



Lバンド波長帯コヒーレントレシーバ

Coherent Receivers for the L-band

後藤 美紗樹*

Misaki Gotoh

櫻井 謙司

Kenji Sakurai

黒川 宗高

Munetaka Kurokawa

芦澤 建

Ken Ashizawa

米田 昌博

Yoshihiro Yoneda

藤村 康

Yasushi Fujimura

光通信伝送量の急激な増大に対応するため、デジタルコヒーレント光通信技術を用いた100Gbit/sを超える大容量伝送システムが世界中で本格的に導入されている。更なる伝送容量の増大に向けて、従来のCバンド波長帯に加え、Lバンド波長帯を利用した多重化が進められ、Lバンド波長帯に対応した各光部品を開発することが必要とされている。我々は開発済みのCバンド波長帯用コヒーレントレシーバをベースに、Lバンド波長帯で高受光感度を有する小型コヒーレントレシーバを開発したので、その成果を報告する。

As a solution to the rapidly increasing optical traffic, 100 Gbit/s transmission systems using the digital coherent optical communication technology has been adopted in high-speed and large-capacity optical transmission. Optical transceivers are required to be operable in the long wavelength band (L-band) in addition to the conventional band (C-band). Based on the design of C-band receivers, we have developed compact optical receivers for the L-band operation. This paper presents the design and typical characteristics of the new optical receivers.

キーワード：Lバンド、コヒーレントレシーバ、90° ハイブリッド

1. 緒 言

近年、様々な分野へのIoT (Internet of Things) の拡大や高精細度映像配信、新しいクラウド技術を使用したアプリケーションなど多様化したネットワークの需要は急激に増大している。それに対応するため、現在、偏波多重4値位相変調 (DP-QPSK) ^{*1}などを用いたデジタルコヒーレント光通信技術を採用した100Gbit/sを超える大容量伝送システムが、メトロから幹線系まで世界中で本格的に導入され稼働している。

しかし、ネットワークを流通するデータはさらに高速・大容量となることが想定されており、その手段として従来のCバンド波長帯に加え、Lバンド波長帯を利用した多重化やシンボルレート的高速化、更なる多値符号化などが求められている。特にLバンド波長帯への拡張は2つの帯域を並列に用いることで既設ファイバを利用しながら伝送容量を倍増できるため、他の手段よりも容易に伝送容量を増やすことが可能である。

当社は、すでにCバンド波長帯にてCFP2光トランシーバに搭載可能な光受信器として小型コヒーレントレシーバ (Micro-ICR) を開発⁽¹⁾し、良好な特性を得ている。

今回は、Lバンド波長帯にて高感度特性を有する小型コヒーレントレシーバを開発したので、その結果を報告する。

示す。

パッケージサイズは12.0×22.7×4.5mmでCバンド波長帯用Micro-ICRと同様にOIF^{*2}のMicro-ICR Type1規格⁽²⁾に準拠しており、CFP2光トランシーバなどに搭載が可能である。

デジタルコヒーレント光通信のレシーバは位相変調、偏波多重された信号光を水平偏波 (X偏波)、垂直偏波 (Y偏波) それぞれに偏波分離し、局発光と干渉させることで、各々の偏波の同相 (I) 成分、直交 (Q) 成分を検出し、4対 (XI/XQ/YI/YQ) の高速差動電気信号に変換する。各成分を正確に分離し、分離した信号間の振幅および位相を安定して保持しながら光から電気への変換を行うことが必要である。

本デバイスは、Cバンド波長帯用と同様に当社の高集積化、高密度実装技術を用いて設計を行った。まず、入射された信号光はパワーモニタPD (MPD) 用のビームスプリッタ (BS)、可変光減衰器 (VOA) を通った後、偏波ビームスプリッタ (PBS) によってX/Y偏波が分離される。Y偏波は二つの偏波間の光路差を補償するスキュー調整素子 (SC) を通った後、90°ハイブリッド集積型受光素子の入力導波路に集光される。一方、X偏波はミラーで反射され、偏波方向を揃えるための半波長板を通った後、別の90°ハイブリッド集積型受光素子の入力導波路に集光される。局発光においては偏波方向を揃えるための偏光子を通った後、BSで二光路に分岐され、それぞれの90°ハイブリッド集積型受光素子の入力導波路に集光される。90°ハイブリッド集積型受光素子内にて信号光と局発光を干渉させ、各成分に

2. コヒーレントレシーバの構成

2-1 デバイス構成

写真1にコヒーレントレシーバの外観、図1に構造図を

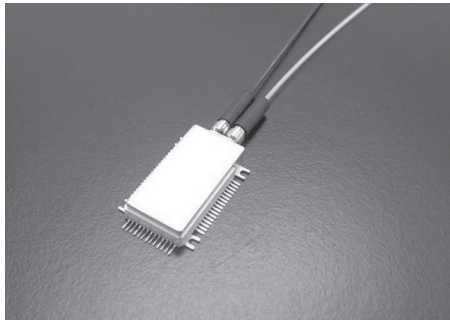


写真1 コヒーレントレシーバ外観

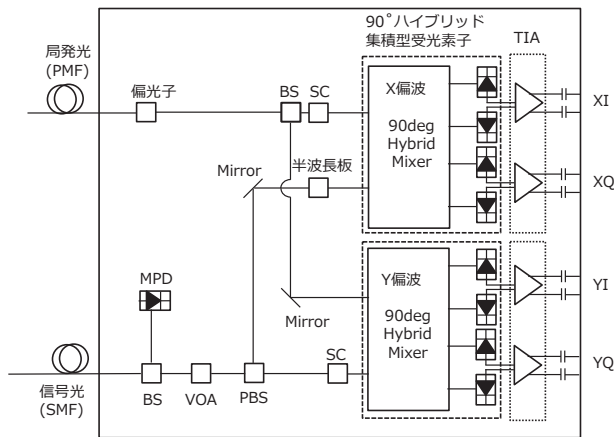


図1 コヒーレントレシーバ構造図

分離し、2つのPD出力を合波するバランス型フォトダイオード (PD) で光→電流変換される。その後、トランスインピーダンスアンプ (TIA) で電圧変換、増幅され、高周波端子から出力される。

基本的な構成はCバンド波長帯用コヒーレントレシーバと同じだが、今回、Lバンド波長帯受信に伴い、90°ハイブリッド集積型受光素子および光学部品の透過、反射特性をLバンド波長帯用に最適化を行った。

2-2 90°ハイブリッド集積型受光素子

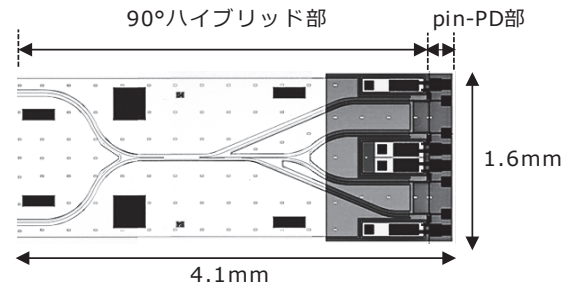
当社が保有するInP系光集積技術によって実現された90°ハイブリッド集積型受光素子は、コヒーレントレシーバの特性を決める極めて重要な部品である。

図2 (a) に90°ハイブリッド集積型受光素子の上面写真、図2 (b) にブロック図を示す。

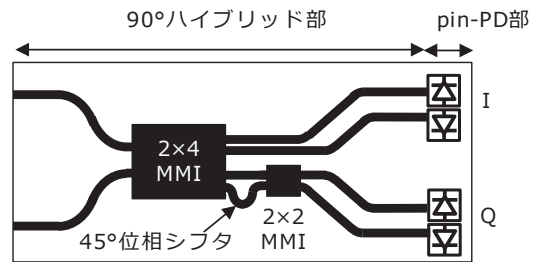
90°ハイブリッドと4つの導波路型pin-PDがInP基板上に1チップ集積されている。

90°ハイブリッド部は2×4MMI※3、45°位相シフタ、2×2MMIを組み合わせた構造を持つ。この構造により、出力導波路の交差を回避して各チャンネルのPDに接続できるため、光学損失やクロストークが生じない特徴がある⁽³⁾。

導波路型pin-PD部は、90°ハイブリッド出力導波路のコ



(a) 上面写真



(b) ブロック図

図2 90°ハイブリッド型集積受光素子

ア層 (i-GaNAsP) とPDの光吸収層 (i-GaNAs) が、バットジョイント (Butt-Joint) 結合されており、高感度化に有利な構造となっている⁽³⁾。

90°ハイブリッド集積型受光素子の感度特性は、この90°ハイブリッド部の透過率とPD部の受光感度の積で決まり、それぞれをLバンド波長帯受信に対して最適化する必要がある。

90°ハイブリッド部は、バンド中央波長で透過率が最大になるように2つのMMIと45°位相シフタの寸法を最適化している。Cバンド波長帯では、1550nmをバンド中央波長として設計を行っているが、Lバンド波長帯では、1587nmをバンド中央波長として設計を行った。実際の透過率を測定した結果を図3に示す。Lバンド波長帯において、中央波

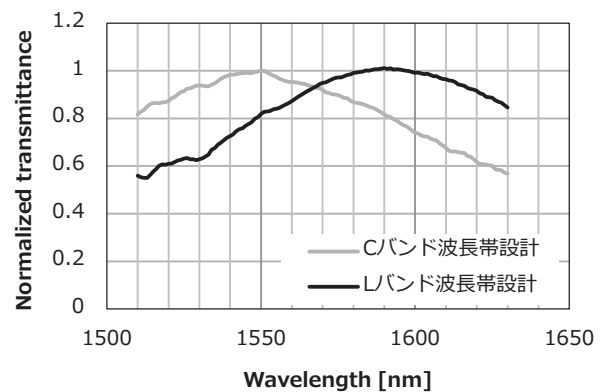


図3 90°ハイブリッドの透過スペクトル

長での規格化透過率は、Cバンド波長帯設計と比較して遜色ない結果が得られている。

導波路型 pin-PD 部は、Lバンド波長帯受信では、GaInAs の吸収端波長に近いため、温度変化に対する吸収係数の変動が大きく、特に低温で急激な感度の低下が懸念される。そこで、低温動作環境下での吸収係数の低下を補償するため、光伝搬方向の吸収層長さについて PD を導波路方向に長く調整することで最適化した。図4に、実際に90°ハイブリッド部のない pin-PD 部のみを作製した単体素子のCバンド波長帯およびLバンド波長帯における25°C、波長1615nm 条件で規格化した受光感度の温度特性 (-5, 25, 85°C) を示す。Lバンド波長帯における低温下での感度低下が抑制できていることを確認した⁽⁴⁾。

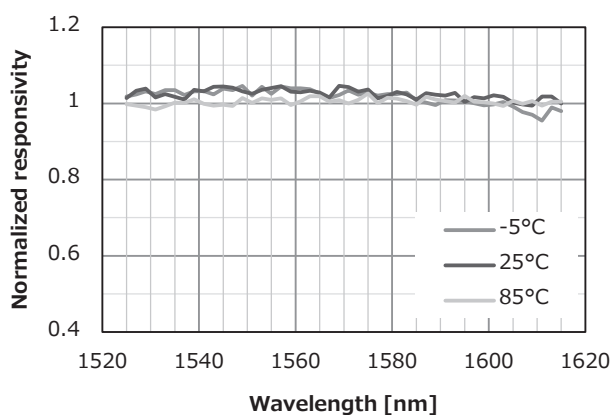


図4 pin-PD単体の規格化受光感度

3. 開発目標特性

表1に、Lバンド波長帯コヒーレントレシーバの開発目標仕様を示す。OIFのMicro-ICR Class20規格をベースに、

表1 目標特性

項目	条件	最小値	最大値	単位
動作温度		-5	85	°C
動作周波数	L-band	186.0	191.5	THz
動作波長		1565.50	1611.79	nm
受光感度	信号光	0.05	0.1	A/W
	局発光	0.05	0.1	
偏波消光比		20	-	dB
位相エラー		-7.5	7.5	deg
帯域	-3dB	20	-	GHz
同相除去比	信号光	DC	-20	dB
		~20GHz	-16	
	局発光	DC	-16	
		~20GHz	-14	

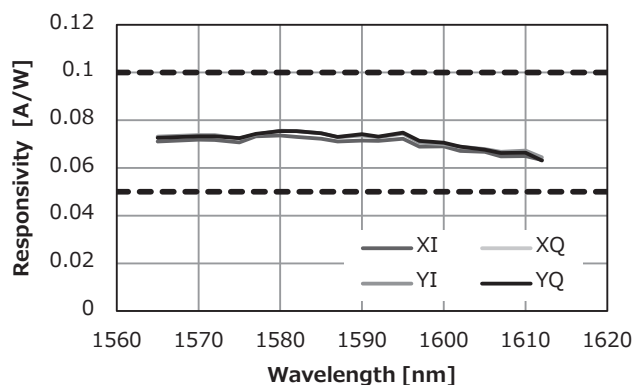
Cバンド波長帯からLバンド波長帯へ拡張できるよう当社Cバンド波長帯用コヒーレントレシーバと波長帯以外では同等特性を目標とした。

4. コヒーレントレシーバ特性

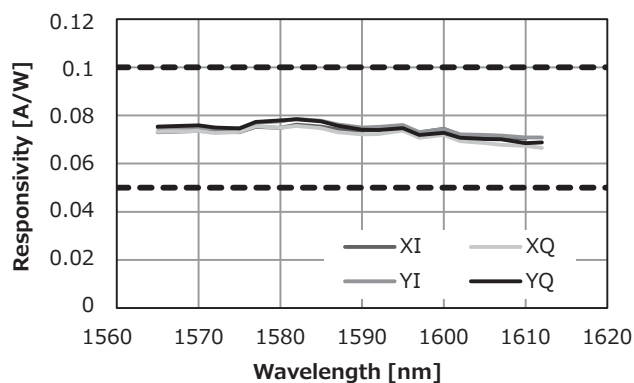
4-1 受光感度特性

コヒーレントレシーバのLバンド波長帯における信号光受光感度の波長依存性を図5 (a) に、局発光受光感度の波長依存性を図5 (b) に示す。信号光・局発光共に動作波長範囲内で0.06A/W以上の受光感度が得られており、目標特性を達成している。各チャンネル間の偏差も小さく、非常に良好な特性と言える。当社のCバンド波長帯用コヒーレントレシーバの受光感度と同等の特性であり、Lバンド波長帯で最適化した90°ハイブリッド集積型受光素子が設計通りに作製できたことを示している。

また、受光感度の温度依存性を図6に示す。図6 (a) は信号光、図6 (b) は局発光の温度依存性である。受光感度は全チャンネルの平均値を用いており、動作温度範囲内で受光感度変動は非常に小さいことを確認した。



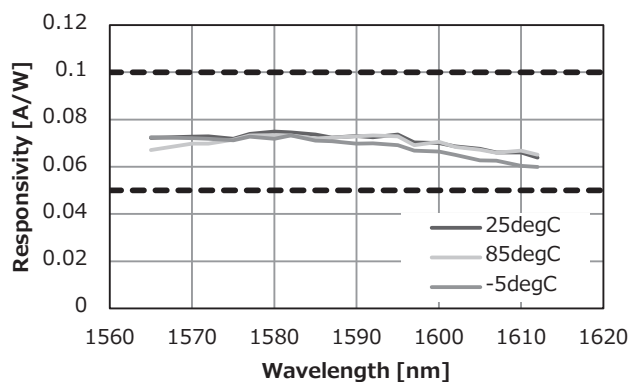
(a) 信号光



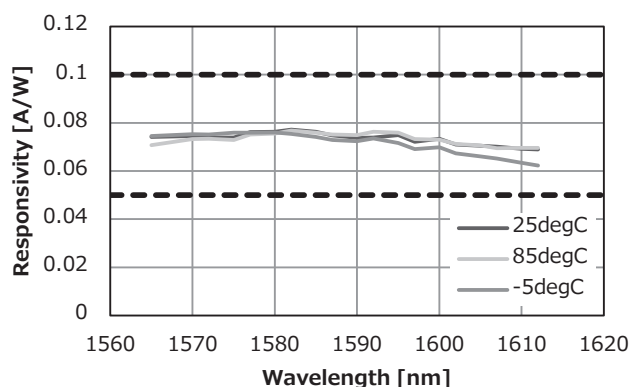
(b) 局発光

図5 受光感度波長依存性 (25°C)

Lバンド波長帯の受信に伴い、光学部品が多層膜をLバンド波長帯に最適化している。特にPBSはLバンド波長帯においてもX/Y偏波を正確に分離する必要がある。図7には25℃における偏波消光比（PER）の波長依存性を示す。偏波消光比も全波長帯で25dB以上であることを確認し、目標特性を十分に満足しており、Lバンド波長帯でも各偏波を安定して分離できている。



(a) 信号光



(b) 局発光

図6 受光感度温度依存性

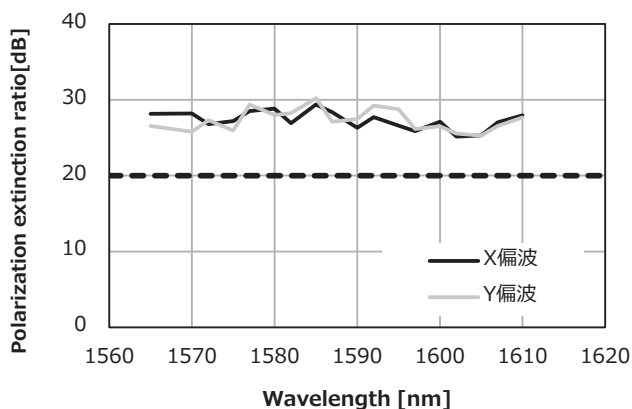


図7 偏波消光比波長依存性 (25℃)

4-2 位相特性

図8にX偏波Y偏波のI-Q位相エラーの波長依存性を示す。I-Q出力間の位相角度差は理想的には90°であることが望ましい。90°からのずれ量が位相エラーであり、位相エラーが0°の場合、I-Q位相角度差は90°となりコンスタレーション^{*4}は原点に関して完全に対称になる。位相エラーが0°からずれるほど、I-Q不均衡となり、コンスタレーションは正方形でなくなり、正常に復調ができないことを表している。今回は、25℃におけるX/Y偏波それぞれでI-Q出力間の位相を測定し、90°からのずれ量を確認した。X偏波Y偏波ともに±2°以内に収まっており、問題なく復調が行える特性になっている。

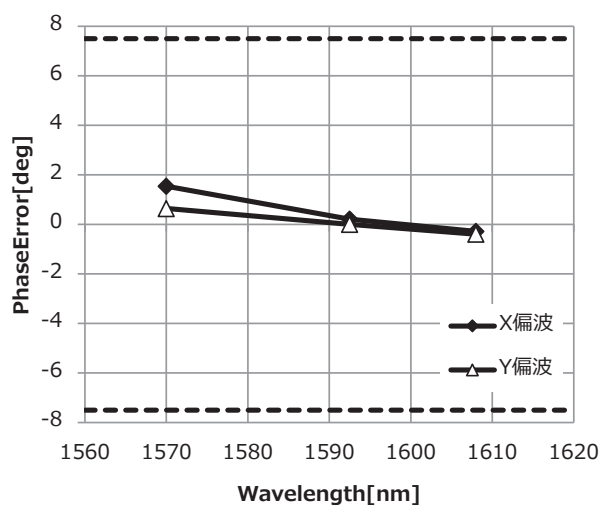


図8 I-Q位相エラー波長依存性 (25℃)

4-3 高周波特性

低周波数帯で規格化した光電気変換利得の周波数依存性を図9に示す。測定波長は1590nmである。3dB帯域は

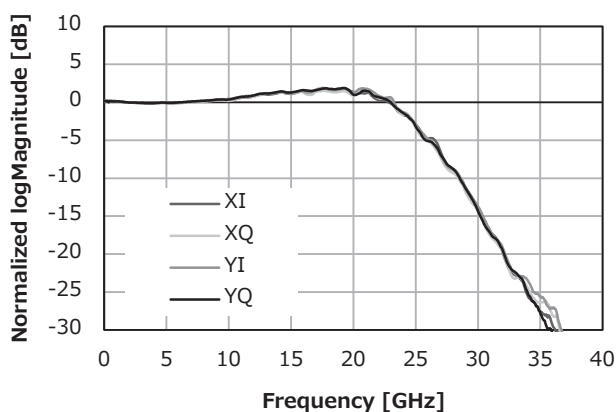
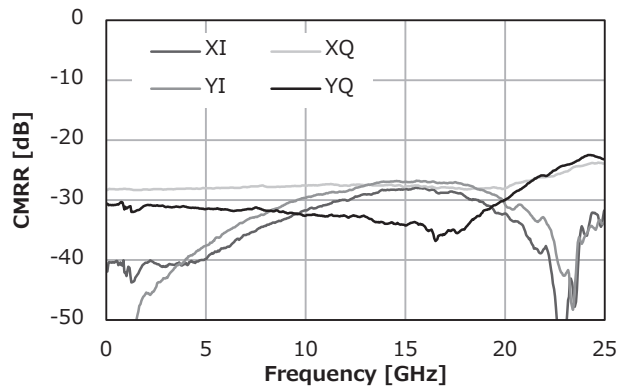


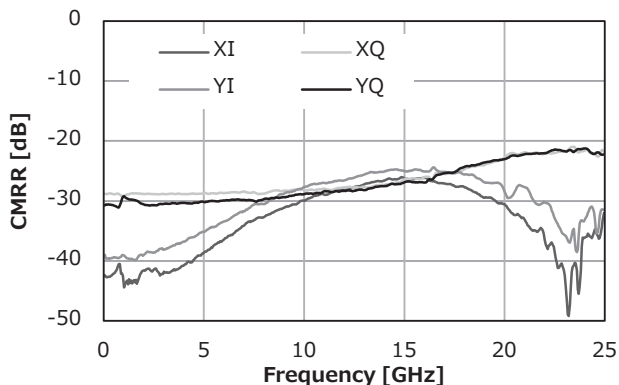
図9 周波数依存性

チャンネル間のばらつきは小さく、目標を十分に満足する結果が得られた。シンボルレート32GBaudの変調信号を受信するためには十分な特性である。

同相信号の影響を表す同相除去比 (CMRR) の周波数依存性を図10に示す。信号光、局発光ともに-20dB以下となり、良好な特性が得られている。これらの特性も当社のCバンド波長帯用コヒーレントレシーバと同等である。



(a) 信号光



(b) 局発光

図10 同相除去比 (CMRR)

5. 結 言

当社はCFP2-ACOなどに搭載可能でLバンド波長帯にて高受光感度、広帯域のコヒーレントレシーバを開発した。

90°ハイブリッド集積型受光素子をLバンド波長帯へ最適化することにより、1565nm～1612nmの波長範囲で0.06A/W以上の受光感度を実現し、当社のCバンド波長帯用コヒーレントレシーバと同等の特性を確認した。

用語集

※1 偏波多重4値位相変調 (DP-QPSK)

Dual-Polarization Quadrature Phase Shift Keying：水平偏波、垂直偏波のそれぞれについて、90°間隔でずれた4位相に2ビットのデータを割り当てることができる。各偏波同時に伝送できるため、計4bitの情報伝送が可能。

※2 OIF

The Optical Internetworking Forum：光ネットワーク技術に関する業界団体が標準化を行う機関。検討結果をImplementation Agreement (IA) として標準化資料にまとめている。

※3 MMI

Multi Mode Interference：導波路内で多モード光干渉を利用して、N×N合分岐導波路などを実現する導波路技術。

※4 コンスタレーション

2次元の複素平面上に振幅と位相の情報を表した図。横軸を同相成分、縦軸を直交成分として表す。

参考文献

- (1) 武智勝、「コヒーレント光通信向け小型光受信器」、SEIテクニカルレビュー第191号
- (2) "Implementation Agreement for Micro Intradyne Coherent Receivers," IA # OIF-DPC-MRX-02.0 (June 21, 2017)
<https://www.oiforum.com/wp-content/.../OIF-DPC-MRX-02.0.pdf>
- (3) 井上尚子、「100Gbit/s小型コヒーレントレシーバ向けInP系90°ハイブリッド集積型受光素子」、SEIテクニカルレビュー第185号
- (4) 沖本拓也、「Lバンド波長帯受信に適したコヒーレントレシーバ向けInP系90°ハイブリッド集積受光素子」、2017年電子情報通信学会ソサイエティ大会、C-4-11

執 筆 者

後藤美紗樹* : 住友電工デバイス・イノベーション(株)



櫻井 謙司 : 住友電工デバイス・イノベーション(株)



黒川 宗高 : 伝送デバイス研究所 主査



芦澤 建 : 住友電工デバイス・イノベーション(株)
マネージャー



米田 昌博 : 住友電工デバイス・イノベーション(株)
担当部長



藤村 康 : 伝送デバイス研究所 グループ長



*主執筆者