

具有 p-GaN 岛状埋层耐压结构的横向 AlGaIn/GaN 高电子迁移率晶体管

张力 林志宇 罗俊 王树龙 张进成 郝跃 戴扬 陈大正 郭立新

High breakdown voltage lateral AlGaIn/GaN high electron mobility transistor with p-GaN islands buried buffer layer for power applications

Zhang Li Lin Zhi-Yu Luo Jun Wang Shu-Long Zhang Jin-Cheng Hao Yue Dai Yang Chen Da-Zheng Guo Li-Xin

引用信息 Citation: [Acta Physica Sinica](#), **66**, 247302 (2017) DOI: 10.7498/aps.66.247302

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.247302>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2017/V66/I24>

---

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于原位等离子体氮化及低压化学气相沉积 -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 栅介质的高性能 AlGaIn/GaN MIS-HEMTs 器件的研究

High-performance AlGaIn/GaN MIS-HEMT device based on in situ plasma nitriding and low power chemical vapor deposition Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> gate dielectrics

物理学报.2017, 66(19): 197301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.197301>

利用 p-n<sup>+</sup> 结反向 I-V 特性计算 p-GaN 载流子浓度的方法

A new method to estimate the p-GaN carrier concentration by analyzing the reversed current-voltage characteristic curve of p-n<sup>+</sup> junction diode

物理学报.2016, 65(19): 197302 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.197302>

阶梯 AlGaIn 外延新型 Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N/GaN HEMTs 器件实验研究

Experimental research on the new Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N/GaN HEMTs with a step AlGaIn layer

物理学报.2015, 64(23): 237302 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.237302>

具有半绝缘多晶硅完全三维超结横向功率器件

Complete three-dimensional reduced surface field super junction lateral double-diffused metal-oxide-semiconductor field-effect transistor with semi-insulating poly silicon

物理学报.2015, 64(18): 187303 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.187303>

具有 P 型覆盖层新型超级结横向双扩散功率器件

New super junction lateral double-diffused metal-oxide-semiconductor field-effect transistor with the P covered layer

物理学报.2015, 64(16): 167304 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.167304>

# 具有p-GaN岛状埋层耐压结构的横向AlGaIn/GaN高电子迁移率晶体管\*

张力<sup>1)</sup> 林志宇<sup>1)†</sup> 罗俊<sup>1)</sup> 王树龙<sup>1)</sup> 张进成<sup>1)</sup> 郝跃<sup>1)</sup>  
戴扬<sup>1)</sup> 陈大正<sup>1)</sup> 郭立新<sup>2)</sup>

1)(西安电子科技大学微电子学院, 宽禁带半导体国家重点实验室, 西安 710000)

2)(西安电子科技大学物理与光电工程学院, 西安 710000)

(2017年6月1日收到; 2017年8月16日收到修改稿)

GaN基高电子迁移率晶体管 (HEMT) 相对较低的击穿电压严重限制了其大功率应用. 为了进一步改善器件的击穿特性, 通过在n-GaN外延缓冲层中引入六个等间距p-GaN岛掩埋缓冲层 (PIBL) 构成p-n结, 提出一种基于p-GaN埋层结构的新型高耐压AlGaIn/GaN HEMT器件结构. Sentaurus TCAD仿真结果表明, 在关态高漏极电压状态下, p-GaN埋层引入的多个反向p-n结不仅能够有效调制PIBL AlGaIn/GaN HEMT的表面电场和体电场分布, 而且对于缓冲层泄漏电流有一定的抑制作用, 这保证了栅漏间距为10  $\mu\text{m}$ 的PIBL HEMT能够达到超过1700 V的高击穿电压 ( $BV$ ), 是常规结构AlGaIn/GaN HEMT击穿电压 (580 V) 的3倍. 同时, PIBL结构AlGaIn/GaN HEMT的特征导通电阻仅为1.47  $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ , 因此获得了高达1966  $\text{MW}\cdot\text{cm}^{-2}$ 的品质因数 ( $FOM = BV^2/R_{\text{on,sp}}$ ). 相比于常规的AlGaIn/GaN HEMT, 基于新型p-GaN埋岛结构的HEMT器件在保持较低特征导通电阻的同时具有更高的击穿电压, 这使得该结构在高功率电力电子器件领域具有很好的应用前景.

**关键词:** AlGaIn/GaN, p-GaN岛掩埋缓冲层, 电场, 击穿

**PACS:** 73.40.Kp, 85.30.Tv, 85.30.De

**DOI:** 10.7498/aps.66.247302

## 1 引言

近年来, AlGaIn/GaN高电子迁移率晶体管 (HEMT) 由于高二维电子气 (2DEG) 浓度、高电子饱和速度及高击穿电场等优越特性在学术界和工业界受到广泛关注, 被认为是电力电子领域的理想应用器件<sup>[1-8]</sup>. 有大量报道称在提高AlGaIn/GaN HEMT击穿电压方面取得了优越的成果, Zhang等<sup>[9]</sup>报道了采用重叠栅结构, 实现栅漏间距为13  $\mu\text{m}$ 的AlGaIn/GaN HEMT击穿电压为570 V; Kim等<sup>[10]</sup>报道了栅漏间距为10  $\mu\text{m}$ 的常规结构AlGaIn/GaNHEMT击穿电压为495 V, 而

采用氟等离子体处理之后实现击穿电压520 V; Deguchi等<sup>[11]</sup>报道了采用缓变栅场板结构, 实现栅漏间距为10  $\mu\text{m}$ 的AlGaIn/GaN HEMT击穿电压为830 V. 但上述器件能达到的最大栅漏间平均击穿电场仅为0.83 MV/cm, 始终与GaN材料的理论击穿电场强度 (3.3 MV/cm) 相去甚远<sup>[12-15]</sup>.

本文基于横向HEMT结构, 提出了一种新型的工艺易实现的高击穿电压AlGaIn/GaN HEMT. 该器件采用岛状p-GaN掩埋缓冲层 (PIBL), 通过体电场调制效应使电场的分布更加均匀从而达到提高器件击穿电压的目的, 其工作原理类似于硅功率器件中的减小体场效应<sup>[16,17]</sup>. 其中非故意掺杂n型GaN缓冲层与p-GaN岛掩埋层形成的反向偏置

\* 中国博士后科学基金 (批准号: 2015M582610) 和国家自然科学基金 (批准号: 61404014, 61574023) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: [zylin@xidian.edu.cn](mailto:zylin@xidian.edu.cn)

p-GaN/n-GaN 结对器件表面和体电场分布均匀性有明显的优化, 同时使器件的缓冲层泄漏电流得到抑制, 实现了器件击穿电压超过 1700 V. 文中使用 Sentaurus TCAD 仿真软件对 PIBL AlGaIn/GaN HEMT 的关态  $I-V$  特性、电场分布等器件电学特性进行仿真并对器件参数进行优化设计. 仿真结果表明, 与常规的 AlGaIn/GaN HEMT 器件相比, 实验设计的 PIBL AlGaIn/GaN HEMT 在击穿电压等方面表现出明显的优越性.

## 2 器件仿真

PIBL AlGaIn/GaN HEMT 结构的截面图如图 1 所示, 与常规 HEMT 结构的不同点在于此结构在 2DEG 通道下方的 GaN 缓冲层中埋设了 6 个等间隔的 p-GaN 岛.

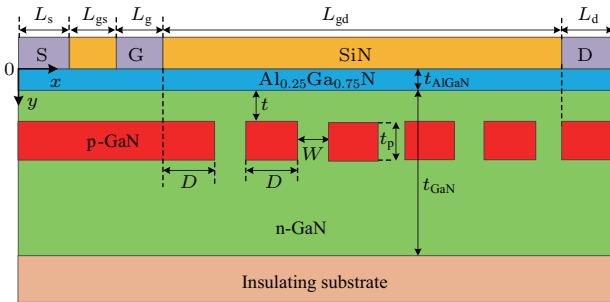


图 1 (网刊彩色) PIBL AlGaIn/GaN HEMT 结构截面图  
Fig. 1. (color online) Schematic structure of the PIBL AlGaIn/GaN HEMT.

图 2 给出了 PIBL HEMT 器件结构提高击穿电压的工作原理. 对于常规 GaN 基 HEMT 而言, 因为在栅极边缘处耗尽区边界发生弯曲, 曲率很大, 使得电场线向栅极边缘集中, 因此在同样的偏压下, 栅极边缘耗尽区电场远大于栅下方耗尽区电场 [18,19]. 而对于 PIBL HEMT 结构, 当截止状态下向漏极施加较高的正向电压 ( $V_{ds}$ ) 时, 在 p-GaN 岛靠近漏端的区域与缓冲层之间形成反偏的 p-n 结, 进而形成空间电荷区. p-GaN 边缘产生负的空间电荷, 而缓冲层产生正的空间电荷, 正的空间电荷会吸引电场, 在 p-GaN 岛靠近漏端一侧形成新的电场峰, 这样能够使表面电场分布更加均匀, 提高器件的耐压. 同时 p-GaN 埋层也能与缓冲层形成横向 p-n 结, 承担一部分缓冲层耐压, 防止缓冲层横向穿通.

本文仿真过程中所用到的器件相关参数如表 1 所列, 为了突出 PIBL 结构的优越特性, 本文

对具有表 1 所示相同特性参数的常规 AlGaIn/GaN HEMT 也进行了仿真.

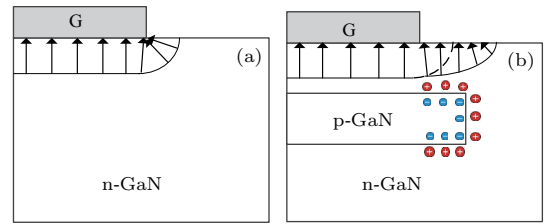


图 2 (网刊彩色) (a) 常规 AlGaIn/GaN HEMT 和 (b) PIBL AlGaIn/GaN HEMT 电力线分布  
Fig. 2. (color online) Electric line distributions of the (a) AlGaIn/GaN HEMT and (b) PIBL AlGaIn/GaN HEMT.

表 1 仿真中涉及的相关器件参数  
Table 1. Device parameters used in simulation.

参数	取值
源长 $L_s/\mu\text{m}$	1
栅源间距 $L_{gs}/\mu\text{m}$	1
栅长 $L_g/\mu\text{m}$	1
栅漏间距 $L_{gd}/\mu\text{m}$	10
漏长 $L_d/\mu\text{m}$	1
AlGaIn 势垒层厚度 $t_{\text{AlGaIn}}/\mu\text{m}$	0.03
GaN 缓冲层厚度 $t_{\text{GaN}}/\mu\text{m}$	3
p-GaN 岛状埋层长 $D/\mu\text{m}$	1
p-GaN 岛状埋层厚度 $t_p/\mu\text{m}$	0.2
p-GaN 岛状埋层间距 $W/\mu\text{m}$	1
p-GaN 岛状埋层和 AlGaIn 层间距 $t/\mu\text{m}$	0.2
AlGaIn 势垒层电子浓度 $N_{\text{GaN}}/\text{cm}^{-3}$	$1 \times 10^{15}$
GaN 缓冲层电子浓度 $N_{\text{GaN}}/\text{cm}^{-3}$	$1 \times 10^{15}$
p-GaN 岛状埋层空穴浓度 $N_{\text{PI}}/\text{cm}^{-3}$	$1.34 \times 10^{17}$

除了表 1 中用到的器件仿真参数外, 在模型参数中, 设定 p-GaN 岛状埋层空穴迁移率为  $15 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ , 2DEG 迁移率为  $1500 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ , GaN 亲和势为 3.8, AlGaIn 亲和势为 3.52. 采用固定的正电荷来模拟异质结界面处的正极化电荷, 面密度为  $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ , 文中的仿真不考虑表面态和栅隧穿模型, 器件击穿是由碰撞电离引起的, 碰撞电离率为  $\alpha_0 \exp(-E_c/E)$ , 其中  $\alpha_0$  为碰撞电离系数, 设为  $2.9 \times 10^8/\text{cm}$ ;  $E_c$  为临界击穿电场强度, 设为  $3.4 \times 10^7 \text{ V/cm}$  [20].

## 3 结果与讨论

PIBL AlGaIn/GaN HEMT 和常规 AlGaIn/GaN HEMT 的关态  $I-V$  特性如图 3 所示, 其中 PIBL HEMT

的  $t_p = 0.2 \mu\text{m}$ ,  $t = 0.2 \mu\text{m}$ ,  $N_{PI} = 1.34 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ , 两个器件的栅漏间距 ( $L_{gd}$ ) 均为  $10 \mu\text{m}$ , 器件的击穿电压定义为栅压 ( $V_{gs}$ ) 为  $-6 \text{V}$  下当漏极电流达到  $1 \text{mA/mm}$  时的漏极电压. 由图 3 可以明显看出 PIBL 结构 HEMT 的击穿电压达到了  $1700 \text{V}$ , 而常规结构 HEMT 的击穿电压仅有  $580 \text{V}$ . 这表明本文提出的 PIBL 结构的平均击穿电场高达  $1.7 \text{MV/cm}$ , 而常规 AlGaIn/GaN HEMT 的平均击穿电场只有  $0.58 \text{MV/cm}$ , 仅为 PIBL 结构的  $1/3$ .

图 4 给出了 PIBL AlGaIn/GaN HEMT 和常规 AlGaIn/GaN HEMT 在击穿点处的体等电位分布. 可以看出, 由于埋层 p-GaN 岛的调制效应, PIBL 结构的等电位轮廓分布比常规结构的等电位轮廓分布更加均匀, 特别是在掩埋 p 型岛的边缘处电场的分布均匀性对比最为明显. PIBL 结构中六个等距离的 p-GaN 岛掩埋缓冲层起着与场限制环或场板相似的作用 [21], 使器件的电压分布在更大的范围上, 因此 PIBL 结构具有更高的击穿电压.

图 5 显示了 PIBL AlGaIn/GaN HEMT 和常规 AlGaIn/GaN HEMT 在击穿电压下的界面电场

( $y = 0.229 \mu\text{m}$ ) 和表面电场 ( $y = 0.001 \mu\text{m}$ ) 分布. 埋层 p-GaN 岛引入的多个反向 p-n 结在界面位置处形成了新的电场峰, 有效地调制了器件的体电场分布, 同时 PIBL 结构的表面也产生了五个新的表面电场峰, 这表明器件的横向电场被有效优化, 有助于获得更高的击穿电压.

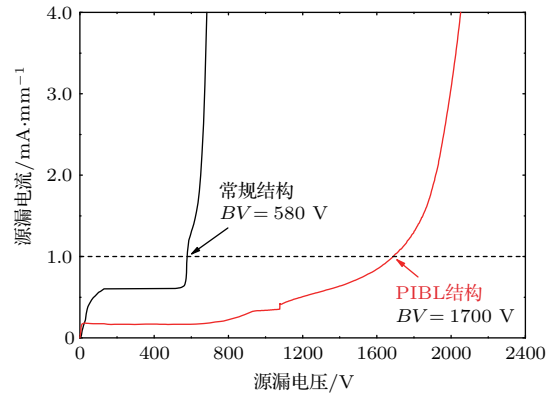


图 3 (网刊彩色) PIBL AlGaIn/GaN HEMT 和 AlGaIn/GaN HEMT 的关态  $I-V$  特性

Fig. 3. (color online) Off-state  $I-V$  characteristics of the PIBL AlGaIn/GaN HEMT and the AlGaIn/GaN HEMT.

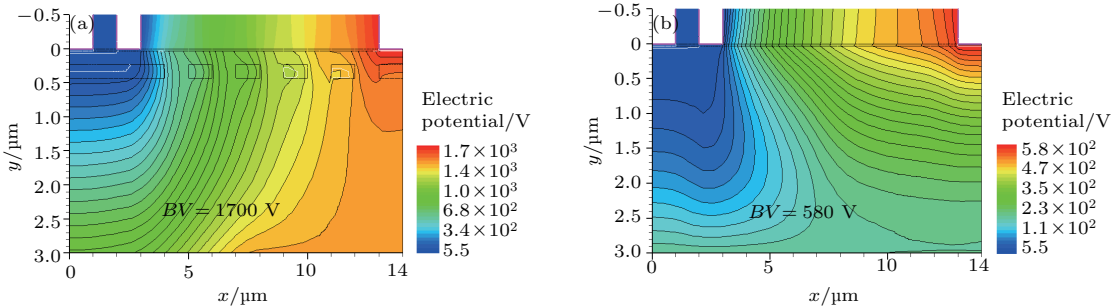


图 4 (网刊彩色) 击穿点处 (a) PIBL AlGaIn/GaN HEMT 和 (b) AlGaIn/GaN HEMT 的等电位分布

Fig. 4. (color online) Equipotential contour distributions at breakdown point for (a) the PIBL AlGaIn/GaN HEMT and (b) AlGaIn/GaN HEMT.

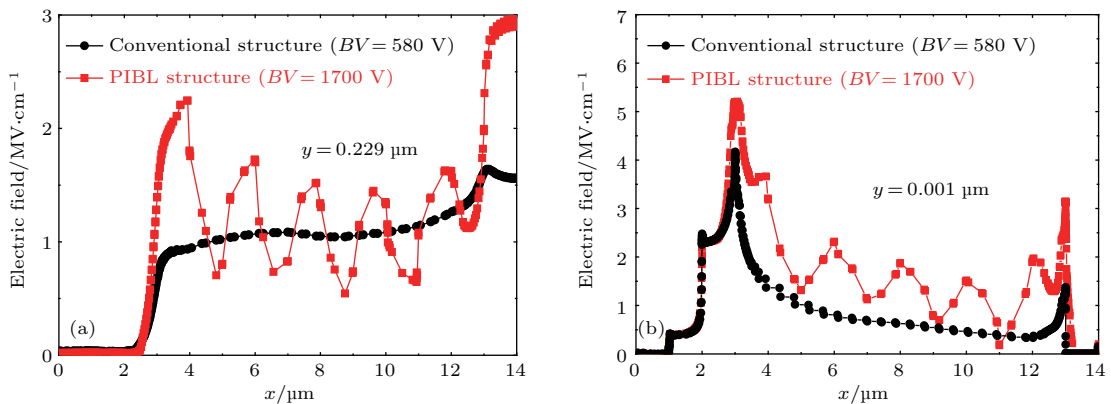


图 5 (网刊彩色) 击穿电压下 PIBL AlGaIn/GaN HEMT 和 AlGaIn/GaN HEMT 的 (a) 界面电场 ( $y = 0.229 \mu\text{m}$ ) 和 (b) 表面电场 ( $y = 0.001 \mu\text{m}$ ) 分布

Fig. 5. (color online) Distributions of (a) interface electric fields ( $y = 0.229 \mu\text{m}$ ) and (b) surface electric fields ( $y = 0.001 \mu\text{m}$ ) at breakdown point for PIBL and AlGaIn/GaN HEMT.

由于缓冲层中存在的泄漏电流是引起HEMT击穿的重要原因之一,图6展示了 $V_{gs} = -6$  V,  $V_{ds} = 400$  V时两种AlGaIn/GaN HEMT结构的电子浓度分布.显然,在相同电压偏置下,PIBL HEMT缓冲层中的电子已经完全耗尽,缓冲层泄漏电流得到抑制,而常规HEMT缓冲层中仍然存在大量的电子.这是因为在PIBL结构中,p-GaN岛通过与缓冲层形成p-n结把漏端的高电压分散到缓冲层,使得源漏下方的体电场更高,等势线分布更加密集(如图4),更好地耗尽缓冲层电子.因此,与常规结构相比,PIBL结构通过减小缓冲层泄漏电流,降低了由泄漏电流引起的碰撞电离的概率,进而抑制了雪崩击穿的发生[22,23].

对于GaN基电力电子器件而言,单独提高器

件的击穿电压是无意义的,通常要确保器件在获得高击穿电压的同时具有较低的导通电阻.因此,本文还研究了PIBL HEMT和常规AlGaIn/GaN HEMT的输出特性和转移特性,如图7所示.输出特性的仿真范围为 $V_{gs}$ 由-4 V变化至2 V,步长为2 V,转移特性在 $V_{ds}$ 为15 V下进行仿真.从图7可以观察到PIBL HEMT与常规HEMT相比具有较小的输出电流,表明PIBL HEMT的导通电阻略大于常规器件的导通电阻,这可能是因为引入的p-GaN埋层部分耗尽了2DEG沟道中的电子浓度导致的.但是从上述分析可以看出,PIBL HEMT的击穿电压显著提高到1700 V,特征导通电阻( $R_{on,sp}$ )仅为 $1.47$  m $\Omega$ ·cm<sup>2</sup>,品质因数( $FOM = BV^2/R_{on,sp}$ )达到1966 MW·cm<sup>-2</sup>.

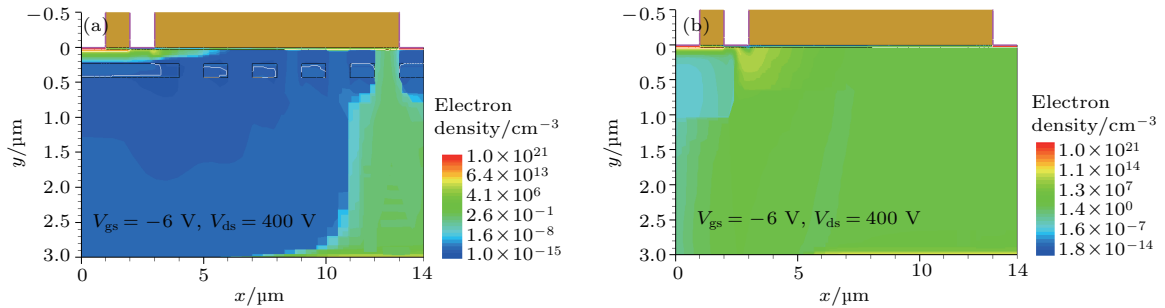


图6 (网刊彩色) (a) PIBL AlGaIn/GaN HEMT 和 (b) AlGaIn/GaN HEMT 的关态电子浓度分布

Fig. 6. (color online) Off-state electron concentration distributions for (a) PIBL AlGaIn/GaN HEMT and (b) AlGaIn/GaN HEMT.

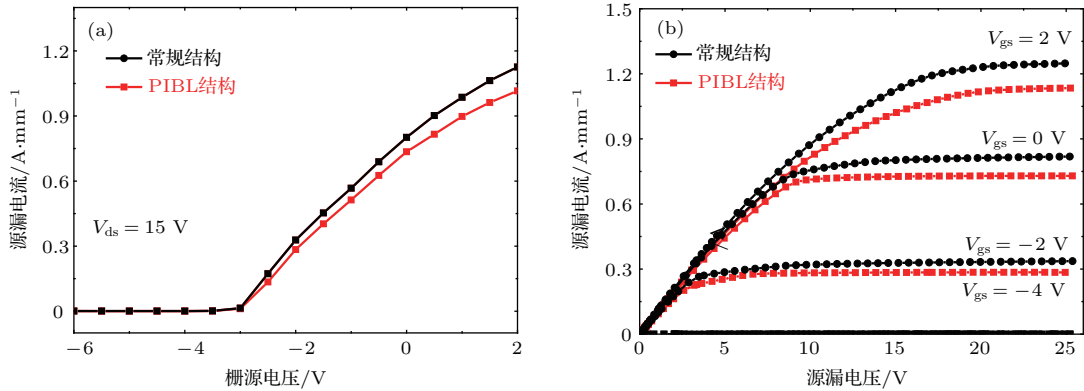


图7 (网刊彩色) PIBL AlGaIn/GaN HEMT 和 AlGaIn/GaN HEMT 的 (a) 转移特性和 (b) 输出特性

Fig. 7. (color online) (a) output characteristics and (b) transfer characteristics of PIBL AlGaIn/GaN HEMT and AlGaIn/GaN HEMT.

为优化器件结构,图8展示了不同器件参数对PIBL AlGaIn/GaN HEMT击穿特性的影响.图8(a)显示了 $t$ 对击穿电压的影响,其中 $t_p = 0.2$   $\mu$ m.由图8(a)可以看出, $t = 0.15, 0.2, 0.25$   $\mu$ m时,对应每条曲线都有一个最优化的 $N_{PI}$ ,并且最

优化的 $N_{PI}$ 随着 $t$ 的增大而增加.这是因为 $t$ 越大,p-GaN岛距离AlGaIn势垒就越远,这种情况下需要更大的最优化 $N_{PI}$ 才能使p-GaN岛与缓冲层形成更大的掺杂浓度差,从而形成更大的空间电荷区,以便对器件表面的电场有更强的调制作用.当

$t = 0.2 \mu\text{m}$ ,  $N_{\text{PI}} = 1.34 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 时, 器件获得最大击穿电压为1700 V. 图8 (b) 显示了 $t_p$ 对击穿电压的影响, 可以看出器件的击穿电压随着 $t_p$ 的减少而增强. 因为仿真模型中背景掺杂浓度是固定的, 根据电荷平衡原理, 当p-GaN埋层越薄时, 其最优化掺杂浓度也越高, 此时p-n结的p型区域和n型区域之间的掺杂浓度差越大(n型区域的空间电荷区更大), 对电场的调制作用越强. 当 $t_p = 0.1 \mu\text{m}$ 时, PIBL AlGaIn/GaN HEMT的击穿电压可以达到1789 V. 由此可以看出, 较薄的埋层p-GaN岛应该有助于实现更显著的电场调制并使器件获得更高的击穿电压.

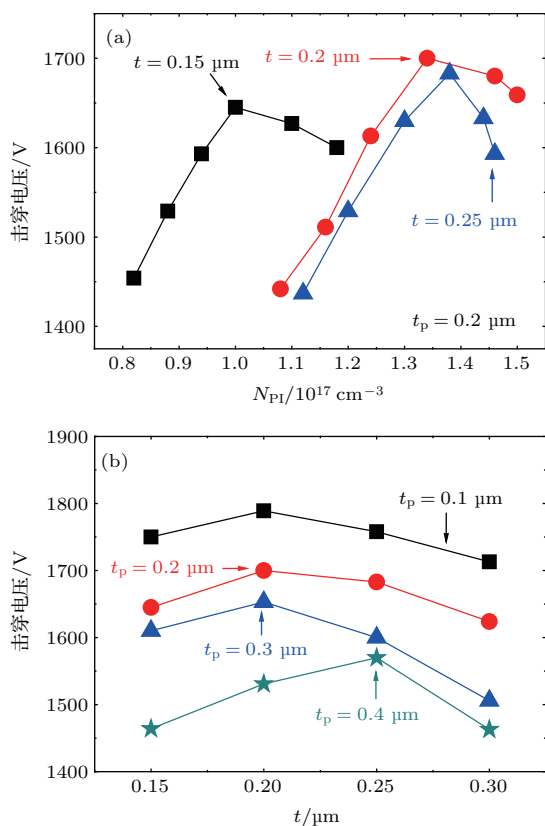


图8 (网刊彩色) 不同器件参数 (a)  $t$  和 (b)  $t_p$  对 PIBL AlGaIn/GaN HEMT 击穿特性的影响  
 Fig. 8. (color online) Influences of device parameters on breakdown characteristics for PIBL AlGaIn/GaN HEMT: (a)  $t$  on the  $BV$  ( $t_p = 0.2 \mu\text{m}$ ), and (b)  $t_p$  on the  $BV$ .

## 4 结 论

提出了一种新型PIBL AlGaIn/GaN HEMT 耐压结构, 并使用Sentaurus TCAD 仿真软件, 从关态  $I-V$  特性、电场分布和关态载流子分布等方面对器件特性进行了详细的仿真分析, 结果显示引入的p-GaN埋层在较高漏极电压下能形成反

向偏置的p-GaN/n-GaN结, 有效地调节器件的电场分布, 同时能有效耗尽缓冲层中的载流子, 减小缓冲层漏电, 使PIBL AlGaIn/GaN HEMT的击穿电压显著提高. 对器件的结构优化显示, 当  $t = 0.2 \mu\text{m}$ ,  $t_p = 0.1 \mu\text{m}$ 时,  $L_{\text{gd}} = 10 \mu\text{m}$ 的PIBL HEMT器件能实现高达1789 V的击穿电压, 同时PIBL AlGaIn/GaN HEMT的特征导通电阻仅为  $1.47 \text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ , 品质因数 ( $FOM = BV^2/R_{\text{on,sp}}$ ) 高达  $1966 \text{ MW}\cdot\text{cm}^{-2}$ .

## 参考文献

- [1] Zhang W, Li X, Zhang J, Jiang H, Xu X, Guo Z, He Y, Hao Y 2016 *Phys. Status Solidi* **213** 2203
- [2] Yu X X, Ni J Y, Li Z H, Kong C, Zhou J J, Dong X, Pan L, Kong Y C, Chen T S 2014 *Chin. Phys. Lett.* **31** 037201
- [3] Xie G, Edward X, Hashemi N, Zhang B, Fred Y F, Wai T N 2012 *Chin. Phys. B* **21** 086105
- [4] Mao W, Yang C, Hao Y, Zhang J C, Liu H X, Bi Z W, Xu S R, Xue J S, Ma X H, Wang C, Yang L A, Zhang J F, Kuang X W 2011 *Chin. Phys. B* **20** 017203
- [5] Luo J, Zhao S H, Mi M H, Chen W W, Hou B, Zhang J C, Ma X H, Hao Y 2016 *Chin. Phys. B* **25** 027303
- [6] Li X, Hove M V, Zhao M, Geens K, Lempinen V P, Sormunen J 2017 *IEEE Electron. Dev. Lett.* **38** 99
- [7] Mi M H, Zhang K, Chen X, Zhao S L, Wang C, Zhang J C, Ma X H, Hao Y 2014 *Chin. Phys. B* **23** 077304
- [8] Xie G, Edward X, Lee J, Hashemi N, Zhang B, Fu F Y 2012 *IEEE Electron. Dev. Lett.* **33** 670
- [9] Zhang N Q, Keller S, Parish G, Heikman S, DenBaars S P, Mishra U K 2000 *IEEE Electron. Dev. Lett.* **21** 421
- [10] Kim Y, Lim J, Kim M, Han M 2015 *Phys. Status Solidi C* **8** 453
- [11] Deguchi T, Kamada A, Yamashita M, Tomita H, Arai M, Yamasaki K, Egawa T 2012 *Electron. Lett.* **48** 109
- [12] Nanjo T, Kurahashi K, Imai A, Suzuki Y, Nakamura M, Suita M, Yagyu E 2014 *Electron. Lett.* **50** 1577
- [13] Wang M, Chen K J 2010 *IEEE Trans. Electron Dev. Lett.* **57** 1492
- [14] Boles T, Varmazis C, Carlson D, Palacios T, Turner G W, Molnar R J 2013 *Phys. Status Solidi* **10** 844
- [15] Ha W J, Chhahjed S, Oh S J, Hwang S Y, Kim J K, Lee J H, Kim K S 2012 *Appl. Phys. Lett.* **100** 132104
- [16] Cheng J B, Zhang B, Sun W F, Shi L X, Li Z J 2014 *Superlattice Microst.* **76** 288
- [17] Cheng J B, Zhang B, Li Z J 2008 *Electron. Lett.* **44** 933
- [18] Wu Y F, Saxler A, Moore M, Smith R P, Sheppard S, Chavarkar P M, Wisleder T, Parikh P 2004 *IEEE Electron Dev. Lett.* **25** 117
- [19] Ando Y, Okamoto Y, Miyamoto H, Nakayama T, Inoue T, Kuzuhara M 2003 *IEEE Electron. Dev. Lett.* **24** 289
- [20] Mao W, Fan J S, Du M, Zhang J F, Zheng X F, Wang C, Ma X H, Zhang J C, Hao Y 2016 *Chin. Phys. B* **25** 127305

- [21] Cheng X, Sin J K O, Shen J, Huai Y J, Li R Z, Wu Y, Kang B W 2003 *IEEE Trans. Electron. Dev.* **50** 2273  
 [22] Dora Y, Chakraborty A, Heikman S, Mccarthy L, Keller S, Denbaars P 2006 *IEEE Electron Dev. Lett.* **27** 529

- [23] Verzellesi G, Morassi L, Meneghesso G, Meneghini M, Zanoni E, Pozzovivo G 2014 *IEEE Electron Dev. Lett.* **35** 443

# High breakdown voltage lateral AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> high electron mobility transistor with p-GaN islands buried buffer layer for power applications\*

Zhang Li<sup>1)</sup> Lin Zhi-Yu<sup>1)†</sup> Luo Jun<sup>1)</sup> Wang Shu-Long<sup>1)</sup> Zhang Jin-Cheng<sup>1)</sup> Hao Yue<sup>1)</sup>  
 Dai Yang<sup>1)</sup> Chen Da-Zheng<sup>1)</sup> Guo Li-Xin<sup>2)</sup>

1) (Key Laboratory of Wide Band-Gap Semiconductor Technology, School of Microelectronics, Xidian University, Xi'an 710000, China)

2) (School of Physics and Optoelectronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710000, China)

( Received 1 June 2017; revised manuscript received 16 August 2017 )

## Abstract

The relatively low breakdown voltage ( $BV$ ) seriously restricts the high power application of GaN based high electron mobility transistors (HEMTs). In this work, a novel AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT with buried p-n junctions is investigated to improve the breakdown characteristics by introducing six equidistant p-GaN islands buried buffer layer (PIBL) into the n-GaN epitaxial layer. The p-GaN islands act as reversed p-n junctions, which produces new electric field peaks at the edges of p-GaN islands, then realizing a much high breakdown voltage, and the reversed p-n junctions can help to suppress punch-through effect in buffer layer. Furthermore, the characteristics of proposed device are analyzed in detail from the aspects of off-state  $I$ - $V$  characteristics, equipotential contour distribution, off-state electric field distribution, off-state carrier distribution and output characteristics. Simulated equipotential contour distribution shows that under the condition of high-voltage blocking state, multiple reverse p-n junctions introduced by the buried p-GaN islands produce five new electric field peaks, realizing a more uniform equipotential contour distribution especially at the edges of the buried p-islands. Then off-state electric field distribution demonstrates that p-GaN islands modulate the surface and bulk electric fields, which makes the voltage distributed in a larger area, therefore presenting a much higher breakdown voltage. It can be seen from off-state carrier distribution that the electrons in the buffer layer fully depleted in PIBL HEMT effectively suppress the buffer leakage current, thus alleviating the buffer-leakage-induced impact ionization leading to a high breakdown  $BV$  of over 1700 V with gate-to-drain length of 10  $\mu\text{m}$ , which is nearly 3 times larger than  $BV$  of 580 V in conventional AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT. Although, the introduction of p-type buried layer narrows the current path and causes an improved on-resistance, simulation shows that the specific on-resistance ( $R_{\text{on,sp}}$ ) of PIBL HEMT is only about 1.47  $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ , while the  $BV$  of the PIBL device is over 1700 V, and the obtained figure of merit ( $FOM = BV^2/R_{\text{on,sp}}$ ) reaches as high as 1966  $\text{MW}\cdot\text{cm}^{-2}$ . The optimization of device structure reveals that when the distance between p-GaN layer and AlGa<sub>N</sub> layer ( $t$ ) is 0.2  $\mu\text{m}$ , a thinner buried p-GaN island ( $t_p$ ) should help to realize a more significant electric field modulation, and PIBL HEMT can achieve a maximum  $BV$  of 1789 V with a  $t_p = 0.1 \mu\text{m}$ . Compared with the traditional AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT, the PIBL HEMT reveals a higher breakdown voltage, meanwhile ensuring low  $R_{\text{on,sp}}$ , which makes this structure a promising candidate in the applications of high power electronic devices.

**Keywords:** AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>, p-GaN island buried buffer layer, electric field, breakdown

**PACS:** 73.40.Kp, 85.30.Tv, 85.30.De

**DOI:** 10.7498/aps.66.247302

\* Project supported by the China Postdoctoral Science Foundation (Grant No. 2015M582610) and the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 61404014, 61574023).

† Corresponding author. E-mail: [zylin@xidian.edu.cn](mailto:zylin@xidian.edu.cn)