

40G/100Gbit/s 用光分波器集積 小型光受信モジュール

Compact Receiver Module with Integrated Optical De-multiplexer
for 40 Gbit/s and 100 Gbit/s

川村 正信*
Masanobu Kawamura

中島 史博
Fumihiko Nakajima

大森 寛康
Hiroyasu Oomori

原 弘
Hiroshi Hara

矢崎 厚志
Atsushi Yasaki

高速・大容量通信の普及にともない、業界標準規格に基づいた小型な、40Gbit/s用光トランシーバであるQSFP+や、100Gbit/s用光トランシーバであるCFP4に搭載可能な、小型光受信モジュールの開発が求められている。当社は2012年にモジュール内に光分波器を集積し、QSFP+に搭載可能な小型40GBASE-LR4用光受信モジュールを開発した。今回、製品ラインナップを充実させるべく、基本設計を共通展開することで従来と同形状な、QSFP+に搭載可能な40GBASE-ER4用光受信モジュール、及びCFP4に搭載可能な100GBASE-LR4用光受信モジュールを開発した。これらの光受信モジュールは、要求仕様に対して、目標を満たす良好な分波特性、最少受信感度が得られていることを確認した。本稿では、今回開発した小型光受信モジュールの設計と代表特性を紹介する。

With the rapid increase of data traffic in recent years, the development of compact optical receiver modules are essential to realize QSFP+, a compact optical transceiver for 40 Gbit/s and CFP4 for 100 Gbit/s. We developed a compact receiver module with an integrated optical De-multiplexer for 40GBASE-LR4 QSFP+ in 2012. In order to enhance our product lineup, we have successfully developed new compact receiver modules for 40GBASE-ER4 QSFP+ and 100GBASE-LR4 CFP4. By applying the basic structure of the receiver module for 40GBASE-LR4 QSFP+, the newly developed modules are in the same form as the predecessor. These compact receiver modules achieved excellent wavelength specification and sensitivity. This paper describes the design and representative specification of new modules.

キーワード：光受信モジュール、光分波器、40GBASE-ER4、100GBASE-LR4、CFP4

1. 緒言

スマートフォンなどの高速・大容量な通信を必要とする通信機器の普及にともない、光通信ネットワークを構成するスイッチやルータなどの光伝送装置は高速・大容量化が求められている。そのため、光伝送装置内に搭載される光トランシーバ、さらには光トランシーバの主要部品である光送受信モジュールの小型化・高速化が必須となっている。

現在、伝送速度40Gbit/sもしくは100Gbit/sに対応し、**図1**に示すCFP*¹と呼ばれる業界標準仕様に基づいた光トランシーバが普及しているが、従来の10Gbit/sに対応した小型な光トランシーバと比較するとサイズが大きく、光伝送装置のさらなる大容量化のために、CFPに対して4倍の高密度搭載が可能なQSFP+²やCFP4*¹といった、より小型な外形形状の業界標準仕様に基づいた光トランシーバが求められている。

当社は2012年に、伝送速度40Gbit/s、伝送距離10kmに対応したQSFP+用40GBASE-LR4光受信モジュール⁽¹⁾、⁽²⁾を開発した。今回、設計の共通化を図りつつ、伝送距離40Kmに対応したQSFP+用40GBASE-ER4光受信モジュール⁽³⁾、及び伝送速度100Gbit/s、伝送距離10Kmに対応したCFP4用100GBASE-LR4光受信モジュール⁽⁴⁾、⁽⁵⁾を開発したので報告する。

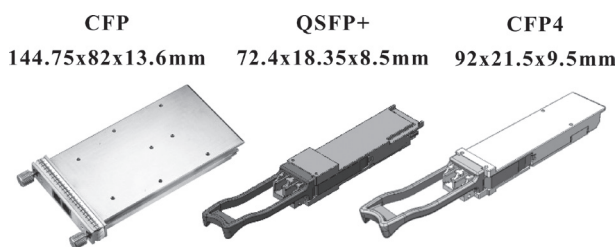


図1 光トランシーバの外形形状

2. 光分波器集積小型光受信モジュールの構造

光分波器集積小型光受信モジュールの外観図を**図2 (a)**に示す。今回開発したQSFP+に搭載可能な40GBASE-ER4用光受信モジュール、及びCFP4に搭載可能な100GBASE-LR4用光受信モジュールは、当社が2012年に開発した、QSFP+に搭載可能な40GBASE-LR4用光受信モジュールと、パッケージサイズを15.3×6.7×5.3mmで統一することで、QSFP+やCFP4に搭載可能な同形状の光受信モジュールを実現している。

光分波器集積小型光受信モジュールのパッケージ内の構造を**図2 (b)**に示す。パッケージ内には光分波器、ミラー、

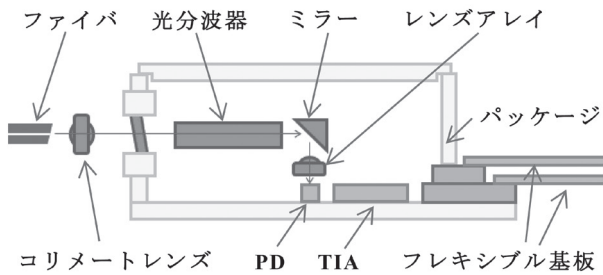
レンズアレイ、トランスインピーダンスアンプ (TIA)、フォトダイオード (PD) が搭載されている。ファイバより入力された光はパッケージの外側に配置されたコリメートレンズで平行光に変換され、光分波器を経由して4波長の光信号に分波される。その後、ミラーの反射でパッケージ底面側へ光軸を変え、レンズアレイで集光された光がPDへ結合する。光分波器は図2 (c) に示すようにミラーとバンドパスフィルタ (BPF) を対向に配置し、BPFで各レーンに対応した波長の光のみを透過、その他の波長の光は反射を繰り返すことで、4波長の光に分波する。

PDにて光-電流変換し、TIAにて増幅された信号は、パッケージの高周波伝送線路、フレキシブル基板の高周波伝送線路を経由して光受信モジュールから出力される。パッケージ

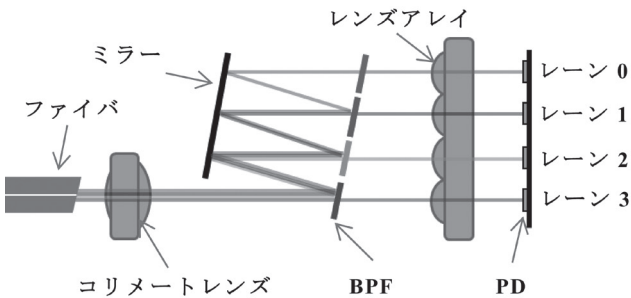


左：40GBASE-LR4 QSFP+用光受信モジュール
中：40GBASE-ER4 QSFP+用光受信モジュール
右：100GBASE-LR4 CFP4 用光受信モジュール

(a) 光受信モジュールの外観



(b) 光受信モジュールの構造



(c) 光受信モジュールの光学系

図2 光分波器集積光受信モジュール

やフレキシブル基板の伝送線路設計を最適化するだけでなく、すべての伝送線路をPD、TIAと同一平面上に配線することで、低損失、広帯域な光受信モジュールを実現している。

3. 開発目標仕様

表1に目標仕様となる、IEEE802.3ba 40GBASE-ER4、100GBASE-LR4及び、ITU-T G.695で規定されているOTU3、OTU4レートにおける規格を示す。

40GBASE-ER4/OTU3は40GBASE-LR4同様に1271nm～1331nmの20nm間隔で規定される4波長のCWDM^{*3}光を分波し受信する必要がある。最少受信感度 (OMA^{*4}) は -19dBmと高感度が求められており、高い受光感度が得られる裏面入射型のモノリシックレンズ付きアバランシェPDを用いることで実現した。

100GBASE-LR4/OTU4では40GBASE-LR4と異なり、中心波長1295.56nm、1300.05nm、1304.58nm、1309.14nmの4波長で規定されるLAN-WDM^{*3}光を分波し受信する必要がある。伝送速度も100GBASE-LR4で規定される25.78125Gbit/s、OTU4で規定される27.95249Gbit/sに対応するため高速化が必要となる。そのため、LAN-WDM光に対しては光分波器の対応波長を変更し、伝送速度の高速化に対しては、パッケージ形状は変えずに高周波伝送線路設計を最適化し、広帯域な裏面入射型モノリシックレンズ付きPDを用いることで実現した。

表1 光受信モジュール仕様

項目	40G BASE -ER4	OTU3	100G BASE -LR4	OTU4	単位
伝送速度	10.3125	10.7546	25.78125	27.95249	Gbit/s
波長	レーン0	1271+/-6.5	1294.53~1296.59		nm
	レーン1	1291+/-6.5	1299.02~1301.09		nm
	レーン2	1311+/-6.5	1303.54~1305.63		nm
	レーン3	1311+/-6.5	1308.09~1310.19		nm
オーバーロード (OMA)	>-4	>-4*	>4.5	-	dBm
オーバーロード (平均値)	-	-	-	>4	dBm
最少受信感度 (OMA)	<-19	<-19*	<-8.6	-	dBm
最少受信感度 (平均値)	-	-	-	<-10.3	dB

*ITU-T G.695 OTU3では伝送距離40km用光受信モジュールに対する仕様定められていないため、40GBASE-ER4と同じ仕様を目標仕様として記載。

4. 40GBASE-ER4/OTU3用光受信モジュール

4-1 光学特性

今回開発した光受信モジュールの分波特性を図3に示す。

裏面入射型のモノリシックレンズ付きアバランシェPDに対して、レンズアレイの焦点位置を最適化することで、全レーンで受光感度0.64A/W以上 (M=1) と良好な特性が得られている。

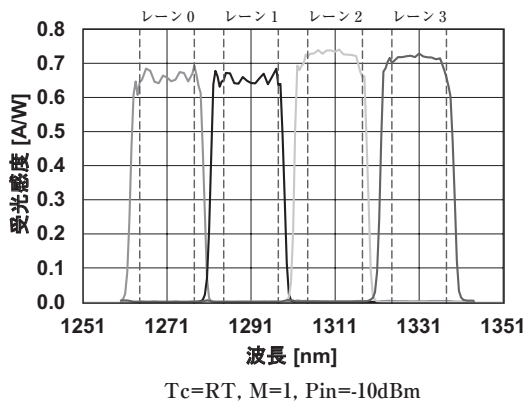
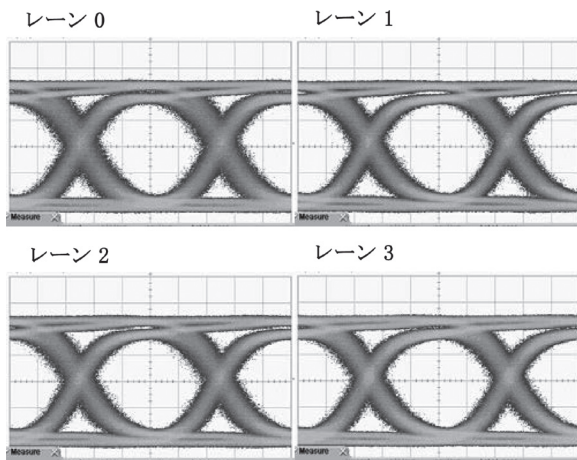


図3 分波特性

4-2 光受信特性

OTU3で規定される伝送速度10.7546Gbit/sの光入力信号に対する、各レーンの出力波形を図4に示す。各レーンともに良好な波形が得られている。

図5にクロストークの影響も含む、光受信誤り率特性を示す。クロストークの影響は、測定レーンに対して他レーン



Tc=RT, 10.7546Gbit/s(OTU3), Pin=-22dBm

図4 出力波形

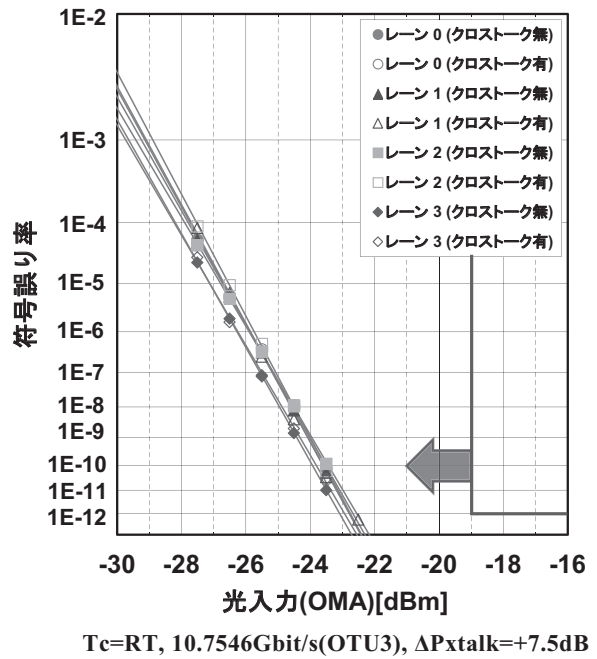


図5 光受信誤り率特性

に+7.5dBの光量差が発生するように、入力光を調整し評価している。クロストークの有無にかかわらず、最少受信感度 (OMA) は-22.5dBm以下と、仕様に対して十分な特性が得られている。オーバーロード (光入力耐性) についても、仕様の光入力パワー (OMA) -4dBmにおいて、エラーフリーを確認した。

4-3 温度依存性

今回開発した光受信モジュールの、ケース温度-10~90°Cの範囲における最少受信感度変動 (OMA) を、図6に示す。光入力信号はOTU3で規定される伝送速度10.7546Gbit/sで測定し、温度変動を加味しても、仕様に対して2.9dBのマーヅンが確保できている。

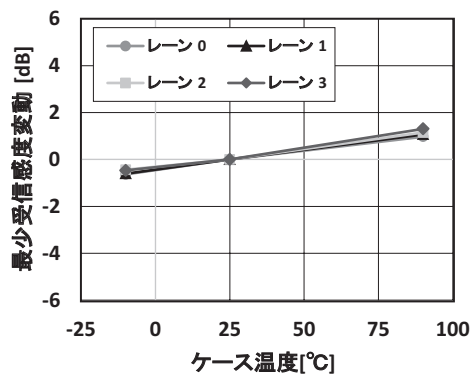


図6 温度依存性

5. 100GBASE-LR4/OTU4用光受信モジュール

5-1 光学特性

今回開発した光受信モジュールの分波特性を図7に示す。PDを広帯域化するために受光径は縮小しているが、裏面入射型モノリシックレンズ付きPDの形態を採用し、レンズアレイの焦点位置を最適化することで、全レーンで受光感度0.64A/W以上と良好な特性が得られている。

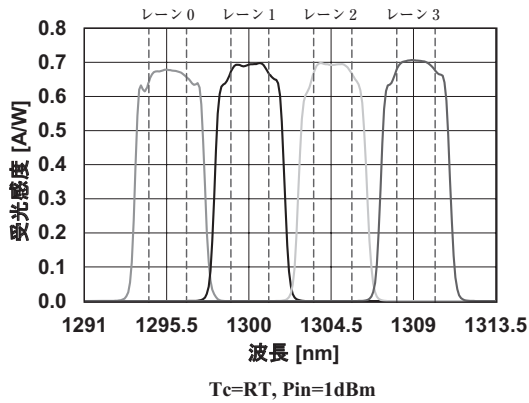


図7 分波特性

5-2 パッケージの高周波特性

光受信モジュールに使用しているパッケージは、伝送速度の高速化に対応するため、外形形状は変えずに更なる高周波伝送線路設計の最適化をおこなっている。最適化にあたり、パッケージの外側(レーン 0/3)配線と内側(レーン 1/2)配線では、パッケージのTIA側端子間隔とフレキシブル基板側端子間隔が異なるため、同形状の配線設計ができないが、等長設計にするなどの工夫を行うことで、図8に示すようにパッケージ単体で良好な透過特性が得られている。

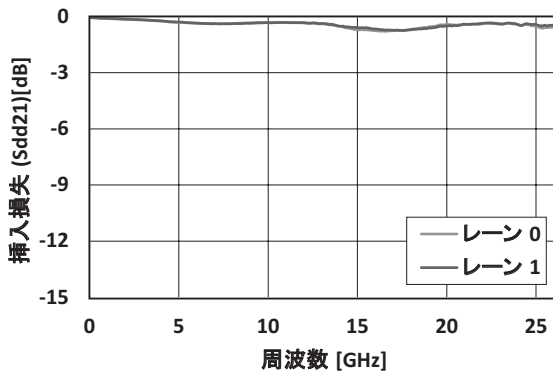
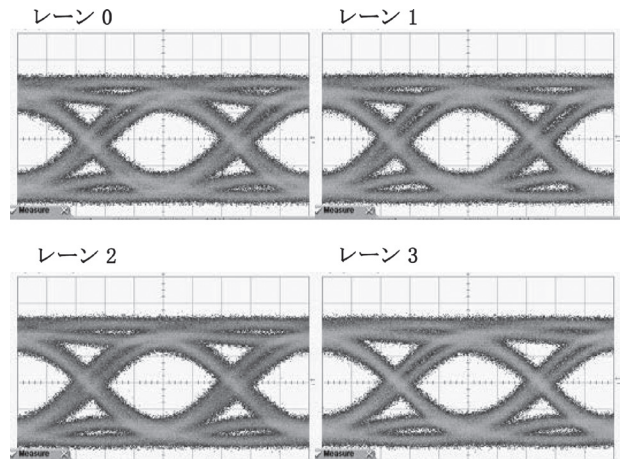


図8 パッケージ単体の透過特性

5-3 光受信特性

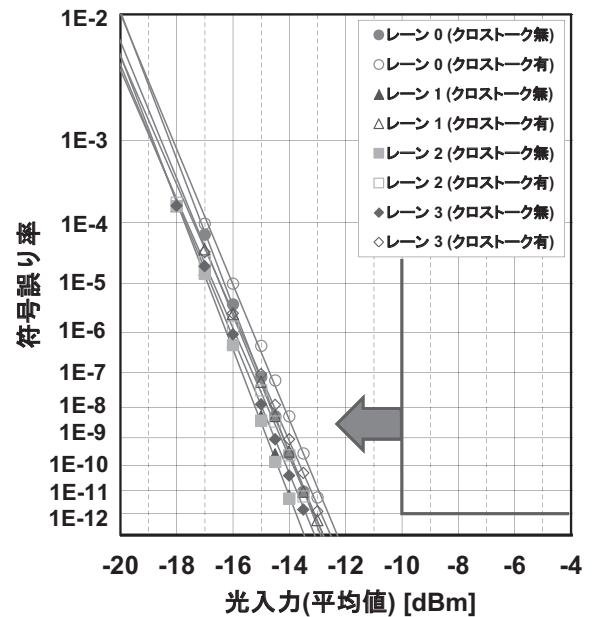
OTU4で規定される伝送速度27.95249Gbit/sの光入力信号に対する、各レーンの出力波形を図9に示す。各レーンともに良好な波形が得られている。

図10にクロストークの影響も含む、光受信誤り率特性を示す。クロストークの影響は、測定レーンに対して他レーンに+6dBの光量差が発生するように、入力光を調整し評価している。クロストークの有無にかかわらず、最少受信感度(平均値)は-12.6dBm以下と、仕様に対して十分な特性が得られている。オーバーロードについても、OTU4で規定



Tc=RT, 27.95249Gbit/s(OTU4), Pin=-12dBm

図9 出力波形



Tc=RT, 27.95249Gbit/s(OTU4), ΔPxtalk=+6dB

図10 光受信誤り率特性

される伝送速度27.95249Gbit/s、光入力パワー（平均値）4dBmにおいて、エラーフリーを確認した。

5-4 温度依存性

今回開発した光受信モジュールのケース温度-10~90℃の範囲における最少受信感度変動（平均値）を、**図11**に示す。光入力信号はOTU4で規定される伝送速度27.95249Gbit/sで測定し、温度変動を加味しても、仕様に対して2.2dBのマージンが確保できている。

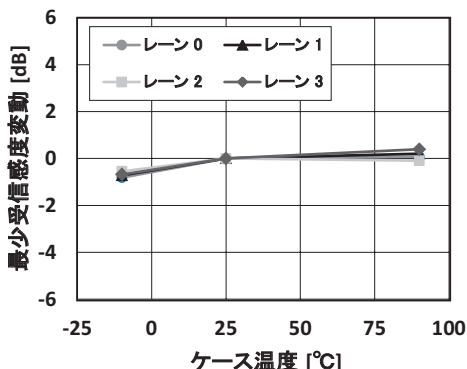


図11 温度特性

6. 結 言

QSFP+に搭載可能な40GBASE-ER4用光受信モジュールおよび、CFP4に搭載可能な100GBASE-LR4用光受信モジュールを開発した。40GBASE-ER4用光受信モジュールの受光感度@M=1は0.64A/W以上、最少受信感度 (OMA) @10.7Gbit/sは-22.5dBmと目標仕様を満たす特性を達成した。100GBASE-LR4用光受信モジュールの受光感度は0.64A/W以上、最少受信感度（平均値）@27Gbit/sはクロストークの影響も含めて-12.6dBmと、目標仕様を満たす特性を達成した。今後、多様な顧客要求にこたえるため、QSFP28といった小型な100Gbit/s用光トランシーバに搭載可能な光受信モジュールを、同形状で開発していく。

用語集

※1 CFP/CFP2/CFP4

100G Form-factor pluggable: 40G/100Gbit/s用小型光トランシーバの業界標準規格の一つ。

※2 QSFP+

Quad Small Form-factor Pluggable Plus: 40Gbit/s用小型光トランシーバの業界標準規格の一つ。

※3 CWDM/LAN-WDM

Wavelength Division Multiplexingの方式。Coarse WDMは20nm間隔で波長多重し、LAN-WDMは800GHz間隔で波長多重する。

※4 OMA

Optical Modulation Amplitude: 光変調振幅。

参 考 文 献

- (1) 沖和重、「40ギガビット光分波器集積小型光受信モジュールの開発」、SEIテクニカルレビュー第182号 (2013年1月)
- (2) 沖和重、「40GBASE-LR4 QSFP+ 用WDM 集積小型光受信モジュールの開発」、2012 電子情報通信学会総合大会論文集、B-10-115 p.438
- (3) 川村正信、「光分波機能を内蔵した40GBASE-ER4 QSFP+用小型光受信モジュールの開発」、2013 電子情報通信学会総合大会論文集、C-3-21 p.181
- (4) 中島史博、「光分波機能を内蔵した100Gbit/s小型光受信モジュールの開発」、2013 電子情報通信学会総合大会論文集、C-3-20 p.180
- (5) Fumihiro Nakajima, "100Gbit/s Compact Receiver Module with the Built-in Optical De-multiplexer", IEEE Photonics Conference 2013, TuG3.1

執 筆 者

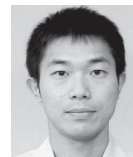
川村 正信* : 伝送デバイス研究所 主査



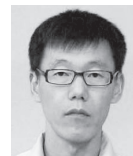
中島 史博 : 伝送デバイス研究所 博士 (工学)



大森 寛康 : 伝送デバイス研究所 主査



原 弘 : 伝送デバイス研究所 グループ長



矢崎 厚志 : 住友電工デバイス・イノベーション(株) 光部品事業部 課長



*主執筆者