

# X波段 GaN HEMT 内匹配器件

王勇<sup>1,2</sup> 李静强<sup>1,2,†</sup> 张志国<sup>1,2,3</sup> 冯震<sup>1,2</sup> 宋建博<sup>1,2</sup> 冯志红<sup>1,2</sup> 蔡树军<sup>1,2</sup> 杨克武<sup>1,2</sup>

(1 专用集成电路国家重点实验室, 石家庄 050051)

(2 中国电子科技集团公司第十三研究所, 石家庄 050051)

(3 西安电子科技大学微电子学院, 西安 710071)

**摘要:** 自主研制的 GaN HEMT, 栅源泄漏电流从  $10^{-4}$  A 量级减小到了  $10^{-6}$  A 量级, 有效提高了栅漏击穿电压, 改善了器件工作特性. 采用 MIS 结构制作了 2.5mm 栅宽 GaN HEMT, 测试频率为 8GHz, 漏源电压为 33V 时, 器件连续波输出功率为 18.2W, 功率增益为 7.6dB, 峰值功率附加效率为 43.0%. 2.5mm $\times$ 4 GaN HEMT 内匹配器件, 测试频率 8GHz, 连续波输出功率 64.5W, 功率增益 7.2dB, 功率附加效率 39%.

**关键词:** GaN HEMT; 内匹配; 输出功率; 功率增益; 功率附加效率

**PACC:** 7280 EEEACC; 1350F; 2560P

**中图分类号:** TN385 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4177(2008)09-1783-03

## 1 引言

GaN 基 HEMT 凭借更高的功率密度、功率附加效率和击穿电压等特点, 成为各国微波大功率器件研究的重点. 各项研究表明, GaN HEMT 内匹配微波大功率器件, 因其具有体积小、重量轻等方面的优势, 将在各类通信、雷达、导航等设备中得到广泛应用<sup>[1]</sup>.

2007 年, 国外报道利用 GaN HEMT 器件制作的 S 波段的脉冲功率放大器, 输出功率已达 800W<sup>[2]</sup>. 同年, 东芝公司报道了 9.5GHz 工作频率下, 输出功率 81.3W 的 GaN HEMT<sup>[3]</sup>. 国内, 在利用 GaN HEMT 器件制作大功率放大器方面, 相对国外报道较少. 2007 年, 冯震等人<sup>[4]</sup>报道了 8GHz 工作频率下, 输出功率达 33W 的内匹配 GaN HEMT.

本文采用自主研制的 2.5mm GaN HEMT, 测量其直流和微波功率性能, 漏源电压为 33V 下, 连续波输出功率可达 18.2W, 功率增益为 7.6dB, 峰值功率附加效率为 43.0%. 2.5mm $\times$ 4 GaN HEMT 内匹配器件, 频率为 8GHz, 连续波输出功率 64.5W, 功率增益为 7.2dB, 功率附加效率 39%. 该结果为目前国内最好的研究成果.

## 2 器件制作工艺

用于功率合成的 GaN HEMT, 制作在 SiC 衬底上. 采用 MOCVD 工艺生长 2.5 $\mu$ m 缓冲层及 20nm GaN 成核层, 接着生长 2nm AlN 层和 25nm AlGaIn 层. 淀积 Ti/Al/Ti/Au 金属层制作源漏欧姆接触, 经过优化, 欧姆接触电阻为 0.4 $\Omega \cdot$ mm, 比接触电阻率为  $1.0 \times 10^{-6} \Omega \cdot$ cm<sup>2</sup>. 离子注入进行台面隔离, 形成有源区及布线

区. 在外延材料上制作 SiN 绝缘层, 栅金属直接蒸发在绝缘层上, 利用电子束光刻制作窗口, 然后采用电子束蒸发工艺制作 Ni/Au 栅, 栅长为 0.3 $\mu$ m, 采用 PECVD 制作 SiN 钝化层. GaN HEMT 总栅宽为 2.5mm. 并对器件版图进行仿真分析和优化, 器件俯视照片如图 1 所示.

## 3 2.5mm GaN HEMT 直流与微波特性

### 3.1 GaN HEMT 直流特性

对 2.5mm 栅宽的 GaN HEMT 进行  $I$ - $V$  特性测量. 栅压 ( $V_{gs}$ ) = 0V 时, 器件的最大饱和电流 ( $I_{ds}$ ) 为 2.1A, 膝电压为 6V, 最大本征跨导 ( $G_{max}$ ) 为 480mS, 夹断电压 ( $V_{off}$ ) 为 -5V. 图 2 为 GaN HEMT  $I$ - $V$  特性曲线. 采用生长绝缘层的外延材料, 栅金属直接蒸发在绝缘层上, 由于采用了这种金属-绝缘层-半导体 HEMT 结构, 使得栅极泄漏电流明显减小. 图 3 为器件的反向击穿特性, 反向电压达到 30V 时, 栅漏泄漏电流在  $10^{-6}$  A 的数量级.

### 3.2 GaN HEMT 微波特性

利用微波功率测量系统, 对栅宽 2.5mm GaN HEMT

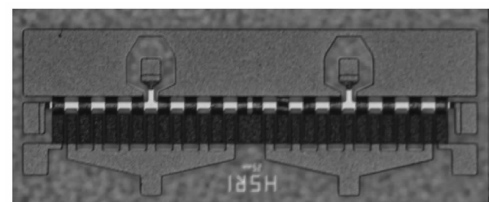


图 1 2.5mm GaN HEMT 俯视照片  
Fig. 1 Photo of 2.5mm GaN HEMT

† 通信作者. Email: lijigq@gmail.com

2008-03-13 收到, 2008-05-05 定稿

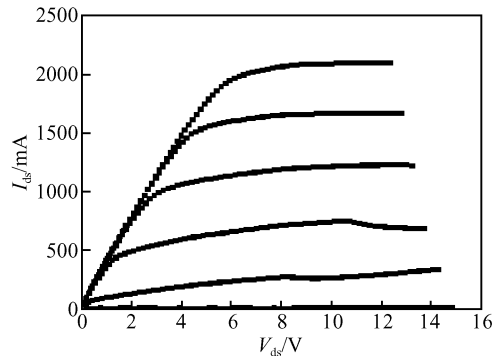
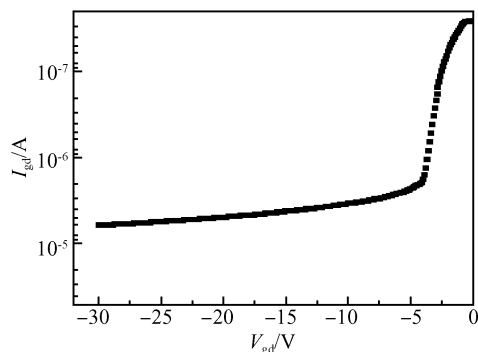
图 2 2.5mm GaN HEMT  $I$ - $V$  特性Fig. 2  $I$ - $V$  characteristics of 2.5mm GaN HEMT

图 3 GaN HEMT 栅源反向击穿特性

Fig. 3 Gate-source reverse breakdown characteristics of GaN HEMT

进行负载牵引测量. 在连续波(CW)频率为 8GHz 下, 漏源电压 ( $V_{DS}$ ) 为 33V, 栅源电压 ( $V_{GS}$ ) 为 -3.6V, 微波输入功率 ( $P_{in}$ ) 为 35dBm 时, 输出功率达到饱和, 这时输出功率 ( $P_{out}$ ) 为 42.6dBm (18.2W), 功率增益 (Gain) 为 7.6dB, 功率附加效率 (PAE) 为 43%. 测量结果如图 4.

## 4 2.5mm×4 GaN HEMTs 内匹配器件

### 4.1 内匹配器件封装制作

为了提高器件的总输出功率, 对 4 个栅宽为 2.5mm 的 GaN HEMT, 在管壳封装内部进行了阻抗匹配和功率合成. 采用  $Al_2O_3$  陶瓷制做了 Wilkinson 微带

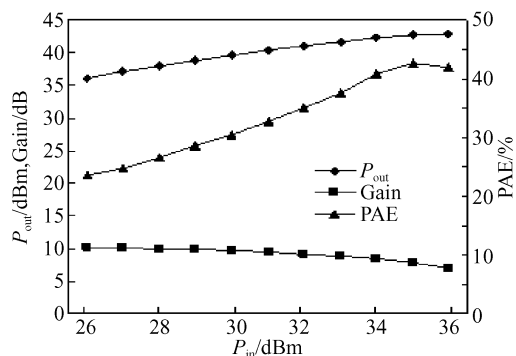


图 4 2.5mm GaN HEMT 输出功率特性

Fig. 4 Output power characteristics of 2.5mm GaN HEMT

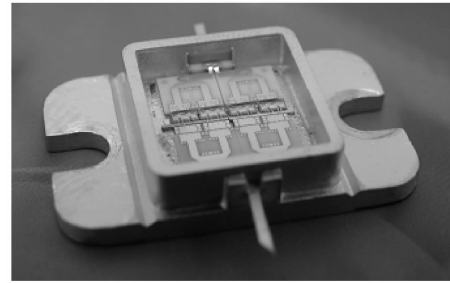


图 5 2.5mm×4 GaN HEMT 器件显微照片

Fig. 5 Photo of 2.5mm×4 GaN HEMT

功分器以及 MIM 电容, 键合引线制作匹配电路用的电感. GaN HEMT 器件没有采用通孔结构, 为了降低器件源电感对器件增益性能的影响, 以及器件中间部分和两侧部分源接地不均匀对器件工作稳定性的影响, 加装金属接地块, 并利用金带或多根金丝键合引线, 进行源极接地. 在装配时, 首先将功率合成电路、匹配元件和源接地块依次按位置安装好, 最后将 GaN HEMT 管芯烧结到合适位置, 以减小高温环境对 GaN HEMT 管芯器件性能的影响. 完成装配的器件如图 5 所示.

### 4.2 内匹配器件微波性能

利用微波功率测试系统, 对总栅宽 2.5mm×4 GaN HEMT 内匹配器件进行微波功率性能测量. 测试夹具在器件输入和输出端的阻抗均为  $50\Omega$ . 连续波工作频率为 8GHz, 偏置条件设定为漏源电压为 33V, 栅源电压为 -3.6V. 当输入功率为 40.9dBm 时, 输出功率达到 48.1dBm (64.5W), 功率增益为 7.2dB, 功率附加效率为 39%. 测量结果如图 6 所示.

## 5 结论

采用金属-绝缘层-半导体结构, 制作了 2.5mm 大栅宽 GaN HEMT, 在 30V 反向电压下实现栅源泄漏电流为  $10^{-6}$  A 的高击穿特性. 单胞芯片微波功率测试, 测试频率为 8GHz,  $V_{DS}$  为 33V 时, 连续波输出功率为 18.2W, 功率增益为 7.6dB, 功率附加效率为 43.0%. 2.5mm×4 GaN HEMTs 频率为 8GHz 连续波下,  $V_{DS}$  为 33V, 输入功率为 40.9dBm, 输出功率达到 48.1dBm (64.5W), 功率增益为 7.2dB, 功率附加效率 39%.

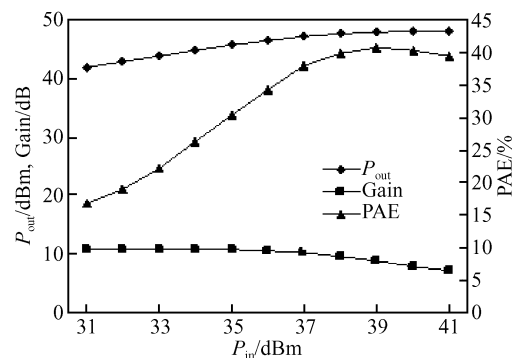


图 6 2.5mm×4 GaN HEMT 输出功率特性

Fig. 4 Output power characteristics of 2.5mm×4 GaN HEMT

## 参考文献

- [1] Pearton S J, Zolper J C, Shul R J, et al. GaN: processing defects, and devices. *J Appl Phys*, 1999, 86(1):1
- [2] Mitani E, Aojima M, Meakawa A, et al. An 800-W AlGaIn/GaN HEMT for S-band high-power application. USA: CS MANTECH Conference, 2007
- [3] RFMD GaN wideband power amplifier ICs. III-V s Review, 2006, 19(9):10
- [4] Feng Zhen, Zhang Zhiguo, Wang Yong, et al. AlGaIn/GaN HEMT high output power density internally matched device. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2007, 28(11):1773 (in Chinese) [冯震, 张志国, 王勇, 等. X波段高输出功率凹栅 AlGaIn/GaN HEMT. *半导体学报*, 2007, 28(11):1773]

## X-Band Internally-Matched GaN HEMTs

Wang Yong<sup>1,2</sup>, Li Jingqiang<sup>1,2,†</sup>, Zhang Zhiguo<sup>1,2,3</sup>, Feng Zhen<sup>1,2</sup>, Song Jianbo<sup>1,2</sup>,  
Feng Zhihong<sup>1,2</sup>, Cai Shujun<sup>1,2</sup>, and Yang Kewu<sup>1,2</sup>

(1 National Key Laboratory of ASIC, Shijiazhuang 050051, China)

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

(3 School of Microelectronics, Xidian University, Xi'an 710071, China)

**Abstract:** With a self-developed GaN HEMT, the magnitude of leakage current between gate and drain is reduced to  $10^{-6}$  A, the breakdown voltage is increased effectively, and the operating characteristic is improved. An MIS-GaN HEMT with 2.5mm gate-width is fabricated. When the operation voltage is 33V, the resultant device delivers a saturation output power of 18.2W, a power gain of 7.6dB, and a peak power added efficiency of 43.0% at a frequency of 8GHz CW. The internally-matched GaN HEMTs with a total gate-width of 2.5mm $\times$ 4 deliver a saturation output power of 64.5W, a power gain of 7.2dB, and a power added efficiency of 39% at a frequency of 8GHz CW.

**Key words:** GaN HEMT; internal matching; output power; power gain; power added efficiency

**PACC:** 7280      **EEEEACC:** 1350F; 2560P

**Article ID:** 0253-4177(2008)09-1783-03

† Corresponding author. Email: lijigqg@gmail.com

Received 13 March 2008, revised manuscript received 5 May 2008