

40Gb/s EA変調器

長井 清 和田 浩

近年、インターネット人口の増加や扱うデータが単なるテキストから画像、さらには動画になるなどデータ通信量の爆発的な増大に伴い、光通信システムの通信容量の拡大が要求されている。ファイバ1本あたりの通信容量を増加させる方法として、信号の伝送速度の高速化と複数の波長を伝送する波長多重化があり、両者の組合せにより通信容量の増加が進められている。

このうち、伝送速度の高速化は、電子・光デバイスの高速化に応じて、2.5Gb/sから10Gb/sへ高速化が進み、10Gb/s光通信システムが実用化され商用に供されている。近年では、40Gb/sに対応した高速デバイスも徐々に実用化が進み、40Gb/s光通信システムについても実用化をめざした本格的な開発が行われている。

40Gb/s光通信システムを実現する上で、重要な要素となるのが電気信号を光信号に変換する光変調器である。なかでも、半導体デバイスであるEA変調器は、小型で、半導体レーザなど他の光デバイスと集積化が可能などの点でメリットがあり、大いに期待されている。以下、当社が開発した40Gb/s EA変調器¹⁾について述べる。

EA変調器の概要

データ信号で光を変調する光変調方法としては、直接変調方式と、外部変調方式がある。直接変調方式は光源である半導体レーザに電気信号を加え、変調された光信号を得るものである。半導体レーザの動作周波数は、半導体内部のキャリアの応答速度で制限されるため、高々10Gb/s程度までであり、40Gb/sでの変調は困難である。一方、外部変調方式は、光源では一定の光を出力し、光源とは別な光変調器により、光を変調する方式である。使用される光変調器としては、強誘電体のニオブ酸リチウム (LiNbO_3 : 以下、LN) を用い、電気光学効果 (用語解説) を利用したLN変調器と、半導体の電界吸収効果 (用語解説) を利用した電界吸収型 (Electroabsorption : 以下、EA) 変調器が代表的なものである。これらは共に、高速な物理現象を利用しているため、50GHz以上の動作が可能である。

LN変調器は、波長チャープ (用語解説) が小さいという特徴があり、2.5Gb/sや10Gb/s長距離光通信システムでは広く使用されている。しかし、動作電圧が5-6V程度と高い、形が大きいなどの欠点が指摘されている。一方、EA変調器は、小型で、動作電圧が2-3Vと低い、光源との集積化が可能などの特長を持つ。近年、システムの小型化や低消費電力の傾向が高まる中で、部品に対しても小型化や低電圧駆動の要求が強まり、40Gb/s光通信システムでは、EA変調器への期待が高まっている。

モジュール構造

EA変調器は、半導体レーザと同様な半導体デバイスであるが、実際に使用するには入出力用の光ファイバなどを実装する必要がある。以下、光ファイバ等が実装されたものをEA変調器モジュール、半導体部分のみをEAデバイスと呼ぶ。

EA変調器モジュールの外観写真を図1に示す。大きさは、 $21 \times 13 \times 11 \text{ mm}^3$ で、入力、出力用の2本の光ファイバと、高周波コネクタを備えている。

EA変調器モジュールの構造を図2に示す。EAデバイスと光ファイバの光学的結合系は、2レンズ系であり、入力用と出力用の2つの結合系がある。レンズには非球面レンズを使用し、高い結合効率を得ている。40Gb/sという高速の信号を扱うため、電気信号の入力は高周波コネクタを使用し、信号ラインは50Ωのマイクロストリップラインで構成している。電気信号は50Ωの抵抗で終端し電気



図1 EA変調器モジュールの外観写真

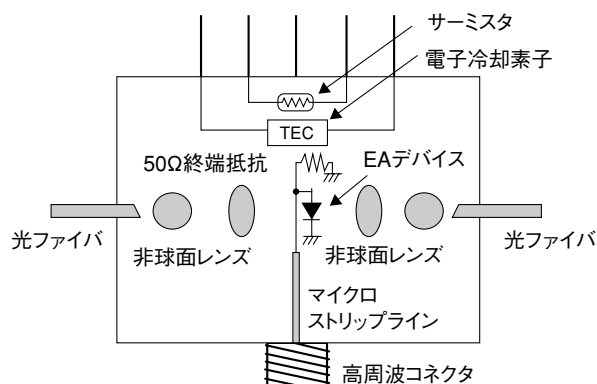


図2 EA変調器モジュールの構造

的反射を抑えている。また、EAデバイスの温度安定性を確保するため、サーミスタと電子冷却素子を内蔵している。通信用部品に求められる高い信頼性を確保するため、レンズや光ファイバはYAG溶接により固定し、ほかの部品は半田固定を行っている。主要部品はメタルパッケージ内に実装し、気密封止している。

EAデバイスの実装部分の構造を図3に示す。入射側レンズにより、光は1 μm 程度まで集光されEAデバイスに入射し、電気信号により変調され、出射側レンズにより、光ファイバへ導かれる。一方、電気信号系は、マイクロストリップラインで配線され、途中での電気的反射が少なくなるように実装を行っている。

EA変調器モジュールの特性

光通信システムにおいて、光変調器には、

- 挿入損失が小さい
- 変調帯域が広い
- 消光比(光のON状態とOFF状態の強度の比)が大きい
- 波長チャープが小さい

ことなどが要求される。40Gb/s光通信システムでは、特に、広い変調帯域と低チャープ特性が重要となる。

EAデバイスの構造を図4に示す。半導体のInP基板上に光変調を行うための光吸収層が、結晶成長により形成されている。デバイスの両端面には、反射防止膜をコーティングし、不要な反射を抑えている。EAデバイスのサイズは、約 $250 \times 200 \times 80 \mu\text{m}^3$ である。

EAデバイスの変調帯域は、主に、素子容量により制限されるため、素子容量の低減が高速動作を実現する上でのキーポイントとなる。素子容量は、光吸収層の接合容量とパッド電極の寄生容量が支配的であるため、これらの容量を低減することが重要となる。

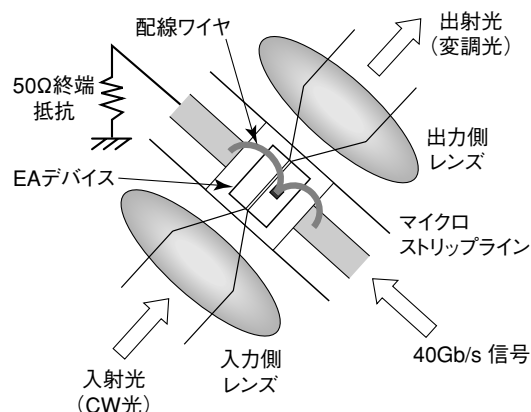


図3 EAデバイスの実装構造

接合容量に関しては、光導波路をリッジ構造とし、不要な半導体接合部分をなくし容量の低減を図っている。また、光吸収層が存在する部分(光吸収部)の長さを短くすれば、接合容量はそれに伴い小さくできるが、消光比に関しても小さくなるため、必要な消光比が得られにくくなるという問題がある。このため、光吸収層の構造を最適化し、短い光吸収部でも消光比が確保できるようにした。この結果、光変調を行う光吸収部の長さは約100 μm とすることができた。一方、組立時のハンドリングを考慮し、光吸収部の前後に低損失な光導波路部を設け、デバイスの長さを約250 μm としている。パッド電極の寄生容量については、電極サイズを小さくし、さらに、その下を誘電率の低いポリミッドで埋め込み、容量を低減した。以上のようなデバイス構造を採用することにより、変調帯域の広帯域化を図っている。

また、波長チャープについても低チャープ特性を実現するため、種々の光吸収層の構造を検討し、最適化を図っている。

このように最適化されたEAデバイスの特性を最大限ま

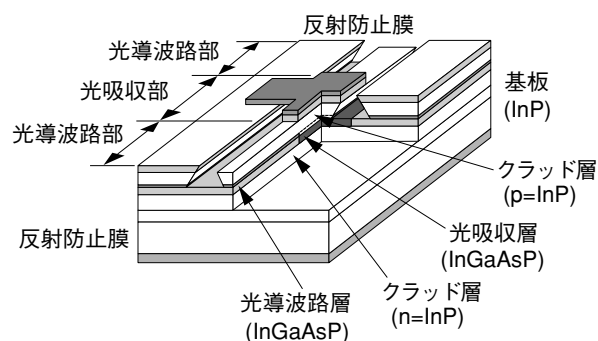


図4 EAデバイスの構造

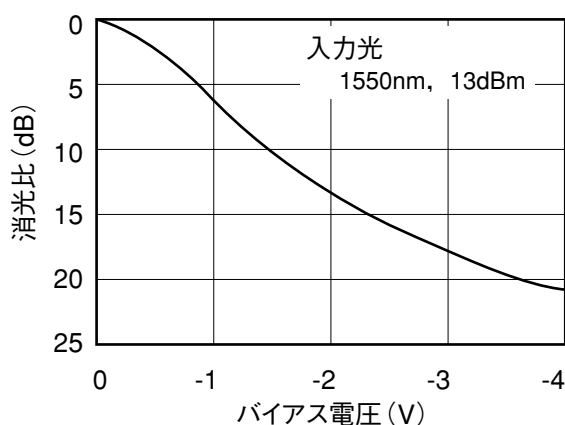


図5 消光特性

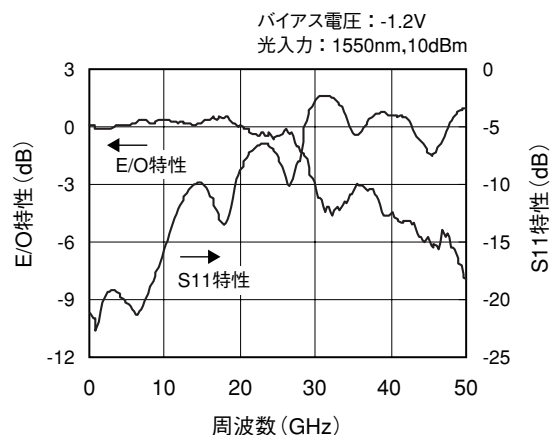


図6 周波数特性

で引き出すため、実装する場合には先に述べたように、非球面レンズを用いた光学系、反射を抑えた信号ライン、信頼性の高い実装方法を行っている。

以下に、EA変調器モジュールの主な特性を示す。

図5に、バイアス電圧に対する消光特性を示す。-4Vのバイアス電圧で、約20dBの消光比が得られている。また、バイアス電圧が0Vの時の挿入損失は、約9dBである。図6は、周波数特性であり、光変調特性（E/O特性）と電気入力の反射特性（S11特性）を示す。40Gb/s信号で変調する場合、E/O特性の3dB帯域として、約30GHzが必要とされているが、その条件を十分満たす特性を得ている。図7は波長チャープ特性である。一般的に波長チャープは α パラメータ（用語解説）という数値で評価され、 α が0に近い程良く、図からわかるように、バイアス電圧が-1V程度で、 α が0になる。したがって、-1V付近のバイアス電圧で変調信号を加えれば、小さな α の領域で使用するとなり、波長チャープが小さいことが期待される。

次に、40Gb/s NRZ信号で変調した場合の実験結果を示す。図8は測定系である。40Gb/sのNRZ信号は、4チャンネルの10Gb/s NRZ信号を発生する信号発生装置の出力を電氣的に合成することによって40Gb/sの信号を

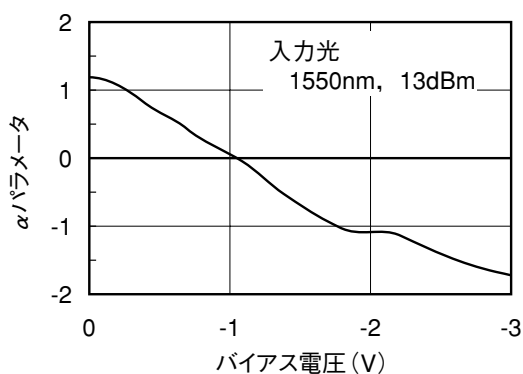


図7 チャープ特性

得ている。図9 (a) は、EA変調器モジュールへ入力される電気信号のアイパターンであり、図9 (b) は、EA変調器で変調された光信号を電気信号に変換して測定したものである。EA変調器のバイアス電圧は、-0.9Vである。入力電気信号からの劣化が少ない、きれいなアイパターンが得られている。また、光変調時の消光比（動的消光比）も約10dBと、良好な値が得られている。

これらの結果により、40Gb/s信号を伝送するのに十分な特性を有するEA変調器であるといえる。

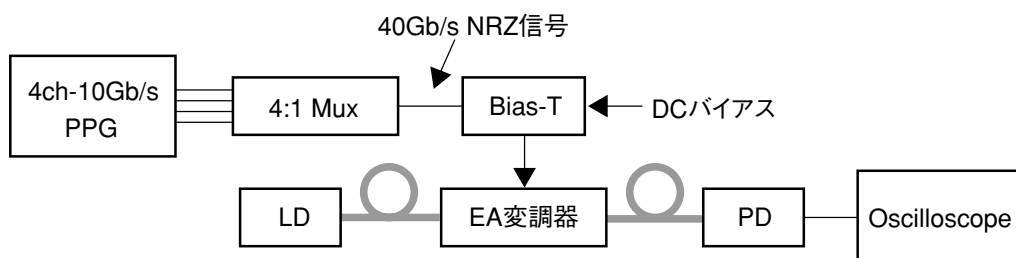
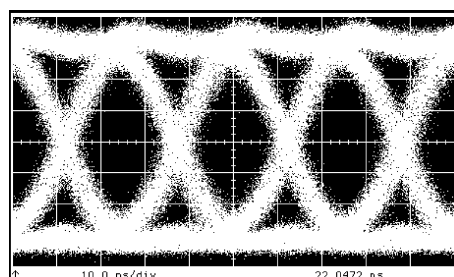


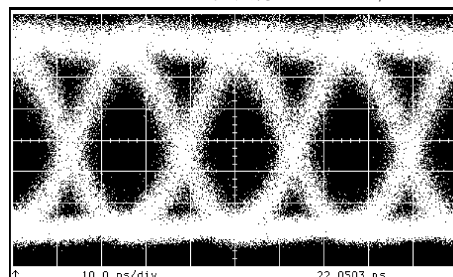
図8 40Gb/s 信号による変調実験の測定系

40Gb/s NRZ信号 3Vpp, PN23



1bit = 25psec

(a) 入力電気信号波形

バイアス電圧: -0.9V
光入力: 1550nm, 13dBm

(b) 変調信号波形

図9 40Gb/s 信号による変調実験

次のEA変調器に向けて

以上、40Gb/s EA変調器の構造および特性について述べた。40Gb/s光通信システムに適用可能な特性であることを示した。

今後のEA変調器としては、高性能化と高機能化を図っていく。高性能化の方向としては、誤り訂正符号分を含めた42.8Gb/sの信号速度に対応するような周波数帯域の広帯域化や、波長チャープ特性をより一層向上させることがあり、EAデバイスおよびEA変調器モジュールのパラメータの最適化を図っていく。

高機能化については、EAデバイスとDFBレーザを集積化したEA-DFBレーザや、EAデバイスを駆動するICとEAデバイスとを同一パッケージに実装したドライバIC内蔵型EA変調器などをターゲットに開発を進めている。このうち、EA-DFBレーザについては、ほぼ基本的な特性が得られている²⁾。

EA変調器の性能向上を目指すとともに、40Gb/s光通

信システムの実現に向けて、大きく寄与できることを願っている。

参考文献

- 1) N.Mineo *et al.*: More than 50GHz bandwidth electroabsorption modulator module, OECC 2000 Technical digest, PD2-7, 2000年6月
- 2) 和田, 川西: 40Gb/s光通信用EA変調器集積型半導体レーザ, オプトロニクス, Vol.20, No.12, pp.135-140, 2001年12月

● 筆者紹介

長井清: Kiyoshi Nagai. オプティカルコンポーネントカンパニー 研究開発部 高速光デバイスチーム
和田浩: Hiroshi Wada. オプティカルコンポーネントカンパニー アドバンストオプト部 デバイス開発第2チーム

TIPS

【用語解説】

電気光学効果

電界を加えると屈折率が変化する効果。LNはこの効果が大きいことで知られる。

電界吸収効果

電界を加えると、半導体のバンド構造が変化し、光の吸収量が増加する効果。具体的には、EA変調器に逆バイアス電圧を加えると、吸収量が増加し、光は透過しなくなる。従って、電圧を加えない場合、光は透過し（オン状態）、負の電圧を加えると光は遮断される（オフ状態）ことになり、光が変調される。

波長チャープ

光パルスの立上り、立下り部分で生じる波長変動のこと。光ファイバ中では波長により光の速度が異なる（波長分散）ため、大きな波長チャープを与えられた光パルスは、伝送中に波形に歪みを生じて、長距離伝送が困難になる。

α パラメータ

屈折率および光の吸収量が増加したとき、それぞれの増加量の比で表される量。電圧が変化するとき、屈折率が変化しなければ（ $\alpha=0$ ）、波長の変化はなく、波長チャープは生じない。しかし、屈折率が変化する場合には、光の位相変化により等価的に波長が変化したように見え、波長チャープが生じる。