

硅微波功率器件二次发射极镇流研究

王因生 林金庭 张树丹

(南京电子器件研究所 南京 210016)

摘要 本文报道了采用多晶硅电阻和扩散电阻组合而成的复合镇流电阻对硅微波功率器件进行二次发射极镇流的实验结果。

EEACC: 2560J, 2560

1 引言

硅微波功率管在电子通讯、雷达、电子对抗和微波遥感遥测等领域有广泛的应用,对器件的可靠性和工作寿命提出很高的要求。就硅器件而言,一般认为器件结温每降低 10°C ,工作寿命可提高近一倍。因此降低器件工作结温是提高微波功率管工作寿命的关键。另一方面,微波功率器件由于有源区面积大、工作时功率密度高,热电反馈效应易造成芯片局部区域电流集中,形成热斑,严重危及功率管的安全工作。消除热斑,降低器件峰值结温,避免或减小电流集中的有效措施是采用发射极镇流电阻。目前通常采用镍铬电阻、扩散电阻和多晶硅电阻作镇流电阻,然而进一步的研究表明上述三种镇流电阻方法均有不足。例如镍铬电阻容易发生“起皮”、断裂或烧毁。扩散电阻通常是制作在发射极条的根部,无法实现对整个发射区处处镇流,而多晶硅电阻虽可实现处处垂直镇流,但多晶硅电阻在器件使用温度范围里未能表现出良好的正温度效应,镇流效果不够理想。本文提出采用扩散电阻和多晶硅电阻组合而成的复合镇流电阻,可实现对发射极电流二次镇流,即发射极电流经过扩散电阻镇流后,又通过多晶硅电阻二次镇流,显然二次发射极镇流比常规的发射极镇流电阻的一次镇流要优越。

2 复合镇流电阻的制备和实验结果

前期的研究工作中采用多晶硅作镇流电阻^[1],取得一定镇流效果。器件的制备除发射极外均采用常规的硅双极晶体管工艺。在发射极窗口打开之后,用 LPCVD 生长一层高浓度的掺 As 多晶硅,厚度约 $1\mu\text{m}$,生长过程中必须很好地控制 $\text{AsH}_3/\text{SiH}_4$ 的比例,并采用交替生

王因生 男,高级工程师,从事多晶硅发射极微波功率晶体管研究

林金庭 男,教授级高工,总工程师,电子部科技委委员,从事微波半导体 GaAs MMIC 研究

张树丹 男,1956 年生,高级工程师,主要从事硅微波功率晶体管研究

1996 年 10 月 1 日收到初稿,1996 年 12 月 13 日收到修改稿

长技术才能长出合适电阻值的多晶硅薄层. 多晶硅薄层经快速退火后平均电阻率为 $0.2\Omega \cdot \text{cm}$ 左右, 经测试单胞功率器件发射极多晶硅镇流电阻为 0.2Ω . 这种镇流方式由于就地利用多晶硅发射区上的多晶硅薄层电阻作垂直镇流, 工艺简便, 比集中式的扩散镇流均匀性更易实现, 可以做到发射区处处镇流, 至今仍在采用. 但这种镇流方式也有缺点, 最主要是多晶硅电阻在使用温度范围里未能表现出良好的正温度效应, 如图 1 中直线 L_2 所示, 直线 L_2 表示仅仅采用高掺杂多晶硅作镇流电阻的单胞功率器件发射极镇流电阻在不同温度下电阻的变化. 当器件出现热斑, 随着器件热斑处温度升高, 该处多晶硅电阻并不能明显地增大, 因而多晶硅镇流电阻在热斑处无法引入额外的负反馈来抑制发射极电流的集中. 其次, 由于掺 As 多晶硅电阻率 ρ 与掺杂浓度的关系^[2], 掺杂在 $10^{18} \sim 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 的电阻率 ρ 随掺杂浓度剧烈变化, 掺杂浓度在 10^{20}cm^{-3} 附近, 这种变化才趋于缓和. 这一特性造成工艺上难于控制所需的合适多晶硅电阻值. 为获得良好的重复性, 必须采用高掺杂 ($\sim 10^{20}\text{cm}^{-3}$) 的多晶硅, 这就导致多晶硅电阻偏低. 图 1 中直线 L_1 所示的多晶硅电阻值在工艺上较难控制, 因而实用上受到限制.

进一步地改进是引入复合镇流电阻, 其结构如图 2 所示, 即在保持多晶硅电阻垂直镇流的同时, 又在金属发射极条根部引入扩散电阻, 组成以扩散电阻为主的复合镇流电阻, 使整个复合镇流电阻呈现正电阻温度系数, 如图 1 中直线 L_3 所示. 直线 L_3 与 L_1 在 25°C 处有一

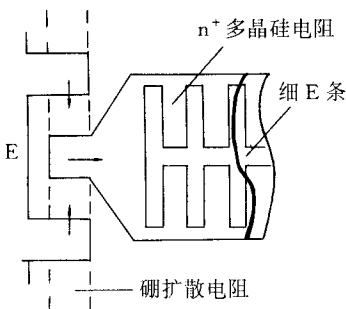


图 2 复合镇流电阻二次发射极镇流结构示意图

交点, 表明采用复合镇流电阻与单独采用多晶硅镇流电阻的单胞功率器件在室温 25°C 时具有相同的镇流电阻值. 扩散电阻是与器件浓硼扩散同时进行, 扩散方块电阻 $20\Omega/\square$, 整个单胞功率器件复合镇流电阻以扩散电阻为主, 两者应有合适的比例. 多晶硅电阻的选择应满足关系式 $r_{\text{cs多晶}} \geq r_b/h_{\text{fe}}$ ^[3,4], 这时由于多晶硅垂直镇流作用, 整个发射条上电流分布较为均匀, 减少了发射极电流集边效应.

采用这种复合镇流电阻结构, 器件有良好的热稳定性, 可以实现对发射极电流二次镇流. 扩散电阻镇流以均衡不同金属发射极条之间的电流, 而多晶硅电阻镇流主要对流入相同金属发射极条到各不同细 E 支条的电流进行第二次调节, 使流经各细 E 支条上的电流更为均匀. 可以预料, 经过二次镇流后, 芯片表面峰值结温将会下降, 表面最大温度差 ΔT 将会缩小.

图 3 给出用 RM-50 红外显微热象仪对采用不同镇流电阻结构的单胞器件芯片温度分布进行红外温度测量观察结果, 图中曲线系器件芯片表面等温分布曲线. 两单胞器件具有相同的镇流电阻值、芯片尺寸和硅片厚度, 电性能也基本相同, 器件安装在相同管壳和散热片上, 外加相同的直流功耗 $P_a = 15.4\text{V} \times 0.6\text{A} = 8.6\text{W}$. 由图 3(b) 可见, 采用多晶硅一次镇流的器件, 芯片边缘温度为 97°C , 中心部位最高温度区域形成两处热斑, 两处结温均为 108°C ,

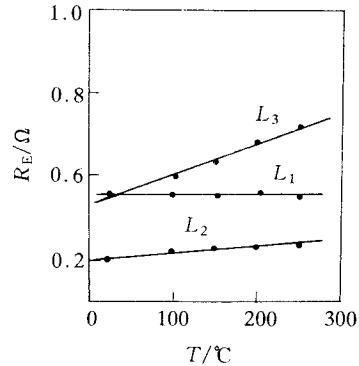


图 1 单胞功率器件不同镇流电阻的温度特性

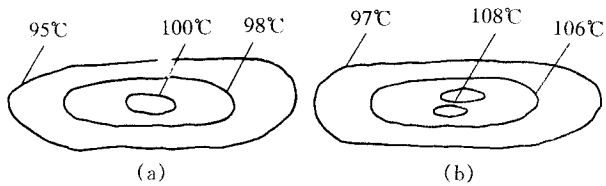


图 3 不同镇流电阻结构的单胞功率器件芯片温度分布

(a) 复合电阻二次镇流结构, 功耗 $P_d=8.6\text{W}$,

$R_E=0.5\Omega, T_{\max}=100^\circ\text{C}, \Delta T=5^\circ\text{C}$;

(b) 多晶硅电阻一次镇流结构, 功耗 $P_d=8.6\text{W}$,

$R_E=0.5\Omega, T_{\max}=108^\circ\text{C}, \Delta T=11^\circ\text{C}$.

芯片表面最大温度差 $\Delta T=11^\circ\text{C}$. 而采用复合电阻二次发射极镇流的器件, 如图 3(a) 所示, 芯片边缘温度为 95°C , 中心部位最高结温为 100°C , 芯片表面最大温度差 $\Delta T=5^\circ\text{C}$, 采用复合电阻二次镇流结构的器件峰值结温降低 8°C , 如前所述, 这种二次镇流结构的器件工作寿命将会有较大的提高.

采用上述复合电阻二次发射极镇流结构的 L 波段芯片经内匹配成

100W 脉冲大功率管, 具有较强的抗失配抗烧毁能力, 满足实际使用要求. 在 P 波段大功率脉冲管研制中, 两种不同发射极镇流结构的单胞芯片, 经内匹配网络匹配成 P 波段脉冲输出 120W 的脉冲功率晶体管各 5 只, 在该频段内, 额定输出功率 120W, 进行输出驻波 3:1, 全相位动态抗失配试验, 结果单独采用多晶硅电阻一次镇流结构的管子 5 只有 1 只烧毁, 而复合电阻二次镇流结构的管子无一烧毁. 在输出 140W 过激励抗失配试验中, 二次镇流结构的器件仍无一烧毁. 由此可见, 二次镇流结构的器件, 由于镇流效果明显, 发射极电流经过二次镇流调节后分布更为均匀, 功率器件的热斑不易形成, 器件的可靠性尤其是抗失配能力有明显的增强. 目前这种复合电阻二次镇流结构已用于研制各种波段的微波大功率管.

3 结语

硅双极型微波大功率管的发射极镇流技术是改善发射极电流分布降低器件峰值结温的有力措施. 本文提出的发射极复合电阻二次镇流结构和技术比常规的发射极镇流技术可进一步降低器件峰值结温和芯片表面温度差, 从而提高微波大功率器件的可靠性和工作寿命. 目前这种复合电阻二次镇流结构已用于各种波段的微波大功率器件, 并在工程上实际应用.

参 考 文 献

- [1] 王因生, 等, 固体电子学研究进展, 1994, 14(2): 193.
- [2] 王阳元, T. I. 卡马斯, 多晶硅薄膜及其在集成电路中的应用, 北京: 科学出版社, 1988, 135.
- [3] 王因生, 张晓明, 等, IEEE Electron Device Lett., 1990, EDL-11(5): 187.
- [4] 王因生, 盛文伟, 等, 半导体学报, 1991, 12(1): 37.

Study on Dual Emitter Ballasting of Silicon Microwave Power Transistor

Wang Yinsheng, Lin Jinting and Zhang Shudan

(*Nanjing Electronic Devices Institute, Nanjing 210016*)

Received 1 October 1996, revised manuscript received 13 December 1996

Abstract The experimental results of dual emitter ballasting using a complex emitter ballasting resistor which is provided by a diffused silicon resistor and a polysilicon resistor in silicon microwave power transistor are reported.

EEACC: 2560J, 2560