

X帯25 W級小型電力増幅モジュール

Small-Package X-Band 25 W-Class Power Amplifier Module

森谷 修 松下 景一 高木 一考

■ MORIYA Osamu ■ MATSUSHITA Keiichi ■ TAKAGI Kazutaka

東芝は、気象レーダなどの固体化電力増幅器向けに、X帯（8～12 GHz）の窒化ガリウム（GaN）高電子移動度トランジスタ（HEMT）技術を用いた高出力電力増幅素子を開発している。

この固体化電力増幅器を小型化するには、小型パッケージの高利得かつ高効率な電力増幅モジュールを開発する必要がある。そこで当社は、2段のGaN HEMTチップとそのバイアス回路を内蔵した、25 W級小型電力増幅モジュールを開発した。この電力増幅モジュールが帯域9.3～10.3 GHzにおいて、利得20.3 dB以上で、電力付加効率35.8%以上という十分な特性を備えていることを確認した。

Solid-state power amplifiers (SSPAs) are used in X-band (8-12 GHz) weather radar systems. Toshiba has been developing high-power discrete power amplifier devices using gallium nitride (GaN) high electron mobility transistor (HEMT) technology. A small-package power amplifier module with high gain and high efficiency has been a focus of expectations to contribute to reductions in the size of next-generation weather radar systems.

We have therefore developed a small-package 25 W-class power amplifier module containing two GaN HEMT chips in series and bias circuits within a conventional package. This module achieves satisfactory characteristics of more than 20.3 dB gain and 35.8% power-added efficiency (PAE) in the 9.3 to 10.3 GHz band.

1 まえがき

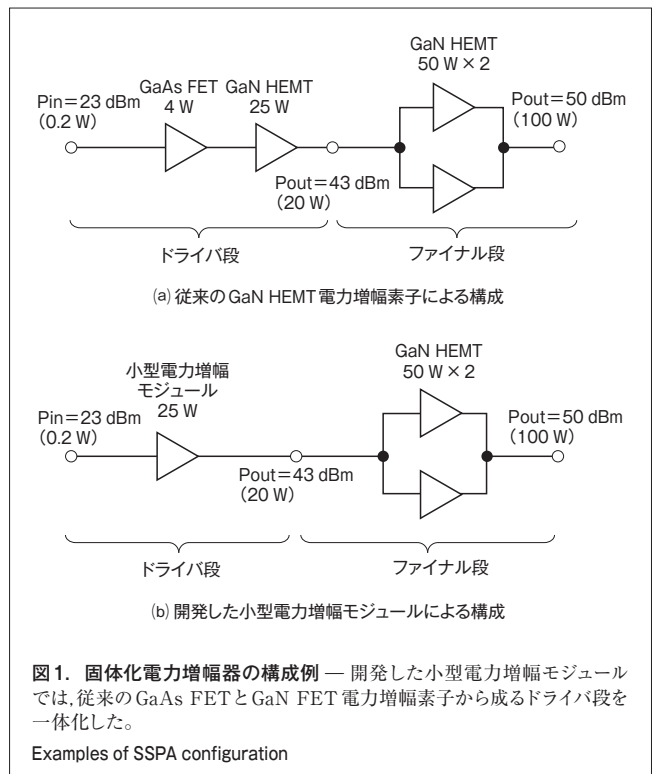
東芝は、気象レーダなどの固体化電力増幅器に使用される電力増幅素子として、これまでX帯（8～12 GHz）高出力窒化ガリウム（GaN）高電子移動度トランジスタ（HEMT）電力増幅素子などの開発を進めてきた⁽¹⁾。

固体化電力増幅器では、信号源から出力最終段（ファイナル段）までの信号増幅に必要な利得を確保するために、電力増幅素子を多段に接続した回路構成が採られている。このような固体化電力増幅器を小型化するため、当社は、従来のGaN HEMT電力増幅素子と同じパッケージサイズで高利得かつ高効率な特性を持つ小型電力増幅モジュールを新たに開発した⁽²⁾。

ここでは、開発した小型電力増幅モジュールの要求仕様、設計内容、設計結果、及び特性評価について述べる。

2 小型電力増幅モジュールの要求仕様

出力100 Wの固体化電力増幅器の構成例を図1に示す。図1(a)は従来の電力増幅素子を使った構成で、ファイナル段に50 W GaN HEMT電力増幅素子、ドライバ段に25 W GaN HEMT電力増幅素子と4 Wヒ化ガリウム（GaAs）電界効果トランジスタ（FET）電力増幅素子を使用している。これに対して今回の構成では、図1(b)に示すように従来の25 W GaN



HEMT電力増幅素子と同じパッケージサイズで、4 W電力増幅素子も含めた高利得・高効率動作を実現させたいとの要求があった。主要要求仕様を表1に示す。

表 1. 小型電力増幅モジュールの要求仕様

Target specifications of power amplifier module

項目	仕様
周波数	9.3 ~ 10.3 GHz
ドレイン電圧	24 V
入力電力	23 dBm (0.2 W)
利得	20 dB以上
出力電力	43.0 dBm (20 W)以上
電力付加効率	35%以上
パッケージサイズ	12.9 (縦) × 21.0 (横) mm
その他	バイアス回路内蔵

3 設計方針

要求仕様を実現するために、以下の三つのモジュール構成を比較、検討した。

- (1) GaAs MMIC (Monolithic Microwave IC) による構成
従来のGaAs MMICの出力は最大数W程度しかないので、出力が不足する
- (2) GaN MMICによる構成
要求仕様を実現できるが、開発期間が長くなる
- (3) GaN HEMTによるハイブリッド構成
増幅部をGaN HEMTチップの2段構成とし、それ以外はアルミナ基板や高誘電率基板を用いて、短期間で開発する

これらの検討結果から、今回は(3)のGaN HEMTによるハイブリッド構成で設計を進めることにした。

4 設計概要

要求仕様に基づいて、次に述べる3項目を中心に設計を進めた。

4.1 回路配置設計

まず、2段構成の増幅回路を従来のパッケージサイズに収めるための回路配置設計を行った。

各段の回路を直線状に接続して配置した場合、図2(a)に示すように回路全体が長方形になり、要求されるパッケージサイズに収まらない。そこで、図2(b)に示すように回路全体をS字状に配置し、前段と後段のチップを横に並べることで、要求されるパッケージサイズ内に必要な回路を全て収めた。

その際、バイアス回路や整合回路が近接するため、回路間の結合による不安定動作を避ける必要がある。このため設計にあたって、電磁界シミュレーションを用いて不安定動作の要因を回避するように、それらの回路の配置設計を行った。

4.2 各段のチップサイズ設計

次に、必要な出力電力と利得を満足し、かつ高効率を実現するように各段のチップサイズ設計を行った。

後段チップは、必要な出力特性から従来の25 W級GaN

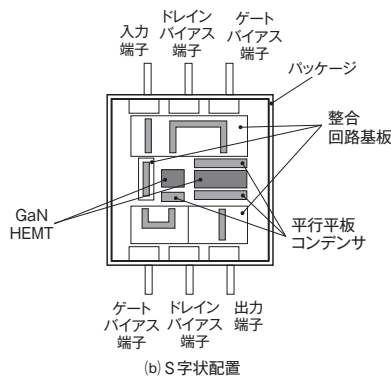
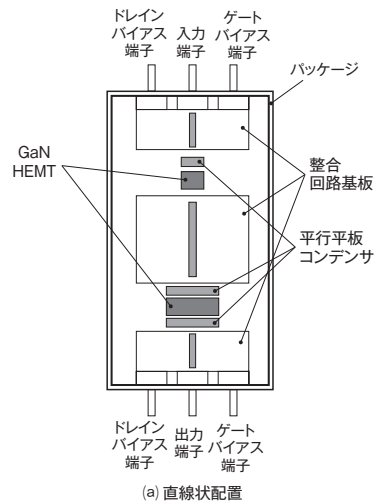
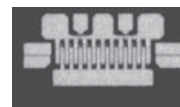
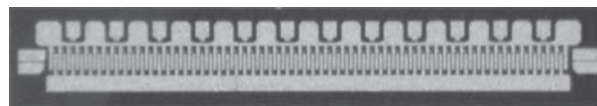


図2. 小型電力増幅モジュールの内部回路配置例 — 前段と後段直線状に配置すると全体が長方形となり面積が大きくなるため、S字状に配置することで面積を小さくした。

Examples of inside circuit layout of power amplifier module



(a) 前段チップ



(b) 後段チップ

図3. 各段のGaN HEMTチップ — 前段にはゲート幅2 mmのチップを、後段には従来の25 Wチップを使用した。

First-stage and last-stage GaN HEMT chips

HEMT電力増幅素子に使われているチップと同じゲート幅12 mmのチップを使用した(図3(b))。

また、前段チップのゲート幅はモジュールの効率を上げるため最小限にした。前段と後段間の損失0.5 dB、後段の利得9 dBとして、前段に必要な出力電力35.5 dBmと利得11.5 dB

を両立できる最小限のゲート幅2 mmのチップを使用した(図3(a))。

4.3 各段の整合回路設計

最後に、高利得かつ高効率という性能を実現するための整合回路設計を行った。

GaN HEMTチップは、要求される出力電力や、電力付加効率、利得などの条件によって整合回路のインピーダンス条件が異なるため、要求仕様を満足するように各段の整合回路を決定した。

チップの消費電力はほぼゲート幅に比例するため、モジュール全体の消費電力の約6/7を後段が占めている。モジュール全体の効率を向上させるため、後段出力側の整合回路は、後段のGaN HEMTチップが高効率になる整合条件に合わせた。

一方、前段は、後段をドライブする条件において高利得で動作させることが有効である。このため、前段出力側の整合回路は、前段のGaN HEMTチップが高利得になる整合条件に合わせた。

5 設計結果

今回開発した25 W級小型電力増幅モジュールと、従来の25 W級GaN HEMT電力増幅素子の外観を図4に示す。従来と同じ12.9 (縦) × 21.0 (横) mmのパッケージに50 Ωに整合した入出力端子を配置した。また、バイアス回路も内蔵しているので、バイアス端子を前段・後段用にそれぞれ2本ずつ追加した。

両者の性能比較を表2に示す。今回開発した電力増幅モジュールは、従来と同じパッケージサイズで高利得かつ高効率を実現していることがわかる。

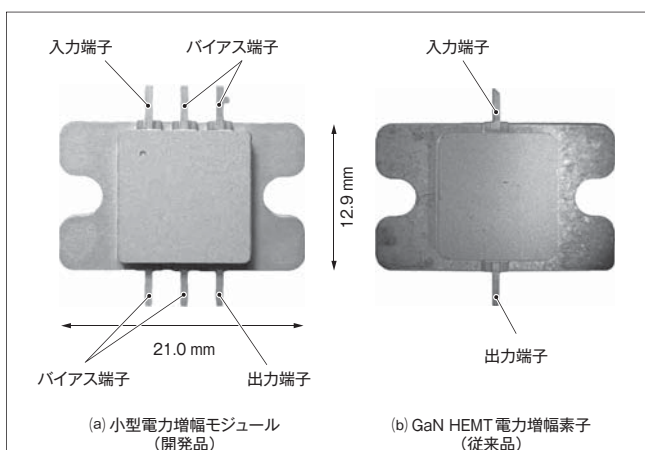


図4. 開発した小型電力増幅モジュール — 従来の25 W級GaN HEMT電力増幅素子と同じパッケージサイズに、バイアス供給用の端子4本を追加した。

Samples for comparison of newly developed power amplifier module and conventional 25 W-class GaN HEMT power amplifier device

表2. 開発した小型電力増幅モジュールの性能

Comparison of performance of newly developed power amplifier module and conventional 25 W-class GaN HEMT power amplifier device

項目	性能	
	小型電力増幅モジュール (開発品)	GaN HEMT電力増幅素子 (従来品)
周波数	9.3 ~ 10.3 GHz	
ドレイン電圧	24 V	
入力電力	23 dBm (0.2 W)	
利得	20.3 dB以上	9 dB以上
出力電力	43.3 Bm (21.4 W)以上	43.0 dBm (20 W)以上
電力付加効率	35.8 %以上	35 %以上
パッケージサイズ	12.9 (縦) × 21.0 (横) mm	
バイアス回路	パッケージに内蔵	外部に構成

6 小型電力増幅モジュールの特性評価

入力電力23.0 dBm (0.2 W)における小型電力増幅モジュールの周波数特性を図5に示す。帯域9.3 ~ 10.3 GHzにおいて出力電力43.3 dBm (21.4 W)以上で、利得20.3 dB以上を得た。この帯域内での電力付加効率は35.8 %以上であり、広帯域にわたり高利得かつ高効率を実現できていることがわかる。

この帯域内で電力付加効率がほぼ最大となった測定周波数9.6 GHzにおける入出力特性を図6に示す。ドレイン電圧24 V、入力電力23.0 dBm (0.2 W)において出力電力44.4 dBm (27.5 W)、利得21.4 dB、及び最大電力付加効率45.0 %を得た。

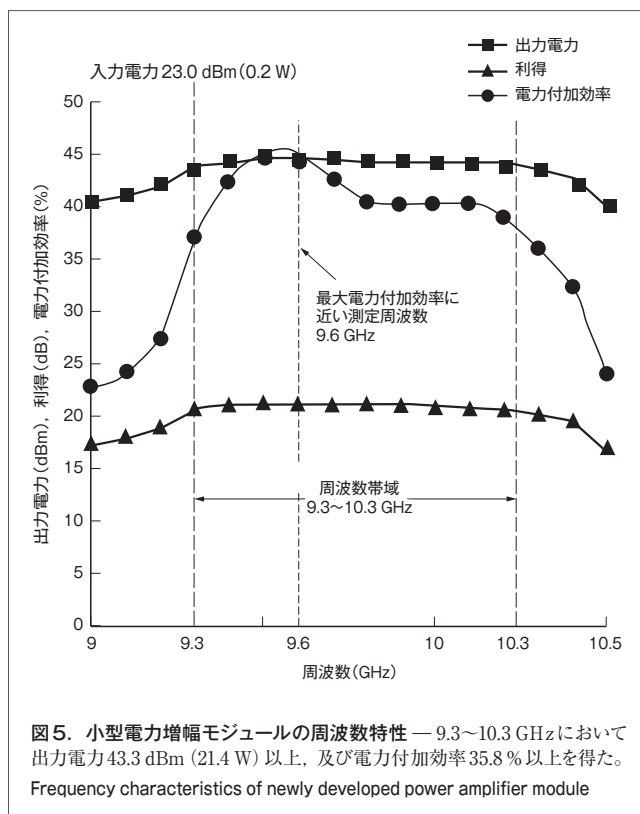
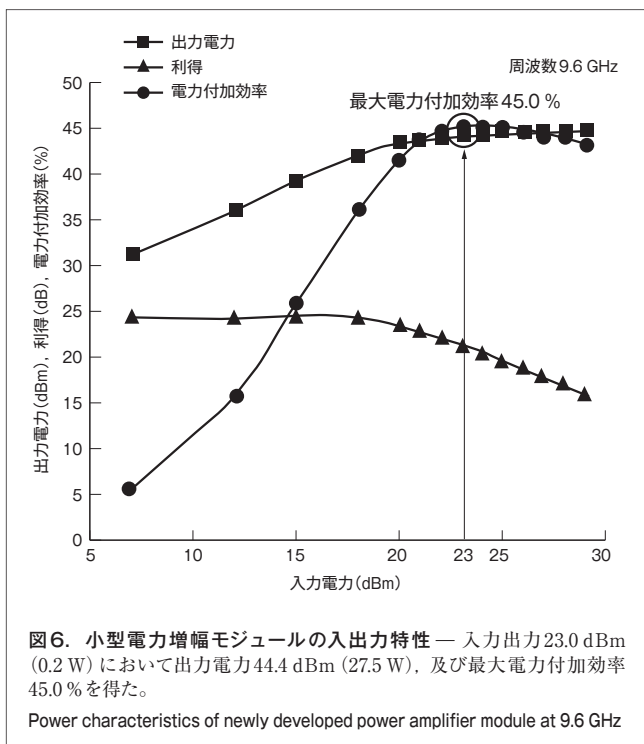


図5. 小型電力増幅モジュールの周波数特性 — 9.3~10.3 GHzにおいて出力電力43.3 dBm (21.4 W)以上、及び電力付加効率35.8 %以上を得た。 Frequency characteristics of newly developed power amplifier module



7 あとがき

X帯において高利得かつ高効率な25 W級小型電力増幅モジュールを開発した。回路配置設計の工夫により、従来のGaN HEMT電力増幅素子と同じパッケージサイズに収めることができた。またGaN HEMTチップサイズの選定と整合回路設計により、広帯域にわたって目標性能の20 W以上の出力電力、20 dB以上の利得、及び35%以上の電力付加効率が得られた。

今回開発した設計手法を用いることで、周波数帯などの設計変更に対して容易に対応できるため、今後様々な周波数帯への展開を図っていく。

文献

- (1) 高木一考 他. X帯50 W GaN電力HEMT. 東芝レビュー. 62, 4, 2007, p.42 - 45.
- (2) 森谷 修 他. “X帯30 W級高利得高効率小型電力増幅器の開発”. 電子情報通信学会 電子デバイス研究会, ED2011-140. 東京, 2012-01, 電子情報通信学会. 2012, p.117 - 120.



森谷 修 MORIYA Osamu

社会インフラシステム社 小向事業所マイクロ波技術部主務。マイクロ波半導体デバイスの設計・開発に従事。電子情報通信学会会員。

Komukai Complex



松下 景一 MATSUSHITA Keiichi

社会インフラシステム社 小向事業所 マイクロ波技術部主務。マイクロ波半導体及び半導体製造プロセスの設計・開発に従事。応用物理学会会員。

Komukai Complex



高木 一考 TAKAGI Kazutaka

社会インフラシステム社 小向事業所 マイクロ波技術部参事。マイクロ波半導体デバイスの設計・開発に従事。応用物理学会会員。

Komukai Complex