

AlGaIn/GaN 肖特基二极管阳极后退火 界面态修复技术*

武鹏¹⁾ 李若晗²⁾ 张涛^{1)†} 张进成^{1)‡} 郝跃¹⁾

1) (西安电子科技大学, 宽禁带半导体器件与集成技术全国重点实验室, 西安 710071)

2) (西安微电子技术研究所, 西安 710054)

(2023 年 4 月 7 日收到; 2023 年 8 月 7 日收到修改稿)

AlGaIn/GaN 异质结构材料在较强自发极化和压电极化的作用下, 会产生高面密度和高迁移率的二维电子气, 保障了基于该异质结构的 GaN 肖特基二极管器件具有高输出电流密度和低导通电阻特性. 阳极作为 GaN 肖特基二极管的核心结构, 对器件的开启电压、反向漏电、导通电阻、击穿电压等核心参数具有重要影响. 因此, 制备低界面态密度肖特基结是实现高性能 GaN 肖特基二极管的前提. 本文基于低功函数金属钨阳极 AlGaIn/GaN 肖特基二极管结构, 通过采用阳极后退火技术促进阳极金属与下方 GaN 材料反应成键, 有效抑制了阳极金-半界面的界面态密度, 经阳极后退火处理后, 器件阳极界面态密度由 $9.48 \times 10^{15} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ 降低至 $1.77 \times 10^{13} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$. 得益于良好的阳极低界面态特性, 反向偏置下, 阳极隧穿路径被大幅度抑制, 器件反向漏电降低了 2 个数量级. 另外, 器件正向导通过程中, 载流子受界面陷阱态影响的输运机制也被抑制, 器件微分导通电阻从 $17.05 \Omega \cdot \text{mm}$ 降低至 $12.57 \Omega \cdot \text{mm}$. 实验结果表明, 阳极后退火技术可以有效抑制阳极金-半界面态密度, 大幅度提高 GaN 肖特基二极管的器件特性, 是制备高性能 GaN 肖特基二极管器件的核心关键技术.

关键词: AlGaIn/GaN, 肖特基二极管, 低反向漏电, 低界面态密度

PACS: 85.30.De, 85.30.Kk, 73.40.Kp

DOI: 10.7498/aps.72.20230553

1 引言

第三代半导体 GaN 材料具有高击穿场强、高电子迁移率以及高电子饱和速度等优势, 在无线传能、卫星通讯、5G 基站等高频大功率领域展现出了极大的应用潜力^[1-5]. 在 AlGaIn/GaN 异质结构界面较强自发极化和压电极化的作用下, 界面处产生高浓度 (约 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$) 和高迁移率 (约 $2000 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$) 的二维电子气 (2DEG), 进一步促进了 GaN 基材料体系在小尺寸、高集成度的单片

集成电路方面的发展^[6-8]. 与 PN 结二极管的工作机制不同, 单极性 GaN 肖特基二极管通过阳极金属与 GaN 材料接触所形成的肖特基势垒对载流子的输运机制进行调控, 具有更小的反向恢复时间和更低的开启电压, 保障了电路较高的工作频率和效率^[9-11]. 目前, AlGaIn/GaN 肖特基势垒二极管 (SBD) 的功率品质因数已经超过 $3 \text{ GW}/\text{cm}^2$, 器件反向耐压超过 3 kV , 展现出极为出色的特性^[12,13].

对于高性能 AlGaIn/GaN SBD 而言, 阳极电场分布及界面特性直接决定了器件的最终性能, 各国专家及学者基于 AlGaIn/GaN SBD 的阳极特性

* 国家自然科学基金 (批准号: 62104185)、国家杰出青年科学基金 (批准号: 61925404)、中央高校基本科研业务费 (批准号: QJZX23076) 和青年人才托举工程 (批准号: 2022QNRC001) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: zhangtao@xidian.edu.cn

‡ 通信作者. E-mail: jchzhang@xidian.edu.cn

开展了大量的研究工作. 2015 年, Zhu 等^[14]采用双层场板结构对 AlGaIn/GaN SBD 的阳极边缘电场进行调制, 实现了超过 1.9 kV 的高击穿电压, 器件功率品质因数 (PFOM) 高达 727 MW/cm². 2016 年, Tsou 等^[15]通过优化阳极凹槽刻蚀条件, 基于原子级平整度的凹槽刻蚀表面, 实现了高达 2.07 kV 的器件耐压. 2018 年, Gao 等^[16]采用 AlGaIn 势垒层湿法腐蚀技术替代常规等离子体干法刻蚀技术, 抑制了阳极凹槽界面的刻蚀损伤, 器件在 -1200 V 偏压下的反向漏电仅为 1 μ A/mm. 同年, Zhang 等^[17,18]通过采用低功函数金属钨 (W) 阳极结构结合阳极后退火界面态修复技术, 实现了较低的器件开启电压及较小的反向泄漏电流, 器件的输出特性得到了明显提升. 与常规高功函数金属镍 (Ni) 阳极相比, 低功函数金属 W 阳极有助于使 AlGaIn/GaN SBD 实现更低的器件开启电压, 但较低的阳极势垒高度导致器件更易受到界面陷阱的影响, 因此, 系统研究退火前后低功函数金属 W 与 GaN 界面特性的变化, 对实现同时具备低开启电压、低导通电阻及低反向漏电的高性能 AlGaIn/GaN SBD 具有较大的指导意义.

GaN SBD 器件极易受到阳极界面陷阱态的影响, 导致反向漏电增大、导通电阻退化等问题. 本文采用的平面阳极 AlGaIn/GaN SBD 结构有效避免了凹槽阳极结构制备中由等离子体刻蚀所引入的刻蚀损伤, 能够更精准地对后退火前后低功函数金属 W 阳极界面特性的变化进行系统表征. 在 450 $^{\circ}$ C 退火环境中, 阳极金属原子与界面处的 GaN 原子结合成键, 有效降低了界面处 GaN 悬挂键的影响, 器件阳极界面态密度由 $9.48 \times 10^{15} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ 降低至 $1.77 \times 10^{13} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$, 反向漏电由 $4.55 \times 10^{-4} \text{ A/mm}$ 降低至 $5.10 \times 10^{-6} \text{ A/mm}$, 微分导通电阻由 $17.05 \Omega \cdot \text{mm}$ 降低至 $12.57 \Omega \cdot \text{mm}$, 器件性能得到大幅度提升.

2 器件结构与制备

图 1 为本文制备的基于低功函数金属 W 阳极的平面结构 AlGaIn/GaN SBD 器件截面图. 各层材料结构从上至下依次为 2 nm GaN 帽层, 25 nm 铝组分为 25% 的 AlGaIn 势垒层, 1 nm AlN 插入层, 200 nm 非故意掺杂 GaN 沟道层, 6 μ m 高阻缓冲层和 1 mm p 型导电 Si 衬底. 其中, GaN 帽层的主要作用为保护 AlGaIn 势垒层免受空气中氧气的

氧化, AlN 插入层的作用为减少沟道载流子的散射, 提升载流子迁移率, 较厚的缓冲层有助于提高器件的纵向耐压, 除衬底以外各层均采用金属-有机物化学气相沉积设备 (MOCVD) 沉积而成. 室温下, 接触式霍尔设备测得材料方阻为 320 Ω/square , 原子力显微镜测得样品表面粗糙度为 0.37 nm, 良好的材料特性是实现高性能 AlGaIn/GaN SBD 器件的基础.

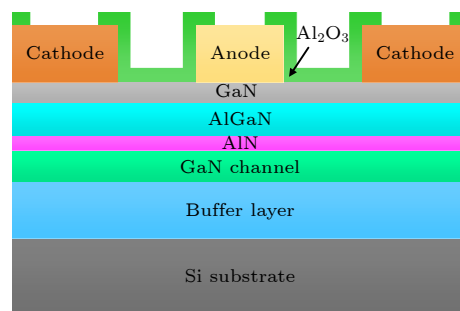


图 1 平面阳极结构 AlGaIn/GaN SBD 器件截面图
Fig. 1. Schematic cross-sectional of AlGaIn/GaN SBD with planar anode.

在器件制备之前, 先采用丙酮和异丙醇溶液对样品表面进行有机清洗, 再把样品放置于浓硫酸与双氧水的混合溶液中, 进一步去除样品表面的有机污染, 洁净的样品表面是实现低阻欧姆接触的前提. 为减小后续工艺对器件阴极欧姆接触的影响, 首先, 基于双层胶剥离工艺在电子束蒸发设备中依次沉积多层 Ti/Al/Ni/Au (22 nm/140 nm/55 nm/45 nm) 金属结构, 完成样品金属剥离及底层胶清洗后, 将样品放置于快速退火炉中, 在 N_2 氛围下以 860 $^{\circ}$ C 高温退火 35 s 形成合金化的欧姆接触. 其次, 采用氯气与氯化硼的混合气体在感应耦合等离子体刻蚀设备中制备器件的台面隔离, 用于抑制器件之间的相互串扰, 经台阶仪测试, 器件总刻蚀深度约为 140 nm. 然后, 采用磁控溅射设备沉积双层 W/Au (30 nm/100 nm) 金属结构作为器件阳极, 金属剥离之后再次将样品置于快速退火炉中, 在 450 $^{\circ}$ C 腔体温度下进行 300 s 时长的阳极后退火 (post-anode-annealing, PAA) 处理, 促进阳极金属 W 与 GaN 表面的悬挂键成键, 从而降低肖特基界面态密度, 改善 GaN SBD 阳极界面特性. 低功函数金属 W 阳极有助于器件实现较低的开启电压, 提高器件整流效率, 为了更好地对比阳极后退火前后器件特性的变化, 选取未进行阳极后退火的

器件 (Ref SBD) 作为对照实验. 最后, 采用等离子体增强原子层沉积设备生长 20 nm Al_2O_3 作为器件表面钝化层. 由于本文重点研究阳极后退火处理对低功函数金属 W 肖特基界面态密度的影响, 所以采用平面阳极结构, 避免了凹槽阳极结构中等离子体刻蚀引入的损伤等问题. 本文制备的圆型 $\text{AlGaIn}/\text{GaIn}$ SBD 器件阳极半径为 100 μm , 阴阳极间距为 15 μm , 器件电流-电压 (I - V) 及电容-电压 (C - V) 特性的测试均采用安捷伦 B1505 A 高压半导体参数分析仪进行.

3 结果与讨论

图 2(a) 和图 2(b) 分别为器件的正向导通特性和反向漏电特性. 对于正向测试而言, 器件阳极偏置电压从 0 V 逐渐增至 5 V; 对于反向测试而言, 器件

阳极偏置电压从 0 V 逐渐增至 -40 V. 本文定义器件的开启电压为阳极正向电流密度达到 1 mA/mm 时所对应的阳极偏置电压, 则本文所制备的 Ref SBD 的器件开启电压为 1.46 V, 而经过阳极后退火处理的 PAA SBD 的器件开启电压为 2.02 V; 器件正向电流密度为 100 mA/mm 时所对应的微分导通电阻分别为 17.05 $\Omega\cdot\text{mm}$ 和 12.57 $\Omega\cdot\text{mm}$; 器件反向漏电流分别为 4.55×10^{-4} 和 5.10×10^{-6} A/mm. 在阳极后退火处理的过程中, 肖特基界面的 GaIn 材料与阳极金属 W 互溶扩散, 有可能生成类似 WN_x 和 GaW_xN_y 等复杂化合物 [18,19], 抑制了 GaIn 表面处的悬挂键数量, 大幅度降低了阳极界面态密度. 因此, 与 Ref SBD 相比, PAA SBD 的器件开启电压增大, 微分导通电阻降低, 且器件反向漏电大幅度降低.

图 3(a) 和图 3(b) 分别给出了 PAA SBD 和 Ref SBD 的正向变温特性, 器件阳极偏置电压从

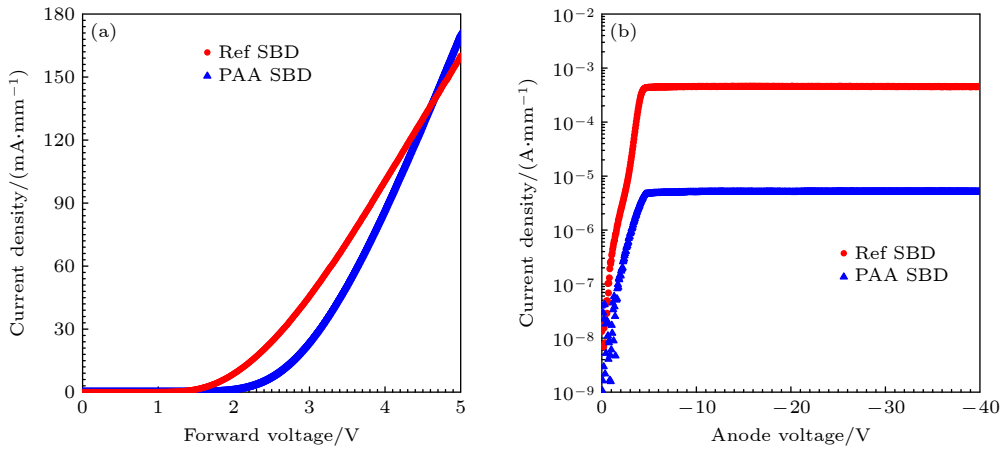


图 2 PAA SBD 与 Ref SBD 器件的正向导通特性 (a) 和反向漏电特性 (b)

Fig. 2. Forward I - V characteristics (a) and reverse I - V characteristics (b) of the fabricated PAA SBD and Ref SBD.

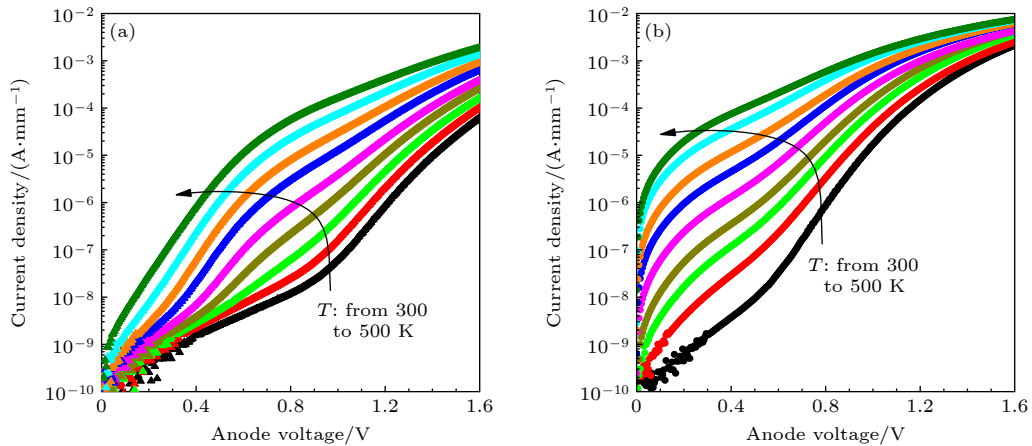


图 3 对数坐标下, 器件正向特性随温度的变化 (a) PAA SBD; (b) Ref SBD

Fig. 3. Temperature-dependent forward I - V characteristics of devices in semi-log scale: (a) PAA SBD; (b) Ref SBD.

0 V 逐渐增加到 1.6 V, 步长为 0.005 V, 热台温度从 300 K 逐渐升高到 500 K, 步长为 25 K, 当热台显示温度到达设定温度时, 需额外等待 5 min 再进行测试, 保证热台与器件温度的一致性. 从图 3 可知, 随着样品温度的升高, 器件开启电压逐渐降低, 对于 PAA SBD 而言, 器件开启电压随温度的变化率为 -3.03 mV/K, 而 Ref SBD 器件开启电压随温度的变化率为 -2.75 mV/K. 当温度升高后, 沟道中的载流子获得更大的能量, 因此更容易越过肖特基界面势垒, 导致开启电压降低. 图 4 为基于热电子发射模型提取的 PAA SBD 和 Ref SBD 器件势垒高度随温度的变化关系, 由于 GaN SBD 阳极界面存在势垒不均匀性, PAA SBD 的器件势垒高度从 300 K 环境温度下的 0.77 eV 提高至 500 K 环境温度下的 1.26 eV, 对应的 Ref SBD 器件的势垒高度从 0.65 eV 提升至 0.88 eV. 器件经过后退火处理之后, 阳极界面处的 W 金属原子与 GaN 相互反应成键, 形成较为复杂的金属间化合物^[18], 降低了阳极 W 金属下方 GaN 表面悬挂键及 W 金属溅射过程中导致的损伤, 器件势垒高度明显提升.

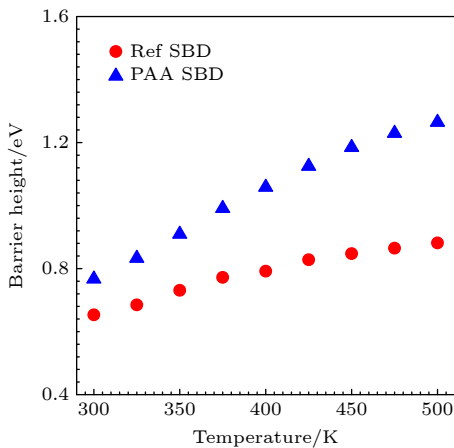


图 4 PAA SBD 和 Ref SBD 器件势垒高度随温度的变化
Fig. 4. Extracted Schottky barrier height of the fabricated PAA SBD and Ref SBD as a function of the measured temperature.

图 5 给出了不同频率下 PAA SBD 和 Ref SBD 的电容-电压 (C - V) 特性关系, 可知器件峰值电容所对应的阳极偏置电压分别为 2.3 V 和 1.8 V, 由于阳极 M/S 界面处的界面态陷阱存在不同的寿命, 导致高频条件下部分界面态陷阱难以跟随测试频率的变化, 因此展现出峰值电容随测试频率增大而降低的现象. 由于后退火处理有效促进了阳极金

属 W 与 GaN 材料相互扩散结合成键, 大幅度消除了界面陷阱态密度, 因此相同测试频率下 PAA SBD 器件的峰值电容远小于 Ref SBD 器件的峰值电容.

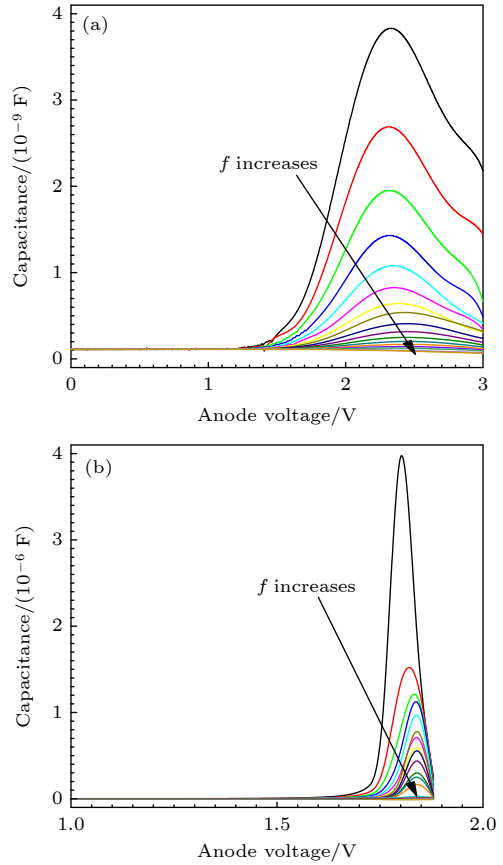


图 5 不同频率下器件的电容随阳极偏压的变化 (a) PAA SBD; (b) Ref SBD
Fig. 5. Frequency-dependent C - V curves of device: (a) PAA SBD; (b) Ref SBD.

电极到沟道处的等效电路图如图 6(a) 所示, 其中, C_i 和 C_s 分别为界面势垒电容和 GaN 沟道层电容, R_T 和 C_T 分别是由陷阱态引起的电容和电阻. 在低频测试条件下, 界面处的陷阱有足够的时间俘获载流子, 填充了的陷阱态造成测试电容值上升. 当测试频率逐渐增大时, 寿命高的陷阱态无法及时俘获载流子, 从而不再对电容有贡献, 导致测试频率在高频时出现频散现象. 图 6(b) 为器件电导-角频率 (G/ω - ω) 的特性曲线, 曲线峰值处的角频率 ω_{\max} 满足:

$$\omega_{\max} \approx \frac{2}{\tau_T} \quad (1)$$

式中, τ_T 是陷阱态对应的寿命. 陷阱态对应的陷阱能级 $E_c - E_T$ 可根据 Shockley-Read-Hall (SRH)

复合模型计算得出, 其表达式满足:

$$E_c - E_T = kT \ln(\tau_T N_c \sigma_t v_T), \quad (2)$$

式中, k 是玻尔兹曼常数, N_c 是 GaN 导带中的有效态密度, T 是温度, σ_t 是界面态的捕获截面, v_T 是平均热速度, 则未经后退火处理的器件阳极界面陷阱能级为 0.23 eV, 而经过后退火处理的器件阳极界面陷阱能级为 0.26 eV. 图 7 为器件电导-电压 (G/ω - V) 的特性曲线, 由于阳极界面陷阱态的响应时间不同, 随着测试频率的增加, 部分界面态陷阱难以跟随测试频率的变化, 导致电导增大的速率逐渐降低.

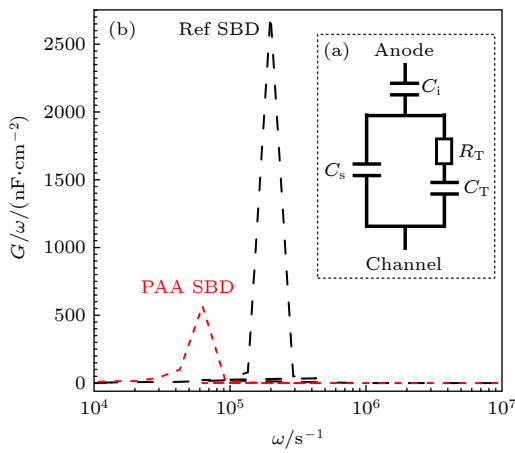


图 6 (a) 陷阱态评估等效电路图; (b) PAA SBD 和 Ref SBD 电导随角频率的变化

Fig. 6. (a) Equivalent circuit for the trap state evaluation; (b) frequency-dependent G/ω - ω curves of the fabricated PAA SBD and Ref SBD.

对于 GaN SBD 而言, 器件阳极界面态密度 (N_{SS}) 随测试频率的变化关系满足 Hill-Coleman

方法^[20,21], 其表达式为

$$N_{SS} = \frac{2}{qA} \frac{(G/\omega)_m}{[(G/\omega)_m/C_i]^2 + (1 - C_m/C_i)^2}, \quad (3)$$

式中, 角频率 $\omega = 2\pi f$, C_m 为峰值电容, $(G/\omega)_m$ 为峰值电容所对应的峰值电导, C_i 为界面层电容, 是阳极下方 GaN 层在高频下的强集聚电容, 其表达式为

$$C_i = C_m \left[1 + \left(\frac{G_m}{\omega C_m} \right)^2 \right]. \quad (4)$$

通过计算可得, 1 MHz 下 PAA SBD 的 C_i 值为 1.31×10^{-10} F, Ref SBD 的 C_i 值为 7.9×10^{-8} F. 图 8 展示了 PAA SBD 和 Ref SBD 的阳极界面态密度随频率的变化关系, 器件经过阳极后退火处理后, 最高界面态密度由 $9.48 \times 10^{15} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ 降低到 $1.77 \times 10^{13} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$. 因此, 阳极后退火处理可以有效促进阳极金属与界面处 GaN 材料相互融合反应成键, 消除阳极下方 GaN 表面悬挂键对器件载流子运输机制的影响, 抑制器件反向隧穿漏电机理, 降低器件导通电阻.

图 9(a) 给出了 PAA SBD 和 Ref SBD 器件的击穿特性, 从测试结果可知, 器件经过阳极后退火处理后击穿电压有明显提升. 图 9(b) 为阳极界面陷阱漏电的能带结构示意图, 当反向电压增大时, 载流子获得足够的能量跃迁到陷阱能级, 再经由陷阱能级跃迁到导带, 造成漏电. 由于陷阱能级的存在, 载流子在较小电场下也能够获得足够的能量隧穿到导带, 这直接导致了器件反向漏电的显著增大.

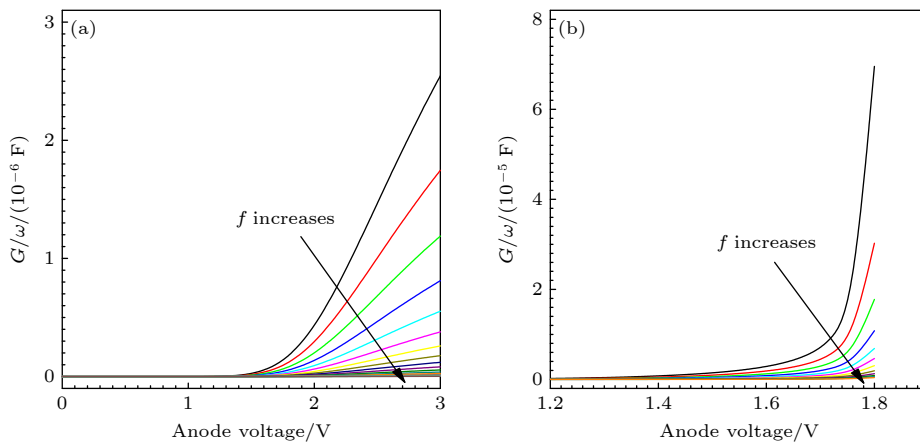


图 7 不同频率下器件的电导随阳极偏压的变化 (a) PAA SBD; (b) Ref SBD

Fig. 7. Frequency-dependent G/ω - V curves of device: (a) PAA SBD; (b) Ref SBD.

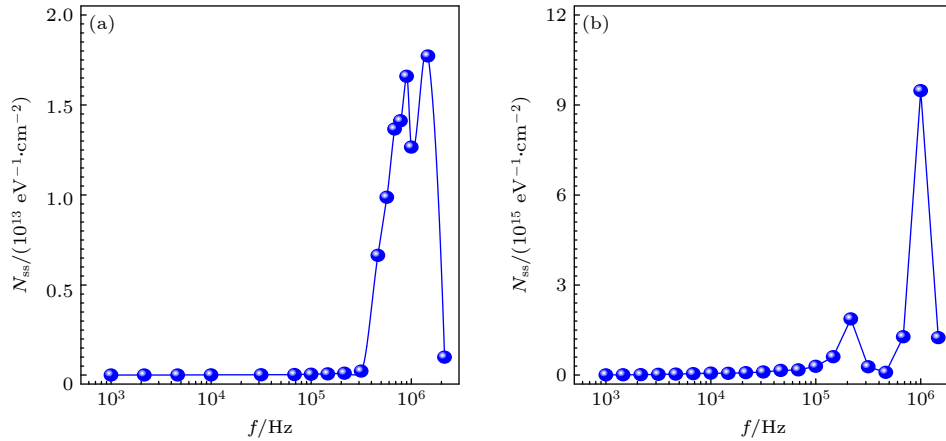


图 8 PAA SBD (a) 和 Ref SBD (b) 的界面态密度随测试频率的变化

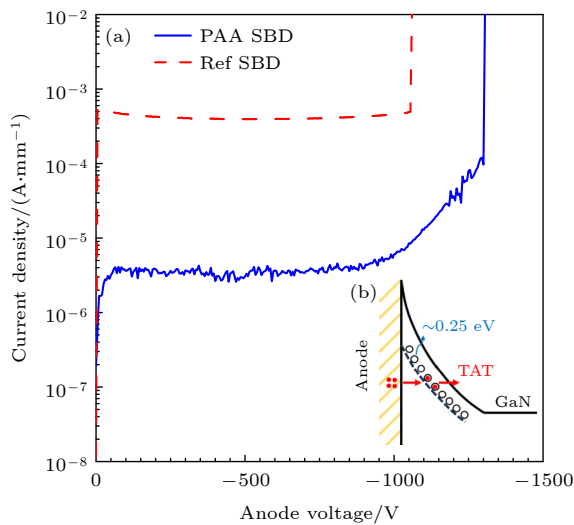
Fig. 8. Variation of N_{ss} as a function of the measured frequency of (a) PAA SBD and (b) Ref SBD.

图 9 (a) PAA SBD 与 Ref SBD 器件击穿特性; (b) 器件阳极界面陷阱漏电流的能带结构示意图

Fig. 9. (a) Reverse breakdown characteristics of the fabricated PAA SBD and Ref SBD; (b) energy band diagram of trap induced leakage current in anode contact.

4 结 论

本文基于横向结构 GaN SBD 器件系统研究了阳极后退火技术对 GaN SBD 器件特性的影响. 器件经过退火处理后, 阳极界面态密度由 $9.48 \times 10^{15} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ 降低到 $1.77 \times 10^{13} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$, 同时进一步抑制了以隧穿机制为主导的反向漏电. 与 Ref SBD 相比, PAA SBD 的器件反向漏电降低了 2 个数量级, 室温下, 器件有效势垒高度由 0.65 eV 提高到 0.77 eV. 由于低阳极界面态密度减弱了界面陷阱对载流子运输机制的影响, 器件正向微分导电阻从 $17.05 \Omega \cdot \text{mm}$ 降低至 $12.57 \Omega \cdot \text{mm}$,

器件性能得到大幅度提升. 阳极后退火技术在实现良好的阳极界面特性, 提高器件性能方面展现出了极大的优势, 对进一步实现高性能 GaN 功率器件提供了指引方向.

参考文献

- [1] Liu X K, Liu Q, Li C, Wang J F, Yu W J, Xu K, Ao J P 2017 *Jpn. J. Appl. Phys.* **56** 026501
- [2] Bajaj S, Akyol F, Krishnamoorthy S, Zhang Y W, Rajan S 2016 *Appl. Phys. Lett.* **109** 133508
- [3] Wu P, Zhang T, Zhang J C, Hao Y 2022 *Acta Phys. Sin.* **71** 158503 (in Chinese) [武鹏, 张涛, 张进成, 郝跃 2022 物理学报 **71** 158503]
- [4] Cui Y X, Ma Y Q, Shangguan S P, Kang X W, Liu P C, Han J W 2022 *Acta Phys. Sin.* **71** 136102 (in Chinese) [崔艺馨, 马英起, 上官士鹏, 康玄武, 刘鹏程, 韩建伟 2022 物理学报 **71** 136102]
- [5] Chen R, Liang Y N, Han J W, Wang X, Yang H, Chen Q, Yuan R J, Ma Y Q, Shangguan S P 2021 *Acta Phys. Sin.* **70** 116102 (in Chinese) [陈睿, 梁亚楠, 韩建伟, 王璇, 杨涵, 陈钱, 袁润杰, 马英起, 上官士鹏 2021 物理学报 **70** 116102]
- [6] Nela L, Erp R V, Kampitsis G, Yildirim H K, Ma J, Matioli E 2021 *IEEE T. Power Electr.* **36** 1269
- [7] Nela L, Kampitsis G, Ma J, Matioli E 2020 *IEEE Electron Dev. Lett.* **41** 99
- [8] Li X D, Geens K, Guo W M, You S Z, Zhao M, Fahle D, Odnoblyudov V, Groeseneken G, Decoutere S 2019 *IEEE Electron Dev. Lett.* **40** 1499
- [9] Bahat-Treidel E, Hilt O, Zhytnytska R, Wentzel A, Meliani C, Wurfl J, Trankle G 2012 *IEEE Electron Dev. Lett.* **33** 357
- [10] Hsin Y M, Ke T Y, Lee G Y, Chyi J I, Chiu H C 2012 *Phys. Status Solidi C* **9** 949
- [11] Han S W, Yang S, Li R, Wu X K, Sheng K 2019 *IEEE T. Power Electr.* **34** 5012
- [12] Xu R, Chen P, Liu M H, Zhou J, Li Y M, Cheng K, Liu B, Chen D J, Xie Z L, Zhang R, Zheng Y D 2021 *IEEE Electron Dev. Lett.* **42** 208
- [13] Zhang T, Zhang J C, Zhou H, Wang Y, Chen T S, Zhang K, Zhang Y C, Dang K, Bian Z K, Zhang J F, Xu S R, Duan X L, Ning J, Hao Y 2019 *IEEE Electron Dev. Lett.* **40** 1583

- [14] Zhu M D, Song B, Qi M, Hu Z Y, Nomoto K, Yan X D, Cao Y, Johnson W, Kohn E, Jena D, Xing H L G 2015 *IEEE Electron Dev. Lett.* **36** 375
- [15] Tsou C W, Wei K P, Lian Y W, Hsu S S H 2016 *IEEE Electron Dev. Lett.* **37** 70
- [16] Gao J N, Jin Y F, Xie B, Wen C P, Hao Y L, Shen B, Wang M J 2018 *IEEE Electron Dev. Lett.* **39** 859
- [17] Zhang T, Zhang J C, Zhou H, Chen T S, Zhang K, Hu Z Z, Bian Z K, Dang K, Wang Y, Zhang L, Ning J, Ma P J, Hao Y 2018 *IEEE Electron Dev. Lett.* **39** 1548
- [18] Zhang T, Wang Y, Zhang Y N, Lü Y G, Ning J, Zhang Y C, Zhou H, Duan X L, Zhang J C, Hao Y 2021 *IEEE Trans. Electron Dev.* **68** 2661
- [19] Chen J B, Bian Z K, Liu Z H, Zhu D, Duan X L, Wu Y H, Jia Y Q, Ning J, Zhang J C, Hao Y 2021 *J. Alloy Compd.* **853** 156978
- [20] Du L L, Xin Q, Xu M S, Liu Y X, Mu W X, Yan S Q, Wang X Y, Xin G M, Jia Z T, Tao X T, Song A M 2019 *IEEE Electron Dev. Lett.* **40** 451
- [21] Bilkan Ç, Gümüş A, Altımdal Ş 2015 *Mater. Sci. Semicond. Process* **39** 484

Interface-state suppression of AlGa_N/Ga_N Schottky barrier diodes with post-anode-annealing treatment^{*}

Wu Peng¹⁾ Li Ruo-Han²⁾ Zhang Tao^{1)†} Zhang Jin-Cheng^{1)‡} Hao Yue¹⁾

1) (State Key Laboratory of Wide-Bandgap Semiconductor Devices and Integrated Technology, Xidian University, Xi'an 710071, China)

2) (Xi'an Microelectronics Technology Institute, Xi'an 710054, China)

(Received 7 April 2023; revised manuscript received 7 August 2023)

Abstract

Owing to the high density and high mobility of two-dimensional electron gas (2DEG) induced by strong spontaneous polarization and piezoelectric polarization effect, AlGa_N/Ga_N Schottky barrier diodes (SBDs) with high output current density and low on-resistance have proved to be a promising candidate. Anode of Ga_N SBD is the core structure, which affects the device performance such as turn-on voltage, reverse current, on-resistance, and breakdown voltage. Therefore, idealized Schottky junction with low interface state density is very important in achieving high-performance Ga_N SBD. In this work, AlGa_N/Ga_N SBD with low work-function metal W as anode is fabricated, and the post-anode-annealing (PAA) treatment is found to be effective in promoting the bonding reaction between anode metal and Ga_N in the anode region. Comparing with Ga_N SBDs without PAA treatment, the interface state density decreases from $9.48 \times 10^{15} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ to $1.77 \times 10^{13} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ after PAA treatment. The reverse leakage current is reduced by two orders, which ascribes to the idealized anode interface with low interface state density. Meanwhile, the influence of interface state on carriers in the forward conduction process is also suppressed, and the differential on-resistance of the fabricated Ga_N SBDs decreases from $17.05 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}$ to $12.57 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}$. It is obvious that the PAA process proves to be an effective method to suppress the interface states density at M/S interface, thus significantly improving the performance of Ga_N SBD, which is the key technology in fabricating the high-performance Ga_N device.

Keywords: AlGa_N/Ga_N, Schottky barrier diode, low leakage current, low interface states density

PACS: 85.30.De, 85.30.Kk, 73.40.Kp

DOI: 10.7498/aps.72.20230553

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 62104185), the National Science Fund for Distinguished Young Scholars of China (Grant No. 61925404), the Fundamental Research Funds for the Central Universities, China (Grant No. QTZX23076), and the Young Elite Scientists Sponsorship Program by CAST, China (Grant No. 2022QNRC001).

[†] Corresponding author. E-mail: zhangtao@xidian.edu.cn

[‡] Corresponding author. E-mail: jchzhang@xidian.edu.cn

AlGaN/GaN肖特基二极管阳极后退火界面态修复技术

武鹏 李若晗 张涛 张进成 郝跃

Interface-state suppression of AlGaN/GaN Schottky barrier diodes with post-anode-annealing treatment

Wu Peng Li Ruo-Han Zhang Tao Zhang Jin-Cheng Hao Yue

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 72, 198501 (2023) DOI: 10.7498/aps.72.20230553

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7498/aps.72.20230553>

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

低反向漏电自支撑衬底AlGaN/GaN肖特基二极管

Investigation of AlGaN/GaN Schottky barrier diodes on free-standing GaN substrate with low leakage current

物理学报. 2022, 71(15): 158503 <https://doi.org/10.7498/aps.71.20220161>

复合漏电模型建立及阶梯场板GaN肖特基势垒二极管设计

Establishment of composite leakage model and design of GaN Schottky barrier diode with stepped field plate

物理学报. 2022, 71(5): 057301 <https://doi.org/10.7498/aps.71.20211917>

1000 V p-GaN混合阳极AlGaN/GaN二极管

p-GaN hybrid anode AlGaN/GaN diode with 1000 V operation

物理学报. 2018, 67(19): 198501 <https://doi.org/10.7498/aps.67.20181208>

势垒可调的氧化镓肖特基二极管

Barrier-tunable gallium oxide Schottky diode

物理学报. 2022, 71(3): 037301 <https://doi.org/10.7498/aps.71.20211536>

基于晶向优化和Sn合金化技术的一种2.45 G弱能量微波无线输能用Ge基肖特基二极管

A Ge-based Schottky diode for 2.45 G weak energy microwave wireless energy transmission based on crystal orientation optimization and Sn alloying technology

物理学报. 2021, 70(10): 108401 <https://doi.org/10.7498/aps.70.20201674>

用于提高微波无线能量传输系统接收端能量转换效率的肖特基二极管

Ge Schottky diode for improving energy conversion efficiency of the receiver of microwave wireless power transfer

物理学报. 2020, 69(10): 108401 <https://doi.org/10.7498/aps.69.20191415>