

携帯電話スモールセル基地局用 プラスチックパッケージGaN HEMT

堀口健一* 岡村篤司**
藤原 茂** 長明健一郎**
小坂尚希**

Plastic Packaged GaN HEMT for Small-cell Base-station Applications

Kenichi Horiguchi, Shigeru Fujiwara, Naoki Kosaka, Atsushi Okamura, Kenichiro Chomei

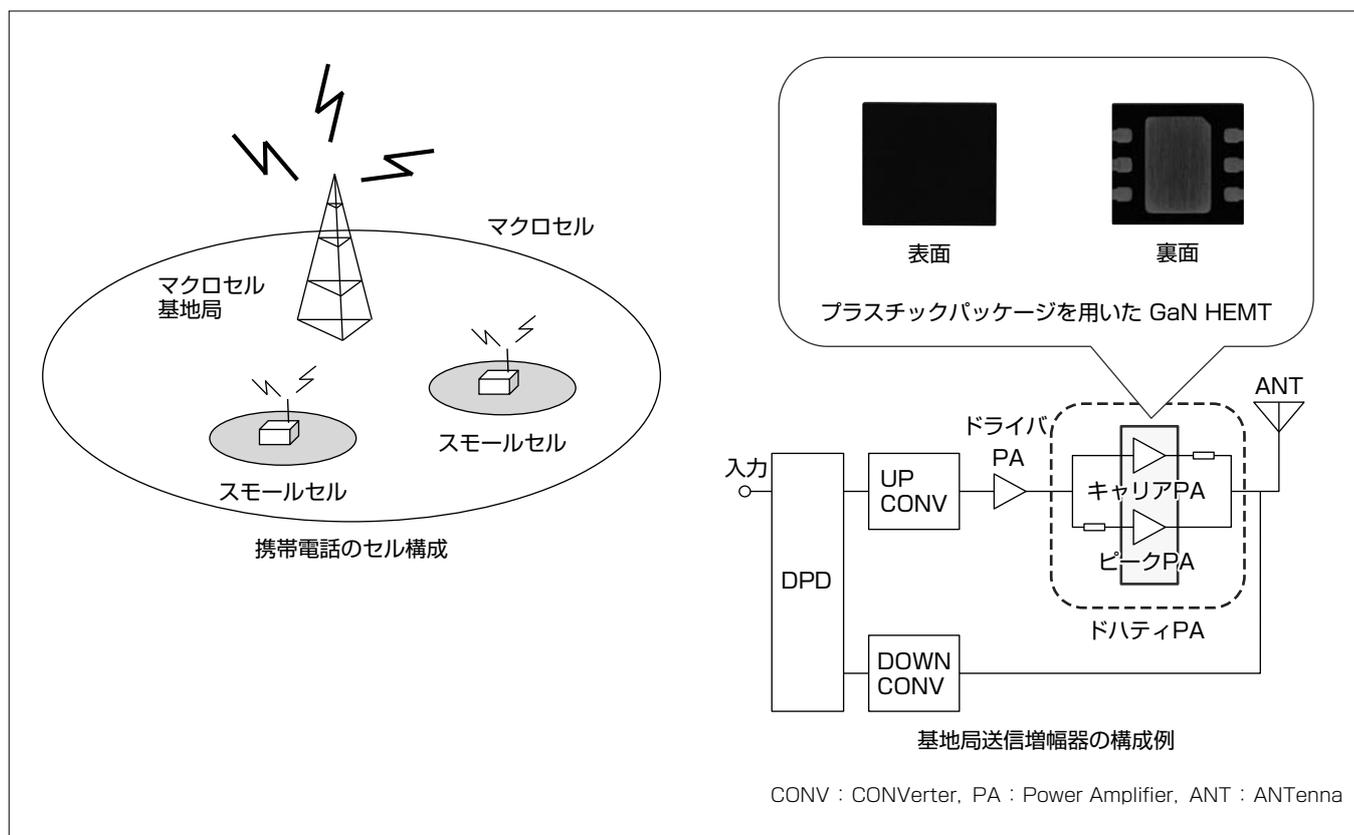
要 旨

携帯電話スモールセルはマクロセル基地局から電波が届きにくい不感帯での通信を安定化させることを目的に配置される。第4世代移动通信システムでは、このような従来の利用法に加えて、マクロセル内にスモールセルを多数配置することで無線トラフィックを拡大する手法も検討されている。スモールセル基地局は建物内外の様々な箇所に設置されるために小型で低コストであることが重要視され、放熱構造の簡略化とドライバ増幅器の段数削減のためにトランジスタには高効率化と高利得化が要求される。

トランジスタ製品の低コスト化へ向けた方策の1つとして、半導体チップを実装するパッケージを従来の金属製からプラスチックモールドへの置き換えが検討されている。

しかし、プラスチックパッケージ品では従来の金属パッケージ品と比較して高周波特性が低下する課題があった。

3.5GHz帯LTE(Long Term Evolution)スモールセル基地局向けにプラスチックパッケージを用いたGaN HEMT(Gallium Nitride High Electron Mobility Transistor)を開発した。入力及び出力整合を最適化することで、プラスチックパッケージ増幅器として世界最高レベルの効率及び利得特性を実現した。また、このトランジスタを用いてドハティ増幅器を構成し、DPD(Digital Pre-Distortion)ひずみ補償と組み合わせたときに周波数3.45~3.52GHzの70MHz帯域にわたってひずみ電力-50dBcの条件下でドレイン効率50%の良好な特性を得た。



携帯電話のセル構成及び基地局送信増幅器の構成例

第4世代移动通信システムでは、スモールセルを電波不感帯での通信安定化又は無線トラフィックを拡大するために利用することが検討されている。基地局送信増幅器では低消費電力化のためにドハティ増幅器がDPDひずみ補償とともに使用され、スモールセル基地局では効率及び利得に優れたGaN HEMTの低コスト化が強く期待されている。

1. ま え が き

携帯電話スモールセルはマクロセル基地局から電波が届きにくい不感帯での通信を安定化させることを目的に配置される。第4世代移動通信システムでは、このような従来の利用法に加えて、マクロセル内にスモールセルを多数配置し、マクロセルとスモールセルの周波数帯をキャリアアグリゲーションによって束ねることで無線トラフィックを拡大する手法も検討されている。スモールセル基地局は建物内外の壁や電柱など様々な箇所に設置されるため低コストであることが重要視され、放熱構造の簡略化とドライバ増幅器の段数削減のためにトランジスタには高効率化と高利得化が要求されている。

基地局用トランジスタ製品では、半導体チップを実装するパッケージコストの部材全体に占める割合が非常に高く、低コスト化へ向けた方策としてパッケージを従来の高価な金属製から安価なプラスチックモールドへの置き換えが検討されている。しかし、プラスチックパッケージ品では従来の金属パッケージ品と比較して高周波動作時に利得と効率が低下することが指摘されており⁽¹⁾、高周波帯でいかにトランジスタの性能を引き出すかが課題とされてきた。

本稿では、3.5GHz帯LTEスモールセル基地局向けにプラスチックパッケージを用いたGaN HEMTについて述べる。入力プリマッチ回路を用いた2段整合の採用及びGaN HEMTの出力ボンディングワイヤの長さを2倍高調波に対して最適化することで、プラスチックパッケージ増幅器として世界最高レベルの効率及び利得特性を実現した。このトランジスタを用いたドハティ増幅器によって3.5GHz帯で良好な効率及び利得特性を得た。

2. 設 計

図1に今回開発したプラスチックパッケージを用いたGaN HEMTの外観を示す。パッケージの外寸は6.6×7.2×0.55(mm)である。図2にパッケージの内部を示す。パッケージ内にGaAs(ガリウムヒ素) MIM(Metal Insulator Metal)容量とGaN(窒化ガリウム) HEMTの2対のチップを配置した。次に片側の1対のチップを用いて構成したユニット増幅器の出力整合回路及び入力整合回路の設計について述べる。

2.1 出力整合回路

図3に出力整合回路の構成を示す。整合回路はパッケージ内で構成されるプリマッチ回路と、パッケージ外の基板上で構成される外部整合回路から構成される。

図4に2倍波反射位相とドレイン効率の関係を示す。GaN HEMTチップとパッケージリードを結ぶボンディングワイヤを出力側のプリマッチ回路として使用し、ドレイン効率が最大となるようにGaN HEMTチップから出力負荷側を見た2倍高調波での反射位相を求め、実装時のワイ

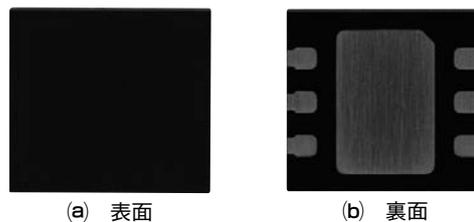


図1. プラスチックパッケージを用いたGaN HEMT

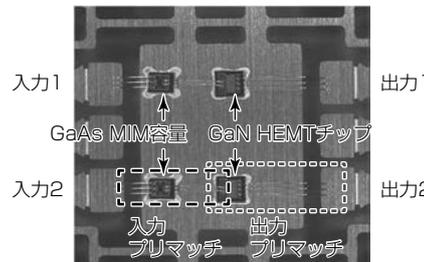


図2. パッケージの内部

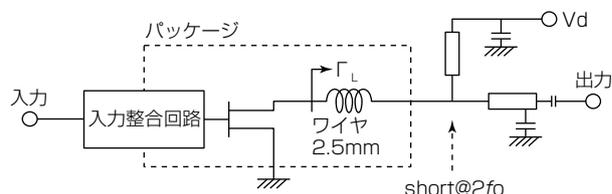


図3. 出力整合回路の構成

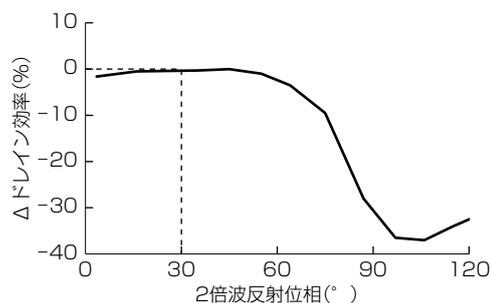


図4. 2倍波反射位相とドレイン効率の関係

ヤ長さを決定した。

2.2 入力整合回路

図5に入力整合回路の段数が1段及び2段のときの回路構成を示し、図6にそのときの基本波インピーダンスの変換軌跡を示す。1段整合回路ではゲート側バイアス回路接続点($\Gamma 2'$)のインピーダンスが低くなり、回路損失が増加する問題があった。このため今回の設計では、パッケージ内部で構成される入力プリマッチ回路にMIM容量を用いた2段整合を採用することでバイアス回路接続点($\Gamma 3$)の高インピーダンス化を図り、回路損失の低減を図った。

図7に入力整合の段数を1段及び2段にしたときの入力整合回路の挿入損失及びユニット増幅器の利得のシミュレーション結果を示す。整合回路の段数を1段から2段にすることで挿入損失が2 dB以上低減し、ユニット増幅器の利得が2 dB以上増加することが確認できる。

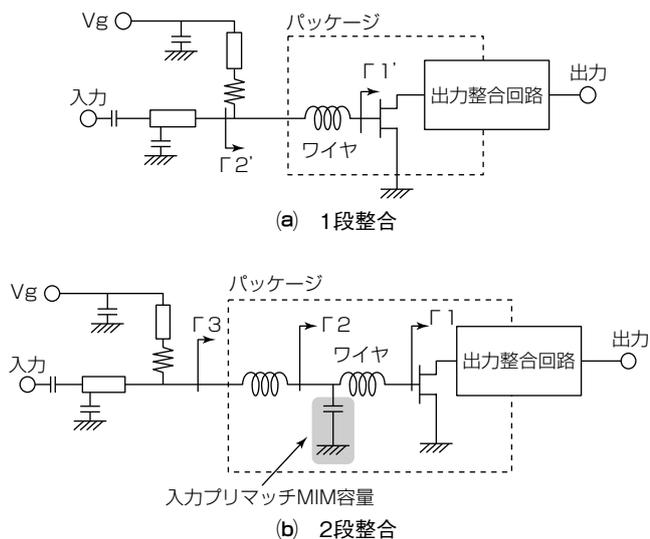


図5. 入力整合回路の構成

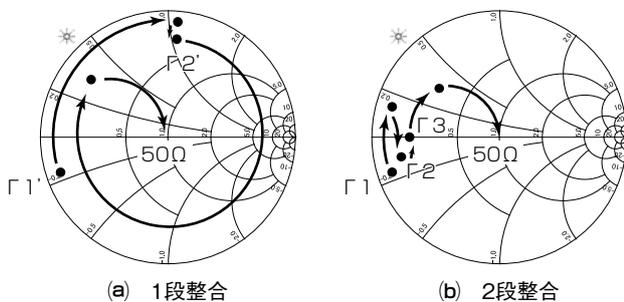
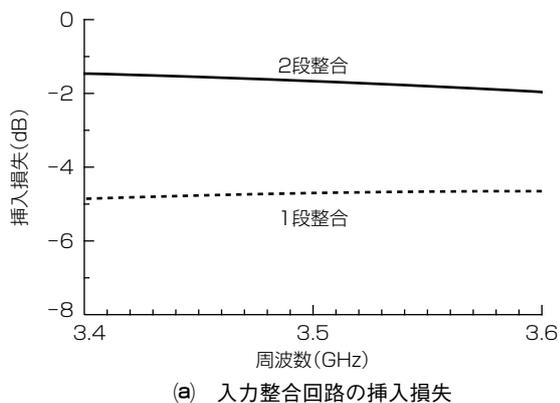
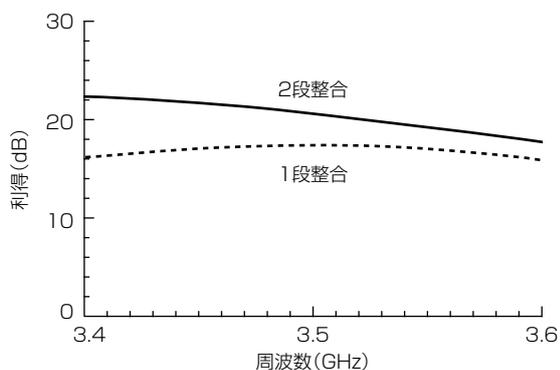


図6. 入力整合回路による基本波インピーダンスの変換軌跡



(a) 入力整合回路の挿入損失



(b) ユニット増幅器の利得

図7. 入力整合回路の挿入損失及びユニット増幅器の利得

3. 実験結果

3.1 ユニット増幅器

図8にユニット増幅器のドレイン効率及び利得特性を示す。周波数3.5GHz, デューティ比10%, パルス幅100μsのパルス信号を入力し, ゲート電圧をパルス信号に同期させてユニット増幅器をON/OFFさせたときの結果を示す。ドレイン電圧50V動作時に, 飽和電力40.2dBm, 飽和利得16.2dB, ドレイン効率66.3%の良好な試作結果を得た。

図9に3.0~3.6GHz帯10W級増幅器のドレイン効率及び飽和利得の性能比較を示す。今回試作したユニット増幅器は, 既発表のプラスチックパッケージ増幅器(2)(3)(4)(5)(6)(7)の中で最高レベルのドレイン効率及び飽和利得を実現している。

3.2 ドハティ増幅器

図10に携帯電話基地局での送信増幅器の構成例を示す。近年, 携帯電話基地局では低消費電力化と線形性確保の両

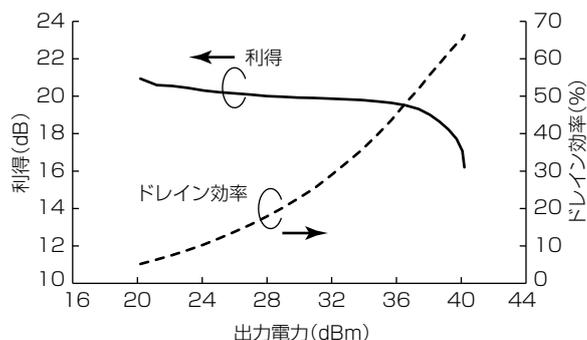


図8. ユニット増幅器のドレイン効率及び利得特性

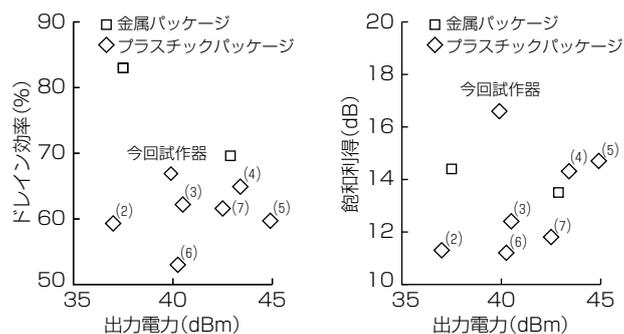


図9. 10W級増幅器のドレイン効率及び飽和利得の性能比較

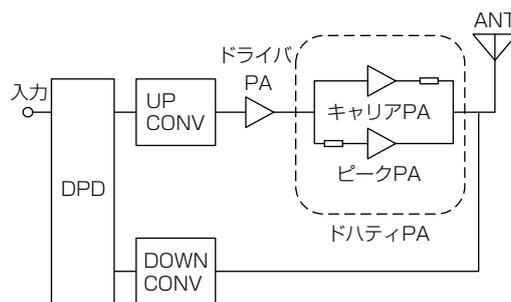


図10. 携帯電話基地局での送信増幅器の構成例

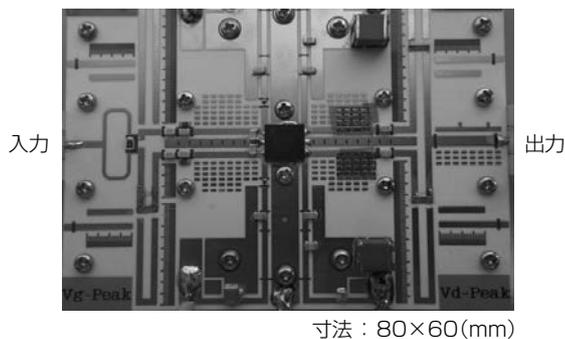


図11. 試作したドハティ増幅器

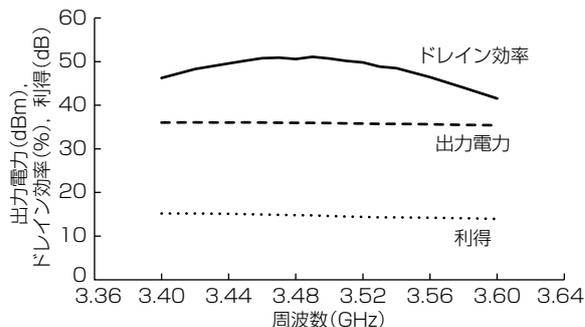


図13. ドハティ増幅器の効率及び線形利得の周波数特性

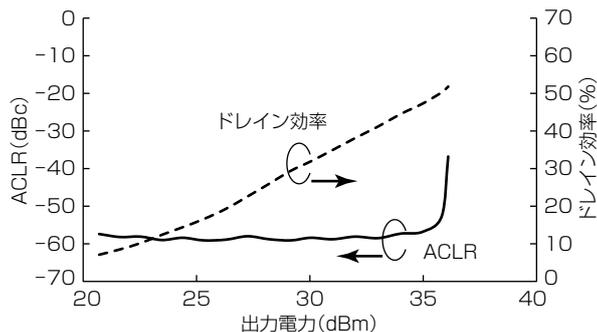


図12. ドハティ増幅器のひずみ電力及びドレイン効率特性

立を目指して、ドハティ増幅器とDPDひずみ補償を組み合わせて使用する構成が主流となりつつある。

図11に試作したドハティ増幅器の外観を示す。ドハティ増幅器はAB級動作のキャリア増幅器、C級動作のピーク増幅器及び1/4波長線路を用いた分配合成回路から構成される。今回の開発ではドハティ増幅器とDPDを組み合わせたときに線形性と消費電力のバランスが最適となるように、キャリア増幅器及びピーク増幅器の整合回路の最適化を行った。

図12にDPDと組み合わせたときのドハティ増幅器のひずみ電力及びドレイン効率特性を示す。ここでは、増幅器から発生するひずみ電力を表す指標としてACLR (Adjacent Channel Leakage power Ratio)を用いた。周波数3.5GHz、信号帯域幅20MHz、ピーク電力対アベレージ電力比7.5dBを持つLTE変調波を使用したときに、ACLR = -50dBcの条件下で出力電力36.0dBm、ドレイ

ン効率51.2%の結果を得た。図13にドハティ増幅器の効率及び線形利得の周波数特性を示す。DPDと組み合わせたときに周波数3.45~3.52GHzの70MHz帯域にわたってACLR = -50dBcの条件下でドレイン効率50%の良好な特性を得た。

4. む す び

3.5GHz帯LTEスモールセル基地局向けにプラスチックパッケージを用いたGaN HEMTを開発し、プラスチックパッケージ増幅器として世界最高レベルの効率及び利得性能を実現した。このトランジスタを用いてドハティ増幅器を設計・試作し、DPDと組み合わせたときに周波数3.45~3.52GHzの70MHz帯域にわたってひずみ電力-50dBcの条件下でドレイン効率50%の良好な特性を得た。

参 考 文 献

- (1) Therrien, R., et al.: A Comparison of AlGaIn/GaN HFETs on Si Substrates in Ceramic Air Cavity and Plastic Overmold Packages, 2007 IEEE MTT-S International Microwave Symposium, 635~638 (2007)
- (2) T1G3000532-SM Datasheet, TriQuint
- (3) TGF3015-SM Datasheet, TriQuint
- (4) TGF3021-SM Datasheet, TriQuint
- (5) T2G4003532-FL Datasheet, TriQuint
- (6) MAGX-000035-01000P, Datasheets, MACOM
- (7) MAGX-000035-01500P, Datasheets, MACOM