

文章编号:1004-4213(2010)12-2241-5

新一代星用多通道光导长波线列器件的多层陶瓷封装设计*

武文^{1,2}, 刘大福¹

(1 中国科学院上海技术物理研究所 红外成像材料与器件重点实验室;传感技术国家重点实验室,上海 200083)

(2 中国科学院研究生院,北京 100049)

摘 要:介绍了红外杜瓦组件的总体封装形式并回顾了国内外的的发展情况,对 7 通道长波光导线列器件在杜瓦瓶中的基板封装形式进行了研究,提出了三种基于厚膜工艺和薄膜工艺的陶瓷基板封装形式.其中,第一种“直接引线式封装”体积过大,第二种“陶瓷针型栅格阵列封装”形式缺少合适接插件,而第三种“分时分组封装”形式使用了薄膜和厚膜基板相键合分时读出的方式,不仅很好地解决了布线问题,而且能方便地使用柔性电缆将信号引出,系统性能要求得到满足.

关键词:陶瓷多层基板;厚膜工艺;薄膜工艺;杜瓦封装

中图分类号: TN215

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20103912.2241

0 引言

电子器件封装技术简称封装,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它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整体立体结构的工艺^[1].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.但是由于星用红外探测器的使用场合特殊,其封装技术又有不同的特点.

长线列扫描型红外器件是我国空间预警、侦查等技术的军用遥感仪器以及海洋海岸地带成像和环境检测红外相机等民用航天项目的核心部件.我国的红外焦平面技术近几年发展很快,但一些基础技术在向工程化组件应用转变过程中还需要进一步完善,尤其是封装组件技术中的一些关键问题需要进一步取得突破^[2].

先进的标准杜瓦封装组件技术是第二代红外传感技术的核心,并在热目标成像、飞行器等领域得到广泛的应用.它由红外探测器、杜瓦、指令和电控制部件等组成,其中多层陶瓷基板封装技术是杜瓦封装组件中关键的技术之一,它是连接光敏元芯片与外界驱动电子的重要枢纽.SCD 公司的早期封装样品为 4 元和 120 元的光导型器件,由于器件单元数较少,SCD 公司采用了表面直接键合的技术手段,基板采用了单层布线的方式.同样 TI 公司 180 元光导线列芯

片的封装也是采用了相类似的处理方式^[3-4].

进入 21 世纪之后,美国国家航空航天局的大气垂直探测仪 (Atmosphere Infrared Sounder, AIRS) 应用了长波光导线列与中短波光伏阵列焦平面相结合的多层陶瓷基板封装的技术手段,系统的性能得到了大幅度的提高^[5-8].本文将借鉴它们的成功经验,针对实际工程需要,提出一种新的多层陶瓷基板的封装结构.此种结构不仅很好地解决了多通道线列器件的封装问题,而且信号完整性得到了保证.

1 杜瓦封装结构

基于前文所述,长波线列器件主要采用杜瓦封装形式.杜瓦瓶主要由芯柱、冷头、外壳、引线环、冷光栏、光学窗口、红外探测器、基板、滤光片等组成,如图 1 和图 2.红外探测器芯片通过杜瓦封装在高

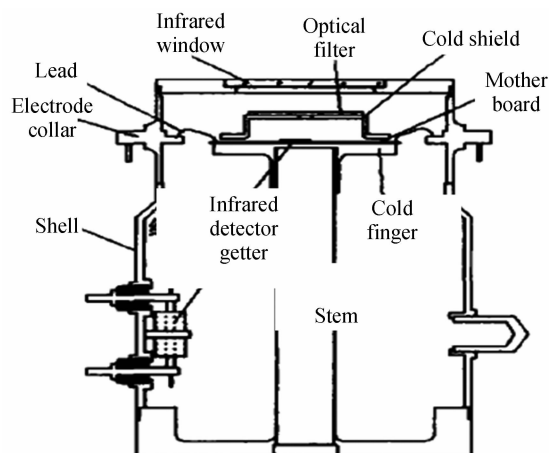


图 1 杜瓦封装结构

Fig. 1 Structure of dewar assembly

* 中国科学院上海技术物理研究所创新基金资助

Tel: 021-65420850-19302 Email: wenwu@mail.sitp.ac.cn

收稿日期:2010-08-10

修回日期:2010-10-08



图2 杜瓦封装实物图

Fig.2 Material object of dewar assembly

真空环境中,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也是制冷的平台^[9-10]. 本文重点讨论的基板封装技术是杜瓦核心技术之一,关系到整个系统的性能的优劣.

2 光敏芯片封装工艺的选取

光敏元器件一般封装在混合电路工艺模块中,采用陶瓷基板与引线相键合方式,将光敏元芯片与外界驱动电路进行连接. 封装不仅要给芯片提供合适的物理环境,而且还要保证读出信号的完整性. 混合电路封装工艺主要有薄膜工艺、厚膜工艺和多模块工艺(Multi-Chip Module, MCM).

2.1 薄膜工艺

陶瓷基板上薄膜金属化的开发主要是利用了陶瓷基板高的电路密度、沉淀和刻蚀金属的尺寸准确度、高热导率及高机械稳定性等特点. 一般,所用基板采用抛光到极小表面粗糙度和良好平整度的高纯氧化铝(99.5%~99.6%)陶瓷. 加工时通过各种沉淀方法,如蒸发、溅射、电镀、化学气相沉积将金属薄膜等涂覆到基板上,然后通过甩胶,光刻等手段进一步处理形成设计所需的印刷图形.

薄膜工艺的优势在于能够涂覆较小的线宽和线间距,其工艺所允许的最小距离大致在 $10\sim 25\ \mu\text{m}$ 之间,但是一般仅用于加工单层基板,多层基板的加工难度很大.

2.2 厚膜工艺

厚膜技术最简单的形式是利用丝网印刷技术在致密的陶瓷基板上沉积金属电路. 在金属中添加玻璃和氧化物有助于金属在相对低的温度下($600\ \text{C}\sim 950\ \text{C}$)致密化和基板粘接. 这项技术的主要优点是刻蚀绝缘介质形成电路. 一层接一层的印刷、干燥和烧结,在刚性陶瓷和金属底座上形成多层结构.

但是由于基板是一层一层涂覆上去的,基板表面的平整性就会降低,层数越多基板越不平整,最终限制了基板涂覆的层数. 一般厚膜工艺加工的极限是4~6层.

2.3 MCM 工艺

高温共烧陶瓷工艺是将不同的内部电路印刷在不同的带层上,采用冲制造、冲切模、搓洗、激光切割等工艺在各层上加工图形,以形成三维带腔的形状. 然后将各层堆叠起来并互相对准,用热压机把各个层层压在一起.

低温共烧陶瓷则是以无机材料为基础,这种材料技术的结合使三维封装的工艺过程可以在低温($<1\ 000\ \text{C}$)下进行,这样金属就可以使用金、银、铜等导电性能好的导体作为导电体使用.

相比于厚膜工艺,尤其是针对6层以上的加工过程,高温共烧和低温共烧在多层陶瓷工艺上更有优势. 因为利用内部电路印刷在不同的带层上,然后进行层压的工艺过程克服了厚膜工艺中的表面不平整的问题^[11-12].

3 多层陶瓷基板的设计

针对 $6\ \mu\text{m}$ 以上的长波探测部分,本文研究所采用 80×1 的线列作为探测器的核心光敏元器件. $5.8\sim 13.8\ \mu\text{m}$ 共有7通道,80元的光敏元电极间隔为 $50\ \mu\text{m}$,图3为芯片的结构示意图.

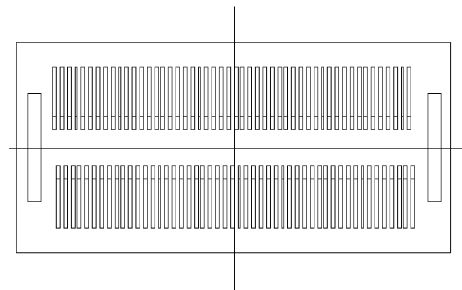


图3 光导芯片结构

Fig.3 Layout of photoconductive chips

考虑到光导线列器件的布线层数不会高于4层,工艺上主要采用了厚膜加工工艺. 但是由于基板内部光敏元芯片的电极宽度小于 $50\ \mu\text{m}$,厚膜工艺的线宽极限在 $100\ \mu\text{m}$ 以上,所以局部需要使用薄膜工艺作为补充,然后再与厚膜基板键合.

参照AIRS混合焦平面器件封装的成功经验,并考虑到光导器件的探测单元是正照器件,光电信号直接从光敏元读出,封装基板使用柔性电缆连接杜瓦外的驱动电子装置.

此外,由于光导探测单元需要单独的电源偏置,光导器件相比较光伏器件来说功耗大,热分布有一定的讲究. 这些在封装基板的设计过程中都要考虑到^[13].

3.1 基板设计方案一

由于系统为7通道,并选用长波红外线列光导

器件作为光敏芯片, 每个通道的线列光敏芯片为 80 元, 所以至少有 560 根信号端口, 此外至少还应该有一根公共的地线. 基于此种设计要求, 方案一预留了 580 根的外接端口, 如图 4.

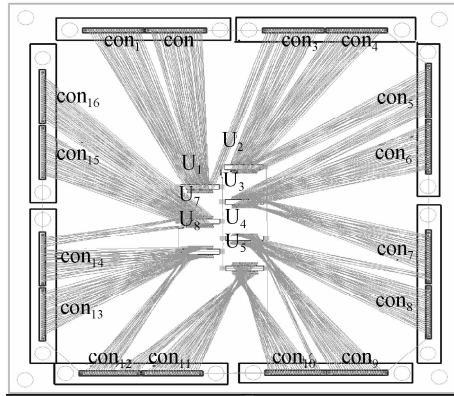


图 4 设计方案一
Fig. 4 Design scheme 1

但是第一种方案存在着严重的设计缺陷. 布线难度很大, 不易加工. 考虑到光学系统孔径的限制, 相邻光敏芯片之间的间距不能过大. 但是光敏元之间的电极间距只有 $50 \mu\text{m}$, 如此小的间距内根本无法使用通孔进行多层布线. 如果使用薄膜工艺, 线宽可以满足要求, 但是为了引出 560 根信号, 基板面积必须足够大, 这样就导致了金属薄膜引线的宽长增大, 致使其在低温下容易收缩断裂.

3.2 基板设计方案二

考虑到第一种方案的不足之处, 设计了第二种方案 (图 5). 方案二在基板中间使用排针将芯片电极引出, 即应用陶瓷引脚栅格阵列的封装形式 (Ceramic Pin Grid Array, CPGA), 基板面积得到了大大的减小. 但是考虑到基板应用环境的特殊性, 军品金属接插件无法从市场上直接购买, 这就导致了接插件成本的急剧上升, 最终也没有采用.

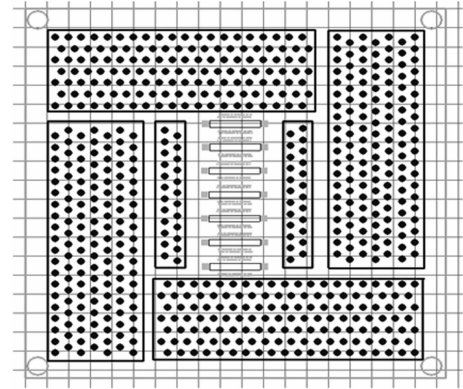


图 5 设计方案二
Fig. 5 Design scheme 2

3.3 基板设计方案三

考虑到前两次设计方案的问题主要集中在最后排线的引出上, 方案三采用分时信号读出的方式. 图 6 说明了光导器件是依靠串联一个大电阻, 利用光照改变光敏元电阻的大小来产生信号的. 基于光导器件的基本工作原理, 芯片可以按照阵列分成 7 组, 每一组的地线通过模拟开关进行选通, 其余组的状态置为高阻, 用扫描的方式将所有的信号串行读出, 如图 7. 线列光敏元读出的信号通过前置放大器放大后, 经由后端数模转换模块的选择通路, 将模拟信号转化为数字信号供进一步处理.

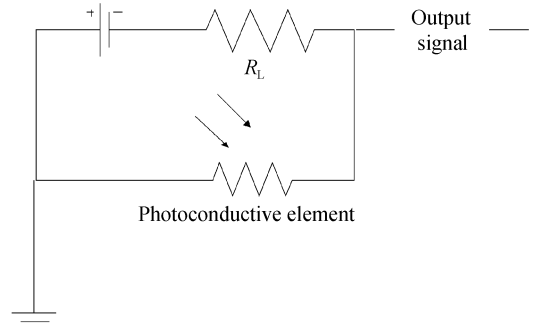


图 6 光导器件工作原理图
Fig. 6 Schematic diagram of photoconductive device

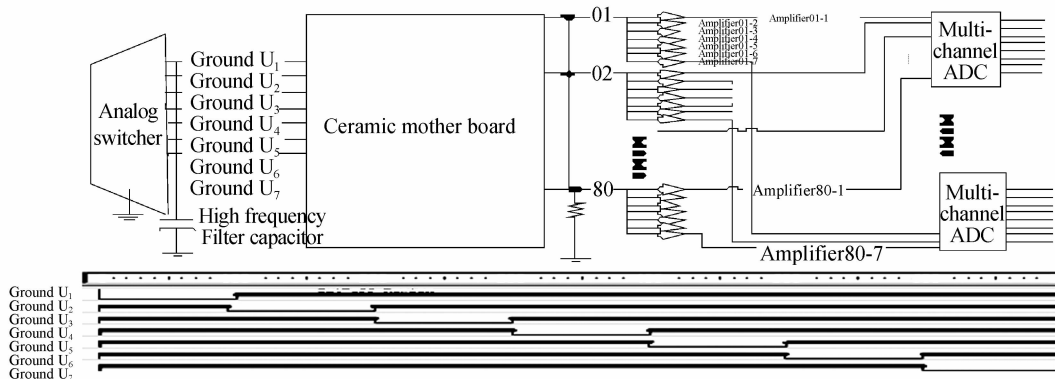


图 7 方案三系统原理图
Fig. 7 Systematic schematic diagram of scheme 3

需要指出的是, 由于光导芯片产生的光电信号属于小信号, 任何形式的噪音源都有可能对信号产

生致命的影响. 因此, 数字 FPGA 电路不能作为选通开关. 即便是模拟开关的选择也应尽量使用低噪音、

低导通电阻的型号. 市场上德州仪器公司的模拟开关 TS5A6542 在选通后, 导通电阻仅 0.75Ω . 采用先关后开方式, 开启时间和关闭时间均在 ns 量级.

由于模拟开关直接与模拟地相接, 等效于一串联电阻, 故电阻噪声电流大小为

$$I_n^2 = 4RkT\Delta f$$

式中 R 为导通阻值, 约 0.75Ω , k 为波耳兹曼常量, T 为绝对温度值, Δf 为后端小信号的频率带宽, 约在 kHz 量级, 所以最后噪声电流 I_n 在 μA 量级, 远小于信号电流. 基板设计方案和最终布线如图 8 和图 9.

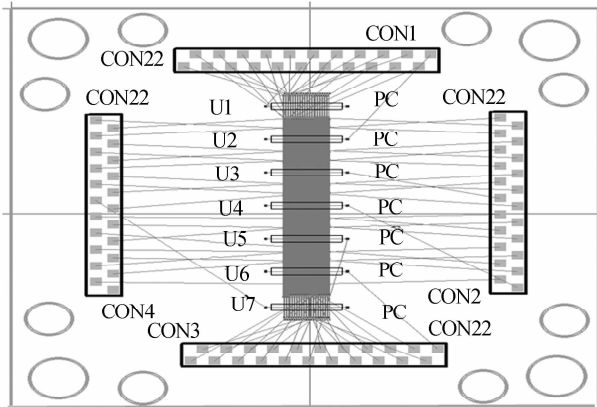


图 8 方案三布局图
Fig. 8 Layout of scheme 3

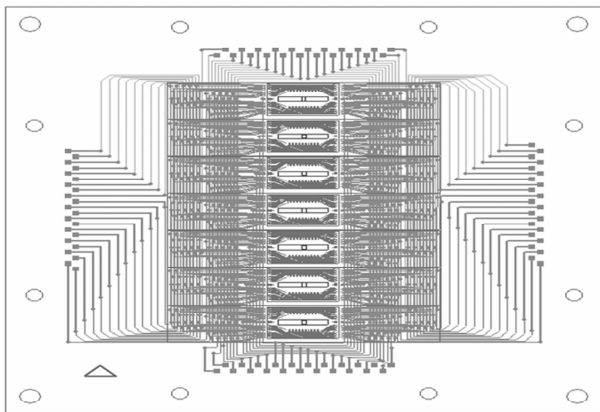


图 9 方案三布线图
Fig. 9 Wiring pattern of scheme 3

最后, 基板采用低温胶键合的方式将光导芯片电极与基板相连接, 然后用柔性电缆连接基板和外部接插件, 其剖面图如图 10.

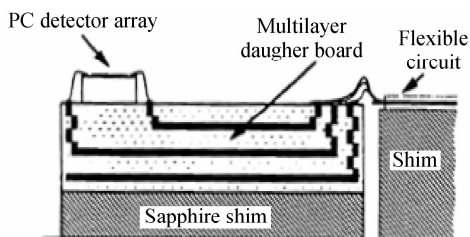


图 10 多层基板剖面图
Fig. 10 Cutaway view of multilayer board

4 结论

焦平面封装是杜瓦组件技术中关键的一环, 如何保证基板设计合理, 能够在低温下稳定工作并保证信号不失真的成为研究的重点. 本设计参照国外成功的经验, 并在现有的工艺基础上突破创新, 设计了新一代多通道线列器件的封装组件, 符合系统要求, 直接面向工程应用.

参考文献

- [1] 毕克勇, 张宋岳, 高尚通, 等. 微电子封装技术 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2004: 125-140.
- [2] WANG Xiao-kun, ZHU San-gen, GONG Hai-mei. Packaging technology of infrared detector on satellite and its application [J]. *Infrared*, 2005, **11**: 13-18.
王小坤, 朱三根, 龚海梅. 星用红外探测器封装技术及其应用 [J]. *红外*, 2005, **11**: 13-18.
- [3] WEISS E. Thirty years of HgCdTe technology in israel [C]. *SPIE*, 2009, **7298**: W1-W2.
- [4] KINCH M A. Fifty years of HgCdTe at texas instruments and beyond [C]. *SPIE*, 2009, **7298**: T1-T23.
- [5] WEISS E, HUANG H L, LI J, *et al.* International MODIS and AIRS processing package: AIRS products and applications [J]. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2007, **1**(1): 1-27.
- [6] RUTTER J H, ROBILLARD G, ROBINSON C, *et al.* Performance of the multispectral photoconductive HgCdTe focal plane/Dewar assembly for the high-resolution dynamics limb sounder (HIRDLS) instrument [C]. *SPIE*, 2000, **4131**: 285-296.
- [7] SALAZAR W. Report on the status of linear drive coolers for the department of defense standard advanced dewar assembly (SADA) [C]. *SPIE*, 2003, **4820**: 43-51.
- [8] VINSON K H, REVERCOMB H E, KNUTESON R O, *et al.* Validation of AIRS cloud-cleared radiances using high spectral resolution infrared aircraft observations [C]. *SPIE*, 2005, **5655**: 470-478.
- [9] RUTTER J H, JUNGKMAN D, STOBIE J A, *et al.* A multispectral hybrid HgCdTe FPA/dewar assembly for remote sensing in the atmospheric infrared sounder (AIRS) Instrument [C]. *SPIE*, 1996, **2817**: 200-213.
- [10] RUTTER J H, LIBONATE G S, ROBILLARD G *et al.* Performance of the PV/PC HgCdTe focal Plane/dewar assembly atmospheric infrared sounder instrument (AIRS) [C]. *SPIE*, 1998, **3437**: 249-260.
- [11] HAPPER C A. Electronic materials and processes handbook [M]. New York: McGraw-Hill Companies, 2003: 88-98.
- [12] ULRICH R K, RAJAN S. Thermal performance of an MCM flip-chip assembly in liquid nitrogen [C]. *IEEE Trans on Components, Packaging, and Manufacturing Technology*, 1996, **19**(4): 451-457.
- [13] LOU Xin-ye, WU Xing-kun. Thermally induced misalignment in laser packaging of optical modules [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(11): 1680-1685.
楼歆晔, 吴兴坤. 光子器件激光封装中热致角度偏移的降低 [J]. *光子学报*, 2006, **35**(11): 1680-1685.

Design of Ceramic Multilayer Packing Board for Innovative Multi-channel Long Wave Photoconductive Linear Device

WU Wen^{1,2}, LIU Da-fu¹

(1 *Key Laboratory of Infrared Imaging Materials and Devices; State Key Laboratory of Transducer Technology, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China*)

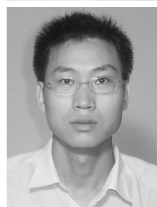
(2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: An optimum packaging structure of photoconductive infrared detector which is a 7-channel device and made in the form of linear array was proposed. After a brief introduction to the basic elements in dewar assembly, the development of dewar assembly at home and abroad was reviewed by examining the assembly design. Based on the review of previous work, the performances of three different designs were compared; the first design provided direct electronic feed-through and contacted points with a number of cables and wire feeds, yet fails to a significant increase in the size of the device; the second one adopted Ceramic Pin Grid Array as the package, however this design was unavailable due to the lack of the optimal contact points; the third design absorbed the idea of “time-sharing” with both thick film and thin film technology. Furthermore, the third one of an innovative cabling solution enabled the infrared detect or to offer high performance and good response speed by using flexible cables.

Key words: Ceramic multilayer board; Thick film technology; Thin film technology; Dewar assembly



WU Wen was born in 1986. Now he is pursuing the M. S. degree at Key Laboratory of Infrared Imaging Materials and Device, Shanghai Institute of Technical Physics, CAS, and his research interests focus on the design of dewar assembly and applications of cryogenic circuits.



LIU Da-Fu was born in 1979, and received his Ph. D. degree from Shanghai Institute of Technical Physics, CAS, in 2006. Now, he is mainly engaged the research of packing of optoelectronic devices.