

77K 下工作的双层多晶硅发射区 RCA 器件和电路

叶红飞 高玉芝 金海岩 罗 葵 宁宝俊 莫邦燹 张广勤 张利春

(北京大学微电子学研究所, 北京 100871)

摘要: 研究了掺磷双层多晶硅 RCA 器件和电路的制备工艺及其温度特性. 在工艺中采用自对准双极结构, 生长一层 RCA 超薄氧化层, 并用快速热退火处理 RCA 氧化层. 研制的多晶硅发射区 RCA 晶体管不仅具有较低的电流增益-温度依赖关系, 而且还具有较快的工作速度. 首次制备出多晶硅发射区 RCA ECL 静态二分频器在室温下其工作频率为 1.1—1.2GHz, 在液氮温度下能够正常工作, 工作频率可达 730MHz.

关键词: 双极器件; RCA 晶体管; 多晶硅发射区; 液氮温度; ECL 集成电路

EEACC: 2560B; 2530N

中图分类号: TN32 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4177(2001)09-1207-05

1 引言

多晶硅发射极双极技术已经成为当今双极工艺的主流技术. 多晶硅发射区 RCA 晶体管由于发射区界面氧化层对电流增益的增强作用^[1,2], 比常规金属接触发射极晶体管和多晶硅发射区 HF 晶体管具有更高的电流增益和更低的电流增益-温度依赖关系. 并且由于它还具有较高的截止频率和良好的工艺兼容性而适合于应用到低温超高速双极集成电路中.

我们曾经研制出掺磷单层多晶硅发射区 RCA 晶体管^[3]. 为了进一步提高晶体管的工作速度, 采用双层多晶硅自对准双极结构, 成功地制备出 L 型隔离侧墙^[4], 使器件的有源区面积相对单层多晶硅发射区晶体管减小了 38%, 从而减小了器件的寄生电容, 提高了器件的速度. 将双层多晶硅发射区双极结构与生长一层 RCA 超薄氧化层的方法相结合, 并用快速热退火(RTA)处理 RCA 氧化层, 研制出双层多晶硅 RCA 器件和电路. 制备的掺磷多晶硅发射区 RCA 晶体管具有较低的电流增益-温度依赖关系, 同时还具有较快的工作速度. 因此, 我们将双层多晶硅 RCA 晶体管应用到低温超高速集成电路中, 研制出多晶硅发射区 RCA ECL 静态二分频器

在室温下工作频率为 1.1—1.2GHz, 在液氮温度下能够正常工作, 工作频率可达 730MHz.

2 实验

双层多晶硅 RCA 晶体管的剖面图如图 1 所示.

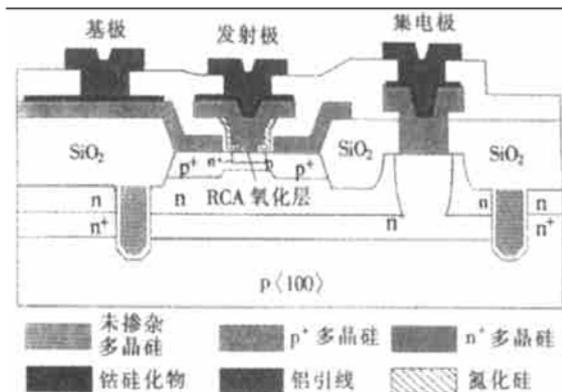


图 1 双层多晶硅 RCA 晶体管的剖面示意图

FIG. 1 Cross-Section for Double-Polysilicon RCA Transistor

制备 RCA 晶体管及其集成电路的材料采用 n/n⁺/p 结构的硅外延片, 外延层厚度为 1.5 μ m, 掺杂浓度为 3 $\times 10^{16}$ cm⁻². 主要工艺流程为: 刻槽 \rightarrow 形成场区和器件有源区 \rightarrow 形成 n⁺集电区 \rightarrow 形成 p⁺多晶

叶红飞 男, 1973 年出生, 讲师, 主要从事多晶硅发射极超高速双极器件与电路、SiGe 异质结器件与电路的工艺和测试研究.

张利春 男, 1939 年出生, 教授, 博士生导师, 主要从事多晶硅发射极超高速双极集成电路和 SiGe 异质结器件研究.

2000-10-30 收到, 2001-02-08 定稿

©2001 中国电子学会

硅外基区→形成发射极-基极侧墙→生长 RCA 超薄氧化层→RTA 处理超薄氧化层→形成 n^+ 多晶硅发射极→形成硅化物→形成接触孔和 Al 引线.

RCA 器件与 HF 器件的最主要的不同在于 RCA 器件的多晶硅发射区与单晶硅发射区之间有一层厚度约为 1.5nm 的超薄界面氧化层. 因此 RCA 器件制备的关键就在于要生长好这一层高质量的超薄界面氧化层. 同时为了提高 RCA 氧化层的质量, 保证 RCA 器件的稳定性和可靠性, 我们提出在 RCA 氧化层生长之后立刻用氮气快速热退火方法处理 RCA 氧化层以改善 RCA 界面氧化层的质量. 实践证明此方法提高了 RCA 器件的稳定性和可靠性, 保证了 RCA 晶体管及其集成电路能够得到实用.

后续的离子注入激活退火工艺, HF 器件一般采用 1100°C 以上的快速热退火. 但是, 对于 RCA 器件, 在其后续的退火过程中, 必须严格控制退火温度, 否则界面氧化层会发生破裂或球聚^[5], 多晶硅直接与单晶硅衬底接触并产生外延再生长. 这样界面氧化层对少子的阻碍作用就大大减弱, 从而引起电

流增益下降, 以及电流增益的温度特性变坏. 界面氧化层破裂的临界温度与具体的工艺过程有关(如基区注入的能量、剂量以及发射区注入杂质的种类、剂量、能量等), 一般要求后续退火温度不超过 950°C. 在实际的工艺流程中, 后续退火温度取为 900°C, 并根据实验选择最佳退火时间.

综上所述, 在成熟的多晶硅发射区 HF 器件制备工艺基础上, RCA 器件的制备工艺主要改变了下面两点: (1) 在淀积发射极多晶硅之前, 增加了 RCA 化学生长超薄界面氧化层和氮气快速热退火处理 RCA 氧化层的工序; (2) 后续杂质驱进退火温度较低, 为 900°C, 并通过实验选择最佳退火时间.

我们发现, 对双层多晶硅 RCA 晶体管在 430°C 氮气气氛中进行 20min 的退火, 在退火前后对 RCA 晶体管进行测试, 其特性基本上没有什么变化. 若进行氮氢退火, 即退火气氛为氮氢混合气体, 退火条件仍然为 430°C、20min, 在氮氢退火前后对 RCA 晶体管进行测试, 发现其特性有显著改善. 图 2 为氮氢退火前后晶体管的 Gummel 图以及电流增益随集电极电流变化曲线比较.

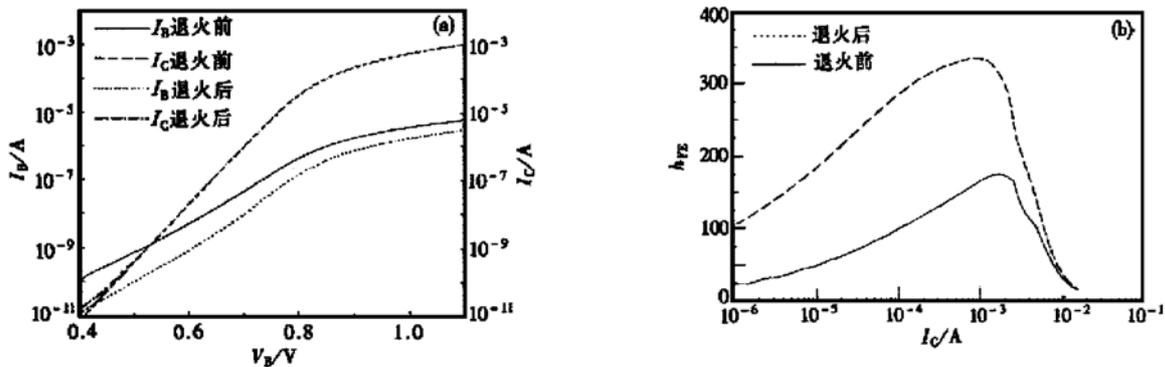


图 2 氮氢退火前后 RCA 晶体管特性比较 (a) Gummel 图; (b) h_{FE} 随 I_C 变化曲线

FIG. 2 Characteristics of RCA Transistor Before and After Forming Gas Annealing (a) Gummel Diagram; (b) h_{FE} Versus I_C

从 Gummel 图中可以看出, 在经过氮氢退火后, RCA 晶体管的集电极电流基本上没有变化, 但基极电流在小电流情况下明显减小. 此外 RCA 晶体管的电流增益在经过氮氢退火后增大为退火前的约 2 倍. 与 RCA 晶体管相比较, 我们对双层多晶硅 HF 晶体管也进行了氮氢退火前后的特性比较, 结果发现 HF 晶体管在氮氢退火前后其特性基本上没有变化. 从这些实验结果可以看出, 在纯氮气气氛中进行退火对 RCA 晶体管特性的改善没有明显作

用. 在氮氢气氛中进行退火对 RCA 晶体管特性的改善有明显作用, 但对 HF 晶体管特性的改善没有明显作用. 这是因为在氮氢退火过程中氢气能够穿透到 RCA 界面氧化层减小了 RCA 晶体管单晶发射区和多晶发射区之间的界面陷阱, 而界面态密度的降低有利于减小 RCA 晶体管的基极电流. 另外, 较低的界面态密度还有利于改善 RCA 晶体管电流增益的温度特性^[6,7]. 对经过氮氢退火的 RCA 晶体管测试其电流增益随温度的变化, 结果表明其温度

特性在我们所制备的各批流片中最优. 在室温下其电流增益为 253, 液氮下为 67, 只降低到室温值的 26.5%. 这说明通过氮氢退火工艺还可以改善 RCA 晶体管电流增益的温度特性.

3 器件的温度特性

我们对双层多晶硅 RCA 晶体管在室温和液氮温度下用 HP4156B 半导体参数分析仪测试了其电学特性, 典型的测试结果如表 1 所示.

表 1 双层多晶硅 RCA 晶体管在室温和液氮下的电学特性 ($A_E = 3\mu\text{m} \times 8\mu\text{m}$)

Table 1 Electrical Characteristic for Typical Double-Polysilicon RCA Transistor at Room and Liquid Nitrogen ($A_E = 3\mu\text{m} \times 8\mu\text{m}$) Temperature

	室温	液氮温度
h_{FE}	253	67
V_{BE}/V	0.936	1.29
BV_{EBO}/V	5.27	5.02
BV_{CBO}/V	25.4	22.0
BV_{CEO}/V	12.0	10.0
R_E/Ω	17.1	23.2
$f_T/\text{GHz}(A_E = 3\mu\text{m} \times 10\mu\text{m})$	3.8	—

图 3 和 4 分别为双层多晶硅 RCA 晶体管在室温及液氮温度下的 Gummel 图和电流增益随集电极电流变化曲线. 从图中可以看出, 双层多晶硅 RCA 晶体管在液氮温度下也具有良好的电学性能, 电流增益较大, 为 67, 只降到室温下的 26.5%. 此外, 双层多晶硅 RCA 晶体管还具有较高的工作速

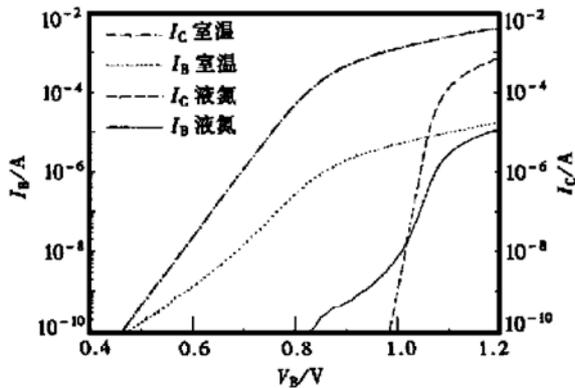


图 3 双层多晶硅 RCA 晶体管在室温和液氮温度下的 Gummel 图

FIG. 3 Gummel Diagram for Double-Polysilicon RCA Transistor at Room and Liquid Nitrogen Temperature

度, 发射区尺寸为 $3\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ 的双层多晶硅 RCA 晶体管的截止频率可达 3.8GHz. 这些特性说明我们制备的双层多晶硅 RCA 晶体管适合用于低温超高速集成电路中.

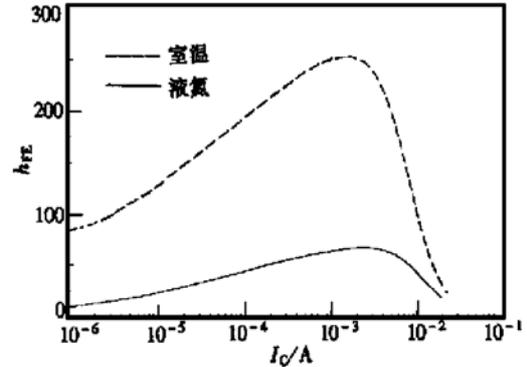


图 4 双层多晶硅 RCA 晶体管在室温和液氮温度下的 $h_{FE}-I_C$ 的关系曲线 ($V_{CE} = 2V$)

FIG. 4 Current Gain Versus Collector Current for Double-Polysilicon RCA Transistor at Room and Liquid Nitrogen Temperature ($V_{CE} = 2V$)

我们研制了由双层多晶硅 RCA 晶体管构成的 ECL 静态二分频器. 该分频器电路由参考电压源与信号输入、主从 D 触发器、输出缓冲器三部分组成, 其原理图如图 5 所示. 电路中的电阻采用的是 n^+ 多晶硅电阻. 将双层多晶硅 RCA 静态二分频器分别置于室温和液氮温度下, 测量其输入输出波形, 确定正常工作频率, 相应的波形图如图 6 所示. 在室温下其工作频率为 1.1—1.2GHz, 在液氮温度下能正常工作, 工作频率为 600—730MHz.

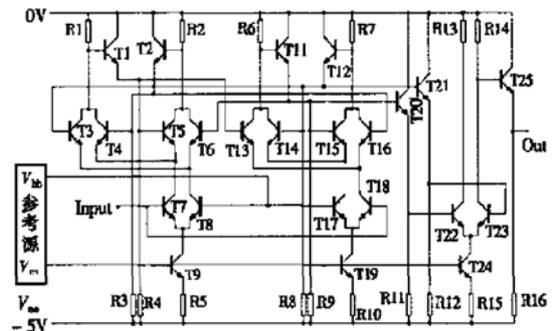


图 5 ECL 静态二分频器电路原理图

FIG. 5 Schematic for ECL Static Frequency Divider

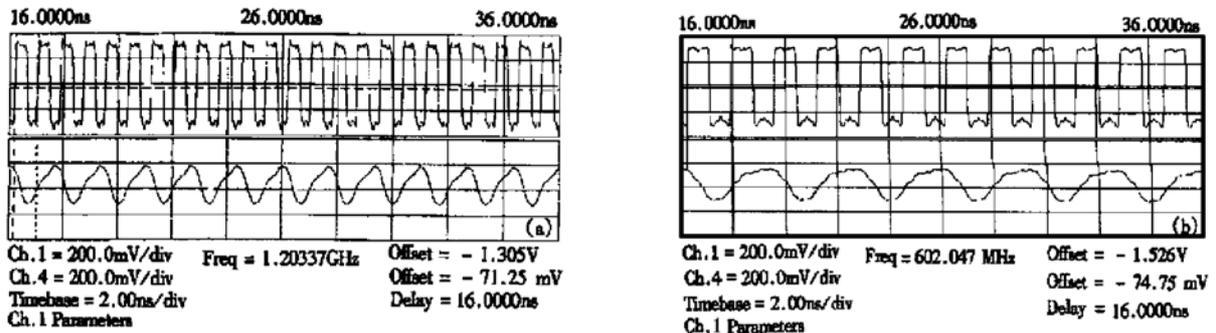


图 6 双层多晶硅 RCA 二分频器的输入输出波形图 (a) 室温; (b) 液氮温度

FIG. 6 Input and Output Waveforms for an RCA ECL Frequency Divider at (a) Room Temperature; (b) Liquid Nitrogen Temperature

4 结论

我们采用自对准双极结构, 生长一层 RCA 超薄氧化层, 并用氮气快速热退火处理 RCA 氧化层, 使得界面氧化层的质量和可靠性得到了显著的提高, 研制出双层多晶硅 RCA 器件和电路. 此外, 我们还采用氮氢退火工艺减小了双层多晶硅 RCA 晶体管的发射区单晶硅和多晶硅之间的界面陷阱, 明显地改善了双层多晶硅发射极 RCA 晶体管电流增益的温度特性, 使得掺磷多晶硅发射极 RCA 晶体管具有较低的电流增益-温度依赖关系. 发射区尺寸为 $3\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ 双层多晶硅 RCA 晶体管的特征频率为 3.8GHz. 我们首次将双层多晶硅 RCA 晶体管应用到低温超高速集成电路中, 研制出多晶硅发射区 RCA ECL 静态二分频器, 室温下其工作频率为 1.1—1.2GHz, 在液氮温度下能够正常工作, 工作频率可达 730MHz.

参考文献

- [1] H. C. de Graaff and J. G. de Groot, IEEE Trans. Electron Devices, 1979, **ED-26**: 1771.
- [2] P. Ashburn and B. Soetowirdjo, IEEE Trans. Electron Devices, 1984, **ED-31**: 853.
- [3] ZHANG Lichun, YE Hongfei, JIN Xuelin *et al.*, Chinese Journal of Semiconductors, 2000, **21**(7): 697 (in Chinese) [张利春, 叶红飞, 金雪林, 等, 半导体学报, 2000, **21**(7): 697].
- [4] JIN Haiyan, GAO Yuzhi *et al.*, Research & Progress of SSE, 2001, **21**(1): 69(in Chinese) [金海岩, 高玉芝, 等, 固体电子学研究与进展, 2001, **21**(1): 69].
- [5] G. R. Wolstenhille and N. Jorgensen, J. Appl. Phys., 1987, **61**: 225.
- [6] P. Ma, L. Zhang, B. Zhao and Y. Wang, IEEE Trans. Electron Devices, 1995, **42**: 1789.
- [7] MA Pingxi, ZHANG Lichun and WANG Yangyuan, Chinese Journal of Semiconductors, 1996, **17**(2): 105 (in Chinese) [马平西, 张利春, 王阳元, 半导体学报, 1996, **17**(2): 105].

Double-Polysilicon Emitter RCA Devices and ICs at 77K

YE Hong-fei, GAO Yu-zhi, JIN Hai-yan, LUO Kui, NING Bao-jun, MO Bang-xian,
ZHANG Guang-qin and ZHANG Li-chun

(*Institute of Microelectronics, Peking University, Beijing 100871, China*)

Abstract: The processing technologies and temperature characteristics of phosphorus-doped polysilicon emitter RCA devices and ICs are investigated. By adopting a self-aligned bipolar structure an ultra-thin interfacial oxide is grown deliberately by using RCA oxidation, which is treated by Rapid Thermal Annealing (RTA) in nitrogen atmosphere then. Double-polysilicon RCA transistors, with both less temperature dependence on current gain and higher cut-off frequency, are fabricated. Furthermore, the running frequency for the ECL static frequency divider constructed by double-polysilicon RCA transistors is 1.1—1.2GHz at room temperature, while it is 730MHz at the liquid nitrogen temperature.

Key words: bipolar device; RCA transistor; polysilicon emitter; liquid nitrogen temperature; ECL

EEACC: 2560B; 2530N

Article ID: 0253-4177(2001)09-1207-05

YE Hong-fei male, was born in 1973, lecturer. His current research interests focus on the development of process and measure of polysilicon emitter very high speed bipolar IC and SiGe heterojunction device and IC.

ZHANG Li-chun male, was born in 1939, professor and tutor of PhD candidate. His research interests are in the development of polysilicon emitter very high speed bipolar IC and SiGe heterojunction device.

Received 30 October 2000, revised manuscript received 8 February 2001

©2001 The Chinese Institute of Electronics