

Combo-PON向け 高出力10Gbps EML CAN

上土居 悠*
Yu Uwadoi
柳楽 崇*
Takashi Nagira
大和屋 武*
Takeshi Yamatoya

白崎昭生*
Akio Shirasaki
高木和久*
Kazuhiisa Takagi

High Power 10Gbps EML CAN for Combo-PON

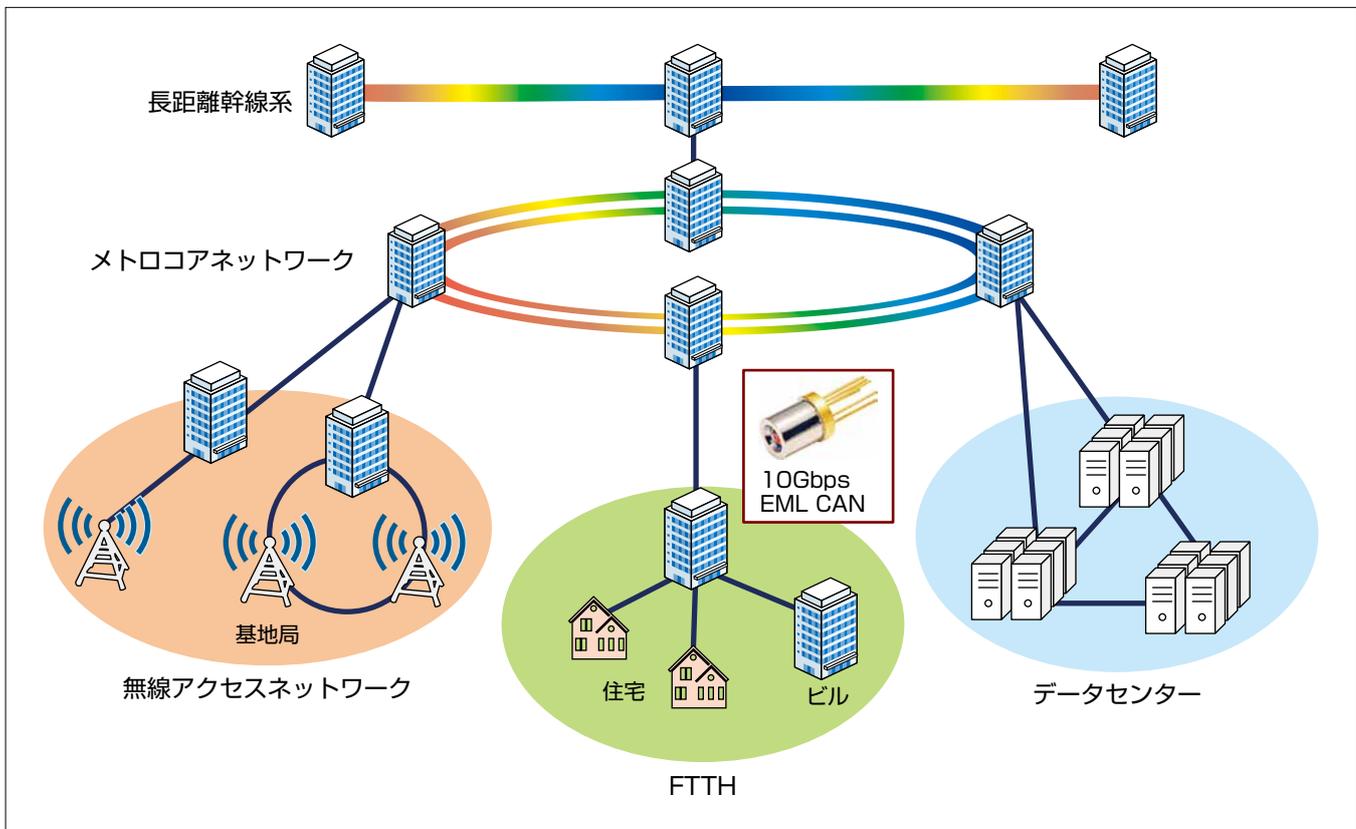
要 旨

急速に増大するデータ通信量の需要に対応するため、FTTH(Fiber To The Home)システムでは、伝送速度を従来の10倍にする10G-EPON(10Gigabit-Ethernet Passive Optical Network)やXG(S)-PON(10Gigabit capable(Symmetric)-PON)へのアップグレードが進んでいる。その中で中国市場では既存G-PONとXGS-PONの互換性を持つCombo-PONの普及が進んでいる。Combo-PON向け光トランシーバでは10Gbps用の光源として期待されるCAN型EML(Electro-absorption Modulated Laser)の高出力化が求められている。

今回光出力を向上させるためにEML素子の構造を抜本的に見直した。EML素子の構造はリッジ型から埋め込み型へ変更し、LD(Laser Diode)の活性層への電流注入効率を改

善しつつ電流注入経路での発熱を有効に放熱できるようにすることで、光出力は1.2dB向上した。その結果、目標仕様であるCombo-PON(D1)規格11dBmを満たす11.7dBmの光出力を得た。また、EA(Electro-Absorption)変調器の構造もLD部の構造と同様に従来のリッジ型から埋め込み型に変更することで、導波モード整合を満たしつつ出射ビームを34度から27度に狭角化し、ファイバ結合効率を0.8dB改善した。一方、LD部と同構造の電流ブロック層をEA変調器にも適用したことで静電容量の増大、それに伴う周波数特性の悪化が発生したが、EA変調器をより低容量な埋め込み型構造にすることで解消した。

このEMLをCAN型パッケージに搭載し、消光比10dB、マスクマージン25%の良好な特性を得た。



EML

EMLは電界吸収型光変調器と分布帰還形レーザが集積された半導体レーザの一種である。分布帰還形レーザと比較して高速動作と長距離伝送に優れるため、25Gbps以上の高速動作が求められる送信光源や10Gbpsの長距離伝送用として採用されている。

1. ま え が き

急速に増大するデータ通信量の需要に対応するため、FTTHシステムでは、伝送速度を従来の10倍にする10Gbpsクラスのシステム(10G-EPON, XG-PON(下り10Gbpsに対して上りは1Gbps), XGS-PON(上りも下りも10Gbps))へのアップグレードが進んでいる。PONシステムは図1に示すように局舎用装置(Optical Line Terminal: OLT)につながる1本の光ファイバを光コプラで分岐し、複数の加入者宅用装置(Optical Network Unit: ONU)につなげるものであるが、例えば加入者宅側にG-PONとXGS-PONの両方が存在する場合、両者をサポートできるような構成にする必要がある。しかし、XGS-PONのOLTに用いられる光トランシーバの構成は、図2(a)に示すように10Gbpsに対応したEML(図3)とAPD(Avalanche Photo Diode)だけを搭載した構成になっているため、G-PONとXGS-PONの共存を図るためには光トランシーバの外部で多重化する必要があり、コスト高になる。そのため、中国市場を中心にして、既存のG-PONとXGS-PONとの互換性を持つ光トランシーバを用いたCombo-PONの普及が進んでいる。図2(b)に示すCombo-PON向け光トランシーバでは、光トランシーバ内部でG-PON/XGS-PONの多重化を行っているため、既存のG-PONとの互換性があり導入が容易になる。

Combo-PON向け光トランシーバに関しては、図2(b)に示すように図2(a)と比較して内部の光学系が複雑になるため、光学損失が増大する。そのため10Gbps用の光源として期待されるCAN型EMLで高出力化が求められている。そこで今回、EML素子の設計を抜本的に見直し、光出力の高出力化とビーム角度の狭角化による結合効率の改善を行った。

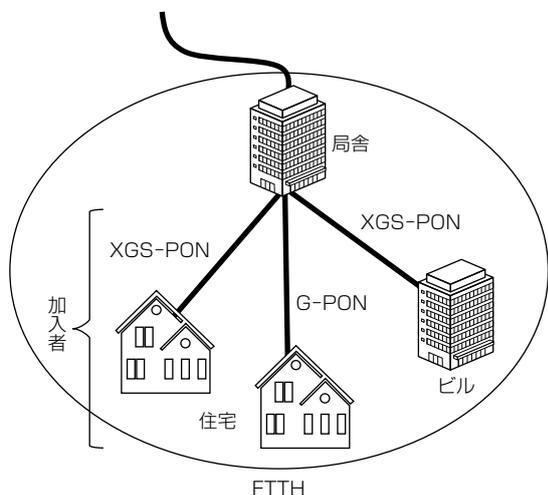
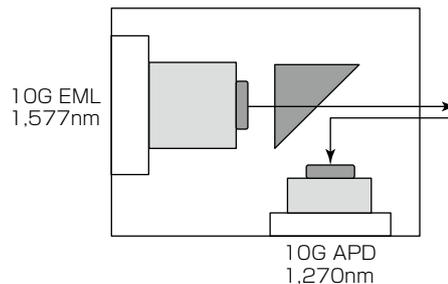
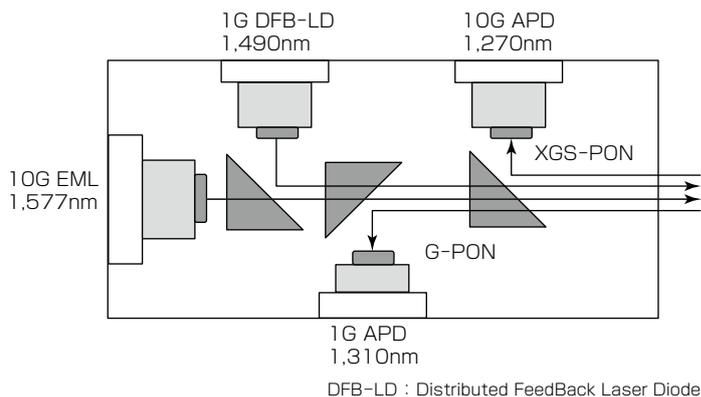


図1. PONシステム構成



(a) XGS-PON向け光トランシーバ



(b) Combo-PON向け光トランシーバ

図2. XGS-PONとCombo-PON向け光トランシーバの概念図



図3. 10Gbps EML CAN

2. EML素子の設計

2.1 素子構造変更による高出力化

10G-EPON等に用いられる従来のリッジ型構造のEML素子(図4(a)(b))では、Combo-PONで求められる高光出力、高結合効率、低消費電力の要求を満たすことができないため、これらの要求を高い歩留りで満たすことができる新たなEML素子を開発し、その素子をCAN型パッケージに搭載したEML CANを製品化した。従来のリッジ型EML素子を搭載したEML CANでサポートする10G-EPON(PR30)規格、XG-PON(N1)規格に対して、新たなEML CANがターゲットとするCombo-PON(D1)規格では、レンズから出射される光出力(PL)に換算すると、

9.5dBmから11dBmへの光出力向上が必要になる。その要求を満たすため、従来EML素子の構造を、リッジ型から埋め込み型(図4(c)(d))に見直した。LD活性層の周りをInP(リン化インジウム)で埋め込んで電流ブロック層を形成することで、LD活性層への電流注入効率を改善しつつ、電流注入経路での発熱を有効に放熱できるような構造にすることで、光出力効率の向上を図っている。典型的な駆動条件であるLD駆動電流(I_{op})109mAで、1.2dBの光出力向上を実現して11.7dBmの光出力を達成した(図5)。

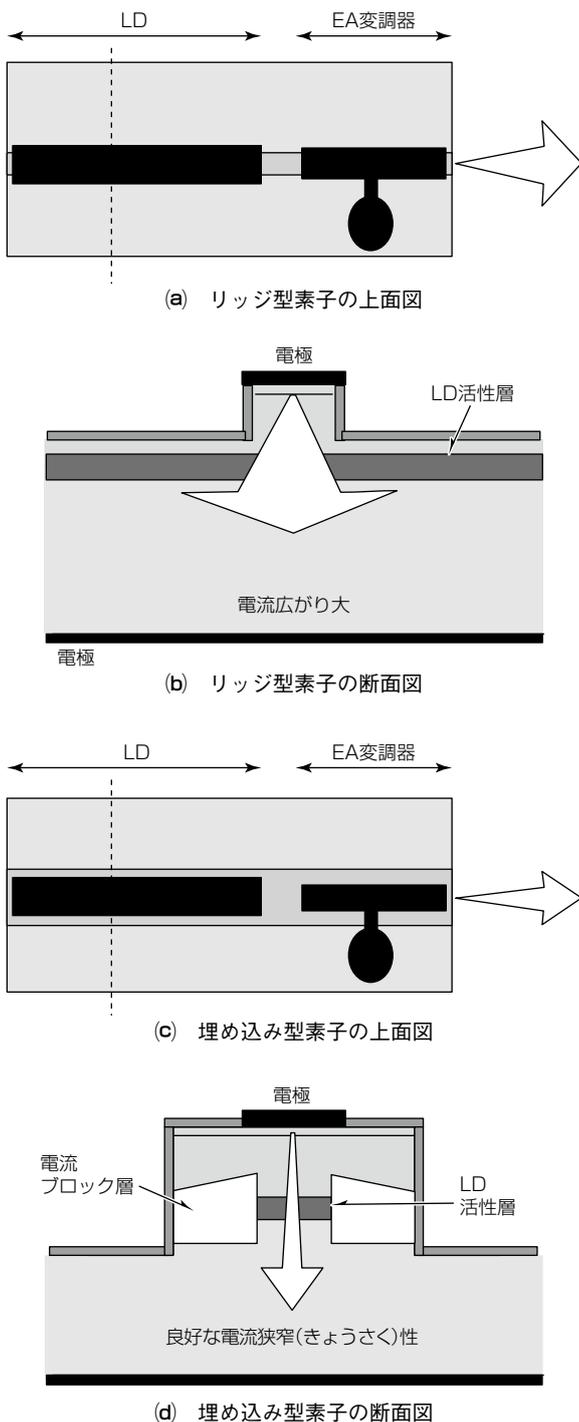


図4. EML素子の構造図

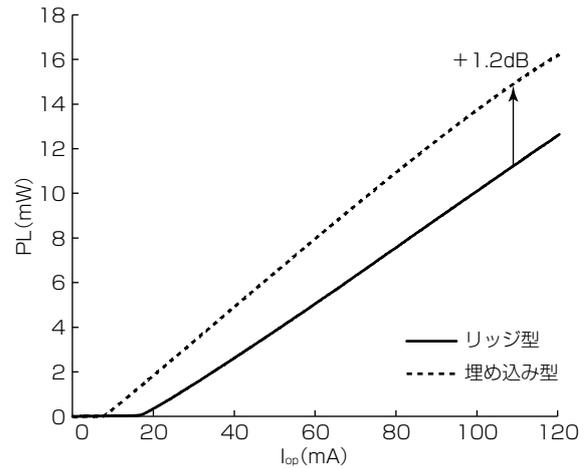


図5. EML素子の光出力

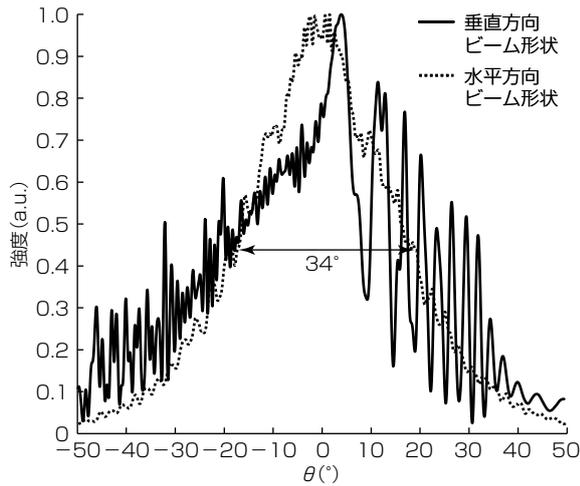
2.2 素子構造変更によるビーム狭角化

出射ビーム形状は光源であるLDから光出射側に当たるEA変調器への導波モードの整合度及びEA変調器の導波モード形状で決まるため、EA変調器の構造もLD部の構造と同様に従来のリッジ型から埋め込み型に変更することで導波モード整合を満たしつつ⁽¹⁾、出射ビームを狭角化するように最適化した。これによって、LD/EAの導波モード不整合によって生じる垂直方向ビーム形状のリプルが低減し、またEA変調器の導波モード径を大きくすることで、遠方でのビーム出射角は半値全角でリッジ型の34°から27°に狭角化した(図6)。その結果シングルモードファイバへの結合効率もリッジ型の59%から71%になり、光トランシーバの出力では0.8dBの改善につながる。

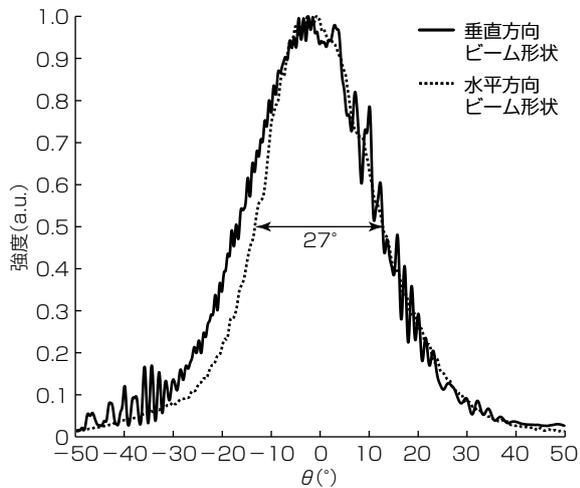
2.3 高周波特性の安定化

埋め込み型構造の適用によるレンズ後光出力向上の一方で、開発時の課題として、LDとEA変調器部とを共通の電流ブロック層で埋め込んだ構造にした場合に、光出力波形不良(帯域不足)が見られることが判明した(図7(a))。光信号の品質を表すマスクマージン(MM)は、光出力波形不良素子では-20%以下であった。

この光出力波形不良の要因として、LD部と同構造の電流ブロック層をEA変調器にも適用したために、静電容量が増大し、周波数応答特性の悪化を引き起こしているものと推定した⁽²⁾。対策として、EA変調器の埋め込み層をより低容量な構造にすることを検討した。ただし、EA変調器の埋め込み層の構造変更に際しては、LDとEA変調器の導波モードを整合させた上で容量を低減する必要がある。これらの条件を満たすように、EA変調器の埋め込み構造はLDの埋め込み構造から電流ブロック層の一部を除去する構造にした上で(図8)、所望のブロック層構造を実現する

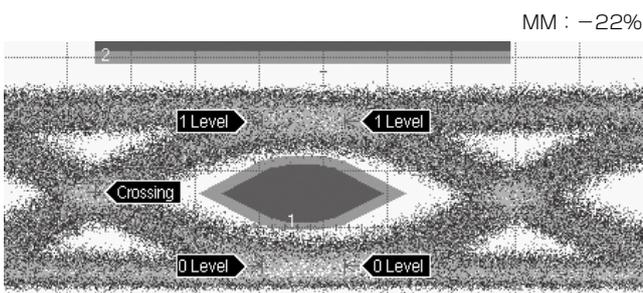


(a) リッジ型素子

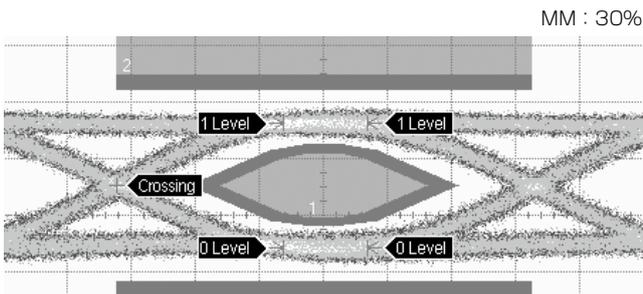


(b) 埋め込み型素子

図6. 出射ビーム形状

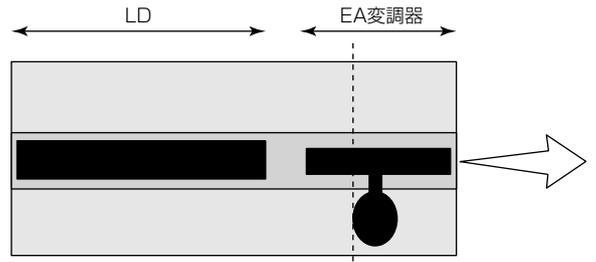


(a) 対策適用前

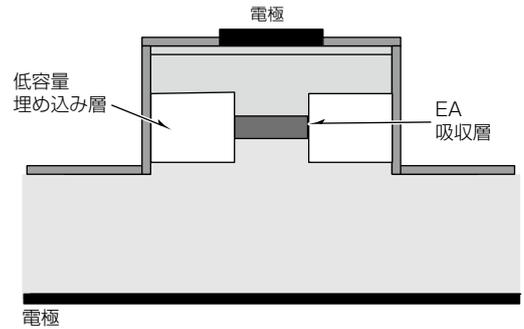


(b) 低容量埋め込み構造

図7. 10.3Gbps動作時の光出力波形



(a) 埋め込み型素子の上面図



(b) EA変調器の断面図

図8. EA変調器の構造図

製造フローを確立した。その結果，埋め込み層の低容量化によって光出力波形不良を解消し(図7(b))，MMは+30%以上を安定的に得ることができた。さらに，LD/EAの導波モード不整合がある場合に生じる垂直方向ビーム形状のリプルは十分に抑制されており(図6(b))，LDとEAの導波モード整合条件を満たしていることも確認できた。

この低容量埋め込み層をEA変調器に適用することによって，適用前の電気-光通過特性(S21)の3dB帯域が10GHz程度であったのに対し，適用後には3dB帯域は従来のリッジ型EA変調器を上回る23GHz程度まで向上し，10Gbps変調で十分な高周波応答特性を得ることができた。

3. EML CANの評価結果

2章で述べたように設計したEML素子をCAN型パッケージに搭載し，周波数応答特性と光出力波形の評価を行った。図9に周波数応答特性の評価結果を示す。通過特性の3dB帯域は9GHzであり，従来のリッジ型構造素子を搭載したものと同等であった。また，図10にBTB(Back To Back)の光出力波形を示す。駆動条件はビットレート10.3Gbps，ケース温度(T_c)=25℃，EMLの設定温度(T_{td})は45℃，LD駆動電流(I_{op})は109mA，EMLの変調電圧振幅(V_{pp})は2V，EAオフセット電圧(V_{off})は-0.6Vである。評価にはCAN型パッケージにFPC(Flexible Printed Circuit)を接続して行った。評価の結果，消光比10dB，マスクマージン25%の良好な光出力波形を得た。

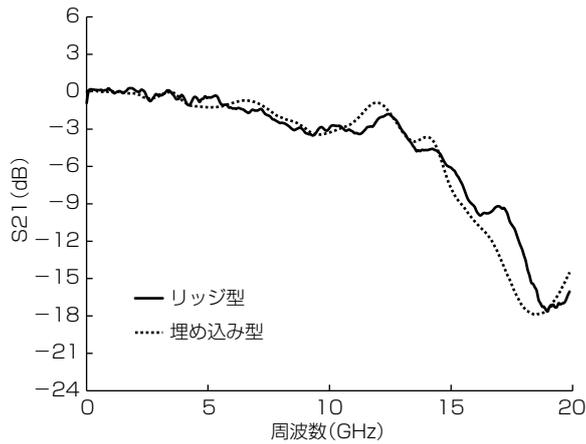


図9. 周波数応答特性の評価結果

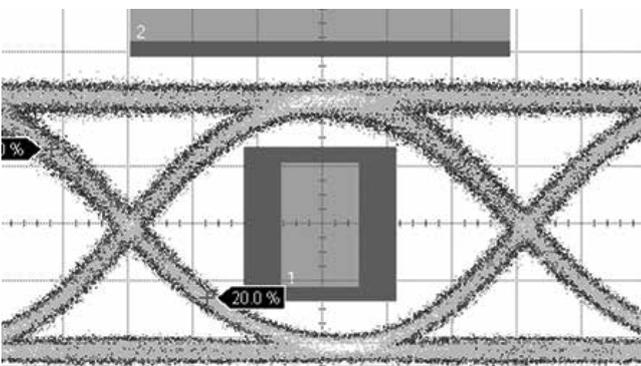


図10. 10.3Gbps動作時の光出力波形

4. むすび

Combo-PON向け高出力10Gbps EML CANを開発するため、EML素子の設計を抜本的に見直した。EML素子の構造はリッジ型から埋め込み型へ変更し、LD活性層への電流注入効率を改善しつつ電流注入経路での発熱を有効に放熱できるようにした。その結果光出力は1.2dB向上し、Combo-PON(D1)規格11dBmを満たす11.7dBmを達成した。また、EA変調器の構造もLD部の構造と同様に従来のリッジ型から埋め込み型に変更することで、導波モード整合を満たしつつ出射ビームを34°から27°に狭角化し、ファイバ結合効率を0.8dB改善した。一方、LD部と同構造の電流ブロック層をEA変調器にも適用したことで静電容量の増大、それに伴う周波数特性の悪化が発生したが、EA変調器をより低容量な埋め込み型構造にすることで解消した。

このEML素子をCAN型パッケージに搭載し、通過特性がリッジ型と同等であることを確認した。また消光比10dB、マスクマージン25%の良好な光出力波形を得た。

参考文献

- (1) Asbeck, P. M. et al.: Lateral mode behavior in narrow stripe lasers, IEEE Journal of Quantum Electronics, 15, No.8, 727~733 (1979)
- (2) Zhu, N. H., et al.: Electrical and Optical Coupling in an Electroabsorption Modulator Integrated with a DFB Laser, IEEE Journal of Quantum Electronics, 43, No.7, 535~544 (2007)