

# 星用红外探测器封装技术及其应用

王小坤 朱三根 龚海梅

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

**摘要** 本文简要介绍星用红外探测器的一些封装形式, 重点阐述了红外探测器杜瓦组件封装的一些关键技术。这些技术的研究和发展, 对提高红外探测器杜瓦组件封装技术水平和推进红外探测器尤其是红外焦平面的应用是至关重要的。

**关键词** 红外探测器 封装技术

## Packaging Technology of Infrared Detector on Satellite And Its Application

WANG Xiaokun ZHU Sangen GONG Haimei

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai, 200083)

**Abstract:** This paper briefly presents some packaging ways of infrared detectors on satellites and mainly describe some critical packaging techniques of infrared detector assembly Dewars. The research and development of these packaging techniques are important to improve infrared detector Dewar assemblies and advance the application of infrared detectors, especially of infrared focal plane arrays.

**Key words:** infrared detector, packaging technology

### 1 引言

红外探测器在由单色、单通道向多色、多通道发展和由单元向线列、面阵等多元器件发展, 特别是焦平面阵列红外器件的问世, 已使得红外技术的更新换代变得越来越快。以它为核心的红外成像系统把航天航空红外遥感、遥测推上了新的水平。红外探测器的发展已推动了红外探测器封装技术的发展。本文介绍一下红外探测器封装技术及其应用。

### 2 红外探测器封装技术概述

#### 2.1 封装技术的概念和功能<sup>[1]</sup>

电子器件封装简称封装, 狭义概念上一般是指利用膜技术及微细连接技术, 将半导体元器件及其他构成要素在框架或基板上布置、固定及连接, 引出接线端子, 并通过可塑性绝缘介质灌封固定构成整体立体结构的工艺。广义封装是狭义封装与实际工程及基板技术的总和, 将半导体电子元器件所具有的电子物理功能转变为适用于机器或系统的形式, 使之成为人类社会服务的科学。

封装的基本功能包括电源供给、信号交流、散热、芯片保护和机械支撑等, 具体地说有以下基本功能: (1) 为半导体芯片提供机械支撑和

收稿日期: 2005-05-10

作者简介: 王小坤(1978—), 男, 汉族, 研究生, 主要从事红外探测器封装技术的研究。

环境保护；(2) 接通半导体芯片的电压与电流通路；(3) 为芯片提供信号的输入和输出通路；(4) 提供散热通路，散逸半导体芯片工作时产生的热量。

## 2.2 传统微电子封装技术的发展<sup>[2]</sup>

微电子封装的发展历程，可追溯到世界上发明第一只半导体晶体管的 1947 年。在 20 世纪 50 年代，微电子封装以三根引线的 TO 型外壳封装为主，采用的工艺主要是金属玻璃封装工艺。与此同时发明了生瓷流延工艺，为多层陶瓷工艺的发展奠定了基础。1958 年发明了第一块半导体集成电路，从而推动了多引线封装外壳的发展。其后依次出现了双列直插式封装 (DIP) 外壳、无引线陶瓷式载体 (LCCC)、塑料有引线式载体 (PLCC) 和四边引线扁平封装 (QFP) 等。到 20 世纪 90 年代，出现了球栅阵列封装 (BGA)，同时在 BGA 的基础上还发展了芯片级封装 (CSP)，它与多芯片组件封装被认为是最有前途的高密度微电子封装技术。

## 2.3 红外探测器的封装技术

红外探测器的封装技术研究属于微电子的一个分支，故具有微电子封装技术的共性。但由于星用红外探测器特殊的使用场合及自身的特点，其封装技术又有不同的特点。

## 3 星用红外探测器封装技术

### 3.1 星用红外探测器的封装形式

根据工作温度，红外探测器可分为低温和室温两种。工作在室温的红外探测器件的封装一般采用管壳封装形式；工作在低温的红外探测器的封装形式取决于提供的制冷模式。到目前为止，已经用于空间低温制冷的方式有固体制冷、超流氦杜瓦制冷、辐射制冷以及机械制冷。针对这些制冷方式，红外探测器的封装形式主要有管壳封装和微型杜瓦封装两种。

#### 3.1.1 管壳封装形式

由于红外探测器的信号多为微弱信号，采用金属管壳可以减弱外来电磁干扰。管壳的形式主要有金属-陶瓷封装和金属-玻璃封装。

#### (1) 金属-陶瓷封装

其结构包括：管座(由管壳底、窗口座、陶瓷电极、陶瓷片烧结而成)、管帽。下面举例说明(见图 1)：采用平封结构，利用陶瓷与柯伐合金良好的封接性能，实现陶瓷与金属的热封接，其优点是结构简单，可以达到高精度和高气密性，引线数较多。我国风云二号气象卫星中某一波段红外探测器的封装形式就是采用金属-陶瓷封装。

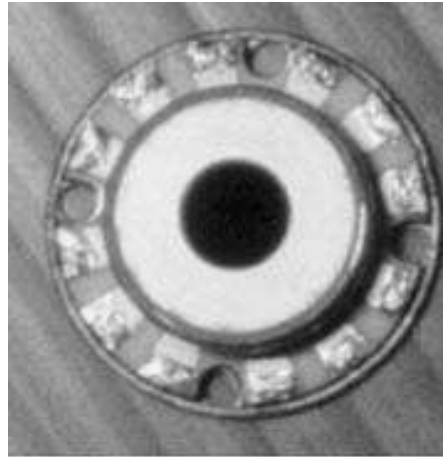


图 1

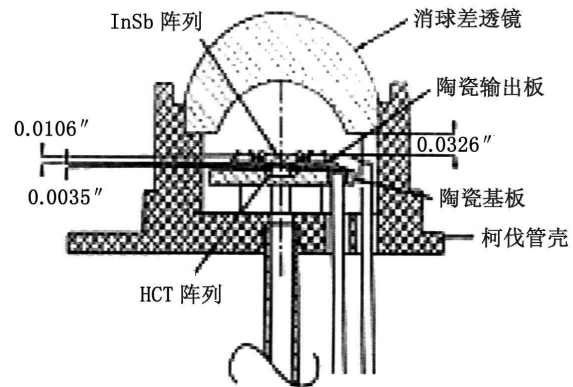


图 2

#### (2) 金属-玻璃封装

其结构包括：管座(由管壳底、针脚、玻璃珠烧结而成)、管帽。下面举例说明(见图 2)：采用针封结构，利用钼组玻璃与柯伐合金良好的封接性能，实现玻璃与金属的热封接。美国 2000 年的 GOES 卫星的双色探测器件封装<sup>[3]</sup>就是金属-玻璃封装。其优点是结构和加工工艺简单，但

其引线数不可能太多,而且由于在底面开孔,减少了散热面积。

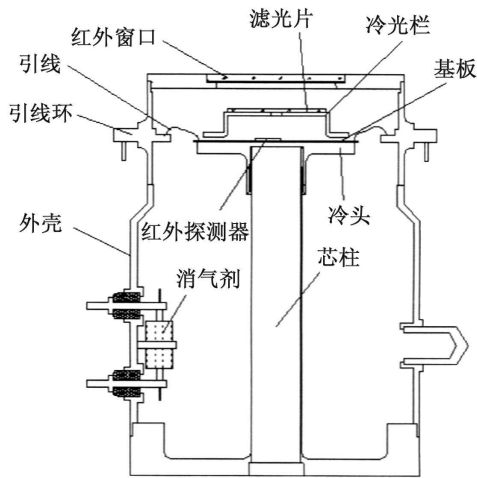


图 3

### 3.1.2 微型杜瓦封装形式

微型杜瓦(见图 3)主要由(1)芯柱、(2)冷头、(3)外壳、(4)引线环、(5)冷光栏、(5)光学窗口、(6)红外探测器、(7)基板、(8)滤光片等组成。其将红外探测器封装在高真空环境下,探测器信号通过引线和引线环引出。冷头是探测器安装载体和制冷的平台。

### 3.2 星用红外探测器的技术

红外探测器管壳封装所涉及的封装技术,在微型杜瓦封装中都有体现,下面将详细阐述。

## 4 红外探测器杜瓦组件封装技术

先进标准杜瓦封装 SADA 是第二代红外传感技术的核心,其在热目标成像系统、飞行器等领域广泛应用,它由红外探测器、杜瓦、指令和电控制部件等组成<sup>[4]</sup>。杜瓦组件封装的主要技术包括杜瓦结构、热力学等优化设计、杜瓦的引线技术、红外探测器的高精度安装及光学配准技术、杜瓦的焊接技术、杜瓦的微漏检漏技术、杜瓦的表面处理技术、杜瓦组件可靠性技术等。

### 4.1 杜瓦的结构、热力学等优化设计

#### 4.1.1 杜瓦材料的选择

杜瓦芯柱采用导热系数比较低且屈服强度比较高的材料,通常采用不锈钢、因科镍合金、

Ti-5Al-2.5Sn、Ti-6Al-4V、派瑞克斯玻璃等;外壳采用不锈钢或柯伐。窗口材料采用锗、ZnS、蓝宝石、硅等;杜瓦的基板采用陶瓷或宝石片;滤光片支撑材料采用柯伐或钼<sup>[5]</sup>等;杜瓦的引线环结构采用玻璃或陶瓷与柯伐烧结。

#### 4.1.2 杜瓦结构和热力学等设计

杜瓦要求结构紧凑、可靠及微型化;寄生热损耗要小,真空寿命要高。在设计时须注意如下几点:(1)对芯柱结构及冷头温度均匀性进行模拟与设计;(2)对杜瓦结构轻量化、抗电磁干扰与强冲击设计;(3)对引线和支撑结构的力学和热学优化设计;(4)冷光栏光学耦合及表面处理设计;(5)对杜瓦进行真空寿命设计。

### 4.2 杜瓦的引线技术

对于杜瓦的引线方案,从国内外的介绍来看,有四种结构,下面分别介绍其优缺点:

(1)采用薄膜引线方案,采用适当的接插件将探测器的信号线引出。美国的 Aqua 宇宙飞船搭载的大气红外垂直探测仪(AIRS)<sup>[5]</sup>和美国的 IMACS<sup>[6]</sup>都采用其类似结构(见图 4),但它们的一个共性是在比较低的真空下封装的,因为其在封装过程中使用了 O 型圈。

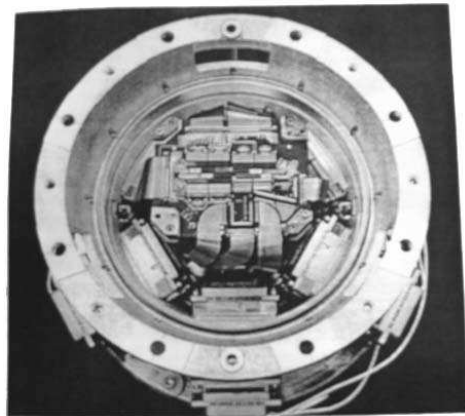


图 4

(2)采用薄膜引线方案,通过薄膜引线陶瓷引线环将信号线引出杜瓦。美国德州仪器公司(TI)研制的 FPA 杜瓦就是采用此结构<sup>[7]</sup>(见图 5)的,该结构的漏热比较低,但必须设计与探测器和陶瓷互联的对接结构。

(3)采用金属丝,通过陶瓷引线环将探测器

信号线引出。该结构的工艺相对简单,漏热低,可靠性高。我所研制的 FPA 杜瓦中采用了此结构(见图 6)。

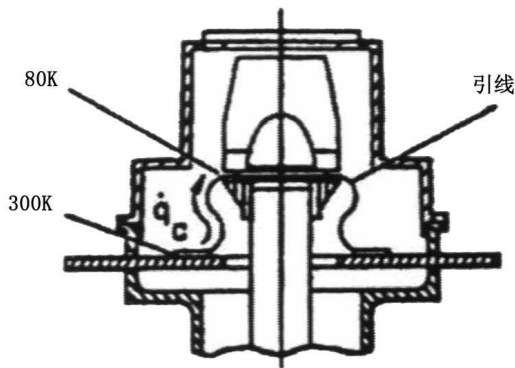


图 5

(4) 采用金属丝,通过玻璃珠烧结引线环将探测器信号线引出。该结构的工艺相对简单,但可靠性相对不高。

### 4.3 红外探测器的高精度安装及光学配准技术

#### 4.3.1 基板技术

基板是探测器件的支撑和探测器信号线的载体,同时也是热交换的媒介,其必须具备一定的机械、电学、热学等性能。目前常用的基板材料有多层陶瓷和蓝宝石片。

陶瓷基板金属化的方法有厚膜法、薄膜法和共烧法。这三种金属化方法中薄膜法制备的表面电阻较小。美国 Aqua 宇宙飞船搭载的大气红外垂直探测仪(AIRS)中的杜瓦的基板就是多层陶瓷基板(见图 7)。

蓝宝石基板的应用也相对比较广泛,它是利用真空蒸镀、离子镀、溅射镀膜和光刻等工艺进行金属化成形。我国神舟三号飞船上的成像光谱仪的某一红外探测器的基板就是蓝宝石电极板(见图 8)。

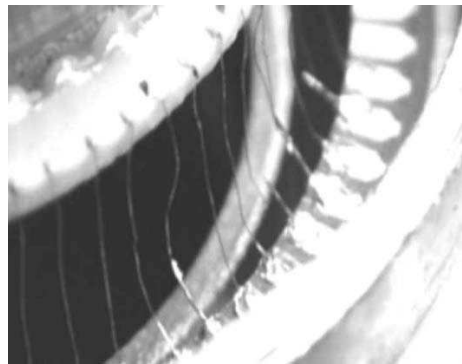


图 6

#### 4.3.2 滤光片安装及冷光栏技术

滤光片安装得离红外探测器越近越好,这有利于在低温环境下减少滤光片的背景辐射。

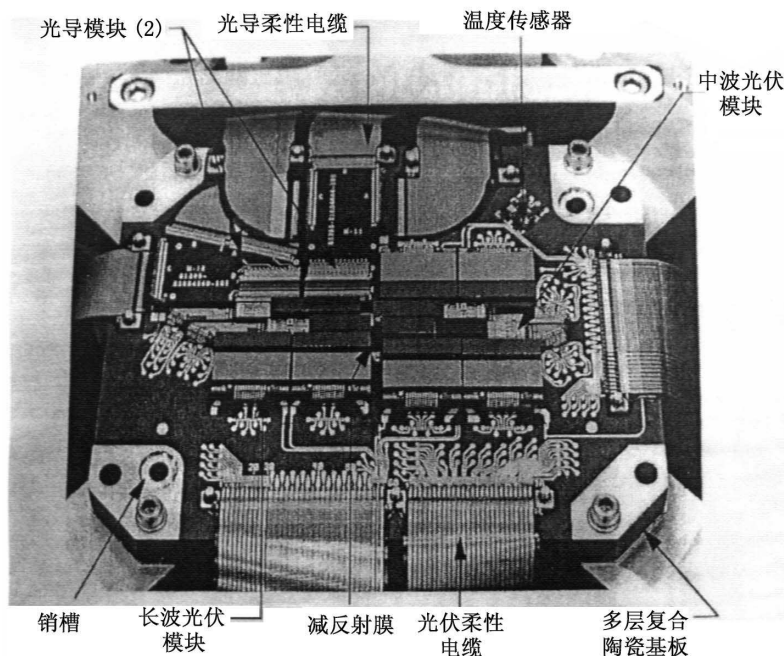


图 7

冷光栏利用窄缝进行光学视场限制,内表面大多为黑色,这样有利于吸收多余杂散光,从而克服光串,同时外表面要求具有较高的发射率,以减少杜瓦的辐射。冷光栏常用两种方式制备:(1)外表面镀白镍,内表面涂黑色氧化物,美国 Aqua 宇宙飞船搭载的大气红外垂直探测仪(AIRS)的冷光栏就是采用此方法制备的;(2)内表面电镀黑色金属,外面通过真空增镀金或进行表面抛光,我所研制的红外焦平面杜瓦组件采用的就是这种工艺。

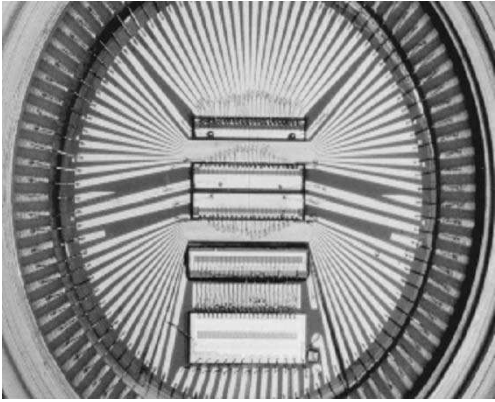


图 8

#### 4.3.3 红外探测器各元件模块的安装及尺寸控制

在基板上安装红外探测器件各元件模块时,需要通过一系列工艺手段来保证安装位置光学配准的累积误差满足设计要求。一般来讲,X、Y 方向的尺寸可以在大视场下实现位置的高精度对准;在 Z 方向上,则可以通过垫片进行校准。

#### 4.4 杜瓦的焊接技术

杜瓦的焊接质量直接关系到杜瓦的整体漏率。根据国外报道,当杜瓦的容积为 18mL,装有消气剂,终止真空为  $10^{-4}$  托时,其漏率与真空寿命的关系如下:漏率在  $10^{-13}$ STP.CC He/sec 量级,真空寿命约为 200 年;漏率在  $10^{-12}$ STP.CC He/sec 量级,真空寿命约为 15 年;漏率在  $10^{-11}$ STP.CC He/sec 量级,真空寿命约为 2 年;漏率在  $10^{-10}$ STP.CC He/sec 量级,真空寿命约为 70 天;漏率在  $10^{-8}$ STP.CC He/sec 量级,真空寿命约为 24 小时<sup>[7]</sup>。因此杜瓦的总漏率是很重要的。

在杜瓦的研制过程中,焊接方法的选择和焊接结构的设计是很重要的。目前,在红外探测器微型杜瓦制备中,涉及的焊接方式有激光焊接、钎焊和红外窗口与金属的焊接。

##### 4.4.1 杜瓦的激光焊接技术

激光焊接用来实现不锈钢与不锈钢、不锈钢与柯伐和柯伐与柯伐的焊接。尤其是不锈钢与柯伐为异种金属,由于其熔点不一样,极容易形成焊接裂纹,为此选择合适的工艺参数很重要。影响激光焊接质量的参数<sup>[8]</sup>有:功率密度、激光脉冲波形、激光脉冲宽度、激光出光频率、离焦量种类和离焦量、光斑重叠、保护气体种类、保护气体的流量和方向以及焊接速度等。

##### 4.4.2 杜瓦的钎焊技术

真空钎焊一般是实现不同材料之间特殊结构的焊接,它可以保证高精度、小型化和高可靠性<sup>[9]</sup>。有如下优点:(1)加热温度较工件本体温度低,不会影响工件的物理化学性能;(2)焊接过程中变形小,可以保证精密尺寸;(3)可以通过设计焊接结构从而达到面焊接,提高焊接的气密性。

##### 4.4.3 杜瓦的窗口与金属焊接技术

窗口材料多为非金属材料,而杜瓦外壳是金属材料,实现金属与非金属焊接的方法是先对非金属进行金属化,然后再进行焊接。国外报道的是采用低熔点玻璃来实现窗口与柯伐的焊接<sup>[10]</sup>,我所的高频焊接技术也已成功地应用到了国家的一些重大工程项目上。

#### 4.5 杜瓦的微漏检漏技术

常规检漏仪受检漏方法和制造工艺的限制,一般不能达到高精度要求。目前能满足星用杜瓦微漏率的检测方法<sup>[11]</sup>有:(1)静态累及法,(2)信号峰值测量法,(3)信号电流测量法。

#### 4.6 杜瓦的表面处理技术

为了增加杜瓦的真空寿命,除了严格控制杜瓦的整体漏率外,还要降低杜瓦的表面出气率。采用的方法有:(1)在真空中进行高温除气处理<sup>[12]</sup>,(2)对表面进行抛光处理<sup>[12]</sup>,(3)在杜瓦内表面镀出气率较低的氮化钛或氧化物<sup>[13]</sup>,

