

論文審査の結果の要旨

氏名 吉川 俊英

本論文は、窒化ガリウム(GaN)を用いた高電子移動度トランジスタ(HEMT)において、新規な構造の検討などにより、高周波用途および電源用途における高性能化および高信頼性を達成した研究成果を述べたものであり、全9章からなる。

第1章は序論であり、GaNの物性的利点、応用分野における要請など本研究の背景を述べた上で、これらの応用に適合する低消費電力性に優れた高性能なGaN-HEMTを、新規な構造およびプロセス技術を開発することによって実現することを本研究の目的としたことを述べている。

第2章は、GaN-HEMTの基本的動作原理、ゲートリークや電流コラプスなどGaN特有の技術課題、さらにそれを克服する新規構造、結晶成長技術およびプロセス技術について述べている。ゲートリークおよび電流コラプスの原因となるゲート端への過度な電界集中、結晶表面の非平坦性、ゲート近傍での表面電荷蓄積などの諸現象を避けるために、有機金属気相成長(MOVPE)により作製する層構造において、n型GaNキャップ層の形成によるリセスオーミック型表面電荷制御構造を考案開発し、試作デバイスにおいて耐圧350Vに達する低ゲートリーク化と電流コラプス抑制を同時に達成した。この構造がGaN-HEMTの高信頼化に直接結びつく基礎技術となっている。

第3章は、GaN-HEMTの劣化要因の明確化を通じて、信頼性向上のための技術開発について述べている。短期劣化要因として、成長温度起因の表面N脱離とSiC基板起因のヒロックが、長期劣化要因としてGaNバッファ層中のトラップ準位が関係していることを明らかにした。MOCVDによるエピタキシャル成長条件の最適化を通じて、これらの劣化要因を除去して、高温通電試験において1000時間の安定動作を確認した。

第4章は、GaN-HEMTを無線通信システムにおける基地局用増幅器へ適用し、高出力および高効率性能を実現したことを述べている。GaN-HEMTチップをパッケージに実装し、最大出力250Wという高出力を得た。またドレイン効率40%という従来のSiないしGaAsデバイスを10%以上凌駕する高効率を得た。同時に高温成長AlNバッファ層直上にFeドープ層を挿入することにより、電流オフに伴う電流ドリフトおよび増幅歪補償の問題も解決している。

第5章は、GaN-HEMTの基地局用増幅器応用において、低コスト化を実現する技術について述べている。SiC基板を半絶縁性基板に代えて低コストである導電性基板を用い、さらに寄生容量低減のためにAlN厚膜バッファ層を採用しその最適化を行った。それにより半絶縁性基板と同等の特性を得た。また基板の3インチ大口径化において、しきい値ゲート電圧の面内均一性を確認し、大口径導電性SiC基板の採用による低コスト化の可能性を示した。

第6章では、次世代GaN-HEMTで要請のある順方向ゲートリーク抑制の手段として、絶縁ゲート構造の有効性を実証したことを述べている。ゲート絶縁膜としてSiN膜を採用することにより、順方向ゲートリーク電流を8桁にわたり低減することに成功した。また出力147W、利得12dBという優れた出力性能を実演した。増幅動作における歪補償機能も確認し、さらに信頼度試験において性能劣化のない高信頼性を確認した。

第7章では、ミリ波応用のための短ゲートGaN-HEMTにおいて、実用化に耐えうる性能を実現したことを述べている。Y型ゲート電極、SiN/GaNキャップ、オフセットなどのデバイス構造の改良と、高Al組成AlGaIn層およびn-GaNキャップ層構造の適用および最適化により、W帯増幅器用デバイスとして十分な性能を満たす190Vを超えるゲート耐圧を実現した。またGaN-HEMTをモノリシックに集積化したミリ波MMIC増幅器を作

製し、70 GHz 以上においても 1 W を超える優れた性能を世界で初めて実現した。

第 8 章は、電源用途のためのノーマリオフ型 GaN-HEMT を、高耐圧の Al_2O_3 を絶縁膜とするリセス型絶縁ゲート構造と 3 層キャップ構造を組み合わせる構造によって実現したことを述べている。ノーマリオフ動作のしきい値ゲート電圧は 3 V であり、ゲート電圧 10 V において 800 mA に達するドレイン電流（オン電流）を得、低オン抵抗も同時に達成した。

第 9 章は、本研究で得られた知見を総括しつつ本研究の結論を述べるとともに、GaN-HEMT の優れた特性にさらに期待しうる将来展望にふれている。

なお、本論文の第 2 章から第 8 章までは、常信和清、牧山剛三、多木俊裕、金村雅仁、今西健治、原直紀、今田忠弘、山田敦史、渡部慶二との共同研究を含んでいるが、論文提出者が主体となって実験および解析を行ったもので、本人の寄与が十分であると判断される。

以上、本論文は、物質科学へ大きく寄与するものであり、よって、博士（科学）の学位を授与できると認められる。

以上 1876 字