

# Ku 波段单片 MEMS 砷化镓振荡器和辐射天线

钮利荣 李拂晓 王学之 林金庭

(南京电子器件研究所, 210016)

刘庭华 章文勋

(东南大学, 210096)

**摘要:** 用 MEMS 技术设计并制作了 Ku 波段单片振荡器和制作在砷化镓衬底上的 Ku 波段辐射天线。其中单片振荡器在 18.29GHz 输出功率达 9.17dBm; Ku 波段 MEMS 辐射天线在 18.835GHz 附近驻波 $<1.5$ , 带宽 180MHz, 垂直极化增益为-7.5dB; 同时制作的单片 MEMS 振荡辐射天线将振荡器与微型天线制作在一个砷化镓衬底上, 芯片面积仅  $1.5 \times 3.0 \text{ mm}^2$ 。

**关键词:** MEMS 振荡器 辐射天线

## 一、引言

MEMS 技术近几年在军民两方面都越来越广泛地被应用。将振荡器和 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)<sup>[1]</sup>。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<sup>[2]</sup>, 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批量应用。MEMS 自控雷达在工业自动化方面也有广泛的应用前景。

本文的研究工作将重点给出用 MEMS 技术设计和制造的 Ku 波段砷化镓振荡器和 MEMS 辐射天线等的最新结果。

## 二、设计考虑

根据南京电子器件研究所 3 英寸砷化镓 MMIC 研制开发线的现有成熟的工艺能力和微波在片测试设备的频率限制, 设计的频率在 18GHz。

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。

### 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, 采用如图 1 所示结构。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。

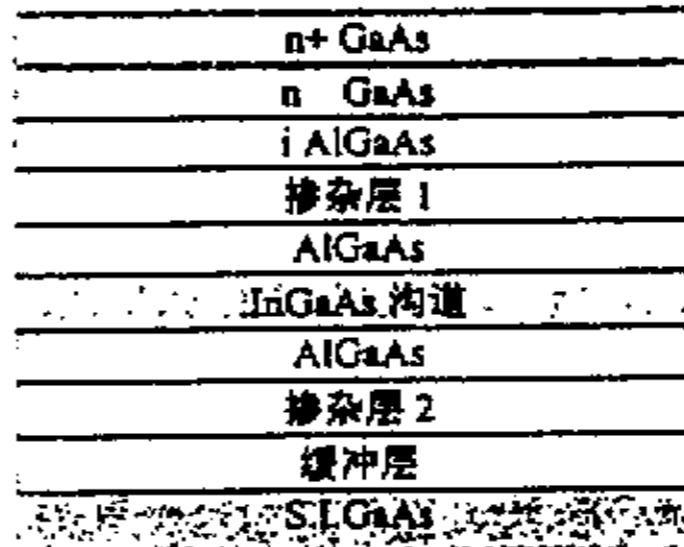


图 1 异质材料结构剖面图

3 英寸砷化镓 MMIC 研制开发线的 PHEMT 器件库<sup>[3]</sup> 中的  $35\mu\text{m} \times 0.5\mu\text{m} \times 10$  的叉指 PHEMT 管芯在 18GHz 时不匹配增益为 3~4dB, 推算出最大可用增益为 8~9dB (见图 2), 可以用在振荡器设计上。为提高器件工作频率, 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 3 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。

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  $50\Omega$ , 是为了与天线设计的特性阻抗相互匹配。频率设计在 18GHz, 在 HP EESOF libra 工作站中进行了优化计算。

## 3、天线设计

为便于工艺实现, 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。在砷化镓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  $\epsilon_r$  为 12.9, 厚度为 0.1mm, 金属层厚度为  $4\mu\text{m}$ , 特性阻抗为  $50\Omega$ , 频率为 18GHz。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, 最终选取的天线, 尺寸为  $2 \times 1.5\text{mm}^2$ , 带宽 500MHz, 微波辐射方向是呈喇叭形向上发射。

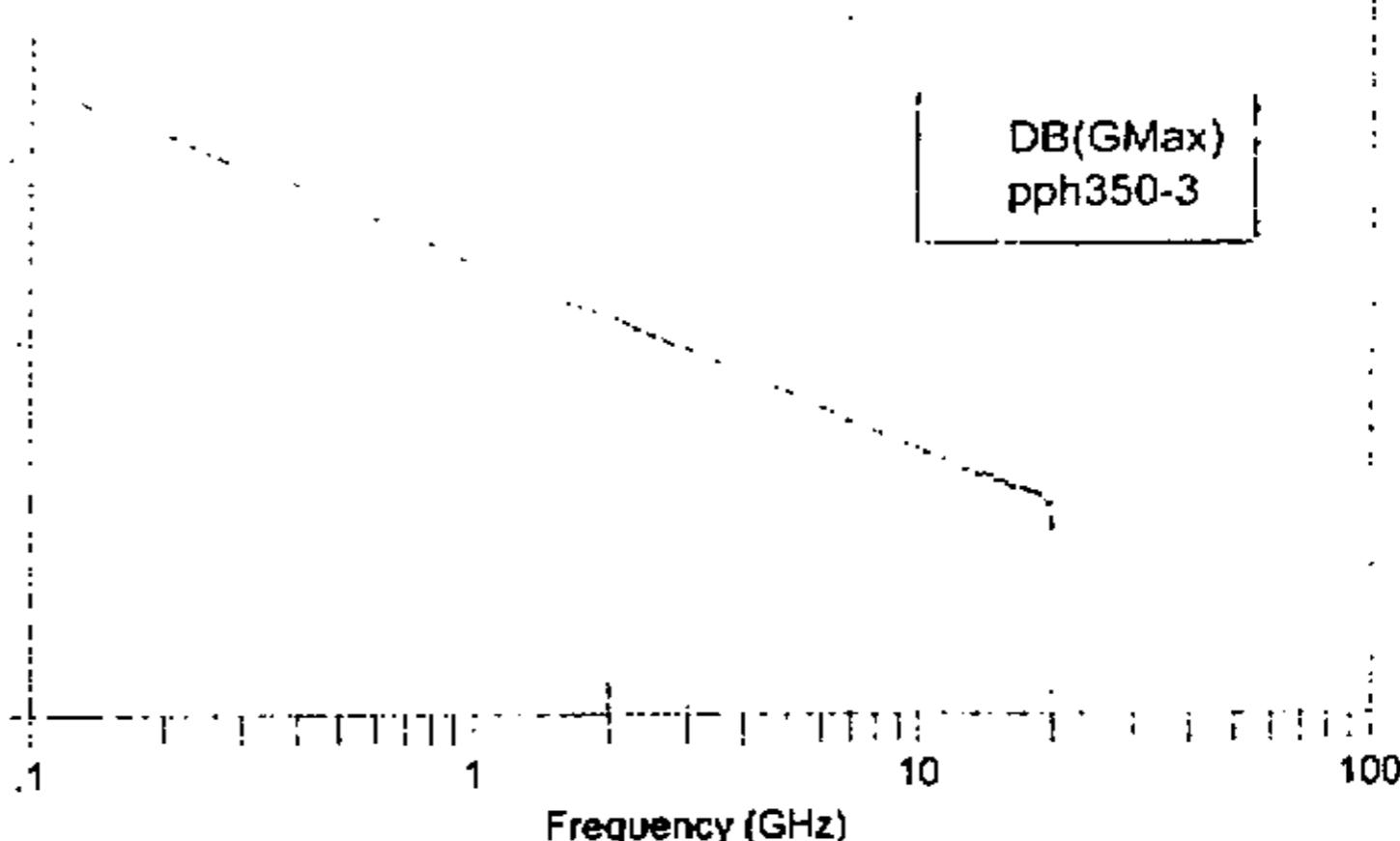


图 2 PHEMT 最大可用增益推算结果

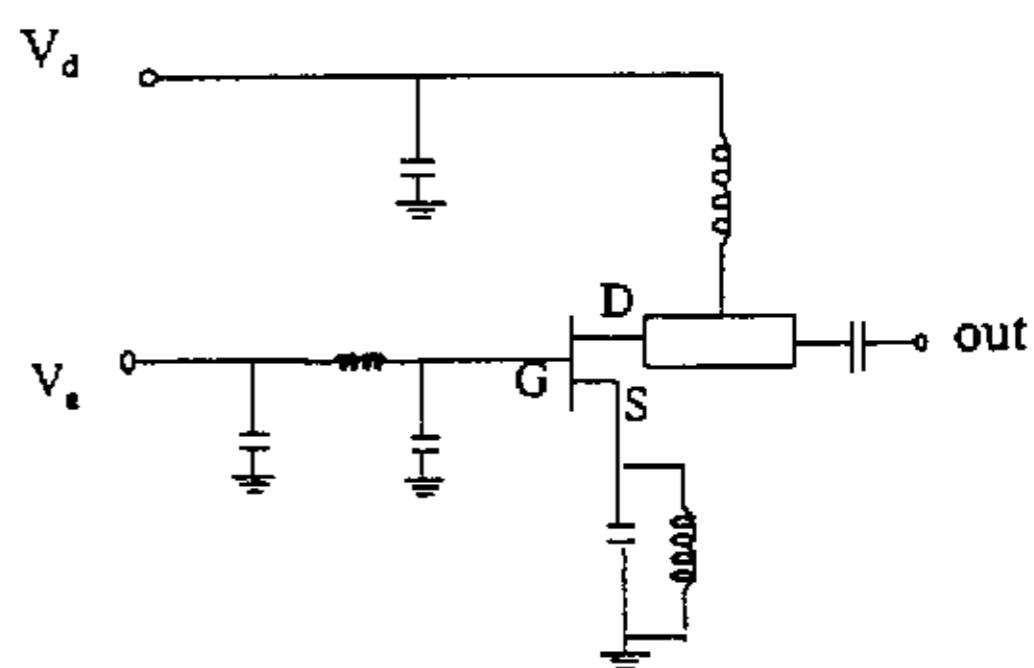


图 3 单片 18GHz 振荡器等效电路图

### 三、实验结果

基于3英寸砷化镓MMIC研制开发线成熟的 $0.5\mu\text{m}$  PHEMT工艺，研制出Ku波段单片振荡器和制作在砷化镓衬底上的Ku波段辐射天线以及单片MEMS振荡辐射天线。

1、Ku波段单片振荡器芯片（照片见图4）面积 $1.2\times0.9\text{ mm}^2$ 。在 $18.29\text{GHz}$ 输出功率达 $9.17\text{dBm}$ ，其频谱测试结果见图5。

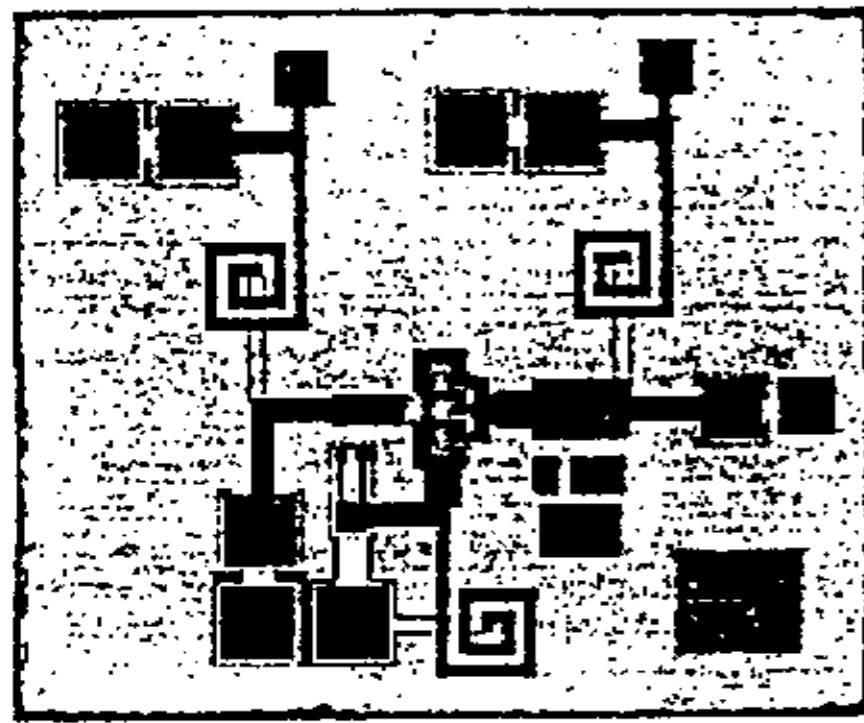


图4 Ku波段单片振荡器照片

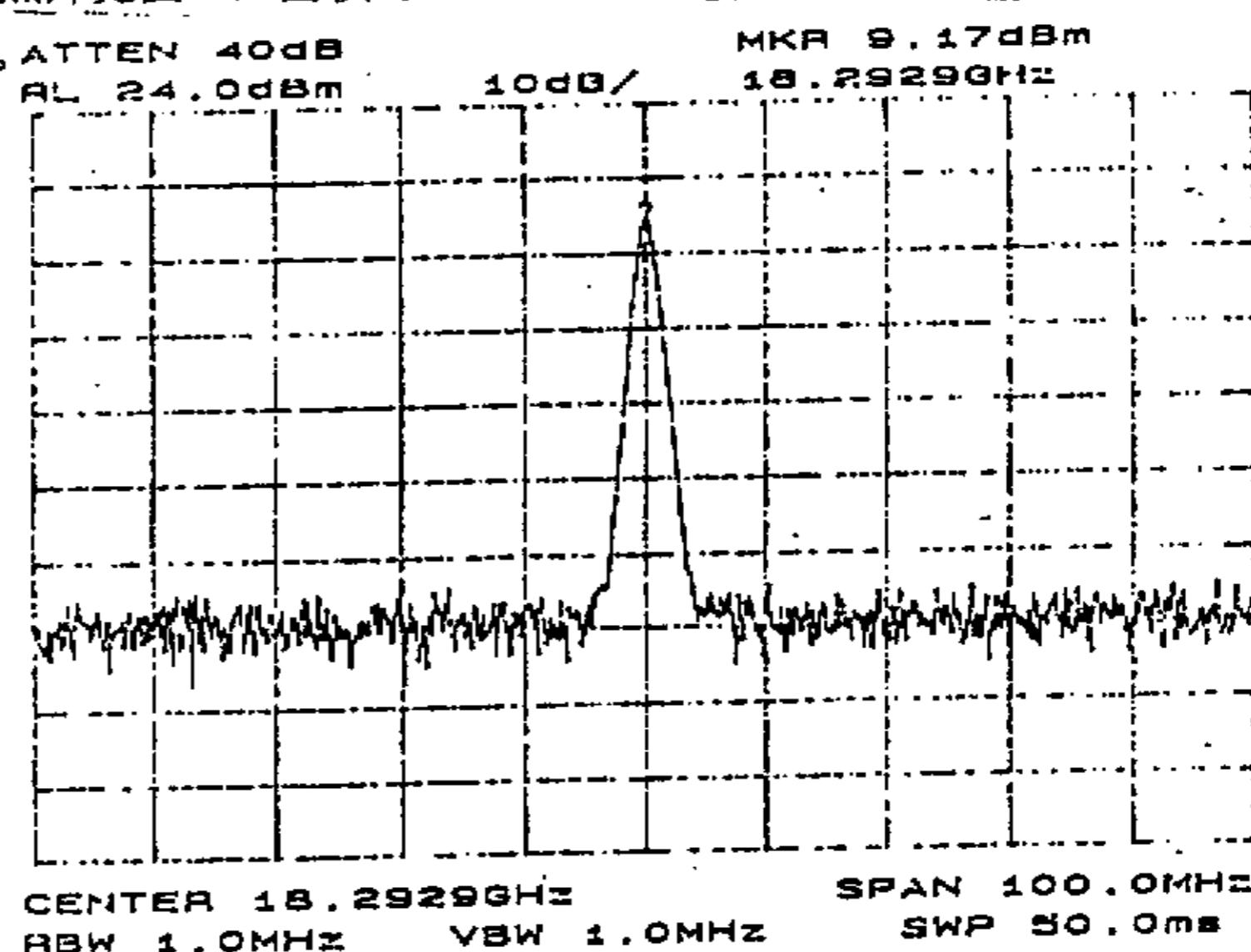


图5 Ku波段单片振荡器频谱测试结果

2、Ku波段MEMS辐射天线芯片（照片见图6）大小为 $1.5\times3.0\text{mm}^2$ ，驻波测试结果见图7，在 $18.835\text{GHz}$ 附近驻波 $<1.5$ ，带宽 $180\text{MHz}$ ；垂直极化方向图见图8，经过与标准天线的测试结果比较得出，该Ku波段MEMS辐射天线的垂直极化增益为 $-7.5\text{dB}$ 。



图6 Ku波段MEMS辐射天线照片

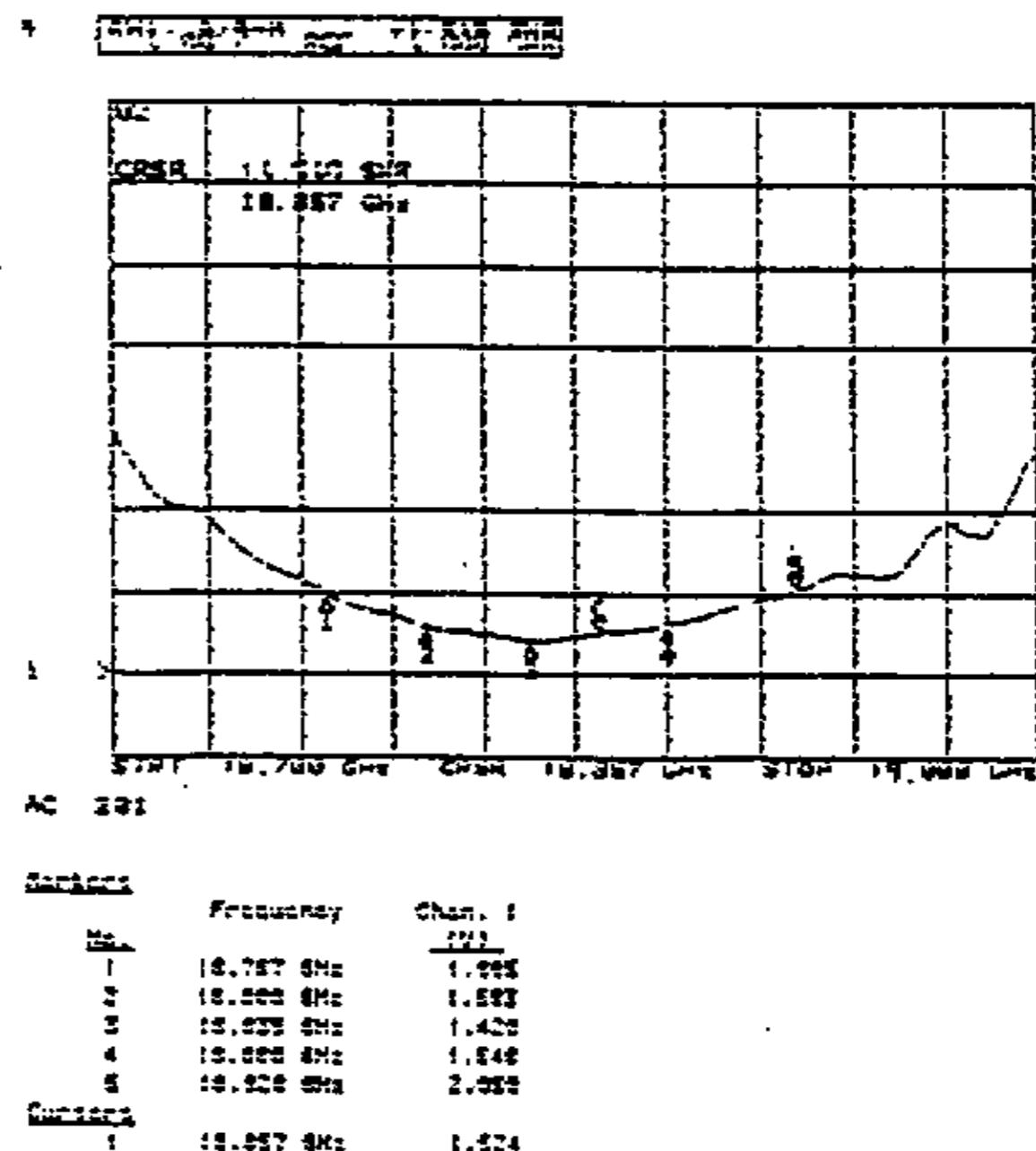


图7 Ku波段MEMS天线驻波测试结果

3、单片 MEMS 振荡辐射天线的振荡器与微型天线制作在一个砷化镓衬底上（照片见图 9），芯片面积为  $1.5 \times 3.0 \text{ mm}^2$ 。有关性能正在测试中。

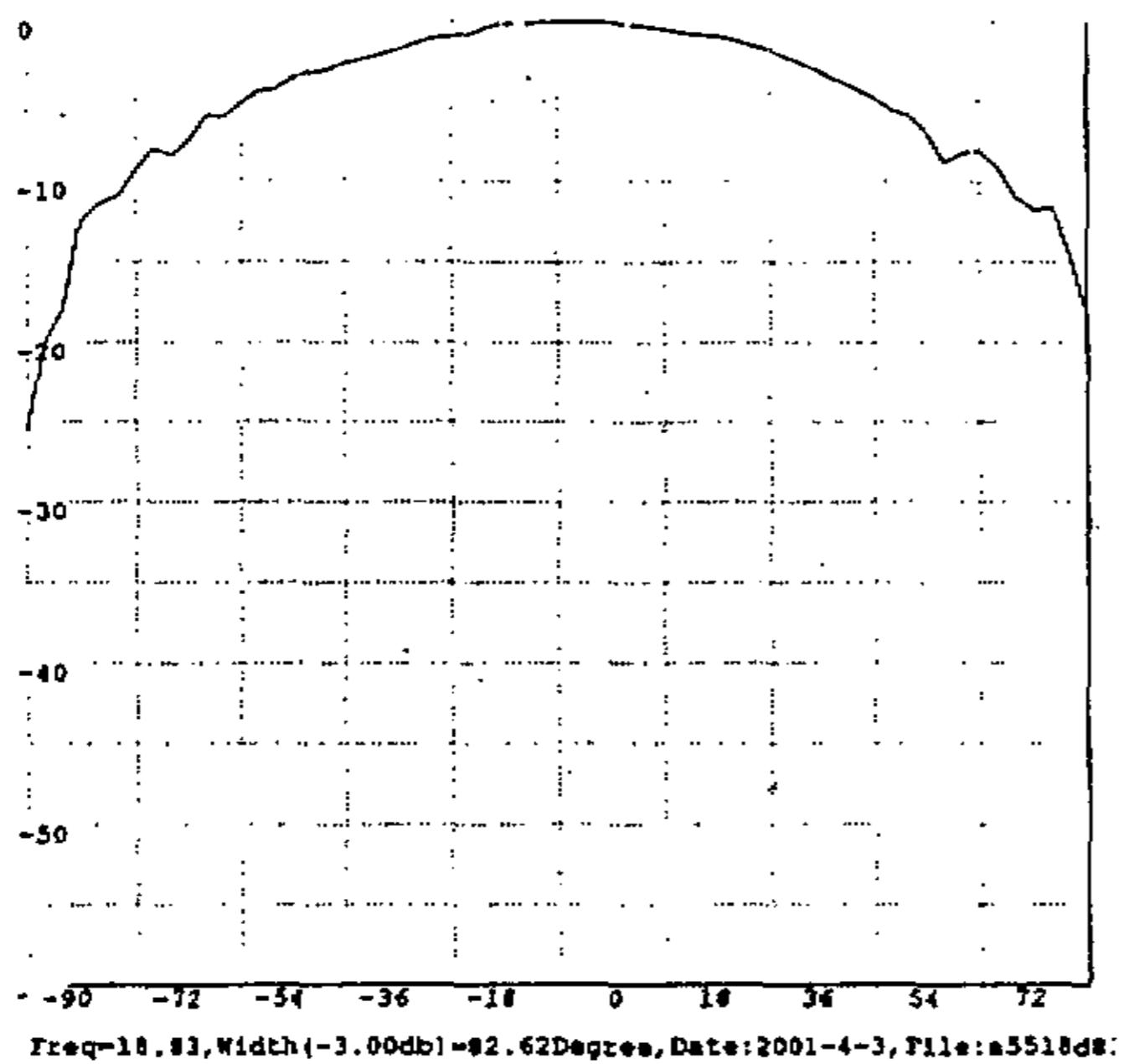


图 8 Ku 波段 MEMS 天线垂直极化方向图

#### 四、结论

用 MEMS 技术在砷化镓衬底上研制了 Ku 波段单片振荡器和制作在砷化镓衬底上的 Ku 波段辐射天线以及单片 MEMS 振荡辐射天线。其中单片振荡器在 18.29GHz 输出功率达 9.17dBm；Ku 波段 MEMS 辐射天线在 18.835GHz 附近驻波  $< 1.5$ ；全单片 MEMS 辐射天线的振荡器与微型天线制作在一个砷化镓衬底上，芯片面积为  $1.5 \times 3.0 \text{ mm}^2$ 。实验结果证明，这种微波 MEMS 天线性能达到了设计预期目的。在此基础上，调整振荡器振荡频率，以使和天线频率匹配，研制成单片振荡辐射单元。

#### 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 2<sup>nd</sup> International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology Proceedings(ICM 2000); P5-9

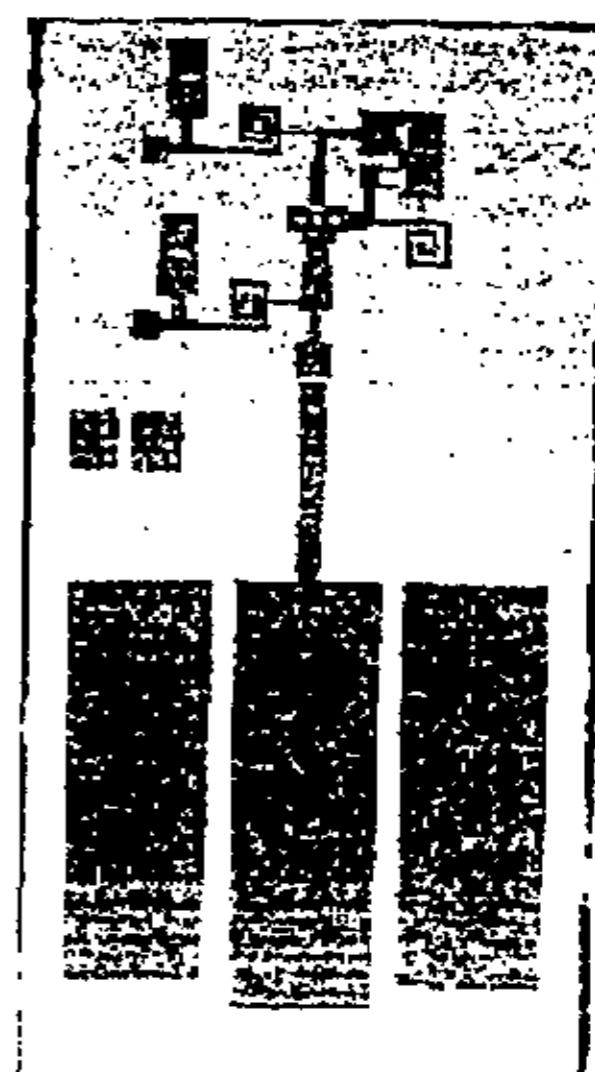


图 9 Ku 波段 MEMS 振荡辐射天线照片

## 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](http://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>



