

データセンター向け広動作温度範囲 CWDM 100Gbps EML

東 祐介*
Yusuke Azuma
丹羽顕嗣†
Akitsugu Niwa
尾上和之*
Kazuyuki Onoe

恵良淳史*
Atsushi Era
森田佳道*
Yoshimichi Morita

Wider-temperature-range CWDM 100Gbps EML Chip for Data Centers

要 旨

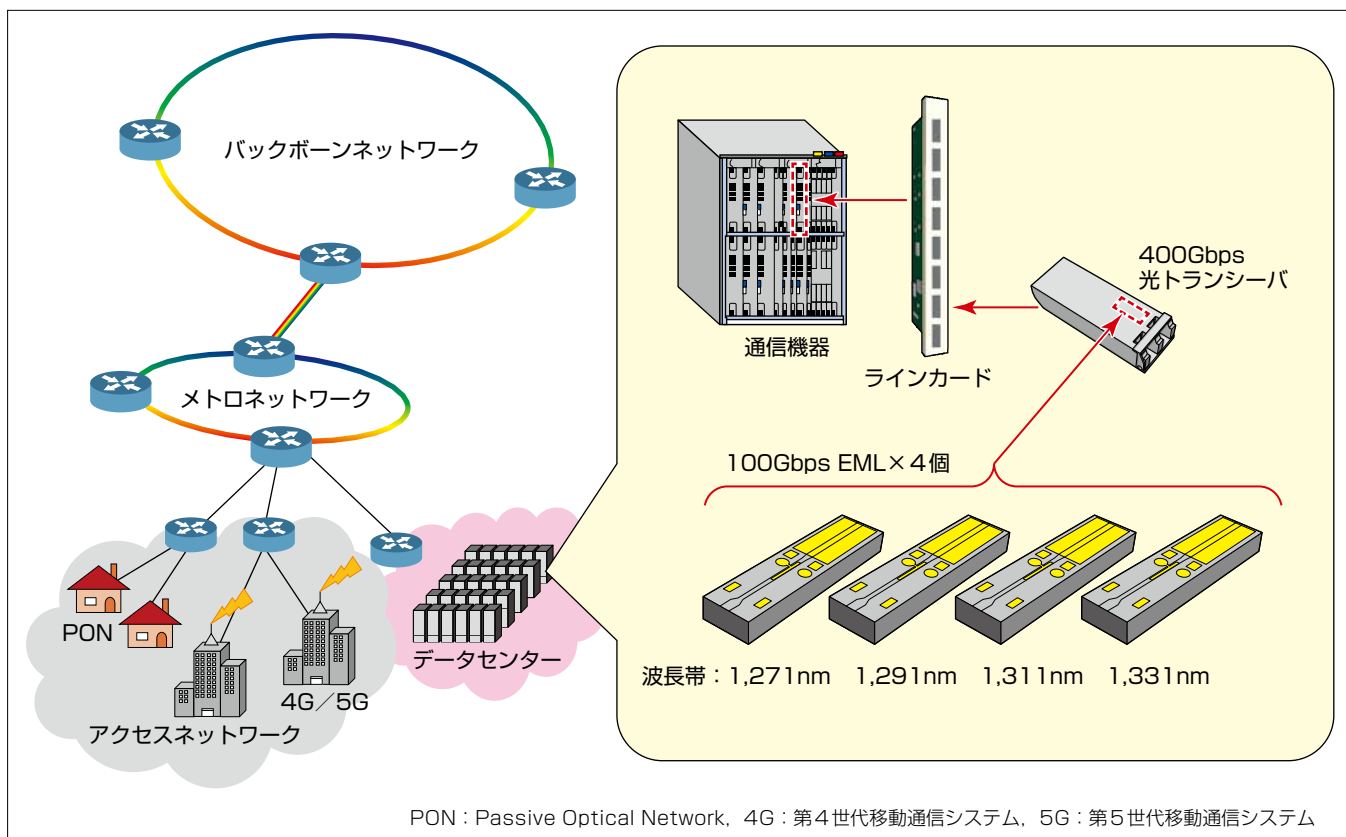
スマートフォン、タブレットなどの普及や情報のクラウド化によるデータ通信量の急速な増加に伴い、データセンターのネットワーク通信速度の高速化(400Gbps)と大容量化が進んでいる。

一方で、データセンター内に設置される通信機器などの消費電力の増加が大きな課題になっている。

この課題解決のためには、温度調整が不要で広い温度範囲で動作するEML(Electro-absorption Modulated Laser)を用いることが有効で、一部のデータセンターではチップ温度(T_{LD}) 5~85°Cでの動作が必要とされている。400Gbpsの光通信には、1波長当たり100Gbpsで動作するCWDM(Coarse Wavelength Division Multiplexing) 4波長のEMLチップを用いて、波長多重方式で400Gbpsのデータ通信

を実現する方式がMSA(Multi Source Agreement)で制定されている。

今回、広動作温度範囲CWDM 100Gbps EMLチップを開発し、1波長当たり100Gbpsの高速動作と広動作温度範囲の両立のため、三菱電機独自のハイブリッド導波路構造を採用し、レーザ部(LD)、EA(Electro-Absorption)変調器部の設計パラメータを最適化することで、チップ温度5~85°Cの広い動作温度範囲で目標仕様を満足する良好な特性を得た。これによって、データセンター内のシステム構成部品である光トランシーバ内に従来必要であったEMLの温度調整用のTEC(ThermoElectric Cooler)が不要になり、データセンターの消費電力とコストを低減できる。



PON : Passive Optical Network, 4G : 第4世代移動通信システム, 5G : 第5世代移動通信システム

データセンター400Gbps光通信へのCWDM4波長100Gbps EMLの適用例

EMLは、分布帰還形レーザ(レーザ部)と電界吸収(EA)型光変調器の二つのデバイスを一つの半導体基板上に集積したもので、分布帰還形レーザ単体と比較して高消光比、高速動作及び長距離伝送に優れる。近年のクラウドサービスの普及によってデータセンターの通信トラフィックが増大しており、1チップで100Gbps通信が可能なEMLチップを四つ搭載した400Gbps光トランシーバが使われている。

1. ま え が き

スマートフォン、タブレットなどの普及や情報のクラウド化によるデータ通信量の急速な増加に伴い、データセンターのネットワーク通信速度の高速化(400Gbps)と大容量化が進んでいる。

一方で、データセンター内に設置されるサーバやルータ、光ファイバ通信機器などの消費電力の増加が大きな課題になっている。データセンターでは多数の伝送装置の駆動とその冷却のための消費電力が膨大になっていることから、低消費電力化の要請が非常に強い。さらに、システム普及のためには伝送装置の低コスト化も非常に重要になっている。

これらの課題に対応するには、EMLの温度調整が不要で、広い温度範囲で動作するEMLを用いることが有効で、100Gbpsで動作する4波長のEMLチップを用いて、それぞれの光信号を合波する波長多重方式で400Gbpsのデータ通信を実現する方式がMSAで制定されている⁽¹⁾。四つの波長は、**図1**に示すように、波長間隔を20nmとして各々の波長許容幅を13nmとしたCWDM規格が用いられる。これまで当社は、チップ温度25~75℃の範囲で温度調整不要で動作する1波長50Gbps対応のEMLを開発してきたが、一部のデータセンターでは、更に温度範囲の広い $T_{LD} = 5 \sim 85^\circ\text{C}$ で温度調整なしで動作するEMLチップが必要とされており、また400Gbps伝送のために1波長当たり100Gbpsの動作も求められている。

今回、伝送速度400Gbpsの大容量高速光ファイバ通信で使用される半導体レーザーダイオードチップとして、5~85℃の広い動作温度で駆動するEMLチップを開発し、良好な光波形品質を得ることに成功した。**図2**に光トランシーバの内部構造概念図を示す。従来のEMLチップで100Gbps伝送するにはTECでの温度調整が必要であったが(**図2(a)**)、今回開発のEMLチップでは温度調整用

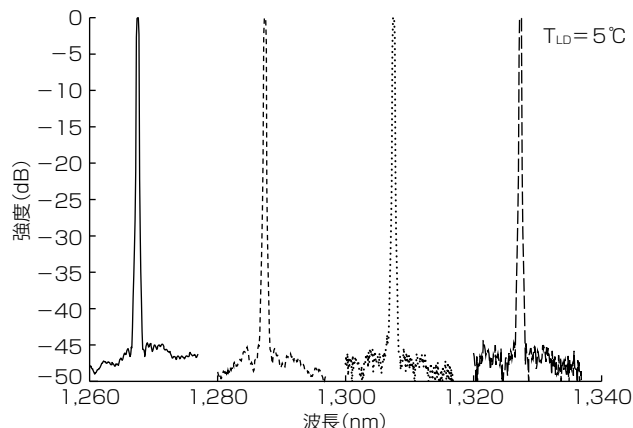
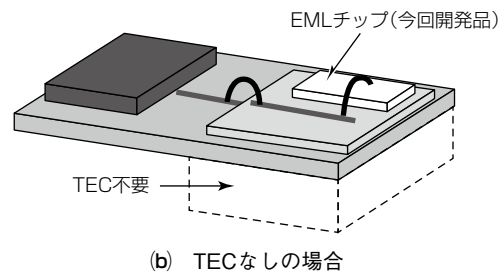
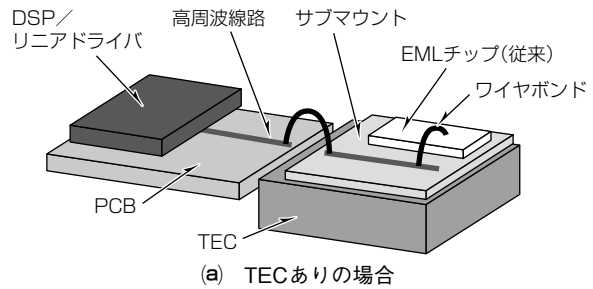


図1. CWDM 4波長のEML発振波長スペクトル
($T_{LD} = 5^\circ\text{C}$, $P_o = 6.5\text{mW}$)



DSP : Digital Signal Processor, PCB : Printed Circuit Board

図2. トランシーバ内部構造概念図

のTECを削減でき(**図2(b)**)、データセンター用途トランシーバの消費電力とコストを低減できる。

2. EMLチップ設計

2.1 広帯域化設計

図3にEMLの素子構造を示す。レーザ部は高温駆動時の光出力低下が課題であるため、高温特性に優れた埋め込み構造(**図3(b)**)を採用した。EA変調器部は高消光比・広帯域の特長を持つハイメサ構造(**図3(c)**)として、素子全体は埋め込み構造のレーザ部とハイメサ構造のEA変調器部をモノリシック集積した当社独自のハイブリッド導波路構造を採用した(**図3(a)**)⁽²⁾⁽³⁾。今回の100Gbpsの高速動作のためには、EA変調器の容量低減による広帯域化と消光比確保の両立が必要になる。容量を低減し高い帯域を得るためには、EA変調器長を短くすることが望ましいが、EA変調器を短くすると、消光比が減少するトレードオフ関係がある。ハイメサ構造は他のリッジ型や埋め込み構造と比べてEA吸収層に閉じ込められる光の割合を大きくできるので、短い変調器長でも高い消光比を得ることが可能である。そのため今回は帯域と消光比のトレードオフ関係を緩和できるハイメサ構造を採用した。EA変調器長は従来よりも短尺化して容量の低減を行うが、トレードオフになる消光比は100G Lambda MSAのFR4規格⁽¹⁾を満足する設計を行った。またEA変調器の先にはスポットサイズ変換器を搭載することでシングルモードファイバへの結合効率を向上させている。

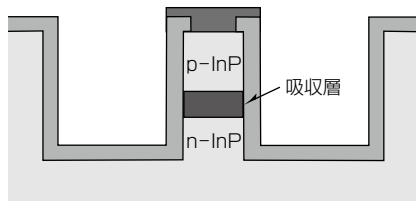
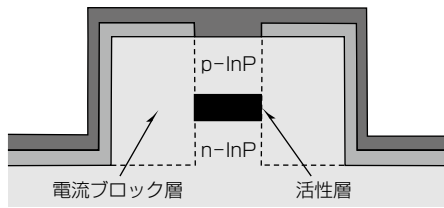
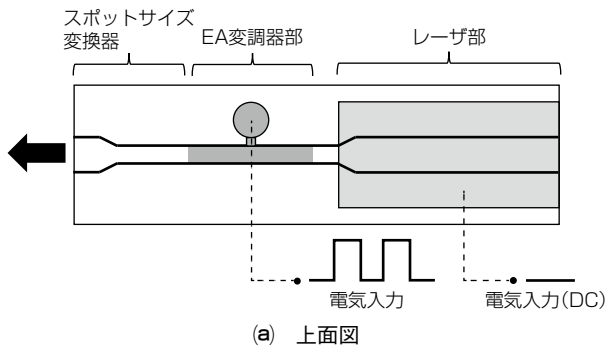


図3. EMLの素子構造図

2.2 広動作温度範囲化設計

EA変調器の吸収層には、通常、多重量子井戸構造が用いられる。量子井戸に電界を印加することによって光の吸収スペクトルが長波長側にシフトする現象(量子閉じ込めシュタルクシフト)を用いて、光のオン/オフを制御する。図4のように、レーザ部からEA吸収層に入射された光が、無電界時には通過するが、電界を印加した場合は、量子閉じ込めシュタルクシフトによってバンドギャップエネルギーが狭まって光を吸収ようになる。図5は、EA変調器の吸収スペクトルの概念図である。レーザの発振波長に対して、無電界時はレーザ発振波長での吸収係数が小さいので光はほとんど吸収されず通過するが、電界印加時は、量子閉じ込めシュタルクシフトによって、光の吸収スペクトルが長波長側にシフトし、レーザ発振波長での吸収係数が増大するため、光は吸収される。EA変調器の特性は、無電界時の吸収スペクトルの第一のピーク(エキシトン吸収ピーク)とレーザ発振波長のディチューニング量(以下“ $\Delta\lambda$ ”という。)によって大きく変化する。通常範囲では、 $\Delta\lambda$ が小さいほど消光比が大きく光出力は小さくなり、 $\Delta\lambda$ が大きいほど消光比が小さく光出力は大きくなる。広い温度範囲で所望の特性を得るためには、この $\Delta\lambda$ を適切

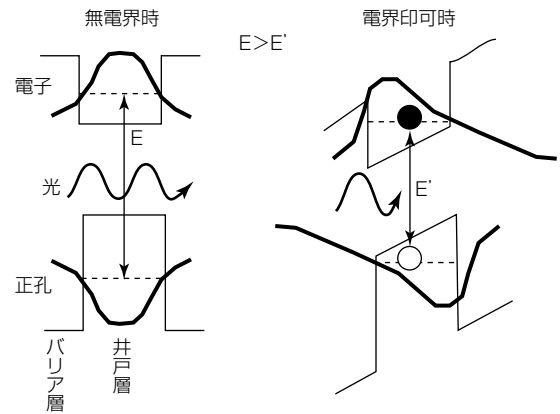


図4. EA変調器吸収層のエネルギーバンド構造概念図

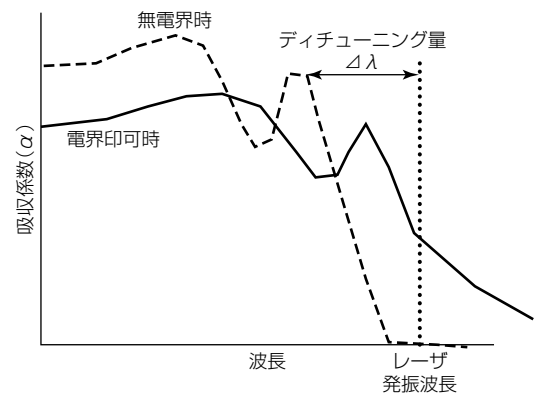


図5. EA変調器の吸収スペクトル概念図

に設定する必要があるが、EA吸収スペクトルは $0.5\text{nm}/^\circ\text{C}$ 程度で変化するのに対して、レーザ発振波長は $0.1\text{nm}/^\circ\text{C}$ 程度で変化するため広い温度範囲で特性を満足することが難しい。低温側では $\Delta\lambda$ が大きくなり、所望の消光比を得るためには印加する電圧を大きくする必要があるが、大きな電圧を加えるとエキシトン吸収ピークが崩れて、消光比が減少する問題もある。今回は吸収層の多重量子井戸設計を工夫することと、 $\Delta\lambda$ を適切に設計することでこれらの問題を解決している。高温側では、レーザの光出力が低下する問題もあるが、電流ブロック層構造を工夫することで高温 85°C 駆動時でも所望の光出力が得られるようにした。

3. EMLの評価結果

表1にEMLの目標仕様及び評価結果を示す。

3.1 周波数応答特性(S21)の評価結果

図6に今回開発品(1,311nm波長帯のチップ)の周波数応答特性(S21)を示す。チップを実装したサブマウントに直接RF(Radio Frequency)プローブをコンタクトして測定した。駆動条件は、チップ温度 $T_{LD} = 5^\circ\text{C}$ で、LD電流(I_{op}) = 40mA、EAオフセット電圧(V_{EA}) = -2.5V 、 $T_{LD} = 85^\circ\text{C}$

で $I_{op} = 120\text{mA}$, $V_{EA} = -1.5\text{V}$ である。100Gbpsで動作させるためには一般的に35GHz以上の通過帯域が必要であるが、今回開発品の3dBカットオフ周波数は、5°Cで53GHz、85°Cで48GHzであり、100Gbps伝送に十分な帯域が得られている。

表1. EMLの目標仕様及び評価結果

項目	目標仕様	評価結果		
		5°C	85°C	
発振波長	L0	1,264.5~1,277.5nm	1,267.5nm	1,274.4nm
	L1	1,284.5~1,297.5nm	1,287.4nm	1,294.6nm
	L2	1,304.5~1,317.5nm	1,307.5nm	1,314.6nm
	L3	1,324.5~1,337.5nm	1,327.4nm	1,334.4nm
3dBカットオフ周波数	$\geq 35\text{GHz}$	53GHz	48GHz	
光変調振幅	$\geq 5.0\text{dBm}$ (チップ端)	8.0~8.6dBm	5.3~7.6dBm	
変調時消光比	$\geq 3.5\text{dB}$	4.7~5.3dB	7.0~7.3dB	
TDECQ	$\leq 3.4\text{dB}$	2.4~2.7dB	1.4~2.5dB	

TDECQ : Transmitter and Dispersion Eye Closure Quaternary

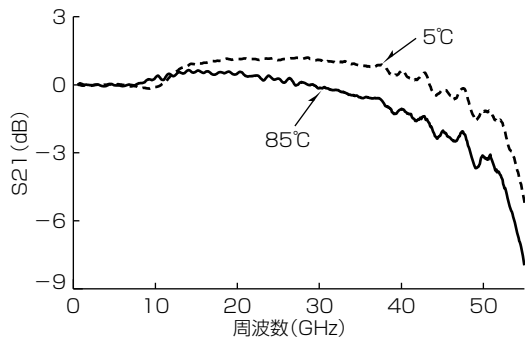


図6. 周波数応答特性(S21)

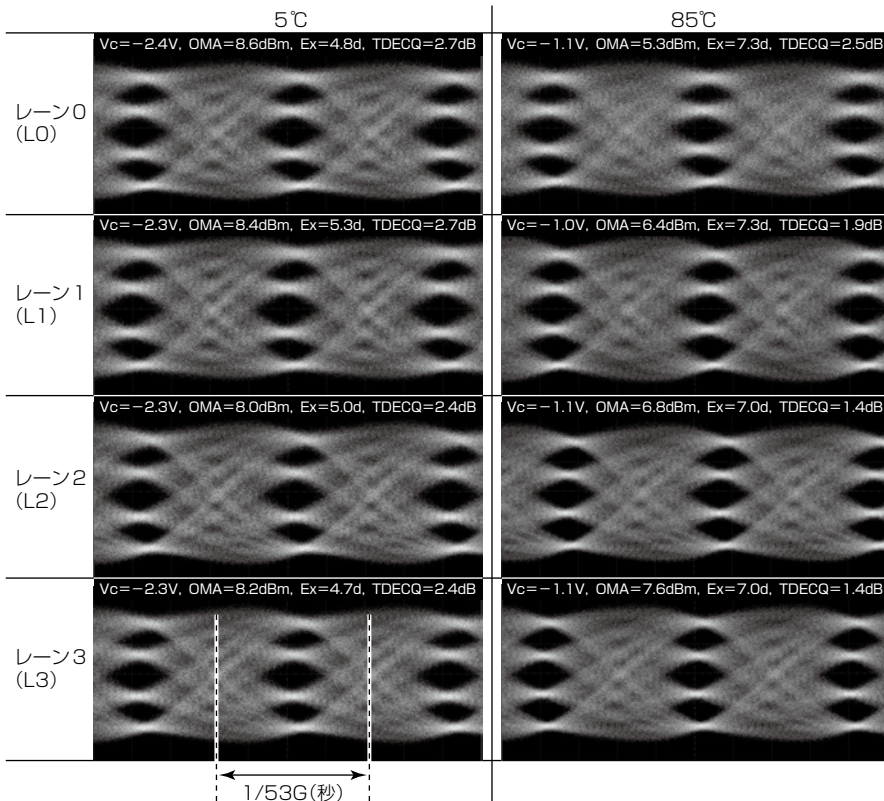


図7. 53.125Gbaud PAM4変調動作時の光波形

3.2 光波形の評価結果

図7にチップ温度5°Cと85°Cでの波長帯ごとのBTB(Back to Back)の53.125Gbaud PAM4(Pulse Amplitude Modulation-4)変調動作時の光波形を示す。チップを実装したサブマウントに直接RFプローブをコンタクトして測定した。駆動条件は、ボーレート53.125Gbaud, EML変調電圧振幅(V_{pp})1.0V, $I_{op} = 30\text{mA}$ @5°C, 120mA @85°Cである。EAセンターバイアス電圧(V_c)はそれぞれ図中に示したとおりである。評価の結果、チップ端光出力での光変調振幅(OMA: Optical Modulation Amplitude)8.0~8.6dBm@5°C, 5.3~7.6dBm@85°C, 変調時消光比(Ex)4.7~5.3dB@5°C, 7.0~7.3dB@85°C, TDECQ2.4~2.7dB@5°C, 1.4~2.5dB@85°Cが得られ、チップ温度5°Cと85°Cの広温度範囲で目標仕様を達成した。

4. むすび

今回、データセンター向け伝送速度400Gbpsの大容量高速光ファイバ通信で使用される半導体レーザーダイオードチップとして、チップ温度5~85°Cの広い温度範囲で駆動するCWDM4波長EMLチップを開発した。高速動作と広動作温度範囲の両立のため、当社独自のハイブリッド導波路構造を採用し、レーザー部、EA変調器部の設計パラメータを最適化することで、チップ温度5~85°Cの広い動作温度範囲で目標仕様を満足する良好な特性を得た。これによって、データセンター内のシステム構成部品である光トランシーバ内に従来必要であったEMLの温度調整用のTECが不要になり、データセンターの消費電力とコストを低減できる。

参考文献

- (1) 100G Lambda MSA <https://100glambda.com/>
- (2) Morita, Y., et al.: 1.3 μm 28 Gb/s EMLs with Hybrid Waveguide Structure for Low-Power-Consumption CFP2 Transceivers, Optical Fiber Communication Conference/National Fiber Optic Engineers Conference 2013, America, paper OTh4H.5 (2013)
- (3) 大和屋 武, ほか: 次世代100GbEトランシーバ向けハイブリッド導波路型EMLの低電圧・高温動作, 電子情報通信学会総大会2013, C-4-18 (2013)