

基于凹槽结构抑制AlGaIn/GaN高电子 迁移率晶体管电流崩塌效应

刘静 王琳倩 黄忠孝

Current collapse suppression in AlGaIn/GaN high electron mobility transistor with groove structure

Liu Jing Wang Lin-Qian Huang Zhong-Xiao

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 68, 248501 (2019) DOI: 10.7498/aps.68.20191311

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7498/aps.68.20191311>

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

---

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

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

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

物理学报. 2017, 66(24): 247302 <https://doi.org/10.7498/aps.66.247302>

具有部分本征GaN帽层新型AlGaIn/GaN高电子迁移率晶体管特性分析

Characteristic analysis of new AlGaIn/GaN high electron mobility transistor with a partial GaN cap layer

物理学报. 2017, 66(16): 167301 <https://doi.org/10.7498/aps.66.167301>

基于脉冲方法的超短栅长GaN基高电子迁移率晶体管陷阱效应机理

Mechanisms of trapping effects in short-gate GaN-based high electron mobility transistors with pulsed I-V measurement

物理学报. 2018, 67(17): 178501 <https://doi.org/10.7498/aps.67.20180474>

结构参数对N极性面GaN/InAlN高电子迁移率晶体管性能的影响

Effect of structure parameters on performance of N-polar GaN/InAlN high electron mobility transistor

物理学报. 2019, 68(24): 247203 <https://doi.org/10.7498/aps.68.20191153>

氮化镓基感光栅极高电子迁移率晶体管器件设计与制备

Design and fabrication of high electron mobility transistor devices with gallium nitride-based

物理学报. 2017, 66(24): 247203 <https://doi.org/10.7498/aps.66.247203>

# 基于凹槽结构抑制 AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 高电子迁移率晶体管电流崩塌效应\*

刘静 王琳倩<sup>†</sup> 黄忠孝

(西安理工大学电子工程系, 西安 710048)

(2019年8月30日收到; 2019年10月14日收到修改稿)

基于双脉冲技术, 研究了 Ga<sub>N</sub> 缓冲层陷阱对 AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 高电子迁移率晶体管电流崩塌效应的影响. 结果表明, 栅边缘漏侧的电场峰值使得沟道电子跃迁至缓冲层, 并被缓冲层中的陷阱俘获是造成电流崩塌的主要原因之一. 提出了势垒层局部凹槽结构, 降低了栅边缘漏侧的电场峰值, 使电场分布更加均匀, 改善了器件的电流崩塌效应. 与传统 AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 高电子迁移率晶体管结构相比, 新器件结构对电流崩塌效应的抑制作用至少提升了 22.30%.

**关键词:** AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>, 高电子迁移率晶体管, 电流崩塌效应, 缓冲层陷阱**PACS:** 85.30.Tv, 73.61.Ey, 73.20.-r, 85.30.De**DOI:** 10.7498/aps.68.20191311

## 1 引言

GaN 材料具有宽禁带、高电子迁移率、高饱和速度和高击穿电场等优异的材料特性, 因此 Ga<sub>N</sub> 基器件不仅在光电领域得到广泛关注<sup>[1-3]</sup>, 还显示出大电流、高击穿电压和大功率等特性, 具有很好的微波性能. 虽然 Ga<sub>N</sub> 高电子迁移率晶体管 (high electron mobility transistors, HEMT) 在高频、高压、高温领域取得了重大进展<sup>[4-6]</sup>, 但在稳定性和可靠性等方面的问题仍限制着 Ga<sub>N</sub> 基器件的广泛应用<sup>[7-11]</sup>, 其中由陷阱效应导致的电流崩塌对器件性能影响较为严重<sup>[12-14]</sup>. 电流崩塌效应产生的原因一般认为有两个因素: 其一是表面陷阱在器件工作过程中俘获电子, 在表面形成一定的电势, 影响沟道中的耗尽层, 从而导致漏极电流的减小, 即所谓的“虚栅”效应; 另一个因素是由于缓冲层陷阱俘获沟道热电子导致的<sup>[15,16]</sup>.

对于表面陷阱的影响, 采用钝化技术<sup>[17,18]</sup>或场板结构<sup>[19-21]</sup>可以使其有效降低, 而对于缓冲层陷阱, 尤其是缓冲层深能级陷阱对电流崩塌的影响仍得不到很好的解决, 因为这些陷阱可以抑制缓冲层泄漏电流以及短沟道效应, 它是器件正常工作所必需的<sup>[22]</sup>. 因此, 进一步研究缓冲层陷阱对电流崩塌的影响机理, 提出改善电流崩塌效应的方法是一个亟待解决的问题.

本文对传统 AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT 器件在缓冲层陷阱影响下的电流崩塌机理进行了研究, 结果表明栅边缘漏侧的电场峰值是导致电流崩塌效应的关键因素. 为进一步抑制电流崩塌效应, 提出了势垒层局部凹槽的 AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT 器件结构, 对新结构器件电流输运机理进行了研究. 计算机辅助设计 (technology computer aided design, TCAD) 仿真结果表明了新结构抑制电流崩塌效应的可行性和有效性<sup>[23]</sup>.

\* 陕西省重点研发计划 (批准号: 2019GY-060) 资助的课题.

<sup>†</sup> 通信作者. E-mail: 13720761561@163.com

## 2 器件结构

传统 AlGaIn/GaN HEMT 器件结构如图 1(a) 所示, 从下到上依次为 SiC 衬底, 厚度为 2.0  $\mu\text{m}$  的 GaN 缓冲层和厚度为 20 nm 的  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  势垒层. 栅长为 0.5  $\mu\text{m}$ , 栅源和栅漏距离分别为 1.0  $\mu\text{m}$  和 2.0  $\mu\text{m}$ . 此外还采用了厚度为 50 nm 的  $\text{Si}_3\text{N}_4$  钝化层. 高漏压下, 栅边缘漏侧形成较高的电场峰

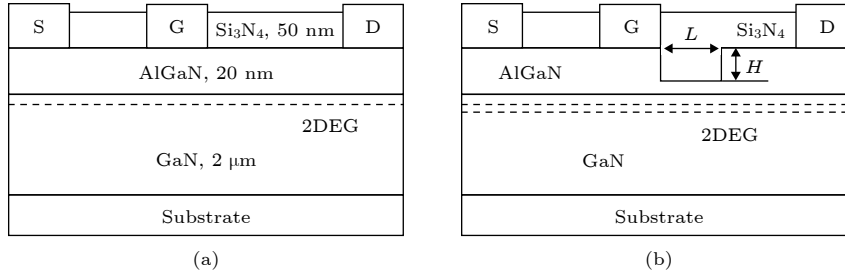


图 1 AlGaIn/GaN HEMT 结构示意图 (a) 传统 AlGaIn/GaN HEMT; (b) 势垒层局部凹槽结构 AlGaIn/GaN HEMT

Fig. 1. Schematic cross-section of AlGaIn/GaN HEMT: (a) Conventional AlGaIn/GaN HEMT; (b) AlGaIn/GaN HEMT with barrier layer local groove structure.

## 3 结果与分析

### 3.1 电流崩塌效应机理

采用双脉冲技术对器件的电流崩塌效应进行研究, 脉冲波形及相关参数设置如图 2 所示, 静态偏置 ( $V_{gQ}$ ,  $V_{dQ}$ ) 为 (-5 V, 20 V), 测试偏置 ( $V_g$ ,  $V_d$ ) 为 (0 V, 5 V). 静态偏置时间持续到  $t = 10^{-7}$  s, 静态偏置到测试偏置的上升时间为  $t = 10^{-8}$  s, 测试偏置阶段从  $t = 1.1 \times 10^{-7}$  s 开始持续到  $t = 10$  s 结束.

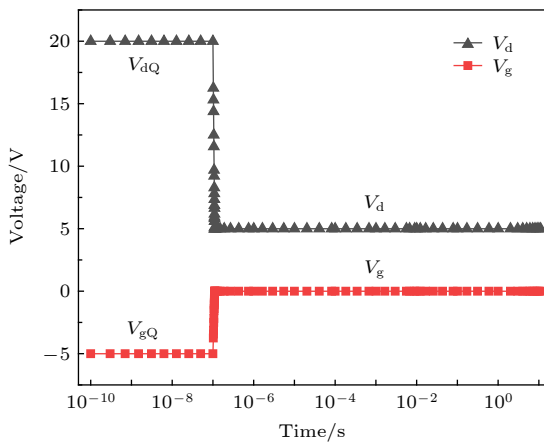


图 2 脉冲仿真电压偏置条件

Fig. 2. Pulse simulation voltage bias conditions.

值, 沟道二维电子气 (2-dimensional electron gas, 2DEG) 获得能量, 跃迁至缓冲层并被缓冲层陷阱俘获, 使得 2DEG 浓度降低, 导致电流崩塌效应. 本文提出势垒层局部凹槽结构 AlGaIn/GaN HEMT 器件结构如图 1(b) 所示. 与传统结构不同的是, 在 AlGaIn 势垒层中靠近漏极的栅边缘引入了长为  $L$ , 高为  $H$  的凹槽结构, 其中凹槽部分由  $\text{Si}_3\text{N}_4$  填充. 凹槽结构通过降低栅边缘的电场峰值, 使电场分布更加均匀, 改善了器件的电流崩塌效应.

图 3 显示了传统 AlGaIn/GaN HEMT 器件的电流崩塌变化曲线, 可以看出, 在  $t = 1.1 \times 10^{-7}$  s 时, 器件进入测试偏置阶段, 但输出电流未能直接达到稳定值, 而是保持在一个初始值持续一段时间 (从  $t = 1.1 \times 10^{-7}$  s 至  $t = 10^{-4}$  s) 后才逐渐增大到稳定值, 图 3 所示结果表明 AlGaIn/GaN HEMT 器件具有显著的电流崩塌效应. 为深入分析电流崩塌产生机理, 将测试偏置阶段分为三个部分,  $t = 1.1 \times 10^{-7}$  s 至  $10^{-4}$  s 输出电流基本保持不变, 称为电流保持阶段;  $t = 10^{-4}$  s 至  $2 \times 10^{-2}$  s 电流随时间增大, 称为电流上升阶段;  $t = 2 \times 10^{-2}$  s 之后, 输出电流几乎保持不变, 称为电流稳定阶段. 在  $t = 10^{-7}$  s 之前器件处于静态偏置阶段, 栅压小于阈值电压, 栅下沟道耗尽, 器件工作在关断状态. 栅漏之间电势差较大 (25 V), 2DEG 获得能量跃迁至缓冲层, 被缓冲层陷阱俘获, 沟道 2DEG 浓度很小.  $t = 1.1 \times 10^{-7}$  s 栅压跃变为 0 V, 器件处于测试偏置阶段, 栅下沟道可以很快响应, 但缓冲层陷阱的响应比较慢, 此时沟道中 2DEG 浓度较小, 电流未能达到稳定值而是保持在一个较小值的状态. 在  $t = 10^{-4}$  s 时, 随着缓冲层深能级陷阱缓慢释放电子, 电流逐渐增大, 在  $t = 2 \times 10^{-2}$  s 时达到稳定状态.

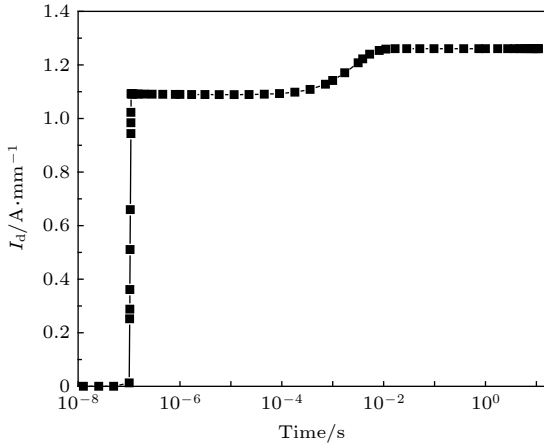


图 3 双脉冲下的电流崩塌效应

Fig. 3. Current collapse effect under double pulse.

在电流保持、上升和稳定这三个阶段中分别取  $t = 1 \times 10^{-6}$  s,  $t = 1 \times 10^{-3}$  s 和  $t = 0.1$  s 三个时间点, 图 4 为这三个时间点 2DEG 浓度的变化情况. 在  $X = 2.0 \mu\text{m}$ , 即栅边缘漏侧, 2DEG 浓度随时间的推移逐渐增大, 由于缓冲层陷阱的响应较慢, 沟道不能在栅压跃变后马上导通而是随着缓冲层陷阱缓慢释放电子逐渐导通, 这也是导致器件输出电流缓慢增加的原因.

图 5(a)—(c) 分别为  $t = 1 \times 10^{-6}$  s,  $t = 1 \times 10^{-3}$  s 和  $t = 0.1$  s 三个时间点上陷阱被电子占据情况, 可以看出随时间的增加缓冲层陷阱被电子占据的概率逐渐降低, 表现为陷阱释放电子的过程. 结合图 4 和图 5 可知, 电流逐渐趋于稳定状态是由于缓冲层陷阱释放电子导致的, 对比图 5(c) 与

图 5(d)(直流情况) 可以看出两种情况的电子占据陷阱的情况几乎相同, 可知, 图 5(c) 处, 即  $t = 0.1$  s 时, 陷阱中已无净电荷释放, 输出电流  $I_d$  趋于稳定.

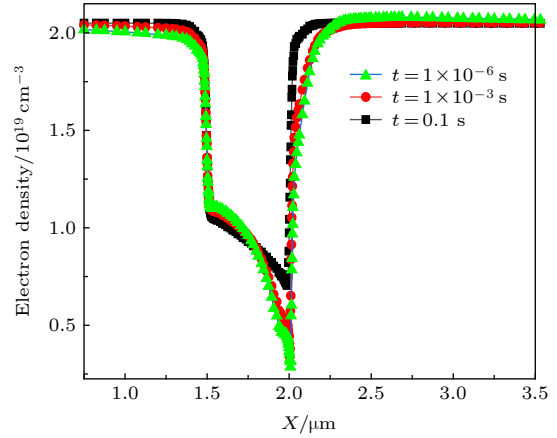


图 4 沟道电子浓度曲线

Fig. 4. channel electron concentration curves.

图 6 中 (a)—(d) 分别为  $t = 0.5 \times 10^{-7}$  s,  $t = 1.05 \times 10^{-7}$  s,  $t = 1.1 \times 10^{-7}$  s 和  $t = 1 \times 10^{-6}$  s 四个时间点对应的器件在栅边缘漏侧附近缓冲层陷阱被电子占据的概率分布情况. 可以看出, 测试偏置阶段之前, 器件处于缓冲层陷阱俘获电子的过程. 在刚进入测试偏置阶段时, 陷阱俘获电子的浓度达到最大. 由测试偏置阶段中陷阱释放电子的过程可知, 在栅边缘漏侧附近, 缓冲层陷阱释放的电子来自于静态偏置阶段及静态偏置阶段向测试偏置阶段的过渡状态中陷阱俘获的电子.

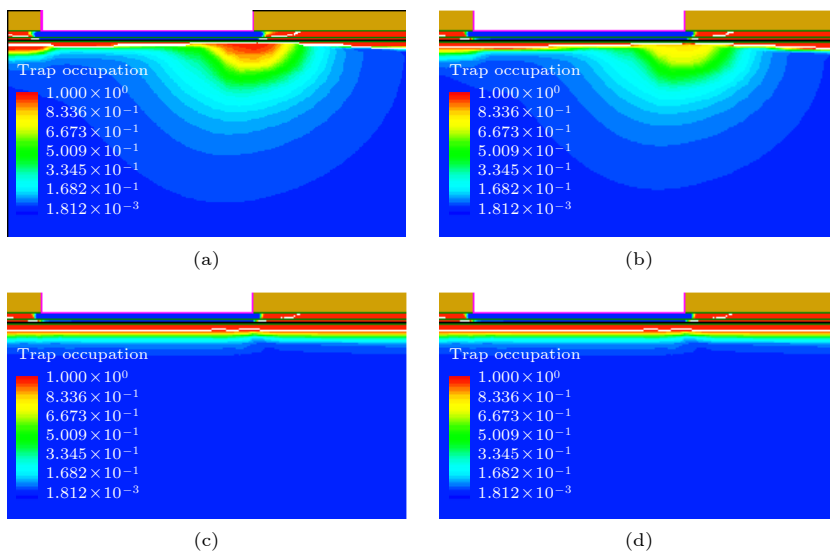


图 5 不同时刻电子占据陷阱的概率分布情况 (a)  $t = 1 \times 10^{-6}$  s; (b)  $t = 1 \times 10^{-3}$  s; (c)  $t = 0.1$  s; (d) 直流情况

Fig. 5. Probability distribution of electron occupying trap at different times: (a)  $t = 1 \times 10^{-6}$  s; (b)  $t = 1 \times 10^{-3}$  s; (c)  $t = 0.1$  s; (d) direct current.

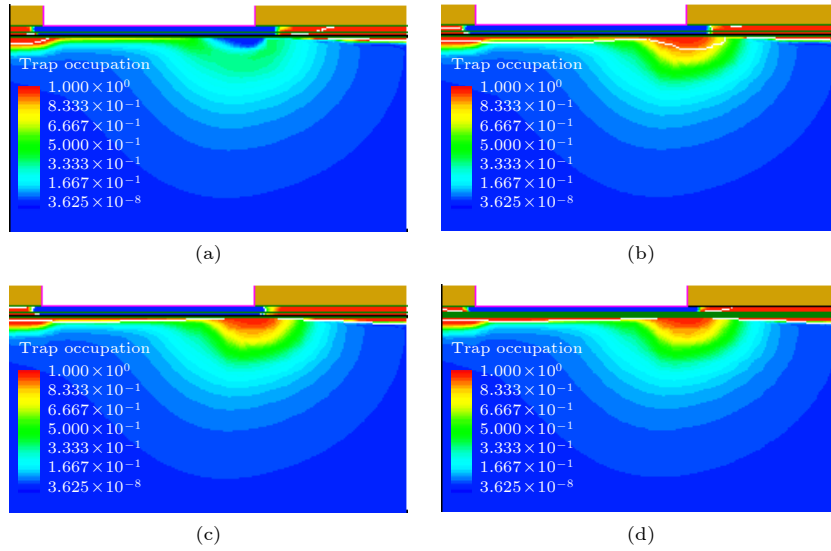


图 6 电子占据陷阱的浓度分布情况 (a)  $t = 0.5 \times 10^{-7}$  s; (b)  $t = 1.05 \times 10^{-7}$  s; (c)  $t = 1.1 \times 10^{-7}$  s; (d)  $t = 1 \times 10^{-6}$  s

Fig. 6. Concentration distribution of electron occupying trap: (a)  $t = 0.5 \times 10^{-7}$  s; (b)  $t = 1.05 \times 10^{-7}$  s; (c)  $t = 1.1 \times 10^{-7}$  s; (d)  $t = 1 \times 10^{-6}$  s.

图 7 和图 8 分别取  $t = 0.5 \times 10^{-7}$  s,  $t = 1.05 \times 10^{-7}$  s,  $t = 1.1 \times 10^{-7}$  s,  $t = 1 \times 10^{-6}$  s,  $t = 1 \times 10^{-3}$  s 及  $t = 0.1$  s 六个时刻, 栅边缘漏侧电场峰值及沟道电子浓度的变化情况. 可以看出, 电场峰值随时间推移逐渐减小, 在  $t = 1.0 \times 10^{-7}$  s 之前, 器件处于静态偏置阶段, 电场峰值最大, 栅边缘漏侧的沟道电子在这一高电场作用下发生跃迁进入缓冲层, 并被缓冲层中的受主陷阱俘获. 由于栅极下方的沟道耗尽, 栅边缘漏侧的沟道电子在被陷阱俘获后无法获得补偿, 导致该处沟道电子耗尽. 随着时间的推移, 器件进入静态偏置与测试偏置之间的过渡状态, 此时器件处于半导通状态, 栅极下方的沟道中已经开始产生电子, 并向栅边缘漏侧的沟道

中进行电子补偿, 但由于栅漏间电势差仍较大, 在电场峰值作用下该处的电子会继续跃迁并被缓冲层中的陷阱俘获. 在测试偏置阶段, 栅下沟道已完全打开, 栅漏间电势差较小, 电场峰值也小到不足以使沟道电子发生跃迁, 为了维持平衡, 缓冲层陷阱开始释放电子, 导致栅边缘漏侧的沟道电子浓度逐渐增加, 沟道电子浓度分布趋于均匀, 沟道电场分布也随之趋于均匀, 最终电子浓度达到稳定状态. 由于输出电流的大小和沟道中 2DEG 密度有关, 所以输出电流也随着时间的变化发生变化, 形成了瞬态条件下的电流崩塌效应.

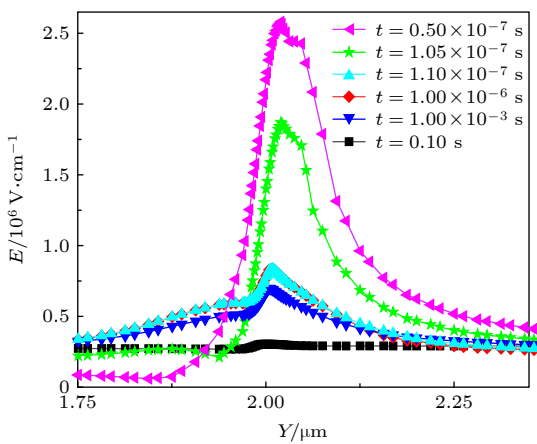


图 7 栅极边缘处沟道电场

Fig. 7. Channel electric field at the edge of the gate.

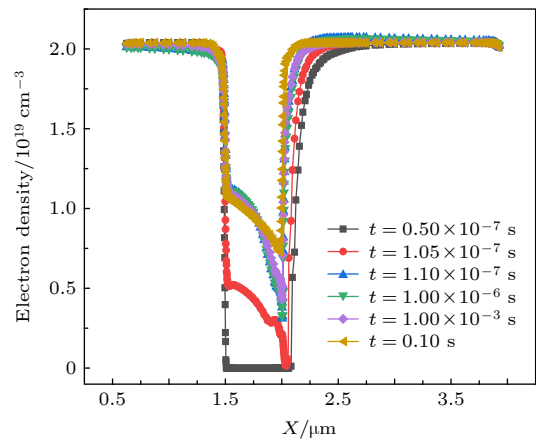


图 8 栅极边缘电子浓度随时间的变化

Fig. 8. Electron concentration at the edge of the gate as a function of time.



### 3.2 电流崩塌效应抑制

栅边缘漏侧的电场峰值是导致电流崩塌效应的关键因素, 本文提出的 AlGaIn/GaN HEMT 新结构 (如图 1(b) 所示), 基于势垒层局部凹槽结构可以显著降低栅边缘漏侧的电场峰值, 改善器件工作过程中的电流崩塌效应.

图 9 为势垒层局部凹槽结构与传统结构在刚进入测试偏置阶段  $t = 1 \times 10^{-6}$  s 的横向沟道电场强度的分布. 可以看出, 相比传统结构, 凹槽结构在栅边缘漏侧处的电场峰值低, 同时电场分布向漏极方向扩展, 电场分布更加均匀. 这是由于沟道中的 2DEG 主要来自势垒层, 当其厚度低于能够产生二维电子气的临界厚度时, 费米能级在施主表面态能级之上, 几乎没有电离施主态电离, 无法形成 2DEG. 随着厚度的增加, 在极化电场的作用下, AlGaIn 层的表面势逐渐升高, 表面导带下方的类施主陷阱能级相应升高. 当表面态能级到达费米能级后, 施主表面态发生电离, 释放电子, 2DEG 浓度开始逐渐增加. 当势垒层厚度进一步增加, 表面态完全电离, 2DEG 的浓度接近饱和时, 即使其厚度继续增大, 2DEG 的浓度也不会出现明显的增加. 由 2DEG 的产生机理可知, 在一定范围内 2DEG 的浓度会随着势垒层厚度的增大而增大, 凹槽的引入, 减小了凹槽下方势垒层厚度, 该部分沟道的 2DEG 浓度有所降低, 使得凹槽结构栅边缘漏侧处的电场分布向漏极方向扩展, 分布更加均匀, 峰值电场小于传统结构.

图 10 为凹槽的长  $L$  为  $1.0 \mu\text{m}$ , 高  $H$  为  $0.010 \mu\text{m}$

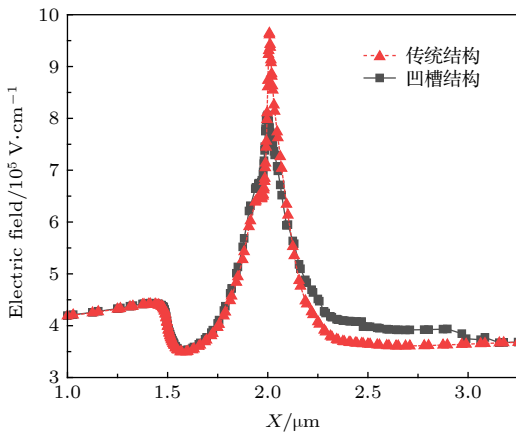


图 9 凹槽结构与传统结构器件的沟道电场分布

Fig. 9. Channel electric field distribution of groove structure and conventional structure device.

时, AlGaIn/GaN HEMT 势垒层局部凹槽结构与传统结构的电流崩塌曲线. 可以看出, 采用了凹槽结构的器件的电流崩塌量从 13.59% 降低到了 10.56%, 性能提升了 22.30%.

为进一步分析凹槽结构改善电流崩塌效应的有效性, 图 11 给出了在  $t = 1 \times 10^{-6}$  s,  $t = 1 \times 10^{-3}$  s 及  $t = 0.1$  s 三个典型时间两种器件结构沟道电场分布情况. 可以看出,  $t = 1 \times 10^{-6}$  s 到  $t = 0.1$  s 之间, 势垒层局部凹槽结构的电场峰值变化量要远小于传统 AlGaIn/GaN HEMT 器件.

图 12 给出了  $t = 1 \times 10^{-6}$  s,  $t = 1 \times 10^{-3}$  s 及  $t = 0.1$  s 三个时间点下凹槽结构与传统结构沟道电子浓度分布,  $t = 1 \times 10^{-6}$  s 到  $t = 0.1$  s 时间范围, 凹槽结构沟道电子浓度的变化量小于传统结

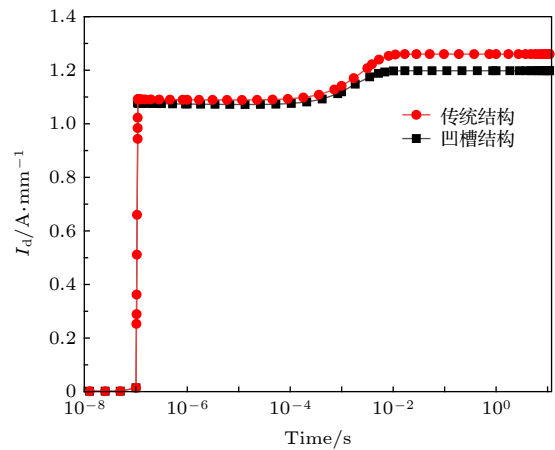


图 10 凹槽结构与传统结构器件的电流崩塌对比

Fig. 10. Comparison of current collapse between groove structure and conventional structural devices.

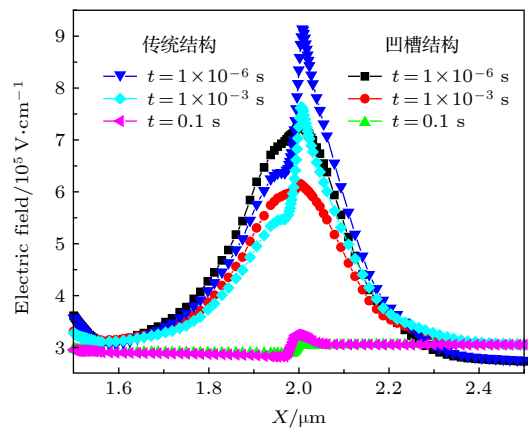


图 11 凹槽结构与传统结构器件在不同时刻的沟道电场分布

Fig. 11. Channel electric field distribution at different times for the groove structure and the conventional structure device.

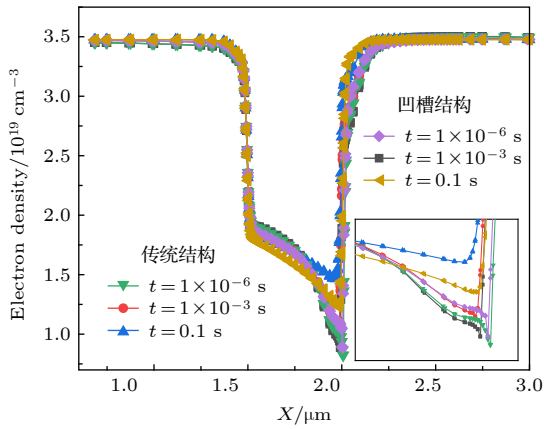


图 12 凹槽结构与传统结构器件在不同时刻沟道电子浓度分布

Fig. 12. Channel electron concentration distribution at different times for the groove structure and the conventional structure device.

构, 导致凹槽结构电场的变化量小于传统结构, 从而导致图 10 中势垒层局部凹槽结构的电流变化量减小, 电流崩塌得以改善.

沟道电子浓度的变化是由缓冲层陷阱俘获及释放电子造成的, 图 13 为在测试偏置阶段  $t = 1 \times 10^{-6}$  s,  $t = 1 \times 10^{-3}$  s 及  $t = 0.1$  s 三个时间点下陷阱俘获电子浓度的变化情况, 表明凹槽结构和传统结构随时间的增加, 电子占据缓冲层陷阱浓度逐渐减小, 表现为释放电子的过程, 从而导致沟道电子浓度的增加. 器件进入测试偏置阶段时, 栅下沟道完全打开, 栅漏间电势差较小, 电场峰值小到不足以使沟道电子发生跃迁, 为了维持平衡, 俘获了电子的陷阱开始释放电子, 导致栅边缘漏侧的沟道电子浓度逐渐增加.

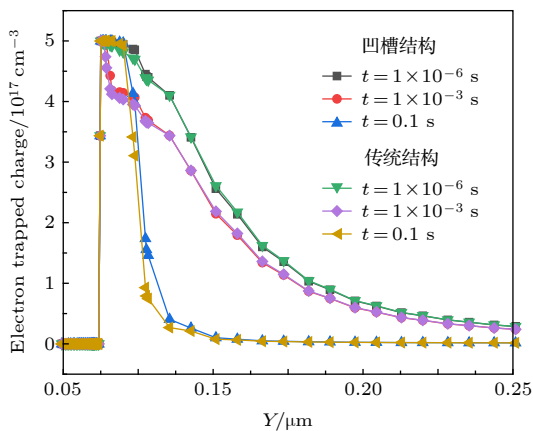


图 13 电子占据缓冲层陷阱浓度随时间的变化

Fig. 13. Electron occupying buffer layer trap concentration as a function of time.

综上可知, 栅边缘漏侧的电场峰值是导致传统 AlGaIn/GaN HEMT 器件电流崩塌效应的一个重要因素, 新结构中通过引入凹槽结构降低了该处的电场峰值, 器件的电流崩塌效应得到了改善.

## 4 结 论

基于 AlGaIn/GaN HEMT 器件, 分析了 GaN 缓冲层陷阱对传统 AlGaIn/GaN HEMT 电流崩塌效应的影响, 表明栅边缘漏侧的电场峰值是产生电流崩塌效应的重要因素之一, 沟道电子在峰值电场作用下, 发生跃迁进入缓冲层, 被缓冲层陷阱俘获, 由于陷阱释放电子速度跟不上栅极下方沟道打开的速度, 导致电流崩塌效应的产生. 相比传统结构, 新结构通过在栅极边缘引入凹槽结构降低栅边缘漏侧的电场峰值, 使得电场分布向漏极方向扩展, 分布更加均匀, 从而导致势垒层局部凹槽结构的电流变化量减小, 电流崩塌得以改善.

## 参考文献

- [1] Lin Z T, Chen X F, Zhu Y H, Chen X W, Huang L G, Li G Q 2018 *IEEE Trans. Electron Dev.* **65** 5373
- [2] Zhao L X, Zhu S C, Wu C H, Yang C, Yu Z G, Yang H, Liu L 2016 *Sci. China: Phys. Mech. Astron.* **59** 107301
- [3] Zhao L X, Yu Z G, Sun B, Zhu S C, An P B, Yang C, Liu W, Wang J X, Li J M 2015 *Chin. Phys. B* **24** 068506
- [4] Chen K J, Häberlen O, Lidow A, Tsai C L, Ueda T, Uemoto Y, Wu Y F 2017 *IEEE Trans. Electron Dev.* **64** 779
- [5] Yu C H, Luo X D, Zhou W Z, Luo Q Z, Liu P S 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 207301 (in Chinese) [余晨辉, 罗向东, 周文政, 罗庆洲, 刘培生 2012 物理学报 **61** 207301]
- [6] Radhakrishna U, Choi P, Antoniadis D A 2019 *IEEE Trans. Electron Dev.* **66** 95
- [7] Zhang C, Wang M, Xie B, Wen C P, Wang J Y, Hao Y L, Wu W G, Chen K J, Shen B 2015 *IEEE Trans. Electron Dev.* **62** 2475
- [8] Meneghini M, Rossetto I, Bisi D, Stocco A, Pantellini A, Meneghesso G, Zanoni E 2014 *IEEE Trans. Electron Dev.* **61** 4070
- [9] Miccoli C, Martino V C, Reina S, Rinaudo S 2013 *IEEE Electron Dev. Lett.* **34** 1121
- [10] del Alamo J A, Lee E S 2019 *IEEE Trans. Electron Dev.* **66** 4578
- [11] Gan C L, Sasangka W A, Thompson C V 2019 *Electron Devices Technology and Manufacturing Conference Singapore, March 12–15, 2019* p71
- [12] Zhou X Y, Lv Y J, Tan X, Wang Y G, Song X B, He Z Z, Zhang Z R, Liu Q B, Han T T, Fang Y L, Feng Z H 2018 *Acta Phys. Sin.* **67** 178501 (in Chinese) [周幸叶, 吕元杰, 谭鑫, 王元刚, 宋旭波, 何泽召, 张志荣, 刘庆彬, 韩婷婷, 房玉龙, 冯志红 2018 物理学报 **67** 178501]
- [13] Ghosh S, Das S, Dinara S M, Bag A, Chakraborty A, Mukhopadhyay P, Jana S K, Biswas D 2018 *IEEE Trans.*

- Electron Dev.* **65** 1333
- [14] Subramani N K, Couvidat J, Hajjar A A, Nallatamby J C, Quéré R 2017 *J. Electron Dev. Soc.* **5** 175
- [15] Vetry R, Zhang N Q, Keller S, Mishra U K 2001 *IEEE Trans. Electron Dev.* **48** 560
- [16] Hwang I, Kim J, Chong S, Choi H S, Hwang S K, Oh J, Shin J K, Chung U I 2013 *IEEE Electron Dev. Lett.* **34** 1494
- [17] Nakano K, Hanawa H, Horio K 2018 *Workshop on Wide Bandgap Power Devices and Applications in Asia* Xi'an, May 16–18, 2018 p131
- [18] Kabemura T, Ueda S, Kawada Y, Horio K 2018 *IEEE Trans. Electron Dev.* **65** 3848
- [19] Wang C H, Ho S Y, Huang J J 2016 *IEEE Electron Dev. Lett.* **37** 74
- [20] Nishitani T, Yamaguchi R, Yamazaki T, Asubar J T, Tokuda H, Kuzuhara M 2018 *IEEE International Meeting for Future of Electron Devices Kansai Kyoto, June 21–22, 2018* p1
- [21] Koehler A D, Anderson T J, Tadjer M J, Weaver B D, Greenlee J D, Shahin D I, Hobart K D, Kub F J 2016 *IEEE Electron Dev. Lett.* **37** 545
- [22] Arakawa Y, Ueno K, Imabeppu H, Kobayashi A, Ohta J, Fujioka H 2017 *Appl. Phys. Lett.* **110** 042103
- [23] Mukherjee K, Darracq F, Curutchet A, Malbert N, Labat N 2017 *Microelectron. Reliab.* **76** 350

## Current collapse suppression in AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> high electron mobility transistor with groove structure\*

Liu Jing    Wang Lin-Qian<sup>†</sup>    Huang Zhong-Xiao

(Department of Electronic Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

( Received 30 August 2019; revised manuscript received 14 October 2019 )

### Abstract

Due to the excellent properties of GaN, such as wide band gap, high electron mobility, high saturation speed, and high breakdown electric field, AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> high electron mobility transistor (HEMT) possesses highly promising applications in the fields of high power, radio frequency, and high temperature applications. However, they are still subjected to the influence of current collapse which strangles its development. Based on the double-pulse technique, the effect of GaN buffer layer trap on the current collapse of AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT is studied. The results show that the electric field peak at the gate edge is one of the main causes of current collapse. The channel electrons are trapped by the buffer trap under the peak electric field. Because the response speed of the trap in the buffer layer is slow, the channel can not be turned on immediately after the gate voltage has jumped to 0 V, which leads the current to collapse. In this paper, the new structure is proposed by introducing a groove structure in the barrier layer. The channel two-dimensional electron gas is modulated by the groove structure, which influences the channel electric field of AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT device, reduces the electric field peak at the gate edge, and improves the current collapse effect of the device. Comparing with the traditional AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT, the inhibition effect of the new device structure on current collapse is increased by 22.30%. The length and height of the groove structure are the critical parameters to affect the new HEMT performance. The optimal parameters of length and height show that when the length of the groove is 1 μm and the height is 0.01 μm, the current collapse of HEMT and its performance are significantly improved.

**Keywords:** AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>, high electron mobility transistor, current collapse, buffer layer trap

**PACS:** 85.30.Tv, 73.61.Ey, 73.20.-r, 85.30.De

**DOI:** 10.7498/aps.68.20191311

\* Project supported by the Key Research and Development of Shaanxi Province, China (Grant No. 2019GY-060).

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail: 13720761561@163.com