

Ku帯衛星通信用高利得・高出力内部整合型GaN HEMT

國井徹郎* 野田健一**
南出啓信* 小山英寿*
前原宏昭*

High Gain and High Power Internally Matched GaN HEMT for Ku-band Satellite Communications

Tetsuo Kunii, Hiroaki Minamide, Hiroaki Maehara, Kenichi Noda, Hidetoshi Koyama

要旨

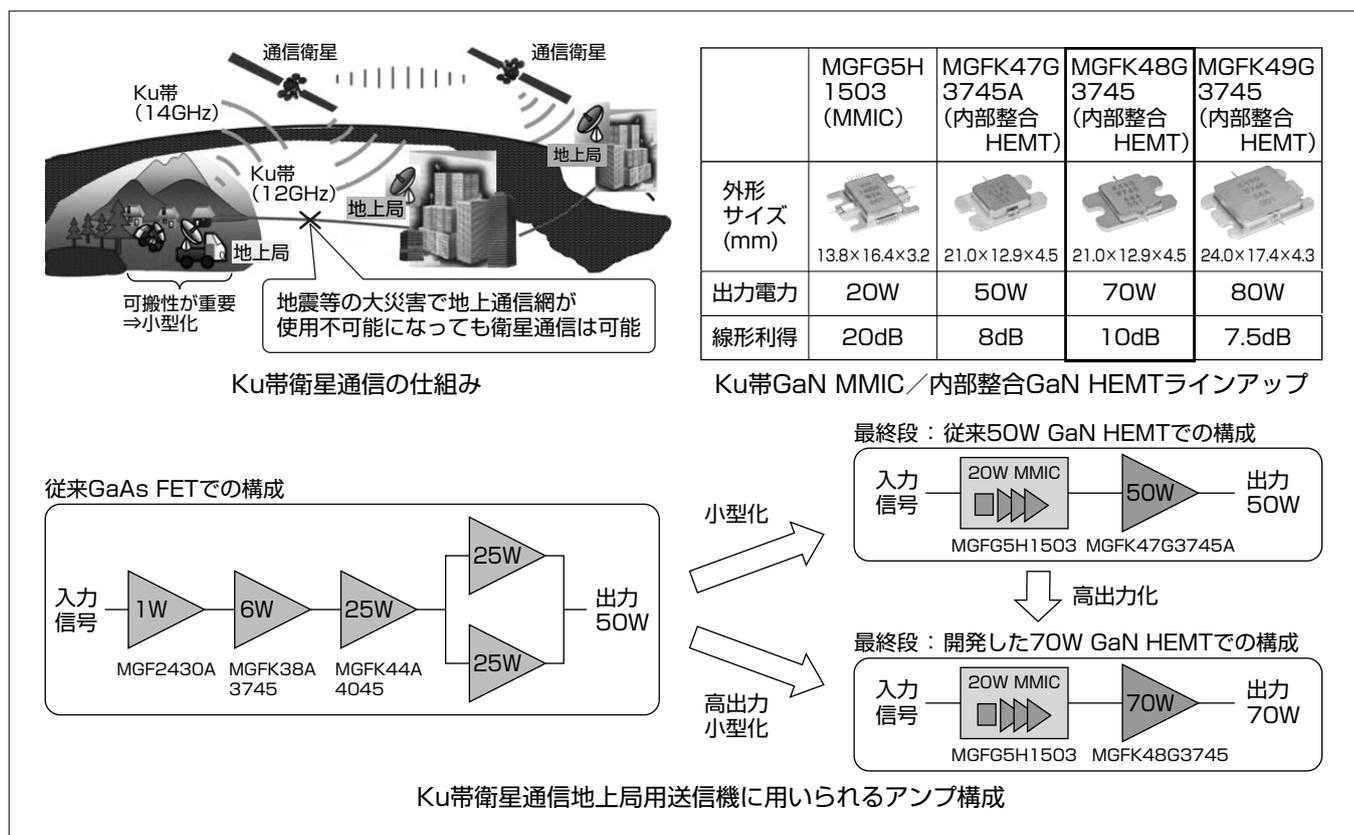
Ku帯衛星通信用送信機の高出力化、小型化要求に対応するため、三菱電機ではKu帯GaN HEMT(High Electron Mobility Transistor)MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit)(以下“GaN MMIC”という)と内部整合型GaN HEMTのラインアップ拡充を図っているが、今回、従来の50W内部整合型GaN HEMT“MGFK47G3745A”と同一パッケージサイズのまま高利得、高出力化を実現した70W内部整合型GaN HEMT“MGFK48G3745”を新たに製品化した。

ソースインダクタンスを低減するためにレイアウトを改良したGaN HEMTチップを採用することで、高利得化と高出力化を両立させ、14.125GHzで、飽和出力48.7dBm(74.1W)、線形利得12dB、電力付加効率(Power Added Efficiency : PAE) 35%の特性を得た。また、3次相互変調

歪(ひず)みIM3(3rd order InterModulation Distortion) = -25dBcを満足する時の出力電力(線形出力)は、45dBmである。

また、歪み特性改善のためにこの製品と既製品のリニアライザ内蔵の20W GaN MMIC“MGFG5H1503”をドライバ段として接続した状態では、47dBmの線形出力が得られた。この線形出力は、70W内部整合型GaN HEMT単体に比べ、約2dBの線形出力の改善を示した。

送信用アンプの構成を従来のGaAs(ガリウムヒ素)FET(Field Effect Transistor)から、このKu帯GaN(窒化ガリウム)ラインアップに置き換えることで、最終段合成数低減、段数低減、ドライバ段と最終段の電源電圧共通化による送信用アンプの高出力、小型化に貢献する。



Ku帯衛星通信の仕組みとKu帯GaN MMIC／内部整合型GaN HEMTラインアップ及びKu帯衛星通信地上局用送信機に用いられるアンプ構成

高速通信が可能なKu帯衛星通信の需要が拡大しており、通信容量の増大化に対応するため、衛星通信用送信機の高出力化、小型化が強く要求されている。三菱電機では、従来の50W内部整合型GaN HEMTと同一パッケージサイズのまま、出力を1.4倍の70Wに高出力化したKu帯70W内部整合型GaN HEMTを製品化し、Ku帯GaN MMIC／内部整合型GaN HEMTラインアップを拡充した。

1. ま え が き

近年、災害時の通信の確保や地上通信網の整備が地理的に難しい地域での通信手段として、高速通信可能なKu帯衛星通信の需要が拡大している。衛星通信市場では、通信容量の増大化、SNG(Satellite News Gathering)に代表される移動局の需要増加が進んでおり、そのために衛星通信地上局用送信機の高出力化、小型化が強く要求されている。

従来、送信機を構成するアンプ用素子としては、GaAs FETが用いられてきたが、絶縁破壊耐圧が低く高電圧動作ができないことから、更なる高出力化が困難という課題があった。三菱電機では、従来のGaAsに代わり、高絶縁破壊耐圧を持つ材料であるGaNを用いることで、高電圧動作化、高電力密度化を実現し、小型で高出力なアンプ用素子のラインアップ拡充を図っている。

本稿では、従来の50W内部整合型GaN HEMTと同サイズのパッケージを用い、内蔵するGaNチップの高出力化を図ることで世界最高レベルの出力を持つ70W内部整合型GaN HEMTの単体特性と、既に製品化済みのリニアライザ内蔵Ku帯20W GaN MMICに接続したアンプの特性について述べる。

2. 70W内部整合型GaN HEMTの特性

衛星通信地上局用の送信機用アンプを構成するドライバアンプ等は従来のまま、最終段のGaN HEMTだけを従来の50W GaN HEMTから置き換えるだけでアンプの高出力化を可能とするために、従来の50W内部整合型GaN HEMTと同一サイズのパッケージの採用と、従来よりも高い動作利得と出力電力の向上を目標にして、70W内部整合型GaN HEMTの開発を行った。

GaN HEMTの出力電力を向上させるためには、ゲート幅を拡大する必要があるが、図1に示すように、ゲート幅を拡大するとゲート抵抗(Rg)の増大やゲート幅当たりのソースインダクタンス(Ls)の増大によって、最大安定利

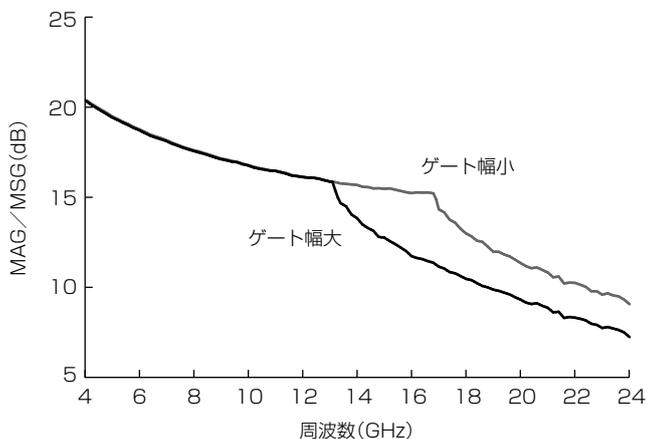


図1. トランジスタMAG/MSG特性のゲート幅依存性

得(MSG)から最大有能電力利得(MAG)に変換する周波数(fk)が低下し、所望の周波数帯域での利得が低下する問題が生じる。

そこで今回、チップレイアウト構造を変更することで、ゲート幅当たりのLsを低減し、fk向上に関する検討を行った。図2に従来と今回開発したGaN HEMTチップの単位セルのレイアウトを示す。GaN HEMTチップのトランジスタ部はゲートフィンガを介してソースフィンガとドレインフィンガが交互に並ぶマルチフィンガ構造となっており、従来のレイアウトでは、各ソース電極が接地されるソースビアは、ゲート側だけに配置されている(図2(a))。したがって、単位ゲート幅(Wgu)が大きくなるとソースフィンガ先端部で、ソースビアまでの距離が長くなるためLsが増大する。今回開発したレイアウト(図2(b))では、ソースフィンガ先端を連結し、ドレイン側にもソースビアを配置する構造を採用した⁽¹⁾。このレイアウトでは、各ソースフィンガの先端部でも、ソースビアまでの距離を従来レイアウトよりも短くでき、かつ単位セル当たりのビアの数が従来の2個から4個に増えることによって、単位セル当たりのソースビア部のLsを従来の約1/2に低減できる。

図3に従来のレイアウトと今回開発したレイアウトでの単位ゲート幅とfkの関係を示す。従来のレイアウトでは

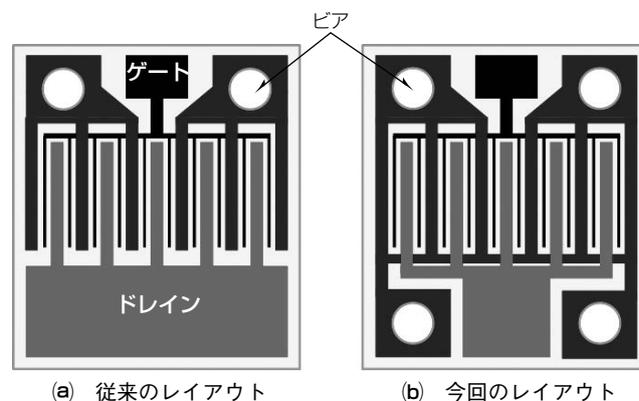


図2. GaN HEMTチップのレイアウト

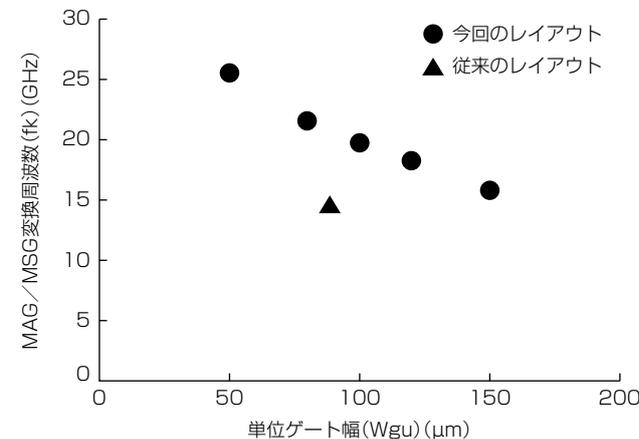


図3. MAG/MSG変換周波数(fk)と単位ゲート幅の関係

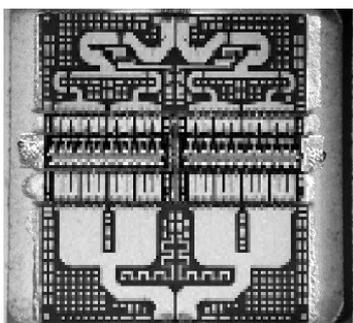


図4. Ku帯70W HEMT (MGFK48G3745)の構造

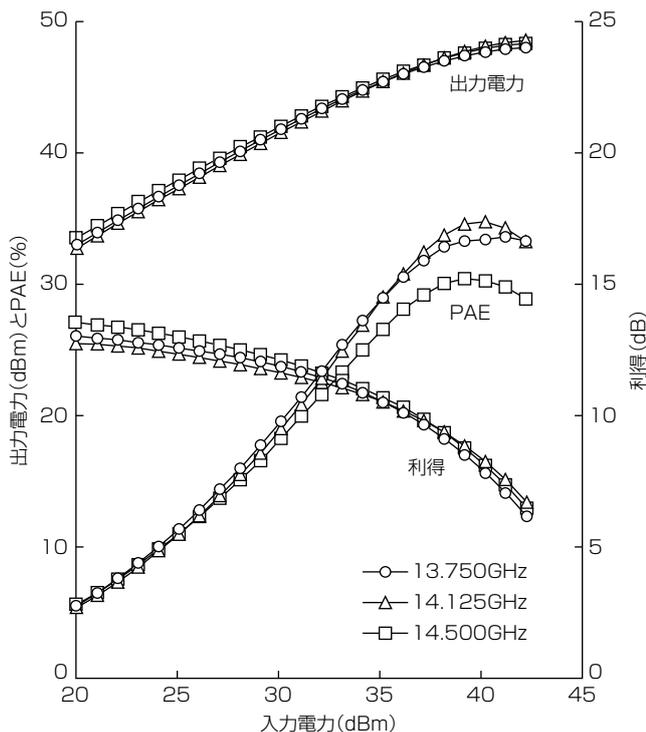


図5. Ku帯70W HEMT (MGFK48G3745)の入出力特性

$W_{gu} = 88\mu\text{m}$ で $f_k = 14.8\text{GHz}$ であったのに対し、今回レイアウトでは $W_{gu} = 150\mu\text{m}$ でも $f_k = 15.8\text{GHz}$ と、 W_{gu} を長くしても f_k を向上できることを確認し、Ku帯用トランジスタとして十分な利得の向上が期待できる。

図4にこのレイアウトを採用したGaN HEMTチップを用いた70W内部整合型GaN HEMTのパッケージ内部構造写真を示す。パッケージ中央部にGaN HEMTチップを並列に2チップ配置し、各单位セルを整合基板上に形成したトーナメント型の合成回路で結合し、入力側は利得整合、出力側は出力整合となるよう回路定数を最適化した。

図5にこの構成で開発したKu帯70W内部整合型GaN HEMT (MGFK48G3745)の入出力特性評価結果を示す。周波数14.125GHzで、飽和出力48.7dBm (74.1W)、線形利得12dB、電力付加効率(Power Added Efficiency: PAE) 35%の良好な特性を得た。新チップレイアウトを採用することで、高利得化と高出力化の両立が実現でき、従来の50W内部整合GaN HEMTに比べ、出力で約40%、線形利

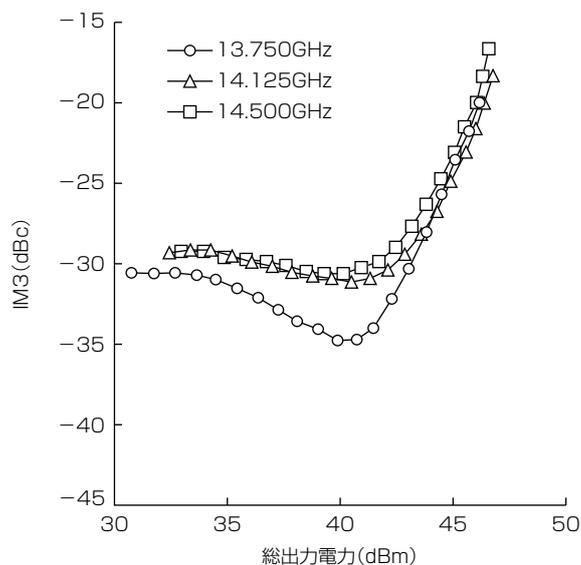


図6. Ku帯70W HEMT (MGFK48G3745)のIM3特性

得で約2 dBの特性向上を図ることができた。

図6にこのGaN HEMTの3次相互変調歪(IM3)特性を示す。衛星通信地上局として通信品質を確保するために要求される $\text{IM3} = -25\text{dBc}$ を満足する時の出力電力(線形出力)は、45dBmであり、小型パッケージを用いた製品として世界最高レベルの飽和出力と線形出力が得られた。

3. 20W GaN MMICと組み合わせた特性

GaN HEMTは、送信機の高出力化、小型化を実現する上で大変有望な素子であるが、ソフトコンプレッションと呼ばれる、飽和出力に達するよりも低い出力領域で利得低下が始まってしまふ特性を持つ。GaN HEMTを連結して多段アンプに用いる場合、各段のGaN HEMTのソフトコンプレッション特性が重ね合わさることで、アンプ全体の利得の線形性が著しく低い出力レベルから低下し、その結果、IM3のような歪み特性が劣化するという課題があった。

この課題を解決するため、ドライバ段用に歪み特性改善のためのリニアライザを内蔵したGaN MMIC (MGFG5H1503)を既に製品化しており、従来の50W内部整合型GaN HEMT (MGFK47G3745A)と連結したアンプで、歪み特性改善効果を実証している⁽²⁾。今回、このリニアライザ内蔵GaN MMICと新たに開発した70W内部整合型GaN HEMT (MGFK48G3745)を連結したアンプの評価治具も作製した。

アンプの構成図と外観写真を図7に示す。入出力端子とアンプの間、及びアンプ間は、アルミナ基板上に設けた50Ω線路で接続し、その両側にバイアス回路を設けた樹脂性基板を配置し、基板の下部にはアルミ製ヒートシンクを設け、動作時の発熱を抑制した。

図8に、このアンプの入出力特性評価結果を示す。周波数14.125GHzで、飽和出力48.7dBm (74.1W)、線形利

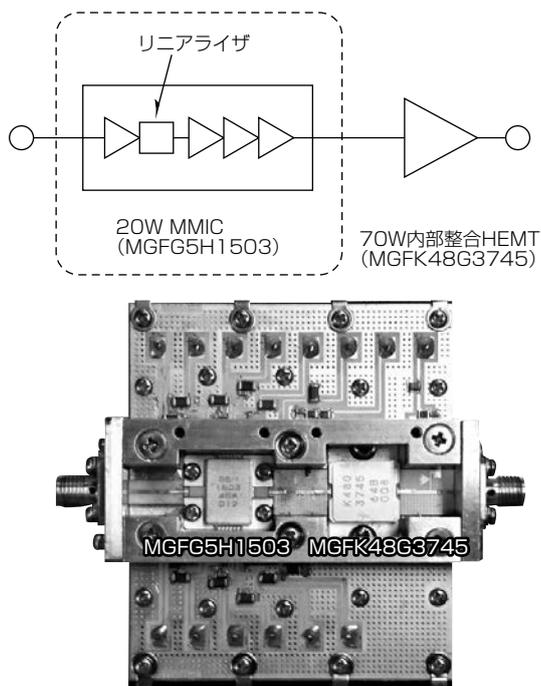


図7. MGFG5H1503とMGFK48G3745を連結したアンプの構成図と外観

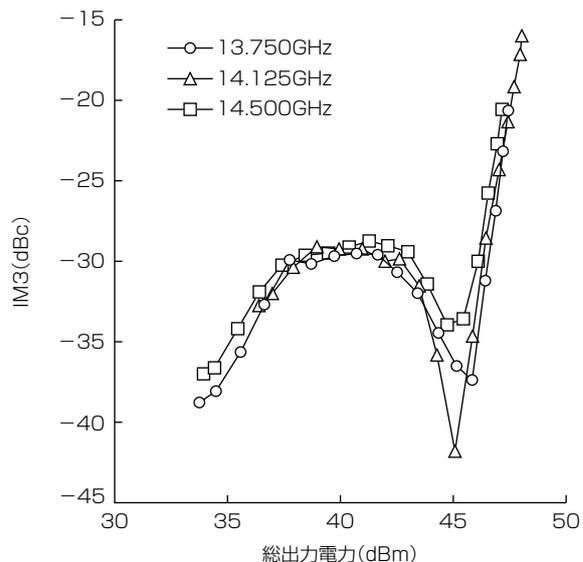


図9. GaN MMICとGaN HEMTを連結したアンプのIM3特性

コンプレッション現象による歪み特性劣化を抑制し、低歪み特性、高線形出力特性を持つGaN HEMT多段アンプを実現できた。

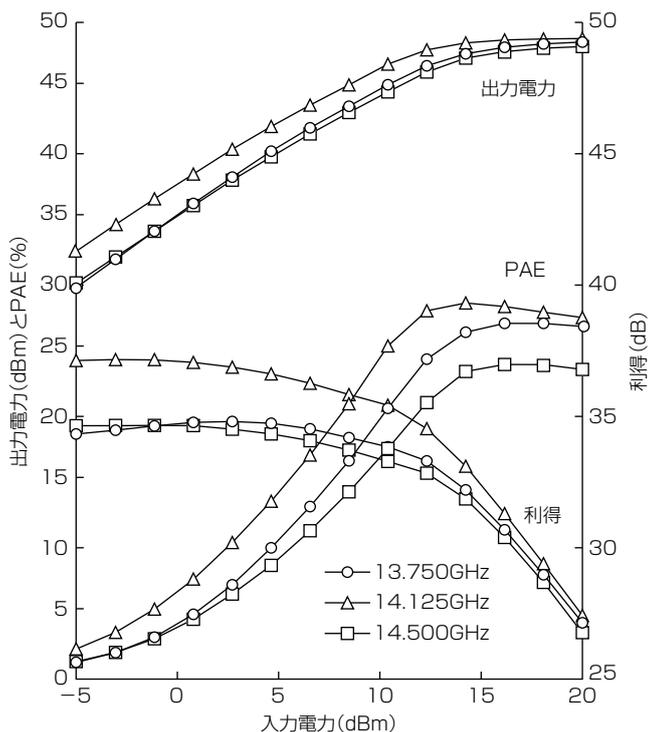


図8. GaN MMICとGaN HEMTを連結したアンプの入出力特性

得37dB, PAE28%の特性を得た。また、図9に示すように、 $IM3 = -25dBc$ を満足する線形出力は、47dBmと70W GaN HEMT単体に比べ、約2dBの線形出力向上を実現した。リニアライザ内蔵GaN MMICをドライバ段に採用することで、GaN HEMT多段アンプの課題であったソフト

4. む す び

Ku帯衛星通信地上局用増幅素子として、従来の50W GaN HEMTと同一サイズのパッケージで世界最高レベルの出力の70W内部整合型GaN HEMT(MGFK48G3745)を製品化した。また、リニアライザ内蔵GaN MMIC(MGFG5H1503)と70W内部整合型GaN HEMTを連結したアンプを試作し、GaN HEMT特有のソフトコンプレッション特性を抑制した結果、70W内部整合型GaN HEMT単体に比べ、約2dBの線形出力向上を実現した。これらKu帯GaN素子ラインアップで、衛星通信用送信機の高出力、小型化に貢献する。

なお、今回開発した製品は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のイノベーション実用化助成事業の成果の一部を活用している。

参 考 文 献

- (1) Imai, S., et al.: A 2.6GHzBand 78W Doherty Power Amplifier with GaN HEMT Unit-Cell Structure Robust for Layout-Dependent Loop Oscillation, 2016 European Microwave Conference, Dig. 2016
- (2) Kanaya, K., et al.: A Ku-band 20W GaN-MMIC Amplifier with Built-in Linearizer, 2014 IEEE MTT-S International Microwave Symposium, Dig. (2014)