



高速 (100G/200G/400G用) 外部変調器内蔵 LDチップ搭載4ch集積送信デバイス

Integrated TOSA with High-Speed EML Chips for up to 400 Gbit/s

寺西 良太*
Ryota Teranishi

内藤 英俊
Hidetoshi Naito

平山 雅裕
Masahiro Hirayama

本田 昌寛
Masahiro Honda

久保田 秀一
Shuichi Kubota

宮原 隆之
Takayuki Miyahara

伝送速度100Gbit/s超の光トランシーバは小型化、高密度実装化が急速に進んでいる。今回我々は、4つの異なる波長の電界吸収型変調器集積レーザと、光挿入損失の小さい空間結合型の光合波器を内蔵した小型4ch集積送信デバイスを開発した。本デバイスはQSFP28への搭載が可能で、伝送速度100Gbit/sで40kmまでの伝送に必要な性能を実現した。また本送信デバイスは100Gbit/sシステムでの使用だけでなく200,400Gbit/sシステムでの使用も可能とする事を目指している。本稿では今回開発した送信デバイスの構造や特性について報告する。

Optical transceivers for high-speed transmission at more than 100 Gbit/s have been downsized and implemented at increasingly high density. We have developed a new compact optical transmitter that consists of a low-coupling-loss optical multiplexer and four distributed feedback lasers with integrated electro-absorption modulators. This transmitter can be installed into QSFP28 to enable transmission at 100 Gbit/s up to 40 km and also used for 200 and 400 Gbit/s systems. This paper presents the design and performance of the transmitter.

キーワード：100Gbit/s超、送信デバイス、高集積、変調型LD

1. 緒 言

高機能携帯端末の普及とともに、SNSや動画配信等のデータ通信サービス分野の成長が続いており、通信トラフィック量は増加の一途を続けている。これに伴い、通信ネットワークの大容量化は常に進められている。これに対し、通信ネットワーク内で使用されている光伝送装置では、装置内に実装される光トランシーバのサイズを小型化し、複数の光トランシーバを高密度実装することで大容量化を実現させている。

具体的には、100Gbit/s光トランシーバのフォームファクタは、これまでCFPが主流⁽¹⁾であったが、より小型のCFP2、CFP4^{*1}およびQSFP28への移行が進んでいる。また、これら小型の光トランシーバに搭載される光送受信デバイス (TOSA、ROSA)^{*2}では、波長多重機能を内蔵させたデバイスの開発が進んでいる。

今回開発した送信デバイスは、中／長距離伝送に適した電界吸収型変調器集積レーザを4チップ搭載し、当社独自設計の光合波システムを用いて集積化させていることを特徴としている。また、今回開発した送信デバイスは、200,400 Gbit/s化に向けた次世代型変調方式のPAM4変調^{*3}システムにも使用可能とする事を目指しており、その特性評価についても行った。本稿では今回開発したデバイスの構造と特性について報告する。

2. 開発方針と開発仕様

CFP2およびQSFP28のサイズを図1に示す。今回開発した送信デバイスは、QSFP28への搭載を想定した。

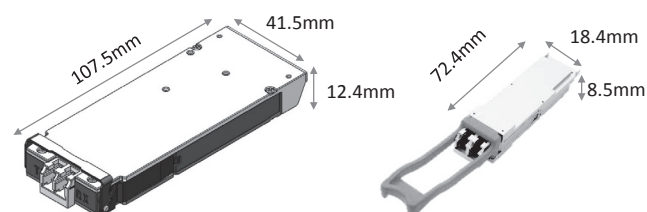


図1 光トランシーバ (CFP2/QSFP28)

QSFP28は幅18.4mmであり、ここに光送受信デバイスが搭載されるため、今回開発した送信デバイスはその半以下の幅となる7mm以下を目標とした。

100Gbit/s システムは、LAN-WDM^{*4}の4波長をそれぞれ25Gbit/sで送受信して100Gbit/sを構成している。従来の光トランシーバCFPでは、1波長あたり1デバイスの構成で4つの送信デバイスを搭載していた⁽²⁾。QSFP28には、先に示した大きさの制約のため、今回の開発では、4波長

を1デバイスに集積化させることで小型化を図った。

送信デバイスの目標仕様を表1に示す。今回、中／長距離用途を目的としているため、IEEE 802.3baの100GBASE-LR4 (伝送距離10km) および100GBASE-ER4 (同40km) に準拠した⁽³⁾ 光出力や消光比特性を満たすことを目標とした。

表1 送信デバイスの目標仕様

	最小	最大	単位
伝送速度	25.78 - 27.95		Gbit/s
伝送距離	0 ~ 40		km
動作ケース温度	-5	75	°C
光平均出力パワー	-2.9	-	dBm
RF消光比	8.0	-	dB
光波長	レーン0	1294.53 to 1296.59	nm
	レーン1	1299.02 to 1301.09	nm
	レーン2	1303.54 to 1305.63	nm
	レーン3	1308.09 to 1310.19	nm
TEC消費電力	-	1.5	W

また、より高速のITU-T G.959.1⁽⁴⁾ (27.95Gbit/s) で動作することも目標とした。

3. デバイス構造

送信デバイスの構造図を図2に示す。パッケージ内部には、波長の異なる4つの電界吸収型変調器集積レーザが搭載され、レーザの温度を一定に制御するためのTEC (Thermo-Electric Cooler)^{*5}とサーミスタが内蔵されている。光合波には光学ロスの少ない空間結合方式を採用した。光トランシーバの回路基板との電気的な接続には、2枚のフレキシブルプリント基板 (FPC) を用い、高周波信号と低周波信号を分離した設計とした。また光出力ポートには、シングルモードファイバ (SMF) を内蔵したLCレセプタクルを用いた。

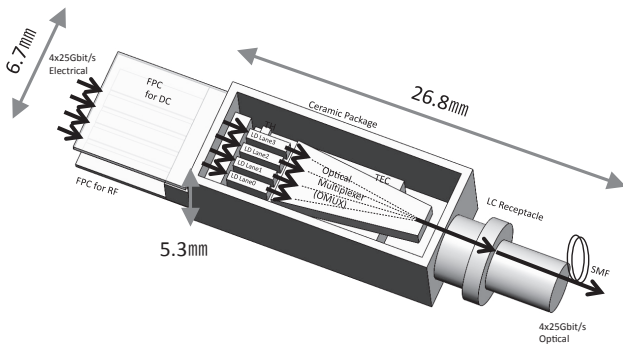


図2 デバイス構造図

この構成により、全長26.8mm、幅6.7mm、高さ5.3mmのデバイスサイズを実現している。(全長はLCレセプタクル先端からパッケージ端で定義)

4. 光合波器設計

光合波方式は、レーザの偏光特性を利用した当社独自設計の空間結合方式で、AWG (Arrayed Waveguide Grating) 方式等の光導波路方式に比べ低結合損失を実現している⁽⁵⁾。光合波器の模式図を図3に示す。まず各レーザからの光は、光学レンズにより平行光に変換される。レーン0とレーン2のP偏光の平行光は、WDMフィルタ#2にて合波され、レーン1とレーン3の平行光は、半波長板によりP偏光からS偏光に変換され、WDMフィルタ#1にて合波される。これら2組の平行光は、最終的に偏波合波フィルタ (Polarization Beam Combiner) により1つに合波され、集光レンズによりファイバに結合される。

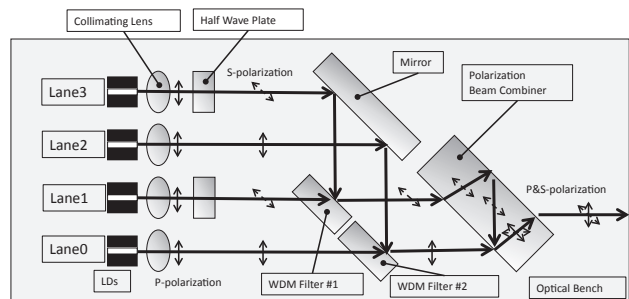


図3 光合波部品の模式図

この光合波方法はWDMフィルタの交換で波長の変更が可能であり、他の波長帯への応用も容易である。

5. 電界吸収型変調器集積レーザ

高速動作光源の候補として、直接変調型レーザ (DML) と電界吸収型変調器集積レーザ (EML) の2種類が挙げられる。DMLは大きな消光比を得にくく、また緩和振動による光波形の歪みが顕著であるため、中／長距離伝送には適していない。そのため、本送信デバイスではEMLを採用した。

EMLの断面模式図を図4に示す。EMLは、分布帰還型 (DFB) レーザの前方に光変調器を集積している。EMLにおいて消光比を大きくするためには、変調器長を長くする必要がある。しかし、高速動作に十分な帯域特性を確保するためには、素子容量低減の観点から、変調器長を短くしなければならない。そのため、変調器長を最適化して8dBのRF消光比と27.95Gbit/s動作を両立させた。

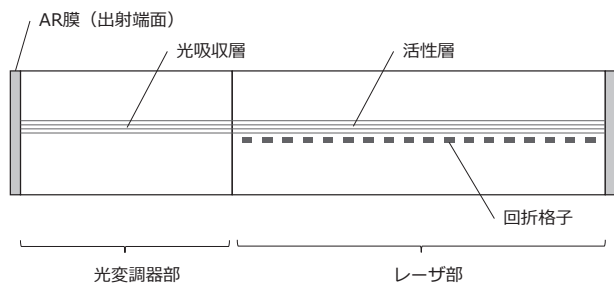


図4 電界吸収型変調器集積レーザ模式図

前方出射端面には低反射 (AR) 膜を形成した。この箇所
の反射率が高いと、出射端面で反射した光がレーザ部に
まで戻ってしまい、デバイス特性に悪影響を与えてしま
う。そこで、本EMLチップには反射率が非常に低いAR膜を用
い、優れた特性が得られるようにした。

6. DC特性

レーザの典型的なDC特性であるレーザ順方向電流－光
出力特性 (I-L特性) を図5に、変調器への逆バイアス印加
時のDC消光特性を図6に示す。図5よりレーザ電流80mA

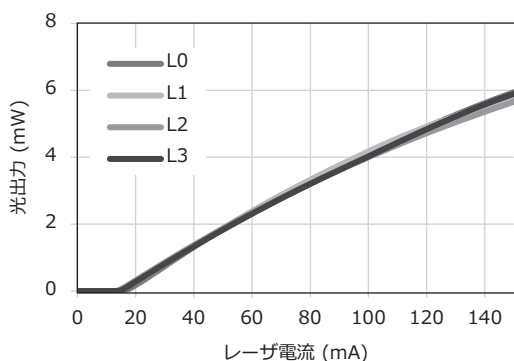


図5 レーザ電流－光出力特性 (I-L特性)

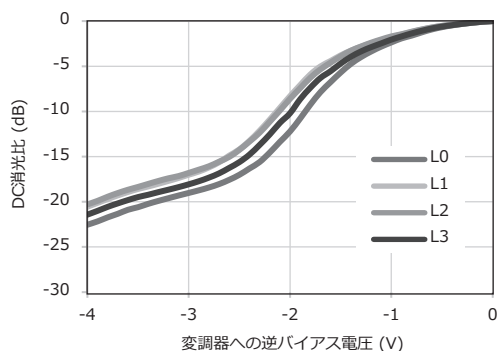


図6 DC消光特性

時の光出力は3.2mW (約5dBm) が得られている。また、
図6より -1Vから -3Vの間での消光比は10dB以上が得られ
ている。

7. 消費電力

送信デバイスに使用したTECの消費電力特性を図7に示
す。光トランシーバのケース温度が上昇/下降した際、送
信デバイスに内蔵されたTECを冷却/加熱素子として機能
させ、レーザ温度を一定に保つよう制御する。図7はレー
ザ電流が80mA時のデータである。TECの消費電力は、高
温側でより増加する傾向にある。最も消費電力が大きくな
るケース温度75°Cの場合でも、TECの消費電力は目標の
1.5Wを下回っていることがわかる。

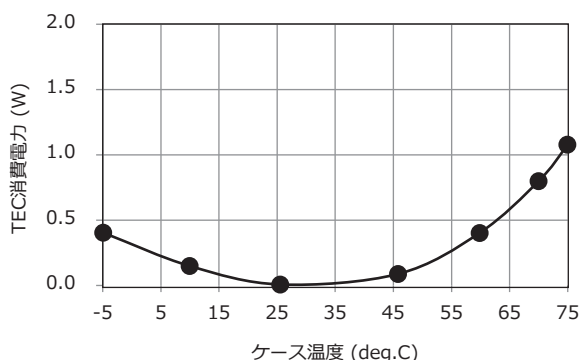


図7 消費電力特性

8. RF特性

次にRF特性の評価結果について報告する。電気－光変換
の周波数特性を図8に示す。3dB帯域幅は20GHzを超える
結果であり、ITU-T規格の27.95Gbit/sの動作⁽⁵⁾には十分
な特性が得られている。

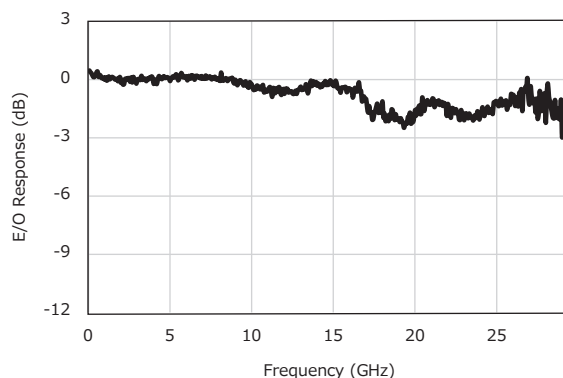


図8 周波数特性

27.95Gbit/sの光出力波形を図9に、評価結果を表2に示す。信号源にはPPG（Pulse Pattern Generator）を用い、伝送速度27.95Gbit/s、PRBS $2^{31}-1$ の電気信号を送信デバイスに入力し、光出力波形を観測した。図9はベッセルトムソンフィルタ透過後の波形である。

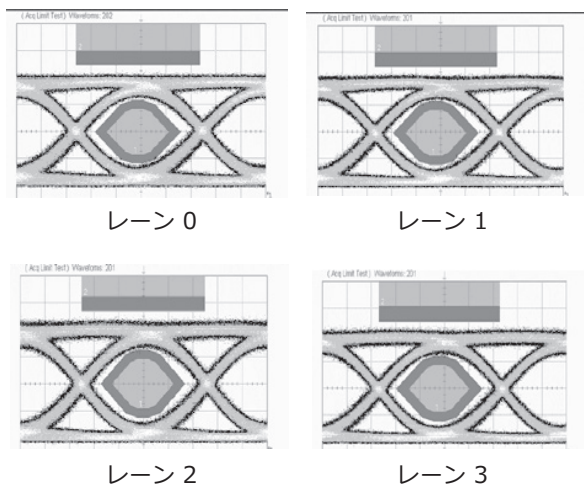


図9 光出力波形

表2 光出力波形の評価結果

	レーン0	レーン1	レーン2	レーン3
平均光出力 (dBm)	2.3	1.8	1.5	1.5
消光比 (dB)	8.1	8.5	8.7	8.3
マスクマージン (%)	39	41	38	42

4レーン全てにおいて、RF 消光比8dB以上、変調時の光平均出力パワー1.5dBm以上の良好な結果が得られ、目標仕様を満たしていることが確認できた。またIEEEおよびITU-Tで規定されたアイマスクに対するマージン率についても、4レーンとも35%以上という良好な特性が得られている。

9. 200,400Gbit/s対応

次世代の200,400Gbit/sシステムは、NRZ変調ではなくPAM4変調を用いることで通信速度の向上を図っている。200Gbit/sシステムでは、4波長の波長多重方式を用いるが、400Gbit/sシステムにおいては倍の8波長での波長多重方式で合計400Gbit/sの信号伝送を行う。今回、上記システムも想定し、8波長のレーザーを作製しており、2台の送信デバイスに4波長毎搭載させ、合計8波長の光信号出力を可能とした。8波長の光スペクトラムを図10に、発振波長を表3に示す。得られた光スペクトラムは、IEEE P802.3bs規格⁽⁶⁾ (400GBASE-LR8) に準拠している。

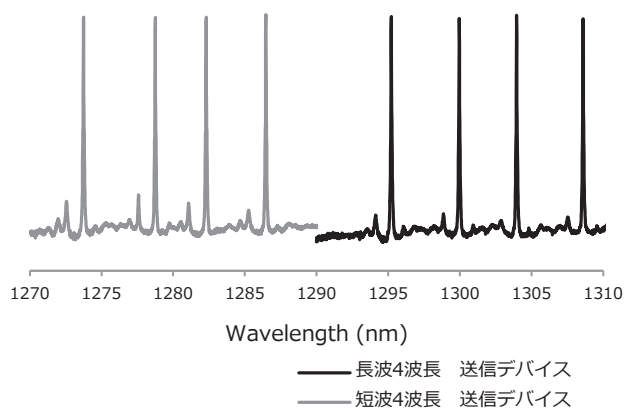


図10 8波長のスペクトル

表3 8波長の発振波長

短波TOSA波長 (nm)	レーン0	レーン1	レーン2	レーン3
	1273.7	1278.8	1282.3	1286.5
長波TOSA波長 (nm)	レーン4	レーン5	レーン6	レーン7
	1295.2	1300.0	1304.0	1308.6

PAM4変調信号での評価結果を図11に示す。信号源ICおよびリニアレーザ駆動用ICを用いて、シンボルレート25.6Gbaud、信号パターンPRBS 213-1のPAM4変調信号を入力し、送信デバイスの光波形を観測した。光波形は規定のTDECQ^{**6}イコライザ透過後の波形である。評価結果として消光比 5.1dB、TDECQ 1.8dBの結果が得られ、現在策定が行われているIEEE P802.3bs規格の要求特性（消光比 3.5dB以上、TDECQ 3.3dB以下）を満たすことを確認した。

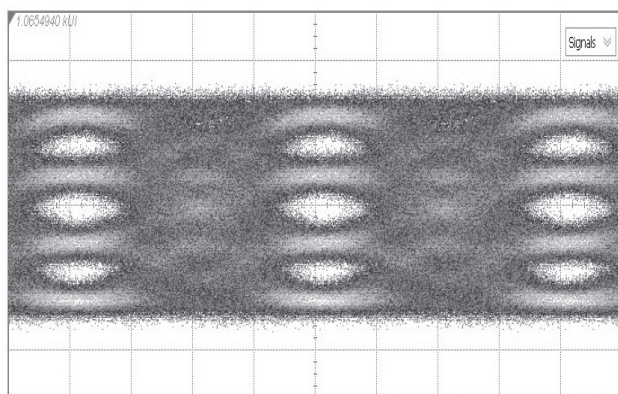


図11 PAM4信号の光出力波形

10. 結 言

今回我々は、小型100Gbit/s光トランシーバQSFP28に搭載可能な、外部変調器内臓LDチップ搭載4ch集積送信デバイスを開発した。レーザの偏光特性を利用した当社独自の光合波器設計と高精度・高密度実装技術を用いることにより小型化を実現し、内製の電界吸収型変調器集積レーザを用い伝送速度27.95Gbit/s条件下にて良好な動作特性を確認した。また200,400Gbit/sシステムで用いられるPAM4変調方式での特性も確認し、次世代通信用途のデバイスとしての見通しも得ることができた。

用語集

※1 CFP2、QSFP28

100G Form-factor pluggable : 100Gbit/s用の業界標準規格の光トランシーバ。

※2 TOSA/ROSA

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

Receiver Optical Sub-Assembly: 受信用小型光デバイス。

※3 PAM4変調方式

4値のパルス振幅変調方式。従来の2値のNRZ変調方式に比べて倍の情報を扱える。

※4 LAN-WDM

波長分割多重方式のひとつ。1294.53nmから1310.19nm間で4波長の信号を一本のファイバで伝送させる。

※5 TEC

Thermo-Electric Cooler : ペルチェモジュール。熱電素子のひとつ。ペルチェ効果を利用した加熱/冷却素子。

※6 TDECQ

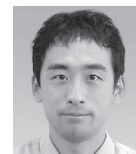
Transmitter and Dispersion Eye Closure Quaternary (for PAM4)。

参 考 文 献

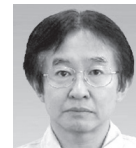
- (1) 津村英志 他、[43/112Gbit/s用光トランシーバの開発]、SEIテクニカルレビュー第181号 (2012年7月)
- (2) 藤田尚士 他、[光トランシーバ向け25Gbit/s光送信モジュール]、SEIテクニカルレビュー第186号 (2015年1月)
- (3) "IEEE 802.3ba Media Access Control Parameters," Physical Layers and Management Parameters for 40Gb/s and 100Gb/s Operation
- (4) ITU-T G.959.1 SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS" (04/2016)
- (5) 佐伯智哉 他、[100Gbit/s 4波長集積小型光送信モジュール]、SEIテクニカルレビュー第188号 (2016年1月)
- (6) "IEEE 802.3bs/D3.4 Draft Standard for Ethernet Amendment 10:Media Access Control Parameters," Physical Layers and Management Parameters for 200 Gb/s and 400 Gb/s Operation

執 筆 者

寺西 良太* : 住友電工デバイス・イノベーション(株) 光部品事業部



内藤 英俊 : 住友電工デバイス・イノベーション(株) 光部品事業部



平山 雅裕 : 住友電工デバイス・イノベーション(株) 光部品事業部



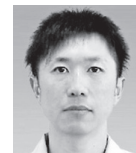
本田 昌寛 : 住友電工デバイス・イノベーション(株) 光部品事業部



久保田秀一 : 住友電工デバイス・イノベーション(株) 光部品事業部



宮原 隆之 : 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