

N 極性面 AlN の結晶成長と GaN/AlN HEMT への応用

Growth of N-polar AlN and its application to GaN/AlN HEMTs

山口大院・創成科学,

○岡田 成仁*, (D)Aina Hiyama Zazuli, (M2)藤井 開, (M1)木本 大星, (M1)仁ノ木 亮祐,
(M1)山中 郁哉, 倉井 聡, 山田 陽一

Grad.School of Sci. & Tech. for Innovation, Yamaguchi Univ.

○N. Okada*, A. H. Zazuli, K. Fujii, T. Kimoto, R. Ninoki, F. Yamanaka, S. Kurai, and
Y. Yamada

*E-mail: nokada@yamaguchi-u.ac.jp

N 極性面 GaN/AlN 高電子移動度トランジスタ(HEMT)は、AlN キャップを用いずに二次元電子ガスを発生することができ、さらに AlN を下地に用いることで従来構造である AlGaIn/GaN HEMT よりも更なる大電力、高耐圧、高温動作などを実現できる可能性がある。我々の研究室では、有機金属化合物気相成長 (MOVPE) 法によって作製した N 極性面 GaN/AlGaIn/AlN HEMT の動作を実証してきた^[1]。本発表では、サファイア基板上 N 極性面 AlN の結晶成長および N 面 GaN/AlN HEMT への応用について解説する。

MOVPE 法を用いてサファイア基板上に N 極性面 AlN を成長させる場合には低 V/III 比とすることが重要である。さらに表面平坦性を確保するためにはオフ角の制御が重要であり、おおよそオフ角 2.0°が平坦な N 極性面 AlN を成長させるために重要であった^[2]。このとき、表面粗さを示す原子間力顕微鏡 (AFM) の二乗平均平方根 (RMS) は 1 nm 程度であった。さらなる平坦化には水素パルスエッチングと命名した水素で N 極性面 AlN をエッチングしつつ成長を行うことが効果的であり、RMS 0.4 nm 程度までの平坦化を可能とした^[3]。一方、一般的にサファイア基板上に窒化物半導体を成長させるときには高密度の貫通転位密度を有することがよく知られており、特に N 極性面は転位が多いことがよく知られている。この問題に対して、我々は Al 極性面を用いた微小の凹凸構造による転位消滅機構と Al 極性面→N 極性面の極性反転を用いることで、サファイア加工基板上 N 極性面 AlN の転位密度を効果的に低減させることに成功した^[4]。サファイア基板上 N 極性面 AlN の平坦化と結晶性改善がなされた後、N 極性面 GaN/Al_{0.9}Ga_{0.1}N/AlN 構造 HEMT を成長させた。GaN チャネル表面には 2 nm の SiO₂ を製膜し、メサ加工をベースにソース及びドレイン電極には Ti/Al/Ti/Au を、ゲート電極には Ni/Au を用いることでデバイス化を行った。N 極性面 GaN/Al_{0.9}Ga_{0.1}N/AlN を実現させるためには GaN 層の成膜条件が重要であり、特に温度を適切にすることが重要であることが分かった。さらにその性能改善には GaN チャネル中に含まれる不純物濃度の低減が重要であり、V/III 比・キャリアの水素窒素比である F 値の最適化が特に効果的であった。また貫通転位密度の低減によりドレイン電流を上昇させることが出来た。以上より、MOVPE 成長にてサファイア基板上 N 極性面 GaN/AlGaIn/AlN HEMT は最大ドレイン電流 400 mA/mm を超えるまでの性能に至っている。

[謝辞] 本研究の一部は科研費基盤 B(24K01363)、名古屋大学未来材料・システム研究所共同利用の支援を受けて実施したものである。

参考文献

[1] A. H. Zazuli *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., 63, 09SP11 (2024)

[2] Isono *et al.*, Phys. Stat. Solidi B, 257, 1900588 (2020)

[3] N. Okada *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., 60, 125502 (2021)

[4] N. Okada *et al.*, J. Appl. Phys., 136, 025705 (2024)