フィールドプレート構造 AlGaN/GaN HEMT の電流コラプス改善に関する理論解析

Theoretical study on Improved Current Collapse in AlGaN/GaN HEMT with Field Plate Structure

福井大院工，○児玉 和樹, J. T. Asubar, 徳田 博邦, 葛原 正明
Graduate School of Engineering, University of Fukui
○K. Kodama, J. T. Asubar, H. Tokuda, M. Kuzuhara
E-mail: k-kodama@u-fukui.ac.jp

はじめに　AlGaN/GaN HEMT は高耐圧、低損失の次世代パワースイッチング素子への応用が期待されている[1]。しかし、電流コラプスによるオン抵抗の増加が重要な問題となっている。これを抑制する方法として、フィールドプレート(FP)構造が用いられているが[2]、その機構に関する十分な理解はなされていない。本研究では、AlGaN/GaN HEMT の 2 次元アンサンブルモンテカルロ解析を行い、非常に短いオン時間での FP 構造が電流コラプスに与える影響を検討した。

計算方法　本解析では、ボルツマン輸送方程式とポアソン方程式を結合し自己無撞着に解く、2 次元モンテカルロ法を用いた。計算に用いたデバイス構造は SiN 保護膜(100 nm), Al 組成 0.25 のアンドープ AlGaN 障壁層(25nm), アンドープ GaN チャネル及びバッファ層(225 nm)である。ソース-ゲート間距離, ゲート長は 1 μm, ゲートードレイン(G-D)間距離は 5 μm, FP 長は 2 μm とした。また、FP 下の絶縁膜を ZrO_2(k=33)としたデバイスも考慮した。トラップ電子は G-D 間の SiN/AlGaN 界面に一様に分布させた。スイッチングのバイアス条件として、オフ時で、(Vgs, Vds)=(-7 V, 200 V)を印加し、オン時では、(1 V, 2 V)を与えた。

結果　図 1 に FP なしと FP あり(ZrO_2膜)デバイスそれぞれのオン時(t_{on}=200ps)の電子分布を示す。両デバイスの FP 下に相当する(破線で囲った) 領域を比較すると、FP ありデバイスの電子数が多いことが分かる。また、FP 下が SiN 膜の場合においても同様の効果が見られた。図 1 に示した電子分布をチャネル層に沿って一次元プロットしたものを図 2 に示す。FP ありのデバイスは非 FP デバイスに比べて、FP 直下の ns が SiN 膜の場合で 1.4 倍, ZrO_2 で 2.6 倍高い値を示した。また、t_{on}=200ps のときに得られるオン抵抗を動的オン抵抗と定義する。このとき、全トラップ電子は捕獲されたままの状態である。一方、静的オン抵抗は、トラップ電子が放出された状態、すなわち、n_t=0 のときのオン抵抗とした。これら動的および静的オン抵抗の比を規格化オン抵抗とすると、非 FP, FP(SiN 膜)あり, FP (ZrO_2膜) ありデバイスで、それぞれ、2.5, 1.5, 1.3 の値が得られた。FP 導入による規格化オン抵抗の低減は、図 1, 2 に示したように FP の導入により FP 下の電子がオン時に瞬時に回復することに起因する。

まとめ　AlGaN/GaN HEMT のモンテカルロ解析を行った。計算結果は、トラップ電子が放出されていない状態においても FP を導入することによりオン時に ns の増加が瞬時に起こり、その結果として、動的オン抵抗が低減するということを示した。特に、ZrO_2膜を用いた FP 構造では、FP なしのデバイスの 2.6 倍高い ns であった。

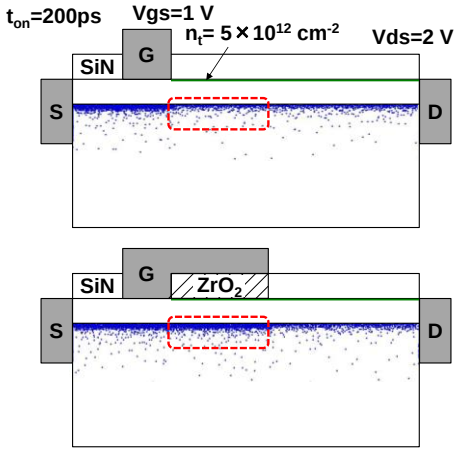

図 1 電子分布

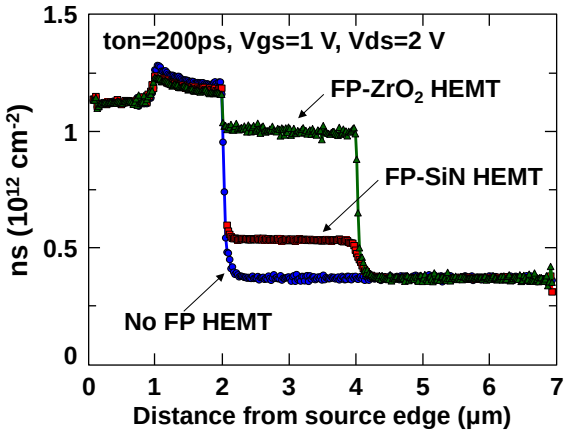

図 2 2DEG 濃度のチャネル内分布

参考文献　[1] U.K. Mishra, P. Parikh, and Y. Wu, Proc. IEEE, 90, 1022-1031, 2002
[2] M. T. Hasan et al., IEEE Electron Device Lett., 34, 1379, 2013