

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2013.10.026

毫米波系统级封装中的基板功能化实现^{*}

张 凯^{**}

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘 要:阐述了毫米波系统级封装(SOP)架构中基板功能化的概念、作用及实现方法。提出了利用低温共烧陶瓷(LTCC)技术,在 SOP 多层陶瓷基板中一体化集成多种无源电路单元,使封装基板在作为表面贴装有源芯片载体的同时,自身具备相应的无源射频功能。最终通过设计实例的仿真、加工及测试对比,验证了在 SOP 架构下实现封装基板功能化的可行性,及其所具有的良好 的射频滤波、层间信号互联、射频接口过渡等电气性能。

关键词:毫米波组件;系统级封装;低温共烧陶瓷;基板功能化

中图分类号:TN80 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2013)10-1389-04

Realization of Substrate Functionalization in Millimeter-wave System on Package

ZHANG Kai

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

Abstract:The concept, function and realization of substrate functionalization in millimeter -wave(MMW) system on package (SOP) are presented in this paper. By using Low Temperature Co-fired Ceramic (LTCC) technology, multiple MMW passive circuit cells are incorporated into multi-layer ceramic substrate to make the substrate which is taken as the carrier of surface-mounted active chips have corresponding passive RF function by itself. Finally, comparison among simulation and measurement proves the feasibility of functional substrate, and good performance related to RF filtering, multilayer signal interconnection and RF connection-port transition.

Key words:millimeter-wave module;SOP;LTCC;substrate functionalization

1 引 言

为实现毫米波系统的小型化、轻量化、高密度集成,目前主要有两种实现途径:一种是片上系统(System On Chip, SOC),即依赖于半导体工艺技术,将射频、数字、模拟等多个功能模块在一块半导体芯片上集成。若能实现显然是目前集成密度最高、体积最小的一种系统集成方式。但 SOC 受半导体材料限制,对无源射频电路尤其是滤波器、谐振器等高 Q 电路无法很好实现;其次功能的增加导致芯片面积的增大,对工艺实现性和成品率都产生较大影响,随之周期、成本也显著增加。另一种途径是基于封

装的系统(System On Package, SOP),即是在微波单片集成(MMIC)、多芯片组件(MCM)、数字与模拟集成以及光集成技术基础上,将微波与射频前端、数字与模拟信号处理电路、存储器以及光器件等多个功能模块集成在一个三维立体封装内的一种二次集成技术。该方式既充分利用了 SOC 等技术的集成成果,又借助多层基板三维封装技术,将无源元件埋置在多层基板内,使作为载体的基板功能化,设计空间大,技术实现难度低,从而实现低成本和高可靠性,是目前发展迅速的一种比较理想的系统集成方式。

封装基板功能化是系统级封装的显著特点。本

^{*} 收稿日期:2013-05-31;修回日期:2013-09-02 Received date:2013-05-31;Revised date:2013-09-02
^{**} 通讯作者:zkwd1981@126.com Corresponding author:zkwd1981@126.com

文即是在毫米波系统级封装(SOP)设计架构下,明确了封装基板功能化的概念,及其在毫米波 SOP 中所具有的功能,并利用低温共烧陶瓷(LTCC)工艺,将多层基板作为有源芯片表面安装载体的同时,进行无源电路的板内一体化集成设计,以此实现封装基板的功能化。最后通过对 X 频段埋置型滤波器、Ka 频段波导微带过渡以及宽带层间互联等无源单元设计实例的加工测试,验证了在 SOP 架构条件下实现封装基板功能化的可实现性和良好的性能指标。

2 基板功能化的概念

从本质上讲,SOP 是吸收融合了 SOC、SIP(System In Package)、MCM 等多种集成技术成果的一种二次封装技术。图 1 为典型的 SOP 布局示意图,可以看到在实现 SOP 过程中,诸如多功能有源射频芯片、堆叠数字芯片、MEMS 等无法封装在基板内部的元器件均采用表面贴装方式安装在封装基板表面,而无源单元电路如射频滤波器、电容电感、高频层间互联以及 I/O 过渡等则埋置在封装基板内部(图中虚线框所示部分)。这样使封装基板在作为有源芯片载体的同时,具有滤波、射频互联、I/O 信号转换过渡等多种功能,即实现所谓基板功能化。基板功能化有效利用了封装基板的三维空间,使仅具有支撑载体单一功能的电路板基板多功能化,提高了电路的封装集成度,是在 SOP 架构中将 有源、无源功能电路进行合理布局和高密度集成的平台,是 SOP 技术在吸纳多种封装技术成果的基础上,向更高集成度跨越的桥梁。

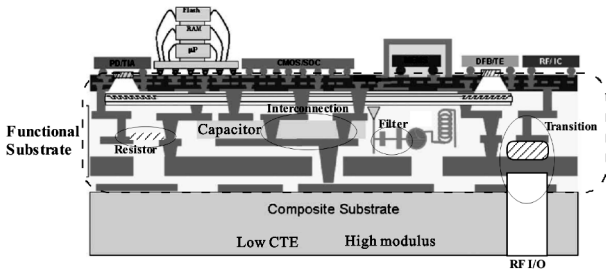


图 1 典型系统级封装布局示意图

Fig. 1 Typical layout of system on package

3 基板功能化的实现

3.1 基板功能化的实现方法

功能化基板要将适合内埋的多种无源单元电路一体化集成在基板内部,就需要一种能实现三维布局的基板工艺来支撑。低温共烧陶瓷(LTCC)作为

一种成熟的多层基板工艺,将厚膜印刷的生瓷带叠层共烧成型,使电路的设计空间从传统的二维平面向三维空间进行了拓展,非常适用于无源电路的内埋。同时 LTCC 陶瓷基板高频损耗低,稳定性高,热膨胀系数与 Si、GaAs 等材料匹配,是比较理想的半导体芯片安装载体。

具体到电路设计中可采用 LTCC 技术,在多层陶瓷基板中内埋诸如射频滤波器、层间互联、I/O 接口过渡等无源功能电路,使 LTCC 多层基板在作为芯片贴装载体的同时,充分利用内层三维立体空间实现相应的电气功能,即实现高密度封装基板的功能化。下面通过几个设计实例来验证上述方法的可行性和最终效果。

3.2 X 频段本振滤波功能

本振链路谐波抑制滤波器是毫米波系统中比较常见的分立元件,通常采用表面安装的方式二次组装在电路基板上。通过采用 LTCC 多层基板技术,可将该滤波单元埋置在基板内层而与电路板一体化加工实现,这样电路板本身具有了本振滤波功能。以某本振链路中 X 频段滤波器为例,设计在基波二倍频之后,二次谐波 9.6 GHz 是有用信号,输入基波(4.8 GHz)和三次谐波(14.4 GHz)需要抑制 45 dB 以上。

滤波器采用交指型拓扑结构,各谐振单元上下层交叉布局,并埋置在 LTCC 多层基板内部,短路端通过基板多层金属化填充孔接地实现,输入输出接口采用带线宽边耦合方式。为约束滤波器电磁场能量,防止在组件中与其他单元电路相互干扰,在滤波器周围设置栅状金属填充孔阵列。LTCC 基板采用 FerroA6 -M 材料,加工实物如图 2 所示。S 参数三维场仿真软件(HFSS)仿真结果与实测结果对比如图 3 所示,通带(9 ~ 10.2 GHz)内插损实测小于 3 dB,扣除接头损耗插损略大于仿真值,9.6 GHz 处插损约 2.6 dB;带外抑制 4.8 GHz 处约 46 dB,14.4 GHz 处达到 68 dB。

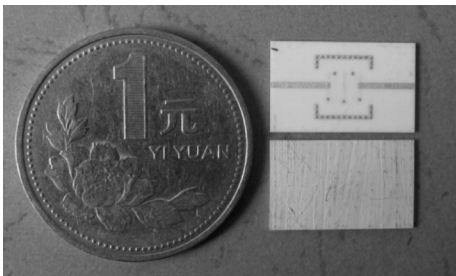


图 2 交指型滤波器加工实物图

Fig. 2 Photograph of the interdigital filter

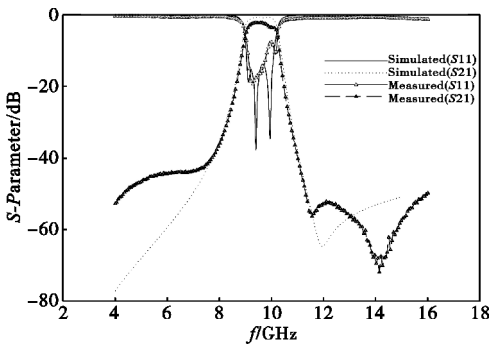


图 3 三维 EM 仿真与实测 S 参数对比

Fig. 3 S-parameter comparison between EM-simulation and measurement

通过滤波器的多层内埋布局,一方面进一步减小了电路体积,实现小型化集成;另一方面滤波器加工与电路板加工同时完成而无需额外安装工序,电路板即具有射频滤波功能。

3.3 Ka 频段波导微带过渡功能

在 Ka 频段收发组件中为减小传输损耗,射频接口通常是矩形波导,而组件内部 MMIC 裸片集成通常采用微带线传输结构,因此在射频接口处需要波导到微带的过渡来实现能量转换。混合集成电路中常用的微带探针、鳍线渐变线等过渡结构要么需要额外的短路面,且结构异型;要么电路尺寸偏大,均难满足实现毫米波组件小型化系统级封装的需求。

本文提出的基于 LTCC 工艺的波导微带过渡,根据缝隙耦合和贴片天线谐振辐射理论,通过射频地上的缝隙结构,将空气波导传输的电磁波能量耦合到基片另一侧微带线上,耦合缝隙的谐振频率决定了耦合的频率适用范围。为拓展过渡带宽,在谐振贴片两侧加入寄谐振贴片,利用寄生贴片与主谐振贴片间的耦合谐振可以在通带内多引入一个谐振点,以拓展过渡结构的带宽。

为方便测试,在 LTCC 基板上制作了背靠背的过渡结构样品,介质材料选用 FerroA6-M,加工实物如图 4 所示,对实物的实测结果与三维场仿真结果对比如图 5 所示。对比分析发现:从整个过渡通带来看,实测与仿真吻合得较好。包含 19 mm 长微带线在内的背靠背过渡结构,在 29 ~ 38 GHz 约 9 GHz 带宽内插损小于 1.7 dB,等效单边过渡结构插损小于 0.7 dB,实测有效过渡带宽近 26.8%。

通过实验验证,该结构获得了良好的宽带过渡性能,结构紧凑合理,介质填充波导、埋置谐振贴片单元、耦合缝隙及表层微带线与 LTCC 多层基板一体化集成,结构简单且无需短路面,使基板自身即具

备射频接口过渡功能,满足了毫米波系统级封装对过渡结构的需求。

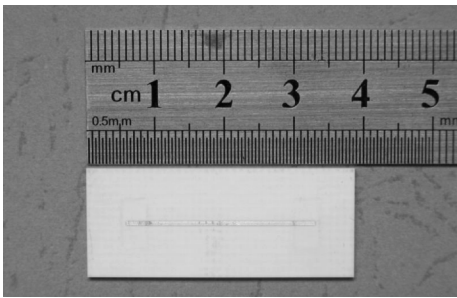


图 4 LTCC 波导到微带过渡实物加工图

Fig. 4 Photograph of the LTCC transition

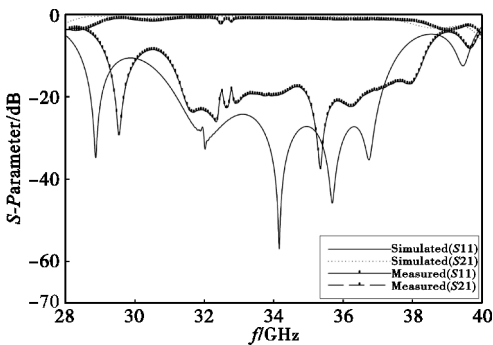


图 5 LTCC 波导到微带过渡实测与仿真对比

Fig. 5 Comparison between simulation and measurement of LTCC waveguide-microstrip transition

3.4 宽带层间互连功能

随着基板表面贴装有源电路和板内埋置集成电路单元的增加,相互之间的三维立体高频信号互联成为毫米波系统级封装布局设计中的关键环节之一。本文研究的即是利用 LTCC 工艺在基板 Z 向实现类同轴结构,实现基板表面微带线与基板内埋带状线的射频互联。类同轴结构即在表层微带和内层带状线之间,通过加入金属填充接地孔,沿 Z 向构成内外双导体的传输模式,即等效同轴传输结构,获得了较为理想的电磁波传输路径。

加工实物如图 6 所示,为方便测试采用背靠背电路形式。探针台测试结果如图 7 所示,背靠背结构(含内层 5mm 带状线插损)在 20 ~ 40 GHz 频带内插损小于 1.75 dB(20 ~ 35 GHz 频带内小于 1 dB),20 ~ 40 GHz 带内回波损耗优于 -13.5 dB(23 ~ 37 GHz 带内回波损耗优于 -20 dB)。该互联结构充分利用了 LTCC 多层基板及 Z 向堆积孔工艺特性,结构简单、紧凑,易于集成,能方便地在封装基板中实现各功能单元的相互连接与馈通。

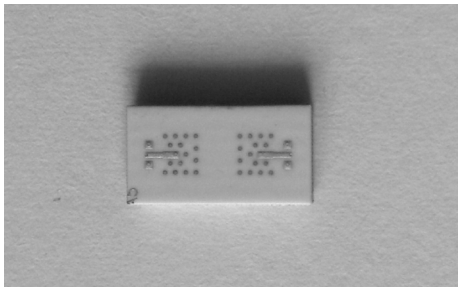


图 6 LTCC 宽带互联实物加工图

Fig. 6 Photograph of the LTCC multilayer interconnection

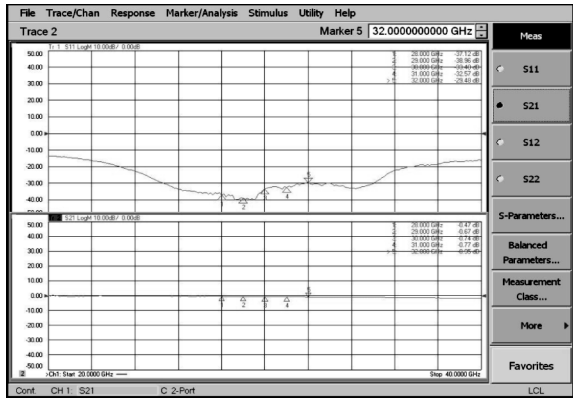


图 7 LTCC 宽带互联实测结果

Fig. 7 Measured result of LTCC broadband interconnection circuits

4 结 论

在微波毫米波系统级封装研究中,通过将无源电路在封装基板中一体化集成、实现基板的多功能化是其关键一环与显著特点。本文阐述了毫米波系统级封装基板功能化的定义及特点,并采用 LTCC 工艺,通过对封装基板多种典型功能一体化集成的设计实例进行仿真及加工实测对比,验证了 SOP 基板功能化的可实现性和功能化基板所具有的良好性能指标,为后续完整实现微波毫米波系统级封装进行了有益的探索与技术积淀。

参考文献:

[1] Lu Daniel, Wong C P. Materials for Advanced Packaging [M]. [S. l.]: Springer Science and Business Media, 2009.

[2] Tummala R R, Swaminathan M, Tentzeris M M. The SOP for Miniaturized Mixed - Signal Computing, Communication, and Consumer Systems of the Next Decade

[J]. IEEE Transactions on Advanced Packaging, 2004, 27(2):250-267.

[3] Scrantom C Q, Lawson J C. LTCC technology: Where we are and where we are going-II [C]//Proceedings of 1999 IEEE MIT-S Symposium on Technologies for Wireless Application. Vancouver, BC, Canada: IEEE, 1998:193-200.

[4] Heyen J, Kerssenbrock T, Chernyakov A, et al. Novel LTCC/BGA modules for highly integrated millimeter-wave transceivers [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2003, 51(12):2589-2596.

[5] Shih Y C, Ton T N, Bui L Q. Waveguide-to-microstrip transitions for millimeter wave applications [C]//Proceedings of 1988 IEEE MTT-S International Microwave Symposium. New York: IEEE, 1988:473-475.

[6] Huang Yong, Wu Ke-Li. A Broad-Band LTCC Integrated Transition of Laminated Waveguide to Air-Filled Waveguide for Millimeter-Wave Applications [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2003, 51(5):1613-1617.

[7] Ponchak G E, Chun D, Yook J G, et al. The Use of Metal Filled Via Holes for Improving Isolation in LTCC RF and Wireless Multichip Packages [J]. IEEE Transactions on Advanced Packaging, 2000, 23(1):88-99.

[8] Valois R, Baillargeat D, Verdeyme S, et al. High Performances of Shielded LTCC Vertical Transitions From DC up to 50 GHz [C]//Proceedings of 34th European Microwave Conference. Amsterdam, The Netherlands: IEEE, 2004:2026-2032.

[9] Lee J H, DeJean G, Sarkar S, et al. Highly Integrated Millimeter-Wave Passive Components Using 3-D LTCC System-on-Package (SOP) Technology [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2005, 53(6):2220-2229.

作者简介:



张 凯(1981—),男,四川雅安人,2007 年于电子科技大学微波工程系获工学硕士学位,现为工程师,主要从事微波毫米波电路及小型化封装研究。

ZHANG Kai was born in Ya'an, Sichuan Province, in 1981. He received the M. S. degree from University of Electronic Science and Technology of China in 2007. He is now an engineer. His research concerns microwave & millimeterwave circuits and SOP.

Email:zkwd1981@126.com