

白井 聡* 野田雅樹*
大島伸夫*
岡田規男**

10G-EPON OLT用光モジュール

Optical Module for 10G-EPON OLT

Satoshi Shirai, Nobuo Ohata, Norio Okada, Masaki Noda

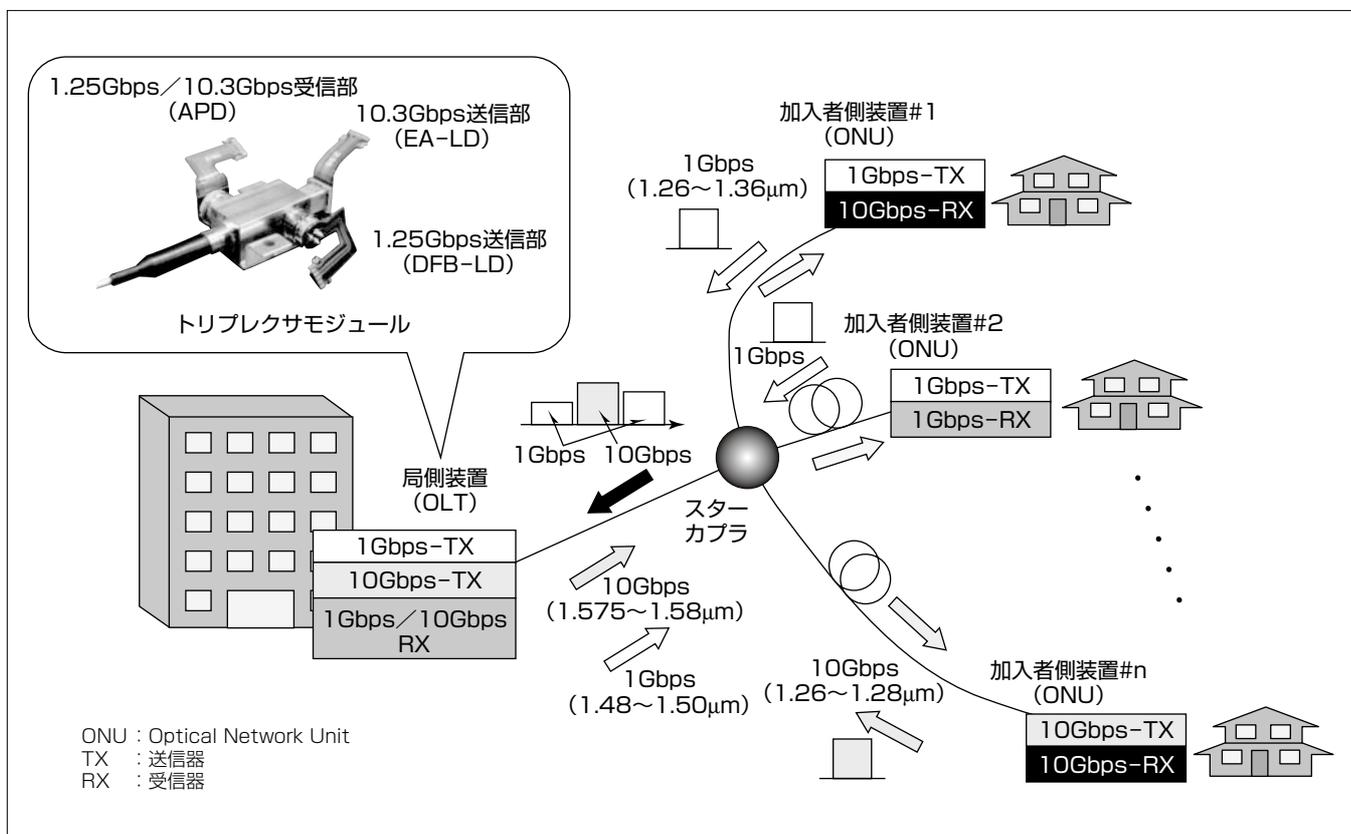
要 旨

近年、光加入者網にはG-EPON(Gigabit Ethernet^(注1) Passive Optical Network)が広く普及しているが、インターネットトラフィックの増加によって、更なる大容量化が実現可能な次世代光アクセスシステムである10G-EPON(10Gigabit Ethernet Passive Optical Network)の導入が検討されている。10G-EPONはG-EPONと同一のファイバ網での混在収容が要求され、局側装置であるOLT(Optical Line Terminal)には10.3Gbps送信, 1.25Gbps送信, 10.3Gbps受信, 1.25Gbps受信の機能が必要となる。

今回開発を行ったトリプレクサモジュールは次の主要3送受信部を集積している。10.3Gbps送信部に波長1.577 μm の電界吸収型変調器集積レーザダイオード(Electro Absorption modulator integrated Laser Diode: EA-LD)

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス株の登録商標である。

を適用し高光出力で高消光比を実現している。1.25Gbps送信部には波長1.49 μm の分布帰還型レーザダイオード(Distributed FeedBack Laser Diode: DFB-LD)を適用し温度を制御せずに広い環境温度範囲で高光出力を実現している。受信部には1.25Gbpsと10.3Gbpsの両ビットレートに対応したデュアルレートプリアンプIC(Integrated Circuit)と組み合わせたAPD(Avalanche Photo Diode)を適用し高受信感度特性を実現した。スポットサイズの小さい2つのLD(Laser Diode)を同一のファイバへ結合させることが課題であったが、新開発の3枚レンズ光学系によって低損失な光学結合を実現し、送信特性及び受信特性は国際規格であるIEEE802.3avを満たした。この成果を用いた10G-EPONの商用化が期待される。



10G-EPONシステム

10G-EPONシステムでは、局側装置のOLTと複数の加入者側装置のONU間をスターカプラを用いて光ファイバで接続する構成であり、OLTからONUへの下り信号は波長1.49 μm の1G信号と1.577 μm の10G信号を波長多重によって通信を行い、各ONUからOLTへの上り信号は波長1.26~1.36 μm を用いて各ONUの信号が衝突しないように送出タイミングを制御する時分割多重によって通信を行う。

1. ま え が き

インターネットトラフィックの増加を受けて、経済的かつ高速なFTTH(Fiber To The Home)サービスとしてG-EPONシステムが普及している。今後、超高精細映像配信などに対応するため、加入者系光ネットワークの更なる大容量化が必要とされており、次世代光アクセスシステムである10G-EPONへの期待が高まりつつある。このような背景の中、光アクセスシステムの国際標準規格であるIEEE802.3avで2009年9月に10G-EPONの標準化が完了した。10G-EPONはG-EPONからのスムーズなマイグレーションを実現するために、G-EPONと同一のファイバ網での収容が求められる。そのため局側装置であるOLTには10.3Gbps送信、1.25Gbps送信、10.3Gbps受信、1.25Gbps受信の機能が必要となる。今回10G-EPON OLT用にこれらの機能を集積化したトリプレクサモジュールの開発を行った。本稿では設計結果と評価結果について述べる。

2. 10G-EPON OLT用光モジュールの構成及び設計

2.1 構成

図1にトリプレクサモジュールの構成を示す。10.3Gbps送信部には波長1.577 μ mのEA-LDを用いた。EA-LDは高出力化のため変調器の量子井戸構造を最適化し、高出力、高消光比、低チャープ特性を実現した。また、小型・低コスト化のためCANパッケージを開発⁽¹⁾し適用した。CANパッケージはリードピンを覆ったガラス貫通部とEA-LD間の電氣的な多重反射を抑え、10.3Gbpsの高周波信号をロスなくEA-LDに伝える構造となっている。EA-LDは温度に対して特性が敏感に変化するためCANパッケージに小型の熱電素子(Thermo Electric Cooler:TEC)を内蔵しEA-LD温度が制御されている。EA-LD動作温度を45 $^{\circ}$ Cに設定し高温時の周囲温度との差を小さくし吸熱量を減ら

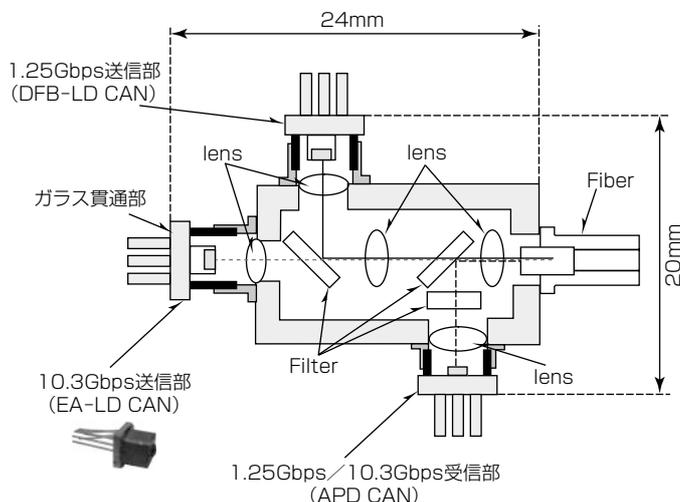


図1. トリプレクサモジュールの構成

すことによってTEC消費電力を抑制した。1.25Gbps送信部には波長1.49 μ mの分布帰還型レーザダイオード(DFB-LD)を搭載したCANが用いられており、LD温度を制御せずに広い環境温度範囲で高光出力を実現している。受信部には1.25Gbpsと10.3Gbpsの両ビットレートに対して高感度特性を得るため、電流-電圧変換利得と自動利得調整(Automatic Gain Control:AGC)及び自動閾値(しきいち)調整(Automatic Threshold Control:ATC)機能の応答時定数をレートセレクト信号によって切り換えるデュアルレートバーストプリアンプIC⁽²⁾を内蔵したAPD(Avalanche Photo Diode)CANを用いた。APDはDBR(Distributed Bragg Reflector)層を持ち、光吸収層で吸収されず透過した光をDBR層で反射し再び光吸収層で吸収させる。このDBR層の最適化によって1.26~1.36 μ mの広い受信波長帯で高感度を実現した⁽³⁾。2つの送信信号と1つの受信信号の合分波は薄膜波長フィルタを用いて実現した。外部との電気インタフェースには10Gbpsの高速性と実装しやすさを考慮してフレキシブルプリント基板(Flexible Printed Circuits:FPC)を採用した。光モジュールの寸法は24.0(L) \times 20.0(W) \times 9.7(H)(mm)と小型化を実現した。

2.2 光学設計

2つの送信部を持つトリプレクサモジュールでは、スポットサイズの小さい2つのLD(EA-LD及びDFB-LD)の光出力を同時にファイバに結像(以下“結合”という)させることが大きな課題である。光ファイバと2つの送信光源との間に波長フィルタとアイソレータを配置するための距離を確保しつつ2つのLDとファイバ間を高効率で結合するためには2枚又は3枚のレンズを用いた光学系が必要であり、検討を行った。表1に2枚レンズ光学系と3枚レンズ光学系(図1)の比較を示す。2枚レンズ光学系はLDとファイバ間距離を確保するためにコリメート光学系を仮定した。図2に2枚レンズのコリメート光学系を示す。また図3にはLDとレンズ間距離ずれに対する結合効率のトレランス計算結果を示す。2枚レンズ光学系の場合、LDとレンズ間距離ずれの影響が大きく $\pm 2\mu$ m以下の精度を必要とするが、3枚レンズ光学系ではLDとレンズを光軸方向に調芯することでファイバへのスポット位置を調整できるため $\pm 40\mu$ mの精度でも結合効率低下を0.1dB以下に抑えることができ、2つのLDで高結合効率を実現できる。これらの比較結果から3枚レンズ光学系を採用し、EA-LD

表1. 光学系比較

	2枚レンズ光学系 (コリメート光学系)	3枚レンズ光学系
LD-レンズ間距離	$< \pm 2\mu$ m	$< \pm 40\mu$ m
許容精度(トレランス)	×	○
EA-LD結合効率	○	○
DFB-LD結合効率	×	○

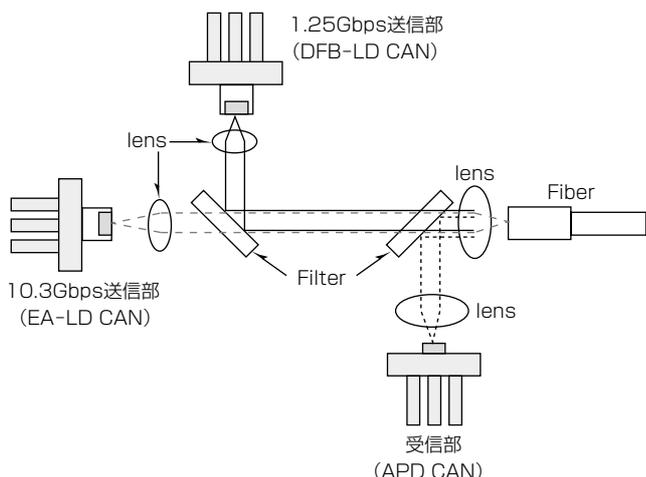


図2. 2枚レンズコリメート光学系

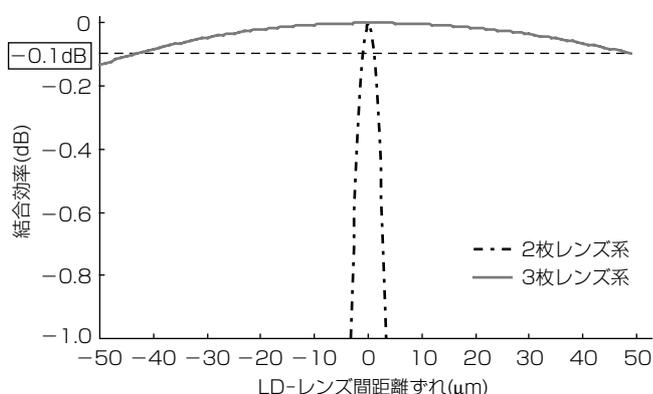


図3. LD-レンズ間距離ずれに対する結合効率

で-2.84dB, DFB-LDで-1.65dBと, IEEE802.3avで規定される光出力を満足するために必要な高い結合効率を得た。

3. 評価結果

3.1 10.3Gbps送信部

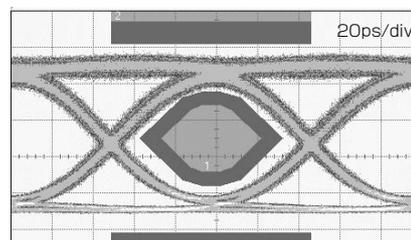
表2にケース温度-5~70℃における10.3Gbps送信部の主要特性を示す。光出力+4.0dBm, 消光比9.1dBが得られIEEE802.3avの規格値を十分満足する特性が得られた。図4(a)にはケース温度25℃(EA-LD温度45℃)の光出力波形を, 図4(b)にはSMF(Single Mode Fiber)25km伝送後の光波形を示す。マスクマージンが44%の良好なアイ開口が得られ, 伝送後も良好な光波形を実現した。SMF伝送前と伝送後の受信感度劣化(伝送ペナルティ)は全温度範囲で0.1dB以下である。図5にTEC消費電力のグラフを示す。ケース温度70℃でもTECの消費電力は0.3W以下と低消費電力であった。

3.2 1.25Gbps送信部

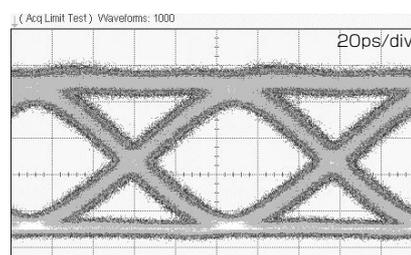
表3にケース温度-5~70℃における1.25Gbps送信部の主要特性を示す。光出力+4.9dBm, 消光比15.5dBのIEEE802.3ahの規格値を十分満足する高光出力, 高消光比特性が得られた。図6にはケース温度-5℃, 25℃, 70℃

表2. 10.3Gbps送信部の主要特性

10.3G送信部	IEEE802.3av PR30規格	評価結果
送信光出力 (dBm)	+2~+5	+4.0
消光比 (dB)	>9	9.1
マスクマージン (%)	-	44
伝送ペナルティ (dB)	<1.0	0.1



(a) 伝送前の光波形



(b) 伝送後の光波形

図4. 10.3Gbps送信部の光波形

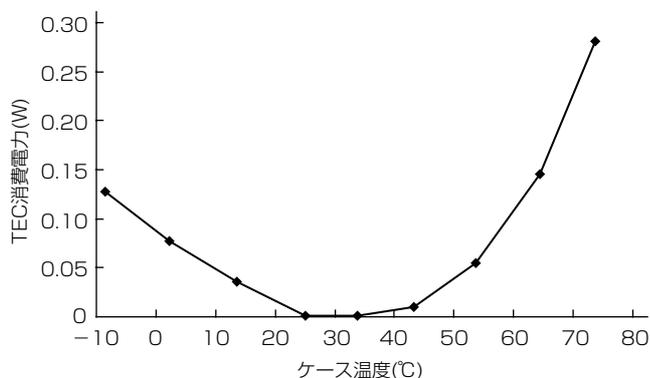


図5. TECの消費電力

表3. 1.25Gbps送信部の主要特性

1.25G送信部	IEEE802.3ah PX20規格	評価結果
送信光出力 (dBm)	+2~+7	+4.9
消光比 (dB)	>6	15.5
マスクマージン (%)	-	47
伝送ペナルティ (dB)	<1.0	0.03

の光出力波形を示す。全温度範囲で良好な光出力波形が得られ, マスクマージンは47%と良好なアイ開口が得られた。伝送ペナルティは全温度範囲で0.03dB以下が得られた。

3.3 受信部

図7に25℃におけるAPDのDC感度の波長依存性を示す。DBR層の最適化によって受信波長である1.26~1.36μmの広

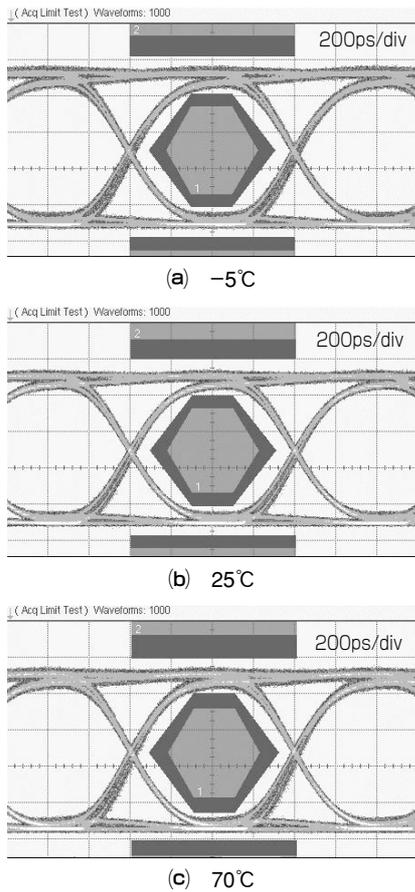


図6. 1.25Gbps送信部の光出力波形

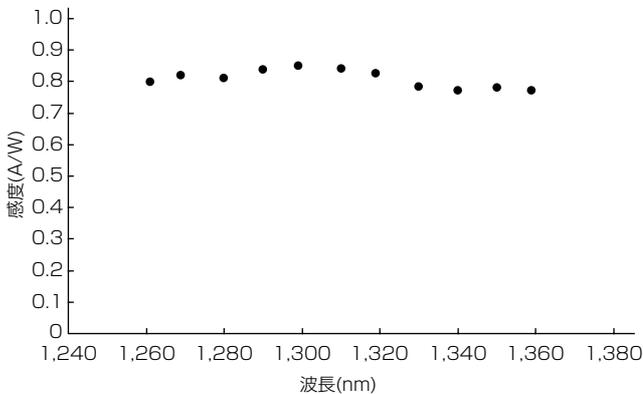


図7. APDのDC感度波長依存性

い波長範囲にわたって、0.77A/W以上のDC感度が得られている。図8にケース温度-5℃、25℃、70℃における受信部の符号誤り率特性を示す。10.3Gbpsの評価に用いた光源は消光比6dB、擬似ランダムビット列PRBS^{2³¹-1}、波長1.27μmである。10G-EPONでは誤り訂正(Forward Error Correction:FEC)符号を使うことが前提のためBER(Bit Error Ratio)=10⁻³で規定され、最小受信感度は-30.2dBmを、最大受信感度は-6dBmを得た。また、1.25Gbpsの評価に用いた光源は消光比9dB、PRBS^{2⁷-1}、波長1.27μmでありBER=10⁻¹²における最小受信感度は-36.0dBmを、最大受信感度として-6dBmを得た。

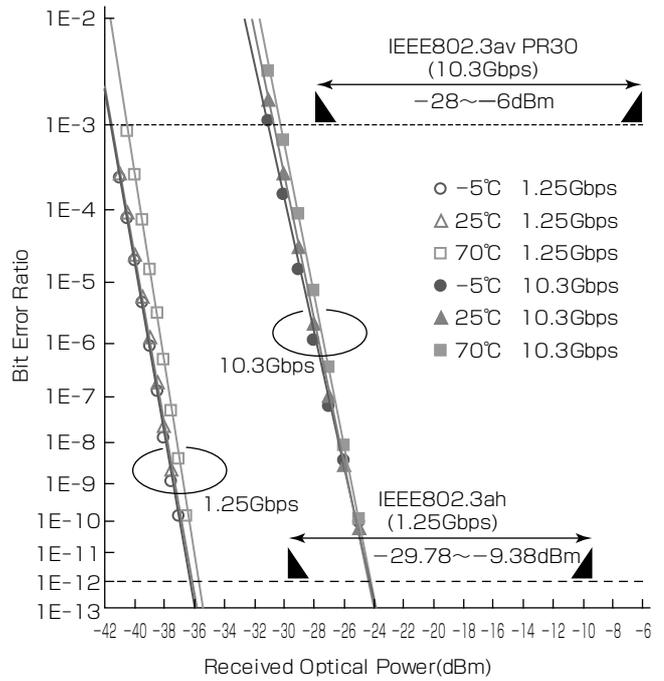


図8. 受信部符号誤り率特性

10.3Gbps、1.25GbpsともにIEEE802.3av及びIEEE802.3ahの規格をそれぞれ満たす受信感度が得られた。

4. む す び

10G-EPON OLT用に10.3Gbps送信、1.25Gbps送信、1.25Gbps/10.3Gbps受信の機能を集積したトリプレクサモジュールの開発を行った。3枚レンズ光学系を採用することで、2つのLDに対して高結合効率を実現し、IEEE802.3av規格を満足する高出力特性が得られた。またデュアルレートプリアンプICと高感度APDによって1.25Gbpsと10.3Gbpsの両ビットレートに対して良好な受信感度特性が得られた。今回開発した光モジュールの適用によって次世代光アクセスシステムの普及が加速されることを期待する。

参 考 文 献

- (1) Okada, N., et al.: Cost-Effective 10.7 Gbit/s Cooled TOSA Employing Rectangular TO-CAN Package Operating up to 90°C, OFC/NFOEC Poster Session, JWA38 (2010)
- (2) 野田雅樹, ほか: 10G-EPON OLT 光受信器用デュアルレート バーストプリアンプ, 電子情報通信学会 2010年ソサイエティ大会, C-3-41 (2010)
- (3) Sasahata, Y., et al.: The Development of the 1.27 μm High Responsivity Avalanche Photodiodes for 10G-EPON (OLT), OFC/NFOEC Poster Session, JWA4 (2010)