

# 毫米波 CQFN 外壳地孔设计与优化

周 昊, 颜汇程, 施梦侨, 程 凯

(中国电子科技集团公司第五十五研究所, 江苏 南京 210016)

**摘 要:** 基于高温共烧陶瓷 (HTCC) 工艺, 介绍了一款封装尺寸为  $7\text{ mm} \times 7\text{ mm} \times 1.2\text{ mm}$  的四侧无引线扁平陶瓷 (CQFN) 型外壳, 以满足毫米波微波器件封装的小型化需求。就如何解决陶瓷外壳高频信号传输时电磁泄漏问题, 利用仿真软件分别从信号传输的不同方向对屏蔽地孔作了设计与优化。通过仿真对比, 对不同区域的地孔与电磁信号的屏蔽关系进行了论述和总结。结果显示, 外壳传输端口可覆盖  $0.1\text{ GHz} \sim 40\text{ GHz}$  的宽频率范围, 其插入损耗  $\leq 0.65\text{ dB}$ , 电压驻波比  $\leq 1.50$ 。

**关键词:** 四侧无引线扁平陶瓷;  $40\text{ GHz}$ ; HTCC

**中图分类号:** TN454

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.16157/j.issn.0258-7998.223009

**中文引用格式:** 周昊, 颜汇程, 施梦侨, 等. 毫米波 CQFN 外壳地孔设计与优化[J]. 电子技术应用, 2023, 49(2): 111-114.

**英文引用格式:** Zhou Hao, Yan Huizeng, Shi Mengqiao, et al. A design of the circle via in the millimeter CQFN package[J]. Application of Electronic Technique, 2023, 49(2): 111-114.

## A design of the circle via in the millimeter CQFN package

Zhou Hao, Yan Huizeng, Shi Mengqiao, Cheng Kai

(The 55 Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** This paper discussed a CQFN shell in  $7\text{ mm} \times 7\text{ mm} \times 1.2\text{ mm}$  which was based on HTCC technology for the miniaturization needs of millimeter wave microwave device packaging. In order to solve the problem of electromagnetic leakage during high frequency signal transmission of ceramic shell, the shielding ground hole is designed and optimized from different directions of signal transmission by using HFSS. Through simulation comparison, the shielding relationship between ground hole and electromagnetic signal in different areas is discussed and summarized. The results show that the RF pin could be used in the band from  $0.1\text{ GHz} \sim 40\text{ GHz}$ . The insertion loss of RF ports is less than  $0.65\text{ dB}$ . The VSWR of the package is less than 1.50.

**Key words:** CQFN;  $40\text{ GHz}$ ; HTCC

### 0 引言

在器件技术的推动下, 单片微波集成电路 (MMIC) 向着毫米波和多功能应用领域发展<sup>[1-2]</sup>。封装外壳作为连接芯片与外部电路的唯一桥梁, 其不仅承担了机械支撑的外部保护作用, 还是信号传输的重要通道。适用于微波电路封装的陶瓷外壳逐渐向高频率、高功率、高集成和高可靠的方向发展。利用高温共烧技术制备的四侧无引线扁平陶瓷 (Ceramic Quad Flat No-lead, CQFN) 外壳具备结构强度高、耐恶劣环境以及在测试、安装过程中不存在引脚受外界应力而产生形变等优点, 可以保证集成电路封装的可靠性, 以满足长期储存、高可靠等要求比较高的环境中使用。与 SOIC、TSOP、QFP 和 TQFP 等封装形式相比, CQFN 型外壳在封装面积、封装高度、封装重量和寄生效应等方面均有优异特性<sup>[3-4]</sup>。

因此, CQFN 外壳逐渐成为 MMIC 的主要封装形式。

与一般集成电路封装需求相比, 适用于微波电路的 CQFN 型外壳在设计和加工制造方面难度更大。在微波设计方面, 中国电科 55 所陆续报道了多款覆盖 C 波段、X 波段和 Ku 波段的陶瓷外壳<sup>[5-8]</sup>。在制造工艺方面, 通过结构设计和关键工艺技术的突破, 重点解决了小节距陶瓷外壳产品的冲孔、注浆、细线条金属化印刷问题, CQFN 型外壳的节距可覆盖至  $0.50\text{ mm}$ <sup>[9-10]</sup>。

由于 CQFN 型外壳的封装尺寸小, 增加了高频微波传输设计的难度。本文介绍了一款基于 HTCC 技术的 CQFN 型外壳, 重点对陶瓷外壳微波传输通道的屏蔽地孔进行了设计与优化, 其使用频率覆盖至  $40\text{ GHz}$ , 可为同类型产品设计提供借鉴意义。

## 1 CQFN 型外壳结构

本文设计的 CQFN 型陶瓷外壳尺寸为  $7\text{ mm} \times 7\text{ mm} \times 1.2\text{ mm}$ , 其包含金属封接框、金属热沉、陶瓷框和陶瓷盖板。封接框材料为可伐合金、热沉材料为铜-钼铜-铜 (1:4:1) 合金, 陶瓷框和盖板均采用中国电科 55 所自行研制的 AW01 陶瓷材料, 氧化铝占比约为 92%, 介电常数为  $9.2 \pm 0.2$ , 介质损耗角正切为 0.001。外壳结构示意图如图 1 所示。

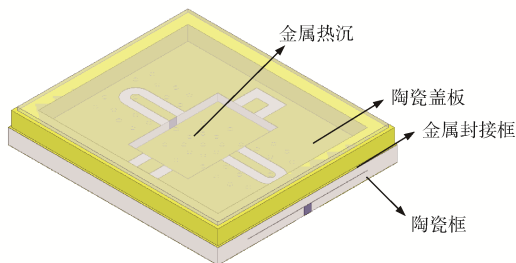


图1 CQFN型外壳结构示意图

根据工程经验, X波段及其以上频率的微波外壳的表层传输线设计多采用共面波导结构。该结构不仅可以实现更小的辐射损耗, 同时也方便探针实现无损测试。为了实现在  $0.1\text{ GHz} \sim 40\text{ GHz}$  的全频带毫米波信号的低损耗传输, 本文的 CQFN 外壳表层和底层传输线均采用了共面波导结构。

陶瓷基板内层垂直传输线借鉴同轴传输线的设计思路, 在垂直信号线四周加工环绕通孔, 利用多个垂直过孔结构形成贯穿于陶瓷的密级通孔栅结构。一方面, 该结构可以有效抑制高频信号在相邻传输线之间的耦合及串扰, 改善高频传输线本身的传输性能; 另一方面, 该结构可以有效屏蔽电磁能量的泄露, 减小寄生效应和谐振, 提高传输通道的传输性能。考虑到地孔位置、地孔与传输线的距离、地孔与地孔间距等参数均对高频信号在陶瓷基板内部传输具有重要影响, 因此毫米波陶瓷外壳研制需要充分考虑地孔的设计与优化, 以改善外壳微波传输性能。

## 2 地孔设计与优化

根据阻抗匹配理论对表层的传输线进行了初步计算, 提取了陶瓷基板的关键参数, 利用 HFSS 仿真软件建立计算模型, 如图 2 所示。外壳的三维传输通道主要分为两部分, 分别是表层平面传输线和内层垂直传输线。整个微波传输空间尺寸约为  $2.50\text{ mm} \times 3.00\text{ mm}$ 。其中, 表层信号线宽度  $W_1=0.25\text{ mm}$ , 表层地与信号线间隙  $S_1=0.27\text{ mm}$ , 中间地距离底层高度  $h_1=0.25\text{ mm}$ , 传输结构总高  $h=0.50\text{ mm}$ 。

在  $0.1\text{ GHz} \sim 40\text{ GHz}$  的宽频率范围内对陶瓷传输结构模型进行了初始仿真, 结果如图 3 所示。在  $22.5\text{ GHz}$

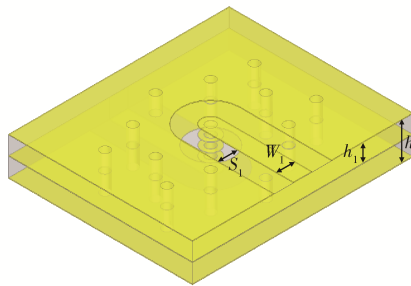


图2 外壳单个射频引脚三维互联仿真结构

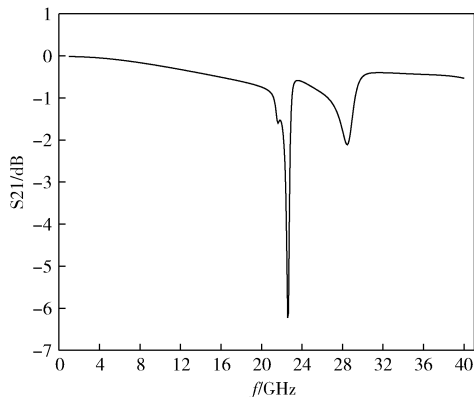


图3 射频端口的仿真结果

处, 外壳端口的插入损耗高达  $6.2\text{ dB}$ 。外壳封帽之后形成了封闭的矩形腔体, 当封装频率到达毫米波时, 容易激发腔体谐振。矩形谐振腔的基模谐振频率计算公式为:

$$f_0 = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{a}\right)^2 + \left(\frac{1}{b}\right)^2} \quad (1)$$

其中,  $a$  和  $b$  分别指的是腔体的长和宽, 将本文所述陶瓷外壳的长和宽分别代入并计算, 可排除由于外壳腔体尺寸引起的电磁谐振。有文献结果表明<sup>[11-12]</sup>, 当上述结构中的金属化孔的直径  $d$ 、孔间距  $p$  和介质波长  $\lambda$  分别满足:  $p < \lambda/4$ ,  $p < 4d$  时, 电磁场能量就不会从金属孔之间的缝隙中泄漏出去。利用 HFSS 软件计算并分析上述频点处的电磁能量分布情况, 发现氧化铝基板内存在较大程度的电磁泄露, 如图 4 所示。高频信号在该结构传输过程中产生了明显的寄生耦合效应。该频点处的电磁场辐射进而导致外壳传输端口在目标频带内性能恶化。

因此, 为了进一步寻求地孔分布位置与电磁能量泄露方向的关系, 对垂直传输和水平传输两个维度分别进行优化。

### 2.1 垂直传输优化

分析图 4 电场分布情况, 可知接地金属通孔在内埋地和表层传输线形成的两平板间激发了圆柱形 TEM 平板模, 进而造成较大程度的电磁场辐射, 对传输结果造成影响。为了减少上述问题对传输性能的影响, 综合考虑地孔间距  $p$ 、地孔通孔数量  $n$  和地孔分布角度  $\alpha$  等

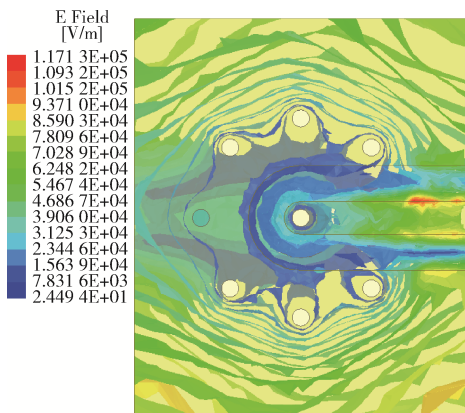


图4 传输端附近的电场分布

关键参数,对传输结构作优化。在相邻地孔间增加外圈地孔,其分布如图5圆形虚线标注的位置所示。继续使用 HFSS 软件对优化后的模型在 0.1 GHz ~ 40 GHz 的宽频率范围进行计算,仿真结果及传输端附近的电场分布分别如图5、图6所示。

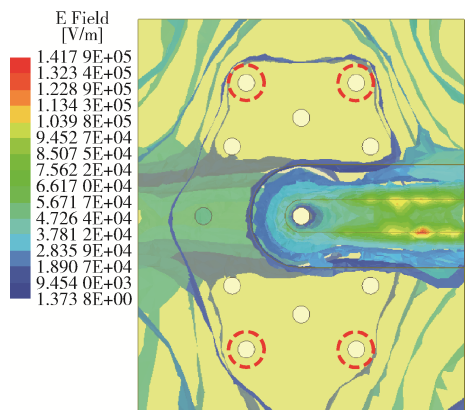


图5 增加外圈地孔后传输端附近的电场分布

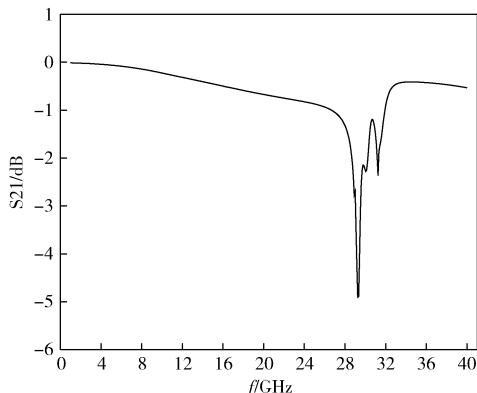


图6 增加外圈地孔后射频端口的仿真结果

图6的计算结果显示,外壳传输端口经过优化后,其最大插入损耗约为 3.9 dB,较初始模型的端口损耗有较大降幅。分析认为,通过增加外圈地孔,有效改善了垂直信号线周围的电磁场泄露,对平板间的圆柱形 TEM

平板模有积极改善作用。其主要表现为两点,一方面,初始模型中 22.5 GHz 频点处的谐振坑消除,端口的恶化问题由低频向高频转变;另一方面,垂直过孔附近的电磁泄露在分布和强度上都得到了明显改善,其场强随着信号线与通孔距离的增加发生明显衰减。

## 2.2 水平传输优化

尽管外圈地孔的增加减少了垂直方向寄生模式的产生和传播,但是从水平方向看,表层传输线周围仍存在一定程度的电磁场泄露,无法满足毫米波高频器件的封装需求。在信号线两侧做第3圈垂直地孔的设计优化,增加信号线与陶瓷边缘处的通孔栅结构,其分布如图7中矩形虚线标注的位置所示。

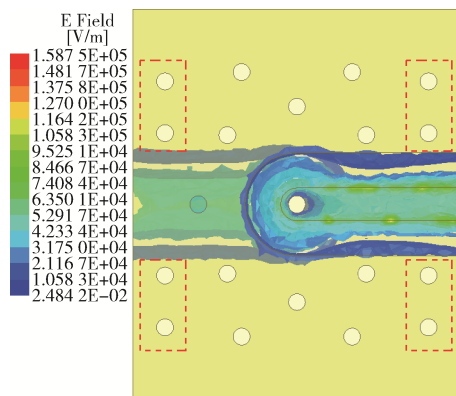


图7 增加了圈地孔后传输端附近的电场分布

图7、图8所示仿真结果及传输端附近的电场分布显示,使用3圈地孔设计的传模型在 0.1 GHz ~ 40 GHz 的宽频率范围获得了较为理想的结果,外壳的端口插入损耗约为 0.60 dB,电压驻波比 $\leq 1.50$ ,且仿真曲线光滑,目标频段内无突变点。电磁能量被传输结构较好地约束在了陶瓷介质内的通道内,无明显的电磁辐射能量泄露。分析认为,信号线两侧的阵列地孔有效阻挡了平板模式下电磁波,其传播能量沿阵列方向急剧衰减,直到衰减到寄生的场影响足够小。两侧的地孔分布从源头上消除了寄生平板模式,特别是在高频段获得了较为理想的微波传输性能。

## 3 测试结果及分析

本文所设计的毫米波 CQFN 型封装外壳由中国电科 55 所封装事业部 HTCC 工艺线制造与生产。采用 Agilent 公司型号为 N5224A 的矢量网络分析仪、Cascade 公司型号为 PM5 的探针台对样品进行测试。为了贴近用户的实际使用状态,采用介质材料为 Rogers 5880 的高频测试板。测试板的传输端口结构与外壳一样,均使用了共面波导结构,其特征阻抗为 50  $\Omega$ 。

射频输入通道的测试结果如图9所示。结果显示,在增加了测试板后,端口的插入损耗出现一定程度的恶



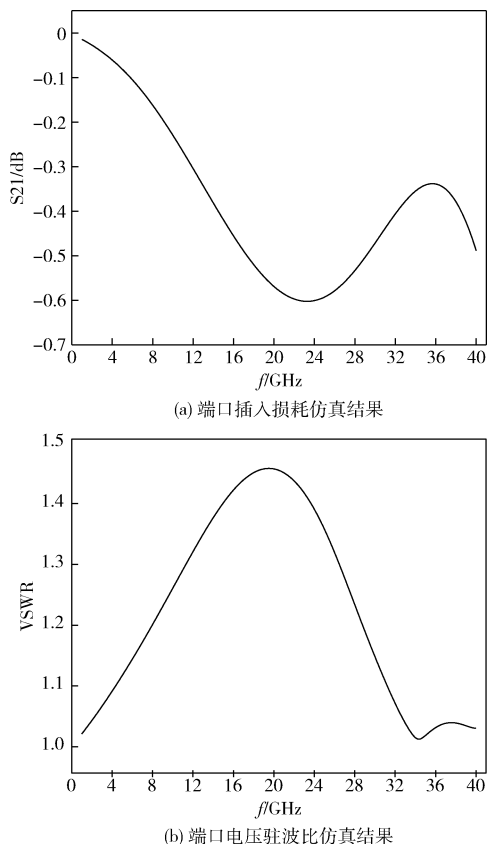


图8 增加外圈地孔后射频端口的仿真结果

化。分析认为,由于高频测试板的焊盘宽度小,增加了外壳焊接对位的难度,易造成额外的损耗。后续工作需要进一步寻求误差更小的测试方案。

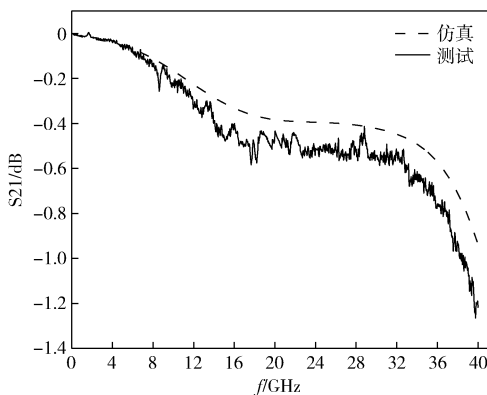


图9 外壳射频传输通道微波测试结果

#### 4 结论

基于HTCC工艺,设计了一款覆盖0.1 GHz~40 GHz范围的CQFN型外壳,对传输通道的地孔分布设计作了优化。研究结果显示,不同分布区域的地孔与电磁屏蔽的关联不一致。内圈地孔设计多为改善垂直方向的能量泄露,对平板间的圆柱形TEM平板模有积极改

善作用;外圈地孔设计多为改善水平方向的能量泄露,对平板模式下电磁波能量泄露的作用更为明显。多圈地孔的设计保证了毫米波陶瓷外壳的微波信号传输,测试结果和仿真结果一致,可为同类型产品设计提供借鉴意义。本次设计的传输通道尺寸约为2 mm×3 mm,其占据封装外壳的空间仍然较大,后续工作仍需要进一步优化传输尺寸,以进一步提高封装的小型化。

#### 参考文献

- [1] 周德金,黄伟,宁仁霞.微波固态器件与单片微波集成电路技术的新发展[J].电子与封装,2021,21(2):53-63.
- [2] 张晓庆,刘德喜,祝大龙,等.DC-40 GHz通用化BGA封装的射频微系统测试技术研究[J].电子技术应用,2021,47(1):2-6,10.
- [3] 丁荣峥,马国荣,宋旭峰,等.高密度高可靠CQFN封装设计[J].电子与封装,2013,13(12):1-5.
- [4] 蒋长顺,敖国军,张嘉欣,等.CQFN封装可靠性研究[J].电子与封装,2013,13(8):17-19.
- [5] 颜汇程,施梦侨,周昊,等.X波段功率器件外壳端口仿真与测试差异性研究[J].电子技术应用,2022,48(4):98-103.
- [6] 徐利,曹坤,李思其,等.表贴式MMIC高密度封装外壳微波特性设计[J].固体电子学与进展,2014,34(2):152-156,196.
- [7] 施梦侨,李永彬,龚锦林,等.基于HTCC工艺的X波段小型化双面多腔体外壳的研制[J].固体电子学与进展,2018,38(1):66-69.
- [8] 李永彬,庞学满,胡进,等.一种毫米波表贴型外壳的微波设计[J].固体电子学与进展,2015,35(3):263-266.
- [9] 余咏梅.小节距高可靠CQFN型陶瓷封装外壳工艺技术[J].电子与封装,2015,15(1):6-9,27.
- [10] 唐利锋,庞学满,陈寰贝,等.0.5mm节距数模混合陶瓷封装外壳加工工艺研究[J].固体电子学与进展,2016,36(1):83-86.
- [11] CASSIVI Y, PERREGRINI L, ARCIONI P, et al. Dispersion characteristics of substrate integrated rectangular waveguide[J]. IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., 2002, 12(9):333-335.
- [12] LI H, HONG W, CUI T J, et al. Propagation characteristics of substrate integrated waveguide based on LTCC[C]// IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., 2003:2045-2048.

(收稿日期:2022-05-23)

#### 作者简介:

周昊(1986-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:各类陶瓷外壳研制。



扫码下载电子文档

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所