

基于干/湿法腐蚀的自对准 SiGe HBT 器件*

刘道广^{1,2,3} 郝 跃¹ 徐世六^{2,3} 李开成^{2,3} 李培咸¹ 张晓菊¹ 张金凤¹
郑雪峰¹ 张 静^{2,3} 刘嵘侃^{2,3} 刘伦才^{2,3}

(1 西安电子科技大学微电子所, 西安 710071)
(2 中国电子科技集团电子 24 所, 重庆 400060)
(3 国家模拟集成电路重点实验室, 重庆 400060)

摘要: 采用干/湿法腐蚀相结合技术,利用氢氧化钾(KOH)溶液和六氟化硫(SF₆)对 Si 及 SiGe 材料进行腐蚀,研究自对准 Si/SiGe HBT 台面器件,获得了 $f_T = 40\text{GHz}$, $f_{\max} = 127.1\text{GHz}$ 的结果.

关键词: 自对准; SiGe 材料; 干/湿法腐蚀

EEACC: 2500; 2520; 2560J

中图分类号: TN325+.3 文献标识码: A 文章编号: 0253-4177(2005)01-0102-04

1 引言

SiGe 合金材料具有许多独特的物理性质和重要的技术应用价值^[1~3],且它能与硅的加工技术兼容,因而,受到了人们的高度重视. Si/SiGe 异质结晶体管(HBT)具有宽带隙的发射区,大大提高了发射区载流子向基区注入的效率. SiGe HBT 还具有功率密度高,噪声低等优异性能^[3,4]. 目前,用 Si/SiGe 异质结制造的 HBT 的 f_T 值已经达到 210GHz ^[6~8]. Si/SiGe HBT 一般采用台面结构,利用分子束外延(MBE)淀积形成符合设计要求的多层结构外延片. 这方面的研究已经取得了突破,并开始走向产业化^[5].

在台面 SiGe HBT 器件的制造过程中,控制超薄 Si, SiGe 层的腐蚀是非常关键的技术^[9~11]. 采用干法腐蚀发射区 n^+ /n-Si 层,很容易把基区 SiGe 层腐蚀,不利于器件的制造;然而,如果用 SiO₂ 掩蔽,采用湿法腐蚀,不利于 SiGe 合金材料的腐蚀. 由于受光刻套刻精度的限制,特征尺寸很难减小,使 R_b , C_{bc} 很

大,不利于 f_{\max} 的提高. 因此,本文采用金属 TiPtAu 作掩蔽层,根据 Si 和 Ge 的化学特性,把干法和湿法腐蚀有机结合起来,充分利用它们各自的优点,结合自对准及空气桥技术,研制出了发射极与基极自对准的 SiGe HBT 器件,其 $f_{\max} = 127.1\text{GHz}$. 利用该技术,很容易判定 SiGe 合金材料的质量,为开发 SiGe IC 奠定了基础.

2 腐蚀的化学反应机理

2.1 湿法腐蚀工艺

腐蚀液主要成分是 KOH,它与 Si 有如下反应:



Ge 较之 Si 是不活泼的,在常温下与 KOH 溶液不发生反应. 因此, SiGe 合金在腐蚀液反应中 Ge 起了一种阻挡作用,使腐蚀速率大大减弱. Ge 与腐蚀液的反应物 H_2GeO_3 在水中的水解产物是糊状沉积物. 有如下反应:

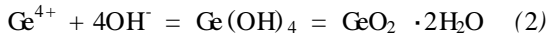
* 国防预研基金资助项目(批准号:99JS09.2.6. DZ3403)

刘道广 男,1964 年出生,高级工程师,博士研究生,主要研究方向为超高速、超高频 SiGe HBT 器件及电路, A/D、D/A 转换器等.

郝 跃 男,1958 年出生,教授,博士生导师,主要研究方向为超深亚微米 VLSI 可靠性、理论与设计方法,新型宽禁带半导体器件与关键技术,以及系统集成(SOC)设计与设计方法学和 SiGe 器件等.

徐世六 男,1956 年出生,教授,主要研究方向为半导体器件与电路、SiGe HBT 器件及 SiGe HBT 电路.

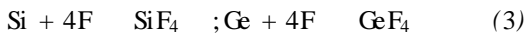
2003-12-28 收到,2004-03-15 定稿



该物质的基体吸附力更强,对 SiGe 合金表面起了保护作用,因此 KOH 对 SiGe 合金的腐蚀作用非常小.可以粗略认为 KOH 对 SiGe 合金材料不腐蚀,起到腐蚀终点控制的作用.

2.2 干法刻蚀工艺

采用 $\text{SF}_6 + \text{O}_2$ 腐蚀 Si. 在射频功率作用下, SF_6 分解并游离出去. F 基的化学活性很高,容易与 Si, Ge 等物质发生化学反应,其反应过程如下:



3 器件制造工艺

图 1 给出了 SiGe HBT 器件材料结构示意图. 利用分子束外延生长法,获得了这种结构. 图 2 给出了 HBT 器件结构,采用 $0.5\mu\text{m}$ 的发射极,金属掩蔽和剥离工艺. 该工艺的关键技术是 TiPtAu 剥离技术和自对准技术. TiPtAu 剥离技术是利用正性光刻胶作掩蔽层,采用接触光刻曝光,露出发射极引线窗口,再利用电子束蒸发 TiPtAu,用超声剥离技术,去掉发射极以外的金属,剥离结构如图 3 所示.

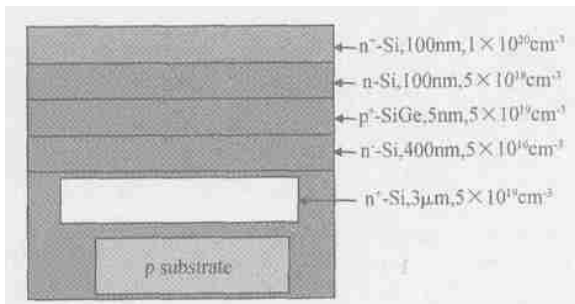


图 1 台面 SiGe HBT 器件 MBE 结构示意图

Fig. 1 Diagram of MBE layer structure for mesa SiGe HBT

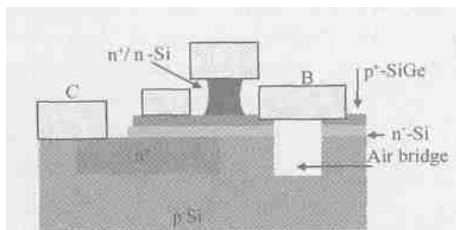


图 2 台面 SiGe HBT 器件结构剖面

Fig. 2 Profile of mesa SiGe HBT structure

然后,利用 TiPtAu 作发射极的掩蔽层,在 38 的温度下,用 KOH 溶液腐蚀 $n^+ / n\text{-Si}$. 由于 KOH 溶

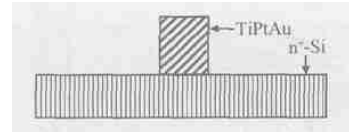


图 3 台面 SiGe HBT 发射极 TiPtAu 剥离结构图

Fig. 3 Stripped off structure of emitter metal for mesa SiGe HBT

液腐蚀 Si 的速度大于 SiGe,最初可观察到硅片表面有气泡产生.当 $n^+ / n\text{-Si}$ 腐蚀后,气泡消失.因 KOH 溶液腐蚀的各向同性,在腐蚀纵向 Si 的时候,同时存在侧向腐蚀,腐蚀的结果如图 4 所示.接着利用正性光刻胶作掩蔽层,采用接触光刻曝光,露出基区引线窗口.由于发射极金属与 $p^+ \text{-SiGe}$ 间有一定的台阶,只要电子束蒸发基区金属的厚度小于 $n^+ / n\text{-Si}$ 的厚度,发射区和基区之间就不存在短路.这样减少了发射区和基区之间的距离,实现了发射区和基区自对准.然后,用 SF_6 刻蚀 SiGe,露出集电区,接着进行集电极的金属化,最后用 SF_6 刻蚀 air bridge,完成 SiGe HB 器件的制作.由于采用该技术,基区串联电阻 R_b 和 C_{bc} 大大减少,提高了 f_{max} . 值得注意的是,如果 KOH 溶液腐蚀的时间偏短, R_b 虽然减少,但基区与发射区容易短路而导致成品率低.因此,在 SiGe HBT 工艺中,必须考虑在减少 R_b 和提高成品率之间进行折中,尤其批量生产的情形需要特别注意.

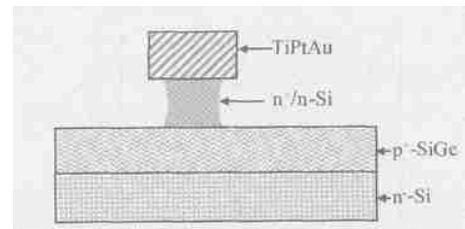


图 4 KOH 溶液腐蚀 $n^+ / n\text{-Si}$ 结构剖面图

Fig. 4 Profile of $n^+ / n\text{-Si}$ etched by KOH solution

本研究最终形成的 HBT 器件芯片的扫描电镜图 (SEM) 如图 5 所示.

4 测试结果及结论

SiGe HBT 的 f_T 和 f_{max} 测量与器件的封装有很大关系. SiGe HBT 器件的测试是采用微波探针直接进行裸芯片测试.在 $V_{\text{ce}} = 5\text{V}$, $I_c = 10\text{mA}$ 条件下,用 HP8517B S 参数测量仪测得图 5 (b) 的 Si/SiGe HBT 器件的截止频率 $f_T = 40\text{GHz}$, $f_{\text{max}} = 127.1\text{GHz}$,其交

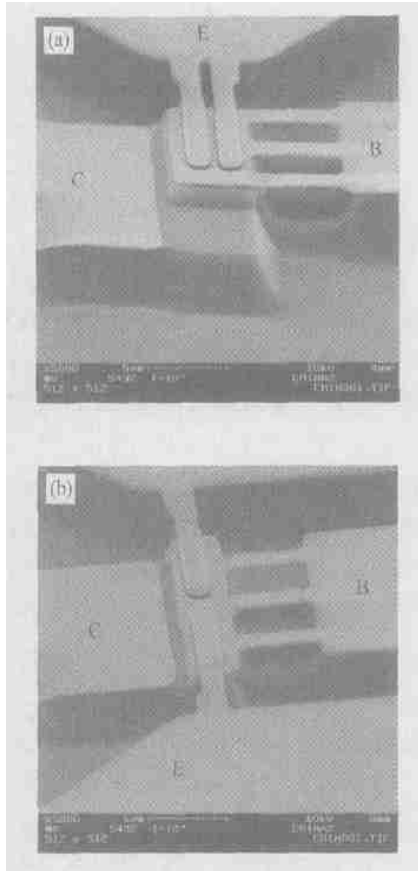


图 5 台面 SiGe HBT 器件 SEM 图像

Fig. 5 SEM microphotograph of mesa SiGe HBT

流测试图形分别如图 6 和 7 所示。结果表明,采用干湿法腐蚀相结合技术,利用氢氧化钾 (KOH) 溶液横向腐蚀性和六氟化硫 (SF₆) 各向异性对 Si 及 SiGe 材料进行腐蚀,研究自对准 Si/ SiGe HBT 台面器件及制

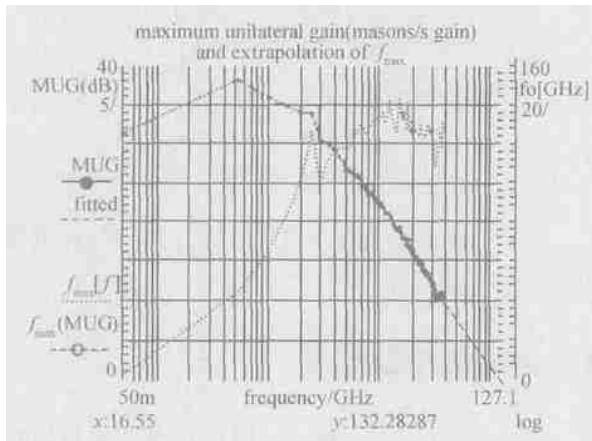


图 6 图 5(b) 台面 SiGe HBT 的 $f_{max} = 127$ GHz 的测试结果

Fig. 6 Measured results of $f_{max} = 127$ GHz for mesa SiGe HBT in Fig. 5(b)

造台面 Si/ SiGe HBT 器件的可行方法.

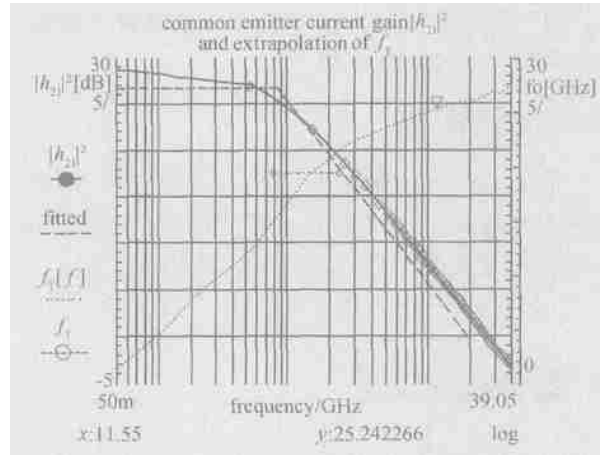


图 7 图 5(b) 台面 SiGe HBT 的 $f_T = 40$ GHz 的测试结果

Fig. 7 Measured results of $f_T = 40$ GHz for mesa SiGe HBT in Fig. 5(b)

参考文献

- [1] Gruhle A, Kibbel H, König U, et al. MBE grown Si/ SiGe HBTs with high f_T, f_{max} . IEEE Electron Device Lett, 1992, 13(4) : 206
- [2] Schreiber H. High-speed double mesa Si/ SiGe HBT fabricated by self-alignment technology. Electron Lett, 1992, 28 : 485
- [3] King C A, Hoyt J L, Gibbons J F, et al. Bandgap and transport properties of Si_{1-x}Ge_x by analysis of nearly ideal Si/ Si_{1-x}Ge_x/ Si heterojunction bipolar transistors. IEEE Trans Electron Devices, 1989, 36 (10) : 2093
- [4] Haramé D L, Larson L, Case M, et al. A SiGe HBT technology: device and application issues. IEDM Tech Dig, 1995 : 731
- [5] Washio K, Ohue E, Shimamoto H, et al. A 0.2μm 180-GHz- f_{max} 6.7-ps-ECL SOI/ HRS self-aligned SEG SiGe HBT/ CMOS technology for microwave and high-speed digital applications. IEEE Trans Electron Devices, 2002, 49(2) : 271
- [6] Hackl S, Boke J, Ritzberger G, et al. A 45GHz SiGe active frequency multiplier. ISSCC Digest of Technical Papers, 2002 : 82
- [7] Masuda T, Ohhata K, Shiramizu N, et al. Single-chip 5.8GHz ETC transceiver IC with PLL and demodulation circuits using SiGe HBT/ CMOS. ISSCC Digest of Technical Papers, 2002 : 96
- [8] Joseph A, Coolbaugh D, Haramé D, et al. 0.13μm 210GHz f_T SiGe HBTs-expanding the horizons of SiGe BiCMOS. ISSCC Digest of Technical Papers, 2002 : 180
- [9] Dow S, Bauweber B, Chou L M, et al. A dual-band direct-conversion/ VLIF transceiver for 50GSM/ GSM/ DCS/ PCS. ISSCC Digest of Technical Papers, 2002 : 230
- [10] Bellaouar A, Frechette M, Fridi A R, et al. A highly-integrated SiGe BiCMOS WCDMA transmitter IC. ISSCC Digest of Technical Papers, 2002 : 238

[11] Joseph A, Coolbaugh D, Zierak M, et al. A 18 μ m BiCMOS echnology

featuring 120/100GHz ($9f_T/f_{max}$) HBT and ASIC-compatible CMOS using copper interconnect. Proceedings of the 2001 BCTM, 2001:143

Self-Aligned SiGe HBT Based on Dry-Wet Etching *

Liu Daoguang^{1,2,3}, Hao Yue¹, Xu Shiliu^{2,3}, Li Kaicheng^{2,3}, Li Peixian¹, Zhang Xiaojun¹,
Zhang Jinfeng¹, Zheng Xuefeng¹, Zhang Jing^{2,3}, Liu Rongkan^{2,3}, and Liu Luncai^{2,3}

(1 *Microelectronics Institute, Xidian University, Xi'an 710071, China*)

(2 *Sichuan Institute of Solid-State Circuits, China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China*)

(3 *National Laboratory of Analog Integrated Circuits, Chongqing 400060, China*)

Abstract : With dry-wet etching technology, self-aligned SiGe HBTs are studied. The materials of Si and SiGe are etched by KOH solution and SF₆, and the results of $f_T = 40\text{GHz}$ and $f_{max} = 127\text{GHz}$ are obtained.

Key words : self-align; SiGe material; dry-wet etching

EEACC : 2500; 2520; 2560J

Article ID : 0253-4177(2005)01-0102-04

* Project supported by National Defense Pre-Research Foundation of China (No. 99JS09.2.6. DZ3403)

Liu Daoguang male, was born in 1964, senior engineer, PhD candidate. His research interest is focused on ultra-high speed, ultra-high frequency SiGe HBT devices, and IC, A/D and D/A converters.

Hao Yue male, was born in 1958, professor, advisor of PhD candidates. His primary research interest includes theory and design methodology of sub-micro VLSI reliability, new-type wide band semiconductors and their key technologies, SOC design methodology and SiGe HBT devices.

Xu Shiliu male, was born in 1956, professor. His research interest is focused on semiconductor integrated circuits, MEMS, and SiGe HBT devices.

Received 28 December 2003, revised manuscript received 15 March 2004

©2005 Chinese Institute of Electronics