

文章编号:1001-893X(2012)07-1160-04

# 一种新颖的 Ka 频段 T/R 组件立体混合集成封装<sup>\*</sup>

何毅龙

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

**摘要:**介绍了一种新颖的 Ka 频段 T/R 组件立体混合集成封装。针对 Ka 频段 T/R 组件高频率和高密度的特点,提出了一种新颖的多层组装和双面密封的立体电路结构,采用软基片、FR-4 等简单成熟工艺,实现了 Ka 频段 M-MCM 的混合集成。该封装具有集成度高、散热性好和可靠性高等特点,能够应用于 Ka 频段二维有源相控阵 T/R 子阵的工程研制。

**关键词:**Ka 频段;有源相控阵;T/R 组件;立体混合集成封装

**中图分类号:**TN80    **文献标志码:**A    doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2012.07.023

## A Novel 3D Compound-integrated Packaging of Ka-band T/R Module

HE Yi-long

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

**Abstract:** A 3D compound-integrated packaging of Ka-band T/R module is described in this paper. According to the high frequency and high density features of the Ka-band T/R module, a novel multilayer-assembled and double-sided-sealing 3D circuit-structure is provided. By adopting some simple manufacturing methods such as soft-substrate and FR-4, the compound-integrated Ka-band Multifunction Multi-chip Module(M-MCM) is realized. The packaging is featured by high integration, good heat dissipation and high reliability and can be applied in the engineering development of the Ka-band Adaptive Phase Array Radar (APAR) T/R subarray.

**Key words:** Ka-band; adaptive phase array radar; T/R module; 3D compound-integrated packaging

## 1 引言

由于毫米波系统具有精度高、抗干扰能力强、体积小、重量轻等优点<sup>[1]</sup>,近年来,被广泛应用于雷达、制导、通信、识别等领域,其中,Ka 频段二维有源相控阵是应用研究的热点,相关文献报道很多<sup>[2-4]</sup>。由于频率极高,天线阵元间距极小,Ka 频段二维有源相控阵 T/R 组件在电路布局、信号隔离、信号互联、热设计、封装等方面都面临着严峻的问题<sup>[5]</sup>。因此,Ka 频段 T/R 组件的集成封装一直是 Ka 频段二维有源相控阵领域应用研究的重点和难点。

在 Ka 频段 T/R 组件的集成封装方面,国内相

关文献报道很少,主要是一维相控阵 T/R 组件的相关报道<sup>[6]</sup>;国外相关文献报道很多,1993 年,文献<sup>[7]</sup>报道了采用多层陶瓷技术实现多芯片集成(MCM-C),给出了 6~18 GHz 的实物照片和 Ka 频段的封装模型。该封装作为典型的平面集成封装(2D Integrated Packaging),也称纵向集成封装(Longitudinally Integrated Packaging),已被广泛应用。2005 年,文献<sup>[8-9]</sup>报道了采用沉积薄膜技术实现多芯片集成(MCM-D),给出了封装模型和 20 GHz 产品实物照片。随着高频率高性能垂直互联技术的发展,该封装作为立体集成封装(3D Integrated Packaging),也称横向集成(Transversely Integrated Packaging),具有广

<sup>\*</sup> 收稿日期:2012-05-16;修回日期:2012-06-13

泛的应用前景。

从两种集成封装来看，Ka 频段 T/R 组件的集成封装对基础工艺能力和技术水平要求很高，在国内的发展一直受其制约。为了突破这一技术“瓶颈”，一方面，需要紧跟国外技术发展，大力提升基础工艺能力和技术水平；另一方面，也需要创新思路，利用国内现有成熟工艺技术条件，破解 Ka 频段 T/R 组件集成封装难题，以尽快适应国内对 Ka 频段二维相控阵的迫切要求。因此，本文提出了新颖的多层组装和双面密封的立体电路结构，采用软基片、FR-4 等简单成熟工艺进行混合集成，在 Ka 频段 T/R 组件立体混合集成封装方面，进行了一次成功的探索。

2 立体混合集成封装模型

根据 Ka 频段二维相控阵 T/R 组件高频率和高密度的技术特点和难点，结合国内工艺发展现状，提出了一种立体混合集成封装 (3D Compound - Integrated Packaging)，如图 1 所示，主要包括管壳、毫米波基板、低频基板、砷化镓单片集成电路芯片 (GaAs MMIC)、微带电路、贴片元件 (SMT)、多芯片单元模块 (MCM)、盖板等。

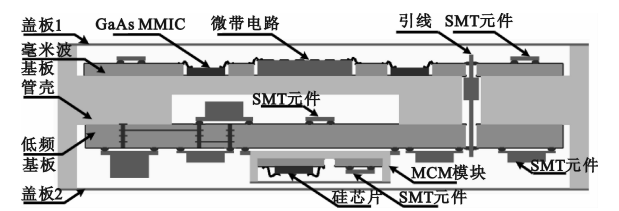


图 1 立体混合集成封装模型

Fig.1 3D compound - integrated package model

该封装模型在空间分布方面，通过管壳、毫米波基板、低频基板和双盖板，形成了单层射频电路、多层低频电路和多层元器件的空间立体分布，从而形成了多层组装和双面密封的立体电路结构。同时，也形成了多个独立的屏蔽腔，能有效降低因辐射引起的各种信号干扰，具有集成密度高、隔离度好等特点。

该封装模型在层间互联方面，可以通过金丝键合、基板层间过孔、绝缘子引线、SMT 贴片焊接等实现射频电路之间、射频和低频电路之间以及低频电路之间的互联，具有连接简单、稳定性好等特点。

该封装模型在材料方面，管壳可以选用可伐合金、10# 钢、石墨铝、铝、铜等金属材料，毫米波基板可以选用软基片、陶瓷薄膜、低温共烧陶瓷 (LTCC) 等介质基板，低频基板可以选用 FR-4 多层印制板、低温共烧陶瓷 (LTCC) 等介质基板，元器件以选用砷化镓、硅等单片电路，也可以选用陶瓷封装、塑封或金属封装的元器件以及多芯片单元模块，具有电路性能好、成本低，结构强度高、散热性能好等特点。

该封装模型在工艺方面，可以选用陶瓷薄膜、低温共烧陶瓷、印制板、微组装、共晶焊接、贴片焊接、砷化镓芯片和硅芯片等工艺进行混合集成，具有工艺成熟度高、设计简单，工艺难度小、可靠性高等特点。

综上所述，并结合文献 [7-9] 进行综合对比分析，得到 3 种封装模型的技术特点，详见表 1。在可行性方面，立体混合集成封装模型比平面集成封装模型和立体集成封装模型工艺难度和设计难度都更低；在电路结构和综合性能方面，优于平面集成封装模型，略逊于立体集成封装模型；在集成度方面，远逊于立体集成封装模型，与平面集成封装模型相当。

表 1 3 种 Ka 频段 T/R 组件集成封装模型的技术特点  
Table1 Features of three Ka - band T/R packaging models

| 封装模型   | 集成      |     | 电路结构 |      |     | 综合性能 |      |      | 可行性  |      |
|--------|---------|-----|------|------|-----|------|------|------|------|------|
|        | 集成方式    | 集成度 | 射频电路 | 低频电路 | 元器件 | 电性能  | 散热性能 | 结构强度 | 设计难度 | 工艺难度 |
| 平面集成   | MCM - C | 高   | 单层   | 多层   | 单层  | 优    | 一般   | 良    | 高    | 高    |
| 立体集成   | MCM - D | 很高  | 多层   | 多层   | 多层  | 良    | 优    | 良    | 很高   | 很高   |
| 立体混合集成 | 混合      | 高   | 单层   | 多层   | 多层  | 优    | 优    | 优    | 低    | 低    |

3 立体混合集成封装应用

3.1 应用需求

某 Ka 频段相控阵拟采用纵向集成横向组装 (Longitudinally Integrated and Transversely Assembled, LITA)，需前期研制 Ka 频段 T/R 子阵。该子阵由 1 ×

8 的 T/R 组成，其主要技术指标如下：工作频段为 Ka 频段；工作带宽 1 GHz；阵列间距 5.8 mm × 5.0 mm；单路发射功率大于等于 20 dBm；等效噪声系数小于等于 5.0 dB；单路接收增益 24 ± 2 dB；单路发射增益 22 ± 2 dB；移相位数为 5 位；衰减位数为 5 位；平均功耗小于等于 12 W；发射占空比大于等于 30%。

该 Ka 频段 T/R 子阵的电路原理图如图 2 所示,主要包括射频电路和低频控制电路两部分。射频电路包括功分(合成)网络和 8 个射频支路,其中,每个射频支路都包括独立的移相器、衰减器、功率放

大器、低噪声放大器、驱动放大器、开发等电路。低频控制电路包括电源脉冲调制、幅相控制、开关控制、控制转换和控制驱动等功能电路。在接口方面,射频电路采用同轴接口,低频电路采用低频插座。

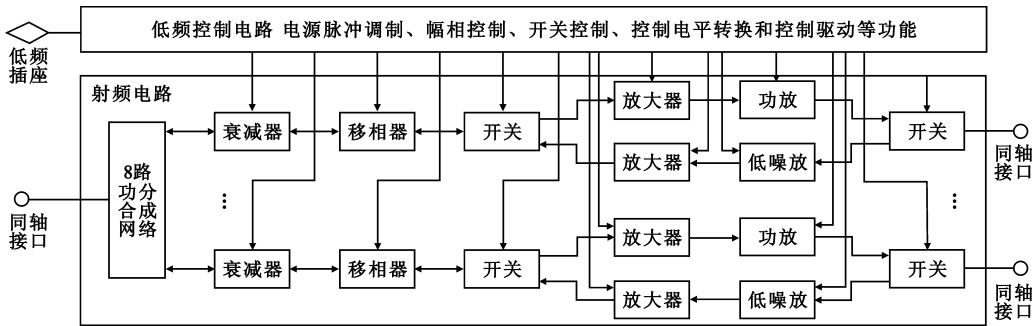


图 2 Ka 频段 T/R 子阵电路原理图  
Fig.2 Circuit schematic of Ka – band T/R subarray

3.2 应用方案

由于该 Ka 频段相控阵 T/R 单元间距极小,具有电性能指标高、功耗大、集成度高等技术特点,因此,该 Ka 频段 T/R 子阵选用立体混合集成封装技术。

Ka 频段 T/R 子阵的立体组装模型如图 3 所示,管壳和盖板都选用铝材,既能满足散热要求,又能通过激光缝焊实现气密封,还可以显著减少重量;射频器件都是选用砷化镓芯片 (GaAs MMIC),其中,5 位移相器和 5 位衰减器选用国产芯片,功放、低噪放、开关和驱动放大器选用成熟的商用芯片,既可以提高 T/R 的技术性能指标,又可以降低成本;毫米波基板选用软基片 RT5880 和陶瓷薄膜,工艺成熟简单,既能实现射频电路高性能平面集成,又能通过芯片直接接触管壳改善 T/R 的散热条件。电源调制器和控制驱动器都选用硅芯片,并进行多芯片集成,形成独立 MCM 单元模块。低频基板选用 FR-4 印制板,工艺成熟简单,既能够实现低频电路间的多层互联,又能通过绝缘子实现与射频电路间的互联。

Ka 频段 TR 子阵实现立体混合集成封装的工艺流程图如图 4 所示,主要由管壳加工、电路组装、测试和封帽 4 个工艺流程组成,其中,包括软基片和 FR-4 印制板加工、陶瓷薄膜、钎焊、SMT 电装、微组装、激光缝焊等工艺。

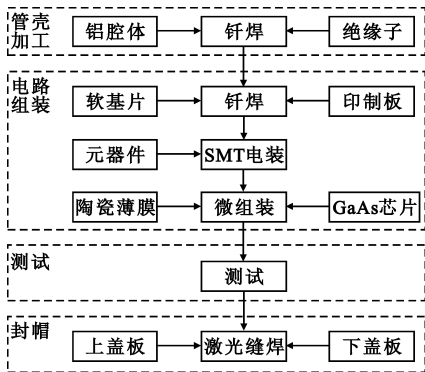


图 4 Ka 频段 T/R 子阵工艺流程图  
Fig.4 Engineering flow sheet of Ka – band T/R subarray

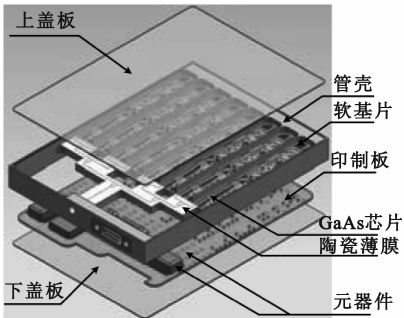


图 3 Ka 频段 T/R 子阵立体组装模型图  
Fig.3 Exploded view of Ka – band T/R subarray

3.3 应用效果

根据设计方案,完成了一套 Ka 频段 T/R 子阵的研制,实物测试照片如 5 所示,实物照片如图 6 所示,Ka 频段相控阵阵列模型图如图 7 所示。其主要技术指标测试结果如下:单路发射功率不小于 20.8 dBm;等效噪声系数不大于 4.1 dB;单路接收增益 22.8 ~ 24.1 dB;单路发射增益 20.9 ~ 22.4 dB;平均功耗小于等于 11.2 W;体积 55 mm × 41 mm × 5 mm;重量不大于 65 g。由此可见,各项性能指标满

足应用要求。

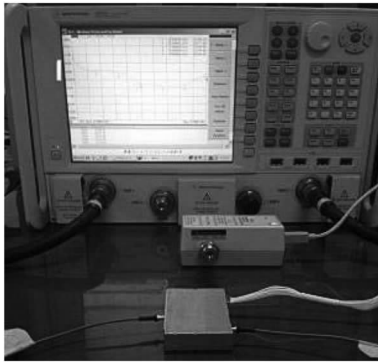


图 5 Ka 频段 T/R 子阵实物测试图  
Fig.5 Test of Ka - band T/R subarray

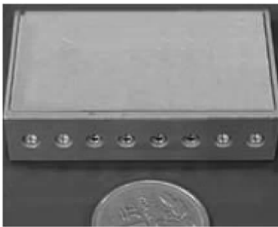


图 6 Ka 频段 T/R 子阵实物照片  
Fig.6 Photo of Ka - band T/R subarray

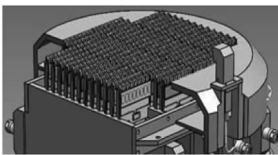


图 7 Ka 频段相控阵阵列模型图  
Fig.7 Array model of Ka - band APAR

## 4 结 论

该立体混合集成封装能够实现 Ka 频段 T/R 子阵的高频率和高密度集成,具有集成度高、设计难度小、工艺成熟简单、研制成本低等优点,能够应用于雷达、导引头、通信、识别等领域 Ka 频段二维相控阵 T/R 子阵的工程研制。

该立体混合集成封装还可以结合多功能芯片技术,进一步提高集成度,实现 Ka 频段 T/R 子阵的超小型化,可以开展其在弹载、星载等小平台 Ka 频段二维相控阵领域的应用研究。

## 参考文献:

[1] 甘体国.毫米波工程[M].成都:电子科技大学出版社,

2006:1 - 12.

GAN Ti - guo. Millimeter - Wave Engineering[M]. Chengdu:University of Electronic Science and Technology of China Press,2006:1 - 12. (in Chinese)

- [2] Weiss S, Adler E, Kilic O, et al. A Multifunctional Ka - Band Electronic Scanning Antenna (ESA)[C]//Proceedings of 2003 IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology. Boston, MA: IEEE,2003: 371 - 376.
- [3] Stange L C, Pawlak H, Dreher A, et al. Components of a highly integrated DBF terminal antenna for mobile Ka - band satellite communications [C]//Proceedings of 2003 IEEE MTT - S International Microwave Symposium Digest. Philadelphia, PA, USA:IEEE,2003:583 - 586.
- [4] Geise A, Jacob A F, Kuhlmann K, et al. Smart Antenna Terminals for Broadband Mobile Satellite Communications at Ka - Band[C]//Proceedings of 2nd International ITG Conference on Antennas. Munich, Germany: INICA,2007: 199 - 204.
- [5] Rosker M J. Technologies for Next Generation T/R Modules [C]//Proceedings of 2007 IEEE Radar Conference. Waltham, Ma, USA: IEEE, 2007: 944 - 947.
- [6] Li Guiping, Xu Jun, Luo Shendu, et al. A Ka - band T/R front - end for phased array radar[C]//Proceedings of 2010 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology. Chengdu, China: ICMMT, 2010:1001 - 1004.
- [7] Wein D, Anderson P, Babiarz J, et al. Microwave and Millimeter - Wave Packaging and interconnection Methods for Single and Multiple Chip Modules[C]//Proceedings of the 15th Annual GaAs IC Symposium. San Jose, CA: IEEE, 1993: 333 - 335.
- [8] Barbier T, Mazel F, Reig B, et al. A 3D wideband Packaging solution using MCM - D BCB technology for tile TR module[C]//Proceedings of European Gallium Arsenide and Other Semiconductor Application Symposium. Paris: EGAAS, 2005:549 - 552.
- [9] Mancuso Y, Gremillet P, Lacomme P. T/R - Modules Technological and Technical Trends for Phased Array Antennas [C]//Proceedings of 2005 European Microwave Conference. Paris: IEEE, 2005.

## 作者简介:

何毅龙(1980—),男,四川武胜人,2002 年于电子科技大学获电磁场与微波技术专业学士学位,现为工程师,主要从事毫米波技术方面的研究。

HE Yi - long was born in Wusheng, Sichuan Province, in 1980. He received the B.S. degree in Electromagnetic Field and Microwave Technology from University of Electronic Science and Technology of China in 2002. He is now an engineer. His research concerns microwave and millimeter - wave technology.

Email: walkman3000@sohu.com