

1本のファイバで送受信を可能とした 小型双方向光モジュール

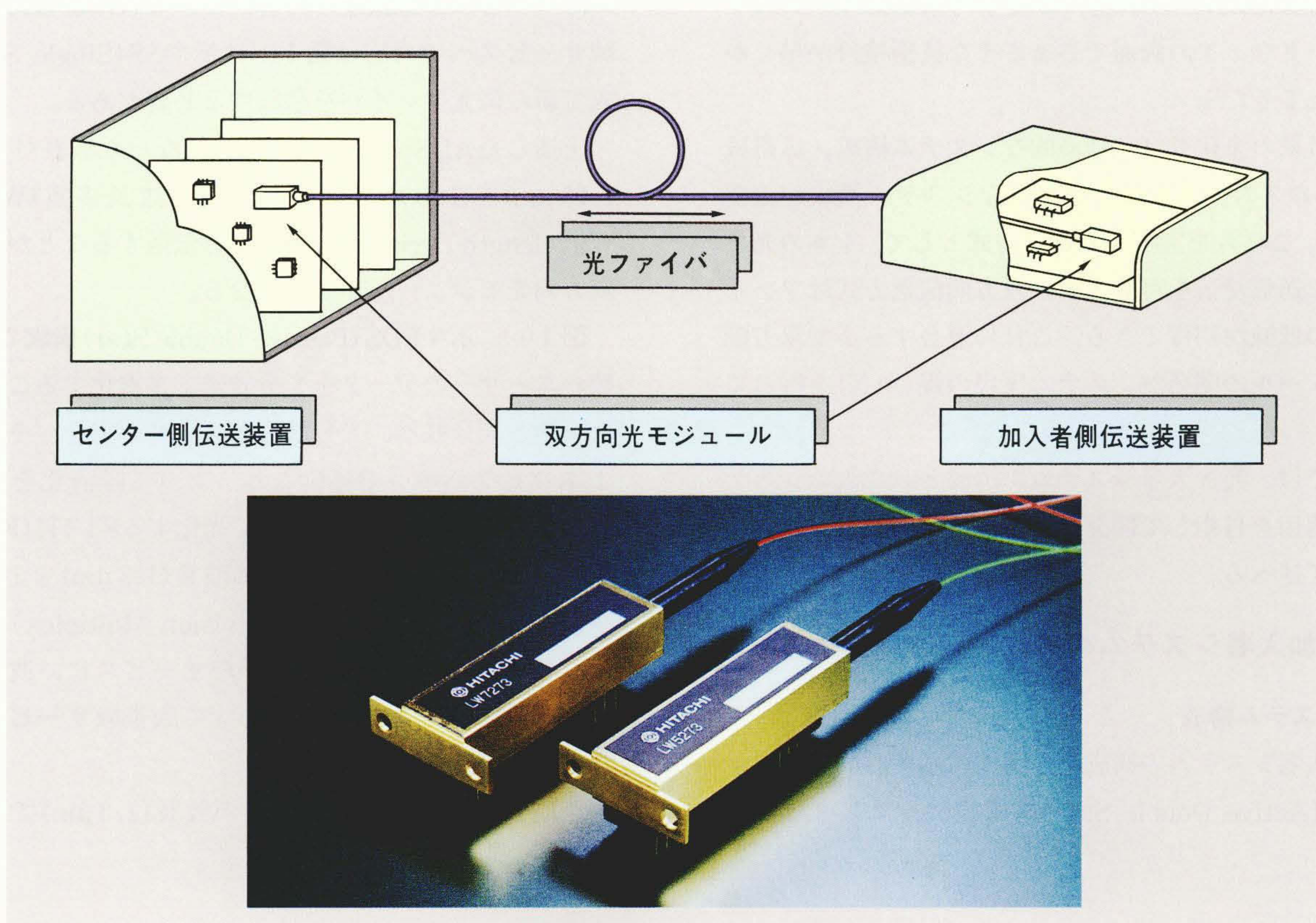
Bidirectional Optical Module for Optical Subscriber Systems

氷見 進* *Susumu Himi*

戸澤正人** *Masando Tozawa*

青木 聡* *Satoshi Aoki*

塩田恒夫*** *Tsuneo Shiota*



双方向光モジュールの活用 双方向光モジュールは、1本の光ファイバで送信・受信を可能とし、システムの経済化、装置の小型化に役立っている。写真は、日立製作所が開発した導波路型合分波モジュールである。

従来のメタルの電話線に代わり、加入者宅までを光ファイバで接続する光加入者システムでは、経済性の達成と機能拡大に対するフレキシビリティが重要な課題である。これを実現するため、1本の光ファイバで設備センタ(交換設備などを持つ従来の電話局)と加入者宅との間を送信、受信することができる双方向光モジュールの検討が、各所で行われている。

光加入者システムに用いられる双方向光モジュールは、送信・受信機能に加え、光を分岐したり、波長の異なる光を合波・分波する機能を持つことが必要である。日立製作所では、光導波路技術、半導体レーザモジュールの高精度組立技術を応用し、光合分波器、光結合器などの受動部品と半導体レーザ、受光素子などの能動部品を一体化実装して、小型化を図った双方向光モジュールを開発した。

* 日立製作所 光技術開発推進本部

** 日立製作所 半導体事業部

*** 日立電線株式会社 オプトロニクス研究所 工学博士

1 はじめに

一般家庭と設備センター(交換設備などを持つ従来の電話局:以下, センターと略す。)を接続する加入者システムの光化は, 音声データを中心とした狭帯域ISDN(Integrated Services Digital Network)から映像情報なども含む広帯域ISDNへの展開に必要不可欠であり, システム, ハードウェアの両面でさまざまな技術検討が早くから行われてきた¹⁾。

加入者系の光化では, 経済的なシステム構成, 広帯域ISDNへのスムーズな移行が可能なシステム構成が重要である²⁾。これらを実現する伝送方式として, 1本の光ファイバで送信受信を可能とする双方向伝送方式はファイバ価格の低減が期待できる。これに適合する小型双方向光モジュールの開発がシステム実現の鍵(かぎ)を握っている。

ここでは, 光加入者システムの構成と, これらシステムへの適用を目指して開発した各種双方向光モジュールについて述べる。

2 光加入者システムの構成と双方向伝送方式

2.1 システム構成

光加入者システムの構成例を図1に示す。同図(a)に示すADS(Active Double Star)構成では, センターと遠

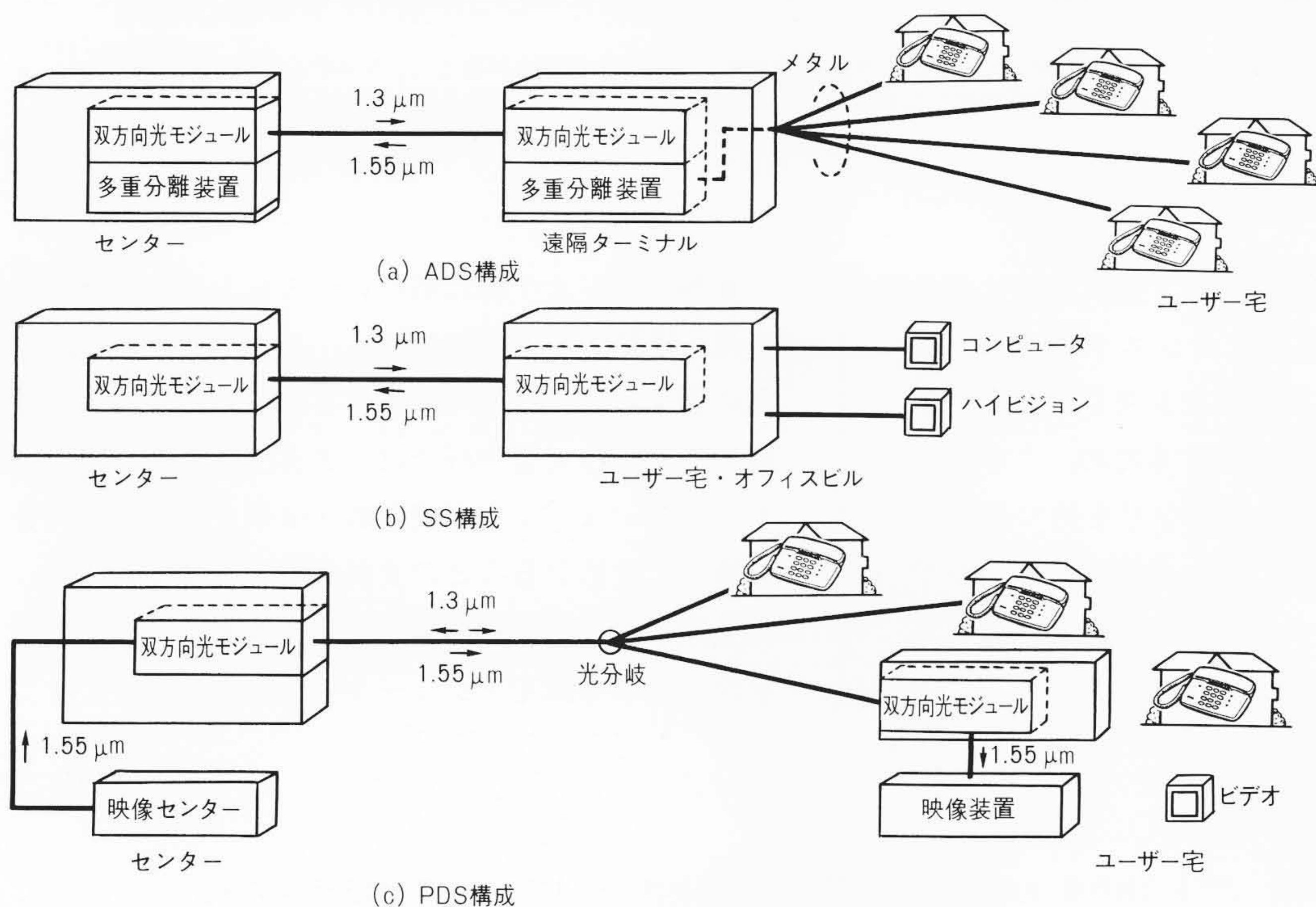
隔ターミナル間を1本の光ファイバで結び, 複数のユーザーのデータを多重化して伝送することで経済化を実現する。

この方式では遠隔ターミナルとユーザー宅はメタリッケーブルで結ばれるFTTC(Fiber to the Curb)構成である。したがって, メタリッケーブルの帯域制限のため, サービスは電話などの音声サービスに限られ, 広帯域サービスへの対応は図1(b)に示すSS(Single Star)構成で新たに光ファイバを敷設する必要がある。

上述したADSやSS方式では, 異なった波長($1.3\mu\text{m}$ / $1.55\mu\text{m}$)を上り, 下り信号とし, 波長多重(WDM: Wavelength Division Multiplex)伝送することができる双方向光モジュールが必要となる。

図1(c)に示すPDS(Passive Double Star)構成では, 複数のユーザーのデータを光分岐器で多重化することと, センターと光分岐器, 光分岐器とユーザー宅を, それぞれ1本の光ファイバで結ぶことによって経済化を実現する。この方式はユーザー宅まで光化するFTTH(Fiber to the Home)構成であり, 同一の波長($1.3\mu\text{m}$)を上り, 下り信号としてDDM(Direct Division Multiplex)伝送することによって電話などの音声サービスに, 波長 $1.55\mu\text{m}$ をWDM伝送することによって広帯域サービスにそれぞれ対応できる。

上述したPDS方式では同一の波長($1.3\mu\text{m}$)で双方向



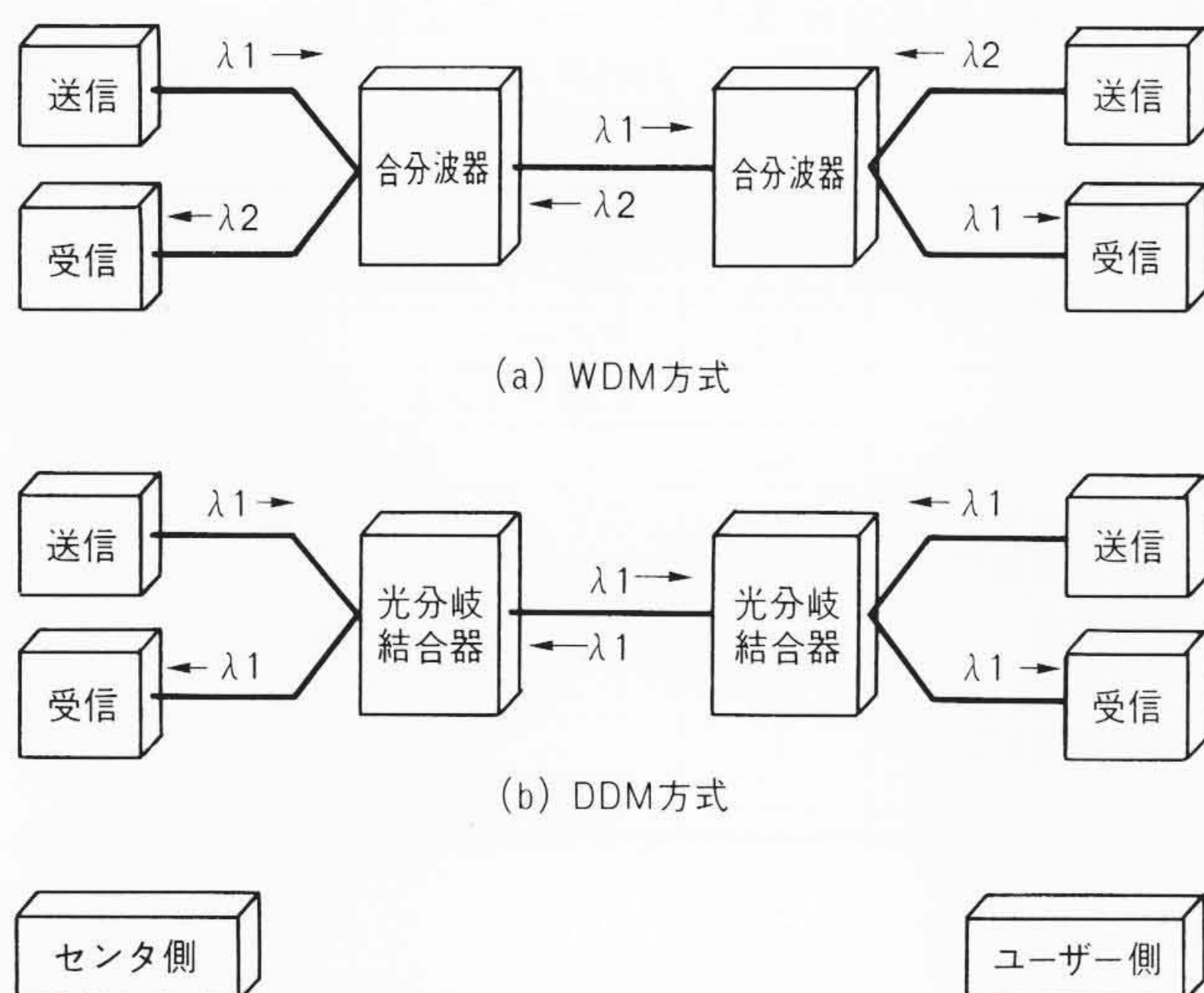
注: 略語説明

ADS (Active Double Star)

SS (Single Star)

PDS (Passive Double Star)

図1 光加入者システムの構成例 代表的な光加入者システムの構成を示す。1本の光ファイバで双方向伝送する方式が用いられている。



注：略語説明 WDM (Wavelength Division Multiplex)
DDM (Direct Division Multiplex)

図2 双方向伝送方式の代表例 1本の光ファイバで双方向伝送する方式として、光合分波器を用いたWDM方式、および光分岐結合器を用いたDDM方式がある。

伝送し、別の波長(1.55 μm)を波長多重伝送することができる双方向光モジュールが必要となる。

このように光加入者システムでは、システムの経済化や広帯域サービスへの柔軟な対応を解決する手段として、1本のファイバによる双方向伝送が可能な双方向光モジュールが基本的役割を担っている。

2.2 双方向伝送方式と光モジュールの課題

前節で述べたように、1本の光ファイバで双方向伝送を行う方式の中で光加入者システムへの適用が有望なものとして、異なった2波の波長を用いるWDM方式、および同一の波長を用いるDDM方式がある。ここでは、各方式の特徴、および光モジュールに対する課題について述べる。

代表的な双方向伝送方式を図2に示す。WDM方式では2波の波長を合波・分波する機能(合分波器)により、波長 λ_1 をセンター側からの下り信号に、波長 λ_2 をユーザー側からの上り信号に用い、双方向伝送が可能である[同図(a)]。DDM方式は光を分岐、結合する機能(光分岐結合器)により、同一の波長 λ_1 での双方向伝送が可能である[同図(b)]。

1本の光ファイバで双方向伝送を行う方式では、合分波部、光分岐結合部を介して送信光が受信側へ漏れ込むことと、合分波部、光分岐結合部の損失による信号光の減衰が伝送特性に影響を与える。

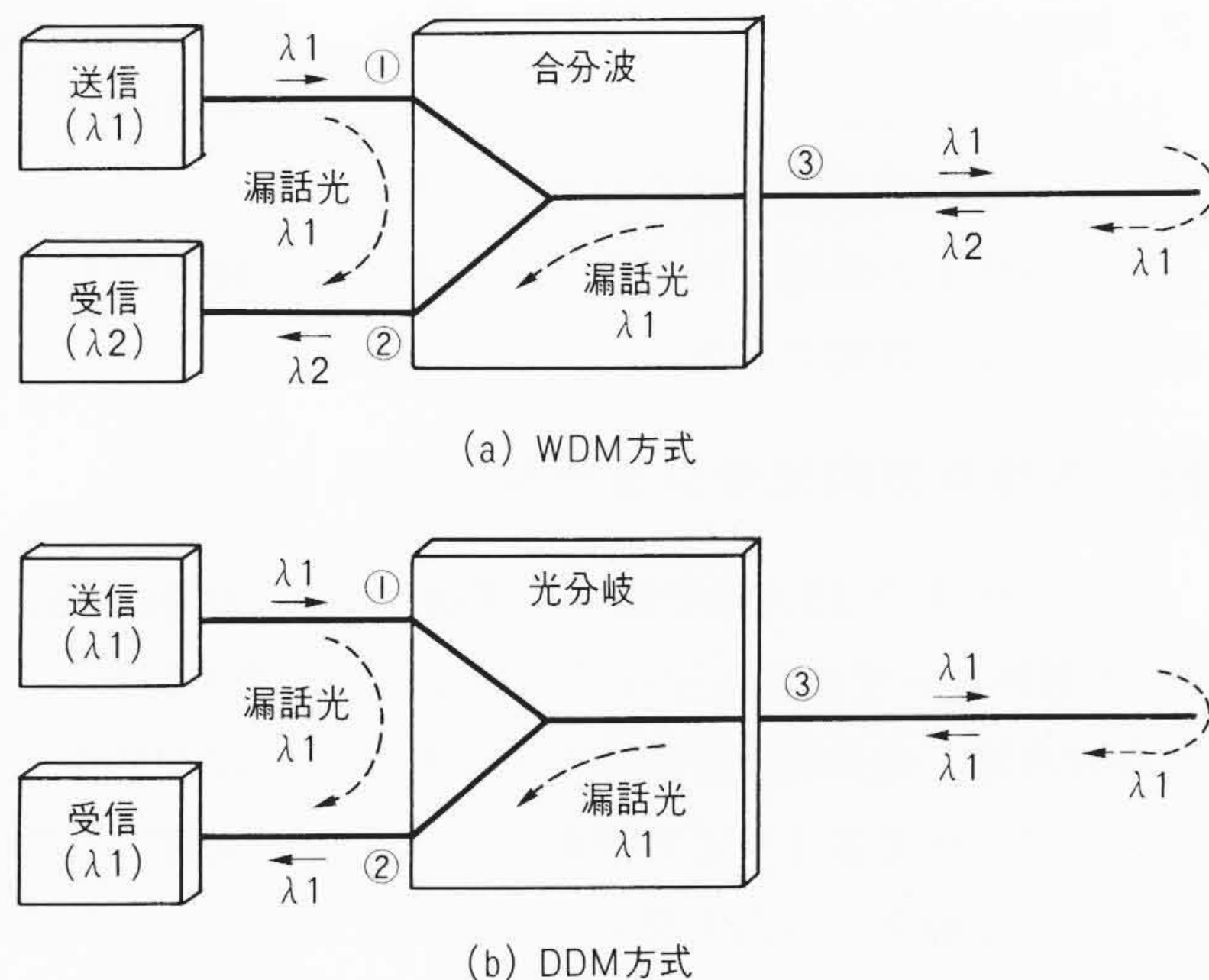


図3 双方向伝送における光学的漏話 1本の光ファイバによる双方向伝送では送信光が受信側へ漏れ込み、光学的漏話が発生する。

WDM方式[図3(a)]では、波長 λ_1 の送信光がポート①へ入力されると、合分波部内部の反射などでポート②へ漏れ込む。また、送信光が伝送路途中の光コネクタ、相手側モジュールなどから反射し、合分波部③から②へ漏れ込む。したがって、受信感度の劣化を抑えるためには、漏話光に対して減衰が大きく信号光に対して低損失であること、すなわち信号光と漏話光の出力比であるアイソレーションが高くとれることが課題となる。

DDM方式[図3(b)]では波長 λ_1 の送信光、波長 λ_1 の受信光が分岐損失のため減衰する(分岐比1:1の場合3 dB)。したがって、送信光の高出力化、受信感度の向上が課題となる。

また、漏話光出力の減衰はWDM方式と同様に大きくする必要があるが、信号光と漏話光が同じ波長のため、③から②の減衰量はせいぜい3 dB(分岐比1:1の場合)であり、WDM方式と比較して受信感度の劣化が大きい。このため、ある時間はセンター側からの送信信号が送信され、ある時間はユーザー側からの信号が重なることなく伝送される方式(ピンポン伝送方式)を併用することもある。

以上述べたことから、光モジュールには次の課題がある。

(1) WDM方式

- (a) 送信、受信だけでなく光合波分波機能を持つ。
- (b) 異なった波長間のアイソレーションが高い特性を持つ。

(2) DDM方式

- (a) 送信, 受信だけでなく光分岐結合機能を持つ。
 - (b) 光分岐損失を埋め合わせる高出力化。
- また特性上の課題だけでなく, 装置実装の観点から小型化が重要な課題である。

3 各種双方向光モジュールの特長と応用例

日立製作所では2.2節で述べた課題に対し, 光導波路技術, 半導体レーザモジュールの高精度組立技術を応用し, 光合分波器, 光分岐結合器などの受動部品, および半導体レーザ, 受光素子などの能動部品を一体化実装する概念によって解決の方向を見だし, 小型で低コストな各種双方向光モジュールを開発した。

受動部品に石英光導波路を用いた導波路型双方向光モジュールは, 光合分波器と光分岐器の集積化による小型・高機能化に有利であり, 技術的には発展途上にあるが, 将来有望な方式である。一方, 受動部品に干渉膜フィルタを用いたフィルタ型双方向光モジュールは, 高機能化には課題があるが, すでに確立された干渉膜フィルタ技術で容易に実現可能な方式である。

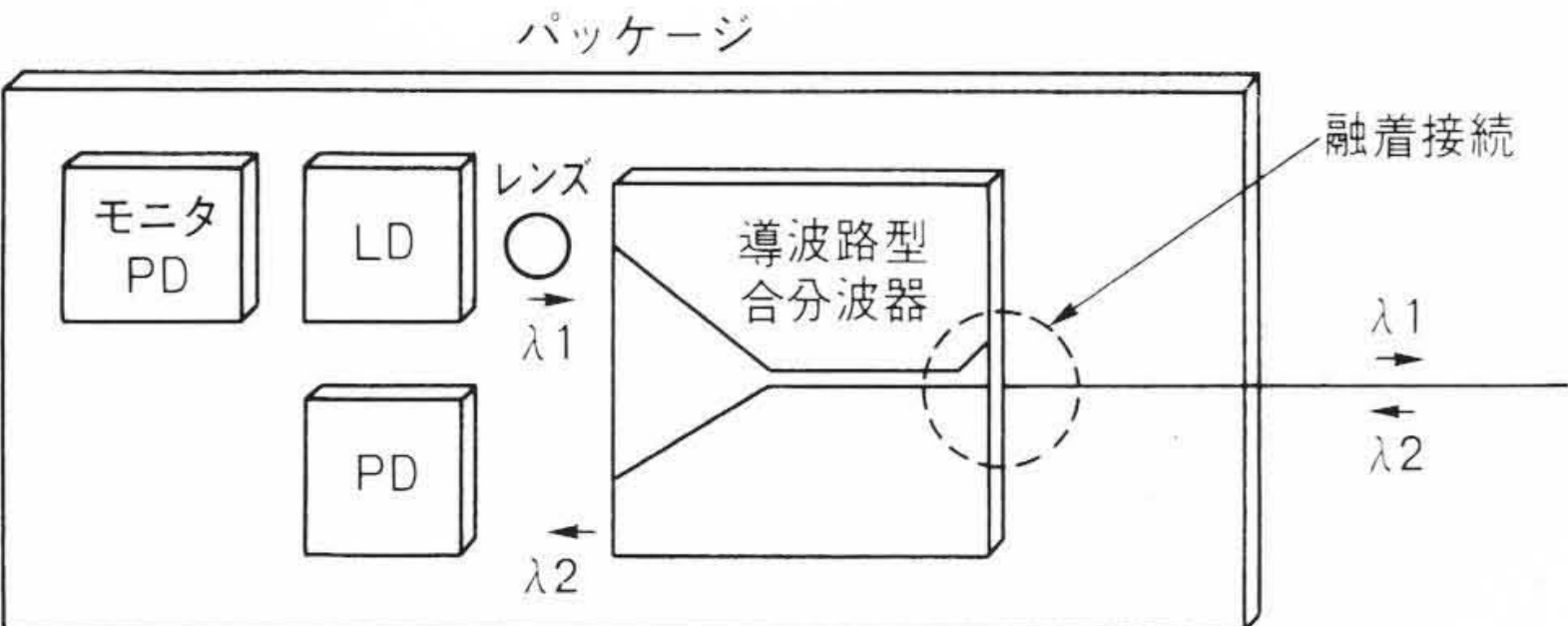
3.1 導波路型合分波モジュール

3.1.1 開発のねらいと特長

このモジュールは, ADSやSS構成のシステムへの応用を図って開発された双方向光合分波機能を持つ。

モジュールの機能を図4に, 外観を1ページの図に, モジュールの主要諸元を表1に示す。1.3 μm送信・1.55 μm受信のタイプ(LW5273), 1.55 μm送信・1.3 μm受信のタイプ(LW7273)を製品化した。

開発のねらいは, (1) 加入者側装置の小型・薄型化を可能とする小型パッケージ化, (2) 高アイソレーション特性, である。



注：略語説明 LD (Laser Diode), PD (Photo Diode)

図4 導波路型合分波モジュールの機能 半導体レーザ, 受光素子, 導波路型合分波器などを一つのパッケージに一体化し小型化を図った。

表1 導波路型合分波モジュールの主要諸元 LW5273, LW7273の主要諸元を示す。1.3 μmおよび1.55 μmの発振波長と, 高アイソレーション特性を持っている。

項 目	記 号	LW5273	LW7273
発振波長	$\lambda 1$	1,285~1,330 nm	—
	$\lambda 2$	—	1,520~1,560 nm
光出力	P_f	0.25 mW以上 条件: $I_{th} + 20$ mA	
しきい値電流	I_{th}	35 mA以下	
P_f の立上がり・立下がり時間	t_r/t_f	1.0 ns以下	
受光感度	R	0.25 A/W以上	
アイソレーション	I_{LP}	40 dB以上	
使用温度範囲	T	0 ~ 60 °C	
パッケージ寸法	—	幅50×奥行14×高さ10(mm)	

低コスト化を実現するために, 光合分波器に石英導波路型合分波器³⁾を用いている。石英導波路型合分波器は, ガラス基板上に屈折率の高い矩(く)形状コア膜を低屈折率のクラッド膜で覆った埋込型光導波路から成り, 半導体や光ファイバの製造方法を応用することで, バッチ処理による大量生産, 低コスト化が期待できる。

小型化を実現するため, 半導体レーザとモニタ用受光素子, 受光素子, 光結合用レンズなどを同一のパッケージ[幅50×奥行14×高さ10(mm)]に実装した構造とした。半導体レーザ, 受光素子, 導波路型合分波器などの構成部品ははんだ固定し, 光ファイバと導波路型合分波器はCO₂レーザによって融着接続することにより, 接着剤を使用せずに組立が行われるので, パッケージ全体を気密封止することができた。

このモジュールの実装面積は, 個別部品で構成した場合の $\frac{1}{3}$ (自社比)とすることができた。

一方, 半導体レーザ, 受光素子, 合分波部を同一パッケージ内に実装したタイプのモジュールでは, 光導波路に結合しない半導体レーザからの光が, パッケージ内部で乱反射して発生する迷光となって受光素子へ漏れ込み, 表1に示す信号光と漏話光のアイソレーション I_{LP} を劣化させる問題が発生する。このため, 受光素子側の導波路端面に送信側波長 $\lambda 1$ を阻止する干渉膜フィルタを形成し, さらにピンホール板を配置することで光出力0.25 mWのときアイソレーション40 dB以上を確保することができた。

3.1.2 応 用 例

このモジュールを先の図1(a)に示したADS構成に應用すると, システムコストを低減することができる。例えば, センター側からの下り信号に1.3 μm, ユーザー側

からの上り信号に1.55 μm の波長を割り当てると、1本の光ファイバで双方向伝送が可能であり、伝送路コストを下げるができる。さらにモジュールの高速特性を生かし多重度を増大させることで、センター側装置を共用するユーザー数を増やすことが可能で、加入者のコスト負担を低減することができる。

図1(b)に示したSS構成に应用すると、一対の双方向モジュールで高速データ通信などの広帯域ISDNサービスが可能となる。

3.2 導波路型光分岐・合分波モジュール

3.2.1 開発のねらいと特長

このモジュールはPDSシステムへの応用を図って試作され、1.3 μm 双方向伝送のほかに、1.3 μm と1.55 μm との合分波機能も備えている。モジュールの機能と外観を図5に、主要特性を表2に示す。

開発のねらいは、(1) 光合分波だけでなく光分岐機能も持つ、(2) 加入者側装置の小型・薄型化を可能とする小型パッケージ化、(3) 1.55 μm 帯の低損失・高アイソレーション特性、(4) 光分岐部の損失を補償できる高光出力化、などである。

このモジュールでは石英導波路の集積化の技術を生か

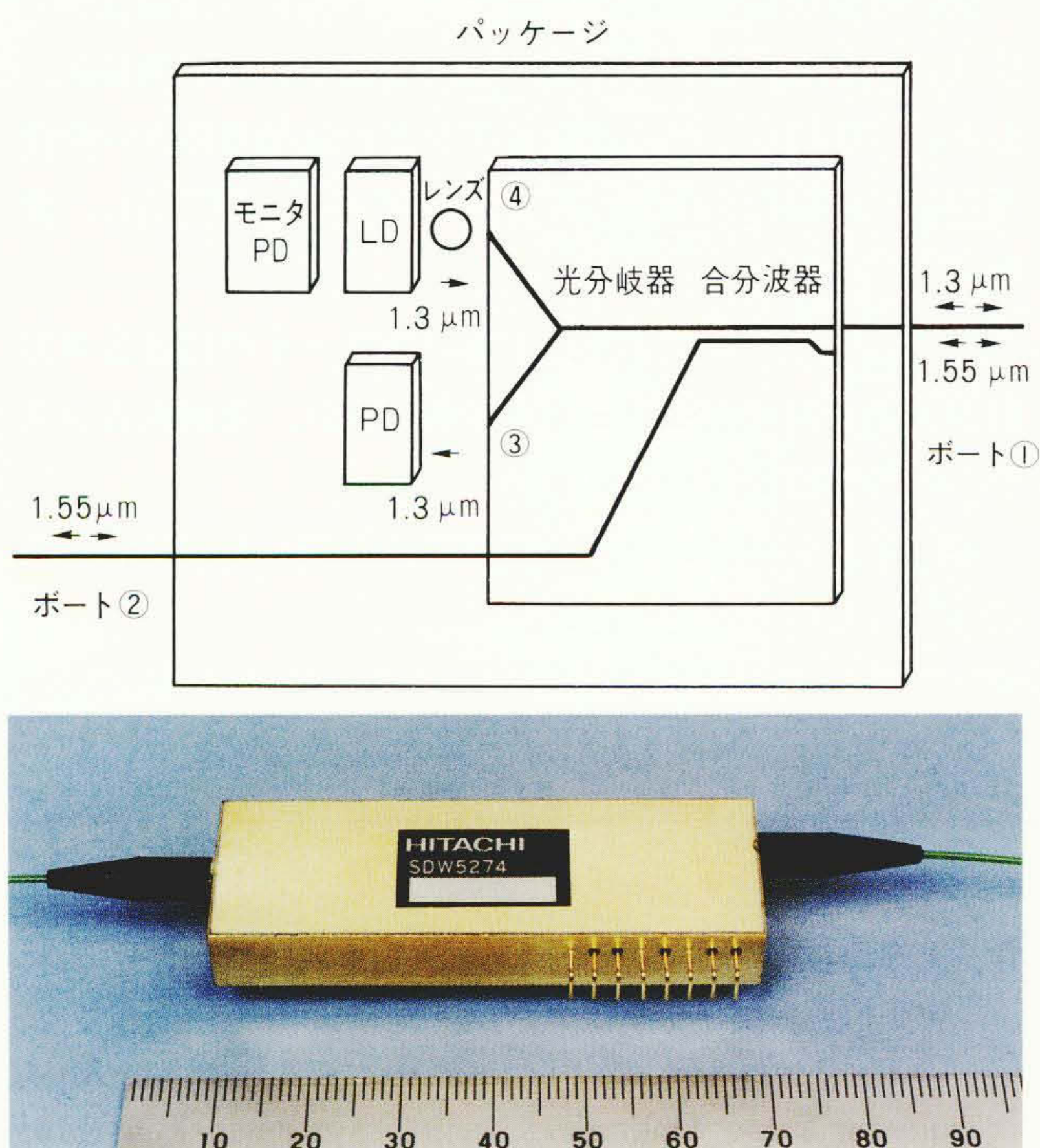


図5 導波路型光分岐・合分波モジュールの機能と外観
光分岐器、合分波器を集積化した光導波路、半導体レーザ、受光素子が一つのパッケージに一体化されている。

表2 導波路型光分岐・合分波モジュールの主要特性
高出力、高アイソレーション特性を達成している。

項 目	記 号	特 性
発振波長	λ	1,270~1,340 nm
光 出 力	P_f	-3 dBm以上(しきい値+20 mA)
受光感度	R	0.2 A/W以上
アイソレーション ①-②(1.3 μm) ①-PD(1.55 μm) ②-PD(1.55 μm) LD-②(1.3 μm) LD-PD(1.3 μm)	I_{12} I_{1P} I_{2P} I_{L2} I_{LP}	18 dB以上 50 dB以上 50 dB以上 50 dB以上 30 dB以上
損 失 ①-②(1.55 μm)	L_{12}	3.0 dB以下
反射減衰量 ①-①(1.55 μm) ①-①(1.3 μm) ②-②(1.55 μm)	$R_{f11}(1.5)$ $R_{f11}(1.3)$ $R_{f22}(1.5)$	35 dB以上 12 dB以上 35 dB以上
使用温度範囲	—	0 ~ 60 $^{\circ}\text{C}$
パッケージ外形	—	幅60×奥行き19.5×高さ8.9(mm)

し、光分岐部、光合分波部を集積化することにより、低コスト化が期待できるだけでなく、半導体レーザ、受光素子、モニタ用受光素子とともに、同一のパッケージ〔幅60×奥行き19.5×高さ8.9(mm)〕に実装することが可能となり、小型化を実現した。従来、これだけ多くの機能を一つのパッケージに収めることは困難であったが、石英導波路の集積化技術によって可能となった。また、半導体レーザ、受光素子、石英導波路などの構成部品は、はんだ固定、溶接固定されているのでパッケージ全体を気密封止することができた。

1.55 μm 帯での損失(図5に示す①-②の損失)は石英導波路のプロセス条件の改善、導波路曲率半径を50 mm程度にして最適マスク設計を行い、ファイバ接続損失、コネクタ損失込みで3 dB以下を達成した。損失波長特性を図6に示す。

一方、アイソレーション特性は、半導体レーザ、受光素子、石英導波路などが一体化された構造のパッケージの場合、半導体レーザからの迷光、1.55 μm の漏話光が受光素子へ直接漏れ込み、アイソレーションが劣化する問題が発生する。このため、双方向合分波モジュールの場合と同様に1.55 μm 帯阻止フィルタ、ピンホール板を備えることで表2に示す高アイソレーション特性を得た。

また、光出力の高出力化を実現するために、半導体レーザと光導波路の結合に非球面レンズを用いて結合損失を低減し、高精度に光軸調整、はんだ固定したことによ

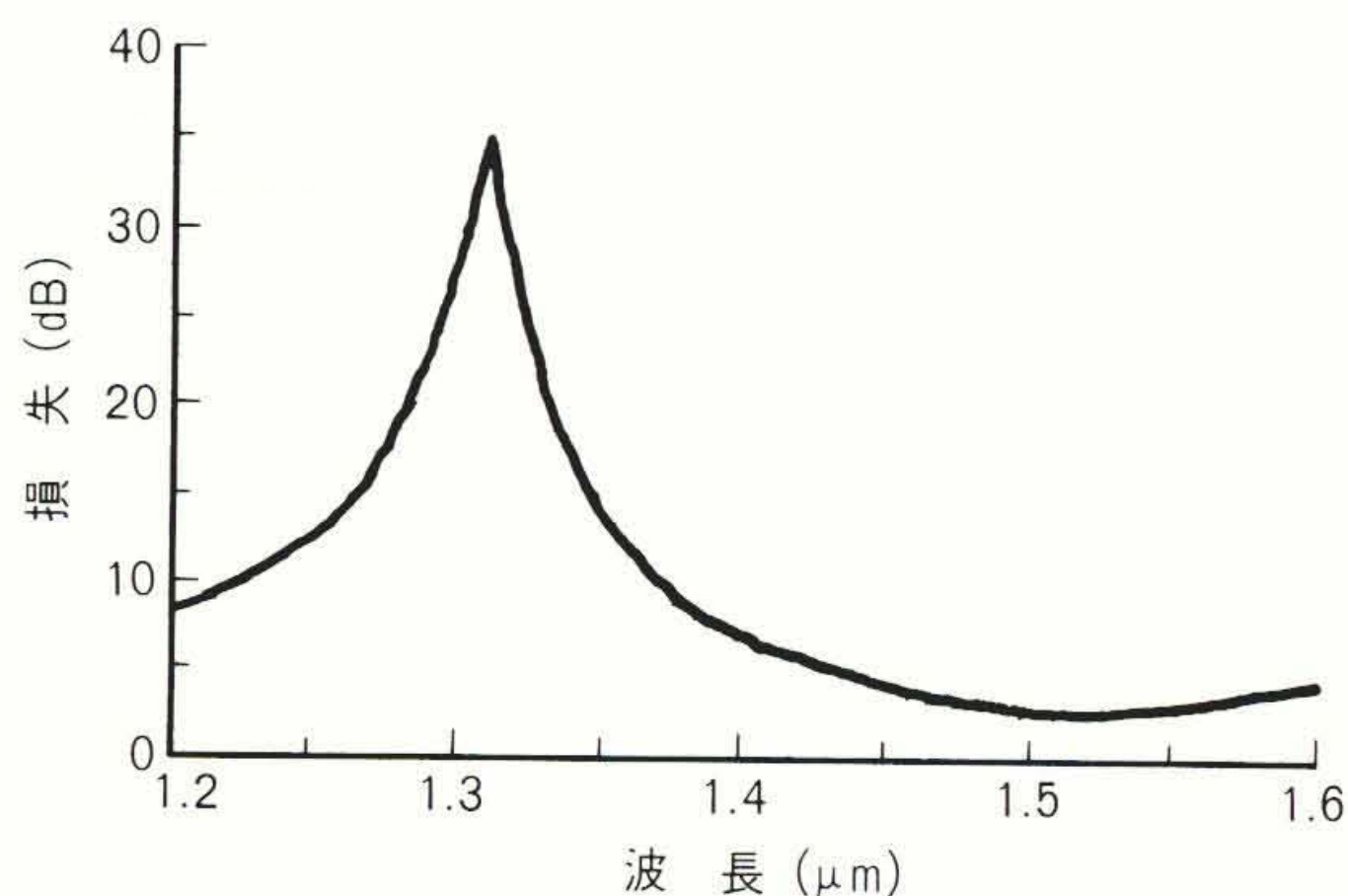


図6 導波路型光分岐・合分波モジュールの損失波長特性
低損失な石英導波路を用いることで1.55 μm 帯の損失3dB以下を実現した。

り、光出力-3 dBm以上を達成している。

3.2.2 応用例

このモジュールは1.3 μm 帯で電話などの音声サービスを提供し、1.5 μm 帯で映像などのサービスを提供するPDS構成[図1(c)]への応用が可能である。アイソレーションが高いため、1.3 μm 帯の受信特性を劣化させることなく、1.55 μm ポートに広帯域ISDN装置や映像システム装置などを容易に接続することができる特長を持つ。

3.3 フィルタ型合分波モジュール

このモジュールは1.3 μm と1.55 μm 双方向伝送に適合する小型、低コストな光モジュールである。モジュールの外観と光学系の構成を図7に示す。光合分波器としてガラス基板に誘電体多層膜を蒸着した干渉膜フィルタを用い、CD用に広く用いられている光素子パッケージの実装が容易な光軸構成とすることで、小型化を図った。将来、光加入者系で環境条件が厳しくなることに備え、-40～85℃の温度範囲にわたり、光出力1 mW以上、受光感度0.6 A/W以上、高アイソレーション特性を目標に開発を進めている。

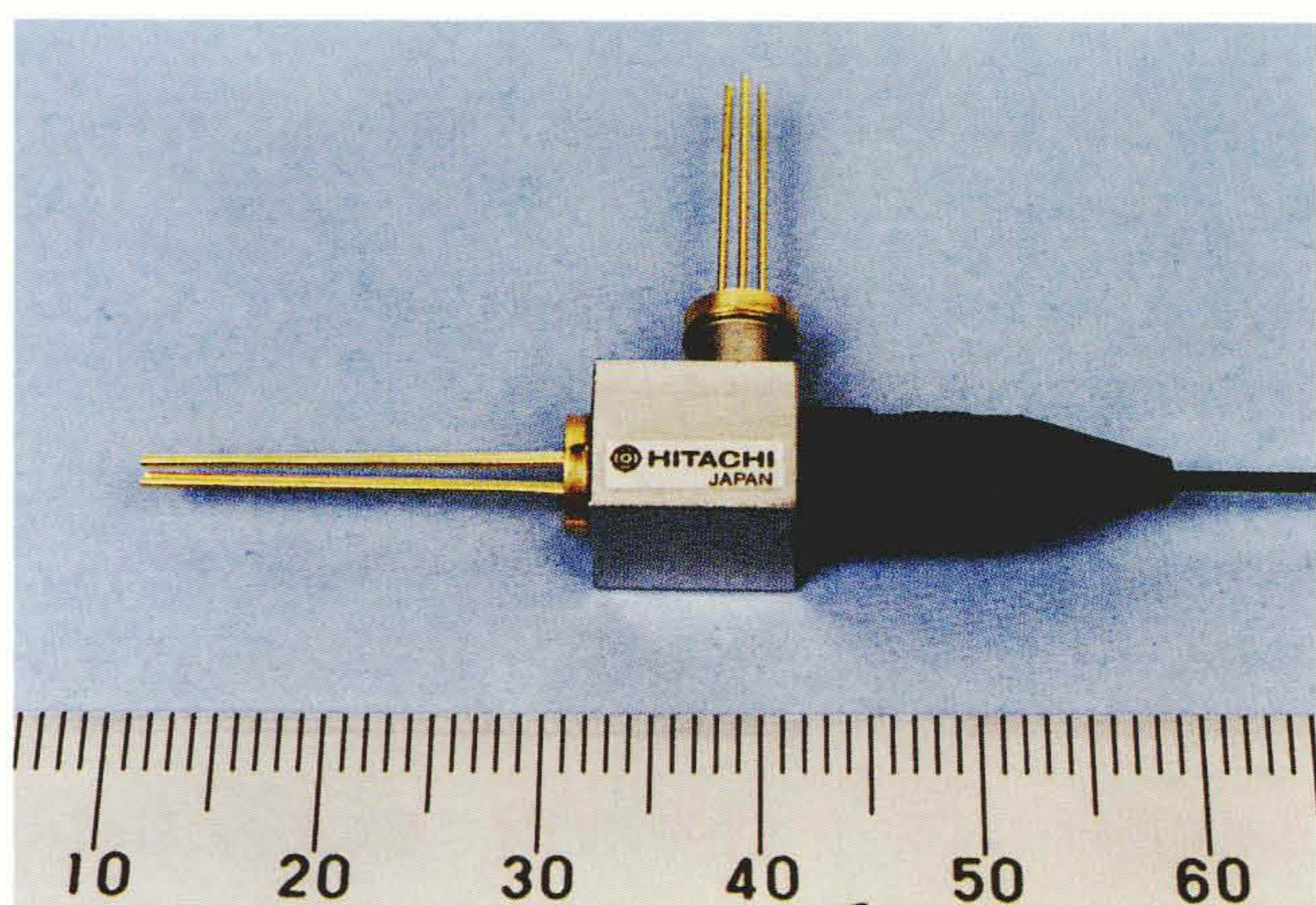
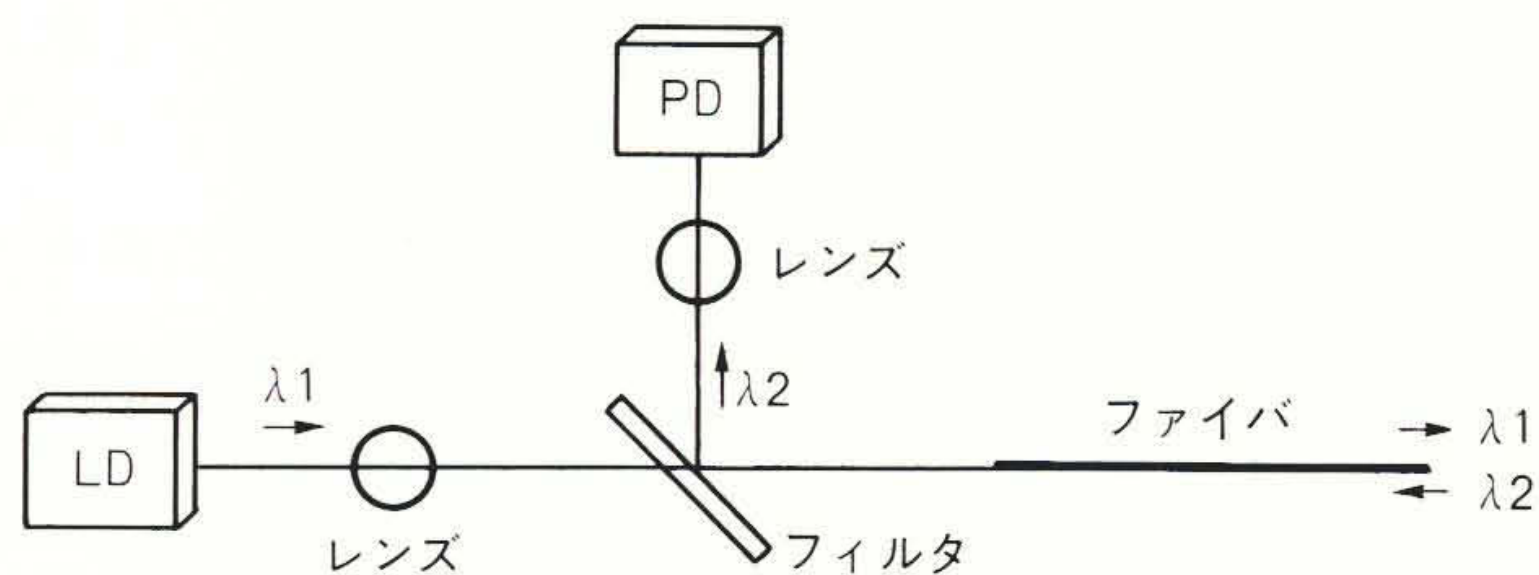


図7 フィルタ型合分波モジュールの外観と光学系の構成
光合分波器として干渉膜フィルタを用い、CD用光素子パッケージの実装が容易な光軸構成を採用している。

4 おわりに

光導波路技術、半導体レーザモジュールの高精度組立技術に応用し、光合分波器、光分岐器などの受動部品、および半導体レーザ、受光素子などの能動部品を一体化実装し、小型化を図った双方向モジュールを開発し、良好な特性を得た。

このモジュールにより、1本の光ファイバによる双方向伝送が1対の光モジュールで実現され、光加入者システムへの応用が期待される。

今後は、システムへの適用試験、量産化技術の検討などを行っていく予定である。

参考文献

- 1) THIRD WORKSHOP ON OPTICAL LOCAL NETWORKS, Tokyo(1991)
- 2) 山下：Fiber to the Homeを目指して、オプトロニクス、122, 3, 59～64(1992)
- 3) 井本, 外：光受動部品, 日立評論, 72, 4, 363～370(平2-4)
- 4) 上塚, 外：双方向伝送モジュール用導波路型光合分波器, 電子情報通信学会秋季大会, C-201(1991)
- 5) I. Ikushima, et al. : Transmitter and Receiver Module for Fiber Optics Subscriber Systems, FOURTH WORKSHOP ON OPTICAL LOCAL NETWORKS, PARIS(1992)