

広温度対応 14Gbit/s 無温調型 TOSA の開発

佐藤 俊介*・藤田 勇人*・田中 啓二
本 昭宏・小野 雅章・佐伯 智哉

Development of 14 Gbit/s Uncooled TOSA with a Wide Operating Temperature Range — by Shunsuke Sato, Hayato Fujita, Keiji Tanaka, Akihito Moto, Masaaki Ono and Tomoya Saeki — The authors have successfully developed new TOSAs (Transmitter Optical Sub-Assembly) which are operational for a wide operating temperature range from -40 to 90 degree C and high speed of 10 Gbit/s or more. The device introduced multi-layer ceramic packages with a precisely controlled characteristic impedance and wide frequency characteristics up to 23 GHz. In addition, an optical system using front facet monitoring technique has achieved stable tracking error characteristics within ± 0.2 dB. A newly designed laser driver IC is also mounted in a package to ensure both high speed performance for 16GFC and low power consumption for high density aggregation of transmission systems.

Keywords: ceramics package, uncooled TOSA, XMD-MSA, 10GBASE-LR, 16GFC

1. 緒 言

近年の情報通信トラフィックの増加に伴い、伝送装置の大容量化、高速化への要求が高まっている。装置に搭載される光トランシーバは、現在 XFP (10Gbit/s Small Form Factor Pluggable) や SFP+ (Small Form Factor Pluggable Plus)⁽¹⁾ と呼ばれる小型の製品が主流となっており、その伝送速度は 10Gbit/s に達する。伝送装置の大容量化の実現には、スイッチやルータなどの伝送装置に搭載する光トランシーバ数を増加させる必要がある。光トランシーバ数の増加に伴い発熱量が増加するため、より高い温度での動作が要求される。伝送速度の高速化に対する要求も高まっており、10Gbit/s 以上の伝送速度に対応する光デバイスの開発が望まれる。また、伝送装置の低消費電力化に対する要求も強く、SFP+ では最大消費電力が 1W 以下に仕様化され、低消費電力で駆動可能な TOSA (Transmitter Optical Sub-Assembly) が必要とされる。

今回、XFP や SFP+ に搭載可能で、伝送距離 10km 以下を対象とし、DML (Direct Modulated Laser diode) を搭載した無温調型 TOSA を開発した。本稿では、高速動作を可能とする新規パッケージを採用した TOSA の構造、低消費電力を実現する TOSA 回路構成について報告する。

2. TOSA の基本構造

TOSA の主要諸元を表 1 に示す。

TOSA の構造は、XMD-MSA (10Gbit/s Miniature Device Multi Source Agreement) に準拠しており、電気・光学特性は 10 ギガビット・イーサネット (以下、10GBASE-LR) および 16 ギガファイバチャネル (以下、

16GFC) に準拠する。伝送距離は 10km 以下であり、伝送速度は 10GBASE-LR が 10.3125Gbit/s、16GFC が 14.025Gbit/s となる。光インターフェースは LC レセプタクルで、電気インターフェースは 8 ピンのフレキシブル基板となる。

表 1 TOSA の主要諸元

用途	10GBASE-LR	16GFC
規格	IEEE802.3ae	FC-PI-5
外形寸法	XMD-MSA 準拠	
光インターフェース	LC レセプタクル	
電気インターフェース	8 ピンフレキシブル基板	
動作温度	-40 ~ 90 °C	-5 ~ 90 °C
伝送速度	10.3125Gbit/s	14.025Gbit/s
伝送距離	10km Max.	10km Max.
中心波長	1260 ~ 1355nm	1295 ~ 1325nm
光出力パワー	-8.2dBm Min.	-4.9dBm Min.
RIN ₁₂ OMA	-128dB/Hz Max.	-130dB/Hz Max.
消光比	3.5dB Min.	3.5dB Min.
トラッキングエラー	± 1.0dB	± 1.0dB
駆動方式	直接変調	駆動 IC 内蔵
消費電力	120mW Max.	300mW Max.

一般的な TOSA を構成するパッケージは、温調型 TOSA では箱型パッケージ、無温調型 TOSA では同軸型パケッ

ジが採用される。箱型パッケージは伝送線路を構成するセラミックス部と筐体外形を構成する金属部からなる。伝送線路の設計最適化により、良好な高周波特性の実現が可能であるが、複数の構成部品からなる構造が複雑であり高価となる。一方、同軸型パッケージは円盤形状の金属部にガラス封止されたリード端子が搭載され、安価に製造可能であるが、伝送線路の形成が難しく10GHzを超える高周波特性の実現が困難であった。

そこで今回、16GFCに対応すべく10GHz以上の高周波特性を有し、構造が単純で安価に製造できる新規のパッケージを採用した無温調型TOSAを開発した。図1に従来構造（同軸型パッケージ）と新規構造のTOSAの外観を示す。新規構造では水晶発振子などに用いられる積層セラミックスのパッケージをベースとして、伝送線路の設計最適化により10GHz以上の高周波特性を実現した。端面発光型レーザダイオード（以下、LD）、その光を垂直方向に屈曲するためプリズム、光出力をモニタするフォトダイオード（以下、PD）、ヒートシンクを□5.4mmのパッケージ内部に搭載した。半導体部品を保護すべく、気密封止に用いるリッドに搭載した球レンズにより、集光して光ファイバに光結合する。

TOSAの回路構成は、①LDを差動の変調信号で駆動させる方式、②TOSA内部に駆動ICを搭載してLDを駆動させる方式の2種類を採用し、それぞれに対応したパッケージを開発した。TOSAの伝送線路の特性インピーダンスは、①では差動信号間50Ω、②では差動信号間100Ωとして設計した。

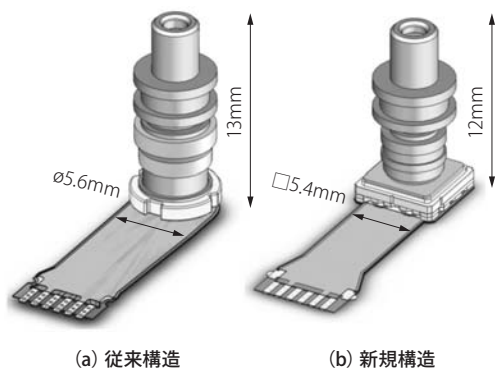


図1 無温調型TOSAの外観

3. 光学設計

図2に光学系の概念図を示す。従来構造のTOSAで使用される光学系では、TOSAの光軸方向に対して垂直方向にLDとヒートシンクを実装し、光軸方向に角度を付けてPD

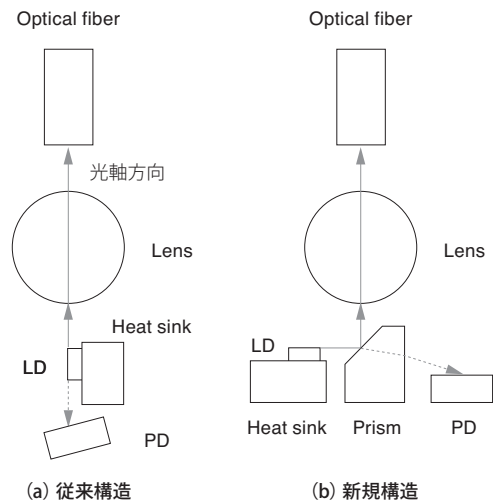


図2 光学系概念図

を実装する。LDの前方出力は光軸方向と一致しており、レンズで集光されて光ファイバに結合される。一方、新規構造では、光軸方向に垂直な同一平面上にLD、ヒートシンク、プリズム、PDを実装する。LDの前方出力はプリズムで屈曲して光軸方向に出射され、レンズで集光されて光ファイバに結合される。

3-1 光出力モニタ方式 従来構造の光学系では、LDの前方出力を球レンズで集光して光ファイバに結合し、後方出力をPDで受けて光出力のモニタを行う。LDから出射される光出力の前後比は温度によって変動してしまい、PDで受けるモニタ電流値が一定となるようにLDの電流を制御しても、光ファイバで受ける光出力は±1.0dB程度のばらつきが生じる。

一方、新規構造の光学系では、LDの前方出力をプリズムで屈曲させて球レンズで集光して光ファイバに結合する。プリズムの斜面には反射膜が施されており、光出力の一部がプリズムを透過してPDで受けて光出力のモニタを

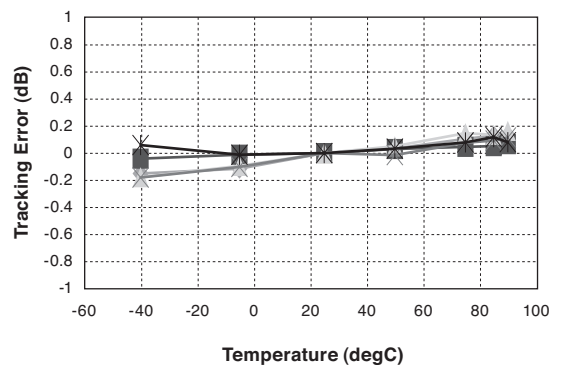


図3 トラッキングエラー特性

行う。LDの前方出力をプリズムで分岐し、その一部をPDで受ける設計であり、安定した出力の管理が可能となる。

図3は新規の光学系におけるトラッキングエラー特性を評価した結果を示す。-40～90℃の広い温度範囲において、光出力のばらつきは±0.2dB以内と良好な結果が得られた。

3-2 反射戻り光抑制方式 LDに外部からの反射光が入射すると、相対強度雑音(RIN: Relative Intensity Noise)が劣化してしまい、信号品質に影響を及ぼすため、TOSAの外部で生じた反射戻り光の抑制が必要となる。一般的には、逆方向の光を抑制する素子であるアイソレータを搭載して、反射戻り光を抑制する構造を採用するが、TOSA製品のコスト増につながる。

高価なアイソレータを搭載することなく反射戻り光を抑制する構造として、プリズムの反射膜に着目した光学系を実現した。本開発の無温調型TOSAで用いるLDは通常の駆動条件において光出力が1dBm程度あり、TOSAの要求光出力に対して十分強い光出力を有している。一般に、LDの光出力からレンズの結合効率を乗算した値に対して、TOSAの要求光出力が小さい場合は、最適調芯点より光ファイバを遠ざけるデフォーカスよりに光出力を小さくする。しかし本開発では、TOSAの要求光出力が得られる程度にプリズムの反射率を低く設計した。プリズムを透過した光は、プリズムの前方に配置するPDに入射し、光出力強度に応じたモニタ電流が出力される。

一方、TOSA外部からの反射戻り光に対して、光ファイバを伝搬してきた光はレンズによりLDに集光される。その際、本設計では光路上にプリズムが配置されており、その反射膜の反射率により、大部分の光はプリズムを透過して、LDに結合されない。これにより外部で生じた反射戻り光を抑制する構造を実現した。

図4はTOSAに-12dBの反射戻り光を加えた際のRIN_{12OMA}特性を示す。-128dB/Hz以下の要求仕様に対して、-130dB/Hz以下の特性が得られており、反射戻り光を抑制する構造が機能している結果が得られた。

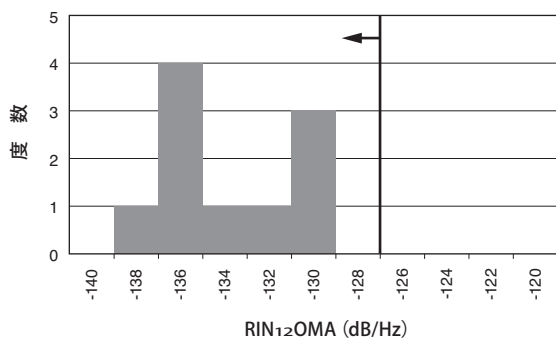


図4 RIN_{12OMA}特性

4. 高周波設計

TOSAの伝送線路の特性インピーダンスを差動50Ωで設計したパッケージについて、従来の同軸構造との高周波特性比較を実施した。下記にその詳細を示す。

4-1 周波数特性 従来構造のパッケージでは、高周波信号は①フレキシブル基板以下(FPC)の伝送線路、②ガラス封止されたリードピン、③パッケージ内部に実装されたヒートシンク基板上の伝送線路、を介してLDに伝わる。各部における伝送線路の特性インピーダンスを整合する設計は可能であるが、①と②および②と③の接続部における特性インピーダンスを整合することが難しく、10Gbit/sを超えた伝送速度の実現が容易ではなかった。一方、新規構造のパッケージでは、④FPCの伝送線路、⑤パッケージ内部の伝送線路、⑥パッケージ内部に実装されたヒートシンク基板上の伝送線路からなる。新規構造では、セラミックス上に設けた伝送線路幅の調整が容易であり、各部の特性インピーダンスを整合させる設計自由度が高く、接続部で生じる特性インピーダンスの不整合を補正することができる。これにより優れた高周波特性を実現することが可能となる。

従来構造と新規構造のパッケージに対して、電磁界解析を用いたパッケージの周波数特性解析を行った。解析に用いたモデルを図5に示す。FPC、パッケージ、ヒートシンク、キャップまたはリッドからなり、FPCの伝送線路に設けたPort1から、ヒートシンク上の伝送線路の対称面に設けたPort2における周波数特性を解析した。

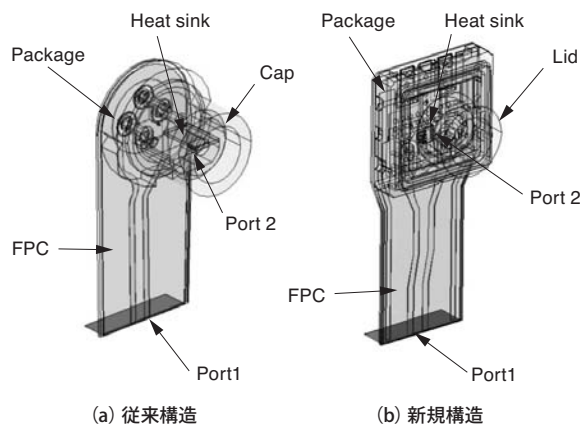


図5 周波数特性の解析モデル

図6に従来構造と新規構造における透過の周波数(S21)特性の解析結果を示す。従来構造のパッケージでは、特性インピーダンスの不整合部分で生じる反射が影響しており、帯域は9GHz程度となる。一方、新規構造のパッケージ

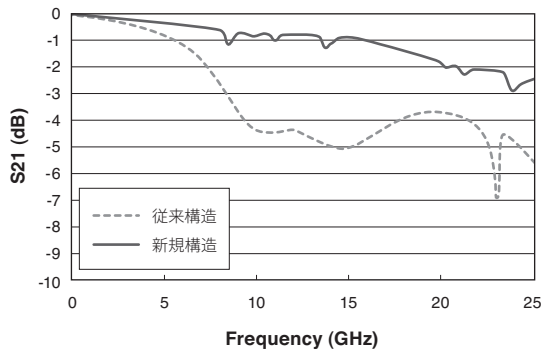


図6 パッケージの周波数特性

ジでは、特性インピーダンスの整合最適化により、23GHz以上の帯域を確保している。

4-2 特性インピーダンス特性 図7にTOSAのTDR (Time Domain Reflectometry) 測定による特性インピーダンスの測定結果を示す。測定サンプルは、FPC、パッケージ、ヒートシンク、LDを搭載しており、FPC端からの特性インピーダンスを示す。TOSAの伝送線路は差動入力信号間で特性インピーダンスが50Ωとなるように設計している。

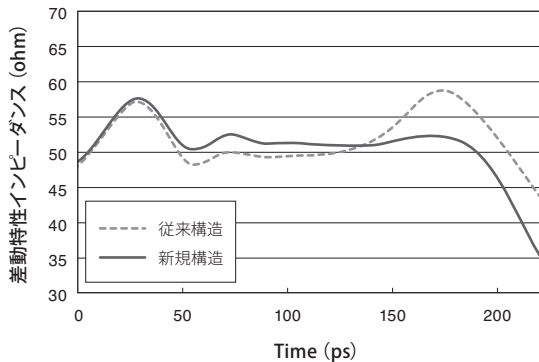


図7 差動特性インピーダンス

図7のグラフで横軸は時間で信号がその時間で到達する部位を示しており、①0～50psの部分はFPCを回路基板と接続するパッド部、②50～150psはFPCの伝送線路、③150～200psはパッケージ部、④200ps以降はLDに対応し、縦軸は特性インピーダンスを示す。

従来構造では150ps以降のパッケージ部の特性インピーダンス不整合が顕著であり、最大59Ω程度であるのに対して、新規構造では特性インピーダンスの制御が可能で、②以降の特性インピーダンス変動幅は3Ω以下と非常に良

好な特性インピーダンス整合を実現している。

5. 低消費電力設計

SFP+などの光トランシーバの消費電力を削減するTOSA駆動方式として、当社ではTOSA内蔵型シャント駆動ICの開発^{(2)~(4)}を行ってきた。

シャント駆動とは、図8に示すようにLDと並列接続されたトランジスタをスイッチし、LDに流れる電流を変調する方式である。TOSA内部に電圧電流変換利得を持つトランジスタを設置することでTOSA外部から供給する変調電流を小さくできる利点がある。SFP+では最大消費電力を1W以下に設計する必要があり、TOSAの消費電力は300mW以下を目標に設計を行った。

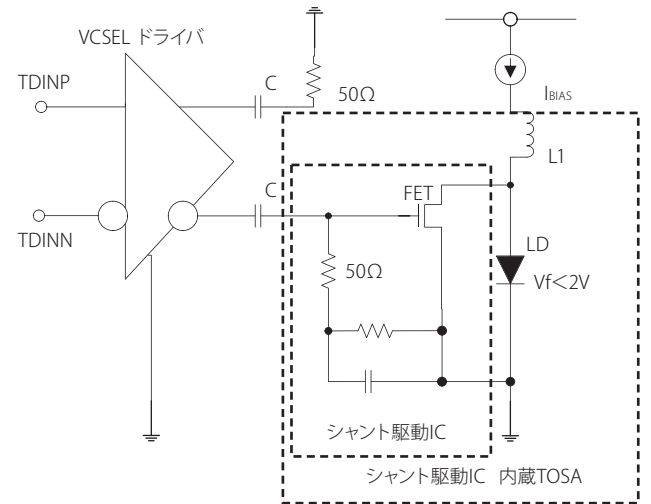


図8 シャント駆動方式の送信回路構成

今回、高周波特性を実現する新規パッケージに搭載可能で16GFC動作に対応した新たなTOSA内蔵型LD駆動ICの開発を行った。回路方式として、シャント方式よりも高速動作に適したプッシュプル駆動方式を採用した。プッシュプル駆動方式とはLDと並列および直列に接続した2石のトランジスタを交互にスイッチし、並列に接続されたトランジスタは電流を吸い込み（プル）、直列に接続されたトランジスタは電流を吐き出す（プッシュ）ことで、LDに流れる電流を変調する。プッシュプル方式はシャント方式と比べ1石あたりの負荷電流を小さくできるため、高速動作に適している。

図9にプッシュプル駆動方式の送信回路構成を示す。プッシュプル駆動方式の送信回路はプッシュプル駆動ICとそれを駆動するVCSELドライバから構成される。

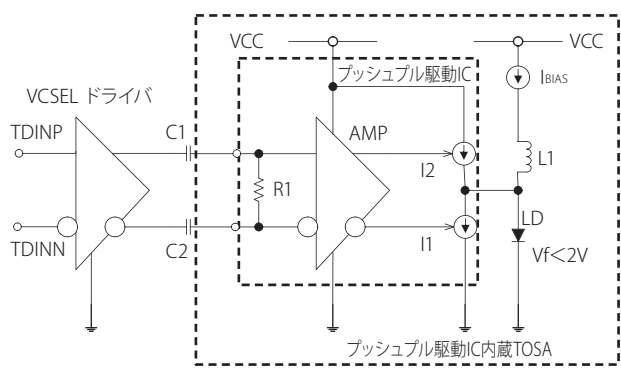


図9 プッシュプル駆動方式の送信回路構成

プッシュプル駆動ICはTOSA外部のVCSELドライバICから差動特性インピーダンス100Ωの伝送線路を介して差動電圧信号で駆動される。プッシュプル駆動ICは差動終端抵抗R1を内蔵しており、特性インピーダンスと整合するように100Ωに調整している。バッファ回路(AMP)は、電圧制御電流源I1, I2の入力負荷を入力から分離する為に挿入してある。入力された差動電圧信号はバッファ回路を介して電圧制御電流源を交互にスイッチする。LDにはTOSA外部の電流源から直流電流が供給される。直流電流供給用の線路から高周波電流の漏れが発生しないようにチョークコイルL1がLDアノード端子側に接続されている。

6. 光出力波形

6-1 10GBASE-LR 特性評価 今回開発した無温調型TOSAの波形評価を10GBASE-LRに対応した駆動条件にて行った。図10に光出力波形を示す。伝送速度は10.3125Gbit/s、消光比5.0dB、TOSAのケース温度Tc=-40~90℃の範囲における光波形の温度特性を示す。25℃および-40℃ではパルスマスクマージンは50%以上、90℃の高温環境下でも30%以上を確保しており、良好なアイ開口が得られた。

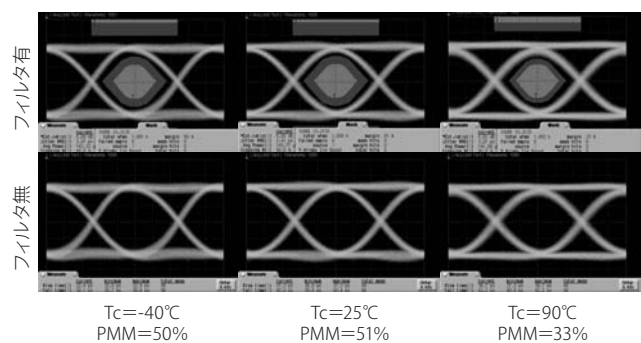


図10 10GBASE-LRの光波形温度特性

6-2 16GFC 特性評価 今回開発した駆動IC内蔵TOSAにおける電気光変換特性を図11に示す。高周波帯域は14GHz程度あり、14Gbit/s動作に必要な帯域を確保している。

同様に、TOSAを16GFCに対応した駆動条件にて波形評価を行った。図12に光出力波形を示す。伝送速度は14.025Gbit/s、消光比5.0dB、TOSAのケース温度Tc=-10~90℃の範囲における光波形の温度特性を示す。全温度においてパルスマスクマージンは30%以上確保しており、

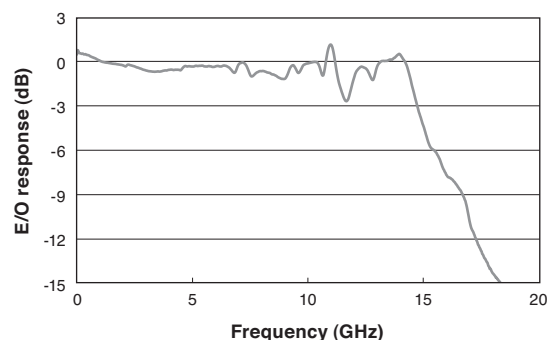


図11 電気光変換特性

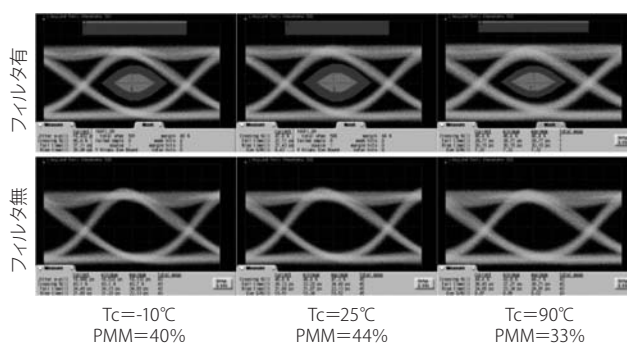


図12 16GFCの光波形温度特性

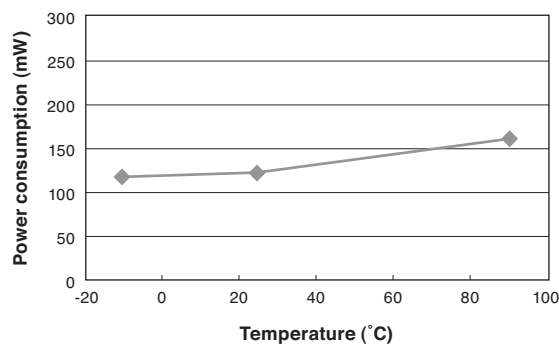


図13 TOSAの消費電力温度特性

良好なアイ開口が得られている。図 13 に TOSA の消費電力温度特性を示す。高温環境においても目標仕様を満足している。

7. 結 言

10GBASE-LR および 16GFC 用途に使用する無温調型 TOSA を開発した。90℃ の高温環境で動作可能で、14Gbit/s にて十分なマスクマージンを確保できることを確認した。また、新たな駆動 IC を内蔵することで光トランシーバの低消費電力化を実現でき、当社顧客における伝送装置の低消費電力化に十分貢献できる。

用語集

XFP

10 Gigabit Small Form Factor Pluggable : 活栓挿抜可能な 10Gbit/s 対応光トランシーバ

SFP+

Small Form Factor Pluggable Plus : 活栓挿抜可能な小型の 10Gbit/s 対応光トランシーバ

TOSA

Transmitter Optical Sub-Assembly : 送信用小型光デバイス

DML

Direct Modulated Laser diode : 直接変調型半導体レーザ、変調電流を半導体レーザに直接入力し光信号を得る

XMD-MSA

10Gbit/s Miniature Device Multi Source Agreement : 光モジュールサプライヤ各社が、製品仕様を共通化し、市場拡大を図るための取り決め

トラッキングエラー特性

PD の電流値を一定となるよう LD 電流を制御した際の光ファイバで得られる光パワーの変動幅

TDR

Time Domain Reflectometry : 時間領域反射、伝送線路に高速なパルス信号を印加し、反射波形を観測することで、特性インピーダンスの変化点を測定する手法

参 考 文 献

- (1) SFF Committee, SFF-8431 Specifications for Enhanced 8.5G and 10Gigabit Small Form Factor Pluggable Module, "SFP+", Rev 2.2, December (2007)
- (2) 本 他、「10Gb/s 動作可能な低消費電力 DFB-LD 駆動 IC の開発」、電子情報通信学会 総合大会、C-12-36、March (2009)
- (3) 佐藤 他、「低消費電力駆動可能な SFP+ 用シャント駆動 TOSA」、電子情報通信学会 総合大会、C-3-14、March (2009)
- (4) 田中 他、「SFP+ 用低消費電力 IC チップセットの開発」、SEI テクニカルレビュー 第 175 号、p114-119、July (2009)

執 筆 者

佐藤 俊介* : 伝送デバイス研究所
部品実装研究部
光送信デバイスの開発に従事



藤田 勇人* : 伝送デバイス研究所
部品実装研究部
光送信デバイス・IC の開発に従事



田中 啓二 : 伝送デバイス研究所 回路技術研究部 グループ長

本 昭宏 : 伝送デバイス研究所 回路技術研究部

小野 雅章 : 伝送デバイス研究所 部品実装研究部 グループ長

佐伯 智哉 : 住友電工デバイス・イノベーション(株) 光デバイス開発部

*主執筆者