

基于封装天线(AiP)的过孔分析

李莉 张文梅

(山西大学物理电子工程学院, 太原 030006)

lilizllz@yahoo.cn

摘要: 封装天线是指将天线与单片射频收发机集成在一起从而成为一个标准的表面贴器件。本文对封装天线中连接天线地与系统地的过孔进行了分析, 具体研究了过孔数量与位置对天线性能的影响。过孔均匀分布四周和只有一个过孔时, 天线性能没有明显变化, 在过孔数量为两个且位置合适时, 出现了一个新的通带大大展宽了频带。对所研究天线提出了其等效电路模型, 对生产实际具有一定的指导作用。根据物理原型制作的天线其测量结果与仿真结果吻合较好。

关键词: 封装天线(AiP), 过孔, 电路模型, 射频收发机

Analysis of via holes Based on Antenna-in-Package

LI li, ZHANG wenmei

(College of Physics and Electronics Engineering Shanxi University, Taiyuan 030006)

Abstract: The Antenna-in-Package(AiP) integrates an antenna or antennas with a single-chip RF transceiver die into a standard surface mounted device. In this paper, the via holes connected the antenna ground layer with the system ground plane are analyzed. The relationship between the antenna performance and the quantity and location of vias was studied in detail. The antenna performances are almost same when four via hole fences and a via hole are used. However the double bandwidth of the antenna is gained when the location of two via holes is appropriate. A circuit model of the studied AiP is presented. The auther's work is beneficial to the design of antenna. The measured results are in agreement with the simulated results.

Keywords: Antenna-in-Package; Via holes; Circuit model; RF transceiver

1 引言

无线通信技术的发展要求RF系统体积越来越小, 功能越来越强大^[1]。传统方法将芯片级天线与RF收发机一起安装在PCB电路板上, 天线占据的空间阻碍了系统的小型化。为了克服芯片级天线的缺点, 与单芯片接收机更好的匹配, 最近几年, 张跃平等提议了封装天线(AiP)^[2]。第一个封装天线是在陶瓷封装中实现, 天线与单芯片收发机之间的互相影响、封装天线的优化设计、双通带封装天线、封装天线的等效电路、天线与放大器的协同设计等均被人们研究^[3-7]。本文研究了封装天线中过孔对天线性能的影响, 并提出了这种天线的等效电路。结果表明, 不同位置和数量的接地孔对天线的性能有

不同的影响, 合理选择封装过程中的接地结构, 可以有效改善天线的带宽。

2 封装天线概念

图1为封装天线的结构示意图, 自上而下依次为: 天线、中间介质层(内部有空腔)、系统PCB。一般IC芯片封装的上表面是用来标识生产厂家和产品型号的, 封装天线将天线集成在芯片上表面, 在封装的中间层即天线的下方有一个内部空腔, 用来放置其他RF模块。为了减少天线与腔体内RF模块的耦合, 在两层之间加入了一个额外的金属层, 可以把它看作天线的地平面, 它通过四周均匀分布的金属过孔与整个RF系统地平面连接, 这些金属过孔的位置和数量会影响天线与腔体内RF模块的性能。

基金项目: 国家自然科学基金项目(60771052); 山西省自然科学基金项目(2006011029), 国家博士后特别资助项目(200801424), 太原市科技项目(No.0703004)资助

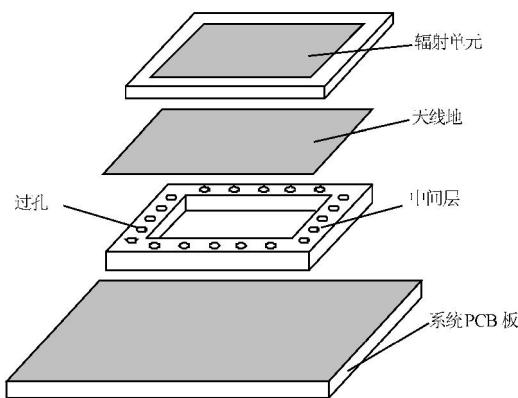


图 1 为封装天线的结构示意图

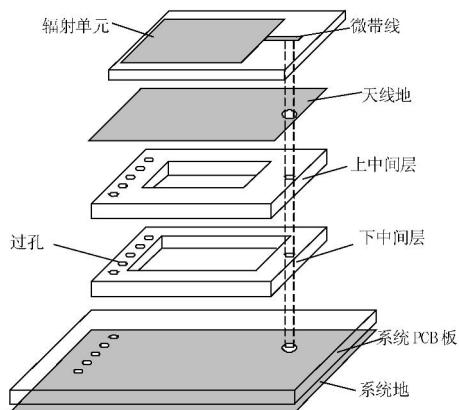


图 2 天线结构图

3 过孔分析

包含四层介质，使用的是厚度为0.8mm的FR4，上面三层尺寸均为 $20\text{mm} \times 20\text{mm} \times 0.8\text{mm}$ ，底层为系统板，尺寸为 $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 0.8\text{mm}$ 。中间介质层由两层介质构成，上层介质中空腔尺寸为 $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 0.8\text{mm}$ ，下层中介质空腔尺寸为 $14\text{mm} \times 14\text{mm} \times 0.8\text{mm}$ ，即形成的一阶梯型的腔体，在两层中间台阶面处有连接RF模块键合线的信号线层。系统地在底层介质的地面，方便安装与测量。由于腔体内RF模块位于中间位置，限制了天线馈电位置，为了实现阻抗匹配，天线采用同轴加微带的复合馈电方式。为了减少外界与天线对腔体内模块的影响，一般过孔数量越多越好，可均匀分布于腔体四周^[1-3]。但过孔数量越多，加工难度越大，并且由于信号线层信号线分布较密集，能布置过孔的位置非常有限，通常只能在四周或者RF模块的地线处布置过孔。

根据常用过孔直径和实际加工条件，过孔直径

选为0.5mm。将过孔数量分为：1个、2个、4个和四周均匀分布(每排九个过孔，两个孔中心间距为2mm)四种情况来研究，具体分布位置见图3，以天线介质中心为坐标原点，横向为x轴，纵向为y轴，除四周均匀分布外过孔均布置于纵向。过孔圆心坐标为 (x_i, y_i) ，下标*i*表示第几个孔。不同数量过孔仿真结果如表1-4，从表中可以看到，过孔数量为一个时，天线性能基本不随过孔的位置变化而变化，带宽基本不变，中心频率略有偏移。四个过孔时，位置对天线性能有较大影响。过孔均匀分布四周时天线性能与一个过孔时接近。因此在考虑制作成本或者天线结构不允许时，连接天线地和系统地的过孔数量可以减少，最少可以为一个。

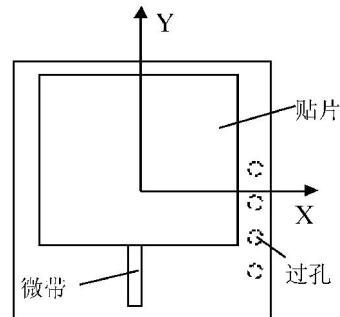


图 3 过孔分布示意图

表1 一个过孔 ($x_1=8\text{mm}$)

$y_1(\text{mm})$	中心频率 (GHz)	绝对带宽 (GHz)
-8	5.225	0.17
-4	5.205	0.165
0	5.235	0.165
4	5.22	0.175
8	5.215	0.175

表2 两个过孔 ($x_1=x_2=8\text{mm}$)

y_1, y_2 (mm)	中心频率 (GHz)	绝对带宽 (GHz)
8, -8	5.265	0.2
8, -4	5.21	0.39
8, 0	5.265	0.17
8, 4	5.245	0.165
4, -4	5.075, 5.315	0.355
4, 0	5.285	0.17

表3 四个过孔

$(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ $(x_3, y_3), (x_4, y_4)$	中心频率 (GHz)	绝对带宽 (GHz)
(8,-8),(8,8), (-8,8),(-8,-8)	4.965	-10dB 带宽为 0
(8,0),(0,8),(-8,0),(0,-8)	5.275	0.18

表4 四周均匀分布过孔

中心频率 (GHz)	绝对带宽 (GHz)
5.22	0.14

过孔数量为两个时，在一些合适的位置，天线的带宽展宽了一倍多。这主要是由于天线地与系统地在两个合适的过孔连接下在原工作频率附近又出现了一个新的通带，两个通带组合在一起从而展宽了天线的带宽。这对于设计人员来说是非常有意义的，在使用常用介质和不增加制作成本的前提下，仅通过改变过孔数量与位置就达到增大带宽的效果是很实用的。

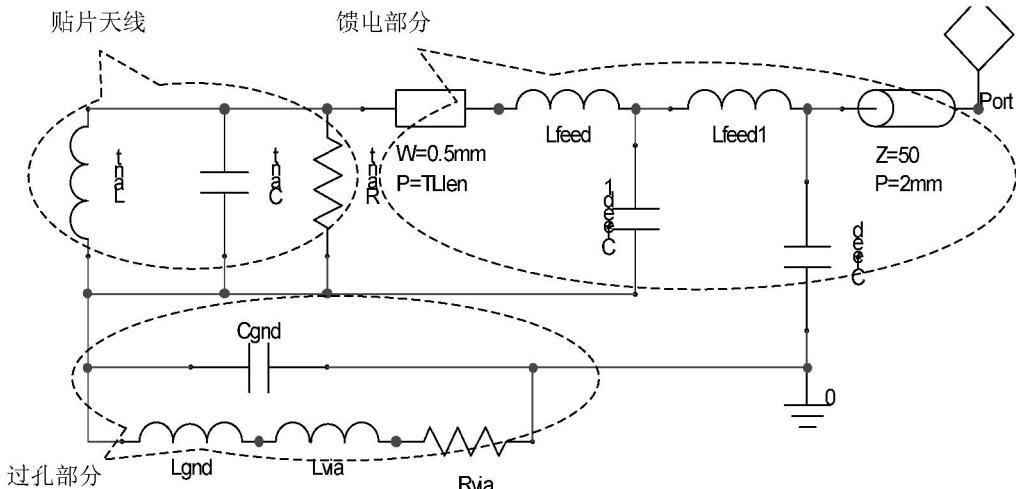


图4 封装天线等效电路图

以上讨论的均为过孔沿纵向布置，当其他参数不变，仅将过孔沿横向布置时，天线性能没有明显改善甚至恶化，且某些情况下在预期频带不出现通带。由于篇幅有限，没有将具体数值给出。

4 等效电路

按照空腔模型理论，将天线问题分为内场和外场。分析内场时，把同轴或者微带馈电等效为从天线地流向贴片的且不随流动方向变化的电流源，从而得到微带天线的等效电路为一RLC并联电路。

封装天线由于其结构的特殊性，存在天线地和系统地。贴片、天线介质、天线地可以等效为RLC并联电路，但封装天线的馈电接地端是系统地，系统地通过过孔与天线地链接，为此提出了图4所示等效电路。该等效电路主要包括贴片天线、馈电部分、连接天线地与系统地的过孔部分。由于过孔的存在，使得天线地上的电流分布发生了变化，这种变化用电感Lgnd表示，两金属地平面之间的电容效

果由Cgnd表示，Lvia和Rvia分别代表过孔的电感和电阻。Lgnd与Cgnd的值是通过电路仿真软件优化得到。其他参数的详细计算可以参看文献[6]。最终的电路参数值在表5中给出。

表5 电路参数值

Rant	Cant	Lant	Lfeed
134.9Ohm	4.9pF	0.19nH	0.43nH
Lfeed1	Cfeed1	Cfeed	Cgnd
1.31nH	0.4pF	0.24pF	0.25pF
Lgnd	Lvia	Rvia	
0.1nH	0.87nH	0.2Ohm	

5 测量结果

图5为根据所研究的天线物理原型制作的天线实物。测量结果展示在图6和7中，可以看出测量结

果与仿真结果吻合较好。当两个过孔中心坐标为(8, 8), (8, -4)时, 在原中心频率附近出现新的通带, 测量的天线带宽由一个过孔时0.13GHz展宽到0.45Ghz, 比原来增加了两倍多。测量中心频率比仿真的均偏低100MHz, 这是由于介质和制作误差引起的。

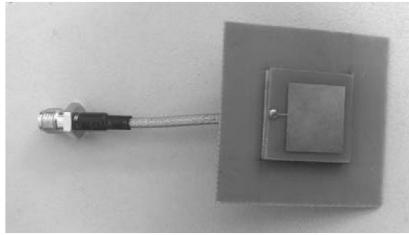


图5 天线实物照片

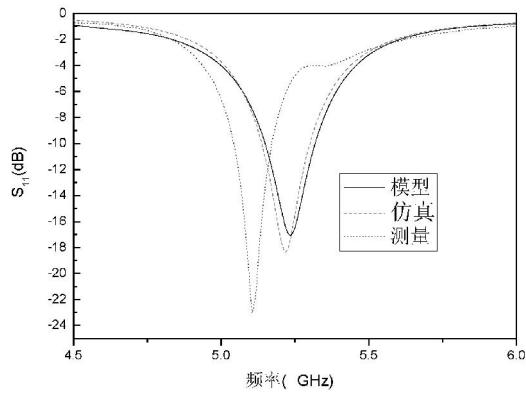
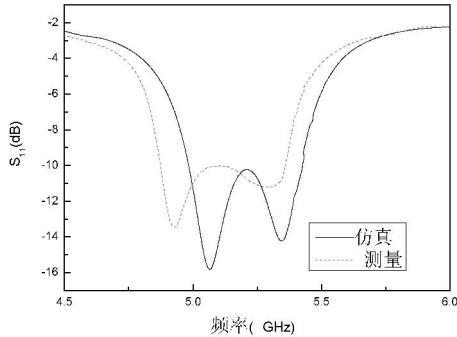


图6 一个过孔(x_1, y_1)=(8,0)时的测量结果



作者简介：李莉，女，博士，主要研究领域为微波天线、电磁兼容与封装等；张文梅，女，教授、博士生导师，主要研究领域射频/微波集成电路，天线、封装与电波等。

图7 两个过孔 $x_1=x_2=8, y_1=8, y_2=-4$ 时的测量结果

参考文献

- [1] S. H. Wi et al., Package-level integrated antennas based on LTCC technology, IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 54, pp. 2190–2197, Aug. 2006.
- [2] Y. P. Zhang, M. Sun, and W. Lin, Novel Antenna-in-Package Design in LTCC for Single-Chip RF Transceivers, IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 56, pp. 2079–2088, Jul. 2008.
- [3] Y. P. Zhang, Finite-difference time-domain analysis of an integrated circuit ceramic ball grid array package antenna for single-chip wireless transceivers, IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 52, pp. 435–442, Feb. 2004.
- [4] Y. P. Zhang, Integrated ceramic ball grid array package antenna, IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 52, pp. 2538–2544, 2004.
- [5] C. C. Zhang, J. J. Liu, and Y. P. Zhang, ICPA for highly integrated concurrent dual-band wireless receivers, Electron. Lett., vol. 39, no. 12, pp. 887–889, 2003.
- [6] J. J. Wang, Y. P. Zhang, C. W. Lu, and K. M. Chua, Circuit model of microstrip patch antenna on ceramic land grid array package for antenna-chip codesign of highly integrated RF transceivers, IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 53, pp. 3877–3883, Dec. 2005.
- [7] W. Wang and Y. P. Zhang, 0.18-m CMOS push-pull power amplifier with antenna in IC package, IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., vol. 14, pp. 13–15, Jan. 2004.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

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，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 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。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直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
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，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>