

AlGaN/GaN HEMT 器件的研制

张小玲¹ 吕长治¹ 谢雪松¹ 李志国¹ 曹春海² 李拂晓² 陈堂胜² 陈效建²

(1 北京工业大学电子信息与控制工程学院, 北京 100022)

(2 南京固体器件研究所, 南京 210016)

摘要: 介绍了 AlGaN/GaN HEMT 器件的研制及室温下器件特性的测试。漏源欧姆接触采用 Ti/Al/Pt/Au, 肖特基结金属为 Pt/Au。器件栅长为 1μm, 获得的最大跨导为 120mS/mm, 最大的漏源饱和电流密度为 0.95A/mm。

关键词: AlGaN/GaN; HEMT; 输出特性

PACC: 7340N

中图分类号: TN325

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2003)08-0847-03

国内仍处于领先水平。

1 引言

第三代宽禁带半导体材料——GaN 不仅具有宽的带隙(3.4eV), 而且还具有热导率大、电子饱和速率高、击穿场强大及热稳定性好等特性, 因此在制备高温、高频、高压及大功率器件方面备受关注^[1~4]。

AlGaN/GaN HEMT 又称作调制掺杂场效应晶体管(MODFET)或异质结场效应晶体管(HFET)。AlGaN/GaN 结构用一层宽带隙半导体材料(AlGaN)将栅与沟道隔开, 减少了电离杂质的散射, 提高了电子迁移率^[5]。解决了 GaN 材料电子迁移率低的问题。同时, AlGaN/GaN 异质结的 ΔE_c 约为 0.7eV, 可以形成较大的二维电子气面密度(2DEG), 约为 10¹³/cm²^[6], 因此有较高的电流能力。目前国际上 AlGaN/GaN HEMT 的最大跨导为 400mS/mm^[7], 最大饱和电流密度为 1.71A/mm^[8]。

在国内, 曾庆明等^[9]报道了栅长为 0.25μm 的 AlGaN/GaN HEMT 的最大跨导为 157mS/mm, 最大的漏源饱和电流密度为 800mA/mm。张锦文等^[10]报道了栅长为 1.5μm 的器件的最大跨导为 47mS/mm。本文制备的 AlGaN/GaN HEMT 器件栅长为 1μm, 在 V_G = -2V 时获得了最大的跨导 120mS/mm。在 V_G = 4V, V_D = 10V 时获得最大的漏源饱和电流密度 0.95A/mm。目前这两个参数在

2 器件直流参数与结构的关系

AlGaN/GaN HEMT 的两个主要参数是最大的漏源饱和电流密度($I_{D\text{sat}}$)和非本征饱和区的跨导(g_m)。

对于长栅器件这两个参数分别表示为^[11]:

$$I_{D\text{sat}} = \frac{qW_G}{L_g} \int_{V_{\text{GT}}}^{V_G} n_{2D}(u) du$$

$$g_m = (qW/L_g) n_{2D}(V_G)$$

其中 W_G 是栅宽; L_g 为栅长; V_{GT} 为阈值栅压。

可以看出, 最大漏源饱和电流密度和非本征饱和跨导与器件的二维电子气面密度(n_{2D})、栅宽(W_G)和栅长(L_g)密切相关。通常器件参数都以单位栅宽衡量, 减少栅长是参数优化的关键。同时, 要使 n_{2D} 达到最大, 异质结构的设计很重要, 方法之一是增加异质结构的不连续性 ΔE_c 。一方面, 对于 AlGaN/GaN 层结构可以通过增加 Al 的组分^[12]; 另一方面, 可以采用宽禁带的材料做隔离层, 比如 AlN^[13]。

3 器件制备

本文所用的 AlGaN/GaN 层结构是采用 RM BE (reactive molecular beam epitaxy) 的方法, 在蓝宝石

(α -Al₂O₃)衬底上依次生长一层60nm的AlN缓冲层、2.0μm的r-GaN层。衬底温度为800℃时依次生长了5nm的r-AlGaN隔离层、15nm掺Si的AlGaN层及5nm掺Si的GaN层。Si的掺杂浓度分别为 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 和 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, Al的含量为20%。

器件工艺为典型的AlGaN/GaN HEMT的制备工艺。用Ar⁺干法刻蚀形成台阶之后,用电子束蒸发的方法制备Ti/Al/Pt/Au(20nm/30nm/50nm/100nm)多层金属,样品在N₂保护下进行800℃30s热处理,形成漏源欧姆接触。电子束蒸发Pt/Au(50nm/300nm)作肖特基结金属。用剥离工艺形成栅条,器件栅长为1μm、栅宽为100μm、源漏间距为3μm。使用HP4155C半导体参数测试仪对器件进行测试分析。

4 测量结果及分析

图1所示为室温下栅长1μm的AlGaN/GaN HEMT器件在V_G从1V到-5V时的I_D-V_D输出特性曲线,器件的饱和压降为5V。在非饱和区,漏源间的电阻为75Ω,主要是沟道产生的电阻(R_{CH})。由公式 $n_{2D} = I_{Dsat}/qv_{sat}W_G$,对于GaN电子饱和漂移速度v_{sat}为10⁷cm/s,可以得到二维电子气面密度 $n_{2D} = 5.9 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 。由公式 $R_{CH} = L_g/q\mu_0 n_{2D} W_G$,可以估算出载流子的迁移率(μ_0)大约为142cm²/(V·s)。

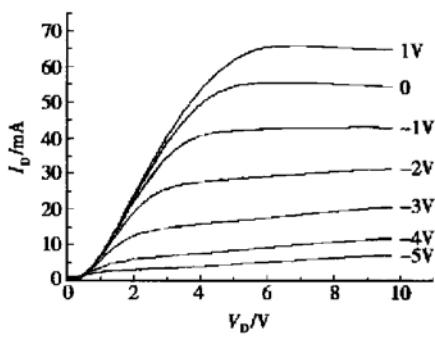


图1 室温下AlGaN/GaN HEMT的输出特性曲线

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

室温下,漏源电压分别为4.7.10V时器件的转移特性曲线如图2所示。在V_G=-2V时获得最大的跨导为120mS/mm。在V_G=4V,V_D=10V时获得最大的漏源饱和电流密度为0.95A/mm。同时,测

得漏源击穿电压大于40V。

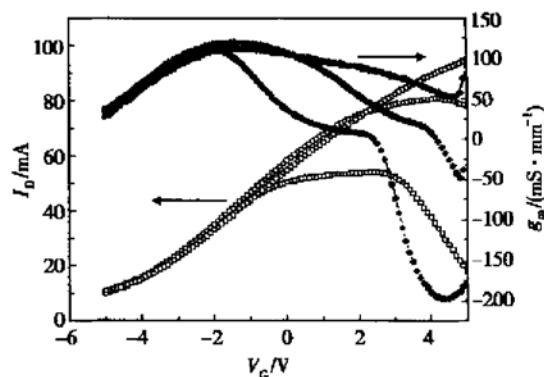


图2 室温下AlGaN/GaN HEMT的转移特性曲线 $V_D = 4, 7, 10V$

Fig. 2 Transfer characteristics of AlGaN/GaN HEMT at room temperature $V_D = 4, 7, 10V$

图3所示为室温下肖特基结的特性曲线。由图可知肖特基结的伏安特性较好,反向漏电流较小。但测量时,同一批管芯的肖特基结的反向漏电流较大,输出特性不饱和,说明在肖特基结的制备工艺中仍需要进一步改进。

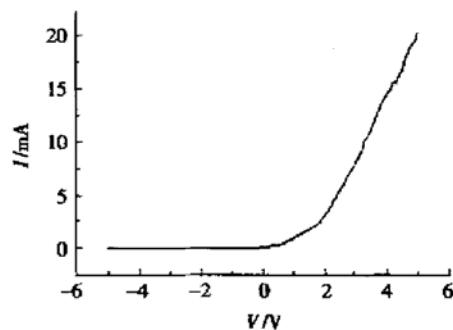


图3 室温下AlGaN/GaN HEMT的肖特基结特性曲线

Fig. 3 Schottky characteristics of AlGaN/GaN HEMT at room temperature

5 结论

制备出栅长为1μm的AlGaN/GaN HEMT器件,在室温下,获得了最大的跨导120mS/mm($V_G = -2V$)。在 $V_G = 4V, V_D = 10V$ 时获得最大的源漏饱和电流密度为0.95A/mm。测得漏源击穿电压大于40V。不足的是合金处理后,欧姆接触的金属表面不平整,这对测量结果有一定的影响。

参考文献

- [1] Eastman L F, Tilak V, Smart J, et al. IEEE Trans Electron Devices, 2001, 48(3) : 479
- [2] Fan Zhifang, Lu Changzhi, Botchkarev A E, et al. Electron Lett, 1997, 33(9) : 814
- [3] Sullivan G J, Chen M Y, Higgins J A, et al. IEEE Trans Electron Devices, 1998, 45(6) : 198
- [4] Wu Yifeng, Kapolnek D, Ibbetson J P, et al. IEEE Trans Electron Devices, 2001, 48(3) : 586
- [5] Wu Y F, Keller B P, Keller S, et al. Appl Phys Lett, 1996, 69(10) : 1438
- [6] Khan M A, Shur S M, Chen Q, et al. Appl Phys Lett, 1996, 68(21) : 3022
- [7] Kumar W, Lu W, Khan F A, et al. Electron Lett, 2002, 39(5) : 252

- [8] Chen Q, Yang J W, Kahn M A, et al. Electron Lett, 1997, 33(16) : 1413
- [9] Zeng Qingming, Lu Changzhi, Liu Weiji, et al. Research of Al-GaN/GaN HEMT. Journal of Functional Materials and Devices, 2000, 6(3) : 170[曾庆明, 吕长志, 刘伟吉, 等. AlGaN/GaN HEMT 器件研究. 功能材料与器件学报, 2000, 6(3) : 170]
- [10] Zhang Jinwen, Yan Guizhen, Zhang Taiping, et al. Fabrication of Au-AlGaN/GaN HFET and its properties. Chinese Journal of Semiconductors, 2002, 23(4) : 425[张锦文, 袁桂珍, 张太平, 等. Au-AlGaN/GaN HFET 研究与器件特性. 半导体学报, 2002, 23(4) : 425]
- [11] Stengel F, Noor M S, Hadis M, et al. J Appl Phys, 1996, 80(5) : 3031
- [12] Wu Y F, Keller B P, Fini P, et al. IEEE Electron Device Lett, 1998, 19(2) : 50
- [13] Shen L, Heikman S, Moran B, et al. IEEE Electron Device Lett, 2001, 22(10) : 457

Research on AlGaN/GaN HEMT

Zhang Xiaoling¹, Lü Changzhi¹, Xie Xuesong¹, Li Zhiguo¹, Cao Chunhai²,
Li Fuxiao², Chen Tangsheng² and Chen Xiaojian²

(1 School of Electronic Information & Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

(2 Nanjing Solid State Devices Institute, Nanjing 210016, China)

Abstract: The fabrication of AlGaN/GaN HEMT and its properties at room temperature is reported. Source drain Ohmic contacts and Schottky metal system is Ti/Al/Pt/Au and Pt/Au, respectively. A maximum transconductance of 120mS/mm and a saturated current density of 0.95A/mm are obtained.

Key words: AlGaN/GaN; HEMT; output characteristics

PACC: 7340N

Article ID: 0253-4177(2003)08-0847-03