN215 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2019.11.004

Influences of Different Blackening Process of Cold Shield on the Performance of Infrared Detectors

FU Zhi-kai, WEI wei, ZHANG Lei, LI Dong-bing

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

Abstract: Combined with the optical performance design of infrared detectors, the principle of absorbing and suppressing stray radiation using cold shield blackening layer technology is introduced. Based on the same cold shield structure, three different surface blackening processes are compared, and the physical performance parameters such as the surface absorptivity of the cold shield blackened layer are tested and analyzed. Through the performance test of the infrared detector, the actual influence of different cold shield blackening processes on the performance of the infrared detector is analyzed. The results show that the blackening process of 2# and 3# cold shield can achieve better consistency of surface absorptivity in 2–14 μm band. And in the 8–11 μm band, they have good absorption and suppression of the stray radiation of the infrared detector.

Key words: infrared detector; cold shield; blackening process

0 引言

制冷型红外探测器是利用温度差和辐射率差来观察目标和背景的。在红外探测系统中, 杂散光主要是由视场外的光源发出且通过散射

或衍射到达探测器表面的光; 另外就是系统本身的热辐射直接或者通过散射到达探测器表面。杂散光会在系统探测器上形成背景辐射噪声, 使信噪比降低^[1-2], 导致成像质量下降,

收稿日期: 2019-09-18

作者简介: 付志凯(1988-), 男, 河北石家庄人, 工程师, 主要研究方向为红外探测器杜瓦封装结构的设计与仿真。E-mail: fuzhikai258@126.com

甚至还会导致系统失效。

作为红外探测器杜瓦组件(见图 1)的重要组成部分,冷屏具有限制视场角、抑制杂散辐射、降低背景噪声等作用^[3]。优化冷屏的结构设计和内部表面处理是抑制杂散辐射的主要方法。通过在冷屏内部设计黑化层,可以对进入冷屏内部的杂散辐射进行吸收和抑制。另外也可以通过冷屏的结构设计使外界辐射进入冷屏后实现多次反射。每经过一次反射,辐射能就被内壁吸收一次。经过多次反射后,剩余的能量大大降低。

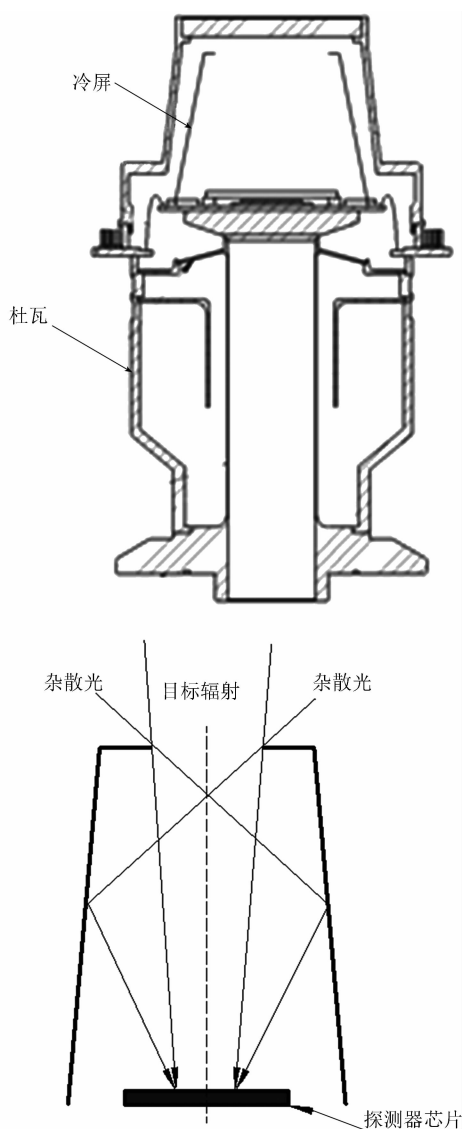


图 1 杜瓦的示意图

本文主要针对冷屏内部黑化层的制备工艺以及黑化层对探测器杂散辐射的抑制情况展开

讨论。采用三种不同的黑化工艺对冷屏的内表面进行处理,对比分析各种黑化层的物理性能和表面状态,然后将三种冷屏装配在探测器杜瓦组件上,并基于长波和甚长波红外探测器进行性能测试。最后,结合测试结果来分析经不同黑化工艺处理后的冷屏对杂散辐射的抑制和吸收效果。

1 三种冷屏的对比分析

冷屏的黑化层是一种由人工设计制备的功能性复合材料。它在红外光谱范围内具有优良的吸光性能。该黑化层主要是由碳化物、氧化物和粘接剂等多种组分构成的复合材料,以红外辐射吸收为主,同时保证涂层的粘接性能。

对于红外吸收效果的优劣,最主要的原因之一就是物体表面的能量吸收特性。某物质的吸收率越高,其本身的红外辐射和红外吸收效果越好。在热平衡状态下,吸收率、反射率和透过率之和为 1。本文中的冷屏材料为金属材料,故吸收率和反射率之和为 1。吸收率为 0,表示该物体无法吸收能量;吸收率为 1,表示该物体可吸收所有的入射能量,且没有能量反射出去。因此,黑化层的吸收率介于 0~1 之间,且越接近于 1,对杂散辐射的吸收效果越好^[4-5]。

1.1 试验冷屏样品的制备与分析

试验冷屏是通过对镍铜合金材料进行电铸加工而成的,其外表面经镀金处理,内表面的粗糙度约为 Ra3.2。冷屏的壁厚约为 1.5 mm,形状为通用正锥形,如图 2 所示。选取 3 个同一批加工的冷屏作为试验样品,喷涂前对其进行清洗处理。冷屏的表面状态保持一致。采用三种不同的材料及处理工艺对冷屏的内表面进行黑化处理。

采用传统的电泳方式对 1#冷屏的内表面进行黑化处理。这是一种用电极将涂料漆电沉积在冷屏内表面上的方法。其中,涂料漆的流动性好,所得黑化层的厚度均匀一致;涂层表面致密牢固,厚度约为 70 μm 。通过对冷屏黑化层的表面状态进行扫描电镜观察,可以发现 1#冷屏的黑化层光滑平整(见图 3),说明黑

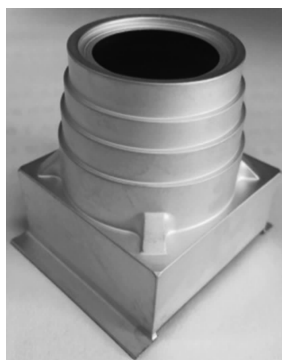


图 2 试验冷屏

化层材料经电泳方法细化后致密沉积于冷屏表面。该黑化层的牢固度强, 实际应用中能够承受 4000 g 量级的力学冲击, 未发生材料掉落。通过对冷屏表面黑化层进行成分分析可以发现, 该黑化层主要由 C、O、Al 和 Si 元素组成(见图 4), 表明黑化层成型后其成分为碳氧化合物以及少量的铝硅元素。

2#冷屏的黑化层材料由 A 组分黑化材料和 B 组分挥发性粘结剂构成。将 A、B 组分进行人工混合, 然后用喷枪将其喷涂于冷屏的内表面(厚度约为 100 μm)。黑化材料通过范德华力附着在冷屏的内表面上。通过对冷屏黑化层的表面状态进行扫描电镜观察, 可以发现 2#冷屏表面凹凸不平(见图 5), 表面粗糙度最大, 表面黑化层材料颗粒的直径约为 48 μm , 表明经喷枪雾化后黑化层材料颗粒较大。该材料以细小颗粒的形式附着于冷屏的内表面, 有利于减小材料表面的反射率^[6]。通过对黑化层的零件进行力学冲击试验, 可以发现其振动量级达到 1000 g, 未发生材料掉落。在对冷屏表

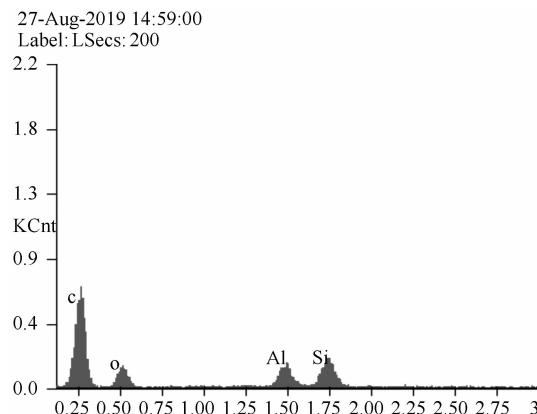


图 4 1#冷屏的黑化层成分

面黑化层进行成分分析后可知, 该黑化层主要由 C、O 元素组成(见图 6), 表明黑化层成型后其成分为碳氧化合物。

3#冷屏的黑化层材料为碳氧化合物涂料。利用设备将涂料充分混合后, 人工地将其喷射于冷屏的内表面(厚度约为 60 μm), 再采用特殊处理工艺对其进行固化加强。通过对冷屏黑化层的表面状态进行扫描电镜观察, 可以发现 3#冷屏表面较为粗糙(见图 7), 表面黑化层材料颗粒的直径约为 20 μm , 黑化层状态致密, 表明该黑化层雾化喷涂材料的颗粒较小, 强化后材料致密附着于表面。通过对黑化层的零件进行力学冲击试验, 可以发现其振动量级达到 1200 g, 未发生材料掉落。在对冷屏表面黑化层进行成分分析后可知, 该黑化层主要由 C、O 元素组成(见图 8), 表明黑化层成型后其成分为碳氧化合物。

1.2 样品材料的表面反射率分析

为了得到三种冷屏黑化层的表面吸收率,

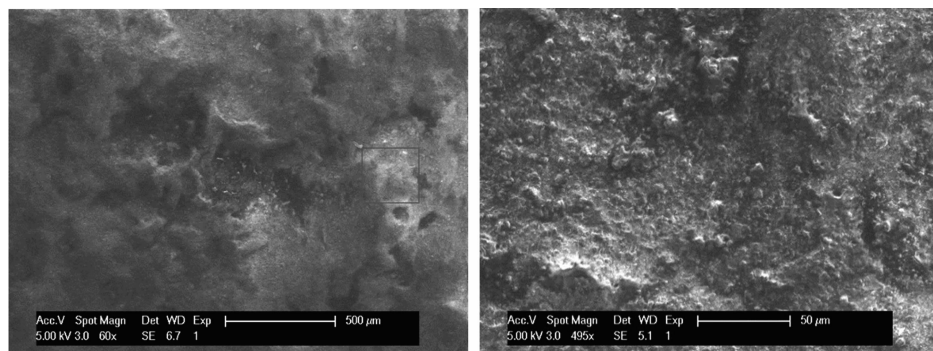


图 3 1#冷屏的黑化层

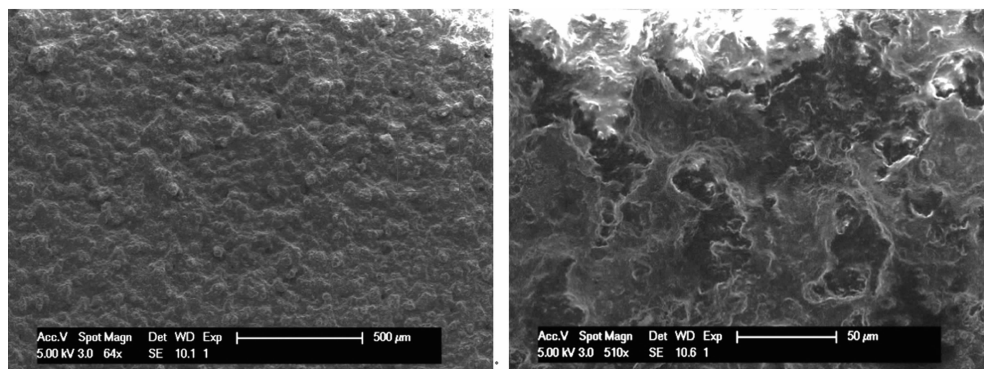


图 5 2#冷屏的黑化层

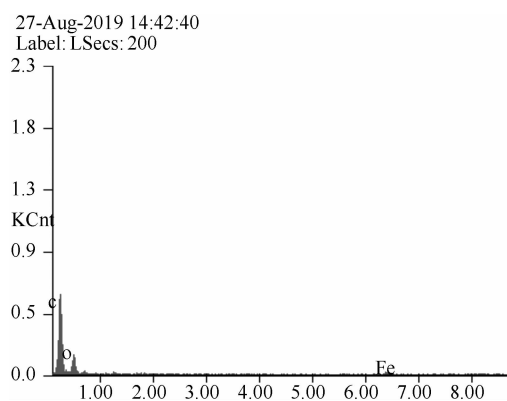


图 6 2#冷屏的黑化层成分

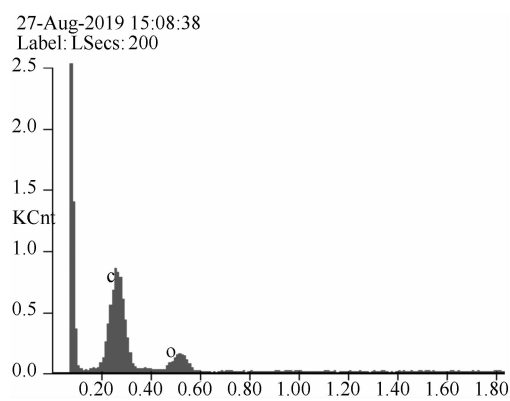


图 8 3#冷屏的黑化层成分

分别对三种黑化层材料的反射率进行了测试。图 9 所示为 2~14 μm 波长范围内的测试结果。可以看出,在 2~14 μm 波段,利用 2#和 3#黑化工艺得到的反射率一致性较好,其中 2#黑化层的反射率最低;1#黑化工艺在 2~14 μm 波段的反射率波动较大。结果表明,2#黑化层对红外光的吸收效果最好,3#次之;1#冷屏在某些特定红外波段的吸收效果较好。表 1 列出了各个黑化层的物理参数。

2 不同冷屏对探测器性能的影响

2.1 测试方法及条件

红外探测器的性能指标测试主要是指两种辐照条件(即不同黑体条件)下的响应电压测试。利用测试系统进行数据采集,然后通过通过对数据进行分析来算得红外焦平面阵列探测器的各项性能指标参数。

探测器芯片的辐射来源主要有以下几个方面:入射光直接照在芯片上的辐射、冷屏辐射

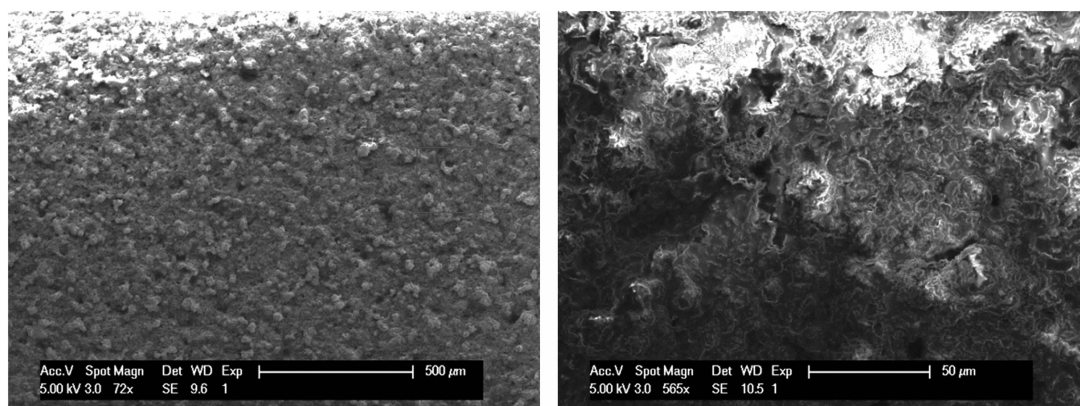


图 7 3#冷屏的黑化层

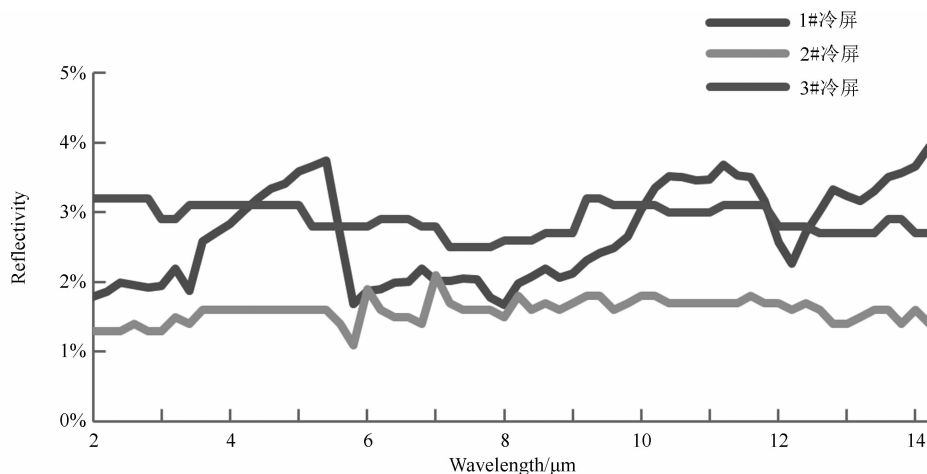


图 9 表面反射率

表 1 各个黑化层的物理参数

冷屏 编号	涂层厚度 / μm	表面吸收率均值 (8~11 μm 波段)
1 #	70	0.93
2 #	100	0.95
3 #	60	0.97

表 2 探测器测试条件

冷屏编号	F 数	G_{pol}/V	积分时间/ μs
1 #	2	1.307	256
2 #	2	1.308	256
3 #	2	1.307	256

以及入射光在冷屏上的反射辐射。在完成冷屏内部黑化处理后,理论上冷屏内壁会吸收更多能量,反射光变少,探测器接收到的光学信号总量减弱,在测试中表现为输出电平值的差异。故本文通过测试和分析红外探测器所接收到的信号值来反映经不同黑化工艺处理的冷屏对探测器组件杂散辐射的抑制情况。

本文采用工作波段为 8~11 μm 的 1280×1024 元长波红外探测器。探测器芯片测试采用微杜瓦结构,耦合适配制冷机。探测器的工作温度为 60 K。测试时,三种冷屏采用同一探测器芯片、同一测试杜瓦和制冷机以及同一红外测试系统,其硬件设备保持一致。依次将三种冷屏装配于测试杜瓦,然后分别对其进行 60 K 低温性能测试。表 2 列出了探测器测试时所施加的条件参数。

2.2 数据采集与分析处理

将探测器装在红外测试系统上,然后通过施加相同的偏置电压和积分时间来对其进行测试。表 3 列出了具体的测试数据。基于不同黑

化工艺的冷屏的测试结果不同,其中 2 # 和 3 # 冷屏的测试结果较为接近。采用三种不同冷屏时,探测器的电平值和响应率非均匀性的变化规律一致。1 #、3 #、2 # 冷屏状态下的探测器电平值和响应率非均匀性依次降低。

经对比发现,当黑体测试温度为 20℃ 时,3 # 冷屏的电平值最小。这表明在 3 # 冷屏状态下,探测器芯片接收到的能量最小;3 # 冷屏对信号的吸收率最大。同样可以看出,当黑体测试温度为 35℃ 时,3 # 冷屏的电平值最小。这表明在 3 # 冷屏状态下,探测器芯片接收到的能量也是最小的。对响应率非均匀性进行分析后可知,3 # 冷屏的测试结果最小,表明其黑化工艺有益于探测器的响应率非均匀性。在 2 #、3 # 冷屏的测试数据中,信号值和响应率非均匀性相对较低。这表明,虽然 2 #、3 # 冷屏的黑化工艺对探测器杂散辐射的抑制效果较好,但差异并不大。

3 结束语

本文从冷屏内部黑化工艺入手,结合长波红外探测器的性能测试,分析了不同黑化层工

表 3 测试结果

冷屏 编号	20℃ 电平值/V	35℃ 电平值/V	响应率非 均匀性/%
1#	-0.146	0.141	9.07
2#	-0.184	0.1	8.45
3#	-0.172	0.105	8.67

艺对探测器性能的实际影响,并得到了以下几点结论:

(1)1#冷屏的黑化层最为致密,承受力学性能最好;2#冷屏黑化层的表面粗糙度最大,承受力学性能较低;3#冷屏的表面状态介于两者之间。

(2)冷屏内表面的黑化层设计是抑制杂散背景的有效措施之一。不同黑化层对探测器性能的影响有所差异。在8~11 μm 波长范围内,2#与3#冷屏黑化工艺对探测器杂散辐射的抑制效果较好,但两者的差异并不大。

在红外探测器组件研制中,冷屏结构及其内表面黑化工艺设计都是必不可少的。下一步将针对双谱段和多谱段红外探测器,研究不同

黑化工艺冷屏对探测器杂散辐射的影响。

参考文献

- [1] Gopal V, Warriar A V R. On the Optimum Thickness of a Photoconductive Detector; A 0.1 eV HgCdTe Detector [J]. *Infrared Physics*, 1984, **24**(4): 387-390.
- [2] 张燕,方家熊.背景辐射对甚长波碲镉汞光导器件性能的影响[J].*红外与激光工程*,2008,**37**(6): 972-975.
- [3] 尹爽,朱颖峰,黄一彬,等.红外焦平面杜瓦冷屏挡光环杂散辐射的抑制[J].*红外技术*,2015,**37**(11): 916-920.
- [4] 卢加涛,张新宇,李艳红.不同冷屏黑化工艺BRDF指标对比分析[J].*激光与红外*,2016,**46**(2): 196-199.
- [5] 林国画,东海杰,孟令超,等.冷屏黑层抑制杂散辐射分析研究[J].*激光与红外*,2013,**43**(8): 913-915.
- [6] 王明军,董雁冰,吴振森,等.粗糙表面光散射特性研究与光学常数反演[J].*红外与激光工程*,2004,**33**(5): 549-552.