

基于 $0.25\mu\text{m}$ GaAs PHEMT 工艺的 32GHz 毫米波单片功率放大器

顾建忠^{1,2} 张 健^{1,2} 喻筱静¹ 钱 蓉¹ 李凌云¹ 孙晓玮^{1,†}

(1 中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 上海 200050)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 设计、制造和测试了基于 $0.25\mu\text{m}$ 栅长 GaAs 工艺的 32GHz 毫米波单片功率放大器. 该功率放大器采用三级放大, 工作电压为 6V, 工作电流为 600mA. 带内最大小信号增益为 17.4dB, 在 32GHz 具有 0.5W 的饱和功率输出.

关键词: 毫米波单片集成电路; 功率放大器; 赝配高电子迁移率晶体管

PACC: 7340J **EEACC:** 2560

中图分类号: TN43 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4177(2006)12-2160-03

1 引言

近年来, 通信系统在微波和毫米波频段的需求越来越多, 例如卫星通信系统、点对多点分布系统、个人通信链路等. 功率放大器是这些系统中的一个重要器件, 虽然传统的行波电子管(TWTA)可以在毫米波频段应用, 但是固态的功率放大器具有更小的尺寸及更高的可靠性, 同时也容易量产, 降低成本. 在过去的几十年, 基于 GaAs 衬底的单片微波、毫米波集成电路(MMIC)有了长足的进展^[1], 金属场效应管(MESFET)的功率放大器在微波频段内起到了重要的作用, MESFET 的截止频率在栅长为 $0.25\mu\text{m}$ 的工艺条件下一般为 50GHz. 随着频率提高, 进入毫米波频段, 赝配高电子迁移率晶体管(PHEMT)的结构被提出来^[2~5], 这类器件在二维电子气结构及材料系统等方面得到了巨大改进, 使电子迁移率大大提高, 通常 $0.25\mu\text{m}$ PHEMT 的截止频率为 90GHz. 在国内, 基于此工艺的单片微波功率放大器也逐步被研制出来^[6,7].

本文基于 $0.25\mu\text{m}$ GaAs PHEMT 工艺, 设计和制造了一个三级的 32GHz 功率放大器, 该放大器具有 0.5W 的功率输出和最大 17.4dB 的小信号增益. 直流偏置条件为: 6V, 600mA. 整个功率放大器的输入输出阻抗均匹配到 50Ω .

2 电路设计

图 1 是所设计的功率放大器的版图照片, 芯片

面积为 $2.6\text{mm} \times 3\text{mm}$. 最后一级功率输出采用 4 个 $8 \times 75\mu\text{m}$ 的功率管合成, 在毫米波频段该晶体管仍然能够提供足够高的增益和电流密度. 为了满足小信号增益 17dB 的初步设计要求, 采用三级放大.

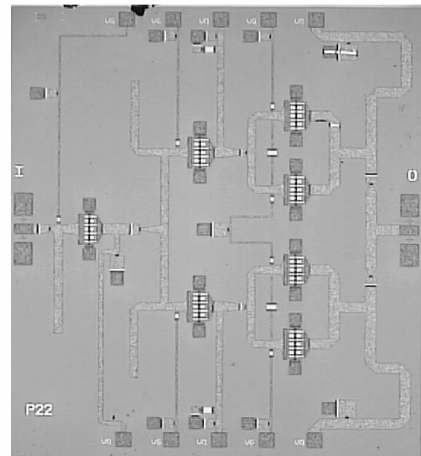


图 1 32GHz 功率放大器的芯片照片 ($2.6\text{mm} \times 3\text{mm}$)

Fig.1 Photograph of the 32GHz power amplifier ($2.6\text{mm} \times 3\text{mm}$)

图 2 为三级功率放大器的结构拓扑图. 对于最后一级功率输出网络, 需要将四个晶体管的功率合成, 同时起到阻抗匹配的作用, 将晶体的最佳功率输出阻抗并联后匹配到 50Ω 输出, 最后该匹配网络还要承担给四个晶体管提供直流偏置的作用. 考虑到芯片面积, 部分直流馈电网络不采用传统的四

† 通信作者. Email: xwsun@mail.sim.ac.cn

2006-02-27 收到, 2006-08-23 定稿

分之一波长,而是将匹配网络和直流馈电网络相结合,达到节省面积和阻抗匹配的目的.两个级间匹配网络需要同时实现前一级的输出匹配和后一级的输入匹配,级间匹配为了使晶体管达到尽可能大的增益,输入输出都采用共轭匹配.最后设计第一级的输入匹配网络,利用开路的微带线将晶体管的输入阻抗在共轭匹配到 50 Ω .

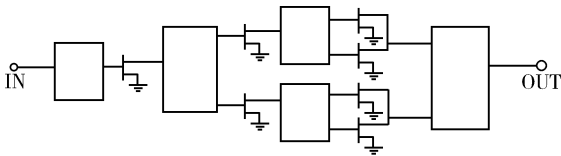


图 2 三级功率放大器的结构拓扑图
Fig. 2 Topology of three stages power amplifier

消除低频振荡是设计一个功率放大器需要满足的首要条件之一,在功率放大器的每一级匹配网络的设计过程中都需要考虑到.传统的放大器一般在晶体管的栅极串联一个电阻,通过有损匹配使电路稳定,这样的方法虽然对于消除低频振荡很有效,但是往往会降低晶体管的增益.在第二级晶体管的漏匹配网络采用如图 3 所示的电阻电容网络,目的是为了消除低频的振荡.该偏置网络 C_3 的电容值为 0.8pF,对于工作频段内节点 P3 接近理想的接地,根据传输线理论,该点的电压接近于 0,所以 C_2 和 R_2 网络对于工作频段内的信号不产生衰减.但是对于低频信号,该节点 P 并非理想的接地状态, C_2 和 R_2 网络就会起到消除低频振荡和吸收低频增益的作用.

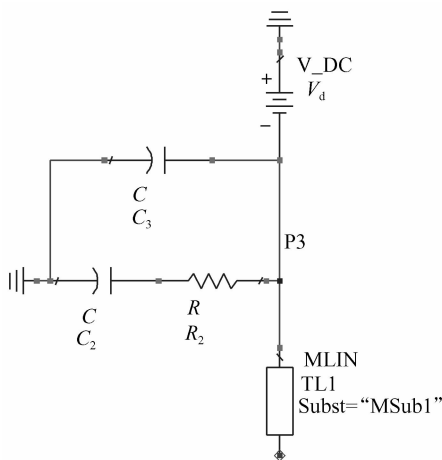


图 3 第二级晶体管漏极直流偏置网络拓扑图
Fig. 3 Topology of drain DC bias for the second transistor

3 测试结果

该功率放大器的小信号测试使用 HP8722D 向量网络分析仪.直流偏置条件为:6V,600mA.图 4 是测试的功率放大器的小信号增益和输入输出反射系数.从图中可以看到在 32~33GHz,小信号增益均大于 16dB,其中在 32.4GHz 具有最大的小信号增益 17.4dB.输入和输出反射系数略有漂移,在 32.5GHz 附近,输入和输出反射系数均为 -9dB.图 5 是在 32GHz 频率测试的功率放大器输出功率、增益和输入功率的曲线.从图中可以看到随着输入功率的增加,输出功率也逐渐增加,输入功率为 12dBm 时,输出功率达到 P_{-1dB} ,信号增益下降到 15dB.继续增加输入功率,放大器输出功率达到 P_{sat} .

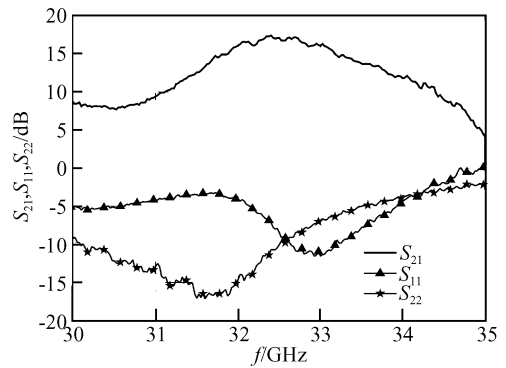


图 4 功率放大器的小信号测试曲线
Fig. 4 Measured small signal of power amplifier

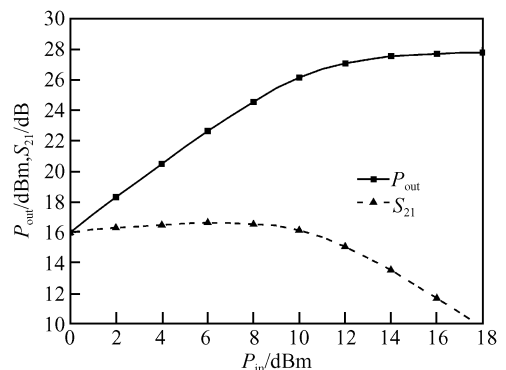


图 5 在 32GHz 测试的功率放大器输出功率、增益和输入功率的曲线
Fig. 5 Measured output power and gain with input power at 32GHz

在高功率测试中,功率放大器必然会产生大量的热.功率放大器的测试一般有两种方法:一是给芯片提供热沉,以增加散热面积和散热速度来降低芯片温度;二是采用脉冲测试的方法,即将直流馈电电压由连续直流变为直流脉冲,放大器在脉冲内工作,

而在其余时间内由于没有直流馈电而不工作,这样在脉冲周期内工作所产生的热量能够在没有脉冲的周期内得到充分的散发,从而降低对散热系统的要求,控制了芯片温度的上升.图6是在连续波和直流脉冲条件下测试的功率放大器饱和输出功率比较.从图中可以看到采用直流脉冲的测试方法可以最大限度地消除结温上升对芯片输出功率的影响,在32GHz采用脉冲测试得到饱和输出功率为27.6dBm.

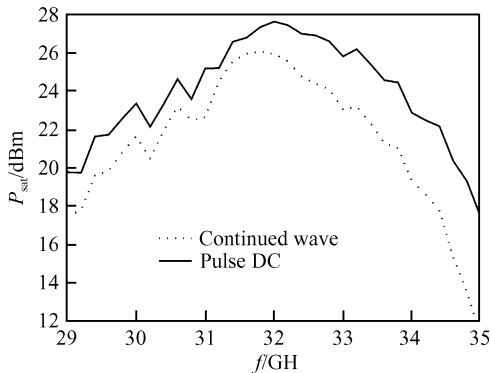


图6 在连续波和直流脉冲条件下测试的功率放大器饱和输出功率

Fig. 6 Measured saturated output power at continued and pulse DC bias

4 结论

本文设计了一个基于 $0.25\mu\text{m}$ 的三级 32GHz 单片 PHEMT 毫米波功率放大器,输入输出阻抗均

在片匹配到 50Ω ,测试结果表明在带内最大的小信号增益可以达到 17.4dB,饱和功率输出在 31.5~32.5GHz 大于 0.5W.本文还简要探讨了毫米波功率放大器稳定性设计的方法,从测试结果表明,该方法可以有效地解决功率放大器设计中的低频振荡问题.

参考文献

- [1] Kim B, Camilleri N, Shih H D, et al. 35GHz GaAs power MESFET's and monolithic amplifiers. *IEEE Trans Microw Theory Tech*, 1989, 37(9):1327
- [2] Ferguson D W, Allen S A, Kao M Y, et al. 35GHz pseudomorphic HEMT MMIC power amplifier. *IEEE Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symposium*, 1991
- [3] Shanfield S, Schindler M, Aucoin L, et al. A high linearity high efficiency pseudomorphic HEMT. *IEEE GaAs IC Symposium*, 1992
- [4] Sharma A K, Onak G, Yamauchi D, et al. Millimeter-wave high power amplifiers using pseudomorphic HEMTS. *IEEE MTT-S International Microwave Symposium*, 1994
- [5] Ho T, Metzger G, Cornfeld A, et al. Monolithic millimeter-wave pseudomorphic HEMT power amplifiers at Ka-band. *IEEE Microw Guided Wave Lett*, 1992, 2(8):325
- [6] Chen Xinyu, Gao Jianfeng, Wang Junxian, et al. Ka-band PHEMT power amplifier. *Research & Progress of SSE*, 2001, 21(4):371 (in Chinese) [陈新宇, 高建峰, 王军贤, 等. Ka 波段 PHEMT 功率放大器. *固体电子学研究进展*, 2001, 21(4): 371]
- [7] Xu Xiaoli, Zhang Bin, Shao Kai. A 2.1GHz pre-distortion linearity GaAs MMIC. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2004, 25(3):321 (in Chinese) [许晓丽, 张斌, 邵凯. 用 GaAs MMIC 实现 2.1GHz 的预失真线性化单片. *半导体学报*, 2004, 25(3):321]

32GHz MMIC Power Amplifier Using $0.25\mu\text{m}$ GaAs PHEMT

Gu Jianzhong^{1,2}, Zhang Jian^{1,2}, Yu Xiaojing¹, Qian Rong¹, Li Lingyun¹, and Sun Xiaowei^{1,†}

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

(2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: A 32GHz 0.5W PHEMT MMIC power amplifier, which has three stages, is designed, fabricated, and measured. It operates under a 6V power supply and 600mA DC bias. A 17.4dB maximum small signal gain and 0.5W saturated output power are achieved at the operation frequency.

Key words: MMIC; power amplifier; PHEMT

PACC: 7340J **EEACC:** 2560

Article ID: 0253-4177(2006)12-2160-03

† Corresponding author. Email: xwsun@mail.sim.ac.cn

Received 27 February 2006, revised manuscript received 23 August 2006