望月敬太* 竹村亮太** 有賀 博* 秋山浩一*** 板本裕光**

100Gbpsイーサネット用光受信モジュール

Receiver Module for 100Gbps Ethernet

Keita Mochizuki, Hiroshi Aruga, Hiromitsu Itamoto, Ryota Takemura, Koichi Akiyama

要 旨

メトロ網やデータセンターでのトラフィック増大を背景 に、2010年6月にIEEE802.3baとして100Gbpsイーサネッ ト^(注1) (100Gbps Ethernet^(注1): 100GbE) 規格が承認された。 100GbE用光送信モジュール/光受信モジュールには、 25Gbps×4chの波長多重方式が採用された。これまでに、 各波長個別のモジュールと波長合分波器を組み合わせて信 号光を多重又は分離する第1世代の100GbE用光送受信器 が開発されているが、既存の10GbE用光送受信器と比較し てサイズが大きく、ポート密度を高められなかった。 100GbEが本格的に普及するためには、既存のポート密度 を超えるように、第1世代の1/2に小型化された第2世代の 光送受信器が必要である。今回,第2世代光受信器を実現 するキーパーツとして、4つの25Gbps光受信モジュール と波長分波器の機能を1つのパッケージに集積した (注1) イーサネット及びEthernetは、富士ゼロックス㈱の登録商 標である。

100GbE用光受信モジュールを開発した。第2世代実現に 十分な外形サイズとして17(縦)×12(横)×7(高さ)(mm) の世界最小^(注2)を達成したことに加え,電気信号インタフ ェースをパッケージの背面に集めてフレキシブルプリント 基板で接続することで,光送受信器への実装性を高めた。

100GbE用光受信モジュールの実現にあたり, 鍵となる 3つの技術を次に示す。

①小型・低損失な一体型波長分波光学系

②高速・高感度を両立した4ch-PD(Photo Diode)アレー
③低クロストークの25Gbps電気信号伝送路

これらを開発することで,最小受信感度-12.1dBm,チャネル間クロストークによる受信感度劣化0.1dB以下と IEEE802.3baの規格を満足する特性を得た。

(注2) 2010年9月16日現在,当社調べ



100GbE用光受信モジュールの小型化

100GbEは25Gbps×4chの波長多重方式であるため、対応する光受信モジュールは、4波長多重された入射光を各波長に分波する機能と、 各波長の信号光を受信して電気信号に変換する機能が必要である。左図が従来例を示しており、各機能を個別モジュールで実現するため、サイ ズが非常に大きかった。右図が今回開発した100GbE用光受信モジュールであり、すべての機能を1つのパッケージに収めることで大幅な小 型化に成功した。

1. まえがき

100GbE用光送受信器の規格⁽¹⁾は異なる4つの波長に 25Gbpsの信号を載せる波長多重方式を定めている。図1 にその模式図を示す。これまで、各波長個別の25Gbps光 送信モジュール⁽²⁾/光受信モジュールと、別体の波長合波 器ないし分波器を組み合わせたCFP(100Gbps Form-factor Pluggable)規格⁽³⁾準拠の100GbE用光送受信器が開発さ れているが、サイズが82×145×13.6(mm)と大きく、ポー ト密度を既存の10GbE用光送受信器以上に高めることがで きなかった。100GbEが本格的に普及するためには、第1 世代と位置づけられるCFPと比べ1/2に小型化された第2 世代の光送受信器が必要と考えられ、サイズが40×145×13 (mm)(推定)のCFP2の規格化とその実現が期待されている。

従来の個別モジュールの組合せでは,光受信部だけで約 40×40(mm)の大きさになり,CFP2への搭載は不可能で ある。本稿では,4つの25Gbps光受信モジュールと波長 分波器の機能を1つのパッケージ内に集積することで, CFP2に搭載可能な小型100GbE用光受信モジュールを開発 したことを述べる。

2. 100GbE用光受信モジュールの構造

図2に開発した100GbE用光受信モジュールの外観を示 す。光信号入力用のファイバと電気信号出力用のフレキシ ブルプリント基板(Flexible Printed Circuits:FPC)を除 いた外形サイズは17×12×7(mm)と世界最小を実現した。 図3に内部の構造を示す。ファイバに入力した波長多重信 号光を,一体型波長分波光学系で波長ごとの信号光に分離 し,それぞれ4ch-PDアレーで電気信号に変換する。各電 気信号はトランスインピーダンスアンプ(TransImpedance Amplifier:TIA),25Gbps電気信号伝送路を経て FPCから出力する。

100GbE用光受信モジュールを実現するための課題は主 に3つ挙げられる。第1に,小型・低損失な一体型波長分



図1. 100GbE光送受信器の光学部構成

波光学系の実現である。これまでの100GbE用光受信器は 別体の波長分波器を用いていたためサイズが大きくなって いた。これを,挿入損失やチャネル間光学アイソレーショ ン性能は維持しつつ,横幅が15mm以下のパッケージに PDやTIAとともに収納できるように小型化する。第2に, 一般的にトレードオフの関係とされる高速性能と高感度を 両立した4ch-PDアレーの実現である。第3に,高密度で 低電気クロストークの25Gbps電気信号伝送路の実現であ る。小型パッケージ内で4つの高速電気信号を伝送する場 合,相互干渉が大きくなるため,電気クロストークを低減し た配置設計が必要となる。次に,これらの課題を解決するた めに,このモジュールに適用されている技術について述べる。

3. 100GbE用光受信モジュールの技術

3.1 一体型波長分波光学系

図3に示すようにミラーと薄膜バンドパスフィルタ (Band Pass Filter:BPF)を対向に配置し、それらの間を 光が多重反射することで波長分波機能を実現する。薄膜 BPFは、光の入射角度に依存して透過特性が劣化するため、 角度誤差±0.05°以下で実装する必要がある。一般的に、 薄膜BPFを高い角度精度で実装するための微調整機構は、 モジュールの小型化を阻害する。今回、プリズムを中心に して4つの薄膜BPFや集光レンズ、ミラーを一体化するこ とで角度調整機構を省き、光学系の小型化を実現した。高



図2.100GbE用光受信モジュール



精度に加工可能なプリズムに,薄膜BPFやミラーを直接取 り付けることで高い角度精度が得られる。図4は,実際に 作製した一体型波長分波光学系における薄膜BPFの実装角 度のヒストグラムであり,目標の精度0.05°以内を満足し た。図5に,一体型波長分波光学系へ光を入射したときの PDへの結合効率を示す。各チャネルの波長帯域で最大挿 入損失-0.8dB,チャネル間光学アイソレーション21dBで あり,IEEE802.3ba規格を満足するために必要な挿入損 失-1.5dB以下,チャネル間光学アイソレーション20dB以 上の小型集積光学系が実現できた⁽⁴⁾。

3.2 4ch-PDアレー

PDの構造には大きく分けて端面入射型と面入射型があ る。端面入射型の方が高速性能と高感度を両立しやすいと されるが、受光領域が極めて小さく実装時の位置調整が難 しい。特に、4 チャネルを1つのチップ上に集積する 100GbE用の4ch-PDは複数チャネルを同時に位置調整す るため、受光領域が大きい面入射型の適用が不可欠である。

図6に開発した面入射型PDの断面図を示す。25Gbpsで 動作させる場合,吸収層を薄膜化して発生したキャリアの 走行距離を短くする必要があるが,同時に吸収層を透過す る光が増加して感度が低下するという問題がある。今回, PD内部にミラーの働きをする多層反射膜(Distributed Bragg Reflector:DBR)を形成し,吸収層を透過した光を 再度入射させることで感度向上を実現した。図7は, DBRを挿入した場合の感度測定値及び,挿入していない 場合の感度計算値を示している。DBRの挿入によって, ピーク値で0.92A/W,100GbEで用いられる1.295~1.310µm の波長範囲で0.90A/W以上と,既存品である10Gbps用PDと 同等(0.90A/W)の非常に高い感度が得られた⁽⁵⁾。

3.3 25Gbps電気信号伝送路

金属の矩形(くけい)パッケージでは、電気信号のインタ フェースとして側面にリードピンを設けることが多いが、 リードピン構造では横幅寸法15mm以下が困難になる。そ こで金属パッケージの背面にインタフェースを集め、FPC にて電気信号を取り出す構造を採用した。また、25Gbps 電気信号用FPCと、TIAを駆動するためのバイアス用FPC の2つに分離することで、光送受信器にモジュールを実装 する際の柔軟性を確保した。図8にTIAからFPCまでの電 気クロストークの解析結果を示す。チャネル間光学アイソ レーションが21dBなので、IEEE802.3ba規格を満足するた めには電気クロストークを-40dB以下に抑える必要があ るが、25GHzまでの帯域でスペックを満たしており、チャ ネル間干渉が十分小さい電気信号伝送路が実現できた。

4. 100GbE用光受信モジュールの特性

開発した100GbE用光受信モジュールの受光感度特性を 評価した。図9に光/電気変換の周波数応答特性を示 す。-3dB帯域が全チャネルで17GHz以上あり、ピーク

吸収層

入射光



図4. 薄膜BPFの実装角度ヒストグラム







図 7. PD感度-入射波長依存性



図8. 電気信号伝送路の隣接チャネルへのクロストーク



図 9. 100GbE光受信モジュールの周波数応答特性

やディップのない良好な特性が得られ、受信した25Gbps の信号光に対して十分な品質の電気信号波形を出力すると 期待できる。図10に、PN31段での符号誤り率特性を示す。 BER (Bit Error Ratio)が1×10⁻¹²となる最小受信感度は -12.1dBm以下であり、IEEE802.3baで規定されている -10.8dBmに対して十分なマージンを持っている。図11に、 隣接チャネルの信号を同時に入射したときの符号誤り率特 性を示す。図10との差分から、最小受信感度のクロスト ークによる受信感度劣化は全チャネルで0.1dBであり、問 題ないことを確認した⁶⁶。

5. む す び

100GbE用光受信モジュールを開発した。小型かつ高感 度なモジュールを実現するための鍵として、一体型波長分 波光学系では、プリズムを中心にすべての光学部品を一体 化することで、高い実装精度と小型化を低損失で実現した。 4 ch-PDでは、DBRによる反射構造の形成によって、一 般的にはトレードオフ関係とされる高速動作と感度向上の 両立に成功した。25Gbps電気信号伝送路では、電気信号 インタフェース構造の設計とFPCを用いた電気信号の取り 出しによって、低クロストークで高密度配線を実現した。 これらの技術の確立によって、IEEE802.3baを満足する特 性が得られた。今回の開発品がキーデバイスとなって、 100GbEの普及が加速することを期待する。



図11. 100GbE光受信モジュールのクロストークBER特性

この研究の一部は,総務省の委託研究"超高速光伝送シ ステム技術の研究開発(イーサネット向け超高速省電力光 伝送技術)"の下で実施した。

参 考 文 献

 (1) IEEE P802.3ba 40Gb/s and 100Gb/s Ethernet Task Force
http://www.ieee802.org/2/he/

http://www.ieee802.org/3/ba/.

- Uesugi, T., et al.: 25Gbps EML TOSA Employing Novel Impedance-Matched FPC Design, 35th ECOC2009, WeP2.05 (2009)
- (3) CFP Multi-Source Agreement http://www.cfp-msa.org/, ref. Feb. 15, 2010.
- (4) Mochizuki, K., et al.: Built-in Optics for 4ch-WDM ROSA in 100Gbps Ethernet, 15th OECC2010, 7E3-3 (2010)
- (5) Takemura, R., et al.: 25Gbps×4ch Photodiode Array with High Responsivity for 100Gbps Ethernet, 36th ECOC2010, P2.11 (2010)
- (6) Aruga, H., et al. : Four-channel 25Gbps Optical Receiver for 100Gbps Ethernet with Built-in Demultiplexer Optics, 36th ECOC2010, Th.10.D.4 (2010)