

(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2005-189812

(P2005-189812A)

(43) 公開日 平成17年7月14日(2005.7.14)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

G02B 5/28

G02B 27/10

F I

G02B 5/28

G02B 27/10

テーマコード(参考)

2H048

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2004-276924 (P2004-276924)  
 (22) 出願日 平成16年9月24日(2004.9.24)  
 (31) 優先権主張番号 特願2003-336056 (P2003-336056)  
 (32) 優先日 平成15年9月26日(2003.9.26)  
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)  
 (31) 優先権主張番号 特願2003-404071 (P2003-404071)  
 (32) 優先日 平成15年12月3日(2003.12.3)  
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 000005810  
 日立マクセル株式会社  
 大阪府茨木市丑寅1丁目1番88号  
 (74) 代理人 100103894  
 弁理士 冢入 健  
 (72) 発明者 皆川 良明  
 大阪府茨木市丑寅一丁目1番88号 日立  
 マクセル株式会社内  
 (72) 発明者 磨 毅  
 大阪府茨木市丑寅一丁目1番88号 日立  
 マクセル株式会社内  
 Fターム(参考) 2H048 GA07 GA12 GA19 GA23 GA24  
 GA33 GA62

(54) 【発明の名称】 波長合分波器

(57) 【要約】

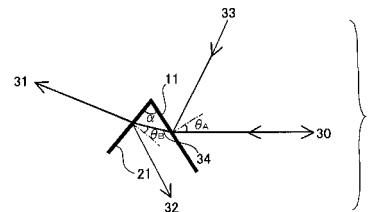
【課題】

3波以上の光の合分波を一つの光学部品で行う際の偏光面に依存する特性劣化を改善し、もって小型で合分波特性に優れ、かつ保存特性に優れた合分波用光学部品を提供する。

【解決手段】

本発明に係る波長合分波器は、1つの光学基板または複数の光学基板を一体化した構造を有し、当該光学基板上に支持された第1の光学フィルタA及び第2の光学フィルタBを備えたものである。そして、3つの波長帯域の中心波長を 1、 2、 3としたとき、 $0.92 \frac{2}{1} 1.08$ であり、 $0.20 \frac{3}{1} 0.92$ または $1.08 \frac{3}{1} 5.00$ の関係にあり、第1の光学フィルタAは、3の光を、1と2の2つの波長多重光と合波もしくは分波し、第2の光学フィルタBは、2つの波長多重光を1と2の光に合波もしくは分波する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

少なくとも 3 つの波長帯域からなる波長多重光を所定の帯域に分波または / および波長多重光に合波する波長合分波器であって、

当該波長合分波器は、1 つの光学基板または複数の光学基板を一体にした構造を有し、当該光学基板上に支持された少なくとも 2 つの異なる特性の第 1 の光学フィルタ A 及び第 2 の光学フィルタ B を備え、

前記 3 つの波長帯域の中心波長を  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  としたとき、 $0.92 \lambda_2 / \lambda_1$ 、 $1.08$  であり、 $0.20 \lambda_3 / \lambda_1$ 、 $0.92$  または  $1.08 \lambda_3 / \lambda_1$ 、 $5.00$  の関係にあり、

前記第 1 の光学フィルタ A は、前記 3 つの波長多重光の光路上に配置され、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_3$  の光を、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  の 2 つの波長多重光と合波もしくは分波し、

前記第 2 の光学フィルタ B は、前記 2 つの波長多重光の光路上に配置され、前記 2 つの波長多重光を、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  の光に合波もしくは分波する波長合分波器。

10

## 【請求項 2】

前記第 1 の光学フィルタ A は、3 つの波長多重光のうち、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_3$  の光を反射するとともに、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  の 2 つの波長多重光を透過し、

20

前記第 2 の光学フィルタ B は、前記第 1 の光学フィルタ A を透過した 2 つの波長多重光のうち、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_2$  の光を反射するとともに、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_1$  の光を透過し、

前記第 1 の光学フィルタ A の入射媒質の屈折率を  $n_A$ 、前記第 1 の光学フィルタ A への 3 つの波長多重光と前記第 1 の光学フィルタ A のフィルタ面の法線とのなす角度を  $\theta_A$  とし、

前記第 2 の光学フィルタ B の入射媒質の屈折率を  $n_B$ 、前記第 2 の光学フィルタ B への 2 つの波長多重光と第 2 の光学フィルタ B のフィルタ面の法線とのなす角度を  $\theta_B$  としたとき、

$$\theta_A = 15^\circ、$$

$$n_A \cdot \sin \theta_A = 0.95、$$

$$\theta_B = 15^\circ、$$

$$n_B \cdot \sin \theta_B = 0.85 \text{ であることを特徴とする請求項 1 記載の波長合分波器。}$$

30

## 【請求項 3】

前記第 1 の光学フィルタ A と前記第 2 の光学フィルタ B とのなす角度を  $\theta$  としたとき、 $60^\circ < \theta < 120^\circ$  であることを特徴とする請求項 2 記載の波長合分波器。

## 【請求項 4】

前記第 1 の光学フィルタ A は、3 つの波長多重光のうち、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_3$  の光を透過するとともに、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  の 2 つの波長多重光を反射し、

40

前記第 2 の光学フィルタ B は、前記第 1 の光学フィルタ A を反射した 2 つの波長多重光のうち、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_2$  の光を反射するとともに、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_1$  の光を透過し、

前記第 1 の光学フィルタ A の入射媒質の屈折率を  $n_A$ 、前記第 1 の光学フィルタ A への 3 つの波長多重光と前記第 1 の光学フィルタ A のフィルタ面の法線とのなす角度を  $\theta_A$  とし、

前記第 2 の光学フィルタ B の入射媒質の屈折率を  $n_B$ 、前記第 2 の光学フィルタ B への 2 つの波長多重光と第 2 の光学フィルタ B のフィルタ面の法線とのなす角度を  $\theta_B$  としたとき、

$$\theta_A = 5^\circ、$$

50

$$n_A \cdot \sin \theta_A = 0.95,$$

$$\theta_B = 5^\circ,$$

$n_B \cdot \sin \theta_B = 0.85$ であることを特徴とする請求項1記載の波長合分波器。

【請求項5】

第1の光学フィルタAと第2の光学フィルタBとのなす角度を  $\theta_A$  としたとき、 $\theta_A = 5^\circ$ 、かつ、 $\theta_B = 10^\circ$ 、 $\theta_C = 90^\circ$ であることを特徴とする請求項4記載の波長合分波器。

【請求項6】

少なくとも3つの波長帯域からなる波長多重光を所定の帯域に分波または/および波長多重光に合波する波長合分波器であって、

当該波長合分波器は1つの光学基板または複数の光学基板を一体にした構造からなり、  
当該光学基板上に支持された少なくとも2つの第1の光学フィルタA及び第2の光学フィルタBを備え、

前記3つの波長帯域の中心波長を  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ としたとき、 $0.94 \lambda_2 / \lambda_1 < \lambda_3 < 0.98 \lambda_2$ であり、 $0.20 \lambda_3 / \lambda_1 < \lambda_2 < 0.94 \lambda_3$ の関係にあり、

前記第1の光学フィルタAは、前記3つの波長多重光の光路上に配置され、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_1$ の光を、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_2$ と  $\lambda_3$ の2つの波長多重光と合波もしくは分波し、

前記第2の光学フィルタBは、前記2つの波長多重光の光路上に配置され、前記2つの波長多重光を、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_2$ と  $\lambda_3$ の光に合波もしくは分波する波長合分波器。

【請求項7】

前記第1の光学フィルタAは、3つの波長多重光のうち、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_1$ の光を反射するとともに、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_2$ と  $\lambda_3$ の2つの波長多重光を透過し、

前記第2の光学フィルタBは、前記第1の光学フィルタAを透過する2つの波長多重光のうち、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_2$ の光を反射するとともに、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_3$ の光を透過し、

前記第1の光学フィルタAへの3つの波長多重光と前記第1の光学フィルタAのフィルタ面の法線とのなす角度を  $\theta_A$ としたとき、

$$\theta_A = 5^\circ \text{、} \theta_B = 30^\circ \text{であることを特徴とする請求項6記載の波長合分波器。}$$

【請求項8】

前記第1の光学フィルタAによって反射された前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_1$ の光の光路上に配置されたミラーを、さらに備え、

当該ミラーの入射媒質の屈折率を  $n_M$ 、前記第1の光学フィルタAを反射した前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_1$ の光と前記ミラー面の法線とのなす角度を  $\theta_M$ としたとき、

$$n_M \cdot \sin \theta_M = 1,$$

$$\theta_M = 85^\circ \text{であることを特徴とする請求項7記載の波長合分波器。}$$

【請求項9】

前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_3$ の光の波長合分波器への入射光がP偏光であることを特徴とする請求項6乃至8のいずれかに記載の波長合分波器。

【請求項10】

前記第1の光学フィルタAは、エッジフィルタであり、

前記第2の光学フィルタBは、バンドパスフィルタ若しくはエッジフィルタであることを特徴とする請求項1乃至9のいずれかに記載の波長合分波器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長合分波器に関する。

【背景技術】

【0002】

10

20

30

40

50

誘電体多層膜は、眼鏡レンズ表面の反射防止膜や、ガラス基板上に被着したTVの色分解フィルタ等として一般に用いられている。例えば、液晶プロジェクタやカメラなどに用いられる色分解フィルタがある。あるいは、DVD (Digital Versatile Disk) 装置等に用いられるレーザ検出用ミラーとして、プリズム形状の2つのガラス基板間に誘電体多層膜を挟持した構成のものがあり、誘電体多層膜に光が角度を持って入射することができる。

また、通信分野においては、波長多重光通信技術の導入が進められている。その中で、異なる波長の光を分離するため、ガラス基板上にエッジフィルタやバンドパスフィルタとなる誘電体多層膜を形成したフィルタが必要となってきた。

#### 【0003】

光通信では、3端子モジュールをカスケードに組み合わせることによって、複数波長の帯域光の合分波が可能になる。しかしながら、少なくとも合分波の数より1個少ない3端子モジュールが必要となるため、装置コストが上がり、収容面積も大きくなり、設置コストも上がることが考えられる。

また、特許文献1や、非特許文献1に開示されているように、単一モジュール内に複数のバンドパスフィルタ、エッジフィルタを組み込み、複数波長を合分波するモジュールも提案されている。しかしながら、光の分離角が小さいので、発信用レーザ、受信用のダイオードを組み込もうとすると、光学パスを長く取る必要があり、装置が大型化して設置コストが上がるという問題が生じる。

一方、装置を小型化しようとする、レーザ/ダイオードアレイを使う必要があり、コストアップの要因となる。装置コストを上げずに小型化しようとする、光の分離角を大きくする必要はある。この場合は、出射光のPおよびS波の乖離が大きくなり、合分波特性が劣化するという問題が起こる。

#### 【0004】

この高乖離角、即ち高入射角度でのPおよびS偏光に依存する特性劣化問題、即ち入射光の偏光方向により出射光の振幅波長特性が大きく乖離する問題を改善する方法が、特許文献2に提案されている。この特許文献2においては、誘電体多層膜フィルタの高屈折率層にSiを用いている。しかしながら、特許文献2で開示されているように、低屈折率層にTiO<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub>を用いると、85%RHの高温高湿下に長時間放置した場合、TiO<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub>の酸素が高屈折率層側に拡散する。これによって、Si、Ge層の屈折率の低下、低屈折率層の屈折率上昇による波長シフト、光学特性の変動が引き起こされる。また、ZnS、ZnSeについては、SiO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>とは密着性が弱いので、剥離しやすいという問題も引き起こす。

#### 【0005】

ここで、入射媒質が屈折率1の空気であれば、偏光方向の違いによる特性差を小さくすることができる。しかし、近年の光学部品では、小型化のため集積度が上がっており、フィルタは他の光部品、ファイバキャピラリ、プリズム、レンズ、導波路、に直接、接合して使われることが多い。この場合、入射媒質を空気とするためには、エアーサンドイッチ構造とする必要がある。エアーサンドイッチ構造とする場合は、接合面同士に多重反射による振幅変動を抑えるため反射防止膜を形成することになる。この反射防止膜は屈折率1の空気に対し最適化されているので、接合時の樹脂等が光通過面に回り込むと透過特性が劣化する。それ故、樹脂が回りこまないような接合構造とする必要があるため、コストアップの要因となる。

【特許文献1】特開平8-82711号公報

【特許文献2】特開2000-162413号公報

【非特許文献1】藤井陽一著 「光工学」 アグネ承風社 1993年(169頁)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

#### 【0006】

本発明は、上記のような状況に鑑みて発明されたもので、3波以上の光の合分波を一つ

10

20

30

40

50

の光学部品で行う際の偏光面に依存する特性劣化を改善し、もって小型で合分波特性に優れ、また複数基板を接合する場合には接合材の選択の自由度が高く、光が透過した場合にも保存特性に優れた多層膜フィルタおよび合分波用光学部品を提供することを目的とする。

【0007】

他方、本発明は、上記のような状況に鑑みて発明されたもので、3波以上の帯域光の合分波を一つの光学部品で行う際の偏光面に依存する特性劣化を改善し、もって小型で合分波特性に優れた多層膜フィルタおよび合分波用光学部品を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明に係る波長合分波器は、少なくとも3つの波長帯域からなる波長多重光を所定の帯域に分波または/および波長多重光に合波する波長合分波器であって、当該波長合分波器は、1つの光学基板または複数の光学基板を一体にした構造を有し、当該光学基板上に支持された少なくとも2つの異なる特性の第1の光学フィルタA及び第2の光学フィルタBを備え、前記3つの波長帯域の中心波長を  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ としたとき、 $0.92 \leq \lambda_2 / \lambda_1 \leq 1.08$ であり、 $0.20 \leq \lambda_3 / \lambda_1 \leq 0.92$ または $1.08 \leq \lambda_3 / \lambda_1 \leq 5.00$ の関係にあり、前記第1の光学フィルタAは、前記3つの波長多重光の光路上に配置され、前記波長帯域の中心波長が $\lambda_3$ の光を、前記波長帯域の中心波長が $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の2つの波長多重光と合波もしくは分波し、前記第2の光学フィルタBは、前記2つの波長多重光の光路上に配置され、前記2つの波長多重光を、前記波長帯域の中心波長が $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の光に合波もしくは分波するものである。このような構成により、入射光の偏光面、S波、P波により、出射光の振幅波長特性が乖離する問題を改善できる。

10

20

【0009】

また、本発明は、波長多重合分波器の形態として、前記第1の光学フィルタAは、3つの波長多重光のうち、前記波長帯域の中心波長が $\lambda_3$ の光を反射するとともに、前記波長帯域の中心波長が $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の2つの波長多重光を透過し、前記第2の光学フィルタBは、前記第1の光学フィルタAを透過した2つの波長多重光のうち、前記波長帯域の中心波長が $\lambda_2$ の光を反射するとともに、前記波長帯域の中心波長が $\lambda_1$ の光を透過し、前記第1の光学フィルタAの入射媒質の屈折率を $n_A$ 、前記第1の光学フィルタAへの3つの波長多重光と前記第1の光学フィルタAのフィルタ面の法線とのなす角度を $\theta_A$ とし、前記第2の光学フィルタBの入射媒質の屈折率を $n_B$ 、前記第2の光学フィルタBへの2つの波長多重光と第2の光学フィルタBのフィルタ面の法線とのなす角度を $\theta_B$ としたとき、 $\theta_A = 15^\circ$ 、 $n_A \cdot \sin \theta_A = 0.95$ 、 $\theta_B = 15^\circ$ 、 $n_B \cdot \sin \theta_B = 0.85$ とすることが望ましい。

30

【0010】

またさらに、上記形態においては、前記第1の光学フィルタAと前記第2の光学フィルタBとのなす角度を $\theta$ としたとき、 $60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$ であることが好ましい。

【0011】

また、本発明は、波長多重合分波器の他の形態として、前記第1の光学フィルタAは、3つの波長多重光のうち、前記波長帯域の中心波長が $\lambda_3$ の光を透過するとともに、前記波長帯域の中心波長が $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の2つの波長多重光を反射し、前記第2の光学フィルタBは、前記第1の光学フィルタAを反射した2つの波長多重光のうち、前記波長帯域の中心波長が $\lambda_2$ の光を反射するとともに、前記波長帯域の中心波長が $\lambda_1$ の光を透過し、前記第1の光学フィルタAの入射媒質の屈折率を $n_A$ 、前記第1の光学フィルタAへの3つの波長多重光と前記第1の光学フィルタAのフィルタ面の法線とのなす角度を $\theta_A$ とし、前記第2の光学フィルタBの入射媒質の屈折率を $n_B$ 、前記第2の光学フィルタBへの2つの波長多重光と第2の光学フィルタBのフィルタ面の法線とのなす角度を $\theta_B$ としたとき、 $\theta_A = 5^\circ$ 、 $n_A \cdot \sin \theta_A = 0.95$ 、 $\theta_B = 5^\circ$ 、 $n_B \cdot \sin \theta_B = 0.85$ とすることが望ましい。

40

【0012】

50

また、上記形態においては、第1の光学フィルタAと第2の光学フィルタBとのなす角度を  $\theta_A + 5^\circ$ 、かつ、 $10^\circ < \theta_A < 90^\circ$  であることが好ましい。

#### 【0013】

他方、本発明に係る波長合分波器は、少なくとも3つの波長帯域からなる波長多重光を所定の帯域に分波または/および波長多重光に合波する波長合分波器であって、当該波長合分波器は1つの光学基板または複数の光学基板を一体にした構造からなり、当該光学基板上に支持された少なくとも2つの第1の光学フィルタA及び第2の光学フィルタBを備え、前記3つの波長帯域の中心波長を  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  としたとき、 $0.94 \leq \lambda_2 / \lambda_1 \leq 0.98$  であり、 $0.20 \leq \lambda_3 / \lambda_1 \leq 0.94$  の関係にあり、前記第1の光学フィルタAは、前記3つの波長多重光の光路上に配置され、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_1$  の光を、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_2$  と  $\lambda_3$  の2つの波長多重光と合波もしくは分波し、前記第2の光学フィルタBは、前記2つの波長多重光の光路上に配置され、前記2つの波長多重光を、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_2$  と  $\lambda_3$  の光に合波もしくは分波するものである。このような構成により、入射光の偏光面、S波、P波により、出射光の振幅波長特性が乖離する問題を改善できる。

10

#### 【0014】

また、本発明は、波長多重合分波器の形態として、前記第1の光学フィルタAは、3つの波長多重光のうち、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_1$  の光を反射するとともに、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_2$  と  $\lambda_3$  の2つの波長多重光を透過し、前記第2の光学フィルタBは、前記第1の光学フィルタAを透過する2つの波長多重光のうち、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_2$  の光を反射するとともに、前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_3$  の光を透過し、前記第1の光学フィルタAへの3つの波長多重光と前記第1の光学フィルタAのフィルタ面の法線とのなす角度を  $\theta_A$  としたとき、 $5^\circ < \theta_A < 30^\circ$  とすることが望ましい。

20

#### 【0015】

またさらに、上記形態においては、前記第1の光学フィルタAによって反射された前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_1$  の光の光路上に配置されたミラーを備え、当該ミラーの入射媒質の屈折率を  $n_M$ 、前記第1の光学フィルタAを反射した前記波長帯域の中心波長が  $\lambda_1$  の光と前記ミラー面の法線とのなす角度を  $\theta_M$  としたとき、 $n_M \cdot \sin \theta_M \leq 1$ 、 $\theta_M \leq 85^\circ$  であることが望ましい。

#### 【0016】

好適には、前記第1の光学フィルタAは、エッジフィルタであり、前記第2の光学フィルタBは、バンドパスフィルタ若しくはエッジフィルタである。

30

#### 【発明の効果】

#### 【0017】

本発明によれば、小型化でき、低コストで特性の優れた少なくとも3つの波長多重光を3つの帯域の光に分波または合波する波長合分波器を提供することができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0018】

以下、本発明を実施するための最良の形態について図を参照して説明する。本発明は、3つの異なる波長を合波及び/または分波する波長合分波器に適用できる。即ち、本発明は、互いに波長帯域が重ならない波長の光を合波及び/または分波する波長合分波器に適用できる。なお、特に断らない限り、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  の光という時はその中心波長を含む帯域の光を意味する。

40

#### 【0019】

発明の実施の形態1.

図1は、本発明の少なくとも3つの波長帯域からなる波長多重光を分波もしくは、波長多重光に合波する波長合分波器の一形態を示す概念図である。この図1においては、波長合分波器を模式的に示すため、光学基板などが省略されている。

#### 【0020】

図1に示すように、1は波長合分波器であり、この波長合分波器1は、第1のフィルタ

50

A 1 1 と、第 2 のフィルタ B 2 1 からなっている。そして、この図では示していないが、後で述べているように、これら第 1 のフィルタ A 1 1 と第 2 のフィルタ B 2 1 は 1 つの光学基板または一体化された複数の光学基板により支持されている。従って、第 1 のフィルタ A 1 1 と第 2 のフィルタ B 2 1 は、全体として 1 つの光学素子として機能するように構成され、小型化が図られている。

3 3 は 3 の光の進む方向を示しており、第 1 のフィルタ A 1 1 で反射され、3 0 の方向に進む。一方、1 及び 2 の光は、3 0 の方向から第 1 のフィルタ A 1 1 に進むように設計されている。従って、第 1 のフィルタ A 1 1 で 3 の光は 1 及び 2 の 2 つの波長多重光と合波され、第 1 のフィルタ A 1 1 により 3 つの波長多重光が生成される。

#### 【0021】

ここで、本発明の上記 3 つの波長多重光の中心波長は、 $0.92 \times 2 / 1 = 1.08$  であり、 $0.20 \times 3 / 1 = 0.92$  または  $1.08 \times 3 / 1 = 5.00$  の関係にある。なお、1 の光と 2 の光は互いに重なることはないので 1 = 2 である。

すなわち、一般に、 $0.92 \times 2 / 1 = 1.08$  の範囲にあるような接近した 2 つの帯域を分離する場合、光学エッジフィルタより光学バンドパスフィルタを使用した方が好ましい。これによって、透過 / 反射の遷移幅を急峻にすることができる。しかし、本発明に際して、このような光学バンドパスフィルタに  $0.20 \times 3 / 1 = 0.92$  または  $1.08 \times 3 / 1 = 5.00$  の関係にある 1・2 の帯域から離れた 3 の帯域を入射すると、大きな透過率や反射率が得られにくく、特性が安定しないことが明らかとなった。

#### 【0022】

一方、光学エッジフィルタは、離れた 2 波の帯域の光を分離するには適しており、透過帯域を非常に広くとることができる。しかしながら、接近した 2 波を分離しようとした場合には、層数が多くなり、製造が難しくなるため使用に適さない。

そこで本発明者らは、下記のような構造を採用することにより、低コストで性能に優れた波長合分波器が実現できることを見出した。

#### 【0023】

図 1 において、3 3 の方向から進んだ 3 は、第 1 のフィルタ A 1 1 に入射する。そして、2 つの多重化された 1 及び 2 は 3 0 の方向から第 1 のフィルタ A 1 1 に入射する。従って、第 1 のフィルタ A 1 1 は、3 つの帯域の光が多重化された波長多重光の光路上に配置されている。

ここで、第 1 のフィルタ A 1 1 は、3 を、1 および 2 から合波または分波するエッジフィルタである。そのため、例えば第 1 のフィルタ A 1 1 が 3 を反射する特性のものである場合、第 1 のフィルタ A 1 1 面上で反射され、1 及び 2 が入射してきた 3 0 の方向に反射される。

一方、近接した波長帯域である 1 及び 2 については、第 1 のフィルタ A 1 1 が 1 及び 2 を透過する特性の場合、この 2 つの波長多重光は第 1 のフィルタ A 1 1 を透過する。従って、3 つの波長多重光のうち、離れた波長の 3 を分波することができる。

#### 【0024】

そして、第 1 のフィルタ A 1 1 を透過した 1 及び 2 の 2 つの波長多重光 3 4 は、その光路上に配置された第 2 のフィルタ B 2 1 に入射する。ここで、第 2 のフィルタ B 2 1 は、1 と 2 を合波または分波可能なバンドパスフィルタである。例えば、第 2 のフィルタ B 2 1 は、1 を透過し、2 を反射する特性を有している。従って、この 2 つの波長多重光は、第 2 のフィルタ B 2 1 で、1 と 2 に分波され、1 は 3 1 に、2 は 3 2 に進む。

#### 【0025】

ここで、角度  $\theta_A$  は、 $15^\circ$  より小さいと 3 つの波長多重光と 3 の送信光との角度差が小さくなり、それぞれの光素子が接近して配置が難しくなる。そのため、角度  $\theta_A$  は  $15^\circ$  以上にするのが好ましい。一方、角度  $\theta_A$  を大きくすると第 1 のフィルタ A 1 1 への入射角が大きくなるため、第 1 のフィルタ A 1 1 に成膜されているエッジフィルタの P 偏

10

20

30

40

50

光の反射率が低下する。検討によれば、角度  $\theta_A$  の上限は、基板 A の屈折率  $n_A$  と関係し、 $n_A \cdot \sin \theta_A$  を 0.95 以下にすることにより、P 偏光において十分な反射率が得られる。

【0026】

従って、 $n_A$  は低い方が角度  $\theta_A$  の設計の自由度が大きくなり、また、同じ角度  $\theta_A$  を使用するなら  $n_A$  が低いほど P 偏光の反射率は大きくなる。そのため、屈折率  $n_A$  は低い方が好ましい。入射角  $\theta_A$  は好ましくは  $20^\circ$  以上であり、 $n_A \cdot \sin \theta_A$  は好ましくは 0.8 以下とするのがよい。

【0027】

また、角度  $\theta_B$  は、 $15^\circ$  より小さいと 2 波長多重光と  $\theta_2$  との角度差が小さくなり素子の配置が難しくなる。そのため、角度  $\theta_B$  は  $15^\circ$  以上にするのがよい。一方、角度  $\theta_B$  を大きくすると第 2 のフィルタ B 2 1 への入射角が大きくなるため、第 2 のフィルタ B 2 1 に成膜されているバンドパスフィルタの特性が悪化する。

検討によれば、角度  $\theta_B$  の上限は第 2 のフィルタ B 2 1 の入射媒質の屈折率  $n_B$  と関係があり、 $n_B \cdot \sin \theta_B$  を 0.85 以下にしないと、バンドパスフィルタの透過帯域の特性を平坦にすることが難しいことが明らかとなった。またさらに、 $n_B \cdot \sin \theta_B$  を 0.85 以下にしないと、P 偏光も反射率も十分な値が得られないことも明らかとなった。

【0028】

この場合も、第 2 のフィルタ B 2 1 の入射媒質の屈折率  $n_B$  が小さいほど、角度  $\theta_B$  の設計の自由度は大きくなる。さらに、第 2 のフィルタ B 2 1 の入射媒質の屈折率  $n_B$  が小さいほど、第 2 のフィルタ B 2 1 の透過帯域の平坦さや反射帯域の P 偏光の反射率を上げられる。そのため、屈折率  $n_B$  は小さい方が好ましい。入射角  $\theta_B$  は好ましくは  $20^\circ$  以上であり、 $n_B \cdot \sin \theta_B$  は好ましくは 0.7 以下とするのがよい。

【0029】

また、第 1 のフィルタ A 1 1 の出射媒質と第 2 のフィルタ B 2 1 の入射媒質を共に空気とした場合、入射角  $\theta_B$  を得るための角度  $\theta_A$  は、下記の式 1 から求めることができる。

$$\theta_B = \arcsin(n_A \cdot \sin \theta_A) \quad \dots \dots \dots (1)$$

従って、基板 A の屈折率  $n_A$  と第 1 のフィルタ A 1 1 への入射角  $\theta_A$  を設定しておけば、所望の角度  $\theta_B$  を得るための第 1 のフィルタ A 1 1 と第 2 のフィルタ B 2 1 のなす角度を計算により求めることができる。検討によれば、有効な角度  $\theta_A$  の範囲は  $60^\circ$  ~  $120^\circ$  であり、好ましくは、 $70^\circ$  ~  $100^\circ$  である。

【0030】

発明の実施の形態 2 .

図 2 は、本発明に係る波長合分波器の別の形態を示す概念図である。この概念図では、波長合分波器 1 は、単一の基板 C 4 0 の 1 面に第 1 のフィルタ A 1 1 を、他の面に第 2 のフィルタ B 2 1 を配置しているが、複数の光学基板を一体にした構造とすることも可能である。

【0031】

図 2 に示すように、方向 3 3 から入射した 3 の光は第 1 のフィルタ A 1 1 を透過し、基板側から入射する 1 及び 2 と合波され、3 つの波長多重光となる。一方、第 1 のフィルタ A 1 1 を反射した 1 と 2 の 2 波長多重光は第 2 のフィルタ B 2 1 に導かれ、第 2 のフィルタ B 2 1 は 1 と 2 の光に合波または分波する。

ここで、第 1 のフィルタ A 1 1 として短波長透過型の光学エッジフィルタを配置し、第 2 のフィルタ B 2 1 として光学バンドパスフィルタを配置する。

なお、図 2 では、第 1 のフィルタ A 1 1 のフィルタ面と第 2 のフィルタ B 2 1 のフィルタ面は直接は交わっていないが、破線で示すようにこれらの面を延長し、角度  $\theta$  で交わるようにしてもよい。

【0032】

3 つの波長多重光は、基板 C 4 0 の入出射面 C 4 1 より入出射する。入出射面 C 4 1 は

10

20

30

40

50



、3つの波長多重光に垂直になるように設けているが、これは $1^\circ \sim 10^\circ$ 傾いた角度とすることもできる。

入出射面C41には波長合分波器に接続する3つの波長多重光を入射・出射させる。この方法として、光ファイバ等により導かれた3つの波長多重光を、コリメータレンズ等を使用して平行光にして第1のフィルタA11に導く方法がある。また他の方法として、光ファイバのフェルールを入出射面C41に接着または融着等の方法で固定し、光ファイバのNAにより定められた広がり角を持つ拡散光を第1のフィルタA11に導く方法等もある。

#### 【0033】

入出射光である3つの波長多重光は、第1のフィルタA11のフィルタ面の法線に対して $\theta_A$ の角度で入射もしくは出射するように設定される。その際、3つの波長多重光のうち $\theta_1$ と $\theta_2$ の光は、第1のフィルタA11の基板側で角度 $\theta_A$ で反射し、基板内を伝搬し第2のフィルタB21に導かれる。仮に他の光源の $\theta_3$ の光が $\theta_1$ 、 $\theta_2$ と同方向で3つの波長多重光に混入してきた場合には、第1のフィルタA11を透過し $\theta_3$ 方向に出射するため、問題は低減される。

10

#### 【0034】

$\theta_3$ の光は、第1のフィルタA11を透過し、 $\theta_1$ 及び $\theta_2$ の光と合波されて3つの波長多重光となる。

角度 $\theta_A$ は、 $5^\circ$ より小さいと3つの波長多重光と $\theta_1$ と $\theta_2$ の2つの波長多重光との角度差が小さくなる。このため、第2のフィルタB21と3波長多重光の光路が接近することにより、第2のフィルタB21の配置が難しくなる。それ故、角度 $\theta_A$ は $5^\circ$ 以上にするのがよい。

20

#### 【0035】

一方、角度 $\theta_A$ を大きくすると第1のフィルタA11への入射角が大きくなるため、第1のフィルタA11に成膜されているエッジフィルタのP偏光の反射率が低下する。

検討によれば、角度 $\theta_A$ の上限は基板Aの屈折率 $n_A$ と関係し、 $n_A \cdot \sin \theta_A$ を0.95以下にしないと、P偏光において十分な反射率が得られないことが明らかとなった。従って、 $n_A$ は低い方が角度 $\theta_A$ の設計の自由度が大きくなり、また、同じ角度 $\theta_A$ を使用するなら $n_A$ が低いほどP偏光の反射率は大きくなる。そのため、 $n_A$ は低い方が好ましい。入射角 $\theta_A$ は、好ましくは $10^\circ$ 以上であり、 $n_A \cdot \sin \theta_A$ は好ましくは0.8以下とするのがよい。

30

また、 $\theta_3$ の送信光は、第1のフィルタA11を透過時に屈折して基板C40に入射するが、そのときの屈折角度を見込んで送信光の基板表面への入射角を決めなければならない。従って、基板C40の屈折率 $n_C$ のばらつきは小さい方が好ましい。

#### 【0036】

一方、第1のフィルタA11で反射し、 $\theta_1$ と $\theta_2$ の2波長多重光になった光は、第2のフィルタB21のフィルタ面の法線とのなす $\theta_B$ の角度で第2のフィルタB21に入射する。第2のフィルタB21は、 $\theta_1$ と $\theta_2$ の帯域のどちらかを透過し、もう一方を反射するような光学バンドパスフィルタにすることにより、2波長透過光を合波または分波することができる。

40

角度 $\theta_B$ は、 $5^\circ$ より小さいと、第2のフィルタB21の反射光である $\theta_2$ の帯域の光と2波長多重光との角度差が小さくなる。そのため、 $\theta_2$ の帯域の光が第1のフィルタA11に入射してしまうので、角度 $\theta_B$ は $5^\circ$ 以上にするのがよい。

#### 【0037】

一方、角度 $\theta_B$ を大きくすると第2のフィルタB21への入射角が大きくなるため、第2のフィルタB21に成膜されているバンドパスフィルタの特性が悪化する。検討によれば、角度 $\theta_B$ の上限は、第2のフィルタB21の入射媒質の屈折率 $n_B$ とも関係があり、 $n_B \cdot \sin \theta_A$ を0.85以下にしないと、バンドパスフィルタの透過帯域の特性を平坦にすることが難しいことが明らかとなった。またさらに、 $n_B \cdot \sin \theta_A$ を0.85以下にしないと、P偏光も反射率も十分な値が得られないことも明らかとなった。

50

## 【0038】

ここでも、第2のフィルタB21の入射媒質の屈折率 $n_B$ が小さいほど、角度 $\theta_B$ の設計の自由度は大きくなる。さらに、第2のフィルタB21の透過帯域の平坦さや反射帯域のP偏光の反射率を上げられる。そのため、屈折率 $n_B$ は小さい方がよい。入射角 $\theta_B$ は好ましくは $10^\circ$ 以上であり、 $n_B \cdot \sin \theta_B$ は好ましくは $0.7$ 以下とするのがよい。

## 【0039】

この実施形態において、第1のフィルタA11の入射媒質と第2のフィルタB21の入射媒質を同じ媒質とした場合、入射角 $\theta_B$ を得るための角度 $\theta$ は、下記の式2から求めることができる。

$$\theta = \theta_A + \theta_B \dots \dots \dots (2)$$

従って、第1のフィルタA11への入射角 $\theta_A$ を設定しておけば、所望の角度 $\theta_B$ を得るための第1のフィルタA11と第2のフィルタB21のなす角度 $\theta$ を計算により簡単に求めることができる。検討によれば、有効な角度 $\theta$ の範囲は $20^\circ \sim 90^\circ$ であり、好ましくは $30^\circ \sim 75^\circ$ であり、更に好ましくは $35^\circ \sim 60^\circ$ である。

## 【0040】

また、出射面C42を第2のフィルタB21に対して傾けた面とすることにより、 $\theta_1$ の帯域の光を屈折させる角度を制御することができる。そのため、この角度の設定により、 $\theta_1$ の出射角度を調節することができる。図2では、出射面C42の角度は第2のフィルタB21のフィルタ面と平行とした。

## 【0041】

なお、基板C40の屈折率 $n_C$ は $\theta_2$ の出射角に影響する。基板C40の屈折率 $n_C$ のばらつきが大きい場合、 $\theta_2$ の出射角がばらつくため、基板C40に使用する材料は屈折率のばらつきが小さい材料を使用するのがよい。また、出射面C42にARコートを施さない場合には、出射面C42での反射を抑えるために、基板C40の屈折率 $n_C$ は低い方がよい。

## 【0042】

発明の実施の形態3.

図3は、本発明に係る波長合分波器の別の形態を示す概念図である。3つの波長多重光は第1のフィルタA11で $\theta_1$ の光31と、 $\theta_2$ と $\theta_3$ の2つの波長多重光34と合波もしくは分波され、更に2つの波長多重光34は、第2のフィルタB21で、 $\theta_2$ の光32と $\theta_3$ の光33に合波もしくは分波される。

## 【0043】

ここで、本発明の上記3つの波長多重光の中心波長は、 $0.94 \sim 2 / 1 \sim 0.98$ であり、 $0.20 \sim 3 / 1 \sim 0.94$ の関係にある。これは、本発明では波長多重光をエッジフィルタで合分波する構造とするため、その特性上、上記以上に近接した帯域の波長では分離が困難になるためである。

## 【0044】

一般に、図3のような構成において、第1のフィルタA11で1つの帯域を合波または分波させる場合、第1のフィルタA11の法線と上記3つの波長多重光とのなす角度 $\theta_A$ を $45^\circ$ とすると、反射光を3つの波長多重光と垂直に取り出すことができるため、光学素子の配置がし易く好ましい。

## 【0045】

$0.94 \sim 2 / 1 \sim 0.98$ の範囲にあるような接近した2つの帯域を第1のフィルタA11で分離する場合、一般的な光学エッジフィルタを入射角 $45^\circ$ で使用すると、S偏光とP偏光の特性が大きく乖離する。そのため、光の偏光状態により合分波器の光学特性が大きく変動してしまうという問題が発生する。これに対応する方法として、S偏光とP偏光の特性の乖離が小さい光学エッジフィルタを設計する方法が考えられる。

しかしながら、このようなフィルタの場合には、通常、反射帯域の反射率が低くなる。そこで、十分な反射率を得るためには、フィルタの高屈折率膜の屈折率が3以上となる特

10

20

30

40

50

殊な膜材料を用いる方法が考えられる。あるいは、積層数を100層以上のエッジフィルタにする方法も考えられるが、いずれの方法を用いても、製造コストは大きく上昇する。

【0046】

更に、本発明者らの検討によれば、仮に前記いずれかの方法で反射率を改善できたとしても、角度  $\theta_A$  を  $45^\circ$  とした場合には、製造ばらつきにより入射角が1度変動しただけで、エッジフィルタの遷移波長が大きくずれる。そのため、 $0.94 \times 2 / 1.0.98$  である接近した2つの波長を分離するフィルタに用いようとした場合に、入射角が設定値からすこしでもずれると特性の変動が大きくなるため、使用に適さないことが明らかとなった。

本発明者らの検討によれば、この問題を解決するためには、角度  $\theta_A$  を  $30^\circ$  以下のできるだけ小さな角度に設定する必要があることを見出した。すなわち、角度  $\theta_A$  の角度は  $30^\circ$  より大きいと、第1のフィルタA11においてS偏光とP偏光の特性の乖離が大きくなる。さらに、入射角がずれた場合においてエッジ部分の波長方向のずれが大きくなることにより光学特性が悪化する。

【0047】

一方、角度  $\theta_A$  を  $30^\circ$  以下とした場合には、3つの波長多重光30と第1のフィルタA11を反射した光31との角度が小さくなる。そのため、1の光31を受光する光学素子の配置がし難くなる。また、角度  $\theta_A$  が小さすぎると、3つの波長多重光30と第1のフィルタA11を反射した光の角度差が小さくなる。そのため、図26に示される構造の場合には、光がミラー12ではなく基板Aと基板Cの接合面に進んでしまうので、角度  $\theta_A$  は  $5^\circ$  以上とするのがよい。

本発明者らは、下記の構造を採用することにより、低コストで性能に優れた波長合分波器が実現できることを見出した。具体的には、角度  $\theta_A$  を  $5^\circ \sim 30^\circ$ 、好ましくは  $10^\circ \sim 25^\circ$  とし、第1のフィルタA11を反射した1の光31の光路上にミラー12を配置する。これによって、その反射光35を3つの波長多重光に対して大きな角度で取り出すことが可能となり、低コストで性能に優れた波長合分波器が実現される。

【0048】

図3に示すように、入射光である3つの波長多重光は、第1のフィルタA11のフィルタ面の法線に対して  $\theta_A$  の角度で入射もしくは出射するように設定される。その際、3つの波長多重光のうち、1及び2の光は、30の方向から第1のフィルタA11の法線とのなす  $\theta_A$  の角度で第1のフィルタA11へ進む。第1のフィルタA11は、この1の光を31の方向へ反射し、反射した1の光は、その光路上に配置されたミラー12で反射して35の方向へ進む。従って、1の光と三つの波長多重光30との角度を大きく、ほぼ直角にすることができ、部材の設計がさらに容易となる。

【0049】

2の光は、第1のフィルタA11を透過して、第2のフィルタB21へ進み、第2のフィルタB21において2の光を32の方向へ反射する。また、3の光は、33の方向から第2のフィルタB21へと進み、第2のフィルタB21および第1のフィルタA11を透過して、30の方向に進む。

このとき、第2のフィルタB21を透過した3の光は、2の光と合波され、第2のフィルタB11により2つの波長多重光34が生成される。さらに、第1のフィルタA11を透過する2つの波長多重光は、1の光と合波され、第1のフィルタA11により3つの波長多重光30が生成される。仮に、他の光源の3の光が1、2と同方向で3つの波長多重光に混入してきた場合には、第1のフィルタA11及び第2のフィルタB21を透過して33方向に出射するため問題は低減される。

【0050】

また、本実施形態において、1の光がミラー12へ入射する角度を所定の角度に設定しておくことにより全反射ミラーとすることができる。この場合には、ミラー12の面を平面に研磨しておくことにより、高反射率の膜を成膜しなくてもよくなるため、製造コストを低減できるため好ましい。そのためには、ミラー12への入射媒質の屈折率を  $n_M$  と

10

20

30

40

50

し、第1のフィルタA11を反射した1の光とミラー面の法線とのなす角を $\theta_M$ としたとき、 $n_M \cdot \sin \theta_M = 1$ となるようにするのがよい。

ここで、 $\theta_M$ を大きくしていくと、第1のフィルタA11を反射した1の光とミラー12とのなす角度が小さくなる。そのため、製造時に3つの波長多重光30の入射位置が少しずれただけで、1の光31とミラー12が接する位置が大きく変動するようになり、製造が難しくなる。そのため、角度 $\theta_M$ は85°以下とするのが良い。好ましくは $n_M \cdot \sin \theta_M = 1.1$ であり、 $\theta_M = 75^\circ$ とするのがよい。

#### 【0051】

なお、本発明では、光の入射射の方向を逆にすることも可能であり、その場合、上記の合波または分波がそれぞれ、分波または合波となる。また、上記の説明では3と、1及び2の光は別方向から波長合分波器1（第1のフィルタA11）に入射させているが、一方向のみから複数波長を波長合分波器1（第1のフィルタA11）に入射することも勿論可能である。この場合は、予め3つ以上の波長多重光となっていることを意味する。

#### 【0052】

本発明に用いられるフィルタは、基板上に高屈折率膜と低屈折率膜を積層した構造からなる。この高屈折率膜の材料としては、酸化Ta、酸化Ti、酸化Ce、酸化Hf、酸化Zr、酸化Nb、酸化Y、酸化Crなどの酸化物、窒化Si、窒化Ge等の窒化物、炭化Siなどの炭化物、ZnS、ZnSe、GaP、InP、GaAs、GaAl、GaNなどの半導体およびこれらの混合材から選ばれる少なくとも1種がある。

これに対して、低屈折率膜の材料としては、酸化Si、酸化Al、酸化Mg、酸化Geなどの酸化物、フッ化Ca、フッ化Ba、フッ化Ce、フッ化Mg、フッ化Na、フッ化Nd、 $\text{Na}_5\text{Al}_3\text{F}_{14}$ 、 $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ などのフッ化物、およびこれらの混合材から選ばれる少なくとも1種がある。

なお、各屈折率膜は同種のものを用いることが好ましいが、屈折率が近似した材料であれば、一部を他の材料からなる屈折率膜に置換することも可能である。また、高温高湿環境下での保存特性向上のためには、酸化物、窒化物、炭化物、フッ化物を用いることが望ましい。

#### 【0053】

本発明の両光学フィルタは、誘電体多層薄膜フィルタの一例であり、例えば真空成膜法で作製される。真空成膜法には、真空蒸着法、スパッタ法、化学気相成長法、レーザブレイション法など各種成膜法を用いることができる。真空蒸着法を用いる場合、膜質を改善するため蒸気流の一部をイオン化するとともに基板側にバイアスを印加するイオンプレーティング法、クラスティオンビーム法、別イオン銃を用いて基板にイオンを照射するイオンアシスト蒸着法を用いると有効である。

スパッタ法としては、DC反応性スパッタ法、RFスパッタ法、イオンビームスパッタ法などがある。また、化学的気相法としては、プラズマ重合法、光アシスト気相法、熱分解法、有機金属化学気相法などがある。なお、各屈折率膜の膜厚は膜形成時の蒸着時間等を変えることで、所望の膜厚とすることができる。

#### 【0054】

また、基板には石英ガラス、硼珪酸ガラス、などの光学ガラス、結晶化ガラス以外にも、Siウエハー、GaAsウエハー、GaInウエハー、SiCウエハーなどの半導体基板、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{SrTiO}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ などの酸化物単結晶、多結晶基板、 $\text{CaF}_2$ 、 $\text{MgF}_2$ 、 $\text{BaF}_2$ 、 $\text{LiF}$ などのフッ化物単結晶基板、多結晶基板、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{KBr}$ 、 $\text{KCl}$ などの塩化物、臭化物単結晶、他結晶基板、アクリル、アモルファスポリオレフィン、ポリカーボネイトなどのプラスチック等、使用帯域で透明な基板であれば、何れでも適用できる。

#### 【0055】

以下、上述した本発明の実施例を図面に沿って説明する。また、本発明は、これら実施例に何ら限定されるものではない。実施例で説明するフィルタに用いる材料には、屈折率が1.46の酸化Si、2.21の酸化Nb、基板には石英ガラス(屈折率1.44)を用

10

20

30

40

50

いた。空気の屈折率は 1.00 とした。

【0056】

また、以下に説明する実施例による波長合分波器 1 が扱う帯域は、次の表 1 によるものとする。

【表 1】

	波長範囲 (nm)	中心波長 (nm)	信号方向
$\lambda_1$	1540 ~ 1560	1550	受信
$\lambda_2$	1480 ~ 1500	1490	受信
$\lambda_3$	1260 ~ 1360	1310	送信

10

すなわち 1 の帯域は 1540 ~ 1560 nm の範囲の光を受信用に使用し、その中心波長は 1550 nm である。同様に、2 の帯域は 1480 ~ 1500 nm の範囲の光を受信用に使用し、その中心波長は 1490 nm である。更に、3 の帯域は 1260 ~ 1360 nm の範囲の光を送信用に使用し、その中心波長は 1310 nm である。そして、使用する帯域のそれぞれの中心波長の間には、 $\lambda_2 / \lambda_1 = 0.96$ 、 $\lambda_3 / \lambda_1 = 0.85$  の関係がある。

【実施例 1】

【0057】

表 1 のような関係にある 3 つの帯域を取り扱う波長合分波器においては、接近した 1 と 2 の帯域と、それより離れた 3 の帯域とをそれぞれうまく取り扱えるような構成を取る必要がある。

図 4 は、本発明による波長合分波器 1 の一例を示す模式図である。波長合分波器 1 は、2 つの光学基板、基板 A 10 と基板 B 20 を角度  $\theta$  で接着等の方法で V 字状に固定することにより構成される。

具体的には、基板 A 10 には V 字状の内側の面に第 1 のフィルタ A 11 を配置し、もう一方の基板 B 20 には V 字状の内側の面に第 2 のフィルタ B 21 を配置する。これら基板 A 10 と基板 B 20 が固定されることにより、2 つの光学基板が一体となっている。

【0058】

第 1 のフィルタ A 11 で反射された 3 は、1 と 2 と合波し、3 つの波長多重光となる。1 と 2 の帯域である 2 つの波長多重光は、第 1 のフィルタ A 11 を透過し、第 2 のフィルタ B 21 に導かれ、第 2 のフィルタ B 21 は 1 と 2 の帯域の光に分波する。

ここで第 1 のフィルタ A 11 は長波長透過型の光学エッジフィルタであり、第 2 のフィルタ B 21 は光学バンドパスフィルタである。

また、図 4 では、基板 A 10 と基板 B 20 の接合面に第 2 のフィルタ B 21 が配置されているが、この接合面には第 2 のフィルタ B 21 は配置されていなくてもよい。第 1 のフィルタ A 11 および第 2 のフィルタ B 21 は真空成膜法で、基板上に形成した。

【0059】

図 4 に示すように、本実施例では、2 つの光学基板を接合して一体とした基板上に 2 つの特性の異なる光学フィルタが支持されている。これによって、小型化が図られている。また、基板の接合面は光路となっていないため、接合材の選択の自由度が上がるのと同時に、接合材の劣化による光学特性の悪化を低減でき、保存特性に優れる。

基板 A 10 には、3 波長多重光を入射しやすくするために切削面 A 13 を設けているが、これは設けなくてもよい。切削面 A 13 を設ける場合、切削面 A 13 の角度は 3 つの波長多重光に垂直もしくはそれよりも  $1^\circ \sim 10^\circ$  傾いた角度とすることができる。切削面 A 13 は波長合分波器 1 に接続する送受信光である 3 つの波長多重光を入射・出射させる。

【0060】

50

この入射・出射させる方法として、光ファイバ等により導かれた3波長多重光を、コリメータレンズ等を使用して平行光にして第1のフィルタA11に導く方法がある。他の方法として、光ファイバのフェルールを切削面A13に接着または融着等の方法で固定し、光ファイバのNAにより定められる広がり角を持つ拡散光を第1のフィルタA11に導く方法などをとることができる。

入出力信号光である3つの波長多重光は、第1のフィルタA11の法線に対して角度 $\theta_A$ の角度で入射するように設定されている。その際、3つの波長多重光のうちの1550nmと1490nmの帯域の光は、第1のフィルタA11を透過し第2のフィルタB21に導かれる。従って、仮に3つの波長多重光に他の光源の中心波長1310nmの帯域の光が混入してきた場合でも、角度 $\theta_A$ で反射され、基板A10から出射することができる。

10

#### 【0061】

送信に使用する1310nmの帯域の光は、光学基板A10を透過し、角度 $\theta_A$ で第1のフィルタA11に入射し、角度 $\theta_A$ で反射後に3つの波長多重光を送ってきた光ファイバに入射するよう角度づけされる。

本実施例では、光学基板を石英とし、角度 $\theta_A$ を30°に設定した。従って、 $n_A \cdot \sin \theta_A = 0.72$ としている。なお、1310nm帯の送信光は、基板に対してP偏光を入射すると、基板表面の反射を低減できるため、送信損失を低減できるため好ましい。

#### 【0062】

一方、第1のフィルタA11を透過し1550nmと1490nmの2つの波長多重光になった光は、第2のフィルタB21の面の法線とのなす $\theta_B$ の角度で第2のフィルタB21に入射する。第2のフィルタB21は、1550nmと1490nmの帯域のどちらかを透過し、もう一方を反射するような光学バンドパスフィルタにすることができる。これにより、2つの波長多重光を分波することができる。本実施例では、1550nmの帯域の光を透過し、1490nmの帯域を反射するようにバンドパスフィルタを設計した。

20

#### 【0063】

本実施例のごとく第1のフィルタA11の出射媒質と第2のフィルタB21の入射媒質を共に空気とした場合、入射角 $\theta_B$ を得るための角度 $\theta_A$ は、上記の式1から求めることができる。

本実施例では、 $\theta_A = 30^\circ$ 、 $n_A = 1.44$ であるから、角度 $\theta_B$ を30°とするために、 $\theta_B = 76.1^\circ$ とした。ここで、 $n_B \cdot \sin \theta_B = 0.5$ である。

30

#### 【0064】

なお、本実施例では、第1のフィルタA11の出射媒質と第2のフィルタB21の入射媒質は共に空気としたが、第2のフィルタB21の出射面に別の光学基板等の光学素材を配置する等の構成にすることができる。これにより、第1のフィルタA11の出射媒質と第2のフィルタB21の入射媒質を異ならせてもよく、その場合、そこに配置する光学素材の屈折率・形状により角度 $\theta_B$ を変えることが可能である。

#### 【0065】

また、第2のフィルタB21を透過した $\lambda_1$ の帯域の光は、裏面B24で反射率数パーセントの割合で反射後、第2のフィルタB21を透過して $\lambda_2$ の方向に到達することがある。この $\lambda_1$ の帯域の光が $\lambda_2$ の受光素子に混合した場合、クロストークが発生することがある。このクロストークが問題となる場合には、裏面B24にARコートを実施するか、裏面B24を反射した光が散乱されるように基板Bを切削面B25の形状に粗面に切削しておけばよい。

40

#### 【0066】

なお、基板B20の屈折率は1550nm帯域の光である $\lambda_1$ の出射角に影響する。基板B20の屈折率のばらつきが大きい場合、 $\lambda_1$ の出射角がばらつくため、基板B20に使用する材料は屈折率のばらつきが小さい材料を使用するのがよい。基板B20の屈折率の値については、第1のフィルタA11および第2のフィルタB21の特性には影響を与えないため、特に問題にはならない。ただし、裏面B24にARコートを実施しない場合に

50

は、裏面 B 2 4 での反射を抑えるために、基板 B 1 0 の屈折率は低い方がよい。

【 0 0 6 7 】

図 5 は、本実施例の第 1 のフィルタ A 1 1 で用いる長波長透過型の光学エッジフィルタの特性である。入射媒質は石英(屈折率 1.44)、入射角  $\theta_A = 30^\circ$ 、出射媒質は空気である。使用した低屈折率材は、屈折率が 1.46 の酸化 Si、高屈折率材は、屈折率が 2.21 の酸化 Nb である。

図 6 は、本実施例の第 2 のフィルタ B 2 1 に用いる光学バンドパスフィルタの特性である。入射媒質は空気、入射角  $\theta_B = 30^\circ$ 、出射媒質は石英、高屈折率材は酸化 Nb、低屈折率材は酸化 Si である。使用した材料の屈折率は、高屈折率膜が 2.21、低屈折率膜が 1.46、石英が 1.44 である。

図 7 は、本実施例の波長合分波器において、1310 nm の帯域の送信信号の特性である。使用する帯域である 1260 ~ 1360 nm の範囲において、P 偏光・S 偏光とも透過損失が低く、良好な合波特性となっている。

図 8 は、本実施例の波長合分波器において、1490 nm と 1550 nm の帯域の受信信号の特性である。1490 nm の受信光においては 1480 ~ 1500 nm の範囲で、1550 nm の受信光においては 1540 ~ 1560 nm の範囲において、両方の帯域において P 偏光・S 偏光とも透過損失が低く、良好な分波特性となっている。

【 実施例 2 】

【 0 0 6 8 】

図 9 は、本発明による波長合分波器の他の一例を示す模式図である。

V 字の組み方が異なっていることを除いて、光学的にはすべて図 4 と同じである。従って、基板 A および基板 B は共に屈折率 1.44 の石英、 $\theta_A = 30^\circ$ 、 $\theta_B = 30^\circ$ 、 $n_A \cdot \sin \theta_A = 0.72$ 、 $n_B \cdot \sin \theta_B = 0.5$ 、 $\theta = 76.1^\circ$  である。本実施例においても、実施例 1 と同様の光学特性を得ることができる。

【 実施例 3 】

【 0 0 6 9 】

図 10 は、本発明による波長合分波器の他の一例を示す模式図である。

基板 A 1 0 は石英、第 1 のフィルタ A 1 1 への入射角は  $30^\circ$  であり、基板 B 2 0 は石英、第 2 のフィルタ B 2 1 への入射角は  $30^\circ$  である。それ故、 $n_A \cdot \sin \theta_A = 0.72$ 、 $n_B \cdot \sin \theta_B = 0.72$ 、第 1 のフィルタ A 1 1 と第 2 のフィルタ B 2 1 のなす角度は  $60^\circ$  である。

図 11 は、本実施例の第 1 のフィルタ A 1 1 で用いる長波長透過型の光学エッジフィルタの特性である。入射媒質は石英(屈折率 1.44)、入射角  $\theta_A = 30^\circ$ 、出射媒質は石英である。使用した低屈折率材は、屈折率が 1.46 の酸化 Si、高屈折率材は、屈折率が 2.15 の酸化 Ta である。

図 12 は、本実施例の第 2 のフィルタ B 2 1 に用いる光学バンドパスフィルタの特性である。入射媒質は石英、入射角  $\theta_B = 30^\circ$ 、出射媒質は空気、高屈折率材は酸化 Ta、低屈折率材は酸化 Si である。使用した材料の屈折率は、高屈折率膜が 2.15、低屈折率膜が 1.46、石英が 1.44 である。

図 13 は、本実施例の波長合分波器において、1310 nm の帯域の送信信号の特性である。使用する帯域である 1260 ~ 1360 nm の範囲において、P 偏光・S 偏光とも透過損失が低く、良好な合波特性となっている。

図 14 は、本実施例の波長合分波器において、1490 nm と 1550 nm の帯域の受信信号の特性である。1490 nm の受信光においては 1480 ~ 1500 nm の範囲で、1550 nm の受信光においては 1540 ~ 1560 nm の範囲において、両方の帯域において P 偏光・S 偏光とも透過損失が低く、良好な分波特性となっている。

【 実施例 4 】

【 0 0 7 0 】

実施例 4 は、図 2 に示された発明の実施の形態 2 における波長合分波器 1 を用いた場合である。

10

20

30

40

50

波長合分波器 1 は、単一の光学基板 C 4 0 の一面に第 1 のフィルタ A 1 1 を、もう一面に第 2 のフィルタ B 2 1 を配置している。入出射光である 3 波長多重光は、まず、第 1 のフィルタ A 1 1 は、入出射光である 3 波長多重光から 3 の帯域を分離する。分離された残りの 1 と 2 の帯域である 2 波長多重光は、第 2 のフィルタ B 2 1 に導かれ、第 2 のフィルタ B 2 1 によって 1 と 2 の帯域の光に分波される。ここで、第 1 のフィルタ A 1 1 として短波長透過型の光学エッジフィルタを配置し、第 2 のフィルタ B 2 1 として光学バンドパスフィルタを配置する。

3 つの波長多重光は、基板 C 4 0 の入出射面 C 4 1 より入出射する。本実施例では、入出射面 C 4 1 は 3 つの波長多重光に垂直になるように設けている。

#### 【0071】

入出力信号光である 3 波長多重光は、第 1 のフィルタ A 1 1 の法線に対して  $\theta_A$  の角度で入射もしくは出射するように設定する。その際、3 つの波長多重光のうちの中心波長が 1550 nm と 1490 nm の帯域の光は、第 1 のフィルタ A 1 1 の基板側で角度  $\theta_A$  で反射し、基板内を伝搬して第 2 のフィルタ B 2 1 に導かれる。仮に他の光源の中心波長 1310 nm の帯域の光が 1、2 と同方向で 3 波長多重光に混入してきた場合には、第 1 のフィルタ A 1 1 を透過し出射する。

一方、送信に使用する中心波長が 1310 nm の帯域の光は、第 1 のフィルタ A 1 1 から角度  $\theta_A$  で出射するように設定される。これによって、第 1 のフィルタ A 1 1 を透過した光が 1 及び 2 の光が伝搬する光路とが一致し、この中心波長が 1310 nm の帯域の光が 3 つの波長多重光を送ってきた光ファイバに入射される。

#### 【0072】

本実施例では、基板 C を石英とし、角度  $\theta_A$  は 30° に設定した。従って、 $n_A \cdot \sin \theta_A = 0.72$  としている。なお、中心波長が 1310 nm 帯の送信光が好ましく、基板 C 4 0 に対して P 偏光を入射することにより、基板表面の反射を低減できるため、送信損失を低減できる。

この中心波長が 1310 nm 帯の送信光は、第 1 のフィルタ A 1 1 を透過時に屈折して基板 C に入射する。

#### 【0073】

一方、第 1 のフィルタ A 1 1 で反射し、中心波長が 1550 nm と 1490 nm の 2 つの波長多重光になった光は、第 2 のフィルタ B 2 1 の面の法線とのなす  $\theta_B$  の角度で第 2 のフィルタ B 2 1 に入射する。第 2 のフィルタ B 2 1 は、1550 nm の光を透過し、1490 nm の帯域を反射するようにバンドパスフィルタとして設計されている。

本実施例のごとく第 1 のフィルタ A 1 1 の入射媒質と第 2 のフィルタ B 2 1 の入射媒質を同じ媒質とした場合、入射角  $\theta_B$  を得るための角度  $\theta_A$  は、上記の式 2 から求めることができる。本実施例では、 $\theta_A = 30^\circ$  であるから、角度  $\theta_B$  を 12° とするために、 $\theta_A = 42^\circ$  とした。なお、本実施例では、出射面 C 4 2 の角度は第 2 のフィルタ B 2 1 のフィルタ面と平行とした。

#### 【0074】

図 15 は、本実施例の第 1 のフィルタ A 1 1 で用いる短波長透過型の光学エッジフィルタの特性である。入射媒質は石英(屈折率 1.44)、入射角  $\theta_A = 30^\circ$ 、出射媒質は空気である。使用した低屈折率材は、屈折率が 1.46 の酸化 Si、高屈折率材は、屈折率が、2.21 の酸化 Nb である。

図 16 は、本実施例の第 2 のフィルタ B 2 1 に用いる光学バンドパスフィルタの特性である。入射媒質は石英、入射角  $\theta_B = 12^\circ$ 、出射媒質は空気、高屈折率材は酸化 Nb、低屈折率材は酸化 Si である。使用した材料の屈折率は、高屈折率膜が 2.21、低屈折率膜が 1.46、石英が 1.44 である。

図 17 は、本実施例の波長合分波器において、中心波長が 1310 nm の帯域の送信信号の特性である。使用する帯域である 1260 ~ 1360 nm の範囲において、P 偏光・S 偏光とも透過損失が低く、良好な合波特性となっている。

図 18 は、本実施例の波長合分波器において、1490 nm と 1550 nm の帯域の受

10

20

30

40

50



信信号の特性である。1490nmの受信光においては1480～1500nmの範囲で、1550nmの受信光においては1540～1560nmの範囲において、両方の帯域においてP偏光・S偏光とも透過損失が低く、良好な分波特性となっている。

【実施例5】

【0075】

図19は、本発明による波長合分波器の他の一例を示す模式図である。基本的な構造は実施例4と同じであるが、第1のフィルタA11の外側に3角度補正基板44が、第2のフィルタB21の外側に2角度補正基板43が配置されている。

3角度補正基板44は、3と3つの波長多重光との角度を所定の角度に設定したい場合に使用するが、その角度が実施例4と同じ角度でよい場合には使用しなくてもよい。

10

3角度補正基板44の材料には基板C40と屈折率が同じ材質のものを使用しているが、異なってもよい。

【0076】

また、3角度補正基板44と基板C40を固定するために、両者の間には第1のフィルタA11と光学的に透明な接合材が位置する。この接合の順番は基板C40側から順に、基板C40・第1のフィルタA11・接合材・3角度補正基板44の順に配置した方が好ましい。これにより、1・2の光において接合材での1～5%程度の透過損失を低減できる。さらに、基板C40・接合材・第1のフィルタA11・3角度補正基板44の順に配置してもよい。

さらに、3の光が第1のフィルタA11に入射する際、0～10%程度の反射率で反射した光が32の方向に伝搬し、32の受光素子に混合した場合、クロストークが発生することがある。このクロストークが問題となる場合には、第1のフィルタA11を反射した光が散乱するように、3角度補正基板44の出射面C42側の面を粗面に切削しておけばよい。

20

【0077】

本実施例では、3角度補正基板44には、基板C40と同じ石英を使用し、その角度は3波長多重光に対して垂直に設定している。

同様に、2角度補正基板43は、2と3波長多重光との角度を所定の角度にしたい場合に使用するが、その角度が実施例4と同じ角度でよい場合には使用しなくてもよい。

2角度補正基板43の材料には基板C40と屈折率が同じ材質のものを使用できるが、

30

【0078】

また、2角度補正基板43と基板C40を固定するために、両者の間には第2のフィルタB21と光学的に透明な接合材等が位置する。この接合の順番は基板C40側から順に、基板C40・第2のフィルタB21・接合材・2角度補正基板43の順に配置した方が好ましい、これにより、2の光において接合材での1～5%程度の透過損失を低減できる。さらに、基板C40・接合材・第2のフィルタB21・2角度補正基板43の順に配置してもよい。

【0079】

本実施例では、2角度補正基板43には、基板Cと同じ石英を使用し、その角度は出射角を3波長多重光に対して垂直にするために、出射角36°になるように設定している。また、基板Cは屈折率1.44の石英、 $n_A = 30^\circ$ 、 $n_B = 12^\circ$ としたため、 $n_A \cdot \sin A = 0.72$ 、 $n_B \cdot \sin B = 0.30$ 、 $\theta = 42^\circ$ である。

40

本形態においては、実施例4で使用した図15のエッジフィルタおよび図16のバンドパスフィルタの出射媒質を石英に整合させた設計のフィルタを使用することができる。従って、実施例4と同様の光学特性を得ることができる。

【実施例6】

【0080】

図20は、本発明による波長合分波器の他の一例を示す模式図である。基本的な構造は実施例4と同じであるが、光学基板A10と光学基板B20を一体にした構造となってお

50

り、従って、小型化が図られている。

本実施例では、基板 A 1 0 は石英、第 1 のフィルタ A 1 1 への入射角  $30^\circ$  であり入射媒質は空気であるから  $n_A \cdot \sin \theta_A = 0.5$ 、基板 B 2 0 は石英、第 2 のフィルタ B 2 1 への入射角は  $12^\circ$  であり入射媒質は空気であるから  $n_B \cdot \sin \theta_B = 0.21$ 、第 1 のフィルタ A 1 1 と第 2 のフィルタ B 2 1 のなす角度は  $42^\circ$  である。

図 2 1 は、本実施例の第 1 のフィルタ A 1 1 で用いる短波長透過型の光学エッジフィルタの特性である。入射媒質は空気、入射角  $\theta_A = 30^\circ$ 、出射媒質は石英(屈折率 1.44)である。使用した低屈折率材は、屈折率が 1.46 の酸化 Si、高屈折率材は、屈折率が、2.21 の酸化 Nb である。

図 2 2 は、本実施例の第 2 のフィルタ B 2 1 に用いる光学バンドパスフィルタの特性である。入射媒質は空気、入射角  $\theta_B = 12^\circ$ 、出射媒質は石英、高屈折率材は酸化 Nb、低屈折率材は酸化 Si である。使用した材料の屈折率は、高屈折率膜が 2.21、低屈折率膜が 1.46、石英が 1.44 である。

図 2 3 は、本実施例の波長合分波器において、1310 nm の帯域の送信信号の特性である。使用する帯域である 1260 ~ 1360 nm の範囲において、P 偏光・S 偏光とも透過損失が低く、良好な合波特性となっている。

図 2 4 は、本実施例の波長合分波器において、1490 nm と 1550 nm の帯域の受信信号の特性である。1490 nm の受信光においては 1480 ~ 1500 nm の範囲で、1550 nm の受信光においては 1540 ~ 1560 nm の範囲において、両方の帯域において P 偏光・S 偏光とも透過損失が低く、良好な分波特性となっている。

#### 【実施例 7】

##### 【0081】

図 2 5 は、本発明による波長合分波器の他の一例を示す模式図である。基本的な構造は実施例 4 と同じであるが、光学基板 A 1 0 と光学基板 B 2 0 を一体にした構造となっており、従って、小型化が図られている。

基板 A は石英、第 1 のフィルタ A 1 1 への入射角  $30^\circ$  であり入射媒質は空気であるから  $n_A \cdot \sin \theta_A = 0.5$ 、基板 B は石英、第 2 のフィルタ B 2 1 への入射角は  $8^\circ$  であり入射媒質は石英である。それ故、 $n_B \cdot \sin \theta_B = 0.20$ 、第 1 のフィルタ A 1 1 と第 2 のフィルタ B 2 1 のなす角度は  $42^\circ$  である。

本実施例においては、実施例 6 で使用した各フィルタを使用することができる。従って、実施例 6 と同様の光学特性を得ることができる。

#### 【実施例 8】

##### 【0082】

実施例 8 は、発明の実施の形態 3 における波長合分波器 1 を用いた場合である。

図 2 6 は、本発明による波長合分波器の他の一例を示す模式図である。波長合分波器 1 は、4 つの光学基板、基板 A 1 0、基板 B 2 0、基板 C 4 0、基板 D 4 5 を光学的に透明な接合材等により固定することにより構成される。

基板 A 1 0 と基板 B 2 0 との間には第 1 のフィルタ A 1 1 が、基板 B 2 0 と基板 D 4 5 との間には第 2 のフィルタ B 2 1 が配置される。また、基板 A 1 0 と基板 C 4 0 の接合面に接する基板 A 1 0 側の面には、ミラー 1 2 が配置されている。

##### 【0083】

受信光である 1 の光は、 $30^\circ$  の方向から第 1 のフィルタ A 1 1 へ進み、第 1 のフィルタ A 1 1 で反射する。これにより、受信光である 1 の光は、分波された後、ミラー 1 2 で反射し、 $31^\circ$  の方向へ出射する。同じく受信光である 2 の光は、 $30^\circ$  の方向から進み第 1 のフィルタ A 1 1 を透過し、第 2 のフィルタ B 2 1 で反射する。これにより、受信光である 2 の光は、分波された後、 $32^\circ$  の方向へ出射する。送信光である 3 の光は、 $33^\circ$  の方向から第 2 のフィルタ B 2 1 へと進み、第 2 のフィルタ B 2 1 と第 1 のフィルタ A 1 1 を透過して、 $30^\circ$  の方向へ進む。

##### 【0084】

ここで、第 1 のフィルタ A 1 1 および第 2 のフィルタ B 2 1 は異なる特性を有する短波

10

20

30

40

50

長透過型の光学エッジフィルタを用いている。これら第1のフィルタA11および第2のフィルタB21は、真空成膜法で、基板上に形成されている。従って、図26に示すように、本実施例では、4つの光学基板を接合して一体とした基板上に、2つの特性の異なる光学フィルタが支持されており、小型化が図られている。また、各波長の光が基板に入射あるいは出射する位置が基板接合面から離れているため、小型化を図っても接合材の回り込みによる影響も低減できている。

【0085】

基板C40に3つの波長多重光30が入出射する入出射面C41は、3つの波長多重光30に垂直、もしくはそれよりも1°~10°傾いた角度とすることができる。入出射面C41は波長合分波器1に接続する送受信光である3つの波長多重光を入射・出射させる

10

この入射・出射させる方法として、光ファイバ等により導かれた3つの波長多重光を、コリメータレンズ等を使用して平行光にして第1のフィルタA11に導く方法がある。他の方法として、光ファイバのフェルールを入射面C41に接着または融着等の方法で固定し光ファイバのNAにより定められる広がり角を持つ拡散光を第1のフィルタA11に導く方法などをとることができる。

【0086】

基板A10には、3つの波長多重光を入射しやすくするために基板C40を接合しているが、3つの波長多重光30をコリメータレンズ等で平行光にして用いる場合、基板C40は設けなくても良い。このとき、もし基板A10表面の反射による損失が問題になる場合には、基板A10のミラー12の面にARコートも設けてもよい。

20

3つの波長多重光は、基板A10の屈折率 $n_A$ の入射媒質から $\theta_A$ の角度で第1のフィルタA11に入出射し、受信に使用する1550nmの帯域の光が反射により分波される。残り2つの1310nmと1490nmの帯域の光は、第1のフィルタA11を透過する。従って、第1のフィルタA11を短波長透過型の光学エッジフィルタとして設計した

本実施例では、角度 $\theta_A$ は20°に設定している。また、光学エッジフィルタを斜入射で使う場合、入射媒質の屈折率を大きくすると、S偏光とP偏光の乖離が大きくなり、角度 $\theta_A$ にばらつきがあった場合におけるエッジフィルタの遷移波長の変動も大きくなる。そのため、光学基板は屈折率の低い石英としている。

30

【0087】

第1のフィルタA11で反射した $\theta_1$ の光は、ミラー12へ進む。このミラー12は、高反射率を有する金属膜や誘電体多層膜を成膜するか、入射角 $\theta_M$ 13の値を $n_M \cdot \sin \theta_M = 1$ を満たす全反射ミラーとすることで構成できる。ここで、角度 $\theta_M$ の値は、第1のフィルタA11とミラー12とのなす角度 $\theta$ と $\theta_A$ を使って、下記の式3から求めることができる。

$$\theta_M = \theta_A + \theta \quad \dots \dots \dots (3)$$

一方、 $\theta_1$ の光31を受光する素子をコンパクトに配置するためには、光30と $\theta_1$ の光31とのなす角を直角にすることが好ましい。そのためには、出射面A14を光30と平行にし、角度 $\theta$ を45°に設定すればよい。

40

本実施例では、 $\theta = 45^\circ$ 、 $\theta_M = 65^\circ$ とし、また、第1のフィルタA11とミラー12の入射媒質は同一の石英であるから、 $n_A = n_M = 1.44$ なので、 $n_M \cdot \sin \theta_M = 1.31$ である。そのため、ミラー12を全反射ミラーとした。これにより、高反射率膜の成膜が不要になるため、製造コストを低減できる。

【0088】

なお、全反射ミラーとした場合、基板A10に経年変化によるヤケ等が発生し、ミラー12の光学特性の劣化が予想される場合がある。その場合には、ミラー12の表面に、酸化Si等の誘電体薄膜やAu等の金属薄膜を保護膜として成膜しておいてもよい。

特に、酸化Si等の基板A10の屈折率に近い誘電体薄膜を成膜しておく、保護膜が基板A10と基板C40との接合面にかかっている場合、3つの波長多重光の保護膜表面に

50

おける反射が小さくなる。これによって、透過率の低下を抑制できる。従って、保護膜を基板 A 1 0 のミラー 1 2 の面全体に成膜できるため、成膜領域をマスクする必要がなくなり製造コストを低減できる。

#### 【0089】

第 1 のフィルタ A 1 1 を透過する 2 と 3 の 2 つの帯域多重光 3 4 は、基板 B 2 0 の屈折率  $n_B$  の入射媒質から  $B$  の角度で第 2 のフィルタ B 2 1 に入射する。すると、受信に使用する 1 4 9 0 nm の帯域の光が反射により分波され、1 3 1 0 nm の帯域の光は透過する。従って、第 2 のフィルタ B 2 1 は短波長透過型の光学エッジフィルタとして設計した。

本実施例では、2 (1 4 9 0 nm) と 3 (1 3 1 0 nm) の帯域が離れているため、角度  $B$  を大きくしても光学特性が受ける悪影響は小さい。そのため、角度  $B$  を 4 5 ° とし、光学基板は基板 A 1 0 と同じ石英としている。さらに、3 の光を P 偏光で入射させれば、3 の帯域では、P 偏光の透過率が高ければ S 偏光の透過率が低いフィルタが使用可能となる。従って、積層数が少なく遷移幅が広いフィルタが使用できるようになるため、第 2 のフィルタ B 2 1 の製造コストを低減できる。

#### 【0090】

なお、本実施例では、すべての基板を透過する 3 の光を直進させるために、全基板に石英を使用した。異なる屈折率の基板を混在させてもよい。その場合、入射面 D 4 7 の角度を変更して屈折角を与えることにより、3 と 3 つの波長多重光 3 0 の角度を平行にすることができる。

#### 【0091】

3 の帯域の光は、3 3 の方向から進み第 2 のフィルタ B 2 1 で反射率数 % の割合で反射するが、切削面 D 4 6 で反射率数 % の割合で反射後に第 2 のフィルタ B 2 1 に達することがある。そして、3 の帯域の光は、この第 2 のフィルタ B 2 1 を透過することにより、2 の光 3 2 に混合することがある。このクロストークが問題になる場合には、切削面 D 4 6 は、光が散乱するように粗面に切削しておくか、反射を低減するために AR コートを設けてもよい。

#### 【0092】

また、1 5 5 0 nm の帯域である 1 の光について、他の帯域の送受信光との分離性を高く保つために、アイソレーションを高くとらなければならない場合がある。この場合には、出射面 A 1 4 に 1 の帯域を透過するバンドパスフィルタをさらに配置してもよい。同様に 1 4 9 0 nm である 2 の光のアイソレーションを高くする必要がある場合には、出射面 B 2 3 にバンドパスフィルタをさらに配置しても良い。

#### 【0093】

図 2 7 は、本実施例の第 1 のフィルタ A 1 1 で用いる短波長透過型の光学エッジフィルタの特性である。入射及び出射媒質は屈折率が 1 . 4 4 の石英、入射角度  $A = 2 0 ^\circ$  である。使用した低屈折率材は屈折率 1 . 4 6 の酸化 Si、高屈折率材は屈折率 2 . 2 1 の酸化 Nb である。

図 2 8 は、本実施例の第 2 のフィルタ B 2 1 に用いる短波長透過型の光学エッジフィルタの特性である。入射及び出射媒質は屈折率が 1 . 4 4 の石英、入射角度  $B = 4 5 ^\circ$ 、使用した低屈折率材は屈折率 1 . 4 6 の酸化 Si、高屈折率材は屈折率 2 . 2 1 の酸化 Nb である。

図 2 9 は、本実施例の波長合分波器において、1 3 1 0 nm の帯域の送信信号の特性である。使用する帯域である 1 2 6 0 ~ 1 3 6 0 nm の範囲において、P 偏光・S 偏光とも透過損失が低く、良好な合波特性となっていることが分かる。

図 3 0 は、本実施例の波長合分波器において、1 4 9 0 nm と 1 5 5 0 nm の帯域の受信信号の特性である。1 4 9 0 nm の受信光においては 1 4 8 0 ~ 1 5 0 0 nm の範囲で、1 5 5 0 nm の受信光においては 1 5 4 0 ~ 1 5 6 0 nm の範囲で、両方の帯域において P 偏光・S 偏光とも透過損失が低く、良好な分波特性となっていることが分かる。

#### 【0094】

10

20

30

40

50

なお、上記実施例で使用した波長以外でも、本発明の中心波長の比の関係を有する帯域の波長多重光を同様にエッジフィルタで合分波することが可能である。また、他の特性のフィルタと組み合わせることにより、3波以上の多重光も小型化した波長合分波器によって合分波可能である。

【図面の簡単な説明】

【0095】

【図1】発明の実施の形態1における波長合分波器を示した図である。

【図2】発明の実施の形態2における波長合分波器を示した図である。

【図3】発明の実施の形態3における波長合分波器を示した図である。

【図4】実施例1における波長合分波器を示した図である。

10

【図5】実施例1における第1のフィルタAである光学エッジフィルタの特性を示した図である。

【図6】実施例1における第2のフィルタBである光学バンドパスフィルタの特性を示した図である。

【図7】実施例1における波長合分波器の送信信号の特性を示した図である。

【図8】実施例1における波長合分波器の受信信号の特性を示した図である。

【図9】実施例2における波長合分波器を示した図である。

【図10】実施例3における波長合分波器を示した図である。

【図11】実施例3における第1のフィルタAである光学エッジフィルタの特性を示した図である。

20

【図12】実施例3における第2のフィルタBである光学バンドパスフィルタの特性を示した図である。

【図13】実施例3における波長合分波器の送信信号の特性を示した図である。

【図14】実施例3における波長合分波器の受信信号の特性を示した図である。

【図15】実施例4における第1のフィルタAである光学エッジフィルタの特性を示した図である。

【図16】実施例4における第2のフィルタBである光学バンドパスフィルタの特性を示した図である。

【図17】実施例4における波長合分波器の送信信号の特性を示した図である。

【図18】実施例4における波長合分波器の受信信号の特性を示した図である。

30

【図19】実施例5における波長合分波器を示した図である。

【図20】実施例6における波長合分波器を示した図である。

【図21】実施例6における第1のフィルタAである光学エッジフィルタの特性を示した図である。

【図22】実施例6における第2のフィルタBである光学エッジフィルタの特性を示した図である。

【図23】実施例6における波長合分波器の送信信号の特性を示した図である。

【図24】実施例6における波長合分波器の受信信号の特性を示した図である。

【図25】実施例7における波長合分波器を示した図である。

【図26】実施例8における波長合分波器を示した図である。

40

【図27】実施例8における第1のフィルタAである光学エッジフィルタの特性を示した図である。

【図28】実施例8における第2のフィルタBである光学エッジフィルタの特性を示した図である。

【図29】実施例8における波長合分波器の送信信号の特性を示した図である。

【図30】実施例8における波長合分波器の受信信号の特性を示した図である。

【符号の説明】

【0096】

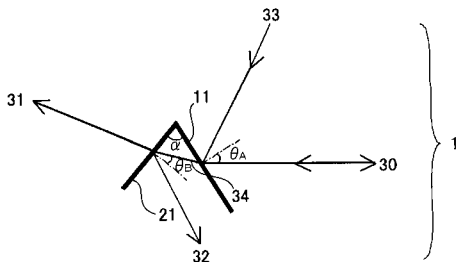
1 ... 波長合分波器

10 ... 基板 A、11 ... 第1のフィルタ A、12 ... ミラー、

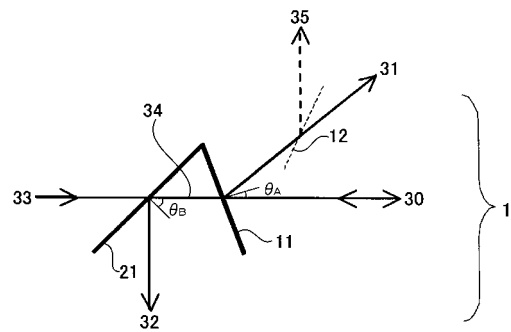
50

- 1 3 ... 切削面 A、1 4 ... 出射面 A
- 2 0 ... 基板 B、2 1 ... 第 2 のフィルタ B、2 3 ... 出射面 B、2 4 ... 裏面 B、
- 2 5 ... 切削面 B
- 3 0 ... 3 波長多重光、3 1 ... 1 の帯域光、3 2 ... 2 の帯域光、3 3 ... 3 の帯域光
- 、
- 3 4 ... 2 波長多重光、3 5 ... ミラーにより反射した 1 の帯域光
- 4 0 ... 基板 C、4 1 ... 入出射面 C、4 2 ... 出射面 C、4 3 ... 2 角度補正基板、
- 4 4 ... 3 角度補正基板、4 5 ... 基板 D、4 6 ... 切削面 D、4 7 ... 入射面 D

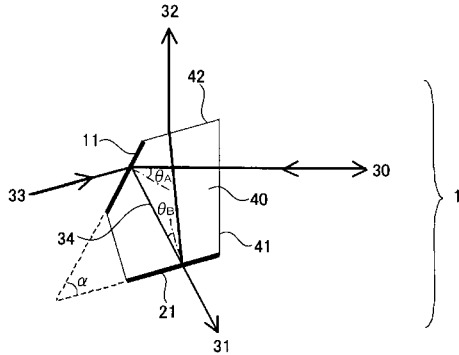
【 図 1 】



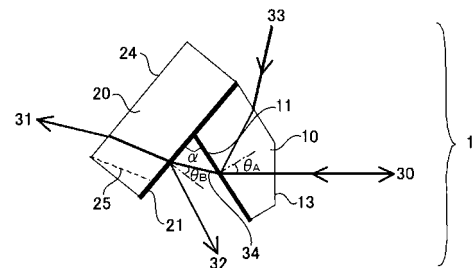
【 図 3 】



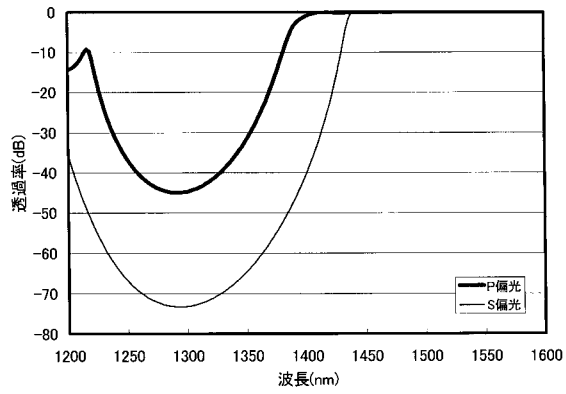
【 図 2 】



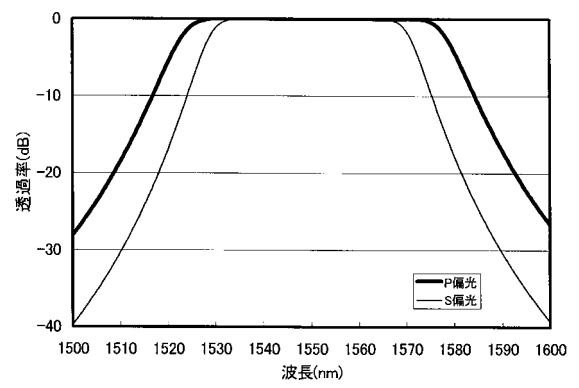
【 図 4 】



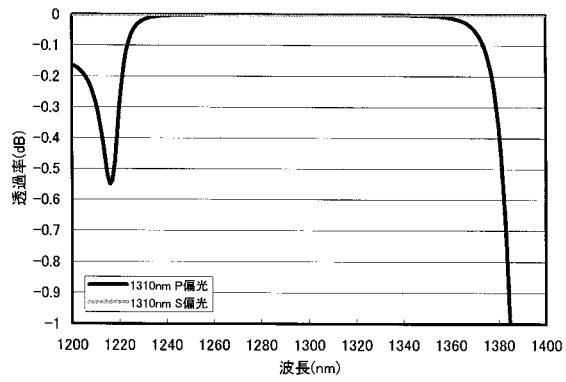
【 図 5 】



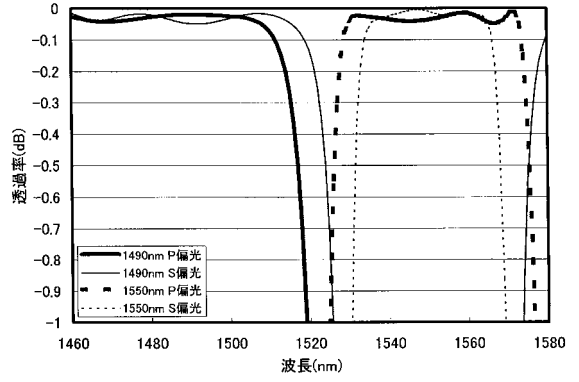
【 図 6 】



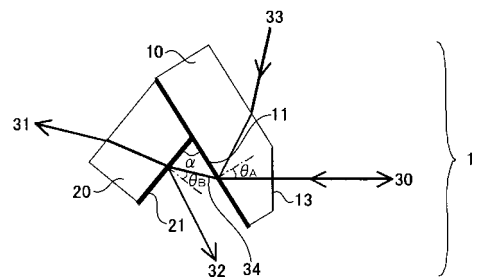
【 図 7 】



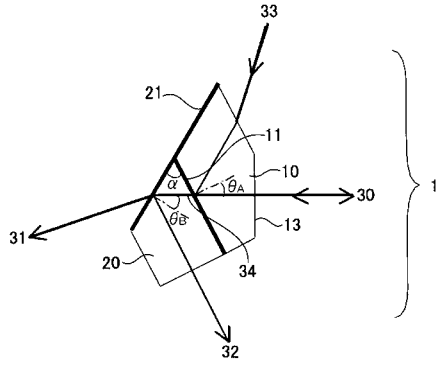
【 図 8 】



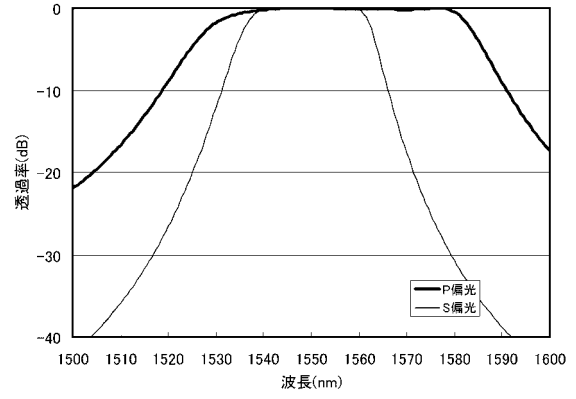
【 図 9 】



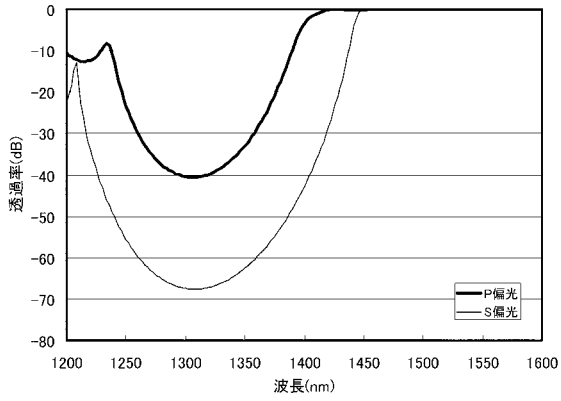
【 図 1 0 】



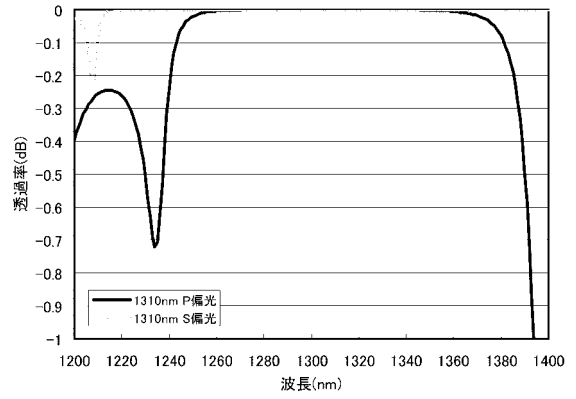
【 図 1 2 】



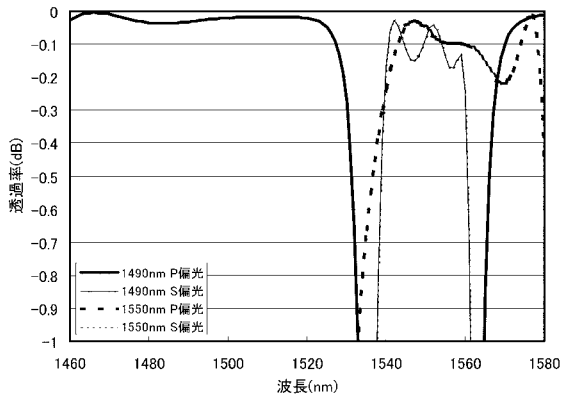
【 図 1 1 】



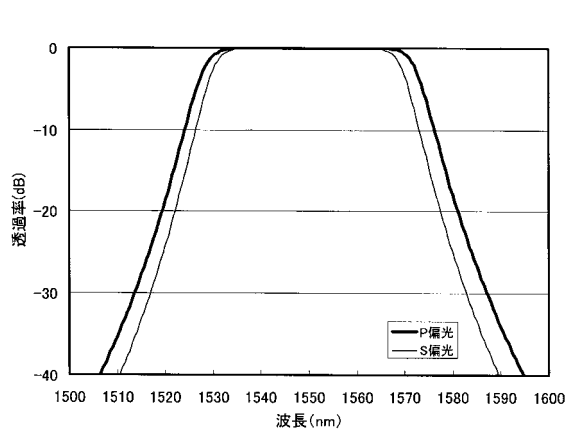
【 図 1 3 】



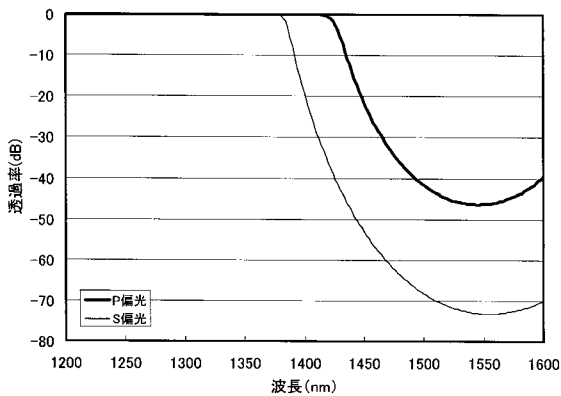
【 図 1 4 】



【 図 1 6 】

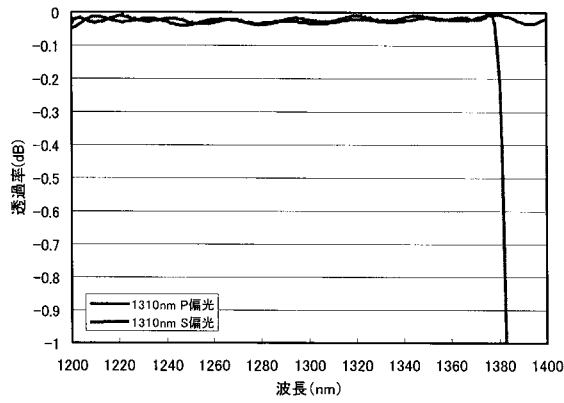


【 図 1 5 】

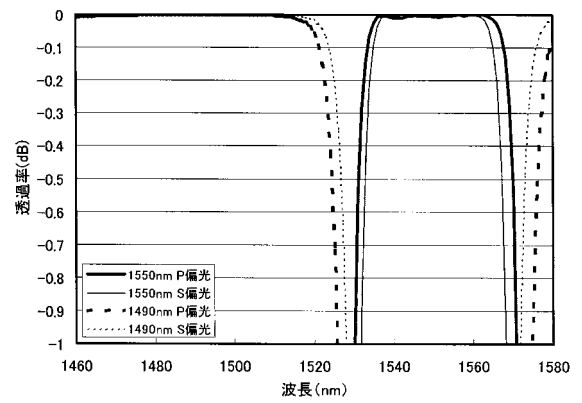




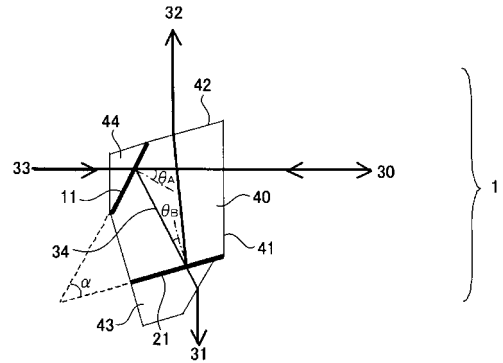
【 図 1 7 】



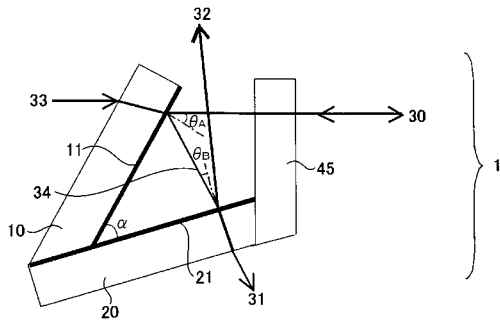
【 図 1 8 】



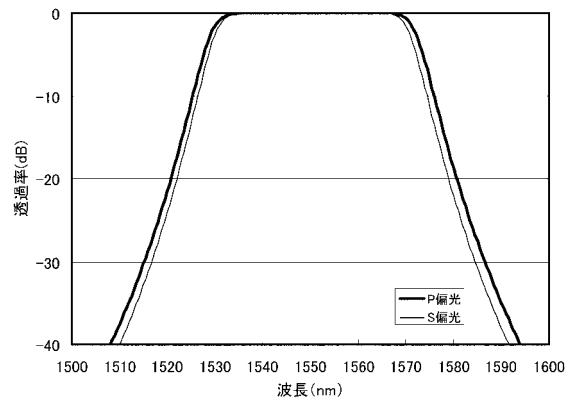
【 図 1 9 】



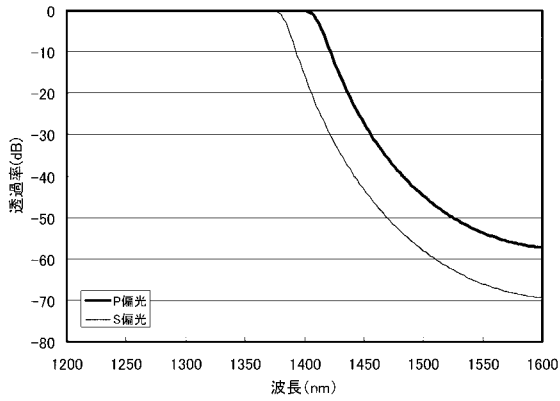
【 図 2 0 】



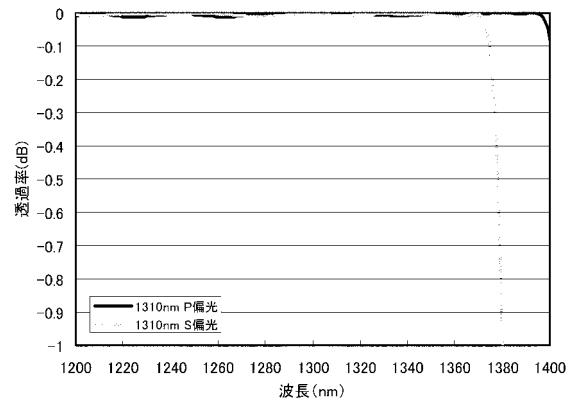
【 図 2 2 】



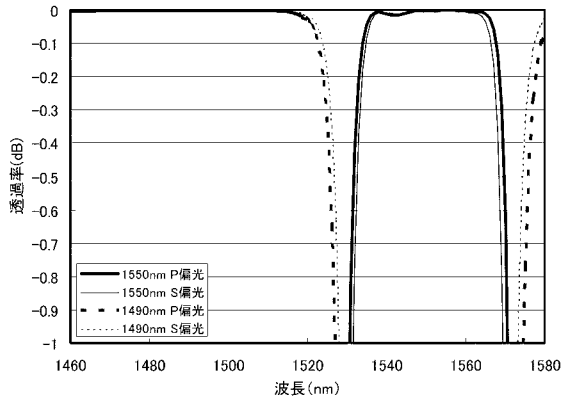
【 図 2 1 】



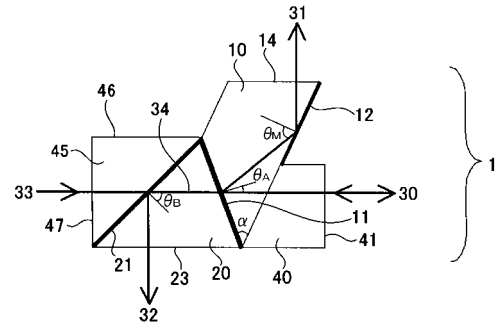
【 図 2 3 】



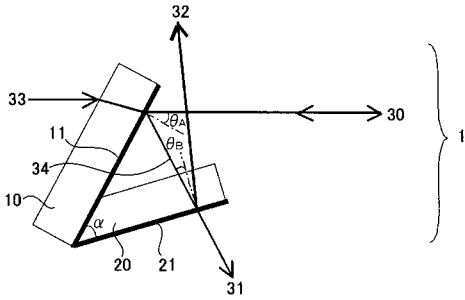
【 図 2 4 】



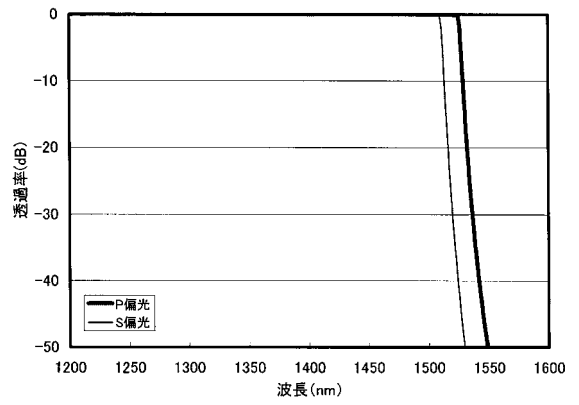
【 図 2 6 】



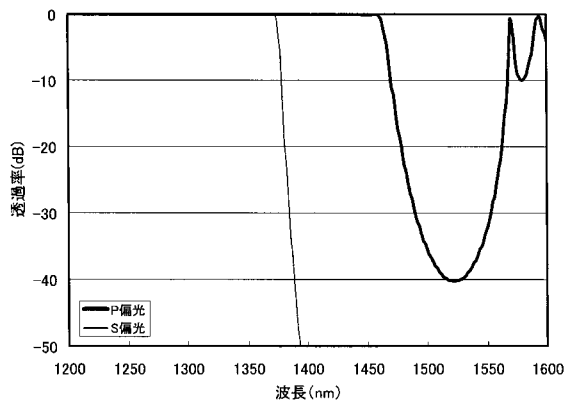
【 図 2 5 】



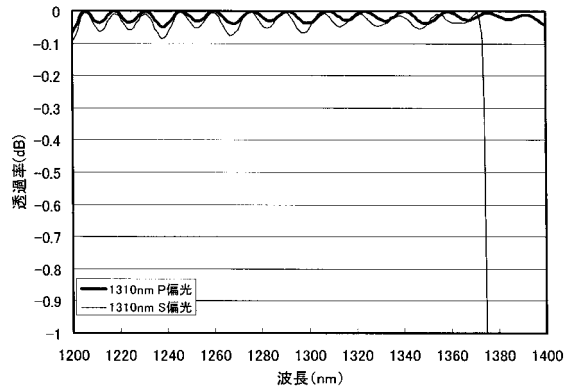
【 図 2 7 】



【 図 2 8 】



【 図 2 9 】



【 図 3 0 】

