

基于倒扣技术的 24GHz 混合集成平衡混频器*

徐涛 程知群 孙晓玮 夏冠群

(上海微系统与信息技术研究所, 上海, 200050)

摘要 介绍采用混合贴装倒扣二极管技术制造的新型 24GHz 平衡混频器. 并对该混频器进行设计、仿真、加工和测试. 它能提供中频 100kHz 时小于 10dB 的变频损耗, 本振与信号之间优于 35dB 的隔离度. 其结构特点利于大批量、低成本生产, 适合汽车电子系统的需求.

关键词 集成电路技术, 汽车防撞雷达, 倒扣技术, 平衡混频器.

A 24 GHz BALANCE MIXER USING FLIP-CHIP GaAs SCHOTTKY DIODES*

XU Tao CHENG Zhi-Qun SUN Xiao-Wei XIA Guan-Qun

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

Abstract A mixer employing a planar flip chip GaAs Schottky diode has been designed and tested at 24GHz. Using a planar diode eliminates the disadvantages of mechanical instability and large parasitical parameters associated with conventional whisker-contacted diodes. The realized mixer provides conversion loss lower than 10dB and LO to RF isolation higher than 35dB. It is specially suitable for applications in automotive electronic system because of its simple structure and low cost.

Key words integrate circuit technology, automotive collision avoidance radar, flip-chip, balance mixer.

引言

随着人们对汽车行驶安全的重视, 以往简单被动的安全防护措施(如保险杠、安全带、安全气囊等)已经不能满足广大驾驶者的安全需求. 越来越多的汽车制造商开始为它们的汽车配备先进的自动防撞雷达系统. 考虑到目前全球有 50,000,000 辆/年的汽车产量, 故汽车电子安全系统具有极其广阔的市场前景. 图 1 为目前汽车电子系统市场需求的统计和预测.

收发前端是防撞雷达中最重要的组成部件之一. 自动防撞雷达系统实用化的关键就制造出成本低、性能可靠的收发前端. 目前, 国内外均采用波导系统或单片集成系统来制造收发前端. 波导系统由于是机械结构, 体积庞大、可重复性低、调试困难, 几乎无法大批量生产. 而全单片系统虽然体积小、重量轻、可靠性好, 但是由于有源器件和无源器件使用同

一基片, 制造工艺复杂、成品率低、价格也因之居高不下, 使一般用户难以接受. 在综合可靠性和成本两大因素的情况下, 最佳选择无疑是混合集成电路. 这种方法使用价格低廉的无源衬底制造外国匹配电路, 并采用先进的倒扣技术键合有源器件, 得到高可靠性和低成本的最佳结合.

目前使用的自动防撞雷达系统基本上都采用调频连续波体制(FMCW). 它是通过比较发射波和反射波的频率差来得到距离信息, 并根据上下扫频过程中的多普勒频移推算速度. 由于接收机为零拍型, 因此混频器的 1/f 噪声对整个系统的性能影响很大.

本文介绍了一种使用混合集成电路技术制造的 24GHz 环形平衡混频器. 该混频器采用高阻 GaAs 作为无源器件的衬底, 在其上进行微带线布线和无源器件的制造, 并采用倒扣技术键合二极管堆. 最后对完成的混频器进行了测试.

* 国家 863 计划(批准号 2002AA135270)资助项目
稿件收到日期 2002 - 07 - 01, 修改稿收到日期 2003 - 03 - 13

* The project supported by the National High Technology 863 program
(No. 2002AA135270)

Received 2002 - 07 - 01, revised 2003 - 03 - 13

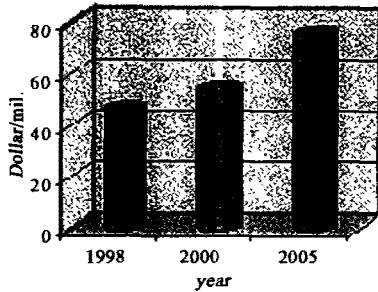


图 1 汽车电子系统的的市场需求
Fig. 1 Remark demand of automobile electronic system

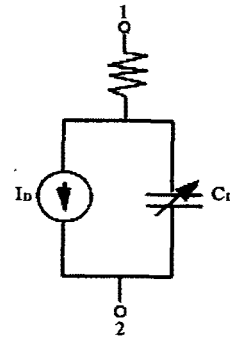


图 2 二极管的等效电路
Fig. 2 equivalent circuit of diode

1 非线性器件的选取和建模

二极管性能的优劣将直接影响混频器的性能. 在选管时, 应尽量选取噪声温度比较小和变频损耗比较低的二极管. 肖特基势垒二极管几乎不存在少数载流子效应, 因此目前所有的二极管混频器均使用肖特基势垒二极管作为混频元件. 其中 GaAs 二极管相对于 Si 二极管价格稍高, 但是具有变频损耗低, 噪声性能好的特性, 适用于较高的频率.

根据混频器的设计要求, 我们选用 GaAs 肖特基势垒二极管管芯作为非线性器件. 该器件具有低结电容和低串阻的特性, 可以工作在 20G ~ 120GHz 的频率范围内. 采用新型的微小芯片倒扣技术避免了引线型二极管所带来的连接问题, 减少了由金丝键合引起的寄生参数.

为了设计仿真需要, 根据公司所提供的参数建立如图 2 所示的模型, 其 Spice 模型参数如表 1 所示.

2 混频器的设计和仿真

我们使用 HP 的 ADS 设计混频器电路, 采用谐波平衡法, 分析电路的性能参数. 设计的电路中采用 2 只二极管来构成平衡结构的环形混频器.

首先建立仿真电路如图 3 所示. 在射频和本振端口分别接入高通滤波器, 隔断低频分量. 并分别加上 2 个用于谐波平衡分析的信号源. 取射频信号频率为 24.1GHz, 信号电平为 -10dBm, 本振信号频率为 24GHz, 功率为 16dBm. 在电路插入谐波平衡分析单元, 进行电路仿真. 从图 4 所示中频输出端的频谱

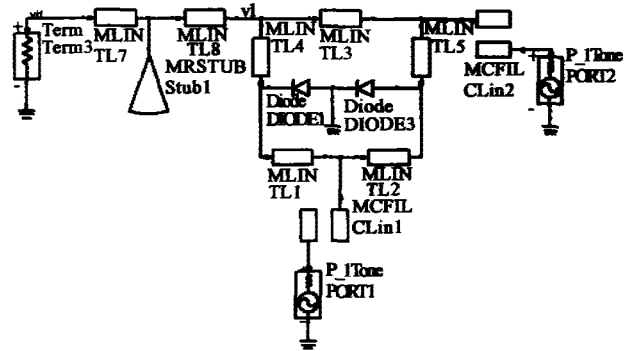


图 3 ADS 仿真电路原理图
Fig. 3 Schematic circuit of system

可以看到, 输出的中频信号为 -15.4dBm, 泄漏到中频端的的本振信号幅度为 -32.7dBm, 射频信号幅度为 -66.8dBm. 也就是说, 在本振信号为 16dBm 的情况下, 该混频器具有 5.4dB 的变频损耗, 中频本振隔离度为 48dB, 中频射频隔离度为 56dB.

由于混频器的非线性特性, 混频器的变频特性与注入的本振功率有关. 为了研究中频信号与本振注入的关系, 我们控制本振在 -10 ~ 20dBm 范围内扫描, 仿真结果如图 5 所示.

可以看出随着本振功率的增加, 中频输出功率基本呈增加趋势. 在本振达到 11dBm 后, 中频输出功率随着本振功率的增加有较大幅度的改变. 综合考虑该混频器的变频特性以及系统可能提供的中频功率后, 我们确定该混频器的工作本振 16dBm, 此时

表 1 二极管的 Spice 模型参数
Table 1 Spcie parameters of the diode

参数	Is	Rs	n	T _D	C _{J0}	m	E _C	V _J	X _{TI}	FC	B _V	I _{BV}
单位	A	Ω		S	pF		eV	eV			V	A
典型值	0.5e-12	4	1.05	1e-11	0.05	0.26	1.43	0.82	2	0.5	4.0	1e-05

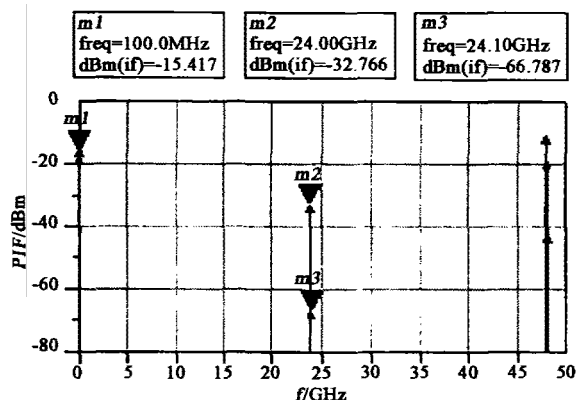


图4 仿真结果
Fig. 4 simulation result

变频损耗为 5.4dB.

经仿真分析后,所有电路结构在 250 μ m 厚的 GaAs 衬底上完成. 二极管堆倒扣贴装在衬底专门设计的金属触点上,并施以热压焊接.

3 混频器的测试

芯片的测试在进口的 Cascade 微探针台上进行. 测试本振频率由 FERISDL 的 GH300 提供. 信号由 HP 的微波网络分析仪提供, 功率为 -10dBm. 中频信号由 info 的 0 ~ 2.7G 频谱分析仪测量. 混频器芯片被放置在探针台上, 由探针接同轴电缆, 和信号源及测量仪器相连, 电缆对于 24GHz 信号的衰减为 10dB.

图 6 为实际测量结果. 当射频信号频率从 24GHz 变化到 30GHz 时, 中频输出功率随着射频信号频率的变化有所起伏, 变频损耗在 14 ~ 24dB 内变化. 和仿真得到的 5.4dB 的变频损耗有一定的差异, 这是由于本振功率过小引起的.

由于测试条件的限制, 用于本振源的微波扫频仪的信号功率只有 7.82mW. 在通过了一段衰减的

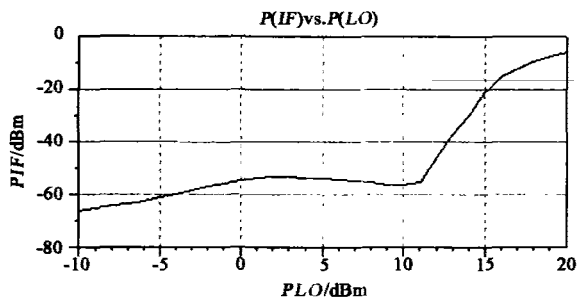


图5 中频输出功率和本振功率的关系
Fig. 5 relationship between IF output power and LO input power

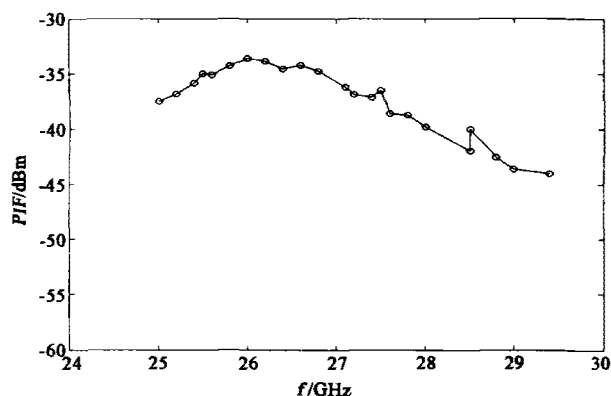


图6 测试结果:不同信号频率下的中频输出功率
Fig. 6 measurement result: IF output power vs. difference RF signal frequency

10dB 的同轴电缆后, 实际到达探针台的本振功率为 -1dBm. 远远小于仿真得到的最佳本振.

4 结论

利用基于微小芯片倒扣工艺的混合集成技术, 可以实现高性能低成本的微波毫米波集成电路芯片. 本文介绍了一种在高阻 GaAs 衬底上倒扣肖特基二极管堆的 24G 集成平衡混频器, 这种混频器主要用于毫米波防撞雷达的前端系统中. 在本振功率为 16dBm 时, 其变频损耗小于 6dB, 本振信号隔离度好于 45dB. 性能达到系统要求的功能, 且工艺过程适合低成本大批量生产.

REFERENCES

- [1] Kaleja M M, Herb A J, Rasshofer H, et al. An I-Q mixer at 76.5GHz using flip-chip mounted silicon schottky diodes. *Microwave Symposium Digest*, 2001, 3: 1653-1656
- [2] Tamama T, Iwabe A, Kazuhiro Ban, et al. Radar sensor for automotive collision prevention. *Microwave Symposium Digest*, 1978, 78(1): 168-170
- [3] Siweris H J, Werthof A, Tischer H, et al. A mixed Si and GaAs chip set for millimeter-wave automotive radar front-ends. *Radio Frequency Intergrated Circuits (RFIC) Symposium*, 2001, 1: 191-194
- [4] Adelseck B, Dieudonne J M, Schmegner K E, et al. A monolithic 94GHz balanced mixer. *Microwave Symposium Digest*, 1990, 1: 193-196
- [5] Virk R S, Maas S A, Case M G, et al. A low-Cost W-Band MIC mixer using flip-chip technology. *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, 1997, 7(9): 294-296
- [6] Dixit R, Rafaelli L. Radar requirements and architecture trades for automotive applications. *Microwave Symposium Digest*, 1997, 3: 1253-1256
- [7] Maas S A. *Microwave Mixers*. 2nd edition. Norwood, MA: Artech House, 1993