

基于砷化镓衬底的集成天线特性分析

李井龙, 韩振宇

(中科院微电子研究所, 北京 100029)

摘要: 介绍一种可以应用在系统集成(SOC)和芯片间通信方面的结构紧凑的平面天线, 制造于砷化镓半绝缘衬底上的Z字型印刷偶极子天线由一个微带—共面转换器馈电。同时也介绍了一套测试天线特性的测试系统, 测试结果表明进行芯片内部和芯片之间的无线互联是可行的。

关键词: 偶极子天线; 砷化镓; 无线通信

中图分类号: TN405.97 文献标识码: A 文章编号: 1004-4507(2005)04-0039-04

Analysis of Integrated Antenna Character Based on GaAs Substrate

LI Jing-long, HAN Zhen-yu

(Institute of Microelectronics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: A compact and uniplanar antenna is presented in this paper. The printed zigzag dipole antenna is fabricated on semi-insulated GaAs substrate and fed by a microstrip-to-coplanar strip transition. A measurement set-up was developed for integrated antenna characterization. The measurements suggest that radio communication within and between IC's using antennas may be feasible.

Keywords: Dipole antenna; GaAs; Radio communication

近年来微电子技术向着将系统集成在一个芯片内部(system on a chip, SOC)的方向发展, 如何整合基带部分和射频部分是设计者必须考虑的问题之一, 其中射频子系统中天线所占用的晶片面积太大成为限制SOC发展的瓶颈。随着大规模集成电路制造技术的不断进步, 根据摩尔定律, 到2007年, CMOS工艺的特征尺寸将达到 $0.1\text{ }\mu\text{m}$, 芯片的尺寸也达到 $3.5\text{ cm}\times 3.5\text{ cm}^{[1]}$ 。届时将能够制造出工作于20GHz的芯片^[2]。频率为3GHz的电磁场在自

由空间的波长为10cm, 在砷化镓内部, 由于高达13的介电常数, 电磁场的波长为28mm。这意味着如果采用四分之一波长的偶极子天线, 那么天线的长度只有7mm, 相比于芯片的尺寸这小得多。若进一步提高频率到20GHz, 天线在晶片上所占用的面积会更小。这为利用天线进行芯片内部和芯片之间(inter- and intra-chip)进行无线通信的结构实现提供了可行性^[3]。本文主要介绍了在GaAs基板上利用集成电路工艺制造的偶极子天线的测试结果和

收稿日期: 2005-03-21

作者简介: 李井龙(1980-), 男, 辽宁, 中科院微电子研究所硕士研究生, 专注于模块内部无线互连和WCDMA线性度的研究。

性能分析。

1 天线设计

理论上对于一个给定结构的天线会在某些特定频率信号的激励下产生振荡，并辐射电磁波。为了使天线工作于所期待的频率并有效率向特定方向辐射电磁场，就需要仔细地设计天线的物理结构。由于偶极子天线是一种平衡馈电结构，不能够由不平衡结构的同轴线或微带线馈电，基于测试的要求，必须进行平衡和不平衡结构（BALanced to Unbalanced transform, balun）的转换。图 1 展示了一种平面结构的 balun，馈电信号由端口 1 输入，平均分成两路，两路微带线的长度相差二分之一波长，使信号到达偶极子天线的两臂时形成等幅反相，满足偶极子天线对馈电信号的要求。Z 字形偶极子天线的结构不规则，计算电磁场分布比较繁琐，需要借助于 HFSS 软件以提高计算速度。

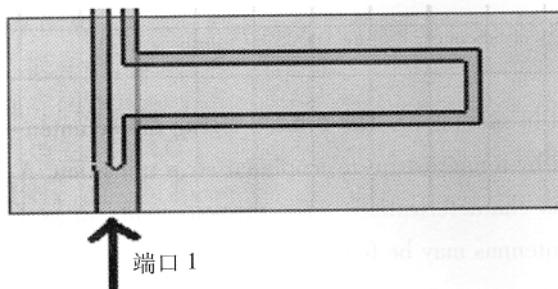


图 1 balun 结构图

图 2 展示了利用通用的集成电路工艺制作的平面微带振子天线，水平方向的尺寸为四分之一导波波长，一对天线分别起到信号发射和信号接收的作用；天线由微带线 balun 馈电，两个 Z 字形弯折线为天线振子。基板是电阻率为 $10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 的砷化镓晶片，为减小信号在振子中的损耗，金属厚度取 3GHz 的电流在金属中 3 倍的趋肤深度 (δ)，趋肤深度可通过方程式 (1)^[4] 计算。

$$\delta = (\pi f \mu \sigma_{\text{cond}})^{-1/2} \quad \dots \dots \quad (1)$$

上式中 f 、 μ 和 σ_{cond} 分别代表电流频率、金属磁导率和电导率。微带天线的输入阻抗与微带线的特征阻抗有关，通常在谐振频率天线的输入阻抗等于微带线的特征阻抗，微带线的特征阻抗由公式 (2)^[5]

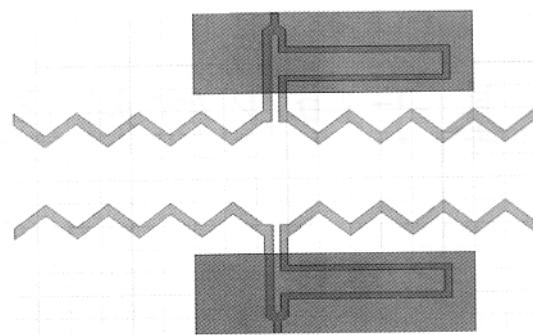


图 2 天线结构图

计算得出。

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{8h}{w} + 0.25\frac{w}{h}\right) \\ \epsilon_r = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\left(2 + \frac{12h}{w}\right)^{-1/2} + 0.041\left(1 - \frac{w}{h}\right)^2 \right] \\ \qquad \qquad \qquad w/h \leq 1 \\ Z_0 = \frac{120}{\sqrt{\epsilon_r}} \frac{1}{[w/h + 1.393 + 0.6671n(w/h + 1.4444)]} \\ \epsilon_r = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12\frac{h}{w}\right)^{-1/2} \quad w/h \geq 1 \end{array} \right. \quad (2)$$

w 、 h 和 ϵ_r 分别表示微带线的宽度、衬底的厚度和衬底的介电常数。天线的其他几何参数通过 HFSS 计算得出。图 3 是利用 HFSS 仿真偶极子天线的 E 面辐射方向图。Z 字形天线等效成一个水平分量和一个垂直分量的叠加，所以其方向图偏离纵向，导致天线的效率不能达到最大，但这是天线效率与天线尺寸折衷的结果。

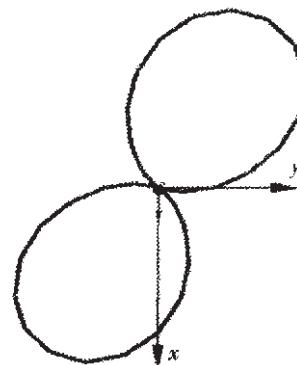


图 3 天线 E 面辐射方向图

2 测试系统

由于平面天线的尺寸比较小，不能利用传统的

测试设备,需要开发新的测试方法。图 4 说明了新的测试系统的方框图: 系统由矢量网络分析仪(HP8510C),探针台和待测器件组成(DUT)。矢量网络分析仪产生不同频率的能量信号通过探针台加到天线对其中一个馈电端,同时检测另一个馈电端的响应,比较发射信号和接收信号的相位和幅度,计算出 S 参数。HP8510C 能够在 1 GHz 到 18 GHz 的范围内进行频率扫描,测试小信号 S 参数,从 S_{11} 和 S_{22} 可以推导出天线的输入阻抗和输出阻抗,从 S_{21} 可以评价天线的增益。天线的其他参数(如方向图)需要根据 HFSS 仿真结果来确定。

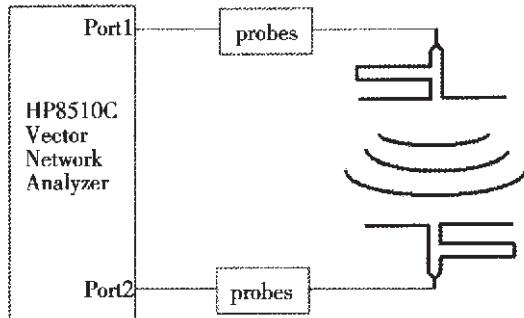


图 4 测试系统框图

3 测试结果和讨论

为了验证设计的精确性,我们完成了天线样品的制作,并测试了性能。图 5 是系统的 S 参数随频率变化的曲线,图 6 是输入/输出端的电压驻波比(Voltage Standing Wave Ratio, VSWR)随频率变化的曲线。如图 5 所示,在 3 GHz 附近 S_{11} 有一个极小值, S_{21} 有一个峰值,说明天线在此频率共振。VSWR

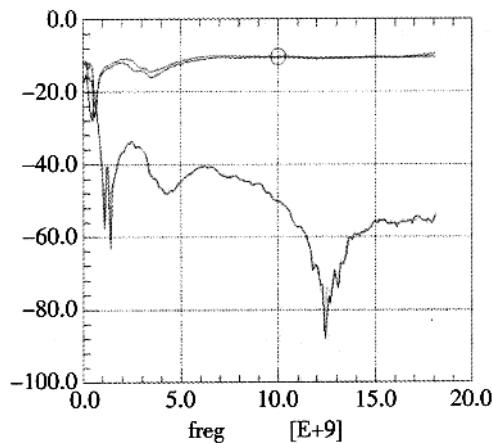


图 5 测试的 S 参数

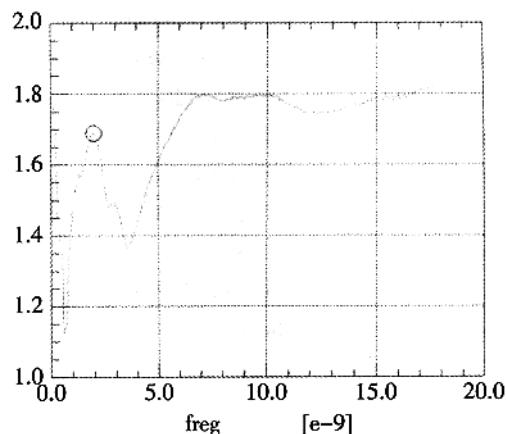


图 6 电压驻波比对频率的关系

定义了系统在各端口的插入损耗,如果以 $VSWR < 1.8$ 为工作频带,那么这种天线具有非常宽的带宽。天线的增益(G_a)可以通过公式(3)来计算:

$$G_a = |S_{21}|^2 / ((1 - |S_{11}|^2)(1 - |S_{22}|^2)) \quad (3)$$

因为 S_{11} 和 S_{22} 都非常小, G_a 可以近似的等于 S_{21} 。按照图 5 的数据, G_a 很小, 即天线的传输效率很低。这是因为 balun 中微带线到共面线的转换过程中损耗比较大及天线发射的能量没有主要集中在传播的方向上。改变天线和 balun 中金属线的直角转折角度为 135° ,会改善 S_{21} 。如果能找到更高效率的天线形式,将极大地推动这一技术的发展。

4 结论

以上所设计的天线具有结构紧凑、形式简单、晶圆面积小、与 CMOS 工艺兼容等特点,验证了其在 SOC, inter-chip 和 intra-chip 通信等方面应用的可行性,如果能够进一步提高天线的传输效率,这种平面天线必将会有一个广阔的应用前景。

5 致谢

感谢高级工程师王素琴和高级工艺师王润梅在工艺实现当中给予的帮助,也对北京理工大学的薛正辉教授和温源在天线结构设计中提出的建议表示感谢。

参考文献:

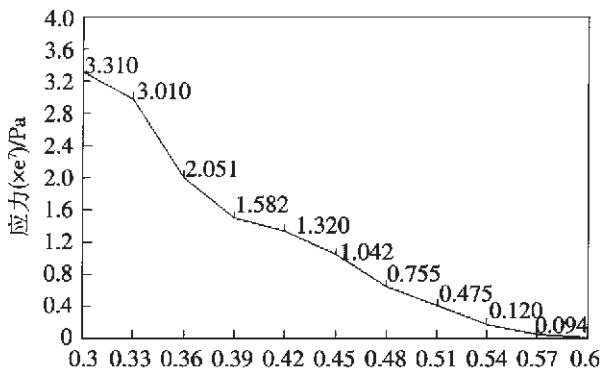
- [1] Semiconductor Industry Association (SIA), The National

- Technology Roadmap for Semiconductors, pp28,[EB/OL].
<http://www.macs.ece.mcgill.ca/roberts/ROBERTS/COURSES/SUPPORT/SIARoadmap97.pdf> San Jose, California, 1994.
- [2] Kihong Kim, Yochul Ho, et al "4 GHz and 13 GHz Tuned Amplifiers Implemented in a 0.1 μ m CMOS Technology on SOI and SOS Substrates" [J]. ISSCC Digest of Technical papers, Feb, 1998, 134–139.
- [3] K. K. O, K. Kim, B. Floyd, and J. Mehta, "Inter and intra-chip clock signal distribution using microwaves," [R]. in IEEE Solid State Circuits and Technology Committee

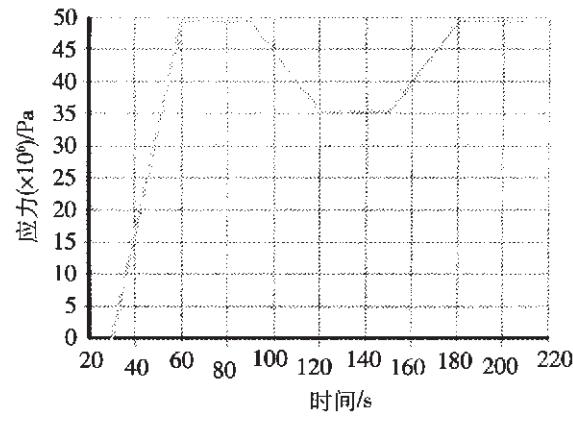
Workshop on Clock Distribution, Atlanta, GA, Oct. 1997.

- [4] Reinhold Ludwig and Pavel Bretschko "RF Circuit Design: Theory and Applications" [C]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002: 7.
- [5] Hammerstadt,E.o., "Equations for Microstrip Circuit Design,"[R] Proceedings European Microwave Conference,1975, 262–272.
- [6] Hyun Yoon, Kihong Kim and O.K.K. "Interference effects on integrated dipole antennas by a metal cover for an integrated circuit package." [J]. Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE, 2000, Volume: 2, 16–21.

(上接第 34 页)



(g) 中心线上粘接剂和芯片上的点的应力曲线图



(h) 节点 4 应力时间-历程图

图 5 CSP 结构求解后的结果图

(2).图 5 (g) 显示了粘接剂和芯片相连处应力梯度大,在循环热应力的作用下,粘接剂和芯片容易脱层,造成 CSP 失效。

(3).图 5 (h) 显示了节点 4 的应力随时间的变化,可以看到节点 4 在循环热载荷的作用下应力是循环变化的。

(4).图 5 (f) 显示了芯片最大应力的分布,可以看到,在芯片边缘处的应力集中比较明显,应力最大值为 49.3 MPa, 从芯片边缘向芯片内过渡时,应力分层现象明显,在循环热应力的作用下,容易出现热疲劳,产生裂纹,随着 CSP 使用时间的增加,裂纹扩展,芯片会沿裂纹破裂。

3 结语

本文对 CSP 结构模型进行了一定的简化,并利用 ANSYS8.0 软件对该结构模型进行了有限元模拟分析,得到了一些结论:在循环热载荷条件下,芯片可能出现脱层、破裂等疲劳破坏,在芯片的边缘出现应力集中,这些主要是由于各层热膨胀系数 (CTE) 不一致造成的。

参考文献:

- [1] Deborah Delosa, Joseph Lisowski, Tsorng-Dih Yuan. Thermal management of multi-chip modules [A]. Micronews, Second Quarter [C]. 1996.
- [2] J. H. Lau and S-W. R. Lee. Chip Scale Package. McGraw-Hill New York, 1999.
- [3] 贾松良,王水弟,蔡坚.芯片尺寸封装[M].北京:清华大学出版社,2003.
- [4] 杨邦朝,张经国.多芯片组件(MCM)技术及其应用[M].成都:电子科技大学出版社,2001.
- [5] 倪栋,段进,徐久成.通用有限元分析(ANSYS 7.0)[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [6] 杨玉平.CBGA 热力偶合失效的实验研究和有限元分析 [M].北京:首都师范大学,2002.

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>