

# 红外探测器组件引线熔断分析

郭亮, 张懿, 杨微, 范博文, 孟令伟  
(华北光电技术研究所, 北京 100015)

**摘要:**二代红外焦平面探测器组件微型杜瓦中的金属引线是跨接在探测器芯片以及陶瓷引线环之间,其作用是作为介质为探测器芯片提供数字以及模拟信号,并将探测器组件的输出信号导出。本文介绍了二代焦平面探测器组件的杜瓦结构,并对金属引线在低温 77K 时的物理特性进行了分析,从理论上对金属引线可流过的最大电流进行计算,并通过试验进行验证。

**关键词:**红外探测器组件;金属引线;熔断

**中图分类号:**TN214 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2018.05.010

## Analysis on lead wire melting of IR detector assembly

GUO Liang, ZHANG Yi, YANG Wei, FAN Bo-wen, MENG Ling-wei  
(North China Research Institute of Electro - Optics, Beijing 100015, China)

**Abstract:**The metal lead wire in dewar is between the ROIC and the ceramic lead circle, and it can provide digital signal and analog signal for the ROIC, and export the output signal of the ROIC. The dewar structure of IR detector assembly is introduced, and the physical characteristics of the metal lead wire are analyzed at 77K. The maximum current that can flow through the metal lead wire is calculated theoretically, and is verified by experiment.

**Key words:**IR detector assembly; metal lead wire; melting

### 1 引言

红外探测器组件是红外热成像系统的核心,它的性能直接影响系统的整体性能<sup>[1]</sup>。基于第二代焦平面探测器的高性能热成像系统成为各国尤其是美国、英国、法国等军事技术发展和武器装备的重点<sup>[2]</sup>。第二代焦平面探测器组件一般由面阵或线列探测器芯片、全金属微型杜瓦以及斯特林制冷机组组成。其中微型杜瓦是探测器中很重要的组成部分,它为芯片提供了一个洁净的真空环境,直接影响探测器的寿命<sup>[3]</sup>。

二代焦平面探测器组件微型杜瓦一般由冷指、杜瓦壁、冷头、冷屏、窗口、吸气剂、金属引线等数十种零部件组成,它除了与微型制冷器有良好的配合

以提供给探测器一个合适的工作温度之外,必须有红外辐射的透射窗口和金属引线<sup>[4]</sup>。

其中,金属引线是微型杜瓦的重要组成部分,其作用是将外部的数字信号、模拟信号引入,并将探测器组件的输出信号引出,承担了连接微型杜瓦真空内探测器芯片和外部接口电路的桥梁作用。

本文介绍了采用微型杜瓦电极引线的具体结构,结合金属引线在低温下的特性,计算出金属引线的熔断电流,并通过试验进行了验证。

### 2 微型杜瓦电极引线结构

微型杜瓦中的金属引线是跨接在探测器芯片以及陶瓷引线环之间,用来为探测器芯片提供数字以及模拟信号,并将探测器组件的输出信号导出的。

**作者简介:**郭亮(1983-),男,本科,高工,主要研究方向为红外焦平面探测器组件测试技术。E-mail:49436210@qq.com

**收稿日期:**2017-08-30; **修订日期:**2017-10-24

其结构图示意图如图1所示。

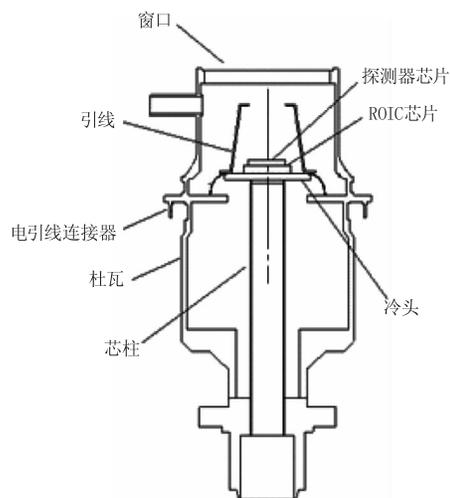


图1 杜瓦结构示意图

Fig. 1 The structure of Dewar

红外探测器的电连接属于微电子封装的范畴，通过金属丝键合实现探测器与外部电信号的传递。合适的电连接工艺操作下，这种柔性金属丝连接方式抗震动冲击的能力很强<sup>[5]</sup>。

金属引线除具有电连接作用外，还存在一定热耗。金属引线焊接的长度、直径和材料都决定了热耗的大小，但总体算下来，金属引线传热只有几十毫瓦<sup>[6]</sup>。与微型杜瓦内的其他热耗相比相差较大。

图2所示为某探测器组件金属引线连接的实物图。

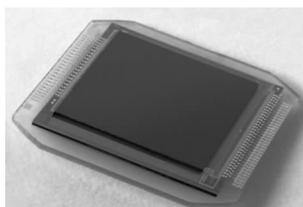


图2 金属引线连接实物图

Fig. 2 Metal lead wire in dewar

### 3 金属引线的烧毁

红外探测器组件在使用过程中，需要对探测器组件施加响应脉冲信号以及偏置电压，方可使探测器组件正常工作。脉冲信号和偏置电压均通过金属引线施加到探测器芯片上。同时，在探测器组件实际使用过程中，会面临各种不同的使用条件，包括高低温、振动等，在各种使用条件下，探测器组件的脉冲信号和偏置电压一般是保持稳定的，不会发生较大的变化。

但在特定情况下，由于外部偏置出现浪涌等情况会导致金属引线上的电流过大导致其烧毁。图3所示为烧毁的金属引线实物图。

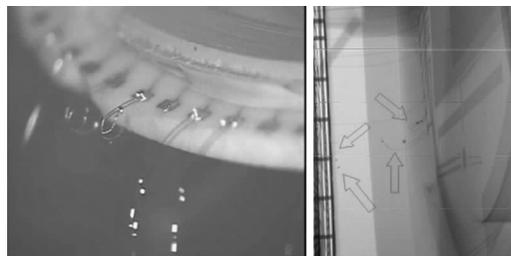


图3 金属引线烧毁实物图

Fig. 3 Metal lead wire burn out in dewar

金属引线具有良好的电学特性，很少会出现上述情况。但一旦在探测器组件的实际使用过程中出现金属引线烧断的情况，则脉冲信号和偏置电压将无法提供给探测器芯片，导致探测器芯片无法正常工作，进而影响整个红外系统的工作。

观察金属引线的熔断情况，在断点均形成球状，如图3所示。金属引线形成球状断开，并非外力或其他因素导致，而是由于引线的电流发热导致金属引线熔断。

### 4 金属引线的理论计算

在探测器组件正常工作时，金属引线上会流过电流，而金属引线存在一定的电阻，将导致金属引线发热。同时由于金属引线在真空环境内，发出的热量无法通过热交换散出，将导致金属引线的热量上升。

根据纯电阻电路功率的计算公式，其公式如式(1)：

$$P = I^2 \times R \quad (1)$$

其中， $P$ 为金属引线产生的功耗； $I$ 为流过金属引线的电流； $R$ 为金属引线的电阻；电阻不仅与材料种类有关，还与温度、压力和磁场等外界因素有关。金属电阻随温度变化时的电阻计算公式如下：

$$R = R_0(1 + at) \quad (2)$$

其中， $R$ 为金属引线的电阻； $R_0$ 为金属引线在常温下的电阻； $a$ 为电阻变化率； $t$ 为变化温度；根据引线流过电流产生的功耗，计算其发热量，采用如下公式计算：

$$W = C \times M \times \Delta T \quad (3)$$

其中， $W$ 为金属引线产生的功耗； $C$ 为金属引线的比热容； $M$ 为金属引线的质量； $\Delta T$ 为金属引线的温升。

根据上述公式,进行对金属引线 A 查表后,得其基本数据如表 1 所示。

表 1 金属引线 A 基本数据表

Tab. 1 Basic data table of metal lead wire

序号	性能参数	测试结果	备注
1	常温电阻( $\Omega/\text{cm}$ )	5.2	实测结果
2	电阻变化率	0.00499	查表所得
3	引线工作环境温度( $^{\circ}\text{C}$ )	-196(77K)	实测结果
4	比热容( $\text{J}/\text{g}\cdot\text{K}$ )	0.135	查表所得
5	引线长度( $\text{cm}$ )	0.6	实测结果
6	引线密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.153335	查表所得
7	金属引线 A 的熔点( $^{\circ}\text{C}$ )	1775	查表所得
8	低温下的引线电阻( $\Omega$ )	0.0685152	根据公式(2)计算可得

金属引线 A 的长度为 0.6 cm,直径为 0.0025 cm,则一根引线其体积为  $2.94 \times 10^{-6} \text{cm}^3$ ,其密度为  $2.153335 \text{g}/\text{cm}^3$ ,则其质量为  $6.34 \times 10^{-6} \text{g}$ 。

金属引线 A 的熔点为  $1775^{\circ}\text{C}$ ,其在低温  $-196^{\circ}\text{C}$  下工作,其熔断时的温度变化为  $1971^{\circ}\text{C}$ 。

根据公式(3),金属引线 A 的温度变化为  $1971^{\circ}\text{C}$ ,质量为  $6.34 \times 10^{-6} \text{g}$ ,比热容为  $0.135 \text{J}/\text{g}\cdot\text{K}$ ,则其熔断所需功耗为  $0.00178 \text{J}$ 。

根据公式(1),低温下的电阻为  $0.0685152 \Omega$ ,熔断所需能量为  $0.00175 \text{J}$ ,可得熔断电流为  $0.1598 \text{A}$ 。

## 5 金属引线熔断试验结果

金属引线熔断试验在动态真空下进行,装置如图 4 所示。

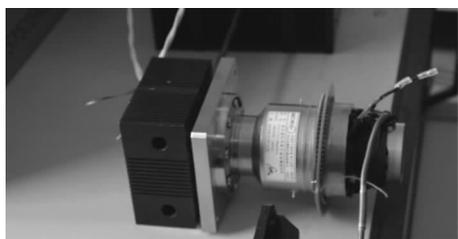


图 4 动态真空测试金属引线 A 的熔断电流

Fig. 4 Test metal lead wire burn out in the dynamic vacuum

在金属杜瓦中焊接金属引线 A,并对金属杜瓦进行动态抽真空,使金属杜瓦处于真空状态,采用斯特林制冷机对探测器组件进行制冷,测量杜瓦内的二极管电压值为  $1.0538 \text{V}$ ,温度约为  $-196^{\circ}\text{C}$ 。

其中,在测试焊盘上焊接两根金属引线,进行熔断测试。

采用恒流源对金属引线 A 施加电流,测试结果如表 2 所示。

表 2 两根金属引线低温下恒流源施加外界电流情况表

Tab. 2 The constant current source exerted the external current at low temperature of two metal wires

输入电流/A	金属引线 A
0.1	引线正常
0.2	引线正常
0.3	引线正常
0.31	引线正常
0.32(5min)	引线正常
0.33	断路

通过实际测试结果可以看出,金属引线 A 在电流达到  $0.33 \text{A}$  时,每根金属引线上流过的电流为  $0.165 \text{A}$  左右,引线断路。

另外,在测试焊盘上焊接一根金属引线,进行熔断测试。测试结果如表 3 所示。

表 3 一根金属引线低温下恒流源施加外界电流情况表

Tab. 3 The constant current source exerted the external current at low temperature of one metal wires

输入电流/A	金属引线 A
0.05	引线正常
0.1	引线正常
0.15(5min)	引线正常
0.16	断路

通过对一根引线和两根引线进行测试,一根引线时熔断电流为  $0.16 \text{A}$ ,两根引线的熔断电流为  $0.33 \text{A}$ ,与理论计算的熔断电流为  $0.1598 \text{A}$  基本一致。

因此,在红外探测器组件的实际使用过程中,读出电路或测温二极管电路的金属引线电流在双引线的情况下不应超过  $0.3 \text{A}$ ,超过  $0.3 \text{A}$  时将会导致金属引线 A 的断裂,探测器组件无法正常工作。

同时,若要提高探测器的供电电流,金属引线可采取并接的方式提高引线流过的电流。

## 6 结论

本文通过对红外探测器组件所用金属引线 A 的理论计算,推导出在低温  $-196^{\circ}\text{C}$  时,其熔断电流

为0.159 A左右,并通过实验验证了理论计算的准确性。

#### 参考文献:

- [1] YU Xiaobing. The application of miniature dewar and cooler in infrared system[J]. Journal of Applied Optics, 2000,21(S1):38-41. (in Chinese)  
于小兵. 微型杜瓦瓶及致冷器在红外系统中的应用[J]. 应用光学,2000,21(S1):38-41.
- [2] LIU Ning, CHEN Qian, GU Guohua, et al. Improving method of frame frequency for  $576 \times 6$  thermal imager[J]. Infrared and Laser Engineering,2009,38(3):387-391. (in Chinese)  
刘宁,陈钱,顾国华,等.  $576 \times 6$  热像仪帧频提高方法[J]. 红外与激光工程,2009,38(3):387-391.
- [3] LI Xiuqiang, JIA Weimin. The improvement of a dewar electrode for the infrared detector[J]. Aero Weaponry, 2006,(5):49-51. (in Chinese)  
李秀强,贾卫国. 对某型探测器杜瓦瓶引线的改进[J]. 航空兵器,2006,(5):49-51.
- [4] GUO Lichun. Structure and analysis of a compact dewar bottle package of infrared detector[J]. Infrared & Laser Technology,1995,24(1):50-53. (in Chinese)  
郭立春. 红外探测器封装微型杜瓦瓶结构与分析[J]. 红外与激光技术,1995,24(1):51-53.
- [5] YANG Ye, ZHU Kuizhang, LIU Ting, et al. Packaging technology of infrared detector[J]. Cryo & Supercond, 2006,38(12):4-8. (in Chinese)  
仰叶,朱魁章,刘婷,等. 红外探测器封装技术[J]. 低温与超导,2006,38(12):4-8.
- [6] LIN Guohua, MENG Lingwei. Analysis on influence factors of dewar heat consumption[J]. Laser & Infrared, 2017,47(2):195-197. (in Chinese)  
林国画,孟令伟. 杜瓦热耗的影响因素分析[J]. 激光与红外,2017,47(2):195-197.