

GaNパワートランジスタの進化

Steady progress on GaN power transistors

北大 量集センター、橋詰 保

RCIQE, Hokkaido Univ, Tamotsu Hashizume

hashi@rciqe.hokudai.ac.jp

1. はじめに

LED・LD応用がGaNの主流ではあるが、トランジスタ応用も非常に魅力的である。1993年にAlGaIn/GaN高電子移動度トランジスタ (HEMT) の報告がされて以来[1]、動作周波数、動作電圧、パワー密度などの進化が続いている。また近年、インバータ等の電力変換応用のために、縦型MOSトランジスタがめざましい進展を見せている。

2. HEMT

第5世代あるいは第6世代の無線通信システム (5G or 6G) では、基地局間あるいは離島などの遠隔地に対する高速・大容量の無線通信が基幹技術となる。このため、30GHz以上の周波数帯で1W以上の出力を有するトランジスタが必要とされ、GaN HEMTは改めて注目されている。HEMTの遮断周波数 f_T のレコードは455GHzである[2]。ダブルヘテロ構造とソース・ドレイン領域の低抵抗層を採用し、 $L_G=20\text{nm}$ と $L_{DS}=130\text{nm}$ のスケールダウンによって達成している。驚異的なのは、 $L_{DS}=130\text{nm}$ でも $V_{DS}=20\text{V}$ の動作を実現している点であろう。パワー密度も進化を続けている。極薄AlNバリアHEMTにおいて 8.3W/mm @40GHzの報告があり[3]、また、InAlGaIn/AlGaIn/GaN構造により高電子密度と高移動度の両立をはかり、96GHzで 3W/mm を達成している[4]。さらに、絶縁ゲート型N極性HEMTにおいて、94GHzで 8W/mm の報告がある[5]。

3. 電力変換用縦型トランジスタ

縦型トランジスタにとって、GaN基板とエピタキシャル層の結晶性向上の進展が大きい。エピタキシャル成長に一般的に用いられるMOCVD成長では、n層で 10^{15}cm^{-3} 台に至る低Siドーピング制御、p層で $10^{16}\sim 10^{18}\text{cm}^{-3}$ の広範囲Mgドーピング制御が達成されている[6]。また、低濃度n層の高成長レートと低炭素濃度を狙ってHVPE成長が精力的に研究され、炭素濃度 $5\times 10^{14}\text{cm}^{-3}$ 以下のn-GaNで ($n=1.2\times 10^{15}\text{cm}^{-3}$)、移動度のレコードとなる $1470\text{cm}^2/\text{Vs}$ が報告された[7]。電力変換トランジスタにおいて、イオン注入によるp層形成は非常に重要な要素技術であるが、Mgイオン注入で良質のp層を形成することは不可能と思われていた。しかし最近、超高压条件下で注入後の活性化アニールを行うことにより、エピタキシャル成長のp-GaNに匹敵する高品質のp層が実現され大きな注目を集めている[8]。このように、縦型トランジスタ実現のための必要技術は揃いつつあり、今後はチャネル移動度の向上と動作信頼性の実証が課題であろう。

[1] M. A. Khan, A. Bhattarai, J.N. Kuznia and D. T. Olson, Appl. Phys. Lett. **63**, 1214 (1993).

[2] K. Shinohara et al., IEEE Trans. Electron Devices **60**, 2982 (2013).

[3] K. Harrouche et al., IEEE J. Electron Devices Soc. **7**, 1145 (2019).

[4] K. Makiyama et al., IEDM Tech. Dig., 2015, pp. 213–216, doi: [10.1109/IEDM.2015.7409659](https://doi.org/10.1109/IEDM.2015.7409659).

[5] B. Romanczyk et al., IEEE Trans. Electron Devices **65**, 45 (2018).

[6] T. Narita et al., Jpn. J. Appl. Phys. **59**, SA0804 (2020), T. Narita et al., J. Appl. Phys. **128**, 090901 (2020).

[7] H. Fujikura, T. Konno, T. Kimura, Y. Narita, and F. Horikiri, Appl. Phys. Lett. **117**, 012103 (2020).

[8] H. Sakurai et al., Appl. Phys. Lett. **115**, 142104 (2019).