



50G-EPON 局側装置用受信器

Burst-Mode Receiver for 50G-EPON Optical Line Terminals

田中 成斗*
Naruto Tanaka

梅田 大助
Daisuke Umeda

杉本 良之
Yoshiyuki Sugimoto

船田 知之
Tomoyuki Funada

田中 啓二
Keiji Tanaka

荻田 省一
Shoichi Ogita

インターネット環境のさらなる向上に対する社会要請にこたえるため、アクセス系光通信網の伝送速度は現在主流の10G級から50G級に向上させる新たな段階にきている。当社はその高速化要求に応えるべく、25.78Gbit/sバースト受信可能なTIAを新たに開発した。このTIAとAPDを内蔵した一波長当たり25.78Gbit/sバースト受信器を世界で初めて開発し、50G-EPON局側装置の光受信部に適用可能であることを確認したので、その特性をここに報告する。

In order to meet the social demand for further improvement of the Internet environment, we are at the stage of upgrading the transmission speed of access optical communication networks from the current mainstream 10G class to 50G class. We have developed a new transimpedance amplifier (TIA) capable of receiving 25.78 Gbit/s burst signals to meet the demand for higher-speed transmission. Using this TIA and avalanche photodiode (APD), we have developed the world's first 25.78 Gbit/s/λ burst receiver, and confirmed that it is fully applicable to 50G-EPON optical transceivers.

キーワード：光受信器、TIA、バースト、50G

1. 緒言

PON (Passive Optical Network) システムは、低コストなFTTH (Fiber To The Home) サービスを実現するシステムとして、世界中で広く普及してきている。当社は光部品からシステムにわたり様々な開発を行い、普及に貢献してきた^{(1)~(3)}。昨今、4K/8K映像伝送といった大容量コンテンツの増加に伴い、アクセス系通信に対する伝送速度向上が急速に要求されてきている。通信速度10Gbit/sを超える次世代PONシステムとして、ITU-Tにおいて40Gbit/s伝送を可能とするNG-PON2⁽⁴⁾の標準化が完了している。NG-PON2は時分割波長多重 (TWDM) 方式を採用しており、レーザダイオード (LD)、アバランシェフォトダイオード (APD)、LDドライバ、トランスインピーダンスアンプ (TIA) といった物理層 (PMD^{*1}) 部品に関しては、いまだ10Gbit/s対応品の適用を前提としている。

さらなる高速PONシステムとして、IEEEにおいて50G-EPON⁽⁵⁾標準化プロセスが進行中であり、2020年8月に完了予定である。当社はこの標準化プロセスに積極参画しPMD仕様決定に貢献した。50G-EPONは2波長を使用するTWDM方式で実現されるため、1波長当たりの伝送速度として25.78Gbit/sが要求される。今回、50G-EPON局側装置実現の鍵となるPMD部品である、25.78Gbit/sバースト受信器を開発した。

2. 50G-EPON上り方向通信

2-1 要求条件

50G-EPONシステム構成と上り方向通信の概要を図1に示す。上記の通り、50G-EPONは、各波長25.78Gbit/sで2波長伝送するTWDM方式で実現される。敷設済みの光アクセス網を利用できるよう、その最大線路損失29dBをサポートすることが要求されている。また、従来の10G-EPON⁽⁶⁾から50G-EPONへのスムーズな移行を実現するため、10G-EPONシステムと同一光アクセス網内での使用も前提としている。従って、25Gに加えて10Gの時分割多重信号 (バースト信号) が同一波長に共存するため、50G-EPON局側装置 (OLT) は25Gだけでなく10Gバースト信号も受

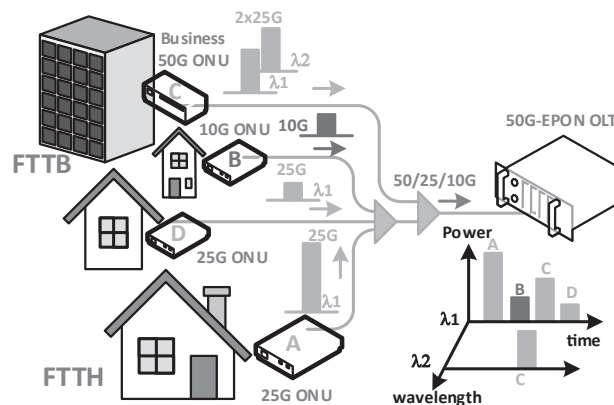


図1 50G-EPONシステム構成と上り方向通信

信する必要があり、そのPMD部品は50G-EPONに加えて10G-EPONの規格を満足する必要が生じる。

2-2 要求仕様

表1に50G-EPON OLT受信特性に関連する標準仕様⁽⁵⁾概略を示す。サポートする線路挿入損失に応じてパワーバジェットクラス (PQ30,PQ20) が定義されており、上り方向1波長あたり25.78Gbit/s伝送では、受信パワーの仕様がクラス間で異なる。両パワークラスに同一品種で対応させるため、バースト受信器の要求仕様には太字の受信パワー仕様を適用した。要求仕様から短いセトリング時間内に、最小受信感度からオーバーロードまでの大きいバースト受信強度比に対応する必要があることがわかる。

表1 OLT受信特性の標準仕様

パラメータ	PQ30	PQ20	PQ30	PR30	Unit
ラインレート	25.78125		10.3125		GBd
中心波長 [†]	1270,1300		1270		nm
最大挿入損失	29	24	29		dB
最小挿入損失	15	10	15		dB
受信誤り率	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻³	-
オーバーロード [‡]	-6	-3	-6		dBm
最小受信感度 [‡]	-24.3	-22.7	-28		dBm
セトリング時間	800				ns

[†] GPONシステムと波長共存する場合を例示

[‡] PQ30,PQ20はOMA^{*2}で定義

3. 50G-EPON OLT用光受信器

3-1 光受信器

写真1にバースト光受信器の外観を示す。一般的に用いられる直径3.15mmの同軸型パッケージであり、小型トランシーバSFP28^{*3}に搭載可能である。また、PON用一芯双方向光部品にも統合可能である。本受信器は、光ファイバと接続するレセプタクル、光トランシーバのプリント回路基板と接続するフレキシブル基板 (FPC)、APD及びバースト受信可能なTIA (BM-TIA) が気密封止されるパッケージ、から構成される。APDはキャリア上にフリップチップ



写真1 バースト光受信器

実装^{*4}され、キャリア、BM-TIA、パッケージ間はボンディングワイヤで接続される。

3-2 BM-TIA IC設計

上記要求仕様を満たすべく新たに開発した、BM-TIAのブロック図を図2に示す。①高い帰還抵抗を持つシャントフィードバック型TIAによる低雑音化、②高速動作する自動オフセット利得制御機能 (AOGC) によるバースト強度比の拡大、③自律型制御機能による外部制御信号無での高速バースト応答を実現している⁽⁷⁾。

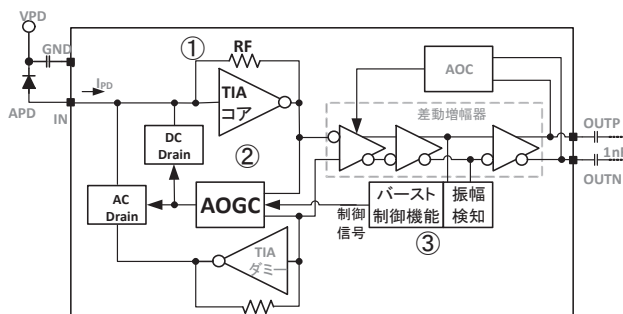


図2 25.78Gbit/s BM-TIA ブロック図

写真2にBM-TIAのチップ写真を示す。チップサイズは1.56 × 0.71mmで、0.13um SiGe:C-BiCMOS (ft/fmax = 300/500GHz) プロセスで作成した。

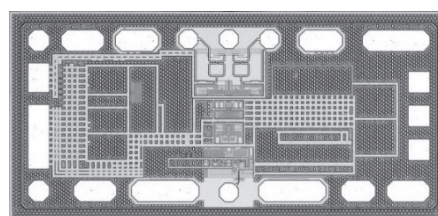


写真2 BM-TIA ICチップ写真

4. 光受信器特性

4-1 周波数応答特性

低周波帯の信号強度で規格化した光-電気変換利得 ($Z_{T(O-E)}$) 及び評価基板の損失の高周波応答を図3に示す。 $Z_{T(O-E)}$ の3dB帯域幅は11.8GHzであった。実装したAPDの光-電流変換効率の3dB帯域幅は、その増倍率が6の条件で約10GHz⁽⁶⁾であり、25.78Gbit/s受信を可能にするため、BM-TIAに内蔵したピーキング機能で補償している。評価基板の損失を取り除いた3dB帯域幅は14GHz程度で

あり、25.78Gbit/s動作に十分である。

図4は低域カット周波数と規格化した $Z_{T(O-E)}$ の光受信強度依存性を示す。-10dBm以上では受信強度に反比例した利得制御ができており、受信強度範囲を拡大できる。低周波成分を多く含む10.31Gbit/sのランダム信号を受信する場合、低域カット周波数は低い方が望ましいが、バースト信号への応答速度が遅くなる。-15dBm以上の中間～強入力での低域カット周波数は、バースト応答速度と10Gでの受信特性を両立できる2MHz程度で安定制御できている。

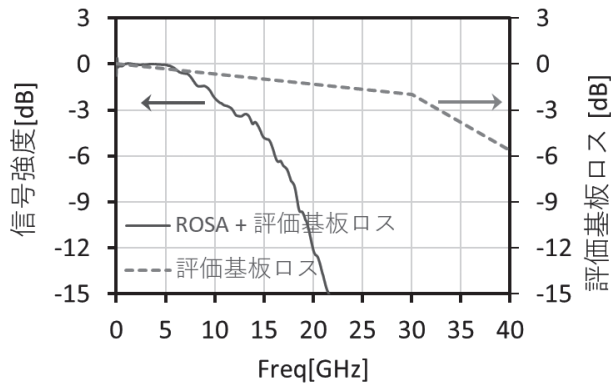


図3 光-電気変換利得 ($Z_{T(O-E)}$) の高周波応答

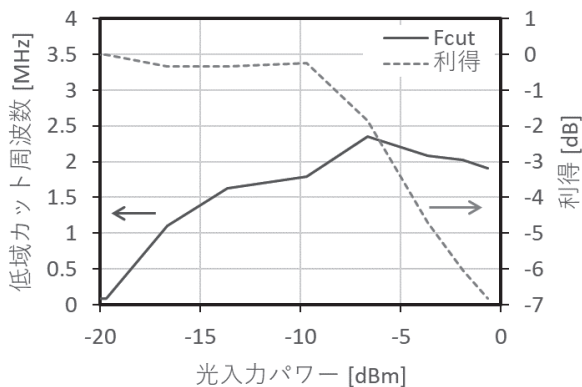


図4 低域カット周波数、 $Z_{T(O-E)}$ の光受信強度依存

4-2 光受信特性

図5は25.78Gbit/s PRBS2³¹-1信号波形を示す。(a)は入力光信号、(b)、(c)、(d)は記載の各入力パワーにおける単相の出力電気信号である。-21dBm～-3dBmの入力範囲で、パターン依存ジッタのない十分に開口した良好なアイパターンを確認した。

図6にバースト信号受信時の受信誤り率 (BER) 測定に使用する入力光信号の例を示す。妨害信号の役割を持つ強入力バースト信号の直後に配置した、弱入力バースト信号内の

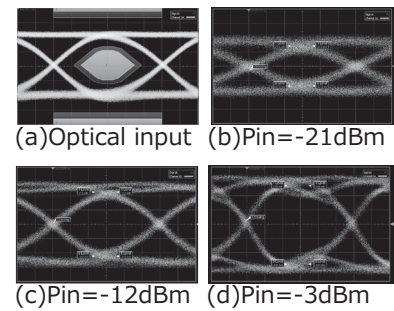


図5 25.78Gbit/s 光入力及び電気出力波形

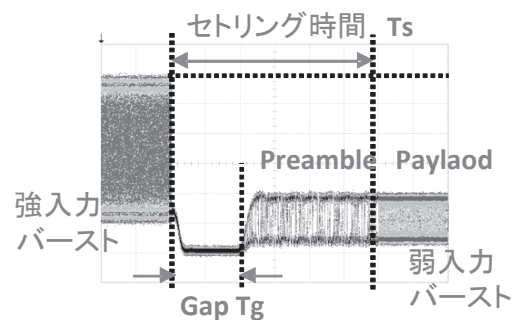


図6 受信誤り率測定用の入力光信号

Payload区間においてBER測定を実施する。弱入力バースト信号の先頭は同期用の固定パターンが繰り返され、強入力バースト信号後端からPayload開始時点までの区間をセリング時間 (T_s) と定義される。10G-EPON、50G-EPONでは、 T_s は共に最大800nsと規定されている。実際には、強入力バースト信号を最大入力規格である-3dBmに、 T_s を600nsに、バースト間ギャップ時間 (T_g)を0nsに、PayloadパターンをPRBS2³¹-1に設定した。

図7に25.78Gbit/s受信時のBER測定結果を示す。 T_s 設定はPQ30規格より短い600nsだが、連続信号とバースト信号で差はほぼなく、バースト応答特性は良好である。また、 $BER = 10^{-2}$ 受信感度 (OMA)は-26dBmであり、1.7dBのマージンを持って規格を十分に満足している。また、-18～-3dBm (OMA)の入力強度においてBERは 10^{-12} 以下となり、PQ20の最大入力耐性の規格も満足している。ゆえに、最大バースト強度比は23dB以上である。

図8に10.31Gbit/s PRBS2³¹-1信号受信時のBER測定結果を示す。25.78Gbit/s受信時と同様に、連続信号とバースト信号で差はほぼなく、バースト応答特性は良好である。また、 $BER = 10^{-3}$ 受及び 10^{-2} 以下となる受信感度はそれぞれ-30.3dBmと-32dBmであり、PR30及びPQ30規格を十分に満足している。また、-24～-6dBmの入力強度全範囲においてBERは 10^{-12} 以下となり、最大入力耐性の規格も満足している。ゆえに、最大バースト強度比は26dB以上である。

用語集

※1 PMD

Physical Media Dependent :通信機能の階層構造を規定するOSI参照モデルの第一層である物理層内の最下位副層。

※2 OMA

Optical Modulation Amplitude : 光変調振幅。

※3 SFP28

Small Form-Factor Pluggable 28 :25Gbit/s 伝送用の業界標準規格のトランシーバ。

※4 フリップチップ実装

基板上へのチップ実装方法の一つ。ワイヤによる実装ではなく、チップ表面の金属端子を直接基板に接合する。

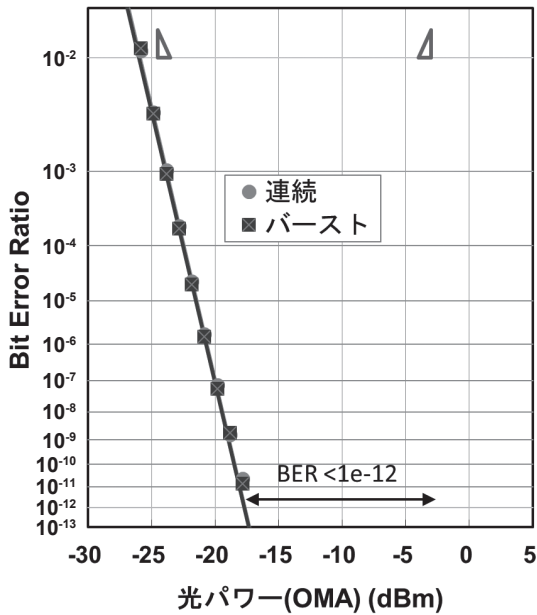


図7 25.78Gbit/s 受信誤り率

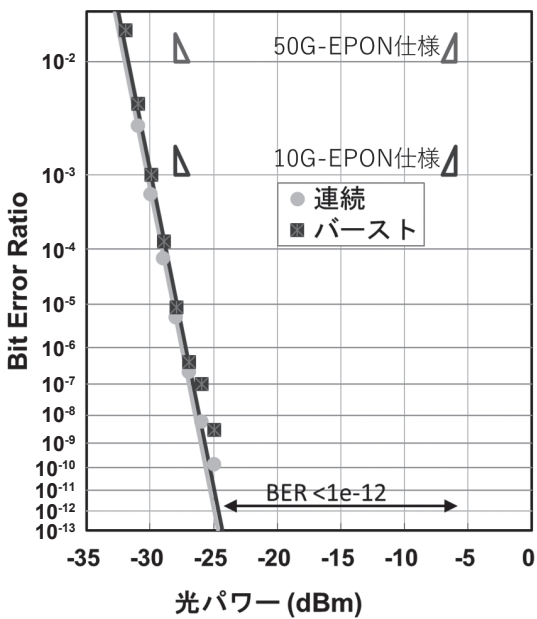


図8 10.31Gbit/s 受信誤り率

参考文献

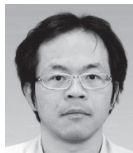
- (1) 吉村学, 「GE-PON FTTHシステム向け光トランシーバデバイス」, エレクトロニクス実装学会誌, Vol. 12 No. 5 (2009)
- (2) 船田知之, 「10G-EPON 用小型光トランシーバの開発」, SEIテクニカルレビュー第181号 (2012年7月)
- (3) 甲斐雄介, 「高速大容量スイッチを備えた10G-EPONシステム」, SEIテクニカルレビュー第189号 (2016年7月)
- (4) ITU-T G.989.1, 40 Gigabit-capable passive optical networks (NGPON2): General requirements, 2013.
- (5) IEEE 802.3ca, "Physical Layer Specifications and Management Parameters for 25 Gb/s and 50 Gb/s Passive Optical Networks," D2.0 (2019)
- (6) IEEE 802.3, "Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10 Gb/s Passive Optical Networks," 2009
- (7) K. Tanaka et al, "25.78-Gbit/s Burst Mode TIA for 50G-EPON OLT," BCICTS 2019 277-FM854
- (8) T. Endo et al, "Highly reliable grown-junction InP/InGaAs avalanche photodiodes for high-speed integrated optical receivers," IPRM 2018, paper Fr3A9-6 (2018)

5. 結 言

50G-EPON OLT光受信部に適用可能な、25.78Gbit/s バースト受信器を開発し25G/10Gデュアルレート受信動作を確認した。50G-EPON及び10G-EPONの全クラスの受信感度仕様を十分なマージンを持って満足しており、これを搭載したシステムの設計に柔軟性を持たせることが可能と考えている。

執筆者

田中 成斗* : 伝送デバイス研究所 主席



梅田 大助 : 情報ネットワーク研究開発センター
グループ長



杉本 良之 : 伝送デバイス研究所 主席



船田 知之 : 情報ネットワーク研究開発センター
グループ長



田中 啓二 : 伝送デバイス研究所 グループ長



荻田 省一 : 伝送デバイス研究所 技師長



*主執筆者