

## 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 名古屋大学、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年度から令和6年度(4年間)
- ◆研究開発予算(契約額) : 令和3年度から令和5年度までの総額383百万円(令和5年度115百万円)

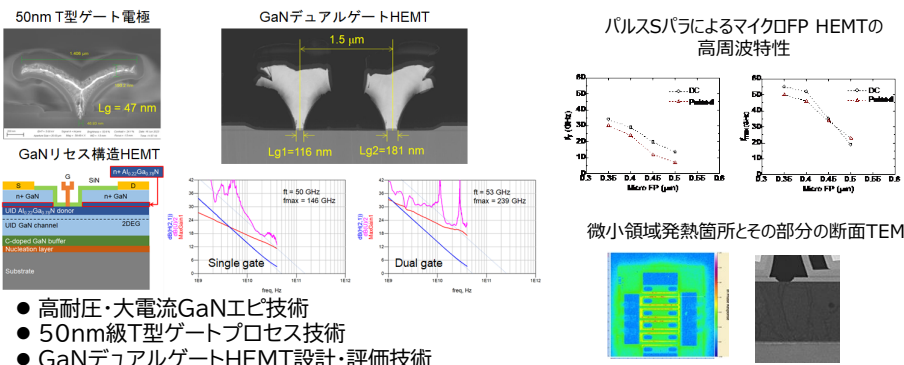
## 2. 研究開発の目標

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

100~300GHzで動作可能なGaN-HEMTの基本デバイス技術を確認する。作製したHEMTから抽出したパラメータを増幅器設計のため研究開発項目2に提供する。



### 研究開発項目1-a):ミリ波GaNプロセス技術

- サーマルリフロー条件調整とゲート加工プロセス変更により50nm Tゲート形成プロセスを開発
- シート抵抗とコンタクト抵抗を同時に低減する二層キャップ構造を設計。HEMT試作に適用
- 低温成長のInAlN/GaN系エビに適用可能なオーミック電極プロセスを開発

### 研究開発項目1-b):ミリ波GaNデバイス技術

- 50nm級デュアルゲート(DG-)HEMTに対応した新規フォトマスクの設計を完了
- DG-HEMT試作を完了。DG化による短チャネル効果抑制、耐圧向上、コラプス抑制を確認
- DG化による電力利得の3dB以上向上を確認(外挿 $f_{max}$ :150→240GHz)
- DG-HEMTのSPICEモデル抽出を完了

### 研究開発項目1-c):ミリ波GaN評価技術

- パルスSパラによるマイクロFP構造HEMTの高周波利得特性が、定常状態の利得特性よりも若干低下していることを確認した。ロードプル測定では25GHz動作では利得が不十分である。
- ゲート部の微小発熱箇所のTEM観察において、発熱箇所直下に転位があることを確認。転位を起源として、リーク発生、微小領域発熱がおこっていることが示唆された。

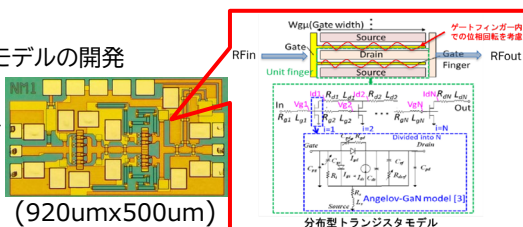
### 研究開発項目2)ワイドバンドギャップ半導体広帯域線形回路技術

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。

a) テラヘルツ対応分布型トランジスタモデルの開発

b) 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

c) 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

- 短ゲートGaNトランジスタのIM3特性測定及びトラップモデルのフレームワーク作成完了
- 受動回路素子のSパラメータ測定完了

### 研究開発項目2-b):広帯域線形PA設計技術

- $f_{max}$ =190GHzのGaNプロセスを用いたカスコードアンプTEGにより、103GHzにて利得6.4dB、帯域7.1GHzを達成した。

### 研究開発項目2-c):100Gbps通信方式の検討

- 100GHz帯GaN増幅器の通信特性(ACPR,EVM)をシミュレーションできる環境の構築完了
- 無線伝送特性の検討のためのシミュレーションのモデルの構築とソフトウェア実装の完了

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	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
6 (0)	1 (1)	0 (0)	23 (12)	0 (0)	0 (0)	2 (1)	0 (0)

※成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数です。

(1) 特許出願、論文発表等

- 最終目標としていた国内出願数を達成し、既存の国内出願を基礎としたPCTへの外国出願を実施した。最終年度に向けて外国出願を1件計画している。また、これらの出願を完了した内容について適宜論文投稿を行う予定である。

(2) 成果のトピック

- 特許申請(PCT出願)：東海国立大学機構「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。
- 外部発表(出展)：三菱電機  
マイクロウェーブ展2023「6G通信に向けた研究開発」
- 外部発表(論文、発表)：東海国立大学機構、名古屋工業大学、三菱電機  
“RF characteristics of 150 nm AlGaIn/GaN HEMTs fabricated using i-line stepper lithography”, Electronics Lett., vol. 59, no. 10, pp. 1–3, May 2023.  
“A Distributed Model With a High Scaling Accuracy for GaN HEMTs Up to 100 GHz”, 2023 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology(RFIT2023)  
他、国際学会、国内学会等にて論文、口頭発表等を精力的に行った。

5. 今後の研究開発計画

・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

100~300GHzの周波数で動作可能な高出力GaN-HEMTを作製するための基本プロセス技術と基本デバイス技術を開発する。目標の達成に向けて、来年度はサーマルリフロープロセスまたは電子線(EB)露光法などを用いた $L_g \sim 50\text{nm}$ の微細ゲート電極形成プロセスを開発する。バリア層薄層化に対応したInAlN/GaN系などのエピ構造を設計する。デュアルゲート構造HEMTなどのミリ波GaNデバイスを設計する。以上の結果を適用してミリ波GaNデバイスを作製、評価する。評価結果に基づいて100GHzでの電力利得10dB以上または $f_{max}$  300GHz以上の実現可能性を検証する。

構築したパルスI-V特性(直流)とSパラメータとを同期させたパルスSパラメータ測定手法をデュアルゲートHEMT、InAlN/GaNバリアHEMTに適用し、従来構造との効果の違いを確認、検討する。また、これらの素子の増幅器特性を評価し、高利得化の効果を増幅器として確認する。さらに、ロードプル評価で特性を最大限引き出すための素子レイアウトを行いその効果を検証する。発熱評価に関しては、結晶性が従来のHEMTより劣る、また素子プロセスの影響を受けやすいInAlN/GaNバリアHEMTの局所リーク電流による発熱を観察する。

・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

トラップモデルのパラメータ抽出を実施し、100-300GHzで動作する短ゲートトランジスタまたはPAの3次相互変調歪(IM3)特性に関してモデルと実測の比較検証を実施する。さらに受動回路素子のモデルを作成し、小信号特性に関して実測とモデルの比較検証を実施する。上記のトラップを考慮したモデルを用い、300GHzパワーアンプの設計と特性予測を行う。また、ファウンダリーサービスにて試作可能なGaNトランジスタモデルを用いて設計した広帯域線形PA実現に向けた要素回路を試作評価し、設計妥当性の検証を行う。また、Beyond 5Gにおいて目指されている100Gbpsの通信をGaNパワーアンプの通信特性と通信システム全体性能の両面から検討するためのシミュレーションを行う。