

1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆研究開発課題名 Beyond5Gに資するワイドバンドギャップ半導体高出力デバイス技術/回路技術の研究開発
- ◆受託者 株式会社ブロードバンドタワー、国立大学法人東海国立大学機構、国立大学法人名古屋工業大学、三菱電機株式会社
- ◆研究開発期間 令和3年度～令和6年度(4年間)
- ◆研究開発予算(契約額) 令和3年度から令和4年度までの総額268百万円(令和4年度136百万円)

2. 研究開発の目標

GaNデバイスの高周波においても高出力な特長を活かしたテラヘルツ帯(30GHz～100GHz→100GHz～300GHz)で動作するワイドバンドギャップ半導体高出力デバイス、ミリ波帯を用いる広帯域・低歪回路技術、100Gbps通信方式を開発

3. 研究開発の成果

研究開発項目1:ワイドバンドギャップ半導体高出力デバイス技術

ミリ波では従来HEMTのフィールドプレート(FP)構造は利得低下に繋がるため適用できない。FP無しで高性能化を図る要素技術を開発する。

120 nm T型ゲート
デュアルゲートGaN-HEMT
第1ゲート 第2ゲート
ソース ドレイン
AlGaN/GaN HEMTエド

小信号利得
Single gate
Dual gate

直流パルス(トランジスタのオン・オフ)と高周波信号の同期の様子

マルチフィンガー-HEMT (市販品) ゲート部の局所発熱

- 高耐压・大電流ヘテロ構造設計技術
- 150 nm級T型ゲート形成技術
- ミリ波GaN-HEMT設計技術
- 過渡電流・温度特性評価技術

研究開発項目1-a):ミリ波GaNプロセス技術

- 容量小と高歩留りの両立を可能にする100～150 nm T型ゲート形成プロセスを開発
- ミリ波GaN-HEMTのスループロセス構築し、断面観察により120 nm ゲート形成を確認
- ソースドレイン間最小化を可能にするn型キャップ層付きリセス構造HEMTも検討

研究開発項目1-b):ミリ波GaNデバイス技術

- ミリ波帯・テラヘルツ帯の利得向上を図るデュアルゲートHEMTのレイアウトを設計
- 上記のミリ波GaN-HEMTプロセスを用いて、デュアルゲートHEMTの初期試作を完了
- デュアルゲート化による短チャネル効果抑制と電力利得向上を確認

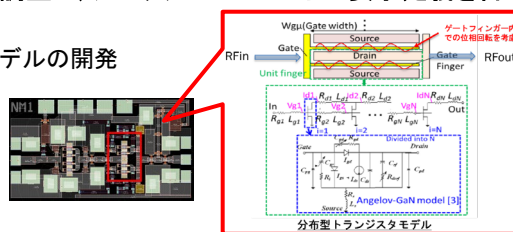
研究開発項目1-c):ミリ波GaN評価技術

- トランジスタの直流パルスと高周波信号の同期させたシステムの動作確認
さらに、パルス内の高周波特性の変化観察も可能となった
- サーマルロックイン法により、GaN-HEMT(市販品)のゲート微小リーク箇所を推定

研究開発項目2)ワイドバンドギャップ半導体広帯域線形回路技術

テラヘルツ(100～300GHz)帯広帯域線形パワーアンプ(PA)実現に向け、GaNトランジスタモデリング技術の開発、PAの要素回路設計及び概略レイアウトの完了を目標とする。また、Beyond5G社会像調査と、アプリケーションからの要求定義を目標とする。

- テラヘルツ対応分布型トランジスタモデルの開発
- 最大発振周波数の1/2超領域でのPA要素回路の基本設計とレイアウト
- Beyond5Gを視野に入れたユースケースに合わせた通信要件の整理



研究開発項目2-a):高出力高効率パワーセル設計技術

- 220GHzまでの高精度小信号測定法確立及び高精度な分布型トランジスタモデルの作成完了
- 仮想モデル及びTCADモデルを用いて短ゲート化時の効果を計算で明確化、及び分布型モデルを用いて出力電力密度のゲート幅依存性を計算で明確化

研究開発項目2-b):高帯域線形PA設計技術

- カスコード・多段回路設計により、90GHz帯単位PAで利得10dB・出力>0.8W・比帯域9%超能の達成と、300GHz帯単位PAモデルで利得7dB・出力0.28Wの見通しを得た

研究開発項目2-c):100Gbps通信方式の検討

- Beyond5Gでのアプリケーションを想定し、シミュレーションにより性能に依存するパラメータを抽出した

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	標準化提案・採択	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
6 (6)	0 (0)	0 (0)	11 (9)	0 (0)	0 (0)	1 (1)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

・以下の特許を出願

東海国立大学機構

- ①高周波増幅器 : 周波数が10GHz以上の周波数帯で、FET寄生成分を含めたFETの特性を考慮・コントロールして高出力設計することが可能なカスコード回路の高出力増幅器を提供する。
- ②高周波電力増幅器 : 第1のFETのドレイン電流と第2のFETのドレイン電流を夫々制御したゲート接地型構成で、ゲート接地部にはリアクタンス素子を備えた低歪みの高出力電力増幅器を提供する。
- ③電界効果トランジスタ : ゲートフィンガー先端に所定のインピーダンス素子を接続することによってフィンガー内定在波分布を変化させることで利得、 f_{max} の高い電界効果トランジスタを提供する。
- ④高周波電力増幅器 : 初段のFETを並列に設け、次段のゲート接地のFETも並列に設け、適当なリアクタンス成分を持つ容量成分を介して接地したことを特徴とする高出力の高周波電力増幅器。
- ⑤高周波トランジスタ回路 : 複数の第1電極と接続導体とで構成される電極部の一方における中央部分が交流的に接地されることを特徴とする高利得・高出力の高周波トランジスタ回路。

筆頭出願人: 東海国立大学機構、共同出願人: 名古屋工業大学

- ①半導体装置の作製方法 : スループットの高い光学露光法を利用して、より小さな開口幅を有するエッチング開口を形成する技術を提供する。

5. 今後の研究開発計画

○研究開発課題全体の2023年度末の開発目標、計画

・研究開発項目1 **ワイドバンドギャップ半導体高出力デバイス技術**

$L_g = 50 \sim 100\text{nm}$ の微細ゲート電極形成プロセスを開発する。バリア層薄層化と共にキャリア閉じ込めを向上したInAlN/GaN系HEMTのエピ構造を設計する。スループットを立案し、AlGaIn/GaN系もしくはInAlN/GaN系エピを用いて微細ゲートGaN-HEMTを作製する。微細ゲートGaN-HEMTから抽出したデバイスモデルに基づいて、デュアルゲートGaN-HEMTを設計・試作する。デュアルゲートGaN-HEMTの小信号利得が従来のシングルゲートHEMTと比べて3dB以上向上することを実測または実測に基づいたシミュレーションにより確認する。測定結果に基づいて、デュアルゲートGaN-HEMTのSPICEモデルを構築する。また、昨年度に構築したミリ波GaN-HEMTの直流パルス電源とベクトルネットワークアナライザを同期させたパルスSパラメータ測定系を用いて、種々のサイズを有する微細ゲートAlGaIn/GaN系HEMTの評価をおこなう。この結果を、定常状態のSパラメータ測定の結果とデバイスモデルにおいて比較する。微細ゲートAlGaIn/GaN系HEMTの増幅器評価を行う。また、R4年度に構築したゲート部の局所的なリーク電流による発熱観察技術を、本研究開発で作製したAlGaIn/GaN系HEMTに適用し、局所発熱の有無やその量(数)の評価を行う。 $L_g = 50 \sim 100\text{nm}$ の微細ゲート電極形成プロセスに適用できるように既存のデバイス作製用マスクパターンの改変も行う。

・研究開発項目2 **ワイドバンドギャップ半導体広帯域線形回路技術**

広帯域線形フロントエンド回路の基盤技術開発を行い、現状帯域の2倍以上の比帯域、隣接チャネル漏洩電力 $< -25.7\text{dB}$ 以下のパワーアンプを試作により実証する。2023年度はメモリー効果によって変調波の線形性に悪影響を与える電流コラプスや過渡熱応答に関わるデバイスパラメータを織り込んだ等価回路モデルを作成し、300GHz帯までの高出力広帯域線形回路実現に重要な現実的なパラメータ改善指標を研究開発項目1と協力して抽出する。100GHz~300GHz帯で動作する短ゲートトランジスタの電子トラップを考慮したトランジスタモデルを用いたシミュレーションにより300GHz帯パワーアンプの性能予測を行う。また、既存のプロセスにて実現可能な周波数帯にて従来比2倍弱の比帯域を有するアンプを試作評価し、設計手法の効果を確認する。また、Beyond 5Gにおいて100Gbpsの通信を目指すGaNパワーアンプの通信特性と通信システムとしての通信性能を検討するためのシミュレーション環境を構築する。