



# 超小型一心双方向デバイスの開発

木原利彰\*・鈴木三千男・塩崎学  
吉田享広・松村豊・中西裕美

Development of 1.3/1.49 $\mu$ m One-Package Bidirectional Device — by Toshiaki Kihara, Michio Suzuki, Manabu Shiozaki, Kyohiro Yoshida, Yutaka Matumura and Hiromi Nakanishi — Optical access services are expanding quickly in Japan and North America. Passive optical network (PON) systems that allow one optical fiber to be shared between two or more users at low service prices have been adopted in optical access services. Sumitomo Electric is one of the manufacturers of Bi-directional transceiver devices used in PON systems. On the other hand, in the case of systems for supporting point-to-point communication schemes such as Ethernet where two optical fibers are generally used for transmission and reception, there is rising demand for transceivers that use one fiber in different wavelengths. In order to satisfy this market demand, Sumitomo Electric has developed a new transceiver device design. Compared to the conventional transceiver design composed of separate packages, the new “one package” design realizes a capacity reduction of about 30%. This paper reports on Sumitomo Electric's development of optical network unit (ONU) and optical line terminal (OLT) products for gigabit Ethernet communication systems using the new transceiver design.

## 1. 緒言

ブロードバンドサービスが世界的に普及する中、光アクセスサービスの普及も国内を中心に急速に拡大してきている。光アクセスサービスでは、サービス料金の低価格化を行ない、加入者の増加を促すために、一本の光ファイバを複数のユーザで共有する PON (Passive Optical Networks) システムが採用されてきている。当社でも、このシステムに適合した一心双方向デバイスを製品化してきた<sup>(1)~(7)</sup>。

一方、イーサネットに代表される送受信2本の光ファイバを用いた一対一通信、いわゆる P-to-P (Point to Point) を用いたシステムにおいても、送受信2つの異なる波長を用いた一芯化の要求が高まってきている。

当社では、こうした市場要求に対応し、従来製品のように送受信デバイスを別々のパッケージに搭載するのではなく、一つのパッケージに送受信デバイスを搭載する独自の1パッケージ技術を開発し、従来の製品に比べ約30%の容積削減を実現した。この技術をベースとして、下り1.25Gbps/上り1.25GbpsのGigabit Ethernet通信方式に対応したONU (Optical Network Unit) 及びOLT (Optical Line Terminal) 用の一心双方向デバイスを開発したので報告する。

## 2. 一心双方向デバイスの基本構造

表1に目標仕様を示す。写真1に従来製品と今回開発した製品の外観写真を示す。また、パッケージに搭載された

デバイスの実装構造図を図1に示す。送受信デバイス、WDMフィルタ、CUTフィルタなど全て小型の $\phi$ 5.6mmのパッケージに搭載し、光学系では、一つの球レンズで送受

表1 目標仕様

		ONU/OLT
伝送レート	送信	1.25Gbps
	受信	1.25Gbps
ファイバ出力		-3dBm @1th+20mA
受信感度		-23dBm



写真1 従来製品及び開発品

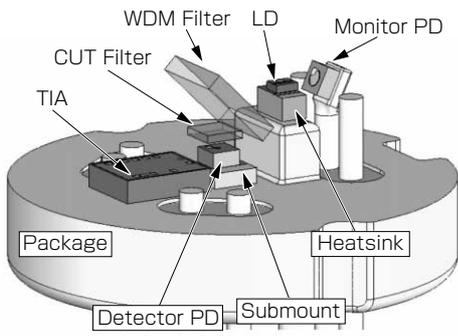


図1 1パッケージ基本構造

2つの光学系を構成し、送受信光がシングルモードファイバ (SMF: Single Mode Fiber) と光結合されている。こうした構成にすることで、超小型化と部品点数の削減をおこなった。構成されている部品は、従来製品と同様な構成に設計され、低コスト化を実現している。

ONUでは、送信デバイスにファブリ・ペロ型レーザダイオード (FP-LD: Fabry Perot Laser Diode) が用いられ、発振波長は1310nm、受信信号は1490nmである。OLTは、送信デバイスが分布帰還型レーザダイオード (DFB-LD: Distributed Feedback Laser Diode) が用いられ、発振波長は1490nm、受信信号は1310nmである。

### 3. 光学設計

図2に光学系の概念図を示す。LDから出射された光はWDMフィルタに45度で入射し、光軸方向に反射され、レンズでスポット変換されSMFへ結合される。一方、SMFから入射された受信光は、同様にレンズで集光されて、WDMフィルタ及びCUTフィルタを通過し受信フォトダイオード (DPD: Detector Photo Diode) で受信される。送受信光は、SMFから球レンズを通りWDMフィルタに到達する位置までが同一の光学系となっており、こうした設計で光学調整の簡略化を実現した。

図3に送受信光学系のシミュレーション結果を示す。ま

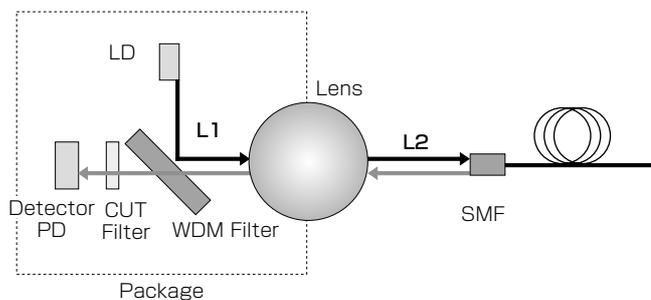
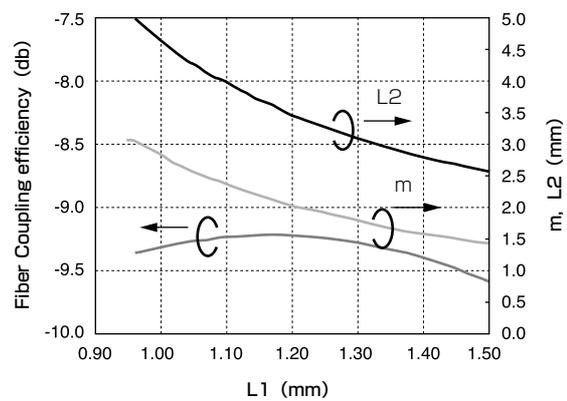


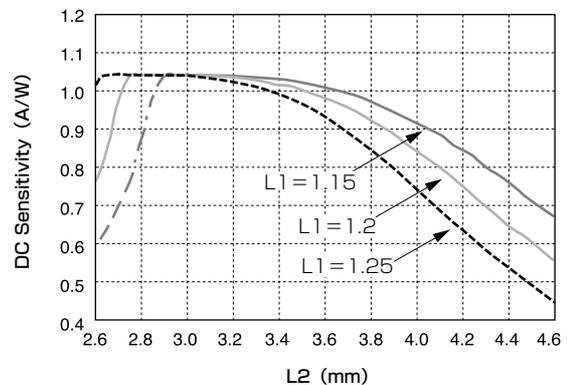
図2 光学系概念図

ず、パッケージ内にWDMフィルタを搭載するための空間を確保するためにレンズとLD間距離L1は、比較的大きな値に設計した。図3<sup>(1)</sup>からL1 = 1.2mmに設計され、要求性能を実現するために光結合効率は-9dB、光学倍率m = 2に設計された。この時の受信側のシミュレーション結果を図3<sup>(2)</sup>に示す。L1 = 1.2mmの時の感度は、SMFとレンズ間距離L2のばらつき3.3 ~ 3.7mm (L1のばらつき1.15 ~ 1.25mm) に対して、0.8A/W以上と要求性能を満足する結果となっている。

このように、LDとDPDの相対位置を制御することで、送信光結合効率と受信感度の両方の特性を満足できる設計が可能となった。



(1) Fiber Coupling efficiency



(2) DPD Sensitivity

図3 光学シミュレーション

### 4. 低クロストーク設計

一心双方向デバイスの性能を特徴的に表す特性はクロストークである。クロストークは、送受信を同時に行なううえで、受信特性に大きな影響を及ぼす。クロストークの原因は大別して光と電気のクロストークがあり、双方を抑制する必要がある。

一つのパッケージに送受信デバイスを近接させて搭載することで、従来の製品とは桁違いに送受信デバイス間の距離が短くなり、クロストーク特性の劣化が懸念される。本開発では、超小型化の実現と、光と電気のクロストーク低減のために独自の構造を開発し目標性能を達成した。

**4-1 電気クロストーク** 電気クロストークは、LDへの送信変調信号が、受信信号のノイズとなり受信感度の劣化となる。一般的にノイズは、受信感度の12dB以下である必要が計算結果から得られている。今回の開発の中で、電気クロストークが低減できるパッケージ構造、デバイス配置をシミュレーションによって計算した。図4に結果を示す。図中での濃淡は、電磁界の大きさを示している。

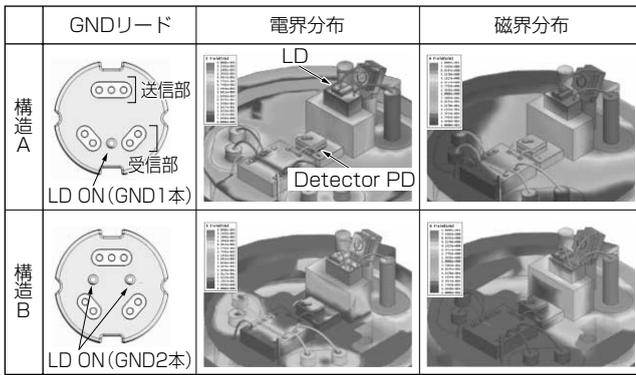


図4 電磁界シミュレーション

パッケージ内の構造は、光学系との関係から固定として、裏面のグラウンドリード（GNDリード）の配置による電磁界の影響を計算した。受信部を構成するリード間にGNDリードを1本配置した構造Aでは、LDに印加される変調信号による電磁界がDPDにもれていることが分かる。一方送信部と受信部をそれぞれ構成したリード間にGNDリードを2本配置した構造Bでは、LDの電磁界が閉じ込められ、DPDへの影響が低減されていることが確認される。

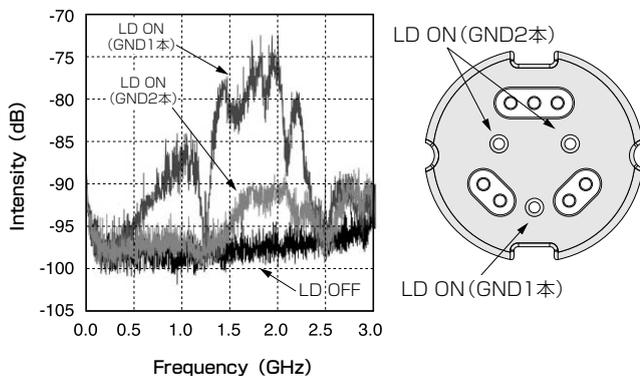


図5 クロストーク特性

DPDから1kΩの抵抗を介しTIAから出力される信号の電力の計算結果から、GNDリードの配置、本数によって-27.3dBの低減が得られた。

この結果をもとに、GNDリードの配置による電気クロストークの影響を実験した結果が図5である。横軸に周波数、縦軸にノイズを表しており、LDに一定の変調信号を印加し、DPDからの信号を近接してパッケージに搭載されている増幅器（TIA：Transimpedance Amplifier）の出力をモニターしている。この結果から、GNDリードがLDから離れている場合で1本の場合は、ノイズが最大で-75dBに対し、GNDリードをLDに近接させ2本にすることでノイズが-90dBの低減が確認された。このことは、LDの変調信号がパッケージを介してDPDやTIA電源のノイズ源になっていることを意味し、GNDリードを付加することでLDの電磁界分布が変化し、ノイズ低減に効果的であったと考えられる。

**4-2 光クロストーク** LD光は、WDMフィルタで反射されるがこの際LDのFFP（Far Field Pattern）は30～35°と大きいため一部WDMフィルタで反射されない光がパッケージ内で迷光となり、DPDで受光される。これらを低減するために、WDMフィルタおよびCUTフィルタを保持するフィルタキャリアの導入とキャップ内部に光吸収膜を付加することによって、光クロストークを-30dBから-40dBに低減できた。図6に光クロストークの評価結果を示す。平均-39dB、σ=2.6dBの分布が得られており、フィルタキャリアと光吸収膜の効果が確認された。

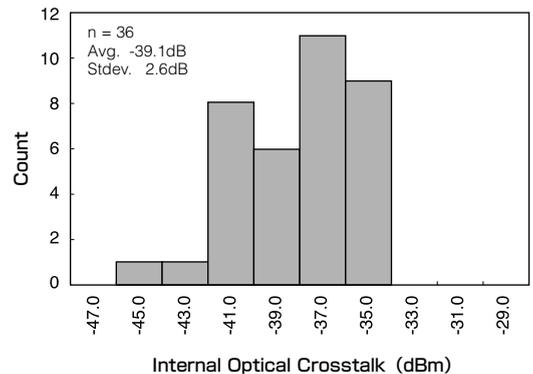


図6 クロストーク特性

## 5. デバイスの製作

はじめにパッケージ上に、Heatsinkを介してLD、更にSubmountを介してDPDがAuSn半田で実装される。この時LDとDPDはパッケージ外径を基準に高精度に実装されるため、LDとDPDの相対位置も高精度に管理できる。その後Monitor PD、TIAが樹脂で実装される。Auワイヤで配線

した後に、WDMフィルタとCUTフィルタを搭載したフィルタキャリアが樹脂で実装され、UV固定される。その後、レンズ付キャップでハーメチックシールされ、キャップに対してレセプタクルが3軸調芯されてUV樹脂で固定される。調芯の際は、LDを発光させて、所望の光出力にレセプタクルが調芯される。

## 6. 送受信特性

図7は、ONUの光出力分布を示す。駆動電流がしきい値電流+20mAの時、目標の光出力が-3dBmに対し、平均で-2.9dBm、 $\sigma = 0.12\text{dBm}$ の分布が得られている。

一方、図8は、感度の分布を示す。平均0.85A/W、 $\sigma = 0.08\text{A/W}$ の分布が得られており、この結果からLDとDPDの相対位置実装が設計値となる $\pm 20\mu\text{m}$ 以下であることが確認された。

一つのパッケージに送受信デバイスとTIAが加わることによって、発生する熱量が大きくなることが予想される。そのことでLDの温度が上昇し温度特性を劣化させることが懸念される。図9は、横軸に環境温度と縦軸にLDの発振中心波長を測定した結果である。TIAのoffとonで約4℃の温度上昇が確認された。図10はTIAがonの時のLDの温

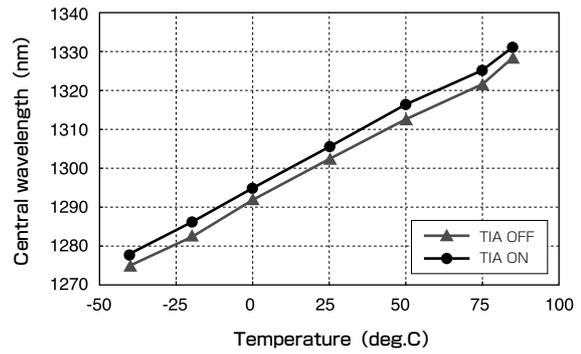


図9 -40℃～85℃におけるTIA駆動電源OFF/ONの時のLD発振中心波長特性

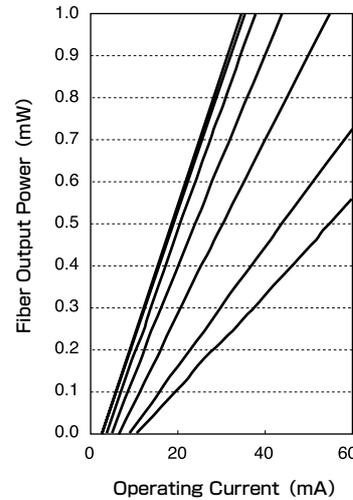


図10. -40～85℃における電流－光出力特性

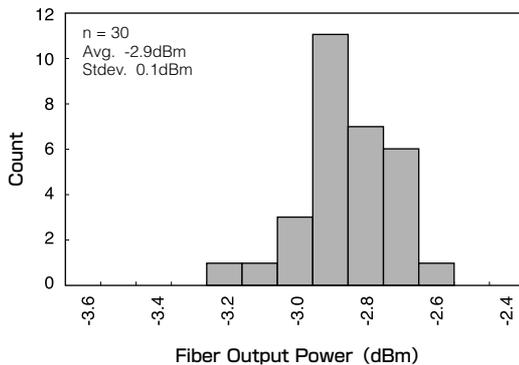


図7 光出力分布

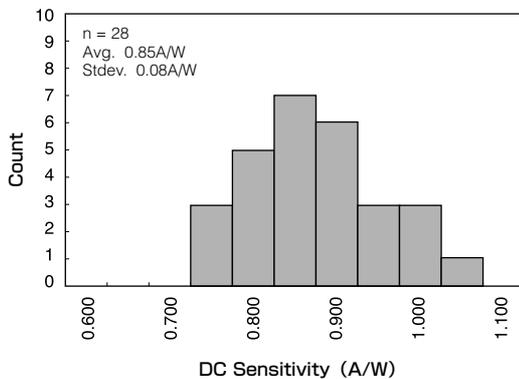


図8 DC感度

度特性を示す。-40～85℃の温度範囲でも光出力は0.5mW (-3dBm)以上得られており、実用レベルの特性が得られており、TIAの熱の影響は小さいことが確認された。

図11は、光軸ずれを評価するためにトラッキングエラーを評価した結果である。-40～85℃の広い温度範囲にわたって、 $\pm 1\text{dB}$ 以内と良好な結果が得られ、樹脂による光軸固定が従来のYAGレーザ溶接による方法と同程度の固定精度であることが確認された。また、パッケージ内に固定されたフィルタやフィルタキャリアの樹脂固定に対しても、広い温度範囲で光軸ずれの影響が少ないことが確認された。

図12にベッセル・トムソンフィルタ通過後の、1.25Gbps、2<sup>7</sup>-1、PRBS信号における光出力波形を示しており、良好なアイ開口が得られた。

図13に、DC感度が0.8A/Wの時、LDがOFFの時と、ON (Full Duplex)の時の受信感度特性(動特性)を示す。LDがOFFのとき、BER =  $10^{-10}$ で最小受信感度は-30.4dBm、LDがONの場合では、最小受信感度は-30dBmであり、LD

がONとOFFの時の受信感度差で表されるクロストークペナルティは0.4dBと良好な特性が得られた。この結果からクロストークが十分に低減されていることが確認された。

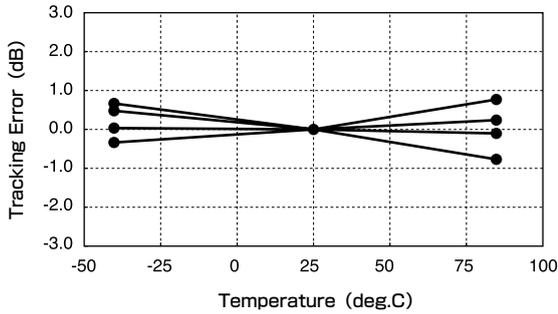


図 11 トラッキングエラー特性

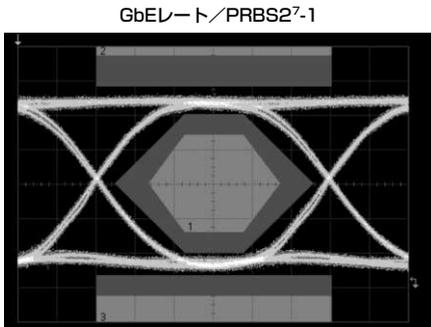


図 12 光出力波形

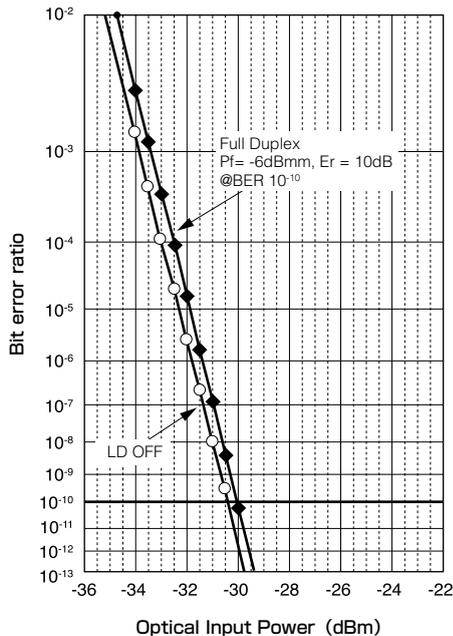


図 13 最小受信感度

## 7. 結 言

デジタルの送受信を行う LD、DPD を同一パッケージ内に実装する 1 パッケージ技術を開発し、超小型で安価な一心双方向デバイスを開発した。伝送特性に影響を与える電気、光クロストークを低減し、要求性能を満たすことを確認した。

・ Ethernet / イーサネットは、富士ゼロックス株式会社の登録商標です。

## 参 考 文 献

- (1) ITU-T Recommendation G983.1, "Broadband optical access systems based on passive optical networks (PON)" (1998)
- (2) T. Kurosaki et al., "Full duplex 1300/1550-nm-WDM optical transceiver modules for ATM-PON systems using PLC-hybrid-integration and CMOS IC technologies", ECOC' 98, Technical Digests vol. 1, pp. 631-632 (1998)
- (3) H. Nakanishi et al., "A 1.3/1.55 $\mu$ m bi-directional optical transceiver module using a simple straight optical waveguide structure", ECOC' 99, pp. 312-313 (1999)
- (4) 中西裕美他, 「ATM-PON用 1.3/1.55 $\mu$ m 光送受信モジュールの開発」、SEIテクニカルレビュー, Vol.157, p. 55 (2000)
- (5) 中西裕美他, 「直線型光導波路とフィルタ付PDを用いた 1.3/1.55 $\mu$ m 光送受信モジュールの開発」、電子情報通信学会論文誌C, Vol.J84-C, No.9, p.831-838
- (6) Y. Kuhara, et al., "Design and Analysis of A Novel Bi-Directional Transceiver with -40dBm Full-Duplex Sensitivity for ATM-PON ONU", OHAN/FSAN2001, April (2001)
- (7) 中西裕美他, 「イーサネットに適合した一芯双方向 1.3/1.55 $\mu$ m 光送受信モジュールの開発」、SEIテクニカルレビュー, No.160, March (2002)

## 執 筆 者

- 木原 利彰\* : 伝送デバイス研究所 光通信デバイス研究部  
 鈴木三千男 : 伝送デバイス研究所 光通信デバイス研究部  
 塩崎 学 : 解析技術研究センター 主席  
 吉田 享広 : 光伝送デバイス事業部 光デバイス技術部 主席  
 松村 豊 : 光伝送デバイス事業部 光デバイス技術部 グループ長  
 中西 裕美 : 伝送デバイス研究所 光通信デバイス研究部  
 グループ長 部門スペシャリスト

\*主執筆者