

# 論文審査の結果の要旨

氏名 安藤 裕二

本論文は、GaAs、GaN などの化合物半導体を用いたヘテロ接合電界効果トランジスタ (FET) の基本動作特性の定式化を含むデバイス設計手法を構築すると共に、それを同デバイスの低雑音化、高出力化に適用した研究成果を述べたものであり、全 7 章からなる。

第 1 章では、本研究に着手するに至った歴史的背景について述べ、本研究の目的と位置付けについて述べている。

第 2 章では、ヘテロ接合 FET の基本動作の理解を目的として、DC および小信号モデルの高精度化を図った研究結果について述べている。シュレディンガー方程式とポアソン方程式のセルフコンシステント計算を AlGaAs/InGaAs 系高電子移動度トランジスタ (HEMT) に初めて適用し、この系では従来の AlGaAs/GaAs 系 HEMT と比べて伝導帯オフセットが大きく、キャリア閉じ込めが改善される結果、相互コンダクタンスおよび遮断周波数が改善されることを指摘した。さらに、ヘテロ接合 FET の電流 - 電圧特性および小信号特性の定式化を行い、ピンチオフ近傍での相互コンダクタンスの低下および雑音指数の増大が、キャリア閉じ込めの低下に起因して生じることを明らかにした。

第 3 章では、ヘテロ接合 FET のアクセス抵抗のモデル化を行った研究結果について述べている。2 次元電子サブバンド形成と AlGaAs 電子供給層を介したトンネル電流の効果を考慮した 2 層伝送線路モデルの精密化により、AlGaAs/(In)GaAs 系 HEMT では高濃度 GaAs キャップ層の導入によりソース抵抗を大幅に低減できることを明らかにした。一方、トンネル電流の寄与が小さい InAlAs/InGaAs 系 HEMT では同様な効果は小さいこと、アクセス抵抗を低減するためには、ダブルリセス構造を適用することが有効であることを明らかにした。以上は、現在の AlGaAs/GaAs 系マイクロ波 HEMT で主流となっているオーミック電極の形成技術に理論的根拠を与えたものとなった。

第 4 章では、ヘテロ接合 FET の雑音モデルに関する研究結果について述べている。本研究では、流体力学的電子輸送モデルとインピーダンスフィールド法に基づいた物理モデルを用いているが、計算結果は、雑音測定等の等価回路フィッティングによる結果と概ね一致し、雑音特性の予測に有効であることを確認した。AlGaAs/InGaAs 系 HEMT において、寄生抵抗を無視できる場合の雑音特性を予測し、この系ではなお低雑音化の余地があることを示した。InAlAs/InGaAs 系 HEMT においても、本モデルに基づく計算と測定結果の一致から、高 In 化によるチャネル移動度の増加が、小信号利得、雑音指数を改善することを明らかにした。一方、チャネル移動度の増加は拡散雑音の増大を生じるため、InGaAs 組成には最適値が存在することを明らかにした。この結果は、雑音性能における InGaAs 系 HEMT の優位性の理論的根拠を示したものとなっている。

第 5 章では、化合物半導体のフルバンドモンテカルロ電子輸送シミュレーションに関する研究結果について述べている。本モデルは、高電界での電子速度の飽和特性や電子イオン化係数の電界依存性の測定結果をよく説明し、GaAs MESFET においては、耐圧決定要因が衝突イオン化であることを確認した。AlGaN/GaN 系ヘテロ接合 FET においては、高温動作が容易であること、またゲート長  $0.9\mu\text{m}$  にて  $50\text{W/mm}$  を超える高出力電力密度が期待できることを示した。さらに、ゲートを微細化した場合、高電流利得遮断周波数も得られ、このデバイスがミリ波、準ミリ波帯の高出力デバイスとしても有望であることを指摘した。

第 6 章では、AlGaN/GaN 系高出力ヘテロ接合 FET の高性能化を行った研究結果について述べている。GaN 系デバイスで本来の高電圧、大電流動作を阻害していたゲート耐圧と電流コラプスのトレードオフを、フィールドプレート構造の採用により解決できるこ

とを見出し、実用的なサイズのヘテロ接合 FET において初めて 10W/mm を超える高出力電力密度を実現した。さらにゲートリセス構造の採用により、相互コンダクタンスの向上とゲートリーク電流の低減を達成し、当時世界最高の出力電力密度 12.0W/mm を得た。またさらに、デュアルフィールドプレート構造の採用で、約 3dB の最大安定化利得向上を達成し、世界最高水準の出力、利得、効率の総合特性を実証した。これらの研究成果は、その後の AlGaIn/GaN 系ヘテロ接合 FET の発展において、先駆的役割を果たしたものとなった。

第 7 章では、本研究で得られた知見をまとめると共に、ヘテロ接合 FET 研究の今後取り組むべき技術課題について述べた。

なお、本論文の第 2 章から第 6 章は、伊東朋弘、Alain Cappy、丸橋健一、恩田和彦、宮本広信、葛原正明、Walter Contrata、恩田(堀)恭子、佐本典彦、松永高治、國弘和明、笠原健資、中山達峰、高橋裕之、羽山信幸、大野泰夫、岡本康宏、井上隆、幡谷耕二、分島彰男、大田一樹、山之口勝己、村勢康裕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。