

宽带 GaAs MMIC 开关耦合器芯片设计

刘文杰, 吴洪江, 高学邦

(中国电子科技集团公司 第十三研究所, 石家庄 050051)

摘要: 介绍了一种宽带开关耦合器芯片的研制。在 GaAs pHEMT 工艺平台上将宽带单刀双掷开关和兰格耦合器集成在一个芯片上, 在实现二路功率分配功能的同时, 还提供了在两个输出端口之间 $\pm 90^\circ$ 相位切换的功能。该芯片频率范围覆盖 6~18 GHz, 在整个频带内插入损耗 < 3.7 dB, 相位误差 $< 14^\circ$, 输入输出驻波比 $< 1.8:1$ 。芯片尺寸 $1.5 \text{ mm} \times 3.0 \text{ mm} \times 0.1 \text{ mm}$ 。详细描述了电路的设计流程, 并提供最终的测试结果。该芯片具有频带宽、体积小、使用方便等特点, 可应用于不同的微波系统。

关键词: 宽带; 砷化镓微波单片集成电路; pHEMT; 微波开关; 兰格耦合器

中图分类号: TN43; TN304.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4776 (2009) 08-0498-04

Design of a Wide Band GaAs MMIC Switch Coupler

Liu Wenjie, Wu Hongjiang, Gao Xuebang

(The 13th Research Institute, CETC, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: The design of a wide band GaAs MMIC switch coupler was introduced. A single pole double throw (SPDT) switch and a Lange coupler were integrated on a chip by GaAs pHEMT technology. The allocation function of power 2-splitter was realized and the $\pm 90^\circ$ phase shifts between the two output ports were also supplied. The frequency covers 6 - 18 GHz bandwidth. The insertion loss is less than 3.7 dB, the output ports phase error is less than 14° , and VSWR is less than 1.8 : 1. The chip size is $1.5 \text{ mm} \times 3.0 \text{ mm} \times 0.1 \text{ mm}$. The design procedure of the circuit was described, and the test results were given. The chip is of wide band, small size and easy to use, and can be applied in different microwave systems.

Key words: wide band; GaAs MMIC; pHEMT; microwave switch; Lange coupler

DOI: 10.3969/j.issn.1671-4776.2009.08.011

EEACC: 2570H; 2520D

0 引 言

微波单片集成电路 (MMIC) 在航天、通信、雷达、微波测量等方面起着重要的作用, 随着 MMIC 技术的发展, 宽带 MMIC 具有频带宽 (可达多个倍频程)、尺寸小、重量轻、可靠性高、性价比好等优点, 成为研究和开发的热点。在各种不

同的应用领域, 宽带 MMIC 都具有广阔的市场和巨大的发展潜力^[1]。

近年来, 随着 GaAs pHEMT 工艺日趋成熟, 各种更宽频带、更高功率、更高性能的 GaAs MMIC 开关产品逐渐普及。高功率单刀多掷开关、集成了开关的多功能芯片等新型产品也出现在市场上^[2]。

本文介绍的电路基于 GaAs pHEMT 工艺，在一个芯片上集成了一个单刀双掷开关和一个兰格耦合器。该电路覆盖频率 6~18 GHz，插入损耗 < 3.7 dB，相位误差 < 14°，输入输出驻波比 < 1.8 : 1^[3]。

1 电路设计

1.1 开关器件模型^[4-5]

本电路设计采用的是在 ADS 中自建的等效电路模型。基于 GaAs pHEMT 工艺设计 300~1 200 μm 系列器件，覆盖不同的单指栅宽和栅指，然后通过 Agilent IC-CAP 系统提取模型参数，并且对大量器件进行测试，进行统计分析对模型进行验证，得到 ADS 软件所需的器件模型。另外，还设计了不同尺寸的电感、电容、电阻元件，用探针和矢量网络分析仪构成的在片测试系统测试其的 S 参数，并进行统计分析，优化模型参数，得到无源器件模型。图 1 为开关 pHEMT 器件等效电路图。图 2 为 500 MHz~20 GHz 内 300 μm 栅宽器件模型与测试对比。

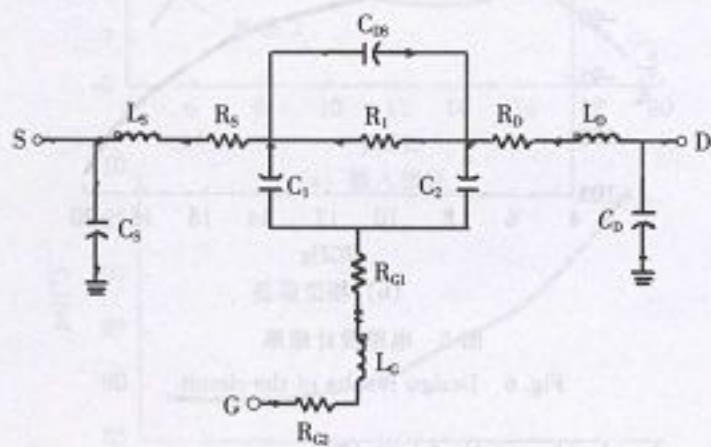
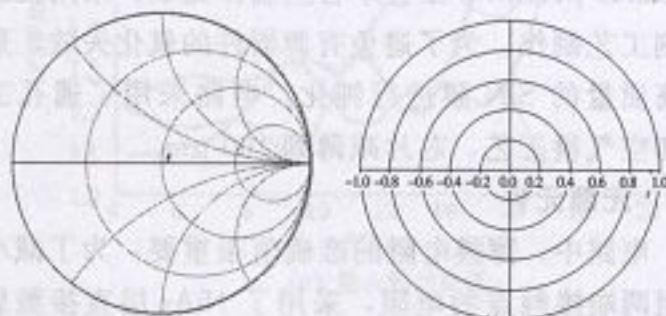


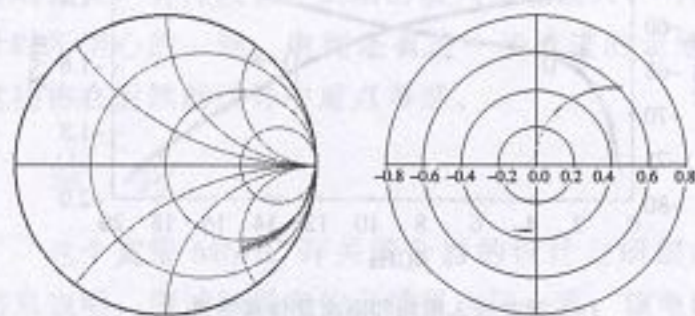
图 1 开关器件模型

Fig. 1 Switch PHEMT model



(a) 开态 S_{11} 和 S_{22}

(b) 开态 S_{21} 和 S_{12}



(c) 关态 S_{11} 和 S_{22}

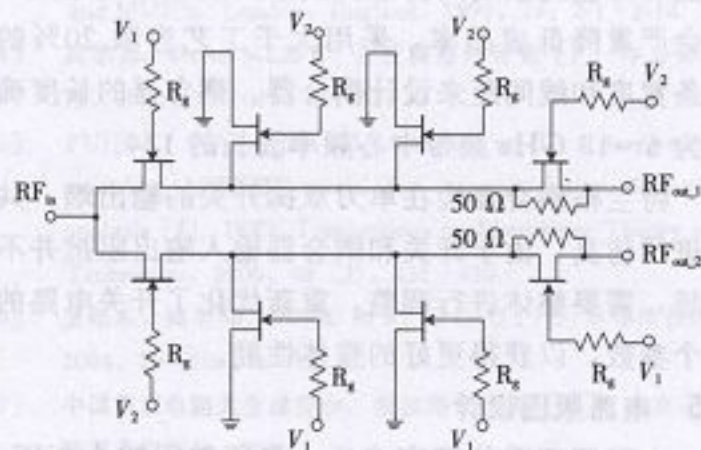
(d) 关态 S_{21} 和 S_{12}

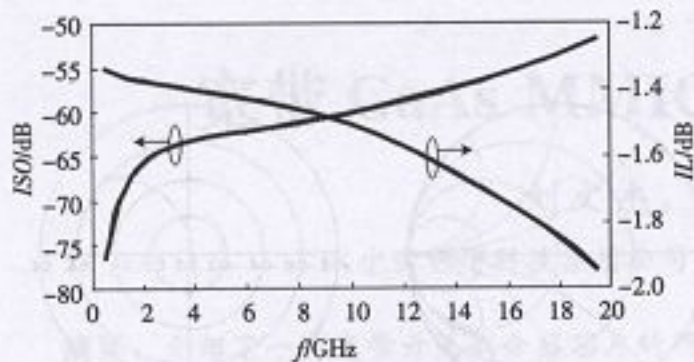
图 2 开关器件的模拟和测试比较

Fig. 2 Simulation and measurement of the switch pHEMT

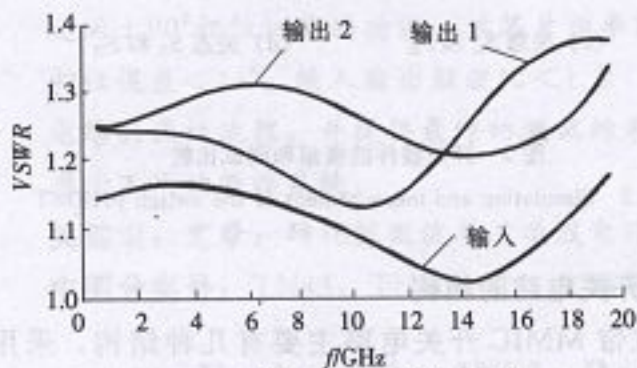
1.2 开关电路的结构

宽带 MMIC 开关电路主要有几种结构，采用常见的串并联形式。匹配式开关，又叫吸收式或者非反射式，采用的是在输出端加上个 50 Ω 负载，在处于关态时，输出端处于 50 Ω 负载状态，结构如图 3。





(a) 开关插入损耗和隔离度仿真结果



(b) 开关输入输出驻波仿真结果

图 4 开关电路仿真结果

Fig. 4 Simulated results of the switch circuit

1.4 耦合器电路设计

在 GaAs 衬底上实现兰格耦合器需要充分考虑性能和工艺冗余度的折中。线条太细或者间距太窄都会严重降低成品率，采用大于工艺容限 20% 的线条宽度和线间距来设计耦合器。耦合器的长度确定为 6~18 GHz 频带中心频率波长的 1/4。

将兰格耦合器接在单刀双掷开关的输出端，共同进行仿真，由于开关和耦合器输入输出阻抗并不理想，需要整体进行调整，重新优化了开关电路的各个参数，以获得更好的整体性能。

1.5 电路版图设计

电路原理图仿真完成后，将原理图转为版图。版图上每个元器件尺寸必须完全符合原理图，并且布局充分考虑电磁耦合效应，避免线间距过近，同时尽量保证芯片面积最小。为了保证设计一次成功，版图完成后进行了电磁场验证，采用版图、原理图混合仿真，即将无源部分的电磁仿真结果在原理图中调用，而器件则仍采用原理图中的模型。无源仿真部分采用了厚金属仿真技术。通过仿真结果发现电路高端的插入损耗有恶化的现象。图 5 为电路版图。图 6 为电路最终设计结果。

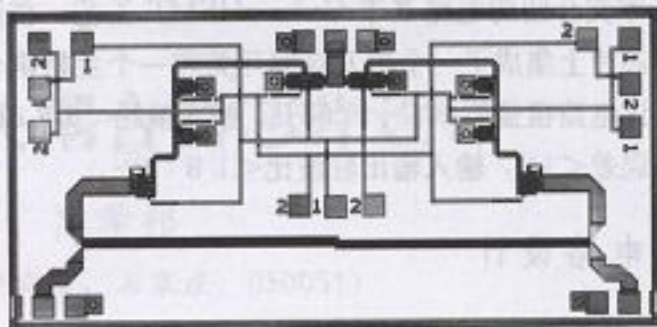
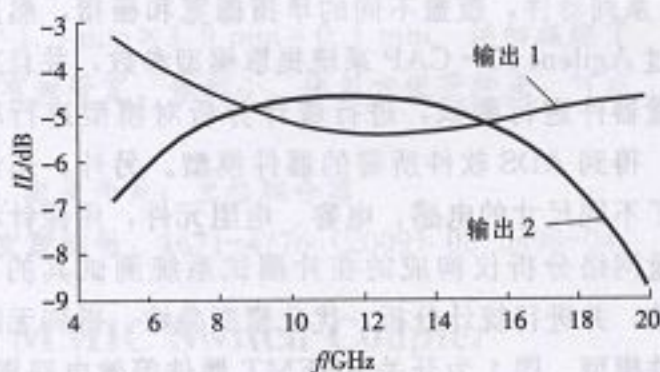
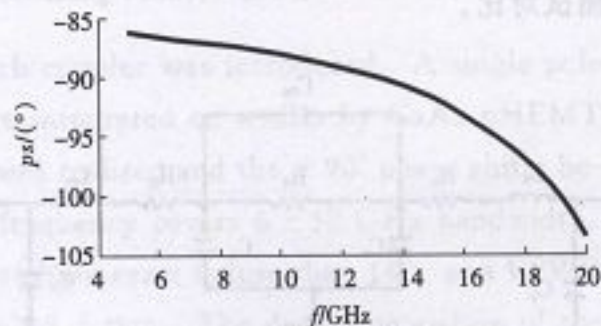


图 5 电路板图

Fig. 5 Layout of the circuit



(a) 插入损耗



(b) 相位误差

图 6 电路设计结果

Fig. 6 Design results of the circuit

2 电路的工艺制作^[7]

2.1 有源器件

MMIC 放大器电路采用高质量的 MBE 材料，在 GaAs pHEMT 工艺平台上制作完成。采用投影光刻工艺制作。为了避免有源器件的氧化失效，采用高质量的 SiN 膜进行钝化。电路采用了通孔工艺和空气桥工艺，芯片减薄到 100 μm。

2.2 无源元件

电路中，薄膜电阻的准确值很重要，为了减小电阻两端接触点的电阻，采用了 NiAr 层直接溅射 Au 的方法制作电阻的压点，提高了电阻值的精度。

另外，电路中的耦合器线条窄并且间距很小，

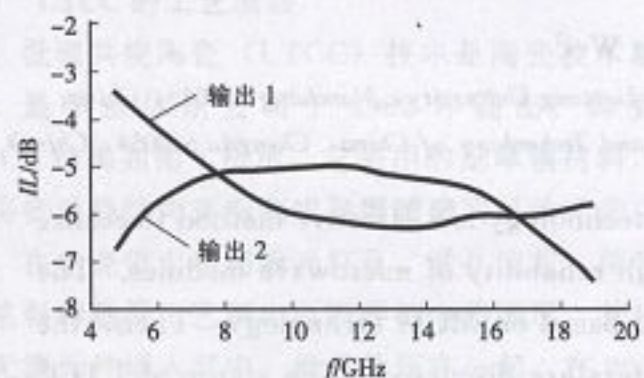
长度很长,对金属剥离工艺要求较高,因为耦合器线条之间的任何金属残留都会严重影响电路性能。

2.3 工艺加工

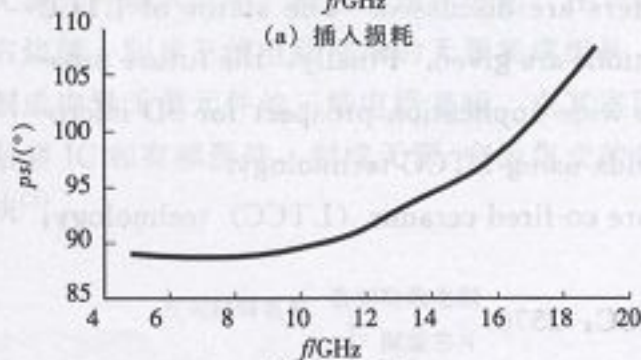
整套工艺采用 PCM (process control monitor) 提取有关介质生长、金属化、线宽、套刻精度、各种腐蚀等工艺参数和元器件参数以及该参数在圆片和不同圆片间的统计分布情况,进行数据处理,建立相应数据库,实时监控单片电路芯片的工艺加工过程。通过实施 SPC (statistic process control) 技术,使工艺过程一直处于统计受控状态,保证生产的产品持续满足成品率要求。

3 电路的测试结果分析

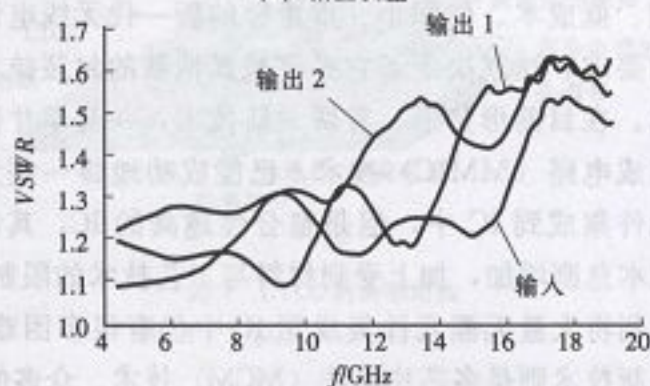
用 Cascade 探针台和 Agilent 矢量网络分析仪构成的在片测试系统对电路进行了测试,测试结果如图 7。



(a) 插入损耗



(b) 相位误差



(c) 输入输出驻波

图 7 测试结果

Fig. 7 Test results

由图可见插损 < 3.7 dB, 输入输出驻波基本 $< 1.8:1$, 与设计结果基本一致。只是相位误差方面高端偏大,有待改善,高端的插入损耗偏大,与设计时所担心的一致。电路还有进一步改进的余地,这些将在后续的设计中重点考虑。

4 结论

这个宽带 MMIC 开关耦合器的设计与研制的结果表明,测试结果和仿真结果比较一致。该电路一次流片基本达到设计目标,表明本文描述的设计方法合理有效。该电路覆盖频率 $6 \sim 18$ GHz, 插入损耗 < 3.7 dB, 相位误差 $< 14^\circ$, 输入输出驻波比 $< 1.8:1$ 。该芯片目前已经在微波系统中进行了试用,效果良好。

参考文献:

- [1] ROBERTSON I D, LUSYSZYN S. RFIC and MMIC design and technology [M]. London: The Institution of Electrical Engineers, 2001.
- [2] MIZUTANI H, IWATA N, TAKAYAMA Y, et al. Design considerations for traveling-wave single-pole multithrow MMIC switch using fully distributed FET [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2007, 55 (4): 664-671.
- [3] DEVLIN L. The design of integrated switches and phase shifters [C] // IEE Tutorial Colloquium on Design of RFICs and MMICs. London, England, 1999, 24: 2-1-2-14.
- [4] 高学邦. GaAs MESFET 开关模型的研究 [J]. 半导体情报, 2000, 37 (01): 62-65.
- [5] FUJII K, HARA Y, YAKABE T, et al. A large-signal switching MESFET model for intermodulation distortion analysis [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2000, 48 (3): 431-436.
- [6] 王绍东, 高学邦. MMIC 和 RFIC CAD [J]. 半导体技术, 2004, 29 (10): 8-12.
- [7] 中国集成电路大全编委会. 微波集成电路 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.



作者简介:

刘文杰 (1979—), 男, 河北故城人, 毕业于燕山大学电子工程专业, 主要从事微波单片研究开发工作;

吴洪江 (1964—), 男, 河北武邑人, 研究员, 主要研究方向为微波与数字集成电路微波封装与系统。