

GSMBE 生长的用于研制 HBT 的 SiGe/Si 异质结材料*

邹德恕¹ 徐 晨¹ 陈建新¹ 史 辰¹ 杜金玉¹ 高 国¹ 沈光地¹ 黄大定² 李建平² 林兰英²

(1 北京工业大学电子信息与控制工程学院, 北京 100022)

(2 中国科学院半导体研究所材料中心, 北京 100083)

摘要: 用 GSMBE 法生长了 Si/SiGe/Si 异质结构材料。采用双台面结构制造了 SiGe/Si NPN 异质结晶体管。在发射结条宽为 $4\mu\text{m}$, 面积为 $4\mu\text{m} \times 18\mu\text{m}$ 的条件下, 其共发射极直流放大倍数为 75, 截止频率为 20GHz。给出了结构设计、材料生长和器件制作工艺。

关键词: 气态源分子束外延; Si/SiGe HBT; 双台面结构

EEACC: 2560J; 2530 **PACC:** 6822; 6630J; 7340L

中图分类号: TN 304. 2⁺ 4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4177(2001)08-1035-03

1 引言

SiGe HBT 具有高截止频率、低噪声、大电流动范围、高低温电流增益等优越的电学性能, 近年来得到迅速发展^[1-4], 并已经作为第二代硅技术进入了市场。

通常 SiGe 合金材料的生长方法主要有两种: 固态源分子束外延, 超高真空化学气相沉积。固态源分子束外延的生长速度主要由固态源蒸发速度控制^[5]。它的生长温度低, 速度慢, 使外延层厚度可以精确控制。这种技术极大的推动了 SiGe/Si 异质结晶体管及其相关器件的发展。针对固态源分子束外延设备的一些不足如源箱高温易损坏, 源换装周期短因而系统恢复时间长等, 提出了用气态源代替固态源进行分子束外延生长—气态源分子束外延 (GSMBE)。它兼顾了固态源分子束外延和超高真空气相沉积的优点, 具有可精确控制各种气体的流量而得到理想的薄层结构, 抑制缺陷产生及表面分凝作用^[6], 以及方便换接气态源等优点, 近来得到了较

多发展。我们利用此方法成功地生长了 SiGe/Si HBT 材料, 并在较大的器件尺寸条件下, 研制出截止频率为 20GHz 的异质结晶体管, 表明材料具有良好的器件质量。

2 设计与实验

2.1 设计

SiGe/Si 异质结晶体管由于基区利用窄带隙的 SiGe 合金材料, 且它的带隙变窄主要表现在价带上移 ΔE_v , 可大大提高注入效率。因此我们可以使基区做得很窄, 从而提高截止频率。同时提高掺杂浓度, 能在基区横向电阻不增大的条件下保持较高的电流增益。为了保证基区高掺杂在生长与制造晶体管过程中不会扩散到异质结的前边, 在基区与发射区之间设计 10nm 的本征 SiGe 层, 作为缓冲区。不仅保证了异质结的特性, 同时可以减少发射极的结电容, 提高 V_{eb} 的反向击穿电压。选择 SiGe 合金基区中锗组分为 20%, 保证在基区外延生长过程中良好的晶体结构, 同时又要足够高的增益。具体结构设计参

* 国家“863”高技术计划(No. 863-307-15-4)、国家自然科学基金(No. 69876004)、国家自然科学基金重大项目(No. 6989260-06)、国家“973”资助项目(No. G2000683-02)。

邹德恕 男, 研究员, 主要从事微电子技术研究。

2000-09-08 收到, 2000-12-13 定稿

© 2001 中国电子学会

看图 1.

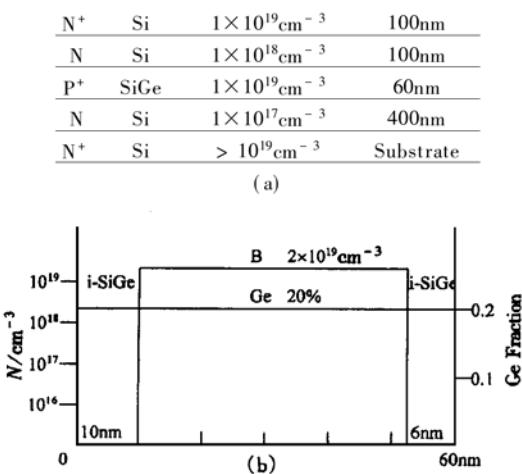


图 1 SiGe/Si HBT 纵向结构 (a) n-p-n 结构整体图;
(b) SiGe 基区详细图

FIG. 1 Vertical Structure of SiGe/Si HBTs (a)
Diagram of n-p-n Structure; (b) Profile of SiGe
Base Region

2.2 气态源分子束外延材料生长

利用国产气态源分子束外延设备(GSM BE)进行材料生长。把清洗好的电阻率为 $0.01 \Omega \cdot \text{cm}$ N型(110)的硅片放入真空室抽高真空至 $1 \times 10^{-7} \text{ Pa}$, 把硅片加热到 850°C 除气30min, 脱掉表面氧化层后开始生长。为了提高低温下硅生长速度, 将乙硅烷(Si_2H_6)的裂解温度维持在 470°C , 流量为 4sccm, 只通入乙硅烷, 衬底在 700°C 下30min生长400nm厚的收集区。把衬底温度降至 550°C , 固体锗炉温度保持在 1060°C , 硼烷(B_2H_6)流量为 2sccm, 继续生长14min, 生长成厚度为 60nm 的 SiGe 合金基区。在生长本征 SiGe 层时, 断掉硼烷(B_2H_6)即可。然后生长发射区, 生长温度保持在 570°C , 通入浓度为 0.1% 的磷烷, 流量 0.6sccm, 生长时间 110min, 生长厚度近似 200nm^[2]。

2.3 SiGe/Si 异质结晶体管的制造

利用双台面结构, 发射极台面积 $4\mu\text{m} \times 18\mu\text{m}$, 发射极引线孔 $2\mu\text{m} \times 15\mu\text{m}$, 基极台面积 $20\mu\text{m} \times 22\mu\text{m}$, 基极引线孔 $2 \times (4\mu\text{m} \times 18\mu\text{m})$, 集电极引线孔 $26\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ 。

生长好的材料首先进行离子注入, 保持帽层有足够的浓度。条件是注入能量 20keV, 面浓度 $5 \times$

10^{14} cm^{-2} , 退火温度 700°C , 时间 5s。用常规清洗法把片子清洗好, 利用等离子体化学气相沉积法生长 300nm 的二氧化硅层, 利用常规光刻工艺把发射区、基区用二氧化硅保护起来, 用腐蚀停止技术^[7]腐蚀掉未保护的 N 型硅层, 达到锗硅合金层后, 腐蚀停止。再利用干法腐蚀掉剩下的锗硅层, 用常规光刻工艺把发射区上的二氧化硅留住, 去掉基区上的二氧化硅。利用氢氧化钾腐蚀液把发射区以外的 N 型硅腐蚀掉, 并使收集区 N⁺ 层显露出来。清洗片子后, 再淀积 350nm 厚的二氧化硅层, 光刻引线孔, 蒸铝, 刻出铝电极, 合金后即完成制作过程。

2.4 测试结果

利用 HP4145B 晶体管测试仪测量了该器件的输出特性。测试结果参看图 2, 电流增益 $\beta \approx 75$ 、 $V_{CE} > 6\text{ V}$, 有很好的饱和特性。利用 HP8510 网络分析仪测量晶体管特征频率, 在测量时利用该仪器的测试软件抵消掉延伸电极及压焊区的分布参数影响, 得到 $f_T = 20\text{ GHz}$, 测试结果参看图 3。

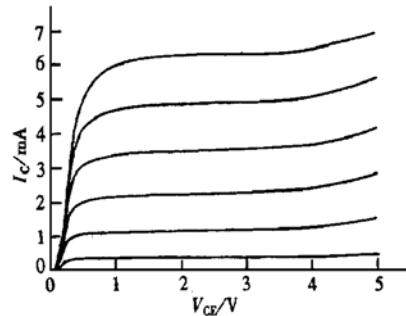


图 2 SiGe/Si HBT 输出特性

FIG. 2 Output Characteristics of SiGe/Si HBT

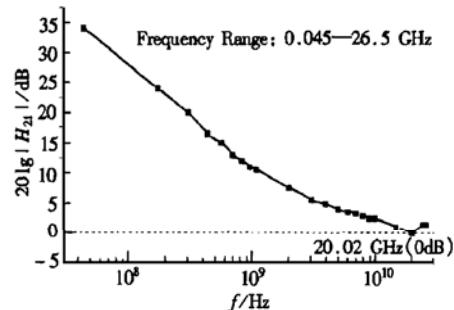


图 3 SiGe/Si HBT 电流增益随频率的变化关系

FIG. 3 Current Gain vs Frequency of SiGe/
Si HBT

3 结论

利用国产气态源分子束外延设备(GSMBE)可以生长出具有“器件质量”的SiGe/Si HBT材料。在发射结条宽为 $4\mu\text{m}$, 面积为 $4\mu\text{m} \times 18\mu\text{m}$ 的条件下, 制备出器件的电流增益为 $\beta \approx 75$, 截止频率 $f_T = 20\text{GHz}$ 。如果利用更加细小尺寸的光刻工艺, 器件的频率可以做得更高。

参考文献

- [1] Liu Xuefeng, Li Jianping, Lin Lanying *et al.*, Growth of Si/SiGe/Si Heterojunction Bipolar Transistors by Gas-Source Molecular Beam Epitaxy, Chinese Journal of Semiconductors, 2000, **21**(2): 142—145[刘学峰, 李建平, 林兰英, 等, 用气态分子束外延生长法制备 Si/SiGe/Si npn 异质结晶体管, 半导体学报, 2000, **21**(2): 142—145].
- [2] Zou Deshu, Chen Jianxin, Shen Guangdi *et al.*, SiGe/Si HBT Possessing High Current Gain at the Liquid Nitrogen Temperature, Chinese Journal of Semiconductors, 1997, **18**(5): 367—370[邹德恕, 陈建新, 沈光地, 等, 在液氮温度下具有高增益的 SiGe/Si HBT, 半导体学报, 1997, **18**(5): 367—370].
- [3] Qian Wei, Zhang Jinshu, Jia Hongyong *et al.*, Low Noise Microwave SiGe HBTs, Chinese Journal of Semiconductors, 2000, **21**: 445—450[钱伟, 张进书, 贾宏勇, 等, 微波低噪声 SiGe HBT 的研制, 半导体学报, 2000, **21**: 445—450].
- [4] Zhao Lixin and Shen Guangdi, Simulations and Analysis of SiGe HBTs High Frequency Characteristics, Chinese Journal of Semiconductors, 2000, **21**(6): 468—475[赵立新, 沈光地, SiGe HBTs 高频特性模拟分析, 半导体学报, 2000, **21**(6): 468—475].
- [5] Yang Shuren, Ding Moyuan *et al.*, Epitaxy Growth Technology, Beijing: Publishing House of National Defence Industry, 1992, 427[杨树人, 丁墨元, 外延生长技术, 北京: 国防工业出版社, 1992, 427].
- [6] Huang Dading, Liu Jinping, Li Jianping *et al.*, Chinese Journal of Semiconductors, 1999, **20**(12): 1049[黄大定, 刘金平, 李建平, 等, 半导体学报, 1999, **20**(12): 1049].
- [7] Zou Deshu, Chen Jianxin, Gao Guo *et al.*, Journal of Beijing Polytechnic University, 1996, **22**(4): 55[邹德恕, 陈建新, 高国, 等, 北京工业大学学报, 1996, **22**(4): 55].

SiGe/Si Material Grown by GSMBE*

ZOU De-shu¹, XU Chen¹, CHEN Jian-xin¹, SHI Chen¹, DU Jin-yu¹, GAO Guo¹, SHEN Guang-di¹, HUANG Da-ding², LI Jian-ping² and LIN Lan-ying²

(1 Institute of Electronic Information and Control Engineering, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022, China)

(2 Material Center, Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The Si/SiGe/Si structures used in heterojunction bipolar transistor (HBT) are grown by Gas-Source Molecular Beam Epitaxy (GSMBE). The SiGe/Si HBT are fabricated with double mesa structure by using the emitter of $4\mu\text{m}$ in width and $4\mu\text{m} \times 18\mu\text{m}$ in size. The current gain of 75 and f_T of 20GHz are obtained. The structure design, technology of material growth and fabrication of the HBT are described.

Key words: GSMBE; Si/SiGe HBT; double mesa structure

EEACC: 2560J; 2530 **PACC:** 6822; 6630J; 7340L

Article ID: 0253-4177(2001)08-1035-03

* Project Supported National High Technology (863) Research and Development Program, National Natural Science Fundation of China, National Natural Science Fundation of China for Key Projects, Special Fundation for Major State Basic Research Project.

ZOU De-shu professor, is engaged in the research on the semiconductor technology.

Received 8 September 2000, revised manuscript received 13 December 2000

© 2001 The Chinese Institute of Electronics