

10Gbit/s EML-TOSAの開発

小林 芳彦

久保田 宗親

昨今、Internetを介した画像配信などのブロードバンドサービスが急速に家庭に普及しつつある。これに伴い、光ネットワークの通信トラフィック量は、ムーアの法則を上回るスピードで増大しているため¹⁾、テレコム、データコム、ストレージ分野での10Gbit/sでの伝送速度を有する伝送システムの需要が増加している。

10Gbit/sの光信号の送受信に用いるトランスポンダーには、複数の業界標準 (MSA : Multi Source Agreement) が存在し、それぞれに、その外形、ピン配置、機能などが定められている。市場では、従来の「300pin-MSA」タイプの比較的大きなタイプから、XENPAK (10Gigabit Ethernet Transceiver Package)、XFP (10Gigabit Small Form Factor Pluggable) といった、より小型で、低消費電力のトランスポンダーが求められるようになっている。実際に、XFPの消費電力とモジュール面積は、300pin-MSAのそれと比較すると、約10分の1程度となっている^{2) 3)}。XFPはテレコムのSONET、データコムのEthernet、ストレージでのFiber Channelといった通信プロトコルを選ばずボード設計に使用できるため、今後採用の拡大が期待されている。

当社では、これまで、伝送距離40km用の300pin-MSAトランスポンダーの心臓部である光送信光源として、EML素子 (EA変調器集積型半導体レーザ : EML (Electro-absorption Modulator Integrated Laser Diode)) とドライバICを一つのパッケージに搭載した小型バタフライモジュール (OL5160M) を開発した⁴⁾。

今回、XFP用の光源として、EML-TOSA (EML-Transmitter Optical Sub Assembly) の開発を行い、XFPの要求仕様を満たすことができる性能、つまり、素子動作温度45℃での10Gbit/s-NRZ変調において、消光比10dB以上、平均光出力+0dBm以上、SMF (Single Mode Fiber) 50km伝送にて分散ペナルティ1dB以下の良好な伝送特性を得ることができた。

本報告では、最初に、XFPを用いたボード設計で問題となっている低消費電力要求に対応するためのEML素子の動作温度の変更に関して述べ、次に、XFP内部の限ら

れた実装スペースに収まる小型のTOSAモジュールの設計に関して述べ、最後に、開発したモジュールの特性を紹介する。低消費電力化のために、EML素子は従来の25℃動作から45℃動作対応に設計変更し、EMLの温度を一定に保つ熱電子冷却素子 (TEC : Thermo Electric Cooler) への負荷を小さくした。また、XFPへの搭載を考慮し、パッケージ外形は、XMD (10Gbit/s Miniature Device) -MSAに準拠した⁵⁾。モジュール寸法を小さくするため、新たに、単レンズ系を採用し、端子にはフレキシブル基板 (FPC : Flexible Printed Circuit Board) を用いた。

素子構造・設計

図1に作製したEMLの素子構造を示す。本素子は、LD (laser diode) 領域、およびEA (electro-absorption) 領域がButt-joint構造でモノシリックに集積化されている。EA部の成長とLD部の成長は別々に行うため、LD部分とEA部分の組成を独立に設計でき、45℃動作での最適化が容易である。導波路構造は、従来のLDの埋め込み構造に比較して、素子容量の低減が容易で、高速応答に適しているポリイミド埋め込みリッジ構造を採用した。

LD部には、多重量子井戸構造分布帰還型 (Multi-Quantum-Well Distributed-Feed Back : MQW-DFB) 構造を採用し、高温 (45℃) でも高光出力が得られるよう、MQW活性層の量子井戸 (ウェル) 層と障壁 (バリア) 層の最適化を行った。

EA部では、低電圧で吸収端のシフト量が大きくなる効

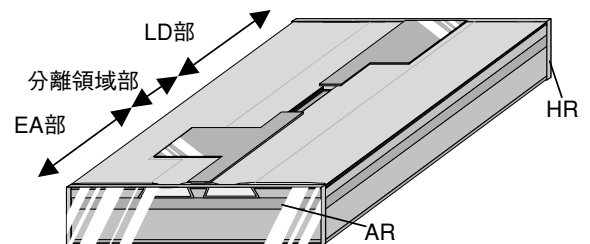


図1 EML素子構造図

果（量子シュタルク効果：QCSE効果）を利用し、高消光比・低チャープが得られるよう、MQW吸収層のウェル層とバリア層の最適化を行った。

45℃動作のためには、EAのバンドギャップ波長とLDの発振波長の差（ディチューニング量）が重要である。DFB発振波長の温度依存性（0.1nm/℃）とEAのバンドギャップ波長の温度依存性（0.7～1nm/℃）を考慮して、25℃動作設計でのディチューニング量と45℃動作設計でのディチューニング量が同一に設定する必要がある。本素子では、EA部を25℃動作設計のバンドギャップ波長に対して約15nm短波長側に設定し、温度45℃において最適なディチューニング量となるような結晶成長条件を求めた（図2）。

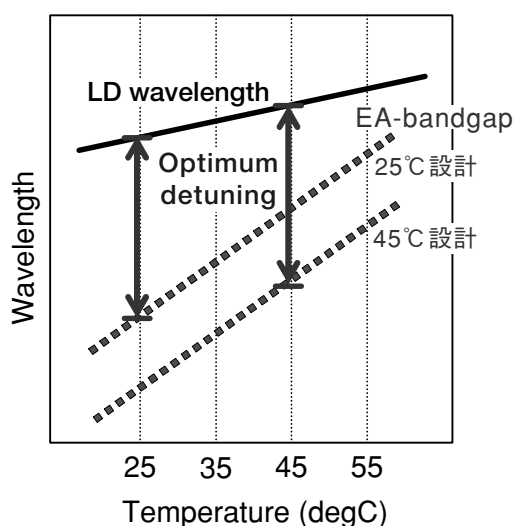


図2 ディチューニング量の温度依存性の模式図

TOSAモジュールの構成

今回開発したEML-TOSAモジュールの構成を図3、モジュールの外観を写真1に示す。PKG内には、45℃動作のEML素子、モニター用フォトダイオード（PD）、EML素子の温度安定化のためサーミスタ、小型TEC、およびレンズが内蔵されている。ファイバとの嵌合部には、XFPに対応するためLCレセプタクルタイプを採用した。また、SCレセプタクルタイプを採用するとXENPAK用にも適用できる設計となっている。

FPCとレセプタクル部を除くと、モジュールパッケージのサイズはXFPトランスポンダモジュールに適應できるよう、9.5mm×6mm×6mmというサイズになり、当社従来品の1/5の体積となる。

モジュール設計のポイントは、①フレキシブル基板FPC

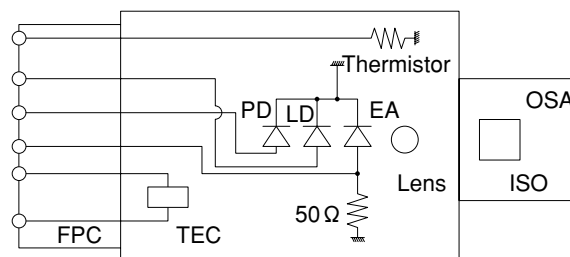


図3 モジュールの構成



写真1 モジュール外観写真

の設計、②モジュールサイズが小さいため光結合系を従来の2レンズ系から、単レンズ系に変更したこと、小型TECの採用である。

PKGからトランスポンダーの回路ボードへの電極取り出しは従来型のPKGでは金属リードであるが、XMD-MSAではFPCを採用している。FPCの特性は高速特性に影響を与えるものであり、特に信号ラインの伝送損失を増やさず、インピーダンスマッチングを取ることが重要である。信号ラインの「幅」を最適化することで、伝送損失を損なわず良好なマッチングを得ることができた。

光結合系は従来の2レンズ系を使用すると、結合トレランスが大きく、高結合が容易であるが、モジュールのサイズの制約により、採用できない。単レンズ系でも高結合できるよう、最適な非球面レンズを採用した。

DC特性

今回試作したEML-TOSAのDC特性について述べる。図4に、典型的な電流－光出力特性（I-L特性）を示す。

EML動作温度を45℃とした時のLD部の発振閾値電流（I_{th}）は25mA、光出力は3.5mW（@80mA）であり、10Gbit/sトランスポンダーで要求される平均光出力1mWを得るのに十分な特性が得られている。

図5は、LD電流値を一定（80mA）としたときの、EA部の消光特性の逆バイアス依存性である。0Vから－2Vで14dB、0Vから－3Vで18dBの消光比が得られており、

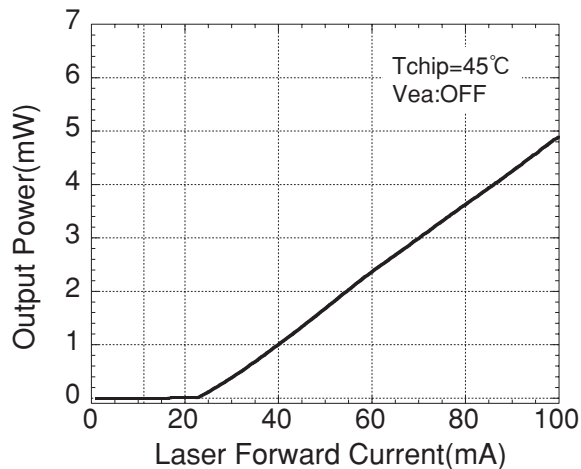


図4 I-L特性

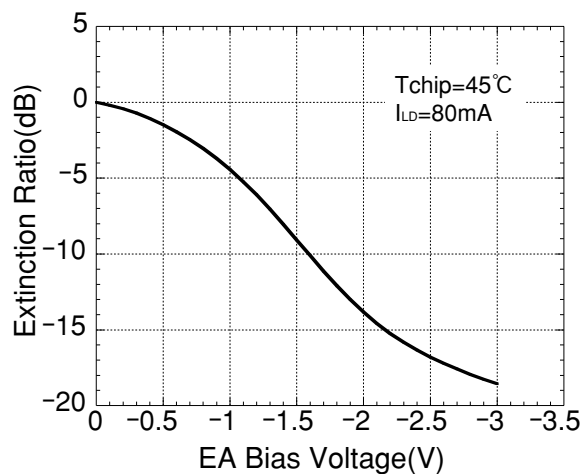


図5 消光特性

10Gbit/s変調時、2Vpp動作時に動的消光比10dBを満たすものである。

変調・伝送特性

次に、EML-TOSAの10Gbit/s-NRZ変調によるSMF-50km伝送特性について述べる。今回使用した伝送特性評価系を図6に示す。用いたビットレートは、SONET標準規格の9.95328Gbit/sで、信号列は、31段擬似ランダム信号（PRBS [Pseudo-random binary sequence] $2^{31}-1$ ）を用いた。電気信号は振幅2Vppに設定し、EML-TOSAに印加した。EMLの動作温度は45°C、モジュールケース温度を25°C、LD部の駆動電流値は80mAに設定した。

図7 (a)、(b) はそれぞれに、(a) Back To Back (B to B : 0km伝送) の光出力波形、(b) 50km伝送（分散

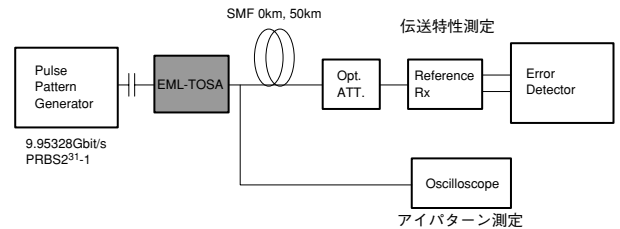


図6 伝送特性評価系

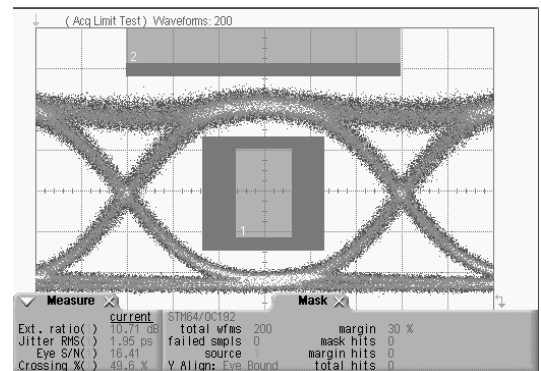


図7 (a) 伝送前波形

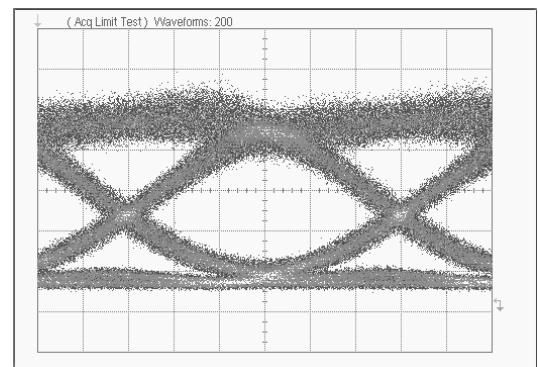
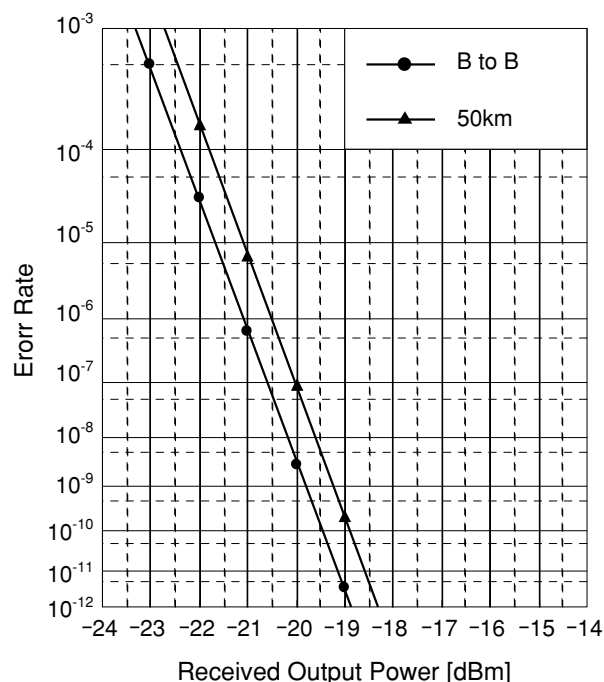


図7 (b) 伝送後波形

量800ps/nm) 後の光出力波形を示す。この光出力波形の評価には4次ベッセルトムソンフィルタを使用した。

B to Bでの消光比10.7dB、平均光出力0.5dBmが得られており、FPCを実装した状態でも、マスクヒットするのに30%のマージンがあり、規格を十分満足するものである。なお、伝送マスクはITUで規格されているOC-192/STM-64のものを使用した。

図8はB to Bと50km伝送の符号誤り率（Error Rate）特性を示しているが、Error Rateが 1×10^{-12} のときの分散ペナルティ（Dispersion penalty : DP）は約0.6dBであり、要求仕様の1.5dBを大きく上回る良好な結果が得



Tchip=45°C、ILD=80mA、Bitrate=9.95328Gbit/s

図8 符号誤り率特性

られた。

表1に、平均光出力、消光比および分散ペナルティの温度依存性を示す。-5°C~75°Cの広範囲で良好な特性が得られた。図9に、パッケージケース温度を-5°Cから75°Cまで変化させた場合のモジュール消費電力を示す。EML動作温度は45°CなるようTECで温度制御した。-5°C~75°Cの広い温度範囲で消費電力1.0W以下を達成できていることが分かる。消費電力は、従来モジュールと比較して1/3程度に抑えられた。

表1 EML-TOSAの温度特性

パラメータ	ケース温度 (°C)		
	-5	25	75
光平均出力(dBm)	0.40	0.50	0.48
消光比 (dB)	10.65	10.70	10.73
分散ペナルティ (dB)	0.62	0.59	0.63

Bitrate=9.95328Gbit/s、Im値一定

まとめ

10Gbit/s小型トランスポンダーである40km伝送用XFP用光源として、XMD-MSA準拠のEML-TOSAの開発に成功した。45°C動作のEML素子設計、小型PKG対応の単レンズ光結合系設計、小型-TECの採用により、ケース温

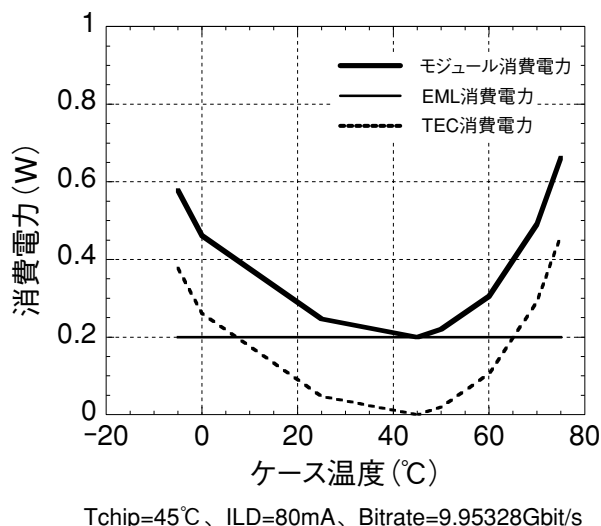


図9 モジュール消費電力

度-5°C~75°Cにおいて、平均光出力0dBm以上、消光比10dB以上、DPは0.6dB、最大消費電力1W以下の良好な特性を得ることができた。◆◆

参考文献

- 1) <http://www.jpix.co.jp/jp/technical/traffic.html>
- 2) <http://www.xfpmsa.org/>
- 3) <http://www.300pinmsa.org/>
- 4) 大沢, 川西: “1550nm 10Gbit/sドライバ内蔵型EA変調器付きLDモジュール”, 沖テクニカルレビュー196号, Vol.70 No.4, pp.92-95, 2003年
- 5) <http://www.oki.com/en/press/2004/z04064e.html>

●筆者紹介

小林芳彦: Yoshihiko Kobayashi. オプティカルコンポーネントカンパニー 開発部 EAモジュール設計チーム
久保田 宗親: Munechika Kubota. オプティカルコンポーネントカンパニー 開発部 EAデバイス設計チーム