

# 13.7~14.5GHz 内匹配型 GaAs 大功率器件\*

吴小帅<sup>1,†</sup> 杨瑞霞<sup>2</sup> 阎德立<sup>3</sup> 刘岳巍<sup>3</sup> 贾科进<sup>2</sup> 何大伟<sup>1</sup> 杨克武<sup>1</sup>

(1 中国电子科技集团公司第十三研究所, 石家庄 050051)

(2 河北工业大学信息工程学院, 天津 300130)

(3 石家庄铁道学院电气分院, 石家庄 050051)

**摘要:** 经过对器件结构、钝化等工艺的改进, 成功研制出总栅宽为 19.2mm 的 GaAs 功率 HFET. 两管芯合成的内匹配器件, 当  $V_{ds} = 9V$ , 输入功率  $P_{in} = 35dBm$  时, 在  $f = 13.7 \sim 14.5GHz$  频段内, 输出功率  $P_o > 42dBm$  (15.8W), 功率增益  $G_p > 7dB$ , 功率附加效率  $PAE > 35\%$ , 两管芯合成效率大于 90%, 其中在 14.3GHz 频率点, 输出功率达到 42.54dBm (17.9W), 增益 7.54dB.

**关键词:** 器件; 内匹配; HFET; 功率合成  
EEACC: 2560

中图分类号: TN202.2 文献标识码: A 文章编号: 0253-4177(2007)07-1104-03

## 1 引言

作为一门新技术, 微波功率器件随着自身的技术进步而分若干阶段步入微波应用领域. 从二端器件到三端器件, 从以 Si 为代表的元素半导体到以 GaAs 为代表的化合物半导体, 从同质结构器件到异质结构器件, 新的理论、新的材料、新的器件结构和新的工艺技术不断进步, 改善了军用装置系统的性能, 并为新一代军用系统的开发应用展示了广阔前景. 微波功率器件的应用领域, 大量地集中在雷达、电子战(EW)、通信和灵巧武器系统等领域. 而且军用系统的需求, 要求器件工作在更高的频率、更低的噪声系数、更大的输出功率、更高的功率附加效率、更宽的频带动态范围. 内匹配技术是微波功率器件实现大功率的必由途径, 也是微波大功率器件制造中的一项关键技术. 一个内匹配型 GaAs 功率器件由管芯、管壳和输入、输出内匹配电路组成. 即将有源管芯与无源微波匹配元件封装在标准化的管壳内, 在一定的微波频段内实现功率放大.

## 2 管芯的研制

### 2.1 栅偏源结构

器件的击穿是由于器件结构的局部电场过高, 对于 HFET 器件, 栅电极靠漏一侧附近的电场强度是最大的. 减小电场强度的最大值, 可以明显提高击穿电压. 因此在器件结构设计时, 采用栅偏源结构设

计, 增加栅漏之间的距离, 在相同电压的情况下, 可以有效减小栅电极靠漏一侧附近的电场强度, 起到增加击穿电压的作用. 同时栅偏源结构设计可以减小源电阻, 增大跨导  $G_m$  和  $I_{dss}$ .

### 2.2 器件钝化工艺

器件采用了  $Si_3N_4$  钝化层,  $Si_3N_4$  钝化通常会引入应力, 影响器件的直流特性. 为了降低钝化引入的应力, 对  $Si_3N_4$  钝化层制备工艺进行了改进. 首先钝化前对器件的表面进行预处理, 降低 AlGaAs 表面的活性. 然后, 利用 He 对 H 的反应具有催化作用的特性, 通过调整 He/ $N_2$  比例, 来达到控制 H 含量的目的, 降低  $Si_3N_4$  膜应力. 由图 1 氮化硅生长应力控制曲线可以看出效果较为显著, 制备的  $Si_3N_4$  膜应力已经做到压应力小于 50MPa, BOE(1:6) 腐蚀速率小于 20nm/min.

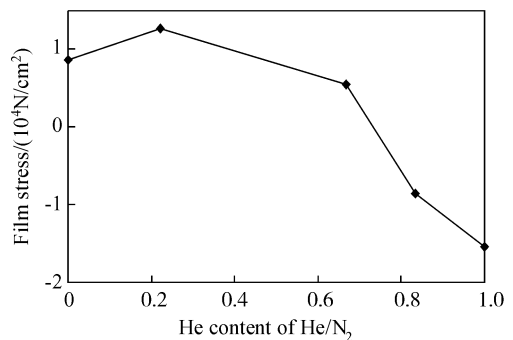


图 1 氮化硅生长应力控制曲线

Fig. 1 Stress control of  $Si_3N_4$  growth

\* 河北省自然科学基金资助项目(批准号: F2007000098)

† 通信作者. Email: wxsMichael@163.com

2007-01-03 收到, 2007-01-29 定稿

同时对栅挖槽<sup>[1]</sup>、三层胶制作 T 形栅、欧姆接触等工艺进行了改进,成功研制出了总栅宽为 19.2mm 的 GaAs 功率 HFET。

### 3 内匹配电路的设计

内匹配技术是微波大功率器件制造中的一项关键技术,它的作用是使管芯之间、管芯各部分之间在信号幅度和相位上获得平衡,提升管芯输入和输出阻抗的实部,对参与内匹配的管芯进行功率分配和功率合成。内匹配电路由一些匹配元件构成,常用的匹配元件是键合引线, MIM 电容, 功分器和合成器等。本文的内匹配电路采用 LC 低通滤波网络<sup>[2]</sup>, 键合引线电感和 MIM 电容组成 LC 结构, 再通过  $\lambda/4$  阻抗变换线匹配至 50 $\Omega$ , 两管芯合成的电路拓扑结构如图 2 所示。

通过测量小栅宽管芯的  $S$  参数<sup>[3]</sup>, 利用建模软件提取其小信号等效电路模型<sup>[4,5]</sup>, 同时结合负载牵引得到大信号模型<sup>[6]</sup>, 进而按比例递推出 19.2mm 栅宽功率 HFET 的大信号模型, 然后利用 ADS 软件对匹配电路进行优化仿真。最终得到电容、电感值和功分器微带电路的参数。制作电容采用厚 0.15mm 的高介陶瓷, 功分器的微带电路制作在厚 0.5mm 的  $Al_2O_3$  陶瓷基片上, 键合所用金丝直径为 25 $\mu m$ 。管壳为无氧铜材料, 腔内尺寸为 8.6mm  $\times$  8.5mm。通过烧结、键合把管芯和匹配元件装配在管壳内, 调整电容值和改变键合引线长度、弧度来微调匹配电路, 使管芯发挥出更好的性能。

### 4 器件的性能

#### 4.1 器件的直流特性

两胞合成的内匹配器件饱和漏电流  $I_{dss} = 300mA/mm$ , 跨导  $G_m = 210mS/mm$ , 栅源夹断电压  $V_p = -1.8V$ , 栅漏击穿电压  $BV_{gd} = 16V/5mA$ , 源漏击穿电压  $BV_{sd} = 14V/5mA$ 。

#### 4.2 器件的微波性能

单个 19.2mm 栅宽管芯内匹配器件在  $V_{ds} = 9V$ ,

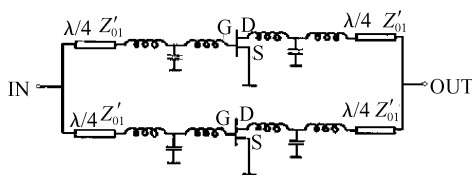


图 2 两管芯合成的电路拓扑结构图

Fig.2 Photograph of the circuit topology of the combination of two chips

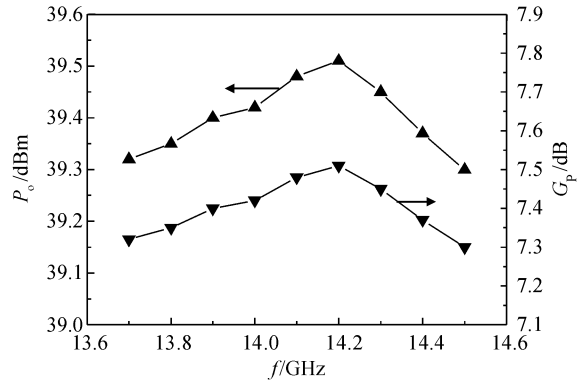


图 3 单管芯的  $P_o$  和  $G_p$  随  $f$  的变化

Fig.3 Variation of  $P_o$  and  $G_p$  of the single chip with frequency

$f = 13.7 \sim 14.5GHz$  频段内, 输出功率  $P_o \geq 39.3dBm$ , 功率增益  $G_p > 7dB$ , 功率附加效率 PAE  $> 37\%$ , 图 3 是当输入功率为 32dBm 时, 输出功率  $P_o$  和增益  $G_p$  随频率的变化曲线图。

两个 19.2mm 栅宽管芯进行功率合成。当  $V_{ds} = 9V$ , 输入  $P_{in} = 35dBm$  时, 在  $f = 13.7 \sim 14.5GHz$  频段内, 输出功率  $P_o > 42dBm$ , 功率增益  $G_p > 7dB$ , 功率附加效率 PAE  $> 35\%$ , 两管芯合成效率大于 90%。其中在 14.3GHz 频率点, 输出功率达到 42.54dBm, 增益达 7.54dB, 输出功率  $P_o$  和功率附加效率 PAE 随频率的变化如图 4 所示。

### 5 结论

经过对器件结构、钝化等工艺的改进, 成功研制出总栅宽为 19.2mm 的 GaAs 功率 HFET, 在高频大功率器件领域, 已达到较高水平。两管芯合成的内匹配器件当  $V_{ds} = 9V$ , 输入功率  $P_{in} = 35dBm$  时, 在  $f = 13.7 \sim 14.5GHz$  频段内, 输出功率  $P_o > 42dBm(15.8W)$ , 功率增益  $G_p > 7dB$ , 功率附加效

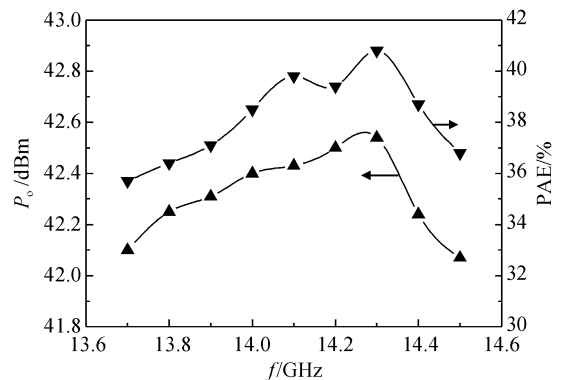


图 4 两管芯合成的  $P_o$  和 PAE 随  $f$  的变化

Fig.4 Variation of  $P_o$  and PAE of the combination of two chips with frequency

率 PAE>35%,两管芯合成效率大于 90%,其中在 14.3GHz 频率点,输出功率达到 42.54dBm (17.9W),增益达 7.54dB.

### 参考文献

- [1] Moon E A, Lee J L, Yoee H M. Selective wet etching of GaAs on  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  for AlGaAs/InGaAs/AlGaAs pseudomorphic high electron mobility transistor. *J Appl Phys*, 1998, 84(7):3933
- [2] Satio Y, Kuzuhara T, Ohmori T, et al. Ku-band 20W power GaAs FETs. *IEEE MTT-S Digest*, 1995, 2:343
- [3] Udomoto J, Chaki S, Komaru M, et al. An 11W Ku-band heterostructure FET with WSi/Au T-shaped gate. *IEEE MTT-S Digest*, 1995, 2:339
- [4] Watanabe S. Power amplifier modeling issues and advancement in Japan. *GaAs IC Symposium*, 1999:69
- [5] Andersson K, Fager C, Linner P, et al. Statistical estimation of small-signal FET model parameters and their covariance. *IEEE MTT-S Digest*, 2004, 2:695
- [6] Matsunaga K, Okamoto Y, Kuzuhara M. Ku-band 10W high efficiency HJFET power amplifier. *IEEE MTT-S Digest*, 1995, 2:335

## 13.7~14.5GHz Internally-Matched GaAs High Power Device\*

Wu Xiaoshuai<sup>1,†</sup>, Yang Ruixia<sup>2</sup>, Yan Deli<sup>3</sup>, Liu Yuewei<sup>3</sup>, Jia Kejin<sup>2</sup>, He Dawei<sup>1</sup>, and Yang Kewu<sup>1</sup>

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

(2 *School of Information Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China*)

(3 *Electric Department, Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang 050051, China*)

**Abstract:** A 19.2mm gate-width GaAs power HFET has been fabricated with improvements in the technology of device structure and passivation. The internally-matched device with two chips yields an output power greater than 42dBm(15.8W) with more than 7dB power gain, more than 35% PAE, and more than 90% co-efficiency across the band of 13.7~14.5GHz with  $V_{ds} = 9\text{V}$  and  $P_{in} = 35\text{dBm}$ . At 14.3GHz, an output power of 42.54dBm (17.9W) and power gain of 7.54dB were achieved.

**Key words:** device; internally matching; HFET; power combination

**EEACC:** 2560

**Article ID:** 0253-4177(2007)07-1104-03

\* Project supported by the Natural Science Foundation of Hebei Province (No. F2007000098)

† Corresponding author. Email: wxsMichael@163.com

Received 3 January 2007, revised manuscript received 29 January 2007