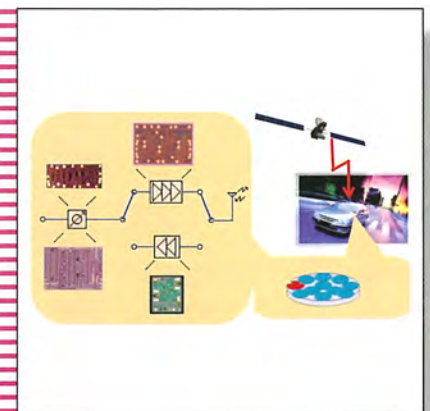
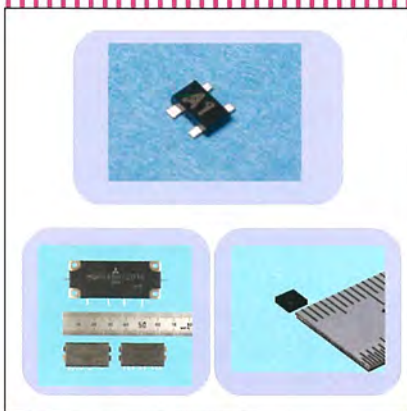
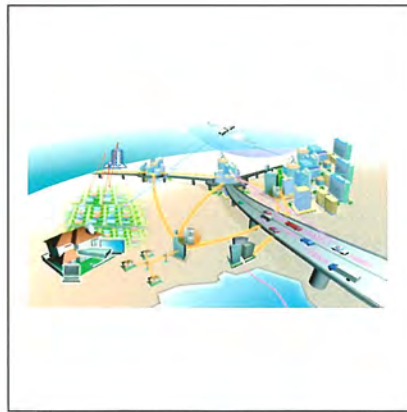
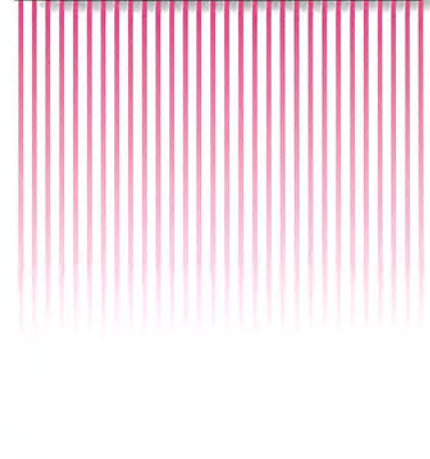
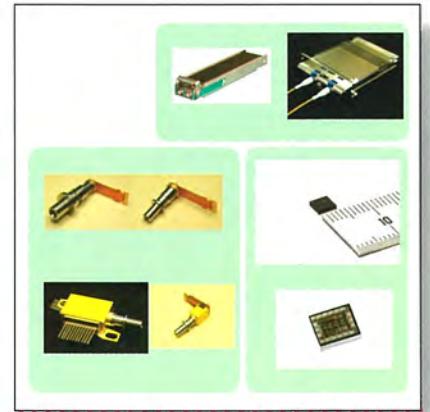
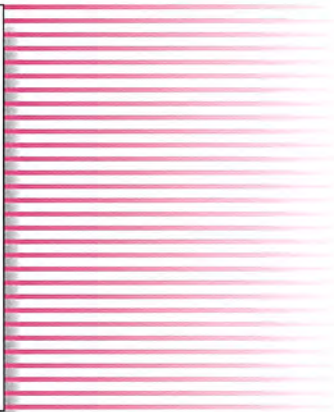


# MITSUBISHI

## 三菱電機技報 Vol.80 No.5

2006 **5**

### 特集「光・高周波デバイス」



## 目次

### 特集「光・高周波デバイス」

半導体の新しい巨大市場—宇宙太陽発電衛星—	1
賀谷信幸	
光・高周波デバイスの将来展望	2
三井康郎	
高効率・高出力青紫色半導体レーザー	7
歳本恭介・川崎和重・大野彰仁	
スリム型DVD記録ドライブ用小型半導体レーザー	11
久 義浩	
10Gbps小型プラグブル光トランシーバとその関連技術	15
小柳晴揮・柴尾新路・島田征明	
10Gbps-80km伝送用高出力変調器付きLD	19
宮崎泰典・大和屋 武	
10Gbps用低雑音AllnAs アバランシェ・フォトダイオード	23
石村崇太郎・柳生栄治・中路雅晴	
FTTH用光半導体素子	27
羽田英樹	
自己パルス発振半導体レーザー	31
西川智志・後藤田光伸・西村哲也・徳田安紀	
Cat-CVD法により保護膜形成した C帯100W超級GaN-HEMT	35
加茂宣卓・戸塚正裕・國井徹郎・山本佳嗣・奥 友希	
Pre-WiMAX用S帯増幅器モジュール	39
小室勝哉・奥田敏雄・宇土元純一・橘高義典・松下 良	
海外向けW-CDMA方式携帯電話用 電力増幅器の小型化	43
星 裕之・浅田智之・里田義仁・辻 将典	
高利得モールドHEMT	47
相原育貴・北野俊明・宮脇勝巳	
超広帯域・超小型マイクロ波集積チップセット	51
山内和久・檜枝護重・山中宏治・宮口賢一・磯田陽次	
光・高周波デバイス用パッケージと実装技術の動向	55
高木晋一	
エコプロダクツを目指した 特定化学物質削減の課題と解決策	59
谷野憲之・小崎克也・長谷川和義	

### Optical and High Frequency Devices

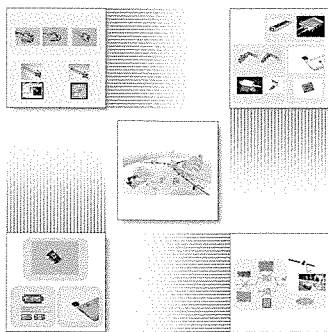
New Huge Market for Semiconductor—Solar Power Satellite—	
Nobuyuki Kaya	
Future Perspective of Optical and High Frequency Devices	
Yasuo Mitsui	
High-Efficiency and High-Power Blue Violet Laser Diodes	
Kyosuke Kuramoto, Kazushige Kawasaki, Akihito Ono	
Small Size Semiconductor Laser for Slim-Type Recordable DVD Drive	
Yoshihiro Hisa	
10Gbps Small Pluggable Optical Transceiver and Related Technologies	
Haruki Koyanagi, Shinji Shibao, Masaki Shimada	
High-Power EAM-LD for 10Gbps-80km Transmission	
Yasunori Miyazaki, Takeshi Yamatoya	
10Gbps Low Noise AllnAs Avalanche Photodiode	
Eitaro Ishimura, Eiji Yagyu, Masaharu Nakaji	
Optical Semiconductor Devices for FTTH	
Hideki Haneda	
Self-Pulsating Laser Diodes	
Satoshi Nishikawa, Mitsunobu Gotoda, Tetsuya Nishimura, Yasunori Tokuda	
A C-Band AlGaIn/GaN HEMT with Cat-CVD SiN Passivation Developed for an Over 100W Operation	
Yoshitaka Kamo, Masahiro Totsuka, Tetsuo Kunii, Yoshitsugu Yamamoto, Tomoki Oku	
S Band Power Amplifier Module for Pre-WiMAX Application	
Katsuya Komuro, Toshio Okuda, Junichi Udomoto, Yoshinori Kitata, Ryo Matsushita	
Size Reduced W-CDMA Mobile Phone Power Amplifier for Overseas	
Hiroyuki Hoshi, Tomoyuki Asada, Yoshihito Satoda, Masanori Tsuji	
High Gain Plastic Mold Package HEMT	
Yasuki Aihara, Toshiaki Kitano, Katsumi Miyawaki	
Microwave Monolithic Integrated Circuit Chip Set for Active Phased Array Antennas	
Kazuhisa Yamauchi, Morishige Hieda, Koji Yamanaka, Kenichi Miyaguchi, Yoji Isota	
Trend of Package and Jisso Technology for Optical and High Frequency Device	
Shinichi Takagi	
The Problems and the Solutions to Reduce Specified Chemical Substances for Ecoproducts	
Noriyuki Tanino, Katsuya Kosaki, Kazuyoshi Hasegawa	

### 特許と新案

「光半導体素子モジュール」「光変調器モジュール」	63
「負電圧発生回路」	64

### スポットライト

16倍速2層DVD±R記録用赤色350mWレーザー“ML1XX27シリーズ” —業界最高レベルのパルス出力350mWを実現—
---



### 表紙：光・高周波デバイス

近年、高度情報化の進展により、音声・映像・音楽などの情報を“いつでも・どこでも”やり取りできる社会の到来を実感する時代となった。

光通信分野では大容量情報伝送のための超高速システムの実用化を控えており、光ストレージ分野では記憶情報量の増大によりDVD光ディスク等の記録密度向上の動きが加速している。無線通信分野では携帯端末の小型高機能化が進むとともに新たな高速移動通信が可能な無線通信システム市場の到来も視野に入ってきた。

このような高度情報化社会を支える基幹部品としてのLD/PD, FET/MMIC等の光・高周波デバイスの果たす役割はますます大きくなってきており、今後更なる活躍が期待されている。

半導体の新しい巨大市場—宇宙太陽発電衛星—

New Huge Market for Semiconductor—Solar Power Satellite—



賀谷信幸  
Nobuyuki Kaya

今年の1月のような寒い冬を経験すると温暖化が嘘(うそ)のように感じる。ところが、温暖化だからこそ、このような異常気象が発生する。ブラジルに台風が来襲したり、昔と違う気象に変化していることは確かである。温暖化を防ぐには、二酸化炭素の排出を削減しなければならない。二酸化炭素が発生しない発電所、環境に優しいエネルギー源が求められ、早急な開発が必要である。いろいろなエネルギー源の中で、宇宙太陽発電衛星は将来の有望な発電所と考える。宇宙太陽発電衛星とは、太陽電池を宇宙に打ち上げ、発電した電力をマイクロ波で地上に送電する構想である。1968年にPeter Glaserが特許を取得してから、1978年にNASA(National Aeronautics and Space Administration)/DOE(Department of Energy)のReference System, 1997年にはFresh Look Study, 最近ではESA(European Space Agency)によるStudyと検討が進められている。日本でもJAXA(宇宙航空研究開発機構), USEF(無人宇宙実験システム研究開発機構), 大学でいろいろなプロジェクトが進められ成果が生まれつつある。我々の研究グループでも、サンドイッチ型と称した宇宙太陽発電衛星構想を提案し、技術開発に取り組んでいる。本年1月にもJAXA/ISAS(宇宙科学研究本部)のS-310-36号機の観測ロケットを用いて、レトロディレクティブアンテナ方式によるアクティブフェーズドアレーアンテナの試験を実施した。地上の3台のパラボラアンテナで高度約100kmのロケットからの信号の受信に成功し、今、研究室では解析が進められている。このロケット実験では、マイクロ波送電の基礎実験のみならず、ふろしき展開や網を歩行するロボットまで使った超大型宇宙建造物の建造法の検証実験と、大変欲張った実験である。この搭載機器は神戸大学と東京大学の学生により大変な苦勞の末に作り上げられた(詳細

は[http://www.isas.ac.jp/j/snews/2006/0122\\_s31036.shtml](http://www.isas.ac.jp/j/snews/2006/0122_s31036.shtml)と<http://www.isas.ac.jp/ISASnews/No.299/ISASnews299.html>)。

この宇宙太陽発電衛星の送電電力は、原子力発電所と同じく一基で100万kWを想定している。この電力をマイクロ波に変換して受電アンテナ(レクテナ)に送電して、地上の送電系統に供給する。地上での太陽光発電と異なり、宇宙では夜もなければ雨も降らないため、常時100万kWの電力を地上に供給することが可能である。100万kWものマイクロ波が地上に降り注がれば、電子レンジの中のように鳥が焼鳥になると多くの方が心配するが、焼鳥にするには電力密度が小さすぎる。逆に100万kWの電力を受けるためには100km<sup>2</sup>もの広大な受電アンテナが必要となる。

宇宙で発電された電力をマイクロ波に変換するためには、非常に多くの半導体アンプが必要である。一台のアンプを10Wとしても、フェーズドアレーアンテナで100万kWのマイクロ波を送電するためには、単純な計算で1億個のアンプが必要となる。まさに日本の携帯電話市場レベルの数である。世界で多くの宇宙太陽発電衛星が打ち上げられれば、数十倍、数百倍の巨大市場が出現する。携帯電話の次の市場と考えるが、先走りであろうか。

宇宙太陽発電衛星は、建設のために太陽電池の製造時に二酸化炭素の排出があるものの、発電時には全く二酸化炭素を排出しないクリーンな発電所である。将来は月に製造工場を作り、月の資源で太陽電池を作り、静止軌道上で組み上げることが提案されている。月の製造工場が実現されれば、地上には電力だけが供給され、真に環境に優しいエネルギー源である。数十年先には、多くの技術者が月に移住して、半導体アンプや宇宙太陽発電衛星を製造しているのではないだろうか。



三井康郎\*

# 光・高周波デバイスの将来展望

Future Perspective of Optical and High Frequency Devices

Yasuo Mitsui

## 要旨

インターネットやモバイル通信の普及で、音声による通信だけでなく映像・音楽など電子情報の通信へと高度化し、その情報が“いつでも・どこでも”に広がっていく情報社会の到来を身をもって感じられる時代となった。その中において、光・高周波デバイスは、この高度情報社会の通信ネットワークを支える基幹部品として、かつての産業用途中心から民生・情報通信用途へと大きく道が広がりつつある。

光通信分野では、伝送装置の小型化目的に向けた光トランシーバの高密度実装化が加速するとともに、新たな超高速40Gbpsシステムの実用化に備え、デバイス面での開発も着実に進展している。

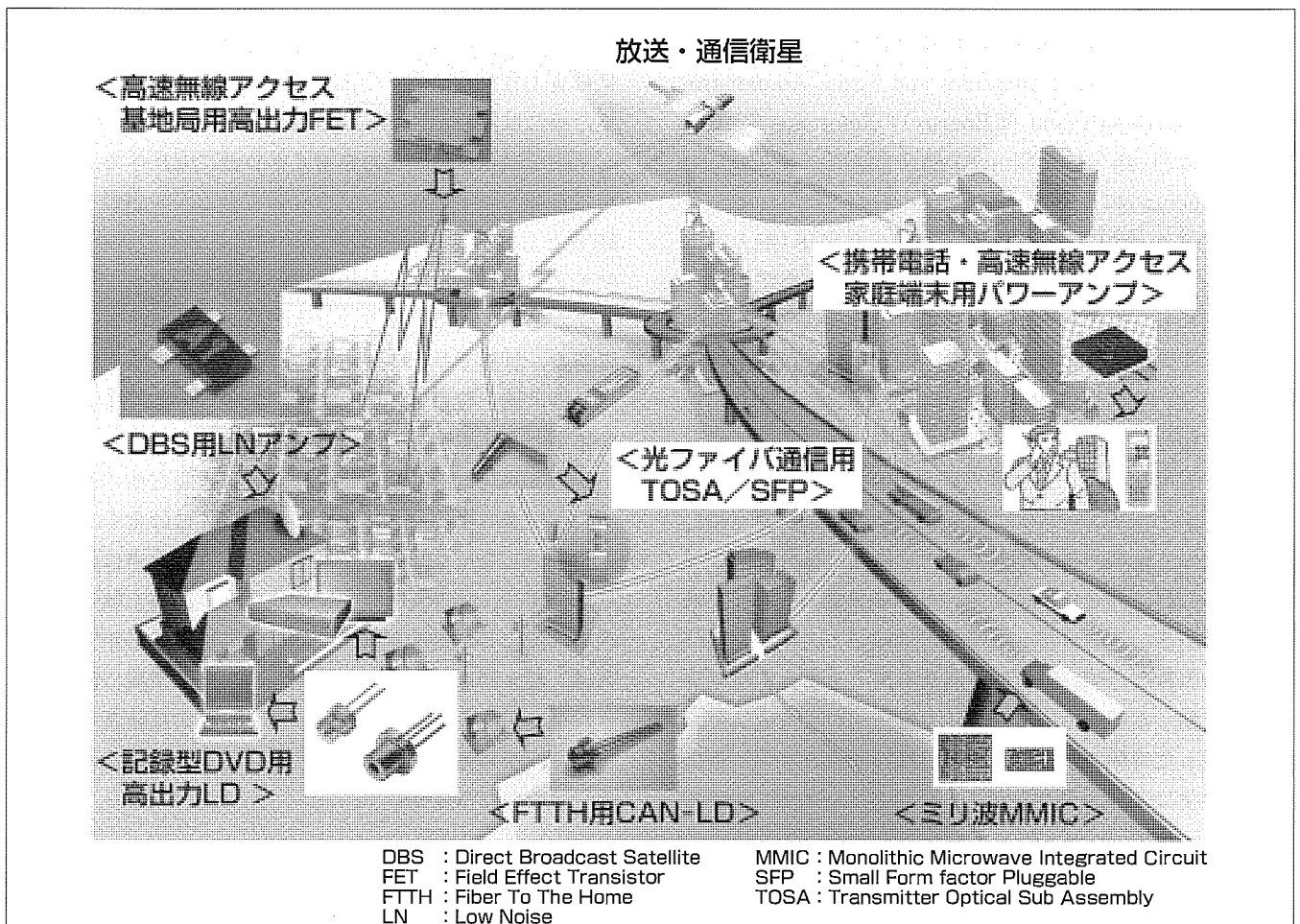
光ストレージの分野では、情報の増大によりストレージ

媒体としてDVD (Digital Versatile Disk) やCD (Compact Disc) 等光ディスクの使用頻度が高く、高出力化と合わせてドライブの小型化のためにモノリシック2波長高出力LD (Laser Diode) の製品化の動きが加速している。

無線通信分野では、携帯端末の小型高機能化が進むとともに、新たな高速移動通信可能な無線通信システム市場に対し、高伝送速度、小型・高効率電力増幅器実現の取り組みも急務となっている。

このように、高度情報社会を支える光・高周波デバイスには更なる品質・性能の飛躍を求められている。

本稿では、化合物半導体を中心とした市場、技術の現状と将来展望について述べる。



## 21世紀の情報社会を支える三菱電機の光・高周波デバイス

高度情報社会の通信ネットワークを支える光・高周波デバイスのアプリケーション例を示す。

## 1. ま え が き

情報交換の手段が、音声・文字による通信から、映像・音楽を含む多様な電子情報の通信へと急速に変貌(へんぼう)を遂げている。いまや、情報社会の到来を、ビジネススタイルのみならず、我々の身近な生活の中でも感じられるようになってきた。光・高周波デバイスは、光/無線を情報媒体とする通信ネットワークを支えるフロントエンド・インタフェースを構成する基幹部品であると言っても過言ではない。

本稿では、化合物半導体を中心とした光デバイス及び高周波デバイスの市場、技術の現状と将来展望について述べる。

## 2. 光デバイス

### 2.1 光情報処理用デバイス

#### 2.1.1 市場動向

情報家電の普及と映像などのデジタル情報の増大によって、データストレージ用媒体としてDVDやCD等の光ディスクを使用する頻度が高くなってきている。特に、映像の記録用途に記録型DVDはいまや欠くことができない存在となっており市場予想によると、記録型DVDドライブの生産総数(DVDレコーダーを含む)は2006年には約150M台、2007年は約170M台と予想され、2010年においても依然成長を続ける有望市場と見られている。

DVDドライブの記録性能として、DVD±R単層ディスクへの記録速度は既に物理的な限界(ディスクの回転数:1万rpm程度)である16xに到達している。現在は製品差別化のために2層ディスクへの記録速度競争の最終段階に入った状況にあり、記録型DVD用LDに求められるのは高い光出力と信頼性である。

パソコン(PC)市場では、デスクトップ型PCに内蔵されるハーフハイト(H/H:約4.1cm厚)サイズのドライブが主流であったが、近年はノート型PCの普及が進み、従来よりも薄型のドライブ(スリム型:12.7mm厚, ウルトラスリム型:9.5mm厚)が増える傾向が鮮明になっている。これらの薄型DVDドライブに搭載されるLDはパッケージの小型化が不可欠となるため、使用されるピックアップに適したスリム専用設計のパッケージ品開発が盛んに行われている。

DVDドライブ市場でも低価格要求に拍車がかかっているが、従来のピックアップ構成では2つの異なる光源から出射される波長の異なるレーザー光(DVD用:約660nm, CD用:約780nm)を精度良く合成するプリズムが不可欠で、コスト低減が困難な状況である。DVD用とCD用の2つの高出力LDを同一パッケージ内に収めた高出力2波長LDが量産できれば、合成プリズムなどのピックアップ構成部品

点数の削減によるコスト低減が期待できるため、現在盛んに開発が進められている。

一方、市場予想から、2007年以降は記録型DVDに加えてBD(Blu-Ray Disc, 容量25Gバイト), HD DVD(High Definition DVD, 容量15Gバイト)の市場が大きく成長すると見込まれている。特に、2008年に北京で開催予定のオリンピックを契機にTV放送受信セットにおけるアナログ方式からデジタルハイビジョン方式への移行が進み、ハイビジョン放送が録画可能なBD, HD DVDドライブの数量が伸びると考えられている。2層ディスクへの記録速度が2xの場合は120~150mW程度、~5xの場合は200mW以上の光出力が必要とされ、これらの要求に対応する高出力青色LDの開発が進められている。

#### 2.1.2 光情報処理用デバイスの技術/開発動向

記録型DVDドライブでは、2層ディスクへの8x記録を実現するために300mW級のLDが既に使用されており、次世代の2層16x記録にはそれを超える350mW程度の出力が必須とされている。一方、薄型記録型DVDドライブではH/Hドライブに比べ内部スペース的に厳しいため内部温度上昇が激しく、LDのパッケージを小型化してもH/Hドライブ用のφ5.6mm標準パッケージと同等以上の放熱性を確保する必要がある。2波長LDを記録型DVDドライブに適用するためには、DVD及びCDの両方で250mW以上の光出力が必要であることに加え、チップを別々に配置するハイブリッド型ではなく、2つの発光点を同一チップ内に作り込むモノリシック化による高いビーム間隔精度の確保が不可欠である。

三菱電機では、LDの光出射端面での光吸収による破壊を抑制するために端面窓構造を導入した高出力LDの生産に多くの実績を持っており、すべてのDVD用高出力LDに適用している。この端面窓構造に加えて、電流密度の低減と熱抵抗の低減を目指して2.2mmの長共振器長を採用し、更に安定したレーザ発振を実現するために、高精度で光導波路を形成できるエッチング技術等を駆使して350mW赤色LDを実現した。また、スリム化の要求に対応するため、当社では、キャップを省略することでLDの放熱性に優れた大型ブロックが設置可能なキャップレス構造のパッケージを開発した。このキャップレス型パッケージによって高い放熱性を確保すると同時にコスト低減を図ることが可能となった。これまでに、キャップレス型製品として、H/Hドライブ用φ5.6mmパッケージ、スリムドライブ用φ3.8mm小径パッケージ、ウルトラスリムドライブ用2.5mm厚Iカット型パッケージを採用した高出力赤色LDのラインアップを備えている(図1)。2波長LDに対しては、当社がこれまで培ってきた端面窓構造技術をDVDとCDの両方に適用することで、高い光出力と信頼性を確保した高出力DVD/CDモノリシック型2波長LDの製品化を進めてい



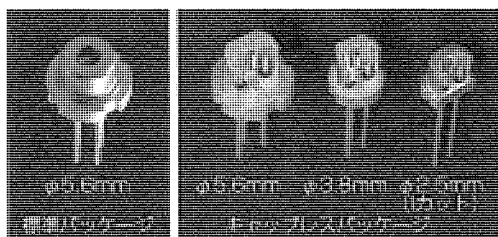


図1. 記録型DVD用パッケージ

る。一方、BD、HD DVD用青紫色LDについては、当社独自の技術で活性層内部の光損失を低減し、高い発振スロープ効率(1.85W/A)を実現している。この構造を適用した結果、80℃の高温にもかかわらず300mW以上の連続発振光出力が得られている。今後、更なる光出力向上を図るとともに、市場ニーズとリンクして製品化を進める予定である。

## 2.2 光通信デバイス

### 2.2.1 市場動向

家庭に光ファイバを導入する時代が到来し、日本国内ではFTTHの本格普及が始まった。現在のFTTH加入者は400万加入を越えており、加入者数の増加では既にADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)の増加を上回っている。NTTを始めとする通信事業者は2010年までに3,000万加入を目指して強力なキャンペーンを展開中であり、当分はこの活況が続くものと思われる。光通信デバイスとしては、FTTHの加入者側に使用されるFP-LD(Fabry Perot Laser Diode)/PD(Photodiode)や局側に使用されるDFB-LD(Distributed Feedback-Laser Diode)/APD(Avalanche Photodiode)の需要がメディアコンバータ、B-PON(Broadband Passive Optical Network)そしてGE-PON(Gigabit Ethernet Passive Optical Network)用として急増している(図2)。

米国では、小規模キャリアがFTTxサービスを導入しているが、ベル系電話事業者3社が2005年以降のサービス開始を目指してFTTxの投資を進めている。データ通信に加え、映像情報を流すトリプルプレーの計画であり、その中にはIP技術により映像伝送する計画も含まれている。韓国を始めとするアジア諸国でもFTTxの導入が計画されており、数年のうちに普及が始まるものと思われる。

従来のブロードバンドサービスより更に高速なFTTxの普及により、IP-TV(Internet Protocol Television)やVOD(Video on Demand)などの映像通信サービスへの展開が進められており、従来にも増して通信トラフィックが増加することが予想される。このように、ブロードバンドサービスの普及につれて、これを支えるメトロ系の通信容量も不足する状況となり、設備投資による光通信市場の回復が進みつつある。これと連動して、2.5Gbpsや10Gbpsデバイスの要求が増えるとともにDWDM(Dense Wave-

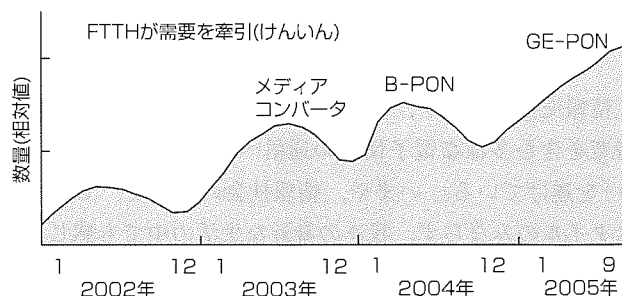


図2. FP-LD出荷数推移

length Division Multiplexing)用デバイスの需要も活況を呈しつつある。既にデバイスの数量ベースの需要は通信バブル時を上回った。今後は幹線系の通信容量も不足する状況になると思われる、超高速40Gbpsシステム商用化の動きも始まっている。

### 2.2.2 光通信デバイスの技術/開発動向

日本のFTTHは光伝送速度1.25GbpsのGE-PONでの普及が進んでいるが、米国のG-PON(Gigabit Passive Optical Network)ではIP-TVなどの映像伝送も視野に入れて2.5Gbpsで計画されており、今後はFTTHの高速化が進んでいくと思われる。

メトロ系や幹線系では、伝送装置の小型化・低消費電力化の要求と、これに対応した光トランシーバとしてもMSA(Multi Source Agreement)規格化活動/製品化とあいまって、光ファイバピグテール付き光トランシーバからSFP/XFP(10Gigabit small Form factor Pluggable)などのプラグブル光トランシーバに主役が交代しつつある。これに伴い、搭載する光モジュールもTOSA/ROSA(Receiver Optical Sub-Assembly)への移行が進んでいる。

2.5Gbps以下の伝送速度では、SFPが標準となってきており、現状の短距離から80km/CWDM( Coarse Wavelength Division Multiplexing)用までの使用に加え、今後はDWDM用までSFPが使用される見込みである。最近では広い温度範囲での動作が要求されてきており、当社では、これに対応するため-40~+95℃で動作するDFB-LDの製品出荷を始めている。

10Gbpsでは300ピントランスポンダからプラグブルであるXENPAK(10Gigabit Ethernet Package)/X2やXFPへの移行が進んでおり、これに使用する光モジュールはXMD-MSA(10Gbps Miniature Device-Multi Source Agreement)として規格化されている。10Gbpsの消費電力は相対的に大きく、パッケージの小型化に伴い内蔵されるLD素子の温度が高くなるため、高温動作のデバイスが要求されている。当社では、高温動作に有利なAlGaInAs系10Gbps DFB-LDで市場要求に対応した製品を出荷している。また、この素子を内蔵したXMD-MSA規格のTOSA、及びXFPの開発・製品化を行っている。受光素子であるAPDでも低雑音化を図り、この素子を内蔵したROSA

で-28dBmの受信感度を達成した。長距離対応では、変調器集積LDで高出力と長距離伝送の両立を図り、+3dBmの光ファイバ出力で80km伝送を実現している。DWDM用では、波長安定性の観点から、許容消費電力が大きいXFPのダブルサイズであるXFP-E(Extended Size)で製品を提供していく。

また、次期40Gbpsの商用化に向けては、小型・低消費電力化や低コスト化が求められており、要求に対応した製品を開発していく。

### 3. 高周波デバイス

#### 3.1 携帯電話用電力増幅器

##### 3.1.1 市場動向

国内の携帯電話契約者数は2005年12月現在で約9,000万件に達しており、年間約450万台のペースで増えてきている。国内携帯電話の方式別生産比率を図3に示す。第三世代と呼ばれるW-CDMA(Wideband-Code Division Multiple Access)及びcdma2000が2004年では全体の約半数程度であったが、2006年には全生産台数の95%程度を占めると予測している。市場で現在使われている第二世代携帯電話から第三世代携帯電話への置換えは進むが、国内市場では買い換えが主な端末需要となっており、出荷台数としてはおおむね年間4,000万台強程度で今後も堅調に推移すると考えている。

電力増幅器需要の面からは、携帯端末のマルチバンド化に伴い9,000万個以上で推移すると見込まれる。

一方、世界的な市場動向としては、国内のように第三世代への移行がスムーズには進んでおらず、2005年の出荷端末におけるW-CDMA端末の比率は7%程度、cdma2000の比率は20%程度にとどまっている。2006年以降は端末のUMTS(Universal Mobile Telecommunications System)化への動きに伴いW-CDMA用電力増幅器需要が加速する

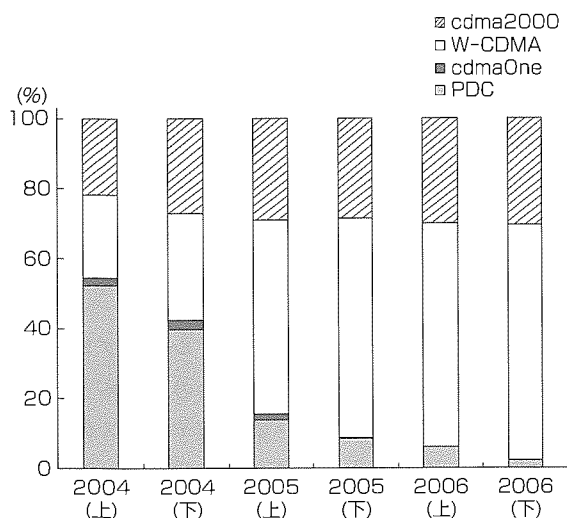


図3. 国内携帯電話方式別生産比率(当社出荷実績から推定)

と予想している。

#### 3.1.2 携帯電話用電力増幅器の技術/開発動向

第三世代携帯電話は、データ伝送レートが高いだけでなく、高解像度のカメラを内蔵しTV電話機能やゲーム、更にハードディスク内蔵やデジタルTVの受信機なども内蔵される機種もあり、多機能・高機能化が加速している。従来から携帯電話用電力増幅器には小型軽量、低ひずみ高効率動作が要求されてきたが、これらのマルチメディア化に対応するため、更なる特性向上が要求されている。

当社では、アナログ方式の第一世代携帯電話の時代から一貫して携帯電話用電力増幅器を開発製品化しており、常に業界最高レベルの品質・性能を達成してきた。第三世代携帯電話用電力増幅器としてはInGaP HBT(Heterojunction Bipolar Transistor)をいち早く実用化し、業界最高レベルの効率50%を達成するとともに、0.02ccの小型化に成功した。また、2005年には更に小型化を進め、0.01ccのパッケージ製品についても開発を完了し、既に量産化を行っている。

今後の携帯電話用電力増幅器にかかわる技術動向としては、電力増幅器単体の性能改善・小型化とともに、複合モジュールに向けて進んでいくものと考えている。

##### (1) 高速化への対応

HSDPA(High Speed Downlink Packet Access)やHSUPA(High Speed Uplink Packet Access)に対応できるように、従来と比較しピークパワーが高くなっても低ひずみを実現できるHBT構造の改善や整合回路の最適化が必要となる。

##### (2) マルチバンド対応

周波数の逼迫(ひっばく)や海外ローミングに対応するために、デュアルバンド・トリプルバンド機用広帯域電力増幅器が求められる。

##### (3) 低電圧動作

電池の高容量化に伴う終止電圧低下に対応した低電圧動作可能な電力増幅器に向け、HBTデバイスの開発を進める必要がある。

##### (4) 切替式電力増幅器

W-CDMAやcdma2000においては、中・小出力電力時の効率改善も重要となるが、現在の電源電圧制御からスイッチによる切替式にすることでシステムの簡略化が可能となる。

##### (5) アイソレータレス化

電力増幅器の出力側にアイソレータを必要としない電力増幅器で、実現に向けて回路設計での安定性向上と、HBT改善による耐電力性向上が必要である。

##### (6) 複合モジュール

フィルタの内蔵化、GSM(Global System for Mobile communications)など他の方式の電力増幅器との複合化も

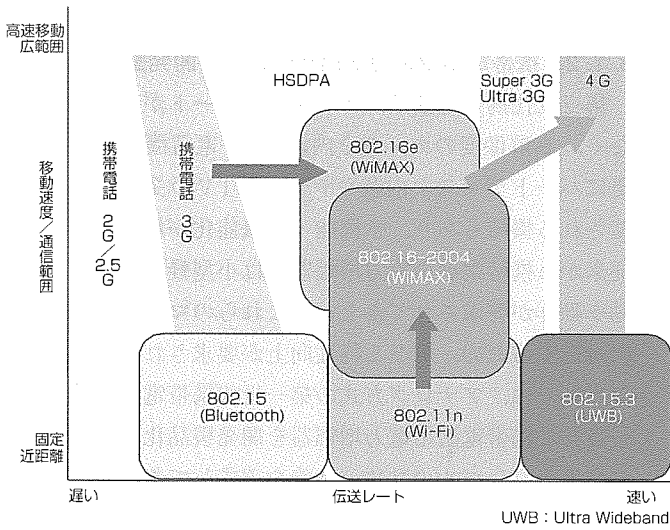


図4. 通信システムの動向

視野に入れたモジュールの検討も必要となる。

当社では、HBTデバイス構造の改善と最適回路設計を両輪として、上記ニーズに対応した幅広い製品展開を図っていく。

### 3.2 無線アクセス用デバイス

#### 3.2.1 市場動向

携帯電話を含めた無線通信システム全体の動向を図4に示す。無線通信システムの大きな流れとして、高伝送レート化、広域化、高速移動通信、標準・低価格化が進められている。

市場規模として、無線アクセス市場は携帯電話市場に次ぐ大きな市場となっており、現時点ではIEEE802.11x (Wireless Fidelity: Wi-Fi)が主流となっているが、新たな市場として広域・高伝送レート・高速移動通信が可能なIEEE802.16x (Worldwide interoperability for Microwave Access: WiMAX)に基づくシステムの成長が期待されている。また、市場の急速な拡大に伴い、システム及び部品レベルでの低価格も進むことになる。

#### 3.2.2 無線アクセス用電力増幅器の技術/開発動向

性能向上・コスト低減に対して、以下の項目が重要となる。

- 変復調やコーディング技術
- ソフトウェア無線をベースとしたマルチモード化
- リンク品質やチャネル容量向上のためのアダプティブアンテナ技術
- 通信品質向上に対応した大出力電力化
- 小型・高効率化・標準化

これらのシステム側での技術動向に対応して、高速無線アクセス用電力増幅器の技術動向は、家庭端末用及び基地局用に対してそれぞれ以下の状況になっている。

##### (1) 家庭端末 (Customer Premises Equipment: CPE)

家庭用端末としては現在のセットトップボックス型から

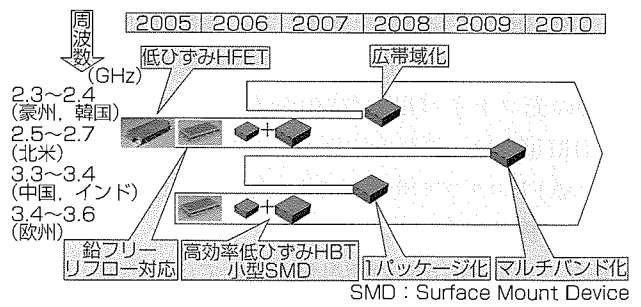


図5. WiMAX家庭端末用送信デバイス開発トレンド

今後はPCカード型、PC本体にビルトインされるようになっていくため、家庭端末用としては

- 低コスト化(標準化, 高集積化, 専用設計)
- 単一電源動作, 小型, 高集積化
- 低電流/低ひずみ化(多様なひずみ規格への対応も必要)
- 広帯域, マルチバンド化

が要求される。このトレンドを図5に示す。

当社では、これらの要求にこたえるため、汎用品である個別素子を使った設計から、モジュール化、専用設計IC化を進めていく。また、基本トランジスタ構造も通信工業用として一般的なGaAs FET・HFET (Heterostructure FET) から、小型・低価格化が可能な携帯電話用増幅器に使っているInGaP HBTを適用して高性能・小型・低価格化に対応していく。

##### (2) 基地局 (Base Transceiver Station: BTS)

基地局用としては、基地局本体の小型・低価格化だけでなく、システム運営の設置コスト低減、ランニングコスト低減、信頼性向上に対応したデバイスが要求される。そこで、基地局用電力増幅器としては

- 低コスト化(パッケージ標準化)
- 低電流/低ひずみ(低アイドル電流でもひずみ劣化の少ない)
- 高出力化(30W⇒60W)

が要求される。

当社では、これらの要求にこたえるため、新規デバイス構造の開発、低電流・低ひずみ回路設計、低コストパッケージ開発及びウェーハプロセスの高品位化によって、性能向上・コスト低減を進めていく。

## 4. む す び

市場のパーソナル(小型)化・モバイル化・ブロードバンド化への急速な展開とともに情報社会の通信ネットワークを支える基幹部品となった光・高周波デバイスの現状と将来を概観した。今後とも、更なる高性能・低コストの実現に向けて果敢にチャレンジし、情報社会の発展に貢献していく所存である。



# 高効率・高出力青紫色半導体レーザー

蔵本恭介\*  
川崎和重\*  
大野彰仁\*

High-Efficiency and High-Power Blue Violet Laser Diodes

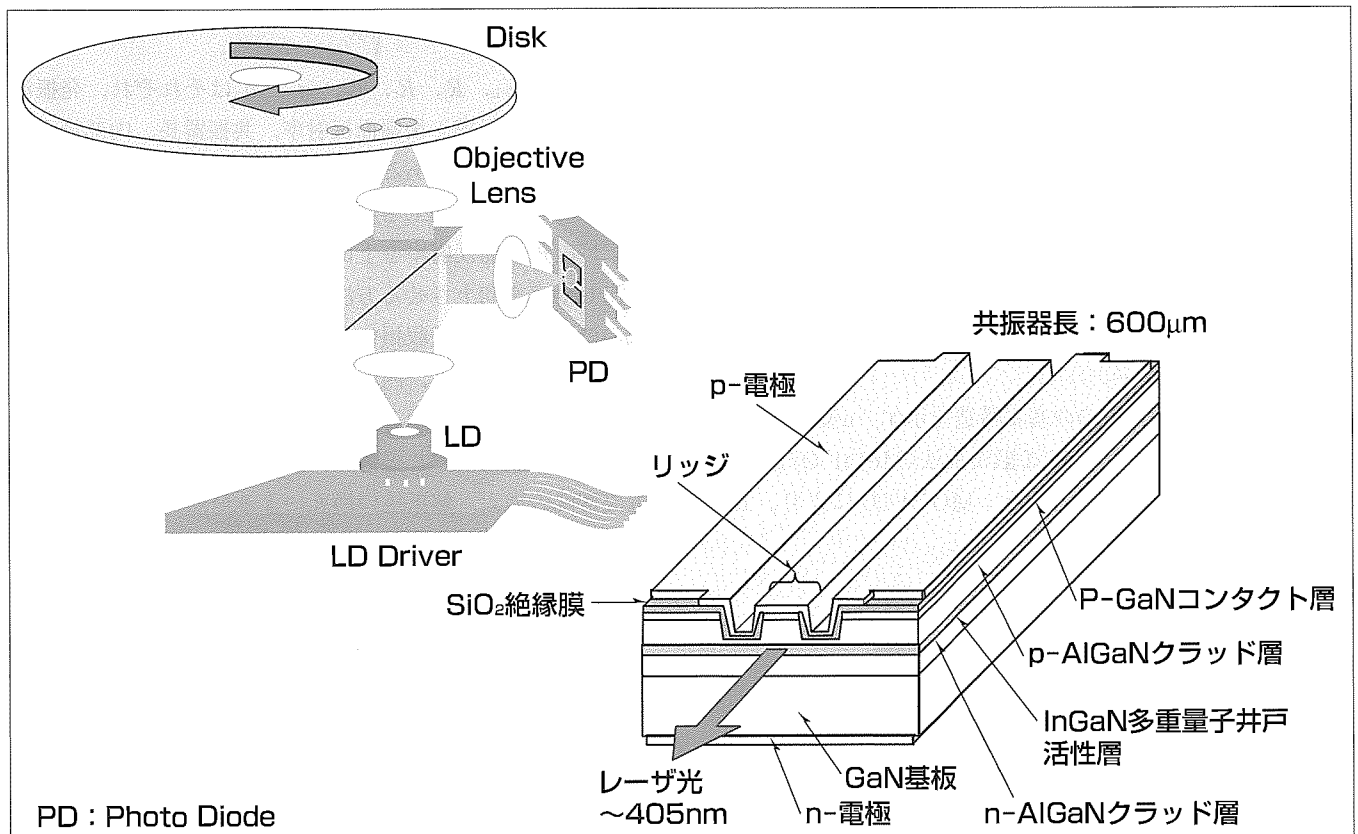
Kyosuke Kuramoto, Kazushige Kawasaki, Akihito Ono

## 要 旨

Blu-Ray又はHD-DVD(High Definition-Digital Versatile Disc)などの次世代光ディスクシステムにおいても、記録型DVDと同様、大容量の情報を快適に操作するための記録速度向上や、大容量化のための多層ディスクへの対応が不可欠である。これを実現するためには光源用LD(Laser Diode)であるGaN系青紫色半導体レーザーの高出力化が必要であるが、高出力動作に伴う動作電流の増大により、電圧の上昇や発熱の増大が原因となって起きる光出力-電流特性の折れ曲がり(キンク)の発生、あるいは信頼性の劣化といった問題点が発生する。そこで、動作電流の低減が非常に重要な課題となるが、その解決手法として、

注入電流に対する光出力の割合であるスロープ効率を向上させる必要がある。

三菱電機では、このスロープ効率を向上させる方法として、ウェル層内に存在する光の割合である光閉じ込め係数を低減することが有効であることを見だし、レーザーの設計に適用した。その結果、世界最高となるスロープ効率1.85W/Aまでの高効率化を実現するとともに、80℃における連続動作で300mWまでのキンクフリー発振を達成、次世代光ディスクシステムの光源用LDとして有望であることを確認した。



## 次世代光ディスク用光ピックアップとGaN系青紫色半導体LD

次世代光ディスクシステムでは、光ピックアップに搭載される光源として、400nm帯GaN系青紫色半導体レーザーが用いられる。記録速度の高速化・低消費電力化の要求にこたえるためには、このレーザーの高出力化・低動作電流化が必要となる。

## 1. ま え が き

現在、パソコン又は再録画機用として、DVDシステムが普及している。今後、映像のハイビジョン化や、パソコン、ゲーム機の高性能化に伴い、より高密度記録が可能となるBlu-Ray又はHD-DVDなどの次世代光ディスクシステムの市場が拡大してくるものと考えられる。GaN系材料を用いた青紫色半導体レーザ(LD)は、この次世代光ディスクシステムのキーデバイスであり、その研究開発が活発に進められている。

次世代光ディスクシステムでも、記録型DVDと同様に、大容量の情報を快適に操作するための記録速度向上や、大容量化のための多層ディスクへの対応が不可欠であり、これを実現するために、光源用LDに対する高出力化の要求が極めて強くなっていくと考えられている。第一世代の次世代光ディスクシステムでは、記録速度2倍を実現するために、150mW級のLDが必要とされる。次世代においては記録速度が4～5倍となり200mW級のLDが必要とされ、最終的には500mW級のLDが必要となると予想されている。

このような高出力動作を実現するためには、必然的に動作電流が大きくなるが、これに伴って、動作電圧の上昇や、発熱の増大が原因となって起きる光出力-電流特性の折れ曲がり(キंक)の発生<sup>(1)</sup>、又は信頼性の劣化といった問題点も発生する<sup>(2)</sup>。注入電流に対する光出力の割合であるスロープ効率を向上させることで動作電流を低減することができることから、当社では、スロープ効率の向上に重点を置き、LDの開発を行っている。

本稿では、このGaN系LDについて、その設計と特性を述べる。

## 2. 素子構造

### 2.1 基本構造

図1にGaN系青紫色LDの基本構造を示す。n型導電性を持つGaN基板上有機金属気相成長法(Metal Organic Chemical Vapor Deposition: MOCVD)により、n-

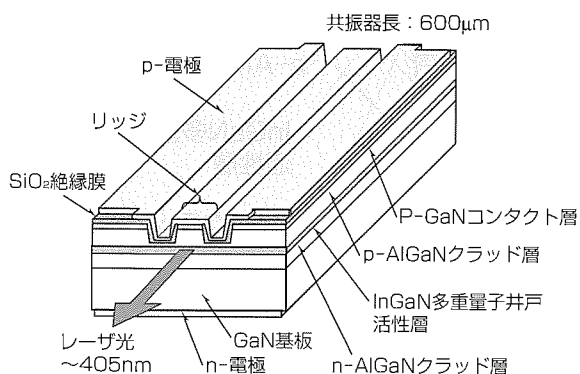


図1. GaN系LDの素子構造

AlGaNクラッド層からp-GaNコンタクト層までを積層する。活性層にはInGaN材料を用いた多重量子井戸構造を用いている。p-GaNコンタクト層とp-AlGaNクラッド層をドライエッチング法によりエッチングし、幅約1.5μmのリッジ導波路を形成した。その後、SiO<sub>2</sub>絶縁膜を形成し、リッジ上部のみ開口させた上でp電極を形成し、リッジ部のみ電流が流れるようにしている。基板裏面にはn電極を形成し、垂直方向に電流が流れる構造となっている。レーザ共振器長は600μmとした。前端面には20%の反射コーティングを、後端面には95%の高反射コーティングを施している。このLD素子のジャンクションアップでAlNサブマウントにダイボンドし、直径5.6mmのCANパッケージに搭載した。

GaN系半導体LDの光出力特性は、基板上に積層したエピタキシャル層の結晶性に大きく左右される。すべての層について、成長温度、V-Ⅲ比、成長速度などの結晶成長条件の最適化を行うことで、良好な光出力特性が得られるようになった。

### 2.2 高効率化設計

スロープ効率 $S_e$ は以下の関係式で表すことができる。

$$S_e = \frac{1.24}{\lambda_L} \times \frac{1}{1 + \frac{1-R_r}{1-R_f} \sqrt{\frac{R_f}{R_r}}} \times \frac{\ln\left(\frac{1}{R_f R_r}\right)}{2a_i \times L_c + \ln\left(\frac{1}{R_f R_r}\right)} \times \eta_i$$

ここで、 $\lambda_L$ 、 $R_f$ 、 $R_r$ 、 $L_c$ 、 $\eta_i$ 、 $a_i$ はそれぞれ、発振波長、前端面反射率、後端面反射率、共振器長、内部量子効率、及び内部損失である。

スロープ効率を向上させる方法としては、前端面反射率を下げ、後端面反射率を上げることで、前端面からの光取り出し効率を向上させる方法が一般的に用いられている。このほかに、光の吸収損失を小さくする方法として、共振器を短くする方法と、内部損失すなわち共振器内での光の吸収そのものを低減する方法がある。ここで、共振器長を短くする方法では、共振器長に反比例した直列抵抗の増大、電流密度の増大、熱抵抗の増大による発熱の増加などのデメリットが発生するため、高出力動作には好ましくない。一方で、内部損失を低減することに対しては、特にデメリットがないことから、これについての検討を行った。

GaN系LDのウェル層として用いられるInGaN層では、数十～数百nmのオーダーでIn組成が揺らいでいることがよく知られている<sup>(3)</sup>。これによって、ウェル層のバンドギャップは、図2に示すように、In組成が大きい領域ではバンドギャップが小さく、In組成が小さい領域ではバンドギャップが大きくなっている。In組成が大きくバンドギャップが小さい領域では、キャリア密度が高いために、レーザ発振に必要な光学利得を持つことになる。一方、In組成が小さくバンドギャップが比較的大きな領域では、キャリア

密度が小さいために光吸収領域となるものと考えられ、これによってウェル層での光吸収量が大きくなっているものと考えられる。

ここで、ウェル層における内部損失量は、このウェル層での吸収量の大きさを表す吸収係数と、伝搬光全体に対し井戸層に存在する光強度の割合を表す量である光閉じ込め量( $\Gamma_{well}$ )の積で決定される。このうち、ウェル層の吸収係数の低減については、In組成揺らぎの大幅な抑制が困難であることから難しいと考えられるため、 $\Gamma_{well}$ の低減による内部損失低減でスロープ効率を改善することを検討した。

$\Gamma_{well}$ を低減する方法としては、n-AlGaInクラッド層やp-AlGaInクラッド層のAl組成を調整し、材料の屈折率を変化させて、LD内における光分布形状(近視野像)を変更する手法がある。この方法で実際にLDを作製したところ、図3に示すように、 $\Gamma_{well}$ が小さくなるにつれ、スロープ効率が向上することが分かった。

### 3. 素子特性

#### 3.1 光出力特性

連続発振(Continuous Wave: CW)条件における光出力-電流特性の例を図4に示す。図中には、 $\Gamma_{well}=3.4\%$ である従来のLDの80℃での測定結果、及び $\Gamma_{well}$ を2.7%に低減してスロープ効率を改善したLDの25℃並びに80℃での測定結果を示す。 $\Gamma_{well}=2.7\%$ としたLDでは、80℃において、しきい値47.3mA、スロープ効率1.85W/A、キック

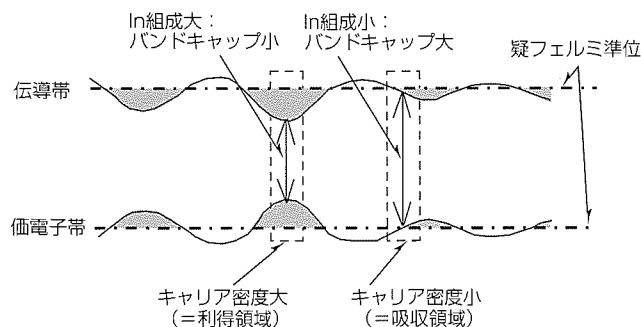


図2. InGaInウェル層のバンドギャップ模式図

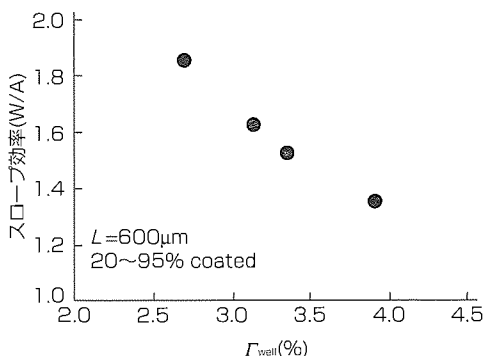


図3.  $\Gamma_{well}$ とスロープ効率の関係

フリーで300mW以上の光出力が得られた。これまで報告されているスロープ効率は1.5W/A前後の値であり、開発したLDのスロープ効率1.85W/Aは、世界最高値となるものである。

300mW時の動作電流は209mAで、従来品の予測値240mAに対し31mAの低減となっている。発振波長は約407nmであった。80℃においても25℃とほぼ同じスロープ効率を維持し、光出力のリニアリティも非常に高いなど、温度特性についても非常に良好である。

#### 3.2 遠視野像

近視野像と遠視野像は互いにフーリエ変換の関係にあることから、通常、近視野像を変化させると同時に遠視野像も変化する。そこで、AlGaInクラッド層など各層の屈折率を精密に制御することで、遠視野像を従来と同等にしたまま $\Gamma_{well}$ を低減するような設計を行った。

$\Gamma_{well}=2.7\%$ としてスロープ効率を向上させたLDの25℃, CW条件における70mW時の水平及び垂直方向の遠視野像を図5に示す。半値全幅はそれぞれ9.1°, 20.1°, アスペクト比は2.2と、従来のLDと同等の値であり、光ディスク

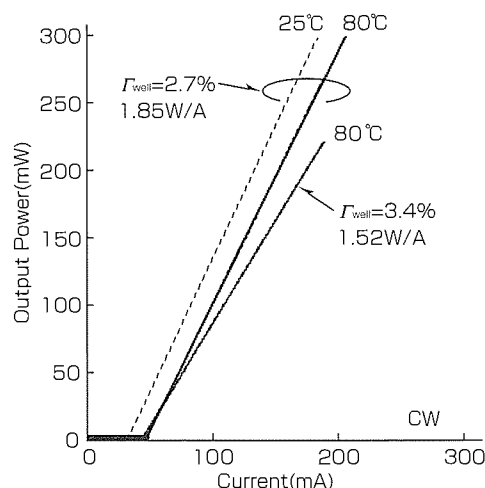


図4. 光出力-電流特性

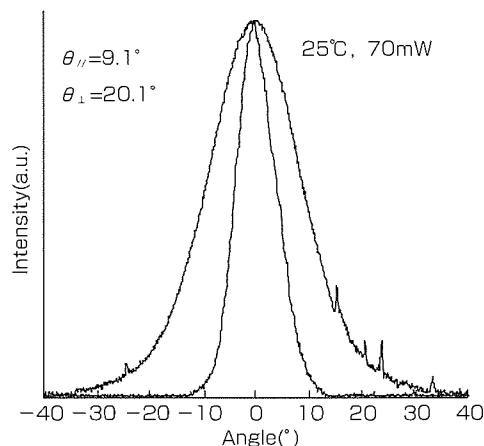


図5. 遠視野像

ステム用として適当な形状となっている。

#### 4. む す び

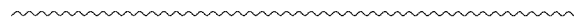
次世代光ディスクシステム用として、リッジ導波路型 GaN系青紫色半導体LDの開発を行った。光閉じ込め係数の低減により、スロープ効率1.85W/Aまでの高効率化を実現し、80℃における連続発振条件で300mWのキンクフリー発振を実現した。

LDに要求される光出力が高ければ高いほど、高効率化による動作電流低減効果は大きくなる。したがって、この高効率LDは、今後の高出力化要求にこたえることのできる非常に有望なものである。

この開発は三菱電線工業(株)と共同で行われたものであり、深く感謝する。

#### 参 考 文 献

- (1) Abe, S., et al.: High Power and high temperature Operation of 660nm AlGaInP laser diodes for DVD-R/RW, SSDM 2003, 176~179 (2003)
- (2) Tojyo, T., et al.: GaN-Based High Power Blue-Violet Laser Diodes, Jap.J.Appl.Phys. **40**, 3206~3210 (2001)
- (3) Chichibu, S., et al.: Spatially resolved cathodoluminescence spectra of InGaN quantum wells, Appl.Phys.Lett., **71**, 2346~2348 (1997)



# スリム型DVD記録ドライブ用小型半導体レーザー

久 義浩\*

Small Size Semiconductor Laser for Slim-Type Recordable DVD Drive

Yoshihiro Hisa

## 要 旨

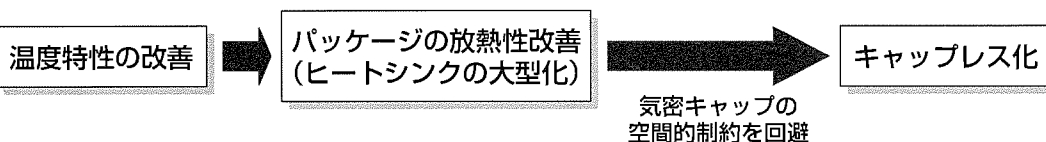
記録型DVD(Digital Versatile Disk)ドライブの大容量化・高速化に伴い、単層メディア16倍速記録用と2層メディア8倍速記録用に対応できる高出力赤色半導体レーザー(Laser Diode: LD)を開発し量産化してきた。また、近年可搬性に優れたノート型パソコンの需要が増加しており、このノート型パソコンに使用されるスリムドライブやウルトラスリムドライブに搭載可能な小型パッケージの開発・製品化が重要となってきた。

高出力かつ小型の半導体レーザーの開発では、高放熱の小型パッケージの開発が鍵(かぎ)となるが、高放熱性を確

保するためにはヒートシンクブロックを最大限に大きくする必要があり、気密キャップによる空間的制約を回避する必要があった。

三菱電機では、キャップレス化によりφ3.8mmの高出力赤色半導体レーザーを開発した。この小型キャップレスパッケージ製品では、既存の気密型φ5.6mmパッケージ製品と同レベルのレーザー特性が得られている。また、耐環境性に対する信頼性検証を様々な角度から実施し、品質規格を十分満足していることを確認した。

## スリム型DVD記録ドライブ用レーザー開発のポイント



## 各種DVDドライブに要求される半導体レーザーサイズ

パソコン種類	デスクトップ	ノートタイプ	薄型ノートタイプ
DVDドライブ種類	ハーフハイト(H/H)ドライブ	スリムドライブ	ウルトラスリムドライブ
ドライブ厚み	40mm	12mm	9.5mm
LD径	5.6mm以下	4mm以下	3mm以下

## DVD用赤色半導体レーザーのパッケージ形状

H/Hドライブ用	スリムドライブ用	
φ5.6mm	φ3.8mm	φ3.8mmキャップレス

## 記録型DVD-R/RW/RAM用半導体レーザー

スリムドライブに搭載可能で、かつ高出力化に対応するためには、放熱性に優れた小型パッケージの赤色半導体レーザーを開発する必要があった。これらを実現するために、キャップのない非気密構造のパッケージ製品を開発した。



1. ま え が き

パソコン(PC)用外部記憶装置の大容量化に伴い、大容量のDVD±R/RWドライブが主役の座を占めつつある。また、データ記録速度の向上が求められてきており、現状では単層メディア対応のドライブでは既に最高速度の16倍速に達しているばかりでなく、容量が2倍の二層メディアのものにおいても8倍速に達している。これらのDVDドライブの光源には波長650nm帯の赤色半導体レーザが用いられるが、高速化に伴いピット形成に要する時間が短くなるため、300mWを超える高出力LDが使用されている。

記録型DVDドライブの今後の市場規模予測を図1に示すが、2010年までは大きな成長が見込まれている。また、DVDドライブの外形サイズにおいて、現在は据置式のデスクトップパソコンに搭載されるハーフハイト(H/H)のDVDドライブが主流ではあるが、可搬性の要求の高まりに伴い、ノート型パソコンに搭載されるスリムドライブや更に薄型のウルトラスリムドライブの割合が増加し、2007年には全DVDドライブの35%、2010年には50%まで高まるものと予想されている。

これまで当社はH/HのDVD±R/RWドライブ用として、単層メディアの16倍速記録用に“ML1xx25シリーズ”(パルス光出力250mW,  $\phi$ 5.6mmパッケージ)<sup>(1)</sup>と“ML1xx26シリーズ”(同300mW,  $\phi$ 5.6mmパッケージ)、2層メディアの8倍速記録用に“ML1xx27シリーズ”(同350mW, 同パッケージ)、スリムドライブの単層メディア8倍速記録用に“ML129E23”(同200mW,  $\phi$ 3.8mmパッケージ)を開発し量産してきた。

本稿では、今後も伸長が期待されるスリムドライブに搭載可能な当社の小型キャップレスパッケージ製品について述べる。具体的には、高温・高出力動作に適した非気密小型キャップレスパッケージと、これを用いたレーザ製品の素子特性について述べる。なお、素子特性については、従来の単体のDVD用(650nm帯)LDを搭載した場合と、CD

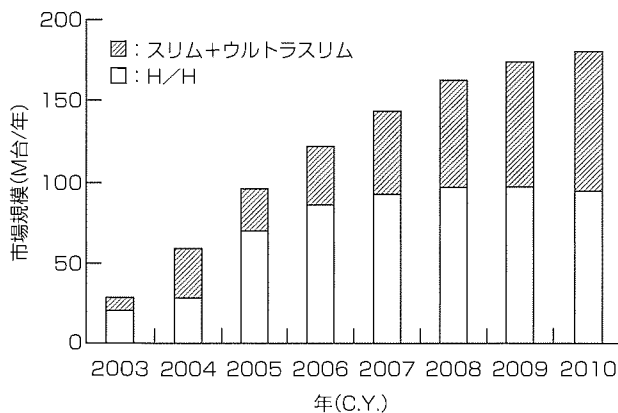


図1. 記録型DVDの市場規模予測

(Compact Disc)用(780nm帯)とDVD用の二つのレーザ機能を一つのチップに集積したモノリシック二波長LDを搭載した場合について述べる。

2. 小型パッケージの特長

高出力でかつ小型の半導体レーザの開発では、高放熱の小型パッケージの開発が鍵となる。高出力動作に伴うLDチップの発熱は、ヒートシンクブロックとステムベースを介してピックアップ筐体(きょうたい)へ放熱されるので、この放熱経路の熱抵抗を小さくする必要がある。特にヒートシンクブロックとステムベースとの接触面積がこの熱抵抗に大きく影響する。

これまでと同じ気密パッケージで小型化を行った場合、キャップの溶接領域を確保する必要があるため、図2に示すように、チップが搭載されるヒートシンクブロック部が小さくなってしまい、熱抵抗が大きくなるという問題があった。

そこで、高放熱性確保のためにキャップをなくし、ヒートシンクブロックを最大限大きくしたキャップレスのパッケージ構造を設計した。また、図3に示すように、LDの

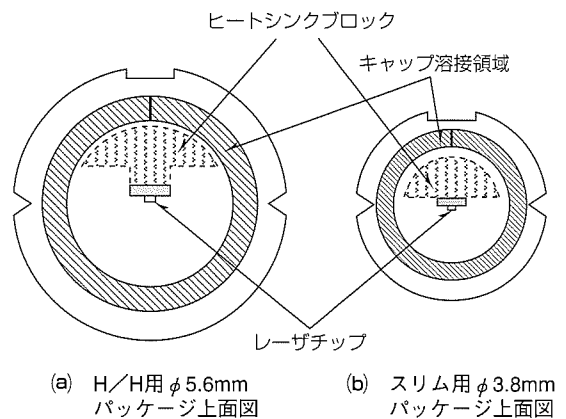


図2. ヒートシンクの大きさ比較

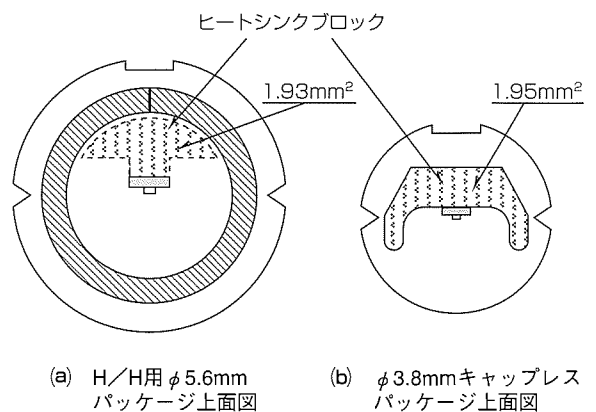


図3.  $\phi$ 5.6mmパッケージと $\phi$ 3.8mmキャップレスパッケージの比較

ハンドリング性を向上させるためにヒートシンクの断面を馬蹄(ばてい)形の形状にし、チップ及びリード部に容易に接触しないようにしている。

気密型φ5.6mmとφ3.8mmキャップレスパッケージを上面から見た場合のヒートシンクブロックの大きさ比較を図3に示す。φ3.8mmの外形サイズでありながらφ5.6mmのものと同等の面積が確保できていることが分かる。

実際に放熱性を比較するために、ほぼ同じ特性のLDチップを用いて気密型φ3.8mmパッケージと気密型φ5.6mmパッケージ及びφ3.8mmキャップレスパッケージの3種類の素子を試作し、75℃での200mWパルス出力時(パルス幅: 1μs, デューティ比: 50%)の動作電流分布の比較を行った。図4にその比較結果を示す。φ3.8mmパッケージ間においてはキャップレス型が15mA程度動作電流が改善されている。また、φ3.8mmキャップレスと気密型φ5.6mmの動作電流は同等であり、ヒートシンク拡大の効果が分かる。

### 3. 小型パッケージ品の素子特性及び寿命

以下、上述した小型キャップレスパッケージ製品に搭載された3種類の素子特性について述べる。

#### 3.1 単体DVD-LD (L=1,500μm)の素子特性

H/Hのφ5.6mmに搭載されてきた300mW級(ML1xx26)のLDチップをφ3.8mmキャップレスパッケージに組み込んだ場合の光出力-パルス電流特性を図5に示す。25℃から75℃の範囲で300mW以上のキックフリー光出力が得られ、発熱による出力飽和も見られず、良好な温度特性が実現されている。図6に大気中での寿命試験結果を示す。2層メディア4倍速記録対応のスリムドライブ動作環境である80℃, 280mW, パルス幅50ns, デューティ比40%の条件で動作試験を行った結果、すべてのLDが500時間以上劣化することなく安定に動作している。また、大気中での寿命試験に併せて、想定される様々な環境試験を実施したが品質規格を十分満足する結果が得られている。

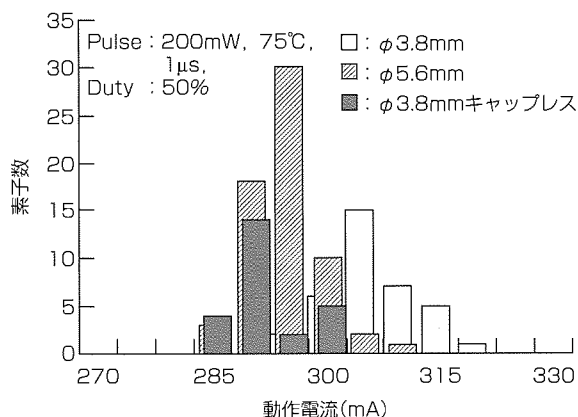


図4. パッケージ間の動作電流比較

#### 3.2 単体DVD-LD (L=2,200μm)の素子特性

次にH/Hのφ5.6mmに搭載されてきた350mW級(ML1xx27)のLDチップをφ3.8mmキャップレスパッケージに組み込んだ場合の光出力-パルス電流特性を図7に示すが、25℃から75℃の範囲で350mW以上のキックフリー光出力が得られている。さらに、図8に大気中での寿命試験結果を示す。80℃, 300mW, パルス幅50ns, デューティ比40%の条件で実施し、500時間を経過した時点ですべてのLDが劣化することなく安定に動作している。

#### 3.3 集積型二波長LD (L=2,200μm)の素子特性

今後需要増が予想される集積型二波長LDチップを、φ3.8mmキャップレスパッケージに組み込んだ場合の光出力-パルス電流特性を図9に示す。25℃から85℃の範囲でDVD側, CD側いずれのLDにおいても350mW以上のキックフリー光出力が得られている。一般に記録型スリムドライブに必要とされる二波長LDのレーザパワーとしては、DVDの2層メディア8倍速記録には350mW以上が必要で、

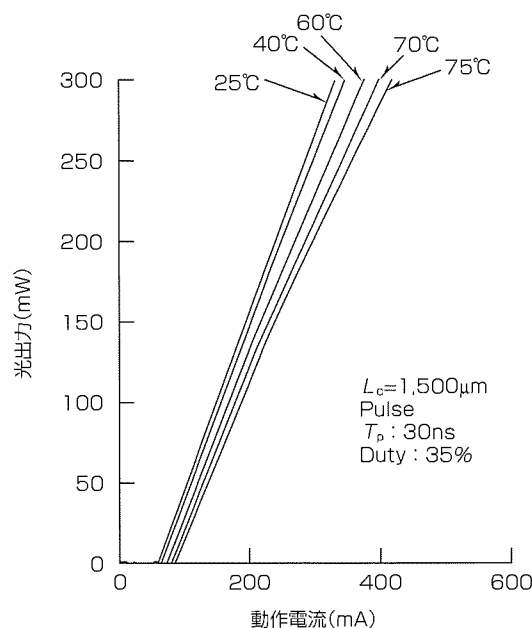


図5. 300mW級チップの光出力-電流特性

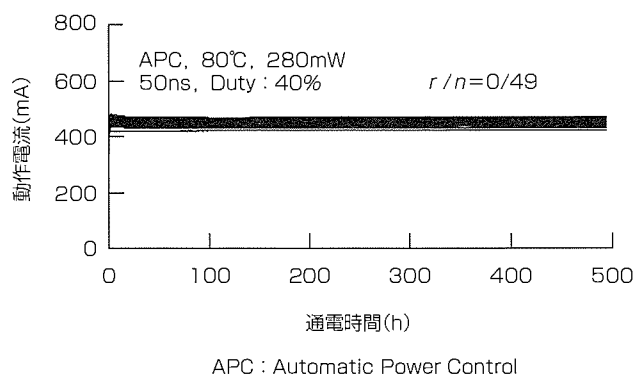


図6. 300mW級チップの寿命試験結果

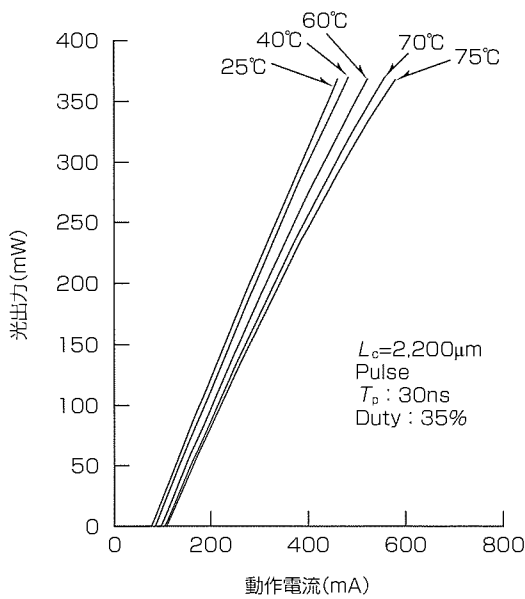
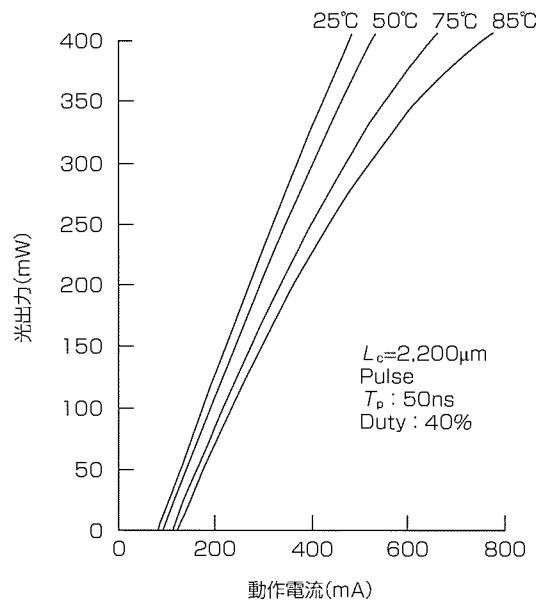


図 7. 350mW級チップの光出力-電流特性



(a) DVD側

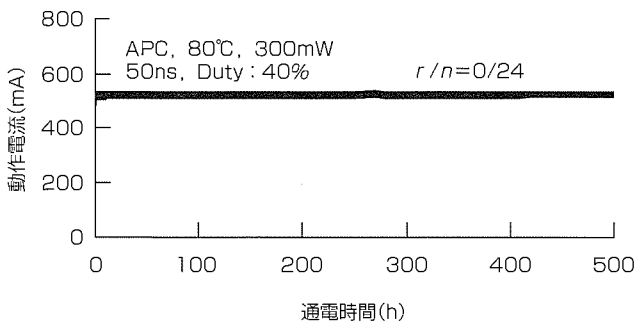


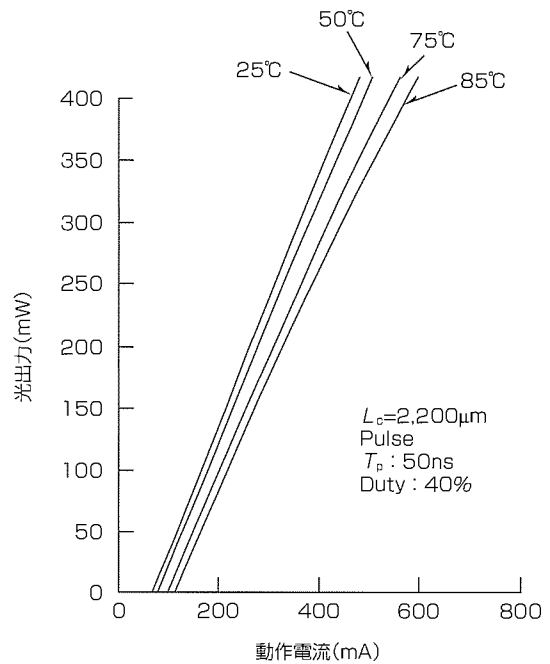
図 8. 350mW級チップを搭載した場合の寿命試験結果

CDの24倍速記録には300mW以上が必要であるが、これらの要求パワーを満足するLDを外形サイズφ3.8mmで実現した。

#### 4. む す び

記録型DVD装置の小型化要求にこたえるため、放熱性に優れた小型パッケージLDを開発した。キャップをなくすことによりヒートシンクブロックを拡大し、既存のφ5.6mm品と遜色(そんしょく)のない温度特性を得ることができた。また、耐環境試験でも問題のない結果が得られている。さらに、キャップレス化により、キャップとキャップガラスの接着に一般的に使用される鉛ガラスを排除できるので、鉛フリー製品として環境改善の製品にもなることや、レーザのコスト低減の観点からも有効である。

今後、市場の要求にこたえるため、従来の単体DVD-LDが搭載された小型キャップレスパッケージ製品の製品ラ



(b) CD側

図 9. 二波長チップの光出力-電流特性

インアップをそろえていくとともに、集積型二波長LDへ展開していく予定である。

#### 参 考 文 献

- (1) 西口晴美, ほか: 記録型DVD装置用赤色高出力半導体レーザ, 三菱電機技報, 78, No.3, 187~190 (2004)

# 10Gbps小型プラグブル光トランシーバとその関連技術

小柳晴揮\*  
柴尾新路\*  
島田征明\*

10Gbps Small Pluggable Optical Transceiver and Related Technologies

Haruki Koyanagi, Shinji Shibao, Masaaki Shimada

## 要 旨

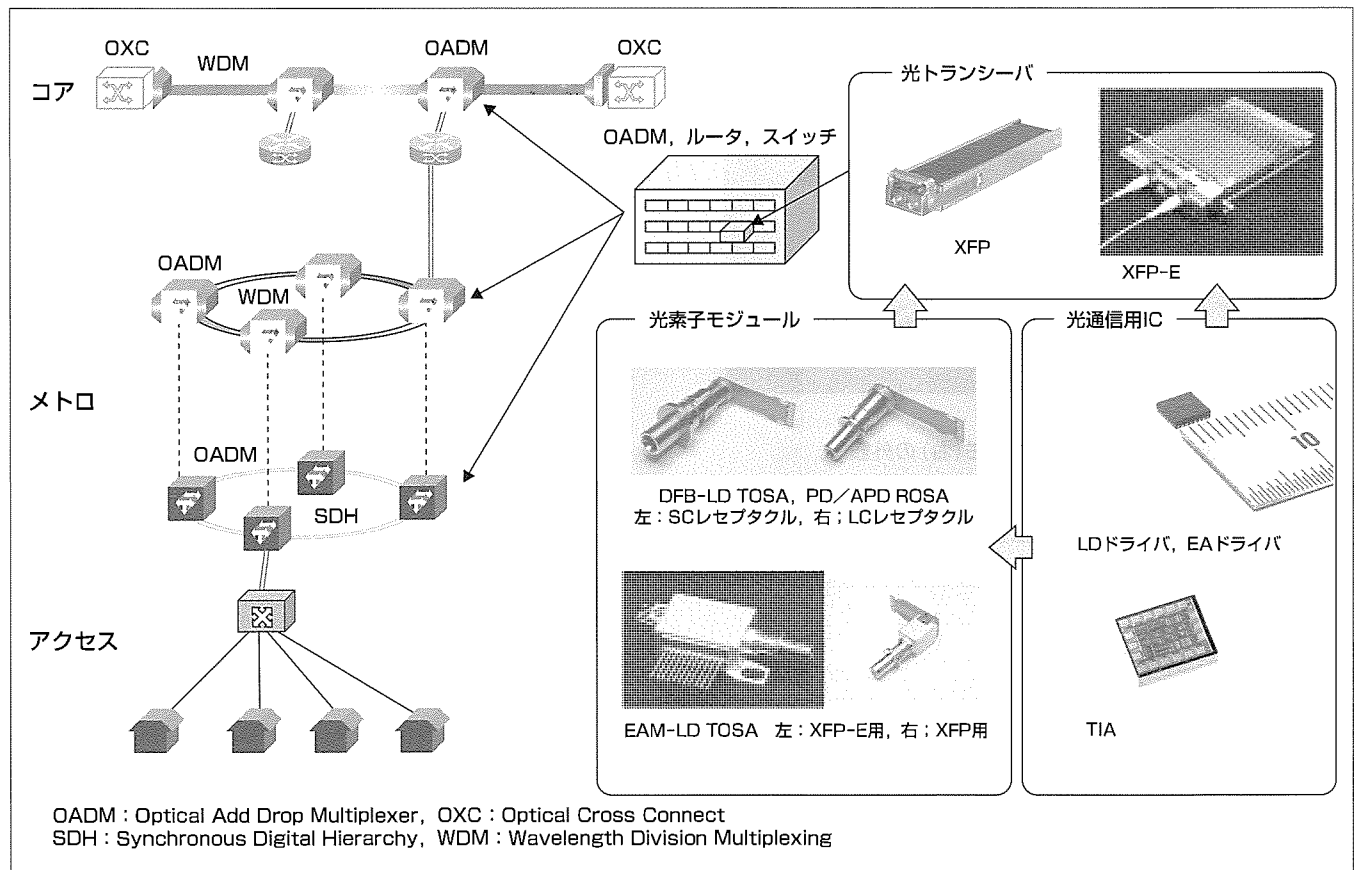
ブロードバンドアクセスの急速な普及に伴ってメトロネットワークの広帯域化が進む中、そこに使用される光トランシーバの需要もここ数年で伝送容量の軸足を2.5Gbps(ギガビット毎秒)から10Gbpsへと大きく移してきている。需要の増加に先立ち、10Gbps光トランシーバメーカーの間では複数のMSA (Multi-Source Agreement)が締結され、これまでに、それぞれの規格に沿った各種形状、伝送距離の光トランシーバが開発・実用化されている。三菱電機もこれらMSAに早期から参画し、様々な伝送距離に対応した10Gbps光トランシーバを製品化して市場に供給してきた。

使用される10Gbps光トランシーバは、従来300ピントラ

ンスポンダのような固定設置型のものが主流であったが、昨今ではXENPAK(10 Gigabit Ethernet Transceiver Package)を始めとする保守・拡張性の高いプラグブル(挿抜可能)型のもが多く製品化され、その需要が急速に高まっている。一方、システムにおける実用・集積化が進むにつれて更なる小型化・低消費電力化・低コスト化が必要であり、これに対応したXFP(10 Gigabit Small Form Factor Pluggable Module)が市場から強く求められている。

当社は、2~80kmの各伝送距離に対応するXFPと、そのサイズ拡張版であるXFP-E(Extended)を開発した。

本稿では、その基本構成及び特性を、これらに搭載する光素子モジュール、光通信用ICとともに述べる。



## 光通信ネットワークにおける10Gbps光トランシーバ製品とその部品

XENPAK, XFPに代表される光トランシーバは、メトロを中心とした光通信ネットワークに使用されている。各階層・用途により必要な伝送距離や形状が異なる。当社では、それぞれに適した光トランシーバ、光素子モジュール、光通信用ICの製品ラインアップを取りそろえており、各レイヤーにおける様々なソリューションを提供している。

## 1. ま え が き

光通信ネットワークにおいてプラガブル光トランシーバの実用・集積化が進む中、更なる小型化・低消費電力化・低コスト化が求められている。この市場の要求に対応するため、当社は、2~80kmの各伝送距離に対応するXFPと、そのサイズ拡張版であるXFP-Eを開発した。以下にその基本構成及び特性を、それに使用する光素子モジュール、光通信ICとともに述べる。

## 2. XFP

XFPは、XFI(10 Gigabit Serial Electrical Interface)と呼ばれる10Gbpsシリアル電気インタフェースを採用した最小の10Gbps光トランシーバである(図1)。当社は、過去に製品化した300ピントランスポンダやXENPAKで培った技術を生かし、2 km, 40km, 80km伝送用のXFPを新たに開発した。表1に各伝送距離別の製品仕様比較を示す。

### 2.1 XFPの構成

図2にXFPの機能ブロック図を示す。システム基板を経て劣化した10Gbpsの電気波形を受信するためのイコライザをフロントエンドに配置した送信系識別再生回路、LD(Laser Diode)又はEA(Electro-Absorption)ドライバ、DFB-LD(Distributed FeedBack-LD)若しくはEAM-LD(Electro-Absorption Modulator-LD)を搭載したTOSA

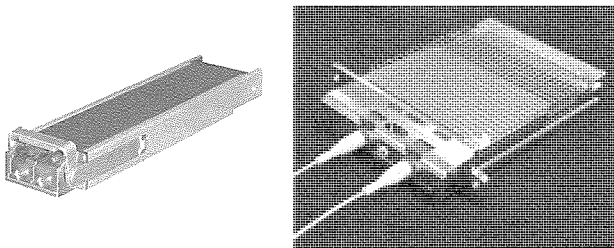


図1. XFP(左)とXFP-E(右)の外観

表1. XFP, XFP-E 伝送距離別製品仕様

機種	XFP			XFP-E
	2 km版	40km版	80km版	DWDM
動作ケース温度	-5~70℃			
外形寸法	78mm×18mm×8.5mm			76mm×48mm×12.6mm (ヒートシンク一体)
電気インタフェース	MSA準拠30ピン			MSA準拠30ピン×2
伝送速度	9.95/10.3/10.7/11.1Gbps			
光送信デバイス	直接変調 DFB-LD	外部変調EAM-LD		
	中心波長	1,290~1,330nm	1,530~1,565nm	1,528~1,563nm: 100GHz間隔
	光出力パワー	-6~-1 dBm	-1~+2 dBm	0~+4 dBm
	光出力波形	ITU-T準拠		
光受信部	消光比	6 dB以上	8.2dB以上	9 dB以上
	ジッタジェネレーション	100mUIpp以下/10mUIrms以下		
	ジッタトランスファ	ITU-T準拠		
	分散値	-	0~800ps/nm	0~1,600ps/nm
光受信部	受光デバイス	PIN TIA		
	最小受光感度	-11dBm以下	-14dBm以下	-24dBm以下
	伝送ペナルティ	-	2 dB以下	2 dB以下
	オーバーロード	0 dB以上	-1 dBm以上	-7 dBm以上
	ジッタトレランス	ITU-T準拠		
OSNR(BER=1E-4)	-			17dB以上
電源	+3.3/+5 V	-52/+3.3/+5 V	-52/+3.3/+5 V	-5.2/+3.3/+5 V
消費電力	20W以下	3.5W以下	3.5W以下	6 W以下

(Transmitter Optical Sub-Assembly), PIN-PD(Photo Diode)又はAPD(Avalanche Photo Diode)とTIA(Trans-Impedance Amplifier)を搭載したROSA(Receiver Optical Sub-Assembly), 高感度入力リミッタをフロントエンドに配置した受信系識別再生回路と、SFF(Small Form Factor) MSA準拠のI2Cバス(2線式シリアルデジタル通信インタフェース)による制御・モニタ回路で構成されている。従来同一パッケージ内に集積していたドライバと光素子を、今回外付けのLDドライバとXMD(10Gbps Miniature Device: 後述)MSA準拠TOSAに分けた汎用構成とすることで、今後のコスト削減につながる設計とした。10Gbps動作の送信部と受信部の近接による相互の電磁氣的干渉が懸念されるが、筐体(きょうたい)/基板/TOSA及びROSAをモデル化した電磁界シミュレーションで電源とグランドレイアウトの最適化を行い、送信部-受信部間のアイソレーションを-60dB以下にするとともに、レベルダイヤの見直しと共振を抑圧する筐体構造の工夫を行った。

### 2.2 XFP(40km版)の特性

図3に40km版XFPの光出力波形を示す。消光比9.0dB, 平均光出力+1.0dBmが得られており、ケース温度を-5℃から70℃まで変化させても光波形の変化は少なく、10.7Gbpsの変調でITU-T(International Telecommunications Union-Telecommunication Standardization Sector)のアイマスク規格に対して全温度範囲で10%以上のマージンを確保できた。ループバック(自己の送信信号を伝送路内で折り返し受信する)条件でSMF(シングルモードファイバ)50km(分散値800ps/nm)伝送での分散ペナルティを

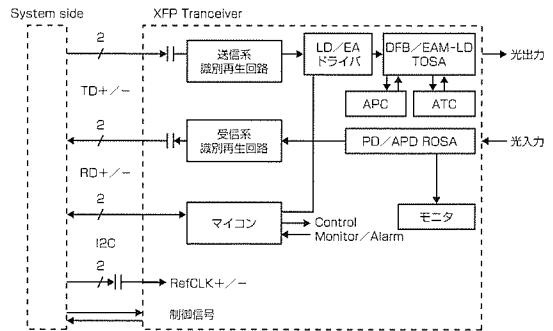


図2. XFP機能ブロック図

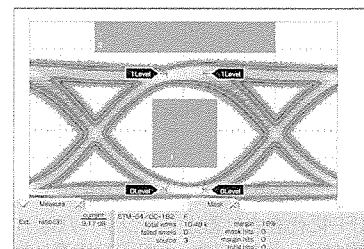


図3. 40km版XFP光出力波形(マスク波形)



測定したところ、EAM-LD素子調整温度45℃、ケース温度-5~70℃で仕様の2dB以下となった。また、ケース温度70℃における消費電力は2.8Wで、仕様の3.5W以下を満足することを確認した。

### 3. XFP-E

当初XFPは主に中距離伝送までをターゲットとして仕様化が進められたため、超長距離伝送で求められる波長多重(Dense Wavelength Division Multiplexing: DWDM)や波長可変への対応は消費電力や実装密度の観点で難しい。当社は、長距離広帯域の市場要求に対応するため、XFPの2スロット分を使用するダブルサイズのDWDM対応XFP-Eトランシーバを開発した(図1)。

この製品は、筐体を放熱板と一体化させ放熱特性を最適化することにより、XFPに準拠した一般的な構造では3.5Wであった最大許容消費電力を6Wまで拡大することができた。一方、電気的接続条件はXFPに準拠しているため、ユーザー側でのマザーボード設計の大幅変更は不要である。

#### 3.1 XFP-Eの構成

上述のXFPの構成に加え、各種制御誤差の補償アルゴリズムを搭載した高精度ATC(Automatic Temperature Control)回路と、OSNR(Optical Signal vs. Noise Ratio)耐力向上のために、高リニアリティの受信用メインアンプを搭載している。

#### 3.2 XFP-E(DWDM版)の特性

図4にDWDM版の主性能であるOSNR特性を示す。受信感度と分散値1,600ps/nmでの分散ペナルティがITU-T規格を満足すると同時に、ASE(Amplified Spontaneous Emission)雑音付加状態において所定のBER(Bit Error Rate)符号誤り率を達成し、光ファイバ増幅器で中継接続する超長距離への適応が可能であることを確認した。

## 4. 10Gbps用TOSA及びROSA

上述のとおり、XFPの伝送距離に応じてそれぞれに適した小型かつ低消費電力の光素子モジュールが必要となる。

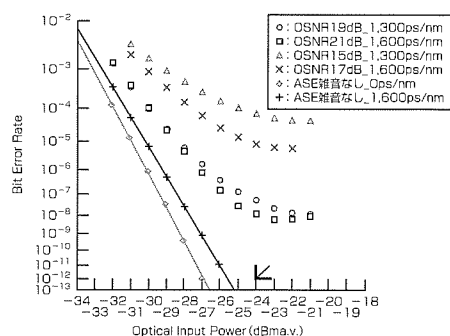


図4. XFP-E受信感度, OSNR特性

これら各種要求とメーカー間の実装互換に対応するため、主要メーカーを中心としてXMD-MSAを締結し、これまでに各種TOSA, ROSAの機械・電気インタフェース寸法や電気・光学特性を規格化した。当社は、早くからこのXMD-MSAに参画し、以下のとおり規格に準拠した各種TOSA, ROSAを開発し製品化した。

#### 4.1 10Gbps用DFB-LD内蔵TOSA

ITU-T I-64.1及びIEEE 10GBASE-LR等の中距離SMF伝送用として、DFB-LD内蔵TOSAを開発した。図5にその外観と10Gbps光出力波形を示す。この製品は、発光素子に広温度範囲にわたって高速応答するAlGaInAs(アルミニウム・ガリウム・インジウム・ひ素)系DFB-LDを採用し、電気入力部に差動50Ωインピーダンスのフレキシブル基板を用いることにより10Gbpsの高速変調を可能とし、かつ、XFP基板との接続を容易にした。光出力部にはLCレセプタクルを採用し、小型光アイソレータを内蔵し、最大10kmまでのSMF伝送を実現した。パッケージには小径TO-CANパッケージを採用し、小型化・低価格化を図っている。

#### 4.2 10Gbps用EAM-LD内蔵TOSA

ITU-T S-64.2b, L-64.2a等の長距離SMF伝送に適した製品としてXFP-E用EAM-LD内蔵TOSAを開発した。図6にその外観を示す。光出力部にLCレセプタクルを採用し、小型光アイソレータを内蔵している。また、変調器吸収層の最適化を行ったEAM-LDとEAドライバを内蔵し、高結合光学系と組み合わせることにより+3dBmという最高レベルの光出力を実現した。

さらに、並行して、XFP用EAM-LD内蔵TOSAを開発した。電気入力部に単層50Ωインピーダンスのフレキシブル基板を使用し、EAドライバ非内蔵でXMD-MSAに準拠している。

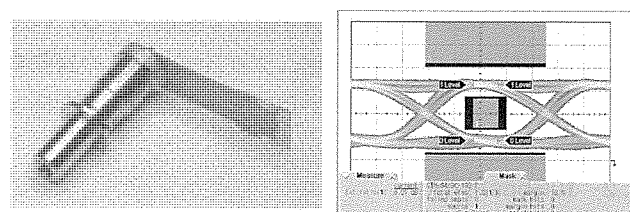


図5. DFB-LD内蔵TOSAの外観と10Gbps光出力波形

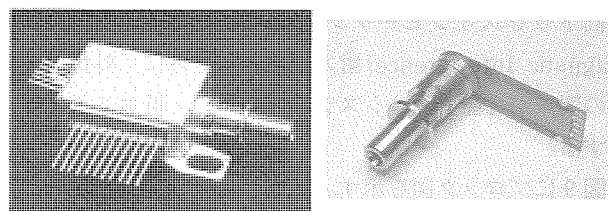


図6. EAM-LD内蔵TOSA(左)とAPD内蔵ROSA(右)の外観

### 4.3 10Gbps用ROSA

40kmまでの中・長距離SMF伝送用としてPIN-PDとTIAを内蔵したROSAを、80kmの長距離SMF伝送用受光モジュールとしてAPDとTIAを内蔵したROSA(図6)をそれぞれ開発した。

APD-TIA ROSAにはAlInAs(アルミニウム・インジウム・ヒ素)を用いた新内部構造の低雑音APDを採用しており、 $-28\text{dBm}$ という世界トップレベルの最小受信感度を實現した。光入力部にはLCレセプタクルを、電気入力部に単層 $50\Omega$ インピーダンスのフレキシブル基板を採用した。

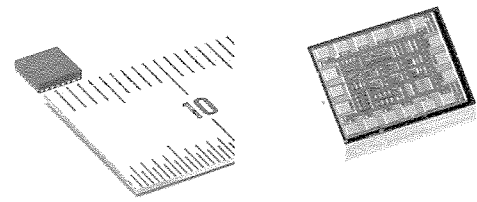


図7. LDドライバ(左:  $4 \times 4 \text{ mm}$ )とTIAチップ(右:  $1.05 \times 0.85 \text{ mm}$ )

## 5. 10Gbps光通信IC

### 5.1 10Gbps用LD/EAドライバ

LDドライバとEAドライバは、当社独自の高周波設計技術を用いて、 $3.3\text{V}$ 単一電源電圧動作で $I_{cc}=100\text{mA}$ の低消費電流を保ちながら $11.3\text{Gbps}$ 動作可能な $25\text{ps}/25\text{ps}$ の高速出力立ち上がり/立ち下がり時間を實現した。さらに、高密度レイアウト実装技術によりAPC(Automatic Power Control)/Shutdown機能搭載品としては最も小型な $4 \text{ mm}$ 角 $24$ ピンSLP(Small-size Lead-frame Package)への実装を實現している(図7)。

LDドライバのブロック図を図8に示す。データバッファブロックはINP, INN両端入力端子に $50\Omega$ 終端抵抗を接続し、 $100\text{mVpp/Side}$ の高入力感度を持っている。変調電流駆動ブロックは差動対構成でMODP, MODNの各出力端に $25\Omega$ 終端抵抗を接続し、差動出力 $50\Omega$ で効率良く駆動できる。変調電流はSET\_M端子の電圧によって制御され、 $10\sim 80\text{mApp}$ の広い変調可変幅を持っている。バイアス電流はSET\_B端子の電圧とTOSAからのモニタPD電流によって自動ループ制御され、 $5\sim 100\text{mA}$ の広い電流レンジで出力される。また、TOSA構成の自由度を高めるために、電流引き込み/吐き出し両方向のバイアス電流に対応できる。

EAドライバは、最適な光信号波形を生成させるために、出力電圧振幅、オフセット電圧、クロスポイントの調整機能を持ち、 $0.5\sim 2.5\text{Vpp}$ の広い出力電圧振幅レンジを持っている。

### 5.2 10Gbps用TIA

TIAは、 $1.05\text{mm} \times 0.85\text{mm}$ の小チップサイズ(図7)・最適なパッド配置・外付け部品削減等により、将来予想される小型なROSAへの実装も可能である。また、差動 $8 \text{ k}\Omega$ の高トランスインピーダンス利得によりEMI(Electro Magnetic Interference)耐力が高く、さらに、外付けアンプの削減が可能なためシステムの小型化・低コスト化に貢献する。

図9にブロック図を示す。初段アンプは単相動作し、微小な光電流信号を電圧信号に変換増幅する。初段アンプの回路構成を工夫することにより、光電流入力時に電源を

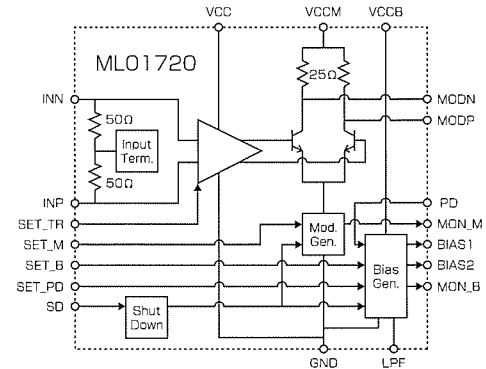


図8. LDドライバのブロック図

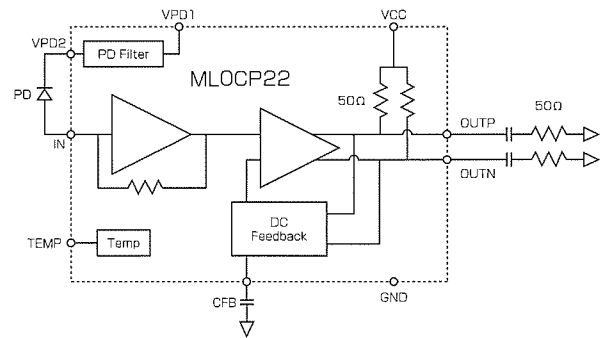


図9. TIAのブロック図

ON/OFFさせてもICが故障しないようにした。これは、普及が著しいプラガブルトランシーバにとって重要な特性である。また、出力オフセット電圧低減のためのDCフィードバックを搭載している。さらに、外付け部品削減をねらい、PD電源用フィルタやAPD用温度モニタを内蔵した。

以上の構成により、 $3.3\text{V}$ 単一電源動作で低消費電流( $I_{cc}=40\text{mA}$ )、広帯域( $20\text{kHz}\sim 10\text{GHz}$ )、広ダイナミックレンジ( $-20\sim +1 \text{ dBm}$ )が得られた。

## 6. む す び

当社が開発したXFP, XFP-Eとそれに使用する光素子モジュール、光通信ICにつき、その構造と特性について述べた。今後も、各製品において、更に高性能、低コストを追求し、光通信の発展に貢献していく。

# 10Gbps-80km伝送用高出力変調器付きLD

宮崎泰典\*  
大和屋 武\*

High-Power EAM-LD for 10Gbps-80km Transmission

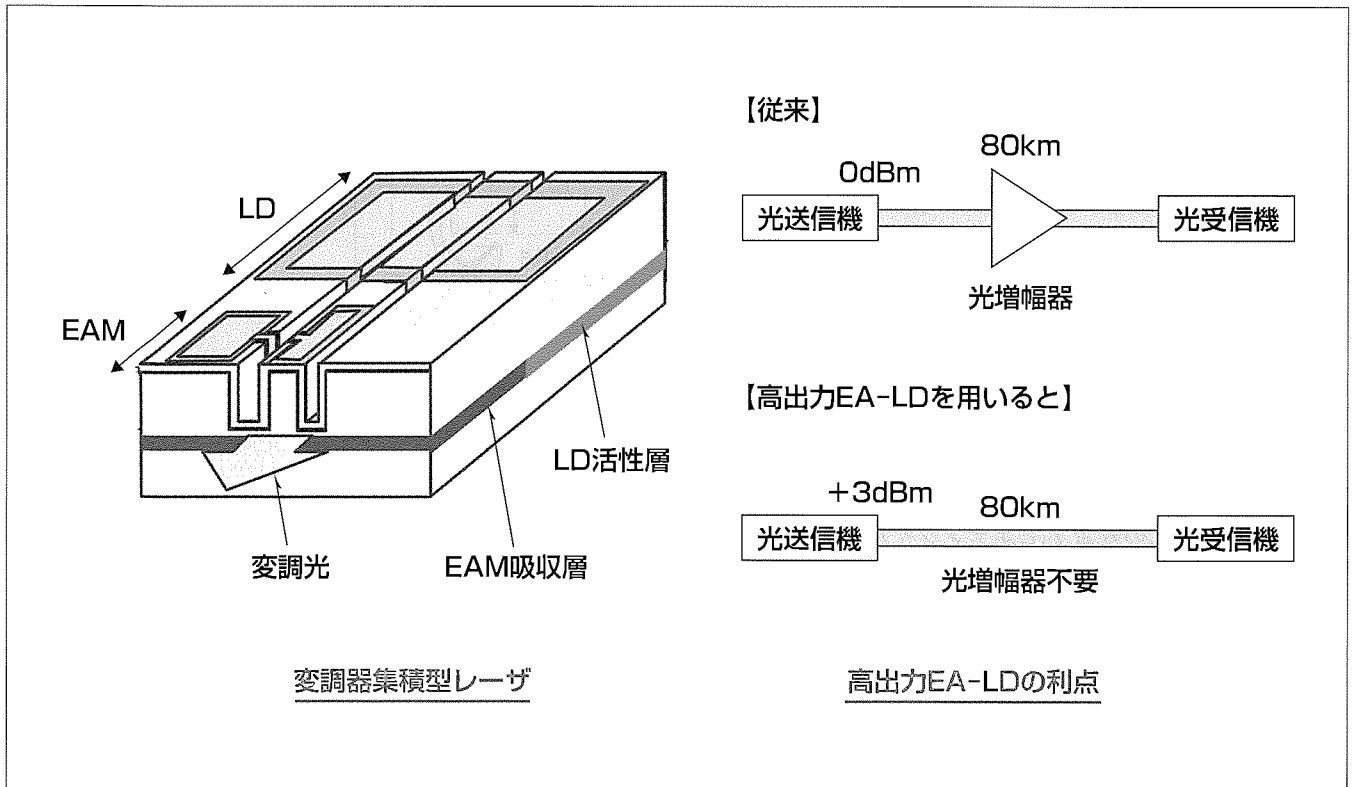
Yasunori Miyazaki, Takeshi Yamatoya

## 要 旨

InGaAsP系量子井戸吸収層を用いた電界吸収型光変調器 (Electro-Absorption Modulator: EAM), 及びこれを分布帰還型レーザダイオードとモノリシックに集積した変調器集積型レーザ(EAM-integrated Laser Diode: EA-LD) は, 2.5~10Gbpsの光伝送システム用高速変調光源として幅広く使われている。従来のLiNbO<sub>3</sub>マッハツェンダ型光変調器を用いた300ピントランスポンダに代わり, 最近では, XENPAK(10 Gigabit Ethernet Transceiver Package) やXFP(10 Gigabit Small Form Factor Pluggable Module) といった標準化された小型光トランシーバが多く用いられており, この用途にはレーザと光変調器を1チップに集積した, かつ, チップサイズの小さいEA-LDが適している。今回, 三菱電機では, 10Gbps変調時でも通常分散ファイバ80km(分散量1,600ps/nm)の伝送が可能であり, かつ,

世界最高の光出力強度(ファイバ内平均光強度 = +3 dBm)を持つEA-LDを開発した(型名: ML9XX41)。

従来のEA-LDでは, 光出力の増加に伴い変調光の波長ゆらぎ(チャープ)が増大して, 80km伝送後の符号誤り率特性が悪化するため, 高光出力動作と80km伝送を両立できなかった。これに対し今回の製品では, EAMの量子井戸吸収層に独自の“浅い量子井戸”を用いて高光出力時の正孔の蓄積を低減し, 低チャープ動作と80km伝送を実現した。高出力EA-LDと高感度アバランシェフォトダイオード(Avalanche Photo-Diode: APD)を組み合わせた小型光トランシーバを用いることで, 80kmを光増幅器なしで伝送することができ, 光伝送システムのコスト削減に有効である。



## 10Gbps-80km伝送用高出力・低チャープ変調器付きLD

電界吸収型光変調器(EAM)と分布帰還型レーザダイオードを1チップにモノリシック集積した変調器集積型レーザ(EA-LD)では, EAMに加える電圧により光吸収係数を変化させて出力光強度を変調する。光強度変調に付随する変調光の波長ゆらぎ(チャープ)を高光出力時にも低く保つことにより, 高光出力動作と良好な10Gbps-80km伝送特性を両立した。従来のEA-LDでは出力光強度が0 dBm程度と低く, 80kmファイバ内の光強度の減衰を補償する光増幅器が必要だったが, 従来の倍の+3 dBmの光出力を持つ今回の製品では, 光増幅器なしで80km伝送が可能になり, 光伝送システムのコスト削減に有効である。

\*高周波光デバイス製作所(工博)

1. ま え が き

10Gbps-80km伝送を可能とする低チャープ動作と世界最高の出力光強度を両立したEA変調器集積型レーザ<sup>(1)~(3)</sup>を開発した。本稿では、初めに、従来EAMの高出力化を制限していた過剰チャープの原因について検討する。次いで、過剰チャープ低減のためEAM量子井戸吸収層の価電子帯バンドオフセットを低減した浅い量子井戸を用いることの有効性について述べる。次に、実際に試作した浅い量子井戸を持つEA-LDで設計どおりに正孔寿命の短縮と高光出力条件下の過剰チャープ抑制が達成できていることを示し、このEA-LDを変調光源に用いて10Gbps-80km伝送試験を行い、ファイバ内平均光出力+3 dBm以上の高光出力条件下で良好な伝送特性が得られていることを示す。また、XENPAK, XFP等小型光トランシーバへの応用で求められる高温、高ビットレート条件下での80km伝送特性評価を行い、このような厳しい条件下でも高光出力と良好な80km伝送特性を両立できることを示す。

2. 過剰チャープの原因と対策設計

2.1 過剰チャープの原因

EAM出力光のチャープは、EAM吸収層の屈折率が変動することで入射光が位相変調を受けるために生じる。EAMに入射する光量が増大すると、EAM吸収層を構成する多重量子井戸(Multiple Quantum Well: MQW)のウェル層で発生する電子正孔対が増加する。有効質量の小さい電子はMQWのポテンシャル障壁を越えてウェル層から排出されるが、有効質量が大きい正孔はMQWのポテンシャル障壁を越えることができずウェル層に蓄積し、MQWの屈折率を変化させる。このことが、高光出力時にEAMのチャープが増大する原因になる。

2.2 浅い量子井戸の設計

正孔が量子井戸内に蓄積しないようにして高光出力時の過剰チャープを低減するためには、ポテンシャル障壁(価電子帯バンドオフセット)を低くすることが有効である(図1)。量子井戸内に蓄積する正孔の濃度は正孔の寿命 $\tau_E$ に比例する。正孔の寿命 $\tau_E$ とポテンシャル障壁 $\Delta E_v$ の関係は式(1)、式(2)で表される。

$$\tau_E = \left( \frac{2\pi m_w L_w^2}{kT} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left\{ \frac{H(F)}{kT} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

$$H(F) = \Delta E_v - E_1 - \frac{qFL_w}{2} \dots\dots\dots(2)$$

$m_w$ は正孔のウェル層内での有効質量、 $L_w$ はウェル幅、 $k$ はBoltzmann定数、 $T$ は温度、 $H(F)$ は実効的価電子帯バンドオフセット、 $E_1$ は正孔の第1量子準位、 $q$ は単位電荷、 $F$ は電界強度である。式(1)式(2)から、 $\Delta E_v$ を小さくする

と $\tau_E$ が短くなり正孔濃度を低減でき、高光出力時のチャープ増大を抑えられると期待できる。実際、 $\Delta E_v$ を変えたEA-LDの光出力増大に伴うチャープ増加量を測定したところ、式(1)式(2)の定量的傾向に一致することが確認された<sup>(4)</sup>。今回、 $\Delta E_v$ を従来の1/3に低減した。式(1)式(2)から求められる $\tau_E$ は5.5psである。図2は、EAMをフォトダイオード(Photodiode: PD)として動作させて周波数特性を測定した結果(○印)と、 $\tau_E$ をパラメータとした計算結果を示している。EAMのバイアス電圧は、実使用条件の中で最も正孔の掃き出しに不利な0Vに設定した。7GHz以下の周波数範囲のレスポンスは、 $\tau_E$ を7psと仮定した計算結果と最もよく一致している。従来のEAMの $\tau_E$ は120ps程度であり、 $\tau_E$ を従来の1/10以下に低減できている。

2.3 チャープ特性

図3に、チャープ特性( $a$ パラメータ)の測定結果を示す。 $a$ パラメータは次式で定義される。

$$a = \frac{\Delta n'}{\Delta n''} \dots\dots\dots(3)$$

(3)式で $\Delta n'$ 、 $\Delta n''$ はそれぞれ小信号変調時の複素屈折率

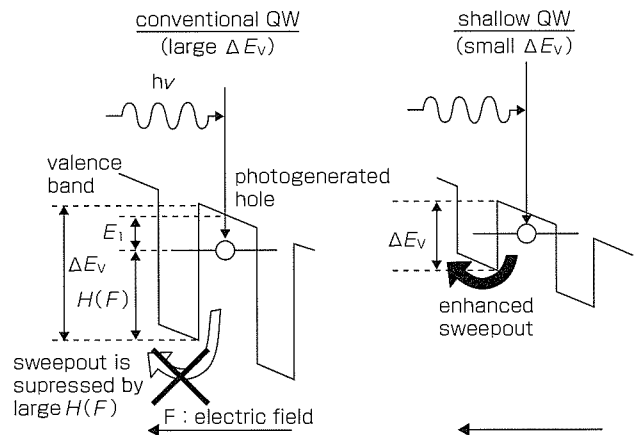


図1. 浅い量子井戸

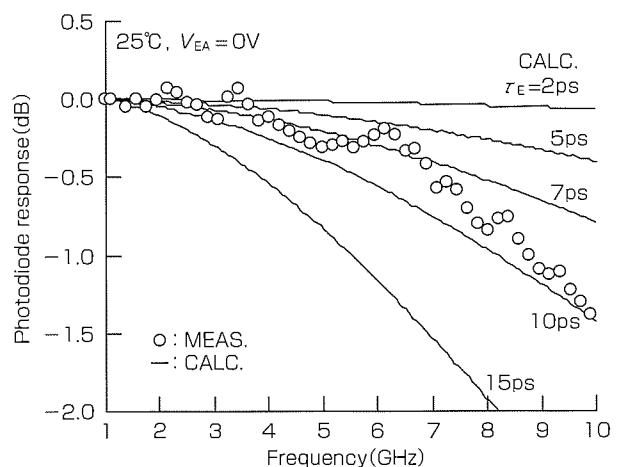


図2. 正孔寿命測定結果

の実部、虚部の変動量である。LD注入電流を変えて、零バイアス時のチップ端面光出力( $P_0$ )を4, 8, 12mWに設定し、それぞれの条件で $\alpha$ パラメータのEAMバイアス電圧依存性を測定した。 $P_0$ を12mWまで上げてても $\alpha$ パラメータの増大は小さく、わずか0.5Vの逆バイアス電圧で負の $\alpha$ パラメータが得られた。浅い量子井戸をEAMの吸収層に用いることで正孔寿命を大幅に短縮し、高光出力と低チャープ動作を両立できることが示された。高光出力条件下でも小さい逆バイアス電圧で動作させることができるので、10Gbps変調時でも高光出力を得られるようになり有利である。

### 3. 10Gbps-80km伝送特性

#### 3.1 高出力80km伝送試験

図4に、10Gbps-80km伝送特性評価系の構成を示す。EAM駆動パターンの振幅は2.0V、バイアス電圧は-0.6Vである。10Gbps変調光を先球ファイバで受け、ファイバ内平均光出力( $P_i$ )は+5.3dBmであった。通常分散ファイバ95.6km(分散量1,600ps/nm)の伝送前後で符号誤り率(Bit Error Rate: BER)を測定し、BER=10<sup>-12</sup>で定義した受信感度の伝送前後の差をパワーペナルティと定義した。

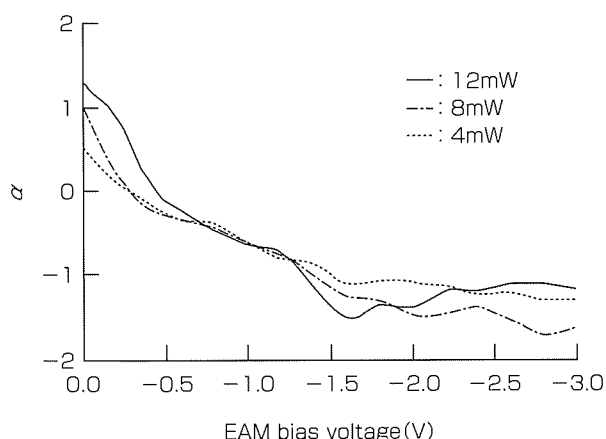


図3. チャープ特性測定結果

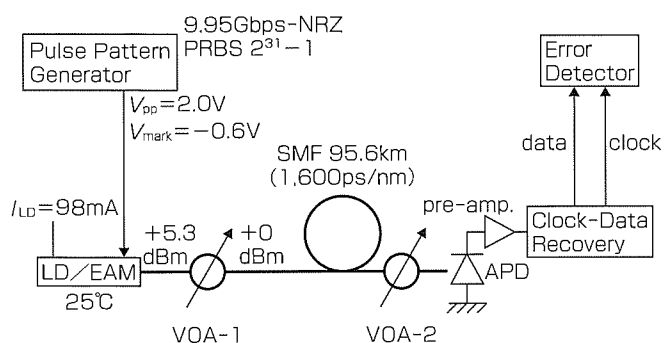


図4. 10Gbps-80km伝送特性評価系

ファイバ内の非線形光学効果によるパワーペナルティへの影響を避けるため、95.6km長のファイバの前に光減衰器を設けている。光受信機はAPDとプリアンプで構成されており、光増幅器は用いていない。

図5に、BERの測定結果を示す。BERのフロアは見られず、ファイバなし(0 ps/nm)、1,600ps/nm伝送後の受信感度(BER=10<sup>-12</sup>)はそれぞれ-25.4dBm, -24.3dBm, パワーペナルティは1.1dBとなり目標(2 dB以下)を満たしている。また、送信光出力と伝送後の受信感度の差(パワーバジェット)は29.6dBである。80km伝送時の光ファイバや光合分波器の挿入損失の合計を十分上回っており、EA-LDの高出力化により光増幅器なしでも80km伝送が可能であることを示している。

#### 3.2 高温・高ビットレート80km伝送試験

近年、光送受信器は、従来の300ピン型トランスポンダから、より小型かつ消費電力が低い光トランシーバ(XENPAK, XFP等)に移行しつつある。このような光トランシーバにEA-LDを適用するには、①STM64/OC192, 10GbE, 10G fiber channel, ITU-T(International Telecommunications Union-Telecommunication standardization sector) G.709をカバーするマルチレート対応のために最大10.7Gbpsで80km伝送を実現、②ペルチェ素子の消費電力を低減するためEA-LDチップを35~45°C程度(セミクールド条件)で動作させることが求められている。高ビットレート化と80km伝送を両立するには更なるチャープ低減が必要だが、浅い量子井戸を用いたEA-LDは、高出力時のチャープ増大が少なく、最大光出力のマージンが大きいので、高温、高ビットレート動作に適している。

図6に、45°Cで測定した9.95/10.7Gbps -1,600ps/nm伝送特性の結果を示す。 $P_i$ は+3.0dBmに設定した。いず

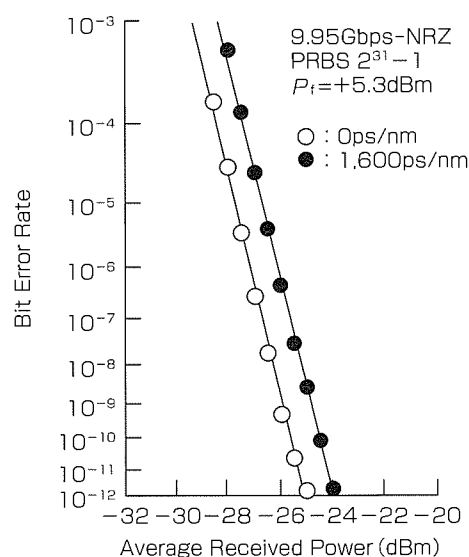


図5. 9.95Gbps高出力伝送特性(25°C)



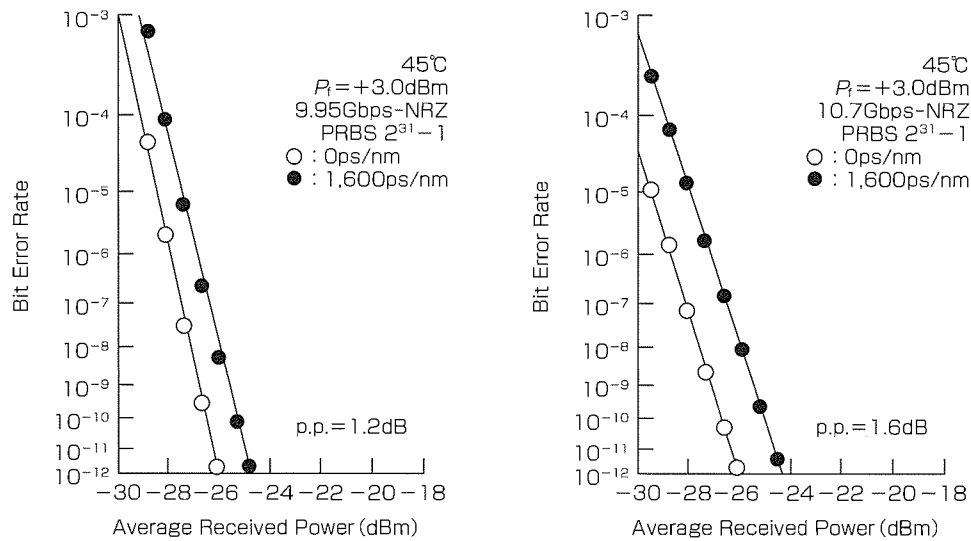


図 6. セミクールド10.7Gbps伝送特性(45°C)

れもBER=10<sup>-12</sup>までフロアがなく、パワーペナルティは9.95Gbps時1.2dB, 10.7Gbps時1.6dB, パワーバジェットは9.95Gbps時27.8dB, 10.7Gbps時27.4dBと実用上80km伝送に十分な値が得られた。

#### 4. む す び

10Gbps-80km伝送と世界最高の光出力を両立した変調器集積型レーザを開発した。光変調器部吸収層に用いる多重量子井戸の価電子帯バンドオフセットを低減した浅い量子井戸を用いることで、正孔寿命を10ps程度に短縮した。*a*パラメータ測定により、光出力増大に伴うチャープ増大が抑制され、高光出力条件でも80km伝送に適した負チャープが浅い逆バイアス電圧で得られることを確認した。ファイバ内平均光出力が+3dBm以上の条件でも9.95Gbps変調時80km伝送後に2dB以下の良好なパワーペナルティが得られた。変調器集積型レーザの高出力化により、アバランシェフォトダイオードと組み合わせて光増幅器なしでの80km伝送が可能になることを示した。さらに、動作条件の拡大を検討し、高ビットレート(10.7Gbps)及びセミクールド(45°C)条件下でも80km伝送が可能であることを示した。これにより、XENPAK, XFP等の小型光トランシ

ーバに要求されるマルチプロトコル対応、消費電力低減が可能となる。

#### 参 考 文 献

- (1) 大和屋 武, ほか: 10Gbps-80km伝送用高出力EAM-LD, 平成17年春季 第52回応用物理学関係連合講演会, 31p-ZH-11 (2005)
- (2) Miyazaki, Y., et al.: Shallow quantum well EAM-LD with short hole lifetime for high-power and long-reach 10Gbps transmitters, IQEC/CLEO-PR 2005 paper CWJ1-1 (2005)
- (3) Miyazaki, Y., et al.: High-Power Semi-Cooled Electroabsorption Modulator Integrated with Laser for 10.7Gbps-80km Optical Transceivers, 31st European Conference on Optical Communication (ECOC 2005), paper Th2.6.6, Glasgow (2005)
- (4) Miyazaki, Y., et al.: Extremely Small-Chirp EA-Modulator Integrated DFB-LD With Shallow Quantum Well Absorption Layer, IEEE J. Quantum Electron., **38**, No.8, 1075~1080 (2002)

# 10Gbps用低雑音AllnAs アバランシェ・フォトダイオード

石村栄太郎\*  
柳生栄治\*\*  
中路雅晴\*

10Gbps Low Noise AllnAs Avalanche Photodiode

Eitaro Ishimura, Eiji Yagyū, Masaharu Nakaji

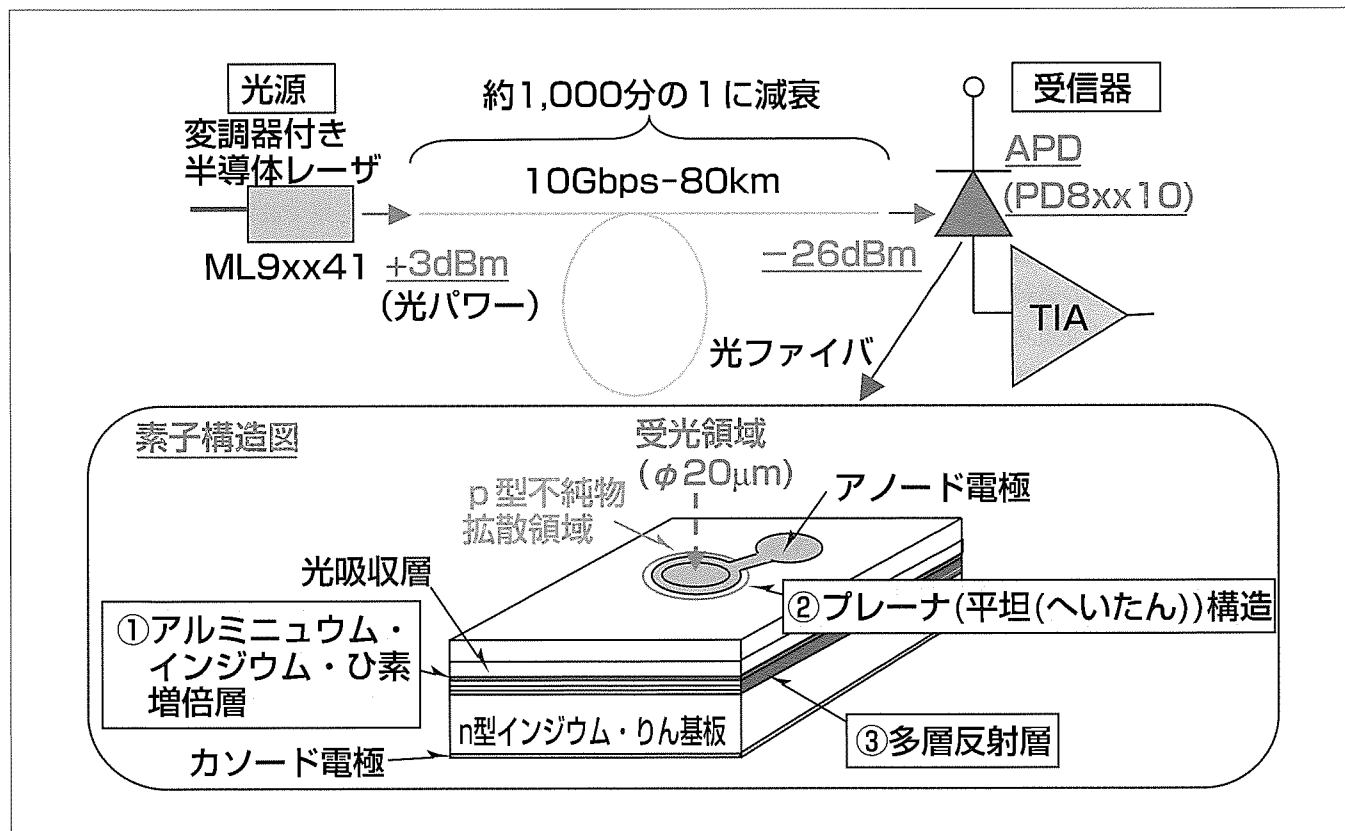
## 要旨

光ファイバを用いた公衆通信網では、国内外ともに、インターネット等の情報通信量の増大に備えて、幹線系やメトロ系的高速化(2.5Gbps→10Gbps)が進められている。同時に、中継間隔の長距離化も進められており、国際標準規格(ITU-T(International Telecommunications Union-Telecommunication standardization Sector)G.691 L64.2c)において10Gbpsで80kmの伝送距離が標準化されている。この長距離伝送に対応するために、受信器に用いられるアバランシェ・フォトダイオード(APD)に、従来よりも1.5dB程度の高感度化(=高SN(Signal to Noise)比化)が求められている。

今回、高SN比化を実現するために、信号を増幅する増倍層に増幅時の過剰雑音の発生が小さいAllnAsを用いた

APDを開発した。これにより、過剰雑音係数を従来のInPを増倍層とするAPDの約半分近くにまで低減できた。このAPDでは、作製が容易で信頼性の高い新構造のプレーナ型を採用することにより、通信用として十分に高い信頼性を実現した。さらに、三菱電機独自の多層反射膜を光吸収層の下に設けて、光吸収層を透過した光を再び光吸収層に戻すことにより、高い感度(~0.88A/W)を、表面入射型で実現した。また、帯域としては、増倍率が10倍のときに8GHzが得られ、このAPDをTIA(Trans-Impedance Amplifier)と組み合わせて、前記ITU-Tの規格を満足する-28dBm以下の最小受信感度が得られた。

今回開発した低雑音のAllnAs-APDは、このように、10Gbpsで80km伝送用として十分な特性を持っている。



## AllnAsアバランシェ・フォトダイオード(APD)

10Gbps-80km伝送用の受光素子であるAPDは、約1,000分の1に減衰した微弱な光を受ける必要がある。今回開発したAPDは、低雑音(従来比約2分1)のため、従来よりも2dB程度弱い光を受けることが可能である。

1. ま え が き

光ファイバを用いた公衆通信網では、国内外ともに、インターネット等の情報通信量の増大に備えて、幹線系やメトロ系的高速化(2.5Gbps→10Gbps)が進められている。同時に、中継間隔の長距離化も進められており、国際標準規格(ITU-T G.691 L64.2c)において10Gbpsで80kmの伝送距離が標準化されている。80kmの長距離伝送では、光の量が約1,000分の1に減衰してしまう。したがって、光源の変調器付き半導体レーザ(EA-LD)には+3dBm以上の高出力と、受信器に用いられるアバランシェ・フォトダイオード(APD)には-26dBm以下の最小受信感度が求められている。当社では、既に、80kmの伝送に対応できる+3 dBmの高出力EA-LD“ML9XX41”を製品化した。

今回、この長距離伝送に対応する受光素子として、従来よりも2 dB程度高感度化(=高SN比化)したAPDを開発した。このAPDでは、高SN比化を実現するために、信号を増幅する増倍層に増幅時の過剰雑音の発生が小さいAl-InAsを用いており、また、信頼性を向上させるために、新構造のプレーナ(平坦)型を採用している。

2. 構造の検討

10Gbps-80km用APDに求められる性能としては、主に、①高い感度(>0.8A/W@1.55μm)、②低い暗電流(<100nA@0.9Vbr)、③広い帯域(≥8GHz@M=10)、④低い過剰雑音係数(～3@M=10)、⑤長い寿命(>10万時間@85℃)である。1～10Gbps用として、当社では、従来InPを増倍層とするAPD(InP-APD)を開発<sup>(1)</sup>して製品化してきた。InP-APDは、上記項目のうち、④以外は満たすことが可能である。④の過剰雑音係数は、増倍層の材料の物性定数である電子と正孔のイオン化率比 $k$ に依存する。InPを増倍層とすると、過剰雑音係数は～5@M=10となり、組み合わせるプリアンプの雑音の大小にもよるが、SN比が厳しくなり、最小受信感度(目標<-26dBm)に対し余裕がなくなる。

これに対して、AlInAsやその超格子を増倍層とすると、イオン化率比 $k$ を小さくできるために過剰雑音係数を低減できる。図1に、InP-APDとAlInAs-APDの過剰雑音係

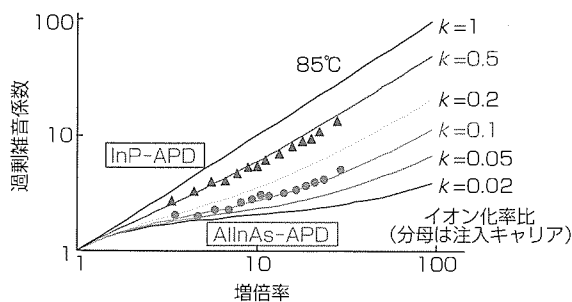


図1. 過剰雑音係数の増倍層依存性

数の測定値を示す。図中の $k$ は、注入するキャリア(InP-APDの場合は正孔, AlInAs-APDの場合は電子)のイオン化率を分母にとった場合の、2つのキャリアのイオン化率比と定義した。InP-APDの場合は $k \sim 0.5$ であり、一方、AlInAs-APDの場合は $k \sim 0.1$ となった。例えば、増倍率 $M$ が10のとき、過剰雑音係数はInP-APDの場合は～5.5であり、一方、AlInAs-APDは～2.9であった。さらに、イオン化率比が小さいと、増倍率と帯域の積(GB積)が大きくなるために<sup>(2)(3)</sup>, AlInAs-APDは10Gbps用として適している。

このように、雑音やGB積の点で優れたAlInAs-APDを実際に製品化する際にポイントとなるのは、いかにエッジブレイクダウンを安定に抑制するかである。エッジブレイクダウンというのは、APDに高電圧を印加したときにpn接合の周辺部(=エッジ部)に電界が集中して、その部分に集中的に電流が流れる現象である。エッジ部の電界を緩和してエッジブレイクダウンを抑制するために、pn接合のエッジ部にTi注入ガードリングを設ける方法<sup>(2)</sup>やInPで埋め込む方法<sup>(3)</sup>が提案されてきた。今回、周辺部での電界集中を抑制するために、独自のプレーナ型を開発した。構造を図2に示す。層構造としては、n型のInP基板に、MBE(分子線エピタキシ)装置により、多層反射層(DBR層)、AlInAs増倍層、p型電界緩和層、InGaAs光吸収層、グレーデッド層、アンドープの窓層の順で形成した。その後、p型の受光領域を選択拡散により形成し、表面を保護膜と無反射膜を兼ねた絶縁膜でパシベーションした。その後、アノード電極とカソード電極を形成した。InP-APDでは、増倍層厚さをp型拡散の残し厚で設定するため10nm単位の制御が必要であるが、この構造では、結晶成長で増倍層厚や電界緩和層厚を設定するために制御性が高い。

次に、この構造での電界分布について述べる。この構造では、拡散で形成したp型領域の直下の増倍層のみ高電界(～600kV/cm)が印加される構造となっており、他の部分

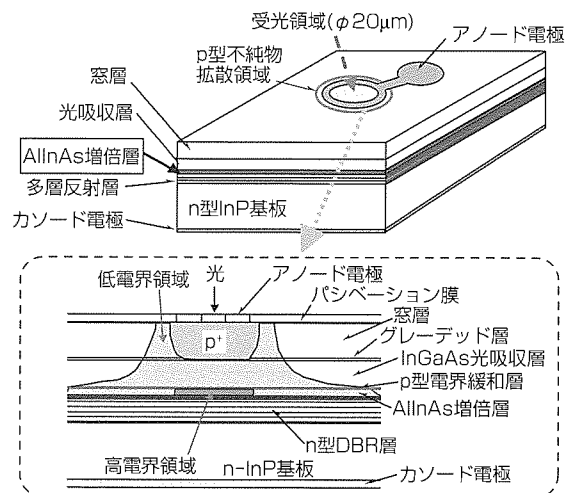


図2. 素子構造

は100kV/cm程度の低電界領域となっている。InP-APDでは、高電界が印加される増倍層がp型不純物拡散の周辺部に接しているために、この周辺部で電界集中が生じる。一方、このAPDでは、図のように、増倍層はp型拡散領域から離れており、かつ増倍層とp型拡散領域の間にあるp型の電界緩和層が電界を低減しているためにp型拡散領域には高い電界が印加されず、エッジブレイクダウンが生じない<sup>(4)</sup>。

高速化を実現するためには吸収層の薄膜化が必要であるが、それに伴い低下する感度は、吸収層下側に挿入されたDBR(Distributed Bragg Reflector)層によって透過光を吸収層に戻すことにより補っている。DBR層の反射率のピーク波長は1,550nm付近にチューニングした。10Gbps対応のAPDの多くは、基板側から光を入射させ、吸収層を透過した光を表面電極で反射させて戻す裏面入射型である。この構造のように、表面から光を入射する構造は、特殊なマウントや実装技術が必要としないため、容易にプリアンプと組み合わせて使用することが可能である。

### 3. 特性

次に、このAPDの特性について述べる。以後に示すデータは、受光径が20 $\mu\text{m}$   $\phi$ のものである。図3に、室温での暗状態と光を入射した状態の電圧電流特性を示す。

このAPDの降伏電圧は24~31Vであった。吸収層が空乏化するリーチスルー電圧は12V程度である。また、暗電流は、降伏電圧の90%の電圧で20nA前後であった。増倍率に比例する増倍暗電流は1nAであった。最大増倍率として、50倍程度が安定に得られた。エッジブレイクダウンが発生すると増倍率と印加電圧の関係を示す曲線に折れ曲がり(キンク)が生じるが、今回のAPDでは、キンクの発生がないことから、エッジブレイクダウンの発生はないものと考えられる。また、素子容量は、降伏電圧の90%電圧時に180fFと良好な値が得られた。

次に、高周波応答特性を図4に示す。

増倍率が2~10の範囲で、帯域として8~10GHz程度が得られた。GB積としては、~100GHz程度が得られている。InP-APDの場合、GB積は80~90GHzであることから、

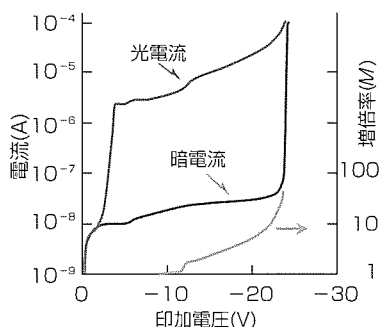


図3. 電流電圧特性

AlInAs増倍層による改善効果が確認できた。

次に、波長感度特性の一例を図5に示す。測定には波長可変レーザを用いた。このウェーハの素子の場合、DBR層の波長感度のピークは1,540nmであった。1,550nmでの感度として0.88A/Wが得られている。DBR層がない場合に比べて、十数%の感度の増加である。

次に、APDをプリアンプと組み合わせて、アイパターンと最小受信感度を測定した。図6に、光入力-27.5dBm、9.95Gbpsでのアイパターンを示す。良好なアイ開口が得られており、誤り率 $10^{-12}$ での最小受信感度として-28dBm以下が得られた。

### 4. 信頼性

図7に175 $^{\circ}\text{C}$ 、100 $\mu\text{A}$ 、窒素雰囲気での信頼性試験結果を示す。2,200時間経過しても暗電流は安定である。たとえば、現状の通電時間2,200時間を寿命と仮定しても、活性化エネルギーを0.7eVとし85 $^{\circ}\text{C}$ での寿命を計算すると20万時間に相当し、高信頼であると言える。

続いて、ノンハーメチック状態(ベア状態)で、耐湿寿命を評価した(図8)。印加電圧は動作電圧付近の25Vと降伏

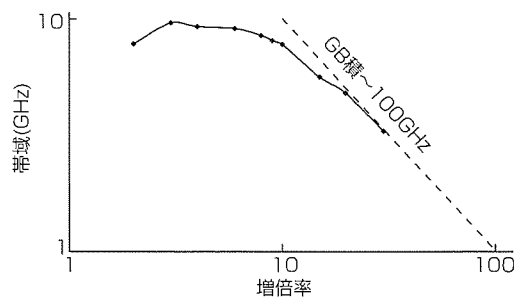


図4. 高周波応答特性

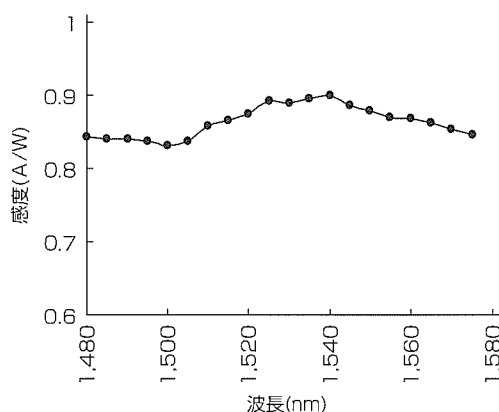


図5. 波長感度特性



図6. APD-TIAのアイパターン

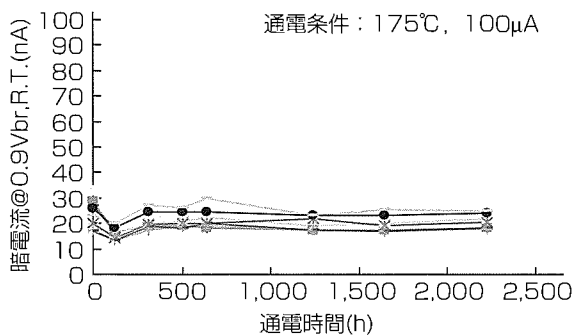


図7. 通電結果

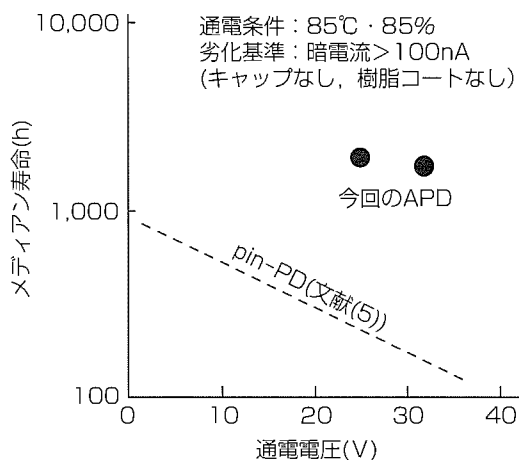


図8. 通電電圧と耐湿寿命の関係

電圧に近い32Vで行った。その結果、両者とも、85℃、85%で1,800時間のメディアン寿命が得られた。参考文献(5)に記載されている加速係数を用いると、ベア状態でも、35℃、55%に換算して、25Vの印加電圧で11.7万時間の耐湿寿命に相当する。

### 5. む す び

信号を増幅する増倍層に増幅時の過剰雑音の発生が小さいAlInAsを用いたAPDを開発した。このAPDでは、作製が容易で信頼性の高い新構造のプレーナ型を採用することにより、通信用として十分に高い信頼性を実現した。高い感度(～0.88A/W)と8GHz@M=10の広帯域が得られ、このAPDをTIAと組み合わせて、前記ITU-Tの規格を満足する-28dBm以下の最小受信感度を得られた。今回開発した低雑音のAlInAs-APDは、10Gbpsで80km伝送用として十分な特性を持っている。

### 参 考 文 献

- (1) 石村栄太郎, ほか: 10Gbps用高効率InP/InGaAsアバランシェフォトダイオード, 三菱電機技報, **76**, No.2, 113～116 (2002)
- (2) Watanabe, I., et al.: High-reliability and low-dark-current 10-Gb/s planar superlattice avalanche photodiodes, IEEE Photon. Technol. Lett., **9**, No.12, 1619～1621 (1997)
- (3) Tanaka, S., et al.: Highly sensitive and highly reliable APD for 10 Gbit/s optical communication systems, 28th European conf. on optical communications 2002, 10.5.3. (2002)
- (4) Yagyu, E., et al.: Simple Planar Structure for High-Performance AlInAs Avalanche Photodiodes, IEEE Photon. Technol. Lett., **18**, No.1, 76～78 (2006)
- (5) Osenbach, J.W., et al.: Temperature-Humidity-Bias-Behavior and Acceleration Model for InP Planar PIN Photodiodes, JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, **14**, No.8, 1865～1881 (1996)



# FTTH用光半導体素子

羽田英樹\*

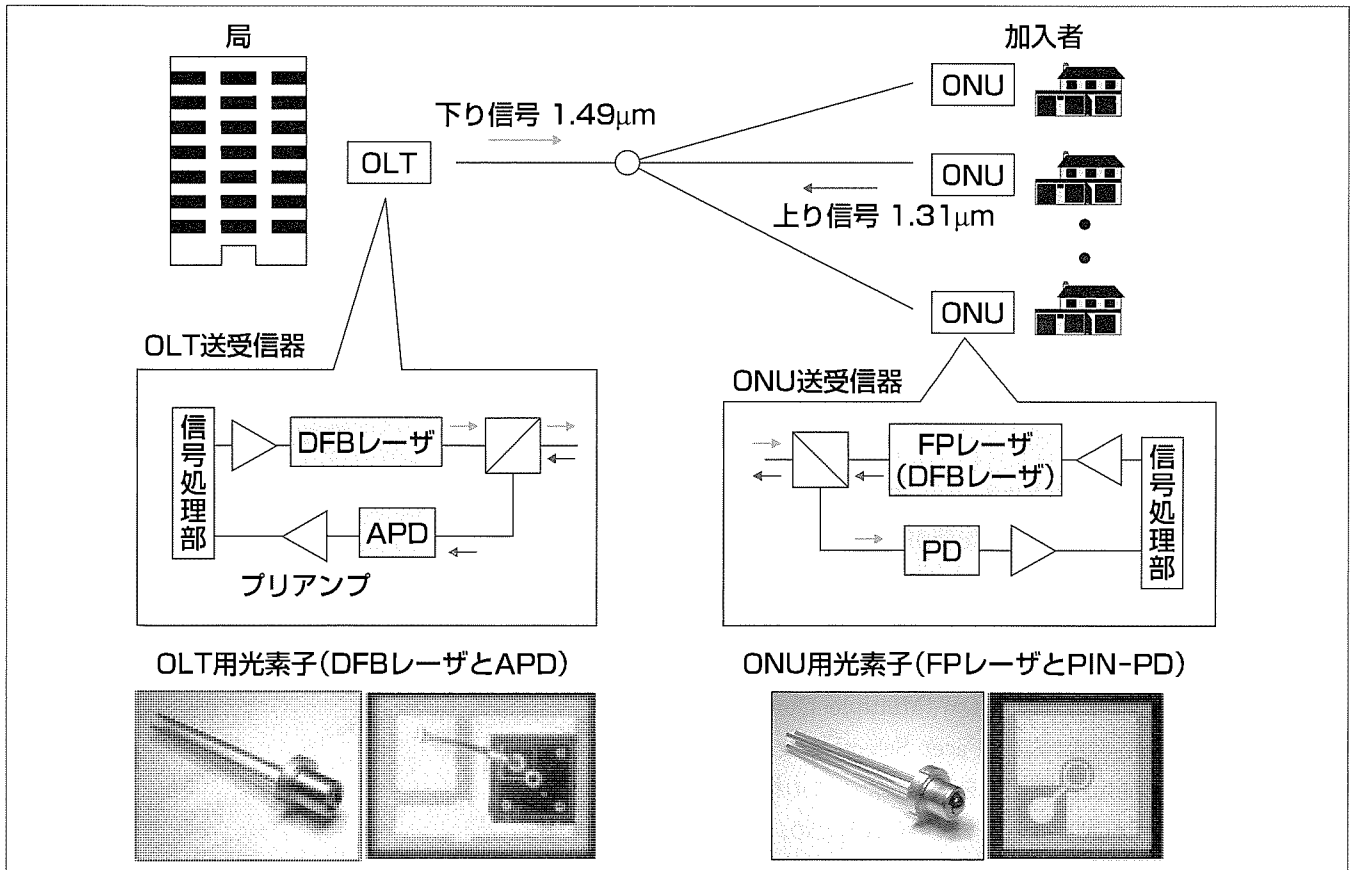
Optical Semiconductor Devices for FTTH

Hideki Haneda

## 要旨

インターネットの普及に伴い、より高速かつ低コストなサービスを提供できるアクセス系通信システムへの要求が強まっている。FTTH(Fiber To The Home)システムは、伝送媒体に光ファイバを用いているため、加入者までの距離によらず高速伝送が可能である。このうちPON(Passive Optical Network)と呼ばれる方式は、1つの局側装置を多数の加入者で共用するため、設備コストを抑えることができる。これらの特長により、PONシステムは盛んに導入が進められている。なお、PONシステムでは、光信号を分岐して多数の加入者に分配するため、高速・低コストのみならず、高光出力又は高感度な光デバイスが要求される。今回、FTTHのPONシステムに用いられている光デバ

イスについて述べる。局側のOLT(Optical Line Terminal)光送信モジュールには、高出力かつ広温度動作可能なDFB(Distributed-FeedBack)レーザと、高効率な非球面レンズ光学系を使用することにより、 $-40\sim+85^{\circ}\text{C}$ の温度範囲でも高い光出力が実現できる。また、OLT光受信モジュールには高感度APD(Avalanche Photo Diode)と低雑音プリアンプICを使用することにより、高い受信感度を得ることができる。さらに、加入者側のONU(Optical Network Unit)光送信デバイスでは、高出力レーザチップと高光結合効率レンズ付きパッケージを用いることで高出力化と低コスト化を実現している。



## FTTH用光半導体素子

OLT光送信モジュールは、高出力かつ広温度動作可能なDFBレーザと高効率な非球面レンズ光学系により、広い温度範囲において高い光出力を実現している。OLT光受信モジュールは、高感度APDと低雑音プリアンプICを使用することにより、高い受信感度が得られる。また、ONU光送信モジュールでは、高出力レーザチップと高効率なレンズ付きCANパッケージにより、高出力化と低コスト化が可能となる。

\*高周波光デバイス製作所(理博)

## 1. ま え が き

インターネットにおける動画配信など大容量のデータ通信が必要となるコンテンツの増加に伴い、より高速かつ低コストなサービスを提供できる加入者系(アクセス系)通信システムが求められている。伝送媒体に光ファイバを用いたFTTHシステムは、加入者までの距離によらず高速なサービスを提供できるため、アクセス系システムとして非常に有望である。なかでも、GE-PON(Gigabit Ethernet-PON)システムは1.25Gbpsの高速伝送が可能であり、なおかつ、1つの局側OLT装置を多数の加入者で共用することで設備コストを抑えることができるため、盛んに導入が進められている。また、G-PON(Gigabit capable-PON)システムは最大2.5Gbpsの高速伝送が可能であり、今後、北米を中心に普及が進むと見られている。

PONシステムでは、局側のOLT送信装置からの出力光信号が多数の加入者に分岐して送信されるため、高効率かつ高光出力の送信光デバイスが必要となる。また、OLT受信装置では、様々なレベルの各加入者からの光信号が分岐部で減衰するため、高感度かつ様々なレベルの光信号を受信できる広ダイナミックレンジな受信光デバイスが必要となる。なお、加入者側のONU送受信装置には、OLT光送受信装置ほど高い性能は要求されないが、より低コストな光デバイスが要求される。

今回、PONシステムに用いられている光デバイスについて述べる。GE-PONやG-PONシステムでは、OLT送信装置からの下り信号の光波長は1.49 $\mu\text{m}$ 帯、ONU送信装置からの上り信号の光波長は1.31 $\mu\text{m}$ 帯である。また、GE-PONの伝送距離は10km又は20kmであり、G-PONでは標準で20kmである。

## 2. FTTH用光デバイス

### 2.1 OLT用発光デバイス

PONの下り信号で用いられる1.49 $\mu\text{m}$ 帯は、光ファイバの波長依存性(分散と呼ばれる)の影響が大きいため、狭スペクトル幅の光源が必要である。このため、OLT用送信モジュールでは、活性層近傍に設けた回折格子によって選択的な単一モード発振を可能とするDFBレーザを使用する。素子の基本構造としては、MQW(Multiple Quantum Well)活性層を埋め込んだFSBH(Facet Selective-growth Buried Heterostructure)構造<sup>(1)</sup>を採用した。この構造のレーザは、広い温度範囲で高い効率が得られるため、PONシステムで特に有用である。

図1に1.49 $\mu\text{m}$ 帯の高出力DFBレーザ“ML9xx16シリーズ”の光出力-電流特性を示す。素子特性としては、低しきい値電流、広動作温度範囲、高いサイドモード抑圧比(typ.40dB)、高速応答(立ち上がり・立ち下がり時間

0.12ns(20%~80%))を特長とする。実使用条件で10万時間以上の信頼性を確保している。

OLT用送信モジュールでは、光ファイバの分岐によって光強度が低下し、さらに、ONUの受信側で比較的感度の低いPINフォトダイオード(PIN-PD:PIN Photo Diode)を使用するため、非常に高いファイバ光出力が要求される。このため、光結合特性に優れた非球面レンズを用いてDFBレーザの出射光を光ファイバに集光する。三菱電機では、OLT用送信モジュールの部品点数の削減や低コスト化を図るため、非球面レンズを一体化したCANパッケージのDFBレーザをラインアップしている。倍率x2.5の非球面レンズを搭載したML920L16Sは光結合効率~40%を、倍率x4の非球面レンズを搭載したML920T16S(図2)は光結合効率~70%を実現し、高い結合効率を達成している。

### 2.2 OLT用受光デバイス

上り信号で用いられる1.31 $\mu\text{m}$ 帯では光ファイバの光吸収損失が大きく、また、ONU用光モジュールの光出力はOLT用送信モジュールほど高くないことから、OLT用受光モジュールには、高感度な受信特性が得られるアバランシェフォトダイオード(APD)が用いられる。APDは、降伏電圧近傍にバイアスすることで光電流の増幅作用が生じ、

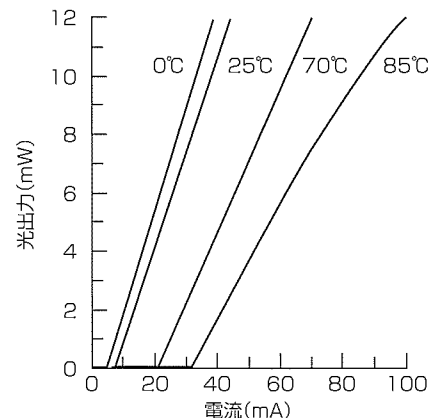


図1. OLT用DFBレーザML9xx16の光出力-電流特性

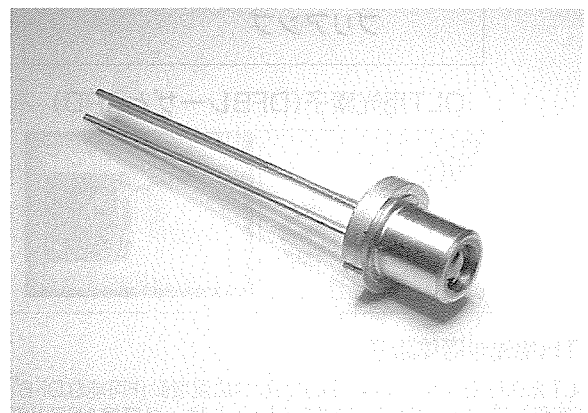


図2. OLT用DFBレーザML920T16S(非球面レンズ搭載)

PIN-PDに比べてはるかに大きな光電流が得られることを特長とする。

図3に高感度APDである“PD8xx2シリーズ”の電圧-電流特性を示す。降伏電圧VBRは60Vであり、入射光0.3μW時における最大増倍率は10以上の値が得られている。受光径はφ50μmである。表1に主な特性を示す。1.0~1.6μmの波長の光に対して十分な感度のあるInGaAsを光吸収層に、また、InPを増倍層に使用したInGaAs-InPプレーナ構造を採用することで、受光感度は波長1.31μmで0.9A/W、周波数帯域は2GHzと、GE-PON及びG-PONシステムに必要な感度と周波数特性が得られている。

OLT用受信モジュールでは、高感度APDと、APDで受信した微弱信号を増幅して出力するバーストプリアンプICを使用する。プリアンプICは、インピーダンスの整合と電磁干渉による雑音防止のため、APDと同じパッケージに内蔵するのが一般的である。また、プリアンプICは低雑音化と、各加入者から送られてくる様々なレベルのバースト信号に瞬時に対応するために工夫がされており、カスタム設計となることが多い。このような使用形態に柔軟に対応するため、当社は、小型サブマウントに搭載したAPD、PD893K2(図4)を製品化した。サブマウントの外形は0.7×0.5×0.254mmであり、CANパッケージにプリアンプICとともに内蔵可能な大きさとしている。

### 2.3 ONU用発光デバイス

PONの上り信号で用いられる1.31μm帯は光ファイバの分散の影響が小さいため、スペクトル幅の広いFP(Fabry-Perot)レーザを使用することができる。ただし、

伝送速度1.25Gbpsで伝送距離10kmを超える場合は、スペクトル幅が狭いDFBレーザを用いる必要がある。

#### 2.3.1 ONU用FPレーザ

1.25Gbps、10km伝送のONU用光モジュールは、低コスト化のためにFPレーザを使用している。PONシステムでは、送信光の高出力化が必要なため、レーザチップの高出力化を行った。送信光として使われるチップの前端面からの光出力を大きくするため、設計の最適化を行い、25℃の効率0.45W/A、光出力20mWを達成した。図5に1.3μm帯のFPレーザ“ML7xx46シリーズ”の光出力-電流特性を示す。従来のデバイスより静電容量を下げて、1.25Gbpsの高速変調に対応している。

ONU用光モジュールは加入者ごとに設置されるため、モジュール構造の簡素化とデバイスに対する低コスト化が求められる。このため、低コストのボールレンズを一体化したCANパッケージのFPレーザを用い、直接光ファイバに光結合をとる構造が一般的である。しかし、従来のボールレンズでは、レーザからの光線が1点に結像しない球面収差のため、ファイバへの光結合効率が不足していた。そこで、当社は、ボールレンズの材質及び光学設計を見直すことで、光結合効率20%が可能なFPレーザML720AA46S

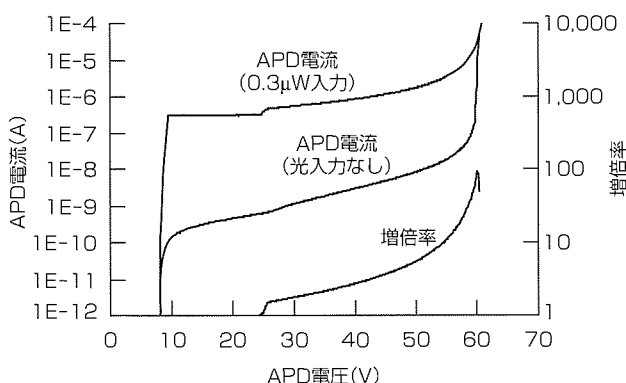


図3. APDの電圧-電流特性と増倍率

表1. OLT用APD, PD8xx2の特性一覧

項目	条件	典型値
降伏電圧	-	60V
受光感度	増倍率1, 波長1.31μm	0.9A/W
遮断周波数	増倍率10, 波長1.31μm	2 GHz
容量	$V_f = 0.9V_{BR}$	0.4pF

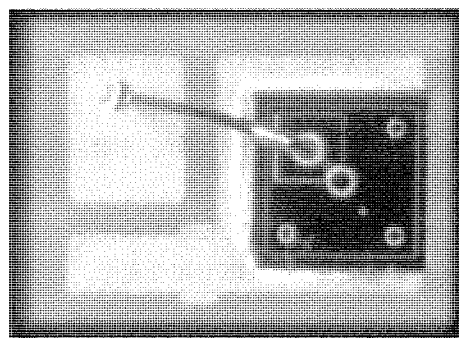


図4. APD, PD893K2の外観写真(サブマウントに搭載)

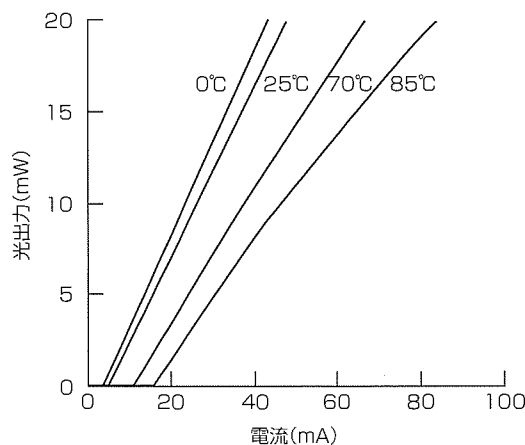


図5. ONU用FPレーザML7xx46の光出力-電流特性

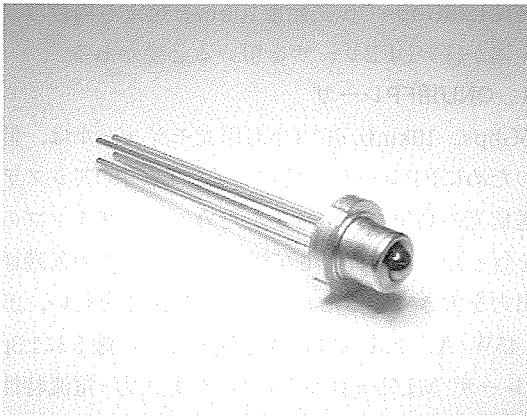


図 6. ONU用FPレーザML720AA46S (ボールレンズ搭載)

(図 6)を開発した。また、FPレーザML720AC46Sでは、ボールレンズで業界最高水準の光結合効率~30%を達成した。

### 2.3.2 ONU用DFBレーザ

1.25Gbps, 20km伝送のONU用光モジュールで用いられるDFBレーザでは、高出力化及び広動作温度範囲化が特に要求される。そこで、設計パラメータの最適化を行い、高温における効率と光出力を従来のデバイスより高めた1.3 $\mu$ m帯高出力DFBレーザ“ML7xx34シリーズ”を開発した。図7にM7xx34シリーズの光出力-電流特性を示す。DFBレーザでは、より大きなファイバ光出力を得るために、非球面レンズを用いるのが一般的である。そのため、非球面レンズをCANパッケージに搭載したDFBレーザML720L34S(図8。光結合効率~40%)を製品化している。

### 2.4 ONU用受光デバイス

下り信号で用いられる1.49 $\mu$ m帯では光ファイバの光吸収損失が小さいことから、ONU用受光モジュールには、PIN-PDが用いられる。当社では、1.25Gbps用PIN-PDとして“PD7xx7シリーズ(受光径 $\phi$ 40 $\mu$ m)”を製品化している。表2に主な特性を示す。広く一般に市販されているプリアンプICに柔軟に対応するために、小型サブマウント又はベアチップでの供給を行っている。

## 3. む す び

PONシステムに用いられる光デバイスについて、その構造及び特性について述べた。OLT光送信モジュールは、高効率な非球面レンズをパッケージに内蔵した高出力かつ広温度動作可能なDFBレーザを使用することにより、広い温度範囲で必要なファイバ光出力を得ることができる。また、高感度APDと低雑音プリアンプICを使用することにより、高い受信感度が達成可能である。ONU用レーザ

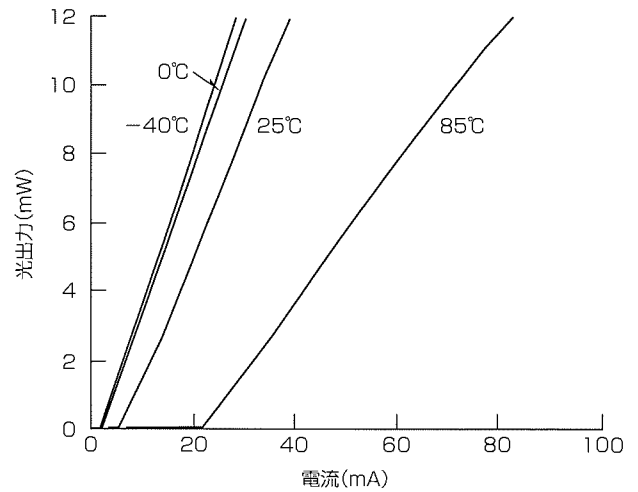


図 7. ONU用DFBレーザML7xx34の光出力-電流特性



図 8. ONU用DFBレーザML720L34S(非球面レンズ搭載)

表 2. ONU用PIN-PD, PD7xx7の特性一覧

項目	条件	典型値
暗電流	$V_r = 2$ V	1 nA
受光感度	$V_r = 2$ V, 波長1.49 $\mu$ m, $P_m = -20$ dBm	1.0 A/W
遮断周波数	$V_r = 2$ V, 波長1.49 $\mu$ m	> 2 GHz
容量	$V_r = 2$ V, $f = 1$ MHz	0.45 pF

では、デバイス自体の高出力化と高効率なレンズ付きCANパッケージの採用により、高出力化と低コスト化を実現した。これらの光デバイスを用いることで、高速かつ低コストなPONシステムが構築可能となる。

### 参考文献

- (1) Ohkura, Y., et al : Low threshold FSBH laser on p-InP Substrate grown by all-MOCVD, Electron. Lett. 28, 1844~1845 (1992)

# 自己パルス発振半導体レーザー

西川智志\* 徳田安紀\*\*  
 後藤田光伸\*\*  
 西村哲也\*

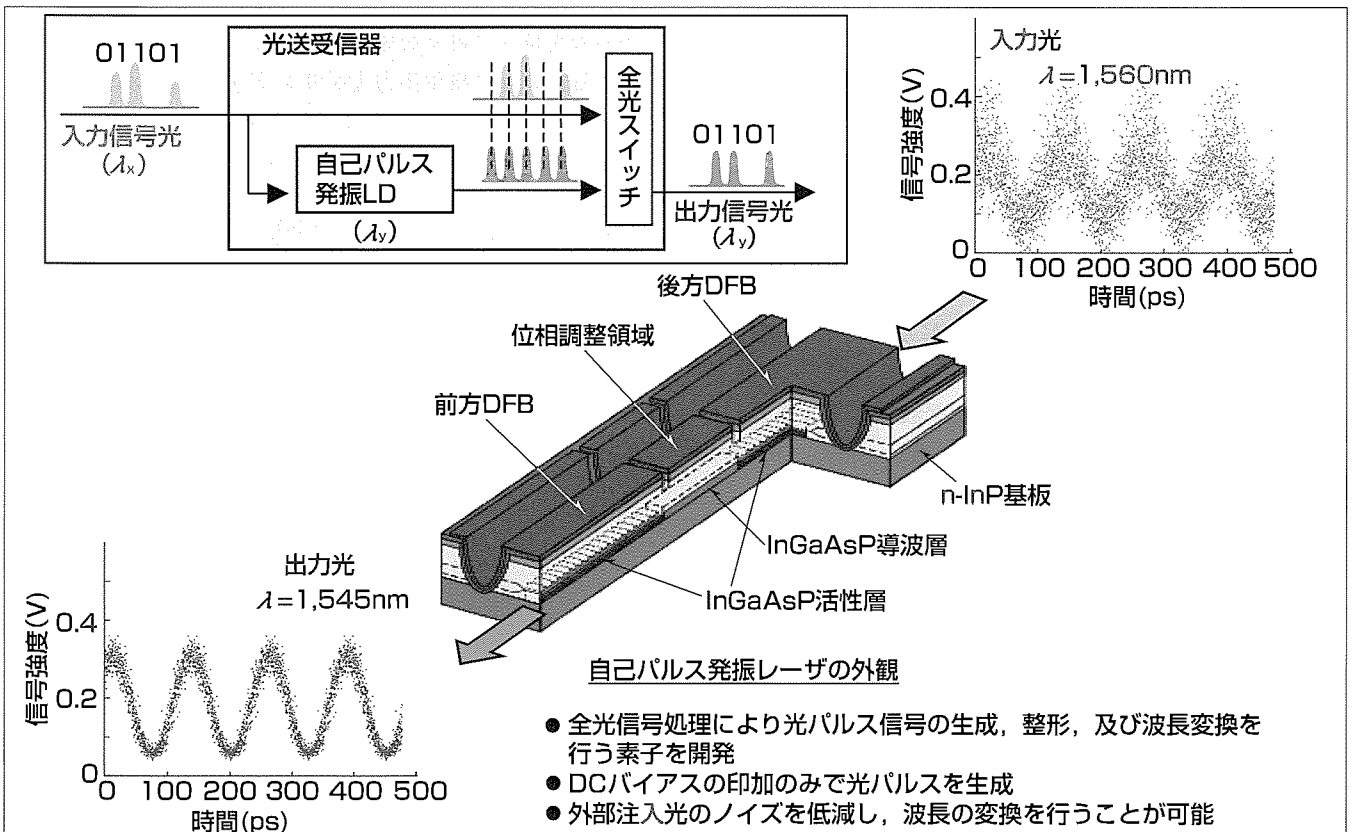
Self-Pulsating Laser Diodes

Satoshi Nishikawa, Mitsunobu Gotoda, Tetsuya Nishimura, Yasunori Tokuda

## 要旨

高度情報化社会において、光通信の高速・大容量化が求められ、40Gbps以上の通信速度が将来導入される。その際に、光-電気-光変換を伴った再生中継を行う現行方式では、高消費電力や高コストが問題となる。そのため、光3R機能(クロック再生、波形整形、強度再生)に波長変換機能が付加されたモノリシック全光波長変換器による再生中継が提案されており、小型化・低消費電力化・低コスト化が可能な解決策の一つと考えられる。光3R機能の実現には課題も多く、外部光信号の通信速度に同期した周波数で短パルス光を発振できる半導体レーザーの実現もその一つである。短パルスレーザー光源としてはモードロック型と多電極分布帰還型のレーザーが研究されてきたが、前者は共振器の作製精度により発振周波数がばらつき、また、両者と

も波長可変が困難であるという問題があった。今回、3電極分布帰還形レーザーの回折格子仕様を検討し、周波数40GHz帯でのパルス発振と劣化した外部信号のS/N (Signal to Noise Ratio)比改善動作を確認した。さらに、位相シフト付き回折格子を用いた200GHz超の超高周波パルス発振を確認した。また、4電極分布ブラッグ反射鏡レーザーによるパルス発振動作についても検討し、変調回折格子を用いることによって10nm以上の可変幅で波長可変パルス発振を実現した。このような自己パルス発振レーザーは、短パルス光源としての用途のほか、次世代光通信で求められる光3R機能を小型、低消費電力、低コストで実現するキーデバイスになるものと期待する。



## 自己パルス発振半導体レーザーの外観

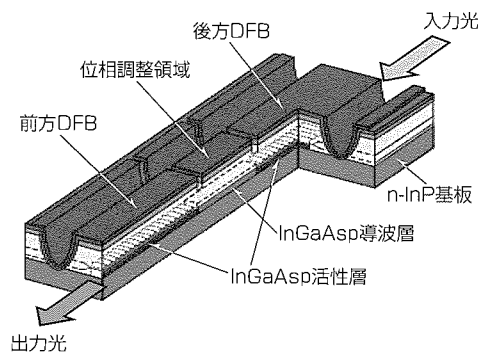
自己パルス発振半導体レーザーの外観及び使用イメージを示す。40Gbps以降の将来の光通信システム用に、伝送信号の波長変換のほか、光パルスの波形整形とリタイミングを全光で行うデバイスの実現が求められる。伝送光信号の自己パルス発振半導体レーザーへの注入同期により、波形整形とリタイミングが可能である。回折格子仕様変更により、40GHz帯以外の周波数帯でもパルス発振できる。

### 1. ま え が き

通信トラフィックの増大に伴い、将来の光ファイバ通信ではメトロ系で40Gbps以上の伝送速度が求められると考えられるが、光-電気-光変換を伴った再生中継を行う現在の方式では高消費電力や高コストが問題となる。これに対し、光3R機能(クロック再生、波形整形、強度再生)が付加されたモノリシック全光波長変換器による再生中継が提案されており、小型化・低消費電力化・低コスト化が可能な解決策の一つである。光3R機能の実現には、外部光信号の通信速度に同期した周波数で短パルス光を発振できる半導体レーザが不可欠であり、そのような自己パルス発振半導体レーザ(Self-Pulsating Laser Diode: SP-LD)として、モードロック型レーザと多電極の分布帰還型レーザ(DFB-LD)<sup>(1)</sup>の2種類の方式が研究されている。我々が主に開発している後者のSP-LDは、DC駆動で周波数可変パルス発振が可能という特長を持っている。また、外部から光パルスを入射させた場合に生じる素子内キャリア密度変調を介した注入同期現象により、外部信号のビットレートに同期した低ジッタのクロックパルスを発生することも可能である。以下ではまず、素子構造、ノードでの適用を想定した40GHz帯でのクロック再生<sup>(2)</sup>を確認した結果について述べる。さらに、回折格子仕様等の素子構造を工夫することにより発振周波数を変更でき、200GHz超までの超高周波数パルス発振が得られた結果<sup>(3)</sup>を述べる。最後に、波長変換用途で有用となる波長可変パルス発振<sup>(4)</sup>を可変幅10nm以上で多電極分布ブラッグ反射鏡レーザ(DBR-LD)を用いて確認しており、これについても述べる。

### 2. 素 子 構 造

SP-LDの素子の概略を図1の(a)に示す。発振波長は1.55 $\mu$ m帯であり、InGaAsP/InPプロセスを用いて形成する3電極DFB-LDである。ブラッグ波長の異なるDFB(Distributed FeedBack)領域が前後に設けてあり、両方のDFB領域を発振しきい値以上の駆動電流で駆動すると、図の(b)の反射スペクトルの概略図で示されるように、波長



(a) 素子構造

の異なる近接した2つの発振モードが競合して発振するようにできる。出力光では、2つの発振モードのビート干渉によりモード間隔に相当する周波数でのパルス発振が得られる。なお、中央部は電流注入により屈折率を調整する位相調整領域(透明導波路)であり、発振状態の選択や発振周波数の調整のために用いる。活性層は、InGaAsPバルク活性層を用いている。

### 3. 40GHz帯クロック再生

40GHz帯発振用に回折格子仕様を調整した素子について、実際にパルス発振及びクロック再生を確認した結果を述べる。素子の構造は、DFB長 $L=250\mu\text{m}$ 、回折格子結合係数 $\kappa=90\text{cm}^{-1}$ であり、前後の回折格子のブラッグ波長をストップバンド幅よりわずかに大きく4nmだけ離調させている。そのため、図1の(b)に示したように2つの発振モードが40GHz( $\Delta\lambda=0.32\text{nm}$ )程度の近接したモード間隔で発振する。図2は、実測した発振スペクトルとRF(Radio Frequency)スペクトルである。発振波長1,545nmにおいて44GHzのビート周波数で発振している例を示した。なお、駆動条件は、前方DFB電流 $I_f=70\text{mA}$ 、後方DFB電流 $I_r=75\text{mA}$ 、位相調整電流 $I_p=4.0\text{mA}$ である。発振周波数は、 $I_p$ を調整することにより10GHz程度の変可範囲がある。

この素子を用いて、S/N比が劣化した40GHz帯の信号光からのクロック再生を確認している。図3(b)は、注入同期によるクロック再生出力光をサンプリングオシロで計測し

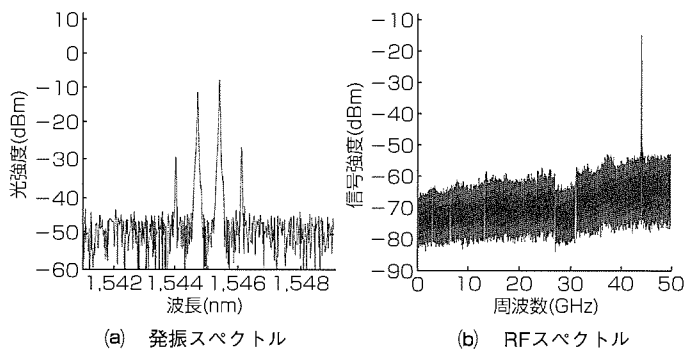
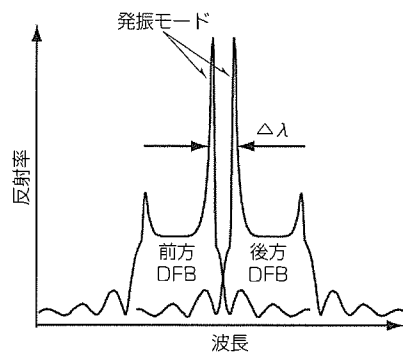


図2. 40GHz帯のパルス発振例



(b) DFBストップバンドの反射スペクトル

図1. 自己パルス発振半導体レーザ

た時間波形を示す。図の(a)は、光増幅器の自然放出光を付加してS/N比を劣化させた注入信号光(波長1,560nm, 光強度-3dBm)である。注入同期は注入光によるキャリア密度変動を介して生じるので、活性層利得スペクトル幅に相当する広範囲の注入光波長に対して同期可能である。出力光は、2つのモードのビート干渉によるため、波形がほぼ正弦波的になっている。図から、注入光の時間ジッタが2ps以上であるのに対し、図の(b)の出力光は、約0.9psのジッタに低減されて、リタイミングと波形整形がなされることが分かる。なお、40Gbpsの擬似ランダム信号光の注入でも同様のクロック再生動作を確認している。このようなクロック再生動作と光波長変換を組み合わせることで、小型化、低消費電力の全光再生中継が多段に構成できると期待できる。

#### 4. 超高周波数パルス発振

位相シフトをDFB領域に導入するなどの回折格子の変調により発振波長やモード間隔が変わるため、それに対応したパルス発振周波数も大きく変化する。ここでは、 $\lambda/4$ 位相シフトを前方DFBに導入することにより、周波数約270GHzでのパルス発振及び注入同期動作を実験的に確認した結果を示す。素子は、2モード発振が生じるように、後方DFBを前方DFBよりも2nm長波長側に離調させており、また、DFB長 $L=300\mu\text{m}$ , 回折格子結合係数 $\kappa=150\text{cm}^{-1}$ としている。図4の(a)に前方DFBと後方DFB, 及び小利得条件下での素子全体の反射スペクトル(計算値)を示す。前方DFBの位相シフトにより、 $\lambda_2$ の波長でレーザ発振が生じる。一方、前方DFBの長波長端付近でも後方DFBからの帰還により $\lambda_1$ の波長に発振モードが存在することが分かる。計算及び試作した素子の実測により得られた発振スペクトルを図の(b)に示す。前後DFBの駆動電流は、それぞれ115mA, 及び14mAである。図の(a)で説明した $\lambda_1$ 及び $\lambda_2$ の発振モードが観測され、計算においても同様の発振状態が確認できる。 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ のモード間隔は、 $\Delta\lambda=2.14\text{nm}$ であり、周波数 $\sim 267\text{GHz}$ に相当する。これに対し、注入同期による時間波形の確認を行った。図5に注入同期時の出力光の時間波形を示す。注入光としてパルス幅 $\sim 2$

psのモードロックレーザ光(繰り返し10.29GHz, 波長1,560nm)を用いた。注入光の繰り返し周波数に同期したゆらぎとともに、26次のサブハーモニック注入同期による $\sim 267\text{GHz}$ の超高周波パルス発振の時間波形が観測されている。このような超高周波発振は、発振周波数帯を位相シフトの値により変更でき、160GHz等の将来通信用に想定される周波数帯での短パルス光源に適用できることが示された。

#### 5. 波長可変パルス発振

前章までに述べたSP-LDでは、発振周波数は位相調整により広範囲可変であるが、発振波長の可変幅は小さい。しかし、発振波長が広範囲に可変なクロック再生素子が実現できれば、光波長変換器において極めて有用と考えられる。ここでは、構造の異なる4電極DBR(Distributed Bragg Reflector)レーザによる波長可変パルス発振動作の検討を行った結果について述べる。図6に素子構造を示す。

素子は、SG(Sampled Grating)とSSG(SuperStructure Grating)からなる前後のDBR部の間に利得領域と位相調整領域を持つ4電極DBRレーザである。前後のDBR部はくし状の反射スペクトルとなるように作製されており、前後のDBRの反射帯が重なる波長でレーザ発振が生じる。このような素子構造は、CW(Continuous Wave)出力の広帯域波長可変レーザとして知られている。このような素子に対して、図の(b)に示した有効共振器長に対応する縦モー

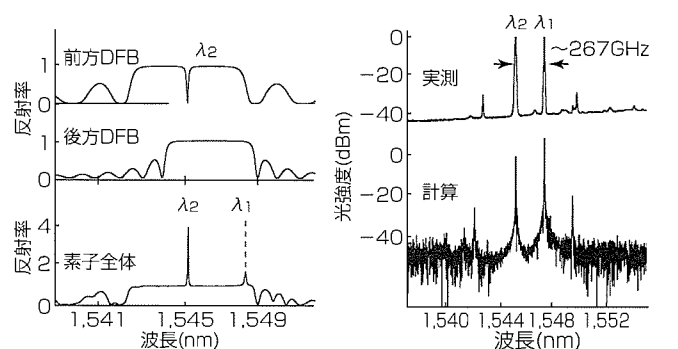


図4. 位相シフト導入による超高周波発振

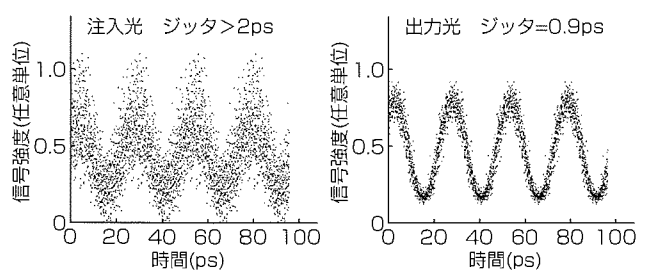


図3. 注入同期による40GHz帯でのジッタ低減

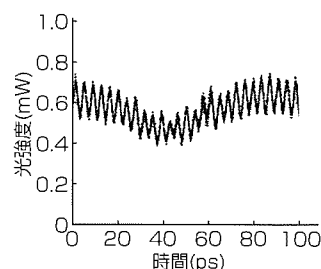


図5. 注入同期出力光の時間波形

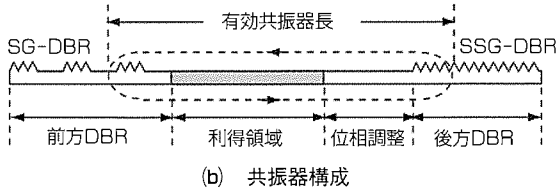
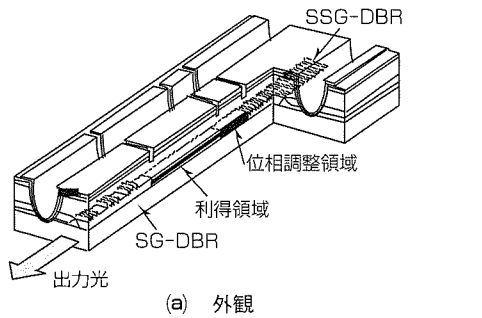


図6. 波長可変素子の構造

ドが存在するので、反射帯の重なりの中に複数の縦モードが存在し、同時に発振するようであれば、縦モード間隔に相当する周波数のパルス発振が得られると考えられる。反射帯の重なる波長は、DBR部の屈折率を電流注入により変化させた際に、CW出力の場合と同様にバーニア効果により広範囲に可変となる。このような動作メカニズムにより、パルス発振かつ波長可変のクロック再生動作が可能になる。実際に、上記構造の素子に対して駆動条件を変えて波長可変出力を測定したのが図7に示すスペクトルである。1,542~1,552nmの範囲で発振波長を可変にできていることが分かる。なお、パルス発振周波数は縦モード間隔が変化しないことを反映して31GHzでほぼ一定であった。周波数については、素子長を変更することにより、40GHzでのパルス発振も可能と考えられる。これらの発振状態に対して、前節のSP-LDと同様の外部パルス光信号の注入による注入同期動作も確認できており、出力及び入力光波長可変のクロック再生を原理的に実証することができた。

## 6. む す び

3電極DFBレーザを用いた、DC駆動で発振周波数可変、外部光信号に対するクロック再生可能な1.55 $\mu$ m帯自己短パルス発振レーザを開発した。この素子では、40GHz帯を始め、10~200GHz超の広範囲まで、回折格子の設計により発振周波数を変えることができ、駆動条件の調整により発振周波数可変性も持っている。注入同期によりS/N比が

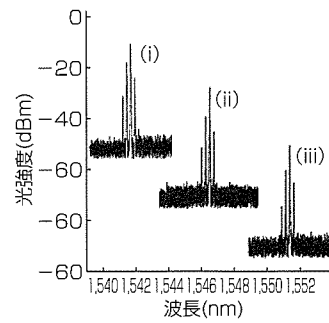


図7. 4電極DBR素子での波長可変パルス発振

劣化した信号光のジッタ低減も可能である。また、波長可変自己パルス発振レーザも開発しており、4電極DBRレーザを用いて10nm以上の波長可変幅が得られた。このような自己パルス発振レーザは、短パルス光源としての用途のほか、次世代光通信で求められる光3R機能を小型、低消費電力、低コストで実現するキーデバイスになるものと期待する。

なお、この研究の一部はNEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)の委託を受けて(財)光産業技術振興協会において実施したものである。

## 参 考 文 献

- (1) Möhrle, M., et al.: Detuned grating multisection RW-DFB lasers for high speed optical signal processing, J. Select. Top. Quantum Electron. 7, No.2, 217~223 (2001)
- (2) Nishikawa, S., et al.: Coupling coefficient dependence on oscillation frequency stability of self-pulsating DFB laser diodes, IEE Electron. Lett., 41, No.17, 964~965 (2005)
- (3) Nishikawa, S., et al.: Self-pulsation and optical injection locking for multielectrode distributed feedback lasers using phase-shift-induced modes, Appl. Phys. Lett., 85, No.21, 4840~4841 (2004)
- (4) Nishikawa, S., et al.: Optical high-frequency pulse generation with wavelength tunability by using a DBR laser with vernier-type gratings, IEEE Photon. Technol. Lett., 17, No.8, 1608~1610 (2005)



# Cat-CVD法により保護膜形成した C帯100W超級GaN-HEMT

加茂宣卓\* 山本佳嗣\*  
戸塚正裕\* 奥友希\*  
國井徹郎\*

A C-Band AlGaIn/GaN HEMT with Cat-CVD SiN Passivation Developed for an Over 100W Operation

Yoshitaka Kamo, Masahiro Totsuka, Tetsuo Kunii, Yoshitsugu Yamamoto, Tomoki Oku

## 要旨

GaN半導体は、絶縁破壊電界が高く飽和電子移動度も大きいという優れた特性を持つため、次世代の高出力高周波トランジスタ材料として期待されている。特にAlGaInとのヘテロ接合を利用したHEMT(High Electron Mobility Transistor)は開発が活発であり、様々な研究機関、企業から成果が報告されている。しかしながら、GaN-HEMTには、電圧ストレスにより電流が減少する、電流コラプスと呼ばれる問題が知られており、多数の研究者がその解決方法について報告している。この現象は、保護膜と半導体界面に存在する界面トラップが原因であると考えられており、半導体表面処理や保護膜形成方法等の改善がなされて

きた。化合物半導体デバイスの保護膜形成に関して我々は、Cat-CVD(Catalytic Chemical Vapor Deposition)法を積極的に適用している。この方法は、化合物半導体デバイスに安定な半導体/絶縁膜界面を形成することができる成膜方法で、我々は、これまでにGaAs系デバイスに適用することで、既に様々な特性改善を実現した。

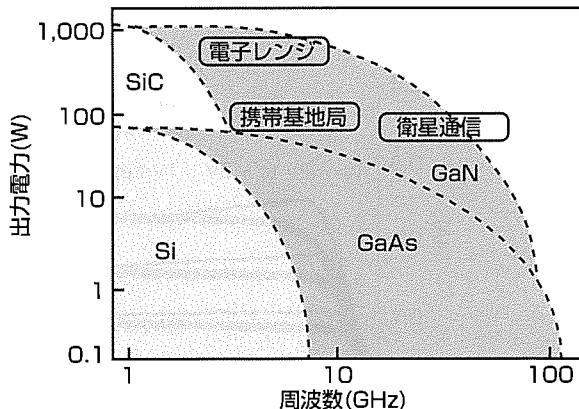
そこで今回、GaN-HEMTの保護膜形成にCat-CVD法を適用することで、電流コラプスの抑制及び高耐圧化を実現し、C帯における出力が140W以上である素子の作製に成功した。

### <各種半導体の特性比較>

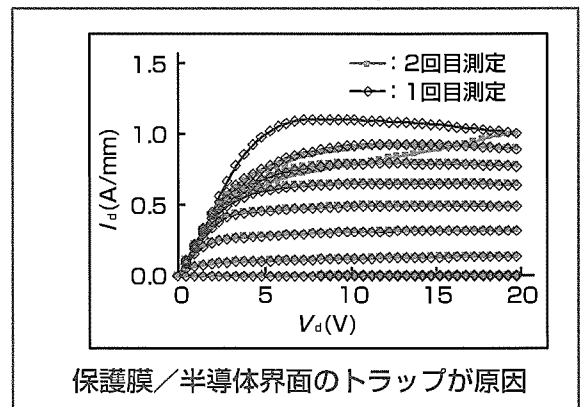
	禁制帯幅 (eV)	絶縁破壊 電界 (V/cm)	電子 飽和速度 (cm/s)	ヘテロ 接合	性能指数 JFM
GaN	3.42	$5 \times 10^6$	$1.9 \times 10^7$	○	143
SiC	3.25	$3 \times 10^6$	$2.0 \times 10^7$	△	57
GaAs	1.43	$4 \times 10^5$	$2.0 \times 10^7$	○	1

JFM : Johnson's Figure of Merit

### <GaNの適用分野>



### <GaN-HEMTの電流コラプス現象>



### p-CVD(従来の保護膜形成方法)

表面にプラズマを照射、プロセス損傷が生じ、保護膜/半導体界面にトラップが形成される。

プロセス損傷の小さいSiN膜の成膜手法  
Cat-CVD法(プラズマ使用せず)

Cat-CVD法のGaN-HEMTへの適用

## GaNの応用分野と保護膜形成方法の改善

GaNは、GaAsと比べ、ほぼ同じ飽和電子移動度でより高い絶縁破壊電界を持っている。この優れた材料特性から、Si、GaAsでは実現できなかった高電圧動作による高出力高周波トランジスタが実現できると期待されている。GaN-HEMTの高電圧動作実現のためには、電流コラプスを抑制する必要があり、その主原因は保護膜/半導体界面のトラップの存在である。保護膜形成にプロセス損傷の小さいCat-CVD法を適用することで、電流コラプスを抑制することが可能である。

1. ま え が き

ワイドバンドギャップ半導体であるGaN-HEMTには、次世代の高出力・高周波デバイスとして非常に大きな期待が寄せられている。しかしながら、GaN-HEMTには、電圧ストレスにより電流が低下する現象(以下“電流コラプス”という。)が知られており、多数の研究者がその解決方法について報告している。この現象は、保護膜と半導体界面に存在する界面トラップが原因であると考えられており、半導体表面処理や保護膜形成方法等の改善がなされてきた<sup>(1)(2)</sup>。しかしながら、電流コラプスが抑制される一方で、ゲートドレイン間の耐圧が低下していた<sup>(3)</sup>。したがって、GaN-HEMTの高電圧動作を実現するためには、電流コラプスの抑制と高耐圧化の両立が非常に重要な課題である。さらに、この問題を解決するために、トランジスタ構造<sup>(4)</sup>や、エピタキシャルウェーハ構造<sup>(5)</sup>の改善がなされてきた。そこで今回は、半導体表面の保護膜形成方法にCat-CVD法を適用することで、半導体/保護膜界面のトラップを減少させ<sup>(6)</sup>、電流コラプスの抑制、高耐圧化を実現し、C帯において140W以上の出力が得られたので、本稿で述べる。

2. トランジスタ構造

図1に作製したトランジスタ構造を示す。エピタキシャル基板には、4H-SiC基板上にi-AlGaN/i-GaNをMOVPE(MetalOrganic Vapour Phase Epitaxy)により成長したものを使用した。ソース、ドレイン電極としてTi/Alを真空蒸着で形成した後、RTA(Rapid Thermal Annealing)処理を行い<sup>(7)</sup>、素子間分離としてArイオン注入を行った。ゲート電極は電子ビーム露光と蒸着リフトオフにより形成し、ゲート長は0.4μmであった。また、ゲート金属にはPt/Auを使用し、蒸着リフトオフにより形成した。表面保護膜として、半導体表面をNH<sub>3</sub>処理した後、

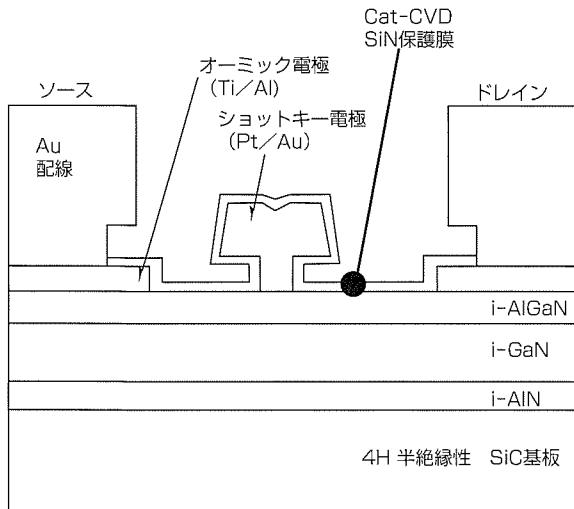


図1. GaN-HEMTの断面構造図

50nmのSiN膜をCat-CVD法により形成し、最後にエアブリッジやパッドを金めっきにより形成した。

図2に、今回作製した総ゲート幅50.4mmのGaN-HEMTチップ写真を示す。

3. トランジスタ特性

3.1 I-V特性(DC・パルス動作)

作製したトランジスタのI-V特性を、総ゲート幅0.38mmのトランジスタで評価した。p-CVD法とCat-CVD法のそれぞれで保護膜形成したトランジスタのDC I-V及びパルスI-V特性を図3に示す。DCのドレイン電流の最大値を比較すると、p-CVD法を適用したトランジスタで0.17A、Cat-CVD法を適用したトランジスタで0.25Aと、Cat-CVD法を適用することで電流値の増加が見られた。また、パルスI-V特性を比較するために、パルスI-Vの電流値とDC I-Vの電流値との比を比較すると、p-

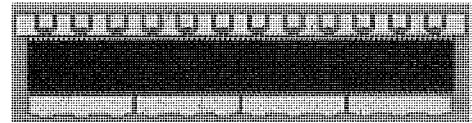
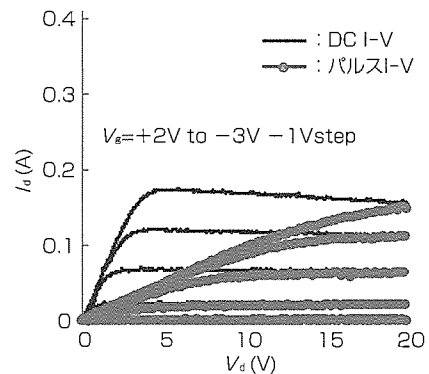
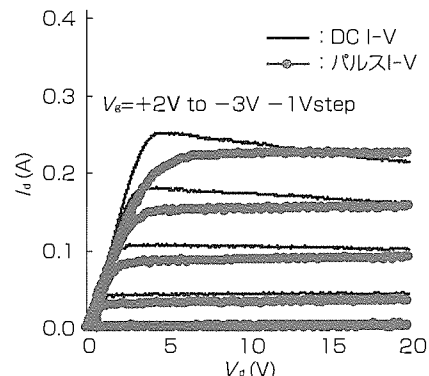


図2. GaN-HEMTのチップ外観写真



(a) p-CVD法を適用したトランジスタのI-V特性



(b) Cat-CVD法を適用したトランジスタのI-V特性

\*パルスI-V測定条件  
Pulse on/off=1μs/1ms  
V<sub>ds</sub>=25V, V<sub>gs</sub>=-3V

図3. GaN-HEMTのDC及びパルスI-V特性

CVDで28%, Cat-CVDで83%(@ $V_d = 5\text{ V}$ )であり, 保護膜形成にCat-CVD法を適用することで, パルスI-V特性が大幅に改善された。パルスI-V特性は, 電流コラプスと同様に半導体/保護膜界面トラップの影響を強く受ける。このことから, Cat-CVD法は, 半導体/保護膜界面トラップを減少させ, 電流コラプスを抑制する手段として有効であると言える。

図4に, パルスI-V特性のパルス幅依存性を示す。横軸にパルス幅, 縦軸にパルスI-Vのドレイン電流値とDCの電流値との比で示す。Cat-CVD法を適用したトランジスタでは, p-CVD法を適用した結果と比較して, すべてのパルス幅において先ほどの比が上回っている。また, p-CVDのカーブは変化点を2点以上持っており, p-CVDで形成した保護膜とAlGaInとの界面には, 2種類以上のトラップが存在していることを示唆している。一方, Cat-CVD法を適用したトランジスタでは, 1ms以上でのみ変化している。このことは, Cat-CVD法で保護膜形成した場合, 数十 $\mu\text{s}$ の応答を示す界面トラップが大幅に低減できていることが分かる。したがって, Cat-CVD法は, GaN-HEMTにおいて界面トラップ低減に有効であると言える。

### 3.2 2端子耐圧特性

図5に, Cat-CVD法を保護膜形成に適用したトランジスタのゲートドレイン間2端子耐圧特性を示す。ゲート逆方向電流値 $1\text{ mA/mm}$ の電流値を耐圧値と規定した場合, 2端子耐圧値は $160\text{ V}$ であった。このようにCat-CVD法を適用することで, 高電圧動作可能な高耐圧トランジスタの作製に成功した。

## 4. RF 特性

図6に, Cat-CVD法を保護膜形成に適用したGaN-HEMT 1チップのC帯,  $40\text{ V}$ 動作での入出力特性を示す。

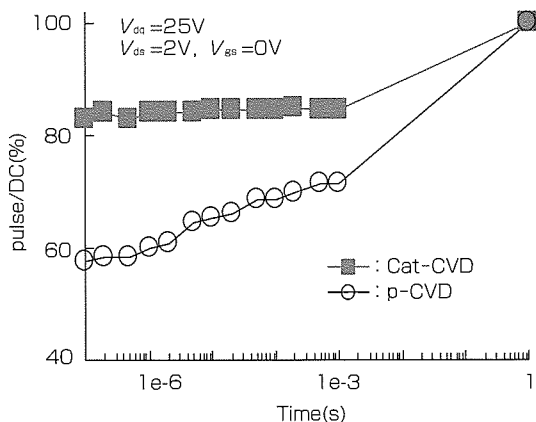


図4. AlGaIn/GaN HEMTのパルスI-V/DC I-V電流比のパルス幅依存性

得られた出力は $140\text{ W}$ 以上であり, PAE (Power-Added Efficiency)は25%, 線形利得は $10\text{ dB}$ 得られた。パルス動作の動作条件は, パルス幅 $20\mu\text{s}$ , デューティは2.5%である。低熱抵抗であるSiC基板の採用により, 総ゲート幅 $50.4\text{ mm}$ であるにもかかわらず, 電力密度は $2.79\text{ W/mm}$ と非常に高い電力密度の素子を作製することに成功した。1チップのみでの飽和出力 $140\text{ W}$ 以上という結果は, C帯における世界トップクラスの性能である。

## 5. むすび

GaN-HEMTにおいて保護膜形成にCat-CVD法を適用することで, 電流コラプスの抑制及び高耐圧を持つトランジスタの作製に成功した。また, 総ゲート幅 $50.4\text{ mm}$ のチップ作製にも成功し, C帯で $140\text{ W}$ 以上の飽和出力が1チップで得られた。この結果は, C帯において世界トップクラスの性能である。

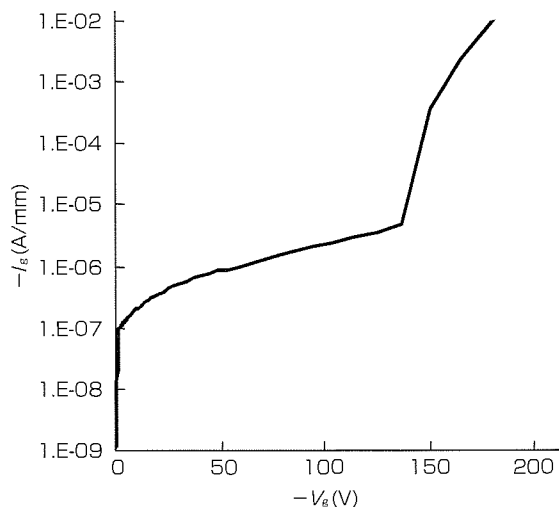


図5. 表面保護膜にCat-CVD法を適用したAlGaIn/GaN HEMTの2端子耐圧特性

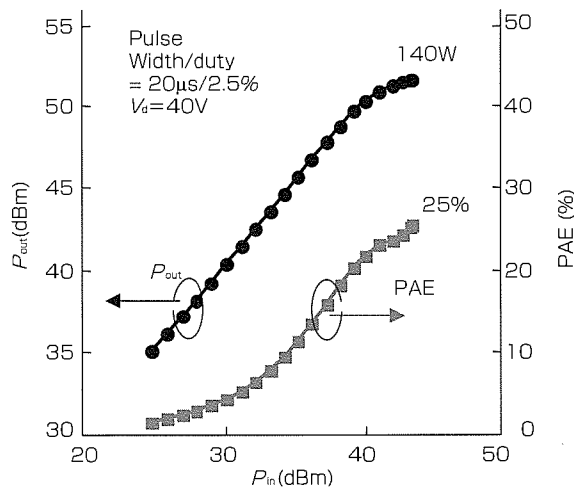


図6. 表面保護膜にCat-CVD法を適用したAlGaIn/GaN HEMT 1チップの入出力特性

参考文献

- (1) Vetury, R., et al. : The Impact of Surface States on the DC and RF Characteristics of AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HFETs, IEEE Trans. Electron Devices, **48**, No.3, 560~566 (2001)
- (2) Hashizume, T., et al. : Chemistry and electrical properties of surfaces of Ga<sub>N</sub> and Ga<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub> heterostructures, J. Vac. Sci. Technol. B, **19**, No.4, 1675~1681 (2001-7/8)
- (3) Ando, Y., et al. : A110-W AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> Heterojunction FET on Thinned Sapphire Substrate, 2001 IEDM Tech. Dig., 381~384 (2001-12)
- (4) Okamoto, Y., et al. : A 149W Recessed-Gate AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> FP-FET, 2004 IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., 1351~1354 (2004-6)
- (5) Kikkawa, T., et al. : An Over 200-W Output Power Ga<sub>N</sub> HEMT Push-Pull Amplifier with High Reliability, 2004 IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., 1347~1350 (2004-6)
- (6) Kunii, T., et al. : A High Reliability Ga<sub>N</sub> HEMT with Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Passivation by CAT-CVD, 2004 IEEE CSIC Symp. Dig., 197~200 (2004-11)
- (7) Nanjo, T., et al. : Improvement of DC and RF Characteristics of AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> High Electron Mobility Transistors by Thermally Annealed Ni/Pt/Au Schottky Gate, Jpn. J. Appl. Phys., **43**, No.4B, 1925~1929 (2004)



# Pre-WiMAX用S帯増幅器モジュール

小室勝哉\* 橘高義典\*\*  
 奥田敏雄\* 松下良\*\*\*  
 宇土元純一\*

*S Band Power Amplifier Module for Pre-WiMAX Application*

*Katsuya Komuro, Toshio Okuda, Junichi Udomoto, Yoshinori Kittaka, Ryo Matsushita*

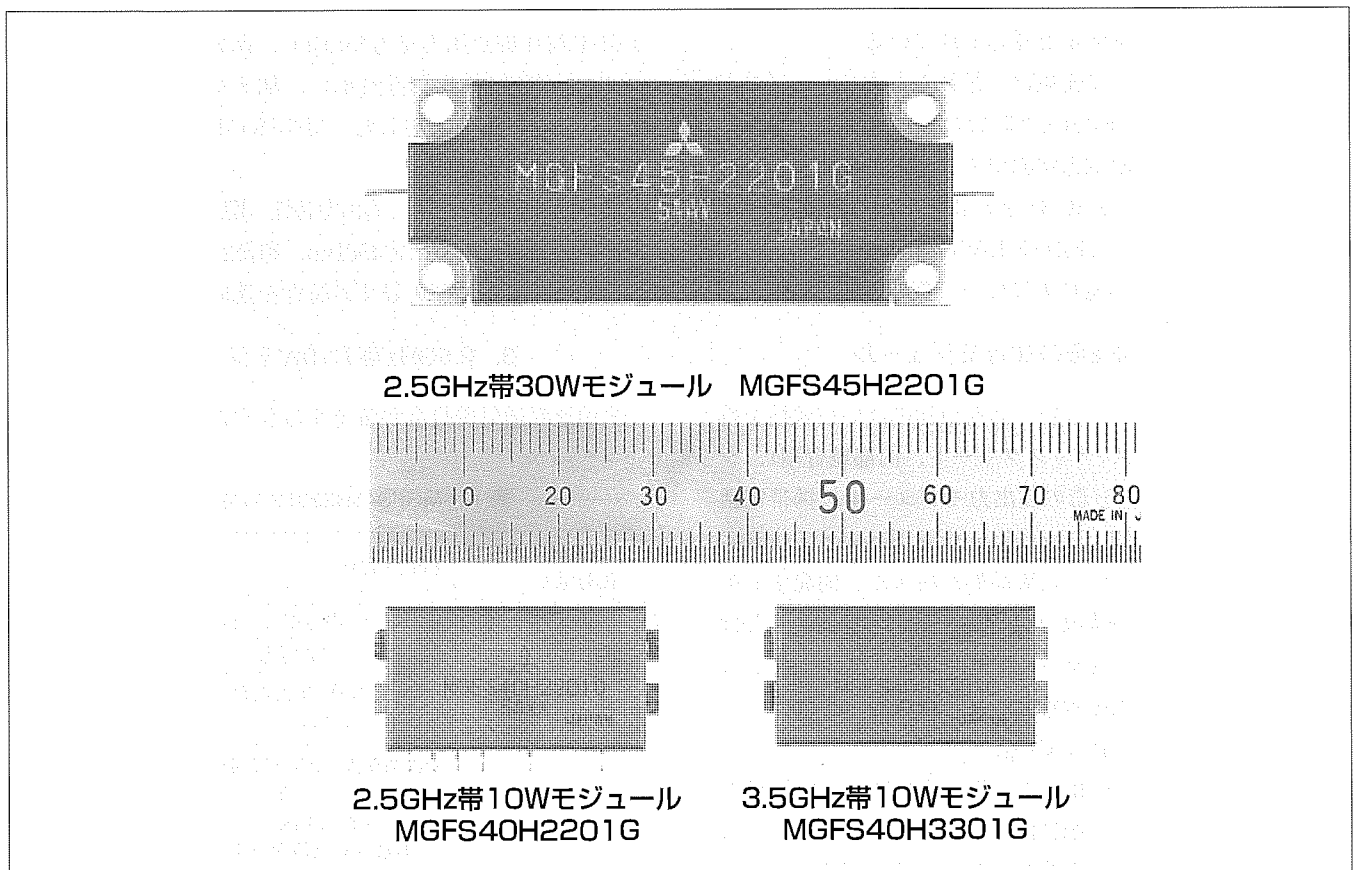
## 要旨

近年、広帯域無線インターネット接続サービスが普及し始め、今後、市場規模の拡大が期待されている。その一方で、ユーザーの自宅などに設置する顧客宅内装置の低価格化が要求されている。三菱電機は、このような要求にこたえるため、顧客宅内装置の送信段用として無線周波数S帯(2.5~2.7GHz)で1dB利得圧縮点出力電力が30Wの低価格な2段アンプモジュール“MGFS45H2201G”を開発した。送信段用デバイスには、低ひずみ化が求められ、当社製HFET(Heterostructure Field Effect Transistor)を採用した。モジュール内部に整合回路を搭載することで、入出力インピーダンスを50Ωに設計し、顧客宅内装置の整合回路設計の負荷を削減した。樹脂基板を使用したモジュール構

造の採用により、従来のディスクリートと内部整合型デバイスの2段で構成する場合に比べ、部品点数を削減することができた。

また、ラインアップ拡充のため、30Wモジュールの技術を生かして1dB利得圧縮点出力電力が10Wの2段アンプモジュール“MGFS40H2201G”を開発した。整合回路の多くを集中定数型に変更することにより60%の小型化と低コスト化を実現した。

さらに、欧州対応品として3.5GHz帯10Wモジュール“MGFS40H3301G”を開発した。前述の10Wモジュールと同一構造を採用し、3段構成に多段化した同一サイズに収めた。



## 開発したPre-WiMAX用S帯増幅器モジュール

開発した3種類のPre-WiMAX用増幅器モジュールである。2.5GHz帯30WモジュールMGFS45H2201Gは、外形寸法57.1mm×23.8mm×6.4mm。2.5GHz帯10WモジュールMGFS45H2201Gと3.5GHz帯10WモジュールMGFS40H3301Gは表面実装型デバイスで、同一外形で外形寸法30mm×17.7mm×4.3mmと小型化している。

## 1. ま え が き

現在、ブロードバンド通信はADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)やFTTH(Fiber To The Home)といった有線系が主流であるが、近い将来、利便性の点や有線のサービスが展開されていない地域で無線方式が台頭してくると予測される。その無線ブロードバンド方式の一つに、WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access)と呼ばれるシステムが計画されている。WiMAXは、OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)変調方式を採用することにより、最大75Mbpsの通信速度が可能で、また、1つの基地局で数km~50kmの範囲をカバーできるため、安価なサービスが提供されると期待されている。WiMAXの規格には2種類あり、固定方式(IEEE802.16-2004)と、従来のWLAN(Wireless Local Area Network)等では対応していなかった移動方式(IEEE802.16e)があり、パソコンの脇に設置する顧客宅内装置(Customer Premise Equipment: CPE)やノートパソコンへの内蔵、さらには、携帯電話との融合が図られると予想される。規格策定に当たっては、WiMAXフォーラムと呼ばれる世界300社以上が参画している会合で、Intel社が主導になって進められている。市場規模としては、2008年に約2千万台にも増加すると見込まれている。

当社では、WiMAXに先駆け、類似の方式でサービスが展開中であるPre-WiMAXと呼ばれる無線ブロードバンド通信のCPE用送信段電力増幅用モジュールを開発した。ラインアップとしては2.5GHz帯の30W品、10W品、さらに、欧州対応品として3.5GHz帯10Wの3種類がある。

本稿ではこれらの開発結果について概要を述べる。

## 2. 2.5GHz帯の30Wモジュール

当社には、これまで、宇宙・防衛用途の高い信頼性を持つGaAs FETデバイス(ディスクリート、内部整合型)、シリコンデバイスのV・U帯の高出力モジュール、携帯電話用の1WクラスのHBT(Heterojunction Bipolar Transistor)小型モジュールといった製品群があった。開発するモジュールは、これらの特徴を活用し、従来の製品系列とは異なるGaAs FET高出力モジュールである。また、モジュールが使用される環境を考慮して、パルス動作を前提とした一般民生用の品質を持っている。

OFDM変調方式に使用されるデバイスには高い線形性が要求される。当社では既に同一用途の基地局用デバイスとして内部整合型製品を供給しており、その経験から、開発するモジュールに必要な1dB利得圧縮点出力電力は、目標の線形動作出力電力34.5dBmに対して約10dBのバックオフを見込んだ45dBm(30W)と見積もられた。モジュールは2段構成とし、最終段には当社の高性能HFETを採

用し、リセス構造・ゲート長・単位ゲート幅などのデバイス構造を最適化した。

パッケージ構造は、当社製品群シリコンデバイスのモジュール構造と類似の構造を採用し、非気密構造となっている。モジュール内部に特性インピーダンス50Ωへの入出力整合回路を搭載し、CPE側の整合回路設計の負荷を削減している。モジュールの使用帯域が2.5GHz帯と従来のシリコンデバイスモジュール群の帯域に比べて高いので、搭載されるチップ部品のばらつきによる特性の変動が懸念され、これを抑制するため、整合回路を分布定数型で構成した。回路基板には、低インピーダンスラインの占める面積を少なくするため、誘電体厚が0.2mmと従来より約60%薄い樹脂基板( $\epsilon_r=3.5$ )を採用し、回路設計には電磁界シミュレーションを使い、近接回路の影響を考慮することで、回路基板の小型化を図った。30Wの出力電力を確保するには相応のゲート幅を持つFETが必要であるが、ゲート幅が大きくなるとFETの入力インピーダンスが低くなるので、FET近傍でインピーダンスを変換するLC回路を配したチップキャリア構造を採用した。これらの結果、従来のディスクリートと内部整合型デバイスの2段で構成する場合に比べ、部品点数を削減できた。

開発したモジュールMGFS45H2201Gは、高出力(標準1dB利得圧縮点出力電力45dBm)、出力電力34.5dBmにおいて、高利得(線形利得21dB)、他チャンネルに影響を与えない低ひずみを実現した。MGFS45H2201G主要特性を表1に示す。

図1に外形図、図2に入出力特性、図3にひずみ特性を示す。1dB利得圧縮点出力45dBm、利得23dBが得られ、図3に示すとおり、所望のひずみ特性を達成することができた。

## 3. 2.5GHz帯の10Wモジュール

米国連邦通信委員会が策定するひずみ規格が変更された

表1. MGFS45H2201Gの主要特性

1dB利得圧縮点出力電力	45dBm標準
利得	21dB以上(出力電力 34.5dBm設定時)
消費電力	100W以下(出力電力 34.5dBm設定時)
3次相互変調ひずみ	-50dBc標準(出力電力 34.5dBm設定時, 2波入力による)
動作条件	周波数範囲 2.5~2.7GHz ドレイン電圧 10V アイドル設定電流 初段2.5A(初段ゲートバイアスで設定) 終段7.0A(終段ゲートバイアスで設定) パルス動作 周期 5ミリ秒以下 デューティ比 20%以下 入出力インピーダンス 50Ω
外形寸法	(横)57.1mm×(縦)23.8mm×(高さ)6.4mm

ため、1 dB利得圧縮点出力電力が低いデバイスでもCPEとして使用することが可能となった。30WモジュールMGFS45H2201G開発の経験から、必要な1 dB利得圧縮点出力電力は、目標の線形動作出力電力34.5dBmに対して約5 dBのバックオフがとれる40dBm (10W)と見積もられた。また、整合回路の多くを集中定数型に変更することにより、前述の30Wモジュールと比べて、60%の小型化を実現した。パッケージ構造は、30Wモジュールを基本としたが、リフロー実装が可能となるように、整合回路基板の下に薄い金属製の放熱板をはんだ付けし、端子にはクリップリードを採用して、放熱板の裏面とクリップリードが同一平面になる表面実装構造とした。モジュールは2段構成とし、搭載されるFETは高電圧動作が可能で製造安定性の高いHFETを30Wモジュールと同じく採用した。30Wモジュール

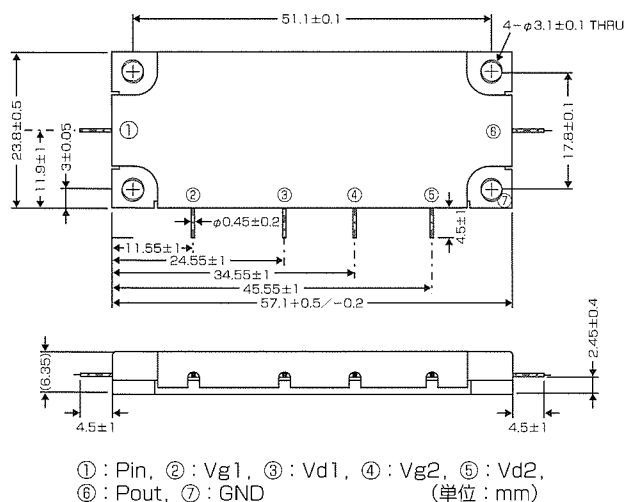


図1. MGFS45H2201Gの外形図

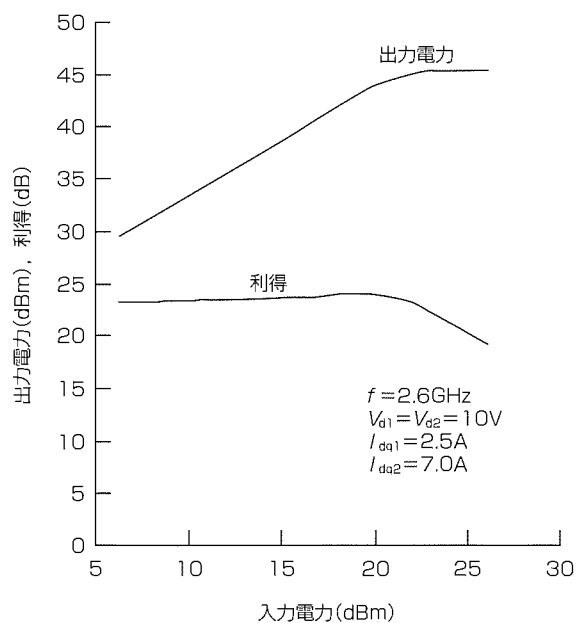


図2. MGFS45H2201Gの入出力特性

ルと同様、最終段はFET近傍でインピーダンスを変換するLC回路を配したチップキャリア構造とした。図4に外形図、図5に入出力特性、図6に周波数特性、図7にひずみ特性

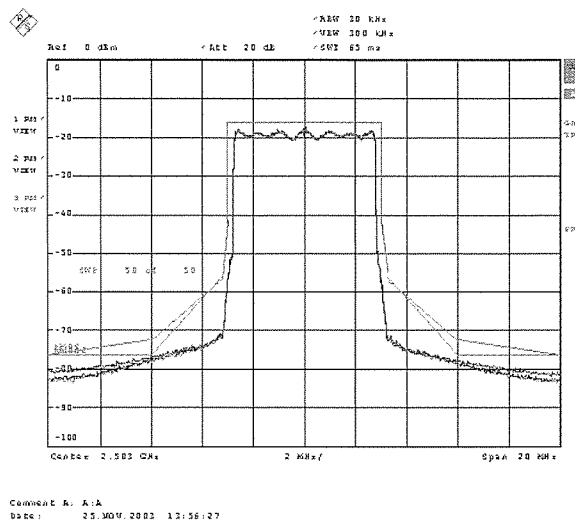


図3. MGFS45H2201Gのひずみ特性

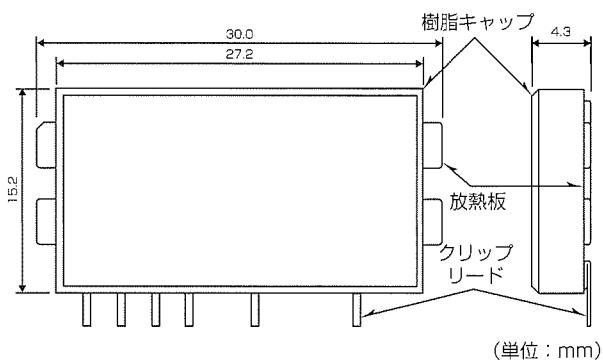


図4. MGFS40H2201Gの外形図

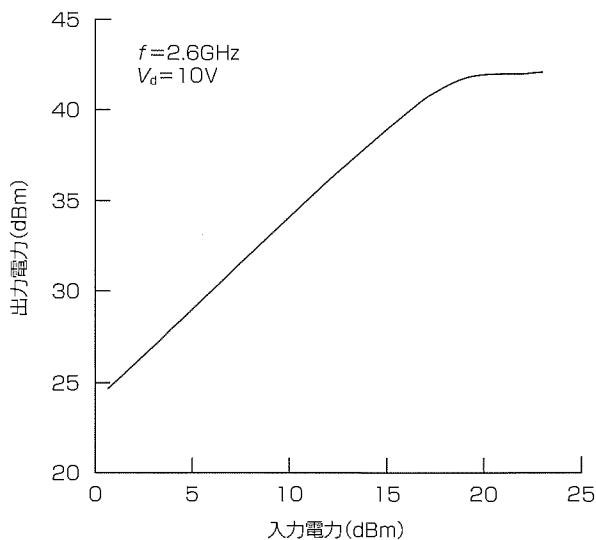


図5. MGFS40H2201Gの入出力特性

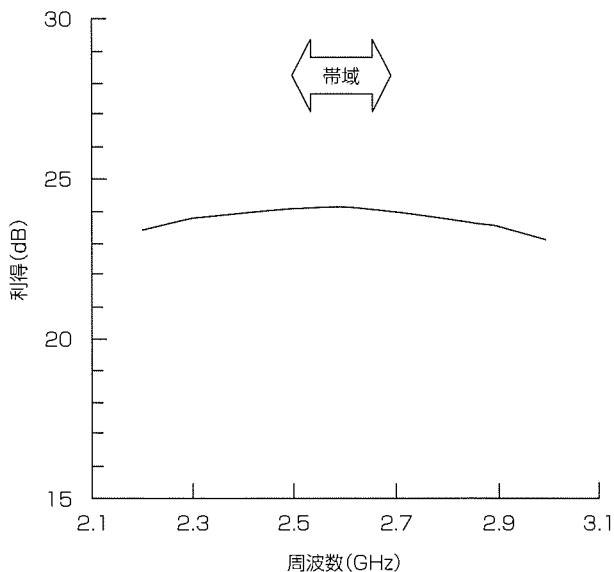


図 6. MGFS40H2201G の周波数特性

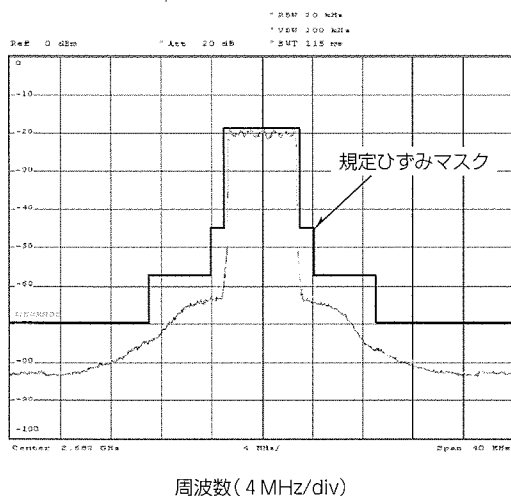


図 7. MGFS40H2201G のひずみ特性

み特性を示す。

1 dB利得圧縮点出力電力は42dBm, 利得は24dBで, 図7に示すとおり, 所望のひずみ特性を達成することができた。

#### 4. 3.5GHz帯の10Wモジュール

2.5GHz帯10WモジュールMGFS40H2201Gに続き, 欧州対応品として3.5GHz帯10WモジュールMGFS40H3301Gを開発した。3.5GHz帯において目標利得を得るため3段構成に多段化した, 前述の2.5GHz帯10Wモジュールと同一構造, 同一サイズのパッケージを用いることができるように集中定数回路を中心にレイアウト設計し小型化を図った。搭載されるFETも同一構造のHFETを採用した。モ

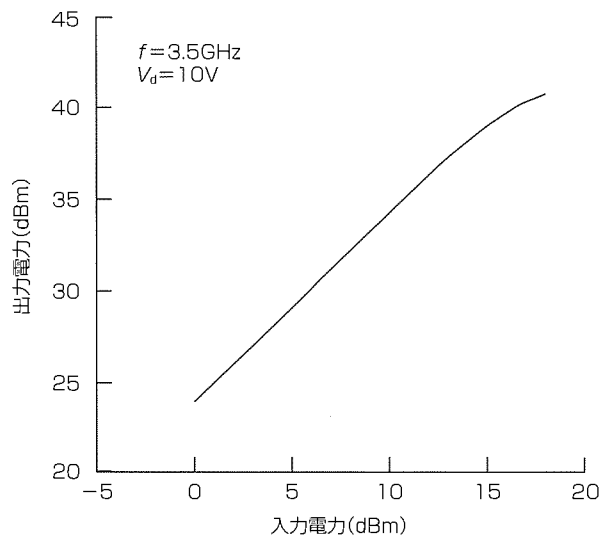


図 8. MGFS40H3301G の入出力特性

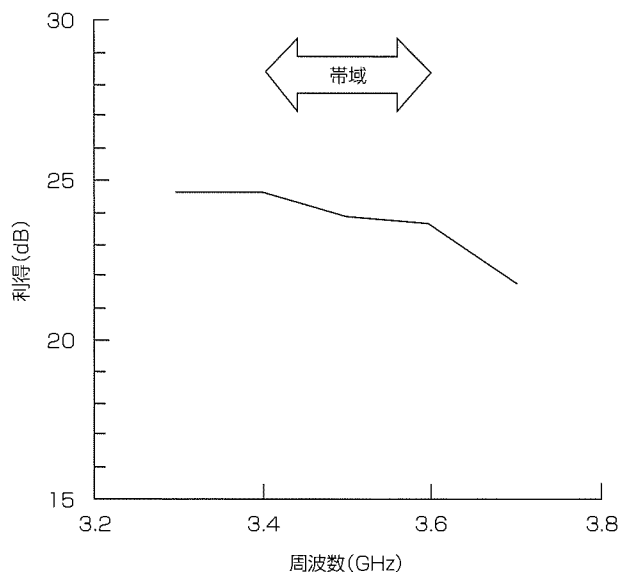


図 9. MGFS40H3301G の周波数特性

ジュールに使用される部材の一部を2.5GHz帯10Wモジュールと共通化することにより, 開発の効率化を図っている。図8に入出力特性, 図9に周波数特性を示す。

3.5GHzにおいて1 dB利得圧縮点出力40.5dBm, 利得23.8dBが得られた。ひずみ特性についても, 所望のひずみ特性を達成することができた。

#### 5. む す び

Pre-WiMAX用電力増幅器として, 3種類のモジュールを開発した。今後, このOFDM変調対応線形増幅器の設計技術をWiMAX用増幅器に活用し, 新たな製品の開発を進めていく予定である。



# 海外向けW-CDMA方式携帯電話用 電力増幅器の小型化

星 裕之\* 辻 将典\*  
浅田智之\*  
里田義仁\*

Size Reduced W-CDMA Mobile Phone Power Amplifier for Overseas

Hiroyuki Hoshi, Tomoyuki Asada, Yoshihito Satoda, Masanori Tsuji

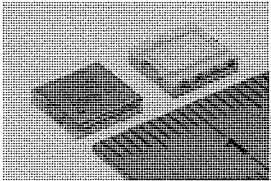
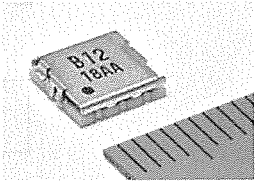
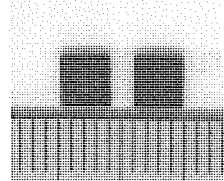
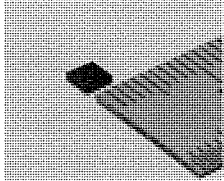
## 要 旨

第三世代の通信方式として知られているW-CDMA (Wideband-Code Division Multiple Access)方式を採用した携帯電話は、高速なデータ通信が可能であるため、その特長を生かした高速動画伝送、高品質音声サービスを行うためのデータ処理速度の向上や、世界中どこでも使えるグローバルサービスなどの多くの機能追加が、回路規模の増大や消費電力の増加を招いている。特にグローバルサービスのためには、W-CDMA方式に加えて、現在海外で主流となっているGSM(Global System for Mobile communications)方式に対応することが要求されるため、それぞれの通信方式に対応する回路を搭載する必要がある。しかしながら、電話機のサイズ、質量や通話時間などは従

来品と同程度にする必要があり、したがって、個々の使用部品については、従来よりも更なる小型化、低消費電力化が求められている。

三菱電機では、これらの要求にこたえるため、W-CDMA方式の携帯端末の送信用電力増幅器としてInGaP/GaAs HBT(Hetero Bipolar Transistor)を採用した、出力電力562mW、電力付加効率46%、サイズ3mm×3mm×1.2mm(0.01cc)の送信用1.9GHz帯小型電力増幅器を開発した。

本稿では、小型化の手法及び送信用電力増幅器の概要について述べる。

	2000年	2002年	2004年	2005年
サイズ(mm)	7×7×1.7(0.08cc)	⇒ 6×6×1.65(0.06cc)	⇒ 4×4×1.4(0.02cc)	⇒ 3×3×1.2(0.01cc)
デバイス	HEMT(2電源)	⇒	HBT(単電源)	
効率(%)	42	⇒ 45	⇒ 47/48	⇒ 46
アイドル電流(mA)	75	⇒ 50	⇒ 35	⇒ 35
製品外形	 FA01391	 BA01212	 BA01232 シリーズ	 BA01243 シリーズ

HEMT : High Electron Mobility Transistor

## 当社で開発したW-CDMA方式携帯電話用送信用電力増幅器の推移

当社で開発したW-CDMA方式携帯電話用送信用電力増幅器とその特長を記載した。今回開発した“BA01243シリーズ”は、効率及びアイドル電流を大きく損なうことなく、現行製品と比較して実装面積の約44%の削減に成功した。

1. ま え が き

第三代携帯電話の通信方式として知られている W-CDMA は、日本と欧州から別々の方式に基づいて提案されていた規格を 3GPP (3rd Generation Partnership Project) によって統一されたもので、現在では、IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000) の一方式としてサービスされている。この W-CDMA 方式を採用した携帯電話は、高速なデータ通信が可能であるため、その特長を生かした高速動画伝送、高品質音声サービスを行うためのデータ処理速度の向上や、世界中どこでも使えるグローバルサービスなどの多くの機能追加が、回路規模の増大や消費電力の増加を招いている。特にグローバルサービス対応の携帯電話は、W-CDMA 方式に加えて、現在海外で主流となっている GSM 方式に対応することが要求されるため、それぞれの通信方式に対応する回路を搭載することで、回路規模増大や消費電力増加にさらに大きな影響を与えている。

一方、電話機のサイズ、質量や通話時間などは、従来品と同程度であることが要求されており、現在、市場では、容量 120cc、重さ 120g 前後、通話時間 140 分、待ち受け時間 400 時間程度の電話機が主流である。

電話機の小型・軽量化のためには、その構成部品の中で質量配分の大きいバッテリーの小型化が必要である。通話時間を短くすることなくバッテリーの小型化を達成するためには、電話機の中で最も消費電力の大きい送信用電力増幅器の高効率(低消費電力)動作が必要不可欠である。

当社では、これらの要求にこたえるため、W-CDMA 方式の携帯電話の送信用電力増幅器として InGaP/GaAs HBT を採用した、出力電力 562mW (27.5dBm)、電力付加効率 46%、サイズ 3mm × 3mm × 1.2mm (0.01cc) の送信用 1.9GHz 帯小型電力増幅器を開発した。

本稿では、小型化の手法及び送信用電力増幅器の概要について述べる。

2. 送信用電力増幅器の機能

送信用電力増幅器は、図 1 に示すデュアルモード携帯電話の概念図において送信部最終段の増幅器であり、1.9GHz 帯の高周波入力信号 1mW を 562mW に増幅する機能を持っている。

送信用電力増幅器の小型化には、整合回路に使用するチップ部品数の削減や、パッケージ内に形成されている高周波伝送線路などのパターンの縮小が有効である。しかし、このような変更は、整合回路の特性の狭帯域化や、損失の増大による送信用電力増幅器の特性の低下を招く。今回の開発は、送信用増幅器の特性を低下させることなく小型化を達成することを目標に行った。

3. HBT構造

図 2 に、InGaP/GaAs HBT の断面構造を示す。HBT は単一電源で動作するため、負電圧発生回路の搭載が困難な携帯電話の送信用電力増幅器に広く用いられている。HBT の中でも特に InGaP/GaAs HBT は、従来の AlGaAs/GaAs HBT と比べて、高電流密度動作における信頼性が高く、また、温度変化に対する直流電流増幅率の変化が小さいという特長があることから<sup>(1)</sup>、今回開発した送信用電力増幅器に採用した。

4. 送信用電力増幅器の設計

図 3 に、開発した送信用電力増幅器の概略図を示す。送信用電力増幅器は 2 段増幅器で、前段 HBT の入力整合 (ZG) 及び後段 HBT の出力整合 (ZL) はそれぞれ 50Ω にマッチングされている。以下に設計のポイントを簡単に述べる。

4.1 HBTサイズ

線形かつ高電力効率を持つ多段構成の増幅器を実現するためには、各段の HBT サイズ及びその整合条件の最適化が重要である。今回開発した送信用電力増幅器は、前段

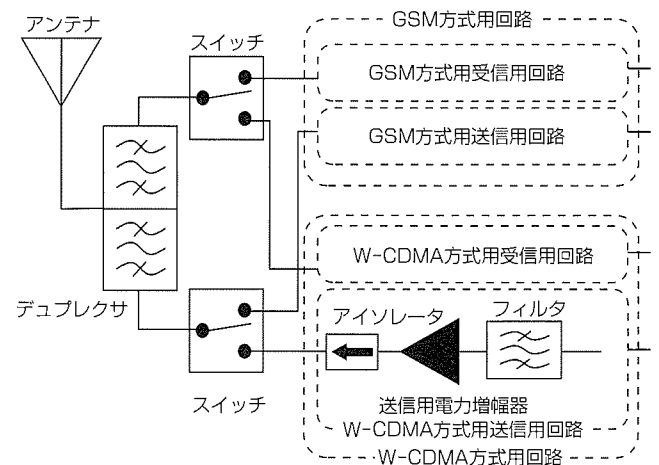


図 1. デュアルモード携帯電話の概念図

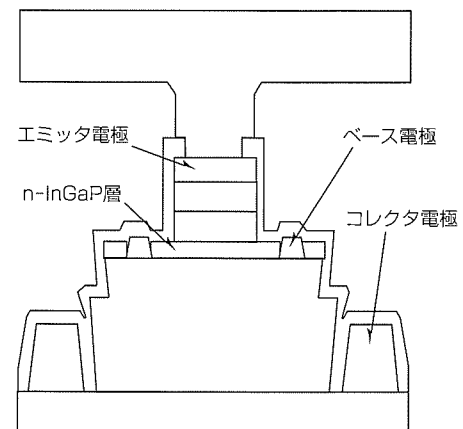


図 2. InGaP/GaAs HBT の断面構造図

で線形性を確保し、後段で高効率を実現する2段増幅器で、①素子サイズ比を前段1に対して後段を約4、②無信号時の動作電流(アイドル電流)比を前段1に対して後段3とすることで、後段がよりB級動作に近くなるように設定した。

#### 4.2 安定化と受信帯域雑音

HBTを採用した増幅器の安定化には、バラスト抵抗を挿入する方法がよく知られている。このバラスト抵抗は、挿入する箇所により増幅器に及ぼす影響が異なり、例えば、ベース部に挿入すると、増幅器の雑音は大きくなるが、エミッタ部に挿入した場合より安定に動作するという特徴がある。W-CDMA方式では、送受信が同時に行われるため、受信感度を劣化させる要因となる送信用電力増幅器から出力される受信帯域の雑音を抑制することが必要となる。今回開発した送信用電力増幅器には、後段は安定化動作を重視してベース部にバラスト抵抗を挿入した構造を採用したが、前段は受信帯域雑音への影響を小さくするために、エミッタ部にバラスト抵抗を挿入した構造を採用した。

#### 4.3 小型化

小型化を実現するために、各段のベース電流を制御するためのバイアス回路と、従来、チップ部品で構成されていた前段HBTの入力整合回路の一部と、前段HBTの出力側と後段HBTの入力側の整合回路(段間整合回路)の一部を半導体チップ上に集積した。この集積化によって、整合に使用しているチップコンデンサやチップインダクタなどの部品数を従来品の約50%まで削減した。

### 5. 送信用電力増幅器の構造

開発した送信用電力増幅器の断面構造図を図4に示す。整合回路基板は3層構造の樹脂基板である。整合回路は、表層に形成された金めっきを施した銅箔(はく)の高周波伝送線路(マイクロストリップ線路)と、鉛(Pb)フリーはんだで実装されている0.6mm×0.3mm×0.3mmサイズ(0603型)のチップコンデンサ及びチップインダクタで構成した。半導体チップは、導電性樹脂でダイボンドした後、DCバイアス回路、高周波入出力パッドに金線でワイヤボンディ

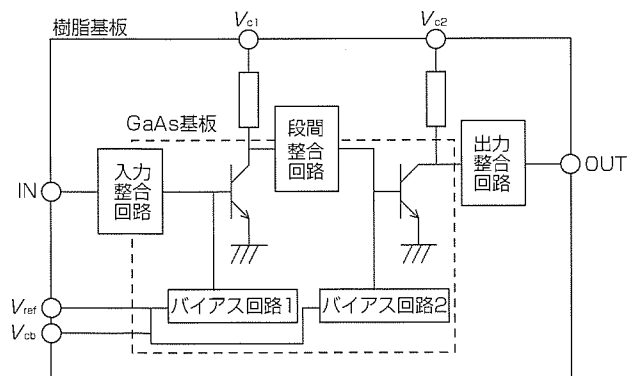


図3. 送信用電力増幅器の概略図

ング配線されている。また、半導体チップ下部には、放熱性を高めるためにサーマルビアを形成し、動作時に発生する後段の熱をセット基板に放散している。基板は、モジュールの低背化のために樹脂によって封止されており、モジュール実装面積の削減に貢献するため、裏面にのみパッケージ電極を配置するLGA(Land Grid Array)構造を採用した。モジュールの外形サイズは、3mm×3mm×1.2mmにまで小型化し、従来品<sup>(2)</sup>(4mm×4mm×1.4mm)と比較して、実装面積を約44%削減した。

### 6. 送信用電力増幅器の基本特性

海外向け1.9GHz帯W-CDMA方式の携帯電話用に開発した3mm×3mm×1.2mmの送信用電力増幅器BA01243シリーズをコレクタ電圧( $V_{c1}$ ,  $V_{c2}$ )=3.4V, 外部基準電圧( $V_{ref}$ )=2.85V, バイアス回路コレクタ電圧( $V_{cb}$ )=2.85VにおいてW-CDMA用の信号で測定した代表的な入出力特性をそれぞれ図5と図6に示す。全周波数( $f$ : Frequency)=1.92GHz~1.98GHz, 出力電力( $P_o$ : Output Power)=27.5dBmにおいて、電力利得( $G_p$ : Power Gain)=26.5dB, 電力付加効率(PAE: Power Added Efficiency)=46%, 隣接チャネル漏洩(ろうえい)電力比(ACLR±5MHz)<

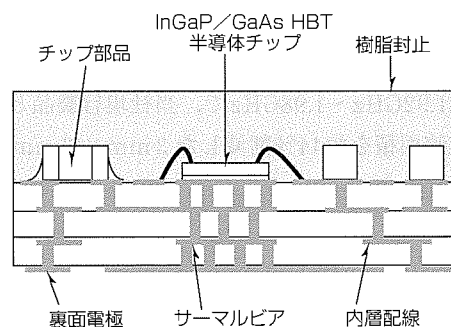


図4. 送信用電力増幅器の断面構造図

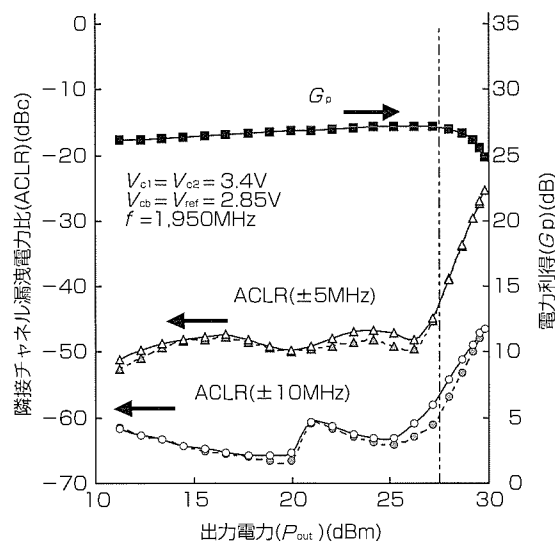


図5. BA01243シリーズの入出力特性(1)

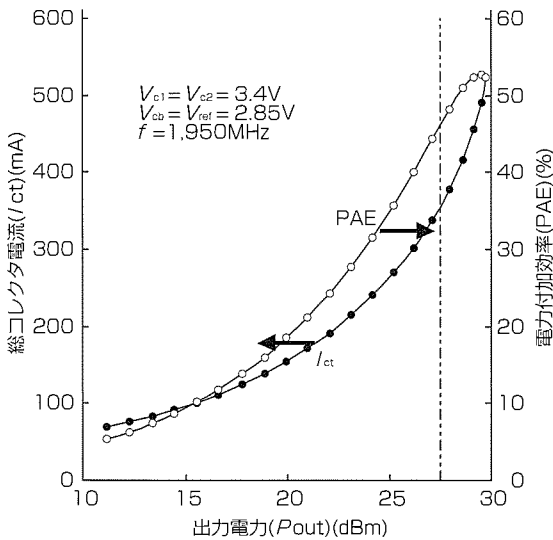


図6. BA01243シリーズの入出力特性(2)

-41dBcを得た。この測定結果は、当社の現行製品である4mm×4mm×1.4mmの海外向けW-CDMA方式用送信電力増幅器“BA01232E”の性能と同等であった。両送信電力増幅器の基本特性を表1に示す。

7. むすび

InGaP/GaAs HBTを用いてW-CDMA方式の携帯電話用の送信用小型電力増幅器を開発した。試作した結果、周波数帯域1.92GHz~1.98GHzで、当社現行製品と同等の性能を、実装面積を約44%削減した3mm×3mm×1.2mm

表1. 送信電力増幅器の基本特性

記号	項目	測定条件	BA01232E	BA01243 シリーズ	単位	
$f$	動作周波数	$P_o = 27.5\text{dBm}$ $Z_G = Z_L = 50\Omega$	1.92~1.98		GHz	
$V_{c1}, V_{c2}$	コレクタ電圧		3.5	3.4	V	
$V_{ref}$	外部基準電圧		2.90	2.85	V	
$V_{cb}$	バイアス回路コレクタ電圧		2.90	2.85	V	
$I_{ct}$	総コレクタ電流		342	355	mA	
$G_p$	電力利得		26.5	26.5	dB	
PAE	電力付加効率		47	46	%	
ACLR (±5MHz)	隣接チャネル		±5MHz	-41	-41	dBc
ACLR (±10MHz)	漏洩電力比			±10MHz	-52	-52
$2f_o$	2次高調波		-40		-40	dBc
$3f_o$	3次高調波	-45	-41	dBc		

(0.01cc)のサイズで実現した。今後は、この技術を基に、W-CDMA方式の携帯電話の更なる小型・高性能化に貢献する。

参考文献

- (1) Shimura, T., et al.: A GSM/EDGE Dual-Mode, Triple-Band InGaP HBT MMIC Power Amplifier Module, IEICE TRANS. ELECTRON., E88-C, No.7, 1495~1501 (2005)
- (2) 関 博昭, ほか: W-CDMA方式携帯電話用HBT電力増幅器モジュール, 三菱電機技報, 78, No.3, 218~221 (2004)

# 高利得モールドHEMT

相原育貴\*  
北野俊明\*  
宮脇勝巳\*

## High Gain Plastic Mold Package HEMT

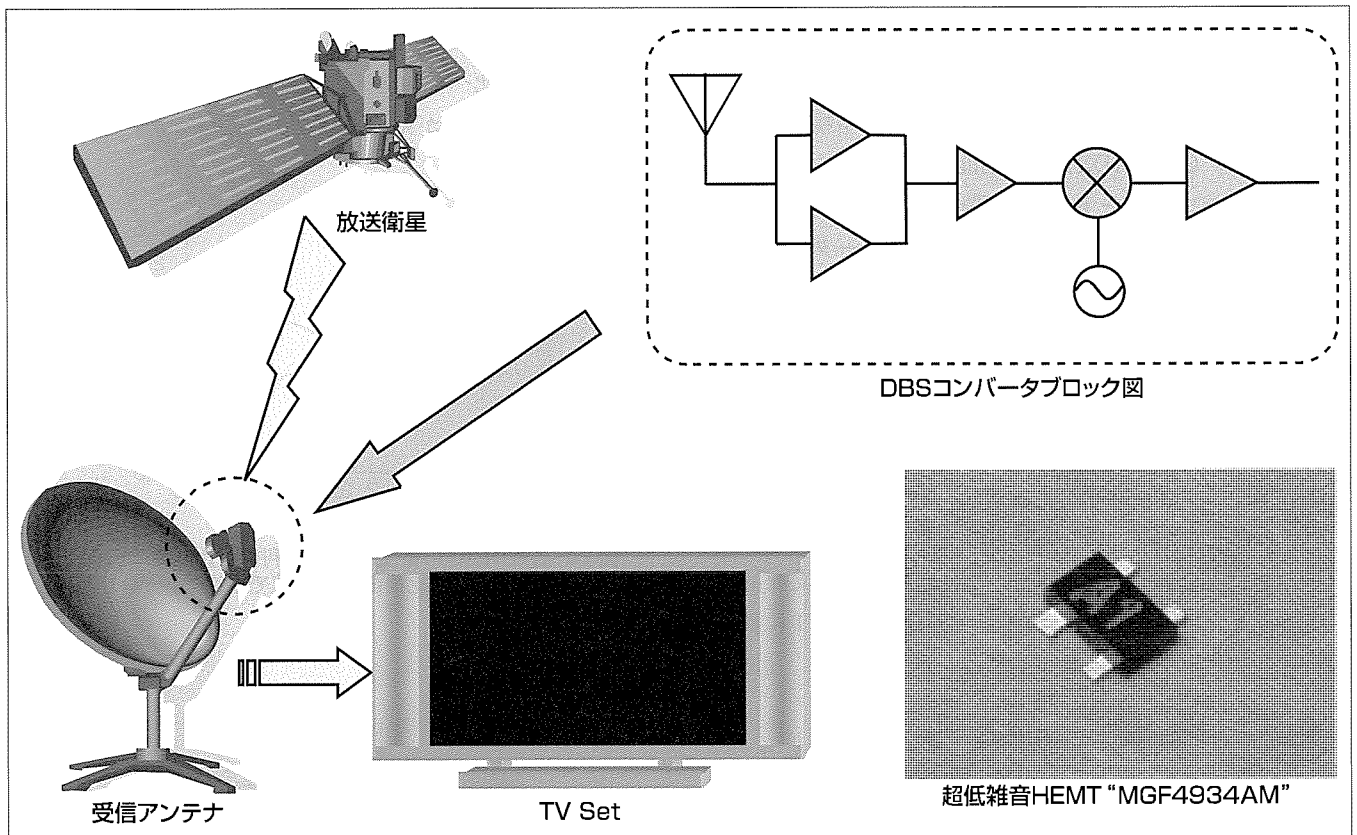
Yasuki Aihara, Toshiaki Kitano, Katsumi Miyawaki

### 要 旨

直接衛星放送(Direct Broadcasting Satellite : DBS)サービスは、デジタル化による多チャンネル化や高画質化が進んでおり、また、従来のKu帯に加えて北米では2005年末からKa帯でのサービスが大規模に展開されるなど、より一層多機能化が進んでいる。このようなサービスの拡大に伴い、多入力/多出力のコンバータが必要とされるようになり、コンバータ当たりの超低雑音HEMT(High Electron Mobility Transistor)の員数が増加する傾向にある。このため、全体に占めるHEMTのコスト割合が増加しており、より一層のコスト低減が求められている。

一方で、性能に対する要求も高いが、生産性向上のためにフルモールドパッケージを採用すると、寄生容量の増大

により高周波特性が低下し、DBS用の低雑音HEMTに求められる雑音指数及び付随利得を満たすことが困難であるという問題があった。このため、新たに開発した低誘電率保護膜形成プロセスを採用することにより寄生容量の低減を図り、従来製品の“MGF4931AM”と同じ4ピンのフルモールドパッケージを採用しつつ約1.0dB(12GHz)の付随利得を向上した新製品“MGF4934AM”を開発した。低誘電率保護膜はウェーハプロセスで形成しているため、低誘電率以外に耐薬品性・加工性・耐熱性などの性能が要求されるが、これらを満たす材料の選定と三菱電機のデバイスに適したプロセス開発により製品化を可能にした。



### 超低雑音HEMTのアプリケーション

超低雑音HEMTは、主にDBSコンバータの低雑音増幅器とミキサ部に使用される。衛星からの電波は主に12GHzが用いられるが、コンバータでは衛星からの信号を1GHz付近のIF(Intermediate Frequency)信号に変換する。衛星からの電波は非常に微弱なため、この電波を受信するためには、極めて低雑音で高利得の増幅用デバイスが必要不可欠である。

### 1. ま え が き

DBSサービスは、当初は人口密度の低い地域や地理的・立地的条件により地上波テレビの受信が困難な難視聴地域の解消が目的とされた。しかし、地上波に比べて大容量の送信が可能である特長を生かしたハイビジョンサービスや、公共性の強い地上波ではできないような専門性の高い番組を提供してチャンネル数を増加するなど、幅広い視聴者の要求に合ったサービスを提供することで利用者数を伸ばしている。

DBSサービスによる番組を視聴するには、専用の受信アンテナとチューナーが必要となる。その中で、受信部に使用される超低雑音増幅器はキーデバイスの一つであり、低雑音のHEMTを用いている。低雑音HEMTは、赤道上空36,000km上空にある静止衛星からの微弱な信号を、S/N (Signal to Noise)比の悪化を最小限に抑えながら増幅する役割を果たしている。この性能向上により、パラボラアンテナの小型化などに貢献してきた。さらに、DBSサービスの多機能化に伴いセットに含まれるHEMTの員数が増大する傾向にあるため、コストの低減も要求されている。当社では、このような要求にこたえるために、DBS用低雑音HEMT“MGF4934AM”を開発した。

### 2. DBS用コンバータ

図1にDBS用コンバータブロック図の一例を示す。アンテナから受信した約12GHzの信号は二段の増幅器で増幅され、MIX/OSC (MIXer/OSCillator)段で約1GHzの周波数にダウンコンバートしてIF段へ送られる。放送衛星からの信号は極めて微弱であるため、コンバータには低雑音が要求される。なかでも増幅段に用いられる超低雑音HEMTは重要な役割を果たす。多段増幅器全体の雑音指数 $F_T$ は、第 $n$ 段目の雑音指数を $F_n$ 、電力利得を $G_n$ とすると式(1)で与えられる。

$$F_T = F_1 + (F_2 - 1)/G_1 + \dots + (F_n - 1)/G_1 G_2 \dots G_{(n-1)} \dots (1)$$

図の例では二段増幅器のため式(1)の右辺は第二項までを考慮すればよいが、初段の利得 $G_1$ が十分に大きければ回路全体の雑音指数 $F_T$ は初段の雑音指数 $F_1$ によって支配的に決まることが分かる。したがって、初段のHEMTには超低雑音と高利得が、後段には高利得が求められる。今回開

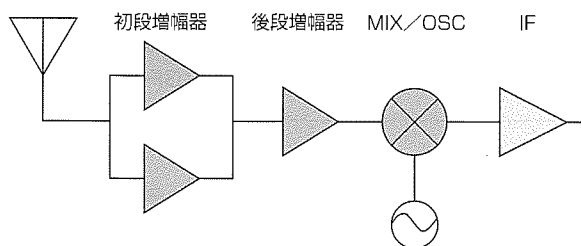


図1. DBSコンバータブロック図の一例

発したMGF4934AMは後段用HEMTをターゲットとしており、プラスチックモールドパッケージ採用による生産性向上を図りつつ、新たに開発した低誘電率保護膜プロセスを用いることにより寄生容量を低減し、高利得を実現した製品となっている。

### 3. 低誘電率膜とHEMT構造

プラスチックモールドパッケージを採用する場合、一般的なモールドの母材であるエポキシ樹脂は比誘電率が約4であるため、中空構造( $k=1$ )に比べて大きな寄生容量が付加される。高周波特性の向上のためには低誘電率保護膜導入による寄生容量の低減が必要となる。低誘電率保護膜を導入する手法としては、ウェーハプロセス中に形成する方法とアセンブリ時にポッティング等により形成する方法が考えられるが、生産性の観点からはウェーハプロセスで塗布及び加工することが有利と考えられる。低誘電率保護膜には多くの性能が要求されるが、ウェーハプロセスで形成する場合に特に重要な点が耐薬品性・加工性・耐熱性である。これらの要求項目を考慮し、当社プロセスに適した材料の選定及びプロセスの構築を行い、 $k=2.5$ の低誘電率保護膜プロセスを実現した。

図2に、当社HEMT構造の寄生容量と比誘電率の関係と、その値から見積もったHEMTチップの利得の計算値を示す。従来のモールド構造に比べて約30%の寄生容量低減を実現して、約1dBの利得の向上が見込めることが分かる。

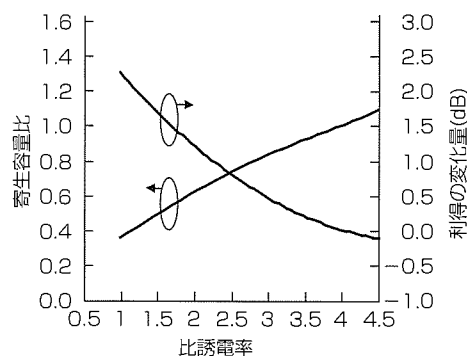


図2. 当社HEMTの寄生容量及び利得と比誘電率の関係 (寄生容量は比誘電率4の値で規格化)



図3. MGF4934AMの断面構造

図3にMGF4934AMの断面SEM(Scanning Electron Microscope)像を示す。HEMT構造は従来と同様のプロセス方式を採用しており、エピウェーハにはAlGaAs系pHEMT(pseudomorphic HEMT)、リセス形成は制御性に優れた独自のウェットエッチングプロセス、ゲート構造はゲート抵抗低減と短ゲート長を両立させたマッシュルーム型構造を採用している。低誘電率保護膜はゲート周囲全体を覆い、寄生容量を低減している。

図4にMGF4934AMのチップ写真を示す。単位ゲート幅が37.5 $\mu\text{m}$ 、トータルゲート幅が150 $\mu\text{m}$ で、チップサイズはレイアウトの最適化により270 $\times$ 310 $\mu\text{m}$ の微小サイズを実現している。

#### 4. パッケージ構造

DBSコンバータ向け後段用HEMTをターゲットとした場合は高い生産性を追及する必要があることから、既に製品化しているMGF4931AMと同じくフルモールドでフラットリードタイプの4PF(4 Pin Flat Package)を採用した。4PFはリールtoリールのフープラインを採用していることが特長である。フープラインを構成するに当たり、ダイボンド工程に新たにダイレクトボンド技術を導入して高速化を図っている。これは、HEMTチップの裏面にAuSn共晶はんだ層を形成してダイボンド工程のはんだ供給を不要にし、チップを300 $^{\circ}\text{C}$ 以上に加熱したリードフレームに直接ボンディングする技術である。これにより、効率的なフープラインの形成が可能となり、生産性を大幅に向上させている。

#### 5. 特性

表1にMGF4931AMとMGF4934AMの雑音指数(Noise Figure)NFと付随利得(Associated Gain) $G_s$ の特性一覧を示す。また、図5にNFと $G_s$ の分布図を示す。従来製品に比べて3章のシミュレーションでの見込みどおり約1dB

の利得改善が実現している。特性分布は従来製品と同様に均一性の高い製品となっている。図6にMGF4934AMのスミスチャートをMGF4931AMと比較して示す。MGF4934AMでは、新製品への移行を容易にするために

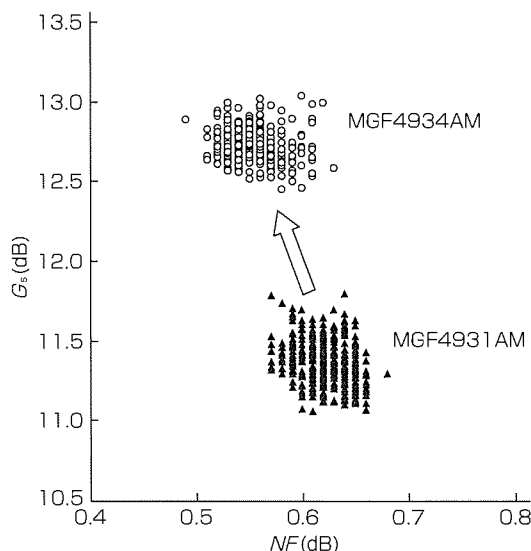


図5. NFと $G_s$ の相関図

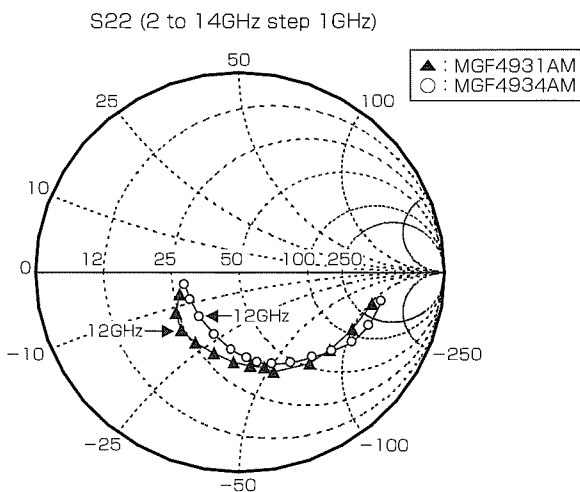
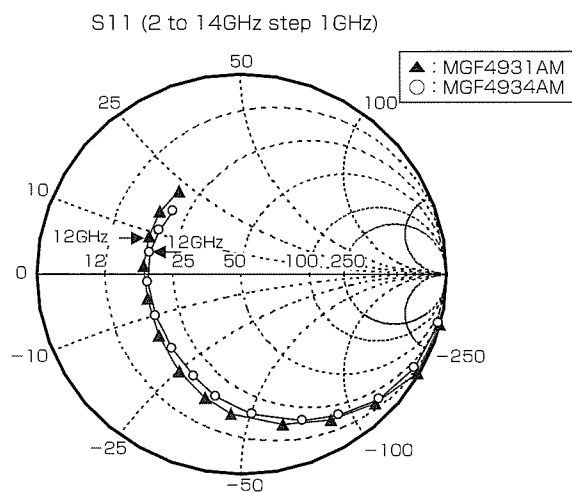


図6. Sパラメータ

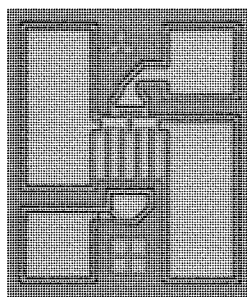


図4. MGF4934AMのチップ写真

表1. 当社低雑音HEMTのNFと $G_s$

製品型名	NF(dB)		$G_s$ (dB)	
	Typ.	max	min	Typ.
MGF4931AM	0.60	0.80	10.0	11.5
MGF4934AM	0.60	0.80	11.5	12.5

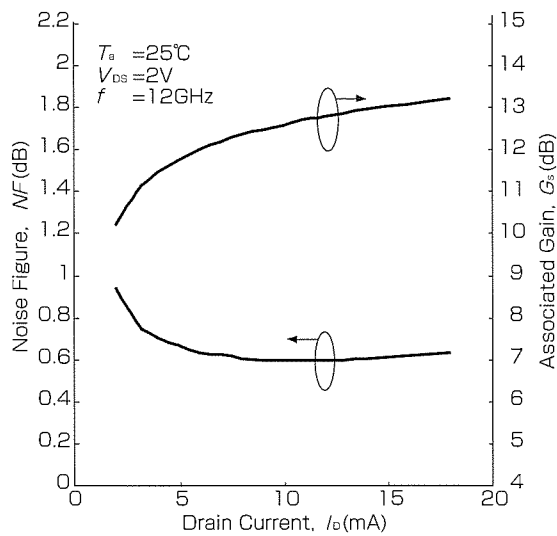


図7. MGF4934AMのNFと $G_s$ のドレイン電流依存性

両者とも同じピン配置の4PFパッケージを採用しており、インピーダンス特性も近くなるような配慮をしている。図7にNFと $G_s$ のドレイン電流依存性を示す。使用推奨条件である10mA近辺で最小の雑音特性を示している。

## 6. むすび

新たに開発した低誘電率保護膜形成プロセスを採用することにより、当社従来比で約1dBの $G_s$ を向上した新製品MGF4934AMを開発した。また、ウェーハプロセスで低誘電率保護膜を形成することにより生産性を大幅に向上させている。このようにMGF4934AMは、DBS後段用低雑音HEMTとして最適な性能を持つ製品となった。

今後は、低雑音HEMTのみならず各種製品に低誘電率保護膜プロセスを展開し、高周波特性の優位性を生かした製品ラインアップを取りそろえていく。





# 超広帯域・超小型マイクロ波集積チップセット

山内和久\* 宮口賢一\*\*\*  
 檜枝護重\*\* 磯田陽次\*  
 山中宏治\*

Microwave Monolithic Integrated Circuit Chip Set for Active Phased Array Antennas

Kazuhiya Yamauchi, Morishige Hieda, Koji Yamanaka, Kenichi Miyaguchi, Yoji Isota

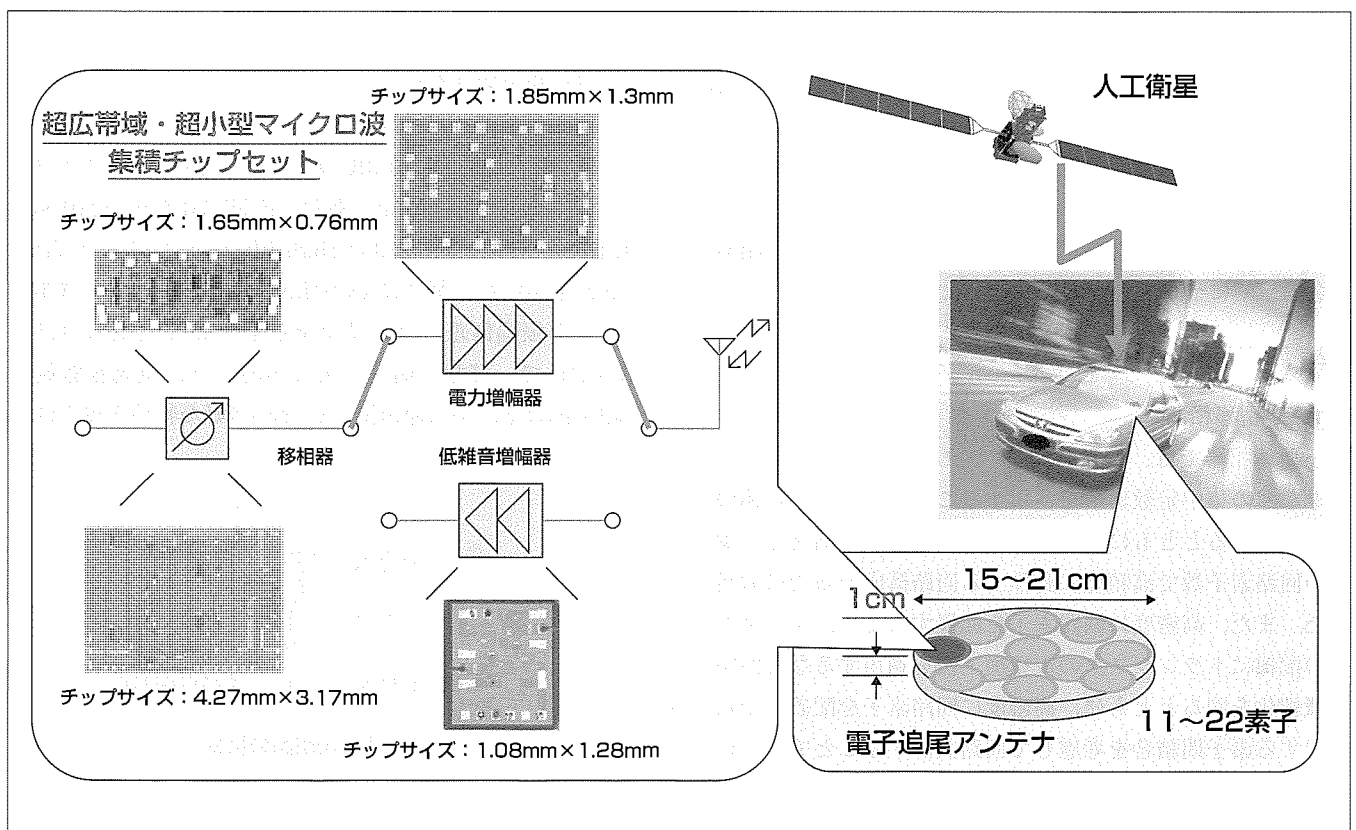
## 要旨

近年の急速なIT化の進展に伴い、人工密度の低い地域で衛星を用いた高速無線通信サービスが低コストな情報通信インフラとして期待されている。準天頂衛星では宇宙空間を複数の衛星が高速に移動するため、常に複数衛星を同時に追尾する必要がある。電子追尾アンテナは、従来の機械式アンテナでは実現が難しい複数目標の同時追跡、高速なビーム走査など優れた機能を持っているが、電子追尾アンテナを構成する各素子アンテナごとに高価なマイクロ波集積回路を多数必要とするため、主に特定分野で使われていた。そこで、低コスト化し民生分野に展開するため、世界最小の超広帯域・超小型マイクロ波集積チップセットを開発した。総コストの中で大きな割合を占めるマイクロ波集積回路の低コスト化により、電子追尾アンテナの低コス

ト化を実現する。このチップセットは、移相器、低雑音増幅器、電力増幅器で構成される。

移相器、低雑音増幅器、電力増幅器では、集中定数素子を多用することで回路素子自体の小型化を図るとともに、積極的に回路素子を共通化し、少ない回路素子数で動作する回路構成を採用した。また、高密度に回路素子を配置した際発生する素子間結合を考慮して回路設計を行う高密度レイアウト技術の適用により、従来比1/5~1/4の小型化・低コスト化を実現した。

広帯域移相器では直列/並列LC回路切換型180°移相回路の採用により、世界トップクラスの広帯域特性を実現し、従来各用途ごとの専用品であった移相器の汎用性を高めた。



## 超広帯域・超小型マイクロ波集積チップセット

このチップセットは、移相器、低雑音増幅器、電力増幅器で構成され、集中定数素子を多用することで回路素子自体の小型化を図るとともに、積極的に回路素子を共通化し、少ない回路素子で動作する回路構成とした。また、高密度に回路素子を配置した際発生する素子間結合を考慮して回路設計を行う高密度レイアウト技術の適用により、従来比1/5~1/4の小型化、低コスト化を実現した。

1. ま え が き

近年の急速なIT化の進展に伴い、情報通信インフラの整備が急務となっている。100Mbps級の高速通信を実現する手段として都市部では光ファイバ通信網が重要な役割を果たすと考えられるが、人工密度の低い地域では低軌道衛星や準天頂衛星による高速無線通信サービスが低コストな情報通信インフラとして期待されている。低軌道衛星や準天頂衛星では、宇宙空間を複数の衛星が高速に移動するため、衛星は常に地上局を追尾する必要があるとともに、地上局は複数衛星を同時に追尾する必要がある。電子追尾アンテナは、従来の機械式アンテナでは実現が難しい複数目標の同時追跡、高速なビーム走査など優れた機能を持つが、アンテナを構成する多数の素子アンテナごとに高価なマイクロ波送受信モジュールを必要とするため、主に特定分野で使われていた。

モジュール内の半導体回路を構成する方法の一つとしてマイクロ波集積回路(Monolithic Microwave Integrated Circuit: MMIC)がある。MMICは、ハイブリッドICやディスクリット部品を組み合わせた回路に比べ、小型に構成できるもののコストがチップサイズにほぼ比例するため、低コスト化のためには小型なMMICを開発する必要がある。そこで、電子追尾アンテナを低コスト化し民生分野に展開するため、世界最小の超広帯域・超小型マイクロ波集積チップセットを開発した。このチップセットは、移相器、低雑音増幅器、電力増幅器で構成される。総コストの大きな割合を占めるMMICの低コスト化により、電子追尾アンテナの低コスト化を実現する。

本稿では、開発した移相器、低雑音増幅器、電力増幅器の各MMICについて述べる。

2. 超広帯域・超小型マイクロ波集積チップセット

2.1 小型移相器

小型移相器では、MIMキャパシタやスパイラルインダクタなどの集中定数素子を多用することで回路素子自体の小型化を図るとともに、積極的に回路素子を共通化し、少ない回路素子数で高精度に動作する回路構成を新たに考案した。また、高密度に回路素子を配置するため、インダクタの配線にトランジスタの電極加工法を適用するなど回路の微細化を図るとともに、高密度に回路素子を配置した際発生する素子間結合を考慮して回路設計することで従来比1/5の小型化を達成した。

この小型移相器は、180°移相回路、90°移相回路、45°移相回路、22.5°移相回路、11.25°移相回路から構成される5ビット移相器である。この小型移相器では、基準状態であるハイパスフィルタと遅延状態であるバンドパスフィルタ又はローパスフィルタの2状態を切り換えることにより通過

位相を変化させ、移相器として動作させている。180°移相回路にはハイパス/ローパスフィルタ切換え型、90°移相回路にはT型移相器回路<sup>(1)</sup>、45°移相回路にはπ型移相器回路<sup>(2)</sup>、22.5°移相回路と11.25°移相回路にはMEF(Matched Embedded FET)型移相器回路<sup>(3)</sup>を用い、回路の小型化を図っている。

図1の(a)に90°移相回路で用いたT型移相器回路の構成を示す。回路は3つのFET(Field Effect Transistor)と2つのインダクタとバイアス印加用の抵抗から構成される。基準状態ではFET1と2をオフ、FET3をオンにすることで、T型のハイパスフィルタとして動作する。一方、遅延状態では、FET1と2をオン、FET3をオフにすることで、FET3をキャパシタンスとして利用し、FET3に並列に接続したインダクタを所望周波数で並列共振させることにより、バンドパスフィルタとして動作する。この2状態を切り換えることにより通過位相を切り換える。

図の(b)に45°移相回路で用いたπ型移相器回路の構成を示す。回路は3つのFETと4つのインダクタとバイアス印加用の抵抗から構成される。基準状態では、FET1をOFF状態、FET2、FET3をON状態にすることにより、ハイパスフィルタとして動作する。遅延状態では、OFF状態にしたFET2、FET3のOFF容量とインダクタL1、L2とを所望周波数で並列共振させることにより、バンドパスフィルタとして動作する。この2状態を切り換えることにより通過位相を切り換える。

上記の移相器回路を適用したKu帯5ビット移相器を設計、開発した。図2にMMICのチップ写真を示す。チップサイズは1.65mm×0.76mmである。FETにはゲート長0.5μmのPHEMT(Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor)を用いた。図3にRMS(Root Mean Square)移相量誤差及び振幅偏差の測定結果を示す。周波数範囲11.5～13.5GHzで、移相量偏差3.8degrms以下、通過振幅偏差0.6dBrms以下、平均通過損失5.7dBの良好な特性が得られた。

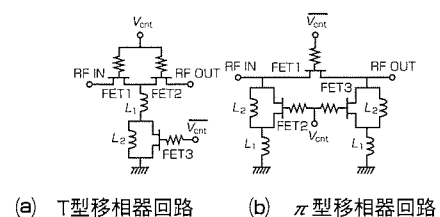


図1. 移相器回路の構成



図2. Ku帯5ビット移相器

## 2.2 超広帯域移相器

超広帯域移相器ではすべての周波数で反射位相差 $180^\circ$ となる反射型移相器回路<sup>(4)</sup>を考案し、 $180^\circ$ 移相回路に採用した。この反射型移相器回路は世界トップクラスの広帯域特性を持つことから数GHz~数十GHz帯において汎用的に用いることができ、従来各用途ごとの専用品であった移相器の汎用性を高めた。

図4に $180^\circ$ 移相回路の等価回路を示す。この移相回路は3dBランゲカプラとインダクタ、キャパシタ、FETから構成される。FETはスイッチング素子として用いられ、直列共振回路と並列共振回路を切り換えることで広帯域な特性を実現している。

$180^\circ$ 移相に $180^\circ$ 反射型移相器回路を用い、 $90^\circ$ 移相回路、 $45^\circ$ 移相回路、 $22.5^\circ$ 移相回路、 $11.25^\circ$ 移相回路を反射型で構成したスイッチ内蔵C~Ku帯5ビット移相器を設計、開発した<sup>(5)</sup>。図5にMMICのチップ写真を示す。チップサイズは $4.27\text{mm} \times 3.17\text{mm}$ である。FETにはゲート長 $0.5\mu\text{m}$ のPHEMTを用いた。送受切換スイッチを内蔵することで外付け部品を削減し、送受信モジュールの小型化を図った。図6にRMS移相量誤差及び振幅偏差の測定結果を示す。6~18GHzにおいて通過損失 $9.4\text{dB} \pm 1.4\text{dB}$ 、通過振幅偏差 $0.33\text{dBrms}$ 以下、移相量偏差 $7^\circ\text{rms}$ 以下の特性が得られた。

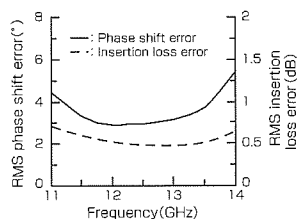


図3. RMS移相量誤差及び振幅偏差の測定結果

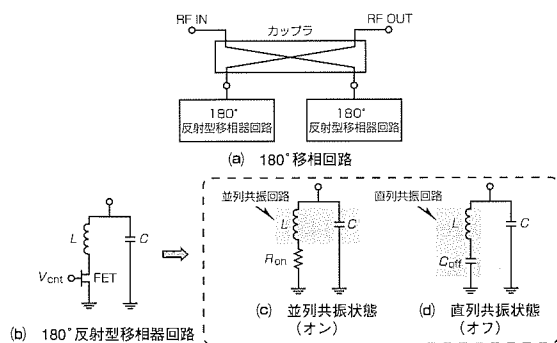


図4.  $180^\circ$ 移相回路の等価回路図



図5. スイッチ内蔵C~Ku帯5ビット移相器

## 2.3 低雑音増幅器

低雑音増幅器でも、小型移相器と同様、集中定数素子の多用、回路素子の共通化により回路の小型化を実現するとともに、素子間結合を考慮した回路設計により設計精度向上を図った<sup>(6)</sup>。また、チップの小型化と併せてバイアス分圧回路を内蔵することにより外付け部品を削減し、送受信モジュールの一層の小型化を図った。

図7にKu帯2段低雑音増幅器のチップ写真を示す。チップサイズは $1.08\text{mm} \times 1.28\text{mm}$ である。FETにはゲート長 $0.25\mu\text{m}$ のPHEMTを用いた。図8に利得、雑音指数の周波数特性の測定結果を示す。12GHzにおいて利得 $17\text{dB}$ 、雑音指数 $1.4\text{dB}$ 、消費電力 $54\text{mW}$ が得られた。

## 2.4 電力増幅器

電力増幅器では回路の小型化、設計精度向上を図るとともに外付けコンデンサが不要となり、電力損出が発生しないバイアス共通化回路や分圧回路<sup>(7)</sup>、及び、温度に対する利得変動を抑圧し、モジュールの特性ばらつきを抑圧する温度補償回路<sup>(8)</sup>を内蔵することで、外付け部品を削減し、送受信モジュールの小型化を図った。

素子アンテナごとに設けられたマイクロ波モジュールの小型化を図るために、コンデンサを削減し端子を共通化するとバイアス回路を介して各段が結合し、発振を起こす可能性がある。図9にドレインバイアス端子の共通化に伴う発振の原理を示す。図のループにおいて、ループ利得が $0\text{dB}$ 以上となったときに発振が起きる。この電力増幅器で適用し

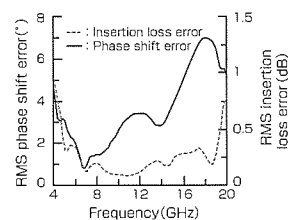


図6. RMS移相量誤差及び振幅偏差の測定結果

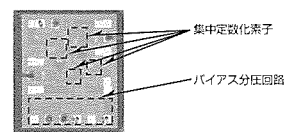


図7. Ku帯2段低雑音増幅器

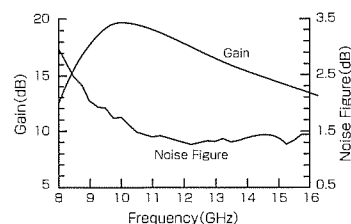


図8. 利得、雑音指数の周波数特性の測定結果

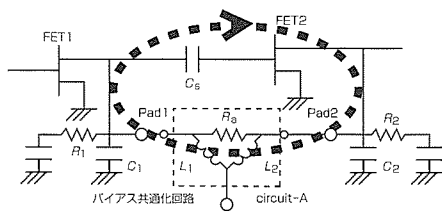


図9. バイアス端子の共通化に伴う発振原理

たドレインバイアス共通化回路Aの構成を図に示す。この共通化回路は抵抗 $R_3$ 及びインダクタ $L_1, L_2$ で構成されている。抵抗 $R_3$ の値に対するループ利得の計算結果を図10に示す。 $R_3=22.5\Omega$ にすることですべての周波数でループ利得が0 dB未満となり、発振が抑圧されていることが分かる。

また、この電力増幅器では温度補償回路を内蔵することで温度に対する利得変動を抑圧し、モジュールの特性ばらつきを抑圧した。一般に温度の上昇に対して増幅器の利得は低下し、ゲート電圧を浅くすることで利得は増加する。そこで、温度の増加に対して増幅器のゲート電圧を浅くなるように制御することで、温度に対する利得変化を抑圧する。

図11にKu帯3段電力増幅器のチップ写真を示す。チップサイズは $1.85 \times 1.3\text{mm}$ である。温度補償回路はダイオードと抵抗の2素子で構成されており、ダイオードのスレッシユホールド電圧の温度依存性を利用している<sup>(9)</sup>。FETにはゲート長 $0.2\mu\text{m}$ のPHEMTを用いた。図12に、温度に対する小信号利得特性の結果を示す。線形利得30dB以上が $-20 \sim +100^\circ\text{C}$ の温度範囲にわたって得られるとともに、5.4dBの利得変動を0.9dBに抑圧できた。また、14.2GHzにおいて飽和出力19.5dBm, 最大効率25%が得られた。

### 3. む す び

電子追尾アンテナの総コストの大きな割合を占めるMMICの低コスト化を図るため、超広帯域・超小型マイクロ波集積チップセットを開発した。このチップセットは、移相器、低雑音増幅器、電力増幅器で構成され、集中定数素子の多用、回路素子の共通化による回路の小型化を図るとともに、素子間結合を考慮した回路設計により設計精度向上を図った。このチップセットにより、電子追尾アンテナを低コスト化し、民生分野に展開することが可能になると考えられる。

### 参考文献

(1) 檜枝護重, ほか: 自己切替フィルタを用いたKu帯5ビット移相器, 電子情報通信学会技術研究報告, **102**, No.523, 5~10 (2002)  
 (2) 檜枝護重, ほか:  $\pi$ 型移相器回路を用いたKu帯小型5ビットMMIC移相器, 2003電子情報通信学会ソサイエティ大会(エレクトロニクス), C-2-7, 31 (2003)  
 (3) Taniguchi, E., et al.: A Ku-Band Matched Embedded

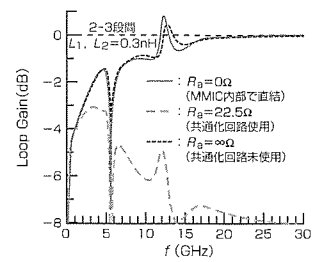


図10. 抵抗 $R_3$ に対するループ利得計算結果

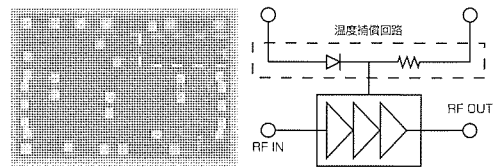


図11. Ku帯3段電力増幅器

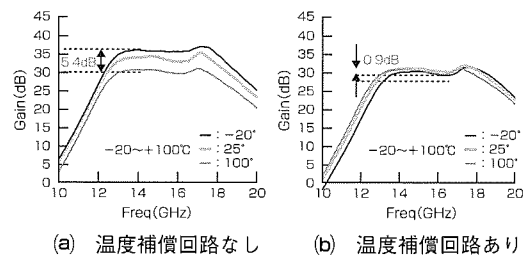


図12. 温度に対する小信号利得特性測定結果

FET Phase Shifter, 29th EuMC Digest, 375~360 (1999)  
 (4) 宮口賢一, ほか: 直列/並列LC回路切替方式広帯域反射型 $180^\circ$ 移相器, 2001電子情報通信学会総合大会, C-2-39, 86 (2001)  
 (5) 宮口賢一, ほか: 直列/並列LC回路装荷6~18GHz帯5ビット移相器MMIC, 2002電子情報通信学会ソサイエティ大会(エレクトロニクス), C-2-7, 29 (2002)  
 (6) Yamanaka, K., et al.: Ku-band Low Noise MMIC Amplifier with Bias Circuit for Compensation of Temperature Dependence and Process Variation, 2002 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, 1427~1430 (2002)  
 (7) 山内和久, ほか: ドレインバイアス共通化Ku帯MMIC電力増幅器, 2002電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-2-16, 38 (2002)  
 (8) Yamauchi, K., et al.: X-band MMIC Power Amplifier with an on-chip Temperature Compensation Circuit, IEEE Trans. Microwave Theory Tech. **49**(12), 2501~2506 (2001)  
 (9) 大塚浩志, ほか: Ku帯MMIC電力増幅器の温度補償ゲートバイアス回路の検討, 2002電子情報通信学会ソサイエティ大会(エレクトロニクス), C-2-17, 39 (2002)

# 光・高周波デバイス用パッケージと実装技術の動向

高木晋一\*

Trend of Package and Jisso Technology for Optical and High Frequency Device

Shinichi Takagi

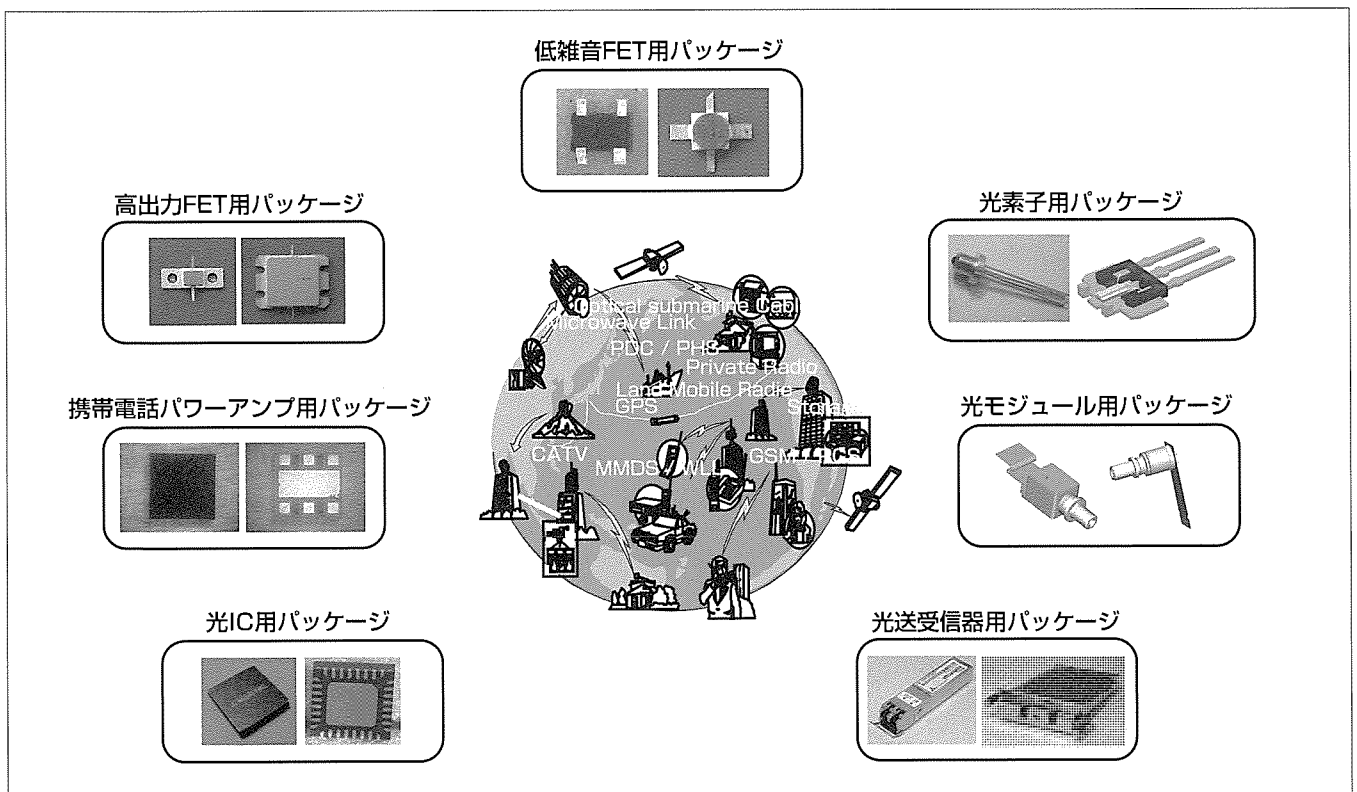
## 要 旨

光・高周波デバイスは、光通信、移動体通信、衛星通信等の情報通信用、DVD(Digital Versatile Disk)、CD-R(Compact Disk-Recordable)等の情報処理用デバイスとして、今日のITシステムを支えるキーデバイスである。光・高周波デバイスの用途、使用環境・目標品質、適用周波数・出力等は多岐にわたるが、三菱電機では、これらを広くサポートしている。

シリコン半導体の大半が樹脂モールドパッケージで構成されているのに比べ、光・高周波デバイスでは、化合物半導体が高周波特性等の利点を生かし、その耐環境性を向上させるため、パッケージの構造・構成材料、必要とされる実装技術は多種多様である。当社では、それぞれのデバイスに最適化したパッケージと実装技術を開発し、量産している。

また、シリコン半導体の分野では、モノリシックな集積化が進行し、いわゆるSoC(System on Chip)によりチップの付加価値が飛躍的に上昇したが、化合物半導体の分野では、集積化はモジュール化によって実現される。いわゆるSiP(System in Package)である。また、量産が進めば、製品コストに占めるアセンブリの割合が大きくなるのが通例である。したがって、光・高周波デバイスにおけるパッケージと実装技術の役割は、製品の競争力を左右する決め手として極めて重要である。

激しい競争に勝ち残っていくために、高機能化・高集積化・小型化・低コスト化への対応は不可欠であり、他社との互換性の制約下、差別化に向けたパッケージと実装技術の開発を行っている。



## 光・高周波デバイス用パッケージ

光・高周波デバイスは、今日のITシステムを支えるキーデバイスである。その用途、使用環境・目標品質、適用周波数・出力等は多岐にわたるが、当社では、これらを広くサポートし、それぞれのデバイスに最適化した多種多様なパッケージと実装技術を開発し、量産している。

### 1. ま え が き

光・高周波デバイス用パッケージは、デバイスの用途、使用環境・目標品質、適用周波数・出力等により、構造・構成材料が大きく異なり、アセンブリコスト(材料費+加工費)で約1,000倍の開きがある。また、製造方式も大きく異なるため、必要とされる実装技術も多種多様であり、さらに、生産数量で約1,000倍の開きがある中での最適化が要求される。

本稿では、主要デバイスごとのパッケージと実装技術の動向について述べる。

### 2. 高出力FET用パッケージ

高出力FET(Field Effect Transistor)デバイスは、無線通信、通信衛星、携帯電話基地局等の送信部に使用されており、高出力、低ひずみ・高効率、高信頼性が要求される。図1に高出力FET用パッケージを示す。このパッケージは、ベース基板、フレーム、フィードスルー、リード、キャップで構成され、キャップをフレームにはんだ付け又はシーム溶接することでチップを気密封止している。

動向としては、①高出力化、②低コスト化、③モジュール化がある。①に関しては、チップからの放熱特性のため熱伝導率が高くかつ内部実装される整合回路基板に近い線膨張係数のベース基板材料を選定する必要があり、Cu-Moクラッド材やCuW等を採用しているが、更なる高熱伝導率材料が望まれる。②に関しては、チップ及び整合回路基板の実装自動化がキーである。特にチップは、厚さが65 $\mu$ mと薄く、市販の装置ではチップが割れるため、ウェーハ分離後のピックアップ装置、自動ダイボンド装置を開発した。③のSiPを指向したモジュール化による高機能化・高集積化は今後の大きな流れである。

図2は、整合回路を設けた表面実装基板を集積化したWiMAX(無線通信規格)対応のS帯増幅器モジュールである。客先での二次実装を容易にするためSMT(Surface

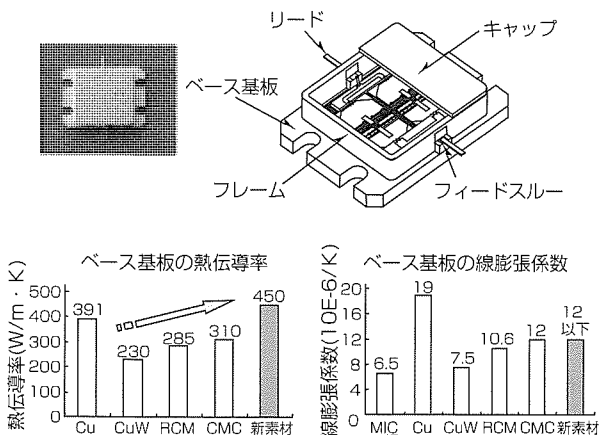


図1. 高出力FET用パッケージの構造

Mount Technology)対応の構造にしたこと、チップからの放熱特性のため熱伝導率が高いヒートシンクを設けたこと等が特長である。

環境配慮設計への対応、特に表面実装用はんだの鉛フリー化は実装技術の大きな課題である。当社では、メーカーと共同で溶ダペーストの開発を行い、上述したS帯増幅器モジュールにもこれを採用している。また、鉛フリーはんだによる二次実装時のリフロー耐性、はんだ濡(ぬ)れ性を考慮したパッケージの設計、評価も必要になっている。

### 3. 低雑音FET用パッケージ

低雑音FETデバイス(High Electron Mobility Transistor: HEMT)は、衛星放送受信部に使用される。2つの用途に大別され、用途ごとに最適なパッケージを開発している。ロードマップを図3に示す。

12GHz初段用デバイスではG<sub>s</sub>(利得)、NF(雑音指数)等の高周波特性が重要視される。このため、チップの寄生容量を低減する必要があり、中空( $\epsilon_r=1$ )構造が不可欠となる。従来、リード付きセラミックパッケージMicro-Xを使用していたが、アセンブリコストが高いという問題があった。この低コスト化のために開発したのが、リードレスセラミックパッケージMLCP(Mitsubishi Leadless Ceramic Package)である。Micro-Xでは、ベースにチップをダイボンド・ワイヤボンドした後、個別にキャップをはんだ封止し、リードカットを行い個片化していたが、MLCPでは、図4に示すセラミックシートに792個のキャビティを作り、チップをダイボンド・ワイヤボンドした後、セラミックキャップを一括樹脂封止し、ダイサーで個片化する製造方式を開発した。

次に、12GHz後段用デバイスは、高周波特性よりもコストが重要視される。また、客先での二次実装を容易にする目的でリード付きの要求もあった。そこで、図5に示す4

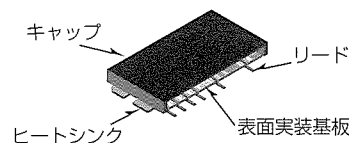


図2. S帯増幅器モジュールの構造

用途	パッケージ構造
12GHz初段用	Micro-X → MLCP
12GHz後段用	Micro-X → MLCP → 4 PF

図3. 低雑音FET用パッケージのロードマップ

PFパッケージ(4 Pin Flat package)を開発した。このパッケージでは、モールド樹脂( $\epsilon_r \sim 4$ )で全体を封止し、リード部のインダクタンスを低減するためにフラットリード形状を採用した。

特長は製造方式にあり、従来の短冊型リードフレームではなく、フープフレームという連続したフレームを用い、ダイボンドからモールドまでを一貫生産する。これにより、大幅な低コスト化を実現した。

#### 4. 携帯電話パワーアンプ用パッケージ

携帯電話パワーアンプ用パッケージのロードマップを図6に示す。特に小型化の要求が強く、現在では容積0.01ccの3mm□品を量産している。携帯電話の薄形化に伴う低背化要求も強く、高さ1.2mmを実現した。小型化には、実装部品の小型化、実装ピッチの縮小化が不可欠であり、先行して高密度実装技術の開発を行っている。

以前は金属キャップ構造が主流であったが、更なる小型化・低コスト化のため、樹脂封止構造を開発した。LTCC

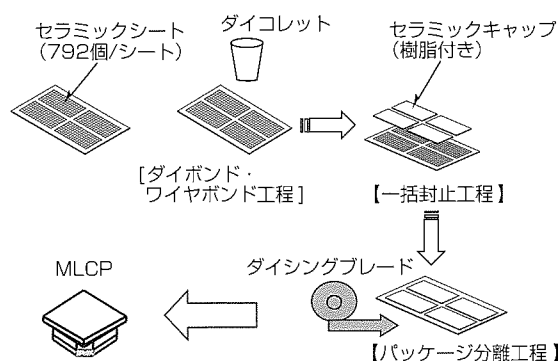


図4. MLCPの製造方式

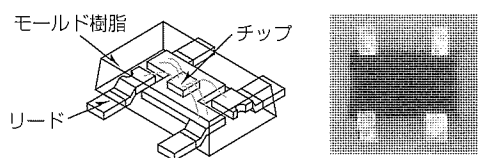


図5. 4PFパッケージの構造

年度	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
モジュールサイズ	0.4cc	0.2cc	0.1cc	0.05cc	0.03cc	0.02cc	0.01cc			
基板	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> セラミック	低温焼成ガラス-セラミック							ガラスエポキシ	
実装技術	実装ピッチ	300μm	200μm		150μm					
	部品サイズ		1005					0603		
	実装はんだ		PbSn					Pb Free		
	ダイボンド	はんだ(AuSn)ダイボンド				樹脂ダイボンド				
	封止方式		金属キャッピング							樹脂封止

図6. 携帯電話パワーアンプ用パッケージのロードマップ

(Low Temperature Co-fired Ceramic)基板にチップや表面実装部品を実装後、一括樹脂封止した後、個片化する製造方式である。真空印刷工法を採用することにより、内部気泡をなくした信頼性の高い封止を実現している。技術課題はLTCC基板のダイシングであり、コスト的に量産適用できる方式が開発できておらず、LTCC基板に溝を設けてのチョコレートブレイク方式を採用している。

このLTCC基板をダイシングが容易かつ低コストの樹脂基板に変更した一括樹脂封止構造も量産している。また、パワーアンプの周辺機能を内蔵する高集積・高機能モジュールの開発を行っている。

#### 5. 光素子用パッケージ

光素子用パッケージの主流は、φ5.6及びφ3.8mmキャンである。今後更に小型化が進むと考えており、高出力化するLD(Laser Diode)からの放熱特性のためのパッケージ設計、材料開発、さらには、高密度実装を実現するための高精度実装装置の開発が重要となる。光通信用では、繰り返し精度±2.5μmのダイボンドを開発し量産適用している。また、自動光軸調心プロジェクション溶接により、レンズ付きキャップの高精度位置決めと気密封止を同時に実現している。情報処理用では、低コスト化とノートパソコン対応の低背化に対応するため、図7に示すキャップレス(気密封止レス)構造のウルトラスリムパッケージの量産化と、更なる低コスト化のためのモールドフレームパッケージの開発を行っている。

#### 6. 光モジュール用パッケージ

光モジュールのロードマップを図8に示す。キャンパッケージを使用する同軸タイプでは、レセプタクル構造のTOSA/ROSA(Transmitter/Receiver Optical Sub-Assembly)が主流である。10Gbps用では、従来、カスタマイズした高価なキャンを使用していたが、高密度実装技術等により、汎用キャンによる小型化・低コスト化を実現した。

セラミックフィードスルー付き箱型タイプでは、光送受信器への実装面積を低減するため、一方向からの電気信号

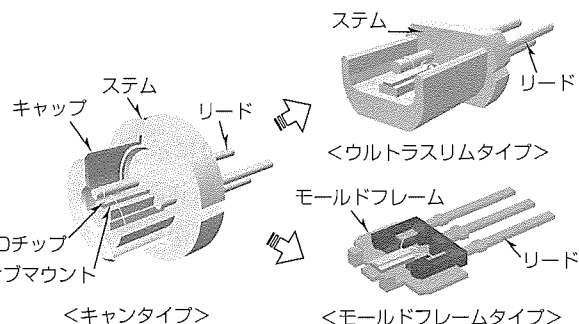


図7. ウルトラスリムとモールドフレームの構造

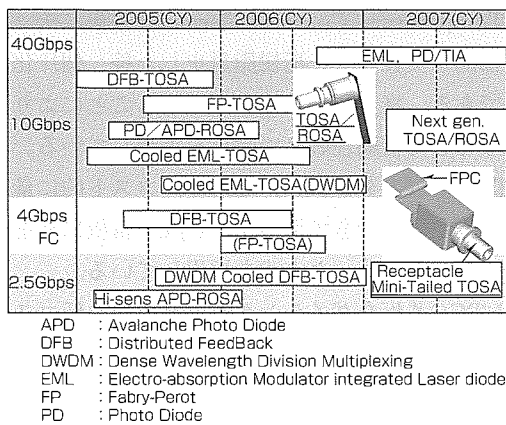


図8. 光モジュール用パッケージのロードマップ

取り出しを可能にしたMini-Tailed TOSAを開発している。搭載するペルチェクーラ、チップキャリア、レンズ等の小型化を行い、容積0.24cc (D) 8 × (W) 6 × (H) 5 (mm)と従来比で約1/10とした。また、FPC(Flexible Printed Circuit)基板を採用することにより、高周波特性向上、消費電力低減、実装性向上を実現した。

光モジュールでは、一般的なデバイスに要求される機構、熱、高周波に加え、光の要素が加わるため、パッケージ最適化の難易度が更に高くなる。実装技術でも、光軸調心時とYAG溶接時の光軸ずれ、はんだ接合部の寸法安定性等にサブミクロンの精度が要求される。

### 7. 光IC用パッケージ

光IC用パッケージのロードマップを図9に示す。従来のQFP(Quad Flat Package)では、外部リードが長くかつワイヤ長を短くできないため、特性が出ない、放熱性が悪い等の理由により、リードレスでかつ裏面のダイパッドが露出し、直接チップの熱を実装基板に放熱できる構造であるSLP(Small Leadframe Package)に移行している。これは、マトリックス状のリードフレームにチップをダイボンド・ワイヤボンドした後、一括トランスファモールドを行い、ダイサーで個片化する製造方式をとる。

SLPは、一種類のモールド金型でどのようなピン数にもリードフレームのデザイン変更のみで対応できる、リード加工金型が必要ない等の利点があり、パッケージの開発コスト、開発工期が大幅に削減・短縮できるため(従来の1/3~1/5)今後のモールドパッケージの主流と位置付けている。

### 8. 光送受信器用パッケージ

光送受信器のロードマップを図10に示す。通信機器メーカーからは、高機能化に加えて、伝送距離、伝送速度、波長ごとの多岐にわたるラインアップが要求されている。また、海外メーカーの台頭により低コスト競争が激化している。そのような中、高価な切削部品について、ダイカスト化、板金化、部品点数削減を行い、かつ、ガスケットや

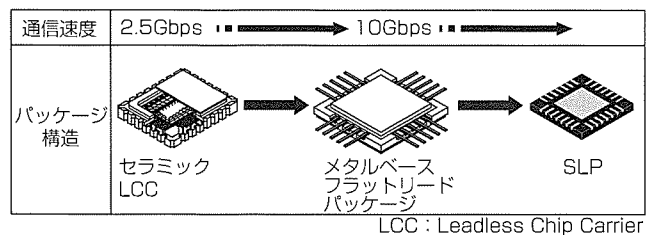


図9. 光IC用パッケージのロードマップ

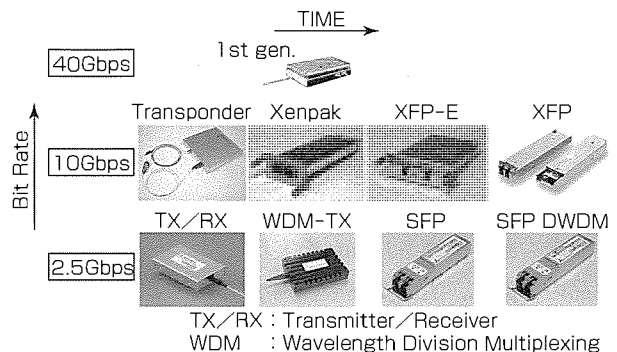


図10. 光送受信器用パッケージのロードマップ

グリース等を最適化し、送受間干渉、電磁ノイズ(EMC)対策及び放熱対策を行うことで、性能を維持しつつ小型化・低コスト化を図っている。また、光コネクタ及び電気コネクタの着脱簡易化も要求されている。そのため、従来のピグテール構造(Transponder)からレセプタクル構造(Xenpak, SFP(Small Form factor Pluggable), XFP(10Gigabit small Form factor Pluggable))への移行が進み、光モジュール実装時の過剰拘束回避、Wiggle特性と呼ばれる光コネクタへの横荷重耐性、及び客先実装基板との容易かつ強固なラッチ機構が新たな開発課題となっている。

当社では、光素子、光モジュール、光IC、光送受信器の各階層を開発し量産しており、MSA(Multi Source Agreement)という他社との互換性の制約下、上位階層を考慮した各階層でのパッケージと実装技術の最適化を行い、他社との差別化を図っている。

### 9. むすび

パッケージは、本来のチップを保護し信号を取り出す役割に加え、それ自体が一つの機能部品となっている。チップ・パッケージ・システムを深く理解し、パッケージと実装技術を最適化することが重要である。このためには、市場規模の大きいシリコン半導体デバイスの開発動向に注意し、導入を図る一方で、化合物半導体デバイス独自のパッケージと実装技術のロードマップを立案し、推し進める必要がある。

低コスト化の要求もとどまるところを知らない。パッケージの統廃合・標準化を行い、段階的にコストを下げる活動と、革新的なパッケージと実装技術を開発し、大幅にコストを下げる試みが重要である。



# エコプロダクツを目指した 特定化学物質削減の課題と解決策

谷野憲之\*  
小崎克也\*  
長谷川和義\*

The Problems and the Solutions to Reduce Specified Chemical Substances for Ecoproducts  
Noriyuki Tanino, Katsuya Kosaki, Kazuyoshi Hasegawa

## 要 旨

三菱電機は、企業の社会的責任(CSR<sup>(注1)</sup>)の基本方針<sup>(注2)</sup>に則り、エコプロダクツ(Ecoproducts)への様々な取り組みを積極的に進めている。

半導体・デバイス事業では2001年4月から環境負荷の少ない素材や部品を調達する“グリーン調達”をスタートし、購買規格として管理対象化学物質をS, A, Bの3物質群に分類して定め、製品への含有量の把握と特定化学物質の削減を進めている。また、欧州での特定物質規制(RoHS指令<sup>(注3)</sup>)への対応では、“2005年12月31日期限で規制6物質(Cd, Hg, Pb, CrVI, PBB, PBDE)の使用廃止”を宣言し、2006年1月1日からRoHS適合品の製造を行っている。さらに、製品の包装材に関しても、欧米の包装材法<sup>(注4)</sup>の4つの重金属についてRoHS指令より厳しいしきい値を満足するよう管理を行っている。

当社高周波光デバイス製作所(以下“波光电”という。)では、管理対象とする特定化学物質の製品への含有量の把握と削減を行うため、

(1) 特定化学物質管理のための取り組み

(2) 購入部材の測定上の技術課題と対応策

(3) 購入部材の管理の課題と対応策

(4) サプライチェーンの課題と対応策

を推進してきたので、本稿でその概要を述べる。

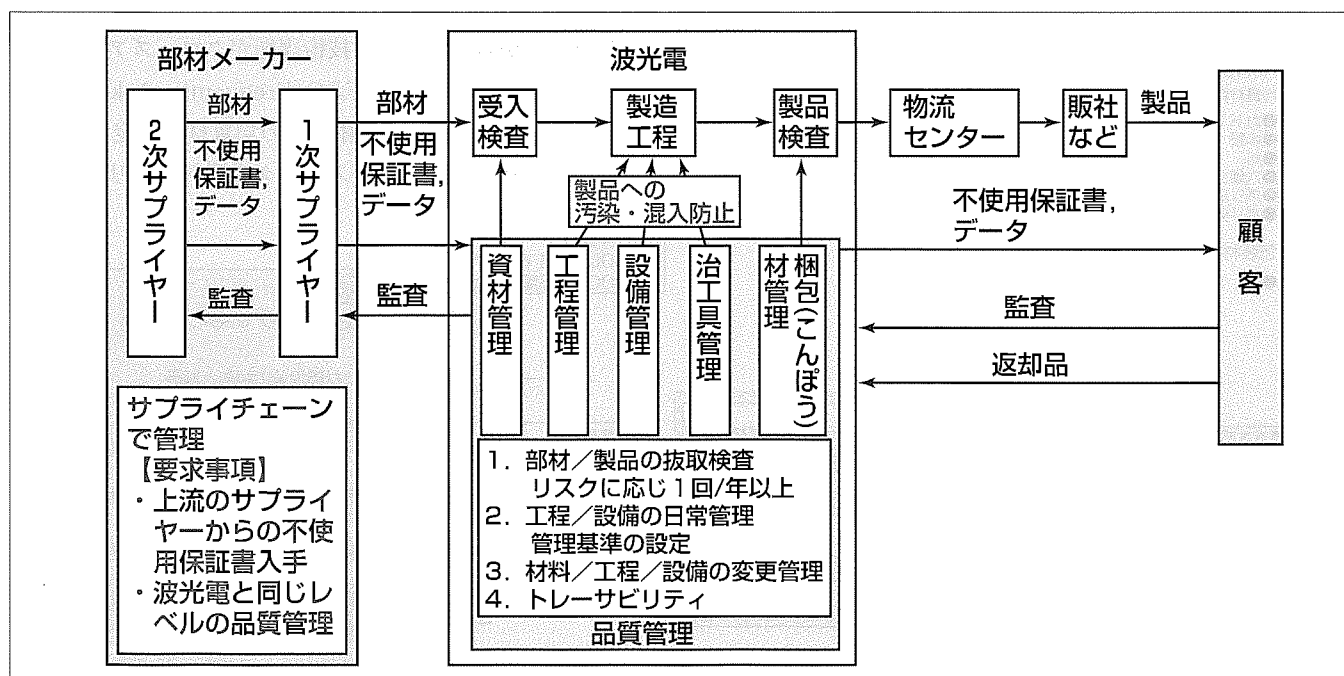
(注1) CSR: Corporate Social Responsibility

(注2) 三菱電機のCSRの基本方針: 企業理念“技術、サービス、創造力の向上を図り、活力とゆとりある社会の実現に貢献する”の実現を目指し、7つの行動指針(信頼、品質、技術、貢献、遵法、環境、発展)に基づいて行動する。

(注3) RoHS指令: The Restriction of the use of certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment “電気電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限(RoHS)に関する2003年1月27日付け欧州議会及び欧州理事会指令2002/95/EC”。しきい値を超えた鉛、水銀、カドミウム、六価クロム及び臭素系難燃材のPBB, PBDEを含む新電気電子機器(EEE)をEU市場に上市することを2006年7月1日から禁止している。http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/2003/L\_037/L\_03720030213en00190023.pdf

(注4) 梱包材重金属規制: 94/62/EC: 包装及び包装廃棄物に関する指令。http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31994L0062:EN:HTML

米国包装材重金属規制: http://www.toxicinpackaging.org/comparative%2Banalysis.htm



## 特定化学物質混入防止のための品質管理方法

波光电では、特定化学物質混入防止のため、部材の受入れに当たっては、物質含有情報と不使用保証書の入手の確認と定期的な抜き取り検査を実施し、工程・設備の管理では鉛などの日常の管理基準を設定してトレンド管理により汚染・混入防止を実施し、材料・工程・設備の変更時の管理方法をあらかじめ規定し、万一しきい値を超える部材が混入した場合は波及範囲が分かるようトレーサビリティを確保している。

\*高周波光デバイス製作所

### 1. ま え が き

当社では、企業の社会的責任(CSR)の基本方針に則り、エコプロダクツへの様々な取り組みを積極的に進めている。半導体・デバイス事業では2001年4月から環境負荷の少ない素材や部品を調達する“グリーン調達”をスタートし、購買規格として管理対象化学物質をS、A、Bの3物質群に分類して定め、製品への含有量の把握と管理対象物質の削減を進めている。

また、欧州での特定物質規制(RoHS指令)への対応では、“2005年12月31日期限で規制6物質(Cd, Hg, Pb, CrVI, PBB, PBDE)の使用廃止”を宣言し、2006年1月1日からRoHS適合品の製造を行っている。

さらに、製品の包装材に関しても、欧米の包装材法の4つの重金属についてRoHS指令より厳しいしきい値を満足するよう管理を行っている。図1に管理対象とする特定化学物質を示す。

本稿では、エコプロダクツを推進するに当たっての様々な課題に対し、波光电として行ってきた諸対策について述べる。

### 2. 特定化学物質管理のための取り組み

波光电では、2004年12月から、図2に示す製品含有化学

- 三菱電機半導体・デバイス事業の管理対象化学物質
  - S物質(109物質群) 製品への適用禁止物質、生産工程での禁止物質
  - A物質(118物質群) 製品への含有量削減対象物質、生産工程での使用量削減対象物質
  - B物質(369物質群) 製品への含有量管理、生産工程での使用量管理
- 物質群の数量は2006年1月時点の値  
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/green-p/index.html>
- RoHS指令(2002/95/EC)
  - 均質材料ベースで下記のしきい値以下
    - カドミウム(Cd)：100ppm
    - 水銀 (Hg)
    - 鉛 (Pb)
    - 六価クロム(CrVI)
    - ポリ臭化ビフェニル(PBB)
    - ポリ臭化ジフェニルエーテル(PBDE)
- 包装材法(指令94/62/EC、米国包装材重金属規制)
  - Cd, Hg, Pb, CrVIの合計が100ppm以下

図1. 管理対象とする特定化学物質

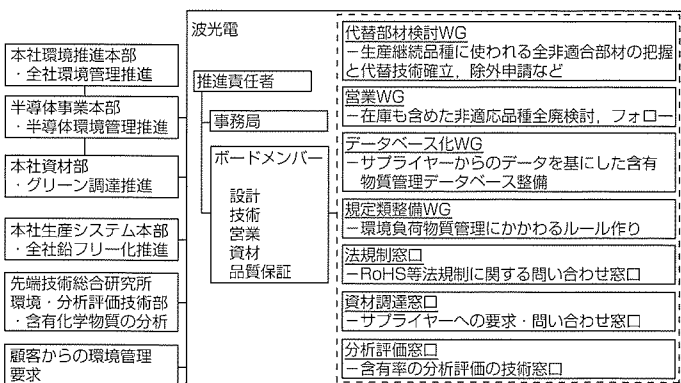


図2. 製品含有化学物質管理体制

物質管理プロジェクトを発足させ、推進体制を敷いている。推進責任者の下に事務局を置き、製品群ごとに各設計(事業責任部門)主導で技術、営業、資材、品質保証部門と連携して計画を詳細フォローする4つのワーキンググループ(WG)と3つの担当窓口を設置している。これらのWGにおいて、鉛フリー等の代替化製品の開発、在庫品の処置、特定化学物質管理のための品質管理規則の見直し、測定技術の立ち上げ、サプライヤーからの不使用保証書の入手などを具体的に進めている。

管理体系を図3に示す。環境に関する認証はISO14001が有名であるが、波光电では、これに加え、ISO9001における製品の品質システムで管理している。これにより、開発から出荷までの各ステップにおいてホールドポイントを設けて、設計段階でのS物質の不使用とA物質の削減、製造段階での鉛を始めとする管理対象物質の混入・汚染防止を実施している。

管理において特に製造管理が重要である。要旨の図に管理対象物質混入防止のための品質管理方法を示す。部材の受入れに当たっては、物質含有情報と不使用保証書の入手の確認、定期的な抜取検査を実施する。工程・設備の管理では、鉛などの日常の管理基準を設定して、トレンド管理により汚染・混入防止を実施する。材料・工程・設備の変更時の管理方法もあらかじめ規定する。また、万一しきい値を超える部材が混入した場合、波及範囲が分かるようトレーサビリティを確保する。図4に要注意箇所を示す。

### 3. 購入部材の測定上の技術課題と対応策

RoHSでは均質材料ベースの含有量のしきい値<sup>(注5)</sup>が設定されたことから、測定上の技術課題がクローズアップされるようになった。RoHSのFAQ(Frequently Asked Questions)<sup>(注6)</sup>によれば、半導体部品の均質材料の定義は図5に示すとおりであり、プラスチック成形材料、リードフレ

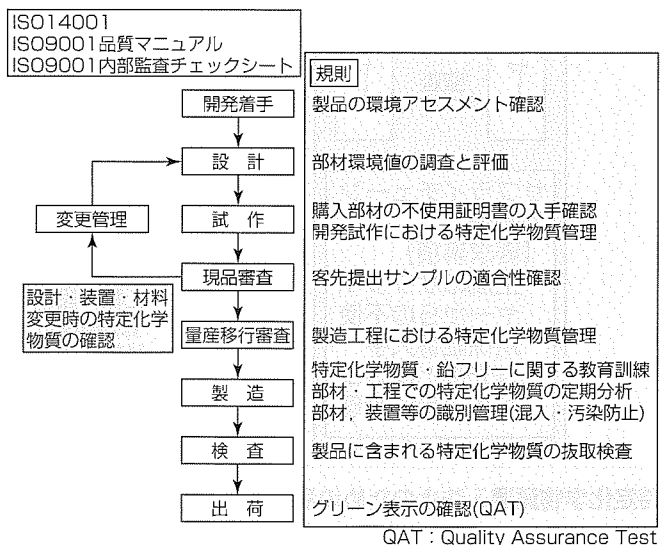


図3. 管理体系

ームの錫(すず)の電気めっきコーティング、リードフレーム合金、及び金ボンディングワイヤに分離して測定する必要があるが、以下に述べる測定技術の課題がある。

図6に示すように、波光电においても、1次分析には蛍光X線分析、2次分析にTOF-SIMS(飛行時間型2次イオン質量分析)を利用した一滴抽出法を行っている。また、更に厳密な定量分析が必要な場合には、重金属はICP-MS(Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry)又は

(注5) RoHSのしきい値の定義：均質材料を分母とし、管理対象物質の重量%濃度で定義する。“均質材料”とは、機械的に別々の材料に分離できない材料を意味する。“均質”という言葉は、“組成全体が均一”として理解される。均質材料の例として、プラスチック、セラミック、ガラス、金属、合金、紙、ボード、樹脂、コーティングなどが挙げられる。“機械的に分離”という言葉は、原則として、ねじの取り外し、切断、粉碎、研削、研磨のプロセスといった機械的行為によって材料が分離されることを意味する。

(注6) RoHSのFAQ：http://europa.eu.int/comm/environment/waste/pdf/faq\_weee.pdf

- はんだ付け工程
  - はんだは必ずPbを含むので、はんだ付け工程のPb含有量の日常管理が必要。
  - 一部のリードめっきのPbがはんだ槽・治具に溶出し、Pb含有量は次第に高くなる。検査頻度はトレンド管理により適切に判断する。
- はんだごてなどの治具の管理
  - 非正常作業のはんだごてによる2次汚染に注意する。
  - こてへのPbフリーの明示、使用規則、作業者の教育、定期検査などの対策を実施する。
- めっき工程
  - NiめっきはPb、CrめっきはCrVIの含有量の日常管理が必要。
  - 特にCrは酸化して3価→6価になりやすいので必ず含有量を確認する。
- 洗浄工程
  - 6物質の溶出・付着がないか工程・部材の確認と定期検査を実施する。
- インクなどの副資材
  - インク、接着剤などの副資材は抜けやすいので、注意する。副資材への表示、教育を実施する。
- 梱包材、ラベル
  - 包装材、ラベルはRoHS指令ではなく、欧米の包装材法(94/62/EC(Europe)、米国包装材重金属規制)で規制されており、Pb、Cd、Hg、CrVIの総量が100ppm以下とRoHSよりも厳しいことに注意。
- 客先返却品の措置
  - Pbフリー製品であっても、客先でPb汚染している可能性がある。
  - 客先で開封されている場合は、再出荷時だけでなく、解析・修理時の治具への汚染防止のために、返却品の検査を実施する。

図4. 製造管理のポイント(要注意箇所)

半導体パッケージには、プラスチック成形材料、リードフレームの錫の電気めっきコーティング、リードフレーム合金、及び金ボンディングワイヤなどの多くの均一材料が含まれる。

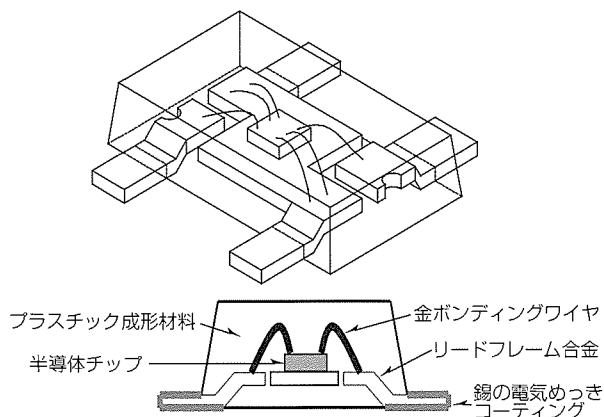
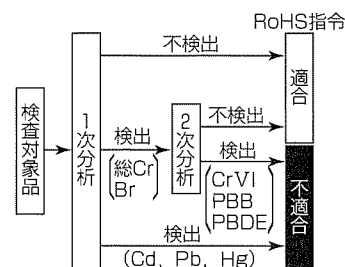


図5. 均質材料の定義

ICP-AES(ICP-Automatic Emission Spectroscopy)、六価クロムは吸光光度法、PBB、PBDEはGC-MS(ガスクロマトグラフ)を用いている。

波光电製品に使用している部材は小型部品であるため、蛍光X線分析は容易ではない。市販のRoHS対応の装置の照射径は1~10mmφであるため、これより小さい部品は複数個並べて測定するなどの工夫が必要である。しかし、部品を平坦(へいたん)に敷き詰められれば問題ないが、円筒形の試料のように、平坦でない場合は、X線回折の影響が生じる。また、めっきなどは薄いため、検出強度が膜厚に影響され、定量的な測定が困難となる。さらに、電子部品は均質材料ベースでもセラミックスや合金など共存成分を含むため、蛍光X線検出器の非線形性により、サムピーク(2つの成分のピークエネルギーの和となるエネルギーに検出されるピーク)が発生するため、あたかも管理対象物質が含まれるように見えたり、ノイズとなって検出感度を低下させる。めっき膜とその下地材料の共存によるサムピークが管理対象物質のピークと重なる場合は、めっき膜を下地から分離して測定するか、厳密な定量分析を行う必要がある。このように面積・厚み・共存元素の補正の技術課題があるため、対応策として、めっき部品のサプライヤーに対してはめっきと下地材料に分離したモニタ試料の作製と含有量の測定を依頼している。

客先によってはRoHSのしきい値より厳しい値での管理を会社方針として要求している場合がある。このような場合は、ICPなどの感度の高い測定が必要になる。また、蛍光X線では総クロム、総Brの分析はできても、六価クロム、PBB、PBDEの分離はできないため、2次分析として一滴抽出法を行い、厳密な定量分析が必要な場合には、六価クロムに対してジフェニルカルバジドを用いた吸光光度法、PBB、PBDEに対してGC-MSを用いる。



- ◆ 1次分析 蛍光X線分析
- ◆ 2次分析 一滴抽出法
- 更に厳密な定量分析が必要な場合
- Pb, Cd, 総Cr : ICP-MS又はICP-AES
- Hg : ICP-MS又は原子吸光
- CrVI : 吸光光度法(ジフェニルカルバジド)
- PBB, PBDE : GC-MS

ICP : アルゴン誘導結合プラズマ分析  
GC-MS : ガスクロマトグラフ質量分析計

図6. RoHS指令の適合判定手順

このような分析には1測定項目について多くの試料が必要のため、めっき膜などの場合は、特別にICP分析用に厚いめっき膜の作製を求めている。

#### 4. 購入部材の管理の課題と対応策

測定精度上の課題について前章で述べたが、製造ばらつき、混入・汚染防止などの品質管理も重要である。製造ばらつきに関しては、全数受入検査は不可能なため、サプライヤーに工程管理を含めた保証を求めている。保証のためのデータとして、以下の4つのデータの入手を行っている。

- (1) 環境リスク物質調査シート
- (2) RoHS指令規制物質調査シート
- (3) 均質部品別分析調査シート
- (4) 不使用保証書

上記(1)の環境リスク物質調査シートは、三菱電機半導体・デバイス事業としての管理対象化学物質約600種類について、製品への含有量調査に使用している。(2)のRoHS指令規制物質調査シートは、部材をRoHS指令の均質材料に分解し、それぞれについてRoHS適合非適合を調査している。また、1次サプライヤーが2次サプライヤーから部材を購入している場合について、不使用保証書の入手有無も調査している。(3)の均質部品別分析調査シートは、RoHS適合のエビデンスとなる分析結果を調査している。以上3つのシートを確認した上で、(4)の不使用保証書を受領している。

また、製造ばらつきなどの可能性が高いハイリスク材料と考えられる図7の部材に関しては、波光電で測定し、確認を行っている。

#### 5. サプライチェーンの課題と対応策

RoHS指令により6物質のしきい値がEU加盟国で共通となったが、業界各社は独自のしきい値を要求しているため、現実には異なるしきい値で管理する必要がある。そのため、顧客要求のしきい値がより厳しい場合は、サプライヤーに対し、含有量の再調査の依頼が必要となる。例えば、検出下限値10ppmの精度でICP-AESで分析していた部材に対し、しきい値5ppmが求められた場合、該当部材を検出下限値2ppmの精度でICP-MSで再分析する必要がある。JGSSSI(グリーン調達調査共通化協議会)でしきい値のガイドラインが決まったが、デファクトスタンダードにはな

- 鉛フリーはんだ 数百ppmのPbを含有。電子部品のリードなどに含まれるPbの溶出のため、はんだディップ槽、洗浄槽、はんだごての管理が必要。
- Ni, Snめっき 製造ばらつきによりPbが混入。
- ねじ, ナット等の3価クロメート皮膜 製造ばらつきによりCrVIが混入。
- 黄銅 原料によりPb, Cdの含有量変動。リサイクル材は要注意。
- 樹脂 難燃剤としてPBB, PBDEを使用。添加剤, 着色剤としてCd, Pbを使用。リサイクル材は要注意。
- ゴム材 添加剤として6物質が混入。
- 副資材 インク, 接着テープ, 印刷紙, 保護シートなどに添加剤として6物質が混入。

図7. ハイリスク材料

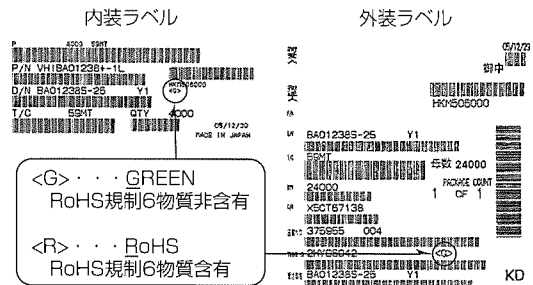


図8. RoHS規制6物質含有/非含有表示

っていない。対応策としては、理論上非含有の部材と検出限界以下であっても不純物として含有する部材とを識別して管理することが重要である。

#### 6. むすび

波光電では、2006年1月1日から、RoHS適合品は<G>を、RoHS除外対象品は<R>を製品に表示して出荷を開始した(図8)。その実施に当たり、波光電では、鉛フリー製品の開発、部材データのデータベース化、特定化学物質管理のための品質管理規則の見直し、測定技術の立ち上げ、サプライヤーからの不使用保証書の入手など様々な課題を解決してきた。しかし、将来に向けて環境問題はますます厳しくなり、管理物質の種類が増加とともに、サプライチェーンによる管理がますます重要になると考えられる。波光電では、今後も、サプライヤーと協調しながらエコプロダクツを目指した特定化学物質削減の課題に取り組む考えである。



# 特許と新案 \* \* \*

三菱電機は特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

## 光半導体素子モジュール 特許第3334381号(特開平8-160259)

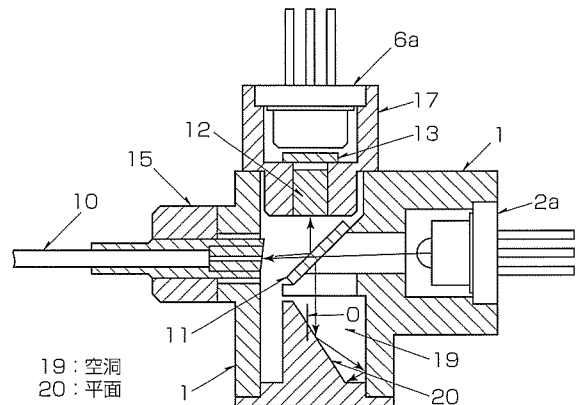
この発明は、光通信において波長多重により双方向通信を行う光半導体素子モジュールに関するものである。

このモジュールは双方向通信用のため、送信用光半導体素子(2a:発光素子)と受信用光半導体素子(6a:受光素子)が同一パッケージに組み込まれるので、従来の半導体光素子モジュールでは、モジュール内部での光の反射等による近端漏話を低減させるために光分離フィルタ(11)への要求性能の増加によるコストの増加、バンドパスフィルタへ(13)の要求性能の増加と枚数の増加によるコストの増加を生じる課題があった。

この発明では、光分離フィルタ(11)等で発生した近端漏話の原因となる迷光成分をモジュールケース内部の光終端器(0)で吸収し、吸収できなかった迷光成分を受光素子(6a)に入射しない方向に反射させることにより近端漏話を低減させた。

発明者 根本廣文, 須田 博, 中村 猛, 鈴木昭伸

図は、光分離フィルタ(11)を介在して受光素子(6a)と向かい合う位置に空洞(19)を持つ楔(くさび)型の光終端器(0)を設け、光終端器(0)で迷光成分を吸収することにより近端漏話の低減をした例である。



## 光変調器モジュール 特許第3553222号(特開平9-90302)

この発明は、高速・長距離光通信の送信器に用いられるキーデバイスで、高速でデジタル変調したレーザ光を発生する光変調器集積型半導体レーザを内蔵した光変調器モジュールに関するものである。

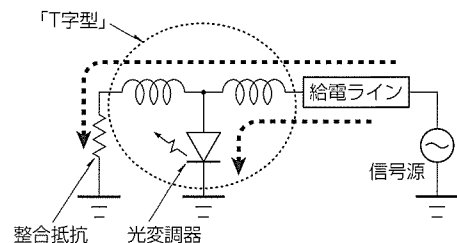
光変調器を2.5Gbps(ギガビット/秒)以上の高速で変調しようとするとき、光変調器の高周波インピーダンス(高周波に対する抵抗)が低いために、給電ラインとの不整合を生じて、高周波信号が光変調器に入らずに大部分が反射されてしまうという問題があり、高速変調での大きな障害であった。

この発明では、図のように、給電ラインと整合抵抗が光変調器を挟んで“T字型”になるようにワイヤで接続して給電する。このT字型の給電方式により、変調器と整合抵抗を結ぶワイヤのインダクタンス成分が変調器の高周波での

発明者 石村栄太郎, 宮崎泰典, 河野 実

インピーダンス低下を補うため、変調器で反射される高周波信号の量を低減できる。

この方式では、従来型のように配線ワイヤを極端に短くする必要がなく、また、配線ワイヤの長さの“ばらつき”に対してもマージンがあり、安価で量産性が格段に向上する。この発明は、2.5~40Gbpsまでの幅広い用途の光変調器モジュールに適用可能である。



今回の発明(T字型給電回路)



# 特許と新案 \* \* \*

三菱電機は特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

## 負電圧発生回路 特許第3561060号(特開平9-163721)

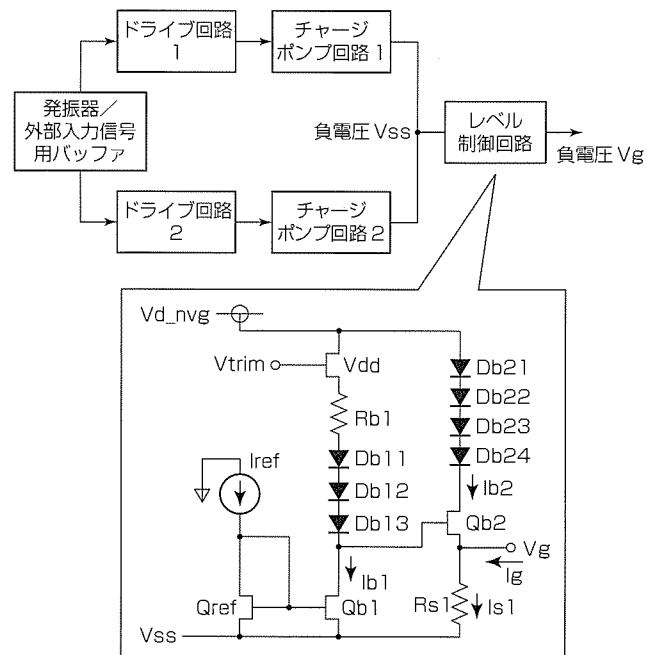
発明者 山本和也, 前村公正

この発明は、GaAsFET電力増幅器との集積化に適した負のゲートバイアス電圧を供給する負電圧発生回路の回路構成に関するものである。GaAsFET電力増幅器は適当なドレインバイアス電流を設定するために、負のゲートバイアス電圧を供給する外部のSi負電圧発生回路を必要とする。そのため、増幅器周辺の実装面積が大きくなり、小型・低コスト化の障害となっていた。一方、高価なGaAs基板上にSi負電圧発生回路と同じ構成の回路を作製するとチップサイズが大きくなり、低コスト化を実現できないという問題があった。

この発明の負電圧発生回路は、(i)チャージポンプ回路を相補構成にすることで、互いの回路から発生した負電圧のリプルを低減できるだけでなく、レベル制御回路出力部のソースフォロワによってもリプルを低減できるので、小さな平滑容量においても非常に低リプルな負のバイアス電圧を電力増幅器に供給できる。そのため、負電圧発生回路と電力増幅器との間に外付けで設けられていた低域フィルタが不要となり、回路規模を大幅に削減できるだけでなく、移動体通信でよく用いられる高速のバースト動作にも対応できる。また、(ii)レベル制御回路において、ソースフォロワのゲート電圧を一定にするためにカレントミラー回路を設けることで、FET電力増幅器の高出力動作時にゲート電流(シンク電流)が流れ始めた場合でも、レベル制御回

路の出力電圧を一定に保ち、FET増幅器の破壊や出力電力変動を抑制する機能を持っている。

以上述べたように、この発明の負電圧発生回路によって、GaAs基板上に集積化が容易でかつFET電力増幅器のゲートバイアス供給に適した負電圧を小回路規模で精度良く提供できる。



### <本号記載の商標について>

本号に記載されている会社名、製品名はそれぞれの会社の商標又は登録商標である。

### <次号予定> 三菱電機技報 Vol.80 No.6 特集「パワーデバイス応用システム」

<p>三菱電機技報編集委員</p> <p>委員長 三嶋吉一</p> <p>委員 小林智里 増田正幸 山木比呂志 佐野康之 中山保夫 世木逸雄 岡本尚郎 河合清司 長谷勝弘 木槻純一 逸見和久 光永一正 黒畑幸雄 赤川正英</p> <p>事務局 園田克己</p> <p>本号取りまとめ委員 石川高英</p>	<p>三菱電機技報 80巻5号 2006年5月22日 印刷 (無断転載・複製を禁ず) 2006年5月25日 発行</p> <p>編集人 三嶋吉一</p> <p>発行人 園田克己</p> <p>発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 e-ソリューション&amp;サービス事業部 〒102-0073 東京都千代田区九段北一丁目13番5号 日本地所第一ビル 電話(03)3288局1847</p> <p>印刷所 株式会社 三菱電機ドキュメンテクス</p> <p>発売元 株式会社 オーム社 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 電話(03)3233局0641</p> <p>定価 1部945円(本体900円)送料別</p>
<p>URL <a href="http://www.MitsubishiElectric.co.jp/giho/">http://www.MitsubishiElectric.co.jp/giho/</a></p> <p>英文季刊誌「MITSUBISHI ELECTRIC ADVANCE」がご覧いただけます URL <a href="http://global.mitsubishielectric.com/company/r_and_d/advance/advance.html">http://global.mitsubishielectric.com/company/r_and_d/advance/advance.html</a></p>	<p>三菱電機技報に関するお問い合わせ先 cep.m-giho@ml.hq.melco.co.jp</p>

# 16倍速2層DVD±R記録用赤色350mWレーザ “ML1XX27シリーズ”

## スポットライト

— 業界最高レベルのパルス出力350mWを実現 —

パソコン等の外部記録装置として急速に普及している記録型DVD装置は、記録速度の高速化が求められております。また、記録容量の増加のため、単層ディスクの2倍近い記録容量を持つ2層ディスク<sup>(注1)</sup>が普及しつつあります。

現在、光出力250~300mWクラスの赤色半導体レーザ(Laser Diode: LD)を用いて単層ディスクでは16倍速記録の装置が商品化されていますが、2層ディスクに対しては8倍速記録までとなっており、2層ディスクに16倍速で記録するためには350mWの光出力が求められています。

今回、半導体レーザの素子構造の更なる最適化を進めることにより、記録型DVD装置用としては最高レベルの光出力350mWの赤色高出力半導体レーザを開発しました。

### 【特長】

- (1) 低損失光導波路構造の採用による低動作電流の実現  
(標準: 450mA@ $T_c=25^\circ\text{C}$ ,  $P_o=350\text{mW}$ , パルス)
- (2) 長共振器構造の採用により光出力350mWまでキンクフリー特性<sup>(注2)</sup>を実現
- (3) 75°Cでの高温動作を実現
- (4) 端面窓構造<sup>(注3)</sup>の採用により優れた高信頼性を実現

図1にφ5.6パッケージ型ML101J27の外観、図2にパルス駆動時の光出力-電流特性、図3にビーム広がり角、表1に主な仕様を示します。

### 【用途】

2層DVD±R16倍速記録ドライブに最適です。

- (注1): 片面2層記録で8.5Gバイトを実現。  
 (注2): LDの光出力-電流特性における非直線性のこと。キンクが生じる光出力で実効的な最大光出力が制限される。  
 (注3): LDの光出射端面を工夫してレーザ光を端面で吸収されないようにした構造。端面での光吸収により生じた発熱による結晶破壊(瞬時的端面破壊現象)を避けることにより大きな光出力と高い信頼性を得ることが可能となる。

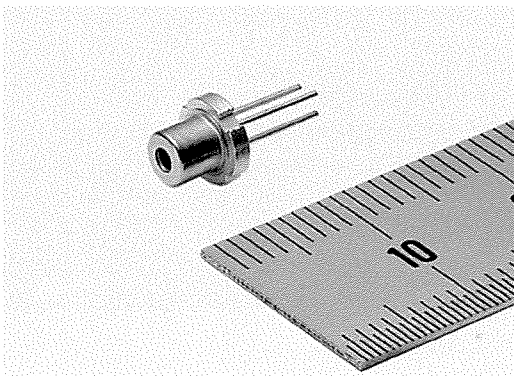


図1. φ5.6パッケージ型ML101J27の外観

### 【今後の展開】

記録速度としては最高となる16倍速に到達しているため、今後は光ピックアップモジュールの部品数削減のための2波長LDや、スリムドライブ向け小型パッケージタイプのLDの開発を検討しております。これらの製品を早期に市場投入できるように開発を進めていきます。

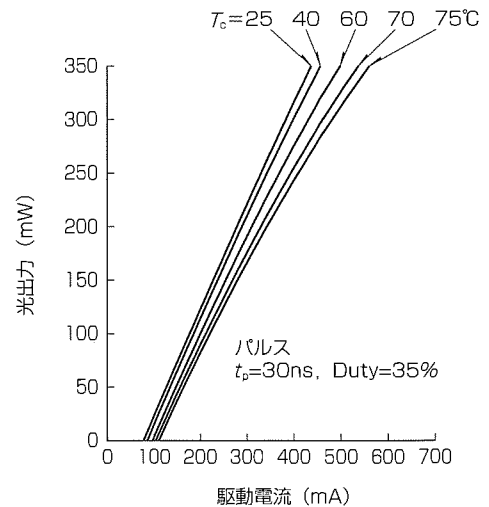


図2. 光出力-電流特性(パルス駆動)

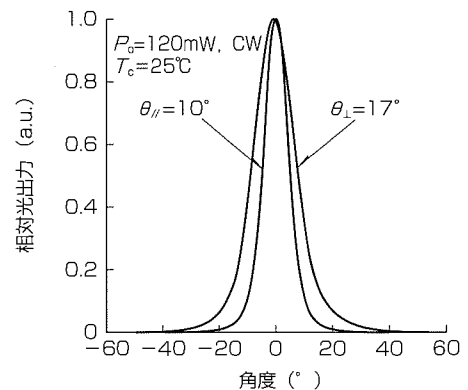


図3. ビーム広がり角

表1. 主な仕様

( $T_c=25^\circ\text{C}$ )

機種名		ML1XX27シリーズ
定格光出力(パルス)		350mW
中心波長		659nm (typ)
発振しきい値電流		80mA (typ)
動作電流	$P_o=120\text{mW}\cdot\text{CW}$	200mA (typ)
	$P_o=350\text{mW}\cdot\text{パルス}$	450mA (typ)
ビーム広がり角	平行(120mW, CW)	10° (typ)
	垂直(120mW, CW)	17° (typ)
動作温度		-10°C~+75°C

CW: 連続動作時

$P_o$ : 光出力

住所: 〒100-8310 東京都千代田区丸の内2-7-3 (東京ビル)

会社名: 三菱電機株式会社 お問い合わせ先: 半導体・デバイス第二事業部 高周波光デバイス営業部 TEL 03-3218-3331