

高热稳定性多发射极功率 SiGe HBT 的研制

金冬月, 沈珮, 张万荣, 王扬, 沙永萍, 何莉剑, 张蔚, 谢红云

(北京工业大学 电子信息与控制工程学院, 北京 100022)

摘要: 成功研制出具有非均匀发射极条间距结构的多发射极功率SiGe 异质结双极晶体管 (HBT), 用以改善功率器件热稳定性。实验结果表明, 在相同的工作条件下, 与传统的均匀发射极条间距结构HBT相比, 非均匀发射极条间距结构HBT的峰值结温降低了 15.87K。对于同一个非均匀发射极条间距结构SiGe HBT, 在不同偏置条件下均能显著改善有源区温度分布。随着偏置电流 I_C 的增加, 非均匀发射极条间距结构SiGe HBT改善峰值结温的能力更为明显。由于峰值结温的降低以及有源区温度分布非均匀性的改善, 非均匀发射极条间距功率SiGe HBT可以工作在更高的偏置条件下, 具有更高的功率处理能力。

关键词: SiGe; 异质结双极晶体管; 功率

中图分类号: TN322.8

文献标识码: A

文章编号: 1001-2400(2007)S1-0177-04

Multi-finger power SiGe HBT with high thermal stability

JIN Dong-yue, SHEN Pei, ZHANG Wan-rong, WANG Yang, SHA Yong-ping, HE Li-jian,
ZHANG Wei, XIE Hong-yun

(College of Electronic Information and Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: A multi-finger power SiGe heterojunction bipolar transistor (HBT) with non-uniform finger spacing was fabricated to improve the thermal stability. Experimental results show that the peak temperature of SiGe HBT with non-uniform finger spacing is lowered by 15.87K compared with that of uniform finger spacing HBT under the same operational condition. The temperature profile across the device can be improved obviously at different biases for the same HBT with non-uniform finger spacing. With the increase of I_C , the capability of HBT with non-uniform finger spacing to improve the temperature profile is more significant. Because of the decrease in peak temperature and the improvement of temperature profile, the power SiGe HBT with non-uniform spacing can operate at a higher bias and hence has higher power handling capability.

Key Words: SiGe; HBT; power

异质结双极晶体管 (HBT) 具有高的电流处理能力、优异的高频特性、较宽的线性和高的效率, 适用于功率放大器、雷达、通讯及电子战系统、微波振荡器和A/D转换器等领域^[1,2]。HBT功率应用时, 通常采用多发射极并联方式来改善电流处理能力和散热能力, 减少沿发射极条长方向信号异相延迟时间。然而, 每一个条上的自热效应和条间的热耦合使HBT在高功率下晶体管变得不稳定, 严重限制晶体管的功率处理能力^[3,4]。

为削弱多发射极HBT的热效应, 常常采用以下几种技术, 包括基极镇流电阻^[5,6]、衬底减薄、非均匀发射极条宽设计^[7]等。但是基极镇流电阻值需优, 以减小其对器件速度的影响; 而非均匀发射极条宽设计又非常复杂, 且强烈依赖于器件的偏置条件。笔者研制出具有非均匀发射极条间距结构的多发射极功率SiGe HBT, 用以改善功率

收稿日期: 2007-06-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60376033); 北京市教委科技发展计划项目(KM200710005015); 北京市优秀跨世纪人才基金项目 (67002013200301)

作者简介: 金冬月 (1980-), 女, 北京工业大学博士研究生。

器件热稳定性。与传统的均匀发射极条间距结构相比,非均匀发射极条间距结构可显著降低功率HBT峰值结温。与具有发射极镇流电阻(R_E)的匀发射极条间距结构相比,非均匀发射极条间距结构可以在很大的偏置范围内改善功率HBT有源区的温度分布。

1 器件结构和制备

图1为多发射极SiGe HBT的横截面结构示意图,其中均匀基区Ge组分为16%。笔者设计的多发射极SiGe HBT为梳状结构,共20个发射极条,每个发射极条的尺寸为 $3\mu\text{m}\times 45\mu\text{m}$ 。在SiGe HBT各层(集电区、基区、发射区)外延生长完成后,按照如下工艺制备多发射极功率SiGe HBT:

- (1) 用低压化学气相淀积(LPCVD)方法淀积100nm SiO_2 , 干湿结合刻蚀发射区;
- (2) LPCVD 淀积200nm 多晶硅, 并大面积注入 P^+ 做发射极接触, 其中 P^+ 注入能量为70 keV, 浓度为 $1\times 10^{16}\text{ cm}^{-2}$, 干法刻蚀发射区台面;
- (3) 外基区离子注入, 其中 BF_2^+ 注入能量为25 keV, 浓度为 $1\times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$, B^+ 注入能量为30 keV, 浓度为 $1\times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$, 干湿结合刻蚀集电区台面;
- (4) LPCVD 淀积300 nm SiO_2 , 干法刻蚀有源区内 SiO_2 , 在E、B孔边缘形成 SiO_2 侧墙, 以防止金属化时B孔处EB结穿透;
- (5) 溅射Ti, 在 850°C , 15s快速热退火后在集电区接触处形成TiSi合金;
- (6) LPCVD 淀积200nm SiO_2 , 用等离子增强化学气相淀积(PECVD)方法淀积200nm Si_3N_4 , 干湿结合刻蚀发射极和基极接触孔;
- (7) 溅射Al, 形成 $1\mu\text{m}$ AlSi, 光刻Al, 并淀积200nm SiO_2 和750nm Si_3N_4 ;
- (8) RIE刻蚀钝化介质后, 衬底减薄至 $150\mu\text{m}$, 背面蒸金, 划片, 烧结, 压Al丝及封帽。

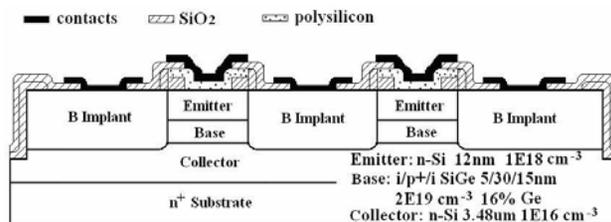


图1 多发射极SiGe HBT结构示意图

2 测试结果及分析

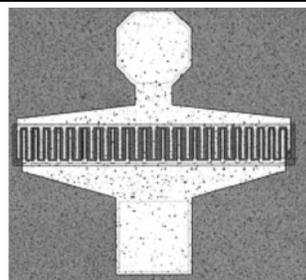
图2(a)和(b)分别为采用非均匀发射极条间距结构和具有 R_E 的均匀发射极条间距结构的20指功率SiGe HBT的SEM照片, 其中 R_E 位于发射极条根部。对于20指HBT, 共有19个发射极条间距值, 每个条间距均从各个发射极中心处测量。考虑到对称性, 只需设计10个发射极条间距值, 令它们分别为 X_1, X_2, \dots, X_{10} , 其中 X_{10} 为中心发射极条间距值。笔者设计的均匀发射极条间距结构, 具有 R_E 的均匀发射极条间距结构和非均匀发射极条间距结构功率HBT所具有相同的器件总面积和发射极条结构, 它们的发射极条间距值参见表1。

利用红外微热像仪分别测得均匀发射极条间距结构、具有 R_E 的均匀发射极条间距结构和非均匀发射极条间距结构SiGe HBT有源区温度分布, 如图3(a), (b)和(c)所示。以上3种器件均工作在集电极电流 $I_C=600\text{mA}$, 工作电压 $V_{CE}=5\text{V}$ 。可看出, 均匀发射极条间距和具有 R_E 的均匀发射极条间距结构HBT的峰值结温分别为 402.67K 和 397.15K 。

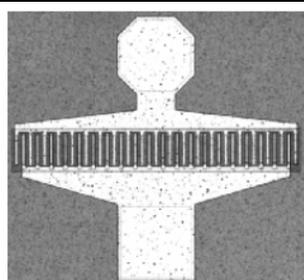
表 1 20 指功率 SiGe HBT 发射极条间距值列表

单位: μm

功率 HBTs	20 指功率 HBT 发射极条间距值					
	X_1, X_2	X_3, X_4	X_5, X_6	X_7, X_8	X_9	X_{10}
均匀发射极条间距 HBT	20	20	20	20	20	20
具有 R_E 的均匀发射极条间距HBT	20	20	20	20	20	20
非均匀发射极条间距 HBT	16	18	20	22	24	28



(a) 非均匀发射极条间距结构

(b) 具有 R_E 的均匀发射极条间距结构图 2 20 指功率 SiGe HBT 的 SEM 照片, 其中 R_E 位于发射极条根部, $R_E=3.5\ \Omega$

而非均匀发射极条间距结构 HBT 的峰值结温仅为 386.8K, 比均匀发射极条间距 HBT 峰值结温降低了 15.87K。功率 HBT 峰值结温的降低将有效避免局部热斑的产生。

同时, 均匀发射极条间距结构 HBT 有源区峰值结温与最低结温之差 (即高低温差) 为 30.52K, 而非均匀发射极条间距结构 HBT 的有源区高低温差仅为 17.63K。因此, 与均匀发射极条间距结构相比, 非均匀发射极条间距结构可显著改善 HBT 有源区温度分布的非均匀性。

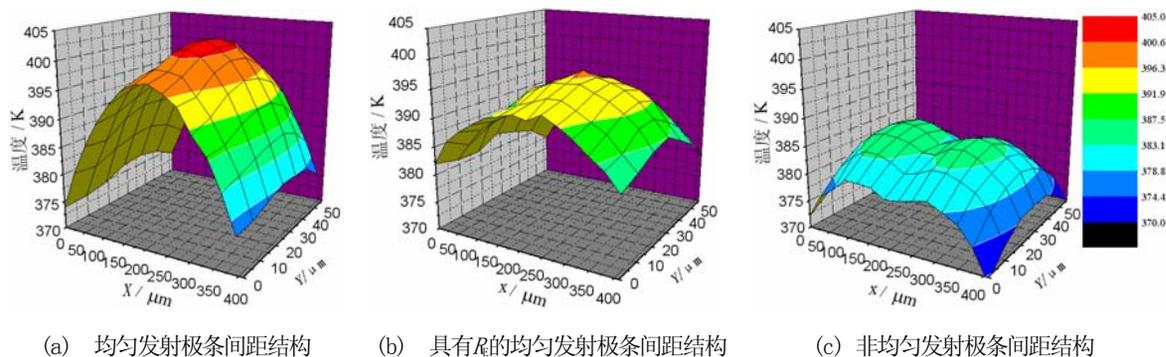


图 3 利用红外微热像仪测得 20 指功率 SiGe HBT 有源区温度分布

从图3还可以看出, 每个发射极条上的最高温度位于该发射极条中心处 (Y 方向), 所以在下文中只需研究经过各个发射极条中心点的有源区中心线上的温度分布即可判定功率 HBT 的热稳定性。

利用红外微热像仪测得均匀发射极条间距、具有 R_E 的均匀发射极条间距和非均匀发射极条间距结构的 SiGe HBT 在不同工作偏置下有源区中心线上温度分布曲线, 如图4(a)和(b)所示。

与均匀发射极条间距结构相比, 具有 R_E 的均匀发射极条间距结构 HBT 在 $I_C=200\text{mA}$ 时能显著降低器件峰值结温, 改善器件有源区温度分布的非均匀性。然而当 I_C 增大至 600mA 时, 具有 R_E 的均匀发射极条间距结构降低峰值结温的能力却有所下降。可以看出, 具有 R_E 的均匀发射极条间距结构 HBT 仅能在电流 I_C 较小的偏置条件下有效改善器件有源区温度分布。

不同于具有 R_E 的均匀发射极条间距结构, 采用非均匀发射极条间距结构的 SiGe HBT 在不同偏置条件下均可有效降低峰值结温, 改善有源区温度分布的非均匀性。从图4可以看出, 与均匀发射极条间距结构相比, 非均匀发射极条间距结构 HBT 在 $I_C=200\text{mA}$ 时的峰值结温降低 4.5K。当 I_C 增至 600mA 时峰值结温降低量增大至 16.11K。可见, 随着偏置电流 I_C 的增加, 非均匀发射极条间距结构 SiGe HBT 改善峰值结温的能力更为明显。

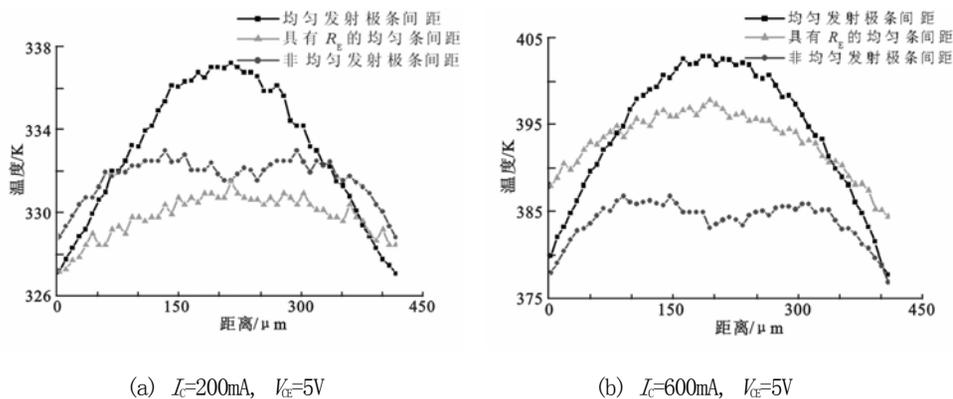


图4 利用红外微热像仪测得20指功率SiGe HBT在不同工作偏置下有源区中心线上温度分布

3 结束语

成功研制出具有非均匀发射极条间距结构的多发射极功率SiGe HBT,用以改善功率器件热稳定性。在 $I_C=600\text{mA}$, $V_{CE}=5\text{V}$ 时,与均匀发射极条间距HBT相比,非均匀发射极条间距结构HBT的峰值结温降低了 15.87K ,且该器件有源区温度分布的非均匀性也大为改善。实验结果表明,非均匀发射极条间距HBT在不同偏置条件下均可有效降低峰值结温,改善温度分布的均匀性。随着偏置电流 I_C 的增加,非均匀发射极条间距结构SiGe HBT改善峰值结温的能力更为明显。这是单纯在传统的均匀发射极条间距结构HBT中引入发射极镇流电阻所无法实现的。由于峰值结温的降低以及有源区温度分布均匀性的改善,采用非均匀发射极条间距结构的功率SiGe HBT可以工作在更高的偏置条件下,具有更高的功率处理能力。

致谢 本文中SiGe HBT的制备及电学参数测量得到了清华微电子所的大力支持。刘志弘教授、许平教授、严利人教授和徐阳先生等提供了很多的帮助,在此深表感谢。

参考文献

- [1] Ashburn P. SiGe Heterojunction Bipolar Transistors[M]. England: John Wiley & Sons, 2003: 149-167.
- [2] Rich J S, Jagannathan B, Greenberg D R, et al. SiGe Heterojunction Bipolar Transistors and Circuits Toward Terahertz Communication Applications[J]. IEEE Trans on Microw Theory Tech, 2004, 52(10): 2390-2393.
- [3] 金冬月, 张万荣, 谢红云. 射频功率HBT热稳定性的一种新表征方法[J]. 电子器件, 2006, 29(4): 1168-1171.
- [4] 金冬月, 张万荣, 谢红云. 非均匀条间距结构功率SiGe HBT的研制[J]. 半导体学报, 已录用.
- [5] Yu Zhu, Twynam J K, Yagura M, et al. Self-Heating Effect Compensation in HBTs and Its Analysis and Simulation[J]. IEEE Trans on Electron Devices, 2001, 48(11): 2640-2643.
- [6] 金冬月, 张万荣, 谢红云. 射频功率HBT热稳定性分析及镇流电阻优化[J]. 北京工业大学学报, 已录用.
- [7] Liu W, Bayraktaroglu B. Theoretical Calculations of Temperature and Current Profiles in Multi-finger Heterojunction Bipolar Transistors [J]. Solid State Electron, 1993, 36(2): 125-128.