

高周波・光デバイスの現状と展望



林 一夫*

Status and Outlook of High Frequency & Optical Devices

Kazuo Hayashi

要 旨

情報通信の高速化・大容量化が加速度的に進展する中、高周波・光デバイスは様々な情報通信機器のキー・デバイスとして急速な進化を遂げている。今後めざましい発展が期待される化合物半導体に焦点を当て、現状と動向について述べる。

携帯電話市場では、LTE(Long Term Evolution)のサービスイン、スマートフォンなどの多機能端末、パソコン用データカードなどの携帯電話網を使った高速データ通信を行う用途が拡大している。携帯電話用電力増幅器には高速通信、低消費電力、多モード・多周波数化(マルチモード・マルチバンド)が要求される。

これらの要求に対し、ヘテロ接合バイポーラ素子による小型化、ヘテロバイポーラ素子と制御用HEMT(High Electron Mobility Transistor)素子を一体化したBiFET(Bipolar Field Effect Transistor)により制御機能を組み入れることで、低消費電力化、多モード・多周波数帯を実現している。

高出力用デバイス市場では、都市部の携帯電話基地局、衛星搭載用に高効率で低発熱のデバイスが求められている。

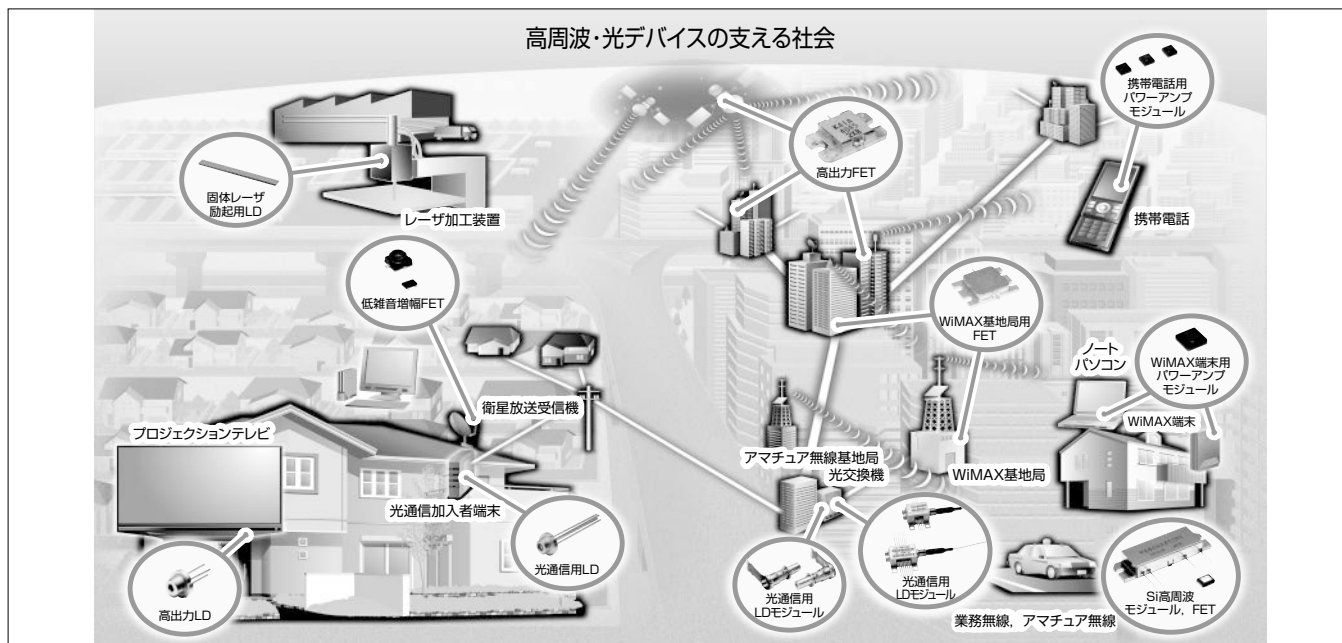
この要求にこたえるため、GaN(窒化ガリウム)デバイスが開発されており、高効率化開発に加え、基板材料を高価なSiC(炭化けい素)からSi(けい素)へ変更する低コスト化開発も進められている。

光通信市場では、アクセス系のFTTH(Fiber To The Home)が新興国にも導入が開始されており、次世代10Gbpsも研究段階から実用段階に移りつつある。基幹系では、10Gbps DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing)から40Gbpsへの移行が進み、100Gbpsの研究開発も活発化するなど、高速化がより一層強く求められている。

このような要求を受け、10G-EPON(Gigabit-Ethernet^(注1) Passive Optical Network)用製品が開発されており、生産性とコストを考慮し、高光出力EML(Electro absorption Modulated Laser)とAPD(Avalanche Photo Diode)をTO-CAN型パッケージに搭載されている。また、40Gbps DWDMは、位相変調方式の復調受信を行うために、2連又は4連のPD(Photo Diode)として製品化されている。送信する光の波長を変更できる波長チューナブルLD(Laser Diode)や半導体位相変調器の開発も進められている。

表示デバイス市場では、小型化、低消費電力化の要求が強く、これに対応するために、RGB(Red Green Blue)光源としてレーザを用いるレーザディスプレイが開発されている。AlGaInP系材料や端面窓構造技術を用いて赤色高出力半導体レーザの開発を行っている。

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス株式の登録商標である。



高度情報化社会を支える三菱電機の高周波・光デバイス

高度情報化社会を支える高周波・光デバイスとアプリケーション例を示す。

2(272) *高周波光デバイス製作所長

三菱電機技報・Vol.85・No.5・2011

1. ま え が き

情報通信市場では、音声、画像、動画の伝送量の増大によって、有線、無線を問わずトラフィック量が増大し続けており、さらには近年、新世代ハードウェアの情報端末が登場したことに伴い、ブロードバンド化や新機能の実現がますます求められている。このようなデジタル通信網を支える高速情報機器の基幹部品である、高周波・光デバイスの役割は一層重要となり、さらなる進化が期待されている。

本稿では、化合物半導体を中心とする高周波・光デバイスの市場、技術動向と将来展望について述べる。

2. 高周波デバイス

2.1 携帯電話用増幅器

2.1.1 市場動向

携帯電話の市場動向として、第3世代移动通信システム(3rd Generation: 3G)と呼ばれる高速／大容量の通信システムへの移行が進んでいる。3Gの代表的なシステムとしては、W-CDMA(Wideband Code Division Multiple Access)方式、及びCDMA2000方式が挙げられる。これらの携帯電話システムは、日本、米国、欧州地域で、普及が先行しており、W-CDMAの高速版HSPA(High Speed Packet Access)、又はCDMA2000の高速版EV-DO(Evolution Data Only)Rev.A/MC(Multi carrier) Rev.Aへシステム性能向上が図られている。さらにLTEと呼ばれる第3.9世代移动通信システム(3.9G)では、より高速な100～300Mbps程度のデータ通信が可能となり、日本でも2010年末にサービスが開始された。移動体通信の高速化の推移を図1に示す。

携帯電話端末全体の世界市場規模は、開発途上国で普及しているGSM(Global System for Mobile communications)やCDMA(IS-95)の第2世代移动通信システム(2G)を含めて、2011年には14億台程度の端末の製造が見込まれている。

携帯電話システムが普及し始めた第1世代では、音声による通話が主体であったが、第2世代(GSMなど)では、

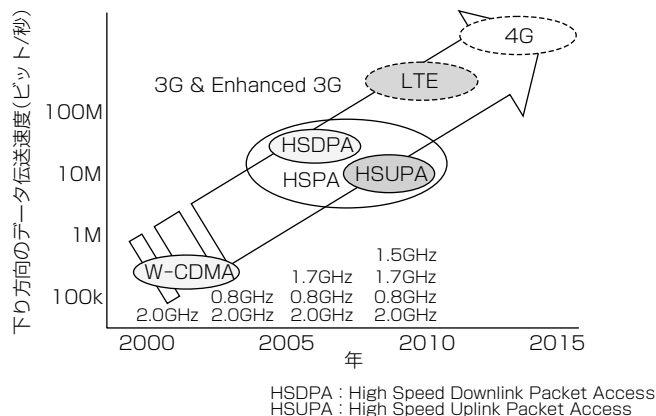


図1. 移動体通信の高速化

簡易なメール機能が付加され、第3世代への移行に伴い高速データ通信が可能になった。最近では、動画や音楽のような様々なインターネットアプリケーションが利用可能なスマートフォンが注目を集めている。日本でも、2008年に市場投入され、各社が製品ラインアップをそろえた2010年末から市場が急拡大している。さらに、データ閲覧を主な目的としたタブレット型の端末が市場に登場したほか、データ通信用のパソコンカード、自動販売機のデータ通信機器、スマートグリッド電力システムでの電力メータ等、携帯電話ネットワークを利用するデータ通信専用端末に用途が拡大しており、2010年にはデータ通信専用機器が携帯電話端末の1割前後に拡大している。

2.1.2 技術動向

電池で動作する携帯電話の電力増幅器には、従来小型軽量、低消費電力／高効率動作が要求されてきた。図2は、当社の携帯電話用電力増幅器の変遷である。日本の携帯電話事業の黎明(れいめい)期にアナログ方式携帯電話用電力増幅器の生産を開始し、1993年からデジタル方式携帯電話用電力増幅器を製品化し、当初800mm³以上あった体積が、最新の製品では9mm³と、約100分の1に小型化している。

第3世代携帯電話は、データ伝送レートが高いことを生かして、スマートフォンに代表されるように多機能・高機能化されている。特に、日本ではデジタルカメラ、ワンセグ放送受信機、非接触型ICカードなど様々な機能を携帯電話に取り込んでおり、従来にも増して、携帯電話用電力増幅器の小型化・低消費電力化が要求される。また無線部は伝送容量の不足に対応するためマルチバンド化や、新旧システム間・世界各国で同じ端末を使用できるようにGSM/W-CDMAなどのマルチモード化も進められている。

今後の携帯電話用電力増幅器に関する主な技術動向としては次の項目が挙げられる。

(1) 高データレート化への対応

100Mbps以上を目標としたLTEなど高速データ通信用電力増幅器を実現するためには、従来以上に良好な電力付加効率／低消費電流特性を保持しつつ、低歪(ひず)み化す

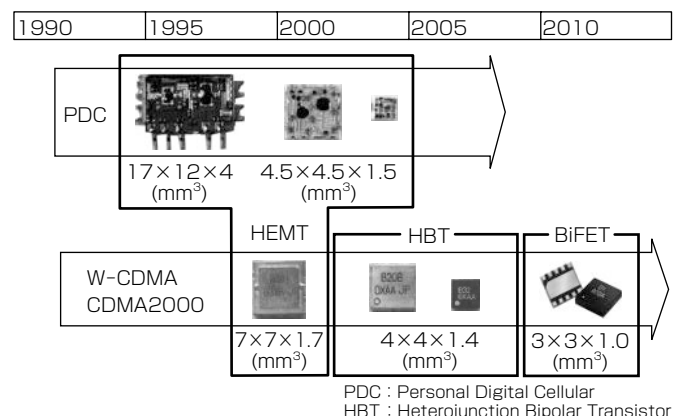


図2. 携帯電話用電力増幅器の変遷

る技術の開発が要求される。この要求にこたえるため、当社では低歪み特性と高効率動作が可能なヘテロ接合バイポーラ素子と、優れた高周波回路設計技術を組み合わせて製品開発を行っている。

(2) 低消費電力化への対応

携帯電話の多機能・高性能化に伴い、高周波電力増幅器への電力割当てが小さくなり、一層の低消費電力／高効率な電力増幅器が求められている。この要求に対し、高効率増幅器に適したヘテロ接合バイポーラトランジスタと低損失スイッチ動作に適したHEMT素子を同一MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) 上に集積したBiFET構造デバイスを開発した。BiFET構造を採用することにより、送信電力と消費電力の最適動作を可能とし、低消費電力を実現した。

さらに、携帯端末装置の小型化に伴い高密度実装されることから、熱設計の制約による最高出力時の高効率動作が要求されている。特にデータ通信用途の端末の場合、ビットあたりの出力電力によって通信品質が決まることから、平均的な実効出力電力が大きくなる傾向にある。この要求にこたえるため、高出力時の効率向上に的を絞ったデータ通信専用品として従来製品より5%以上電力付加効率を改善した電力増幅器を開発し、製品化している。

(3) マルチバンド・マルチモード化への対応

現在、3Gの規格団体である3GPP (3rd Generation Partnership Project) で規定されている周波数バンド数は28に上る。基地局のカバレッジや通信品質の確保、海外ローミングに対応するため、携帯端末に搭載される異なる周波数に対応する電力増幅器の数は増加の一途をたどっている。さらに海外ローミング対応として世界標準であるGSMをサポートする必要がある。従来は必要周波数帯域分の複数の電力増幅器を搭載していたが、携帯端末の小型化により搭載スペースが限られるため、複数の周波数帯域に対応したマルチバンド機能と、異なる通信方式の電力増幅が可能なマルチモード機能を1つの製品の中に併せ持ったMMMB (Multi-Mode Multi-Band) 電力増幅器の開発を進めている。

2.2 高出力用デバイス

2.2.1 市場動向

高出力デバイスの主な市場としては、携帯電話基地局、WiMAX^(注2) (Worldwide Interoperability for Microwave Access) 等の高速無線通信、マイクロ波衛星通信地上局、防衛・宇宙(衛星搭載マイクロ波中継器)等が挙げられる。

これらの市場に対して、従来SiやGaAs(砒化(ひか)ガリウム)が使われてきたが、近年、SiやGaAsに比べて破壊耐圧や飽和電子速度が高く、高電圧／高効率／高出力電力密度動作が可能で、高周波数動作も可能なGaNを使用するデバイスが普及し始めている。具体例として、都市部の携帯電話基地局やマイクロ波衛星通信地上局で小型化の要求が

高まり、ヒートシンクや冷却装置を小型化するため、高効率で発熱量の少ないGaN系デバイスの採用が進んでいる。また、GaN系デバイスは高出力電力密度で高インピーダンスであることから、同じ出力電力のGaAs系やSi系デバイスより広帯域化が容易であるので、航空管制用レーダ／気象レーダへの採用も進んできている。

また、新規市場としては、現時点では真空管の一種であるTWTA (Traveling Wave Tube Amplifier) が主流となっている衛星搭載マイクロ波中継器市場が挙げられる。GaN系デバイスの実用化に伴い小型・軽量化が可能で長寿命な半導体を使ったSSPA (Solid State Power Amplifier) の採用が検討され始めている。

(注2) WiMAXは、WiMAX Forum の登録商標である。

2.2.2 技術動向

高周波・高出力用のGaN系デバイスでは現在SiC基板上にエピタキシャル結晶成長で形成した高電力密度・高効率なAlGaN(窒化アルミニウム・ガリウム)／GaN HEMTが主流である。SiC基板上のGaN HEMTは、基板価格が高価なため、安価なSi基板上のGaN HEMTの割合が結晶品質の改善に伴い今後増えていくと期待される。しかし、Si基板はSiC基板に比べ熱伝導率が悪く高周波動作時のロスが大きい上に高温動作時には基板抵抗が低下し効率が悪化するという問題点があるため、携帯電話基地局用等の比較的周波数の低い用途に限定され、高効率・高周波動作用途ではSiC基板上のGaN HEMTが今後も主流に留まると予想される。

当社ではSiC基板上のGaN HEMTの高効率化を進め、C帯100W級出力でドレイン効率68%を達成するなど優れた性能を確認している(図3)。2次高調波を考慮した高効率化回路をチップ上に組み込み、更なる高効率化開発を進めている。

3. 光デバイス

3.1 光通信デバイス

LD及びPDなどの光通信デバイスは、光ファイバ通信システムのキーデバイスとしてますます重要性を増してい

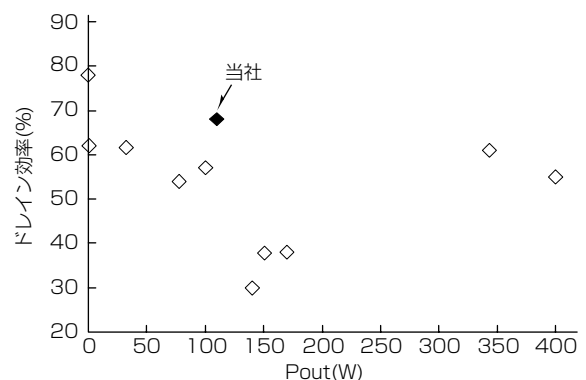


図3. C帯GaN HEMTの効率比較

る。ここではLD及びPDにかかわる光通信市場の動向と最新の光デバイス技術について述べる。

3.1.1 市場動向

インターネットの普及によって映像伝送やファイル交換などが増え、通信トラフィックは劇的な増大が続いている。このため光ファイバ通信網の通信速度の向上及び大容量化への要求は留(とど)まることがない。中でも家庭まで光ファイバを導入する光アクセス網サービスは、FTTHとして本格的な普及が進み、各種通信サービスの展開の一翼を担っている。日本はFTTHを支える技術としてGE-PONを世界に先駆けて導入し、最も進んだ良質なサービスが受けられるようになった。一方、北米、欧州では、通信容量の大きいG-PON(Gigabit capable Passive Optical Network)が採用されている。加えて中国ではGE-PON及びG-PONの双方で本格的な導入が始まり、世界規模でFTTH市場が花開こうとしている。また、将来を見据え、IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)で次世代FTTHである10G-EPONの標準規格が決定した。すでに一部地域では試験機の導入、フィールドテストなどが始まっており、研究開発の段階から実用化の段階へ移りつつある。

通信トラフィックを集約する基幹網は、高速大容量が要求されるため、主に波長多重方式(DWDM)が用いられる。実用レベルでは、既存の10Gbps DWDMから40Gbps DWDMへの移行が進んでいる。数千kmにおよぶ40Gbps長距離伝送では、高速化に伴う受信感度の悪化を抑えるため、DPSK(Differential Phase Shift Keying)又はDQPSK(Differential Quadrature Phase Shift Keying)などの位相変調方式が用いられる。さらに大容量化を図るため、100Gbps DWDMの研究開発も行われている。100Gbpsでは、多くの信号処理をICで行うデジタルコヒーレント方式が研究されており、2012年にも実用化が始まると予想される。また、100Gbps短距離伝送は25G信号を4波長で多重化する方式がIEEEで規格化されている。

3.1.2 技術動向

次世代のFTTHである10G-EPONでは、局側の送信用デバイスに高光出力10Gbps EML、受信用デバイスには高感度10Gbps APDが用いられ、加入者側ではそれぞれ10Gbps DFB-LD(Distributed FeedBack Laser Diode)及び10Gbps APDが用いられる。これらは従来の基幹網で使用され、実績を積んできたデバイスであるが、今後は10G-EPONにも展開され広く普及することが期待されている。当社では、品質を維持し、低コスト化と生産規模の増大の要求にこたえるため、これらのデバイスをすべて生産性に優れるTO-CAN型パッケージに搭載している。図4は局側に設置される10Gbpsダイプレクサの試作品である。10Gbps EML及び10Gbps APDが各々TO-CAN型パッケージに搭載されている。

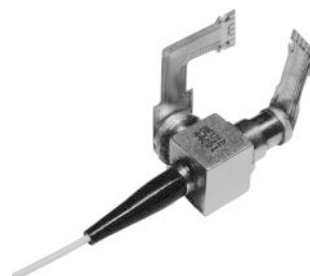


図4. 10Gbps ダイプレクサ

40Gbps DWDMでは位相変調技術を支えるため新しい光デバイスが登場してきている。光受信器は位相情報を検出するため、光遅延器で2信号に分けた後にPDで受信する必要がある。当社ではこれらを小型に収納するためツイン(2連)型PD及びクワッド(4連)型PDを製品化してこの要求にこたえている。光送信器には波長を自由に変えられる波長チューナブルLDが搭載され、その光出力に対してLiNbO3変調器によって位相変調を行う方法が実用化されている。一方、これらを小型にして低電圧で駆動するため半導体で位相変調器を実現する研究開発も進んでいる。半導体位相変調器と波長チューナブルLDを集積して1チップ化することも将来可能になると考えられる。

40Gbps短距離伝送(Very Short Reach: VSR)はDWDMシステムからルータへの転送に主に用いられる。当社は業界標準であるXLMD-MSA(40Gbps Miniature Device Multi Source Agreement)に準拠した40Gbps EMLモジュール及び40Gbps PD-TIA(Trans Impedance Amplifier)モジュールを製品化している。データ通信であるイーサネット^(注3)でも規格化が進んでおり、同じく40Gbps EMLと40Gbps PDが使われる。イーサネットで普及し始めるとトランシーバの大きさはさらに小型化及び低消費電力が求められるため、さらに小型パッケージに搭載した40Gbpsデバイスが必要とされる。

100Gbpsイーサネットでは波長多重化技術を用い、送信(EML)及び受信(PD)ともに25Gbps×4波長のデバイスが使われる。ここでもトランシーバを小型にする要求があることから、4波長のEML/PDデバイスとWDM(Wavelength Division Multiplex)部品を一体化したモジュールが強く要求されている。図5は100Gbpsイーサネット用として当社で開発したWDM部品を一体化した受信用PDモジュールである。送信側でも4波長を一体化したモジュールやEMLの代わりにDFB-LDを用いて低消費電力化を実現する開発も試みられている。

(注3) イーサネットは、富士ゼロックス㈱の登録商標である。

3.2 短波長半導体デバイス

3.2.1 市場動向

おおむね1μmを切る波長で発振する短波長半導体レーザは主要な用途の1つとして光ディスク用光源に用いられ

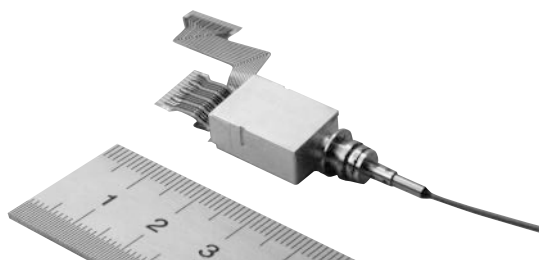


図 5. 100Gbpsイーサネット用WDM部品一体型PDモジュール

ている。当社では1983年に780nm帯CD用IS (Inner Stripe) 型LDを開発し、翌年に量産化して以来、再生・記録型光ディスク用レーザの開発・生産をリードしてきた。

近年はこれらに加えてRGB光源としてレーザを用いるプロジェクタ型ディスプレイ、いわゆるレーザディスプレイの開発が盛んに行われ、注目を集めている。レーザは低消費電力や広い表示色範囲、又は小型化に有利な小エタンデュ(光束の面積と放射立体角の積で小さいほど小さな空間変調器(Spatial Light Modulator: SLM)が使えるため機器が小型化できる)などの特長をもつことからディスプレイ光源に適しているものと考えられており、モバイル機器へ内蔵した超小型プロジェクタ、乗用車用のヘッドアップディスプレイ、デジタルシネマなど幅広い用途が期待されている。すでに複数の企業によってレーザを搭載した小型プロジェクタは発売されており、当社もレーザテレビを2008年に北米で販売するに至っている。ディスプレイ市場では広い表示色範囲を実現するため、RGB光源の波長帯としては、R(赤色):波長640nm帯、G(緑色):波長530nm帯、B(青色):波長450nm帯が好ましく、これらによってsRGB規格の約2倍の範囲の表示色が可能になる(図6)。

これらの光源としては赤・青は半導体レーザによる直接発光、緑はレーザ光をSHG(Second Harmonic Generation)素子によって緑色光に変換する方式が一般的であったが、近年では直接緑色光のレーザ出力を得た報告があり、RGB光源すべてを半導体レーザで実現できる環境が整いつつある。レーザを用いたプロジェクタタイプのディスプレイ方式としては、ミラースキャン方式、イルミネーション方式などがある。ミラースキャン方式では、像を構成する画素(Pixel)ごとにRGB3原色光が適度な割合で混合されて色を表現し、イルミネーション方式では赤、緑、青の3色像が数十Hz～数KHzの周波数で交互に表示され、眼内で時間積分されることで色表現を得る。いずれの方式でもプロジェクタの高輝度化、低消費電力化への要望から、光源であるレーザに対しては高出力化・高効率化が期待されている。

3.2.2 技術動向

ミラースキャン方式で用いるレーザには通常数十～数百MHzの高速変調に対する応答が求められる。ミラーが各

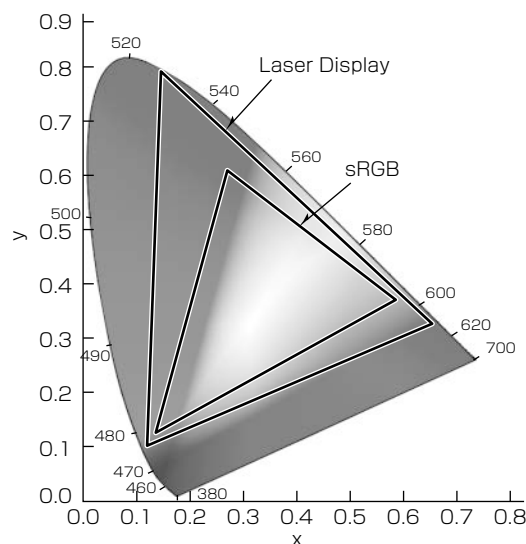


図 6. CIExy色度図における表示範囲

画素上をスキャンするタイミングに合わせてRGB各色のレーザ出力を変調するためである。高精細を担保するためには平行度が高く、細い出力ビームが必要で、基本モードすなわちシングルモードレーザが望ましい。一方、イルミネーション方式の場合、光源用レーザは照明光学系で空間変調素子を明るく照明することが重要であり、単一モード性やM²値などのビーム品質に対する要求は比較的緩い。したがってイルミネーション方式の場合、高出力化が容易なマルチモードレーザが使用されることが多い。RGB光源の中で赤色では620～660nmが使われるのが一般的である。赤色領域では波長が変わっても色度図上の位置は大きく変わらないので、所定の色を表現するのに必要な赤色光の出力は視感度にほぼ比例して変化し、波長が短くなるほど必要とされる出力は小さくなる。したがって、消費電力やレーザ安全の観点からは短い波長であることが望ましいが、640nm以下で十分な光出力を得た報告例は非常に少ない。この本質的な原因は、赤色レーザで一般に構成されるAlGaInP系材料では、高出力化又は短波長化に対して十分なキャリア閉じ込めが困難であることやレーザ出射端面での瞬時的光学損傷が生じやすいことである。当社ではこれまでに培ってきたAlGaInP系材料の結晶成長技術や端面窓構造などの技術を用いて、波長638nmで発振するシングルモード及びマルチモードの高出力半導体レーザの開発をディスプレイ向けに行っている。

4. む す び

情報通信のさらなる高速化と情報機器の多機能化を実現するための基幹部品である高周波・光デバイスの現状と展望を述べた。進化を続ける情報社会が求めるデバイスをタイムリーに開発・提供することで、活力とゆとりある社会の実現に向けて貢献していく所存である。