



40Gbit/s-EA変調器集積DFBレーザ

立花 啓悟

久保田 宗親

近年の光通信は、IP電話や音楽に代表される音声配信、動画配信、さらには電子商取引等さまざまなサービスが提供されており、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おり¹⁾、光通信システムの大容量化が求められている。高速・大容量化に対応するため、伝送速度10Gbit/sの光通信システムが急速に普及してきており、波長分割多重（Wavelength Division Multiplexing：WDM）化が進んでいる。一方、1チャンネルあたりの伝送速度を高速化した、40Gbit/sシステム市場が立ち上がり始めてきている。この市場に対して、これまで、我々は40Gbit/sの短距離のVSR（Very Short Reach）市場対応の40Gbit/sトランスポンダ用の電界吸収型（Electro Absorption：EA）変調器を開発し、商品化してきた。

40Gbit/sトランスポンダにおいても、10Gbit/s同様に小型、低消費電力化が進んできており、EA変調器と光源である分布帰還型半導体レーザ（Distributed Feedback laser：DFB-LD）をモノシリックに集積し、1パッケージ内に実装したデバイスの実現が望まれている。

今回、我々は、EA変調器とDFB-LDをIn P基板上にモノシリック集積化したEML（Electro-absorption Modulator Integrated Laser Diode）、およびそれを内部に実装した光ファイバ付きのEMLモジュールの40Gbit/s動作化に成功し、良好な40Gbit/s特性、低消費電力動作を得ることができたので報告する。

素子構造・設計

図1に作製したEMLの素子構造を示す。素子は、EA変調器と半導体レーザが光軸方向にモノシリックに構成されており、EA部とLD部の間には、EA部とLD部の電氣的クロストークを低減させるため分離領域部を形成した。また、40Gbit/s用デバイスとして高速応答に適しているリッジ構造を採用した。

LD領域は、単一波長動作を有するDFB構造を採用し、活性層には多重量子井戸構造を採用し、そのウェル層お

よびバリア層を最適化し、高出力化を計った。

EA部は、40Gbit/sという高速応答を実現するために、素子容量（p-i-n接合容量、電極寄生容量）の低減が必須となる。

p-i-n接合の容量は、①ノンドープ層厚を厚くすること、②吸収層幅を狭くすること、③EAの共振器長を短くすることで低減できる。しかし、p-i-n接合容量低減と消光比はトレードオフの関係にある。そこで、単位長さあたりの吸収量を大きくするために、低電圧で吸収端のシフト量が大きくなるQCSE（Quantum Confined Stark Effect）効果を利用し、さらに、EA変調器の吸収層のバンドギャップ波長とLD発振波長の差（ディチューニング量）を小さくすることによって、p-i-n接合容量が低減しても、消光比を維持できるように吸収層を最適化した。

次に、電極寄生容量に関しては、電極面積を小さくし、さらにその下に低誘電率のポリイミド樹脂で埋め込むことによって低減した。

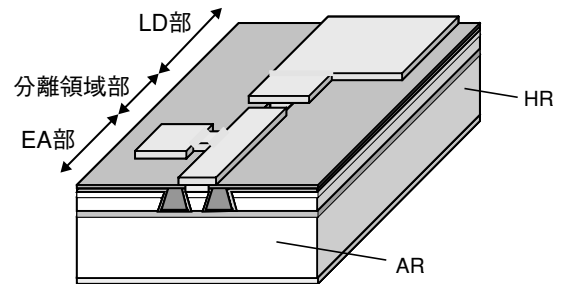


図1 EML素子構造図

モジュールの構成

EMLモジュールの外観写真を写真1に示す。ファイバを除く本体の外形寸法は21×13×10mmであり、従来のEA変調器の本体と同一の大きさである。パッケージ側面から信号用の高周波コネクタであるVコネクタと7pinの

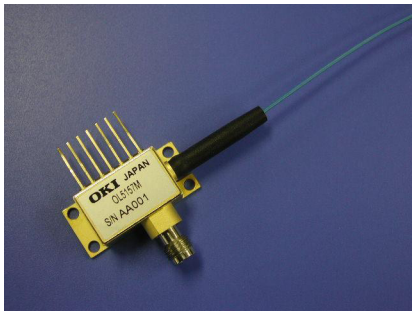


写真1 モジュール外観写真

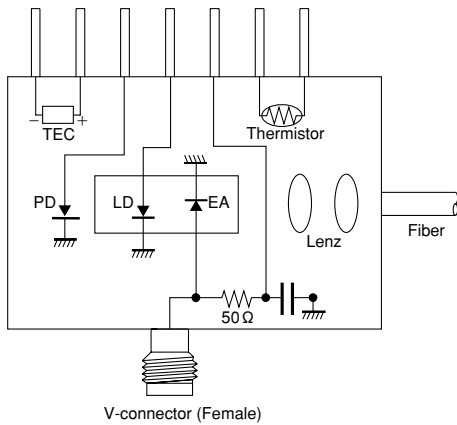


図2 モジュール構造図

リード線が出ている。図2に内部構造図を示す。モジュール内部の構造はEML素子とモニター用フォトダイオード (Photo Diode), サーミスタ, 熱電子冷却素子 (Temperature Electric Controller : TEC) よりなる温度制御回路, および非球面レンズで構成されている。

今回のモジュール設計においては低消費電力と40Gbit/sの高速動作を目標としている。

EMLは, EAとLDが集積化されているため, EAのフォトカレントの発熱に加えて, LDによる発熱もあり, 従来のEA変調器モジュールに比べて熱負荷は増大するため, 雰囲気温度0~75°Cで動作させた時に消費電力が最小になるよう最適なTECを採用し, 低消費電力化した。

さらに, レンズ結合系は非球面の2枚レンズ系を用いることで, EML素子から出射される光のモード分布と高結合効率が得られるようにし, 低駆動電流で所望の光出力が得られるようにした。

加えて, EA部においては信号ラインの終端に50Ω抵抗とキャパシタを組み合わせることで, EAにDCバイアスがかけられるような回路 (Bias-T) を構成した。これにより, AC終端の形でマッチングを取ることで反射による信号の劣化を防ぐとともに, 50Ω抵抗による発熱を抑えることで低消費電力化を実現している。

高速動作に関しては, 伝送損失の低減と, インピーダンスミスマッチによる反射を低減させることが必要である。

このため, 電気信号の入力については, Vコネクタを使用し, パッケージ内部の高周波伝送路にはマイクロストリップラインを構成し, ラインの幅を最適化した。

DC特性

モジュールの特性について説明する。

図3に電流-光学特性(I-L特性)を示す。TEC温度35°C, 60mAの条件で3.5mW以上の光出力が得られており, EML素子の出力から見積もると約70%と十分な光結合効率が得られていることが確認できた。

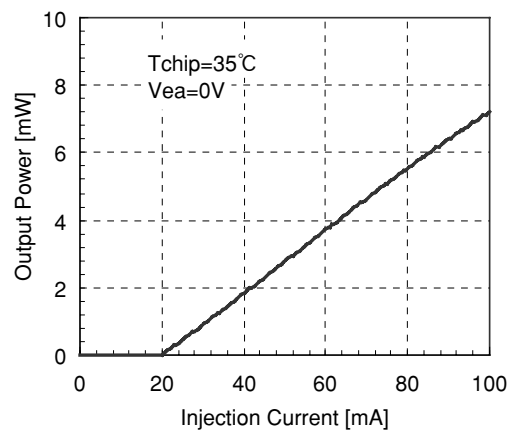


図3 電気-光学特性

図4はLD電流値を一定にしたときのEA部の消光特性を示している。静的消光比は0~-3Vで20dBと大きな値が得られている。

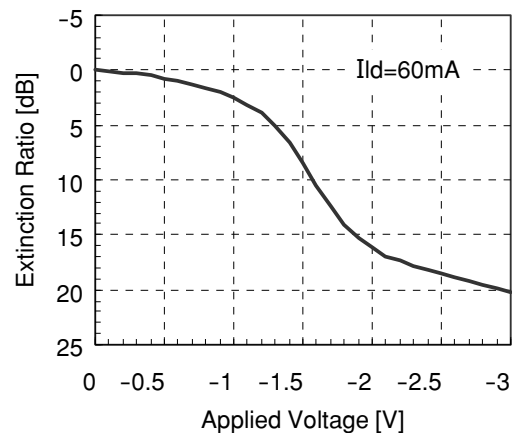
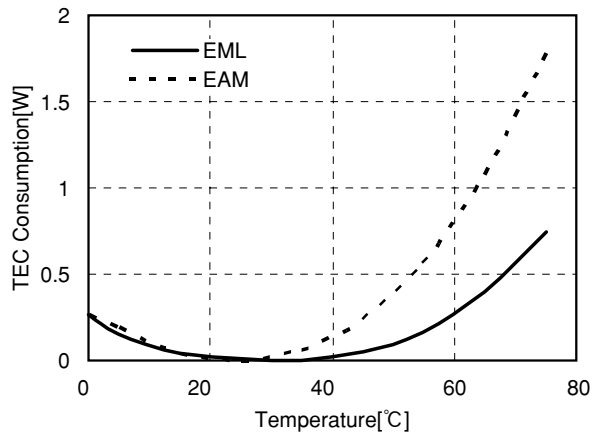


図4 消光特性

図5は、今回開発したEMLモジュールと従来のEAMモジュールのTEC消費電力について比較したグラフである。素子の温度設定が25℃から35℃になったこと、TECを含む熱設計を最適化したことにより、0~75℃でのTECの最大消費電力（雰囲気温度75℃）を1.7Wから0.7Wへと60%低減を実現した。



EML : I_{LD}=100mA, V_{ea}=-1.5V
EAM : P_{in}=13dBm, V_{ea}=-1.5V

図5 TEC消費電力比較

変調特性

図6にEO周波数応答特性を示す。動作速度の指標である3dB帯域のカットオフ周波数は、40GHz以上あり、40Gbit/sでの変調動作に十分適用可能な周波数特性が得られた。

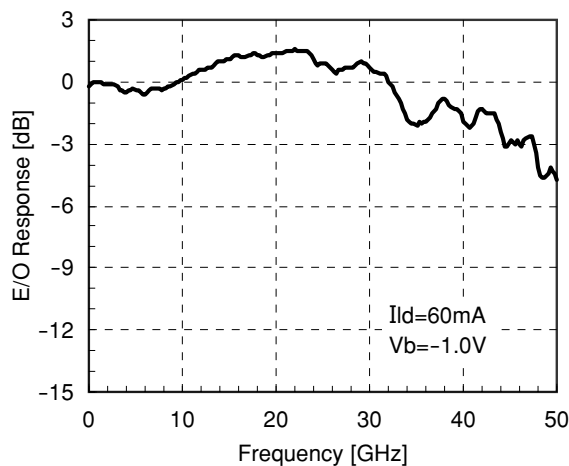


図6 周波数応答特性

次に、40Gbit/s-NRZ変調評価結果について述べる。図7に40Gbit/s変調評価系を示す。

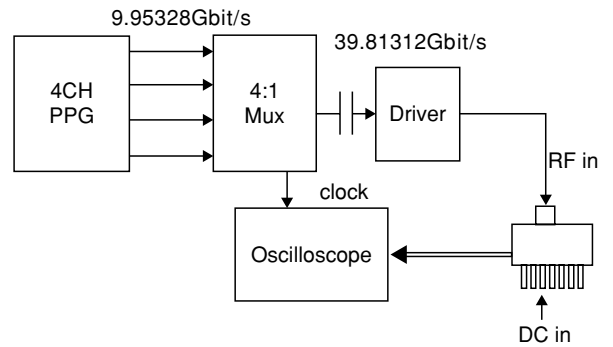
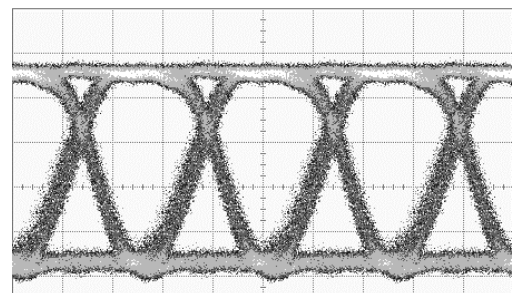
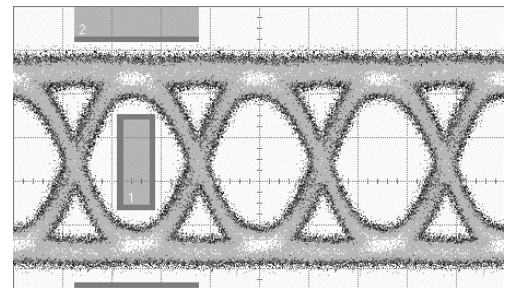


図7 40G変調評価系

LDの駆動電流は60mA、EAバイアス電圧は-1.5Vに設定し、RFの入力信号はビットレート39.81312Gbit/s、振幅2.6Vpp、信号列は、31段擬似ランダム信号（PRBS [Pseudo-random binary sequence] 2³¹-1）を用いた。ここでRFの信号は、4段の9.95328Gbit/sのPPG出力を多重化して作った信号をNarda社製ドライバFO-MDA-40-13²⁾でアンプしている。図8に（a）電気入力波形、（b）光出力波形を示す。（b）のマスクにはITU-Tで規定



(a)電気入力波形



(b)光出力波形

図8 40Gbit/s-NRZ変調波形

されているSTM256/OC768を用いた。

変調特性は、平均光出力1.5dBm、消光比9.2dB、得られており、ITU-Tの規格を十分満たす特性が得られている。さらに、マスクマージンは13%あり、良好なアイパターン開口を得た。

● 筆者紹介

立花啓悟：Keigo Tachibana. オプティカルコンポーネントカンパニー 開発部 光通信第二チーム

久保田宗親：Munehika Kubota. オプティカルコンポーネントカンパニー 開発部 光通信第一チーム

信頼性試験

表1に信頼性試験の結果一覧を示す。

信頼性試験は、Telcordia (GR-468) に準拠し、モジュールの信頼性に問題が無いことを検証した。

表1 信頼性結果

信頼性項目	判定
Mechanical Shock & Vibration	PASS
Thermal Shock	PASS
Solder ability	PASS
fiber pull ,twist , side pull	PASS
High Temp Storage	PASS
Damp Heat	PASS
Temp Cycling	PASS
Accelerated Aging	PASS
RGA	PASS
ESD	PASS

まとめ

40Gbit/sトランスポンダ用光源として、EA変調器とDFBレーザをモノシリックに集積した40Gbit/s-EMLモジュールを開発した。EML素子設計におけるLD部分、EA変調器部分の構造パラメータの最適化、および最適なTEC選定やAC終端による低消費電力化、非球面レンズによる高結合効率化、高周波伝送路の最適化を実施した。その結果、40Gbit/s NRZ動作において、平均光出力1.5dBm、動的消光比9.2dB、マスクマージン13%の良好な変調動作特性を得ることができ、TECの最大消費電力は従来と比較して60%低減することに成功した。◆◆

■ 参考文献

- 1) <http://www.jpix.co.jp/jp/technical/traffic.html>
- 2) <http://www.nardamicrowave.com/east/pdf/OC768EA.pdf>