

# 25G/40G 用電界吸収型変調器ドライバICの開発

巽 泰三\*・田中 啓二・澤田 宗作  
内 藤 英 俊・大西 裕明・藤田 尚士  
鵜 飼 篤・阿 部 務

Development of Electro-Absorption Modulator Driver ICs for 25G/40G Transmission — by Taizo Tatsumi, Keiji Tanaka, Sosaku Sawada, Hidetoshi Naito, Hiroaki Onishi, Hisashi Fujita, Atsushi Ugai and Tsutomu Abe — The authors have developed new EA (electro-absorption modulator) driver ICs for both 25 Gbit/s and 40 Gbit/s transmission. These ICs achieve low power dissipation and high bit-rate operation by adopting the InP D-HBT (double-heterojunction bipolar transistor) process and optimizing the circuit configurations for each bit rate. In addition, the authors have successfully reduced the size of optical transmitter modules by building the EA driver ICs with the DFB (distributed feedback laser) chips in the same packages. This paper outlines the development of the EA driver ICs and evaluates the performance of the optical transmitter modules in accordance with SDH (Synchronous Digital Hierarchy) and 100G Ethernet standards.

Keywords: electro-absorption modulator driver, InP D-HBT process, optical transmitter module, IEEE802.3ba

## 1. 緒 言

近年、情報通信トラフィックの増加に伴い、光伝送装置の大容量化への要求が高まっている。一波長当たりの伝送速度は、現在 10Gbit/s が主流であるが、より高速の 25Gbit/s または 40Gbit/s への要求が高まっている。2010 年には、一波長当たり 25Gbit/s の信号を 4 波多重してファイバ伝送を行なう LAN-WDM (Wavelength Division Multiplexing) \*1 を用いた 100G Ethernet<sup>(1)</sup> の標準化が完了している。ITU-T でも、100G Ethernet に対応した標準として OTU4 (112Gbit/s) の標準化が進んでいる。一方、40Gbit/s 伝送に関しては、ITU-T の国際標準である SDH (Synchronous Digital Hierarchy) に準拠した STM-256 (39.8Gbit/s) を用いた光伝送装置に加え、2001 年に標準化された OTN (Optical Transport Network) 規格に準拠した OTU3 (43.0Gbit/s) に対する要求も高まっている。高速化に加え、光伝送装置の小型・低消費電力化が必要になっており、又、光送受信モジュールの小型・低消費電力化も求められている。特に、100G Ethernet 規格に対応した光トランシーバである CFP (Centum gigabit Form Factor Pluggable) \*2 (2) が、業界標準規格 MSA (Multi Source Agreement) として広く採用されており、この規格を満たすサイズ、消費電力の光送受信モジュールの実現が求められている。

当社では、これら高速光伝送装置のキーデバイスとなる光送信モジュールを開発してきた。25G 及び 40G 用の光送信モジュールでは、光変調器として高速動作に優れた EA (電界吸収型) 変調器集積レーザ (以下、EA-DFB \*3) を用いている。今回、筆者らは、EA-DFB を駆動する 25G 用、及び 40G 用のドライバ IC を開発した。本 IC の製造プロセ

スには、超高速、大振幅動作に適した社内製の InP D-HBT (インジウム燐 ダブルヘテロ バイポーラ トランジスタ) プロセス ( $f_t = 150\text{GHz}$ ,  $f_{\text{max}} = 200\text{GHz}$ ) を採用し、各伝送速度に適した回路構成を採用することで、低消費電力と高速動作の両立を実現した。加えて、EA-DFB チップが実装されるパッケージにドライバ IC を集積実装することで、光送信モジュールの小型化を実現している。本論文では、ドライバ IC の開発概要に加え、各伝送規格に対応する光送信モジュールの評価結果についても報告する。

## 2. 主要諸元

25G 及び 40G 用 EA ドライバ IC の主要諸元を表 1 に示す。

表 1 25G/40G 用 EA ドライバ IC の主要諸元

25G 用 EA ドライバ IC	
動作温度	-5 ~ 85 °C
電源圧力	-5.2V
出力振幅	1.8 Vpp Min.
伝送速度	24.7 ~ 28.0 Gbit/s
消費電力	1.25W Max.
40G 用 EA ドライバ IC	
動作温度	-5 ~ 85 °C
電源圧力	-5.2V
出力振幅	1.9 Vpp Min.
伝送速度	39.8 ~ 43.0 Gbit/s
消費電力	1.8W Max.

40G用EAドライバICの伝送速度は、最大で43.0Gbit/s (OTU3) が要求される。出力振幅1.9Vpp以上が要求され、これは、光出力の消光比の9.0dB以上を実現するために必要となる振幅である。また、最大消費電力は1.8Wである。

25G用EAドライバICの伝送速度は、最大で28Gbit/s (OTU4) の伝送速度が要求される。また、100G CFP光トランシーバにおいては、一つの光トランシーバに4波分の光送信モジュールを搭載するため、光送信モジュールへの低消費電力化に対する要求が強い。このため、一波当たりのEAドライバICへ割り振られた最大消費電力は1.25Wである。また、消光比は7.0dB以上が要求され、これよりEAドライバICには1.8Vpp以上の出力振幅が要求される。

### 3. 40G用EAドライバICの開発

**3-1 光送信モジュールの構造** 先ず、EAドライバICを搭載する光送信モジュールについて説明する。光送信モジュールの外形を写真1に示す。これは、光送信モジュールの業界標準XLMD-MSA (40Gbit/s Miniature Device Multi-Source Agreement)<sup>(3)</sup>に準拠したパッケージであり、バタフライ型に配置された14本の電源及び制御用のピン、RF入力部には高周波特性に優れた差動の小型同軸コネクタを備える。パッケージサイズは、コネクタやピンの突起部を除いて12×18×9mm<sup>3</sup>である。光送信モジュールの内部は、図1に示す通り、EAドライバICと、その出力に接続されたEA-DFB、及び50Ω終端抵抗で構成される。EA-DFBと50Ω終端抵抗は、光出力パワーの安定化のためTEC (thermoelectric cooler)<sup>\*4</sup>上に実装されている。但し、TEC上の発熱を抑えるため、EAドライバICはTEC上には実装せず、EAドライバICとEA-DFBとの間は50Ω伝送線路で結ばれる。

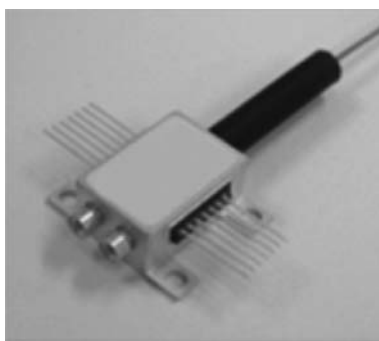


写真1 40G用光送信モジュール外形

この光送信モジュールにおいて、最大43Gbit/sの高速変調時に良好な光波形を得るには、EAドライバIC出力とEA-DFBとの間でインピーダンス不整合により発生する定在波の抑制が重要となってくる。そのため、EAドライバ

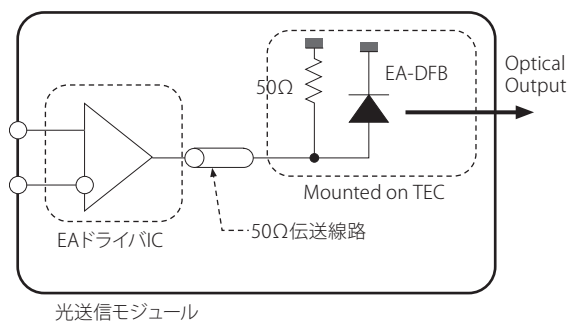


図1 光送信モジュールブロック図

ICに求められる特性としては、高速動作だけでなく、50GHz程度までの高周波域での良好なリターンロス ( $S_{22}$ ) が要求される。

**3-2 EAドライバICの設計及び特性** 40G用EAドライバICのブロック図を図2に示す。高速動作と良好なリターンロスを実現させるため、出力バッファ回路にはTWA (Traveling Wave Amplifier) 回路<sup>\*5</sup>を用いている。TWA回路は8個の分割アンプユニットセルで構成され、夫々のセルの入力及び出力は、IC表面に形成されたコプレーナ線路で接続される。50Ω出力伝送線路 (TL1) は、コプレーナ線路と分割アンプユニットセルの出力容量から形成される伝送線路である。

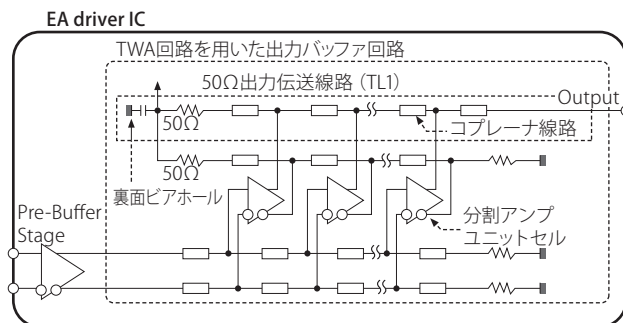


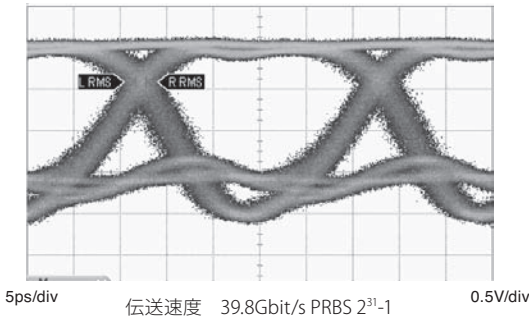
図2 40G用EAドライバICブロック図

TWA回路は、原理的に高速動作と良好なリターンロスを実現出来る回路構成として知られており、これを用いた光変調器ドライバICが報告されている<sup>(4)</sup>。従来の集中定数型の回路では、出力バッファ回路を構成するアンプの出力容量が、高周波領域でのリターンロスを悪化させる要因となる。TWA回路では、アンプをコプレーナ線路で接続された複数の分割アンプユニットセルに分割し、その出力容量を、50Ω出力伝送線路を構成する容量の一部とすることにより、リターンロスの悪化を抑制できる。

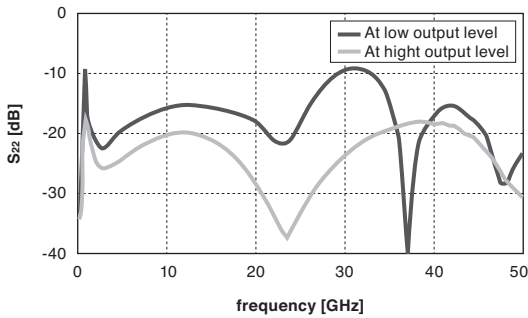
このTWA回路の設計において、良好なリターンロスを実現するためには、TL1の特性インピーダンスのマッチン

グが重要となる。開発した回路では、分割アンプユニットセルの出力容量値を安定させるために、カスコード出力トランジスタを用いている。これにより、分割アンプユニットセルの出力容量は、アンプユニットの状態に依存せずに安定する。また、コプレーナ線路の周波数特性を改善するため、ICチップ上に形成する裏面ビアホールを用いて、コプレーナ線路のGNDとドライバICを実装するGNDプレーンを接続し、GND電位の安定化を行なっている。これらの工夫により、TL1の特性インピーダンスのマッチングの改善を図っている。

開発したEAドライバICの評価結果を図3に示す。図3(a)は、伝送速度39.8Gbit/s PRBS (Pseudorandom Binary Sequence)  $2^{31}-1$ での出力波形で、出力振幅は1.8Vpp、立上り時間、立下り時間は共に7psであり、これは43Gbit/sに十分な動作速度である。図3(b)は、出力リターンロス ( $S_{22}$ ) の評価結果であり、出力端子電位をHighレベル、及びLowレベルに設定した場合の結果である。50GHzの広帯域において、僅かな領域を除き、-10dB以下の良好な特性を示している。



(a) 電気出力波形

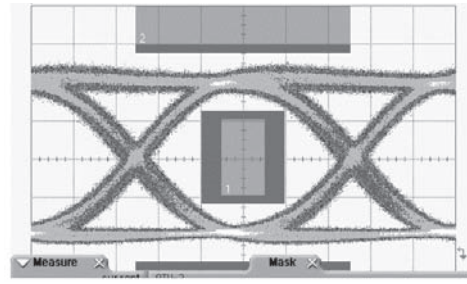


(b) リターンロス ( $S_{22}$ )

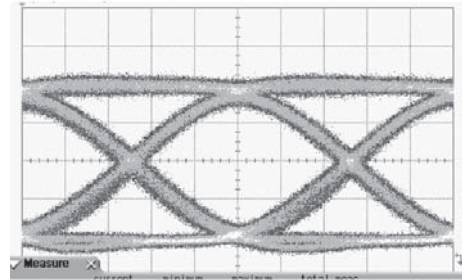
図3 ドライバIC特性

**3-3 光送信モジュールの特性** 開発したEAドライバICを搭載した、光送信モジュールの出力波形を図4に示す。

図4(a)は伝送前 (Back to Back) の波形、(b)は2km伝送後の波形である。組み合わせたEA-DFBレーザの波長



(a) 伝送前



(b) 伝送後 (2km)

伝送速度=43.018Gbit/s PRBS  $2^{31}-1$

図4 光出力波形

は1.55 $\mu\text{m}$ であり、アプリケーションとしてVSR (very short reach) <sup>\*6</sup>への適用を目的としたモジュールである。伝送速度は43.018Gbit/s、信号パターンはPRBS  $2^{31}-1$ である。また、どちらの波形も、オシロスコープの光プラグインに内蔵されているベッセルトムソンフィルタ (帯域35GHz) 通過後の波形である。伝送前の波形の消光比は10.0dBであり、OTU3で規定されるマスク要求に対して20%以上のマスクマージンが得られている。また、伝送後も良好な波形が得られた。

## 4. 25G用EAドライバICの開発

**4-1 EAドライバICの設計及び特性** 25G用EAドライバICは写真2に示した小型光送信モジュールに搭載される。パッケージサイズは、光コネクタ用スリーブとピンを除いて5.8 $\times$ 13 $\times$ 5.6mm<sup>3</sup>である。このモジュール内部の構造は図1で示した40G用のそれと同じである。しかし、25G用EAドライバICの開発においては、先に述べたとおり、特に低消費電力化が重要な課題である。

40G用で用いたTWA回路は、高速動作とリターンロスには優れるが、各分割アンプユニットセルで、それを動作させるための電力が必要となるため、低消費電力化には適さない。そのため、25G用では低消費電力化に有利な集中定数型の回路構成を用いた。図5にこの25G用EAドライバICのブロック図、図6にチップ外形を示す。

図5に示す通り、このICでは集中定数型の出力バッファ



写真2 25G用小型光送信モジュール外形

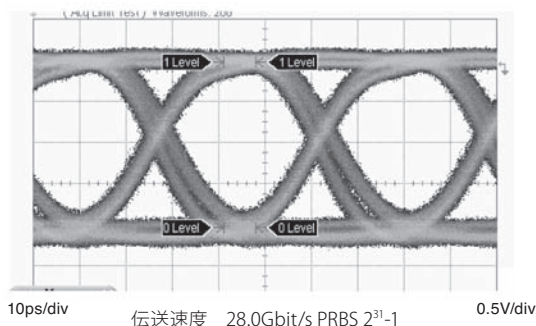


図7 電気出力波形

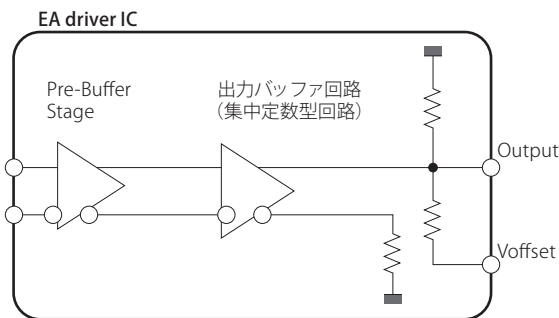
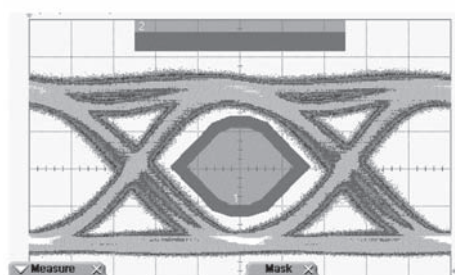


図5 25G用EAドライバICブロック図



消光比=7.7dB, マスクマージン=33%  
伝送速度 27.95Gbit/s PRBS 2<sup>31</sup>-1

図8 光出力波形

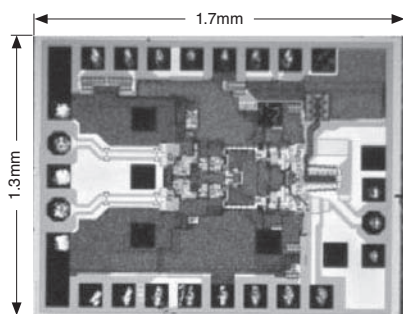


図6 ICチップ写真

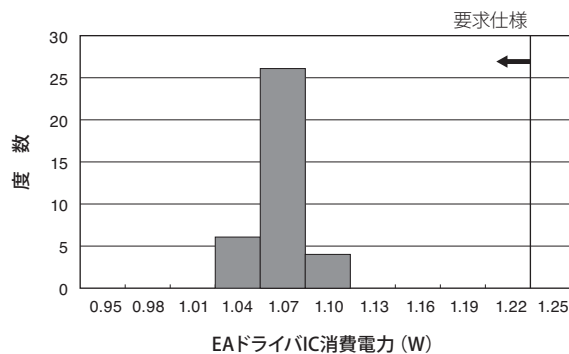


図9 ドライバIC消費電力分布

回路を用いている。この回路方式では、TWA回路に比べて高速動作特性が劣るが、出力バッファ回路部に高周波成分を強調するエンファシス機能を加えることにより、28Gbit/sまでの高速動作を実現している。また、リターンロスの影響については、出力バッファ回路部をEA-DFBとの整合に最適化することにより、光出力波形への影響を許容範囲に抑えている。

図7に、開発したEAドライバICの出力波形を示す。伝送速度28.0Gbit/s PRBS 2<sup>31</sup>-1での波形であり、出力振幅は1.8Vpp、立上り時間、立下り時間はそれぞれ14ps、12psである。

**4-2 光送信モジュールの特性** 開発したEAドライバICを搭載した、光送信モジュールの出力波形を図8に示す。伝送速度は27.95Gbit/s PRBS 2<sup>31</sup>-1、伝送前 (BTB)

であり、ベッセルトムソンフィルタ (帯域21GHz) 通過後の波形である。光波長は1.3μmであり、100G Ethernetで規定されたLAN-WDM規格に対応している。消光比は7.7dBであり、OTU4で規定されるマスク要求に対して30%以上のマスクマージンが得られている。

**4-3 消費電力** 開発した25G用EAドライバICの最大消費電力の分布を図9に示す。この結果より、先に述べた仕様値の1.25Wに対して、十分なマージンをもっていることが確認できた。

## 5. 結 言

25G用、及び40G用のEAドライバICを開発し、光送信モジュールに搭載した状態での、良好な特性を確認した。各々の用途に適した回路構成を選択することにより、光トランシーバモジュールより要求される高度な仕様を満足するIC開発した。これらのICを搭載した光送信モジュールは、光通信機器の高性能化に十分貢献できる。

### 用語集

#### ※1 WDM

Wavelength Division Multiplexing : 波長分割多重

#### ※2 CFP

Centum gigabit Form Factor Pluggable : 活栓挿抜可能な100Gbit/s対応光トランシーバ

#### ※3 EA-DFBレーザ

Distributed Feedback : 電界吸収型(EA)光変調器と分布帰還型(DFB)半導体レーザを集積した半導体レーザ素子

#### ※4 TEC

thermoelectric cooler : ペルチェ接合を用いた小型冷却デバイス

#### ※5 TWA回路

Traveling Waveform Amplifier : 進行波型増幅回路。分布定数型回路の一種で、高速動作とインピーダンス整合に優れている

#### ※6 VSR

very short reach : ITU-Tで規定された、伝送距離2kmの光伝送規格

### 参 考 文 献

- (1) <http://www.ieee802.org/3/ba/>
- (2) <http://www.cfp-msa.org/Documents/CFP-MSA-HW-Spec-rev1-40.pdf>
- (3) <http://www.xlmdmsa.org/>
- (4) Yves Baeyens, et al., "High Gain-Bandwidth Differential Distributed InP D-HBT Driver Amplifiers With Large (11.3Vpp) Output Swing at 40 Gb/s", IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL.39, NO.10, OCT. (2004)

### 執 筆 者

巽 泰三\* : 伝送デバイス研究所 主査  
高周波用ICの開発に従事



田中 啓二 : 伝送デバイス研究所 グループ長

澤田 宗作 : 伝送デバイス研究所 部長

内藤 英俊 : 住友電工デバイス・イノベーション(株) 光デバイス開発部

大西 裕明 : 住友電工デバイス・イノベーション(株) 光デバイス開発部  
担当部長

藤田 尚士 : 住友電工デバイス・イノベーション(株) 光デバイス開発部

鵜飼 篤 : 住友電工デバイス・イノベーション(株) 光デバイス開発部

阿部 務 : 住友電工デバイス・イノベーション(株) 光デバイス開発部  
課長 (Ph.D.)

\*主執筆者