

阶梯 AlGa_N 外延新型 Al_{0.25}Ga_{0.75}N/GaN HEMTs 器件实验研究

袁嵩 段宝兴 袁小宁 马建冲 李春来 曹震 郭海军 杨银堂

Experimental research on the new Al_{0.25}Ga_{0.75}N/GaN HEMTs with a step AlGa_N layer

Yuan Song Duan Bao-Xing Yuan Xiao-Ning Ma Jian-Chong Li Chun-Lai Cao Zhen Guo Hai-Jun Yang Yin-Tang

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 237302 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.237302

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.237302>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I23>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

开态应力下电压和电流对 AlGa_N/Ga_N 高电子迁移率晶体管的退化作用研究

Degradation induced by voltage and current for AlGa_N/Ga_N high-electron mobility transistor under on-state stress

物理学报.2015, 64(12): 127303 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.127303>

阶梯氧化层新型折叠硅横向双扩散功率器件

New folding lateral double-diffused metal-oxide-semiconductor field effect transistor with the step oxide layer

物理学报.2015, 64(6): 067304 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.067304>

新型缓冲层分区电场调制横向双扩散超结功率器件

New super junction lateral double-diffused MOSFET with electric field modulation by differently doping the buffered layer

物理学报.2014, 63(24): 247301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.247301>

具有 N 型缓冲层 REBULF Super Junction LDMOS

New REBULF super junction LDMOS with the N type buffered layer

物理学报.2014, 63(22): 227302 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.227302>

SnO₂/p⁺-Si 异质结器件的电致发光: 利用 TiO₂ 盖层提高发光强度

Electroluminescence from SnO₂/p⁺-Si heterostructured light-emitting device: enhancing its intensity via capping a TiO₂ film

物理学报.2014, 63(17): 177302 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.177302>

阶梯 AlGa_{0.25}N 外延新型 Al_{0.25}Ga_{0.75}N/GaN HEMTs 器件实验研究*

袁嵩 段宝兴[†] 袁小宁 马建冲 李春来 曹震 郭海军 杨银堂

(西安电子科技大学微电子学院, 宽禁带半导体材料与器件教育部重点实验室, 西安 710071)

(2015 年 7 月 14 日收到; 2015 年 8 月 5 日收到修改稿)

本文报道了作者提出的阶梯 AlGa_{0.25}N 外延层新型 AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs 结构的实验结果. 实验利用感应耦合等离子体刻蚀 (ICP) 刻蚀栅边缘的 AlGa_{0.25}N 外延层, 形成阶梯的 AlGa_{0.25}N 外延层结构, 获得浓度分区的沟道 2DEG, 使得阶梯 AlGa_{0.25}N 外延层边缘出现新的电场峰, 有效降低栅边缘的高峰电场, 从而优化了 AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs 器件的表面电场分布. 实验获得了阈值电压 -1.5 V 的新型 AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs 器件. 经过测试, 同样面积的器件击穿电压从传统结构的 67 V 提高到新结构的 106 V, 提高了 58% 左右; 脉冲测试下电流崩塌量也比传统结构减少了 30% 左右, 电流崩塌效应得到了一定的缓解.

关键词: AlGa_{0.25}N/GaN, 表面电场, 击穿电压, 电流崩塌

PACS: 73.40.Kp, 73.40.Vz, 73.61.Ey

DOI: 10.7498/aps.64.237302

1 引言

作为第三代宽禁带半导体材料的代表, 氮化镓 (GaN) 与传统 Si 材料相比, 有着高击穿场强, 高热导率, 高电子迁移率以及化学稳定性等优势, 因此 GaN 材料在高频、高温、大功率和抗辐照方面的应用有着天然的优势^[1,2], GaN 基功率半导体器件也被认为是下一代高性能功率系统的核心^[3-5]. 以 AlGa_{0.25}N/GaN 异质结为核心结构的 AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs 器件正是 GaN 基功率器件的研究热点. 目前针对 AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs 器件的主要研究包括材料的生长技术、外延层结构设计、通过设计新器件结构提高击穿电压, 缓解自热效应以及电流崩塌, 提高器件的可靠性等^[5-18]. 击穿电压作为功率器件的一个关键因素, 一直是器件设计的重点. 对于 AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs 器件来说, 其击穿机理虽然与传统 Si 基 pn 结或 MOS 结构有所不同, 但是二

者在施加反向偏压时仍然有相似之处, 即随着漏端电压的增加, 无论是硅基器件还是 AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs 器件, 栅电极边缘都会出现高电场峰, 当此电场峰的电场强度达到材料的临界击穿电场时器件就会发生击穿.

为了降低栅边缘的高峰电场, 提高器件的击穿电压, 研究者针对硅基器件设计了很多提高功率器件击穿电压的方法和技术^[19-26], 这些技术虽然不能直接移植应用于 AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs 器件, 但是其原理对于优化 AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs 器件的击穿电压仍然具有指导意义. 比如文献^[23, 27]通过氟离子注入技术在 AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs 器件上实现了的 RESURF 效应, 有效降低栅边缘的高峰电场, 提高了器件的击穿电压和可靠性.

针对文献^[28-31]报道的 AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs 器件沟道 2DEG 浓度随 AlGa_{0.25}N 外延层厚度变化的规律, 本文对作者提出的具有阶梯 AlGa_{0.25}N 外延层的新型 AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs 器件^[32]进行

* 国家重点基础研究发展计划 (批准号: 2014CB339900, 2015CB351906) 和国家自然科学基金重点项目 (批准号: 61234006, 61334002) 资助的课题.

[†] 通信作者. E-mail: bxduan@163.com

了实验研究. 器件通过刻蚀栅边缘的AlGa_{0.25}N外延层厚度来调节栅边缘的2DEG分布, 利用2DEG的分区分布优化表面电场分布, 使得表面电场分布更加均匀. 经过测试发现同样面积的新型器件的击穿电压相比于传统结构有了明显的提高, 并且器件的电流崩塌效应也得到了一定的缓解.

2 器件的结构与制备

2.1 器件的基本结构

如图1所示为本文所讨论的新型阶梯AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs器件的结构示意图. 新器件相对于传统结构来说, 对栅漏之间靠近栅边缘的AlGa_{0.25}N外延层进行了刻蚀, 栅漏间的AlGa_{0.25}N外延层厚度出现差异, 形成了阶梯的AlGa_{0.25}N外延层. 其中栅源间距 L_{GS} 为2 μm, 栅长 L_G 为2 μm, 栅漏间距 L_{GD} 有两种长度分别为2 μm和4 μm, 与之对应的阶梯部分刻蚀的宽度 L_{Etch} 分别为2 μm

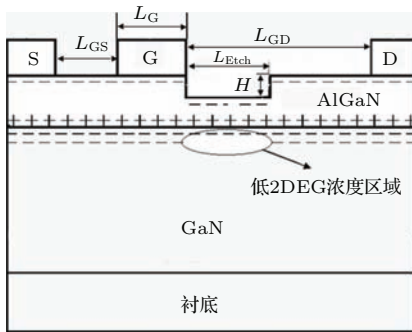


图1 新型阶梯AlGa_{0.25}N/GaN-HEMTs结构示意图

Fig. 1. Schematic of the new Al_{0.25}Ga_{0.75}N/GaN HEMTs with a step AlGa_{0.25}N layer.

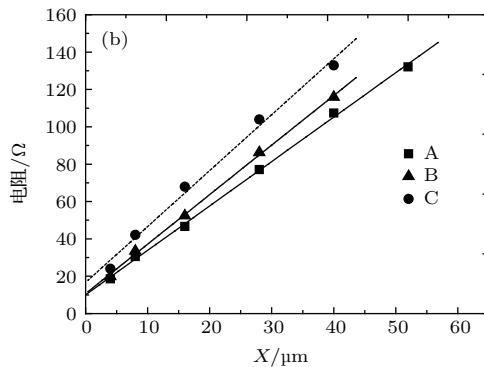
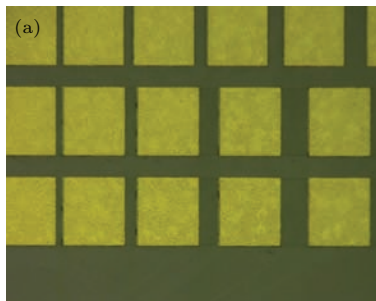


图2 (a) 测试区域示意图; (b) TLM测试结果拟合曲线

Fig. 2. (a) Test region for ohmic contact; (b) the fitting curve based on TLM test results.

以及2 μm, 3 μm, 4 μm, 刻蚀深度 H 为10 nm左右.

本文使用生长在蓝宝石衬底上的AlGa_{0.25}N外延片用于制作新型AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs器件, 外延片主要是由沿(0001)方向Ga面生长的2 μm的GaN缓冲层以及Al组分为25%的厚度为23 nm的AlGa_{0.25}N外延层构成, 通过霍尔测试得到的二维电子气面密度和迁移率分别为 $1.15 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 和1300 $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$. 为了方便进行对比, 同一外延片上同样制备有传统结构AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs器件.

2.2 器件的制备

首先, 利用感应耦合等离子体刻蚀系统(ICP)在HBr与Ar氛围中对外延片进行干法刻蚀形成台面隔离, 刻蚀深度为200 nm左右; 然后利用金属电子束蒸发设备Ei-5z蒸镀Ti/Al/Ni/Au金属层制作源漏电极, 各层金属的厚度分别为20 nm/150 nm/50 nm/80 nm, 蒸镀完成之后进行快速热退火, 在N₂氛围中850 °C下保持30 s形成欧姆接触.

图2(a)为对源漏欧姆接触性能进行测试的区域示意图, 利用传输线法(TLM)测试欧姆接触电阻率. 分别在外延片不同位置的测试区域进行测试, 通过 $R-L$ 数据线性拟合, 可以得到欧姆接触电阻与方块电阻约为 $0.8\Omega\cdot\text{mm}$ 和 $300 \Omega/\square$. 如图2(b)所示利用测试数据得到线性方程为

$$Y = A + BX. \quad (1)$$

根据所测数据, 利用下式:

$$\rho = \frac{AW^2}{4B}, \quad (2)$$

其中 W 为测试区域的矩形宽度, A, B 分别为上述线性方程 (1) 的截距与斜率, 通过计算得到欧姆接触的比接触电阻率 ρ_A, ρ_B, ρ_C 分别为 $1.113 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2, 1.117 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2, 0.994 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$, 基本稳定在 $1 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 左右, 与文献报道的数值相接近, 可见采用制备欧姆接触的工艺条件性能稳定并符合设计要求, 保证了源漏电极具有较低的接触阻抗, 不会带来额外的高导通损耗.

第三步同样是利用金属电子束蒸发淀积金属, 材料分别是 Ni 和 Au 用以形成肖特基栅, 厚度分别为 20 nm 和 300 nm.

最后利用 ICP 刻蚀技术获得刻蚀深度为 10 nm 左右的阶梯 AlGaIn 外延层结构并在 N_2 氛围中 400 °C 退火 10 min 来修复刻蚀损伤.

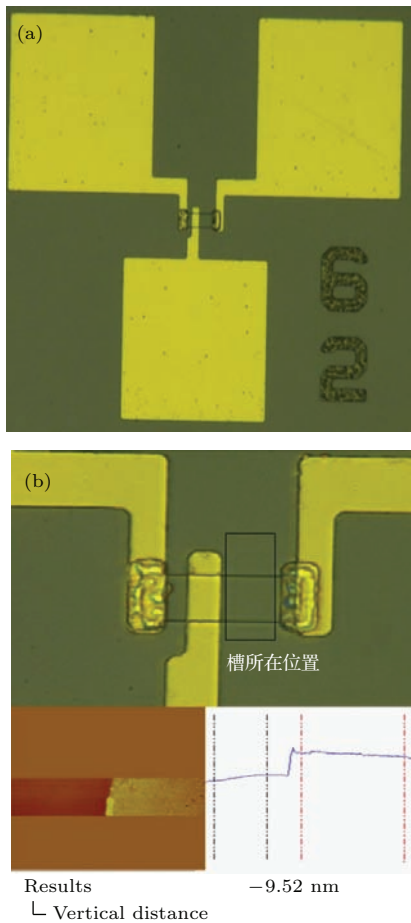


图3 (a) 器件示意图; (b) 阶梯 AlGaIn 外延层示意图以及原子力显微镜 (AFM) 测试结果
Fig. 3. (a) Schematic diagram of the device; (b) schematic diagram and AFM test data of the step Al-GaN layer.

图 3(a) 为器件完成制作的示意, 图 3(b) 为阶梯 AlGaIn 外延层位置示意图以及原子力显微镜 (AFM) 测量的刻蚀深度. 可以看到, 刻蚀深度为

9.52 nm, 基本满足设计时所要求 10 nm 左右的阶梯深度.

3 测试结果及分析

图 4 为器件 2DEG 面密度以及表面电场分布的示意图. 器件中的高密度 2DEG 是由 Al-GaN/GaN 异质结的极化效应形成的且 2DEG 浓度与外延 AlGaIn 的厚度相关, 随厚度增加浓度增加最终趋于饱和 [28-31]. 具有阶梯 AlGaIn 外延层的新结构与传统 AlGaIn/GaN HEMTs 器件的不同之处在栅漏之间的 AlGaIn 外延层厚度为阶梯状, 栅边缘 AlGaIn 外延层厚度小于与漏电极相连的 AlGaIn 层. 经过测试, 刻蚀区域的 2DEG 密度大约是 $0.8 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$, 明显低于漏电极边缘未刻蚀部分. 而作者借助器件仿真软件 ISE 分析表明 [33], 由于 2DEG 浓度的分区变化, 刻蚀区域边缘出现了一个新电场峰, 且栅边缘处的高电场峰与传统结构相比也有明显的减小 [32]. 这与传统 CMOS 结构中低掺杂漏极缓解热载流子效应类似, 与硅基 LDMOS 结构中漂移区分区掺杂效果一样, 低浓度 2DEG 有利于高阻 GaN 缓冲层在器件反向工作时耗尽区扩展, 而扩展的耗尽区有效降低了栅边缘的高峰电场, 使器件击穿电压和可靠性提高.

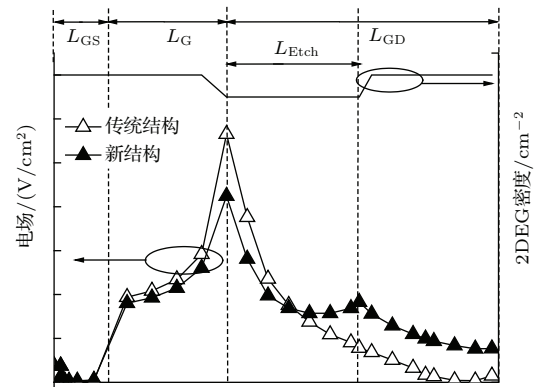


图 4 器件 2DEG 面密度和表面电场分布示意图
Fig. 4. 2DEG density and surface electric field distribution of the new structure.

图 5 为器件正向特性的比较. 如图 5 (a) 所示, 对于不同参数的器件, 阈值电压 V_{th} 基本没有变化, 为 -1.5 V 左右, 而新结构的最大 I_{DS} 要比传统器件略小. 图 5 (b) 为不同器件的跨导示意图, 可以看到不同类型不同参数的器件, 最大跨导 G_m 均为 150 mS/mm 左右, 可见阶梯 AlGaIn 外延层结构对

器件的跨导基本没有影响. 这是由于新器件的阶梯 AlGaIn 外延层结构是在栅漏电极之间的区域刻蚀形成的, 而器件的阈值电压跨导等正向特性仅仅与

栅电极覆盖区域的材料性质及结构有关, 因此新型阶梯 AlGaIn 外延层结构的正向特性与传统结构相比没有明显差异.

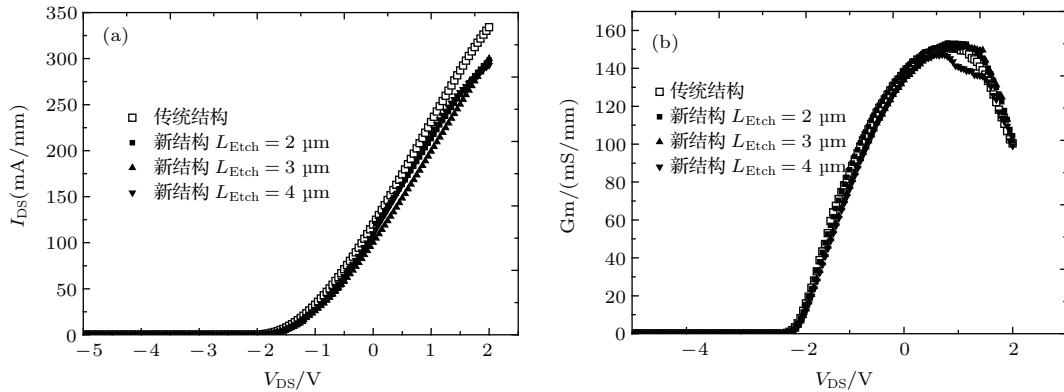


图5 (a) 器件的正向特性比较; (b) 器件跨导示意图

Fig. 5. (a) Forward characteristics of the devices; (b) transconductance characteristics of the devices.

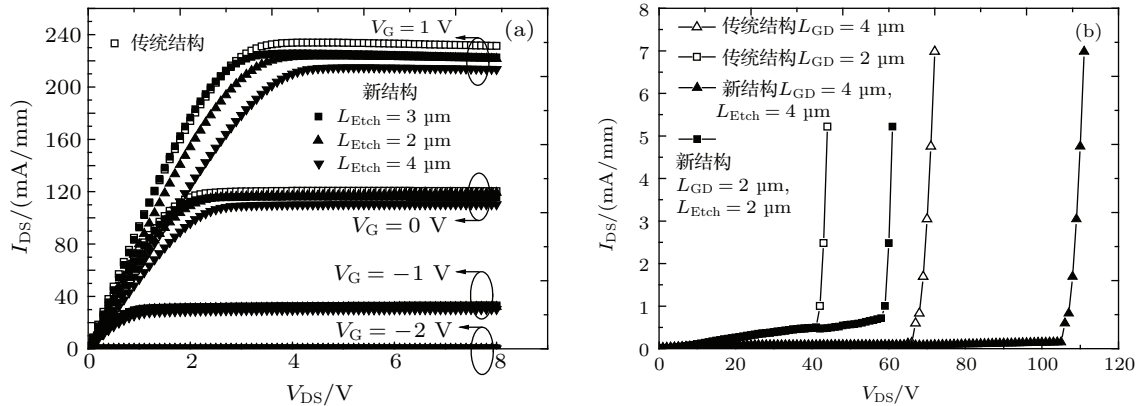


图6 (a) 器件的输出特性示意图; (b) 器件的击穿电压比较

Fig. 6. (a) Output characteristics of the devices; (b) breakdown voltage of the devices.

图6(a)为不同器件的输出特性的比较, 从图6中可以看到与传统器件相比, 新结构的饱和输出电流相对于传统结构来说略有降低, 且随着刻蚀区域宽度 L_{Etch} 的增大而减小, 但在完全刻蚀的情况下新结构的饱和输出电流为 220 mA/mm, 也仅仅比传统结构的 23 mA/mm 小了 10 mA/mm 左右. 图6(b)为传统结构与新结构击穿特性的比较, 可以看到随着 L_{GD} 的增大, 器件的击穿电压逐渐提高, 而在同样的栅漏间距 $L_{GD} = 4 \mu\text{m}$ 的情况下, 器件的击穿电压从传统结构的 67 V 提高到新结构的 106 V, 提高了 58% 左右. 对于新结构来说, 饱和输出电流的减小幅度与击穿电压的提高幅度相比是可以接受的.

图7为器件在脉冲测试条件下的 $I-V$ 输出特性对比, 其中静态工作点为 $(V_{GS0}, V_{DS0}) = (-2 \text{ V}, 10 \text{ V})$, 脉冲宽度和周期分别为 $1 \mu\text{s}$ 和 1 ms . 从图7中可以看到传统器件在脉冲测试的条件下电流崩塌现象非常明显, 崩塌量达到了 40% 左右; 而对于新结构来说电流崩塌量有明显的减小, 仅仅不到 10%. 这是因为新结构的阶梯 AlGaIn 外延层结构能够通过调制 2DEG 的浓度分布来调制器件表面电场分布, 通过在阶梯 AlGaIn 外延层结构的边缘引入一个新电场峰, 从而促使栅边缘的高电场峰明显减小, 这样有利于在一定程度上减小栅极电子注入效应, 减小栅漏之间的泄漏电流, 避免栅电流给表面陷阱充电, 缓解电流崩塌效应.

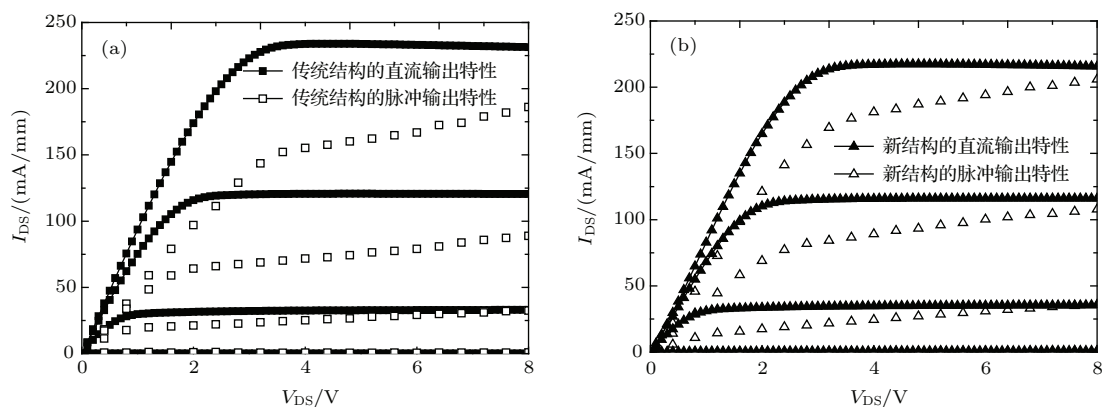


图7 (a) 传统结构脉冲 $I-V$ 特性曲线; (b) 阶梯 AlGaIn 外延层新型 AlGaIn/GaN HEMTs 脉冲 $I-V$ 特性曲线
 Fig. 7. (a) Pulsed $I-V$ characteristics of the conventional structure; (b) pulsed $I-V$ characteristics of the new Al_{0.25}Ga_{0.75}N/GaN HEMTs with a step AlGaIn layer.

同时由于栅边缘高电场的减小,也能缓解强电场下肖特基栅的逆压电效应. 避免 AlGaIn 势垒层的晶格结构在强电场下由于逆压电效应而被拉伸,造成晶格结构被破坏,形成晶格缺陷,从而对于器件的可靠性也有一定的提高.

4 结 论

本文针对作者提出的具有阶梯 AlGaIn 外延层的新型 AlGaIn/GaN HEMTs 器件进行了实验制作与测试. 通过刻蚀栅边缘的 AlGaIn 外延层形成了阶梯的 AlGaIn 外延层,获得了阈值电压 -1.5 V 的新型 AlGaIn/GaN HEMTs 器件,新器件的正向特性与传统器件基本一致,但是击穿电压相对于传统结构有了非常明显的提高,同时由于表面电场分布得到了优化,器件的电流崩塌效应得到了缓解,器件的可靠性也因此有所提高.

参考文献

- [1] Kamath A, Patil T, Adari R, Bhattacharya I, Ganguly S, Aldhaheri R W, Hussain M A, Dipankar S 2012 *IEEE Electron Device Lett.* **33** 1690
- [2] Hidetoshi I, Daisuke S, Manabu Y, Yasuhiro U, Hisayoshi M, Tetsuzo U, Tsuyoshi T, Daisuke U 2008 *IEEE Transactions on Electron Devices* **29** 1087
- [3] Johnson J W, Zhang A P, Luo W B, Fan R, Pearton S J, Park S S, Park Y J, Chyi J I 2003 *IEEE Electron Device Lett.* **24** 32
- [4] Huang T D, Zhu X L, Wong K M, Lau K M 2012 *IEEE Electron Device Lett.* **33** 212
- [5] Corrian A L, Poblencz C, Wu F, Speck J S 2008 *Journal Appl. Phys.* **130** 093529
- [6] Hidetoshi I, Daisuke S, Manabu Y, Yasuhiro U, Hisayoshi M, Tetsuzo U, Tsuyoshi T, Daisuke U 2008 *IEEE Electron Device Lett.* **29** 1087
- [7] Zhou C H, Jiang Q M, Huang S, Chen K J 2012 *IEEE Electron Device Lett.* **33** 1132
- [8] Corrian A L, Poblencz C, Wu F, Speck J S 2008 *J. Appl. Phys.* **130** 093529
- [9] Lee J H, Yoo J K, Kang H S, Lee J H 2012 *IEEE Electron Device Lett.* **33** 1171
- [10] Lee H S, Daniel P, Sun M, Gao X, Guo S P, Tomas P 2012 *IEEE Electron Device Lett.* **33** 982
- [11] Duan B X, Yang Y T 2012 *Sci. China Inf. Sci.* **55** 473
- [12] Duan B X, Yang Y T 2012 *Micro & Nano Letter* **7** 9
- [13] Subramaniam A, Takashi E, Lawrence S, Hiroyasu I 2006 *Japanese Journal of Applied Physics* **45** L220
- [14] Ando Y, Okamoto Y, Miyamoto H, Nakayama T, Inoue T, Kuzuhara M 2003 *IEEE Electron Device Lett.* **24** 289
- [15] Benbakhti B, Rousseau M, de Jaeger J C 2007 *Microelectronics Journal* **38** 7
- [16] Jin D, Joh J, Krishnan S, Tipirneni N, Pendharkar S, del Alamo J A 2013 *IEEE International Electron Devices Meeting* Washington DC, USA Dec. 9-11, 2013, p 6.2.16.2.4
- [17] Injun H, Jongseob K, Soogine C, Hyun-Sik C, Sun-Kyu H, Jaejoon O, Jai Kwang S, U-In C 2013 *IEEE Electron Device Lett.* **34** 12 1494
- [18] Arulkumaran S, Liu Z H, Ng G I, Cheong W C, Zeng R, Bu J, Wang H, Radhakrishnan K, Tan C L 2007 *Thin Solid Films.* **515** 4517
- [19] Chen X B, Johnny K O S 2001 *IEEE Transactions on Electron Devices* **48** 344
- [20] Duan B X, Zhang B, Li Z J 2006 *IEEE Electron Device Lett.* **27** 377
- [21] Duan B X, Yang Y T, Zhang B, Hong X F 2009 *IEEE Electron Device Lett.* **30** 1329
- [22] Duan B X, Yang Y T, Zhang B 2009 *IEEE Electron Device Lett.* **30** 305
- [23] Duan B X, Yang Y T 2011 *IEEE Transactions on Electron Devices* **58** 2057

- [24] Duan B X, Yang Y T, Zhang B 2010 *Solid-State Electronics* **54** 685
- [25] Duan B X, Yang Y T, Chen K J 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 247302 (in Chinese) [段宝兴, 杨银堂, 陈敬 2012 物理学报 **61** 247302]
- [26] Duan B X, Yang Y T, Kevin J. Chen 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 227302 (in Chinese) [段宝兴, 杨银堂, 陈敬 2012 物理学报 **61** 227302]
- [27] Di S, Jie L, Zhiqun C, Wilson C. W. T, Kei May L, Kevin J. Chen. 2007 *IEEE Electron Device Lett.* **28** 189
- [28] Udreă F, Popescu A, Milne W I 1998 *Electronics Letters* **34** 808
- [29] Smorchkova I P, Elsass C R, Ibbetson J P, Heying B, Fini P, Den Baars S P, Speck J S, Mishra U K 1999 *J. Appl. Phys.* **86** 4520
- [30] Yifei Z, Smorchkova I P, Elsass C R, Stacia K, Ibbetson J P, Jasprit S 2000 *Appl. Phys. Lett.* **87** 7981
- [31] Ibbetson J P, Fini P T, Ness K D, DenBaars S P, Speck J S, Mishra U K 2000 *Appl. Phys. Lett.* **77** 250
- [32] Duan B X, Yang Y T 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 057302 (in Chinese) [段宝兴, 杨银堂 2014 物理学报 **63** 057302]
- [33] DESSIS, ISE TCAD Manuals Release 10., Integrated Systems Engineering, Zurich, Switzerland, 2004

Experimental research on the new $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMTs with a step AlGa N layer*

Yuan Song Duan Bao-Xing[†] Yuan Xiao-Ning Ma Jian-Chong Li Chun-Lai Cao Zhen
Guo Hai-Jun Yang Yin-Tang

(Key Laboratory of the Ministry of Education for Wide Band-Gap Semiconductor Materials and Devices, School of Microelectronics, Xidian University, Xi'an 710071, China)

(Received 14 July 2015; revised manuscript received 5 August 2015)

Abstract

In this paper, experimental results are reported about the new $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ high electron mobility transistor (HEMT) with a step AlGa N layer. The rule of 2DEG concentration variation with the thickness of AlGa N epitaxial layer has been applied to the new AlGa N/GaN HEMTs: The step AlGa N layer is formed at the gate edge by inductively coupled plasma etching, the 2DEG concentration in the etched region is much lower than the other parts of the device. A new electric field peak appears at the corner of the step AlGa N layer. The high electric field at the gate edge is decreased effectively due to the emergence of the new electric field peak, and this optimizes the surface electric field of the new AlGa N/GaN HEMTs. The new devices have the same threshold voltage and transconductance as the conventional structure, -1.5 V and 150 mS/mm. That means, the step AlGa N layer does not affect the forward characteristics of the AlGa N/GaN HEMTs. As the more uniform surface electric field distribution usually leads to a higher breakdown voltage (BV), with the same gate to drain length $L_{\text{GD}} = 4$ μm , the BV can be improved by 58% for the proposed $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMTs as compared with the conventional structure. At $V_{\text{GS}} = 1$ V, the saturation currents (I_{sat}) is 230 mA/mm for the conventional $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMT and 220 mA/mm for the partially etched $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMT ($L_{\text{Etch}} = 4$ μm , $L_{\text{GD}} = 4$ μm). The decrease of I_{sat} is at most 10 mA/mm. However, as the BV has a significant enhancement of almost 40 V, these drawbacks are small enough to be acceptable. During the pulse I - V test, the current collapse quantity of the conventional structure is almost 40% of the maximum $I_{\text{DS}}(\text{DC})$, but this quantity in the new devices is only about 10%, thus the current collapse effect in $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMTs has a significant remission for a step AlGa N layer. And as the high electric field peak at the gate edge is decreased, the effect of the gate electrode on electron injection caused by this electric field peak is also included. The injected electrons may increase the leakage current during the off-state, and these injected electrons would form the surface trapped charge as to decrease the 2DEG density at the gate. As a result, the output current and the transconductance would decrease due to the decreased electron density during the on-state. That means, with the region partially etched, the electron injection effect of the gate electrode would be remitted and the stability of Schottky gate electrode would be improved. In addition, due to the decrease of the high electric field at the gate edge, the degradation of the device, which is caused by the high electric field converse piezoelectric effect, will be restrained. The stability of the partially etched AlGa N/GaN HEMT will become better.

Keywords: AlGa N/GaN , surface electric field, breakdown voltage, current collapse

PACS: 73.40.Kp, 73.40.Vz, 73.61.Ey

DOI: 10.7498/aps.64.237302

* Project supported by the State Key Development Program for Basic Research of China (Grant Nos. 2014CB339900, 2015CB351906) and the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 61234006, 61334002).

[†] Corresponding author. E-mail: bxduan@163.com