

安井伸之\* 秋山浩一\*\*\*  
 澁谷幸司\* 村尾覚志†  
 大和屋 武\*\*

# 100Gbps光集積送信モジュール

## 100Gbps Integrated Optical Transmitter Module

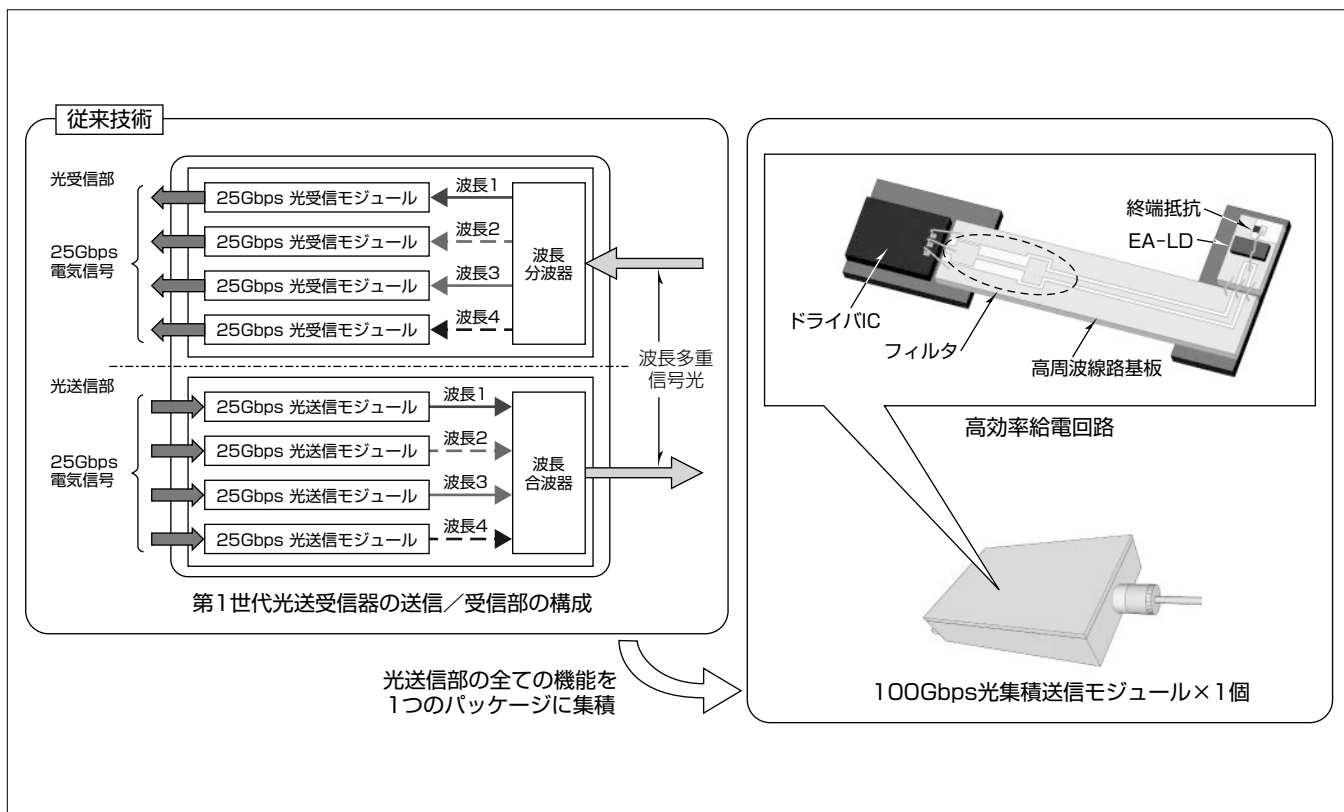
Nobuyuki Yasui, Koji Shibuya, Takeshi Yamatoya, Koichi Akiyama, Tadashi Murao

### 要旨

データ通信量の増大に対応するため、25Gbps×4chの波長多重方式を用いた100Gbpsイーサネット<sup>(注1)</sup>(100Gbps Ethernet<sup>(注1)</sup>:100GbE)が規格化<sup>(1)</sup>されている。一般に、光通信機器は伝送容量増大が求められるため、実装の高密度化と、それに併せて小型・低消費電力化が要求されている。これまでに、各社で個別の光送受信モジュール<sup>(2)</sup>と波長合分波器を用いた光送受信器が開発されてきたが、高密度実装とは言い難く、サイズも縦145×横82×高さ13.6(mm)であった。そのため、約1/3のサイズに小型化した第2世代の開発が進められている<sup>(3)</sup>。三菱電機では、光送受信器の小型化を実現するため、全てのモジュールと波長合分波器の機能を集積したモジュールを開発している。低消費電力化には給電回路の高効率化が不可欠で、今回、こ

の給電回路の高効率化開発を行った。発光素子には電界吸収型光変調器集積レーザダイオード(Electro-absorption modulator integrated Laser Diode:EA-LD)を用いているが、給電回路は高周波線路の端部に終端抵抗をEA-LDと並列に設けている。高効率化には低電流駆動が有効であり、終端抵抗を高抵抗化することで実現が可能であるが、その一方で高周波特性が劣化し、結果として光波形が悪化するという問題があった。今回、終端抵抗を従来の50Ωから80Ωとした上でフィルタを用いることによって、光波形劣化の原因となる多重反射の問題を解決する高効率給電回路技術を開発した。これらによって、小型・低消費電力化の実現性を実証した。

(注1) イーサネットとEthernetは、富士ゼロックス株の登録商標である。



### 100GbE用第1世代光送受信器の送信／受信部構成

100GbEは25Gbps×4chの波長多重方式を用いており、送信部の構成は電気信号を信号光に変化して出力する光送信モジュールと、信号光を多重する波長合波器が必要である。左図が従来技術を示しており、各機能を個別モジュールで実現するためサイズが大きい。右図が今回開発中の100Gbps光集積送信モジュールである。全ての機能を1つのパッケージに集積し、高効率給電回路によって低電流駆動と高品質な光波形の実現性を実証した。

1. ま え が き

データ通信量の増大に対応するため、25Gbps×4chの波長多重方式を用いた100Gbpsイーサネットが規格化されている。一般に、光通信機器は伝送容量増大が求められるため、実装の高密度化と、それに併せて小型・低消費電力化が要求されている。図1に100GbEに対応した光送受信器の構成を示す。これまでに、個別の光送受信モジュールと波長合分波器を組み合わせた第1世代のCFP(100Gbps Form-factor Pluggable)規格準拠<sup>(3)</sup>の光送受信器が開発されているが、サイズは縦145×横82×高さ13.6(mm)と大きい。また、10Gbpsなど低速の機器と比較しても、実装密度も高くない。そのため、第2世代の光送受信器として、縦107.5×横41.5×高さ12.4(mm)と約1/3に小型化し、消費電力も同様に約1/3としたCFP2規格<sup>(3)</sup>の光送受信器の開発が進められている。

当社では、光送受信器の小型・低消費電力要求に対応するため、25Gbps光送信モジュール4個と、波長合波器1個を1つのパッケージに集積させた100Gbps光集積送信モジュールを開発している。低消費電力化には給電回路の高効率化が不可欠で、今回、この給電回路の高効率化開発を行った。発光素子には25Gbpsで動作可能な波長1.3μm帯の電界吸収型光変調器集積レーザダイオード(EA-LD)を用いているが、給電回路は高周波線路の端部に終端抵抗をEA-LDと並列に設けている。終端抵抗を高抵抗化することで駆動電圧を高くし、低消費電力化が可能であるが、インピーダンスの不整合で高周波特性が劣化し、結果として光波形が劣化する。今回、終端抵抗を従来の50Ωから80Ωに高抵抗化した上で、フィルタを用いることによってインピーダンスの不整合を解消し、光波形劣化の原因となる多重反射の問題を解決した。これらによって、100Gbps光集積送信モジュールに求められる小型・低消費電力化の実現性を実証した。

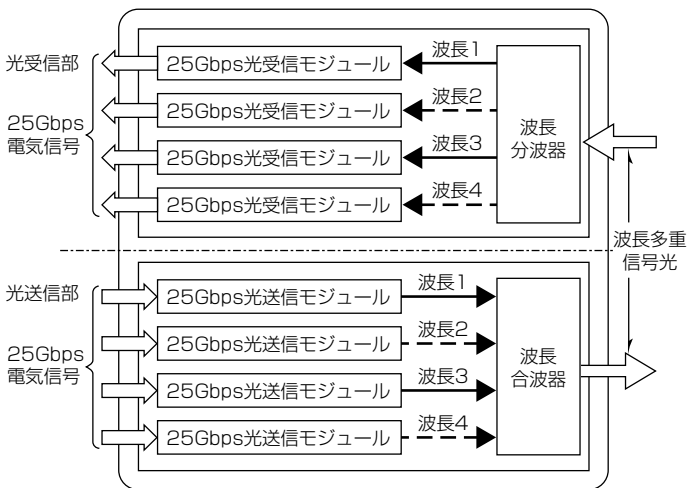


図1. 100GbE光送受信器の光学部の構成

2. EA-LDの給電回路

2.1 高効率給電回路の構成

図2に開発した高効率給電回路を示す。電気信号を増幅するドライバIC、高周波線路基板、サブマウントとEA-LDの信号線はワイヤボンディングによって接続している。この等価回路を図3に示す。ドライバICは50Ωと信号電流源の並列回路で表し、ワイヤボンディングはインダクタンスL1~L4、EA-LDはキャパシタンスC1、終端抵抗は抵抗R2、フィルタはキャパシタンスC2、インダクタンスL5、キャパシタンスC3で示すことができる。ここで、EA-LDは図3中のA点の逆バイアス電圧に応じてLDからの光を制御することで、逆バイアス電圧信号に応じた変調光波形を出力している。

2.2 低電流駆動方法

図4①に終端抵抗変化時のEA-LDへの逆バイアス電圧V<sub>r</sub>と信号電流の関係を示す。終端抵抗を大きくするに従い、V<sub>r</sub>は増加することが分かる。ここで、光の吸収に必要なV<sub>r</sub>を2.5V一定とした場合の終端抵抗と信号電流の関係を図4②に示す。終端抵抗50Ωでは100mAが必要であるのに対し、80Ωでは81mAと少ない信号電流でEA-LDに必要な逆バイアス電圧を得ることができる。すなわち、終端抵抗の高抵抗化によって、低電流駆動が可能となる。

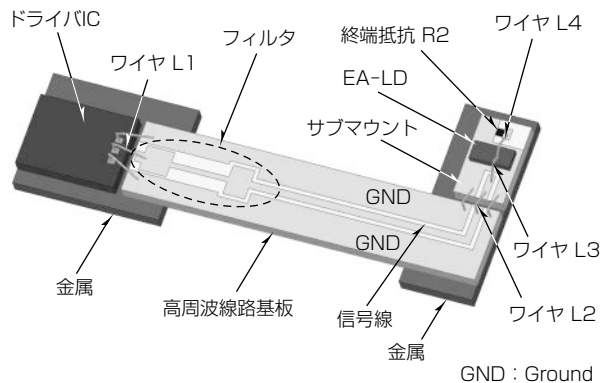


図2. 高効率給電回路

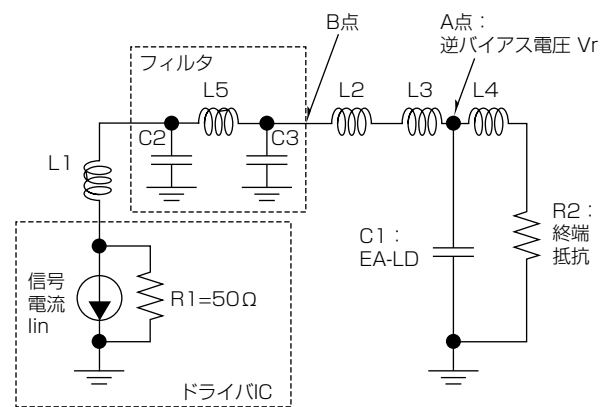


図3. 高効率給電回路の等価回路

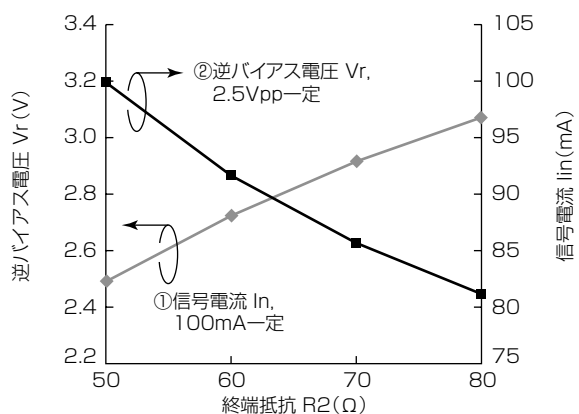


図4. 終端抵抗変化時の逆バイアス電圧Vrと信号電流Inの関係

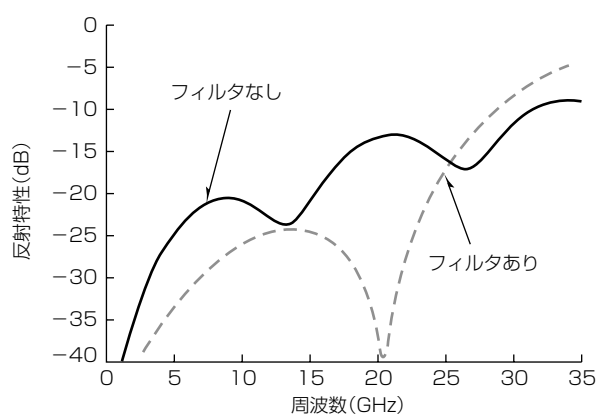


図6. B点からドライバIC側反射特性の計算結果

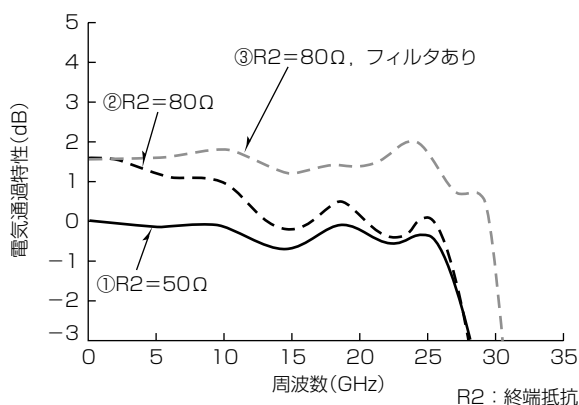


図5. 電気通過特性の計算結果

### 2.3 電気通過特性の改善

良好な光波形を得るためには、帯域としてDC~25GHzで平坦性のよい電気通過特性が求められる。平坦性を損なう要因は、終端抵抗を50Ωから変化させた場合や、ワイヤL1と図3中のA点間の多重反射による電気通過特性の劣化である。図5はドライバICからEA-LDにおける電気通過特性の計算結果である。図5①は終端抵抗50Ωの結果であり、DC~25GHzまでのレベル変動は±0.7dB以下である。ここで、図5②のように、終端抵抗を80Ωと高抵抗化した場合は、DCレベルで1.5dBの利得増加が確認できる。しかしながら、L1とA点間のインピーダンス不整合による多重反射によって、高周波特性が劣化する。

インピーダンス不整合を解決するため、ワイヤL1の影響を小さくすることに着目し、高周波線路基板上的ドライバIC直近にフィルタを導入した。このフィルタは、広帯域で平坦性の高い反射特性が得られており、ワイヤL1のインダクタンスによる反射特性を補償するのに有効である。

図6にフィルタあり／なしにおける図3中のB点からドライバIC側をみた反射特性の計算結果を示す。フィルタを挿入することによって、DC~25GHzまでの反射特性を改善することができる。フィルタのC2, L5, C3の定数は、通過特性の平坦性が得られるように調整した。このフィルタ挿入とワイヤL4の長さを最適化することによって、図5③

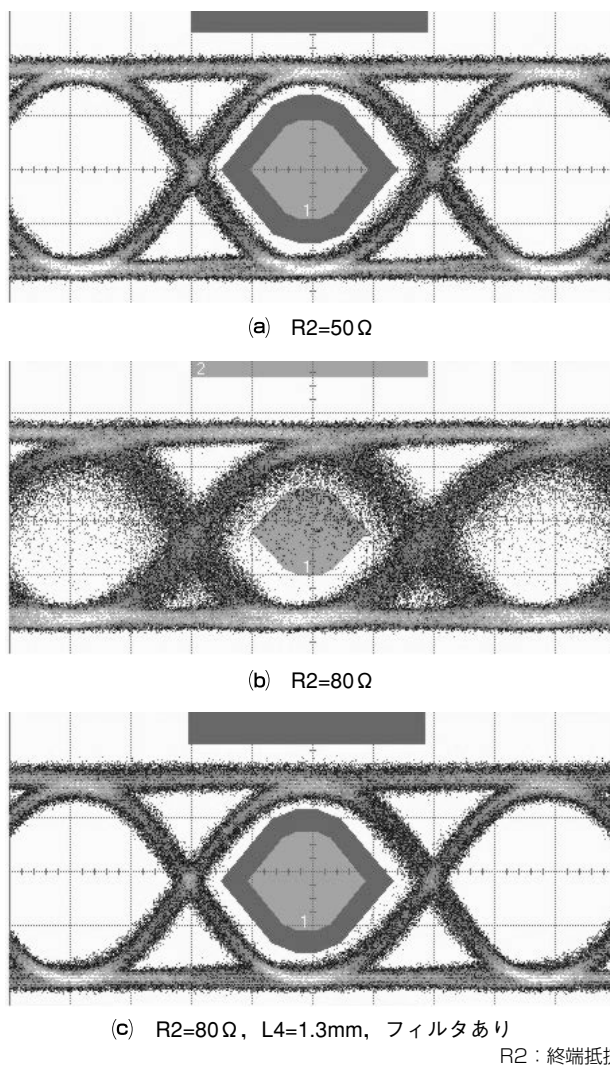


図7. 25Gbpsの光波形

のように、DC~25GHzまでの変動を±0.4dBとすることができ、良好な光波形が得られると期待できる。

### 3. 評価結果

図7に25Gbps, 31段, 消光比 9 dBの条件で測定し、IEEE 802.3ba 100GBASE-LR4用マスク<sup>(1)</sup>を重ねた光波形を示す。図7(a)の光波形はフィルタがない終端抵抗50Ωで、

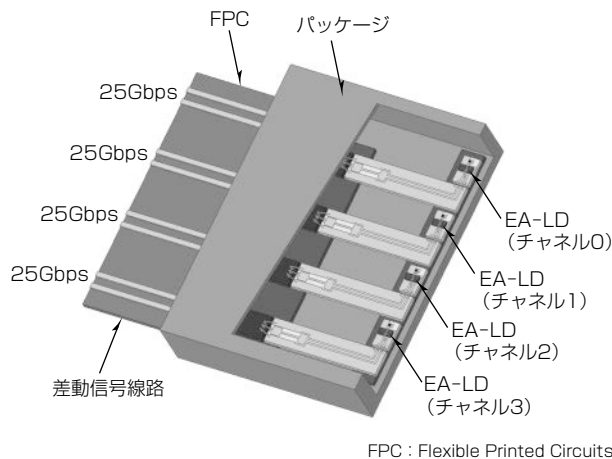


図 8. 集積パッケージ上に実装した高効率給電回路

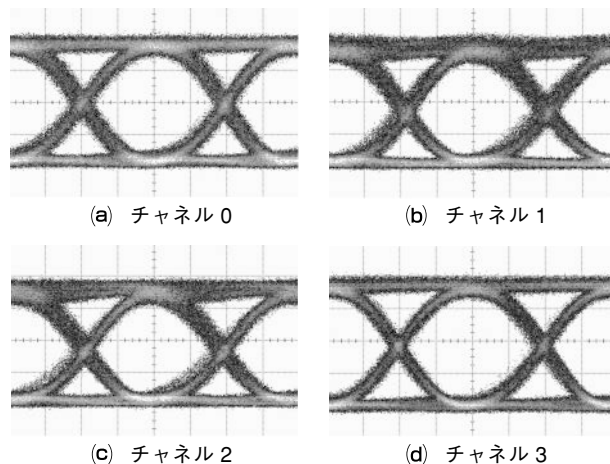


図 9. 25Gbpsの光波形

50%のマスクマージンを得ている。図 7(b)は終端抵抗を80Ωに変更した光波形であり、インピーダンスの整合が取れていないため、立ち上がりが悪化し、マスク規格を満足していない。図 7(c)は高周波線路基板にフィルタを追加し、ワイヤL4の長さを0.4mmから1.3mmに変更した光波形である。マスクマージンは47%と良好な光波形が得られ、信号電流は75mAと終端抵抗50Ωの場合から15%減少した。

100Gbps光集積送信モジュールの実現に向けて、横幅20mmの集積パッケージ上で光波形を評価した。図 8は集積パッケージに今回開発した4チャンネル分の高効率給電回路を実装したものを示している。電気インタフェースにはコストに優れたフレキシブル基板(FPC)を用いており、ドライバICまでの信号線路は差動信号線路で構成している。図 9は4チャンネル分の光波形であり、消光比は9dBとした。全てのチャンネルで良好なアイ開口が得られることを確認した。

#### 4. む す び

100Gbps光集積送信モジュールに求められる低消費電力化手法として、給電回路の高効率化開発を行った。終端抵抗を従来の50Ωから80Ωと高抵抗化した上で、フィルタを用いることによって光波形劣化の原因となる多重反射を解決する高効率給電回路技術を開発した。これらによって、EA-LDの駆動電流を15%低減でき、集積パッケージ上で良好な光波形を得た。今回開発した高効率給電回路技術によって、100GbE普及の加速が期待できる。

#### 参 考 文 献

- (1) IEEE P802.3ba 40Gb/s and 100Gb/s Ethernet Task Force  
<http://www.ieee802.org/3/ba/>
- (2) Uesugi, T., et al.: 25 Gbps EML TOSA Employing Novel Impedance-Matched FPC Design, Optical Communication 35th European Conference ECOC2009 (2009)
- (3) The Home of the CFP Multi-Source Agreement  
<http://www.cfp-msa.org/>