

1. ま え が き

近年のスマートフォンやタブレットなど高機能携帯端末の普及に伴って携帯端末を経由した通信トラフィックの高まりが著しい。また、インターネットを経由した高品質な動画を配信するニーズは年々高まっており、これに応えるために世界規模で光を用いたアクセスシステムが普及しつつある。これら携帯端末、光アクセスシステム、携帯端末と通信する基地局や通信システム全体を支えるインフラシステムでは、無線、有線どちらの通信方式でも単に広帯域性に優れるのみならず、導入及び運用コストの観点から装置の小型化と低消費電力化も求められており、その実現のために伝送する無線又は光信号を直接変換する高周波・光デバイスへの期待が高まっている。

本稿では、携帯端末、インフラ無線通信、光アクセス、インフラ光通信の4分野における市場動向とこれを支える高周波・光デバイスの技術動向について述べる。また、将来の展開が期待される情報通信分野以外への動きについても述べる。

2. 無線通信用デバイス

2.1 携帯端末用デバイス

2.1.1 市場動向

近年、普及が著しいスマートフォンやタブレットなどの高機能携帯端末ではLTEなどの広帯域な伝送方式への対応が求められると同時に、既存のサービスを継続してサポートするために旧来のGSM(Global System for Mobile Communications)や3G(3rd Generation)方式への対応も必要となる。

図1はGSMと3Gに対応するマルチバンド端末におけるバンド数の比率の推移であり、世界の各地域で快適に回線を確認するために、先に述べた複数の通信方式に加えてより多くのバンドへの対応が求められていることが分かる。旧来の1帯域だけにしか対応できない増幅器ではバンド数分の台数の増幅器が必要となりコンパクトな端末に実装することが困難なため、マルチバンドにも対応できる増幅器が強く求められている。

また、スマートフォンの高機能を支えるプロセッサの消費電力が大きく、限られたバッテリー容量の中で長時間使用するためには周辺デバイスの消費電力を極限まで節約することも求められ、比較的大電力を消費する送信用高周波デバイスについては効率の向上も必要となる。

2.1.2 技術動向

図2にマルチバンド増幅器のサイズのトレンドを示す。2011年には、GSM 4バンドに加えて、シングルバンドの3G増幅器4台で4バンドをカバーするために底面積が64mm²と大きかったが、年々集積化が進んでおり、MMMB

(Multi Mode Multi Band)増幅器の進歩によって2014年には約半分の35mm²まで小型化されると予想されている。

一方、広帯域、小型化技術に加えて消費電力の低減についても強く要求されることから、増幅器の高効率化も進みつつある。この分野では、回路を構成する個々のトランジスタの高効率化もさることながら、例えば、出力レベルによって回路構成を切り換えるモード切り換え機能が導入されるなど今後はシステムの運用状況を加味して実効消費電力を下げる工夫が次々に取り入れられていく。

2.2 インフラ無線通信用デバイス

2.2.1 市場動向

先に述べた高機能携帯端末やWLAN(Wireless Local Area Network)に対応する基地局や衛星通信等のインフラ無線通信装置でも、増え続ける通信帯域への対応が求められる。また、近年の環境意識の高まりや運用コスト削減の要求から、常時電力を消費しているインフラ無線通信装置はその低消費電力化も課題となっている。

これらの動きを受けて無線通信装置の高出力増幅器に用いられる高周波デバイスには、より高効率で広帯域なデバイスが求められており、デバイスの交代が進みつつある。

図3に各種高周波デバイスの適用領域を示す。出力電力の最も大きい部分は進行波管、次いでSiC(炭化珪素)デバイス、LDMOS(Laterally Diffused Metal Oxide Semiconductor)、GaAs(ガリウム砒素)デバイスが周波数に応じて用いられてきたが、近年GaN(窒化ガリウム)デバイスの適用領域が広がりつつある。GaNデバイスはGaAsデバイスより出力電力で優れるために少ない合成数で高い出力が得られる。少ない合成損失によって高い効率を得られること

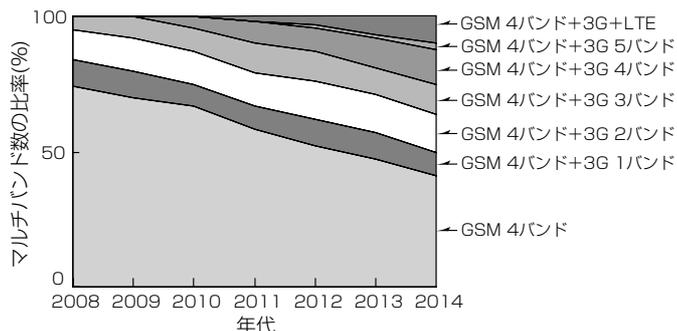


図1. マルチバンド端末のバンド数比率推移

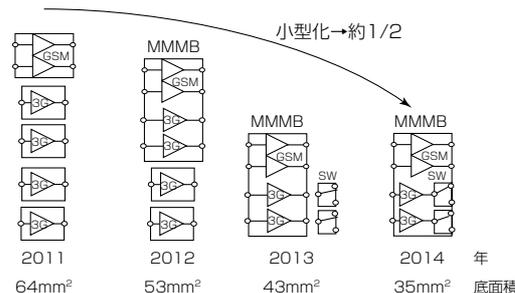


図2. マルチバンド増幅器のサイズトレンド

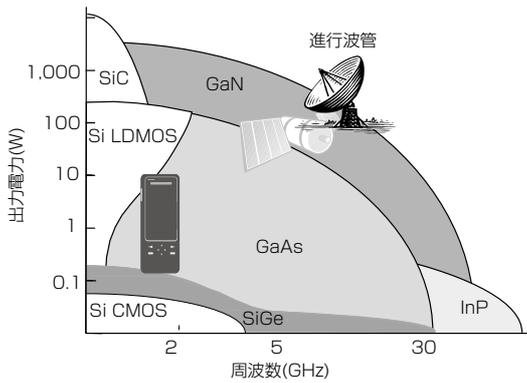


図3. 各種高周波デバイスの適用領域

と、少ない合成数による少ない寄生容量のために広帯域な性能が得られることから、高周波デバイスに求められる高効率、広帯域な特性を同時に満足できることがGaNデバイス普及の大きな背景である。また、GaNデバイスは進行波管との比較で、信頼性や小型軽量化で勝るため、進行波管からの置換えも進みつつある。

2.2.2 技術動向

GaNデバイスはGaAsデバイスやSi(シリコン)デバイスに比べて、バンドギャップが大きいために絶縁破壊電界が1桁以上高くなる。このため、動作電圧を高くすることが可能となって、大きな電力密度を得ることができる特長がある。また、飽和電子移動度がSiの2.5倍、GaAsの1.2倍となることからマイクロ波帯での高周波動作に適している。GaNデバイスではGaNの物性面での利点に加えて、図4(a)に示すようなHEMT(High Electron Mobility Transistor)構造を採用することによって、高電流が得られるため、高い電力密度が得られる。当社はさらに、図4(b)に示す構造を用いることによって高周波デバイスに求められる高効率、広帯域な特性を得ている。すなわち、イオン注入によってコンタクト形成による寄生抵抗を低減し、デバイスの効率と出力電力向上を図っている。加えて、CAT-CVD(CATalytic Chemical Vapor Deposition: 触媒化学気相成長法)による表面保護膜形成によって低損傷な膜を形成し、表面近傍のトラップを抑制することによって、コラプスとよばれる電流低減現象を軽減してデバイスのパルス特性を改善し、マイクロ波動作時の効率を向上させている。

また、デバイスの構造設計にシミュレーション技術を駆使することによってデバイス構造の最適化を行っており、例えば、低寄生容量による広帯域特性を得ている。また、高い信頼性を確保できる素子設計によって、高効率と広帯域な特性に加えて宇宙環境でも耐えられる高い信頼性も確保している。

図5に当社のGaNデバイス開発の歩みを示す。GaNの高電力密度を生かした高出力デバイスの開発からスタートして、2005年のC帯(4~8GHz)140Wの発表を皮切りにL帯(1~2GHz)、S帯(2~4GHz)、X帯(8~12.4GHz)各バ

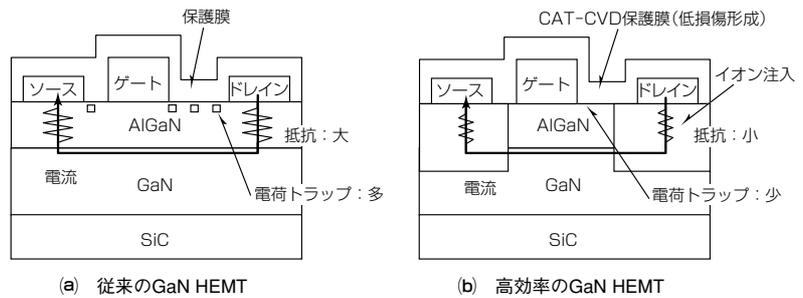


図4. 高効率GaN HEMTの構造

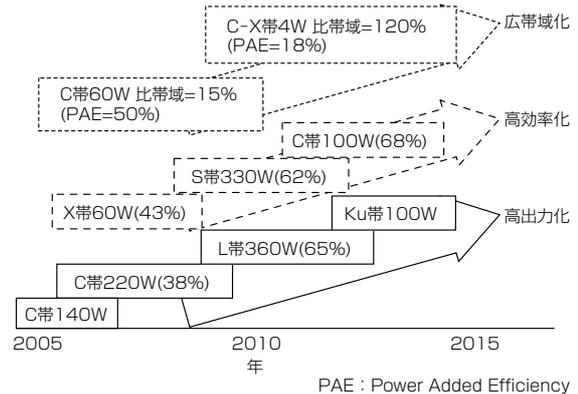


図5. 当社GaNデバイス開発の歩み

ンドでの高出力化を進めてきた。現在ではトランジスタのゲート構造の微細化と、合成損失を低減する回路技術に支えられてKu帯(12.4~18GHz)で出力100Wを達成した。

デバイスの高効率化についてはC帯を中心に2007年の38%から50%、60%と効率改善を進めてきており、現在はC帯100W出力デバイスで68%と世界最高レベルの高効率を達成している⁽¹⁾。ここでは、トランジスタのセル間のばらつきをなくす整合回路技術に加えて、セルごとにGaNチップ上に共振回路を形成することによってセル間の高調波整合のばらつきを解消し、従来方式に比べて5%の効率向上を図ることができた。

また、広帯域性に優れる素子を活用した広帯域デバイスの開発も進めておりC帯で比帯域15%のものから始まりC-X帯で比帯域120%のものまで広帯域増幅器を開発している。

このように、当社はGaNの高出力、高効率、広帯域な特長を生かした製品開発を様々な周波数帯で進めており、信頼性を確保したうえで世界最高レベルの性能を実現している。今後、より高い周波数領域でのGaNデバイスの高出力化に取り組む。

3. 光通信デバイス

3.1 市場動向

図6に示すように、光通信システムは、主に一般家庭などのエンドユーザーを接続する伝送距離がおおむね20km以内のアクセスネットワークと、都市内及び都市間の局舎間をいくつものリング状につなげる距離数十~数百kmの

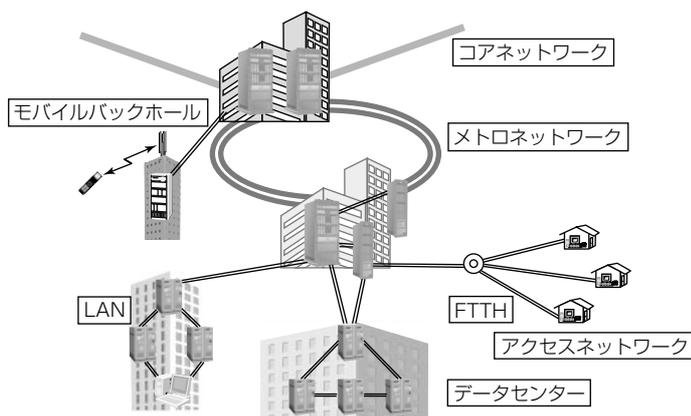


図6. 光通信システム

メトロネットワーク及びハブとなる大都市間や大陸間の数百~8,000kmにも及ぶ長距離を結ぶコアネットワークからなる光インフラネットワークに大別できる。これらに加えて近年は、先に述べた高機能携帯端末と通信する移動体基地局間を接続するモバイルバックホールや動画等、大規模データを収容するデータセンター内で多量の情報を効率良く伝送するための高速ネットワークについての需要も高まっている。

(1) 光アクセスネットワーク

アクセスネットワークは、当初は既存銅線を用いたxDSL(Digital Subscriber Line)から導入が始まったが、動画配信などに対応するための高速化要求が高まるにつれて、家庭にまで直接光ファイバを接続するFTTx(Fiber To The x(Home, Building, etc.))の形で光アクセス方式が広がりつつある。

図7は2012年初時点の世界のFTTx加入者分布を示すもので、その合計は推定8,300万加入を超えている。世界で最も早く本格導入された我が国ではIEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)によって規格化された、比較的 low コストに導入できるGE-PON(Gigabit Ethernet-Passive Optical Network: 下り最高速度1Gbps: Giga bit per second)方式が採用され、依然高い普及率を維持している。一方、遅れて展開された北米や欧州では主にITU-T(International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector)によって規格化されたG-PON(Gigabit Passive Optical Network: 下り最高速度2.5Gbps)方式が敷設されつつある。他方、近年最大の伸びを示し加入者数でも世界一になった中国では当初実績のあるGE-PON方式が導入されたが、最近は関連デバイスの低コスト化が進んだG-PON方式の伸びが著しく、現状は、両規格が世界及び中国内を二分している。

どちらの方式も分岐後の各家庭当たりの下り実効伝送速度は1Mbps程度であり、今後のトラフィック増大需要に応えるため、分岐数が多く、かつ、普及余地の多い中国では、2014年頃の10Gbpsへのシステムアップグレードに向けて実証実験が行われている。



(出展: 総務省, FTTHCouncil)

図7. 世界各地のFTTx加入者数(2012年)

(2) 光インフラネットワーク

先に述べた高機能携帯端末の普及や動画配信への需要増加によって、これらの通信トラフィックを束ねるメトロネットワーク及びコアネットワークでは現在主流の10Gbpsや40Gbpsを超えた100Gbps方式の実用化が進みつつある。短中距離のメトロネットワークでは、前後の電気回路と光デバイスのコストや実用性の観点から波長の異なる25Gbpsの信号を4つ束ねて100Gbpsとする波長多重方式が国際標準規格として採用されている。一方、長距離伝送対応のコアネットワークでは、光信号をオン/オフする旧来の直接変調方式では100Gbpsを長距離に伝送することが難しいため、波長多重や偏波(偏光)多重によるチャネル当たりの伝送速度緩和、4値などの位相変調による受信感度の改善等の手法を各伝送区間の特質に従って組み合わせることが広く行われている。

3.2 技術動向

情報通信の普及に伴い、通信量の増加に比べて期待されるサービス事業収入の増加は緩やかとなる。したがって、事業を継続的に発展させるためには、高速化と同時に低コスト化が求められる。これに対応するために、サービスを提供する事業者は高密度実装ができる小型かつ低消費電力な装置を採用することによって、導入及び運用コストの削減を図る傾向が強くなってきた。これらの要求をかなえるため、光デバイスには高速化に加え、省電力化と小型・集積化、の3点が求められる。

高速化については、当社は低容量な電流閉じ込め構造を持つLDや周辺回路とLDを組み合わせた総合的な高周波特性を改善する整合回路を内蔵したモジュール構造の採用によって低コストかつ広帯域な光デバイスの開発を行ってきた。

省電力化については、従来メトロネットワークやコアネットワークで広く用いられ今後は10Gbpsアクセスネットワークにも導入される変調器集積レーザ(Electro-absorption Modulated Laser: EML)の冷却電力を減らすことが鍵となる。さらに、メトロ系で求められる100Gbps用デバイスでは4つの波長の異なる素子を用いるため、単純に冷却のための消費電力を4倍としないよう、従来以上に省電力化が求められる。このため、高い動作温度でも良好な伝

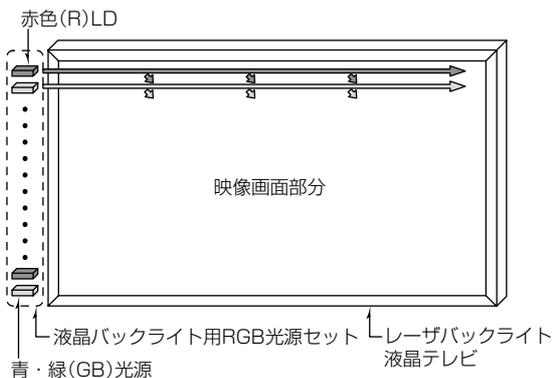


図8. 赤色LDをバックライトとして用いたテレビの構成

送特性を持つEMLや冷却機能を必要としない直接変調方式の半導体レーザー(LD)等の新たなデバイスが必要となる。特に使用環境温度すべてにわたって25Gbpsでの良好な伝送特性を実現する直接変調LD⁽²⁾は高密度に装置が実装される大規模データセンター内での高速リンク実現のためにも重要なデバイスとして近年注目を浴びている。これらのデバイスの省電力化の動きは放熱実装の容易さや後述の高密度実装実現の観点からも重要である。この要求に応えるため、当社は材料と構造の最適化によって高温でも高周波特性に優れた直接変調LD及びEMLを開発した。

小型・集積化について当社は、アクセスネットワーク用としては新たに開発した小型の光学系によるコンパクトなアクセス系用光デバイスを、また、コアネットワーク用としては光源と同じ材料系であり、かつ、従来用いられていたLN(ニオブ酸リチウム)デバイスよりも低い駆動電圧で動作するInP(インジウム燐)による変調器を開発し波長可変光源とモノリシックに集積したデバイスを開発した。

今後はこれら高速化、省電力化、小型・集積化に加えて、生産性や安価な部材の採用などによる一層の低コスト化のための技術開発を進める所存である。

4. 新規用途への展開

4.1 高周波デバイス

近年のスマートフォンやタブレット、車載ナビゲーションシステムではGPS衛星からの電波を受信して現在位置を割り出すことが一般的であるが、ここでは衛星からの微弱な電波を低雑音で増幅することが必要である。当社では市場で定評のある低雑音HEMTの技術を発展させて小型LNA(Low Noise Amplifier)を開発している。一般的な低雑音HEMTでは、負電圧電源が必要となるが、エンハンスメントモード低雑音HEMTの開発によって、雑音指数0.75dBの低雑音でありながら単一電源動作を可能にしている。また、このLNAでは、小型リードレスパッケージに整合回路とトランジスタを内蔵することが鍵となるが、小型回路設計技術によって1.45×1.0×0.5(mm)の小型パッケージを実現している。

一方、大容量通信可能な周波数帯として注目されているミリ波帯における技術進歩として、発振器技術がある。動画や大容量データの通信には、通信帯域の制限があるため帯域を広くとれるミリ波帯通信が検討されているが、ミリ波帯で低位相雑音な発振器を実現することが求められている。当社はサブハーモニック注入同期発振回路を開発し、広帯域かつ低位相雑音な発振器をGaAsMMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit)で実現している。

4.2 光デバイス

4.1節では主に光通信に用いられる波長1.3~1.5μmの光デバイスについて述べたが、近年、映像の分野でLDがその純色性や高い効率によって従来の蛍光管やLED(Light Emitting Diode)を用いた方法では及ばない高画質と装置の小型・薄型化を実現する光源として注目を浴びている。この分野でも当社は長年培った赤色LDの技術をベースにバックライト用光源の量産化を完了した。今後は、レーザーの高い指向性と長寿命が適するシネマ用プロジェクタを始めとする高輝度プロジェクタなどへの展開を図る。赤色LDをバックライトとして用いたテレビの構成を図8に示す。

一方、光源のみならず光を検出する受光素子は、その高感度性を活用して各種センサや動体検出や分析等に用途が広がっている。特に最近では車載の衝突防止センサや料金所ゲートでの車センサなど、安全に資する技術として期待されている。

5. む す び

近年のスマートフォンやタブレットなど高機能携帯端末の普及やインターネットを經由した動画配信の需要の高まりを背景として携帯端末、インフラ無線通信、光アクセス、インフラ光通信の4分野で情報通信ネットワークのトラフィックが増大しつつある。これらに対応するため、高速化といった基本要件のみならず、システムの普及を容易とするために装置の小型化と低消費電力化にも貢献する高周波・光デバイスの現状と展望について述べた。

また、これら情報通信分野にとどまらず、当社は、長年培った化合物半導体に関する経験を生かして今後も社会の発展に貢献していく所存である。

参 考 文 献

- (1) Yamasaki, T., et al.: A 68% Efficiency, C-Band 100W GaN Power Amplifier for Space Applications, 2010 IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig. (MTT), TH3D-1 (2010)
- (2) Sakaino, G., et al.: 25.8Gbps Direct Modulation AlGaInAs DFB Lasers with Ru-doped InP Buried Heterostructure for 70°C operation, 2012 Optical Fiber Communication Conference(OFC), OTh3F_3 (2012)