

# 次世代情報通信を支える 高周波電力トランジスタ

佐野 芳明 野本 勉

携帯電話、インターネットモバイルなどの急速な発展により、次世代無線インフラ構築の必要性が強く認識されている。2GHz帯を使用する第3世代のIMT 2000をはじめ、準ミリ波・ミリ波に至る各種の無線システムが開発・計画されている。これらを実現するためには、高周波の無線出力を担う高性能半導体素子が必要であり、従来のSi（シリコン）、GaAs（ガリウム砒素）素子ではそれぞれ高周波動作、出力性能などに限界が見えてきた。

新素材であるGaN（窒化ガリウム）結晶は、結晶成長技術の飛躍的進歩により、青色LED、青色レーザーなどが実用化されている。一方、GaNは絶縁破壊電界が大きい、電子飽和速度が大などの材料的特長を持つことから、Si、GaAs素子を超える次世代の大電力、高周波電力トランジスタ実現の期待があり、活発に研究開発が行われている。

ここでは、携帯電話、加入者無線などの次世代無線通信の動向とそれらが求める高周波電力素子の概要、そして、当社のGaN-HEMT（High Electron Mobility

Transistor）素子の研究開発の現状について述べる。

## 次世代無線通信と高周波電力素子

マイクロ波帯の周波数帯（2GHz）を用いた携帯電話は、2001年から国際標準規格であるIMT-2000の第3世代に入る（図1参照）。これまでは、主に音声信号の送受信に対応してきたが、第3世代の携帯電話は伝送データ量を多くする（移動中384kbps、静止時2 Mbps）ことにより、マルチメディア端末としてデータ伝送、画像伝送などの高速データ通信を扱えるようになり、大きな需要が期待される。これを実現するためには、高度なデジタル変調方式の導入が必要となり、高速大容量化が求められる基地局の無線送信部の高周波アンプには、現状使用されている100~200wクラス以上の高出力特性、広帯域で低歪（隣接チャンネルクロストーク防止）特性、小型筐体実装化のための冷却フィン無し、地球環境を考慮した電力利用効率の向上などが望まれる。

一方、準ミリ波帯、ミリ波帯の周波数を用いた加入者

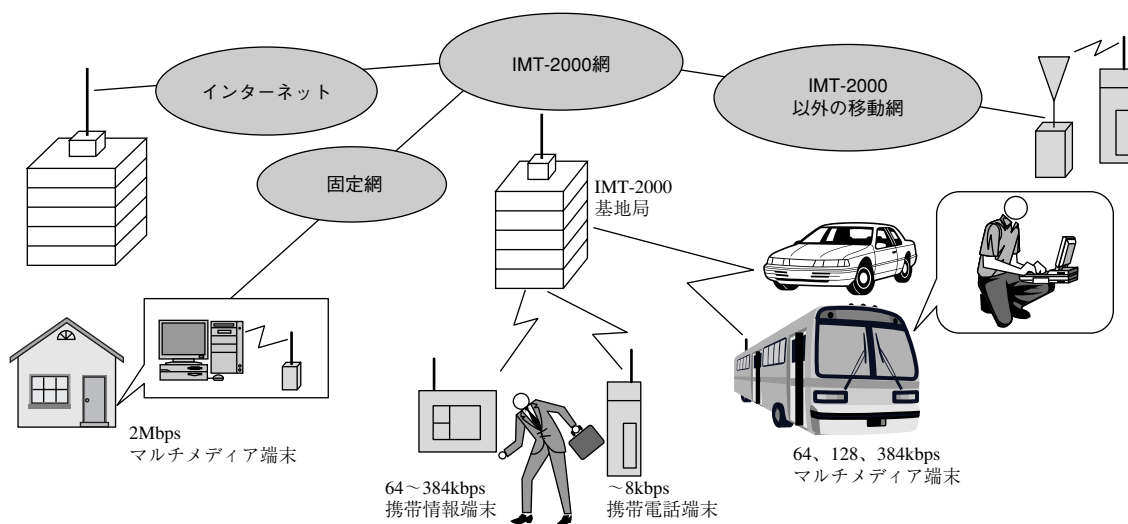


図1 IMT2000の概要（平成11年通信白書より）

無線アクセスシステムの実用化も始まっている。インターネットの急速な普及に伴い通信トラフィックは脅威的なペースで増加し続けている。これに対応するためには、基幹系ネットワークシステムにおいては通信容量増大、ネットワークの効率的運用が求められ、加入者系ネットワークシステムにおいては高速化・広帯域化が求められている。加入者系無線アクセスシステムは、光ファイバに比べ短時間、低価格で導入できるため注目されている。加入者系無線アクセスシステムには、P-P（Point to Point）システムとP-MP（Point to Multi Point）システムがある。P-Pは、企業向けの大容量の加入者回線およびP-MPシステム基地局などへの通信回線として使用される。P-MPシステムは、オフィス、集合住宅および家庭、SOHO（Small Office Home Office）向けの中小容量の加入者回線として使用される。

日本では、準ミリ波帯である22GHz帯、26GHz帯またはミリ波帯である38GHz帯の周波数を使う新たな加入者無線アクセスシステムが立ち上がりつつある。郵政省は、無線アクセスシステムを本格的に普及させるため、同システムの導入に関する基本的方針等を1998年12月に公表し、関係する関係省令を公布・施行した（図2参照）。

米国では、LMDS（Local Multipoint Distribution System）などと呼ばれ、28GHz帯、38GHz帯などの周波数帯を使い通信する。

加入者系無線アクセスシステムは、企業用向けのサービスからオフィス、SOHO向けのサービスへ展開されると予想される。そのため加入者局機器の低コスト化、小型化が必須となる。準ミリ波帯では大気分子による減衰が

比較的大きいため短距離通信で使われる。そのため出力電力は比較的小さく、無線送信部の高周波素子には、数Wクラスが求められる。

さらに、高度道路交通システム（ITS: Intelligent Transport System）では、60GHz帯や76GHz帯のミリ波を用いた自動車レーダーや車々間、路車間の通信が行われる。そして、準ミリ波が使われる予定の人工衛星を用いた移動体通信、ミリ波が使われる広帯域無線アクセスネットワーク（準ミリ波の加入者無線アクセスよりも大容量）、飛行船による成層圏無線中継システムの実用化に向けた研究開発も始まっている。

情報化社会の進展に伴い、無線通信技術のアプリケーションは拡大し、次世代高周波電力素子へのニーズは増加するものと予測される。

### GaN-HEMT素子

次に、次世代高周波電力素子の観点からGaNをSi、GaAsなどと比較しながら、当社におけるGaN-HEMT素子の開発状況述べる。

図3に、SiC、Si、GaAs、GaNの各材料特性から推定した高周波電力素子としての特性比較を示す。

GaNは、ワイドバンドギャップであることから、GaAsおよびSiと比較した場合、高温で動作でき（～300℃）、絶縁破壊電界はGaAs、Siの約10倍という高信頼性動作、および、電子飽和速度はSiの約2.7倍、GaAsの約1.3倍などという高周波動作にかかわる電子デバイスとして特性優位な性質を持っている。更に、Al、Inを用いてヘテロ接合形成（例えばAlGaIn/GaN接合）が可能であるため、

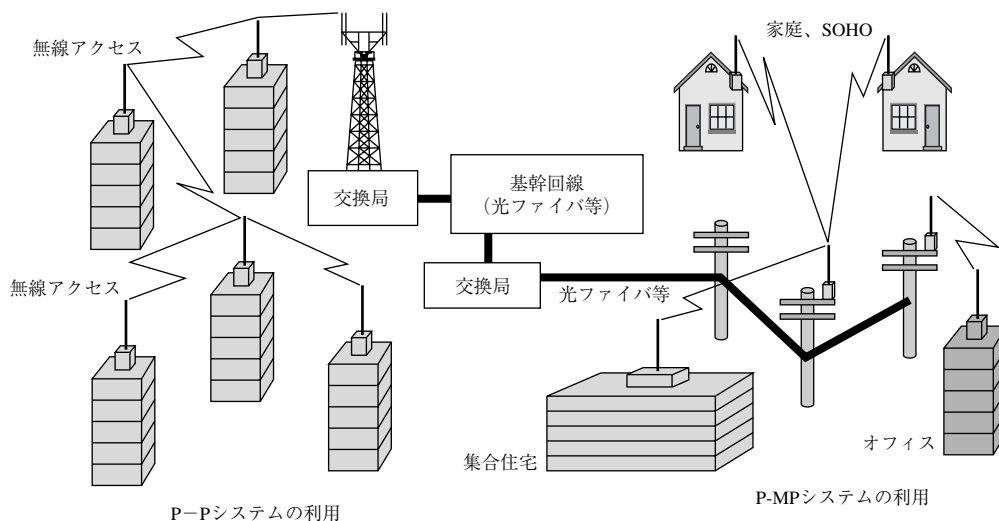


図2 準ミリ波帯・ミリ波帯加入者系無線アクセスシステムの概要（平成11年通信白書より）

電子を閉じ込め、短ゲート化し高電圧動作させることができるので、GaAs系デバイスの数十倍の出力性能が期待できるため、次世代の高周波・高出力トランジスタとしての期待が大きい。

一方、コスト面からの期待もある。入手容易で安価なサファイア（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>結晶）を基板として用い、かつ、ウエハサイズの大口徑化を図ることで、GaN素子は低価格化の可能性がある。

### GaN-HEMT素子特性

GaN高周波電力素子の基本構造であるHEMT素子の構造を図4に示す。

本素子は、

- ①n<sup>+</sup>-AlGa<sub>0.3</sub>N / undoped-GaN界面のGaN側に2次元電子が蓄積され、この電子は、不純物に影響されないため電子移動度が高い、
- ②ソース・ドレイン電極の下に高濃度なn<sup>+</sup>-GaN層を設置しているため、コンタクト抵抗が低い、
- ③ゲート電極直下の半導体層を掘りこんで（ゲートリセス技術）いるために寄生抵抗（ソース抵抗）が小さいなどの工夫を施しているため、高周波においてもゲイン（gm）が大きいなどの特長を持っている。

試作した素子のSEM観察写真を図5に示す。n<sup>+</sup>-AlGa<sub>0.3</sub>N / undoped-GaN / n<sup>+</sup>-GaN膜は、常圧MOCVD技術を用いてサファイア基板上に形成する。GaNとサファイアは結晶格子定数が10%程度異なるが、GaAs on Si技術で開発された核形成層（GaNを低温で形成したバッファ層）を下地として配置することで、GaNの結晶成長が可能である。ゲート長は1.1 μm、ゲート幅は50 μm×2である。

図6に本素子の50Hzにおける電流—電圧特性を示す。最大ドレイン電圧は13.5 Vであり、同様な構造のGaAs素子の約5倍ほどの高耐圧特性を得ていることから、GaN材料、および本素子構造の良さを証明している。ゲート電圧を最大1.5V印加してもゲートリーク電流は発生しない。電流飽和も非常に平坦であり、2次元電子を利用するHEMTの長所を表している。得られた最大相互コンダクタンス gm<sub>max</sub> は260 mS/mmという良好な値であった。図7に他社 [参考文献1, 2など]と比較して示す。

ネットワークアナライザによって電流遮断周波（f<sub>T</sub>）、電力遮断周波数（f<sub>max</sub>）を測定した。最大 f<sub>T</sub> は9.4 GHz、その時のf<sub>max</sub> は約14 GHzであり、ゲート長1.1 μmにおいて良好な値を示した。f<sub>T</sub>、f<sub>max</sub>はゲート長に反比例する。今後、よりゲート長を短縮し、超高周波動作を確認する。

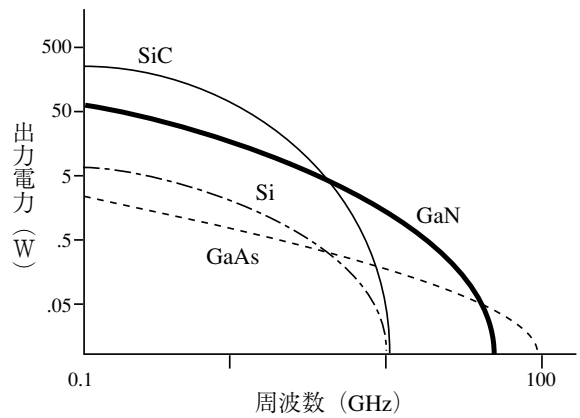


図3 動作周波数—出力特性の比較

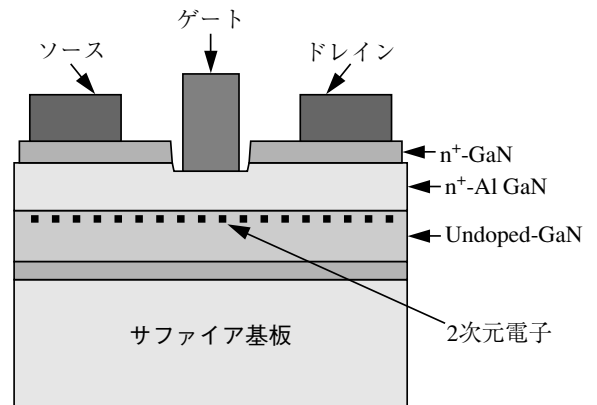


図4 GaN-HEMT素子の概観図

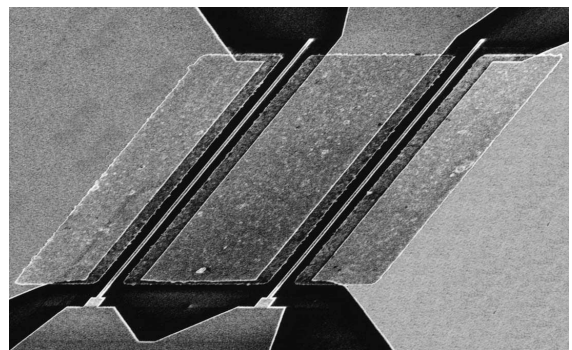


図5 GaN-HEMT素子の概観SEM写真

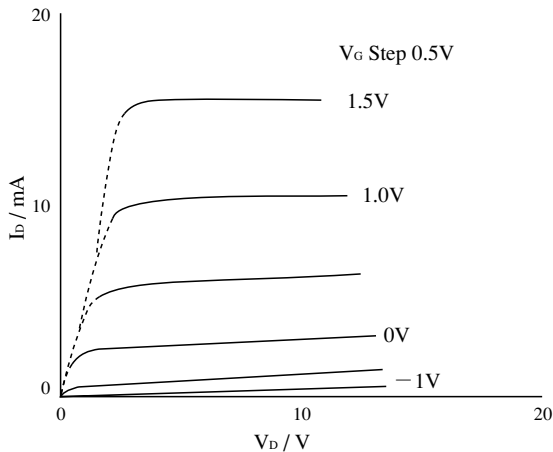


図6 GaN-HEMTの電流—電圧特性

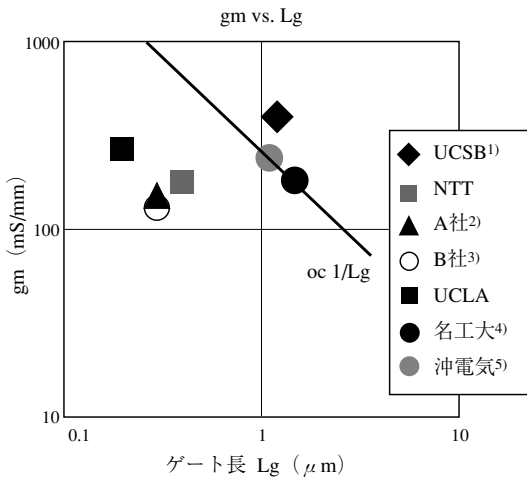


図7 Gm—Lg特性の比較

## まとめ

GaN-HEMT素子を試作し、その高耐圧、高周波動作特性を確認した。GaN電力素子は、高電圧動作特性から、デバイスとして高入出力インピーダンスとなるため、高リニアリティを確保できる可能性がある。これにより、高周波アンプの歪を緩和でき、広帯域化が可能である。また、300℃の高温での動作を期待できるため、冷却用のフィン、ファンが不用となり、小型筐体実装化の可能性がある。今後、さらに結晶性を改善するとともに、短ゲート化を中心とするデバイス構造の改善により、従来にない大電力、高周波動作の電力素子が実現されてくるものと考えている。来るべきシームレスネットワーク社会の

実現のため、無線通信の高速大容量化などのブレークスルー技術として、高効率アンプなどへ適用を図りたい。



## 参考文献

- 1) U.K.Mishura et al., Appl.Phys.Lett. 73, 21, 1998
- 2) 正戸宏幸 他、信学技法、ED99-36, CMP99-10, p65-p70, 1999.5
- 3) 国弘和明 他、信学技法、ED99-46, CMP99-20, p37-p42, 1999.5
- 4) T.Egawa et al., Appl.Phys.Lett. 73, 21, 1998
- 5) 見田充郎 他、H12秋季応物全国大会、No3, p1191, p65-p70

## 筆者紹介

佐野芳明：Yoshiaki Sano.研究開発本部 先端デバイスラボラトリ  
野本 勉：Tutomu Nomoto.研究開発本部 先端デバイスラボラトリ