

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4559171号
(P4559171)

(45) 発行日 平成22年10月6日(2010.10.6)

(24) 登録日 平成22年7月30日(2010.7.30)

(51) Int. Cl. F I
G O 2 F 1/01 (2006.01) G O 2 F 1/01 C

請求項の数 6 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2004-270628 (P2004-270628)	(73) 特許権者	596092698
(22) 出願日	平成16年9月17日(2004.9.17)		アルカテルルーセント ユーエスエー
(65) 公開番号	特開2005-92217 (P2005-92217A)		インコーポレーテッド
(43) 公開日	平成17年4月7日(2005.4.7)		アメリカ合衆国 07974 ニュージャ
審査請求日	平成19年9月5日(2007.9.5)		ーシー, マレイ ヒル, マウンテン アヴ
(31) 優先権主張番号	10/664340		ェニュー 600-700
(32) 優先日	平成15年9月17日(2003.9.17)	(74) 代理人	100094112
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 岡部 譲
(31) 優先権主張番号	10/760516	(74) 代理人	100064447
(32) 優先日	平成16年1月20日(2004.1.20)		弁理士 岡部 正夫
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100085176
			弁理士 加藤 伸晃
		(74) 代理人	100106703
			弁理士 産形 和央

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 調整可能な分散補償器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

縦続接続された3つのマッハ・チェンダー干渉計(MZI)を備える調整可能な光信号の波長分散補償器であって、

第1のMZIは、入力光信号を受信するための固定50/50カブラを含み、

第2のMZIは、前記第1のMZIと共有される第1の調整可能なカブラと、第3のMZIと共有される第2の調整可能なカブラとを含み、前記第2のMZIは、2つの経路長を通過する前記光信号のTE偏波とTM偏波を交換するように、前記波長分散補償器の中央に配置された1/2波長板をさらに含み、

前記第3のMZIは、分散調整された出力光信号を出力する固定50/50カブラを含み、

前記第1および第2の共有された調整可能なカブラを、単一の制御信号を使用して等しい結合比で調整して、前記出力信号に調整可能な分散補償を提供することを特徴とする光信号の波長分散補償器。

【請求項 2】

前記2つの調整可能なカブラが100/0の結合比に設定されたときには前記光信号分散補償器はゼロ分散を有するものであり、そして、前記2つの調整可能なカブラを50/50の結合比に向かって調整することによって、前記分散を正または負に調節することができることを特徴とする請求項1に記載の光信号分散補償器。

【請求項 3】

10

20

前記各2つの調整可能なカブラが位相シフトを有するMZIを使用して実装されることを特徴とする請求項1に記載の光信号分散補償器。

【請求項4】

前記各2つの調整可能なカブラの位相シフトは、単一の制御信号によってプッシュ・プル方法で動作される熱光学ヒータを使用することを特徴とする請求項1に記載の光信号分散補償器。

【請求項5】

光学要素である光送信器、光増幅器、光フィルタ、波長マルチプレクサ、波長デマルチプレクサ、及び、光受信器の1つ以上からなる光装置の一部として統合されていることを特徴とする請求項1に記載の光信号分散補償器。

10

【請求項6】

複数波長チャネル・システムで使用される請求項1に記載の光信号分散補償器であって、前記光信号分散補償器が、整数によって分割されるシステム・チャネル間隔に等しいフリー・スペクトル範囲を有することを特徴とする請求項1に記載の光信号分散補償器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に光分散補償器に関し、より詳細には、カラーレス・マッハ・チェンダーク干涉計 (colorless Mach-Zehnder interferometer) に基づく調節可能な分散補償器を実装するための方法および装置に関する。

20

【背景技術】

【0002】

光信号分散補償器は、光ファイバにおける波長分散を補正することができ、特に10Gb/s以上のビットレートに有用である。有利には、さらに分散補償器が、調整可能な分散の量を有し、システム実装を容易にする。調整可能な分散補償器 (Tunable Dispersion Compensator: TDC) がカラーレスであるなら、すなわち1つのデバイスが、同時に多くのチャネルを補償することができ、またはシステムにおける任意のチャネルを補償するために選択できるならまた有利である。

【0003】

以前に提案されたカラーレスTDCは、リング共振器^[1]、仮想イメージ的なフェーズド・アレイ (Virtually Imaged Phased Array: VIPA)^[2]、縦続接続されたマッハ・チェンダーク干涉計 (MZI)^[3、4、5]、温度調整されたエタロン^[6]、熱レンズを有する導波路格子ルータ (WGR)^[7]、および変形可能なミラーを有するバルク格子^[8]を含む。尚、括弧に入れられた参照^[]は、非特許文献のリスト内に挙げられた刊行物に開示されている。縦続接続されたMZI解決方法は、低い損失を示し、標準的なシリカ導波路で作られることができ、かつコンパクトであることができるので、特に見込みがある。しかしながら、ほとんどの以前のMZIベースのTDCは、ある場合^[3]には8つのステージおよび17通りの制御電圧が必要であり、他の2つの場合^[4、5]には6つのステージおよび13通りの制御電圧が必要である。この大きな数のステージおよび制御電圧は、特に10Gb/s信号を補償するときに、製造しかつ動作するのに高価であり電力を消費する。製造精度は、そのような長い経路長差の相対位相を保証することはできないので、各デバイスの各ステージは、個別に特徴付けられなければならない。また、多数のステージは、しばしば高い光損失および大きな形状ファクタを結果として生じる。さらに、ステージが多くなると、偏波独立性を達成するのがより難しくなる。

30

40

【0004】

ある以前のMZIベースのTDCは、3つのステージおよび2つの制御電圧だけを必要とし、またパワー・レベルを制御するためにパワー監視および位相シフトを含む^[9]。そのデバイスは、40Gb/sを補償するように設計される。しかしながら、10Gb/sバージョンは、平面光波回路における典型的な複屈折性のために、恐らく有意な偏波従

50

属性を有する。これは、MZIにおける経路長差が、40 Gb/sバージョンより10 Gb/sバージョンは4倍長いからであり、したがって、10 Gb/sバージョンは、複屈折に対して有意により感受性がある。

【非特許文献1】C. K. Madsen, G. Lenz, A. J. Bruce, M. A. Cappuzzo, L. T. Gomez, and R. E. Scotti, "Integrated all-pass Filters For tunable dispersion and dispersion slope compensation" IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 11, pp. 1623 - 1625, Dec. 1999.

【非特許文献2】M. Shirasaki "Chromatic dispersion compensator using virtually imaged phased array" IEEE photon Technol Lett., Vol. 9, pp. 1598 - 1600, Dec. 1997

【非特許文献3】Koichi Takiguchi, Kaname Jinguji, Katsunari Okamoto, and Yasuji Ohmori, "Variable group-delay dispersion equalizer using lattice-form programmable optical filter on planar lightwave circuit," IEEE J. Sel. Topics in Quant. Electron., Vol. 2., pp. 270 - 276, 1996.

【非特許文献4】M. Bohn, F. Horst, B. J. Offrein, G. L. Bona, E. Meissner, and W. Rosenkranz, "Tunable dispersion compensation in a 40 Gb/s system using a compact FIR lattice filter in SiON Technology," European Conference on Optical Communication, paper 4.2.3, 2002.

【非特許文献5】S. Suzuki, T. Takiguchi, and T. Shibata, "Low-loss integrated-optic dynamic chromatic dispersion compensators using lattice-form planar lightwave circuits," in Optical Fiber Communication Conf. Digest, pp. 176 - 177, 2003.

【非特許文献6】D. J. Moss, M. Lamont, S. McLaughlin, G. Randall, P. Colbourne, S. Kiran, and C. A. Hulse, "Tunable dispersion and dispersion Slope compensators for 10 Gb/s using all-pass multicavity etalons," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 15, pp. 730 - 732, May 2003.

【非特許文献7】C. R. Doerr, L. W. Stulz, S. Chandrasekhar, L. Buhl, and R. Pafchek, "Multichannel integrated tunable dispersion compensator employing a thermo-optic lens," Optical Fiber Communication Conference, postdeadline paper FA6-1, 2002.

【非特許文献8】D. Nielson, R. Ryf, D. Marom, S. Chandrasekhar, F. Pardo, V. Aksyuk, M. Simon, and D. Lopez, "Channelized dispersion compensator with flat pass bands using an array of deformable MEMS mirrors," OFC postdeadlin

10

20

30

40

50

e paper PD29, 2003.

【非特許文献9】J. Gehler, R. Wessel, F. Buchali, G. Thielecke, A. Heid, H. Blow, "Dynamic Adaption of a PLC Residual Chromatic Dispersion Compensator at 40 Gb/s" in OFC 2003, Vol. 2, pp. 750 - 751.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

望まれているのは、低減された数のステージおよび制御電圧を有する、偏波独立性の単純化されたMZIに基づくTDCである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明によれば、コンパクトにし、低パワーにし、かつ製造、テスト、および動作を簡単にする、3つのMZIステージ（反射バージョンでは2つ）および1つの制御電圧に 응답する2つの調整可能なカップラだけを有する、カラーレス偏波独立性のマッハ・チェンダ干涉計（MZI）に基づく調整可能な分散補償器（TDC）を実装する方法および装置を開示する。偏波独立性は、TE偏波とTM偏波を交換するために、中間ステージMZIの2つの経路長の中央点を横切って配置された1/2波長板を使用して達成される。25GHzのフリー・スペクトル範囲のバージョンを有するそのようなMZIに基づくTDCは、10Gb/s信号に関して ± 2100 ps/nmを補償することができる。整数によって分割されたシステム・チャンネル間隔に等しいフリー・スペクトル範囲を有することは、TDCが、多くのチャンネルを同時に補償することを可能にするか、波長がTDCの調整なしに異なるチャンネル間でジャンプするケースを補償することも可能にする。例えば、25GHzのフリー・スペクトル範囲、ならびに20GHzおよび33.3GHzのフリー・スペクトル範囲は、TDCが100GHzグリッド上の複数のチャンネルを補償することを可能にする。

【0007】

より詳細には、調整可能な光信号の波長分散補償器のある実施形態は、入力光信号を受信するための固定50/50カップラを含む第1のMZI、および第1のMZIと共有される第1の調整可能なカップラと第3のMZIと共有される第2の調整可能なカップラとを含む第2のMZIを備え、第2のMZIは、2つの経路長を通過する光信号のTE偏波とTM偏波を交換するように、第2のMZIの2つの経路長の中央点を横切って配置された1/2波長板をさらに含み、さらに、分散調整された出力光信号を出力する固定50/50カップラを含む第3のMZIを含み、前記第1および第2の共有された調整可能なカップラは、出力信号に調整可能な分散補償を提供するために、単一の制御信号を使用して等しい結合比で調整される。

【0008】

反射性の実施形態において、調整可能な光信号の波長分散補償器は、第1のポートで入力光信号を受信するための固定50/50カップラと、第2の反射性MZIと共有される調整可能なカップラとを含む第1のMZIを備え、第2のMZIにおける2つのアーム間の経路長差は、第1のMZIの2つのアーム間の経路長差に等しく、調整可能なカップラは、出力光信号を形成するために、前記補償器によって入力光信号に追加された信号分散の量を制御するために制御信号に 응답する。偏波独立性が所望であれば、1/4波長板は、第2の反射性MZIの反射性ファセットの前面に配置される。

【0009】

他の実施形態において、偏波独立性の縦続接続されたMZI-TDC構成は、第1の3ステージMZI-TDCに、2つのTDC間の1/2波長板を有する第2の3ステージMZI-TDCを縦続接続することによって形成される。

【0010】

10

20

30

40

50

さらに他の実施形態において、二重経路MZI-TDC構成は、信号がTDCを2回通過するように、TDCの後に反射器を配置することによって形成される。この二重経路は、達成可能な分散の量を増大する。偏波独立性が所望であれば、1/4波長板が、TDCと反射器との間に配置されることができる。

【0011】

本発明は、添付の図面に照らして読まれるべき以下の詳細な記載を考慮することによってより完全に理解されるであろう。

以下の記載において、異なる図面の同一の要素指定は、同一の要素を示す。要素指定に加えて、1の数字は、その要素が第1に配置される（例えば101は図1において第1に配置される）図面を参照する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

図1を参照すると、本発明による、3つのステージだけを有しかつ1つの制御電圧を使用する、偏波独立性の調節可能な分散補償器(TDC)デバイスの概略図が示される。3つのステージ103、105、および107は、マッハ・チェンダー干渉計(MZI)を使用して実装される。第1および第2のMZI103、105は、調整可能なカプラ104を共有し、第2および第3のMZI105、107は、調整可能なカプラ106を共有する。2つの調整可能なカプラ104、106は、常に等しく設定される。第1および第3のMZIは、経路長差Lを有し、中央MZIは、2Lの経路長差(カプラから任意の位相オフセットに加えて)を有する。図1に示される好ましい実施形態において、より長い経路長が、それぞれ第1、第2、および第3のMZI103、105、107の頂部、底部、および頂部アームに配置されることに留意されたい。これは、構造が、図10の導波路レイアウトで示されるようにコンパクトな構成に折りたたまれることを可能にする。代わりに、より長い経路長が、第1、第2、および第3のMZIの頂部アームに配置されることができる。

【0013】

偏波独立性のTDCは、1/2波長板110をTDCデバイスの中央(第2のMZI105の中央)に配置することによって、コスト的に効果的で低損失の解決方法が達成される。1/2波長板110は、180°の直交偏波間に異なる位相シフトを与える薄い複屈折波長板を言及する。波長板複屈折軸は、光波回路の平面に対して45°に向けられる。Takahashiらは、低い偏波感度を達成するために、対称の導波路デバイスの中央の溝に、水晶から作られた1/2波長板を最初に使用した^[11]。1/2波長板110は、TDCデバイスの中央におけるTEおよびTM偏波の信号を交換し、したがって、デバイスが対称であり(図1におけるように)かつTDCデバイスにおいてそうでなければTEとTMとの間の偏波カップリングが存在しないなら、偏波感度が排除される。その後、Inoueらは、ただ15μmの厚みでありかつ水晶のようにもろくない、偏波従属性を低減するためのポリイミド1/2波長板を開発した^[12]。一連の干渉計で構成されるTDCデバイスに関して、一般に各干渉計の中央に波長板を挿入しなければならず、Takiguchiは、低偏波感度を達成するために5ステージのMZIタイプのTDCに5つの波長板を挿入した^[13]。望ましくないことに、この多数の波長板の挿入は、著しいコストと損失を追加する。

【0014】

前に示したように、残念なことに、長さが非平衡なMZI103、105、107のシリカ導波路アームは、応力で引き起こされる複屈折を示し、長さが非平衡なMZIに蓄積された位相差を、横電気(TE)および横磁気(TM)偏波された光波について異ならせる。例えば、25GHzのフリー・スペクトル範囲を有する10Gb/s信号のためのTDCは、1.6cmより長い経路長差を必要とし、20pmのシリカ・オン・シリコンに関する最新技術のPDWを有する導波路を使用しても、TDC PLCを高度な偏波従属性にする^[10]。これは、結果としてMZI103、105、107における偏波従属性の波長シフト(PDW)を生じる。図1のようにTDCデバイス全体を対称にすると、

10

20

30

40

50

ただ1つの1/2波長板110が、偏波従属性を取り除くため必要であることが分かった。したがって、例えば、TE偏波された光波が、MZI103およびMZI105の第1の半分105Aを通過して進むなら、1/2波長板110は、TE偏波された光波がMZI105の第2の半分105BおよびMZI107を介してTM偏波された光波になるように、TE偏波された光波を回転する。逆に、TM偏波された光波が、MZI103およびMZI105の第1の半分105Aを通過して進むなら、1/2波長板110は、TM偏波された光波がMZI105の第2の半分105BおよびMZI107を超えてTE偏波された光波になるように、TM偏波された光波を回転する。したがって、TE偏波された光波およびTM偏波された光波が、MZI103、105、107を通過するとき、TE偏波された光波とTM偏波された光波との間にPDW差は存在しない。さらに、対称性のために、この構成における波長板110は、一般的な縦続接続されたMZI TDCとは異なり、カブラおよび位相シフトの偏波従属性も解消する。TDCフリー・スペクトル範囲の整数を引いた外側MZI103および107におけるPDWは、大きすぎることができず、そうでなければ、1/2波長板110が挿入されたときに、外側MZIが波長ずれされることに留意されたい。幸いなことに、性能は、この位置ずれにむしろ感受性が低く、図5Aおよび図5Bは、完全なケース501、および外側MZI103、107が、25GHzフリー・スペクトル範囲デバイスにおける20pmだけ位置ずれされた位置ずれケース502に関する、シミュレートされた透過率および群遅延を比較する。502によって示されるように、最も外側のMZI間のわずかな周波数オフセットは、結果として主により高い損失を生じる。

10

20

【非特許文献10】R. Kasahara, M. Itoh, Y. Hida, T. Saيدا, Y. Inoue, and Y. Hibino, "Birefringence compensated silica-based waveguide with undercladding ridge," *Electron. Lett.*, vol. 38, pp. 1178-1179, Sept. 26, 2002.

【非特許文献11】Hiroshi Takahashi, Yoshinori Hibino, and Isao Nishi, "Polarization-insensitive arrayed-waveguide grating wavelength multiplexer on silicon," *Opt. Lett.*, Vol. 17, pp. 499-501, April 1, 1992

30

【非特許文献12】K. Takiguchi, K. Okamoto, Y. Inoue, M. Ishii, K. Moriwaki, and S. Ando, "Planar lightwave circuit dispersion equaliser module with polarization insensitive properties," *Electron. Lett.*, vol. 31, pp. 57-58, 1995.

【非特許文献13】K. Moriwaki, M. Abe, Y. Inoue, M. Okuno, and Y. Ohmori, "New Silca-based 8x8 thermo-optic matrix switch on Si that requires no bias power," in *Optical Fiber Conf. Digest*, pp. 211-212, 1995.

40

【0015】

偏波独立性のTDCが、図1に示される。偏波独立性のTDCは、2つの調整可能なカブラ104および106とともに結合される3つのMZI103、105、および107を含み、各調整可能なカブラは、常に等しく設定される小さなMZIで作られる。位相シフト(カブラ104および106の)が駆動されないとき、調整可能なカブラ104および106は100/0であり、デバイスは、すべての波長にわたって均一な透過率および平坦な群遅延を有する、大きな長さが非平衡な干渉計のように見える。両方の上方位相シフト(例えば、図2の202)がともに駆動されるとき、カブラは50/50に向かって調節され、MZI103はデマルチプレクサのように作用し、MZI106はマルチプレ

50

クサのように作用し、より短い波長が負の分散を与える中央MZIのより長い経路を主に進むように、光を分割する。2つの下方位相シフタ（例えば、図2の203）を駆動すると、この逆である。調整可能なカップラ104および106が、正確に50/50であるとき、構成は、参考文献^[14]の固定された複屈折性の結晶分散補償器に類似する。

【非特許文献14】T. Ozeki, "Optical equalizers," Opt. Lett., vol. 17, pp. 375-377, March 1992.

【0016】

図1の分散補償TDCのより詳細な記載は以下である。ポート101での入力光信号は、y分岐カップラ102によって第1のMZI103の2つのアームに等しく分割される。第1のMZI103において、一方のアームは、 L だけ他方のアームより長く、光信号が第1の調整可能なカップラ104で再結合されたときに、第2のMZI105の各2つのアームに送られる光の量は、波長に応じる。制御信号C1に応答する第1の調整可能なカップラ104は、カップラ104から第2のMZI105のアームへ出力された信号に引き起こされる分散の符号および量を制御する。同様に、制御信号C1に応答する第2の調整可能なカップラ106は、第2のMZI105のアームから受けとられ、かつカップラ106から第3のMZI107のアームへ出力された信号に引き起こされる分散の符号および量を制御する。負の分散が所望であれば、調整可能なカップラ104、106への所定の制御信号C1は、より短い波長が、第2のMZI105のより長いアームを主に進むことを可能にするために使用される。正の分散が所望であれば、調整可能なカップラ104、106への所定の制御信号C1は、より長い波長が、第2のMZI105のより長いアームを主に進むことを可能にするために使用される。第3のMZI107は、次に、第1のMZIに類似する機能を実行し、そのアームにおける波長は、最終y分岐カップラ108において再結合され、出力ポート109に送られる。

【0017】

TDCデバイスが、ゼロ分散について設定されるときに、2つの調整可能なカップラ104、106は、100/0に設定される（すなわち、カップラは、単純な交差接続機能を実行し、調整可能なカップラの上方の左側ポートへの入力、調整可能なカップラの下方の右側ポートへの出力ポートへ進み、逆もまた同じである）ことに留意されたい。そのようなゼロ分散のケースにおいて、TDCを通る光信号は、等しい経路長を横切る。図1において、MZI103および107でアーム長さの差だけが示されているが、実際のアーム長さは、 $L + L$ および L であり、MZIにおいて、実際のアーム長さは、 $L + 2L$ および L である。したがって、y分岐カップラ102の1つの出力ポートからy分岐カップラ108の出力ポート109への信号経路は、MZI103を通り長さ $L + L$ 、MZI105を通り長さ L 、およびMZI107を通り長さ $L + L$ の経路をたどり、 $3L + 2L$ の全長さを与え、他の経路は、 L 、 $L + 2L$ 、および L からなり、同様に $3L + 2L$ の全長さを与える。したがって、ゼロ分散設定のために、TDCデバイスは、長さ $3L + 2L$ の導波路として単純に作用し、有意な波長分散を導入しない。

【0018】

上述の記載において、 L は、TDCのフリー・スペクトル範囲(FSR)を決定する。FSRは、

$$FSR = c_0 / (L \cdot n_g)$$

に等しい。ここで、 c_0 は300 km/s（真空光速）であり、 n_g はMZI導波路の群屈折率である。

【0019】

ある例示的な構成において、10 Gb/sの光信号データ・レートに関して、FSRは、約25 GHzである。そのような25 GHzのフリー・スペクトル範囲を有するMZIベースのTDCバージョンは、10 Gb/sの信号について ± 2100 ps/nm補償することができる。複数波長チャネル・システムにおいて、整数によって分割されたシステム波長チャネル間隔に等しいFSRを有することは、TDCが、多くのチャネルを同時に補償することを可能にする。したがって、TDCはカラーレスであり、すなわち、TD

Cは、多くのチャネルを同時に補償することができるか、または複数波長チャネル・システムにおける任意のチャネルを選択可能に補償することができる。FSRに関する他の妥当な選択は、100GHz離間されたチャネル波長グリッドを有する10Gb/sのチャネルを補償するために、20GHzおよび33.3GHzを含む。

【0020】

良く知られている方法においては、MZI103、105、107は、平面光集積回路としてともに実装されることができ、または基板上に搭載された離散光学要素を使用して実装されることができる。

【0021】

TDCの分散は、制御信号C1を使用してカブラ104および106を50/50に向かって調整することによって、正または負に調節されることができる。図3を参照して議論されるように、ゼロ分散制御信号C1設定より高いまたは低い制御信号C1を選択することによって、TDCは、正または負の分散レベルに設定されることができる。

【0022】

調整可能なカブラ104および106が、共通の制御信号C1によって制御されながら、所望であれば、別個の制御信号を使用することができることに留意されたい。例えば、カブラが、製造の不均一性のために等しくない特徴を有するならば、別個の制御が有用であり得る。

【0023】

図2は、本発明により、調整可能なカブラ104および106が、2つのMZIベースの調整可能なカブラを使用して実装される、図1のTDCを示す。示されるように、調整可能なカブラ104、106は、制御可能な位相シフタで小さなMZIを使用して実装される。各MZIは、50/50固定エバネッセンズ・カブラ201と、上方位相シフタ202と、下方位相シフタ203、および50/50固定エバネッセンズ・カブラ204とを含む。第1のレベルで同じ制御信号C1を用いて、両方のMZIの両方の下方位相シフタ203を駆動することが、分散を一方向に押し進め、第2のレベルで両方の上方位相シフタ202を駆動することが、分散を他の方向に押し進める。主MZIの向きに応じて、調整可能なカブラMZIにおける2つのアーム間にわずかな経路長差が存在する可能性がある。例えば、調整可能なカブラにおける2つのアーム間に半波長の経路長差を有することが有利である。そのようなケースにおいて、調整可能なカブラにパワーが加えられないならば、デバイスがゼロ分散を有し、TDCパワー障害のケースで望ましいことがある。調整可能なカブラ104および106は、任意の変形をより正確に補償するように、MZIに作られる製造後の永續調整を有することができることに留意されたい。

【0024】

位相シフタ202、203は、熱光学ヒータであるときには、正および負の両方の分散に調節するために、1つの制御信号C1だけを必要とする従来の電気レイアウトが、図3に示される。制御信号C1電圧は、レベルV1とV2との間で変わり、ここでV2はV1より大きい。制御電圧C1は、V1とV2との間の所定のゼロ分散レベルVzであるとき、両方の上方および下方位相シフタを通る同一の電流は、ゼロ分散を確立し、したがって調整可能な202、203は、前述された簡単な交差接続機能を実行する。制御信号C1が、レベルV1であるとき、上方位相シフタ202は電流が流れず、下方位相シフタ203は電流が流れて、第1極性の分散の最大量を確立する。所望の分散レベルが、ゼロ分散レベルVzと最大の第1極性の分散レベルV1との間のいずれかであるとき、制御信号C1は、V1とVzとの間の電圧レベルに適切に調整される。V1とVzとの間の制御信号C1レベルで、上方位相シフタ202および下方位相シフタ203は、プッシュ・プル構成で動作する。例えば、すなわち、上方位相シフタ202電流が増加し、一方、下方位相シフタ電流が低減する。

【0025】

制御信号C1がレベルV2であるとき、下方位相シフタ202は電流が流れず、上方位相シフタ203は電流が流れて、第2極性の分散の最大量を確立する。所望の分散レベル

10

20

30

40

50

が、ゼロ分散レベル V_z と最大の第2極性の分散レベル V_2 との間のいずれかであるとき、制御信号 C_1 は、 V_z と V_2 との間の電圧レベルに適切に調整される。上方位相シフタ202および下方位相シフタ203のこのプッシュ・プル動作は、低い最悪なケースの熱光学パワー消費およびすべての調節設定に関してほぼ一定のパワー散逸を結果として生じる[15]。

【非特許文献15】C. R. Doerr, L. W. Stulz, R. Pafchek, and S. Shunk, "Compact and low-loss manner of waveguide grating router passband flattening and demonstration in a 64-channel blocker/multiplexer," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 14, pp. 56-58, Jan. 2002.

10

【0026】

図4を参照すると、本発明による、同様にただ1つの制御電圧を使用する調節可能な分散補償器(TDC)の反射構成が示される。図4に示されるように、図1のTDC構成は対称であるので、サーキュラーの必要性を犠牲にして、より簡単な反射構成を使用して実装されることができる。図4に示される反射構成において、MZI403は、図1の第1のMZI103および第3のMZI107の機能を実行し、反射MZI405は、図1のMZI105の機能を実行する。偏波独立性の反射TDCが所望であれば、反射ファセット406の前面に配置された1/4波長板410を追加することによって得られることができる。光信号は、1/4波長板410を2回通過するので、図1の1/2波長板110と同じ効果を有する。

20

【0027】

反射TDCの動作は、以下のものである。ポート400での入力光信号は、サーキュラー401を通過し、y分岐カプラ412によってMZI403の2つのアームに等しく分割される。MZI403において、一方のアームは、Lだけ他方のアームより長く、光信号が第1の調整可能なカプラ404で再結合されたときに、反射MZI405の各2つのアームに送られる光の量は、波長に応じる。調整可能なカプラ404は、制御信号 C_1 にตอบสนองして動作し、制御信号 C_1 は、カプラ404から反射MZI405のアーム407、408へ出力された信号に引き起こされる分散の符号および量の両方を制御し、同様に、カプラ404からMZI403のアームへ出力された信号に引き起こされる分散の同じ符号および量を確立する。反射MZI405は、2つのアーム407および408からこれらのアームへ戻る受信した信号を反射するための反射ファセット406を有することに留意されたい。(示されたように、偏波独立性が反射TDCで望まれるなら、反射ファセット406の前面に配置された1/4波長板420を追加することによって得られることができる。)信号は、1/4波長板420を2回通過するので、図1の1/2波長板110と信号に対する同じ効果を有する。アーム407、408からの信号は、左から右へその後右から左への両方に進むので、アーム407の長さは、アーム408よりL長いだけが必要である。反射された信号は、次に、右から左の方向にMZI403を横切り(図1のMZI107のように作用するために)、y分岐カプラ402で結合される(図1のy分岐カプラ108と同様に作用する)。y分岐カプラ402からの出力信号は、次に出力ポート409へサーキュラー401を通過する。制御信号 C_1 を使用する図4の反射TDCは、図1のTDCによって達成されると同じ方法で、出力ポート409から出力された信号に引き起こされた分散の符号および量を制御することができる。

30

40

【0028】

図2に示される方法とは異なる他の方法によって、調整可能なカプラを作ることができることに留意されたい。例えば、2つの50/50エバネッセンス・カプラ201および204の代わりに、2つの50/50のマルチ・セクション・エバネッセンス・カプラを使用することができる。マルチ・セクション・エバネッセンス・カプラは、波長、偏波、および製造変更にもかかわらず、より正確な50/50分割比を与えることができる。他の可能性は、マルチモード干渉計カプラを使用することである。

50

【 0 0 2 9 】

同様に、カプラ 1 0 2 および 1 0 8 は、y 分岐カプラではない他の 5 0 / 5 0 カプラであることができる。例えば、カプラ 1 0 2 および 1 0 8 は、マルチモード干渉計カプラであることができる。

【 0 0 3 0 】

図 5 A は、シミュレートされた透過率を示し、図 5 B は、図 1 および図 4 の調整可能なカプラの 3 つの異なる設定 (0、+ / 2、- / 2) で T D C を通る、シミュレートされた群遅延特徴を示す。図 5 A および図 5 B において、調節範囲の限界および中央で、フリー・スペクトル範囲は 2 5 G H z である。波長は 1 5 5 0 n m である。マークされた位相は、図 2 の調節可能なカプラにおける M Z I アーム間の位相差を示す。損失は、理論的にゼロであり、分散がゼロから外れて調節されたときにチャネル中央で増大しない。最大分散で、ピーク間で 1 . 2 5 d B の透過率リップルがあり、分散は $\pm 2 5 0 0$ p s / n m に達する。帯域幅はあまり広がらないが、送信器周波数誤差は、 $\sim \pm 2 . 5$ G H z ($\pm 2 0$ p m) より小さくなければならない。これは、波長固定送信器で達成可能である。実際に、このケースで 1 0 G b / s 信号に関して、分散は、F S R が 2 5 G H z であるとき、 $\sim \pm 2 1 0 0$ p s / n m に制限される。

【 0 0 3 1 】

T D C は、比較的狭い帯域幅を有する。波長固定送信器レーザがシステムで用いられなら、この帯域幅は一般に十分である。しかしながら、いくつかのシステムにおいて、レーザ波長における不正確さは、T D C 帯域幅には大きすぎることがある。そのようなケースにおいて、2 つの最も外側の M Z I における位相シフトを調整することによって、レーザ波長に T D C を固定することができる。例えば、一致して 2 つの最も外側の M Z I の両方のより長いアームにおける位相シフトへの駆動を増大して、T D C をより長い波長に調節することができる。固定のためのフィードバックは、特定の周波数で一致して最も外側の M Z I におけるこれら位相シフトを変動させ、かつ標準的なピーク検出フィードバック制御を用いて、タップおよび光検出器を使用して T D C からの出力パワーを測定することによって導き出されることができる。

【 0 0 3 2 】

図 6 A および図 6 B は、例示的な光送信システムにおける T D C の使用法を示す。図 6 A は、事前送信分散補償システムを示し、第 1 の位置 6 0 0 は、光送信器ユニット 6 0 1、事前送信分散補償のために使用される T D C 6 0 2、光増幅器 6 0 3、および必要であれば波長マルチプレクサ 6 0 4 を含む。出力信号は、光設備 6 1 0 を越えて第 2 の位置 6 2 0 へ送られ、第 2 の位置 6 2 0 は、波長デマルチプレクサ 6 2 1 (必要であれば)、増幅器 6 2 3、および光受信器ユニット 6 2 2 を含む。例示的な光送信システムは両方向性であるので、第 1 の位置は、また、デマルチプレクサ 6 2 1 (必要であれば)、増幅器 6 2 3、および光設備 6 3 0 を越えて第 2 の位置 6 2 0 に接続された光受信器ユニット 6 2 2 を含み、第 2 の位置は、光送信器ユニット 6 0 1、事前送信分散補償のために使用される T D C 6 0 2、光増幅器 6 0 3、およびマルチプレクサ 6 0 4 (必要であれば) を含む。光送信器ユニット 6 0 1 および光受信器ユニット 6 2 2 は、一般に応答器ユニット 6 4 0 としてともにパッケージされる。

【 0 0 3 3 】

図 6 B は、後送信分散補償システムを示し、第 1 の位置 6 0 0 は、光送信器ユニット 6 0 1、光増幅器 6 0 3、および波長マルチプレクサ 6 0 4 (必要であれば) を含む。出力信号は、光設備 6 1 0 を越えて第 2 の位置 6 2 0 へ送られ、第 2 の位置 6 2 0 は、波長デマルチプレクサ 6 2 1 (必要であれば)、増幅器 6 2 3、後送信分散補償のための T D C 6 0 2、光フィルタ 6 0 5 (例えば、増幅された自然放出 (A S E) フィルタ)、および光受信器ユニット 6 2 2 を含む。例示的な光送信システムは両方向性であるので、第 1 の位置は、また、デマルチプレクサ 6 2 1 (必要であれば)、増幅器 6 2 3、T D C 6 0 2、光フィルタ 6 0 5、および光設備 6 3 0 を越えて第 2 の位置 6 2 0 に接続された光受信器ユニット 6 2 2 を含み、第 2 の位置 6 2 0 は、光送信器ユニット 6 0 1、光増幅器 6 0

10

20

30

40

50

3、およびマルチプレクサ604（必要であれば）を含む。TDC602およびASEフィルタ605の順番は、システム性能に影響を与えることなく逆にすることができる。

【0034】

約80kmより短い標準シングル・モード・ファイバ（SSMF）光設備610長さを有するシステムに関して、分散がない補償を一般に必要とすることに留意されたい。約80 - 135kmの範囲のSSMF光設備610に関して、図6Aの事前送信分散補償システムが好ましい。約135 - 160kmの範囲のSSMF光設備610に関して、図6Bの後送信分散補償システムが好ましい。

【0035】

図6Aおよび図6Bにシステム構成において、TDC602は、光送信器601、光増幅器603、光フィルタ605、波長マルチプレクサ604、波長デマルチプレクサ621、および光受信器622などの1つ以上の光構成部品とともに統合されることができるとに留意すべきである。例えば、TDCは、組み込まれた分散事前補償を有する光送信器を形成するために、レーザおよび光変調器とともに、InGaAsPにモノリシックに集積されることができるとに留意すべきである。

【0036】

図7Aは、エルビウム増幅器とともに配置されたTDCの例示的な構成を示す。この構成において、TDCデバイス自体が偏波従属性であっても、TDC機能を偏波独立性にするために、TDC700は、偏波ダイバーシティ・スキームで構成され、偏波維持ファイバ（PMF）702および703は、参照文献^[16]に記載されるタイプのサーキュレータ/偏波スプリッタ（CPS）701にスプライスされる。動作において、サーキュレータによって受けられた入力光信号700は、偏波スプリッタに分割され、かつPMF702からTDC700を介して結合される。TDC700からの分散補償された光信号が、PMF703を介して偏波スプリッタに結合され、かつサーキュレータを介してエルビウム増幅器710に結合される。サーキュレータ/偏波スプリッタ（CPS）701は、エルビウム増幅器710における入力信号アイソレータ711の必要性を排除する。したがって、エルビウム増幅器710は、エルビウム・ファイバ出力アイソレータ713と、前方ポンプおよびカプラ714か、または後方ポンプおよびカプラ714のどちらかを含むことだけが必要である。図1のTDCは、ただ3つのステージを有するので、そのTDC自体を偏波独立性に比較的簡単にすることができ、したがってPMF702および703とサーキュレータ/偏波スプリッタ（CPS）701とを使用する偏波ダイバーシティ・スキームを必要としない。

【非特許文献16】C. R. Doerr, K. W. Chang, L. W. Stulz, R. Pafchek, Q. Guo, L. Buhl, L. Gomez, M. Cappuzzo, and G. Bogert, "Arrayed waveguide dynamic gain equalization filter with reduced insertion loss and increased dynamic range," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 13., pp. 329 - 331, Apr. 2001.

【0037】

図7Bは、エルビウム増幅器710とともに配置された図4の偏波独立性の反射TDC751を示す。サーキュレータ750は、入力光信号700をTDC751に結合し、かつ分散補償された光信号をエルビウム増幅器710に結合するために使用される。

【0038】

図8は、単一の制御で駆動される2つの縦続接続されたTDC810および820を示す。縦続接続されたTDCは、まだ単一の制御を有するが、より大きな分散調整範囲を有する単一のTDCのように作用する。2つのTDCは、同一のPLC上に統合されることができ、または別個のPLC上であることができる。2つのTDCが両方とも、単一のPLC上であるなら、1/2波長板は、偏波従属性を低減するために2つのTDC間に任意選択で配置されることができるとに留意すべきである。2つのTDCが、別個のPLC上にあるときに、一方の

10

20

30

40

50

PLCに平行に向けられたその低速軸と、他方のPLCに平行に向けられたその高速軸とを有する偏波維持ファイバ821の部片は、偏波従属性を低減するために、2つのTDC間に任意選択で配置されることができる。

【0039】

図9は、図8におけるような2つのTDCの縦続接続された構成を提供する反射構成を示す。サーキュレータ901は、図4のサーキュレータ401と同じ方法で動作する。TDC902は、図1に記載されるTDCユニットと同じ方法で動作する。反射ファセット903は、図4の反射ファセット406と同じ方法で動作する。信号は、TDC902を通過して2回横切るので、図9の反射構成は、図8におけるような2つの縦続接続されたTDCと同じ方法で機能する。さらに、全体の偏波従属性を低減するために、所望であれば、PLCと反射器との間に1/4波長板を配置することができる。

10

【0040】

図1を参照して、作られかつテストされる例としてのプロトタイプの特許TDCの初期設定を、例示的に記載する。TDCは、熱電子冷却器で温度制御される。MZI103、105、および107における経路長差は長いので、製造後、各MZIステージにおける相対位相はランダムである。したがって、MZIアームは、過熱を使用して永続的にトリミングされる^[17]。手順は以下の通りである。パワーが加えられない状態で、調整可能なカップラ104、106は、100/0に設定され(すなわち、カップラは、図1における交差する導波路のように)、透過率スペクトルは平坦である。次に、左のカップラ104は、0/100に調整され、透過率スペクトルを完全な正弦波リップルを有するようにする。谷の位置はマークされる。次に、左のカップラ104は0/100に復元され、右のカップラ106は0/100に調整される。2つの最も外側のMZI103、107における経路長差は、2つのケースからのリップルが波長に合わせられるときに訂正される。それらが訂正されないなら、外側MZIのアームの一方は、それらを整列させるために過熱される。次に、両方のカップラ104、106が100/0の状態、中央MZI105アームは、透過率を最大にするために過熱される。トリミングの後で、CPSを含むTDC装置のファイバ間の損失は、4.0dBである。

20

【非特許文献17】K. Moriwaki, M. Abe, Y. Inoue, M. Okuno, and Y. Ohmori, "New silica-based 8x8 thermo-optic matrix switch on Si that requires no bias power," in Opticla Fiber Conf. Digest, pp. 211-212, 1995.

30

【0041】

前述の記載は、10Gb/s信号を補償するためにTDCを使用することに焦点が合わされていたが、適正なLを選択することによって、40Gb/sなどの他のビット・レートを補償するために使用されることができる。

【0042】

本発明の様々な修正は、当業者には明らかであろう。それにもかかわらず、基本的に原理に基づく本明細書の特定の教示、および技術の進歩によるそれらの等価物からすべての導き出されたものは、記載されかつ特許請求されたような本発明の範囲内にあると適切に考えられる。

40

【図面の簡単な説明】

【0043】

【図1】本発明による、1/2波長板を有する中央ステージを含む3つのステージと、1つのTDC制御電圧とを含む、偏波独立性の調節可能な分散補償器(TDC)を示す。

【図2】調整可能なカップラが、MZIに基づく調整可能なカップラを使用してそれぞれ実装される、図1のTDCを示す。

【図3】図2の2つのMZIに基づく調整可能なカップラを制御するために、単一の制御信号C1を使用する電子レイアウトを示す。

【図4】本発明による、ただ1つの制御電圧を使用する、1/4波長板を含む調節可能な

50

分散補償器 (T D C) の反射構成を示す。

【図 5 A】調整可能なカップラの 3 つの異なる設定での T D C の透過率特徴を例示的に示し、また 2 つの外側 M Z I における偏波独立性の波長シフトの効果を示す。

【図 5 B】調整可能なカップラの 3 つの異なる設定での T D C の群遅延特徴を例示的に示し、また 2 つの外側 M Z I における偏波独立性の波長シフトの効果を示す。

【図 6 A】例示的な光透過システムにおける T D C の使用を示す。

【図 6 B】例示的な光透過システムにおける T D C の使用を示す。

【図 7 A】エルビウム増幅器とともに構成された T D C を示す。

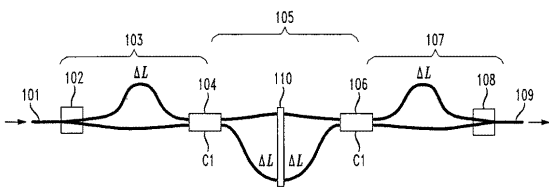
【図 7 B】エルビウム増幅器とともに構成された T D C を示す。

【図 8】2 つの T D C の縦続接続された実施形態を示す。

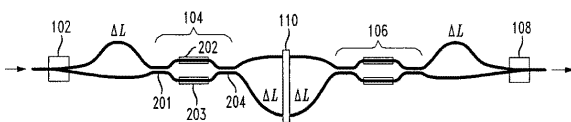
【図 9】2 つの T D C の縦続接続された構成を提供する反射構成を示す。

【図 10】図 1 の T D C のコンパクトな導波路レイアウトを示す。

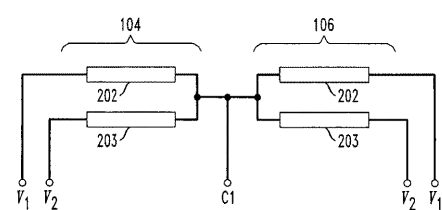
【図 1】



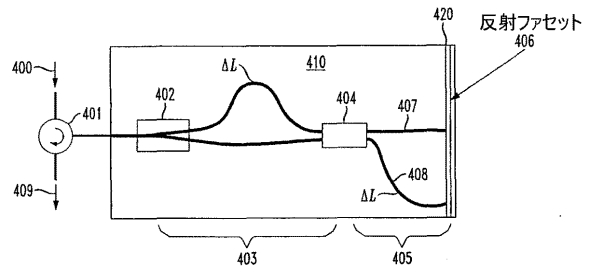
【図 2】



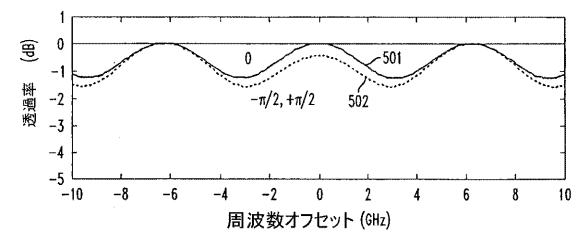
【図 3】



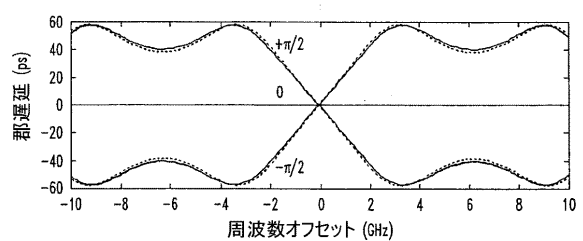
【図 4】



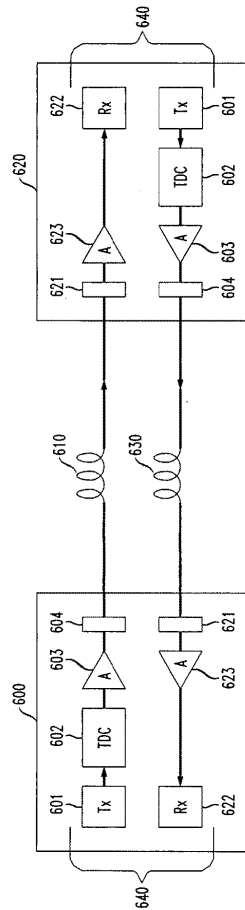
【図 5 A】



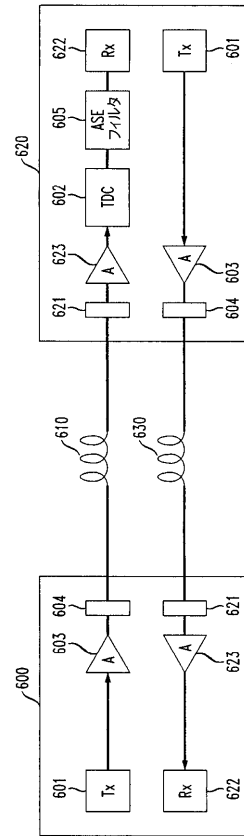
【図 5 B】



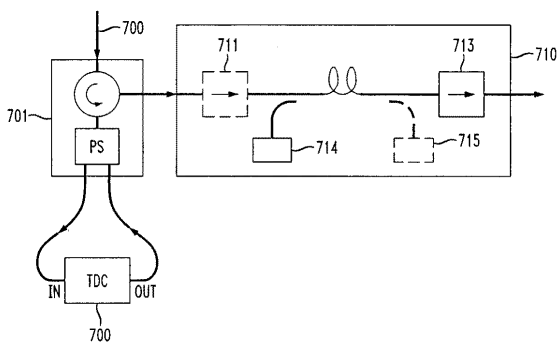
【図 6 A】



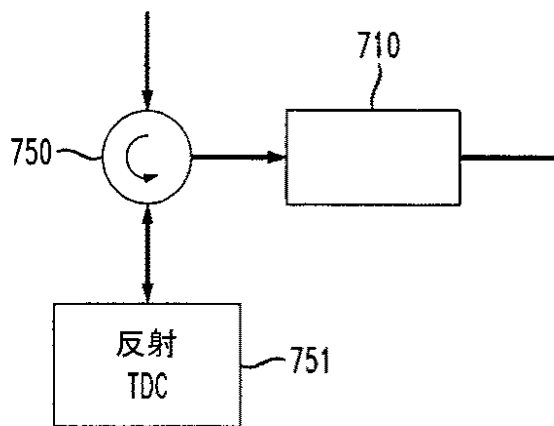
【図 6 B】



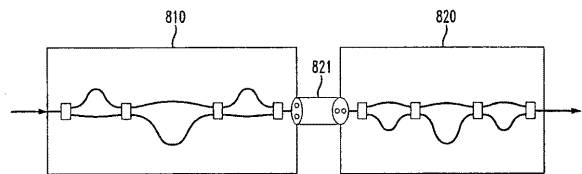
【図 7 A】



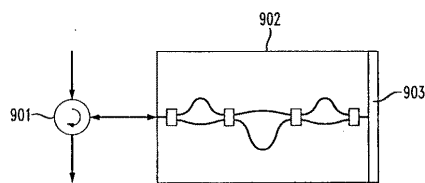
【図 7 B】



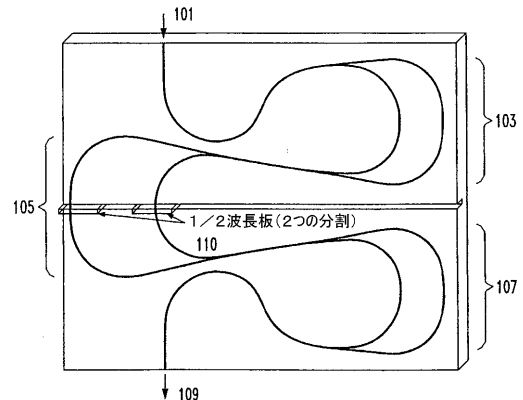
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

- (74)代理人 100096943
弁理士 臼井 伸一
- (74)代理人 100101498
弁理士 越智 隆夫
- (74)代理人 100096688
弁理士 本宮 照久
- (74)代理人 100104352
弁理士 朝日 伸光
- (74)代理人 100128657
弁理士 三山 勝巳
- (72)発明者 クリストファー リチャード ドゥーラー
アメリカ合衆国 07748 ニュージャージー, ミドルタウン, ジョンソン テラス 17

審査官 吉田 英一

- (56)参考文献 特開2000-338154(JP, A)
特開2000-028979(JP, A)
特開平11-133364(JP, A)
特開平07-325276(JP, A)
特開2004-289831(JP, A)
米国特許出願公開第2003/0053174(US, A1)
欧州特許出願公開第01176439(EP, A1)
C. R. Doerr, M. Cappuzzo, A. Wong-Foy, L. Gomez, E. Laskowski, and E. Chen, Potentially Inexpensive 10-Gb/s Tunable Dispersion Compensator With Low Polarization Sensitivity, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, 2004年 5月, Vol. 16, No. 5, p. 1340 - 1342
J. Gehler, R. Wessel, F. Buchali, G. Thielecke, A. Heid, H. Blow, Dynamic adaptation of a PLC residual chromatic dispersion compensator at 40Gb/s, Optical Fiber Communications Conference, 2003. OFC 2003, 2003年 3月23日, vol. 2, p. 750 - 751
K. Takiguchi, K. Okamoto, Y. Inoue, M. Ishii, K. Moriwaki and S. Ando, Planar lightwave circuit dispersion equaliser module with polarisation insensitive properties, Electronics Letters, 1995年 1月 5日, Vol. 31, No. 1, p. 57 - 58
Koichi Takiguchi, Kaname Jinguji, Katsunari Okamoto, and Yasuji Ohmori, Variable Group-Delay Dispersion Equalizer Using Lattice-Form Programmable Optical Filter on Planar Lightwave Circuit, IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, 1996年 6月, Vol. 2, No. 2, p. 270 - 276
S. Suzuki, K. Takiguchi, T. Shibata, Low-loss integrated-optic dynamic chromatic dispersion compensators using lattice-form planar lightwave circuits, Optical Fiber Communications Conference, 2003. OFC 2003, 2003年 3月23日, vol. 1, p. 176 - 177

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F 1/01

G02B 6/12