

ファイバ型光配線モジュール

Parallel Optical Interconnect Modules

古山 英人
H. Furuyama

浜崎 浩史
H. Hamasaki

上西 克二
K. Kaminishi

情報・通信機器などの機器内、および機器間配線を高速・高密度化できる光配線モジュールを開発した。マルチメディアの発達に伴う処理速度の向上や大容量化が求められ、電気配線での対応が難しくなっている機器配線の問題解決に役だつ。このモジュールは、電気ケーブルの代わりに光ファイバアレイを用いて信号を伝送する。1チャンネルあたり、直流から800 Mbpsの信号を12チャンネル並列同期伝送でき、全スループットが9.6 Gbpsと高速の性能をもっている。気密封止のプラスチックパッケージに納められ、プラグインタイプの光コネクタが直接差し込まれる構造のため、小型で使いやすいのも特長である。

Recent advances in multimedia equipment require higher processing speeds and higher density module installation technology. A new technology for connecting inter- and/or intra-cabinet circuits, having a high data transmission rate and compact in size, has therefore become necessary.

We have developed parallel interconnect modules that meet these requirements. These modules feature 12 parallel channels with a DC-800 Mbps/ch transmission rate, providing a total throughput of 9.6 Gbps, and come in a compact package that accepts a plug-in type optical connector.

1 まえがき

近年、マルチメディアの発達に伴う情報・通信機器の処理速度向上と、大容量化が求められている。これにより、機器内および機器間の配線が高周波化され、その結線数は肥大化の傾向が著しい。しかも、信号波形ひずみの抑圧や電磁障害対策、接地アイソレーションなど、システム要求はますます厳しくなっており、電気配線だけではこれらの問題をクリアすることが難しくなってきた。これらの配線問題を解決する有効手段として、光配線が有望視されている。

当社は、光出力制御 (APC) の不要な、半導体レーザ (LD) APC フリー方式を世界で初めて実現^{(1),(2)}し、LDのアレイ実装を可能にしてきた。また、LDアレイを用いた初の高速光配線モジュール (2 Gbps・4チャンネル) を開発し⁽³⁾、その有用性、必要性を示してきた。ここでは、上記技術を用い、機器間、機器内配線を目的として開発した、800 Mbps・12チャンネル光配線モジュールについて述べる。

2 光配線モジュールの概要

ファイバ型光配線の基本構成を図1に示す。LDアレイ、駆動IC (LDD) で構成される送信モジュールと、アレイのフォトダイオード (PD)、受信IC (RX) で構成される受信モジュールとを、伝送媒体のリボン光ファイバで接続した構成となっている。送信モジュールは、PECL (Pseudo

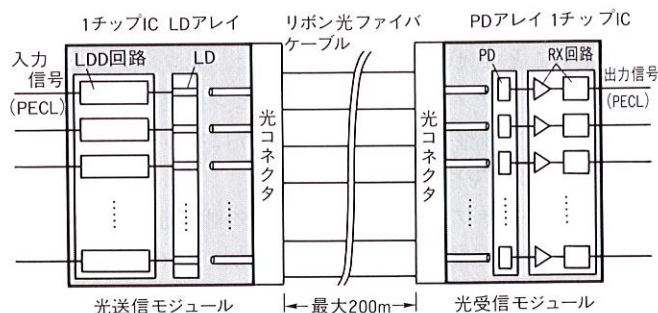


図1. ファイバ型光配線モジュールの基本構成 途中は光信号で送られるが、入力と同じ PECL 論理レベル信号が出力に再現される。

Basic configuration of optical interconnect module

Emitter Coupled Logic) の電気信号で動作し、送信入力と同じ信号が受信モジュールで再現されるようになっている。ユーザにとっては、入力と同じ電気信号が出力されるので、電気のケーブル接続と同じ感覚で使用することができる。

光配線モジュールの優位性を発揮できる主な分野は高速の情報通信機器と考えられ、なかでも ATM (Asynchronous Transfer Mode) スイッチや、サーバなどの高性能計算機への適用が有力である。近い将来も含め、これらの機器で処理される信号の主な転送レートは、100~800 Mbps の範囲と予想される。われわれはこれらすべてをカバーすることを目標に、直流から800 Mbpsまでの任意信号を伝送でき、また、F 12型多心光ファイバコネクタ (JIS C5981) が適用で

きる最大心数 12 チャンルの光配線モジュールを開発した。12 チャンルの並列数をもつ場合、バイトデータ(8)とクロック(1)、制御信号(1)のほかに、誤り訂正信号(2)を送ることができ、より高品質なデータネットワークを構築できる利点もある。モジュールのパッケージは、光コネクタを直接差し込む形態とし、小型で使いやすいものをねらった。

3 モジュールの構成

3.1 モジュール構成のコンセプト

光配線モジュールの小型化には、LD の最小実装が重要である。これには前述の APC フリー方式⁽²⁾を用い、実装規模にもっとも影響するモニタ PD を省き、APC 回路やバイアスフィードバック回路も使用していない。このため、送信、受信とも光素子を単純にアレイ化した素子と、電流スイッチ、または増幅回路に論理バッファ回路を付加したアレイ IC だけで構成されている。

モジュール低コスト化のためには、構造と実装工程の単純化も重要である。ここでは、Si サブマウントに定ピッチの V 溝アレイを設け、屈折率分布型多モード光ファイバ(GI-MMF)を固定して光中継路とした。また、光素子は同じ基板にフリップチップ実装して、位置決めしている。その間、光結合にレンズは使用せず、完全にパッシブなアライメントとすることで光軸無調整化を図った。光コネクタとの位置合せは、Si サブマウントにガイドピン固定溝を設け、光中継路との光軸整合性を確保するようになっている。

3.2 Si サブマウント

図 2 は、Si サブマウントのコネクタ側断面である。光ファイバの溝は、250 μm ピッチで 12 本加工してあり、その両側に、4.6 mm 間隔で、深さ約 400 μm のガイドピン固定溝を設けている。高周波動作する IC や光素子を搭載するため、Si サブマウントには絶縁膜を形成して浮遊容量を小さくしている。実装精度を決める電極はリフトオフで形成し、溝加工は Si の異方性エッチングで形成した。

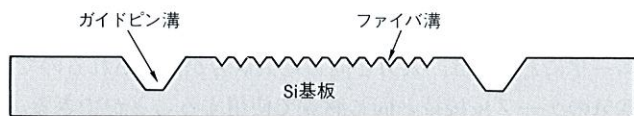


図 2. Si サブマウントの断面構造 ガイドピン、および光ファイバを同一基板で保持することにより、光軸調整を不要とした。

Schematic cross section of Si submount

3.3 光素子

LD の APC フリー動作には、しきい電流値が 3 mA 以下で、レーザ発振効率の温度依存性が小さい素子が必要であ

る。LD アレイのユニット素子は、1.3 μm 帯ひずみ多重量子井戸を活性層とする埋込み型ファブリペロー LD であり、これを 12 チャンルのアレイ素子とした。しきい電流値は、 2.4 ± 0.2 mA、発振効率は 0.35 ± 0.02 mW/mA であり、しきい電流値、発振効率の特性温度はそれぞれ 58 K、230 K である。この値は、APC フリー方式を適用するのに十分な特性である⁽⁴⁾。

PD アレイは、受光径約 80 μm の InGaAs pin-PD を、12 チャンルアレイとしたものである。PD 印加電圧が 2.5 V のとき、接合容量は 0.9 pF 以下となり、受信増幅器との総合帯域幅として 700 MHz 以上の帯域が得られる。PD の光電変換効率は約 0.96 mA/mW である。

3.4 送・受信アレイ IC

送・受信 IC の回路構成を図 3 に示す。ここでは、一つのチャンネルをクロック伝送に用い、受信側で同期補正を行うタイプのものを示した。この場合、約 200 m の同期伝送が可能である。また、全チャンネルをデータ転送に使用するタイプもあり、この場合、同期伝送は約 20 m であるが、クロック発生回路 (CLKG) とリタイミング回路 (D-FF) が削除してあるため、消費電力は低減される。

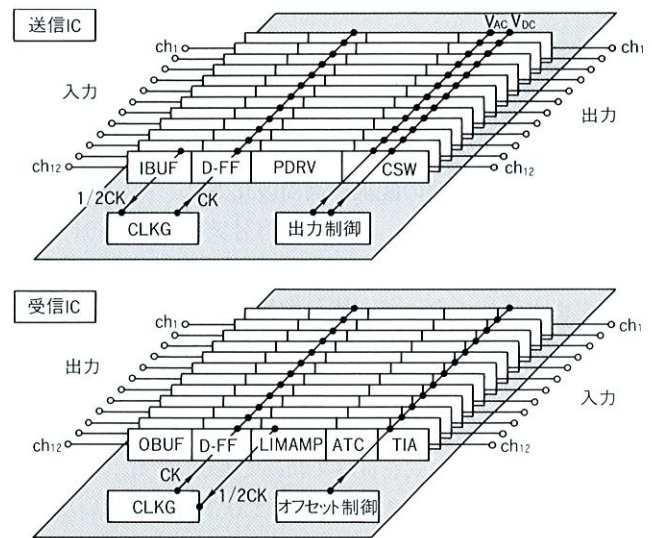


図 3. 光配線用アレイ IC の回路構成 一つのチャンネルをクロック伝送に用い受信側で同期補正を行うことにより、約 200 m の同期伝送が可能である。

Block diagram of array ICs for optical interconnects

送信 IC⁽⁵⁾は、PECL 差動入力に対応して LD の駆動電流を on/off する。LD から一定強度の光パルスが得られるよう、入力バッファ回路 (IBUF)、電流スイッチ回路 (CSW) とその駆動回路 (PDRV) から構成される。全チャンネルが同じ直流バイアスとパルス電流を出力するようになっている。受信 IC は、PD 出力の電流パルスを波形成形し、PECL レベ

ル差動信号を出力する。電流・電圧変換増幅器 (TIA), つねにパルス振幅の midpoint で弁別して矩(く)形パルスに変換する回路 (ATC, LIMAMP) と出力バッファ回路 (OBUF) からなる。

これらの IC は、遮断周波数約 15 GHz の Si バイポーラプロセスで作製した。チップサイズは、送・受信ともに 2.5 mm×3.5 mm である。両 IC に共通のポイントは次のとおりである。

- (1) 直流結合回路での DC-800 Mbps の帯域実現
- (2) 同一回路の 12 チャンネルアレイ配置
- (3) 接地・電源ラインの共通化によるピン数削減
- (4) クロック発生回路とスキュー抑圧回路の動作周波数受動化 (入力周波数に追従)

また、送信 IC の個別の特長を次に示す。

- (1) LD 駆動電流の温度補償用フィードフォワード制御
- (2) 過渡応答を最適化した出力スイッチ回路

一方、受信 IC の特長を以下に示す。

- (1) バースト信号など任意の波形に対応できる ATC 回路
- (2) PD に必要な逆バイアス電圧の内部自動発生

3.5 実装

光ファイバは、メタライズして Si サブマウントにはんだ固定した。LD と光ファイバは直接結合であり、LD と光ファイバの端面間隔は約 50 μm とした。このとき、結合損失の変動が 1 dB 以内となる軸ずれ範囲は $\pm 20 \mu\text{m}$ であり、温度変動など、結合変動要因に対する許容性は、シングルモードファイバ (SMF) に比べ非常に大きい。LD の光結合損失は約 -6 dB であり、LD への反射結合はシミュレーションから -35 dB 以下と見積もられる。実験的にも戻り光による明確な雑音の増大は観測されていない。一方、PD と光ファイバの結合は、メタライズした V 溝斜面の反射を利用しており、LD に比べ実装精度に余裕がある。

各光素子は、フェースダウンでフリップチップ実装しており、光ファイバとの安定な光結合特性を得た。IC、光素子は、Si サブマウント上で部分的なキャップを設けて気密封止した。さらに、Si サブマウントはパッケージの埋込みヒートシンクに搭載する。これにより良好な放熱特性を得た。光コネクタ嵌(かん)合用ガイドピンは、Si サブマウントのガイド溝に圧着するよう、押え金具で固定している。

4 モジュールの仕様と特性

今回開発したファイバ型光配線モジュールの主要性能を表 1 に示す。基本的に、任意パターンデータを伝送できるよう、直流からの仕様となっている。最大スループットは、12 チャンネル合計で 9.6 Gbps となる。もちろん、低速での使用も可能である。入出力は、標準の PECL 論理レベルであり、入出力部にインタフェース IC は不要である。

表 1. 主要性能

Main specifications

伝送速度	DC-800 Mbps/ch. (12 ch. 合計 9.6 Gbps)
チャンネル数	12 ch. (12 データまたは 11 データ + 1 クロック)
光コネクタ	プラグロック方式
波長	1.31 \pm 0.02 μm
光ファイバ	GI-MMF (50/125)
結合距離	同期 < 20 m (12 データ), < 200 m (11 データ + 1 クロック) 非同期 < 200 m
論理レベル	PECL 差動
電源電圧	5 V \pm 0.25 V
消費電力	< 6 W (TYP. 送受ペア)
動作温度	0 ~ 70°C
パッケージ	光コネクタ型 0.65 mm ピッチ変形 QFP
外形寸法	14 mm \times 28 mm \times 7 mm (主要部)

送・受信モジュールは、同一形状のプラスチックパッケージに収納した。その外観を図 4 に示す。光コネクタは、図の右上から挿入され、モジュール自体がコネクタのレセクタプルとなる。パッケージの電気リードは、ピッチとサイズを QFP (Quad Flat Package) 規格に準拠させている。また、ヒートシンクやコネクタ挿抜時の強度を保つため、ネジ止め穴を付加しているが、自動実装に対応できる形態となっている。

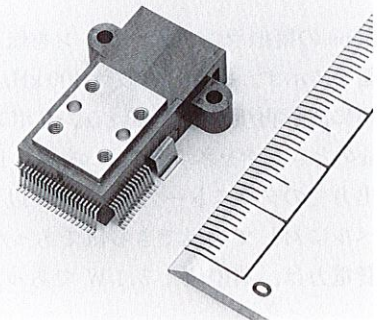


図 4. ファイバ型光配線モジュール 送信、受信ともモジュール外形は同形。右上部側から光コネクタを挿入する。

Photograph of optical interconnect module

図 5 に、電気リードのピン配置とモジュール主要サイズを示す。各データチャンネルの間に接地端子を設け、チャンネル間クロストークの抑圧と高周波接地をとりやすくしている。また、電源 (Vcc) と主接地 (GND) は、両側の各 1 ピンだけを使用し、最小限にピン数を抑えた。

送信モジュールと受信モジュールを光ファイバで接続し、

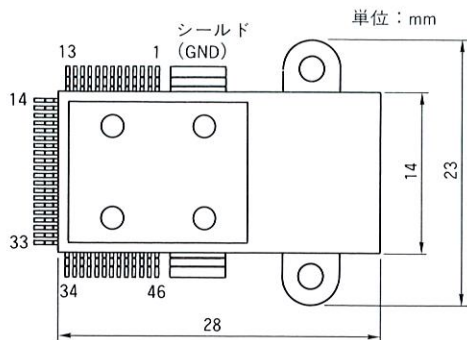


図5. モジュールの外形サイズ 電源は2番, 45番ピン, 接地は1番, 46番ピンに接続。

Main external dimensions of module

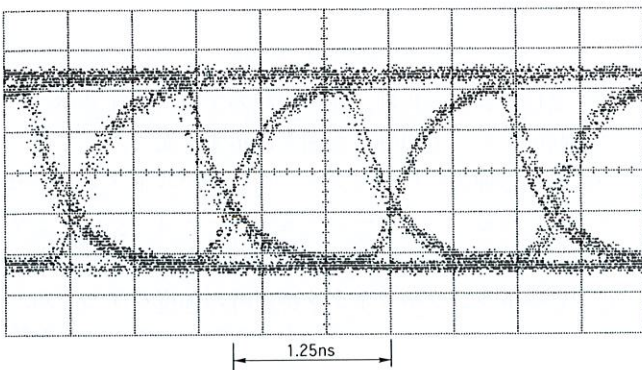


図6. 伝送信号出力波形 データ長 $2^{24}-1$ の 800 Mbps 擬似ランダム波形を入力。

Eye-pattern diagram of transmitted signal output

800 Mbps の擬似ランダムパターンを伝送したときの出力波形を図6に示す。繰返し周波数 400 kHz のバースト信号でもきれいに波形再生ができています。リボン光ファイバの長さが 2 m のとき、チャネル間スキューは、150 ps 以下であった。受信出力でのクロストークは -27 dB 以下であり、PECL 論理レベルに対して無視できる値であった。また、送受ペアの消費電力は、典型値で 5.1 W であった。

5 あとがき

情報・通信分野にとどまることなく、種々の分野で機器間・機器内配線が、高速・高密度化する傾向にある。このため、高速伝送が容易な光配線モジュールは、近い将来、システム構成に不可欠なデバイスになると予測される。

今回開発したファイバ型光配線モジュールは、広くシステムの要求にこたえうる性能をもつと考えられ、今後、製品化に向けた開発を加速していきたい。

文 献

- (1) M. Nakamura, et al: 1 Gbit/s Automatic Power Control Free Zero Bias Modulation of Very Low Threshold MQW Laser Diodes, *Electron. Lett.*, **23**, pp.1352-1353 (1987)
- (2) 古山英人, 他: 特開平 1-11386
- (3) F. Shimizu, et al: Optical Interconnection Characteristics of 4-channel bit Synchronous Data Transmission Module, *Proc. 42nd ECTC*, pp.77-82 (1992)
- (4) 高岡圭児, 他: 高濃度 Se ドープ埋め込みを用いた P 型 InP 基板上のアレイレーザ, *信学技報 OPE95-106*, pp.55-60 (1995)
- (5) T. Umeda et al: A 1.4 Gb/s 12-Channel Parallel Laser Diode Driver IC for Optical Interconnections, *ISSCC Digest of Technical Paper*, pp.292-293 (1996)



古山 英人 Hideto Furuyama

材料部品開発・試作センター主務。
光通信・光配線デバイスの研究・開発に従事。電子情報通信学会, 応用物理学会会員。

Materials & Devices Development Center



浜崎 浩史 Hiroshi Hamasaki

材料部品開発・試作センター。
光配線モジュールの研究・開発に従事。
Materials & Devices Development Center



上西 克二 Katsuji Kaminishi, D.Eng.

材料部品開発・試作センター参事, 工博。
光配線の開発に従事。電子情報通信学会, 応用物理学会, 日本物理学会会員。

Materials & Devices Development Center