640Gb/s WDMインタコネクション用超小型10Gb/s光モジュール

川野 龍介*, 安川 正祥*, 山中 直明*

A Very-Compact 10-Gb/s Optical Module for 640-Gb/s WDM Interconnection

Ryusuke KAWANO*, Seishou YASUKAWA* and Naoaki YAMANAKA*

*NTTネットワークサービスシステム研究所（〒180-8585 東京都武蔵野市緑町3-9-11）

*NTT Network Service Systems Laboratories (3-9-11 Midori-cho, Musashino-shi, Tokyo 180-8585)

Abstract

We have developed very compact serial 10-Gb/s optical modules for 640-Gb/s WDM inter-unit interconnection for a Tb/s ATM switching system. The transceiver module contains a very compact laser unit with an EA modulator and a 16:1 MUX which multiplexes sixteen 622-Mb/s parallel signals into one serial 10-Gb/s signal. The receiver module contains a 10-GHz PLL synchronizer, a 1:16 DEMUX which demultiplexes a serial 10-Gb/s signal into sixteen 622-Mb/s signals and a word-synchronizer LSI for ATM-cell regeneration. These optical modules have a novel cooling structure. As a result, we have developed very compact optical transceiver and receiver modules, of equal size: $80 \times 120 \times 20$ mm.

Key Words: ATM, Optical Interconnection, WDM, Heat Pipe

1. はじめに

通信のマルチメディア化とインターネットの急激な普及に伴い、これまでとはけた違いの通信容量を取り扱うことの可能なスイッチングシステムの実現が急務となっている。われわれは、装置の架間接続にWDMインタコネクションを導入したサブTb/s ATMスイッチのプロトタイプを開発している。このインタコネクションではファイバ本数をできる限り削減するため、1本のファイバ中に80Gb/sの信号を伝送する。信号伝送にはシリアル10Gb/sの速度を用い、装置内でWDMを利用するため温度変動耐性に優れた超小型光送受信モジュールを開発した。モジュールサイズは、送信／受信モジュールとも $80 \times 120 \times 20$ [mm]で同一サイズである。装置内のボード実装のために、小型かつ高密度実装に適し、しかも、十分な冷却性能を有するパッケージ構造を実現した。ヒートパイプによって熱を自律的に輸送することが可能な受熱板とマイクロファンによって、放熱機構を兼ねたパッケージとした。

まず始めに640Gb/s ATMスイッチシステムにおけるWDMインタコネクション、および超小型10Gb/s光送受信モジュールの使用個所について述べた後、送信および受信モジュール各々の機能構成について述べ、その実装構造および冷却構造について述べる。

2. 光モジュールの使用個所

640Gb/sのWDMインタコネクションシステム¹⁾は、3架

で構成される640Gb/sの3段ATMスイッチ架間インタコネクションとして図1に示す部分で使用する。このWDM光インタコネクションシステムは10Gb/sの光送信モジュール(TX)、光受信モジュール(RX)、MUX AWG(Arrayed-Waveguide Grating)、ルータAWGおよびDEMUX AWGによって構成される。AWG²⁾は、光ファイバと同様に光信号を伝搬する受動デバイスであるが、線路の結合(MUX)、分岐(DEMUX)および交差(ルーティング)など光ファイバにはない機能を実現できることが特徴である。ここでは、石英系プレーナ光波回路(PLC: Planar Lightwave

図1. 光モジュール使用個所

図2. 実装形態

Circuit) 技術を用いて、各種AWGは実現されている。提案するシステムは8波長を使用し、それぞれの波長が10Gb/sの信号とAWGによって構成される8×8の光ルータを利用する³⁾。WDMの波長多重分離を実現するキー部品としてのAWGは、チャンネルスペースを従来の約5倍と大きくし、光送受信モジュールと同様に温度変動に対しての耐性を確保し、スイッチングシステム内においても高精度の温度制御を必要としない構成をとっている。

2.1 10Gb/s光モジュール実装形態

図2に示すように640Gb/s ATMスイッチシステム中の基本単位となる80Gb/sのATMスイッチエレメントは、80Gb/sのMCM(Multi Chip Module)と8枚の10Gb/s TX、8枚の10Gb/s RX、MUX AWGおよびDEMUX AWGによって構成される。640Gb/sのインタコネクションを実現するためには、64枚のTXおよびRXが必要となるため、光モジュールの大きさはできるだけ小さくかつそれらがプリントボード上で高密度に実装可能な構造であることが必要である。われわれは、新しい冷却構造を用いたパッケージ構造によって超小型の光送受信モジュールを開発した。

3. 光モジュール構成

3.1 光送信モジュール

TXモジュールは、同じプリントボード上にある80Gb/sスイッチエレメントの出力である1ポート10Gb/s(622Mb/s×16本)の信号を90ピンの電気コネクタを通してモジュールへ接続し、16:1MUXのLSIチップによって10Gb/sのシリアル信号へ変換した後レーザドライバを通して超小型EA[®]変調器付きレーザによって10Gb/sのシリアル光信号に変換する。ここで、TXモジュールは、データに並走する回線クロックの位相に同期した10GHz、およびその分周クロックである622MHzのクロックをPLLを用いて発生する機構を有する。また、WDMインタコネクションは波長の違いを利用して信号を多重伝送しているため、レーザの発振波長の温度安定性が重要である。そこで、温度の微調整を可能にするため、ペルチェ素子による温度

制御を行っている。TXの消費電力はペルチェ素子も含めて9.65Wである。

3.2 光受信モジュール

RXモジュールは、DEMUX AWGを通して受けた10Gb/sの光信号をフォトディテクタで電気信号に変換したのちアンプで増幅し、1:16DEMUX LSIによって622Mb/s×16本の信号に変換する。このとき、RXモジュール内には10GHzのPLL回路を内蔵し、受信した10Gb/sのデータからデータに同期した10GHzのクロックを抽出する。622Mb/sの信号はATMのセル再生のためのワード同期LSIへ入力される。ここでは16本の信号の中からワード同期パターンを検出し、いったんワード同期パターンを検出すると、これを基にATMセル再生を行うと共にセル先頭を示すビットにフレームを立てる。RXの消費電力は22.5Wである。

3.3 モジュール構造

TXおよびRXは共に高周波ボードおよび低周波ボードで構成され、両者が向かい合わせとなった構造を有する。従来の放熱フィンの代わりに高性能なヒートパイプを埋め込んだパッケージを利用して、モジュール内の発熱体から熱を伝導し、モジュールの端にあるダクト中に設けられた放熱フィンにプッシュプルマイクロファンによって風を吹き当てて放熱する。図3および図4に、この光モジュールの冷却システムを含む外観と冷却システムを外した場合の内部構造とをそれぞれ示す。

3.3.1 モジュール断面構造

図5は、光モジュールの断面構造を示したものである。モジュールは、高周波ボード(テフロン)と低周波ボード(FR4)とからなり、両者の固定および電源コネクタの役割を果たすスタックコネクタによってつなぎ合わせてあ

図3. 光モジュールの外観

図4. 光モジュールの内部構造 (TXの例)

図5. モジュール断面構造

る。これらのボードは、アルミプレートおよび放熱プレートに挟まれた構造となっている。高周波ボードおよび低周波ボードは、LSIパッケージおよびMCMパッケージの部分のみくり抜かれた構造となっており、これらのパッケージは直接アルミプレートに接触する。また、高周波ボードと低周波ボード間には、1本の10Gb/s信号の接続があり、これは、細線同軸ケーブルを用いている。

3.4 冷却システム

3.4.1 ヒートパイプ冷却

ヒートパイプを内部に含む光モジュールのパッケージ材料である高性能熱伝導プレートの動作原理を図6に示す。図6(a)は、動作していない状態を示している。蛇行細管ヒートパイプは液相と気相で構成される作動液を含む。2

図6. 受熱板の動作機構

図7. 冷却システムの엑스線写真

相は飽和蒸気圧によって平衡が保たれており、静止している。いったん、一部の熱吸収などによって平衡が崩れると液相と気相はすぐに動作を始める。これによって、循環動作が始まり、熱が高温部から低温部へと輸送される⁵⁾。

高性能熱伝導プレートの엑스線写真を図7に示す。2mmの厚さのアルミニウム板の中に作動液を封止した蛇行細管を含んでいる。このデバイスを利用して熱を伝導し、このプレートの端に設けられたダクトとその中に設けられた放熱フィンとダクト両端のマイクロファンで冷却することによって超小型光モジュールを実現している。この冷却構造を用いることによって、冷却システムとして熱抵抗 $1.8^{\circ}\text{C}/\text{W}$ を得た。

4. 評価結果

開発した冷却システムは、熱抵抗として $1.8^{\circ}\text{C}/\text{W}$ を実現した。この冷却能力は、最も温度条件の厳しいレーザユニットをパルチエ素子と併用して安定して動作させるのに十分な値であった。TXおよびRXモジュールを試作機ユニットに架内実装した状態で、その動作を評価した。TXの10Gb/sでの出力波形を図8に示す。光出力は十分な温度コントロールによって、その出力パワーおよび波長において10Gb/sで安定した動作を確認した。このときのレーザの光出力は3.72dBmであった。

また、RXについては、TXおよびAWGを通過した10Gb/sの光信号を受信し、フォトディテクタによって電気信号に変換したのち、この信号からPLLを利用して受信10Gb/sデータに同期したクロックを抽出できた。再生後の10Gb/sのモニタ波形を図9に示す。この信号は、後段

図8. TXの動作波形 (10Gb/s)

H : 20ps/div V : 400mV/div

図9. RXの動作波形 (10Gb/s)

に続く1:16DEMUXで並列展開後、ワード同期LSIによって622Mb/sでセル再生される。

5. むすび

サブTb/sクラスのATM交換機内でWDM光インタコネクションを架間インタコネクションとして実現するために、冷却および高密度実装を考慮した超小型10Gb/s光モジュールを開発した。開発したモジュールは実際に交換機ボードに実装した状態でその性能評価を行い、10Gb/sでの良好な動作を確認し、大容量の信号伝送が可能なWDMを装置内インタコネクションとしての利用であることを試作評価によって確認した。

(1999.4.12-受理 1999.7.2-再受理)

文 献

- 1) S.Yasukawa, N.Yamanaka : "640Gb/s Ultra-High-Speed Optical Interconnection System Using Wide-channel-spacing Wavelength Division Multiplexing", BSS'97, pp.101-105, 1997
- 2) H.Takahashi, K.Oda, H.Toba and Y. Inoue : "Transmission Characteristics of Arrayed Waveguide N×N Wavelength Multiplexer", IEEE. J. Lightwave Technology, Vol.13, No.3, pp.447-455, 1995
- 3) K.Habara, K.Sasayama, A.Himeno and S.Suzuki : "Photonic ATM switch using a frequency-routing-type time-division interconnection network (FRONTIERNET) with FDM output buffers", OFC'94, Technical Digest, pp.197-198, 1994
- 4) H.Takeuchi, K.Tsuzuki, K.Sato, M.Yamamoto, Y.Itaya, A.Sano, M.Yoneyama and T.Otsuji : "Very High-Speed Light-Source Module up to 40 Gb/s Containing an MQW Electroabsorption Module Integrated with a DFB Laser", IEEE. J. Selected Topics in Quantum Electronics, Vol.3, No.2, pp.336-343, 1997
- 5) H.Akachi : "Looped Capillary Heat Pipe", Japan Society of Mechanical Engineers, The 71 st JSME Spring Annual Meeting No.940-10, pp.606-611, 1994