

Ku 波段 MEMS 振荡辐射天线

钮利荣 李拂晓 蒋幼泉 林金庭

刘庭华 章文勋

(南京电子器件研究所, 210016)

(东南大学, 210096)

摘要: 本文给出了用 MEMS 技术设计和研制的 Ku 波段准单片压控振荡器和全单片的 MEMS 振荡辐射天线。其中准单片振荡器输出功率达 10mW, 全单片 MEMS 辐射天线的振荡器与微型天线制作在一个 GaAs 衬底上, 芯片面积为 $1.5 \times 3.0 \text{ mm}^2$ 。

关键词: MEMS 振荡器 微型天线

一、引言

利用 MEMS 技术制作的微型化的射频器件称为 RF-MEMS, 如将压控振荡器和 MEMS 辐射天线结合可研制小型发射单元和接收单元, 在此基础上可以制成微波传感器或自控雷达 (Automotive Radar), 它的前端 (如图 1 所示)^[1]。MEMS 自控雷达具有重要的军事用途, 也可广泛应用于车载安全系统, 包括前视的防撞告警雷达、自动驾驶雷达、侧向车道变换操纵雷达、倒车辅助雷达、停车辅助雷达、发送安全气囊、安全系统等。美国 FCC (Federal Communications Commission) 已初步规定了几个工作波段^[2] (如表 1), 供汽车安全系统使用, 并已大量开展这方面的研究。欧洲、日本这方面的研究工作进展也很迅速。预计 2003 年左右将开始在汽车安全系统中大量应用。MEMS 自控雷达在工业自动化方面也有广泛的应用前景。

频率	带宽	3 米处功率 辐射密度 /平方厘米
5.8 GHz	150MHz	663pW
10.525 GHz	50 MHz	1.66μW
24.125 GHz	250 MHz	16.6nW
46.8 GHz	200 MHz	60μW
76.5 GHz	1GHz	60μW

表 1 FCC 初步规定的工作波段

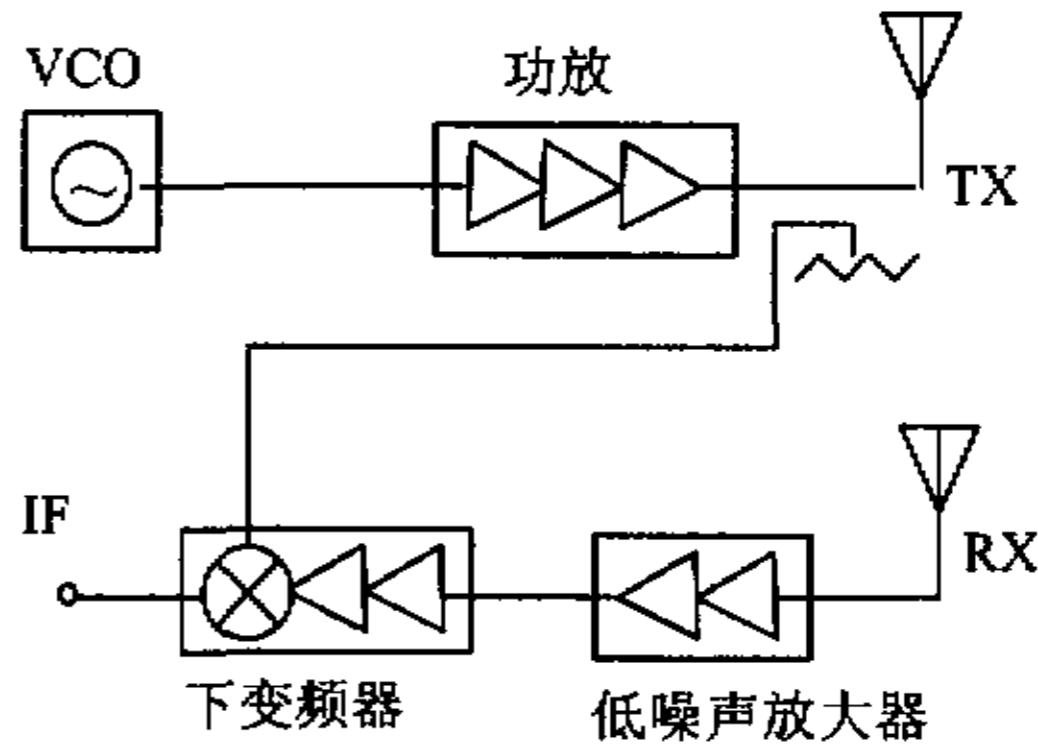


图 1 自控雷达前端

本文的研究工作将重点给出用 MEMS 技术设计和制造的 GaAs MEMS 振荡辐射天线的主要结果。

二、设计考虑

设计分析包括 Ku 波段 PHEMT 器件及其材料的设计, PHEMT 参数提取, Ku 波段振荡器电路分析, 以及 MEMS 天线设计等。为了达到匹配和在 GaAs 衬底上实现 MEMS 振荡辐射天线的初步性能, 还对加工工艺进行了严格的设计和安排。

1、PHEMT 器件与模型提取

采用计算机辅助设计的方法对 PHEMT 异质结构材料参数进行 CAD 优化 (如图 2 所示)。

该结构能有效提高器件的电流负载能力，满足振荡器的大信号要求，在噪声和增益方面也能达到振荡器的设计指标。

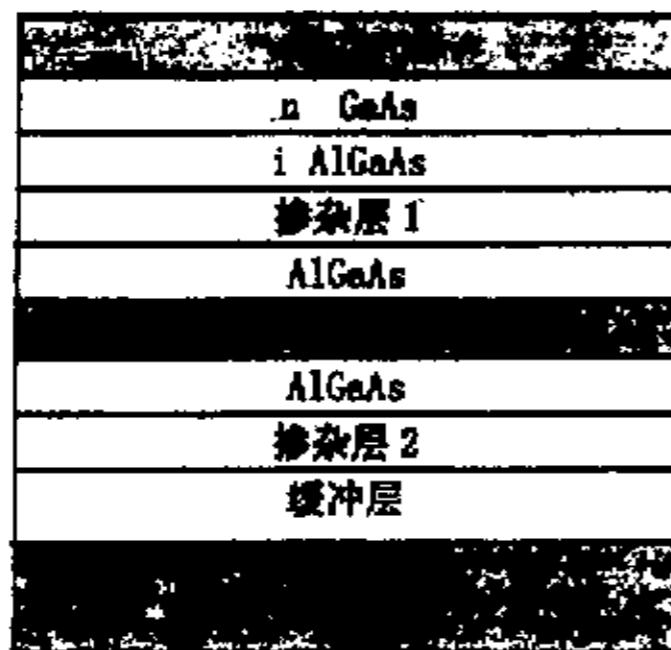


图 2 异质材料结构剖面图

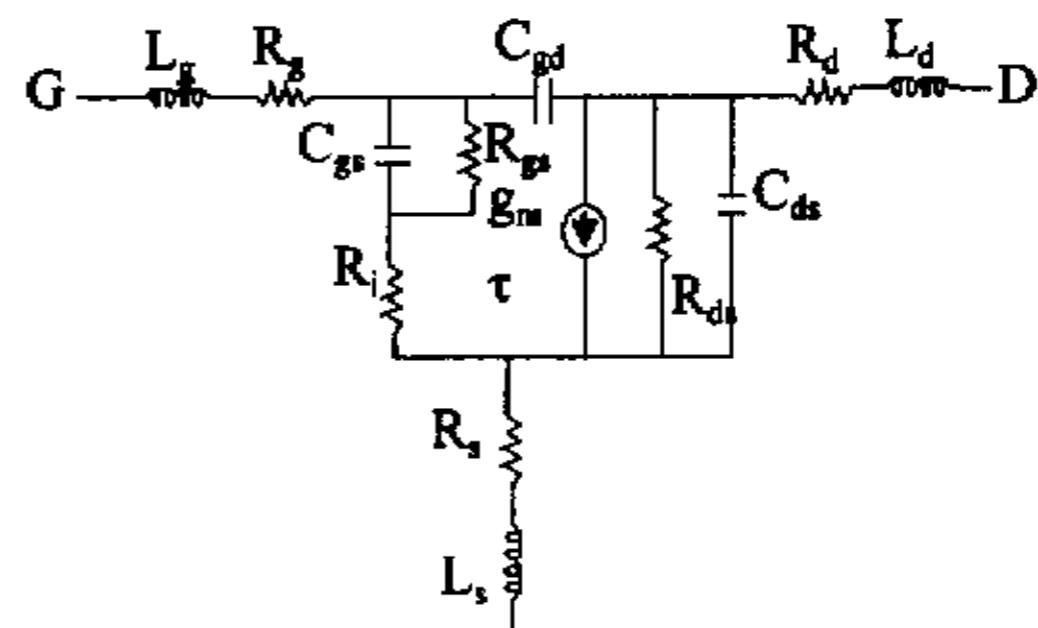


图 3 PHEMT 的等效电路

PHEMT 的等效电路如图 3 所示。基于南京电子器件研究所 3 英寸 GaAs MMIC 研制开发线研制的 $350\mu\text{m} \times 0.5\mu\text{m}$ 叉指 PHEMT 管芯在片测试结果推算出所设计 PHEMT 器件在 24GHz 时最大实用增益 MAG 为 7~8dB，可以用在振荡器设计上。结合 3 英寸 GaAs MMIC 研制开发线的 PHEMT 器件库^[3]，为了提高器件工作频率，以改善振荡器性能，最后选择单指栅宽 $25\mu\text{m}$ ，栅长 $0.5\mu\text{m}$ ，总栅宽为 $150\mu\text{m}$ 的叉指结构的 PHEMT 器件。

2、振荡器设计分析

Ku 波段振荡器采用共源工作方式。振荡电路的反馈形式有串联反馈、并联反馈以及联合反馈等。选取如图 4 所示的单片振荡器等效电路，该电路结构简单，仅靠 G、S 端接地电容来产生串联反馈。

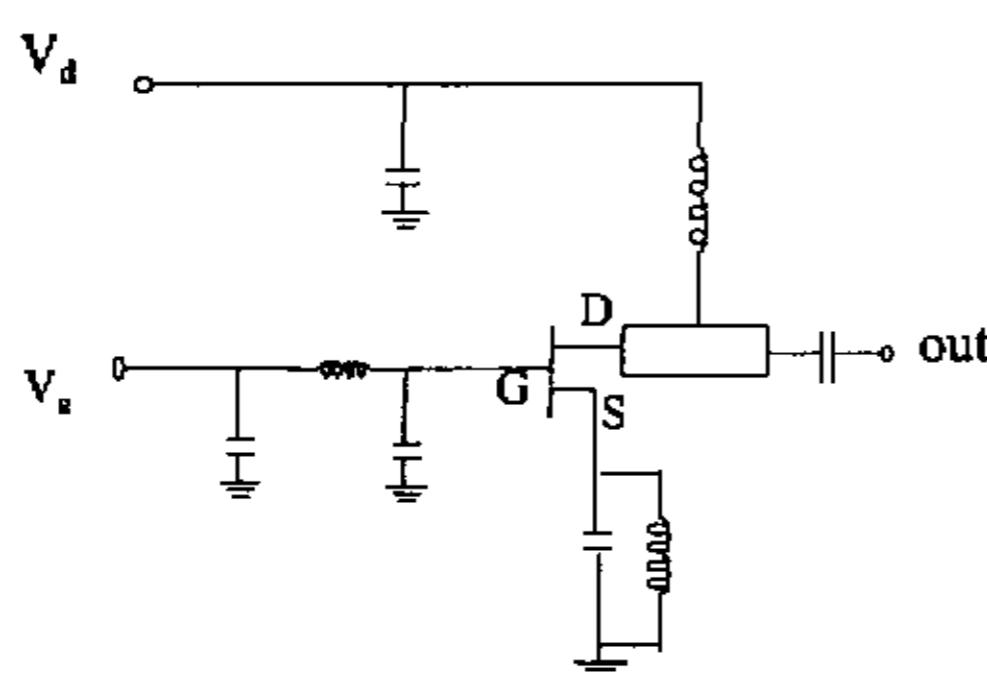


图 4 单片 24GHz 振荡器电路图

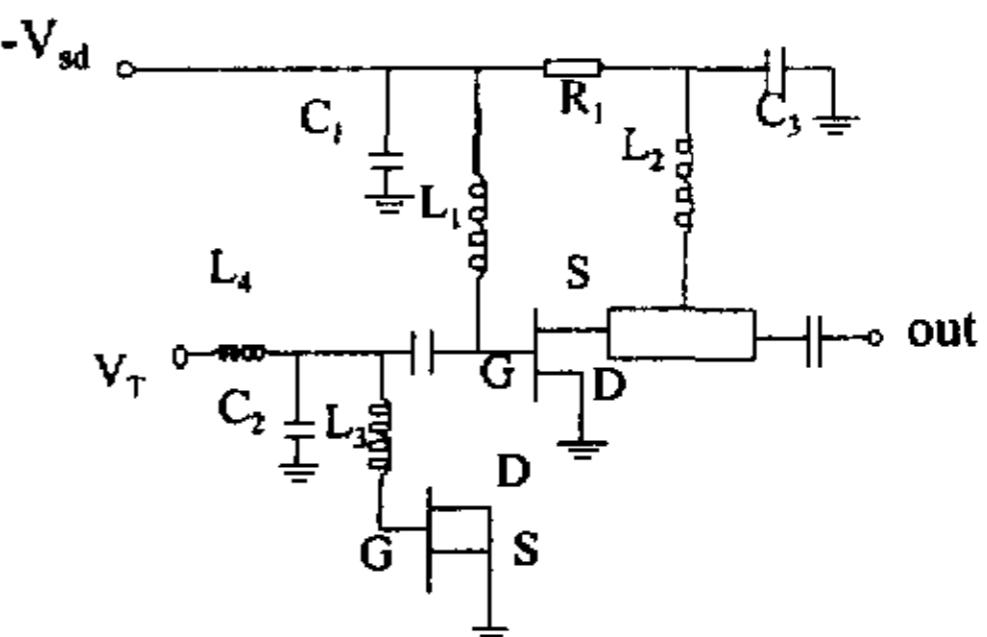


图 5 24GHz PHEMT 准单片 VCO 电路图

对三端器件只要接上适当的负载和反馈回路就能产生负阻，但负阻大小以及它的频率特性与器件性能有关，一旦器件选定了，负载的频率特性将影响振荡器的频带宽度和输出功率平坦度。

在具体计算中，输出端电抗角度为 0，而负载设计成 50Ω ，是为了与天线设计的特性阻抗相互匹配。频率设计在 24GHz，在 HP EESOF libra 工作站中进行了优化计算，最终结果，振荡器版图大小为 $1.2 \times 0.9\text{mm}^2$ 。

在最初的设计中，设计了 24GHz PHEMT 准单片 VCO 电路（如图 5），用 8mm PHEMT 低噪

声管 ($100\mu\text{m}$ 栅宽, 栅长 $0.25\mu\text{m}$) 进行微组装, 以验证设计的可行性。

3、天线设计简介

为了便于工艺实现, MEMS 天线为定向, 以后根据需要可设计为转动。在天线设计中, 关键在于天线和振荡器的频率和特性阻抗要一致。在 GaAs 衬底上天线设计的目标是频率和特性阻抗, 以及辐射波瓣较精确计算出来, 并尽可能做到尺寸小。由于天线制作必须与振荡器工艺兼容, 因此, 该天线材料的介电常数 ϵ_r 为 12.9, 厚度为 0.1mm , 金属层厚度为 $4\mu\text{m}$, 特性阻抗为 50Ω , 频率为 24GHz 。微型天线的形式很多, 它们的计算方法也各不相同。通过选取几种形状在 Ensemble 6.0 工作站中计算比较, 最终选取了如图 6 所示天线, 尺寸为 $2 \times 1.5\text{mm}^2$ 以内, 带宽 500MHz , 微波辐射方向是呈喇叭形向上发射。

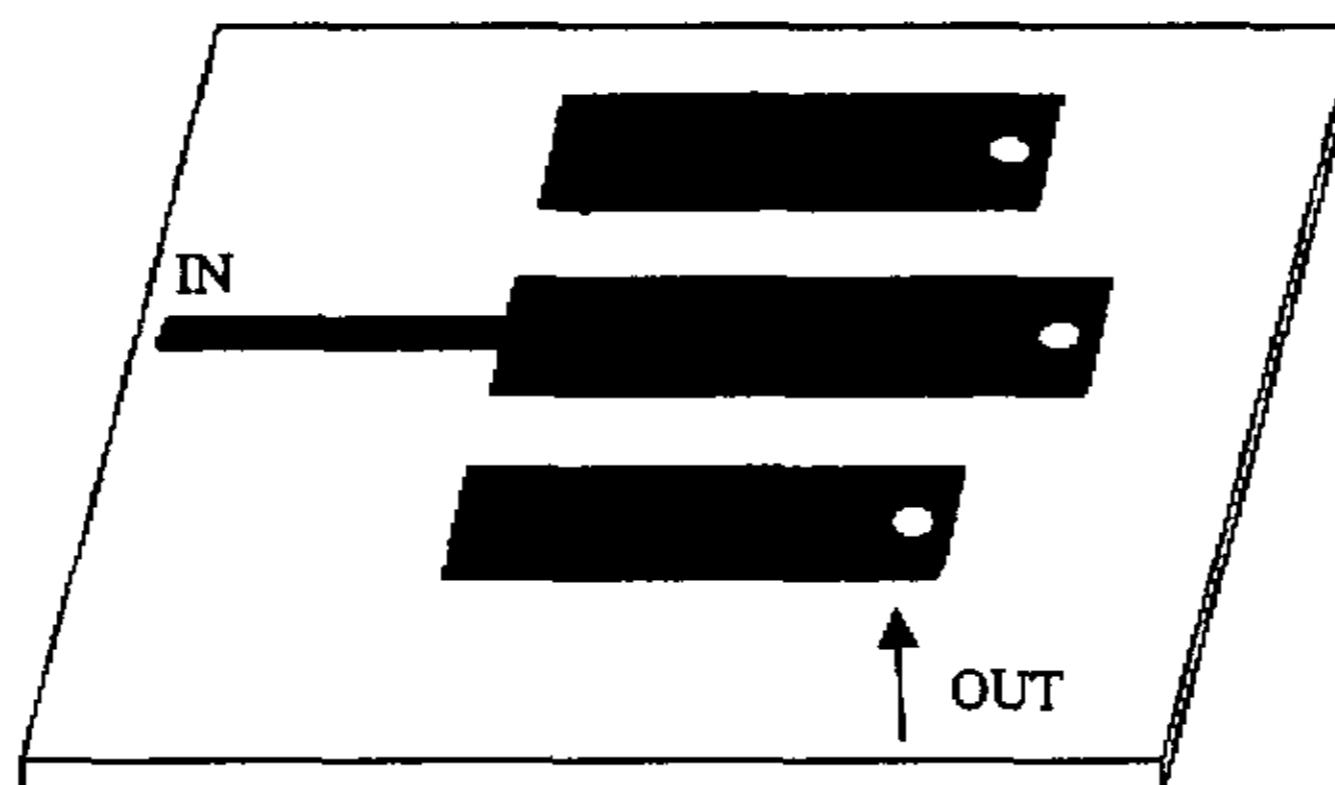


图 6 Ku 波段 MEMS 天线

三、实验结果

基于 3 英寸 GaAs MMIC 研制开发线成熟的 $0.5\mu\text{m}$ PHEMT 工艺, 研制出准单片和全单片的 Ku 波段 MEMS 振荡辐射天线。其中, 24GHz PHEMT 准单片 VCO 微组装后在 25.9GHz 振荡功率约有近 10mW 。全单片振荡辐射天线芯片布图示于图 7。芯片大小为 $1.5 \times 3.0\text{mm}^2$ 。有关性能正在测试中。



图 7 Ku 波段 MEMS 振荡辐射天线芯片布图

四、结论

用 MEMS 技术在 GaAs 衬底上研制了 Ku 波段振荡辐射天线，测得了初步性能，实验结果证明，这种微波 MEMS 技术达到了设计预期目的。进一步改进和完善后，作为微波 MEMS 传感器在汽车防撞，工业自动化等方面将会有广泛应用前景。

参考文献

- 1 Keigo Kamozaki, Naoyuki Kurita, Willy Hioe, et al. A 77GHz T/R MMIC Chip Set for Automotive Radar Systems. IEEE MTT-S Digest, 1997; p275-278
- 2 Nicholas P. Morenc. MMICS FOR AUTOMOTIVE RADAR APPLICATIONS. IEEE MTT-S Digest, 1996; p39-41
- 3 Chen Xiaojian, Chen Xuejun, Cen Yuanfei, et al. MMIC Modling Technique and Its Application. 2000 2nd International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology Proceedings(ICMMT 2000);P5-9

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>