

# 远离沟道的埋层对 GaN HEMT 器件导通电阻的影响

## Effect of Buried Layer Away from Channel on On-resistance of GaN HEMT Device

许洁 章徐国

Jie Xu Xuguo Zhang

上海电力大学 中国·上海 200090

Shanghai University of Electric Power, Shanghai, 200090, China

**摘要:** 当埋层与沟道距离较远时, 器件的低导通特性可以不受影响, 因此结合埋层对器件击穿电压的影响, 远离沟道的埋层可以使器件获得更高的功率品质因数。

**Abstract:** When the buried layer is far away from the channel, the low conduction characteristics of the device may not be affected. Therefore, combined with the impact of the buried layer on the breakdown voltage of the device, the buried layer far away from the channel can make the device obtain a higher power quality factor .

**关键词:** AlGaIn/GaN; p-GaN; 特征导通电阻; BFOM

**Keywords:** AlGaIn/GaN; P-GaN, specific ON-resistance; BFOM

**DOI:** 10.12346/etr.v4i3.5807

## 1 引言

由于具有电子迁移率高, 禁带宽度大, 击穿电场高, 热导率良好, 介电常数小的优点, GaN 基电力电子器件在射频和电力电子系统中有着很大的应用潜力。大量文献提出了有关于减少缓冲层泄漏电流并提高击穿电压 ( $V_{BK}$ ) 的方法, Chatterjee 等人<sup>[1-5]</sup> 提出了 C 掺杂的缓冲层, 通过掺杂来补偿背景施主。Bahat-Treidel 等人提出了 AlGaIn 背势垒层以限制二维电子气 (2DEG)。但是, 上述方法都会降低 2DEG 浓度, 即在击穿电压的同时也会导致更高的  $R_{ON,sp}$ , 这不利于大功率器件的应用。

论文通过 TCAD 对具有远离沟道的 p-GaN 埋层结构的器件进行了 2D 仿真分析及优化, 优化后的器件击穿电压  $V_{BK}=1941V$ , 特征导通电阻  $R_{ON,sp}=0.816\Omega\cdot cm^2$ , Baliga 品质因数  $BFOM=4.6GW\cdot cm^2$ , 实现了在增强  $V_{BK}$  的同时保持低  $R_{ON,sp}$  进一步实现高 BFOM 的目的。

## 2 器件结构

图 1 是 PBL HEMT AlGaIn/GaN MISFET 结构及传统 AlGaIn/GaN 器件的截面图, 两者之间的不同点在于 GaN 缓

冲层中是否埋设 p 型 GaN 埋层。

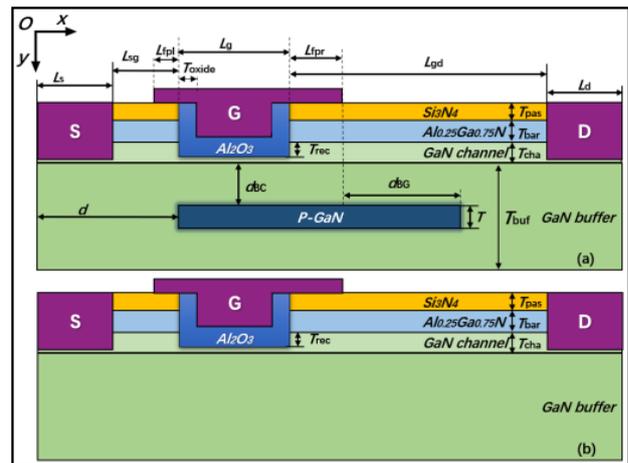


图 1 PBL AlGaIn/GaN MISFET 结构截面图与 Con. AlGaIn/GaN 器件结构截面图

该结构具有无意掺杂的  $Al_{0.25}Ga_{0.75}N$  势垒层, 无意掺杂的 GaN 沟道层及缓冲层。栅极下方 20nm 厚的  $Al_2O_3$  层用作栅极电介质层。埋层顶部与沟道底部的距离为  $d_{BC}$  ( $d_{BC}=0.01$ ,

【作者简介】许洁 (1997-), 女, 中国江苏泰州人, 在读硕士, 从事功率半导体器件研究。

0.3,0.5,1um)，根据已经报道的工作， $d_{BC}=0.01\mu m$  时埋层与沟道的距离处于一个较近的水平，当  $d_{BC}\geq 0.3$  时，则处于一个较远的水平。另外埋层的厚度固定为  $0.2\mu m$ ，埋层左侧距离器件边缘的距离为  $1.5\mu m$ 。

在 Sdevice 中使用了很多模型，例如复合模型、迁移率模型以及包含 Strain 的压电化模型等。

### 3 PBL 对器件的击穿改善

优化后的 PBL 器件以及传统器件的关态 I-V 特性如图 2 所示，其中优化后的埋层与沟道距离  $d_{BC}=0.5\mu m$ ，埋层右侧边缘与栅板的水平距离  $d_{BG}=3\mu m$ ，埋层空穴浓度  $N_{buried}=5 \times 10^{17}cm^{-3}$ 。和传统器件 ( $V_{BK}=779V$ ) 相比，PBL 器件取得了更高的击穿电压 ( $V_{BK}=1941V$ )，增强了击穿特性。

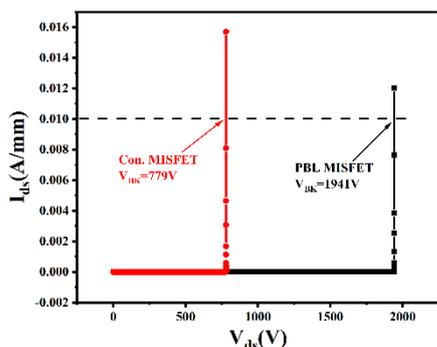


图 2 PBL 和 Con. AlGaIn/GaN MISFET 的关态 I-V 特性

### 4 低导通特性

埋层与沟道的距离  $d_{BC}=0.01\mu m$  (近) 及  $0.5\mu m$  (远) 的 PBL 结构和传统结构对应的  $I_D-V_D$  特性和  $I_D-V_G$  特性如图 3 所示，其中阈值电压为  $I_{ds}=0.01mA/mm$  时对应的漏极电压，选择  $d_{BC}=0.01\mu m$  的情况是为了更清晰的说明埋层对沟道的影响，并与以往对埋层进行讨论的文章进行校准。

当  $d_{BC}=0.5\mu m$  时，具有埋层的结构和传统结构有着相似的阈值电压  $V_{TH}$ ，分别为  $5.0V$  和  $4.9V$ ，并且二者有着一致的导通电阻 ( $6.8\Omega \cdot mm$ )。当  $d_{BC}=0.01\mu m$  时，由于埋层离沟道近，埋层中空穴的扩散导致沟道中的 2DEG 部分耗尽，使得器件的阈值电压和导通电阻都相应增加，分别为  $6.3V$  和  $11.9\Omega \cdot mm$ ，也证明了  $d_{BC}=0.5\mu m$  时埋层中空穴的扩散对沟道的限制较小。优化后的 PBL 器件和传统结构器件计算得出的特征导通电阻  $R_{ON,sp}$  为  $0.816m\Omega \cdot cm^2$ ，结合二者的击穿电压，根据  $BFOM=V_{BK}^2/R_{ON,sp}$  计算得到  $d_{BC}=0.5\mu m$  时，PBL 器件的 BFOM 为  $4.6GW \cdot cm^{-2}$ ，是传统 MISFET ( $0.74GW \cdot cm^{-2}$ ) 的 6.2 倍。

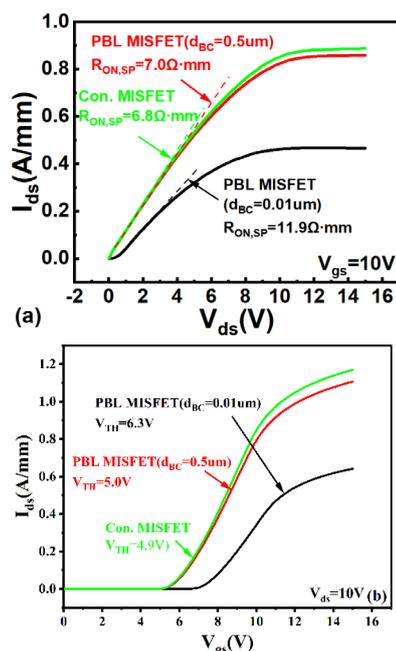


图 3 Con. AlGaIn/GaN MISFET 和 PBL AlGaIn/GaN MISFET 的输出特性曲线  $I_D-V_D$  (a) 转移特性曲线  $I_D-V_G$  (b)

### 5 结语

与传统器件相比，提出的 PBL 器件在其缓冲层内具有远离沟道的 P 型 GaN 埋层，PBL 距离沟道较近时对沟道内二维电子气的部分耗尽虽然增强了击穿电压  $V_{BK}$ ，但也增加了导通电阻  $R_{ON,sp}$ ，而 PBL 远离沟道时则不再影响沟道，优化后的 PBL 器件具有 6.2 倍于传统器件的 BFOM。高 BFOM 值说明器件在  $V_{BK}$  和  $R_{ON,sp}$  之间有良好的折衷，证明了其在开关应用上有很高的潜力。

### 参考文献

- [1] Chatterjee I, Uren M J, Karboyan S, et al. Lateral Charge Transport in the Carbon-doped Buffer in AlGaIn/GaN-on-Si HEMTs[J]. Ieee Transactions on Electron Devices,2017,64(3):977-983.
- [2] Kambayashi H, Satoh Y, Ootomo S, et al. Over 100 A operation normally-off AlGaIn/GaN hybrid MOS-HFET on Si substrate with high-breakdown voltage[J]. Solid-State Electronics,2010,54(6):660-664.
- [3] Kato S, Satoh Y, Sasaki H, et al. C-doped GaN buffer layers with high breakdown voltages for high-power operation AlGaIn/GaN HFETs on 4-in Si substrates by MOVPE[J]. Journal of Crystal Growth,2007,298:831-834.
- [4] Uren M J, Caesar M, Karboyan S, et al. Electric Field Reduction in C-doped AlGaIn/GaN on Si High Electron Mobility Transistors[J]. Ieee Electron Device Letters,2015,36(8):826-828.
- [5] Uren M J, Silvestri M, Caesar M, et al. Intentionally Carbon-doped AlGaIn/GaN HEMTs: Necessity for Vertical Leakage Paths[J]. Ieee Electron Device Letters,2014,35(3):327-329.