

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-201411

(P2006-201411A)

(43) 公開日 平成18年8月3日(2006.8.3)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
G02B 5/28 (2006.01)	G02B 5/28	2H048
G02B 6/293 (2006.01)	G02B 6/28 C	

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2005-12115 (P2005-12115)	(71) 出願人	000004008
(22) 出願日	平成17年1月19日 (2005.1.19)		日本板硝子株式会社
			東京都港区海岸二丁目1番7号
		(74) 代理人	100068755
			弁理士 恩田 博宣
		(74) 代理人	100105957
			弁理士 恩田 誠
		(72) 発明者	伊藤 拓
			東京都港区海岸二丁目1番7号 日本板硝子株式会社内
		Fターム(参考)	2H048 GA04 GA14 GA17 GA24 GA33 GA51 GA62

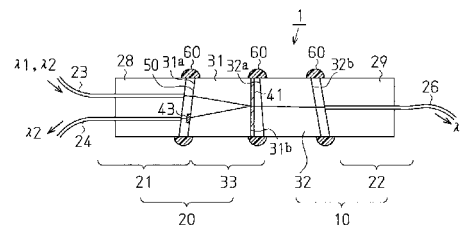
(54) 【発明の名称】 光学フィルタ、およびこれを用いた波長多重光カプラ

(57) 【要約】

【課題】 偏波依存損失を低減し、波長特性におけるエッジ波長近傍でも偏波依存性を低減できる光学フィルタを提供する。また、高いアイソレーションを有しかつ小型で安価な、光学フィルタを用いた波長多重光カプラを提供する。

【解決手段】 波長多重光カプラ1は、入射光用光ファイバ23からの入射光を平行光にする第1のレンズ31と、その第2面31b側に配置され波長 λ_1 の光を反射する第1の光学フィルタ41と、光学フィルタ41での反射光が第1面31aから出射して集光される位置に配置された出射光用光ファイバ24と、光ファイバ24と第1面31aの間に配置され、波長 λ_1 の光を透過しそれ以外の光を反射する第2の光学フィルタ43とを備える。光学フィルタ43は、高屈折率誘電体膜と低屈折率誘電体膜の各光学膜厚を $3\lambda/4$ とした誘電体多層膜である。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入射光の光軸に対して入射面を傾斜して固定された誘電体多層膜によって構成される光学フィルタにおいて、

前記誘電体多層膜は高屈折率誘電体膜と低屈折率誘電体膜とが交互に多数積層され、前記高屈折率誘電体膜と低屈折率誘電体膜のいずれか一方或いは両方の光学膜厚を $3\lambda/4$ としたことを特徴とする光学フィルタ。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の光学フィルタにおいて、

前記誘電体多層膜は、入射面と出射面の少なくとも一方が斜め面に形成された屈折率分布型ロッドレンズの前記斜め面に形成されたことを特徴とする光学フィルタ。 10

【請求項 3】

複数の波長の光信号が多重化された入射光が 1 本の入射光用光ファイバから入射されたとき、前記入射光を波長毎の光信号に分離して、複数の出射光用光ファイバに振り分ける波長多重光カプラにおいて、

前記入射光用光ファイバから出射され第 1 面から入射する前記入射光を平行光に変換して第 2 面から出射する第 1 のレンズと、該レンズの前記第 2 面側に配置され、前記複数の波長のうち第 1 の波長の光を反射する第 1 の光学フィルタを含む第 1 のフィルタ群と、前記第 1 の光学フィルタにより反射された平行光が前記第 1 面から出射して集光される位置に端面が位置するように配置された第 1 の出射光用光ファイバと、該光ファイバの端面と前記第 1 面の間に配置され、第 1 の波長の光を透過しそれ以外の波長の光を反射する第 2 の光学フィルタを含む第 2 のフィルタ群を構成する光学フィルタ素子と、を備え、 20

前記光学フィルタ素子はその入射面が前記入射光の光軸に対して傾斜して配置され、前記第 2 のフィルタ群に加えて反射防止膜を備え、該反射防止膜は、前記入射光用光ファイバの端面から出射される前記入射光が通過する入射光通過領域に形成されており、

前記第 2 の光学フィルタは、前記第 1 の光学フィルタからの反射光が通過する出射光通過領域に形成され高屈折率誘電体膜と低屈折率誘電体膜とが交互に多数積層された誘電体多層膜であり、前記高屈折率誘電体膜と低屈折率誘電体膜のいずれか一方或いは両方の光学膜厚を $3\lambda/4$ としたことを特徴とする波長多重光カプラ。 30

【請求項 4】

請求項 3 に記載の波長多重光カプラにおいて、

前記第 1 のレンズの第 1 面が前記入射光の光軸に対して傾斜した平面であり、前記光学フィルタ素子は前記第 1 面に密着して設けられていることを特徴とする波長多重光カプラ。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の波長多重光カプラにおいて、

前記第 1 のレンズは、前記第 1 面に相当する第 1 の端面と前記第 2 面に相当する第 2 の端面とを有する屈折率分布型ロッドレンズであることを特徴とする波長多重光カプラ。

【請求項 6】

請求項 3～5 のいずれか一つに記載の波長多重光カプラにおいて、

前記第 1 のフィルタ群は、前記平行光の進行方向に沿って透過波長範囲が順に狭くなるように配列された複数の光学フィルタを含み、該複数の光学フィルタは、前記平行光に含まれる複数の波長の光信号をそれぞれ異なる方向に反射するように前記第 1 のレンズの光軸に対してそれぞれ異なる角度をなすように前記 2 面側に配置されており、前記第 1 の出射光用光ファイバは、前記第 1 のフィルタ群の各光学フィルタからの反射光がそれぞれ結合する位置に端面が位置するように配置された複数の光ファイバを含むことを特徴とする波長多重光カプラ。 40

【請求項 7】

請求項 6 に記載の波長多重光カプラにおいて、

前記第 1 のフィルタ群の全ての光学フィルタを透過して第 3 面から入射する入射光を、第 4 面から出射して集光する第 2 のレンズと、該第 2 のレンズにより集光された位置に端 50

面が位置するように配置された第2の出射光用光ファイバと、をさらに含むことを特徴とする波長多重光カプラ。

【請求項8】

2波長の光信号が多重化された入射光が1本の入射光用光ファイバから入射されたとき、前記入射光を波長毎の光信号に分離して、2本の出射光用光ファイバに振り分ける波長多重光カプラにおいて、

前記入射光用光ファイバから出射される入射光を該入射光の光軸に対して傾斜した第1面から入射し、平行光に変換して第2面から出射する第1のレンズと、該第1のレンズの第2面に対向して配置され前記平行光に変換された入射光に含まれる第1の波長の光を反射し第2の波長の光を透過する第1の光学フィルタと、前記第1の光学フィルタにより反射された第1の波長の光が前記第1のレンズを介して集光される位置に端面が位置するように配置された第1の出射光用光ファイバと、前記第1のレンズの前記第1面に直接成膜により形成され、第1の波長の光を透過しそれ以外の波長の光を反射する第2の光学フィルタと、前記第1の光学フィルタを透過した第2の波長の光を集光する第2のレンズと、前記第2の波長の光が前記第2のレンズを介して集光される位置に端面が位置するように配置された第2の出射光用光ファイバと、を備え、

前記第1のレンズの第1面には、前記第2の光学フィルタと反射防止膜が形成されており、前記反射防止膜は、前記第1面上の、前記入射光用光ファイバの端面から出射される前記入射光が通過する入射光通過領域に形成されており、

前記第2の光学フィルタは、前記第1の光学フィルタからの反射光が通過する出射光通過領域に形成され高屈折率誘電体膜と低屈折率誘電体膜とが交互に多数積層された誘電体多層膜であり、前記高屈折率誘電体膜と低屈折率誘電体膜のいずれか一方或いは両方の光学膜厚を $3\lambda/4$ としたことを特徴とする波長多重光カプラ。

【請求項9】

請求項8に記載の波長多重光カプラにおいて、

前記第1の波長と第2の波長は、 $1260\sim1360\text{ nm}$ 、 $1480\sim1500\text{ nm}$ 、および $1550\sim1560\text{ nm}$ の各波長範囲のいずれかを含むことを特徴とする波長多重光カプラ。

【請求項10】

請求項3～9のいずれか一つに記載の波長多重光カプラにおいて、

前記第1のレンズの第1面上の、前記入射光用光ファイバの端面から出射される前記入射光が通過する入射光通過領域を除いた部分で、少なくとも前記第1の光学フィルタからの反射光が通過する出射光通過領域に、所定の膜構成の誘電体多層膜が形成されており、前記誘電体多層膜の上から、前記第1のレンズの第1面の全面に、前記入射光の反射損失を抑制するための反射防止膜が形成されており、前記第2の光学フィルタは、前記所定の膜構成の誘電体多層膜と前記反射防止膜の積層膜で構成されることを特徴とする波長多重光カプラ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、エッジフィルタ等の光学フィルタ、およびこれを用いた波長多重光カプラに関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、加入者と局の間のアクセス系に光通信を導入するFTTx (Fiber To The x, x=Home) 用のネットワーク方式の一つにPON (Passive Optical Network) がある。これには加入者から局への上り信号と局から加入者への下り信号に異なる波長の光を用いる。また、さらに異なる波長のアナログ信号 (画像信号) を多重化して用いる場合がある。例えば、上り信号 (Upstream Data) に 1310 nm 帯、下り信号 (Downstream Data) に 1490 nm 帯または 1550 nm 帯がそれぞれ用いられる。このため、局側と加入者

10

20

30

40

50

側に設ける O L T (Optical Line Termination) 或いは O N U (Optical Network Unit) にはそれぞれの波長の信号を分波・合波するための波長多重光カプラが必要となる。

【0003】

上記のような目的に用いる波長多重光カプラとして、図18に示すような構成のものが知られている(例えば、特許文献1参照)。この波長多重光カプラでは、2つの波長 λ_1 、 λ_2 を合分波するため、所定の透過波長帯域をもつ光学フィルタ206を用いる。 λ_1 、 λ_2 が多重化された光が入射光用光ファイバ201から入射し、レンズ204で平行光に変換されて光学フィルタ206に入射される。波長 λ_1 の光は光学フィルタ206で反射され、レンズ204を介して第1の出射光用ファイバ202に結合される。波長 λ_2 の光は光学フィルタ206を透過し、レンズ205により集光されて、第2の出射光用光ファイバ203に結合される。

【0004】

この光カプラは、入射光用光ファイバ201を共通ポート、出射光用光ファイバ202を反射ポート、出射光用光ファイバ203を透過ポートとする3ポートカプラとも呼ばれる。3ポートカプラの内部構成としては、2本の光ファイバとコリメートレンズからなる2芯コリメータと、1本の光ファイバとコリメートレンズからなる単芯コリメータとの間に、バンドパスフィルタを挿入したタイプ(特許文献1)や、Y字状に分岐する光導波路の分岐部にバンドパスフィルタを挿入したタイプ(特許文献2)等が知られている。

【0005】

前者のタイプでコリメートレンズとして屈折率分布型ロッドレンズを用いると、このレンズは円柱状であり、光入出射面となる端面を平面とすることができると、光学フィルタや光ファイバと組み合わせて組み立て易く、また小型化が可能である(例えば、特許文献3参照)。

【0006】

光学フィルタとしては、所定波長帯の光のみ透過するバンドパスフィルタ、または所定波長を透過波長帯の端部(波長エッジ)とするエッジフィルタ(長波長透過型または短波長透過型がある)を用いることができる。

【特許文献1】特開平1-295210号公報

【特許文献2】特開昭63-33707号公報

【特許文献3】特開2003-240960号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ところで、上記特許文献3に記載された光カプラでは、各光学フィルタの反射光を利用するポートにおいては、アイソレーションが低い(通常12dB程度)という問題は解決できない。これは、各光学フィルタの波長特性により反射される特定波長帯の反射光を利用する場合、当該フィルタからの反射光中には、その特定波長帯の反射成分以外に、その波長特性に関係のない反射成分、つまり光学フィルタの入射面で反射される成分である残留反射成分が必ず存在するからである。

【0008】

本発明は、このような従来の問題点に着目してなされたものであり、その目的は、偏波依存損失を低減し、波長特性におけるエッジ波長近傍でも偏波依存性を低減できる光学フィルタを提供することにある。

【0009】

また、本発明の別の目的は、高いアイソレーションを有しかつ小型で安価な、光学フィルタを用いた波長多重光カプラを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記課題を解決するために、請求項1に係る発明は、入射光の光軸に対して入射面を傾斜して固定された誘電体多層膜によって構成される光学フィルタにおいて、前記誘電体多

10

20

30

40

50

層膜は高屈折率誘電体膜と低屈折率誘電体膜とが交互に多数積層され、前記高屈折率誘電体膜と低屈折率誘電体膜のいずれか一方或いは両方の光学膜厚を $3\lambda/4$ としたことを要旨とする。

【0011】

これによれば、光学フィルタにおける偏波依存損失（PDL）を低減でき、同光学フィルタの波長特性におけるエッジ波長近傍でも偏波依存性を低減することができる。

請求項2に係る発明は、請求項1に記載の光学フィルタにおいて、前記誘電体多層膜は、入射面と出射面の少なくとも一方が斜め面に形成された屈折率分布型ロッドレンズの前記斜め面に形成されたことを要旨とする。これによれば、屈折率分布型ロッドレンズの斜め面に形成された誘電体多層膜によって構成される光学フィルタにおける偏波依存損失を低減でき、同光学フィルタの波長特性におけるエッジ波長近傍でも偏波依存性を低減することができる。

10

【0012】

請求項3に係る発明は、複数の波長の光信号が多重化された入射光が1本の入射光用光ファイバから入射されたとき、前記入射光を波長毎の光信号に分離して、複数の出射光用光ファイバに振り分ける波長多重光カプラにおいて、前記入射光用光ファイバから出射され第1面から入射する前記入射光を平行光に変換して第2面から出射する第1のレンズと、該レンズの前記第2面側に配置され、前記複数の波長のうち第1の波長の光を反射する第1の光学フィルタを含む第1のフィルタ群と、前記第1の光学フィルタにより反射された平行光が前記第1面から出射して集光される位置に端面が位置するように配置された第1の出射光用光ファイバと、該光ファイバの端面と前記第1面の間に配置され、第1の波長の光を透過しそれ以外の波長の光を反射する第2の光学フィルタを含む第2のフィルタ群を構成する光学フィルタ素子と、を備え、前記光学フィルタ素子はその入射面が前記入射光の光軸に対して傾斜して配置され、前記第2のフィルタ群に加えて反射防止膜を備え、該反射防止膜は、前記入射光用光ファイバの端面から出射される前記入射光が通過する入射光通過領域に形成されており、前記第2の光学フィルタは、前記第1の光学フィルタからの反射光が通過する出射光通過領域に形成され高屈折率誘電体膜と低屈折率誘電体膜とが交互に多数積層された誘電体多層膜であり、前記高屈折率誘電体膜と低屈折率誘電体膜のいずれか一方或いは両方の光学膜厚を $3\lambda/4$ としたことを要旨とする。

20

【0013】

これによれば、複数の波長の光信号が多重化された入射光を波長毎の光信号に分離する波長多重光カプラにおいて、光学フィルタにおける偏波依存損失（PDL）を低減でき、同光学フィルタの波長特性におけるエッジ波長近傍でも偏波依存性を低減することができる。また、第1のレンズの第1面に第1の波長の光を透過しそれ以外の波長の光を反射する第2の光学フィルタを設けたことにより、第1のフィルタ群の第1の光学フィルタからの反射光中に存在する残留反射成分を除去できるので、第2の光学フィルタの透過光（第1の波長の光）にその波長以外の光が混入する量が低減される。したがって、第1の光学フィルタの反射光を利用するポートのアイソレーションが改善される。つまり、第2の光学フィルタを透過して第1の出射光用光ファイバに結合する透過光のアイソレーションを高くすることができる。

30

40

【0014】

請求項4に係る発明は、請求項3に記載の波長多重光カプラにおいて、前記第1のレンズの第1面が前記入射光の光軸に対して傾斜した平面であり、前記光学フィルタ素子は前記第1面に密着して設けられていることを要旨とする。これによれば、第1のレンズと光学フィルタ素子を一体化できるので、組立時の位置調整が容易になる。

【0015】

請求項5に係る発明は、請求項4に記載の波長多重光カプラにおいて、前記第1のレンズは、前記第1面に相当する第1の端面と前記第2面に相当する第2の端面とを有する屈折率分布型ロッドレンズであることを要旨とする。これによれば、第1のレンズ、入射光用光ファイバ、および第1の出射光用光ファイバをほぼ直線上に配置することができ、小

50

型で組立てが容易な波長多重光カプラを実現することができる。

【0016】

請求項6に係る発明は、請求項3～5のいずれか一つに記載の波長多重光カプラにおいて、前記第1のフィルタ群は、前記平行光の進行方向に沿って透過波長範囲が順に狭くなるように配列された複数の光学フィルタを含み、該複数の光学フィルタは、前記平行光に含まれる複数の波長の光信号をそれぞれ異なる方向に反射するように前記第1のレンズの光軸に対してそれぞれ異なる角度をなすように前記2面側に配置されており、前記第1の出射光用光ファイバは、前記第1のフィルタ群の各光学フィルタからの反射光がそれぞれ結合する位置に端面が位置するように配置された複数の光ファイバを含むことを要旨とする。

10

【0017】

これによれば、3種類以上の波長の光信号が多重化された入射光（波長多重信号）から各波長毎に光信号を分離して対応する各ポートの光ファイバに振り分けることができる。

請求項7に係る発明は、請求項6に記載の波長多重光カプラにおいて、前記第1のフィルタ群の全ての光学フィルタを透過して第3面から入射する入射光を、第4面から出射して集光する第2のレンズと、該第2のレンズにより集光された位置に端面が位置するように配置された第2の出射光用光ファイバと、をさらに含むことを要旨とする。これによれば、第1のフィルタ群の全ての光学フィルタを透過した光も利用することができる。

【0018】

請求項8に係る発明は、2波長の光信号が多重化された入射光が1本の入射光用光ファイバから入射されたとき、前記入射光を波長毎の光信号に分離して、2本の出射光用光ファイバに振り分ける波長多重光カプラにおいて、前記入射光用光ファイバから出射される入射光を該入射光の光軸に対して傾斜した第1面から入射し、平行光に変換して第2面から出射する第1のレンズと、該第1のレンズの第2面に対向して配置され前記平行光に変換された入射光に含まれる第1の波長の光を反射し第2の波長の光を透過する第1の光学フィルタと、前記第1の光学フィルタにより反射された第1の波長の光が前記第1のレンズを介して集光される位置に端面が位置するように配置された第1の出射光用光ファイバと、前記第1のレンズの前記第1面に直接成膜により形成され、第1の波長の光を透過しそれ以外の波長の光を反射する第2の光学フィルタと、前記第1の光学フィルタを透過した第2の波長の光を集光する第2のレンズと、前記第2の波長の光が前記第2のレンズを介して集光される位置に端面が位置するように配置された第2の出射光用光ファイバと、を備え、前記第1のレンズの第1面には、前記第2の光学フィルタと反射防止膜が形成されており、前記反射防止膜は、前記第1面上の、前記入射光用光ファイバの端面から出射される前記入射光が通過する入射光通過領域に形成されており、前記第2の光学フィルタは、前記第1の光学フィルタからの反射光が通過する出射光通過領域に形成され高屈折率誘電体膜と低屈折率誘電体膜とが交互に多数積層された誘電体多層膜であり、前記高屈折率誘電体膜と低屈折率誘電体膜のいずれか一方或いは両方の光学膜厚を $3\lambda/4$ としたことを要旨とする。

20

30

【0019】

これによれば、2波長の光信号が多重化された入射光を波長毎の光信号に分離する波長多重光カプラにおいて、光学フィルタにおける偏波依存損失（PDL）を低減でき、同光学フィルタの波長特性におけるエッジ波長近傍でも偏波依存性を低減することができる。また、第2の光学フィルタを設けたことにより、第1のフィルタからの反射光中に存在する残留反射成分を除去できるので、第2の光学フィルタの透過光（第1の波長の光）にその波長以外の光が混入する量が低減される。したがって、第1の光学フィルタの反射光を利用するポートのアイソレーションが改善され、2波長の光信号が多重化された入射光を波長毎の光信号に分離して、各出射光用光ファイバに振り分けることができ、小型で高アイソレーション特性を有する波長多重光カプラを実現することができる。

40

【0020】

請求項9に係る発明は、請求項8に記載の波長多重光カプラにおいて、前記第1の波長

50

と第2の波長は、1260～1360nm、1480～1500nm、および1550～1560nmの各波長範囲のいずれかを含むことを要旨とする。これによれば、第1の波長と第2の波長を上記3つの波長範囲のいずれかを選択することにより、FTTx用等の上り下り信号とアナログ画像信号を、既設の光ファイバ網に適合した波長域で伝送することが可能となる。

【0021】

請求項10に係る発明は、請求項3～9のいずれか一つに記載の波長多重光カプラにおいて、前記第1のレンズの第1面上の、前記入射光用光ファイバの端面から出射される前記入射光が通過する入射光通過領域を除いた部分で、少なくとも前記第1の光学フィルタからの反射光が通過する出射光通過領域に、所定の膜構成の誘電体多層膜が形成されており、前記誘電体多層膜の上から、前記第1のレンズの第1面の全面に、前記入射光の反射損失を抑制するための反射防止膜が形成されており、前記第2の光学フィルタは、前記所定の膜構成の誘電体多層膜と前記反射防止膜の積層膜で構成されることを要旨とする。

10

【0022】

これによれば、複数の波長の光信号が多重化された入射光が入射光用光ファイバから出射されて入射する第1のレンズの第1面には、反射防止膜が形成されているので、入射光が入射光用光ファイバへ戻るのを抑制できると共に、入射光の反射損失を低減することができる。また、反射防止膜は第1のレンズの第1面における入射光通過領域に形成され、出射光通過領域には形成されていないので、第2の光学フィルタの特性には影響を及ぼさない。また、第2の光学フィルタは、第1の光学フィルタにより分波された光（同フィルタからの反射光）のうち、第1の波長を透過してそれ以外の波長成分を反射することで、第1の出射光用光ファイバに結合される出射光のアイソレーションを向上させるが、入射光には影響を及ぼさない。

20

【発明の効果】

【0023】

以上説明したように、本発明によれば、光学フィルタにおける偏波依存損失を低減でき、光学フィルタの波長特性におけるエッジ波長近傍でも偏波依存性を低減することができる。本発明によれば、高いアイソレーションを有し、かつ小型で安価な波長多重光カプラを実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

30

【0024】

（一実施形態）

以下、本発明を具体化した一実施形態を図面に基づいて説明する。

[波長多重光カプラの構成]

図1は本発明の一実施形態に係る波長多重光カプラ1の構造を示している。

【0025】

この波長多重光カプラ1は、複数の波長（本例では2波長 λ_1 、 λ_2 ）の光信号が多重化された入射光（波長多重信号）が1本の入射光用光ファイバ23から入射されたとき、その入射光を波長毎の光信号に分離（分波）して、2つの出射光用光ファイバ26、24に振り分ける2波長用の波長多重光カプラである。

40

【0026】

この波長多重光カプラ1は、入射光に含まれる第1の波長 λ_1 の光を反射し第2の波長 λ_2 の光を透過する第1の光学フィルタ41が第2の端面である第2面31bに直接成膜により形成された第1のレンズとしての屈折率分布型ロッドレンズ31を備える。また、波長多重光カプラ1は、第1の光学フィルタ41で反射された第1の波長 λ_1 の光が屈折率分布型ロッドレンズ31（以下、「第1のレンズ」という）を介して集光される位置に端面が位置するように配置された第1の出射光用光ファイバ24を備える。また、波長多重光カプラ1は、第1のレンズ31の第1の端面である第1面31aに直接成膜により形成された第2の光学フィルタ43と、第1の光学フィルタ41を透過した第2の波長 λ_2 の光を集光する第2のレンズとしての屈折率分布型ロッドレンズ32とを備える。さらに

50

、波長多重光カプラ 1 は、第 2 の波長 λ_2 の光が屈折率分布型ロッドレンズ（以下、「第 2 のレンズ」という）3 2 を介して集光される位置に端面が位置するように配置された第 2 の出射光用光ファイバ 2 6 を備える。

【0027】

波長多重光カプラ 1 では、入射光用光ファイバ（共通ポート）2 3 から出射される 2 波長（1310nm と 1550nm の 2 波長）の光信号が多重化された入射光が、第 1 のレンズ 3 1 の第 1 面 3 1 a に入射する。この波長多重光カプラ 1 は、入射光を 2 波長に分離し、1310nm の光信号を第 1 の出射光用光ファイバ（第 2 ポート）2 4 から、1550nm の光信号を第 2 の出射光用光ファイバ（第 1 ポート）2 6 からそれぞれ出射するようになっている。以下、第 1 の波長 λ_1 を 1310nm、第 2 の波長 λ_2 を 1550nm として説明する。また以下の説明で、入射光用光ファイバ 2 3 と 2 つの出射光用光ファイバ 2 6、2 4 を、それぞれ光ファイバ 2 3、2 4、2 6 と呼ぶ。

【0028】

光ファイバ 2 3 と光ファイバ 2 4 は、円柱状ガラスに 2 つの細孔を貫通して設けた保持部材としてのキャピラリ 2 8 によって、各々の光軸（コア中心軸）が互いに平行になるように保持され、いわゆる 2 芯光ファイバピッグテール 2 1 を構成している。この 2 芯光ファイバピッグテール 2 1 の端面に対向して、第 1 のレンズ 3 1 が配置されている。2 芯光ファイバピッグテール 2 1 と第 1 のレンズ 3 1 の対向する各端面は、該各端面での反射光が光ファイバ 2 3 へ戻らないように光軸に対して 4～8° 程度傾斜した斜め面となっている。また、これらの各端面は、ほぼ平行であることが組立上好ましい。

【0029】

第 1 のレンズ 3 1 は、光ファイバ 2 3 から出射し第 1 面 3 1 a から入射した入射光を平行光に変換し、かつ第 2 面 3 1 b の光学フィルタ 4 1 で反射される平行光を集光して光ファイバ 2 4 に結合する役割を果たす。すなわち、2 芯光ファイバピッグテール 2 1 と第 1 のレンズ 3 1 との組み合わせで、2 芯光ファイバコリメータ 2 0 が構成されている。

【0030】

一方、1 本の光ファイバ 2 6 は、光ファイバ 2 3、2 4 と同様に、保持部材としてのキャピラリ 2 9 によって保持され、単芯光ファイバピッグテール 2 2 を構成している。この単芯光ファイバピッグテール 2 2 の端面に対向して、第 2 のレンズ 3 2 が配置される。単芯光ファイバピッグテール 2 2 と第 2 のレンズ 3 2 の対向する各端面は、該各端面での反射光が光ファイバ 2 3 へ戻らないように光軸に対して 4～8° 程度傾斜している。また、これらの各端面は、ほぼ平行であることが組立上好ましい。

【0031】

この第 2 のレンズ 3 2 は、単芯光ファイバピッグテール 2 2 に対向する端面（第 4 の端面 3 2 b）とは反対側の端面（第 3 の端面）3 2 a から入射する平行光を集光して光ファイバ 2 6 に結合する役割を果たす。すなわち、単芯光ファイバピッグテール 2 2 と第 2 のレンズ 3 2 との組み合わせで、単芯光ファイバコリメータ 1 0 が構成されている。

【0032】

2 芯光ファイバコリメータ 2 0 と単芯光ファイバコリメータ 1 0 は、平行光が結合できるように、第 1 のレンズ 3 1 の第 2 面 3 1 b と第 2 のレンズ 3 2 の第 3 の端面 3 2 a とを対向させて配置されている。

【0033】

本例の波長多重光カプラ 1 では、配置する位置によって 2 つのフィルタ群に分けられる光学フィルタとして 2 枚のエッジフィルタが使用される。第 1 のフィルタ群に属する第 1 の光学フィルタ 4 1 は、第 1 のレンズ 3 1 と第 2 のレンズ 3 2 の間に設けられる。第 2 のフィルタ群に属する第 2 の光学フィルタ 4 3 は、第 1 のレンズ 3 1 と光ファイバ 2 4 の間に設けられる。第 1 の光学フィルタ 4 1、第 2 の光学フィルタ 4 3 は、第 1 のレンズ 3 1 の第 2 面 3 1 b、第 1 面 3 1 a にそれぞれ直接成膜され、フィルタ付レンズ 3 3 として一体化されている。第 2 の光学フィルタ 4 3 は、光ファイバ 2 4 へ結合する光にだけ作用し、光ファイバ 2 3 から入射する光には作用しない位置に形成されている。

10

20

30

40

50

【0034】

ここで、第1のフィルタ群に属する第1の光学フィルタ41は、第1の波長 λ_1 の光を反射し、第2の波長 λ_2 の光を透過する。この光学フィルタ41は、波長 λ_2 の透過光が反射光に対して40dB以上のアイソレーションをとれるように設計するが、実際にはこの光学フィルタ41によって反射される光には透過波長域の残留反射成分が存在するため、反射ポートにおける波長 λ_1 の光と波長 λ_2 の光に対するアイソレーションは12dB程度である。ここにいう「反射光のアイソレーション」とは、第1の光学フィルタ41で反射される第1の波長 λ_1 の光に、その波長 λ_1 以外の波長の光が混入する量がどの程度かを示す漏話阻止量をいう。なお、以下の説明で「反射光のアイソレーション」を「反射アイソレーション」と呼ぶ。

10

【0035】

一方、第2の光学フィルタ43は、第1の波長 λ_1 の光を透過し、第2の波長 λ_2 の光を反射する。この光学フィルタ43は、図2(a), (b)に示すように、第1のレンズ31の第1面31a上の、第1の光学フィルタ41からの反射光が通過する出射光通過領域52に形成されており、光ファイバ23からの出射光が通過する入射光通過領域51には形成されていない。第2の光学フィルタ43は、第1の光学フィルタ41と重ねて設けられているため（つまり光学フィルタ41からの反射光が第2の光学フィルタ43に入射する構成であるため）、光学フィルタ41より特性が劣るものでよい。全体で40dB以上のアイソレーションを得るためには、上記反射アイソレーションが12dB程度であるので、透過光のアイソレーションは30dB以下でよく、安価な光学フィルタを用いることができる。ここにいう「透過光のアイソレーション」とは、第2の光学フィルタ43を透過する第1の波長 λ_1 の光に、その波長 λ_1 以外の波長の光が混入する量がどの程度かを示す漏話阻止量をいう。なお、以下の説明で「透過光のアイソレーション」を「透過アイソレーション」と呼ぶ。

20

【0036】

また、光ファイバ23からの出射光が入射するレンズ31の第1面31aには、反射による損失を低減するための反射防止膜50が設けられている（図2(a), (b)参照）。この反射防止膜50は、1250nmから1650nmの全波長域にわたって反射率が0.5%以下となるような特性を有する。また、この反射防止膜50は、図2(a), (b)に示すように、第1のレンズ31の第1面31a上の入射光通過領域51に形成されており、出射光通過領域52には形成されていない。

30

【0037】

第1のレンズ31の第1面31aに形成されている第2の光学フィルタ43と反射防止膜50は異なる膜構成となるため、通常成膜は別々に他方を遮蔽して行う必要がある。ただし、第1面31aにおいて、光ファイバ23からの出射光が通過する入射光通過領域51と光学フィルタ41からの反射光が通過する出射光通過領域52は僅か100 μ m程度しか離れていない。そのため、治具等による遮蔽（マスキング）は、成膜時に自然加熱された際に、その遮蔽部に熱膨張による変形が生じるなど位置精度の問題があり、困難である。

【0038】

そこで、本例では、その遮蔽を遮蔽膜の塗布によって行う、いわゆるリフトオフ法を用いる。すなわち、誘電体多層膜である第2の光学フィルタ43を形成しない部分に樹脂等を塗布して遮蔽（マスキング）し、その上に誘電体多層膜を成膜する。次いで下地の樹脂（遮蔽部）を溶解して誘電体多層膜と共に除去し、第1面31aの一部分にのみ誘電体多層膜を付着させる。反射防止膜50を誘電体多層膜上に形成する場合についても同様の手順を繰り返す。

40

【0039】

上記構成を有する波長多重光カプラ1では、2芯光ファイバピグテール21とフィルタ付レンズ33は、微小な間隙を残したまま、周囲をエポキシ樹脂60で固定されている（図1参照）。また、第1の光学フィルタ41を透過した第2の波長 λ_2 の光が最小損失

50

で光ファイバ 26 に結合するように、単芯光ファイバピグテール 22 を調芯した後、第 2 のレンズ 32 と単芯光ファイバピグテール 22 は、微小な間隙を残したまま、周囲をエポキシ樹脂 60 で固定されている（図 1 参照）。

【0040】

また、波長多重光カプラ 1 は、図 1 に示すように全部品を調芯してエポキシ樹脂 60 で固定する作業が終了した後、保護用のケース（ハウジング）を被せて最終形態とするのが望ましい。そのケースの外形は小型の管状とすることができ、この場合その直径が数 mm、長さが数 10 mm である。

【0041】

上記波長多重光カプラ 1 の製造方法は、次の点に特徴がある。つまり、第 2 の光学フィルタ 43 を、第 1 のレンズ 31 の第 1 面 31a 上の出射光通過領域 52 に形成し、入射光通過領域 51 には形成しないようにする。反射防止膜 50 を、第 1 面 31a 上の入射光通過領域 51 に形成し、出射光通過領域 52 には形成しないようにする。

【0042】

波長多重光カプラの製造方法は、以下の工程を含む。

（工程 1）第 1 のレンズ 31 の第 1 面 31a 上の入射光通過領域 51 をマスクする工程（図 3（a）参照）。この工程では、図 3（a）および図 4（a）に示すように、入射光通過領域 51 のみを覆うように遮蔽材料 53 を塗布する。

【0043】

（工程 2）遮蔽材料 53 で入射光通過領域 51 がマスクされた第 1 面 31a に、誘電体多層膜 54 を成膜する工程（図 3（b）参照）。

（工程 3）マスクとしての遮蔽材料 53 を該遮蔽材料 53 上に成膜された誘電体多層膜 54 と共に除去する工程（図 3（c）参照）。

【0044】

（工程 4）第 1 面 31a 上に成膜された誘電体多層膜 54 上の、出射光通過領域 52 をマスクする工程（図 3（d）参照）。この工程では、図 3（d）および図 4（b）に示すように、出射光通過領域 52 のみを覆うように遮蔽材料 55 を塗布する。

【0045】

（工程 5）出射光通過領域 52 がマスクされた誘電体多層膜 54 上に、反射防止膜 50 を成膜する工程（図 3（e）参照）。

（工程 6）マスクとしての遮蔽材料 55 をその上に成膜された反射防止膜 50 と共に除去する工程（図 3（f）参照）。

【0046】

以上の工程により、第 2 の光学フィルタ 43 は、第 1 のレンズ 31 の第 1 面 31a 上の出射光通過領域 52 に形成され、入射光通過領域 51 には形成されない。また、反射防止膜 50 は、第 1 面 31a 上の入射光通過領域 51 に形成され、出射光通過領域 52 には形成されない。

【0047】

次に、上記一実施形態の各実施例を説明する。

（実施例）

各実施例の波長多重光カプラ 1 では、管状である保護用のケース（図示省略）の直径を 5.5 mm とし、その長さを約 40 mm とした。また、この波長多重光カプラ 1 では、光通信規格 B-PON に準拠した以下の特性を目標仕様とした。

【0048】

透過アイソレーション 40dB 以上（波長域：1260-1360, 1480-1500nm）

反射アイソレーション 40dB 以上（波長域：1550-1565nm）

透過挿入損失 0.7dB 以下（波長域：1260-1360, 1480-1500nm）

反射挿入損失 0.7dB 以下（波長域：1550-1565nm）

偏波依存損失 0.2dB 以下（上記全波長域で）

各実施例の波長多重光カプラ 1 では第 1 の光学フィルタ 41 として、直径 1.8 mm の

10

20

30

40

50

屈折率分布型ロッドレンズで構成した第1のレンズ31の第2面31bに、1310nm帯、1490nm帯の光を反射し、かつ1530nm帯の光を透過する波長特性のエッジフィルタを形成した。このエッジフィルタは、SiO₂とTiO₂を交互に多数積層した誘電体多層膜である。

【0049】

次いで、図2(a)、(b)に示すように、第1のレンズ31の第1面(斜め面)31a上の入射光通過領域51を除いた部分で、少なくとも出射光通過領域52に、1310nm帯、1490nm帯の光をそれぞれ透過し、かつ1530nm帯の光を反射する波長特性の誘電体多層膜43Aを形成した。この誘電体多層膜43Aは、高屈折率材料のTiO₂を主成分とする高屈折率誘電体膜と、低屈折率材料のSiO₂を主成分とする低屈折率誘電体膜とを交互に交互に積層した誘電体多層膜で、つぎの4通りの膜構成のもの(実施例1～実施例4)を作製した。

【0050】

(実施例1)

実施例1の詳細な膜構成を下記の表1に示す。また、この誘電体多層膜の理論光学特性を図8の曲線64に示す。図9の曲線66は実施例1の偏波依存損失を示している。

【0051】

【表1】

実施例1の第2の光学フィルタ(設計波長:1760nm)

1	0.8968S	2	0.0988T	3	0.5438S	4	0.7993T	5	0.1307S
6	0.6164T	7	1.0012S	8	0.252T	9	0.3075S	10	0.9085T
11	0.8301S	12	0.0573T	13	0.4395S	14	1.0971T	15	1.0471S
16	1.0993T	17	1.0675S	18	1.0031T	19	0.9898S	20	1.0717T
21	0.9998S	22	1.0084T	23	0.9836S	24	1.0358T	25	1.0003S
26	0.9986T	27	0.9997S	28	1.0024T	29	1.0035S	30	1.0014T
31	0.9986S	32	1.0053T	33	0.9762S	34	1.0251T	35	0.991S
36	0.9935T	37	0.998S	38	1.0009T	39	1.0004S	40	0.9977T
41	0.9957S	42	0.9971T	43	0.9999S	44	1T	45	0.9983S
46	0.997T	47	0.9977S	48	0.9998T	49	1.0007S	50	1.0002T
51	0.9987S	52	0.9989T	53	1.0003S	54	1.0049T	55	1.0056S
56	0.9997T	57	0.9961S	58	1.0254T	59	0.9885S	60	1.0406T
61	0.98S	62	1.0292T	63	1.0463S	64	1.0192T	65	1.0338S
66	1.0842T	67	1.1236S	68	1.0482T	69	0.6098S		

数字はλ/4を単位とする光学薄膜。TはTiO₂膜、SはSiO₂膜を表わす。

次いで、図2(a)、(b)に示すように、反射防止膜50を第1面31a上の入射光通過領域51に形成した。この反射防止膜50は、SiO₂とTiO₂を交互に11層積層した構成となっている。この反射防止膜50の理論特性は図7の曲線63で示す特性と同様である。

【0052】

図10は、実施例1の偏波依存性のシミュレーション値を示している。図10で、曲線67は入射角0°での特性を示し、曲線68と曲線69は、入射角20°での偏光のP成分の特性とそのS成分の特性をそれぞれ示している。

【0053】

(実施例2)

実施例2の詳細な膜構成を下記の表2に示す。また、この誘電体多層膜の理論光学特性は図8の曲線64で示す特性と同様であり、図示を省略する。図9の曲線65は実施例2の偏波依存損失(PDL)を示している。この図9から、実施例2の偏波依存損失が実施例1よりも小さいことが分かる。

【0054】

【表 2】

実施例2の第2の光学フィルタ(設計波長:1760nm)

1	0.94694S	2	0.10646T	3	0.5804S	4	0.85273T	5	0.13869S
6	0.65743T	7	1.06782S	8	0.26781T	9	0.32778S	10	0.96643T
11	0.8846S	12	0.05352T	13	0.80238S	14	3.53177T	15	3.21531S
16	2.99949T	17	3.02905S	18	2.92121T	19	3.00507S	20	2.88374T
21	3.00546S	22	2.85937T	23	3.01554S	24	2.83471T	25	3.02905S
26	2.81642T	27	3.03933S	28	2.80282T	29	3.0453S	30	2.799T
31	3.04647S	32	2.79675T	33	3.04774S	34	2.79949T	35	3.04363S
36	2.81084T	37	3.03482S	38	2.82816T	39	3.022S	40	2.85223T
41	3.01221S	42	2.87728T	43	3.01084S	44	2.91563T	45	3.03336S
46	2.99215T	47	3.20983S	48	3.50408T	49	0.93109S		

数字は $\lambda/4$ を単位とする光学薄膜。TはTiO₂膜、SはSiO₂膜を表わす。

10

次いで、図2(a), (b)に示すように、実施例1と同様の反射防止膜50を第1面31a上の入射光通過領域51に形成した。

【0055】

図11は、実施例2における第2の光学フィルタ43の偏波依存性のシミュレーション値を示している。図11で、曲線70は入射角0°での特性を示し、曲線71と曲線72は、入射角20°での偏光のP成分の特性とそのS成分の特性をそれぞれ示している。

【0056】

図10と図11を比較すると、実施例2の方が実施例1よりも、偏光分離（偏波依存性）の度合いが小さくなることが分かる。

このように実施例2では、第1の光学フィルタ41、第2の光学フィルタ43が第1のレンズ31の第2面31b、第1面31aにそれぞれ成膜されたフィルタ付レンズ33が作製される。このフィルタ付レンズ33の測定結果を図12(a), (b)に示す。図12(a), (b)の縦軸は挿入損失の逆数である。すなわち入射ポートに入射した光の強度に対して反射ポートおよび透過ポートで観測される光の強度の比をdB単位で示している。図12(b)は図12(a)の損失の小さい部分を拡大したものである。

【0057】

図12(a), (b)の曲線73は、透過光出射ポート（上記実施形態の光ファイバ26）から出射される光の強度を示しており、上記 λ_2 に相当する1550nm帯の光の強度と λ_1 に相当する1310nm帯または1490nm帯の光の強度の比は40dB以上に達しており、上記透過アイソレーションの目標仕様が達成されていることがわかる。また図12(b)によれば1550nm帯における挿入損失は0.2~0.3dB程度であり、上記透過挿入損失の目標仕様が満たされていることがわかる。

30

【0058】

一方、曲線74は反射光出射ポート（同実施形態の光ファイバ24）から出射される光の強度を示しており、上記 λ_1 に相当する1310nm帯または1490nm帯の光の強度と λ_2 に相当する1550nm帯の光の強度との比は40dB以上に達しており、上記反射アイソレーションの目標仕様が達成されていることが分かる。また、図12(b)によれば1310nm帯または1490nm帯における挿入損失は0.3~0.7dB程度であり、上記透過挿入損失の目標仕様が満たされていることがわかる。

40

【0059】

また、実施例2の第2の光学フィルタ43の偏波依存損失の測定結果を図13に示す。この図13から、上記目標仕様（偏波依存損失の目標仕様）が達成されていることが分かる。

【0060】

（実施例3）

実施例3の波長多重光カプラ1では、上記実施例1と同様に上記の特性を目標仕様とした。実施例3では、エッジフィルタである第2の光学フィルタ43の誘電体多層膜54は

50

、 TiO_2 を主成分とする高屈折率誘電体膜と、 SiO_2 を主成分とする低屈折率誘電体膜とを交互に49層積層した誘電体多層膜である（下記の表3参照）。この誘電体多層膜54の膜構成は、高屈折率誘電体膜の光学膜厚を $\lambda/4$ とし、低屈折率誘電体膜の光学膜厚を $3\lambda/4$ としている。この誘電体多層膜の理論特性を図14の曲線76で示す。

【0061】

【表3】

実施例3の第2の光学フィルタ(設計波長:1650nm)

1	0.9515S	2	0.1041T	3	0.5818S	4	0.8527T	5	0.1368S
6	0.6585T	7	1.0677S	8	0.268T	9	0.3261S	10	0.9698T
11	0.8835S	12	0.00004T	13	0.93744S	14	1.92922T	15	3.16487S
16	1.27438T	17	2.91021S	18	1.14673T	19	2.96944S	20	1.01845T
21	3.13524S	22	0.70789T	23	3.2184S	24	0.79191T	25	3.13622S
26	0.88927T	27	3.08116S	28	0.9056T	29	3.0918S	30	0.86331T
31	3.15868S	32	0.74704T	33	3.22172S	34	0.69946T	35	3.16664S
36	0.88744T	37	3.12776S	38	0.81917T	39	3.16393S	40	0.82471T
41	3.10952S	42	0.98686T	43	2.99812S	44	1.13277T	45	2.92273S
46	1.27454T	47	3.22684S	48	0.37321T	49	0.97235S		

数字は $\lambda/4$ を単位とする光学薄膜。Tは TiO_2 膜、Sは SiO_2 膜を表わす。

図15は、実施例3における第2の光学フィルタ43の偏波依存性のシミュレーション値を示している。図15で、曲線77は入射角 0° での特性を示し、曲線78と曲線79は、入射角 20° での偏光のP成分の特性とそのS成分の特性をそれぞれ示している。

【0062】

図10と図15を比較すると、実施例3の方が実施例1よりも、偏光分離（偏波依存性）の度合いが小さくなるのが分かる。このように、実施例3の第2の光学フィルタ43でも、偏光分離が明らかに改善されており、上記目標仕様（偏波依存損失の目標仕様）が達成されている。

【0063】

（実施例4）

実施例4の波長多重光カプラ1では、上記実施例1と同様に上記の特性を目標仕様とした。実施例4では、エッジフィルタである第2の光学フィルタ43の誘電体多層膜54は、 TiO_2 を主成分とする高屈折率誘電体膜と、 SiO_2 を主成分とする低屈折率誘電体膜とを交互に49層積層した誘電体多層膜である（下記の表4参照）。この誘電体多層膜の膜構成は、高屈折率誘電体膜の光学膜厚を $3\lambda/4$ とし、低屈折率誘電体膜の光学膜厚を $\lambda/4$ としている。この誘電体多層膜の理論特性を図16の曲線80で示す。

【0064】

【表4】

実施例4の第2の光学フィルタ(設計波長:1650nm)

1	0.9515S	2	0.1041T	3	0.5818S	4	0.8527T	5	0.1368S
6	0.6585T	7	1.0677S	8	0.268T	9	0.3261S	10	0.9698T
11	0.8835S	12	0.00043T	13	0.86408S	14	3.48762T	15	1.58551S
16	2.81695T	17	1.41483S	18	2.67751T	19	1.35327S	20	2.70713T
21	1.25663S	22	2.8267T	23	1.11298S	24	2.97578T	25	0.95014S
26	3.05176T	27	0.9453S	28	2.96315T	29	1.1224S	30	2.7793T
31	1.25621S	32	2.69092T	33	1.23533S	34	2.83097T	35	1.06817S
36	3.04234T	37	0.85226S	38	3.09417T	39	1.01818S	40	3.3015T
41	0.31607S	42	2.99096T	43	1.45256S	44	2.52748T	45	1.50301S
46	2.73658T	47	1.62468S	48	3.53806T	49	0.85678S		

数字は $\lambda/4$ を単位とする光学薄膜。Tは TiO_2 膜、Sは SiO_2 膜を表わす。

図17は、実施例4における第2の光学フィルタ43の偏波依存性のシミュレーション値を示している。図17で、曲線81は入射角 0° での特性を示し、曲線82と曲線83は、入射角 20° での偏光のP成分の特性とそのS成分の特性をそれぞれ示している。

【0065】

10

20

30

40

50

図10と図17を比較すると、実施例4の方が実施例1よりも、偏光分離（偏波依存性）の度合いが共に小さくなることが分かる。このように、実施例4の第2の光学フィルタ43でも、偏光分離が明らかに改善されており、上記目標仕様（偏波依存損失の目標仕様）が達成されている。

【0066】

また、実施例4における第2の光学フィルタ43によれば、図17から明らかなように、入射角による波長変動量を上記各実施例よりも更に少なくすることができる。これにより、上記第1のレンズ31の第1面（斜め面）31aに第1の光学フィルタ41で反射された収束光が入射する際に発生するエッジ波長付近での波長特性の鈍りによる偏光分離（偏波依存損失）の生じる波長帯域を狭めることができる。

10

【0067】

以上説明したように、エッジフィルタである一実施形態に係る第2の光学フィルタ43は、高屈折率材料の TiO_2 を主成分とする高屈折率誘電体膜と、低屈折率材料の SiO_2 を主成分とする低屈折率誘電体膜とを交互に多数積層した誘電体多層膜54である。この誘電体多層膜54の膜構成の特徴は、高屈折率誘電体膜と低屈折率誘電体膜のいずれか一方或いは両方の光学膜厚を $3\lambda/4$ とした点にある。

【0068】

以上のように構成された一実施形態によれば、以下の作用効果を奏する。

○一般に、波長多重光カプラに屈折率分布型ロッドレンズを用いる場合、入射ポートの光ファイバからの入射光が同レンズの入射面で反射されて入射ポートへ戻るのを（リターンロス）抑制するために、その入射面が斜めに加工されている。この斜め面に成膜される光学フィルタは偏波依存性が大きい。屈折率分布型ロッドレンズの入射面と反対側の出射面から出射する光はコリメートされ広がりをもった平行光である。一方、その平行光に含まれる特性波長の光が光学フィルタで反射されて入射面から出射する光は、出射ポートの光ファイバとの結合のため収束光となっている。このため、斜め面である入射面に成膜された光学フィルタの膜面に対して斜めに入射する斜め入射成分が増大し、これによりその光学フィルタでは、エッジ波長付近で大きな偏波依存性が生じる。エッジ波長のシフトに伴うエッジ波長付近での波長特性の鈍りが偏波依存性低減の支障となっていた。

20

【0069】

これに対して、第1実施形態によれば、屈折率分布型ロッドレンズで構成される第1のレンズ31の斜め面である第1面31aに形成される第2の光学フィルタ43の誘電体多層膜54は、高屈折率誘電体膜と低屈折率誘電体膜のいずれか一方或いは両方の光学膜厚を $3\lambda/4$ としている。これにより、第2の光学フィルタ43における偏波依存損失（PDL）を低減でき、同光学フィルタの波長特性におけるエッジ波長近傍でも偏波依存性を低減することができる。

30

【0070】

○第1のレンズ31の第1面31aに第1の波長 λ_1 の光を透過しそれ以外の波長の光を反射する第2の光学フィルタ43を設けたことにより、第1の光学フィルタ41からの反射光中に存在する残留反射成分を除去できる。これにより、第2の光学フィルタ43の透過光（第1波長 λ_1 の光）にその波長以外の光が混入する量が低減される。したがって、第1の光学フィルタ41の反射光を利用するポートのアイソレーションが改善される。つまり、第2の光学フィルタ43を透過して第1の出射光用光ファイバ24に結合する透過光のアイソレーションを高くすることができる。なお、第2の光学フィルタ43の理論特性を図6の曲線62で示す。

40

【0071】

○第1のレンズ31は第1面31aと第2面31bを有する屈折率分布型ロッドレンズとし、入射光用光ファイバ23と第1の出射光用光ファイバ24は、該各光ファイバのコア中心軸が互いに平行になるようにキャピラリ28に保持されている。これにより、第1のレンズ31、入射光用光ファイバ23、および第1の出射光用光ファイバ24をほぼ直線上に配置することができ、小型で組立てが容易な波長多重光カプラ1を実現することが

50

できる。

【0072】

○第1の光学フィルタ41は、第1のレンズ31の第2面31bに密着されている。これによれば、第1のレンズ31を構成する屈折率分布型ロッドレンズは光が入射する端面および出射する端面を平面とすることができるため、同ロッドレンズの第2面31bに平板状の光学フィルタ41を密着させることが容易である。また、屈折率分布型ロッドレンズは、その端面をその光軸に対して傾斜するように加工することが容易であり、第2面31bに光学フィルタ41を密着させることにより、光学フィルタ41の角度が容易に調整できる。また、光学フィルタ41が屈折率分布型ロッドレンズの第2面31bに密着したフィルタ付レンズ33を用いることにより、部品点数が減るので、組立てが容易な波長多重光カプラ1を実現することができる。

10

【0073】

○第2のフィルタ群に属する第2の光学フィルタ43を誘電体多層膜とし、該誘電体多層膜が第1のレンズ31の第1面31aに直接成膜して形成されている。これによれば、波長多重光カプラ1の組立てが大幅に容易になる。

【0074】

○入射光用光ファイバ23と第1の出射光用光ファイバ24が保持部材としてのキャピラリ28で保持された2芯光ファイバピグテール21を構成することにより、これらの光ファイバ23、24の取り扱いおよび調芯が容易になる。

【0075】

○第1の光学フィルタ41を透過して第3の端面32aから入射する入射光を、第4の端面32bから出射して集光する第2のレンズ32と、該レンズ32により集光された位置に端面が位置するように配置された第2の出射光用光ファイバ26とを含むので、第1の光学フィルタ41を透過した光も利用することができる。なお、第1の光学フィルタ41の理論特性を図5の曲線61で示す。

20

【0076】

○第1の波長 λ_1 は1260～1360nm、1480～1500nmの波長範囲とし、第2の波長 λ_2 は1550～1560nmの波長範囲とすることで、FTTx用等の上り下り信号とアナログ画像信号を、既設の光ファイバ網に適合した波長域で伝送することが可能となる。

30

【0077】

○第1のレンズ31の第1面31aには、第2の光学フィルタ43と反射防止膜50が直接成膜により形成されている。反射防止膜50は、第1面31a上の、入射光用光ファイバ23の端面から出射される入射光が通過する入射光通過領域51に形成されており、該入射光通過領域51には第2の光学フィルタ43は形成されていない。また、第2の光学フィルタ43は、第1面31a上の、第1の光学フィルタ41からの反射光が通過する出射光通過領域52に形成されており、該出射光通過領域52には反射防止膜50は形成されていない。このような構成により、2種類の波長 λ_1 、 λ_2 の光信号が多重化された入射光が入射光用光ファイバ23から出射されて入射する第1のレンズ31の第1面31aには、反射防止膜50が形成されているので、入射光が入射光用光ファイバ23へ戻るのを抑制できると共に、入射光の反射損失を低減することができる。また、反射防止膜50は第1のレンズ31の第1面31aにおける入射光通過領域51に形成され、出射光通過領域52には形成されていないので、第2の光学フィルタ43の特性には影響を及ぼさない。また、第2の光学フィルタ43は、第1の光学フィルタ41により分波された光のうち、第1の波長 λ_1 の光を透過してそれ以外の波長成分を反射することで、第1の出射光用光ファイバ24に結合される出射光のアイソレーションを向上させるが、入射光には影響を及ぼさない。なお、反射防止膜50の理論特性を図8の曲線64で示す。

40

【0078】

○エッジフィルタである第2の光学フィルタ43は、 TiO_2 を主成分とする高屈折率誘電体膜と、 SiO_2 を主成分とする低屈折率誘電体膜とを交互に49層積層した誘電体

50

多層膜である。この誘電体多層膜の膜構成は、高屈折率誘電体膜と低屈折率誘電体膜の両方の光学膜厚を $3\lambda/4$ としている。このような構成により、第2の光学フィルタ43における偏波依存損失(PDL)を低減でき、同光学フィルタ43の波長特性におけるエッジ波長近傍でも偏波依存性を低減することができる。

【0079】

なお、この発明は以下のように変更して具体化することもできる。

・上記第1実施形態では、第2の光学フィルタ43を第1のレンズ31の第1面31a側に成膜し、その上に反射防止膜50を成膜している(図2(a)参照)が、反射防止膜50を第1面31a側に成膜し、その上に第2の光学フィルタ43を成膜する構成にも本発明は適用可能である。この場合にも、第2の光学フィルタ43は、第1面31a上の出射光通過領域52に形成し、入射光通過領域51には形成しないようにする。また、反射防止膜50は、第1面31a上の入射光通過領域51に形成し、出射光通過領域52には形成しないようにする。

10

【0080】

・上記実施形態では、第1の光学フィルタ41は第1のレンズ31の第2面31bに直接成膜したが、ガラス基板の両側端面に第1の光学フィルタを含む第1のフィルタ群を形成した光学フィルタチップを、両レンズ31、32間に固定しても良い。4種類以上の波長(4波長以上)の光の合分波を行う場合には、そのような光学フィルタチップの仕様は必須となる。

【0081】

20

・上記各実施形態では、第2の光学フィルタ43と反射防止膜50が第1のレンズの第1面31aの全面に成膜されて直付けされた構成例を説明したが、本発明はこのような構成に限定されない。例えば、第2の光学フィルタ43を含む第2のフィルタ群を構成する「光学フィルタ素子」が、第1の出射光用光ファイバ24の端面と第1面31aの間で、入射面が入射光の光軸に対して傾斜して配置されている。そして、この光学フィルタ素子は、第2のフィルタ群に加えて反射防止膜50を備える。このような構成の波長多重光カプラにも本発明は適用可能である。

【0082】

・上記実施形態において、1550nmの光信号を第1の出射光用光ファイバ(第2ポート)24から、1310nmまたは1490nmの光信号を第2の出射光用光ファイバ(第1ポート)26からそれぞれ出射するように構成してもよい。

30

【0083】

・また、各光学フィルタ41、43をバンドパスフィルタを使用して構成することも可能である。もちろん、使用波長は上記実施形態における2波長(λ_1 、 λ_2)には限られず、3波長以上であってもよい。例えば、1260~1360nm、1480~1500nm、1550~1560nmの波長範囲から各波長を選択することもできる。

【0084】

・光学フィルタ43は、光ファイバ24へ結合する光にだけ作用し、光ファイバ23から入射する光には作用しないような形状であれば、どのような形状でもよい。

・上記実施形態では、波長多重光カプラ1は、波長多重光を分波する光分波器の構成について説明したが、まったく同じ構成の波長多重光カプラは2波長の光信号を多重化して1本の光ファイバに結合する合波器としても使用できる。この場合は、入射光用光ファイバ23が出射光用光ファイバとなり、各出射光用光ファイバがそれぞれ入射光用光ファイバとなる。

40

【0085】

・上記実施形態で説明した波長多重光カプラは、OLT、ONUに組み込みことができるだけでなく、(O/E)変換器、(E/O)変換器等、他の光電子デバイスに広く適用可能である。

【0086】

・上記実施形態では、第1のフィルタ群に属する光学フィルタとして、第1の光学フィ

50

ルタ 4 1 のみを用いた構成について説明したが、第 1 のフィルタ群が、平行光の進行方向に沿って透過波長範囲が順に狭くなるように配列された複数の光学フィルタを含む構成にも本発明は適用可能である。この場合、第 1 のフィルタ群の複数の光学フィルタは、第 1 のレンズ 3 1 から出射される平行光に含まれる複数の波長の光信号をそれぞれ異なる方向に反射するように、第 1 のレンズ 3 1 の光軸に対してそれぞれ異なる角度をなすように第 2 面 3 1 b 側に配置される。また、この場合、第 1 の出射光用光ファイバ 2 4 に代えて、第 1 のフィルタ群の各光学フィルタからの反射光がそれぞれ結合する位置に端面が位置するように複数の光ファイバが配置される。これによれば、3 種類以上の波長の光信号が多重化された入射光（波長多重信号）から各波長毎に光信号を分離して対応する各ポートの光ファイバに振り分けることができる。

10

【0087】

また、前記第 1 のフィルタ群における複数の光学フィルタのうち、第 2 面 3 1 b に最も近い位置に配置される光学フィルタ、例えば光学フィルタ 4 1 は第 2 面 3 1 b に密着させる。これによれば、第 1 のレンズ 3 1 を構成する屈折率分布型ロッドレンズは光が入射する端面および出射する端面を平面とすることができるため、同ロッドレンズの第 2 面に平板状の光学フィルタを密着させることが容易である。また、同ロッドレンズの端面をその光軸に対して傾斜するように加工することが容易であり、その第 2 面に光学フィルタを密着させることにより、光学フィルタの角度が容易に調整できる。また、光学フィルタがロッドレンズの端面に密着したフィルタ付きロッドレンズを用いることにより、部品点数が減るので、組立てが容易な波長多重光カプラを実現することができる。

20

【0088】

・上記実施形態では、第 2 のフィルタ群に属する第 2 の光学フィルタ 4 3 を誘電体多層膜とし、該誘電体多層膜を第 1 のレンズの第 1 面 3 1 a に直接成膜して形成してあるが、第 2 の光学フィルタ 4 3 を第 1 の出射光用光ファイバ 2 4 の端面に直接成膜して形成した構成にも本発明は適用可能である。

【0089】

・上記実施形態では、入射光用光ファイバ 2 3 と第 1 の出射光用光ファイバ 2 4 が保持部材としてのキャピラリ 2 8 で保持された 2 芯光ファイバピグテール 2 1 を用いた構成について一例として説明したが、3 本以上の光ファイバがキャピラリ 2 8 に保持された多芯光ファイバピグテールを用いた構成にも本発明は適用可能である。また、単芯光ファイバピグテール 2 2 に代えて、2 本以上の光ファイバがキャピラリ 2 9 に保持された多芯光ファイバピグテールを用いた構成にも本発明は適用可能である。

30

【0090】

・上記実施形態において、第 2 のレンズ 3 2 は、第 3 の端面（第 3 面）3 2 a と第 4 の端面（第 4 面）3 2 b を有する第 2 の屈折率分布型ロッドレンズとし、第 1 のフィルタ群における複数の光学フィルタのうち、第 3 の端面 3 2 a に最も近い位置に配置される光学フィルタは、第 3 の端面 3 2 a に密着させる。このような構成の波長多重光カプラにも本発明は適用可能である。これによれば、第 2 のレンズ 3 2 の第 3 の端面に平板状の光学フィルタを密着させることが容易である。また、同レンズの第 3 の端面に光学フィルタを密着させることにより、光学フィルタの角度が容易に調整できる。また、光学フィルタが第 3 の端面に密着したフィルタ付きロッドレンズを用いることにより、部品点数が減るので、組立てが更に容易な波長多重光カプラを実現することができる。

40

【0091】

・第 2 のレンズ 3 2 である第 2 の屈折率分布型ロッドレンズの第 3 の端面 3 2 a に密着させた光学フィルタを誘電体多層膜とし、該誘電体多層膜を第 3 の端面に直接成膜して形成するようにしてもよい。これによれば、第 2 の屈折率分布型ロッドレンズの第 3 の端面に誘電体多層膜である光学フィルタを直接成膜して形成することにより、フィルタ付きロッドレンズを大量に生産するのが容易になる。

【図面の簡単な説明】

【0092】

50

【図 1】一実施形態に係る波長多重光カプラを示す概略構成図。

【図 2】(a) は同カプラの第 1 のレンズを示す拡大図、(b) は図 2 (a) の B 部の拡大図。

【図 3】(a) ~ (f) は第 1 のレンズの第 1 面に第 2 の光学フィルタと反射防止膜を成膜する手順を示す工程図。

【図 4】(a) は同第 1 面を示し図 3 (a) のマスキング工程を示す説明図、(b) は図 3 (d) のマスキング工程を示す説明図。

【図 5】第 1 の光学フィルタとしてのエッジフィルタの理論特性を示すグラフ。

【図 6】第 2 の光学フィルタとしてのエッジフィルタの理論特性を示すグラフ。

【図 7】反射防止膜の理論特性を示すグラフ。

10

【図 8】実施例 1 のエッジフィルタの理論特性を示すグラフ。

【図 9】実施例 1 と実施例 2 各々の偏波依存損失を示すグラフ。

【図 10】実施例 1 における偏波依存性のシミュレーション値を示すグラフ。

【図 11】実施例 2 の第 2 の光学フィルタにおける偏波依存性のシミュレーション値を示すグラフ。

【図 12】(a) は実施例 2 における挿入損失の測定結果を示すグラフ、(b) は図 12 (a) の損失の小さい部分を拡大したグラフ。

【図 13】実施例 2 における偏波依存損失を示すグラフ。

【図 14】実施例 3 における第 2 の光学フィルタの理論特性を示すグラフ。

【図 15】同光学フィルタにおける偏波依存性のシミュレーション値を示すグラフ。

20

【図 16】実施例 4 における第 2 の光学フィルタの理論特性を示すグラフ。

【図 17】同光学フィルタにおける偏波依存性のシミュレーション値を示すグラフ。

【図 18】従来例を示す概略構成図。

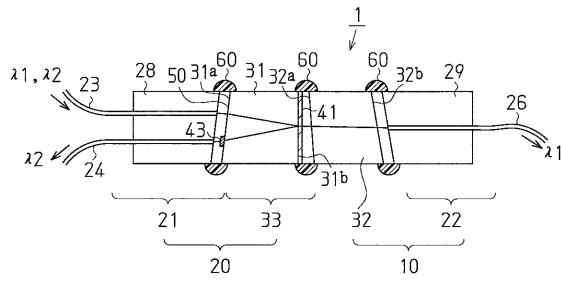
【符号の説明】

【0093】

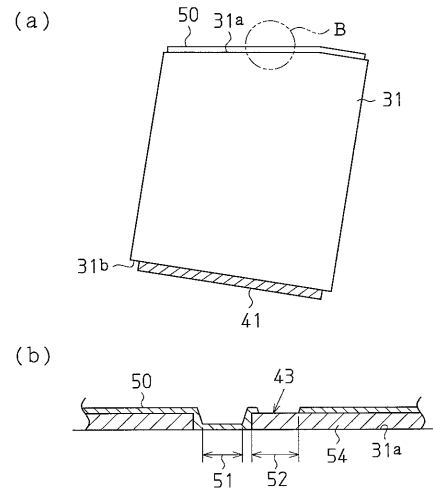
λ_1 … 第 1 の波長、 λ_2 … 第 2 の波長、1 … 波長多重光カプラ、23 … 入射光用光ファイバ、24 … 第 1 の出射光用光ファイバ、26 … 第 2 の出射光用光ファイバ、31 … 屈折率分布型ロッドレンズ (第 1 のレンズ)、31a … 第 1 の端面である第 1 面、31b … 第 2 の端面である第 2 面、32 … 屈折率分布型ロッドレンズ (第 2 のレンズ)、32a … 第 3 の端面、32b … 第 4 の端面、41 … 第 1 の光学フィルタ、43 … 第 2 の光学フィルタ、50 … 反射防止膜、51 … 入射光通過領域、52 … 出射光通過領域、54 … 誘電体多層膜。

30

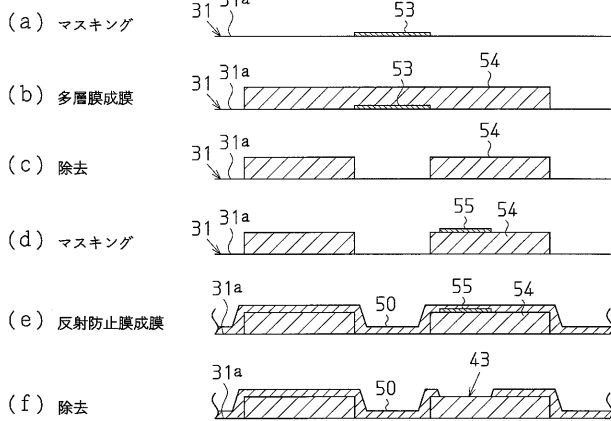
【図 1】



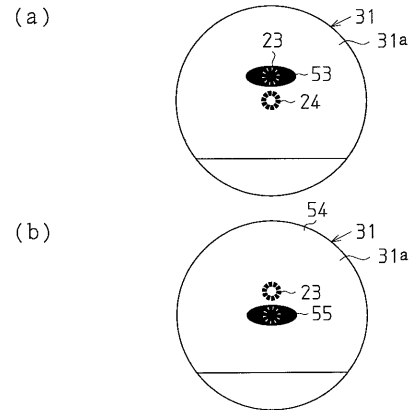
【図 2】



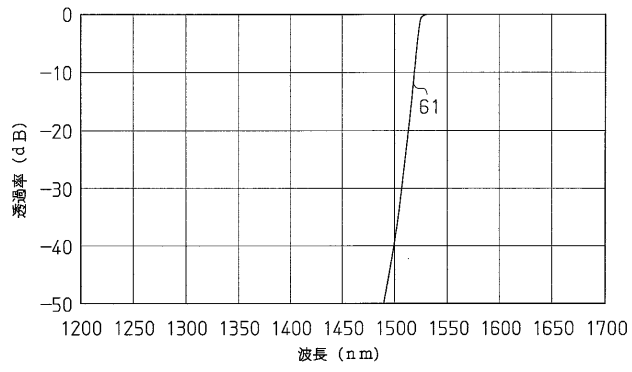
【図 3】



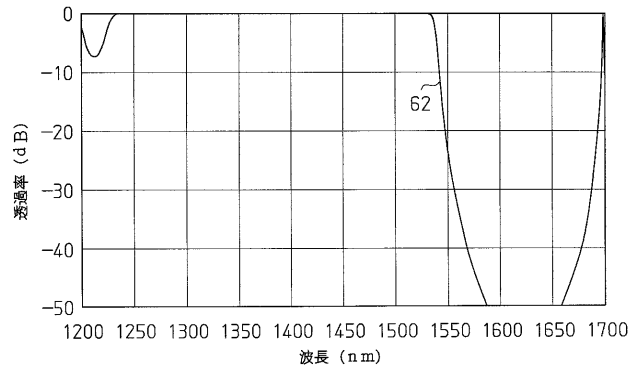
【図 4】



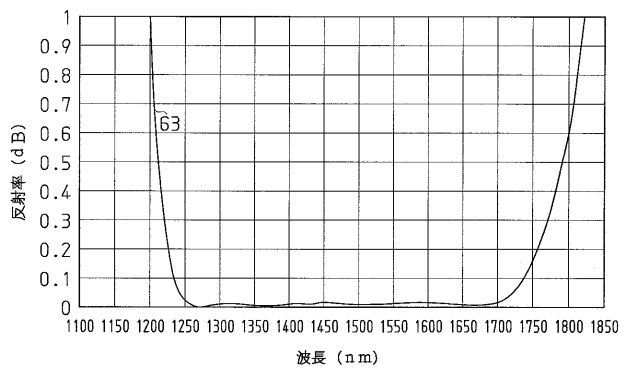
【図 5】



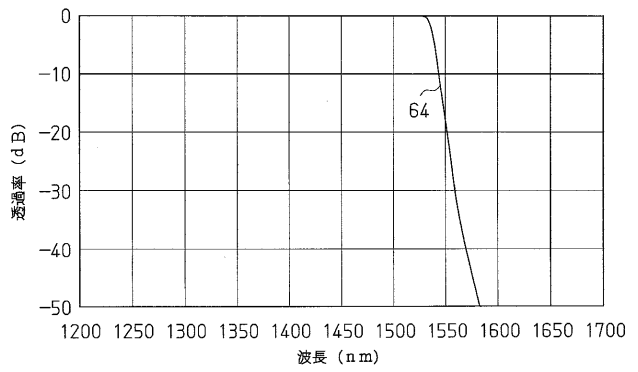
【図 6】



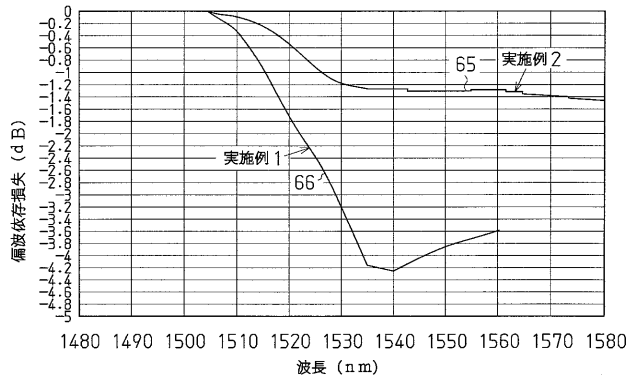
【図 7】



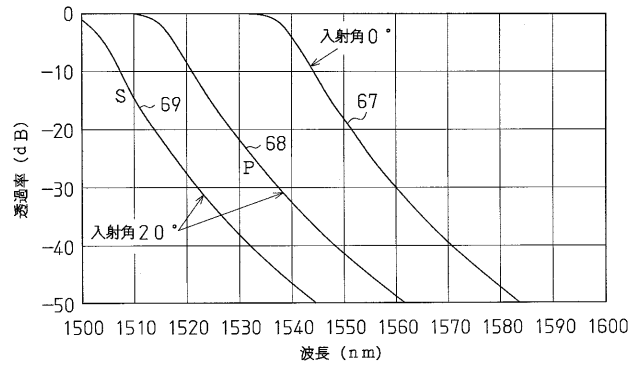
【図 8】



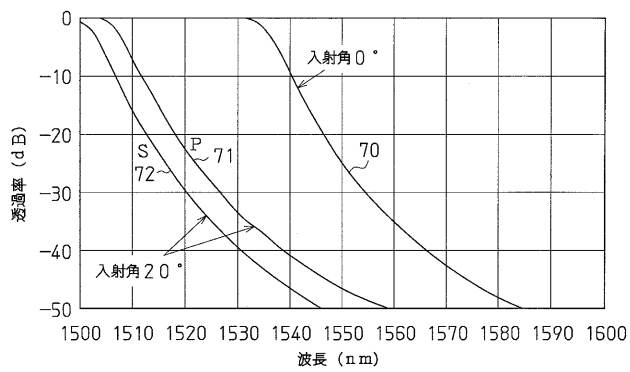
【図 9】



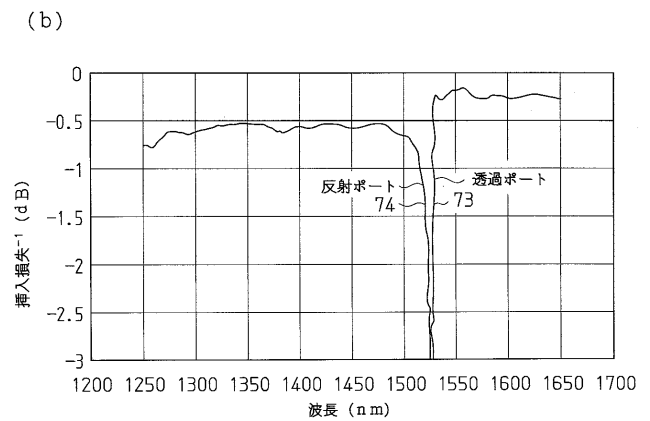
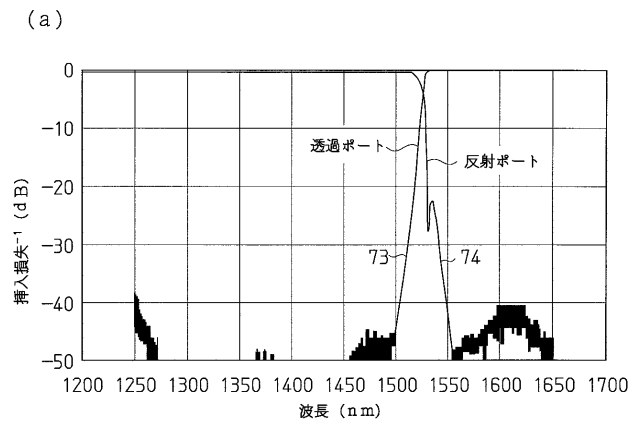
【図 10】



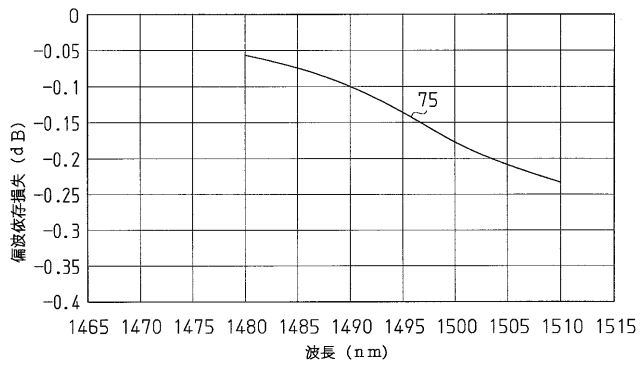
【図 11】



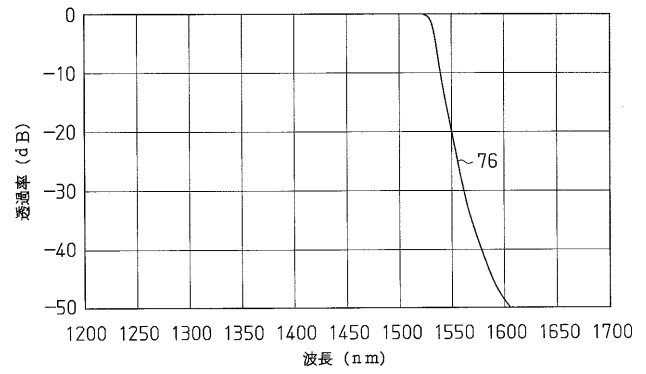
【図 12】



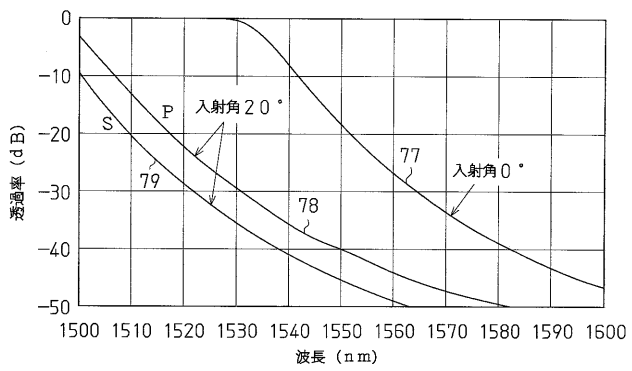
【図 1 3】



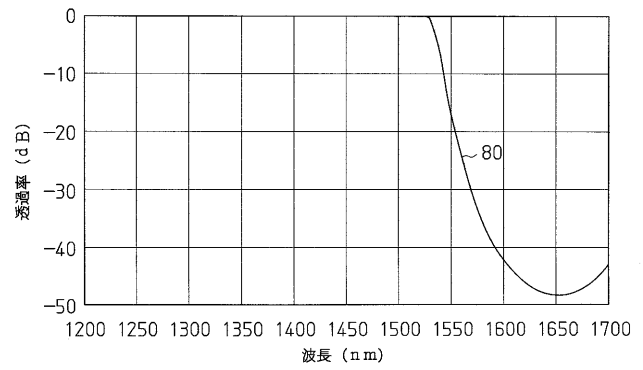
【図 1 4】



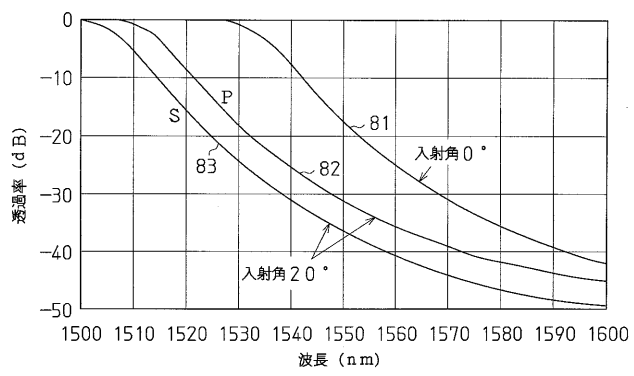
【図 1 5】



【図 1 6】



【図 1 7】



【図 1 8】

