

知念 幸勇
K. Chinen

西村 浩一
H. Nishimura

吉田 正人
M. Yoshida

新型光レセプタクル採用と電子回路の高密度実装により、超小型 622Mbps 光送受信モジュールを開発した。送信モジュールは、 $1.3\mu\text{m}$ 帯レーザーダイオードと、それを駆動するドライバICを搭載しており、最高伝送速度は 800Mbps である。受信モジュールは、ピンフォトダイオードと、等価増幅用 IC、識別再生用 IC、SAW(表面弾性波)フィルタを搭載している。それぞれの IC をベア実装することにより、回路基板の小型化を達成した。光結合部には、業界で初めて MU (Miniature Unit-coupling) タイプの小型レセプタクルを採用した。モジュールサイズは従来比、約 1/4 の $20\times 15\times 13\text{ mm}$ を達成した。平均光受信感度は -27.5 dBm である。送信モジュールの光出力は、単一モードファイバを用いた場合、平均 -10 dBm であり、約 10 km までの光リンクに使用できる。

We have developed small, receptacle type 622 Mbps optical transmitter and receiver modules. The transmitter module incorporates a $1.3\mu\text{m}$ laser diode (LD) and an LD-driver IC which has an automatic power control (APC) function. This module can transmit data at high speeds of up to 800 Mbps. The receiver employs a PIN photodiode as an optical detector, and two ICs for data reshaping, regenerating, and retiming.

The circuit board size has been reduced by using unpackaged ICs, and a small optical coupling part has been designed using a miniature unit-coupling (MU) receptacle for the first time in this product field. The mechanical size achieved of $20\times 15\times 13\text{ mm}$ is about one-quarter that of conventional modules of a similar type. The typical optical output power of the transmitter module is -10 dBm , making transmission up to 10 km possible using a single-mode fiber.

1 まえがき

光ファイバ網などの、高速のデータ伝送路を前提とした ATM (Asynchronous Transmission Mode) 交換機は、映像伝送などの高速データサービスのコストパフォーマンスが優れているため、B-ISDN の中核をなすと考えられる。この ATM 交換機の盤間、機器間の接続には高速のデータリンクが必要である。また、ATM-LAN やアクセス網にも高速のデータリンクが使われる。これらは、幹線公衆網と異なり、限られた範囲で使用されるものの、汎(はん)用性、拡張性を想定して、公衆網で標準化された SONET (Synchronous Optical Network Transmission) や SDH (Synchronous Digital Hierachey) の伝送速度が採用されると考えられる。その場合、OC-1 (51Mbps) や OC-3/STM-1 (155Mbps) などの低速系には同軸線などの電気リンク、もしくは発光ダイオード (LED) ベースの光リンクが使われるであろう。

しかし、OC-12/STM-4 (622Mbps) 以上の速度になると、高速特性に優れたレーザーダイオード (LD) を使用したほうがコスト上も有利である。また、OC-12 の 8 ビット MUX (Multiplexer) + DEMUX (Demultiplexer) のチップ¹⁾も製品

化されてきており、低速系をパラレル/シリアル変換して高速伝送することが容易になり、高密度実装とコストパフォーマンスのメリットがでてきた。

従来型の公衆網対応の OC-12 光モジュールと異なり、高速・短距離伝送モジュールでは、高密度実装の対応性や光

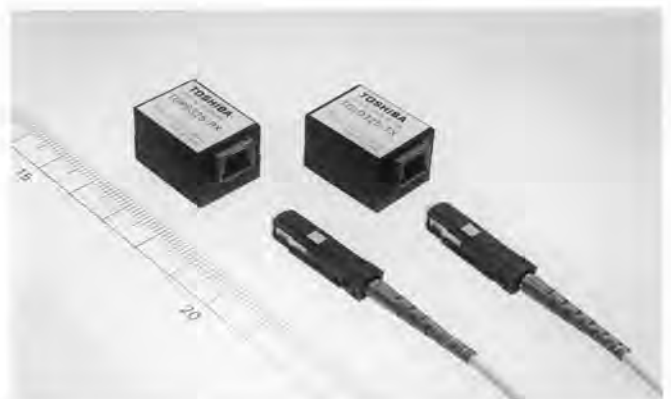


図 1. 622Mbps 光送受信モジュール 業界初の小型レセプタクル光送受信モジュールである。

622 Mbps optical transmitter and receiver modules

ファイバ脱着の容易性が重要視される。また、低コスト、フル機能搭載、低消費電力なども要求される。当社は、このような要求に見合う、業界初の小型レセプタクル光送受信モジュールを開発した(図1)。

2 送信モジュール

送信に必要な機能をすべてもち、かつ小型ということを考えて、光送信モジュールは図2の機能ブロックに示すようにIC内蔵のレセプタクル構成とした。発光素子には、信頼性の実績が高く、かつ、通常石英系光ファイバのゼロ分散波長で発振する1.3 μ m帯FP(Fabry-Perot)-LDを採用した。LDは、その光強度モニタ用のInGaAs PIN-PD(P-i-n構造の光通信用受光ダイオード)とともにレンズキャップで気密封止した。LDドライバICは、高速Siバイポーラ技術を用いてつくられ、5V単一電源、PECL(擬似エミッタ結合論理回路)あるいはECL(エミッタ結合論理回路)データ入力で動作する。データ“L”入力時のLDバイアス電流は、消光比を大きくするため、あらかじめ、閾(しきい)値以下に設定されている。LDの変調ピーク電流についても、所定の光出力が得られるよう、あらかじめ20~30mAに設定されている。LDのトータルの平均バイアス電流は、LD閾値+変調平均電流にほぼ等しい。このバイアス電流のモニタについては、10mV/mAの換算比で電圧に変換され出力されているため、光出力と比較しながらバイアス電流を監視できる。

温度上昇や経時変化でLD閾値が上昇する場合があるが、このICはLDのモニタ光がつねに所定の値になるように、LDのバイアス電流を制御している(APC:Automatic Power Control)。また、データ入力密度が変わった場合でも自動的にモニタ光の基準値が変わり、APCは正常に追従できる。このLDのトータル平均バイアス電流が所定の値を超えるとPECL/ECLのアラーム出力が出る。緊急時にLD変調を停止したい場合、データ入力があってもPECL/ECL

シャットダウン信号を入力することでLDの変調を停止できる。

光出力部には、業界で初めてMU型レセプタクルを採用した。MU型光コネクタは細径フェルール(直径1.25mm)を使用して大幅な小型化を実現している。このMUコネクタは高密度実装、多心コネクタなどが必要な伝送システム、交換システム、光加入者システム向けに開発され、現在、国際電気標準会議(IEC)などで標準化作業が進められている。同様な目的で製品化されたコネクタに、SC(Subscriber Connector)型レセプタクルがあり、現在、光モジュールに広く使用されている。このSCに比べMUは、プラグ部、レセプタクル部ともに体積比で約1/3と小さい。小型とはいえ、標準コネクタハウジングを用いた光接続では挿入損失0.1dB、反射減衰量45dBが得られており、光コネクタとして十分な性能をもつ。

しかし、MUでは、これまで光モジュールに適用可能なレセプタクルタイプがないため、このモジュール開発にあたって、あらためて設計する必要がある。このMUレセプタクルを用いて、LDとの光結合は、単一レンズ系を採用して、MMF(Multi Mode Fiber)で平均-3dBm、SMF(Single Mode Fiber)で平均-10dBmが得られた。これらの値は、自動光結合に最適な条件から求めたが、SMFを用いて約10kmまでは十分伝送できる出力値でもある。

LDドライバICとMUレセプタクル光学系を搭載した外囲器は24ピンのDIL(Dual In Line)型で、20(長)×15(幅)×13(高)mmのサイズである(図3)。この外囲器のサイズは受信モジュールと共通化した。

このモジュールの電気・光学的特性の主要諸元を表1に示す。伝送速度はドライバICとLDサブモジュールの性能で決まるが、800Mbpsまでは動作する。消費電力は動作温度70℃において平均0.7Wである。

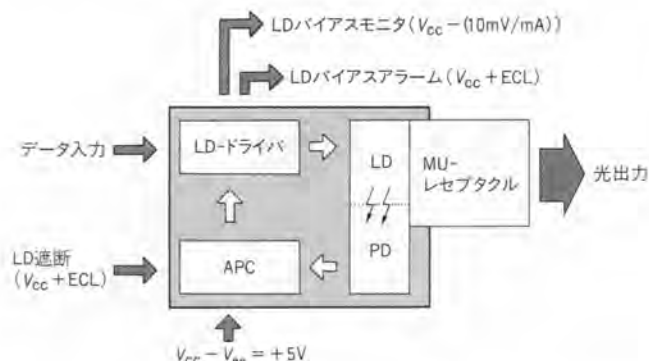


図2. 光送信モジュールの構成 MU型DILパッケージに光素子とドライバICを内蔵した。

Functional block diagram of 622 Mbps transmitter module

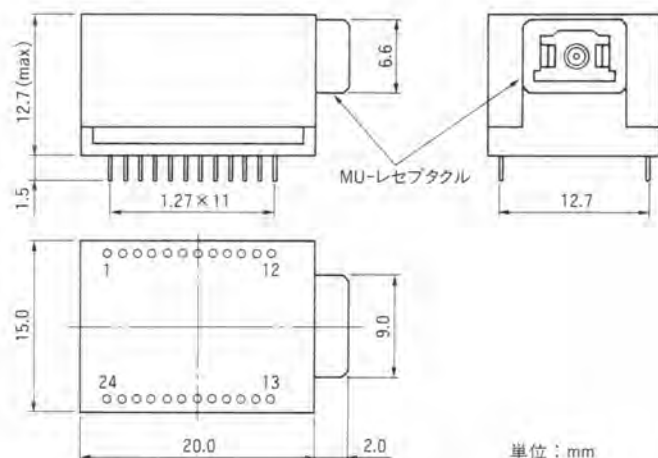


図3. 光送信モジュールの外形 MUレセプタクルを用いて小型化したDIL型モジュール。受信モジュールも同形である。

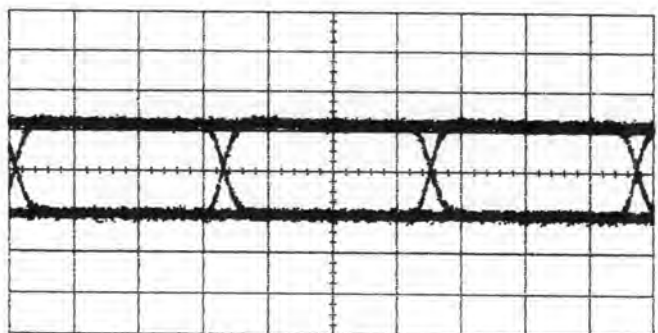
MU receptacle DIL package of transmitter and receiver modules

表1. 光送信モジュールの主要特性

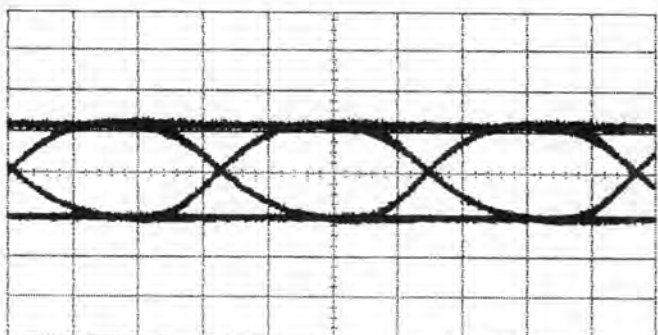
Major specifications of optical transmitter module

項目	仕様 (0~+70°C)
保存温度	-40~+85°C
動作温度	0~+75°C
電源電圧	$V_{cc} - V_{ee} = +5V$ (typ)
データ入力	$V_{cc} + ECL$ /シングルエンド 0.5 V _{pp}
動作速度	800 Mbps (max)
光出力値	MMF: -3 dBm (typ) SMF: -10 dBm (typ)
消光比	10 dB (min)
発振波長	1,270~1,350nm
消費電力	0.7W (typ), 1W (max)
レセプタクル	MU

155 および 622Mbps の NRZ (Non Return to Zero) 信号を PRBS (Pseudo Random Bit Sequence) $2^{23}-1$ データパターンで送信モジュールに入力した。送信光信号を高速の PIN-PD で受信して得られたアイダイアグラムを図4に示す。高いアイ開口度が得られており、信号対雑音比が大きいことがわかる。



(a) 155Mbps, PRBS $2^{23}-1$



(b) 622Mbps, PRBS $2^{23}-1$

図4. 622Mbps 光送信波形 622Mbps, NRZ, $2^{23}-1$ データ入力時の光送信波形。高いアイ開口度が得られ、信号対雑音比が大きい。

Optical eye diagram of 622 Mbps NRZ $2^{23}-1$ data transmission by transmitter module

3 受信モジュール

新たな回路を付加することなしに、標準受信機能を満たす必要があるため、この受信モジュールにはデータとクロックを出力する、いわゆる 3R (Reshaping, Retiming, Regenerating) IC を搭載した。具体的には、高速シリコンバイポーラ技術を用いてつくられたプリアンプおよびリミティングアンプを含む等価増幅用 IC と、クロック抽出回路および識別再生回路を含むロジック IC を搭載している。クロック抽出には微分回路と SAW フィルタを用いている。SAW フィルタも遅延チップとともにモジュールに内蔵した。内部のブロック構成を図5に示す。

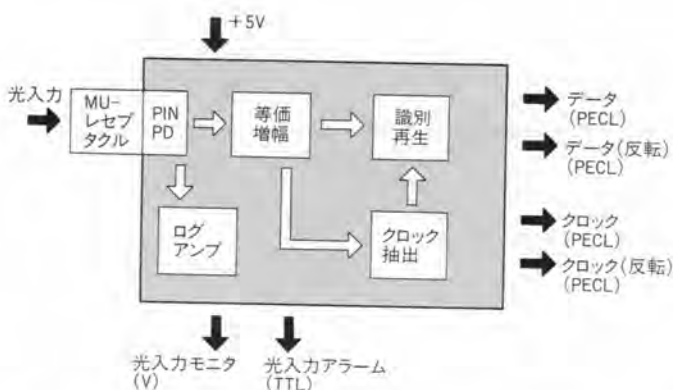


図5. 光受信モジュールの構成 受信モジュールは PIN-PD、増幅用 IC、クロック抽出+波形整形用 IC、MU レセプタクル DIL 外周器から成る。

Functional block diagram of 622 Mbps receiver module

広いダイナミックレンジをもつ入力光のモニタは、ログアンプを用いて、 $-Pr(\text{dBm})/10$ 換算比で V 単位に変換して出力した。また -40 dBm 程度の光入力レベルになると、アラーム信号 (TTL) を出すことができる。データ、クロックともに、反転、非反転、の両信号を PECL で出力した。

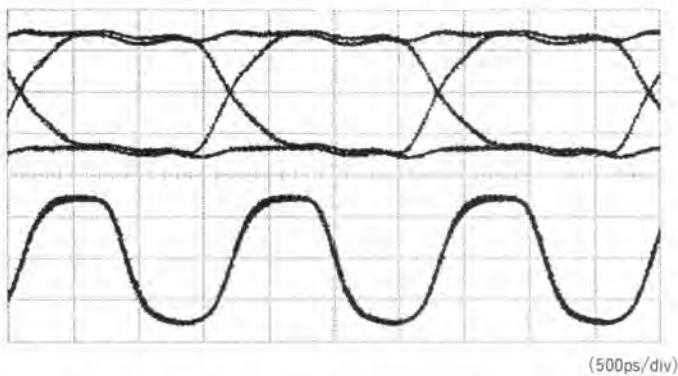
光結合系には、送信モジュールと同様、MU レセプタクルを採用した。受光素子は長波長帯に感度のある InGaAs PIN-PD を用いた。光結合光学系にも、送信モジュールと同様、単一レンズ系を採用し、そのレンズキャップで PD 素子を気密封止した。光結合効率、MMF、SMF いずれも、ほぼ 100% である。外周器寸法は図3に示した送信モジュールと同一である。

この受信モジュールの主要諸元を表2に示す。BER (Bit Error Rate) 10^{-10} のときの最小受信感度の平均値は -27.5 dBm であり、最大受信感度は最小 -3 dBm である。送信モジュールと組み合わせて、約 30 dB のダイナミックレンジをもつ光リンクが設計できる。この受信モジュールの動作温度上限は 75°C で、そのときの消費電力は約 1W である。

表2. 光送信モジュールの主要特性

Major specifications of optical receiver module

項目	仕様 (25°C)
保存温度	-40~+85°C
動作温度	-40~+85°C
電源電圧	+5V (typ)
最小受信感度	-27.5 dBm (typ)
最大受信感度	-3 dBm (min)
動作速度	622 Mbps
データ電圧	PECL
クロック電圧	PECL
消費電力	0.7W (typ)
レセプタクル	MU



622Mbps, PRBS 2²³-1, Pr = -30dBm

図6. 622Mbps 光受信波形 622Mbps, NRZ, 2²³-1 光信号受信時の出力データ(上), クロック波形(下)。

Eye diagram of regenerating data and clock signals when receiving 622 Mbps NRZ 2²³-1 optical signal

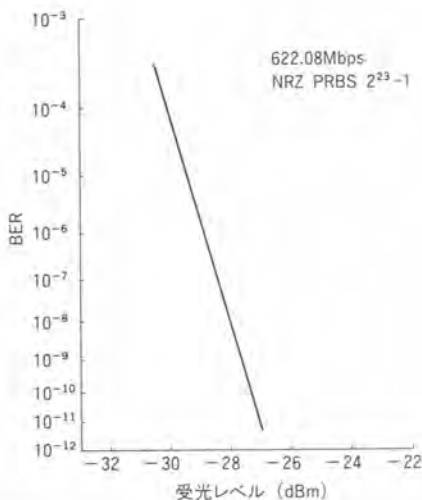


図7. 符号誤り率(BER)測定結果 送受信モジュールを用いて測定した622Mbps, NRZ, 2²³-1データの光伝送時の符号誤り率。

Bit error rate measurements with transmitter and receiver modules for data of 622 Mbps, NRZ, and 2²³-1

622MbpsのNRZ光信号をPRBS 2²³-1データパターンで受信したときのデータとクロック信号出力アイダイアグラムを図6に示す。受信光レベル(Pr)は-30dBmと低いが、明瞭(りょう)なアイ開口が得られている。また、受信光レベルを変えながら、バックトゥバックでBERを測定した結果を図7に示す。BERが10⁻¹⁰の時の受信レベルは-27.5dBmである。

4 あとがき

OC-12(622Mbps)の伝送速度に対応する超小型送受信光モジュールを開発した。一般的に使用されているSC型光コネクタに比べて、約1/3の体積であるMU型光コネクタをレセプタクル化して光結合部の大幅な小型化を実現した。送信モジュールではLDドライバICを、受信モジュールでは増幅IC、クロック抽出+波形整形IC、SAWフィルタをそれぞれベアチップ実装し、電子回路部の小型化を達成した。

接続ファイバはMMF, SMFいずれも使用可能であるが、低コスト・短距離リンクにはMMFを、中距離(10km以下)リンクにはSMFが適している。送受信光ダイナミックレンジは約30dBあり、システム設計のマージンも大きくとれる。高速の高密度光インタコネクションが要求されるATM交換機、伝送システムや、高速・短距離のATM-LAN、映像データ伝送、などの光リンクに応用できる。受信モジュールはSAWフィルタを交換することで、OC-3(155Mbps)のデータ再生、クロック抽出にも対応できる。また、OC-12の8ビットMUX, DEMUX ICを併用して、時分割多重光リンクも組めるため、拡張性とコストパフォーマンスが優れている。

文献

- (1) Lee Goldberg: 622-Mbit ATM blaster "Pumps up the backbone", Electronic Design, January 9, pp.186-188(1995)

知念 幸勇 Kouyu Chinen, D.Eng.



1981年入社。光通信用半導体デバイスの開発設計に従事。現在、個別半導体事業部化合物半導体第二部課長、工博。Discrete Semiconductor Div.

西村 浩一 Hirokazu Nishimura



1986年東芝電子エンジニアリング(株)入社。光通信用デバイスの開発設計に従事。現在、電子設計技術第一部。Toshiba Electron Engineering Co.

吉田 正人 Masato Yoshida



1985年入社。光通信用半導体デバイスの開発設計に従事。現在、個別半導体事業部化合物半導体第二部主務。Discrete Semiconductor Div.