

前原宏昭\* 小山英寿\*\*  
能登一二三\* 小柳元良\*\*  
尾上和之\*\*

# Ku帯100W出力GaN HEMT増幅器

*Ku-Band GaN HEMT Amplifier with 100W Output Power*

*Hiroaki Maehara, Hifumi Noto, Kazuyuki Onoe, Hidetoshi Koyama, Motoyoshi Koyanagi*

## 要旨

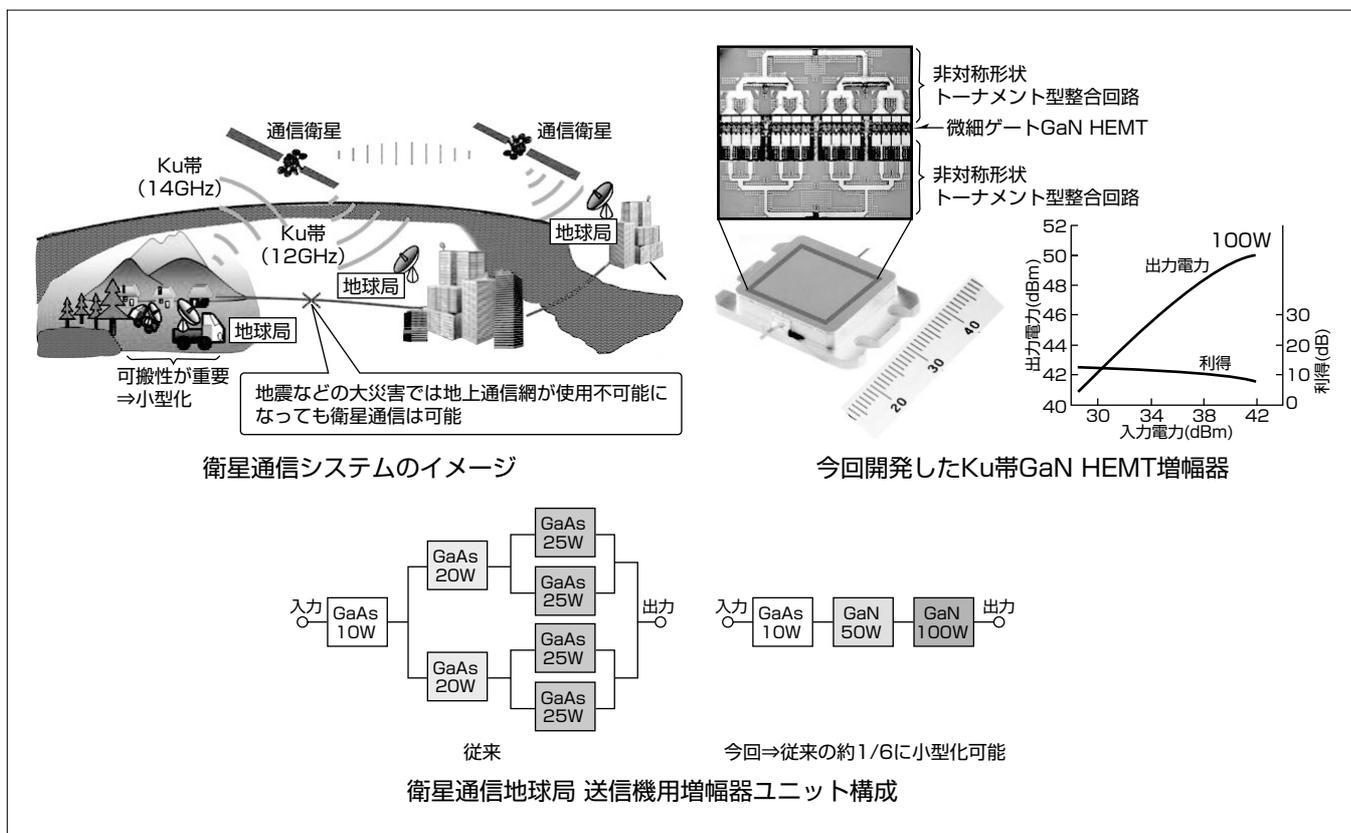
地震などの災害に対する近年の意識の高まりを受けて、非常時に地上通信網が使用不可能となった場合でも通信を確保できる衛星通信が改めて注目されている。衛星通信では主としてC帯(4~8GHz)とKu帯(12.4~18GHz)が用いられ、同周波数帯における送信用増幅器としては従来はGaAs半導体からなる固体増幅器(SSPA)、又は進行波管増幅器(TWTA)が主として用いられてきた。しかし、SSPAは出力電力が数10W程度にとどまっておられ、また、TWTAは寸法や質量が大きくなってしまいう問題があった。そこで近年、GaAs半導体に比べて高電圧動作と高出力化が可能なGaN半導体に関する研究開発が盛んであり、三菱電機では主としてX帯(8~12.4GHz)以下の周波数を対象としたGaN HEMT(Gallium Nitride High Electron Mobility

Transistor)増幅器を開発してきたが、先に述べたKu帯衛星通信に向けた動作周波数の高周波化が求められていた。

そこで今回、ゲート微細化プロセスを用いた当社製GaN HEMTと低損失なトーナメント型整合回路をパッケージに封止したKu帯内部整合GaN HEMT増幅器を開発し、14GHz帯で世界最高<sup>(注1)</sup>の出力電力100Wを得た。

同増幅器によって従来のGaAs増幅器とほぼ同等の寸法で約4倍の出力電力が得られるため、VSAT(Very Small Aperture Terminal:超小型アンテナを用いた可搬型の衛星通信地球局)やSNG(Satellite News Gathering:通信衛星による放送番組素材収集システム)などの各種衛星通信地球局の小型化、可搬性向上を図ることが可能となる。

(注1) 2012年4月25日現在、当社調べ



## 衛星通信システムのイメージ、今回開発したKu帯GaN HEMT増幅器と送信機用増幅器ユニットの小型化効果

微細ゲートGaN HEMTと非対称形状トーナメント型整合回路によって、Ku帯で世界最高出力100Wを達成した。同増幅器によって衛星通信地球局の送信機用増幅器ユニットの寸法を従来の約1/6にすることができる。

### 1. ま え が き

地震などの災害に対する近年の意識の高まりを受けて、非常時に地上通信網が使用不可能となった場合でも通信を確保できる衛星通信が改めて注目されている。衛星通信では主としてC帯(4~8GHz)とKu帯(12.4~18GHz)が用いられ、同周波数帯における送信用増幅器としては従来はGaAsからなる固体増幅器(SSPA)、又は進行波管増幅器(TWTA)が主として用いられてきた。しかし、SSPAは出力電力が数10W程度にとどまっております、また、TWTAは寸法や質量が大きくなってしまいう問題があった。そこで近年、GaAs半導体に比べて高電圧動作と高出力化が可能なGaN半導体に関する研究開発が盛んであり<sup>(1)(2)(3)</sup>、当社では衛星通信地球局用のC帯100W出力GaN HEMT増幅器のサンプル出荷を既に始めている<sup>(4)</sup>。しかし当社のGaN増幅器の開発は従来X帯(8~12.4GHz)以下の周波数を主な対象としており、先に述べたKu帯衛星通信に向けた動作周波数の高周波化が求められていた。

そこで今回、当社製GaN HEMTとトーナメント型整合回路を組み合わせたKu帯内部整合GaN HEMT増幅器を開発し、14GHz帯で世界最高の出力電力100Wを得たのでその詳細について述べる。同増幅器によって従来のGaAs増幅器とほぼ同等の寸法で約4倍の出力電力が得られるため、VSATやSNG等の各種衛星通信地球局の小型化、可搬性向上を図ることが可能となる。

### 2. GaNトランジスタのゲート微細化

GaN増幅器の動作周波数の高周波化に向けては、GaN HEMTのゲート微細化、すなわちゲート長 $L_g$ の低減が重要であり、今回の開発ではRELACS(Resolution Enhancement Lithography Assisted by Chemical Shrink)と呼ばれるゲート形成プロセスによってゲート微細化を図っている<sup>(5)(6)</sup>。図1にRELACSプロセスによる短ゲート電極形成フローを示す。熱硬化性を持つレジスト剤を用いることで、量産性に優れた安価で安定性の高いレジストパターン形成技術による微細ゲート加工を可能としており、同プロセスによってゲート長 $L_g=0.25\mu\text{m}$ を実現した。

### 3. Ku帯内部整合GaN HEMT増幅器

2章で述べたGaN HEMTとトーナメント型整合回路を金属パッケージに封止した内部整合GaN HEMT増幅器を開発した。図2に今回開発したKu帯内部整合GaN HEMT増幅器を示す。外形寸法24×17.4×3.9(mm)の金属パッケージにGaN HEMTチップを計4個収納しており、その入力側及び出力側にセラミック基板からなるトーナメント型のインピーダンス整合回路(電力分配合成回路)を接続している。今回、Ku帯という高い周波数で増幅器の特性を確

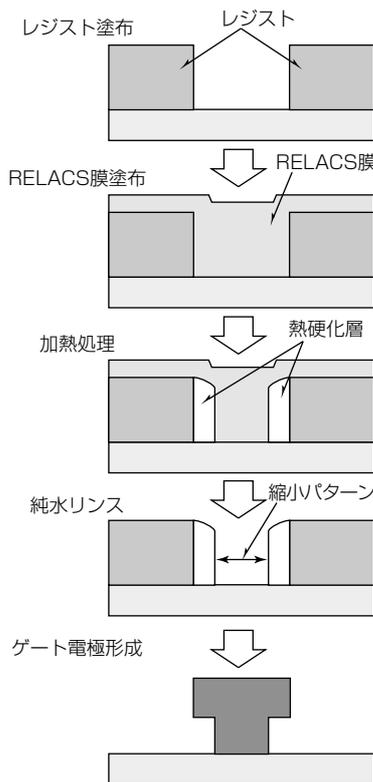


図1. RELACSプロセスによる短ゲート電極形成フロー

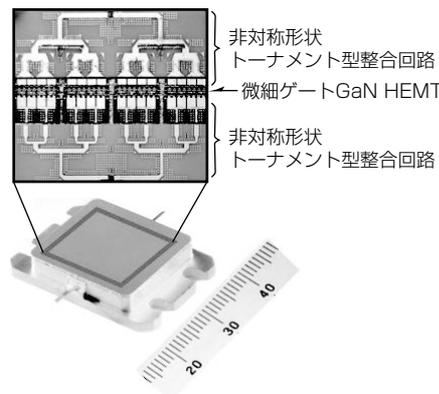


図2. 今回開発したKu帯内部整合GaN HEMT増幅器

保するために、先に述べたGaN HEMTのゲート微細化と併せて、当社独自のトーナメント型整合回路を開発した。図3に今回開発した非対称形状トーナメント型整合回路の構造を示す。従来のトーナメント型整合回路としては同図(a)に示すような対称形状からなる回路を用いていたが、図2に示すような内部整合増幅器では小型なパッケージに整合回路を収納する必要があるため回路を構成する伝送線路の曲がり(バンド)が不可避となり、その際に同図に示すようにトーナメント整合回路への入力信号が等合成されなくなってしまう問題が生じる。このことは、図中の(IN1)-(OUT)の経路に比べて(IN2)-(OUT)の経路の方がより急なカーブを持つため(IN2)-(OUT)の経路の方が電磁波がより伝搬しにくくなると考えると直感的に理解できる。

そこで今回開発した増幅器では、図3(b)に示すように構造的には非対称性を持つトーナメント型整合回路とし、2つの入力信号が等振幅かつ等位相で合成されるよう電磁界解析に基づきその構造を最適化している。

図4に、今回開発した増幅器の入出力特性を示す。Ku帯の周波数14GHzで出力電力100W(50dBm)を実現している。表1に従来の当社製14GHz帯GaAs/GaN増幅器との

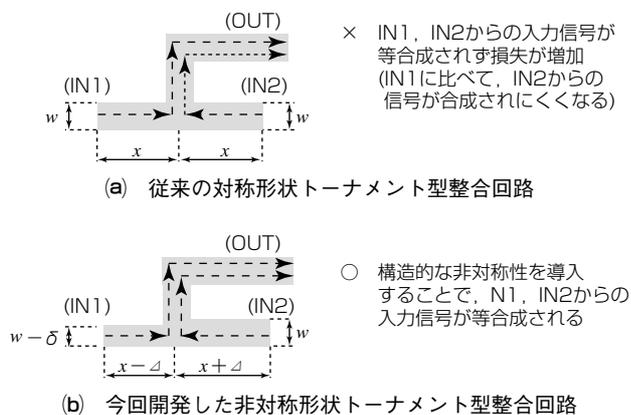


図3. トーナメント型整合回路の構造

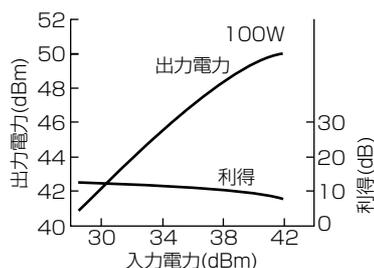


図4. 今回開発したKu帯内部整合GaN HEMT増幅器の入出力特性(周波数14GHz)

表1. 当社製14GHzGaAs/GaN増幅器の特性比較

		出力電力	利得
今回開発	GaN増幅器	100W	8dB
従来(当社)	GaN増幅器	62W	8dB
	GaAs増幅器	25W	5dB

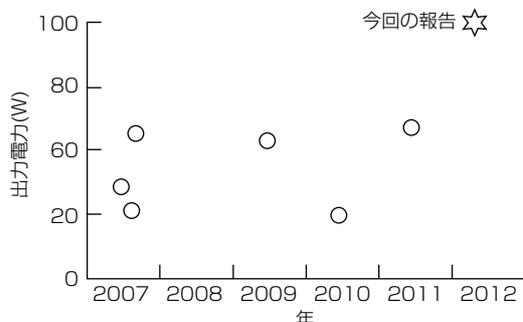


図5. 動作周波数14GHz以上のGaN増幅器の出力電力に関する報告例の変遷

出力電力、利得に関する比較を、また図5に動作周波数14GHz以上のGaN増幅器の出力電力に関する報告例の変遷を示す。今回開発した内部整合GaN HEMT増幅器によって、従来比で約4倍(対GaAs)、約2倍(対GaN)の出力電力を得ており、それは世界最高レベルの特性であることが分かる。

#### 4. む す び

衛星通信地球局の送信用増幅器に向けたKu帯内部整合GaN HEMT増幅器の開発結果について述べた。RELACSプロセスによるGaN HEMTのゲート微細化、非対称形状トーナメント型整合回路による回路損失の低減によって、14GHz帯で世界最高の出力電力100Wを達成した。同増幅器によって従来のGaAs増幅器の約4倍の出力電力が得られ、外付けの電力分配合成回路が不要となることから、衛星通信地球局の送信用増幅器の寸法を従来の約1/6にでき送信装置の小型化、可搬性向上が可能となる。

#### 参 考 文 献

- Otsuka, H., et al.: Over 57% efficiency C-band GaN HEMT High Power Amplifier with Internal Harmonic Manipulation Circuits, 2006 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, 311~314 (2008)
- Kuwata, E., et al.: C-Ku Band 120% Relative Bandwidth High Efficiency High Power Amplifier Using GaN HEMT, 2009 Asia Pacific Microwave Conference Digest, 1663~1666 (2009)
- Uchida, H., et al.: An X-Band 50W-Output/30%-PAE GaN Power Amplifier with Bandwidth/Ripple-Optimized Bandpass Impedance-Matching Networks, 2010 IEEE Compound Semiconductor Integrated Circuit Symposium, 1~4 (2010)
- 三菱電機株式会社: 「衛星通信用C帯100W GaN HEMT」発売のお知らせ, ニュースリリース (2011) <http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2011/1129-b.html>
- Ishibashi, T., et al.: Advanced Micro-Lithography Process with Chemical Shrink Technology, 2001 Jpn. J. Appl. Phys.Part1, 40, 419~425 (2001)
- Koyama, H., et al.: A 0.25 μm Gate AlGaN/GaN HEMT for X-band Using RELACS Process, 2012 International Conference on Solid State Devices and Materials, F-2-2 (2012)