

## 基于 GaN 的高耐压增强型 HEMT 功率器件

司张旭 (Si Zhangxu)

华南理工大学 (South China University of Technology)

e-mail: 664085741@qq.com

**Summary.** With the development of power electronics industry, silicon-based devices have gradually approached their physical limits. In order to meet the increasingly strict requirements of the working environment, the third generation of semiconductor GaN materials stand out, which has the excellent characteristics of large band gap width and high breakdown field strength. It is expected to be applied in high frequency and high voltage power electronic devices.

随着电力电子行业的不断发展, 硅基器件已经逐渐逼近其物理极限, 为了满足工作环境愈加严格的要求, 第三代半导体 GaN 材料脱颖而出, 它具有大禁带宽度、高击穿场强的优良特性。有望应用于高频高压电力电子器件中, 极大地提高能源转换的效率。

当今世界最重要的社会挑战之一就是能源消费的稳步增长。事实上, 未来 20 年, 全球能源消耗预计将增加约 40%, 届时电力将占所用能源的最大部分(高达 60%)。五十多年来, 硅一直是电力电子器件的主导半导体<sup>[1]</sup>。然而, 随着设备使用条件逐渐极端, 硅基材料已经不能满足需要, 具有高击穿场强、高电子迁移率等优点的氮化镓材料吸引了研究人员的注意, 氮化镓电子器件成为了第三代半导体器件的研究热点之一, GaN HEMT 凭借其高电子迁移率、高二维电子气浓度和高击穿电压等特性, 在高频、高温和高功率密度领域有着广泛的应用, 是目前功率器件的研究热点。

在产业化应用中, GaN 异质结 HEMT 器件的可靠性尤为关键。由于极化效应能够形成高密度 2DEG, 即使在器件未添加任何电压时, 器件也仍处于导通状态, 这样一来, 器件的可靠性受到影响, 并且也会造成额外的电能消耗。因此, 制备出常闭型(增强型) HEMT 器件是必要的。

同时为了解决栅漏电流增加以及阈值电压负漂等问题, 需要采用介电常数较高的高 k 介质替代传统的介质层。它能够在保持栅电容不变的同时, 增加栅介质的物理厚度, 从而达到降低栅漏电流和提高器件可靠性的双重目的。

本次实验采用凹槽栅技术, 该技术是利用刻蚀来减薄栅极下方的 AlGaIn 势垒层的厚度来控制栅极下方沟道中 2DEG 的浓度, 随着刻蚀深度的增加, 2DEG 逐渐被耗尽, 器件阈值电压随之正向偏移, 实现增强型。器件结构如图 2。

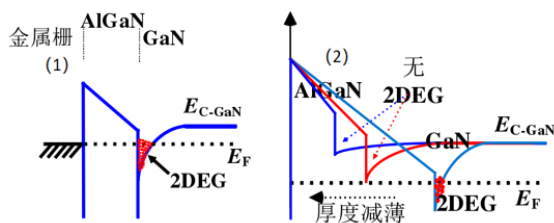


图 1 凹槽栅能带图

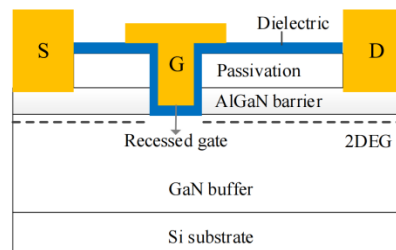


图 2 器件结构示意图

凹槽的刻蚀采用了 ICP 干法刻蚀, 设备参数为 RF-65W; ICP-220W; Cl<sub>2</sub>-60 sccm; BCl<sub>3</sub>-10 sccm, 经过多次重复试验计算可得 AlGaIn 刻蚀速率约 9nm/min。AFM 电镜测试

结果如图 3。工艺步骤主要包括：台面刻蚀、蒸镀源漏电极、凹槽栅刻蚀、磁控溅射沉积高 k 栅介质层  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、蒸镀栅电极等。

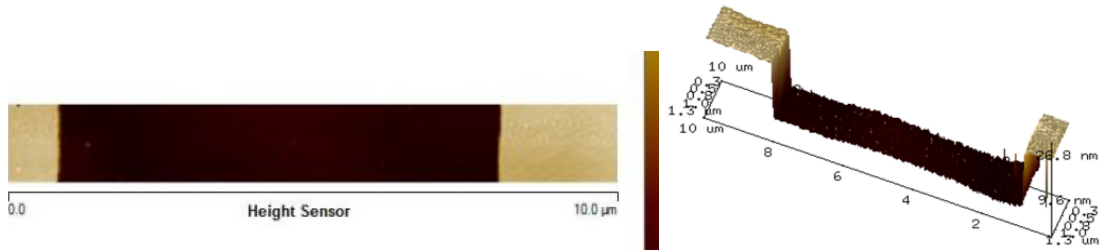


图 3 AFM 电镜图像

实验所用 GaN 外延层中 AlGaN 势垒层大约 22 nm，本次做了 4 组不同刻蚀时间、器件结构的对比实验，都成功实现增强型器件，其中刻蚀 2 min 45 s 的器件阈值电压达到了 2V，导通电流密度也高达 350 mA/mm，比导通电阻低至  $16.1\Omega\cdot\text{mm}$ 。测试结果如下图 4。

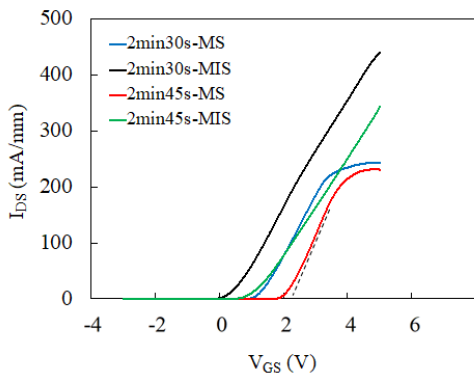


图 4 转移特性曲线

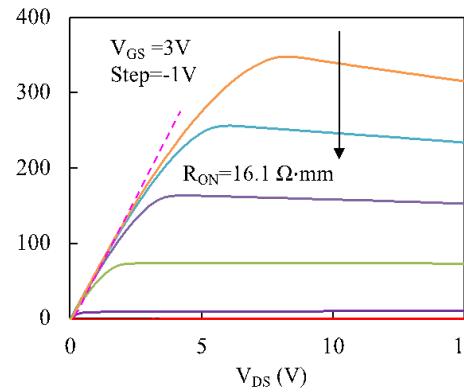


图 5 刻蚀 2min45s 器件输出特性曲线

自全球掀起第三代半导体浪潮，GaN 基 HEMT 功率器件在国际的发展非常迅速，应用的前景也越来越广阔，尤其是 5G 时代的到来。这必将推动电力电子行业的迅速发展。

#### 参考文献

1. 张金凤, 郝跃. GaN 高电子迁移率晶体管的研究进展[J]. 电力电子技术, 2008(12):66-69.
2. He Y, He Q, Mi M, et al. High breakdown electric field MIS free fully recessed-gate normally-off AlGaN/GaN HEMT with N<sub>2</sub>O plasma treatment[J]. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 2019, PP(99):1-1.