

8mm 芯片集成接收机仿真与研制

程知群 孙晓玮 钱蓉

(中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 上海, 200050)

摘要 介绍了用 MCM-D 技术研制的 8mm 芯片集成接收机的设计方法及系统实现. 用 Agilent ADS 软件进行了系统仿真, 给出了接收机仿真与实测结果, 测得接收机增益为 20.2dB, 接收灵敏度为 -92dBm, 噪声系数接近 5dB.

关键词 芯片集成, 接收机, 仿真, 研制.

SIMULATION AND FABRICATION OF 8mm INTEGRATED CHIP RECEIVER

CHENG Zhi-Qun SUN Xiao-Wei QIAN Rong

(Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology,
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China)

Abstract The design method and the system fabrication process of 8mm integrated chip receiver with MCM-D are introduced. Agilent ADS software is used to receiver system simulation. Results of ADS simulation and measured values of receiver are given as measured gain reaches 20.2dB, sensitivity reaches -92dBm and noise figure reaches 5dB, respectively.

Key words integrated chip, receiver, simulation, fabrication.

引言

毫米波技术在军事方面的应用已经取得了巨大成功,并在通信、遥感、导弹制导和射电天文等领域获得了广泛的应用. 由于毫米波技术已日臻成熟,基础元器件和系统已具备了工程应用的条件. 特别是微波和毫米波器件的模块化和 MMIC 工艺的进一步发展,像有源相控阵雷达,需要上千个发射、接收模块(T/R 模块),而高级集成芯片工艺可使单片集成电路的产率大幅度提高. 近年来出现的低温烘焙封装工艺(LTCC)、MCM 工艺,模块化和高级集成工艺相结合可使毫米波元器件和系统以较低价格提供大批量产品. 这是毫米波向民用或商用扩展的基础. 冷战结束以后,毫米波技术移植到民用方面,其中获得成功的突出例子是汽车防撞雷达系统. 毫米波雷达比微波雷达体积小、重量轻、波束窄、带宽大、抗干扰能力强;比红外或激光传感器气象适应性好,可穿透雨、雾、战场浓烟、尘埃进行探测,所以它是继激光、红外之后电磁频谱利用中的又一枝新秀. 近几年来,美国、日本、和欧洲多家著名汽车公司投入数百万美元资金先后研制成功 24、60、76.5GHz 等 3 种频率的雷达系统^[1-3]. 在市场调研的基础上进入

实际应用和试生产阶段. 该产品的国际需求量预计为:2003 年 100 万套. 我国近年来汽车工业及高速、高架公路发展迅速. 各种豪华旅游车、长途客运大巴、集装箱货车和各种小轿车大量增加. 为确保车辆行车安全,特别是在雨、雪、雾天气中减少和避免高速公路上的撞车事故,雷达系统需求量将十分可观,国内外市场面大,前景看好. 该项目的开发成功必将产生巨大的经济效益和社会效益. 先期我们已开发出 8mm 波导结构雷达防撞系统^[4-7],为了进一步减小雷达防撞系统重量、体积,降低成本和提高分辨率,我们正在雷达防撞系统小型化方面作深入研究和开发. 本文在国内首次报道了“8mm 芯片集成接收机”的研制并给出了系统实测结果.

1 系统设计与 ADS 仿真

雷达防撞系统有发射机、接收机、中央处理机和控制系统等部分组成. 系统中采用高性能双通道接收机体制,根据脉冲频率步进信号的接收要求,对接收机的结构和各种参数进行了仔细优化选择,接收机系统中选用了先进的毫米波单片集成电路模块,采用多芯片集成(MCM)技术,将单刀单掷(SPST)PIN MMIC 开关、MMIC 低噪声放大器、MMIC 平衡混

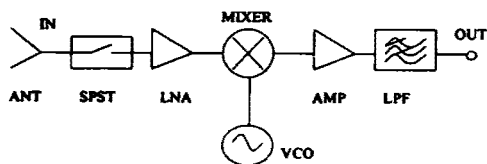


图 1 接收机系统结构
Fig. 1 Configuration of receiver system

频器、MMIC 中频放大器、滤波器和直流偏置电路全部集成同在一块金属载体上。各模块主要性能指标如表 1 所列。其接收机单通道电路系统结构如图 1 所示。

根据上述器件的性能指标可以计算出接收机的主要性能指标：

增益： $G = 24\text{dB}$

噪声系数：

$$F = 1/G_i [F_{LNA} + (F_{Mixer} - 1)/G_{LNA} + (F_{MA} - 1)/G_{LNA} * G_{Mixer}] = 4.5\text{dB}$$

最小灵敏度：

$$S = -114\text{dB} + 10\log B_n (\text{MHz}) + 10\log F = -92.5\text{dB}$$

其中： $1/G_i$ 为 SPST 插入衰减， F_{LNA} 为低噪声放大器噪声系数， F_{Mixer} 混频器噪声系数， G_{LLNA} 为低噪声放大器增益， F_{MA} 为混频器噪声系数， G_{Mixer} 为混频器增益， B_n 为中频带宽。

根据已有芯片（包括自行研制的芯片）指标，采用 HP-ADS 系统仿真设计方法，对系统进行级联设计、模拟。图 2 给出了系统仿真的拓扑结构。由于模型库中没有 SPST 模型，系统仿真中采用了 SPDT 代替 SPST，只要把 SPDT 的控制电压设置为大于 2V（本设计中为 2.5V），SPDT 为一路导通状态，等效于 SPST 导通状态，因为系统仿真中，我们主要仿真

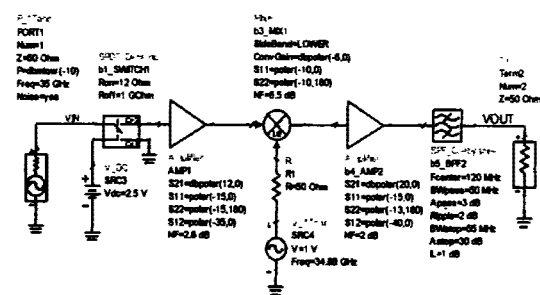


图 2 接收机系统仿真结构图
Fig. 2 Configuration of simulation receiver system

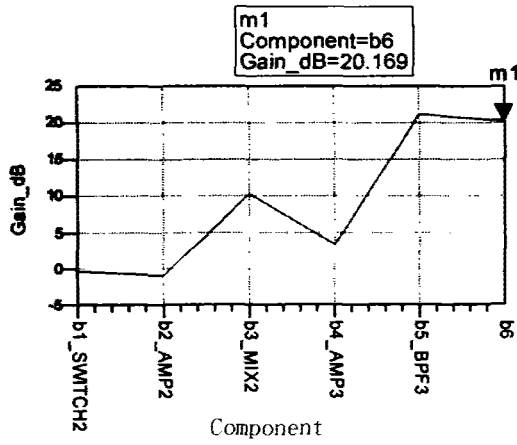
了接收机 2 个主要性能，即系统功率增益和噪声系数，所以上述等效不会影响仿真结果。图 3 为接收机系统中各个模块单元的增益图 3(a) 和噪声系数图 3(b) 仿真曲线图。图中横坐标对应系统中各模块，纵坐标分别是各模块对应的增益图 3(a) 和噪声系数图 3(b)。b6 在拓扑中表示输出负载，它对应的数值表示接收机输出结果，从图 3 看出，接收机的增益为 20.169dB 比理论计算结果小，接收机噪声系数为 4.68dB 比理论计算的结果大，这是因为理论计算中均未考虑各模块之间的不完全匹配等因数的影响。

2 接收机研制

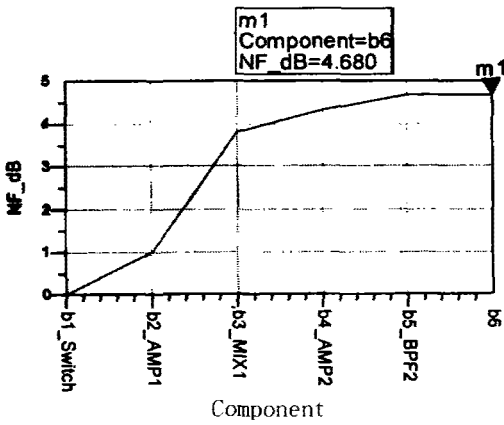
系统中采用了先进的 MCM-D 和微细加工技术，解决了多芯片组装（MCM）中关键工艺技术，如：芯片连接、贴装和倒装焊等技术。毫米波高频部分采用散热性好的 AlN 材料，用微电子工艺技术在 AlN 材料上制作微带电路，用激光打孔技术实现小孔金属化接地，芯片间用金带连接。对于芯片的尺寸小于倒装机吸孔尺寸时，普通倒装工艺无法进行，我们研究了一种特殊工艺方法，较好地解决了微小芯片倒扣工艺技术。毫米波平面结构前端要与波导

表 1 各芯片模块的主要性能指标
Table 1 The main performance of all chip module

名称	性能							
(SPST) PIN	插损	开关速度	输入回波损耗	输出回波损耗	开关比	输出功率 1dB 压缩点	工作温度	最大输入功率
MMIC	1dB	4ns	24dB	22dB	42dB	33dBm	-55 ~ +125°C	10W
MMIC 低噪声放大器	小信号增益 (频率 28 ~ 36GHz)		输入回波损耗	输出回波损耗		输出功率 1dB 压缩点	噪声系数	
	12dB		-17dB	-20dB		10dB	2.8dB	
MMIC 混频器 (自己研制)	变频损耗	中频频率范围	输入回波损耗	输出回波损耗	本振功率	射频输入 1dB 压缩点	信号和本振频率范围	本振与中频中隔离度
	6.4dB	0 ~ 3GHz	9dB	9dB	10 ~ 15dBm	10dBm	32 ~ 37GHz	35dB
MMIC 中频放大器 (频率 0.01 ~ 0.5GHz)	功率增益	增益平坦度	3dB 带宽			输出功率 1dB 压缩点	噪声系数	
	20dB	±2	0.8GHz			11dBm	<2dB	



(a)



(b)

图3 增益(a)和噪声系数(b)与各模块对应曲线
Fig.3 Gain (a) and Noise figure (b) as a function of each module

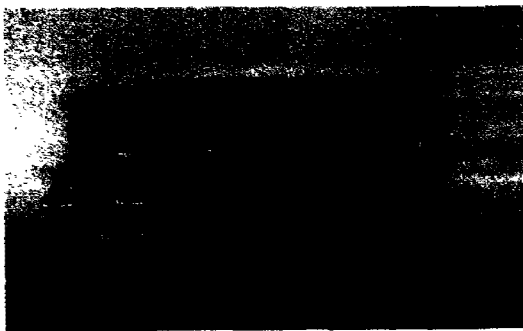


图4 接收机的实物照片
Fig.4 The picture of receiver

结构天线相连,因此波导与微带转换的好坏成为影响毫米波接收机噪声系数的主要因数.通过理论计算、软件分析和实践中的摸索,解决了波导与微带转换问题,使波导与微带转换的损耗小于1dB.

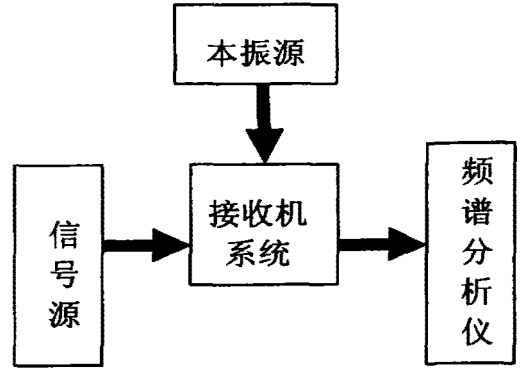


图5 接收机测试结构图
Fig.5 Configuration of measurement receiver

根据上述设计,我们研制了电路尺寸3.16×8.94cm²单通道接收机,实物照片如图4所示.

3 接收机测试与结果分析

接收机测试中所使用的设备大多为进口的先进设备:用HP-8722D矢量网络分析仪作为信号源,用自制的35GHz源为混频器的本振功率源,通过衰减器来控制本振功率的大小,用HP-8563频谱分析仪测量中频输出信号频谱,HP-E44198EPM功率计测试功率.图5给出了系统测试的简易框图,其中接收机系统的组成模块参见图1.

接收机测试条件:

- 信号频率: 35.1 ~ 35.2GHz
- 信号功率: -27dBm
- 本振频率: 35GHz
- 本振功率: 12dBm
- 环境温度: 室温

接收机测试结果:

- 中频输出功率: -6.8dBm
- 接收机增益: 20.2dB

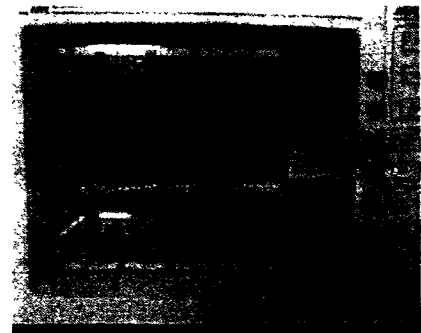


图6 接收机输出频谱
Fig.6 Output spectrum of receiver

在接收机最小灵敏度的测试中,将接收机输入端的最小可测信号功率定义为接收灵敏度.测得接收机的灵敏度为 -92dBm ,噪声系数为 5dB .图6和图7分别是接收机中频输出频谱和灵敏度测试频谱图.

从测试结果和仿真结果二者比较可以看出,测试结果较仿真结果差别很小,二者基本吻合.

4 结语

本文给出了 8mm 芯片集成接收机的设计方法,解决了多芯片组装(MCM)中关键工艺技术,如:芯片连接、贴装和倒装等技术.成功实现了毫米波多芯片组装、连接以及级间匹配电路设计及系统集成.接收机增益 20.2dBm .接收机的灵敏度 -92dBm ,噪声系数 5dB .

REFERENCES

- [1] Mark E Russell, Arthur Crain, *et al.* Millimeter-wave radar sensor for automotive intelligent cruise control(ICC). *IEEE Tran. MTT*, 1997, **45**(12): 2444
- [2] Nilssen O K. New methods of range measuring doppler radar. *IEEE Trans. Aerosp. Navig. Electron.*, 1962, **9**: 255—265
- [3] Kenichi Konno, Shoichi Koshikawa. Millimeter-wave dual mode radar for headway control in IVHS. *IEEE MTT-S Digest*, 1997, 1261—1264
- [4] SHENG HUAI-Mao, XIA Guan-Qun, SUN Xiao-Wei, *et al.* FMCW Millimeter wave anticollision radar system. *Electronic Engineering and Product World* (盛怀茂,夏冠群,孙晓玮,等. FMCW毫米波防撞雷达系统. *电子产品世界*), 2001
- [5] SHENG Huai-Mao, LI Hong-Qing, XIA Guan-Qun. Development and Application of Automobile Millimeter Wave Radar. 11th Science Conference of National Compound semiconductor, Microwave device and Photoelectricity device. Haikou (盛怀茂,李洪芹,夏冠群. 汽车毫米波雷达的发展与应用. 第十一届全国化合物半导体、微波器件和光电器件学术会议. 海口), 2000
- [6] JIN Chang-Ming, XU Tao, SUN Xiao-Wei, *et al.* Application of probability statistic method based on time-frequency analysis for radar signal processing. *Microwave Journal (supplement)* (金昶明,徐涛,孙晓玮,等. 基于时频分析的概率统计法在雷达信号处理中的应用. *微波学报(增刊)*), 2001, **12**: 175—177
- [7] LI Yu-Fang, JIN Chang-Ming, SUN Xiao-Wei, *et al.* Study of FMCW millimeter radar leak triangle wave. *Microwave Journal (supplement)* (李玉芳,金昶明,孙晓玮,等. FM-CW毫米波雷达泄露三角波研究. *微波学报(增刊)*), 2001, **12**: 96—100