

# InP系ミキサを用いた 100Gbit/s 小型コヒーレント光受信器

立 岩 義 弘\*・武 智 勝・八 木 英 樹  
米 田 昌 博・山 路 和 宏・藤 村 康

100 Gbit/s Small Coherent Receiver Using InP-Based Mixer — by Yoshihiro Tateiwa, Masaru Takechi, Hideki Yagi, Yoshihiro Yoneda, Kazuhiro Yamaji and Yasushi Fujimura — For next generation coherent optical transmission systems, compact transceivers like CFP (100G Form-factor Pluggable) or CFP2 form factor have been highly anticipated. The authors have successfully developed a compact coherent receiver for such applications. The InP-based MMI (Multi-Mode Interferometer)-mixer chip with an integrated PD (Photo Diode) is the key element in fabricating a compact receiver module. The transmission performance of the prototype is same as a conventional large form factor receiver.

Keywords: coherent receiver, MMI, DP-QPSK, mixer, PD

## 1. 緒 言

近年、伝送容量の加速度的増大に対応するため、DP-QPSK<sup>\*1</sup>等の多値変調方式を用いるコヒーレント光<sup>\*2</sup>通信用デバイスの開発が進められている。

コヒーレント光通信の機器の仕様に関してはOIF<sup>\*3</sup>により規格が制定されており、受信器の最大サイズは27 mm × 50 mm × 9 mm とされている。しかし、次世代向けとしてより小型化したCFP/CFP2<sup>\*4</sup>サイズの小型トランシーバの要求が高まっていることから、それらの小型機器へ搭載するためには、受信器も更に小型化する必要がある (図1)。

## 2. 開発目標・仕様

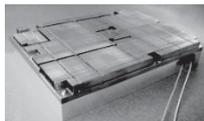
受信器モジュールの外形サイズは、図1に示した通り26 mm × 15 mm を目標とした。

その他、主要な目標特性を表1に示す。

表1 目標仕様

項目	Min.	Typ.	Max.	Unit	Comment
動作温度	0	—	75	℃	
波 長	191.15 1528.77	—	196.1 1568.36	THz nm	
受光感度	50	—	90	mA/W	局発光側
	40		80		信号光側
帯 域	22	—		GHz	
CMRR	—	—	-20	dBe	DC

OIF準拠トランスポンダ(\*)



18×13 cm<sup>2</sup>

OIF準拠受信器



40~50×27 mm<sup>2</sup>

↓ 小型化

CFP



14.5×8.2 cm<sup>2</sup>

CFP2



10.75×4.15 cm<sup>2</sup>

小型トランシーバ



26×15 mm<sup>2</sup>  
(目標)

図1 光トランシーバおよび受信器サイズ

(\*出典：日本電気株式会社WEBサイト掲載 2011年7月25日付プレスリリース)

そこで今回、InP系ミキサ集積受光素子<sup>(1),(2)</sup>を使用した小型受信器を開発したので、その結果を報告する。

動作温度は0~75℃。1528.77~1568.36 nmの波長範囲において、受光感度は40~90 mA/Wとする。

-3dB帯域については22 GHz以上、CMRR<sup>\*5</sup>は-20 dBe以下を目標とした。

## 3. 受信器小型化の課題

コヒーレント受信器では、信号を多重化した入力光から個々の信号を分離するため、偏波ビームスプリッタ (PBS) による偏波分離、ミキサ (90°ハイブリッド)<sup>\*6</sup>による位相分離等の処理が行われる (図2概念図参照)。

従来のミキサに関しては、2012年までのSiO<sub>2</sub>導波路による例では、ビームスプリッタも含めた面積で144 mm<sup>2(3)</sup>、

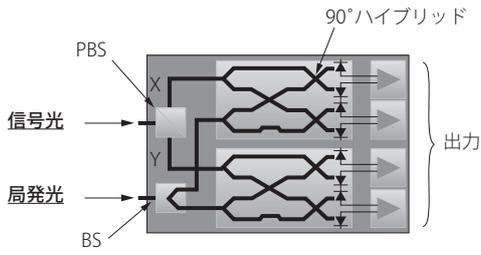


図2 受信器概念図

266 mm<sup>2</sup>(4)等という値が報告されている。このサイズは小型受信器に搭載するには非常に大きいため、受信器を小型化するにはミキサの小型化が必須である。

これらのミキサ面積の大部分は導波路の引きまわしであり、曲げ半径を小さく出来ない事が面積縮小を制限する主要因となっているため、導波路の曲げ半径を小さくできるInP系材料によるミキサチップを受信器に搭載する試みを行った。

#### 4. ミキサ集積型受光素子

今回採用したデバイスは、InP基板上に形成されたGaInAsPコア層を持つMMI<sup>\*7</sup>ミキサ(90°ハイブリッド)部と、GaInAs吸収層を持つ受光素子(PD)部、およびキャパシタまでをモノリシック集積した構造を持つ(図3)。

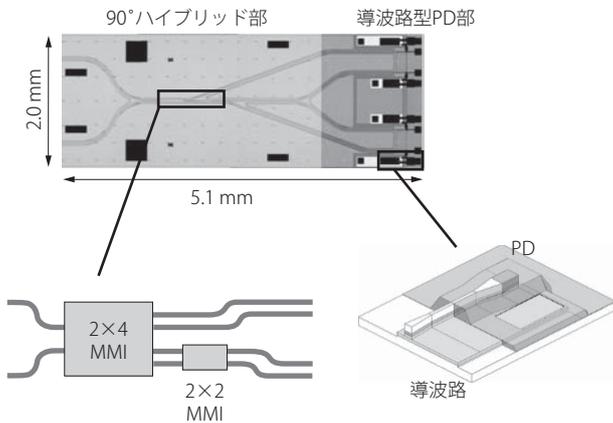


図3 InP系ミキサ集積PD

導波路は選択成長によるバットジョイント構造で接続されており、チップサイズは2.0 mm × 5.1 mmと、非常に小さくなっている。

このチップの特性としてPD部の高周波応答特性(図4)、ミキサ部のトランスミッタンス(図5)を示す。

帯域はおよそ20 GHz@-3dB、1530~1570 nmの波長範囲におけるトランスミッタンスの変動は、およそ2 dB程度に抑えられている。

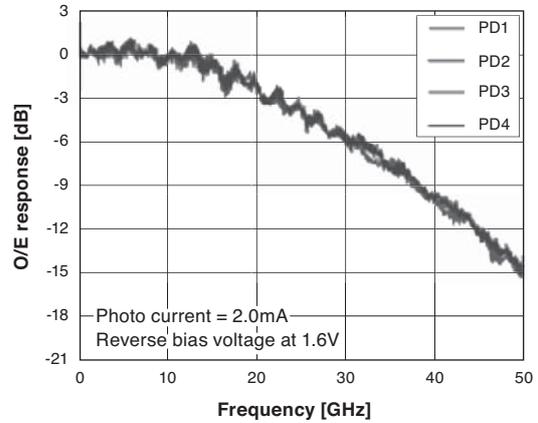


図4 高周波応答特性

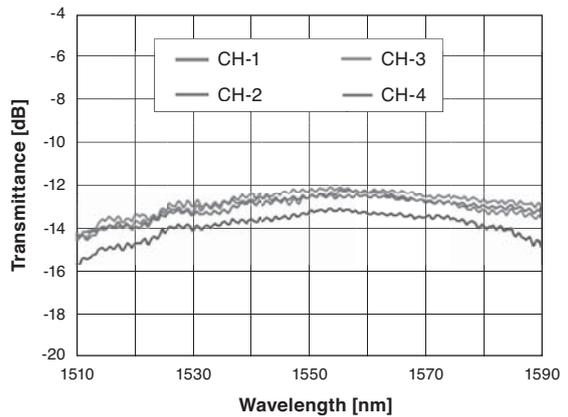


図5 トランスミッタンス

#### 5. 受信器構成

図6に受信器の構造図を示す。

ミキサ(90°ハイブリッド)集積PDチップは偏波毎に2個使用し、偏波分離処理部分はレンズやビームスプリッタ等の光学部品で構成した。

入射された信号は、局発光、信号光ともに第一レンズによりコリメート光<sup>\*8</sup>に変換される。

信号光の経路では、パワーモニタPD用のビームスプリッタ(BS)を通った後、偏波ビームスプリッタ(PBS)によって偏波が分離される。直行する経路はスキュー<sup>\*9</sup>調

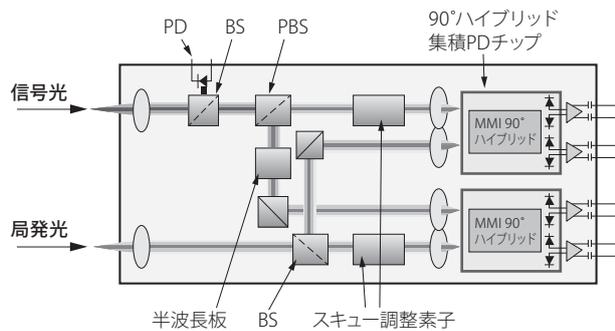


図6 受信器構造図

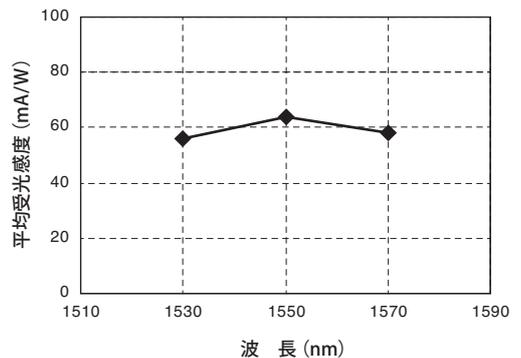


図8 受光感度波長依存

整用素子を通り第二レンズでミキサ集積チップPDに集光され、もう片方は偏波方向を揃えるため半波長板を通した後ミラーで反射、別のミキサ集積PDチップに集光される。

一方、局発光の経路では、入射された光はBSで2光路に分岐され、その後は半波長板が無い事を除けば信号光経路と同様に2個のミキサ集積型PDチップに振り分けて集光される。

その後、PDの光電流はTIA<sup>\*10</sup>で電圧信号に線形に変換され、後段の電気回路で信号処理される。

上記の構成により作成した受信器について、OIF準拠受信器との比較写真を図7に示す。

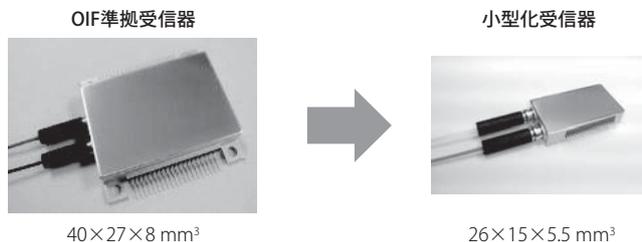


図7 受信器パッケージ比較

InP ミキサ集積型受光素子、および個別の光学部品により構成した偏波分離処理を併用する事により導波路引き回しの面積を大幅に削減した結果、受信器のパッケージサイズは26 mm×15.0 mm×5.5 mmを達成した。このサイズはCFP2への搭載も充分可能であり、OIF仕様品の最大値と比較するとフットプリントで約1/3以下となる。

## 6. DC特性、温度依存性

上記の構成により小型コヒーレント受信器を試作し、特性評価を行った。

受光感度は、信号光を入力した場合の平均受光感度で約

60 mA/W という良好な値が得られている (図8)。

なお、ミキサ集積PDチップの出力は個々のチャンネル毎にペアとなる反転信号になっており、感度バランスが変動するとTIA入力振幅の変動として観測されることから、偏差は十分に安定している必要がある。

そこで、各チャンネル出力間の感度偏差の温度変動を確認した結果を図9に示す。

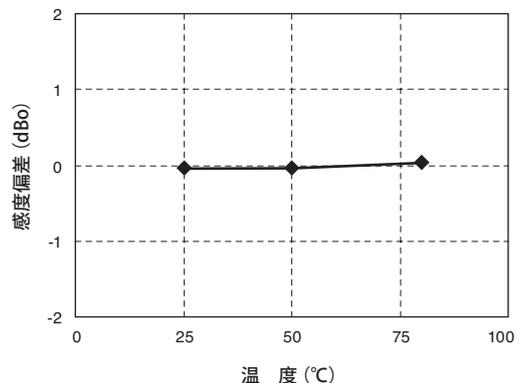


図9 受光感度偏差温度依存

偏差はほぼ温度依存性が無く、また安定して0.3 dBo程度と小さく、問題ない値が得られた。

## 7. 高周波特性

低周波数帯における利得で規格化した出力の周波数依存性を図10に示す。

帯域は、目標である22 GHz@-3dBを十分に満足する結果が得られた。

なお、受信器の後段に接続される信号処理部の特性に合わせて帯域調整を行う必要があるが、本受信機に於いては、

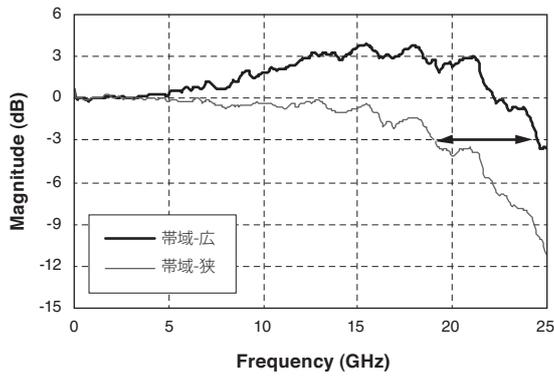
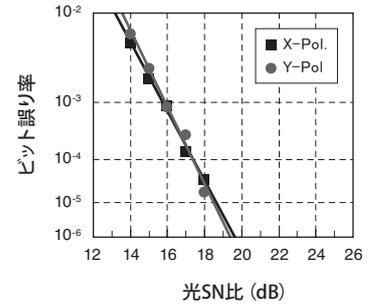


図10 S21 (TIAによる帯域調整)

測定条件  
 Bit Rate : 128Gb/s  
 Modulation : DP-QPSK  
 Connection : Back-to-Back  
 PRBS :  $2^9-1, 2^{11}-1$   
 Wavelength : 1550.2 nm (193.4 THz)  
 Power : LO: +10 dBm, Signal: -10 dBm



コンスタレーション  
 @光SN比20dB/0.1nm

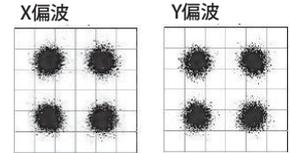


図12 伝送特性

およそ 19 ~ 24 GHz の範囲で調整が可能である。

次に、不要な同相信号を除去する能力を示す CMRR の結果を図11に示す。

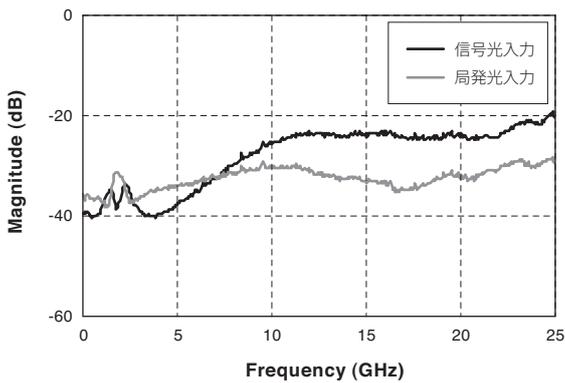


図11 CMRR

CMRRは25 GHzまで-20 dBを下回る良好な値が得られており、目標は達成している。

## 8. 伝送特性

最後に、ビットレート 128 Gbit/s における DP-QPSK 信号の伝送特性の結果を図12に示す。

光 SN 比は良好な値が得られており、例としてビットエラーレートが  $10^{-5}$  の時では約 18.3 dB/0.1nm となっている。コンスタレーション<sup>\*11</sup>を見ても、明瞭な状態である事がわかる。

## 9. 結 言

100 Gbit/s 用コヒーレント受信器を小型化する検討の結果、従来の SiO<sub>2</sub> -PLC ではサイズ縮小が難しいことから InP 系 MMI ミキサを 90° ハイブリッドとして採用、ミキサと PD、キャパシタまでをモノリシック集積したチップを導入した。

また、偏波分離等の処理部分については、レンズやミラー、ビームスプリッタ等の個別部品を使ったマイクロオプティクスで構成した。

その結果、導波路の引き回しによる占有面積を大幅に削減し、パッケージサイズ 26 mm × 15 mm × 5.5 mm と、CFP/CFP2 にも搭載可能なサイズに小型化したコヒーレント受信器モジュールを実現した。

試作した小型受信器は、非常に小型でありながら、従来品 OIF 準拠受信器と比較しても遜色のない、良好な特性が得られた。

## 用語集

### ※1 DP-QPSK

Dual Polarization-Quadrature Phase Shift Keying : 偏波多重4位相偏移変調。QPSKは90°位相をずらした2つの信号光を重ね合わせる事により2bitの情報を伝送する通信方式。DP-QPSKは、QPSK信号を2つの偏波に載せることで、計3bitの情報を伝送する。

### ※2 コヒーレント光

位相や波長が揃った光。可干渉性に優れ、信号を多重に重ね合わせて伝送する多値変調通信に用いられる。

※3 OIF

Optical Internetworking Forum : 光ネットワーク技術に関する業界団体。

※4 CFP/CFP2

100G Form-factor Pluggable。40/100 Gbit/s通信機器に関するMSAにより定められたトランシーバの規格。

※5 CMRR

Common Mode Rejection Ratio : 差動信号を扱うデバイスにおいて、同相信号を除去する能力を測る指標となる値。入力を  $i_1, i_2$  とした場合、 $(|i_1| - |i_2|) / (|i_1| + |i_2|)$  で表される。

※6 ミキサ (90°ハイブリッド)

コヒーレント受信器においては、信号光と局発光を干渉させて同相成分と直交成分を出力する。

※7 MMI

Multi-mode Interference : 多モード干渉。

※8 コリメート光

収束、拡散せずに伝播する並行光。

※9 スキュー

チャンネル間の位相差、ディレイ。

※10 TIA

Trans Impedance Amplifier : 受光素子からの微小電流を大信号電圧に変換する増幅器。

※11 コンスタレーション

信号空間ダイアグラム。複素平面上に、デジタル変調された信号をプロットした図。

参 考 文 献

- (1) H. Yagi et al., "High-Efficient InP-Based Balanced Photodiodes Integrated with 90° Hybrid MMI for Compact 100 Gb/s Coherent Receiver", OFC/NFOEC2013.
- (2) 八木 他、「バットジョイントによるInP系90°ハイブリッド集積型pin-PDの高感度・広帯域動作」、2013年電子情報通信学会総合大会 (C-4-15)
- (3) 井上 他、「1.8%-Δ石英系PLCによる超小型PBS集積コヒーレントミキサ」、2011年電子情報通信学会総合大会 (C-3-24)
- (4) 倉田 他、「DP-QPSK信号復調用ヘテロジニアス集積型光デバイス」、2012年電子情報通信学会エレクトロニクスソサエティ大会 (C-3-9)

執 筆 者

立岩 義弘\* : 伝送デバイス研究所 主査



武智 勝 : 伝送デバイス研究所 主席



八木 英樹 : 伝送デバイス研究所 主査



米田 昌博 : 伝送デバイス研究所 グループ長



山路 和宏 : 伝送デバイス研究所 主席



藤村 康 : 伝送デバイス研究所 グループ長



\*主執筆者