

# C波段3瓦T形电极硅双极晶体管

张树丹 王因生 李相光 陈统华  
谭卫东 郑承志 刘六亭 陈培棣

(南京电子器件研究所 南京 210016)

**摘要** 本文报道了一种自对准T形电极结构的硅双极晶体管的制作和实验结果。这种结构的晶体管发射极和基极接触窗口的间距仅 $0.4\ \mu\text{m}$ ，发射极排列周期为 $4\ \mu\text{m}$ 。测试结果表明，晶体管在 $4.2\ \text{GHz}$ 下，连续波输出功率大于 $3\ \text{W}$ ，增益 $8\ \text{dB}$ 和集电极效率 $40\%$ ；作为振荡应用时，在 $4.3\ \text{GHz}$ 的振荡频率下，振荡输出功率可达 $1\ \text{W}$ ，DC-RF转换效率为 $20\%$ 。

EEACC: 2560J, 2560R

## 1 引言

随着微电子工艺技术的改进，微波器件在高频，高速领域不断地取得进展。最近报道，MOS器件 $f_T$ 达到 $89\ \text{GHz}$ <sup>[1]</sup>。采用掺磷多晶硅发射极的双极器件， $f_T$ 已达 $64\ \text{GHz}$ <sup>[2]</sup>。显出硅器件仍然有良好的频率特性。考虑到成熟的硅平面工艺和比GaAs FET低得多的 $1/f$ 相位噪声，硅器件的研究仍然受到重视。本文报道采用重掺砷和轻掺砷多晶硅腐蚀速率的差异，用 $\Phi 75\ \text{mm}$ 圆片研制成功C波段T形电极晶体管的实验结果。这种T形电极晶体管比台阶电极晶体管<sup>[3]</sup>更合理，工艺上易于控制。

## 2 器件设计与制造

梳状结构晶体管的最高振荡频率与结构参数有以下关系：

$$f_{\max} = \left( \frac{1}{s_e} \cdot \frac{E_p}{A_b} \cdot \frac{f_T X_m}{8\pi\epsilon_s\epsilon_0 R_{\square} b} \right)^{1/2} \quad (1)$$

从(1)式可看出，要提高 $f_{\max}$ ，必须减小发射极条宽 $S_e$ 或提高图形优值 $E_p/A_b$ 。为了

张树丹 男，1956年生，高级工程师，主要从事微波功率晶体管研究工作。

王因生 男，1968年生，毕业于复旦大学物理系，高级工程师，IEEE会员。主要从事微波功率器件研究工作。

李相光 男，1968年生，主要从事硅功率晶体管的测试及内匹配工作。

1993年4月1日收到初稿，1993年5月1日收到修改稿

使器件在 C 波段有较高的增益, 发射极条宽取  $1.5 \mu\text{m}$ , 发射极排列间距取  $4 \mu\text{m}$ ,  $E_p = 7 \text{ nm}$ ,  $A_b = 15840 \mu\text{m}^2$ ,  $E_p/A_b = 4400/\text{cm}$ , 如此高的图形优值, 一般器件结构很难达到. T 形电极晶体管的主要制造过程是: 采用局部氧化技术使有源区与  $\text{SiO}_2$  形成准平面. 然后  $\text{BF}_3^+$  离子注入形成薄基区. 用 LPCVD 热分解  $\text{SiH}_4$  和  $\text{AsH}_3$  的方法淀积两层多晶硅, 底下一层是重掺砷, 顶上一层是轻掺砷. 用  $\text{SiO}_2$  把与发射极对应的多晶硅保护起来, 用反应等离子 (RIE) 刻蚀掉  $\text{SiO}_2$  和轻掺砷 POS, 再用  $\text{HF}/\text{HNO}_3/\text{CH}_3\text{COOH}$  腐蚀液腐蚀 POS. 这种腐蚀液对重掺砷 POS 的腐蚀速率是轻掺砷的十倍. 图 1 示出 T 形电极结构的剖面扫描电照片. EB 间距约为  $0.4 \mu\text{m}$ .

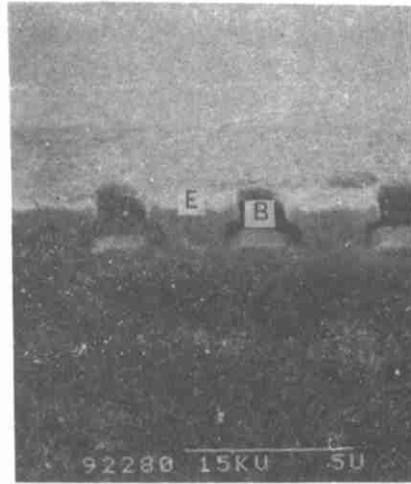


图 1 T 形电极结构的剖面照片

在硅片上淀积  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , 用 RIE 各向异性的刻蚀特点, 自对准地开出基极窗口和形成 T 形电极侧壁  $\text{Si}_3\text{N}_4$  隔离墙. 进行浓硼扩散和 POS 退火. 然后用  $\text{HF}$  腐蚀掉 POS 上的  $\text{SiO}_2$ , 开出发射极窗口, 避免了最细线条的光刻. 最后利用 T 形电极的帽缘的掩蔽作用, 垂直蒸发  $\text{Ti}/\text{P}/\text{Au}$ . 自对准地达到 E 和 B 金属电极的绝缘, 两者的横向间距几乎为零.

### 3 实验结果

运用 PHI5500 型多功能电子谱仪结合氩离子溅射剥离层技术 (AES) 测定重掺砷 POS 热处理前 As 和 Si 随深度的分布. 如图 2 所示.

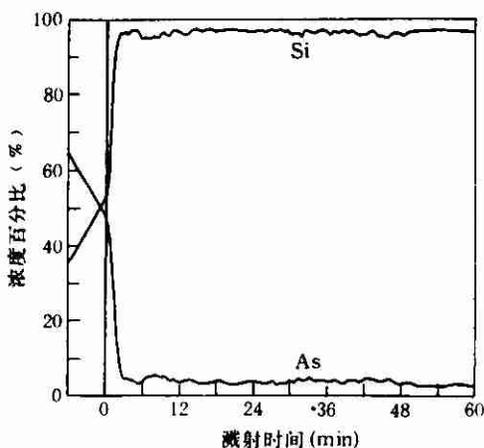


图 2 As-DOPOS 样品的 AES 组分分布

测试结果表明, 重掺砷 POS 的砷掺杂浓度高达  $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ . 用扩展电阻法测试了经  $1000^\circ\text{C}$  10 分钟  $\text{N}_2$  退火的 POS 样品, 砷激活浓度  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ .

器件的直流参数如表 1 所示.

图 3 示出 T 形电极晶体管输出功率  $P_o$ , 增益  $G_p$ , 集电极效率  $\eta_c$  随输入功率  $P_i$  的变化曲线. 最好的器件在 4.2 GHz、20 V 的工作电压和 0.4 W 的输入功率下, 连续波输出功率可达 3.2 W, 增益 9 dB, 效率 42%. 该器件在 4.6 GHz 的工作频率下, 输出功率可达 2.2 W, 增益 8 dB, 效率大于 35%.

表 1 T形电极晶体管的直流参数

符 号	单 位	测试条件	数 值	符 号	单 位	测试条件	数 值
$V_{CBO}$	V	$I_C = 1 \text{ mA}$	$\geq 45$	$C_{CB}$	pF	$V_{CB} = 20 \text{ V}$	3.3
$V_{EBO}$	V	$I_E = 1 \text{ mA}$	$\geq 3$	$C_{CE}$	pF	$V_{CE} = 3 \text{ V}$	3.5
$I_{CBO}$	mA	$V_{CB} = 30 \text{ mA}$	$\leq 0.3$	$C_{EB}$	pF	$V_{EB} = 3 \text{ V}$	20
$h_{FE}$		$V_{CE} = 10 \text{ V}$	$\geq 20$	$C_{EBF}$	V	$I_E = 200 \text{ mA}$	$\leq 1$
		$I_C = 100 \text{ mA}$					

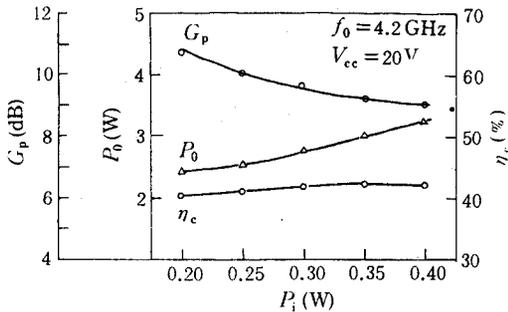


图 3 输出功率、增益和效率随输入功率的变化

射极连接, 在  $V_{CE} = 20 \text{ V}$ ,  $I_c = 20 \text{ mA}$  条件下, 用 HP-8510 自动网络分析仪测量了器件 1—18 GHz 的 S 参数. 在  $G_u = 1$  的外推值给出  $f_{max} = 12 \text{ GHz}$ , 在  $|h_{FE}| = 1$  的外推值给出  $f_T$  为 6 GHz.

## 4 结 语

利用重掺砷 POS 和轻掺砷 POS 化学腐蚀的差异, 研究成功 T 形电极晶体管. 这种晶体管的 EB 间距仅为  $0.4 \mu\text{m}$ , 显著地减小了基极电阻和集电极电容. 降低了光刻难度. 采用这种结构研制出的 C 波段硅双极晶体管, 其性能指标已接近目前国际同类产品水平. 通过多胞内匹配技术可望得到 C 波段大于 6 W 的硅双极晶体管. 该技术可以推广应用 IC, 进一步提高 IC 的性能.

**致谢** 本项工作是在总工程师林金庭教授指导和支持下, 由研究小组集体完成的. 上海测试中心能谱研究室主任邹惠良高级工程师为本文提供 AES 谱线. 谨表谢意.

## 参 考 文 献

- [1] R. H. Yan, K. F. Lee, D. Y. Jeon *et al.*, IEEE Electron Device Lett, 1992, 13: 256.
- [2] M. Nanba *et al.*, in IEDM Tech. Dig., 1991, P. 443.
- [3] T. Sakai, Y. Sunohara, Y. Sakakibara *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., 1977, Suppl., 16-1: 43.

### 3 Watt C Band Silicon Bipolar Transistor with T-Shaped Electrode

Zhang Shudan, Wang Yinsheng, Li Xiangguang, Chen Tonghua  
Tan Weidong, Zheng Chengzhi, Liu Liuting and Chen Peidi

(*Nanjing Electronic Devices Institute, Nanjing 210016*)

Received 1 April 1993, revised manuscript received 1 May 1993

**Abstract** This paper presents the fabrication and experimental results of a bipolar transistor with self-aligned T-shaped electrode structure. The transistor with  $0.4\mu\text{m}$  spacing between emitter and base contact and  $4\mu\text{m}$  emitter-emitter pitch has been fabricated. It is shown that the transistor has 3W CW output power with 8dB gain and 40% collector efficiency at 4.2 GHz. For oscillation application, the oscillation power output and the DC-RF conversion efficiency of this transistor at 4.3 GHz are up to 1W and 20%, respectively.

**EEACC** 2560J, 2560R