

封装、组装与测试

一种LQFP64引线框架封装的优化设计*

孙海燕, 孙玲

(南通大学专用集成电路设计重点实验室, 江苏南通 226019)

摘要: 工艺简单、成本低廉是引线框架封装的优点, 但引线框架的固定结构限制了其应用带宽。文中利用HFSS软件完成了一种标准的LQFP64引线框架的优化建模和S参数仿真。结果表明, 该LQFP64优化模型以较低的封装成本提高了射频/微波集成电路的封装带宽, 其回波损耗 S_{31} 在4.7GHz为-1dB、插入损耗 S_{11} 在4.9GHz为-15dB、串扰 S_{21} 在2.7GHz为-15dB, 较标准模型分别提高了34%、58%和69%。

关键词: 集成电路封装; LQFP; 电磁建模; 寄生效应

中图分类号: TN305.94 **文献标识码:** A **文章编号:** 1681-1070 (2011) 09-0001-04

An Improved 64-lead Low-profile Quad Flat Package

SUN Hai-yan, SUN Ling

(Jiangsu Provincial Key Lab of ASIC Design, Nantong University, Nantong 226019, China)

Abstract: Simple process and low cost are the two major advantages of lead frame package, but the application bandwidth has been limited by its fixed structure. Based on a standard 64-lead low-profile quad flat package, HFSS was used to create optimized package model and simulate for S parameters. The simulation results show that the optimized model has extended the RFIC/MMIC package bandwidth to higher frequencies at lower cost. The bandwidth measured for insertion loss (S_{31}), return loss (S_{11}), and coupling (S_{21}) is 4.7GHz (at -1dB), 4.9GHz (at -15dB), and 2.7GHz (at -15dB). Compared with the standard LQFP64 package, we find that the bandwidth of S_{31} , S_{11} , and S_{21} is increased 34%, 58%, and 69% respectively.

Key words: integrated circuit package; LQFP; electromagnetic modeling; parasitic effect

1 引言

随着个人通信机、个人数字助理、蜂窝电话等电子产品的迅猛发展, 电路系统的时钟频段达到GHz甚至更高, 封装中一些原本被忽略的寄生效应已经开始影响电路的正常工作。为了满足此类射频/微波

器件的封装, 企业开发了多种高性能的封装形式^[1], 例如陶瓷封装、球栅阵列结构封装、芯片尺寸封装等等, 这些封装形式在很大程度上降低了封装的寄生效应^[2], 但其成本要远高于常见的塑料引线框架封装^[3]。

LQFP (Low-profile Quad Flat Pack) 作为一种低成本的四侧引脚扁平封装技术, 适用于大规模或超

收稿日期: 2011-07-26

*基金项目: 核高基重大专项分课题 (2009ZX01031-002-002-002); 国家自然科学基金项目 (61040032); 江苏省自然科学基金项目 (BK2009153); 江苏省教育厅高校科研成果产业化推进项目 (JHZD10-036)

大规模集成电路封装。图1为一种标准的64引脚LQFP结构示意图，低频情况下，框架引脚能够完整地实现印刷电路板（PCB）和集成电路芯片之间信号的传输，但高频信号在通道上传输时，因通道阻抗不连续会发生能量反射、与相邻通道进行耦合等电磁现象。因此实际应用时，当信号的工作频率达到一定值，信号通道的寄生效应会迅速增加而降低传输性能，使得器件无法正常工作。

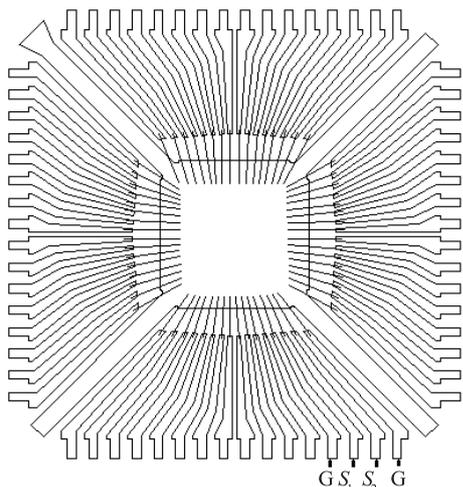


图1 标准的LQFP64引线框架示意图

本文首先介绍标准的LQFP64高频传输特性和集总参数模型，然后从三个方面对标准模型进行优化设计，最后完成优化模型的设计与仿真。

2 标准LQFP64高频特性分析

图2为标准LQFP64的3D封装模型（四分之一部分），绑定线将框架内引脚和集成电路芯片相连，框架外引脚连接到PCB板的传输线上，封装通道由PCB传输线、框架引脚及绑定线组成^[4-8]。

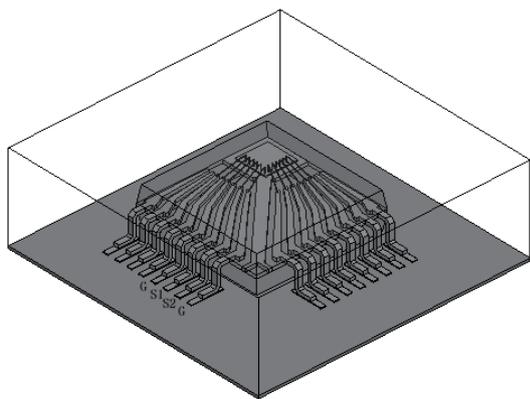


图2 标准LQFP64的3D封装模型示意图

为了验证LQFP64封装中信号通道的传输特性及

与相邻通道的耦合效应，仿真时采用GSSG（地—信号—信号—地）模式，选取模型中相邻的 S_1 、 S_2 作为信号通道，每个信号通道两端各接50Ω阻抗，其余通道均作为GND使用，模型中各组件的属性值如表1所示，利用HFSS软件进行仿真。

表1 LQFP64模型参数

模型属性	属性值
封装尺寸	5 mm × 5 mm × 1.4mm (L × W × H, 1/4 模型)
引脚宽度	0.2mm
引脚厚度	0.13mm
引脚间距	0.3mm
绑定线直径	0.025mm
S_1 通道长度	绑定线: 1.2mm, 引脚: 3.8mm
S_2 通道长度	绑定线: 1.2mm, 引脚: 4mm
封装材料	绑定线: 金, 框架引脚: 铜

仿真结果如图3所示，其中 S_{11} 、 S_{31} 分别为 S_1 信号通道的回波损耗和插入损耗， S_{21} 为 S_1 信号在 S_2 通道产生的串扰，定义 S_{31} 等于-1dB、 S_{11} 和 S_{21} 等于-15dB为参考标准，从图中测试可知，标准的LQFP64模型 S_{31} 在3.5GHz为-1dB， S_{11} 、 S_{21} 分别在3.1GHz、1.6GHz为-15dB。

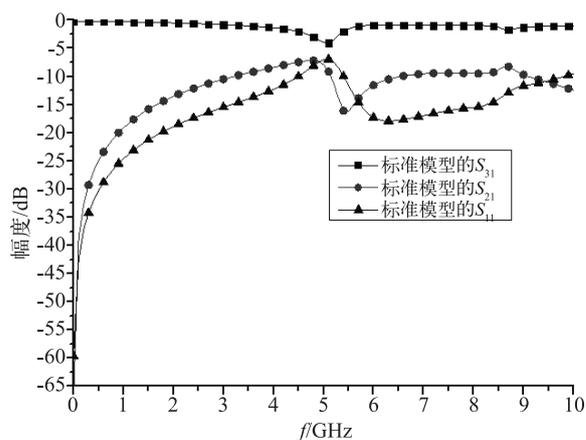


图3 标准的LQFP64传输特性

3 LQFP64结构优化设计

3.1 LQFP64集总参数模型

建立标准的LQFP64封装模型有助于分析封装体内信号通道中各组件寄生效应^[9]。当传输通道的物理长度小于十分之一的信号波长，则可用集总参数来表示封装模型，对于某一频率达到5GHz的射频芯片而言，其 $\lambda/10$ 的值为6mm，本例中 S_1 、 S_2 信号通

道总长分别为5mm、5.2mm, 均小于信号波长的十分之一, 此种情况下, 标准LQFP64的封装模型可以通过图4所示的集总参数来表示, 该模型将绑定线和框架引脚分开建模, 其中绑定线等效为串联电感和串联电阻组成的网络模型; 框架引脚等效为串联电阻、串联电感和并联电容组成的网络模型。 $L_{wirebond}$ 、 $R_{wirebond}$ 及 $K_{wirebond}$ 为绑定线的等效电感、等效电阻及 S_1 、 S_2 绑定线电感耦合系数; L_{leader} 、 R_{leader} 、 C_{leader} 、 K_{leader} 及 C_{couple} 为框架引脚的等效电感、等效电阻、等效电容、 S_1 、 S_2 框架引脚的电感耦合系数及电容耦合系数。表2、表3分别为框架引脚和绑定线在1GHz的参数值。

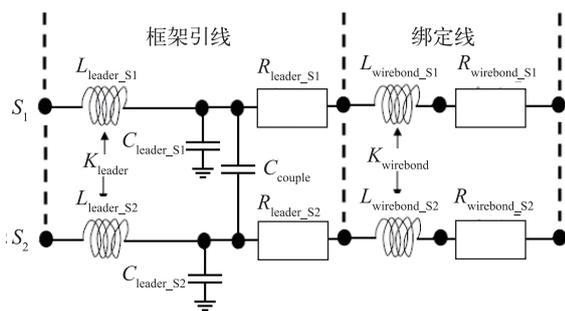


图4 标准的LQFP64集总等效模型

表2 引线框架信号通道的参数值

通道	电感(nH)		电容(pF)		电阻(Ω)	
	S_1	S_2	S_1	S_2	S_1	S_2
S_1	3.031	1.776	0.477	-0.234	0.084	0.005
S_2	1.776	2.964	-0.234	0.425	0.005	0.081

表3 绑定线信号通道的参数值

通道	电感(nH)		电阻(Ω)	
	S_1	S_2	S_1	S_2
S_1	0.899	0.295	0.154	0
S_2	0.295	0.904	0	0.155

LQFP64优化设计的目的在于通过对集总模型的分析, 适当修正模型内部结构, 从而减少寄生效应, 提高封装的带宽。以绑定线为例, 其电感值可以通过公式(1)来表示^[10]:

$$L(\mu H) = \frac{\mu_0 l}{2\pi} [\ln(\frac{2l}{\rho}) - 0.75] \quad (1)$$

其中 L 表示绑定线的长度 (cm), ρ 表示绑定线的半径 (cm)。

从公式(1)可知, 适当减少绑定线的长度或采用粗的金线均可以减低寄生电感。

3.2 LQFP64模型优化设计

在保证LQFP64封装外形和可靠性不变的前提

下, 根据集总参数模型, 从以下三个方面对封装内部结构进行优化设计, 以减少各组件的寄生参数^[11], 仍然选取图1中GSSG模式。

方案1: 改变引线框架载片台的大小, 面积从1.25mm × 1.25mm扩大到2.15mm × 2.15mm (整个载片台的四分之一), 其目的是大面积的载片台作为GND使用时, 可以提供更小的回波损耗和耦合效应;

方案2: 采用粗的金线进行绑定, 直径从0.025mm扩大到0.05mm, 其目的是减少绑定线的寄生电感, 工艺线上实际操作时, 由于金线直径的常规类型为0.025mm, 为了避免操作时频繁地更换金线, 因此可以对关键信号进行双绑定来完成;

方案3: 修改框架引脚的形状并扩大信号通道之间的距离, 从0.2mm增加到0.3mm, 其目的是降低两者之间的耦合效应。

三种方案的仿真结果如表4所示, 与标准的LQFP64的传输特性相比, 三种方案均提高了LQFP64的封装带宽, 其中方案3明显减低了 S_1 、 S_2 信号通道之间的耦合效应。

表4 三种结构的仿真结果

编号	S_{31} (-1dB)	S_{11} (-15dB)	S_{21} (-15dB)
标准	3.5GHz	3.1GHz	1.6GHz
方案1	4.2GHz	4.4GHz	1.8GHz
方案2	4.1GHz	4.5GHz	1.7GHz
方案3	4.4GHz	4.2GHz	2.5GHz

综合三种方案, 建立LQFP64最终的优化模型, 如图5所示。同样选取 S_1 、 S_2 通道作为信号通道, 仿真结果如图6所示。经过测量, 优化后的LQFP64模型 S_{31} 在4.7GHz为-1dB, S_{11} 、 S_{21} 分别在4.9GHz、2.7GHz为-15dB。 S_{31} 、 S_{11} 、 S_{21} 的可封装带宽较标准的LQFP64分别提高了34%、58%、69%。

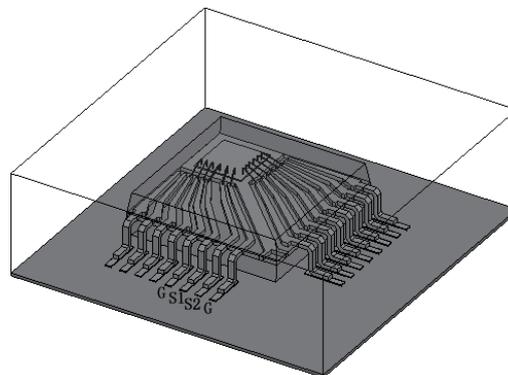


图5 优化后的LQFP64 3D封装模型示意图 (GSSG)

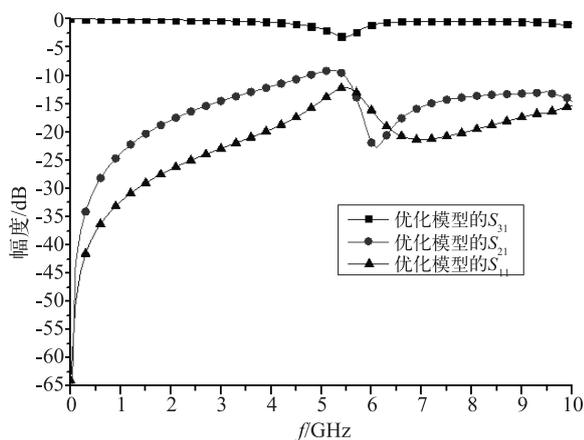


图6 LQFP64优化模型的传输特性

4 结论

本文介绍了利用低成本的LQFP64塑料封装技术来提高封装带宽的方法，首先分析了标准的LQFP64高频传输特性，然后从LQFP64集总参数模型着手，在保证封装外形和可靠性的前提下，从三个方面对标准模型进行优化设计，最终完成优化模型的设计与仿真，通过与标准的LQFP64高频传输特性相比，优化模型的 S_{31} 、 S_{11} 和 S_{21} 的可封装带宽分别提高了34%、58%和69%。

由于本文采用的是GSSG模式，虽然最优模型的 S_{21} 大幅提高到2.7GHz，但实际上还是限制了应用带宽，这主要是由于框架结构决定了信号通道之间存在的较高耦合效应，调整框架引脚的间距只能改善性能，无法进一步解决耦合问题。因此实际应用时，可根据集成电路的特点，框架引脚采用GSGSG（地—信号—地—信号—地）模式来降低信号通道之间的耦合效应。

同时本文中提出的优化模型也为利用框架技术进行射频/微波系统封装（System-in-Package, SiP）提供了参考。

参考文献:

- [1] Hirose T. High-Frequency IC Packaging Technologies [C]. IEEE Indium Phosphide and Related Materials, 2003, 227-230.
- [2] Tzyy-Sheng Horng, Sung-Mao Wu, Hui-Hsiang Huang, et al. Modeling of Lead-Frame Plastic CSPs for Accurate

Prediction of Their Low-Pass Filter Effects on RFICs [C]. IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium, 2001, 133-136.

- [3] 石明达, 吴晓纯. 低成本的MCM和MCM封装技术[J]. 中国集成电路, 2004, 65: 41-44.
- [4] A Pham, C Chun, J Laskar, et al. Surface mount microwave package characterization technique[C]. IEEE Intl. Microwave Symp. MTT-S, 1997, 2: 995-998.
- [5] D Jessie, L E Larson. Improved techniques for the measurement and modeling of plastic surface mount packages to 20 GHz [C]. IEEE Radio and Wireless Conference (RAWCON), 2000, 243-246.
- [6] 孙海燕, 景为平, 孙玲. 基于QFP技术的高频集成电路封装设计[J]. 电子元件与材料, 2006, 25 (12): 47-50.
- [7] Y L Lai, C Y Ho. RF modeling of ball grid array packages using electromagnetic approaches [C]. Proc. 10th Int. Symp. on Integrated Circuits, Devices and Systems, Singapore, 2004.
- [8] Yeong-Lin Lai, Cheng-Yu Ho. High-Frequency Modeling of Quad Flat No-Lead Packages[C]. IEEE 2005 International Semiconductor Device Research Symposium, 2005.
- [9] Darryl Jessie, Lawrence Larson. An Improved Leaded Small Outline Package and Equivalent Circuit[J]. IEEE microwave and wireless components letters, 2003, 13 (7): 273-275.
- [10] Steven L March. Simple Equations Characterize Bond Wires[C]. Microwaves & RF, 1991, 105-110.
- [11] N Chen, K Chiang, T D Her, et al. Electrical characterization and structure investigation of quad flat non-lead package for RFIC applications[J]. Solid-State Electron, 2003, 47:315-322.



作者简介:

孙海燕（1977—），男，江苏南通人，博士研究生，主要从事高频/高速集成电路封装技术的研究。

射频和天线设计培训课程推荐

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训推荐课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/tuijian/>



射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

手机天线设计培训视频课程

该套课程全面讲授了当前手机天线相关设计技术,内容涵盖了早期的外置螺旋手机天线设计,最常用的几种手机内置天线类型——如 monopole 天线、PIFA 天线、Loop 天线和 FICA 天线的设计,以及当前高端智能手机中较常用的金属边框和全金属外壳手机天线的设计;通过该套课程的学习,可以帮助您快速、全面、系统地学习、了解和掌握各种类型的手机天线设计,以及天线及其匹配电路的设计和调试...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/133.html>



WiFi 和蓝牙天线设计培训课程

该套课程是李明洋老师应邀给惠普 (HP) 公司工程师讲授的 3 天员工内训课程录像,课程内容是李明洋老师十多年工作经验积累和总结,主要讲解了 WiFi 天线设计、HFSS 天线设计软件的使用,匹配电路设计调试、矢量网络分析仪的使用操作、WiFi 射频电路和 PCB Layout 知识,以及 EMC 问题的分析解决思路等内容。对于正在从事射频设计和天线设计领域工作的您,绝对值得拥有和学习! ...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/134.html>



CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>