

阶梯 AlGa_{0.25}N 外延新型 Al_{0.25}Ga_{0.75}N/GaN HEMTs 击穿特性分析*

段宝兴[†] 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)

(2013 年 11 月 3 日收到; 2013 年 11 月 28 日收到修改稿)

为了优化 AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs 器件表面电场, 提高击穿电压, 本文首次提出了一种新型阶梯 AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs 结构. 新结构利用 AlGa_{0.25}N/GaN 异质结形成的 2DEG 浓度随外延 AlGa_{0.25}N 层厚度降低而减小的规律, 通过减薄靠近栅边缘外延的 AlGa_{0.25}N 层, 使沟道 2DEG 浓度分区, 形成栅边缘低浓度 2DEG 区, 低的 2DEG 使阶梯 AlGa_{0.25}N 交界出现新的电场峰, 新电场峰的出现有效降低了栅边缘的高峰电场, 优化了 AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs 器件的表面电场分布, 使器件击穿电压从传统结构的 446 V, 提高到新结构的 640 V. 为了获得与实际测试结果一致的击穿曲线, 本文在 GaN 缓冲层中设定了一定浓度的受主型缺陷, 通过仿真分析验证了国际上外延 GaN 缓冲层时掺入受主型离子的原因, 并通过仿真分析获得了与实际测试结果一致的击穿曲线.

关键词: AlGa_{0.25}N/GaN, 表面电场, 击穿电压, 异质结

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

DOI: 10.7498/aps.63.057302

1 引言

氮化镓(GaN)是第三代宽禁带半导体材料的代表, 在大功率开关方面的品质因子BFOM是硅材料的39倍, 所以GaN宽禁带半导体材料在高频、高温、大功率和抗辐照环境条件下具有超强的优势^[1,2], 制备的功率半导体器件是下一代高性能功率系统的核心^[3,4]. 目前, 由于材料质量和器件制备工艺技术的提高, GaN基功率微波器件的功率密度可以高达GaAs基器件的5—10倍, 高的功率密度可以简化微波功率集成电路的设计和制备. AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs器件的研究主要包括通过电场优化提高击穿电压^[5-11]、通过结构设计缓解电流崩塌^[12,13]以及提高器件可靠性^[14,15]. 实现一定功率密度和满足特定电压转换的功率器件, 击穿电压是一个非常重要的参数, 研究者在硅功率器件中

已经设计了很多提高功率器件击穿电压的方法和技术^[16-23]. 但是, AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs器件的特殊耐压机理使得设计优化高击穿电压的硅技术不能直接移植^[22].

AlGa_{0.25}N/GaN异质结的极化效应形成了高密度2DEG, 异质结的极化包括压电极化和材料自发极化, 为了屏蔽这种极化感应电荷, 在GaN表面的低势垒沟道区形成了用于导电的高密度2DEG. 使得AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs器件的耐压机理与传统Si基pn结或MOS结构不同, 具有特殊性. 相同之处在于随着漏端电压的增加, AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs器件的栅电极边缘出现高电场, 当电场强度达到GaN材料临界击穿电场时器件击穿, 为了降低栅边缘的高峰电场, 硅基功率器件利用了RESURF技术^[24], 为了进一步降低体内高电场, 研究者提出了REBULF技术^[19]. 文献^[23]通过氟离子注入技术实现了AlGa_{0.25}N/GaN HEMTs器件的RESURF

* 国家重点基础研究发展计划(批准号: 2014CB339900)、国家自然科学基金重点项目(批准号: 61234006)和国家自然科学基金青年科学基金(批准号: 61106076)资助的课题.

[†] 通讯作者. E-mail: bxduan@163.com

效应, 通过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. 文献[25—27]报道了 AlGaIn/GaN HEMTs 器件沟道 2DEG 浓度随 AlGaIn 异质外延层厚度的变化, 当 AlGaIn 厚度逐渐增加时, 2DEG 的浓度增加并趋于饱和. 饱和时的 AlGaIn 异质外延层厚度为 20 nm, 这也就是为什么一般 AlGaIn/GaN HEMTs 器件中外延的 AlGaIn 异质层厚度为 20 nm 左右的原因, 当 AlGaIn 异质层厚度为 10 nm 时, 2DEG 的浓度约为饱和浓度的 60%.

本文为了优化栅边缘的高峰电场, 利用沟道 2DEG 浓度随 AlGaIn 异质外延层厚度的变化规律, 设计了一种具有阶梯 AlGaIn 外延层的新型 AlGaIn/GaN HEMTs 器件. 通过刻蚀栅边缘的 AlGaIn 厚度调节栅边缘的 2DEG 分布, 通过优化 2DEG 分布使表面电场均匀. 这种效应与 CMOS 技术中通过低掺杂漏极形成耗尽区扩展降低高电场的作用相当. 通过利用 ISE 三维仿真软件 (版本为 10.0) 分析, 结果表明: 通过设计一定厚度和长度的阶梯 AlGaIn 外延层, 可以使 AlGaIn/GaN HEMTs 器件高阻区扩展并完全耗尽, 高阻耗尽区的扩展降低了栅边缘的高峰电场, 将传统 AlGaIn/GaN HEMTs 器件的击穿电压从 466V 提高到新结构的 640V.

2 器件结构

如图 1 所示为本文首次提出的阶梯 AlGaIn 外延层新型 AlGaIn/GaN HEMTs 器件结构示意图. AlGaIn/GaN 异质结的极化效应形成了高密度 2DEG, 2DEG 浓度与外延 AlGaIn 的厚度相关, 随厚度增加浓度增加并趋于饱和 [25—27]. 具有阶梯 AlGaIn 外延层的新结构与传统 AlGaIn/GaN HEMTs 器件不同在于靠近栅边缘的 AlGaIn 外延层厚度为阶梯状, 厚度小于与漏电极相连的 AlGaIn 层. 由于 2DEG 的浓度随 AlGaIn 厚度减小而降低, 所以靠近栅边缘的沟道形成的 2DEG 浓度小于漏电极边缘部分, 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. 本文分析的器件为沿 (0001) 方向 Ga 面生长的 i-GaN 缓冲层以及非故意

掺杂的 AlGaIn 势垒层, AlGaIn 外延层总厚度为 25 nm, 阶梯部分随参数 H 变化, Al 组分为 25%, GaIn 缓冲层厚度为 3 μm, 栅源、栅漏距离分别为 1.0 μm 和 5.0 μm, 栅长为 1.5 μm.

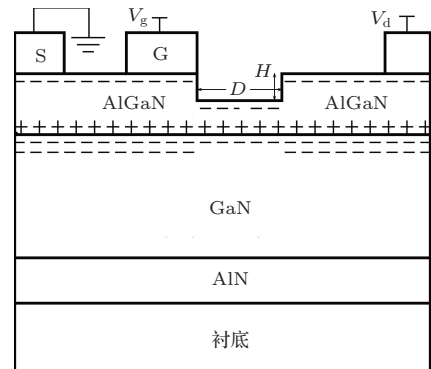


图 1 阶梯 AlGaIn 外延新型 Al_{0.25}Ga_{0.75}N/GaN HEMTs 结构示意图

3 结果及分析

图 2 所示为器件击穿条件下, 传统结构与新型阶梯 Al_{0.25}Ga_{0.75}N/GaN HEMTs 结构等势线分布. 由于外延 AlGaIn 的总厚度只有 25 nm, 图 2 (b) 中阶梯 AlGaIn 厚度为 15 nm, 即 $H = 10$ nm, 所以图 2 中没有明显表示出阶梯的 AlGaIn 层. 阶梯的 AlGaIn 使沟道 2DEG 靠近栅边缘时减小, 器件反向

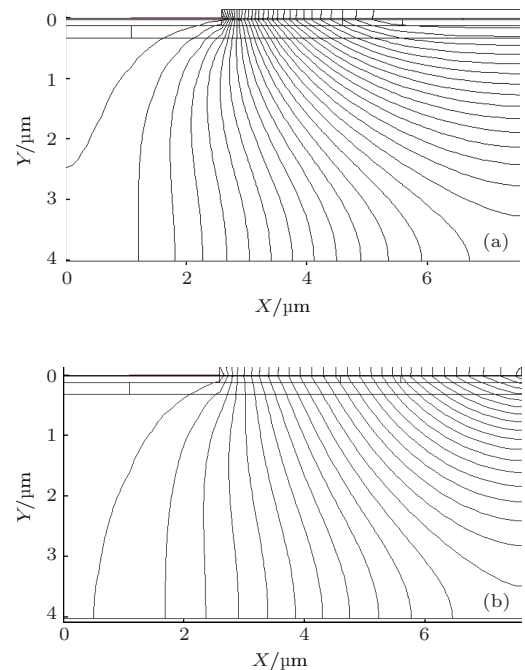


图 2 击穿条件下的等势线分布 (a) 传统结构; (b) 阶梯 AlGaIn 外延新型 Al_{0.25}Ga_{0.75}N/GaN HEMTs 结构: $H = 10$ nm, $D = 5$ μm

工作时耗尽区扩展比传统结构容易, 即在一定反向电压下, 阶梯结构的栅边缘2DEG已经耗尽, 而传统结构的2DEG还没有完全耗尽. 当器件达到GaN材料的临界击穿电压时, $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMTs器件击穿, 图2所示的传统结构击穿电压为466 V, 而新型阶梯 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMTs 击穿电压为640 V. 对于阶梯 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMTs, 器件击穿时高阻 GaN 缓冲层已经完全耗尽, 而传统结构为部分耗尽.

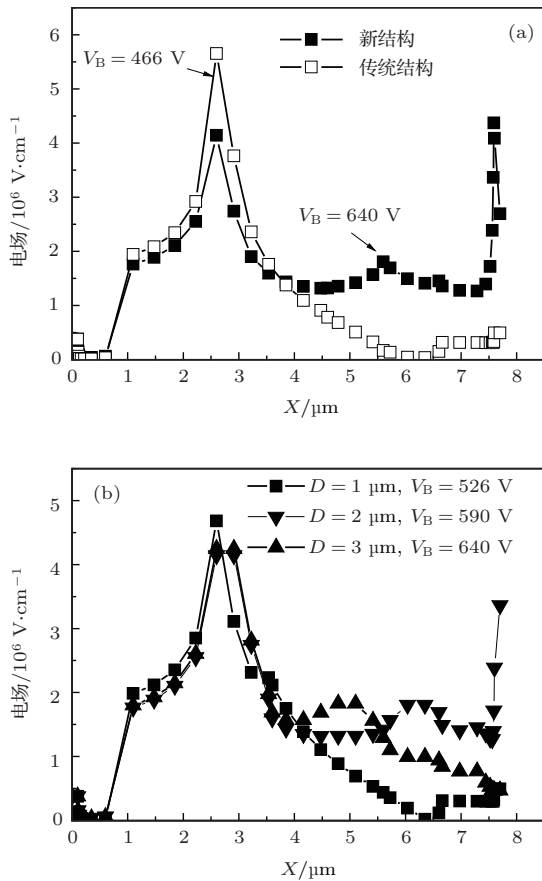


图3 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMTs 表面电场分布 (a) 传统结构与新结构的比较; (b) 新结构随 D 参数的变化; $H = 10 \text{ nm}$

图3为 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMTs 表面电场分布. 表面电场是指AlGaIn/GaN异质结界面的位置, 从图3(a)可以明显看出, 靠近器件漏电极的栅边缘存在高峰电场, 这是AlGaIn/GaN HEMTs 器件发生击穿的位置. 由于均匀分布的高浓度2DEG, 所以传统结构的高阻 GaN 缓冲层, 即从栅边缘到漏电极边缘部分没有完全耗尽, 表面电场为三角形结构. 新型阶梯 AlGaIn 外延层结构降低了栅边缘的2DEG浓度, 使均匀分布的浓度成为从栅边缘到漏电极阶梯分布. 低浓度的2DEG使高阻

GaN 缓冲层耗尽区扩展并完全耗尽, 而且在阶梯分布的AlGaIn交界处出现新的电场峰, 这个电场峰是由于阶梯分布的2DEG所致, 出现电场峰的原因与硅基功率器件阶梯场板或漂移区分区LDMOS类似. 新电场峰的出现, 有效降低了栅边缘的高峰电场, 高峰电场的降低使器件击穿电压从传统结构的466 V提高到640 V. 而且由于高阻 GaN 缓冲层的完全耗尽, 在器件漏电极边缘出现了新的电场峰, 这个电场峰在文献[10]中已经作过解释.

图3(b)为新型阶梯 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMTs 器件表面电场随阶梯AlGaIn外延层长度的变化. 可以看出, 随着阶梯AlGaIn外延层长度的增加, 栅边缘高峰电场逐渐降低, 阶梯AlGaIn交界处的新电场峰逐渐升高. 当阶梯AlGaIn外延层的长度为 $2 \mu\text{m}$ 时, 高阻 GaN 缓冲层已完全耗尽, 器件击穿电压达到590 V; 当阶梯AlGaIn外延层的长度为 $3 \mu\text{m}$ 时, 完全耗尽后的 GaN 缓冲层使漏电极边缘出现电场峰, 此时由于栅边缘高电场峰进一步降低, 所以击穿电压进一步提高到640 V.

外延在蓝宝石或碳化硅衬底上的 GaN 缓冲层, 即使未掺杂, 由于外延工艺中氧的掺杂或氮的空位, 导电特性均显示为n型, 并且浓度不小于 $1.0 \times 10^{15} / \text{cm}^3$. 这导致 GaN 缓冲层表现出低阻n型导电特性, 形成的电子器件表现为欧姆特性. 当 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMTs 器件反向偏置时, 输出的 $I_{\text{DS}}-V_{\text{DS}}$ 由于源极和漏极欧姆接触而表现出电阻特性, 从图4(a)可以看出, 即使 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMTs 的2DEG耗尽, 曲线的斜率随 GaN 缓冲层浓度增加而增加. 图4(a)显示了不同n型浓度 GaN 缓冲层的 $I_{\text{DS}}-V_{\text{DS}}$. 可以看出, I_{DS} 随 V_{DS} 线性增加, 这是典型的电阻特性. 为了减少 GaN 缓冲区的泄漏电流以提高击穿电压, 国际上已经在 GaN 外延工艺中引入了深能级缺陷. 这些深能级缺陷起陷阱作用, 可以有效捕获从源极发射的电子[28-32], 这些电子是引起 GaN 缓冲层泄漏电流的主要原因. 为了减小 GaN 缓冲层的泄漏电流, 获得与实际测试的击穿特性相同的曲线, 本文利用 ISE 仿真软件, 在 GaN 缓冲层中引入了受主型缺陷, 受主型缺陷的浓度为 $1.0 \times 10^{16} / \text{cm}^3$, 能级为距离导带 1.8 eV. 当 GaN 层n型浓度一定时获得一定的击穿电压. 当器件反向偏置时, 从源极释放的电子经过 GaN 缓冲层被受主型陷阱俘获, 大大减小了 GaN 缓冲层泄漏电流, 使得 $I_{\text{DS}}-V_{\text{DS}}$ 曲线与测试结果符合(如

图4(b)所示). 所以, 为了获得一定的击穿电压, $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMTs的GaN缓冲层中必须引入受主型陷阱, 本文通过模拟仿真解释了这个原因. 对于新型阶梯 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMTs, 由于新电场峰有效降低了栅边缘的高电场, 高浓度2DEG被耗尽的同时GaN缓冲层耗尽区扩展, 耗尽后的沟道和GaN缓冲层扩展后形成的高阻区承担了器件的反向电压, 从图4(b)可以看出, 随着阶梯AlGaN层长度的增加, 栅边缘高峰电场高度越来越低(如图3(b)所示), 器件达到GaN材料临界击穿电场所承担的漏极电压越来越高, 即器件的击穿电压越来越大. 当AlGaN层长度增加到3 μm 时, 击穿电压增加到640 V. 而没有受主型缺陷的 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMTs, 器件表现出电阻特性.

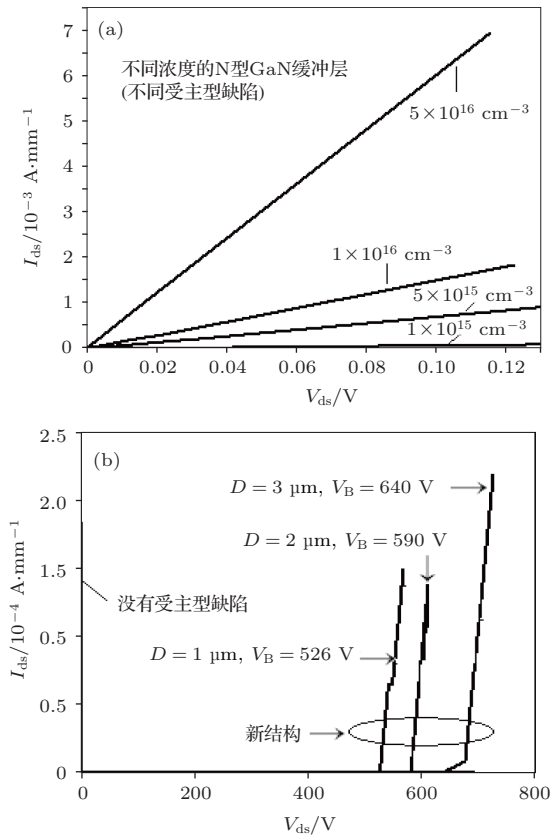


图4 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMTs的 $I_{\text{DS}}-V_{\text{DS}}$ 特性 (a) GaN缓冲层中没有受主型缺陷; (b) 具有受主型缺陷时新结构($H = 10 \text{ nm}$)的击穿曲线比较

对于新型阶梯 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMTs, 影响击穿电压的主要参数为阶梯AlGaN层的阶梯厚度和长度, 这与功率器件传统终端技术中的场板影响规律类似. 阶梯AlGaN层不同阶梯厚度和长度使栅边缘高峰电场的降低程度不同. 如

图5(a)所示, 随着阶梯AlGaN层厚度的减小, AlGaN/GaN异质结极化形成的2DEG浓度降低, 器件反向工作时, 在较低漏极电压下就可以将沟道栅边缘(即阶梯AlGaN区)的2DEG完全耗尽, 使器件可以在更高反向电压下扩展耗尽高阻GaN缓冲区而提高击穿电压, 这也是薄阶梯AlGaN层有效降低栅边缘高峰电场的结果. 随着阶梯AlGaN厚度的增加, 击穿电压减小并趋于传统结构.

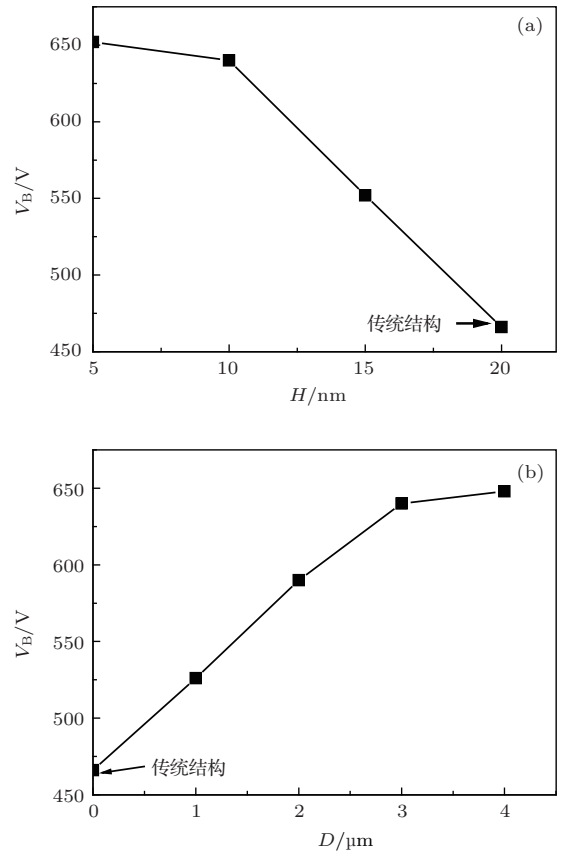


图5 新型 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMTs击穿电压与结构参数的比较 (a) 击穿电压随阶梯AlGaN外延层厚度的变化($D = 3 \mu\text{m}$); (b) 击穿电压随AlGaN外延层阶梯长度的变化($H = 10 \text{ nm}$)

当阶梯AlGaN厚度一定时, 随着其长度的增加, 栅边缘沟道中低浓度的2DEG区域增加, 形成的新电场峰使栅边缘高电场峰更低(如图3(b)所示), 器件的击穿电压增大(如图5(b)所示). 当阶梯AlGaN的长度超过栅漏之间外延AlGaN的总长度一半, 对于本文讨论的新型阶梯 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMTs结构, 栅漏之间外延的AlGaN总长度为5 μm , 即当 $D > 3 \mu\text{m}$ 时, 器件的表面电场在漏电极出现新的电场峰, 如图5(b)所示, 击穿电压趋于饱和.

图6所示为新型阶梯 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$

HEMTs与传统结构的输出电压-电流关系比较,可以看出器件为耗尽型,并且阈值电压为 -2 V 左右.对于本文提出的新型阶梯 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMTs结构,由于阶梯 AlGaIn 外延层使得靠近漏电极的栅边缘2DEG浓度减小,所以器件的沟道电阻有所增加,通过图6可以计算获得新结构的比导通电阻为 $1.56\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$,而传统结构的比导通电阻为 $1.25\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$.导通电阻的增加使得输出的最大电流较传统结构的降低,这是为了提高器件击穿电压的折中结果.

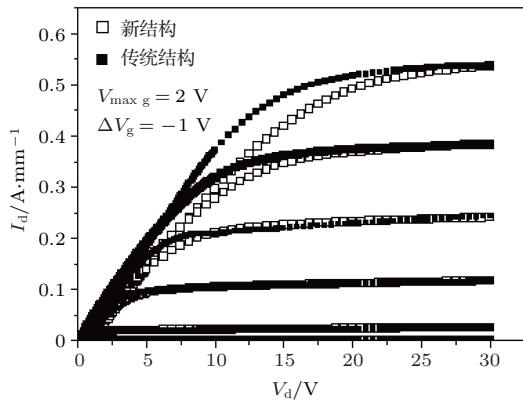


图6 (网刊彩图) 具有阶梯 AlGaIn 外延层新型 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$ HEMTs和传统结构 I_d - V_d 曲线比较

4 结 论

本文为了优化 AlGaIn/GaN HEMTs器件的表面电场分布,利用沟道2DEG浓度随 AlGaIn 异质外延层厚度的变化规律,首次设计了一种具有阶梯 AlGaIn 外延层的新型 AlGaIn/GaN HEMTs结构.新结构通过刻蚀栅边缘的 AlGaIn 厚度调节栅边缘的2DEG分布,使沟道2DEG浓度分区,形成栅边缘低浓度2DEG区,栅边缘低的2DEG使 AlGaIn 阶梯交界处产生新的电场峰,新电场峰有效降低了栅边缘的高峰电场,可以使 AlGaIn/GaN HEMTs器件高阻区扩展并完全耗尽,通过优化 AlGaIn/GaN HEMTs器件的表面电场分布,使器件击穿电压从传统结构的 446 V ,提高到新结构的 640 V .

参考文献

[1] Kamath A, Patil T, Adari R, Bhattacharya I, Ganguly S, Aldhaheri R W, Hussain M A, Dipankar Saha 2012 *IEEE Electron Device Lett.* **33** 1690

[2] Hidetoshi Ishida, Daisuke Shibata, Manabu Yanagihara, Yasuhiro Uemoto, Hisayoshi Matsuo, Tetsuzo Ueda, Tsuyaoshi Tanaka, Daisuke Ueda 2008 *IEEE Transactions on Electron Devices* **29** 1087

[3] Tongde Huang, Xueliang Zhu, Ka Ming Wong, Kei May Lau 2012 *IEEE Electron Device Lett.* **33** 212

[4] Corrian A L, Poblencz C, Wu F, Speck J S 2008 *Journal Appl. Phys.* **130** 093529

[5] Hidetoshi I, Daisuke S, Manabu Y, Yasuhiro U, Hisayoshi M, Tetsuzo U, Tsuyoshi T, Daisuke U 2008 *IEEE Electron Device Lett.* **29** 1087

[6] Chunhua Zhou, Qimeng Jiang, Sen Huang, Chen K J 2012 *IEEE Electron Device Lett.* **33** 1132

[7] Corrian A L, Poblencz C, Wu F, Speck J S 2008 *Journal of Appl. Phys.* **130** 093529

[8] Lee J H, Yoo J K, Kang H S, Lee J H 2012 *IEEE Electron Device Lett.* **33** 1171

[9] Lee H S, Daniel Piedra, Min Sun, Xiang Gao, Shiping Guo, Tomas Palacios 2012 *IEEE Electron Device Lett.* **33** 982

[10] Duan B X, Yang Y T 2012 *Sci. China Inf. Sci.* **55** 473

[11] Duan B X, Yang Y T 2012 *Micro & Nano Letter* **7** 9

[12] Subramaniam Arulkumar, Takashi Egawa, Lawrence Selvaraj, Hiroyasu Ishikawa 2006 *Japanese Journal of Applied Physics* **45** L220

[13] Benbakhti B, Rousseau M, De Jaeger J C 2007 *Microelectronics Journal* **38** 7

[14] Jha S, Jelenkovic E V, Pejovic M M, Ristic G S, Pejovic M, Tong K Y, Surya C, Bello I, Zhang W J 2009 *Microelectronic Engineering* **86** 37

[15] Arulkumar 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

[16] Chen X B, Johnny K O S 2001 *IEEE Transactions on Electron Devices* **48** 344

[17] Duan B X, Zhang B, Li Z J 2006 *IEEE Electron Device Lett.* **27** 377

[18] Duan B X, Yang Y T, Zhang B, Hong X F 2009 *IEEE Electron Device Lett.* **30** 1329

[19] Duan B X, Yang Y T, Zhang B 2009 *IEEE Electron Device Lett.* **30** 305

[20] Duan B X, Yang Y T 2011 *IEEE TRANSACTIONS ON Electron Devices* **58** 2057

[21] Duan B X, Yang Y T, Zhang B 2010 *Solid-State Electronics* **54** 685

[22] Duan B X, Yang Y T, Chen K J 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 247302

[23] Duan B X, Yang Y T, Kevin J. Chen 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 227302

[24] Udrea F, Popescu A, Milne W I 1998 *Electronics Letters* **34** 808

[25] Smorchkova I P, Elsass C R, Ibbetson J P, Heying B, Fini P, DenBaars S P, Speck J S, Mishra U K 1999 *Journal of Applied Physics* **86** 4520

[26] Yifei Zhang, Smorchkova I P, Elsass C R, Stacia Keller, Ibbetson J P, Jasprit Singh 2000 *Appl. Phys. Lett.* **87** 7981

- [27] Ibbetson J P, Fini P T, Ness K D, DenBaars S P, Speck J S, Mishra U K 2000 *Appl. Phys. Lett.* **77** 250
- [28] Heikman S, Keller S, DenBaars S P, Mishra U K 2002 *Appl. Phys. Lett.* **81** 439
- [29] Tang H, Webb J B, Bardwell J A, Raymond S, Salzman J, Uzan-Saguy C 2001 *Appl. Phys. Lett.* **78** 757
- [30] Webb J B, Tang H, Rolfe S, Bardwell J A 1999 *Appl. Phys. Lett.* **75** 953
- [31] Katzer D S, Storm D F, Binari S C, Roussos J A, Shanabrook B V, Glaser E R 2003 *J. Cryst. Growth.* **251** 481
- [32] Poblenz C, Waltereit P, Rajan S, Heikman S, Mishra U K, Speck J S 2004 *J. Vac. Sci. Technol. B* **22** 114

Breakdown voltage analysis for the new Al_{0.25}Ga_{0.75}N/GaN HEMTs with the step AlGa_N layers*

Duan Bao-Xing[†] 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 3 November 2013; revised manuscript received 28 November 2013)

Abstract

In order to optimize the surface electric field of AlGa_N/Ga_N high electron mobility transistors (HEMTs), a novel AlGa_N/Ga_N HEMT has been grown with a step AlGa_N layer, made for the first time as far as we know, to improve the breakdown voltage. The discipline of the 2DEG concentration varying with the thickness of the AlGa_N epitaxy layer has been applied to the new AlGa_N/Ga_N HEMTs with AlGa_N/Ga_N heterostructure. By thinning the AlGa_N layer near the gate edge, the 2DEG concentration in the channel is made to form the low concentration region near the gate edge. New electric field peak has appeared at the corner of the step AlGa_N layer. The high electric field has been decreased effectively due to the emergence of new electric field peak; this optimizes the surface electric field of the new AlGa_N/Ga_N HEMTs. Then the breakdown voltage is improved to 640 V in the new AlGa_N/Ga_N HEMTs with the step AlGa_N layer as compared with 446 V for the conventional structure. In order to let the breakdown curve consistent with the test results, a certain concentration of the acceptor-like traps is added to the Ga_N buffer to capture the leaking current coming from the source electrode. Simulation results verify the causes for doping acceptor type ions to the Ga_N buffer, given by foreign researchers. The breakdown curves have been obtained which are consistent with the test results in this paper.

Keywords: AlGa_N/Ga_N, surface electric field, breakdown voltage, heterojunction

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

DOI: 10.7498/aps.63.057302

* Project supported by the State Key Development Program for Basic Research of China (Grant No. 2014CB339900), the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 61234006), and the Young Scientists Fund of the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 61106076).

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