

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2006 年 2 月 9 日 (09.02.2006)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2006/013928 A1

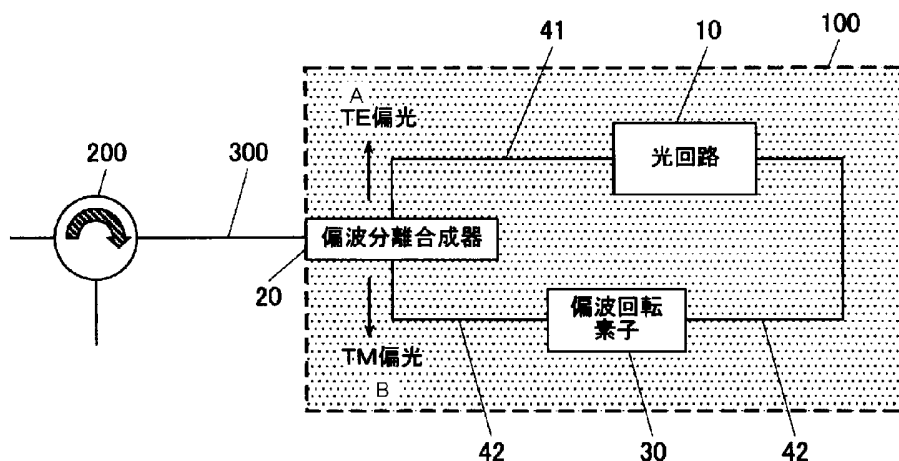
- (51) 国際特許分類⁷: G02F 1/01, G02B 6/12, 6/122, 6/126
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/014310
- (22) 国際出願日: 2005 年 8 月 4 日 (04.08.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2004-228221 2004 年 8 月 4 日 (04.08.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 古河電気工業株式会社 (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 松原 礼高 (MATSUBARA, Noritaka) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号古河電気工業株式会社内

- Tokyo (JP). 川島 洋志 (KAWASHIMA, Hiroshi) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 奈良 一孝 (NARA, Kazutaka) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 川和高穂 (KAWAWA, Takaho); 〒1080073 東京都港区三田三丁目 1 - 10 三田マルハチビルディング 7 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD,

/ 続葉有 /

(54) Title: OPTICAL CIRCUIT DEVICE

(54) 発明の名称: 光回路装置



- A TE POLARIZED LIGHT
B TM POLARIZED LIGHT
10 OPTICAL CIRCUIT
20 POLARIZED WAVE SEPARATING/COMBINING UNIT
30 POLARIZED WAVE ROTATING ELEMENT

(57) Abstract: An optical circuit device characterized by integrating, on a planar substrate, an optical circuit, a polarized wave separating/combining unit for separating an incoming wave into two polarized waves and combining two polarized waves into an outgoing wave, first and second optical waveguides connecting between the optical circuit and the polarized wave separating/combining unit and receiving the two separated polarized waves individually, and a polarized wave rotating element arranged on the first optical waveguide and rotating the plane of polarization of one polarized wave to become the plane of polarization of the other polarized wave.

/ 続葉有 /



SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約: 光回路と、入射波から2つの偏波への分離、及び2つの偏波から出射波への合成を行う偏波分離合成器と、前記光回路及び前記偏波分離合成器の間を接続し、前記分離された2つの偏波が個々に入射される第1及び第2の光導波路と、前記第1の光導波路に配置され、前記偏波分離合成器により分離された一方の偏波の偏波面を、前記分離されたもう一方の偏波の偏波面となるよう回転する偏波回転素子と、を平面基板上に集積したことを特徴とする光回路装置。

明 細 書

光回路装置

技術分野

[0001] 本発明は、光通信分野に関する。

背景技術

[0002] 従来、DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing:高密度波長多重伝送システム)に使用される光部品において、PLC(Planar Lightwave Circuit:平面導波路回路)を用いるものは、すでにスプリッタなどで実用化されており、その高い制御性、安定性の面から有望なデバイスとされている。将来のDWDMシステムの発展を見据えて、PLCを用いてダイナミックゲインイコライザや可変分散補償器といったような機能をもつ光回路がすでに開発されている。

[0003] これらの光回路において可変特性機能を発現させる手段としては熱光学効果が一般的に用いられる。熱光学効果とは、石英系ガラスなどの屈折率が温度により変化する現象のことである。光導波路の屈折率を熱光学効果によって変化させると、変化させた部分の光導波路の実行屈折率が変化するため、そこを伝播する光の位相に変化が生じる。これを利用して可変の導波路型干渉計を構成し、可変特性機能を実現できる。

[0004] ここで、図14及び図15を参照して、従来のダイナミックゲインイコライザを用いる構成を説明する。図14(a)に、従来のダイナミックゲインイコライザを用いる構成における、波長に対する光アンプ及びダイナミックイコライザの利得特性を示す。図14(b)に、同じく波長に対する利得平坦化特性を示す。

[0005] 図14では、熱光学効果を用いたPLCで作製したダイナミックゲインイコライザを動作させた。図14(a)に示す光アンプがもつ利得波長特性を、ダイナミックゲインイコライザにより図14(b)に示す平坦化を行った結果である。このとき挿入損失は7.0dBであった。

[0006] 図14(b)により、TE(Transverse Electro)偏光については光アンプの利得波長特性を実用レベルで平坦化していることがわかる。しかしながら、TM(Transverse Magn

etic) 偏光については平坦化ができておらず、4. 5dB以上もの非常に大きなPDL (Polarization Dependent Loss: 偏波依存性損失) が発生していることがわかる。光アンプの波長特性によってはこのPDLが10dB以上となることもあり、実用化の大きな障害となっている。PDLが大きい原因には、ダイナミックゲインイコライザ内のヒータの加熱によってPLC内部に生じる異方性の応力により、光導波路に複屈折が生じ伝播特性の偏波依存性が発生することが挙げられる。

[0007] そこで、PDLを抑制するために、図15に示すような光回路装置1000が使用されている(例えば、非特許文献1参照)。図15に、光回路装置1000の構成を示す。光回路装置1000は、PLCの光回路1010と、偏波分離合成器1020と、PMF (Polarization Maintaining optical Fiber: 偏波保持光ファイバ) 1031, 1032と、を備えて構成される。光回路1010及び偏波分離合成器1020は、PMF1031, 1032を介して接続される。偏波分離合成器1020は、サーキュレータ200と、SMF (Single Mode optical Fiber: シングルモード光ファイバ) 300を介して接続される。

[0008] サーキュレータ200を透過した入射光は、まずSMF300で偏波分離合成器1020に接続され、偏波分離合成器1020により、偏波面がお互いに直交する2偏波(例えば、図15ではTE偏光及びTM偏光)に分離される。分離された片方の偏波(図15ではTM偏光)は、PMF1032を回転させることにより偏波面を90度回転させ、(図15ではTE偏光として)光回路1010へ入射した後、光回路1010から出射されて偏波分離合成器1020で合成される。もう片方の偏波(図15ではTE偏光)は偏波面を保持したまま光回路1010へ入射した後、光回路1010から出射されて偏波面を90度回転させ偏波分離合成器1020で合成される。すなわち、光回路1010内では片偏波のみ(図15ではTE偏光のみ)しか存在しないため、原理的にPDLは発生しない。

非特許文献1: Doerr, 「An Automatic 40-Wavelength Channelized Equalizer」, IEEE Photonics technology Letters, vol.12, No.9, September 2000, P1195

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0009] しかしながら、図15に示す光回路装置1000では、偏波依存性を無くすためには、PMF1031, 1032と光回路1010とを接続する際に両者の偏波面を完全に一致さ

せる必要がある。しかし、PMFと他の光部品との接続での光学軸の軸合せ調整は難しく、現実的にはずれが生じるため、偏波消光比の劣化が発生し、PDL発生の原因となるという問題があった。

[0010] また、光回路装置1000では、光回路1010とPMF1031, 1032との接続点、PMF1031, 1032と偏波分離合成器1020との接続点、偏波分離合成器1020とSMF300との接続点が存在し、光部品間の接続が多いため、その接続損失も大きくなり、光回路装置1000の挿入損失が大きいことが問題であった。

[0011] これに関して、光回路装置1000では、光部品間の接続が多いため、接続コストが高くなることが問題であった。また、光部品間の接続が多いため、接続部の信頼性が悪くなることが問題であった。

[0012] また、光回路装置1000では、PMF1031, 1032のとりまわしによってモジュールサイズの大型化を招くことが問題であった。また、PMF1031, 1032の応力付与方向をそろえたPMFブロックが高価であり、コストが高くなることが問題であった。

[0013] 本発明の課題は、入射光を2つの偏波に分離して光回路に入射する光回路装置において、PDL及び挿入損失を低減することである。

課題を解決するための手段

[0014] この発明の光回路装置の第1の態様は、
光回路と、
入射波から2つの偏波への分離、及び2つの偏波から出射波への合成を行う偏波分離合成器と、
前記光回路及び前記偏波分離合成器の間を接続し、前記分離された2つの偏波が個々に入射される第1及び第2の光導波路と、
前記第1の光導波路に配置され、前記偏波分離合成器により分離された一方の偏波の偏波面を、前記分離されたもう一方の偏波の偏波面となるよう回転する偏波回転素子と、
を平面基板上に集積したことを特徴とする光回路装置である。

[0015] この発明の光回路装置の第2の態様は、前記偏波分離合成器は、偏波分離合成機能をもつ偏波分離合成回路を前記平面基板内に少なくとも2段縦列接続している

ことを特徴とする光回路装置である。

[0016] この発明の光回路装置の第3の態様は、前記偏波回転素子は、半波長板であることを特徴とする光回路装置である。

[0017] この発明の光回路装置の第4の態様は、前記光回路は、熱光学効果を用いた可変特性機能をもつ光回路であることを特徴とする光回路装置である。

[0018] この発明の光回路装置の第5の態様は、前記光回路は、ダイナミックゲインイコライザであることを特徴とする光回路装置である。

[0019] この発明の光回路装置の第6の態様は、前記光回路は、トランスバーサルフィルタであることを特徴とする光回路装置である。

[0020] この発明の光回路装置の第7の態様は、前記光回路は、可変分散補償器であることを特徴とする光回路装置である。

[0021] この発明の光回路装置の第8の態様は、前記光回路は、可変光減衰器であることを特徴とする光回路装置である。

[0022] この発明の光回路装置の第9の態様は、前記光回路は、光スイッチであることを特徴とする光回路装置である。

[0023] この発明の光回路装置の第10の態様は、前記平面基板内に、前記光回路に接続されたモニタ用入力導波路及びモニタ用出力導波路が形成されたことを特徴とする光回路装置である。

[0024] この発明の光回路装置の第11の態様は、前記光回路は、トランスバーサルフィルタ回路を用いた可変分散補償器であることを特徴とする光回路装置である。

[0025] この発明の光回路装置の第12の態様は、前記縦列接続される複数の偏波分離合成回路がスルーポートとクロスポートを接続して構成されていることを特徴とする光回路装置である。

発明の効果

[0026] この発明によれば、偏波分離合成器により入射光を2つの偏波に分離し、一方の偏波を光回路に入射し、もう一方の偏波を偏波回転素子により回転して偏波面を合わせて光回路に入射するので、光回路内に同じ偏波面の偏波しか存在せず、またPMFを使用しないので偏波消光比の劣化が発生せず、PDLを大幅に低減できる。また

、PMFを使用しないため、PMFと他の部品との接続部分が無くなり、挿入損失及び接続コストを大幅に低減できるとともに、接続部分の信頼性を向上できる。また、PMFを使用しないため、PMFのとりまわしを必要とせず、光回路装置のモジュールサイズを小型化できる。さらに、高価なPMFブロックを使用しないので、光回路装置の製造コストを削減できる。

[0027] 更に、この発明によれば、偏波分離合成回路を少なくとも2段縦列接続するので、入射波から2つの偏波へより明確に分離することができ、高い偏波消光比を得ることができる。

更に、この発明によれば、半波長板を用いるので、偏波分離合成器により分離された、お互いに直交する2つの偏波のうち一方の偏波面を90度回転し、もう一方の偏波の偏波面に合わせて光回路に入射することができる。

更に、この発明によれば、熱光学効果を用いた可変特性機能をもつ光回路において、PDL及び挿入損失を低減できる。

[0028] 更に、この発明によれば、ダイナミックゲインイコライザにおいて、PDL及び挿入損失を低減できる。

更に、この発明によれば、トランスバーサルフィルタにおいて、PDL及び挿入損失を低減できる。

更に、この発明によれば、可変分散補償器において、PDL及び挿入損失を低減できる。

[0029] 更に、この発明によれば、可変光減衰器において、PDL及び挿入損失を低減できる。

更に、この発明によれば、光スイッチにおいて、PDL及び挿入損失を低減できる。

更に、この発明によれば、モニタ用入力導波路を介する光回路への試験光の入力と、モニタ用出力導波路を介する光回路から出力された試験光の測定により、光回路の光学特性を他の光部品を介さずに測定することができ、その光学特性結果に基づいて光回路の特性調整をすることができる。

図面の簡単な説明

[0030] [図1]図1は、本発明に係る第1の実施の形態の光回路装置100の構成を示す図で

ある。

[図2]図2は、本発明に係る第2の実施の形態の光回路装置400の構成を示す図である。

[図3]図3は、第1の実施の形態に係る実施例1の光回路装置100Aの構成を示す図である。

[図4]図4(a)は、光回路装置100Aを用いる構成における、波長に対する光アンプ及びダイナミックイコライザの利得特性を示す図である。図4(b)は、同じく波長に対する利得平坦化特性を示す図である。

[図5]図5は、第1の実施の形態に係る実施例2の光回路装置100Bの構成を示す図である。

[図6]図6は、第1の実施の形態に係る実施例3の光回路装置100Cの構成を示す図である。

[図7]図7は、光回路装置100Cを用いる構成における、相対波長に対する可変分散特性を示すグラフである。

[図8]図8は、光回路装置100Cを用いる構成における透過波長特性を示すグラフである。

[図9]図9は、第2の実施の形態に係る実施例4の光回路装置400Aの構成を示す図である。

[図10]図10(a)は、モニタ用入力導波路61及びモニタ用出力導波路62を用いる可変分散補償器50Aの、相対波長に対する可変分散特性を示すグラフである。図10(b)は、偏波ダイバーシティを用いる可変分散補償器50Aの、相対波長に対する可変分散特性を示すグラフである。

[図11]図11(a)は、モニタ用入力導波路61及びモニタ用出力導波路62を用いる可変分散補償器50Aの透過波長特性を示すグラフである。図11(b)は、偏波ダイバーシティを用いる可変分散補償器50Aの透過波長特性を示すグラフである。

[図12]図12は、モニタ用入力導波路61及びモニタ用出力導波路62を用いて測定した、可変分散補償器50Aの、アレイ導波路番号に対する位相誤差の分布を示すグラフである。

[図13]図13は、モニタ用入力導波路61及びモニタ用出力導波路62を用いて測定した、可変分散補償器50Aにおける位相誤差補正後の可変分散特性を示すグラフである。

[図14]図14(a)は、従来のダイナミックゲインイコライザを用いる構成における、波長に対する光アンプ及びダイナミックイコライザの利得特性を示す図である。図14(b)は、同じく波長に対する利得平坦化特性を示す。

[図15]図15は、光回路装置1000の構成を示す図である。

[図16]図16は、第1の実施の形態に係る実施例5の光回路装置100Yの構成を示す図である。

[図17]図17は、信号光が伝搬する導波路とモニタポート用導波路との交差部分を示す模式図である。

[図18]図18は、実施例5の偏波分離合成器20B(スルーポートクロスポート接続)の偏波消光比の特性を示すグラフである。

[図19]図19は、実施例1の偏波分離合成器20B(スルーポートスルーポート接続)の偏波消光比の特性を示すグラフである。

[図20]図20は、実施例5での可変分散補償器10Dの群遅延スペクトル測定結果を示す特性図である。

[図21]図21は、実施例5での可変分散補償器10Dの損失スペクトル測定結果を示す特性図である。

[図22]図22は、実施例5での係数 ε に対する通過帯域幅および波長分散変化を示す特性図である。

符号の説明

- [0031] 100, 100A, 100B, 100C, 100X, 100Y, 400, 400A, 1000 光回路装置
200 サーキュレータ
300 SMF
10, 1010 光回路
10A, 10B ダイナミックゲインイコライザ
11 多段光分岐結合カプラ

12, 12B 光接続回路
13 多段光分岐結合カプラ
14, 17, 18, 19 光分岐結合カプラ
15a～15h, 15i～15p, 15B 光遅延線
16, 16B 位相調節手段
20, 20A, 20B、1020 偏波分離合成器
21、22 光分岐結合器
30 偏波回転素子
30A 半波長板
41, 42 光導波路
10C, 10D、50 可変分散補償器
11C, 14C, 51, 55 スラブ導波路
12C, 52 アレイ光導波路
12Ca, 52a チャンネル導波路
13C, 53 位相調整部
13Ca, 53a 位相シフタ
31 導波路型偏波スプリッタ/コンバイナ
32 半波長板
54 特性調整部
54a 特性調整用ヒータ
61 モニタ用入力導波路
62 モニタ用出力導波路
1031, 1032 PMF

発明を実施するための最良の形態

[0032] 以下、図面を参照して本発明に係る第1及び第2の実施の形態を順に説明する。

[0033] (第1の実施の形態)

図1を参照して、本発明に係る第1の実施の形態を説明する。先ず、図1を参照して、本実施形態の光回路装置100の構成を説明する。図1に、本実施形態の光回路装

置100の構成を示す。

- [0034] 図1に示すように、光回路装置100は、PLCであり、平面基板上に、光回路10と、偏波分離合成器20と、偏波回転素子30と、光導波路41, 42とが、1チップでモノリシック集積されて形成される。光回路装置100上に形成された偏波分離合成器20は、SMF300を介してサーキュレータ200に接続される。
- [0035] 偏波分離合成器20は、光導波路41と、光導波路42との2経路の光導波路を介して光回路10につながれている。また、偏波回転素子30は、光導波路42上に設けられる。
- [0036] 光回路10は、例えば、ダイナミックゲインイコライザ等の光回路であるものとする。偏波分離合成器20は、サーキュレータ200から入射される入射光を偏波面が直交する2つの偏波に分離し、また、2つの偏波を合成し、出射光としてサーキュレータ200に出射する。
- [0037] 先ず、サーキュレータ200を透過した入射光は、SMF300を介して、光回路装置100の偏波分離合成器20に入射される。光回路装置100内では、偏波分離合成器20によって直交する2偏波(本実施の形態では、TE偏光及びTM偏光とする)に分離される。分離された偏波は、光回路装置100内の光導波路41, 42によって偏波面を保持しながら伝播する。分離された片方の偏波(図1ではTM偏光)は、光導波路42に挿入した偏波回転素子30により偏波面を90度回転させられ、TE偏光として光回路10へ入射した後、光回路10から出射されて偏波分離合成器20で合成される。偏波分離合成器20で分離されたもう片方の偏波(図1ではTE偏光)は偏波面を保持したまま光回路10へ入射した後、光回路10から出射されて、偏波回転素子30により偏波面を90度回転させ偏波分離合成器20で合成される。
- [0038] 従って、光回路10内では片偏波のみ(図1ではTE偏光のみ)しか存在せず、光回路装置100が偏波ダイバーシティを構成しており原理的にPDLは発生しない。また、光回路装置100内では偏波面が保持されるという特徴を利用しており、PMFを使用する必要がない。
- [0039] 以上、本実施の形態によれば、入射光を偏光面が直交した2偏波に分離して光回路10に入射する光回路装置100において、光回路10内では片偏波のみしか存在

せず、またPMFを用いないため、PMFと他の光部品との接続部分が無く、その接続時の偏波角度ズレによる偏波消光比の劣化がなく、PDLを大幅に低減できる。

[0040] また、図15に示した従来の光回路装置1000において、光部品間の接続箇所が5箇所(光回路1010とPMF1031, 1032との接続箇所が2箇所、偏波分離合成器1020とPMF1031, 1032との接続2箇所、SMF300と偏波分離合成器1020との接続1箇所)と多いため、接続損失が大きかったが、本実施の形態の構成では、接続箇所はSMF300と光回路装置100(の偏波分離合成器20)の接続1箇所に減らすことができるため、接続損失を低減でき、光回路装置100の挿入損失を大幅に低減することができる。また、接続箇所を減らすことができるため、接続コストを大幅に低減することができる。さらに、接続箇所を減らすことができるため、接続部の信頼性を向上できる。

[0041] また、PMFを使用しないことから、PMFのとりまわしを必要とせず、光回路装置のモジュールサイズの小型化が可能である。さらに、高価なPMFブロックを使用しないことで、光回路装置の製造コスト削減が可能である。

[0042] (第2の実施の形態)

図2を参照して、本発明に係る第2の実施の形態を説明する。先ず、図2を参照して、本実施の形態の光回路装置400の構成を説明する。図2に、本実施の形態の光回路装置400の構成を示す。

[0043] 図2に示すように、本実施の形態の光回路装置400は、PLCであり、平面基板上に、光回路50と、偏波分離合成器20と、偏波回転素子30と、光導波路41, 42と、モニタ用入力導波路61と、モニタ用出力導波路62とが、1チップでモノリシック集積されて形成される。つまり、光回路装置400は、第1の実施の形態の光回路装置100に、モニタ用入力導波路61及びモニタ用出力導波路62が付加された構成である。以下、前述の図に記載された部分と同じ機能を有する部分には、その部分と同じ符号を付し、その説明を省略する。

[0044] モニタ用入力導波路61は、光回路50に繋がれており、光回路50へ入力するモニタ用の試験光が導波される。モニタ用出力導波路62は、光回路50に繋がれており、光回路50から出力されたモニタ用の試験光が導波される。

[0045] 光回路装置400における、入射光の分離及び合成により、光回路50へ光信号を入射及び出射する構成(偏波ダイバーシティ構成)は、第1の実施の形態と同様である。そして、光回路装置400における光回路50のモニタ動作は、先ず、モニタ用の試験光がモニタ用入力導波路61を介して入力され、光回路50に入射される。そして、光回路50から出射された試験光は、モニタ用出力導波路62を介して出力されて測定される。このようにモニタ動作することで、サーキュレータ200の取り付け前に、あるいは、偏波分離合成器20を介さずに、光回路50の光学特性把握や、光学特性結果に基づいて光回路50の特性調整をすることが可能である。

[0046] この第2の実施の形態によれば、サーキュレータ200を接続する前のPLCチップの状態において、PLCの光回路装置400内に形成された光回路50の特性を評価することが、より容易となる。また、サーキュレータ200の取り付け等の組立工程前に、PLCチップの選別や特性調整をすることも容易となる。さらに、サーキュレータ200の取付後に特性を測定する場合において、偏波分離合成器20の光学特性の影響を受けることなく、正確に光回路50の特性を測定することができる。

実施例 1

[0047] 上記第1の実施の形態の具体的な実施例1として、図3及び図4を参照して、図1の光回路装置100の光回路10に、熱光学効果を用いた可変特性機能をもつダイナミックゲインイコライザを適用した構成を説明する。図3に、本実施例の光回路装置100Aの構成を示す。

[0048] 図3に示すように、本実施例の集積型PLCの光回路装置100Aは、図1の光回路装置100において光回路10としてダイナミックゲインイコライザ10Aを設け、偏波分離合成器20として偏波分離合成器20を設け、偏波回転素子30として半波長板30Aを設けた。

[0049] 偏波分離合成器20Aは、偏波分離合成機能をもつ光回路としての光分岐結合器21が同一基板内に2段縦列接続される。また、光分岐結合器21には、光を導波路内に閉じ込めたまま分岐及び結合できる2つの方向性結合器とそれらを接続する2本の光導波路からなる光回路を用いる。各光分岐結合器21においては、上記2本の光導波路の実効光路長の差が、2つの直交する電界成分において、一方の電界成分にと

って入射光の波長の整数倍だけ異なり、もう一方の電界成分によって入射光の波長の(整数+1/2)倍だけ異なるものとする。このような構成にすれば、例えば、各光分岐結合器21において、TE偏光によって実効光路差長が入射光の波長の整数倍だけ異なり、TE偏光をクロスポートに出射し、TM偏光によって実効光路差長が入射光の波長の(整数+1/2)倍だけ異なり、TM偏光をスルーポートに出射できる。即ち、各光分岐結合器21において、TE偏光及びTM偏光の分離ができる。

[0050] 本実施例においては、2つの方向性結合器とそれらを接続する2本の光導波路との組合せ(方向性結合器+2本の導波路+方向性結合器)により光分岐結合器21を構成したが、これに限定されるものではなく、少なくとも2つの方向性結合器とそれらを接続する2本の光導波路との組合せにより構成することとしてもよい。また、各光分岐結合器21においては、方向性結合器の代わりに、Y分岐回路もしくはMMI(Multi Mode Interference:多モード干渉方式)回路を用いてもよく、それらを組み合わせて使用してもよい。例えば、各光分岐結合器21は、(Y分岐回路+2本の導波路+Y分岐回路)、(MMI回路+2本の導波路+MMI回路)、(方向性結合器+2本の導波路+Y分岐回路)、(方向性結合器+2本の導波路+MMI回路)、(Y分岐回路+2本の導波路+MMI回路)として構成してもよい。また、偏波分離合成器20Aにおいて、異なる構成の光分岐結合器21を組み合わせてもよい。どの光分岐結合器を使用するかについては、偏波分離合成機能の波長特性や光分岐結合器の作製誤差を考慮して適時選択することが可能である。

[0051] 半波長板30Aは、入射光の偏波面を90度回転して出射する複屈折板である。ダイナミックゲインイコライザ10Aには、トランスバーサルフィルタ型の光回路を適用した。

また、光回路装置100AにPMFを用いず、SMF300で、光回路装置100Aとサーキュレータ200との接続を行った。

[0052] 次いで、光回路装置100Aの作製について説明する。火炎加水分解堆積法を用いてシリコン基板上に石英系ガラスのアンダークラッド膜、コア膜を形成し、その後、図2に示すダイナミックゲインイコライザ10Aと、偏波分離合成器20Aとの描かれたフォトマスクを介してフォトリソグラフィを行い、反応性イオンエッチング法にてコアをパターンニングした。その後再度、火炎加水分解堆積法を用いて石英系ガラスのオーバー

クラッド膜を形成した。

- [0053] 続いて、スパッタ法により、偏波分離合成回路としての光分岐結合器21と、光分岐結合カプラ14と、光遅延線15a～15h上の位相調節手段16と、光分岐結合カプラ17と、に設けられるTi/Niヒータを形成し、また給電用としてTi/Ni/Au電極を施し、ダイナミックゲインイコライザ10Aと偏波分離合成器20Aの集積型PLCを作製した。
- [0054] さらに、ダイナミックゲインイコライザ10Aと偏波分離合成器20Aとを接続する一方の光導波路42に、ダイシングにより溝を形成し、ポリイミドの半波長板30Aを挿入して光回路装置100Aに形成した。最後にサーキュレータ200と光回路装置100AとをS MF300により接続し、偏波ダイバーシティとして構成した。
- [0055] このように、光回路装置100Aにおいて、偏波分離合成器20Aは、2段の光分岐結合器21を備えて構成される。また、ダイナミックゲインイコライザ10Aは、3段の光分岐結合カプラ14を有する多段光分岐結合カプラ11と、8本の光遅延線15a～15h上のTi/Niヒータによる位相調節手段16を有する光接続回路12と、3段の光分岐結合カプラ17を有する多段光分岐結合カプラ13と、を備えて構成される。
- [0056] 光分岐結合カプラ14, 17には、Ti/Niヒータにより光振幅可変手段が構成される。また、この構成に限定されるものではなく、多段光分岐結合カプラ11のうちの少なくとも1つの光分岐結合カプラと、多段光分岐結合カプラ13のうちの少なくとも1つの光分岐結合カプラとに、光振幅可変手段が設けられる構成としてもよい。また、光分岐結合器21には、Ti/Niヒータにより光振幅可変手段が構成されることとしたが、この構成に限定されるものではなく、光振幅可変手段をもたない構成としてもよい。
- [0057] また、偏波分離合成器20Aにおける光分岐結合器21の段数は、2段に限定されるものではなく、少なくとも2段であることが好ましく、段数が大きくなればなるほど入射光をより明確に分離でき、高い偏波消光比を得ることができる。また、多段光分岐結合カプラ11、13の段数は、それぞれ、3段に限定されるものではなく、光遅延線及び位相調節手段のそれぞれの数も、8に限定されるものではない。
- [0058] 光遅延線15a～15hは、その長さに応じた設定時間遅延を伝搬光に付与する。光遅延線15aの長さを基準として、光遅延線15bは、光遅延線15aよりもdL長く形成さ

れる。同様に、光遅延線15c, 15d, 15e, 15f, 15g, 15hは、それぞれ光遅延線15aよりも2dL, 3dL, 4dL, 5dL, 6dL, 7dL長く形成される。

[0059] 光回路装置100Aにおける動作は、先ず、サーキュレータ200からSMF300を介して入射された入射波が偏波分離合成器20AによりTE偏波及びTM偏波に分離される。その分離されたTE偏波は、多段光分岐結合カプラ11により分岐されて光接続回路12に入射され、その入射光の位相が光接続回路12により調整され、光接続回路12から出力される分岐したTE偏波が多段光分岐結合カプラ13により結合され、その結合されたTE偏波が半波長板30Aを介してTM偏波にされて偏波分離合成器20Aに入射される。一方、偏波分離合成器20Aにより分離されたTM偏波は、半波長板30Aを介してTE偏波にされ、そのTE偏波が多段光分岐結合カプラ13により分岐されて光接続回路12に入射されて位相が調整され、光接続回路12から出力される分岐したTE偏波が多段光分岐結合カプラ11により結合され、その結合されたTE偏波が偏波分離合成器20Aに入射される。偏波分離合成器20Aでは、入射されたTE偏波及びTM偏波が合成され、その合成された出射波がSMF300を介してサーキュレータ200に出射される。

[0060] 次いで、図4を参照して、光回路装置100Aにより光アンプの利得平坦化を行った結果を説明する。図4(a)に、光回路装置100Aを用いる構成における、波長に対する光アンプ及びダイナミックイコライザの利得特性を示す。図4(b)に、同じく波長に対する利得平坦化特性を示す。

[0061] 図4(a), (b)に示すように、光回路装置100Aにより、TE偏光及びTM偏光について、光アンプの利得特性を実用レベルで平坦化できていることがわかる。このとき挿入損失は、約4.5dB以下であり、光回路装置100Aを用いない構成に比べ低損失化を実現した。この損失中にはPLC内の回路の伝搬損失と、回路の過剰損失と、SMF300及びサーキュレータ200の接続損失を含んでいる。PDLは0.5dB以下であり、光回路装置100Aを用いることで大幅にPDLの低減が可能となった。縦列接続した偏波分離合成器20Aの偏波消光比は40dB以上であった。これにより、本実施例によれば、低挿入損失且つ低PDLである集積型偏波ダイバーシティ構成としての光回路装置100Aが作製できる。

[0062] また、偏波分離合波器20AをPLCに集積していることにより、1段の偏波分離合成器の作製と全く同じ工程で、本実施例のような2段縦列接続した構成の偏波分離合成器20Aを作製可能であり、偏波分離合成器の特性の向上を低コストで実現できる。

[0063] なお、上記実施例1においては、光接続回路12として、光遅延線15a～15h上に位相調節手段16を設ける構成としたが、これに限定されるものではない。例えば、光遅延線15a～15hと位相調節手段16とを縦列に接続する構成としてもよく、その接続順が逆になってもよい。

実施例 2

[0064] 上記第1の実施の形態の具体的な実施例2として、図5を参照して、図1の光回路10に、低損失型のダイナミックゲインイコライザを適用した構成を説明する。図5に、本実施例の光回路装置100Bの構成を示す。

[0065] 図5に示すように、本実施例の集積型PLCの光回路装置100Bは、図3の光回路装置100Aにおいて、ダイナミックゲインイコライザ10Aに代えて、低損失型で偏波ダイバーシティ構成のダイナミックゲインイコライザ10Bを設ける構成である。ダイナミックゲインイコライザ10Bは、多段光分岐結合カプラ11と、光接続回路12Bと、多段光分岐結合カプラ13とに加えて、光分岐結合カプラ18と、光遅延線15B上の位相調節手段16Bと、光分岐結合カプラ19と、を備えて構成される。光接続回路12Bは、8本の光遅延線15i～15p上のTi/Niヒータによる位相調節手段16を有する。

[0066] 光遅延線15j～15pおよび光遅延線15Bは、それぞれ、光遅延線15iよりもdL, 2dL, 3dL, 5dL, 6dL, 7dL, 8dL, 4dL長く形成される。位相調節手段16Bは、Ti/Niヒータにより構成されるものとするが、構成されないものとしてもよい。また、光遅延線15i～15pと位相調節手段16とを縦列に接続する構成としてもよく、その接続順が逆になってもよい。また、光遅延線15Bと位相調節手段16Bとを縦列に接続する構成としてもよく、その接続順が逆になってもよい。光分岐結合カプラ18, 19には、Ti/Niヒータにより光振幅可変手段が構成されるものとするが、構成されないものとしてもよい。

[0067] 本実施例の光回路装置100Bによれば、光アンプの利得平坦化特性が、上記実施

例1の光回路装置100Aと同等であるとともに、光回路装置100Bの挿入損失が約3.5dB以下となり、さらに低損失を実現することができる。また、光回路装置100Bは、PDLが0.5dB以下となり、PDLを低減できる。

実施例 3

- [0068] 上記第1の実施の形態の具体的な実施例3として、図6～図8を参照して、図1の光回路装置100の光回路10に、可変特性機能をもつ偏波ダイバーシティ構成の可変分散補償器を適用した構成を説明する。図6に、本実施例の光回路装置100Cの構成を示す。
- [0069] 図6に示すように、本実施例の光回路装置100Cは、上記実施例1の光回路装置100Aのダイナミックゲインイコライザ10Aに代えて、可変分散補償器10Cを設ける構成である。可変分散補償器10Cには、AWG (Arrayed Waveguide Grating: アレイ導波路グレーティング) のアレイ導波路部分に位相シフタを設け、伝搬光に位相を付与することで可変分散量を得る光回路を適用した。
- [0070] 可変分散補償器10Cは、光導波路41に繋がれたスラブ導波路11Cと、複数のチャネルのチャネル導波路12Caからなるアレイ導波路12Cと、複数のチャネル導波路12Ca上にそれぞれ設けられる複数の位相シフタ13Caからなる位相調整部13Cと、光導波路42に繋がれたスラブ導波路14Cと、を備えて構成される。
- [0071] 光回路装置100Cの作製は、上記実施例1の光回路装置100Aの作製と同様に、可変分散補償器10Cと偏波分離合波器20Aとの描かれたフォトマスクを用いたパターンニングや、スパッタ法による位相シフタ13Ca部分のTi/Niヒータの形成等により行われる。
- [0072] 可変分散補償器10Cには、AWGのアレイ導波路12Cに位相調整部13Cを設け、伝搬光に位相を付与することで可変分散量を得る光回路を適用した。チャネル導波路12Ca及び位相シフタ13Caの数は、図面上12本であるが、これに限定されるものではない。例えば、100本といったような多数設けられる構成としてもよい。可変分散補償器10Cの設定位相分布は、例えば、アレイ導波路のチャネル導波路12Ca本数をM本(Mは正の整数)、チャネル導波路12Caの配列順に付与したチャネル導波路番号をk($k=0\sim M-1$)としたとき、チャネル導波路番号kの中心($M-1$)

／2に対して実質的に線対称となる偶関数的分布とする。

[0073] 光回路装置100Cにおける動作は、先ず、サーキュレータ200からSMF300を介して入射された入射波が偏波分離合成器20AによりTE偏波及びTM偏波に分離される。その分離されたTE偏波は、スラブ導波路11Cにより分岐されてアレイ導波路12Cに入射され、分岐された光が各チャンネル導波路12Caを介して伝播し各位相シフタ13Caにより位相が調整され、スラブ導波路14Cにより結合され、その結合されたTE偏波が半波長板30Aを介してTM偏波にされて偏波分離合成器20Aに入射される。一方、偏波分離合成器20Aにより分離されたTM偏波は、半波長板30Aを介してTE偏波にされ、そのTE偏波がスラブ導波路14Cにより分岐されて、各チャンネル導波路12Caを介して伝播し、各位相シフタ13Caにより位相が調整され、スラブ導波路14Cにより結合され、その結合されたTE偏波が偏波分離合成器20Aに入射される。偏波分離合成器20Aでは、入射されたTE偏波及びTM偏波が合成され、その合成された出射波がSMF300を介してサーキュレータ200に出射される。

[0074] 図7に、光回路装置100Cを用いる構成における、相対波長に対する可変分散特性を示す。図7に示すように、光回路装置100Cを用いる構成においても可変分散が得られていることが分かる。このとき挿入損失は、約3.5dBであり、光回路装置100Cを用いない構成に比べ約1.0dBの低損失化を実現した。この損失中には、光回路装置100C内の回路の伝搬損失、回路の過剰損失、SMF300、サーキュレータ200の接続損失を含んでいる。

[0075] 図8に、光回路装置100Cを用いる構成における、最大分散量を設定した場合の透過波長特性を示す。図8に示すように、光回路装置100CのPDLは0.5dB以下であり、光回路装置100Cをもちいることで大幅にPDLの低減が可能であった。また、縦列接続した偏波分離合波器20Aの偏波消光比は、40dB以上であった。

[0076] 本実施例によれば、可変分散補償器10Cを用いる光回路装置100Cにおいても、その挿入損失及びPDLを低減できる。

[0077] なお、可変分散補償器に用いる光回路は、AWGを用いる構成に限定されるものではない。例えば、ラティスフィルタ用いた光回路や、リング共振器を用いた光回路等のようなPLCに形成可能な光回路であればよい。

実施例 4

- [0078] 上記第2の実施の形態の具体的な実施例4として、図9～図13を参照して、図2の光回路装置400の光回路50に、可変特性機能をもつ偏波ダイバーシティ構成の可変分散補償器を適用した構成を説明する。図9に、本実施例の光回路装置400Aの構成を示す。
- [0079] 図9に示すように、本実施例の光回路装置400Aは、図2の光回路装置400において光回路50としてAWGを用いた可変分散補償器50Aを設け、偏波分離合成器20として偏波分離合成器20Aを設け、偏波回転素子30として半波長板30Aを設けた。
- [0080] 可変分散補償器50Aは、光導波路41及び入力導波路61に繋がれたスラブ導波路51と、複数のチャネル導波路52aからなるアレイ導波路52と、複数のチャネル導波路52a上にそれぞれ設けられる複数の位相シフタ53aからなる位相調整部53と、複数のチャネル導波路52a上にそれぞれ設けられる複数の特性調整用ヒータ54aからなる特性調整部54と、光導波路42及び出力導波路62に繋がれたスラブ導波路5と、を備えて構成される。
- [0081] また、可変分散補償器50Aは、上記実施例3の可変分散補償器10Cと異なる構成を有する。可変分散補償器50Aにおいて、スラブ導波路51の焦点位置に対してアレイ導波路52の外側方向のスラブ導波路51端面に接続された第1の入力導波路と、スラブ導波路55の焦点位置に対してアレイ導波路52の内側方向のスラブ導波路55端面に形成された第1の出力導波路と、を第1組の入出力導波路とする。また、スラブ導波路51の焦点位置に対して第1の入力導波路と対称な位置でスラブ導波路51端面に接続された第2の入力導波路と、スラブ導波路55の焦点位置に対して第1の出力導波路と対称な位置でスラブ導波路55端面に接続された第2の出力導波路と、を第2組の入出力導波路とする。
- [0082] 第1入力導波路、第1の出力導波路は、それぞれ、光導波路41、光導波路42を介して、偏波分離合波器20Aに接続される。第2の入力導波路、第2の出力導波路は、それぞれ、異なる2箇所のチップ端面に形成されたモニタ用入力導波路61、モニタ用出力導波路62に接続されている。上記のような、スラブ導波路の焦点位置に対して対称な位置に形成された2組の入出力導波路を有する構成によれば、第1の入力

導波路からAWG回路に入力し、第1の出力導波路から出力した光の透過波長特性と、第2の入力導波路から入力し、第2の出力導波路から出力した光の透過波長特性はほぼ同一となる。

[0083] 従って、モニタ用入力導波路61を用いて可変分散補償器50Aの第1の入力導波路に試験光を入力し、第1の出力導波路から出力された光をモニタ用出力導波路62から取り出して測定することにより、サーキュレータ200を用いずに、PLCの光回路装置400A内に形成された可変分散補償器50Aの透過波長特性を測定することができる。

[0084] また、可変分散補償器50Aにおいて、各チャネル導波路52a上に、分散可変用のヒータ(位相シフタ53a)とは別の特性調整用ヒータ54aを形成している。この特性調整用ヒータ54aを用いることで、文献(M. Abe et al., Electronics Letters Vol.32, No. 19, Sep. 1996)に記載されているような局所過熱位相トリミング技術によるアレイ導波路間位相誤差の補正が可能となる。

[0085] 次いで、図10及び図11を参照して、モニタ用入力導波路61からPMFを用いてTE偏波の試験光を入力し、モニタ用出力導波路62から出力した光を測定して得た可変分散補償器50Aの可変分散特性及び透過波長特性と、サーキュレータ200取り付け後に、光回路装置400Aにおいて偏波分離合成器20Aを介する光信号を分離及び合成する構成(偏波ダイバーシティ構成)における可変分散補償器50Aの可変分散特性及び透過波長特性と、を説明する。図10(a)に、モニタ用入力導波路61及びモニタ用出力導波路62を用いて測定した、可変分散補償器50Aの、相対波長に対する可変分散特性を示す。図10(b)に、偏波ダイバーシティを用いて測定した、可変分散補償器50Aの、相対波長に対する可変分散特性を示す。図11(a)に、モニタ用入力導波路61及びモニタ用出力導波路62を用いて測定した、可変分散補償器50Aの透過波長特性を示す。図11(b)に、偏波ダイバーシティを用いて測定した、可変分散補償器50Aの透過波長特性を示す。

[0086] 図10(a)に示すように、モニタ用入力導波路61からTE偏波の試験光を入力し、モニタ用出力導波路62から出力した光を測定して得た可変分散補償器50Aの可変分散特性は、図10(b)に示す偏波ダイバーシティを用いて測定した可変分散特性とほ

ば同様の特性が得られており、サーキュレータ200無しで分散特性把握が可能であることがわかる。

[0087] また、図11(a)に示すように、モニタ用入力導波路61からTE偏波の試験光を入力し、モニタ用出力導波路62から出力した光を測定して得た可変分散補償器50Aの透過波長特性は、サーキュレータ200や偏波分離合波器20Aを透過しない分、図11(b)に示す偏波ダイバーシティを用いて測定した場合よりも、全体的に損失が1.5dB程度小さくなっているものの、ほぼ同様の透過波長特性が得られており、透過波長特性についても特性把握が可能であることが確認できた。

[0088] 次に、図12及び図13を参照して、光回路装置400Aにおいて、モニタ用入力導波路61及びモニタ用出力導波路62を用い、文献(H. Yamada et al., J. Lightwave Technology, Vol.16, No.3, Mar. 1998)で報告されている低コヒーレンス光干渉法によるアレイ導波路の位相誤差測定及びその補正を説明する。図12に、モニタ用入力導波路61及びモニタ用出力導波路62を用いて測定した、可変分散補償器50Aの、アレイ導波路番号に対する位相誤差の分布を示す。アレイ導波路番号は、可変分散補償器50Aのアレイ導波路52の各チャンネル導波路52aに付与された番号である。

[0089] 図12に示すように、各チャンネル導波路52a間では、最大0.34rad程度の位相誤差が発生していることがわかる。このような位相誤差は、チャンネル導波路52aに形成した位相シフタ53aによって形成する位相分布形状を乱し、可変分散量を低下させる。そこで、この結果に基づいて、各チャンネル導波路52aに形成した特性調整用ヒータ54aへの通電電力及び通電時間を決定し、アレイ導波路52の位相誤差補正を行った。図13に、モニタ用入力導波路61及びモニタ用出力導波路62を用いて測定した、可変分散補償器50Aにおける位相誤差補正後の可変分散特性を示す。

[0090] 図13に示すように、モニタ用入力導波路61及びモニタ用出力導波路62を用いて測定した可変分散補償器50Aの可変分散特性は、位相誤差補正により最大可変分散量が、図10(a)に示した補正前の $-130 \sim +80$ [ps/nm]から約 $-190 \sim +130$ [ps/nm]へと大幅に向上した。

[0091] 本実施例の様に、モニタ用入力導波路61及びモニタ用出力導波路62を設けることで、可変分散補償器50Aの特性をサーキュレータ200及び偏波分離合波器20A

を介さずに測定できるようになったため、光回路単体での特性を事前に正確に把握でき、また精密な位相調整が可能になった。

実施例 5

- [0092] 次に、上記第1の実施形態の具体的な実施例5として、図16を参照して、図1の光回路10に、光トランスバーサルフィルタ回路を用いた可変分散補償器を適用した構成を説明する。図16には、本実施例の光回路装置100Yの構成を示す。
- [0093] 図16に示すように、本実施例の集積型PLCの光回路装置100Yは、図1の光回路装置100において光回路10として可変分散補償器10Dを設け、偏波分離合成器20として偏波分離合成器20Bを設け、偏波回転素子30として半波長板30Aを設けた。
- [0094] 偏波分離合成器20Bは、偏波分離合成機能をもつ光回路としての光分岐結合器21が同一基板内に2段縦列接続される。本実施例では、光分岐結合器21においてスルーポートから出射された光は光分岐結合器22においてクロスポートから出射され、光分岐結合器21においてクロスポートから出射された光は光分岐結合器22においてスルーポートから出射されるように、接続経路が設計されていることを特徴としている。実施例1の偏波分離合成器20A内で用いられているスルーポート-スルーポート接続に比べ、さらに広い波長範囲にわたって、高い偏波消光比を得ることができる。
- [0095] 光分岐結合器21、22においては、上記2本の光導波路の実効光路長の差が、2つの直交する電界成分において、一方の電界成分にとって入射光の波長の整数倍だけ異なり、もう一方の電界成分にとって入射光の波長の(整数+1/2)倍だけ異なるものとする。ここで光分岐結合器21においてスルーポートに出射された偏波が光分岐結合器22においてはクロスポートに出射し、光分岐結合器21においてクロスポートに出射された偏波が光分岐結合器22においてはスルーポートに出射するように実効光路差長を設定する。
- [0096] 例えば、各光分岐結合器21において、TE偏光にとって実効光路差長が入射光の波長の整数倍だけ異なり、TE偏光をクロスポートに出射し、光分岐結合器22において、TE偏光にとって実効光路差長が入射光の波長の(整数+1/2)倍だけ異なり、TE偏光をスルーポートに出射する。

そして、各光分岐結合器21において、TM偏光にとって実効光路差長が入射光の波長の(整数+1/2)倍だけ異なり、TM偏光をスルーポートに出射し、光分岐結合器22において、TM偏光にとって実効光路差長が入射光の波長の整数倍だけ異なり、TM偏光をクロスポートに出射する。

[0097] 光分岐結合器21、22における2本の光入力端のうち、接続に供しない光入力端は、特性調整用のモニタポート101~107および110~115としてチップ端面に接続されている。

[0098] また前記各光分岐結合器21、22には、熱光学効果によって導波路の屈折率を変化させ、実効光路差長を可変可能な調節手段である薄膜ヒータが形成されている。なお、簡略化のため、図示は省略するが、各薄膜ヒータは、金薄膜からなる電気配線により給電され、各薄膜ヒータの両脇には、消費電力削減のため、光導波路膜を基板に達するまで除去した断熱溝が形成されている。

[0099] 図16に示す、本実施例の可変分散補償器10Dは、石英系平面光導波路により作製されており、2入力2出力型MZI回路からなる光分岐カプラVC_{x-x}(x-xは1-1から4-8間の任意の値)をツリー状に接続して形成された多段光分岐カプラと、2入力2出力型MZI回路からなる光合波カプラを逆ツリー状に接続して形成された、多段光合波カプラVC_{y-y}(y-yは5-1から8-1間の任意の値)と、前記多段光分岐カプラVC_{x-x}のそれぞれの光出力端と前記多段光合波カプラVC_{y-y}の対応する光入力端との間に介設されて伝搬光の伝搬時間を設定時間遅延させる16本の光遅延線dと、16個の位相シフタPS1~PS16を有する。該光遅延線dは互いに間隔を介して並設されて該並設方向の一端側から他端側に向けて順に長さが設定量ずつ長くなるように形成された光トランスバーサルフィルタ回路で構成されている。

[0100] また前記各光分岐カプラVC_{x-x}及び光合波カプラVC_{y-y}には、熱光学効果によって導波路の屈折率を変化させ、分岐比を可変可能な光分岐比調節手段である薄膜ヒータが形成されている。なお、簡略化のため、図示は省略するが、各薄膜ヒータは、金薄膜からなる電気配線により給電され、各薄膜ヒータの両脇には、消費電力削減のため、光導波路膜を基板に達するまで除去した断熱溝が形成されている。

[0101] また、各光遅延線d上には各光遅延線dを伝搬する伝搬光の位相を熱光学効果に

よって可変可能な位相調節手段である薄膜ヒータが形成され、位相シフタPS1～PS16を構成している。

- [0102] さらに、前記光トランスバーサルフィルタ回路において、1段目の光分岐カプラVC1-1における2本の光入力端のうち的一方は前記光分岐結合器22に接続され、もう一方は光入力ポート108としてチップ端面に接続されている。また最終段の光合波カプラVC8-1における2本の光出力端のうち的一方は前記光分岐結合器22に接続され、もう一方は前記光入力ポート104に対応しており、光出力ポート208としてチップ端面に接続されている。
- [0103] 2段目以降の光分岐カプラVCx-xにおける2本の光入力端のうち、前段の光分岐カプラVCx-xとの接続に供しない光入力端は、モニタポート101～107および110～115としてチップ端面に接続されている。同様に、2段目以降の光合波カプラVCy-yにおける2本の光出力端のうち、前段の光合波カプラVCy-yとの接続に供しない光出力端は、モニタポート201～207および210～215としてチップ端面に接続されている。
- [0104] このような構成により、モニタ用入力導波路に試験光を入力してモニタ用出力導波路から出力された光を取り出して測定することにより、光分岐結合器21、22および可変分散補償器の光分岐カプラVCx-x、光合波カプラVCy-y、位相シフタPSxの特性を測定することができる。
- [0105] 上記のようにして得られた特性を用いて、光分岐結合器21、22を構成するヒータへの通電量を適宜調整し、実効光路長差を調整することができる。従って、仮に光分岐結合器21、22において作製誤差により生じた設計からのズレがあった場合にも、調整を行うことにより、偏波分離合成器20Bにおいて得られる特性の劣化を抑制できる。
- [0106] さらに、上記のようにして得られた特性を用いて、多段光分岐カプラVCx-x及び多段光合波カプラVCy-yを構成する各MZI回路上の薄膜ヒータへの通電量を適宜調整し、各MZI回路の結合率を変化させることにより、16本の光経路(タップ)の光振幅を任意に調整することが出来る。また、各光遅延線d上の薄膜ヒータへの通電量を適宜調整することにより、各タップの位相を任意に調整することができる。従って、可変分

散補償器10Dの特性を設定することが可能である。

- [0107] ところで図16中に破線で囲って示すように、実際に可変分散補償器10Dとして使用する場合、信号光が伝搬する導波路とモニタ用導波路との交差部分が増加するため、交差部における放射損失の増大が問題となる。
- [0108] ここで、実際に可変分散補償器10Dとして使用する場合、前記各接続導波路には信号光が伝搬するので損失増加が問題となるが、モニタポート用導波路は光分岐カップラ等の特性把握時に用いるだけで、信号光は伝搬しないので、特性把握に支障が出ない程度であれば損失増加が発生しても問題は無い。
- [0109] そこで、本実施例においては、信号光が伝搬する導波路とモニタポート用導波路との交差部分において、図17に示すように、モニタ用導波路に不連続部分を設け、信号光が伝搬する導波路とモニタ用導波路が接続せず互いに分離されるようにした。モニタ用導波路の不連続部分間の端面は信号光が伝搬する導波路と平行になるようにした。
- [0110] これにより、入出力ポート301から入力され、再び入出力ポート301から出力される信号光の各経路にモニタ用導波路との接触部分が無くなるので、損失増加を抑制できる。
- [0111] 上述した図16に示す本実施例の集積型PLCの光回路装置100Yの作製は、以下のように行った。
- [0112] まず、シリコン基板上に火炎加水分解堆積法(FHD法)とリアクティブイオンエッチング(RIE)を用いて石英系光導波路からなる光トランスバーサルフィルタ回路を形成した。導波路の比屈折率差は1.5%、コアサイズは $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ とした。次にスパッタ法により薄膜ヒータ及び給電用電極を形成した。次に、RIEにより断熱溝を形成した。最後にチップをダイシングにより切り出した。
- [0113] 作製した偏波分離合成器20B(スルーポート-クロスポート接続)の特性を図18に示す。図18より、波長帯域1523～1568nmにおいて40dB以上の偏波消光比が得られている。また比較のため、実施例1で作製した偏波分離合成器20A(スルーポート-スルーポート接続)の特性を図19に示す。図19より、波長帯域1526～1564nmにおいて40dB以上の偏波消光比が得られている。両者とも38nm以上の広帯域において40d

B以上という高い偏波消光比が得られていることがわかる。また、両者を比較すると、スルーポートクロスポート接続を用いた方がスルーポートスルーポート接続を用いるよりも、さらに広帯域において高い偏波消光比が得られていることがわかる。

[0114] 本光トランスバーサルフィルタ回路を用いた可変分散補償器を構成するのに使用した各種パラメータを表1に示す。

[表1]

16

光遅延線数(タップ)	8
光遅延線の光路長差 ΔL	2055
自由スペクトルレンジFSR	100GHz
中心波長 λ_c	1545nm

[0115] このようにして得られた可変分散補償器の群遅延スペクトルを図20に、損失スペクトルを図21に、係数 ε に対する通過帯域幅および波長分散の変化を示すグラフを図22に示す。これらのグラフより、係数 $\varepsilon = \pm 2.0$ において、約 $\pm 105 \text{ps/nm}$ の波長分散、約 0.6nm の通過帯域、約 7.7dB の帯域内最小損失、 1.2dB 以内の帯域内損失変動が得られた。

[0116] なお、上記実施例1～5においては、上記第1の実施の形態における光回路10として、ダイナミックゲインイコライザ10A、10B、可変分散補償器10C、10Dを適用した例を説明したが、光回路10はこれに限定されるものではない。例えば、光回路10として、その他の構成のダイナミックゲインイコライザや可変分散補償器、熱光学効果を用いた可変特性機能をもつその他の光回路、その他のトランスバーサルフィルタ、可変光減衰器又は光スイッチ等を適用する構成としてもよい。

[0117] また、上記実施例4においては、上記第2の実施の形態における光回路50として、可変分散補償器50Aを適用した例を説明したが、光回路50はこれに限定されるものではない。例えば、光回路50として、ダイナミックゲインイコライザ、その他の構成の可変分散補償器、熱光学効果を用いた可変特性機能をもつその他の光回路、トランスバーサルフィルタ、可変光減衰器又は光スイッチ等を適用する構成としてもよい。

[0118] また、上記各実施の形態及び各変形例における光回路装置の各構成要素の細部

構成、及び細部動作に関しては、本発明の趣旨を逸脱することのない範囲で適宜変更可能であることは勿論である。

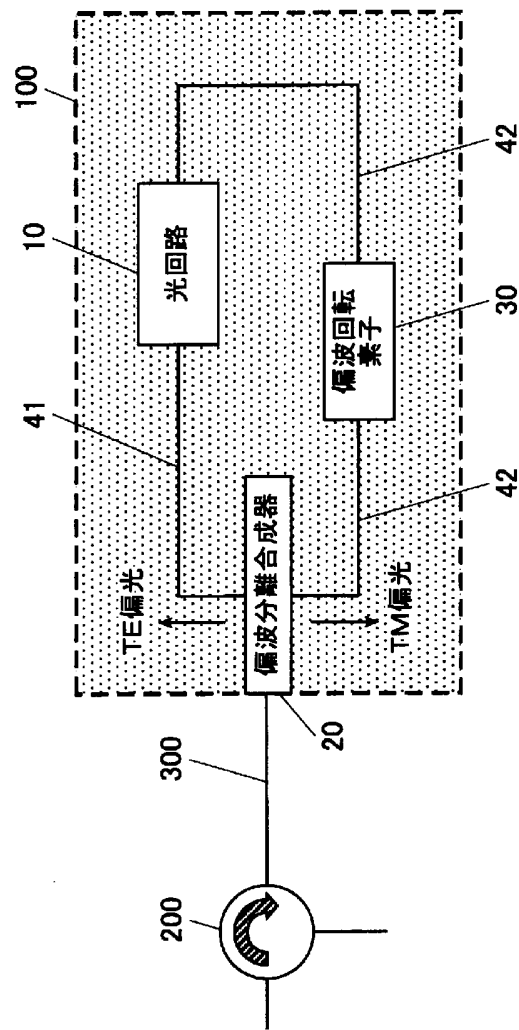
請求の範囲

- [1] 光回路と、
入射波から2つの偏波への分離、及び2つの偏波から出射波への合成を行う偏波分離合成器と、
前記光回路及び前記偏波分離合成器の間を接続し、前記分離された2つの偏波が個々に入射される第1及び第2の光導波路と、
前記第1の光導波路に配置され、前記偏波分離合成器により分離された一方の偏波の偏波面を、前記分離されたもう一方の偏波の偏波面となるよう回転する偏波回転素子と、を平面基板上に集積したことを特徴とする光回路装置。
- [2] 前記偏波分離合成器は、偏波分離合成機能をもつ偏波分離合成回路を前記平面基板内に少なくとも2段縦列接続してなることを特徴とする請求項1に記載の光回路装置。
- [3] 前記偏波回転素子は、半波長板であることを特徴とする請求項1又は2に記載の光回路装置。
- [4] 前記光回路は、熱光学効果を用いた可変特性機能をもつ光回路であることを特徴とする請求項1から3のいずれか一項に記載の光回路装置。
- [5] 前記光回路は、ダイナミックゲインイコライザであることを特徴とする請求項1から4のいずれか一項に記載の光回路装置。
- [6] 前記光回路は、トランスバーサルフィルタであることを特徴とする請求項1から5のいずれか一項に記載の光回路装置。
- [7] 前記光回路は、可変分散補償器であることを特徴とする請求項1から4のいずれか一項に記載の光回路装置。
- [8] 前記光回路は、可変光減衰器であることを特徴とする請求項1から3のいずれか一項に記載の光回路装置。
- [9] 前記光回路は、光スイッチであることを特徴とする請求項1から3のいずれか一項に記載の光回路装置。
- [10] 前記平面基板内に、前記光回路に接続されたモニタ用入力導波路及びモニタ用出力導波路が形成されたことを特徴とする請求項1から9のいずれか一項に記載の

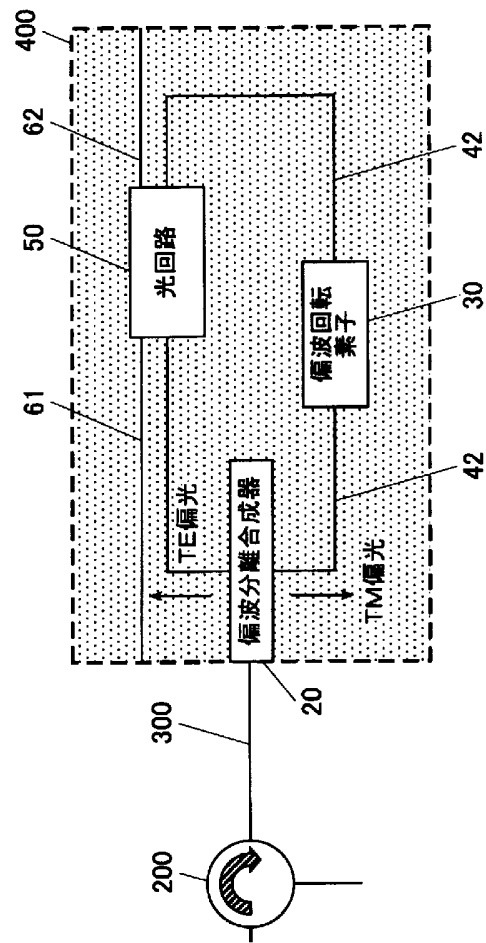
光回路装置。

- [11] 前記光回路は、トランスバーサルフィルタ回路を用いた可変分散補償器であることを特徴とする請求項1から3のいずれか一項に記載の光回路装置。
- [12] 前記縦列接続される複数の偏波分離合成回路がスルーポートとクロスポートを接続して構成されていることを特徴とする請求項2に記載の光回路装置。

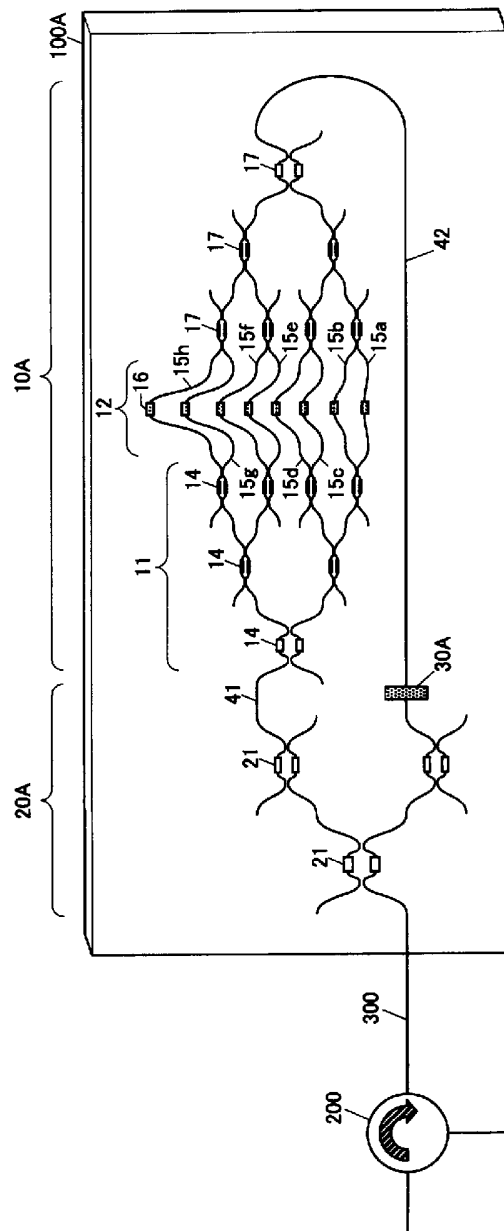
[図1]



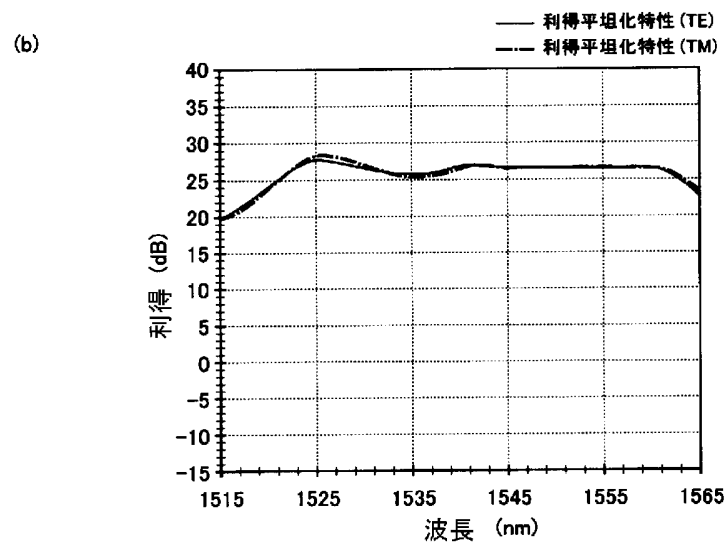
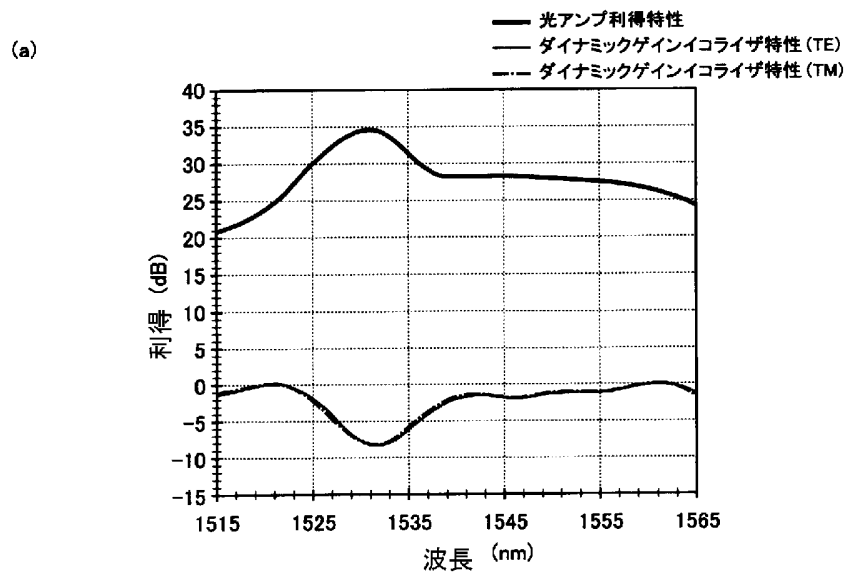
[図2]



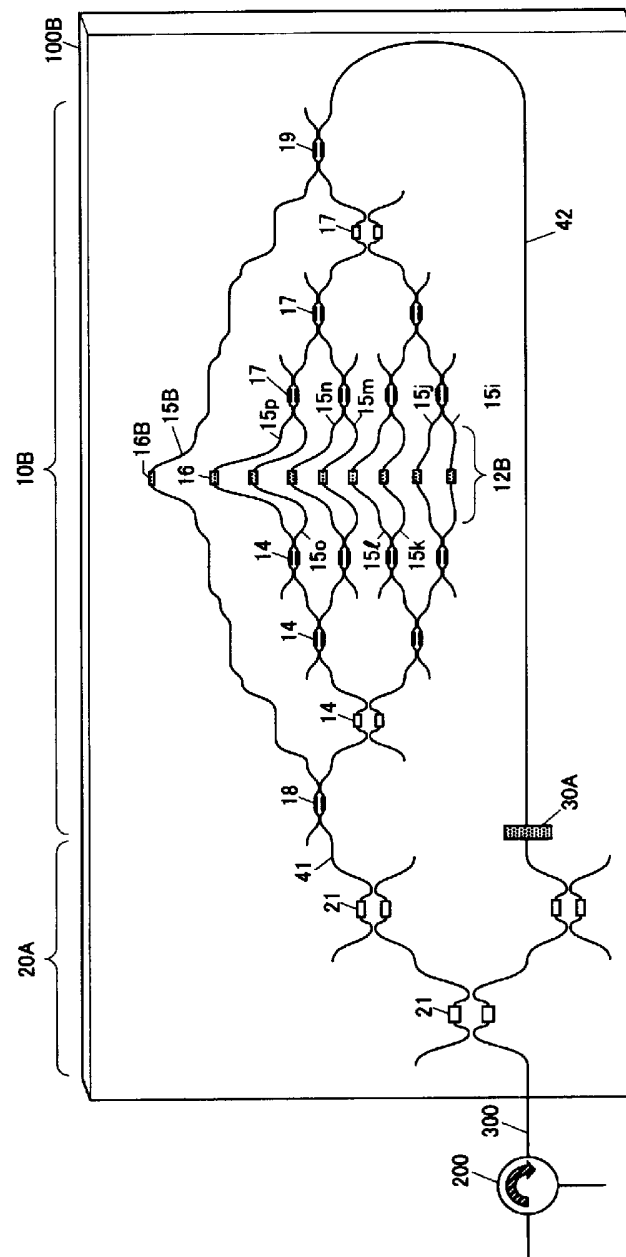
[図3]



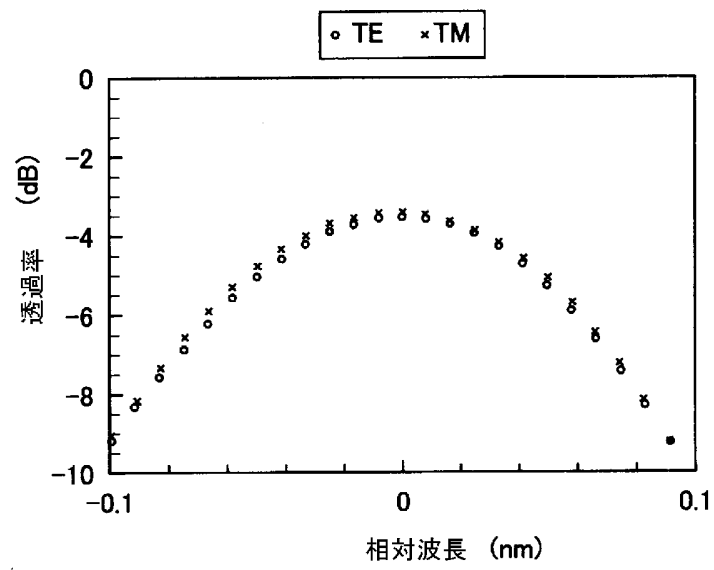
[図4]



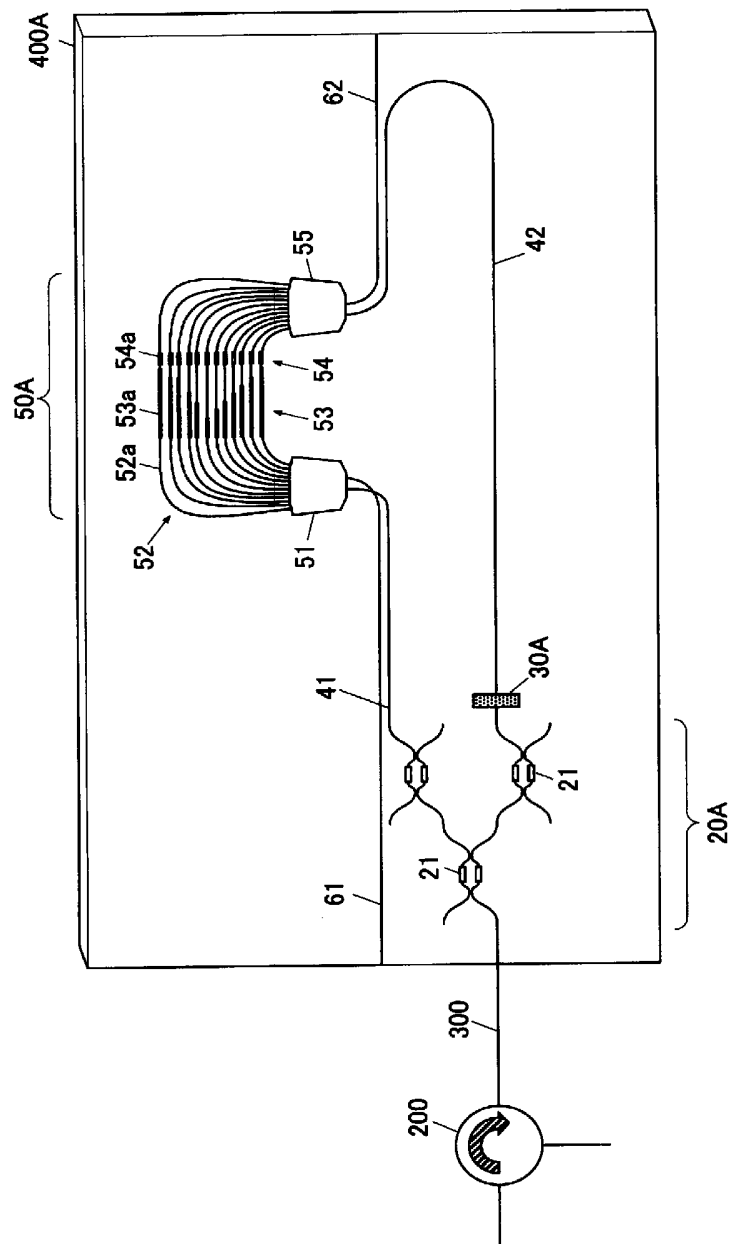
[図5]



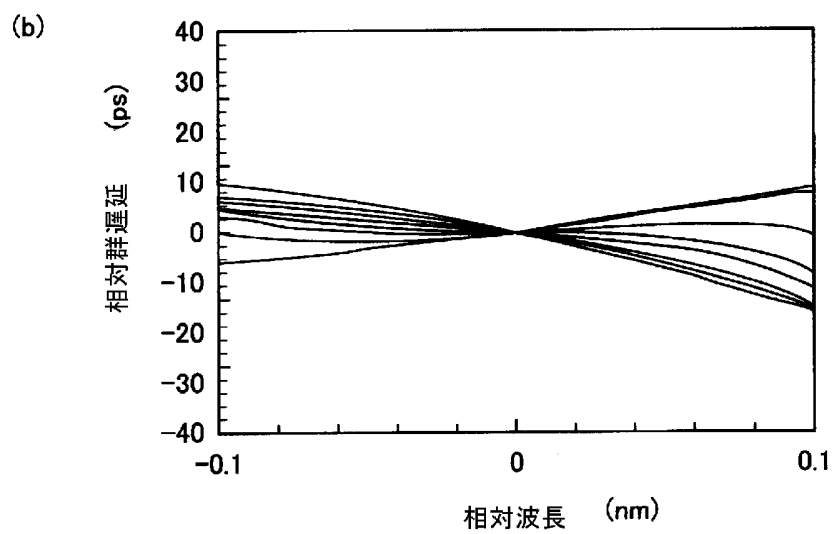
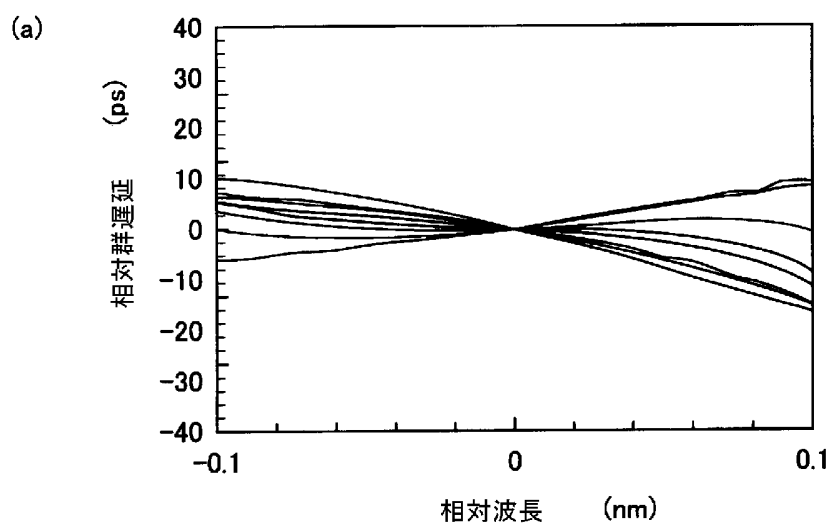
[図8]



[図9]

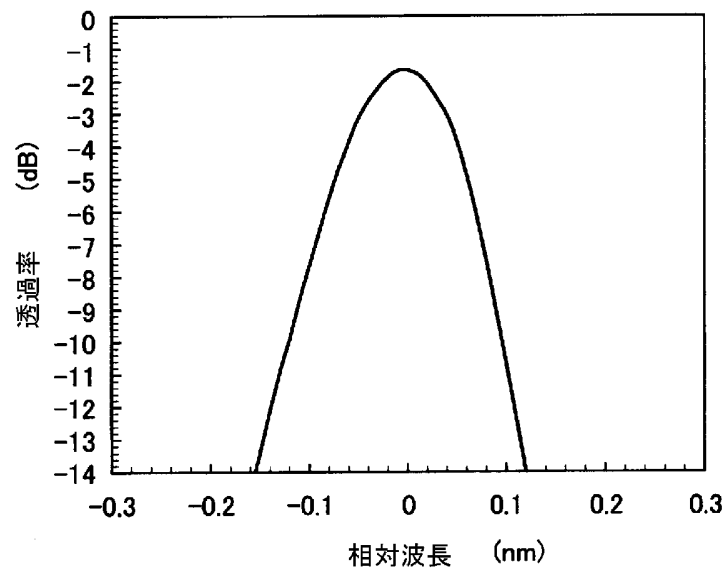


[図10]

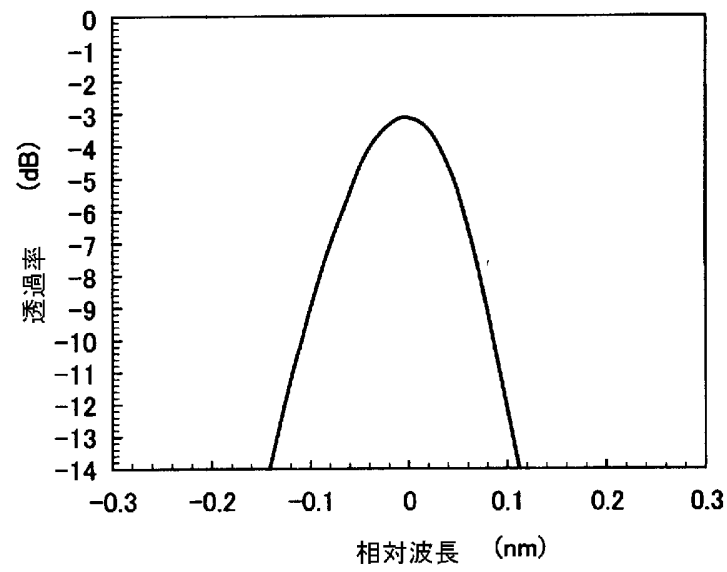


[図11]

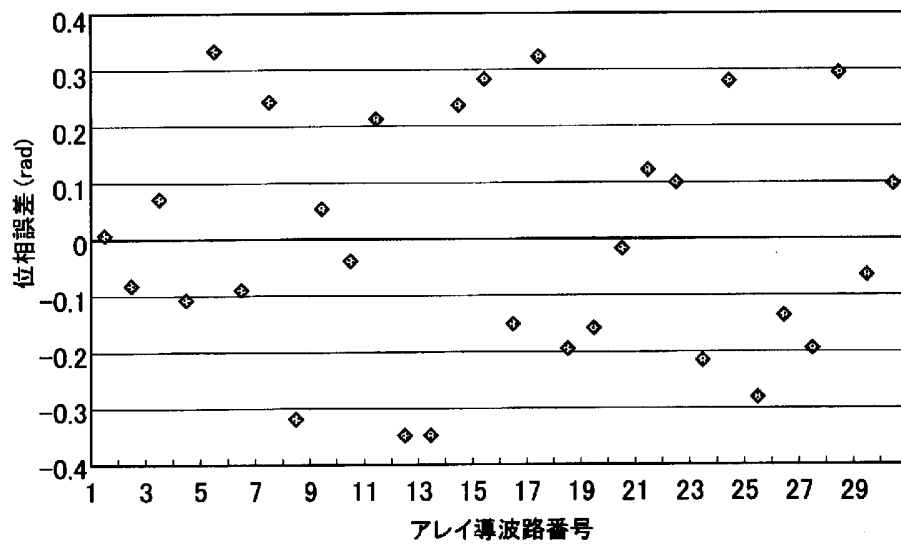
(a)



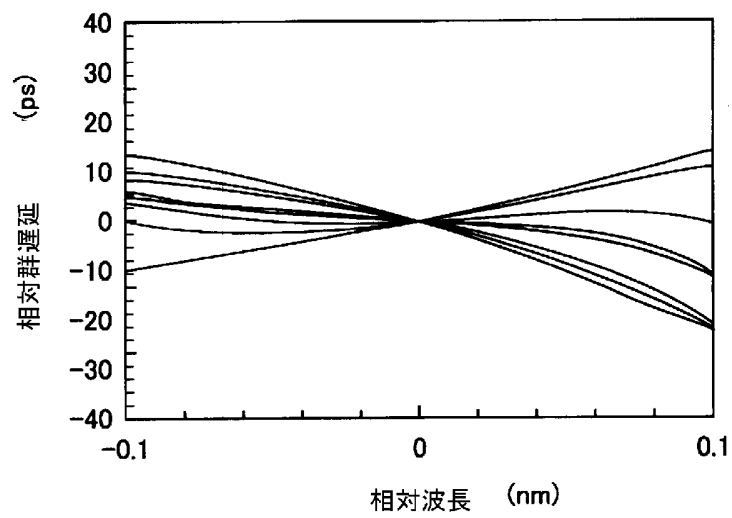
(b)



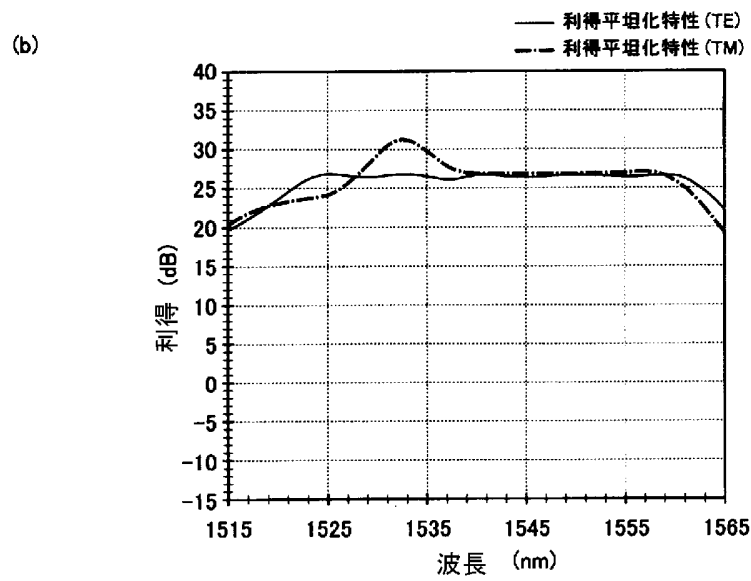
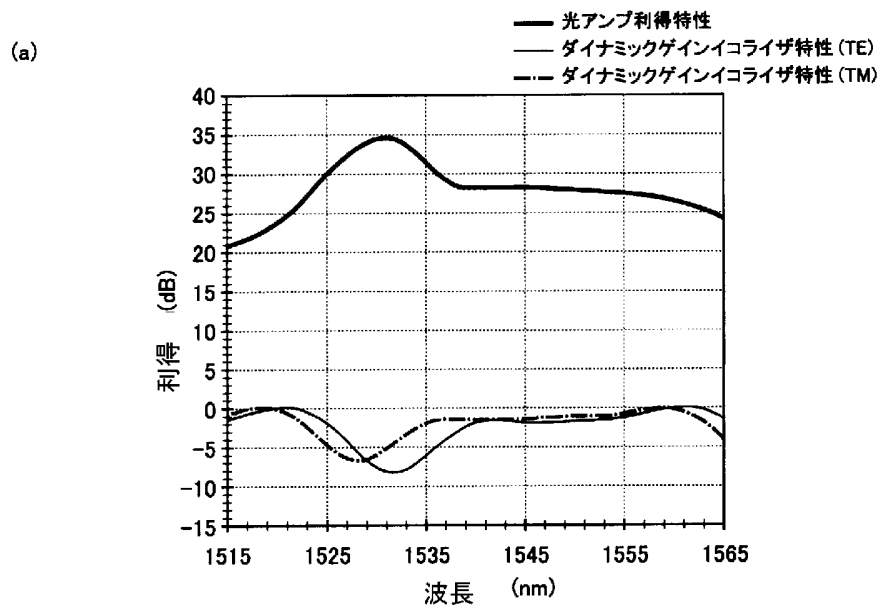
[図12]



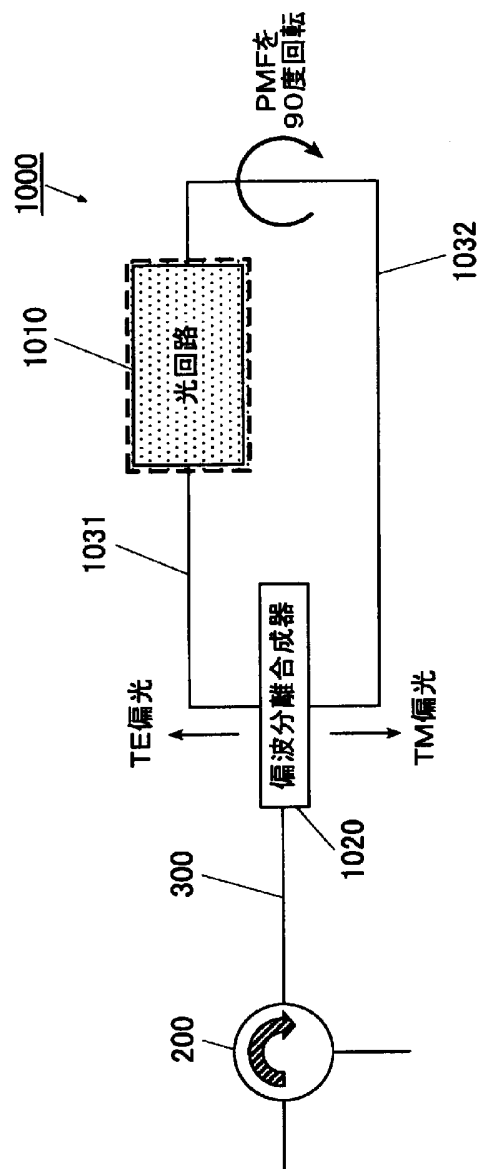
[図13]



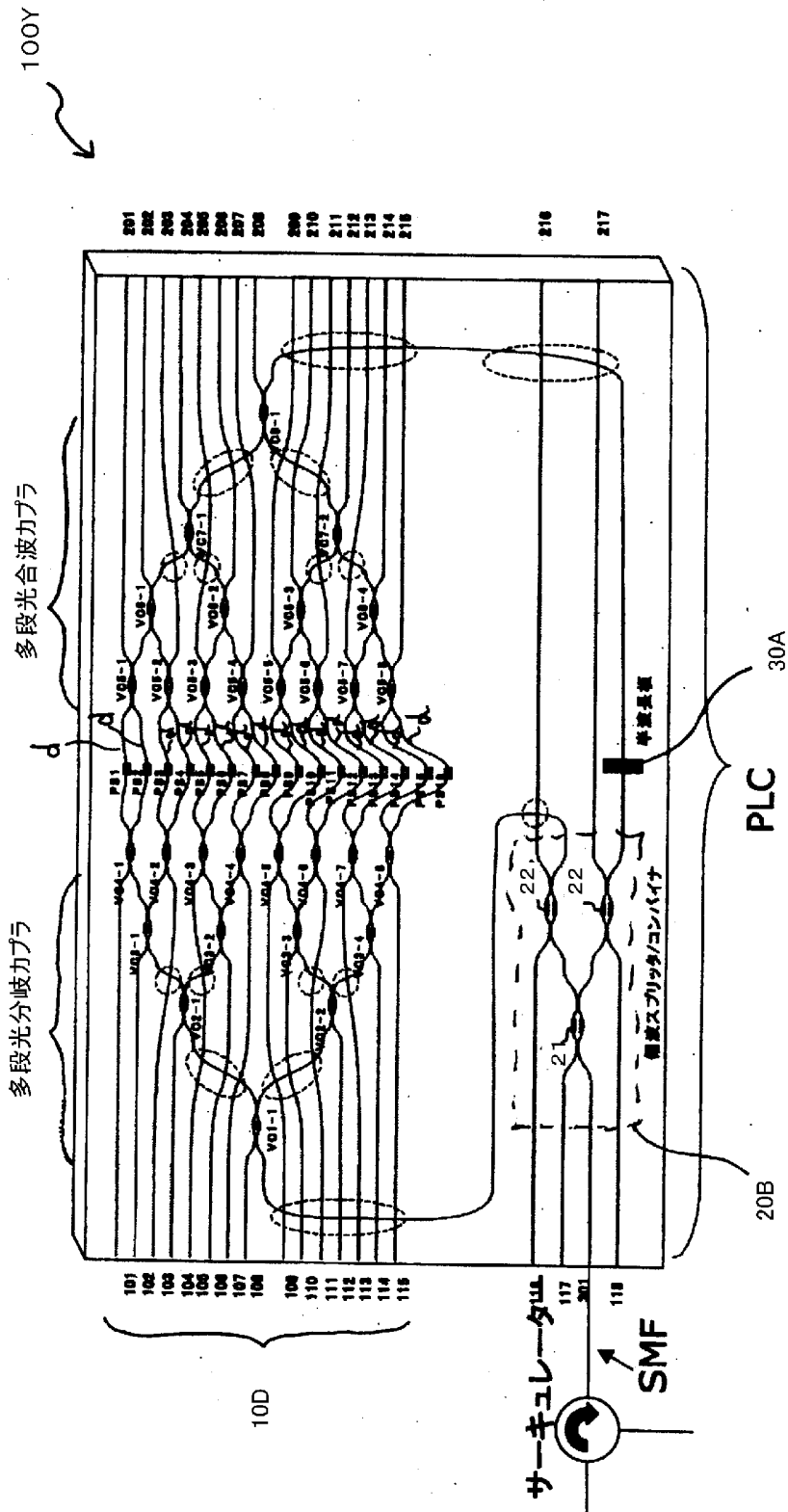
[図14]



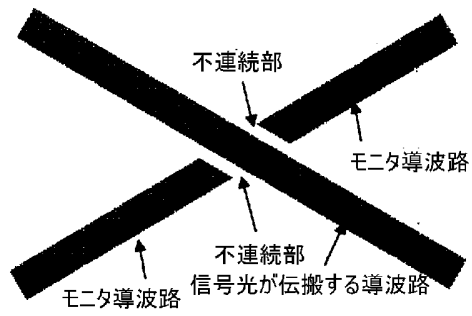
[図15]



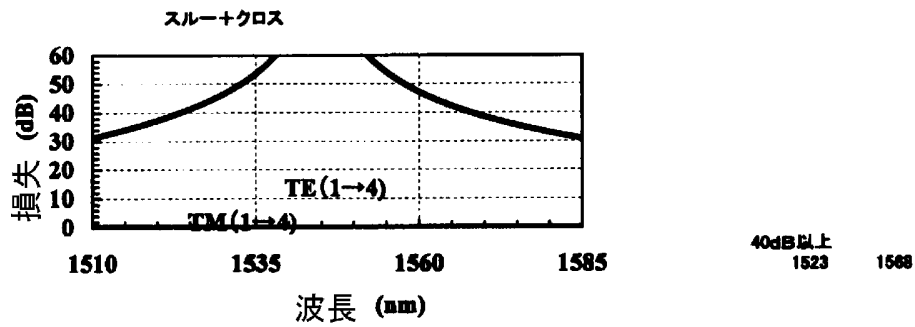
[図16]



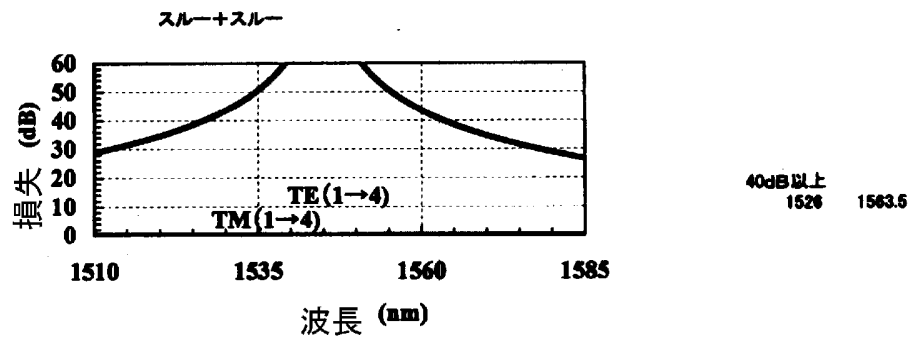
[図17]



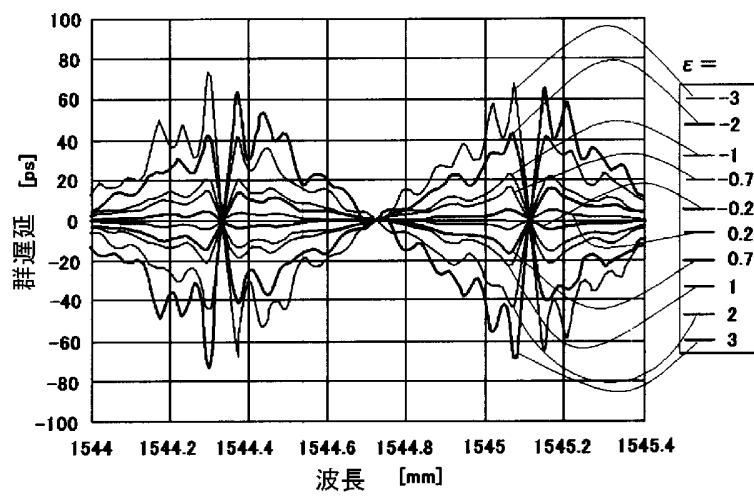
[図18]



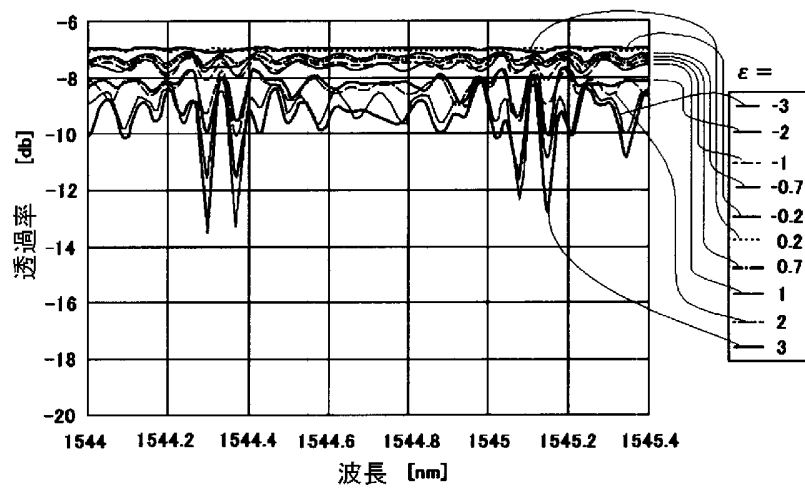
[図19]



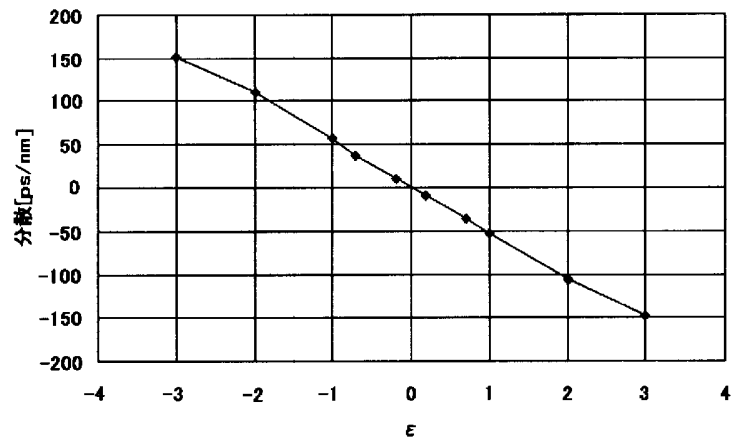
[図20]



[図21]



[図22]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/014310

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl. ⁷ G02F1/01, G02B6/12, 6/122, 6/126 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl. ⁷ G02F1/00-1/125, G02B6/12-6/14 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	C.R. Doerr et al., An Automatic 40-Wavelength Channelized Equalizer, Photonics Technology Letters, September 2000, Vol.12, No.9, pages 1195 to 1197	1-12
Y	Takashi Saida et al., Planar Lightwave Circuit Polarization-Mode Dispersion Compensator, Photonics Technology Letters, April 2002, Vol.14, No.4, pages 507 to 509	1-12
Y	JP 2001-264567 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 26 September, 2001 (26.09.01), Par. Nos. [0018] to [0019]; Fig. 4 (Family: none)	2-12
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 24 August, 2005 (24.08.05)		Date of mailing of the international search report 13 September, 2005 (13.09.05)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/014310

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2004-199046 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 15 July, 2004 (15.07.04), Par. Nos. [0393] to [0396]; Fig. 62 & US 2004/4136647 A1 & EP 1426800 A2 & CN 1508997 A	10
A	T. Saida et al., Dynamic gain equalization filter based on integrated optical transversal filter with asymmetric combiner, Electronics Letters, June 2002, Vol.38, No.12, pages 560 to 561	5,6
A	J. Gehler et al., Dynamic Adaptation of a PLC Residual Chromatic Dispersion Compensator at 40Gb/s Optical Fiber Communications Conference 2003, March 2003, Vol.2, pages 750 to 751	7
A	Hiroshi KAWASHIMA et al., "PLC-gata Tei-PDL Kahenko Gensuiki", The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Gijutsu Kenkyu Hokoku, 2004 Nen 5 Gatsu, OFT2004-12, pages 19 to 24	8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ G02F1/01, G02B6/12, 6/122, 6/126

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ G02F1/00-1/125, G02B6/12-6/14

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	C. R. Doerr, et al., An Automatic 40-Wavelength Channelized Equalizer, Photonics Technology Letters, September 2000, Vol. 12, No. 9, p. 1195-1197	1-12
Y	Takashi Saida, et al., Planar Lightwave Circuit Polarization-Mode Dispersion Compensator, Photonics Technology Letters, April 2002, Vol. 14, No. 4, p. 507-509	1-12

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリ

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

24.08.2005

国際調査報告の発送日

13.09.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

河原 正

2X

3497

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2001-264567 A (日本電信電話株式会社) 2001.09.26, 段落【0018】～【0019】, 図4 (ファミリーなし)	2-12
Y	JP 2004-199046 A (日本電信電話株式会社) 2004.07.15, 段落【0393】～【0396】, 図62 & US 2004/4136647 A1 & EP 1426800 A2 & CN 1508997 A	10
A	T.Saida, et al., Dynamic gain equalisation filter based on integrated optical transversal filter with asymmetric combiner, Electronics Letters, June 2002, Vol.38, No.12, p.560-561	5,6
A	J.Gehler, et al., Dynamic Adaptation of a PLC Residual Chromatic Dispersion Compensator at 40Gb/s, Optical Fiber Communications Conference 2003, March 2003, Vol.2, P.750-751	7
A	川島洋志他, PLC型低PDL可変光減衰器, 電子情報通信学会技術研究報告, 2004年5月, OFT2004-12, p.19-22	8