

4H-SiC 衬底 AlGaN/GaN 高电子迁移率晶体管的研制*

郝 跃 杨 燕 张进城 王 平

(西安电子科技大学微电子研究所, 西安 710071)

摘要: 报道了在 4H-SiC 衬底上 AlGaN/GaN 高电子迁移率晶体管(HEMT)的研制和室温特性测试结果。器件采用栅长为 $0.7\mu\text{m}$, 夹断电压为 -3.2V , 获得了最高跨导为 202mS/mm , 最大漏源饱和电流密度为 915mA/mm 的优良性能和结果。

关键词: 4H-SiC; AlGaN/GaN; 高电子迁移率晶体管

EEACC: 2560S

中图分类号: TN 386

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2004)12-1672-03

1 引言

与目前大多数半导体材料相比, 宽带隙半导体材料 GaN 的禁带更宽、电子饱和漂移速度更大、临界击穿电场更高, 是目前最令人瞩目的新型半导体材料之一。而以 GaN 材料为基础制作的 AlGaN/GaN 异质结结构由于具有很高的电子迁移率(约为 $2000\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$)以及二维电子气(2DEG)面密度(约为 10^{13}cm^{-2})而受到了最多关注^[1~3]。

GaN HEMT 又称调制掺杂场效应晶体管(MODFET), 是直接以 AlGaN/GaN 异质结材料为基础而制造的 GaN 基器件, 在微波高功率和高温应用方面具有比 Si 和 GaAs 更大的优势。目前, AlGaN/GaN HEMT 的研究已取得较大的进展^[2~6]。在国外, 生长于蓝宝石衬底和碳化硅衬底的 AlGaN/GaN HEMT 均已被制造出来, 获得的最大漏源饱和电流密度为 1710mA/mm^2 , 最高跨导为 402mS/mm^2 。在国内, 在蓝宝石衬底上制作了栅长为 $0.25\mu\text{m}$ 的 AlGaN/GaN HEMT, 所获得的最大漏源饱和电流密度为 800mA/mm^2 , 最高跨导为 157mS/mm^2 ; 在蓝宝石衬底上研制了栅长为 $1.0\mu\text{m}$, 栅宽

为 $100\mu\text{m}$ 的 AlGaN/GaN HEMT, 最大饱和电流密度为 950mA/mm^2 , 最高跨导为 120mS/mm^2 ^[6], 同时开始了微波功率器件的研究^[7]。

由于 SiC 材料良好的导热性和与 GaN 材料良好的晶格匹配性, 其性能应优于蓝宝石衬底。但是, 由于 SiC 衬底上 GaN 材料生长困难且衬底电荷对 2DEG 性能有影响, SiC 衬底上 AlGaN/GaN 异质结器件研究在我国刚刚起步。

本文在 4H 型 SiC 衬底上制造了 AlGaN/GaN HEMT 器件, 其栅长为 $0.7\mu\text{m}$, 在栅压 $V_g = 2\text{V}$ 时获得的最大漏源饱和电流密度为 915mA/mm^2 , 在 $V_g = -1.9\text{V}$ 时的最高跨导为 202mS/mm^2 。与多数蓝宝石衬底上的 AlGaN/GaN HEMT 相比, 充分显示了 SiC 衬底上 AlGaN/GaN HEMT 的优势。

2 器件结构和制造工艺

采用我们研发的低压 MOCVD 设备, 在 n 型 4H-SiC 衬底上生长 AlGaN/GaN 层结构, 从下至上包括: AlN 缓冲层, 厚度约为 50nm ; 800nm 的非掺杂 GaN 层; 6.0nm 的非掺杂 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 隔离层; 9.5nm 的 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 掺杂层(所掺 Si 杂质浓度约

* 国家重点基础研究发展计划(编号: 2002CB311904)和国防预先研究(编号: 41308060106)资助项目

郝 跃 1958 年出生, 教授, 博士生导师, 主要从事 VLSI 可靠性和可制造性、新型半导体器件和电路、宽禁带半导体器件和相关材料的研究。

杨 燕 1975 年出生, 博士研究生, 主要从事氮化镓基高温和微波功率器件的研究。

2003-11-27 收到, 2004-02-03 定稿

©2004 中国电子学会

为($1\sim 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)以及6.5nm的非掺杂 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 覆盖层。

由于SiC与GaN间有较小的晶格失配(SiC和GaN的晶格失配为3.5%;蓝宝石与GaN间的晶格失配约为13%,热失配约为9%~25%),这样,由于晶格失配和热失配使蓝宝石外延生长的GaN材料中的缺陷密度高达 10^{10} cm^{-2} ,因此,SiC衬底能获得质量更加优良的2DEG材料。本研究得到的4H-SiC上生长的AlGaN/GaN霍尔测量表明,室温下二维电子气密度为 $0.93 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$,电子迁移率为 $1651 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 。器件制造中采用离子铣(ICP)刻蚀台面进行器件隔离,并分别采用Ti/Al和Ni/Ar金属结构制作欧姆接触和栅肖特基结。所制造的器件栅长为0.7μm,栅宽为200μm,漏源间距为2.8μm。

3 器件性能和分析

本文用HP4156B半导体参数测试仪对器件进行了参数分析。图1是室温下AlGaN/GaN HEMT的输出特性曲线。栅偏置电压为-4~2V,步进为-1V。器件显示出了较好的夹断特性以及很强的漏电流驱动能力。栅偏置电压为2V($V_g=2\text{V}$)时获得的最大饱和电流密度为915mA/mm。器件在 $V_g=-4\text{V}$ 时几乎完全夹断(此条件下, V_d 为8V和10V时的漏电流非常小,分别为2.39mA/mm和3.18mA/mm)。需要说明的是:当栅电压 V_g 分别为1V和2V,漏源电压为10V时,漏电流变化较小,这

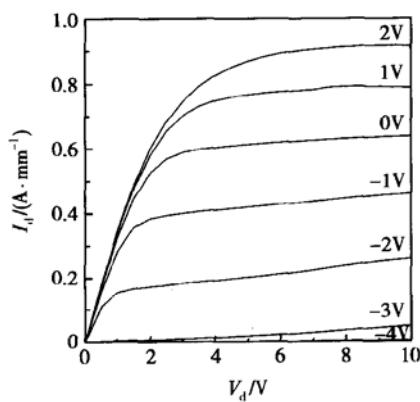


图1 AlGaN/GaN HEMT的输出特性

Fig. 1 Current-voltage characteristics of AlGaN/GaN HEMT

表明SiC衬底具有很好的热电导性,能够有效地消减高电流密度所造成的沟道热。

图2为室温下AlGaN/GaN HEMT的转移特性曲线。可以看出,夹断电压为-3.2V。当 $V_g=-2.2\text{V}$, $V_d=8.0\text{V}$ 时测得的最大跨导为202mS/mm。

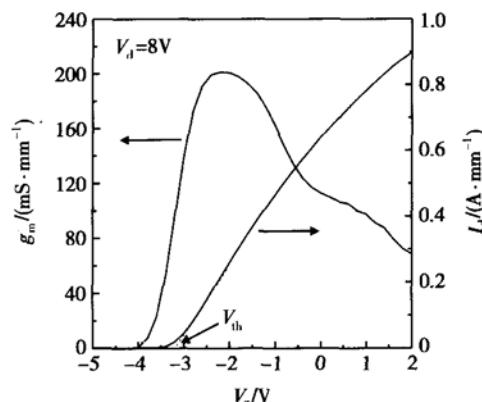


图2 AlGaN/GaN HEMT的转移特性

Fig. 2 Transfer characteristics of AlGaN/GaN HEMT

图3是AlGaN/GaN HEMT亚阈特性曲线。如图所示,器件表现出了较好的夹断性能,其态电流较小,为0.0022A/mm,表明沟道区域具有良好的栅控性。尤其是本研究得到的HEMT器件的源漏击穿电压达到了49V。通过器件设计和工艺实验,得到了高性能的HEMT特性,有关材料特性和器件微波等特性将进一步探讨。

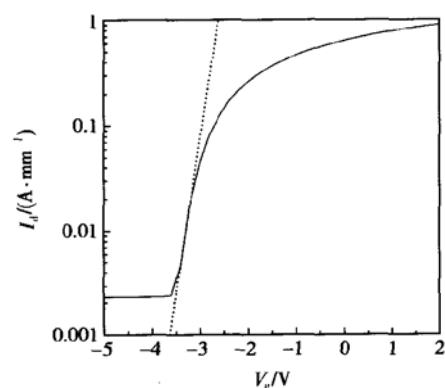


图3 AlGaN/GaN HEMT的亚阈漏电流特性

Fig. 3 Subthreshold drain current characteristics of AlGaN/GaN HEMT

4 结论

本文成功地在 4H-SiC 衬底上制备了栅长为 $0.7\mu\text{m}$ 的 AlGaN/GaN HEMT 器件并研究了其电学特性。室温条件下, 获得的最大饱和电流密度为 915mA/mm , 最高跨导为 202mS/mm , 夹断电压为 -3.2V 。我们仍需在材料生长以及器件工艺与结构优化方面继续研究, 使器件特性达到更好, 尤其是在微波功率器件和单片功率电路方面取得更大突破。

致谢 南京电子器件研究所在器件制作中给予了大力支持, 在此表示感谢。

参考文献

- [1] Zhang Jinfeng, Hao Yue. AlGaN/GaN two dimensional gas: a critical view. Journal of Xidian University, 2003, 30(3): 326 (in Chinese) [张金凤, 郝跃. AlGaN/GaN 中二维电子气研究进展. 西安电子科技大学学报, 2003, 30(3): 326]
- [2] Micovic M, Nguyen N X, Janke P J, et al. GaN/AlGaN high electron mobility transistor with f_T of 110GHz. Electron Lett, 2000, 36(4): 358
- [3] Chen Q, Yang J W, Kahn M A, et al. High transconductance AlGaN/GaN heterostructure field effect transistors on SiC substrate. Electron Lett, 1997, 33(16): 1413
- [4] Kumar V, Adeside L. AlGaN / GaN HEMTs on sapphire . Fourth IEEE International Caracas Conference on Device, Circuits and Systems, 2002, D048: 1
- [5] Zeng Qingming, Lu Changzhi, Liu Weiji, et al. Study on Al-GaN/GaN HEMT devices. Journal of Functional Materials and Devices, 2000, 6(3): 170(in Chinese) [曾庆明, 吕长治, 刘伟吉, 等. AlGaN/GaN HEMT 器件研究. 功能材料与器件学报, 2000, 6(3): 170]
- [6] Zhang Xiaoling, Lu Changzhi, Xie Xuesong. Research on Al-GaN/GaN HEMT. Chinese Journal of Semiconductors, 2003, 24(8): 847(in Chinese) [张小玲, 吕长治, 谢雪松, 等. AlGaN/GaN HEMT 器件的研制. 半导体学报, 2003, 24(8): 847]
- [7] Chen Tangsheng, Jiao Gang, Xue Fangshi, et al. Non-doping AlGaN/GaN microwave power HEMT. Chinese Journal of Semiconductors, 2004, 25(1): 69(in Chinese) [陈堂胜, 焦刚, 薛仿时, 等. 非掺杂 AlGaN/GaN 微波功率 HEMT. 半导体学报, 2004, 25(1): 69]

Fabrication of AlGaN/GaN HEMT Grown on 4H-SiC*

Hao Yue, Yang Yan, Zhang Jincheng and Wang Ping

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

Abstract: The fabrication of AlGaN/GaN high electric mobility transistor grown on 4H-SiC substrate and its performance at room temperature are reported. Ohmic contacts and Schottky metal system are Ti/Al and Ni/Ar, respectively. The pinchoff voltage of the device is -3.2V with $0.7\mu\text{m}$ gate length. The device exhibits an maximum transconductance of 202mS/mm and a saturated current density as high as 915mA/mm .

Key words: 4H-SiC; AlGaN/GaN; high-electron-mobility transistors

EEACC: 2560S

Article ID: 0253-4177(2004)12-1672-03

* Project supported by National Basic Research Project (973) Foundation of China(No. 2002CB311904) and National Defense Key Pre-Research Program(No. 41308060106)

Hao Yue was born in 1958, professor, advisor of PhD candidate. His research interests include VLSI reliability and manufacturability, and new semiconductor devices and circuits, especially on wide-band gap semiconductor devices and related materials.

Yang Yan was born in 1979, PhD candidate. Her current research interest is in GaN-based high temperature and microwave power devices.

Received 27 November 2003, revised manuscript received 3 February 2004

© 2004 The Chinese Institute of Electronics