

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5955944号
(P5955944)

(45) 発行日 平成28年7月20日(2016.7.20)

(24) 登録日 平成28年6月24日(2016.6.24)

(51) Int.Cl.	F I
GO2B 6/13 (2006.01)	GO2B 6/13
GO2B 6/126 (2006.01)	GO2B 6/126
GO2B 6/125 (2006.01)	GO2B 6/125 3 O 1
GO2F 2/00 (2006.01)	GO2F 2/00

請求項の数 46 (全 47 頁)

(21) 出願番号	特願2014-502754 (P2014-502754)	(73) 特許権者	513242450
(86) (22) 出願日	平成24年3月28日 (2012.3.28)		ジェムファイア コーポレイション
(65) 公表番号	特表2014-512573 (P2014-512573A)		GEMFIRE CORPORATION
(43) 公表日	平成26年5月22日 (2014.5.22)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95
(86) 国際出願番号	PCT/US2012/030956		131-1018 サン ノゼ スイート
(87) 国際公開番号	W02012/151013		440, ノース ファースト ストリート 2570
(87) 国際公開日	平成24年11月8日 (2012.11.8)	(74) 代理人	100114476
審査請求日	平成25年11月27日 (2013.11.27)		弁理士 政木 良文
(31) 優先権主張番号	61/468,499	(72) 発明者	バルテウス, ヒンドリック フリアーク
(32) 優先日	平成23年3月28日 (2011.3.28)		オランダ国 アーペルドールン エヌエル
(33) 優先権主張国	米国 (US)		7323 アルケー ディステルヴリンデルラーン 35
(31) 優先権主張番号	13/432,782		
(32) 優先日	平成24年3月28日 (2012.3.28)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 偏光依存性が低減された光学装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光学装置を製造する方法であって、
基板上に、入力と第1及び第2の出力とを備える光学スプリッタを形成する工程と、
前記基板上に、第1及び第2の入力と第1の出力とを備える光学コンバイナを形成する工程と、

前記基板上に、第1区間及び第2区間を全体で有する第1及び第2の導波路を形成する工程と、を有し、

前記第1の導波路が前記スプリッタの前記第1の出力から前記コンバイナの前記第1の入力まで光を伝播させ、前記第2の導波路が前記スプリッタの前記第2の出力から前記コンバイナの前記第2の入力まで光を伝播させ、

前記第1区間の第1の照射が、前記第1区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第1区間における複屈折率を変化させ、前記第1の照射による複屈折率の変化が前記第1の照射による前記平均屈折率の変化のゼロでない第1の関数 f_a となるように、前記第1区間が構成され、

前記第2区間の第2の照射が、前記第2区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第2区間における複屈折率を変化させ、前記第2の照射による複屈折率の変化が前記第2の照射による前記平均屈折率の変化のゼロでない第2の関数 f_b となるように、前記第2区間が構成され、

前記第1の関数と前記第2の関数が異なり、

10

20

周波数誤差（F E）、及び、前記第 1 及び第 2 の導波路間の差分経路中の複屈折により生じる偏光依存周波数シフト（P D F S d）の双方を夫々所望の変化量だけ補正するために、前記第 1 及び第 2 の関数に基づいて、前記第 1 の照射で前記第 1 区間の第 1 の所定の長さ、及び、前記第 2 の照射で前記第 2 区間の第 2 の所定の長さを決定する工程と、

前記第 1 の照射で前記第 1 区間の前記第 1 の所定の長さ、及び、前記第 2 の照射で前記第 2 区間の前記第 2 の所定の長さを照射するトリミング工程を有し、

前記トリミング工程が、

前記トリミング工程後に、前記スプリッタの前記入力に与えられた特定の波長の光が相互に直交する第 1 及び第 2 の偏光状態を含む場合、前記第 1 の偏光状態の光の部分が前記コンバイナの前記第 1 の出力に現れ、前記第 2 の偏光状態の光の部分が前記コンバイナの前記第 1 の出力に現れないようにするものであり、

導波路のコア部分の線幅が、前記第 1 区間と前記第 2 区間とで異なり、

前記第 1 の関数と前記第 2 の関数の相違が、少なくとも一部は、前記第 1 区間と前記第 2 区間との間の前記コア部分の線幅の相違により生じていることを特徴とする方法。

【請求項 2】

光学装置を製造する方法であって、

基板上に、入力と第 1 及び第 2 の出力とを備える光学スプリッタを形成する工程と、

前記基板上に、第 1 及び第 2 の入力と第 1 の出力とを備える光学コンバイナを形成する工程と、

前記基板上に、第 1 区間及び第 2 区間を全体で有する第 1 及び第 2 の導波路を形成する工程と、を有し、

前記第 1 の導波路が前記スプリッタの前記第 1 の出力から前記コンバイナの前記第 1 の入力まで光を伝播させ、前記第 2 の導波路が前記スプリッタの前記第 2 の出力から前記コンバイナの前記第 2 の入力まで光を伝播させ、

前記第 1 区間の第 1 の照射が、前記第 1 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 1 区間における複屈折率を変化させ、前記第 1 の照射による複屈折率の変化が前記第 1 の照射による前記平均屈折率の変化のゼロでない第 1 の関数 f_a となるように、前記第 1 区間が構成され、

前記第 2 区間の第 2 の照射が、前記第 2 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 2 区間における複屈折率を変化させ、前記第 2 の照射による複屈折率の変化が前記第 2 の照射による前記平均屈折率の変化のゼロでない第 2 の関数 f_b となるように、前記第 2 区間が構成され、

前記第 1 の関数と前記第 2 の関数が異なり、

前記第 1 の照射で前記第 1 区間の第 1 の所定の長さ、及び、前記第 2 の照射で前記第 2 区間の第 2 の所定の長さを照射するトリミング工程を有し、

前記トリミング工程が、

前記トリミング工程後に、前記スプリッタの前記入力に与えられた特定の波長の光が相互に直交する第 1 及び第 2 の偏光状態を含む場合、前記第 1 の偏光状態の光の部分が前記コンバイナの前記第 1 の出力に現れ、前記第 2 の偏光状態の光の部分が前記コンバイナの前記第 1 の出力に現れないようにするものであり、

波長 λ の光の処理に使用するために、

前記第 1 の関数が $f_a(\Delta n_a) = q_a \Delta n_a$ で与えられ、

前記第 2 の関数が $f_b(\Delta n_b) = q_b \Delta n_b$ で与えられ、

但し、 Δn_a が前記第 1 区間における前記第 1 の照射による前記平均屈折率の変化であり、 Δn_b が前記第 2 区間における前記第 2 の照射による前記平均屈折率の変化であり、 q_a 及び q_b が夫々前記第 1 及び第 2 区間における照射のゼロでない比例定数であり、 q_a と q_b が異なる値であり、

h_a 及び h_b が下記式で与えられ、但し、 $\Delta \gamma$ が複屈折により誘起される位相遅れの所望の変化であり、 $\Delta \phi$ が前記第 1 及び第 2 の導波路間の相対的な位相遅れの所望の変化であり、少なくとも $\Delta \gamma$ と $\Delta \phi$ の何れか一方がゼロでなく、

$$h_a = \frac{\Delta\gamma - \Delta\phi q_b}{(q_a - q_b)\Delta n_a} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

$$h_b = \frac{-\Delta\gamma + \Delta\phi q_a}{(q_a - q_b)\Delta n_b} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

h_a 及び h_b から、書き込み長 | h_a | 及び | h_b | を決定する工程と、
 | h_a | に依存して前記第 1 の所定の長さを決定する工程と、
 | h_b | に依存して前記第 2 の所定の長さを決定する工程と、を有し、
導波路のコア部分の線幅が、前記第 1 区間と前記第 2 区間とで異なり、
前記第 1 の関数と前記第 2 の関数の相違が、少なくとも一部は、前記第 1 区間と前記第
2 区間との間の前記コア部分の線幅の相違により生じていることを特徴とする方法。

【請求項 3】

光学装置を製造する方法であって、
 基板上に、入力と第 1 及び第 2 の出力とを備える光学スプリッタを形成する工程と、
 前記基板上に、第 1 及び第 2 の入力と第 1 の出力とを備える光学コンバイナを形成する
 工程と、

前記基板上に、第 1 区間及び第 2 区間を全体で有する第 1 及び第 2 の導波路を形成する
 工程と、を有し、

前記第 1 の導波路が前記スプリッタの前記第 1 の出力から前記コンバイナの前記第 1 の
 入力まで光を伝播させ、前記第 2 の導波路が前記スプリッタの前記第 2 の出力から前記コ
 ンバイナの前記第 2 の入力まで光を伝播させ、

前記第 1 区間の第 1 の照射が、前記第 1 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折
 率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 1 区間における複屈折率を変化させ、前記
 第 1 の照射による複屈折率の変化が前記第 1 の照射による前記平均屈折率の変化のゼロで
 ない第 1 の関数 f_a となるように、前記第 1 区間が構成され、

前記第 2 区間の第 2 の照射が、前記第 2 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折
 率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 2 区間における複屈折率を変化させ、前記
 第 2 の照射による複屈折率の変化が前記第 2 の照射による前記平均屈折率の変化のゼロで
 ない第 2 の関数 f_b となるように、前記第 2 区間が構成され、

前記第 1 の関数と前記第 2 の関数が異なり、

前記第 1 の照射で前記第 1 区間の第 1 の所定の長さ、及び、前記第 2 の照射で前記第 2
 区間の第 2 の所定の長さを照射するトリミング工程を有し、

前記トリミング工程が、

前記トリミング工程後に、前記スプリッタの前記入力に与えられた特定の波長の光が相
 互に直交する第 1 及び第 2 の偏光状態を含む場合、前記第 1 の偏光状態の光の部分が前記
 コンバイナの前記第 1 の出力に現れ、前記第 2 の偏光状態の光の部分が前記コンバイナの
 前記第 1 の出力に現れないようにするものであり、

波長 λ の光の処理に使用するために、

前記第 1 の関数が f_a (Δn_a) = q_a Δn_a で与えられ、

前記第 2 の関数が f_b (Δn_b) = q_b Δn_b で与えられ、

但し、Δn_a が前記第 1 区間における前記第 1 の照射による前記平均屈折率の変化であ
 り、Δn_b が前記第 2 区間における前記第 2 の照射による前記平均屈折率の変化であり、
 q_a 及び q_b が夫々前記第 1 及び第 2 区間における照射のゼロでない比例定数であり、q_a
 と q_b が異なる値であり、

h_a 及び h_b が下記式で与えられ、但し、Δγ が複屈折により誘起される位相遅れの所
 望の変化であり、Δφ が前記第 1 及び第 2 の導波路間の相対的な位相遅れの所望の変化で

10

20

30

40

50

あり、少なくとも $\Delta \gamma$ と $\Delta \phi$ の何れか一方がゼロでなく、

$$h_a = \frac{\Delta \gamma - \Delta \phi q_b}{(q_a - q_b) \Delta n_a} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

$$h_b = \frac{-\Delta \gamma + \Delta \phi q_a}{(q_a - q_b) \Delta n_b} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

前記第 1 及び第 2 の所定の長さが夫々 $|h_a|$ 及び $|h_b|$ に実質的に等しく、
導波路のコア部分の線幅が、前記第 1 区間と前記第 2 区間とで異なり、

前記第 1 の関数と前記第 2 の関数の相違が、少なくとも一部は、前記第 1 区間と前記第 2 区間との間の前記コア部分の線幅の相違により生じていることを特徴とする方法。

【請求項 4】

光学装置を製造する方法であって、

基板上に、入力と第 1 及び第 2 の出力とを備える光学スプリッタを形成する工程と、

前記基板上に、第 1 及び第 2 の入力と第 1 の出力とを備える光学コンバイナを形成する工程と、

前記基板上に、第 1 区間及び第 2 区間を全体で有する第 1 及び第 2 の導波路を形成する工程と、を有し、

前記第 1 の導波路が前記スプリッタの前記第 1 の出力から前記コンバイナの前記第 1 の入力まで光を伝播させ、前記第 2 の導波路が前記スプリッタの前記第 2 の出力から前記コンバイナの前記第 2 の入力まで光を伝播させ、

前記第 1 区間の第 1 の照射が、前記第 1 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 1 区間における複屈折率を変化させ、前記第 1 の照射による複屈折率の変化が前記第 1 の照射による前記平均屈折率の変化のゼロでない第 1 の関数 f_a となるように、前記第 1 区間が構成され、

前記第 2 区間の第 2 の照射が、前記第 2 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 2 区間における複屈折率を変化させ、前記第 2 の照射による複屈折率の変化が前記第 2 の照射による前記平均屈折率の変化のゼロでない第 2 の関数 f_b となるように、前記第 2 区間が構成され、

前記第 1 の関数と前記第 2 の関数が異なり、

前記第 1 の照射で前記第 1 区間の第 1 の所定の長さ、及び、前記第 2 の照射で前記第 2 区間の第 2 の所定の長さを照射するトリミング工程を有し、

前記トリミング工程が、

前記トリミング工程後に、前記スプリッタの前記入力に与えられた特定の波長の光が相互に直交する第 1 及び第 2 の偏光状態を含む場合、前記第 1 の偏光状態の光の部分が前記コンバイナの前記第 1 の出力に現れ、前記第 2 の偏光状態の光の部分が前記コンバイナの前記第 1 の出力に現れないようにするものであり、

波長 λ の光の処理に使用するために、

前記第 1 の関数が $f_a(\Delta n_a) = q_a \Delta n_a$ で与えられ、

前記第 2 の関数が $f_b(\Delta n_b) = q_b \Delta n_b$ で与えられ、

但し、 Δn_a が前記第 1 区間における前記第 1 の照射による前記平均屈折率の変化であり、 Δn_b が前記第 2 区間における前記第 2 の照射による前記平均屈折率の変化であり、 q_a 及び q_b が夫々前記第 1 及び第 2 区間における照射のゼロでない比例定数であり、 q_a と q_b が異なる値であり、

前記第 1 の導波路が前記第 1 区間を有し、

前記第 2 の導波路が、第 3 区間を有し、

前記第 3 区間の第 3 の照射が、前記第 3 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 3 区間における複屈折率を変化させ、前記

10

20

30

40

50

第 3 の照射による複屈折率の変化が前記第 3 の照射による前記平均屈折率の変化の関数であって、前記第 1 の関数 f_a と実質的に等しい第 3 の関数となるように、前記第 3 区間が構成され、

前記第 3 の照射で前記第 3 区間の第 3 の所定の長さを照射する工程を有し、

前記第 3 の所定の長さが書き込み長 h_2 に実質的に等しく、前記第 1 及び第 2 の所定の長さが夫々、 $h_2 + |h_a|$ 及び $|h_b|$ に実質的に等しく、但し、 h_2 、 h_a 及び h_b は下記式で与えられ、

$$\begin{aligned} h_a &= \frac{\Delta\gamma - \Delta\phi q_b}{(q_a - q_b)\Delta n_a} \cdot \frac{\lambda}{2\pi} \\ h_b &= \frac{-\Delta\gamma + \Delta\phi q_a}{(q_a - q_b)\Delta n_b} \cdot \frac{\lambda}{2\pi} \\ h_2 &= -\frac{\delta - 2i\pi}{\Delta B} \cdot \frac{\lambda}{2\pi} \end{aligned} \quad 10$$

但し、 $\Delta\gamma$ が複屈折により誘起される位相遅れの所望の変化であり、 $\Delta\phi$ が前記第 1 及び第 2 の導波路間の相対的な位相遅れの所望の変化であり、少なくとも $\Delta\gamma$ と $\Delta\phi$ の何れか一方がゼロでなく、 B が前記第 1 区間の前記第 1 の所定の長さを照射する工程の前の前記第 1 区間における複屈折率であり、 L が前記第 1 及び第 2 の導波路の共通経路長であり、 ΔB が前記第 1 区間の前記第 1 の照射による複屈折率の変化であり、 i が $h_2 \geq 0$ となる任意の整数であり、

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} B \cdot L \quad 20$$

であって、

導波路のコア部分の線幅が、前記第 1 区間と前記第 2 区間とで異なり、
前記第 1 の関数と前記第 2 の関数の相違が、少なくとも一部は、前記第 1 区間と前記第 2 区間との間の前記コア部分の線幅の相違により生じていることを特徴とする方法。

【請求項 5】

光学装置を製造する方法であって、

基板上に、入力と第 1 及び第 2 の出力とを備える光学スプリッタを形成する工程と、

前記基板上に、第 1 及び第 2 の入力と第 1 の出力とを備える光学コンバイナを形成する工程と、

前記基板上に、第 1 区間及び第 2 区間を全体で有する第 1 及び第 2 の導波路を形成する工程と、を有し、

前記第 1 の導波路が前記スプリッタの前記第 1 の出力から前記コンバイナの前記第 1 の入力まで光を伝播させ、前記第 2 の導波路が前記スプリッタの前記第 2 の出力から前記コンバイナの前記第 2 の入力まで光を伝播させ、

前記第 1 区間の第 1 の照射が、前記第 1 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 1 区間における複屈折率を変化させ、前記第 1 の照射による複屈折率の変化が前記第 1 の照射による前記平均屈折率の変化のゼロでない第 1 の関数 f_a となるように、前記第 1 区間が構成され、

前記第 2 区間の第 2 の照射が、前記第 2 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 2 区間における複屈折率を変化させ、前記

第2の照射による複屈折率の変化が前記第2の照射による前記平均屈折率の変化のゼロでない第2の関数 f_b となるように、前記第2区間が構成され、

前記第1の関数と前記第2の関数が異なり、

前記第1の照射で前記第1区間の第1の所定の長さ、及び、前記第2の照射で前記第2区間の第2の所定の長さを照射するトリミング工程を有し、

前記トリミング工程が、

前記トリミング工程後に、前記スプリッタの前記入力に与えられた特定の波長の光が相互に直交する第1及び第2の偏光状態を含む場合、前記第1の偏光状態の光の部分が前記コンバイナの前記第1の出力に現れ、前記第2の偏光状態の光の部分が前記コンバイナの前記第1の出力に現れないようにするものであり、

10

波長 λ の光の処理に使用するために、

前記第1の関数が $f_a(\Delta n_a) = q_a \Delta n_a$ で与えられ、

前記第2の関数が $f_b(\Delta n_b) = q_b \Delta n_b$ で与えられ、

但し、 Δn_a が前記第1区間における前記第1の照射による前記平均屈折率の変化であり、 Δn_b が前記第2区間における前記第2の照射による前記平均屈折率の変化であり、 q_a 及び q_b が夫々前記第1及び第2区間における照射のゼロでない比例定数であり、 q_a と q_b が異なる値であり、

前記第1の導波路が前記第2区間を有し、

前記第2の導波路が、第3区間を有し、

前記第3区間の第3の照射が、前記第3区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第3区間における複屈折率を変化させ、前記第3の照射による複屈折率の変化が前記第3の照射による前記平均屈折率の変化の関数であって、前記第2の関数 f_b と実質的に等しい第3の関数となるように、前記第3区間が構成され、

20

前記第3の照射で前記第3区間の第3の所定の長さを照射する工程を有し、

前記第3の所定の長さが書き込み長 h_2 に実質的に等しく、前記第1及び第2の所定の長さが夫々、 $|h_a|$ 及び $h_2 + |h_b|$ に実質的に等しく、但し、 h_2 、 h_a 及び h_b は下記式で与えられ、

$$h_a = \frac{\Delta\gamma - \Delta\phi q_b}{(q_a - q_b)\Delta n_a} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

30

$$h_b = \frac{-\Delta\gamma + \Delta\phi q_a}{(q_a - q_b)\Delta n_b} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

$$h_2 = -\frac{\delta - 2i\pi}{\Delta B} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

40

但し、 $\Delta\gamma$ が複屈折により誘起される位相遅れの所望の変化であり、 $\Delta\phi$ が前記第1及び第2の導波路間の相対的な位相遅れの所望の変化であり、少なくとも $\Delta\gamma$ と $\Delta\phi$ の何れか一方がゼロでなく、 B が前記第2区間の前記第2の所定の長さを照射する工程の前の前記第2区間における複屈折率であり、 L が前記第1及び第2の導波路の共通経路長であり、 ΔB が前記第2区間の前記第2の照射による複屈折率の変化であり、 i が $h_2 \geq 0$ となる任意の整数であり、

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} B \cdot L$$

であって、

導波路のコア部分の線幅が、前記第 1 区間と前記第 2 区間とで異なり、

前記第 1 の関数と前記第 2 の関数の相違が、少なくとも一部は、前記第 1 区間と前記第 2 区間との間の前記コア部分の線幅の相違により生じていることを特徴とする方法。

【請求項 6】

10

前記光学コンバイナが、第 2 の出力を有して前記基板上に形成され、

前記トリミング工程が、

前記トリミング工程後に、前記コンバイナの前記第 2 の出力に、前記第 2 の偏光状態の光の部分が現れ、前記第 1 の偏光状態の光が現れないようにするものであることを特徴とする請求項 1 ～ 5 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 7】

光学装置を製造する方法であって、

基板上に、第 1 区間及び第 2 区間を全体で有する第 1 及び第 2 の導波路を形成する工程を有し、

前記第 1 区間の第 1 の照射が、前記第 1 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 1 区間における複屈折率を変化させ、前記第 1 の照射による複屈折率の変化が前記第 1 の照射による前記平均屈折率の変化のゼロでない第 1 の関数 f_a となるように、前記第 1 区間が構成され、

20

前記第 2 区間の第 2 の照射が、前記第 2 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 2 区間における複屈折率を変化させ、前記第 2 の照射による複屈折率の変化が前記第 2 の照射による前記平均屈折率の変化のゼロでない第 2 の関数 f_b となるように、前記第 2 区間が構成され、

前記第 1 の関数と前記第 2 の関数が異なり、

周波数誤差 (F E)、及び、前記第 1 及び第 2 の導波路間の差分経路中の複屈折により生じる偏光依存周波数シフト (P D F S d) の双方を夫々所望の変化量だけ補正するために、前記第 1 及び第 2 の関数に基づいて、前記第 1 の照射で前記第 1 区間の第 1 の所定の長さ、及び、前記第 2 の照射で前記第 2 区間の第 2 の所定の長さを決定する工程と、

30

前記第 1 の照射で前記第 1 区間の前記第 1 の所定の長さを照射する工程と、前記第 2 の照射で前記第 2 区間の前記第 2 の所定の長さを照射する工程と、を有し、

導波路のコア部分の線幅が、前記第 1 区間と前記第 2 区間とで異なり、

前記第 1 の関数と前記第 2 の関数の相違が、少なくとも一部は、前記第 1 区間と前記第 2 区間との間の前記コア部分の線幅の相違により生じていることを特徴とする方法。

【請求項 8】

前記第 1 の関数が、

前記第 1 区間における前記第 1 の照射による前記平均屈折率の変化を Δn_a 、前記第 1 区間における前記第 1 の照射によるゼロでない比例定数を q_a として、

40

$f_a (\Delta n_a) = q_a \Delta n_a$ で表されることを特徴とする請求項 1 又は 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記第 2 の関数が、

前記第 2 区間における前記第 2 の照射による前記平均屈折率の変化を Δn_b 、前記第 2 区間における前記第 2 の照射によるゼロでない比例定数を q_b として、

$f_b (\Delta n_b) = q_b \Delta n_b$ で表され、

q_a と q_b が異なる値であることを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

50

前記第 1 の所定の長さが、前記第 2 の所定の長さとは異なることを特徴とする請求項 1 及び 7～9 のうち何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 1 1】

前記第 1 の導波路が前記第 1 区間を有し、

前記第 1 及び第 2 の導波路のうち何れかが、前記第 2 区間を有し、

前記第 2 の導波路が第 3 区間を有し、

前記第 1 及び第 2 の導波路のうち前記第 2 区間を有しない導波路上に、第 4 区間を有し

、
前記第 3 区間の第 3 の照射が、前記第 3 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 3 区間における複屈折率を変化させ、前記第 3 の照射による複屈折率の変化が前記第 3 の照射による前記平均屈折率の変化の関数であって、前記第 1 の関数 f_a と実質的に等しい第 3 の関数となるように、前記第 3 区間が構成され、

10

前記第 4 区間の第 4 の照射が、前記第 4 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 4 区間における複屈折率を変化させ、前記第 4 の照射による複屈折率の変化が前記第 4 の照射による前記平均屈折率の変化の関数であって、前記第 2 の関数 f_b と実質的に等しい第 4 の関数となるように、前記第 4 区間が構成されていることを特徴とする請求項 1 及び 7～10 のうち何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 1 2】

前記第 3 の照射で前記第 3 区間の第 3 の所定の長さを照射する工程を有することを特徴とする請求項 1 1 に記載の方法。

20

【請求項 1 3】

光学装置を製造する方法であって、

基板上に、第 1 区間及び第 2 区間を全体で有する第 1 及び第 2 の導波路を形成する工程を有し、

前記第 1 区間の第 1 の照射が、前記第 1 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 1 区間における複屈折率を変化させ、前記第 1 の照射による複屈折率の変化が前記第 1 の照射による前記平均屈折率の変化のゼロでない第 1 の関数 f_a となるように、前記第 1 区間が構成され、

前記第 2 区間の第 2 の照射が、前記第 2 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 2 区間における複屈折率を変化させ、前記第 2 の照射による複屈折率の変化が前記第 2 の照射による前記平均屈折率の変化のゼロでない第 2 の関数 f_b となるように、前記第 2 区間が構成され、

30

前記第 1 の関数と前記第 2 の関数が異なり、

前記第 1 の照射で前記第 1 区間の第 1 の所定の長さを照射する工程と、前記第 2 の照射で前記第 2 区間の第 2 の所定の長さを照射する工程と、を有し、

波長 λ の光の処理に使用するために、

前記第 1 の関数が $f_a(\Delta n_a) = q_a \Delta n_a$ で与えられ、

前記第 2 の関数が $f_b(\Delta n_b) = q_b \Delta n_b$ で与えられ、

但し、 Δn_a が前記第 1 区間における前記第 1 の照射による前記平均屈折率の変化であり、 Δn_b が前記第 2 区間における前記第 2 の照射による前記平均屈折率の変化であり、 q_a 及び q_b が夫々前記第 1 及び第 2 区間における照射のゼロでない比例定数であり、 q_a と q_b が異なる値であり、

40

h_a 及び h_b が下記式で与えられ、但し、 $\Delta \gamma$ が複屈折により誘起される位相遅れの所望の変化であり、 $\Delta \phi$ が前記第 1 及び第 2 の導波路間の相対的な位相遅れの所望の変化であり、少なくとも $\Delta \gamma$ と $\Delta \phi$ の何れか一方がゼロでなく、

$$h_a = \frac{\Delta\gamma - \Delta\phi q_b}{(q_a - q_b)\Delta n_a} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

$$h_b = \frac{-\Delta\gamma + \Delta\phi q_a}{(q_a - q_b)\Delta n_b} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

h_a 及び h_b から、書き込み長 | h_a | 及び | h_b | を決定する工程と、
 | h_a | に依存して前記第 1 の所定の長さを決定する工程と、
 | h_b | に依存して前記第 2 の所定の長さを決定する工程と、を有し、
導波路のコア部分の線幅が、前記第 1 区間と前記第 2 区間とで異なり、
前記第 1 の関数と前記第 2 の関数の相違が、少なくとも一部は、前記第 1 区間と前記第
2 区間との間の前記コア部分の線幅の相違により生じていることを特徴とする方法。

【請求項 14】

光学装置を製造する方法であって、
 基板上に、第 1 区間及び第 2 区間を全体で有する第 1 及び第 2 の導波路を形成する工程
 を有し、
 前記第 1 区間の第 1 の照射が、前記第 1 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折
 率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 1 区間における複屈折率を変化させ、前記
 第 1 の照射による複屈折率の変化が前記第 1 の照射による前記平均屈折率の変化のゼロで
 ない第 1 の関数 f_a となるように、前記第 1 区間が構成され、
 前記第 2 区間の第 2 の照射が、前記第 2 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折
 率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 2 区間における複屈折率を変化させ、前記
 第 2 の照射による複屈折率の変化が前記第 2 の照射による前記平均屈折率の変化のゼロで
 ない第 2 の関数 f_b となるように、前記第 2 区間が構成され、
 前記第 1 の関数と前記第 2 の関数が異なり、
 前記第 1 の照射で前記第 1 区間の第 1 の所定の長さを照射する工程と、前記第 2 の照射
 で前記第 2 区間の第 2 の所定の長さを照射する工程と、を有し、
 波長 λ の光の処理に使用するために、
 前記第 1 の関数が f_a (Δn_a) = q_a Δn_a で与えられ、
 前記第 2 の関数が f_b (Δn_b) = q_b Δn_b で与えられ、
 但し、Δn_a が前記第 1 区間における前記第 1 の照射による前記平均屈折率の変化であ
 り、Δn_b が前記第 2 区間における前記第 2 の照射による前記平均屈折率の変化であり、
 q_a 及び q_b が夫々前記第 1 及び第 2 区間における照射のゼロでない比例定数であり、q_a
 と q_b が異なる値であり、
 h_a 及び h_b が下記式で与えられ、但し、Δγ が複屈折により誘起される位相遅れの所
 望の変化であり、Δφ が前記第 1 及び第 2 の導波路間の相対的な位相遅れの所望の変化で
 あり、少なくとも Δγ と Δφ の何れか一方がゼロでなく、

$$h_a = \frac{\Delta\gamma - \Delta\phi q_b}{(q_a - q_b)\Delta n_a} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

$$h_b = \frac{-\Delta\gamma + \Delta\phi q_a}{(q_a - q_b)\Delta n_b} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

前記第 1 及び第 2 の所定の長さが夫々 | h_a | 及び | h_b | に実質的に等しく、

導波路のコア部分の線幅が、前記第 1 区間と前記第 2 区間とで異なり、
前記第 1 の関数と前記第 2 の関数の相違が、少なくとも一部は、前記第 1 区間と前記第 2 区間との間の前記コア部分の線幅の相違により生じていることを特徴とする方法。

【請求項 15】

光学装置を製造する方法であって、

基板上に、第 1 区間及び第 2 区間を全体で有する第 1 及び第 2 の導波路を形成する工程を有し、

前記第 1 区間の第 1 の照射が、前記第 1 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 1 区間における複屈折率を変化させ、前記第 1 の照射による複屈折率の変化が前記第 1 の照射による前記平均屈折率の変化のゼロでない第 1 の関数 f_a となるように、前記第 1 区間が構成され、

10

前記第 2 区間の第 2 の照射が、前記第 2 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 2 区間における複屈折率を変化させ、前記第 2 の照射による複屈折率の変化が前記第 2 の照射による前記平均屈折率の変化のゼロでない第 2 の関数 f_b となるように、前記第 2 区間が構成され、

前記第 1 の関数と前記第 2 の関数が異なり、

前記第 1 の照射で前記第 1 区間の第 1 の所定の長さを照射する工程と、前記第 2 の照射で前記第 2 区間の第 2 の所定の長さを照射する工程と、を有し、

波長 λ の光の処理に使用するために、

前記第 1 の関数が $f_a(\Delta n_a) = q_a \Delta n_a$ で与えられ、

20

前記第 2 の関数が $f_b(\Delta n_b) = q_b \Delta n_b$ で与えられ、

但し、 Δn_a が前記第 1 区間における前記第 1 の照射による前記平均屈折率の変化であり、 Δn_b が前記第 2 区間における前記第 2 の照射による前記平均屈折率の変化であり、 q_a 及び q_b が夫々前記第 1 及び第 2 区間における照射のゼロでない比例定数であり、 q_a と q_b が異なる値であり、

前記第 1 の導波路が前記第 1 区間を有し、

前記第 2 の導波路が、第 3 区間を有し、

前記第 3 区間の第 3 の照射が、前記第 3 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 3 区間における複屈折率を変化させ、前記第 3 の照射による複屈折率の変化が前記第 3 の照射による前記平均屈折率の変化の関数であって、前記第 1 の関数 f_a と実質的に等しい第 3 の関数となるように、前記第 3 区間が構成され、

30

前記第 3 の照射で前記第 3 区間の第 3 の所定の長さを照射する工程を有し、

前記第 3 の所定の長さが書き込み長 h_2 に実質的に等しく、前記第 1 及び第 2 の所定の長さが夫々、 $h_2 + |h_a|$ 及び $|h_b|$ に実質的に等しく、但し、 h_2 、 h_a 及び h_b は下記式で与えられ、

$$h_a = \frac{\Delta\gamma - \Delta\phi q_b}{(q_a - q_b)\Delta n_a} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

40

$$h_b = \frac{-\Delta\gamma + \Delta\phi q_a}{(q_a - q_b)\Delta n_b} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

$$h_2 = -\frac{\delta - 2i\pi}{\Delta B} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

但し、 $\Delta\gamma$ が複屈折により誘起される位相遅れの所望の変化であり、 $\Delta\phi$ が前記第 1 及び第 2 の導波路間の相対的な位相遅れの所望の変化であり、少なくとも $\Delta\gamma$ と $\Delta\phi$ の何れ

50

か一方がゼロでなく、Bが前記第1区間の前記第1の所定の長さを照射する工程の前の前記第1区間における複屈折率であり、Lが前記第1及び第2の導波路の共通経路長であり、 ΔB が前記第1区間の前記第1の照射による複屈折率の変化であり、 i が $h_2 \geq 0$ となる任意の整数であり、

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} B \cdot L$$

であって、

導波路のコア部分の線幅が、前記第1区間と前記第2区間とで異なり、

前記第1の関数と前記第2の関数の相違が、少なくとも一部は、前記第1区間と前記第2区間との間の前記コア部分の線幅の相違により生じていることを特徴とする方法。

【請求項16】

光学装置を製造する方法であって、

基板上に、第1区間及び第2区間を全体で有する第1及び第2の導波路を形成する工程を有し、

前記第1区間の第1の照射が、前記第1区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第1区間における複屈折率を変化させ、前記第1の照射による複屈折率の変化が前記第1の照射による前記平均屈折率の変化のゼロでない第1の関数 f_a となるように、前記第1区間が構成され、

前記第2区間の第2の照射が、前記第2区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第2区間における複屈折率を変化させ、前記第2の照射による複屈折率の変化が前記第2の照射による前記平均屈折率の変化のゼロでない第2の関数 f_b となるように、前記第2区間が構成され、

前記第1の関数と前記第2の関数が異なり、

前記第1の照射で前記第1区間の第1の所定の長さを照射する工程と、前記第2の照射で前記第2区間の第2の所定の長さを照射する工程と、を有し、

波長 λ の光の処理に使用するために、

前記第1の関数が $f_a(\Delta n_a) = q_a \Delta n_a$ で与えられ、

前記第2の関数が $f_b(\Delta n_b) = q_b \Delta n_b$ で与えられ、

但し、 Δn_a が前記第1区間における前記第1の照射による前記平均屈折率の変化であり、 Δn_b が前記第2区間における前記第2の照射による前記平均屈折率の変化であり、 q_a 及び q_b が夫々前記第1及び第2区間における照射のゼロでない比例定数であり、 q_a と q_b が異なる値であり、

前記第1の導波路が前記第2区間を有し、

前記第2の導波路が、第3区間を有し、

前記第3区間の第3の照射が、前記第3区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第3区間における複屈折率を変化させ、前記第3の照射による複屈折率の変化が前記第3の照射による前記平均屈折率の変化の関数であって、前記第2の関数 f_b と実質的に等しい第3の関数となるように、前記第3区間が構成され、

前記第3の照射で前記第3区間の第3の所定の長さを照射する工程を有し、

前記第3の所定の長さが書き込み長 h_2 に実質的に等しく、前記第1及び第2の所定の長さが夫々、 $|h_a|$ 及び $h_2 + |h_b|$ に実質的に等しく、但し、 h_2 、 h_a 及び h_b は下記式で与えられ、

10

20

30

40

$$h_a = \frac{\Delta\gamma - \Delta\phi q_b}{(q_a - q_b)\Delta n_a} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

$$h_b = \frac{-\Delta\gamma + \Delta\phi q_a}{(q_a - q_b)\Delta n_b} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

$$h_2 = -\frac{\delta - 2i\pi}{\Delta B} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

10

但し、 $\Delta\gamma$ が複屈折により誘起される位相遅れの所望の変化であり、 $\Delta\phi$ が前記第1及び第2の導波路間の相対的な位相遅れの所望の変化であり、少なくとも $\Delta\gamma$ と $\Delta\phi$ の何れか一方がゼロでなく、 B が前記第2区間の前記第2の所定の長さを照射する工程の前の前記第2区間における複屈折率であり、 L が前記第1及び第2の導波路の共通経路長であり、 ΔB が前記第2区間の前記第2の照射による複屈折率の変化であり、 i が $h_2 \geq 0$ となる任意の整数であり、

20

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} B \cdot L$$

であって、

導波路のコア部分の線幅が、前記第1区間と前記第2区間とで異なり、

前記第1の関数と前記第2の関数の相違が、少なくとも一部は、前記第1区間と前記第2区間との間の前記コア部分の線幅の相違により生じていることを特徴とする方法。

【請求項17】

前記基板上に、入力と第1及び第2の出力とを備える光学スプリッタを形成する工程と

30

、
前記基板上に、第1及び第2の入力と第1の出力とを備える光学コンバイナを形成する工程と、を有し、

前記第1の導波路が前記スプリッタの前記第1の出力から前記コンバイナの前記第1の入力まで光を伝播させ、前記第2の導波路が前記スプリッタの前記第2の出力から前記コンバイナの前記第2の入力まで光を伝播させることを特徴とする請求項7及び13～16のうち何れか1項に記載の方法。

【請求項18】

前記第1の照射で前記第1区間の前記第1の所定の長さを照射する工程、及び、前記第2の照射で前記第2区間の前記第2の所定の長さを照射する工程が、

40

両方の照射工程の後、前記スプリッタの前記入力に与えられた光が、前記コンバイナの前記第1の出力において実質的に偏光に依存しない出力損失で現れるように、行われることを特徴とする請求項17に記載の方法。

【請求項19】

前記第1の照射で前記第1区間の前記第1の所定の長さを照射する工程、及び、前記第2の照射で前記第2区間の前記第2の所定の長さを照射する工程が、

両方の照射工程の後、前記スプリッタの前記入力に与えられた特定の波長の光が相互に直交する第1及び第2の偏光状態を含む場合、前記第1の偏光状態の光の部分が前記コンバイナの前記第1の出力に現れ、前記第2の偏光状態の光の部分が前記コンバイナの前記第1の出力に現れないように、行われることを特徴とする請求項1～6及び17のうち何

50

れか 1 項に記載の方法。

【請求項 20】

波長 λ の光の処理に使用するために、

前記第 1 の導波路が前記第 1 区間を有し、

前記第 2 の導波路が、第 3 区間を有し、

前記第 3 区間の第 3 の照射が、前記第 3 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 3 区間における複屈折率を変化させ、前記第 3 の照射による複屈折率の変化が前記第 3 の照射による前記平均屈折率の変化の関数であって、前記第 1 の関数 f_a と実質的に等しい第 3 の関数となるように、前記第 3 区間が構成され、

10

前記第 3 の照射で前記第 3 区間の第 3 の所定の長さを照射する工程と、

書き込み長 h_2 を決定する工程と、

h_2 に依存して前記第 1 及び第 3 の所定の長さを決定する工程と、を有し、

前記第 1 区間の前記第 1 の所定の長さを照射する工程の前の前記第 1 区間における複屈折率を B 、前記第 1 及び第 2 の導波路の共通経路長を L 、前記第 1 区間の前記第 1 の照射による複屈折率の変化を ΔB 、 i を $h_2 \geq 0$ となる任意の整数として、 h_2 が

$$h_2 = -\frac{\delta - 2i\pi}{\Delta B} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

20

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} B \cdot L$$

で与えられることを特徴とする請求項 1、7 又は 17 に記載の方法。

【請求項 21】

波長 λ の光の処理に使用するために、

前記第 1 の関数が $f_a(\Delta n_a) = q_a \Delta n_a$ で与えられ、

前記第 2 の関数が $f_b(\Delta n_b) = q_b \Delta n_b$ で与えられ、

但し、 Δn_a が前記第 1 区間における前記第 1 の照射による前記平均屈折率の変化であり、 Δn_b が前記第 2 区間における前記第 2 の照射による前記平均屈折率の変化であり、 q_a 及び q_b が夫々前記第 1 及び第 2 区間における照射のゼロでない比例定数であり、 q_a と q_b が異なる値であり、

30

h_a 及び h_b が下記式で与えられ、但し、 $\Delta \gamma$ が複屈折により誘起される位相遅れの所望の変化であり、 $\Delta \phi$ が前記第 1 及び第 2 の導波路間の相対的な位相遅れの所望の変化であり、少なくとも $\Delta \gamma$ と $\Delta \phi$ の何れか一方がゼロでなく、

$$h_a = \frac{\Delta \gamma - \Delta \phi q_b}{(q_a - q_b) \Delta n_a} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

40

$$h_b = \frac{-\Delta \gamma + \Delta \phi q_a}{(q_a - q_b) \Delta n_b} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

h_a 及び h_b から、書き込み長 $|h_a|$ 及び $|h_b|$ を決定する工程と、

$|h_a|$ に依存して前記第 1 の所定の長さを決定する工程と、

$|h_b|$ に依存して前記第 2 の所定の長さを決定する工程と、を有することを特徴とする請求項 1、7 又は 17 に記載の方法。

【請求項 22】

50

波長 λ の光の処理に使用するために、

前記第1の関数が $f_a(\Delta n_a) = q_a \Delta n_a$ で与えられ、

前記第2の関数が $f_b(\Delta n_b) = q_b \Delta n_b$ で与えられ、

但し、 Δn_a が前記第1区間における前記第1の照射による前記平均屈折率の変化であり、 Δn_b が前記第2区間における前記第2の照射による前記平均屈折率の変化であり、 q_a 及び q_b が夫々前記第1及び第2区間における照射のゼロでない比例定数であり、 q_a と q_b が異なる値であり、

h_a 及び h_b が下記式で与えられ、但し、 $\Delta \gamma$ が複屈折により誘起される位相遅れの所望の変化であり、 $\Delta \phi$ が前記第1及び第2の導波路間の相対的な位相遅れの所望の変化であり、少なくとも $\Delta \gamma$ と $\Delta \phi$ の何れか一方がゼロでなく、

10

$$h_a = \frac{\Delta \gamma - \Delta \phi q_b}{(q_a - q_b) \Delta n_a} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

$$h_b = \frac{-\Delta \gamma + \Delta \phi q_a}{(q_a - q_b) \Delta n_b} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

前記第1及び第2の所定の長さが夫々 $|h_a|$ 及び $|h_b|$ に実質的に等しいことを特徴とする請求項1、7又は17に記載の方法。

20

【請求項23】

前記第1の導波路が前記第1区間を有し、

前記第2の導波路が、第3区間を有し、

前記第3区間の第3の照射が、前記第3区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第3区間における複屈折率を変化させ、前記第3の照射による複屈折率の変化が前記第3の照射による前記平均屈折率の変化の関数であって、前記第1の関数 f_a と実質的に等しい第3の関数となるように、前記第3区間が構成され、

前記第3の照射で前記第3区間の第3の所定の長さを照射する工程と、

30

書き込み長 h_2 を決定する工程と、

h_2 に依存して前記第3の所定の長さを決定する工程と、を有し、

前記第1の所定の長さを決定する工程が、 h_2 に依存して行われ、

但し、 h_2 が下記式で与えられ、

$$h_2 = -\frac{\delta - 2i\pi}{\Delta B} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

B が前記第1区間の前記第1の所定の長さを照射する工程の前の前記第1区間における複屈折率であり、 L が前記第1及び第2の導波路の共通経路長であり、 ΔB が前記第1区間の前記第1の照射による複屈折率の変化であり、 i が $h_2 \geq 0$ となる任意の整数であり、

40

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} B \cdot L$$

であることを特徴とする請求項3、14又は22に記載の方法。

【請求項24】

波長 λ の光の処理に使用するために、

50

前記第 1 の関数が $f_a(\Delta n_a) = q_a \Delta n_a$ で与えられ、
 前記第 2 の関数が $f_b(\Delta n_b) = q_b \Delta n_b$ で与えられ、
 但し、 Δn_a が前記第 1 区間における前記第 1 の照射による前記平均屈折率の変化であり、
 Δn_b が前記第 2 区間における前記第 2 の照射による前記平均屈折率の変化であり、
 q_a 及び q_b が夫々前記第 1 及び第 2 区間における照射のゼロでない比例定数であり、 q_a と q_b が異なる値であり、

前記第 1 の導波路が前記第 1 区間を有し、

前記第 2 の導波路が、第 3 区間を有し、

前記第 3 区間の第 3 の照射が、前記第 3 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 3 区間における複屈折率を変化させ、前記第 3 の照射による複屈折率の変化が前記第 3 の照射による前記平均屈折率の変化の関数であって、前記第 1 の関数 f_a と実質的に等しい第 3 の関数となるように、前記第 3 区間が構成され、

前記第 3 の照射で前記第 3 区間の第 3 の所定の長さを照射する工程を有し、

前記第 3 の所定の長さが書き込み長 h_2 に実質的に等しく、前記第 1 及び第 2 の所定の長さが夫々、 $h_2 + |h_a|$ 及び $|h_b|$ に実質的に等しく、但し、 h_2 、 h_a 及び h_b は下記式で与えられ、

$$h_a = \frac{\Delta\gamma - \Delta\phi q_b}{(q_a - q_b)\Delta n_a} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

$$h_b = \frac{-\Delta\gamma + \Delta\phi q_a}{(q_a - q_b)\Delta n_b} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

$$h_2 = -\frac{\delta - 2i\pi}{\Delta B} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

但し、 $\Delta\gamma$ が複屈折により誘起される位相遅れの所望の変化であり、 $\Delta\phi$ が前記第 1 及び第 2 の導波路間の相対的な位相遅れの所望の変化であり、少なくとも $\Delta\gamma$ と $\Delta\phi$ の何れか一方がゼロでなく、 B が前記第 1 区間の前記第 1 の所定の長さを照射する工程の前の前記第 1 区間における複屈折率であり、 L が前記第 1 及び第 2 の導波路の共通経路長であり、 ΔB が前記第 1 区間の前記第 1 の照射による複屈折率の変化であり、 i が $h_2 \geq 0$ となる任意の整数であり、

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} B \cdot L$$

であることを特徴とする請求項 1、7 又は 17 に記載の方法。

【請求項 25】

波長 λ の光の処理に使用するために、

前記第 1 の関数が $f_a(\Delta n_a) = q_a \Delta n_a$ で与えられ、

前記第 2 の関数が $f_b(\Delta n_b) = q_b \Delta n_b$ で与えられ、

但し、 Δn_a が前記第 1 区間における前記第 1 の照射による前記平均屈折率の変化であり、
 Δn_b が前記第 2 区間における前記第 2 の照射による前記平均屈折率の変化であり、
 q_a 及び q_b が夫々前記第 1 及び第 2 区間における照射のゼロでない比例定数であり、 q_a と q_b が異なる値であり、

前記第 1 の導波路が前記第 2 区間を有し、
前記第 2 の導波路が、第 3 区間を有し、

前記第 3 区間の第 3 の照射が、前記第 3 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 3 区間における複屈折率を変化させ、前記第 3 の照射による複屈折率の変化が前記第 3 の照射による前記平均屈折率の変化の関数であって、前記第 2 の関数 f_b と実質的に等しい第 3 の関数となるように、前記第 3 区間が構成され、

前記第 3 の照射で前記第 3 区間の第 3 の所定の長さを照射する工程を有し、

前記第 3 の所定の長さが書き込み長 h_2 に実質的に等しく、前記第 1 及び第 2 の所定の長さが夫々、 $|h_a|$ 及び $h_2 + |h_b|$ に実質的に等しく、但し、 h_2 、 h_a 及び h_b は下記式で与えられ、

$$h_a = \frac{\Delta\gamma - \Delta\phi q_b}{(q_a - q_b)\Delta n_a} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

$$h_b = \frac{-\Delta\gamma + \Delta\phi q_a}{(q_a - q_b)\Delta n_b} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

$$h_2 = -\frac{\delta - 2i\pi}{\Delta B} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

但し、 $\Delta\gamma$ が複屈折により誘起される位相遅れの所望の変化であり、 $\Delta\phi$ が前記第 1 及び第 2 の導波路間の相対的な位相遅れの所望の変化であり、少なくとも $\Delta\gamma$ と $\Delta\phi$ の何れか一方がゼロでなく、 B が前記第 2 区間の前記第 2 の所定の長さを照射する工程の前の前記第 2 区間における複屈折率であり、 L が前記第 1 及び第 2 の導波路の共通経路長であり、 ΔB が前記第 2 区間の前記第 2 の照射による複屈折率の変化であり、 i が $h_2 \geq 0$ となる任意の整数であり、

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} B \cdot L$$

であることを特徴とする請求項 1、7 又は 17 に記載の方法。

【請求項 26】

前記第 1 及び第 2 区間の両方が、前記第 1 の導波路上、又は前記第 2 の導波路上にあることを特徴とする請求項 1～25 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 27】

前記第 1 及び第 2 区間のうち一方が前記第 1 の導波路上に、他方が前記第 2 の導波路上にあることを特徴とする請求項 1～25 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 28】

前記第 1 区間が、前記第 1 の導波路上の複数の不連続な小区間、又は、前記第 2 の導波路上の複数の不連続な小区間を含んでなることを特徴とする請求項 1～27 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 29】

前記第 1 の照射で前記第 1 区間の第 1 の所定の長さを照射する工程が、前記第 1 の所定の長さを構成する複数の不連続な長さを照射する工程を有することを特徴とする請求項 1～28 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 30】

前記第 1 の照射が第 1 の照射特性を有し、前記第 2 の照射が前記第 1 の照射特性と異なる第 2 の照射特性を有し、前記第 1 及び第 2 の関数間の相違が、前記第 1 及び第 2 の照射特性間の相違とは独立していることを特徴とする請求項 1 ～ 29 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 3 1】

波長 λ の光の処理に使用する光学装置を製造する方法であって、
基板上に、入力と第 1 及び第 2 の出力とを備える光学スプリッタを形成する工程と、
前記基板上に、第 1 及び第 2 の入力と第 1 の出力とを備える光学コンバイナを形成する工程と、

前記基板上に、第 1 区間を有する第 1 の導波路と第 2 区間を有する第 2 の導波路を形成する工程と、を有し、

前記第 1 の導波路が前記スプリッタの前記第 1 の出力から前記第 1 区間を通して前記コンバイナの前記第 1 の入力まで光を伝播させ、前記第 2 の導波路が前記スプリッタの前記第 2 の出力から前記第 2 区間を通して前記コンバイナの前記第 2 の入力まで光を伝播させ、

夫々の前記区間における第 1 の照射が、夫々の前記区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、夫々の前記区間における複屈折率を変化させるように、前記第 1 及び第 2 区間が構成され、

書き込み長 h_2 を決定する工程と、

h_2 に依存して第 1 及び第 2 の所定の長さを決定する工程と、

前記第 1 区間の前記第 1 の所定の長さを照射する工程と、

前記第 2 区間の前記第 2 の所定の長さを照射する工程と、を更に有し、

h_2 が下記式で与えられ

$$h_2 = -\frac{\delta - 2i\pi}{\Delta B} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

但し、 B が前記第 1 区間の前記第 1 の所定の長さを照射する工程の前の前記第 1 区間における複屈折率であり、 L が前記第 1 及び第 2 の導波路の共通経路長であり、 ΔB が前記第 1 区間の前記第 1 の照射による複屈折率の変化であり、 i が $h_2 \geq 0$ となる任意の整数であり、

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} B \cdot L$$

であることを特徴とする方法。

【請求項 3 2】

前記第 1 の所定の長さを、前記装置の動作周波数の所望の変化に依存して決定する工程を有することを特徴とする請求項 3 1 に記載の方法。

【請求項 3 3】

書き込み長 $|h_1|$ を決定する工程を更に有し、但し、

$$h_1 = \frac{\lambda \Delta \phi}{2\pi \Delta n}$$

であり、 $\Delta \phi$ が前記第 1 及び第 2 の導波路間の相対的な位相遅れの所望の変化であり、 Δn が前記第 1 区間の前記第 1 の照射による屈折率の平均の変化であり、

前記第 1 の所定の長さを決定する工程が、 $|h_1|$ と h_2 を加算する工程を含むことを

特徴とする請求項 3 1 または 3 2 に記載の方法。

【請求項 3 4】

波長 λ の光の処理に使用する光学装置を製造する方法であって、
基板上に、入力と第 1 及び第 2 の出力とを備える光学スプリッタを形成する工程と、
前記基板上に、第 1 及び第 2 の入力と第 1 の出力とを備える光学コンバイナを形成する工程と、

前記基板上に、第 1 区間を有する第 1 の導波路と第 2 区間を有する第 2 の導波路を形成する工程と、を有し、

前記第 1 の導波路が前記スプリッタの前記第 1 の出力から前記第 1 区間を通過して前記コンバイナの前記第 1 の入力まで光を伝播させ、前記第 2 の導波路が前記スプリッタの前記第 2 の出力から前記第 2 区間を通過して前記コンバイナの前記第 2 の入力まで光を伝播させ、

10

夫々の前記区間における第 1 の照射が、夫々の前記区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、夫々の前記区間における複屈折率を変化させるように、前記第 1 及び第 2 区間が構成され、

前記第 1 区間の前記第 1 の所定の長さを照射する工程と、

前記第 2 区間の前記第 2 の所定の長さを照射する工程と、を有し、

前記第 1 及び第 2 の所定の長さが共に下記式の h_2 に実質的に等しく、

$$h_2 = -\frac{\delta - 2i\pi}{\Delta B} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

20

但し、 B が前記第 1 区間の前記第 1 の所定の長さを照射する工程の前の前記第 1 区間における複屈折率であり、 L が前記第 1 及び第 2 の導波路の共通経路長であり、 ΔB が前記第 1 区間の前記第 1 の照射による複屈折率の変化であり、 i が $h_2 \geq 0$ となる任意の整数であり、

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} B \cdot L$$

30

であることを特徴とする方法。

【請求項 3 5】

波長 λ の光の処理に使用する光学装置を製造する方法であって、
基板上に、入力と第 1 及び第 2 の出力とを備える光学スプリッタを形成する工程と、
前記基板上に、第 1 及び第 2 の入力と第 1 の出力とを備える光学コンバイナを形成する工程と、

前記基板上に、第 1 区間を有する第 1 の導波路と第 2 区間を有する第 2 の導波路を形成する工程と、を有し、

40

前記第 1 の導波路が前記スプリッタの前記第 1 の出力から前記第 1 区間を通過して前記コンバイナの前記第 1 の入力まで光を伝播させ、前記第 2 の導波路が前記スプリッタの前記第 2 の出力から前記第 2 区間を通過して前記コンバイナの前記第 2 の入力まで光を伝播させ、

夫々の前記区間における第 1 の照射が、夫々の前記区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、夫々の前記区間における複屈折率を変化させるように、前記第 1 及び第 2 区間が構成され、

前記第 1 区間の前記第 1 の所定の長さを照射する工程と、

前記第 2 区間の前記第 2 の所定の長さを照射する工程と、を有し、

前記第 1 及び第 2 の所定の長さのうち一方が $|h_1| + h_2$ に実質的に等しく、他方が

50

h_2 に実質的に等しく、 h_1 及び h_2 が、下記式で与えられ、

$$h_1 = \frac{\lambda \Delta \phi}{2\pi \Delta n}$$

$$h_2 = -\frac{\delta - 2i\pi}{\Delta B} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

但し、 $\Delta \phi$ が前記第 1 及び第 2 の導波路間の相対的な位相遅れの所望の変化であり、 Δn が前記第 1 区間の前記第 1 の照射による前記屈折率の平均の変化であり、 B が前記第 1 区間の前記第 1 の所定の長さを照射する工程の前の前記第 1 区間における複屈折率であり、 L が前記第 1 及び第 2 の導波路の共通経路長であり、 ΔB が前記第 1 区間の前記第 1 の照射による複屈折率の変化であり、 i が $h_2 \geq 0$ となる任意の整数であり、

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} B \cdot L$$

であることを特徴とする方法。

【請求項 36】

波長 λ の光の処理に使用する光学装置を製造する方法であって、
基板上に、入力と第 1 及び第 2 の出力とを備える光学スプリッタを形成する工程と、
前記基板上に、第 1 及び第 2 の入力と第 1 の出力とを備える光学コンバイナを形成する工程と、

前記基板上に、光を前記スプリッタの前記第 1 の出力から前記コンバイナの前記第 1 の入力まで伝播させる、第 1 区間を備える第 1 の導波路を形成する工程と、を有し、

前記第 1 区間の第 1 の照射が、前記第 1 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 1 区間における複屈折率を変化させ、前記第 1 の照射による複屈折率の変化が、前記第 1 区間における前記第 1 の照射による前記平均屈折率の変化を Δn_a 、前記第 1 区間の前記第 1 の照射に対する比例定数を q_a として、 $q_a \Delta n_a$ で表されるように、前記第 1 区間が構成され、

前記基板上に、光を前記スプリッタの前記第 2 の出力から前記コンバイナの前記第 2 の入力まで伝播させる第 2 の導波路を形成する工程と、

前記第 1 及び第 2 の導波路間の差分経路中の複屈折により生じる偏光依存周波数シフト (PDFSd) を所望の変化量だけ補正するために、下記式で表される書き込み長 h_a を決定する工程と、

$$h_a = \frac{\Delta \gamma}{q_a \Delta n_a} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

h_a に依存して前記第 1 の所定の長さを決定する工程と、

前記第 1 の照射で前記第 1 区間の第 1 の所定の長さを照射する工程と、

前記第 1 の照射の後、周波数誤差調整手段によって周波数誤差 (FE) を所望の値に調整する工程と、を有し、

但し、 $\Delta \gamma$ が前記第 1 及び第 2 の導波路間の偏光に依存する経路長差の所望の変化であることを特徴とする方法。

【請求項 37】

前記第 1 の所定の長さを照射する工程が、前記第 1 の所定の長さを紫外光で照明する工程を含むことを特徴とする請求項 1 ～ 36 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 38】

光学装置であって、
入力ポートと第 1 及び第 2 の出力ポートとを備える光学スプリッタと、
第 1 及び第 2 の入力ポートと第 1 の出力ポートとを備える光学コンバイナと、
前記スプリッタの前記第 1 の出力ポートから前記コンバイナの前記第 1 の入力ポートまでの、第 1 区間を有する第 1 の光学経路と、
前記スプリッタの前記第 2 の出力ポートから前記コンバイナの前記第 2 の入力ポートまでの第 2 の光学経路と、を備え、
前記第 1 及び第 2 の光学経路の何れかが、第 2 区間を有し、
前記第 1 区間が、前記第 1 区間の第 1 の照射が、前記第 1 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 1 区間における複屈折率を変化させ、当該複屈折率の変化が前記平均屈折率の変化に対してゼロでない第 1 の関数となるように、構成され、
前記第 2 区間が、前記第 2 区間の第 2 の照射が、前記第 2 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 2 区間における複屈折率を変化させ、当該複屈折率の変化が前記平均屈折率の変化に対してゼロでない第 2 の関数となるように、構成され、
前記第 1 の関数と前記第 2 の関数が異なり、
前記第 1 及び第 2 の光学経路間の相対的な位相遅れが所望の変化量 $\Delta\phi$ だけ補正され、且つ、複屈折により誘起される位相遅れの TE 偏光と TM 偏光間の差が所望の変化量 $\Delta\gamma$ だけ補正されるように、前記第 1 及び第 2 の関数に基づいて、前記第 1 の照射で前記第 1 区間の第 1 の所定の長さ、及び、前記第 2 の照射で前記第 2 区間の第 2 の所定の長さのトリミングが行われ、
光学経路を構成する導波路のコア部分の線幅が、前記第 1 区間と前記第 2 区間とで異なり、
前記第 1 の関数と前記第 2 の関数の相違が、少なくとも一部は、前記第 1 区間と前記第 2 区間との間の前記コア部分の線幅の相違により生じていることを特徴とする装置。

10

20

【請求項 39】

前記第 1 区間の照射が、前記第 1 区間における複屈折率を、前記第 1 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率の変化量に対してゼロでない乗数である q_a 倍だけ変化させ、
前記第 2 区間の照射が、前記第 2 区間における複屈折率を、前記第 2 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率の変化量に対してゼロでない乗数である q_b 倍だけ変化させ、
 q_a と q_b が異なる値であることを特徴とする請求項 38 に記載の装置。

30

【請求項 40】

前記第 2 の光学経路が、第 3 区間を有し、
前記第 1 及び第 2 の光学経路のうち前記第 2 区間を有しない光学経路上に、第 4 区間を有し、
前記第 3 区間における複屈折率の照射依存性と、前記第 4 区間における複屈折率の照射依存性が異なることを特徴とする請求項 39 に記載の装置。

40

【請求項 41】

前記第 1 区間と前記第 3 区間における複屈折率の照射依存性が等しく、前記第 2 区間と前記第 4 区間における複屈折率の照射依存性が等しいことを特徴とする請求項 40 に記載の装置。

【請求項 42】

前記第 3 区間の照射が、前記第 3 区間における複屈折率を、前記第 3 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率の変化量に対してゼロでない乗数である q_c 倍だけ変化させ、
前記第 4 区間の照射が、前記第 4 区間における複屈折率を、前記第 4 区間における異常

50

光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率の変化量に対してゼロでない乗数である q_d 倍だけ変化させ、

q_a と q_c が等しく、 q_b と q_d が等しいことを特徴とする請求項 4 1 に記載の装置。

【請求項 4 3】

波長 λ の光の処理に使用するために、

前記第 1 の光学経路が前記第 1 区間を有し、

前記第 2 の光学経路が、第 3 区間を有し、

前記第 3 区間の第 3 の照射が、前記第 3 区間における異常光学軸と通常光学軸の各屈折率の平均屈折率を変化させるとともに、前記第 3 区間における複屈折率を変化させ、前記第 3 の照射による複屈折率の変化が前記第 3 の照射による前記平均屈折率の変化の関数であって、前記第 1 の関数と実質的に等しい第 3 の関数となるように、前記第 3 区間が構成され、

10

前記第 3 の照射で前記第 3 区間の第 3 の所定の長さのトリミングが行われ、

書き込み長 h_2 に依存して前記第 1 及び第 3 の所定の長さが決定されており、

前記第 1 区間の前記第 1 の所定の長さを照射する前の前記第 1 区間における複屈折率を B 、前記第 1 及び第 2 の導波路の共通経路長を L 、前記第 1 区間の前記第 1 の照射による複屈折率の変化を ΔB 、 i を $h_2 \geq 0$ となる任意の整数として、前記 h_2 が

$$h_2 = -\frac{\delta - 2i\pi}{\Delta B} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

20

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} B \cdot L$$

で与えられていることを特徴とする請求項 3 8 又は 3 9 に記載の装置。

【請求項 4 4】

前記コンバイナが第 2 の出力ポートを備えることを特徴とする請求項 3 8 ~ 4 3 の何れか 1 項に記載の装置。

【請求項 4 5】

30

前記第 1 区間及び前記第 2 区間における異なる複屈折率の照射依存性が、第 1 及び第 2 の異なる複屈折率の紫外光照明特性を有することを特徴とする請求項 3 8 ~ 4 4 の何れか 1 項に記載の装置。

【請求項 4 6】

波長 λ の光の処理に使用するために、

前記第 1 の関数が $f_a(\Delta n_a) = q_a \Delta n_a$ で与えられ、

前記第 2 の関数が $f_b(\Delta n_b) = q_b \Delta n_b$ で与えられ、

但し、 Δn_a が前記第 1 区間における前記第 1 の照射による前記平均屈折率の変化であり、 Δn_b が前記第 2 区間における前記第 2 の照射による前記平均屈折率の変化であり、 q_a 及び q_b が夫々前記第 1 及び第 2 区間における照射のゼロでない比例定数であり、 q_a と q_b が異なる値であり、

40

少なくとも何れか一方がゼロでない前記 $\Delta \gamma$ と前記 $\Delta \phi$ に対して、 h_a 及び h_b が下記式で与えられ、

$$h_a = \frac{\Delta\gamma - \Delta\phi q_b}{(q_a - q_b)\Delta n_a} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

$$h_b = \frac{-\Delta\gamma + \Delta\phi q_a}{(q_a - q_b)\Delta n_b} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

h_a 及び h_b から、書き込み長 $|h_a|$ 及び $|h_b|$ が決定され、
前記第 1 の所定の長さが $|h_a|$ に依存して、前記第 2 の長さが $|h_b|$ に依存して決定されていることを特徴とする請求項 38～45 の何れか 1 項に記載の装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

出願人は、米国特許法第 119 条（e）に基づき、2011 年 3 月 28 日に出願された米国仮出願第 61/468,499 号の利益をここに主張する。当該仮出願の内容の全体が、ここに参照により取り込まれる。

【0002】

20

本発明は、一般的には光学装置に関し、特に、当該光学装置の偏光依存性を低減または制御するための技術に関する。

【背景技術】

【0003】

コンピュータシステム及び通信システムでは、通信回線の帯域幅に関してますます要求が高くなってきている。一般的に、光ファイバは従来の同軸ケーブルに比べてより広い帯域を提供することが知られている。従来の光通信システムでは、光源からの光学出力を強度変調（IM）して、光ファイバにより伝送されるデジタル信号を生成する。

【0004】

位相変調（PM）システムは、IM ベースのシステムよりもより高データレート、より長距離の伝送を提供できる。PM による光通信システムでは、デジタル信号は光の位相を変調することにより生成される。例えば、光差動位相偏移変調（DPSK）は、隣接ビット間の位相差の形でデジタル情報が符号化される光信号形式である。差動 4 相位相偏移変調（DQPSK）では、デジタル情報は、円上に等間隔に配置された 4 点のコンスタレーションを用いて符号化される。4 つの位相を用いて、DQPSK は 1 シンボルにつき 2 ビットを符号化することができる。DPSK 及び DQPSK はより高データレート、より長距離の伝送を実現できるが、これらの信号形式は相対的に複雑な受信回路を必要とする。モノリシックの DPSK または DQPSK 受信機が、例えば Doerr による国際公開第 2009/038662 号に記載されている。当該国際公開は、ここで参照により取り込まれる。

30

40

【0005】

2 つの隣接ビット間の位相差は、2 つの光検出器と遅延マッハツェンダー干渉計（MZDI）を用いた DPSK 受信チップで検出できる。典型的な MZDI は、経路長の差が近似的にデータ信号の 1 信号長となるように設計された等長でない遅延線を備える（MZDI は、等長または等長でない遅延線を備えるマッハツェンダー干渉計（MZI）の特別な場合である）。しかしながら、MZDI における遅延は一般に偏光に依存する。この依存性は受信機によりビットが再構成される際の精度を悪化させる。一般的な産業において、MZDI の遅延による位相差の偏光に依存する精度は、 3° であることが必要とされる。40Gb/s 程度の DPSK データ信号の場合、これは 0.3GHz の偏光に依存する周波数シフトに相当し、現在の最先端の製造設備を用いても、その製造ばらつきのために従

50

来のMZDIでは極めて困難を伴う。現在において、製造されるMZDIの偏光依存周波数シフトの標準偏差は、およそ2GHzである。

【発明の概要】

【0006】

従って、MZIのような光学装置の偏光依存周波数シフトを低減し、或いは制御するという問題について、強固な解法を創造する機会が生じている。

【0007】

概説すると、本発明は導波路上に少なくとも2つの区間を有するMZIまたは光学装置に関し、当該区間のうち第1の区間は、当該第1区間の照射が、第1区間における異常光学軸と通常光学軸との屈折率の平均を変化させるとともに、第1区間における複屈折率を変化させ、複屈折率の変化が平均屈折率の変化に対して第1の関数となるように構成される。当該区間のうち第2の区間は、当該第2区間の照射が、第2区間における異常光学軸と通常光学軸との屈折率の平均を変化させるとともに、第2区間における複屈折率を変化させ、複屈折率の変化が平均屈折率の変化に対して第2の関数となるように構成される。第1の関数と第2の関数は異なる関数である。差動経路上の複屈折により生じる偏光依存位相シフト、結合器により誘起される複屈折により生じる偏光依存位相シフト、及び、周波数誤差を同時に調整または修正すべく、導波路の種々の区間を照射する方法が説明される。

10

【0008】

上記発明の概要は本発明の幾つかの態様の基本的理解の提供のために提供されたものである。この概要は本発明の鍵となる、または決定的な要素を確定するものではなく、本発明の範囲を規定したものではない。その目的は、後述されるより詳細な説明の準備として、発明概念を単純化して提示することである。本発明の個別の態様が、特許請求の範囲、明細書及び図面に記載されている。

20

【0009】

本発明は、特定の実施形態について説明され、以下の図面を参照する。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】典型的な3ステージインターリーバの伝送スペクトルを示すプロット図である。

【図2】典型的な装置の偏光に依存する損失及び挿入損失を示すプロット図である。

30

【図3】PLCベースMZDI装置の典型的なレイアウトを示す図である。

【図4】典型的なMZDI装置における遅延の偏光依存性を示すプロット図である。

【図5】幾つかの配置における導波路の複屈折性を示す図である。

【図6】幾つかの配置における導波路の複屈折性を示す図である。

【図7】幾つかの配置における導波路の複屈折性を示す図である。

【図8】 γ の関数としてのPDFSのプロット図である。

【図9】ここで述べた技術を実行するためのUVトリミングのセットアップを示す概略のレイアウト図である。

【図10】導波路の2つの配置において、複屈折についてのUVトリミングの効果を説明する図である。

40

【図11】導波路の2つの配置において、複屈折についてのUVトリミングの効果を説明する図である。

【図12】UV書き込みの実施形態を示す、本発明の特徴を備える光学装置のレイアウト図である。

【図13】UV書き込みの実施形態を示す、本発明の特徴を備える光学装置のレイアウト図である。

【図14】UV書き込みの実施形態を示す、本発明の特徴を備える光学装置のレイアウト図である。

【図15】UV書き込みの実施形態を示す、本発明の特徴を備える光学装置のレイアウト図である。

50

【図 1 6】 U V 書き込みの実施形態を示す、本発明の特徴を備える光学装置のレイアウト図である。

【図 1 7】 U V 書き込みの実施形態を示す、本発明の特徴を備える光学装置のレイアウト図である。

【図 1 8】 U V 書き込みの実施形態を示す、本発明の特徴を備える光学装置のレイアウト図である。

【図 1 9】 U V 書き込みの実施形態を示す、本発明の特徴を備える光学装置のレイアウト図である。

【図 2 0】 U V 書き込みの実施形態を示す、本発明の特徴を備える光学装置のレイアウト図である。

10

【図 2 1】 U V 書き込みの実施形態を示す、本発明の特徴を備える偏光ビームスプリッタのレイアウト図である。

【図 2 2 A】 U V 書き込みの実施形態を示す、本発明の特徴を備える偏光ビームスプリッタのレイアウト図である。

【図 2 2 B】 U V 書き込みの実施形態を示す、本発明の特徴を備える偏光ビームスプリッタのレイアウト図である。

【図 2 2 C】 U V 書き込みの実施形態を示す、本発明の特徴を備える偏光ビームスプリッタのレイアウト図である。

【図 2 2 D】 U V 書き込みの実施形態を示す、本発明の特徴を備える偏光ビームスプリッタのレイアウト図である。

20

【図 2 2 E】 U V 書き込みの実施形態を示す、本発明の特徴を備える偏光ビームスプリッタのレイアウト図である。

【図 2 3】 U V 書き込みの実施形態を示す、本発明の特徴を備える光学装置のレイアウト図である。

【図 2 4】 U V 書き込みの実施形態を示す、本発明の特徴を備える光学装置のレイアウト図である。

【発明を実施するための形態】

【0 0 1 1】

以下の説明は、当業者が本発明を作製し、利用できるように提示され、特定の応用及びその要件との関係で提供される。開示された実施形態の種々の変更は、当業者にとって明白であり、ここで定義される一般原理は、本発明の精神及び範囲を逸脱することなく、他の実施形態及び応用へ適用されうる。従って、本発明は以下に示す実施形態に限定されるものではなく、ここに開示された原理及び特徴と矛盾しない限りにおいて最も広い範囲が与えられる。

30

【0 0 1 2】

ここで述べる紫外光 (U V) 照明ベースのトリミング技術により、過大な偏光依存の周波数誤差を有する製造チップに対するトリミングが可能となり、歩留まりの向上、コストの低減が図られる。偏光依存の分離の制御は、D P S K や D Q P S K 受信チップだけに関連するわけではなく、マッハツェンダー干渉計が使用される他の光学装置にも関連する。ここで説示される技術を採用可能な装置として、例えば、マッハツェンダーベースの可変光学アッテネータ、インターリーバ、スイッチ、偏光ビームスプリッタ、90°ハイブリッドミキサチップ等がある。また、アレイ導波路回折格子 (A W G) 装置のような、一経路からの光が一以上の他の経路からの光と干渉する他の装置にも適用できる。M Z I の波長が信号波長と一致するように調整される実際の応用において、チップ温度全体が調整されるか、好ましくは、熱光学位相シフタが M Z I のアームの一つに配置されてもよい。熱的効果は偏光依存性が非常に小さく、それ故に偏光依存性に影響を与えることなく、かなり良好に波長の調整が可能であることが、当行者は容易に理解できる。チップ上のメタライゼーションを必要とする能動素子を用いる代わりに、代替的に、或いは追加的に、以下に示す別の M Z I 区分の第 2 の U V トリミングを用いて波長は調整されてもよい。

40

【0 0 1 3】

50

平面光回路（PLC）ベースのMZIは、多くの場合伝送スペクトルに偏光依存の周波数シフト（PDFS）を示す。

【0014】

図1に、典型的な例として、3つのカスケード接続されたMZDIを備えた3ステージインターリーバの伝送スペクトルを示す。図1において、全ての可能な偏光状態を考慮した最大及び最少の伝送スペクトルが示されている。図1から分かるように、およそ23 dBより上の伝送において、2つのスペクトルはおよそ3 GHz分、互いにシフトしている。

【0015】

一般に、PDFSは装置の光学的性能に対して負の影響を与える。これは例えば、DPSK、QPSK、PM-QPSKのような、ファイバ光学伝送システムの受信側で用いられるMZIベースの復調方式においてあてはまる。詳細は例えば、Cotruta, D他による"Polarization dependent frequency shift induced BER penalty in DPSK demodulators"、LEOS Annual Meeting Conference Proceedings、4-8 Oct. 2009、pages 483-484に見出すことができる。その教示のために、当該文献は参照により取り込まれる。

10

【0016】

図2に、PDFSが光学的性能に対して悪影響をもたらす他の例を示す。図2は最大損失210と最少損失220を示している。図2から分かるように、偏光に依存する損失（PDL）200はフィルタ曲線の急な側面上で急激に増大している。PDFSの最少化は、この効果を大きく減少させ、性能を向上させる。

20

【0017】

図3に、PLCベースMZDI装置300の典型的なレイアウトを示す。装置300は、光学スプリッタ310、下側遅延線320、上側遅延線330、光学コンバイナ340を備える。上側遅延線330は、下側遅延線320よりも経路長差 ΔL だけ長い。図示された例において、経路長差 ΔL は、上側遅延線330の区間340、341、342、343を合計した長さとなる。上側遅延線330の残りの（符号のない）区間は下側遅延線320と同じ経路長を有する。ここで、下側遅延線320の経路長を、共通経路長 L と呼ぶ。また、遅延線は、場合によりアーム、分岐、経路と相互に呼ばれることがある。図3において、スプリッタ310及びコンバイナ340は共に3 dBの方向性結合器であるが、入射ビームを分離する任意の他の種類の部品をスプリッタ310として使用可能であり、複数の入射ビームを1以上の出力に結合する任意の他の種類の部品をコンバイナとして使用可能である。例えば、AWGの実施形態では、スプリッタ及びコンバイナは夫々スター結合器を構成する。

30

【0018】

ここで説示される全ての機器は、好ましくは単一の基板上に配置され、好ましくは固く、好ましくは平面光回路（PLC）を形成している。更に、「上側」「下側」との用語については、必ずしも実際の機器における分岐の物理的位置を示すものではない。実際の機器では、どちらの分岐を「上側」と呼び、どちらの分岐を「下側」と呼ぶかは重要ではなく、寧ろ、用語は単に2つの経路を矛盾なく参照することができるように与えられた名称に過ぎない。従って、例えば、ここで用いられる「共通経路長」は短い方の分岐の長さのことであり、「経路長差」は長い方の分岐と短い方の分岐の長さの差のことである。

40

【0019】

図4に、典型的なMZDIの周波数応答を示す。伝送される出力が、上側遅延線330と下側遅延線320間の相対的な位相差 ϕ の関数としてプロットされている。

【0020】

通常、相対的な位相差 ϕ は、しばしば下記に示す数1で表される。

【0021】

【数 1】

$$\phi = \frac{2\pi\nu}{c} \cdot n \cdot \Delta L$$

ここで、 ν は周波数であり、 n は導波路の実効的な屈折率の平均であり、 c は真空中における光速である。以下の議論では、経路長差の符号は「上側」の光学経路の方が長いときに正となり、「下側」の光学経路の方が長いときに負となるとする。より一般には、他の場所で述べるように、屈折率は導波路毎にばらつき、あるいは、導波路の部分毎にばらつくものであるので、上側と下側の導波路の全ての部分を足し合わせ、下記に示す数 1 A

10

【0 0 2 2】

【数 1 A】

$$\phi = \frac{2\pi\nu}{c} \cdot \left[\sum n_{upper} l_{upper} - \sum n_{lower} l_{lower} \right]$$

【0 0 2 3】

ここで用いたように、相対位相は M Z I の上側分岐における位相遅れから下側分岐における位相遅れを引いたものとして定義される。

【0 0 2 4】

20

上述したように、M Z D I における遅延は一般に偏光に依存する。この偏光依存性は図 4 のスペクトルに現れている。図 4 の 2 つの曲線は、基板面に対し、光が夫々通常偏光の場合と異常偏光の場合に伝送される出力を示している。これら 2 つの曲線が互いに対して横軸方向に平行移動する量が、P D F S である。

【0 0 2 5】

P D F S は、 $P D F S = \phi_{TM} - \phi_{TE}$ として定義される。TM 偏光した相対位相差は、その主な電界成分を基板面に垂直な異常軸に沿って有する TM 偏光した光と、その主な電界成分を基板面内の通常軸に沿って有する TE 偏光した光に対応する。このシフトは偏光に依存する周波数シフトである。図 4 に示された例では、 $P D F S = 0.8$ ラジアンである。以下の議論において、後に定義される周波数誤差 F E と同様、特に断らない限り、P D F S はラジアンを単位として表す。ラジアンから周波数へ変換するために、ラジアン単位の P D F S 或いは任意の他の周波数誤差に、自由スペクトルレンジを 2π で割った値が乗じられる。

30

【0 0 2 6】

ガラス技術により製造される一般的な P L C 導波路は、少なくともある程度において、複屈折性を有している。これは、コア及びクラッドを構成するガラスが高温で堆積されることに起因する。コア及びクラッド中の異なるドーパント準位は夫々の材料について異なる熱膨張特性を生む。そして、冷却の結果、導波路を構成する異なる材料に応力が誘起される。

【0 0 2 7】

40

複屈折率の大きさは下記の数 2 で数学的に表される。

【0 0 2 8】

【数 2】

$$B = n_e - n_o$$

【0 0 2 9】

添字 e と o は、異常軸、通常軸の屈折率を夫々示している。これらの軸は、導波路中の光の伝播方向を法線とする面内にあって、互いに垂直である。典型的には、ここでの用語を用いると、通常軸はウェハの面に平行な方向として定義される。これは、図 5 の例に示される細い孤立した導波路、及び、図 6 の例に示される幅広（または、スラブ状の）孤立

50

した導波路の場合に当てはまる。また、図7の例に示されるような、何れか一方の側に対して対称に配置された別の導波路構造に囲まれた複数の導波路についても当てはまる。

【0030】

図5において、導波路のコアは510であり、クラッドは領域512と「クラッド下方」領域514からなる。ここで、コアは、幅広というよりは背の方が高いので、「細線」と言える。また、通常軸516及び異常軸518が示されている。ビームの伝播方向（光軸）は紙面に垂直な方向であり、楕円520は屈折率分布の大まかな形状を表している。換言すると、中心を回る角度位置の夫々で、当該角度における楕円520の径が、当該角度で偏光した光の屈折率を決定する。楕円520は横方向に長くなっていることが分かり、結果として負の複屈折率（ $n_e < n_o$ ）を示している。

10

【0031】

図6において、導波路のコアは610であり、クラッドは領域612とクラッド下方領域614からなる。ここで、コアは、背高というよりは幅の方が広いので、「幅広」と言える。スラブ型の導波路は一般にこの「幅広」の定義に合致している。通常軸616及び異常軸618が、屈折率分布を表す楕円620と併せて示されている。楕円620は縦方向に長くなっていることが分かり、結果として正の複屈折率（ $n_o < n_e$ ）を示している。

【0032】

図7において、導波路のコアは710であり、クラッドは領域712とクラッド下方領域714からなる。追加的なコア711が、コア710の一方の側に、隣接して、対称に配置されており、導波路710中の横方向の応力に影響を与える。楕円720は導波路コア710の屈折率分布を表している。コア710が細線形状となっているにも拘わらず、図7では、屈折率分布720は縦方向に長くなっていることが分かり、結果として正の複屈折（ $n_o < n_e$ ）を示している。

20

【0033】

材料の応力により生じる複屈折率は、下記の数3で近似できる。

【0034】

【数3】

$$B = n_e - n_o = C(\sigma_x - \sigma_y)$$

30

【0035】

σ_x は通常ディメンジョンの応力、 σ_y は異常ディメンジョンの応力であり、Cは比例定数である。幾つかの実施形態において、Cはおおよそ $3.6 \times 10^{-6} \text{ MPa}^{-1}$ である。シリコンウェハ上の導波路では、下方クラッド514、614、714に典型的に 200 MPa もの高い圧縮応力を実現することができる。コア領域510、610、710、及びクラッド領域512、612、712は高濃度にドーピングされているため、圧縮応力はより低いレベルに減少している。平面歪み状態では、 σ_y は近似的にゼロであり、圧縮応力 σ_x はゼロ以下であり、正の複屈折率を示す。負の複屈折率を実現するには、一般に導波路をy方向の圧縮応力が付加されるように孤立させる必要がある。

【0036】

40

図3に示す装置300に戻ると、下側遅延線320及び上側遅延線330は孤立した導波路である。導波路320、330上の複屈折Bは、共通経路長L、及び、経路長差 ΔL に渡って生じる。

【0037】

経路長差 ΔL 上の複屈折はTE偏光とTM偏光間の小さな位相遅れ γ を生じさせる。TE (transverse electric: 横電界) 偏光した光はその主な電界成分をx座標に沿って有し、TM (transverse magnetic: 横磁界) 偏光した光はその主な電界成分をy座標に沿って有する。従って、導波路中を伝播するTE光は通常屈折率の影響を受ける一方、TM光は異常屈折率の影響を受ける。

【0038】

50

TE光とTM光間のこの位相遅れ γ 、或いは経路長差は、2つの偏光状態の経路長差をラジアンで表したものとなる。(以下に示す)偏光の回転がない場合に、場所に依らず一定の複屈折率Bを想定すると、それは数学的に下記の数4で与えられる。

【0039】

【数4】

$$PDFSd = \gamma = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot B \cdot \Delta L$$

【0040】

より一般的には、他の場所で述べるように、屈折率は導波路毎にばらつき、或いは、ある導波路の部分毎にばらつくものであるので、上側と下側の導波路の全ての部分を足し合わせ、下記の数4Aとなる。

【0041】

【数4A】

$$PDFSd = \phi_{TM} - \phi_{TE},$$

$$\phi_{TE} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \left[\sum n_{TE,upper} l_{upper} - \sum n_{TE,lower} l_{lower} \right],$$

$$\phi_{TM} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \left[\sum n_{TM,upper} l_{upper} - \sum n_{TM,lower} l_{lower} \right]$$

【0042】

数4中のPDFSの添字dは、共通経路長Lで生じた複屈折によってではなく、経路長「差」で生じた位相遅れであることを示している。共通経路長Lで生じた複屈折は、この複屈折は下側及び上側遅延線320、330の両方で同じであるので、PDFSを生じさせない。しかしながら、方向性結合器310、340において偏光の回転が存在すると、状況は変わる。この場合、光はその偏光軸が複屈折の軸に対してある角度を有した状態で遅延線に入射される。偏光ビートが発生する。更に、コンバイナ340に入射時の偏光状態が、スプリッタ310通過時の偏光状態と異なる。これにより、PDFSの別の成分が発生し、これを、結合器により誘起されるPDFSであることを示すため、PDFScと呼ぶことにする。PDFSdがない場合、小さな回転角 ρ に対して、結合器に誘起されるPDFScは、近似的に下記の数5に等しいことを示せる。尚、 δ は数6で与えられる。

【0043】

【数5】

$$PDFSc = 8\rho \cdot \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)$$

【0044】

【数6】

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot B \cdot L$$

【0045】

PDFScは、 δ が 2π の整数倍に等しいときゼロとなる。このとき、スプリッタ310通過時と同じ偏光状態で、光がコンバイナ340に入射している。

【0046】

偏光回転は複屈折軸の僅かな傾きによっても引き起こされる。G. Heise他による"Simple Model for Polarization Sensitivity of Silica Waveguide Mach-Zehnder Interferometer", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 17, No. 10, October 2005, pp. 211

10

20

30

40

50

6-2118を参照。その教示のために、当該文献は参照により取り込まれる。

【0047】

この傾きは出射光の偏光を小さな角度 ρ だけ回転させる。測定結果は回転角がおよそ $1 \sim 3^\circ$ であることを示している。方向性結合器としてのスプリッタまたはコンバイナが実装されている場合に、本願発明者は複屈折軸の傾きが材料の応力と結び付いた結合器（ただ1つの隣接する導波路）の非対称な配置によって生じうることを理論化している。G. Heise他による"Simple Model for Polarization Sensitivity of Silica Waveguide Mach-Zehnder Interferometer"、及びY. Nasu他による"Asymmetric Half-Wave Plate Configuration of PLC Mach-Zehnder Interferometer for Polarization Insensitive DQPSK Demodulator", Journal of Lightwave Technology, Vol. 27, No. 23, December 1, 2009, pp. 5348-5355も参照のこと。その教示のために、当該両文献は参照により取り込まれる。

10

【0048】

上述の説明では、PDFSdとPDFScは個別に議論されていた。しかしながら、双方の効果の結合によって装置の全体のPDFSが生じる。下側遅延線320に対してジョーンズ行列 J_{lower} が構成でき、上側遅延線330に対してジョーンズ行列 J_{upper} が構成できる。全PDFSは、下記数7を用いて計算される（上記Y. Nasu他による"Asymmetric Half-Wave Plate Configuration of PLC Mach-Zehnder Interferometer for Polarization Insensitive DQPSK Demodulator"を参照）。

【0049】

【数7】

20

$$PDFS = 2 \cos^{-1} \left(\text{Tr} \left[\frac{1}{2} |(J_{lower})^* \cdot J_{upper}| \right] \right)$$

【0050】

小さな回転角 ρ に対しては、近似的な全PDFSは数学的に下記の数8で表される。

【0051】

【数8】

$$PDFS = 2 \cos^{-1} \left(4 \cos \left(\frac{\gamma}{2} + \delta \right) \rho^2 + (1 - 4\rho^2) \cos \left(\frac{\gamma}{2} \right) \right)$$

30

【0052】

ΔL における複屈折がゼロのとき（即ち、 $\gamma = 0$ のとき）、数8で表される全PDFSは数5に簡略される。偏向の回転または共通経路長Lにおける複屈折がないとき（即ち、 $\rho = 0$ のとき）、数8で表される全PDFSは数4に簡略される。

【0053】

更に、図8を参照する。図8は、 γ の関数としてのPDFSのグラフである。 $\gamma = 0$ のとき、偏光回転（ $\rho = 0.1$ ）及び共通経路長Lにおける複屈折（ $\delta = \pi$ ）によって、PDFSはゼロでない値をとる。図8において、 ρ は「rho」と、 δ は「delta」と、 π は「pi」とラベルが付されている。

【0054】

40

小さな δ 及び γ に対して、数8は、下記の数9に簡略化される。

【0055】

【数9】

$$PDFS = \sqrt{\gamma^2 + 16\rho^2\delta^2 + 16\rho^2\delta\gamma}$$

【0056】

δ が 2π の整数倍の近傍の値となる場合にも、同様の数式が適用される。数9は、漸近的なふるまいを示す以下の形式に書き直すことができる。

【0057】

【数 1 0】

$$PDFS = 4\rho\delta\sqrt{1+\frac{\gamma}{\delta}+\left(\frac{\gamma}{4\rho\delta}\right)^2}$$

【数 1 1】

$$PDFS = \gamma\sqrt{1+\left(1+\frac{\gamma}{\delta}\right)\left(\frac{4\rho\delta}{\gamma}\right)^2}$$

10

【0 0 5 8】

P D F S が主として回転により引き起こされる状況では、 $\gamma \ll \delta$ であり、数 1 0 は $4 \rho \delta$ に近づく。これは例えば対称 M Z I、または共通経路長 ΔL が経路長差 L よりも十分長い任意の M Z I に適用される。結合器による偏光回転を無視できる状況では、 $\gamma \gg 4 \rho \delta$ であり、数 1 1 から、P D F S は γ に収束する。

【0 0 5 9】

ここで述べる U V トリミング技術は γ と δ のトリミング法に関連する。 γ のトリミングは P D F S d を調節し、 δ のトリミングは P D F S c を調節する。

【0 0 6 0】

20

〈周波数誤差〉

動作周波数 (O F) は、定義より、M Z D I の 2 つの遅延線間の位相差が 2π の整数倍に等しくなる周波数である。製造プロセスにおけるばらつきにより、O F は一般に設計目標 (目標周波数、T F) からずれる。この説明では、 $F E = \phi_{\text{operation}} - \phi_{\text{target}}$ として、ラジアン単位の周波数誤差を定義する。

【0 0 6 1】

ここで述べる U V トリミング技術は P D F S と F E を同時に、独立してトリミングする方法を提供する。

【0 0 6 2】

図 9 に、ここで述べた技術を実行するための U V トリミングのセットアップの典型的なレイアウトの概略図を示す。この例では、書き込みはシリカ - オン - シリコンチップ上のゲルマニウムがドーピングされた導波路コアで起こる。書き込みの前に、チップは圧力 1 2 0 b a r の水素雰囲気中に 7 2 時間さらされる。2 4 4 n m の C W イオンレーザが使用され、焦点のスポットサイズは 2 0 μm である。書き込み速度は 3 0 0 から 1 0 0 0 $\mu\text{m}/\text{s}$ である。ここで述べた U V トリミング技術を実行するために適用されるセットアップ及びプロセス上のパラメータは、実施形態に応じて変化することが理解される。更に、別の実施形態では紫外線とは異なる照明波長を使用することができ、より一般に、照明 (illumination) 以外の照射 (irradiation) の形式を採用することができる。ここで用いたように、「照明」は「照射」の特別な場合と考えられる。

30

【0 0 6 3】

40

〈P D F S と F E のトリミング〉

周波数誤差は、M Z I の上側または下側分岐に、或る長さの U V パターンを書き込むことにより消去、或いは調整される。負の相対位相の補正の場合、U V パターンは M Z I の下側のアームに書き込まれる。正の補正は上側アームの書き込みによりなされる。相対的な位相差補正と U V パターンの長さとの関係は、下記の数 1 2 により表される。

【0 0 6 4】

【数 1 2】

$$\Delta\phi = h_1 \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n$$

50

【0065】

Δn は書き込み工程により生じる屈折率変化であり、 h_1 は書き込まれたUVパターンの長さであり、 λ は考慮の対象となる光の波長である。以下の議論では、提示される数値例の何れに対しても、 $1.55\mu\text{m}$ の波長を想定する。数12において、 $\Delta\phi$ は位相の変化であり、周波数補正と対応する。 Δn は照射のセットアップに依存し、照射のセットアップの結果生じる屈折率変化に対する装置の受容性のほか、照射の種類、波長、フルエンス、書き込み速度等の特性を含む。導波路技術及びレーザのセットアップの一実施形態において、 Δn は 0.004 に等しい。 $\Delta\phi$ はラジアン単位で表され、自由スペクトルレンジを 2π で割った値を乗じることにより周波数に換算される（下記の数12A参照）。但し、 $\Delta\nu$ は、OFの変化であり、FSRは装置の自由スペクトルレンジである。

10

【0066】

【数12A】

$$\text{sign}(\phi)\Delta\nu = \Delta\phi \frac{\text{FSR}}{2\pi} = \frac{h_1\Delta n\text{FSR}}{\lambda}$$

【0067】

数12を整理すると、照射される場所の導波路の屈折率を Δn だけ変化させる照射配置を用いて $\Delta\phi$ の周波数補正を実現するためのアームに印加される照射の長さ h_1 を表す次の式を得る。

【0068】

【数12.1】

$$h_1 = \frac{\lambda\Delta\phi}{2\pi\Delta n}$$

【0069】

従って、周波数誤差をゼロとするには、FEを補正前のラジアン周波数誤差として、 $\Delta\phi = -FE$ を選択する。数12及び数12.1において、再び、符号は $h_1 < 0$ のときに長さ $|h_1|$ のUVパターンが下側アームに書き込まれるとして定義される。 $h_1 > 0$ のときは、長さ h_1 のUVパターンが上側アームに書き込まれる。上記では、先行技術と同様、UVトリミングがPDFSdを変化させないことを前提としている。これは誘起される屈折率 Δn が異常軸及び通常軸で同じである場合に限り当てはまる。次節で述べるように、それは一概には当てはまらず、FE及びPDFSdを同時にゼロとするためには、長さ h_1 の単一の区間に書き込むよりは、寧ろ2つの区間に書き込みを行う。

20

30

【0070】

〈UVトリミングによる複屈折変化〉

導波路中におけるUV書き込みはその屈折率を変化させるだけでなく、その複屈折率をも変化させることが観測されている。 Δn を通常軸及び異常軸における屈折率変化の平均とした場合（ $\Delta n = (\Delta n_o + \Delta n_e) / 2$ ）、所定の平均屈折率の変化に対する複屈折率の変化は、数13で表される。ここで、 q は比例係数である。

【0071】

【数13】

$$\Delta B = q \cdot \Delta n$$

【0072】

この複屈折率の変化は、誘起される複屈折が補正パターンが印加された導波路の幾何学的形態に依存するため、使用する利益がある。例えば、 $4\mu\text{m}$ 幅の正方形の断面を有する導波路では、比例係数は $q = -0.03$ に等しいかもしれない。一方で、厚さ $4\mu\text{m}$ のスラブ型の導波路で同じ照射特性であっても、係数は $q = -0.10$ に等しいかもしれない。

40

【0073】

図10は、孤立した細線の導波路のUV書き込みの一例を説明する図であり、通常屈折

50

率及び異常屈折率ともに殆ど等しく増加している。この例では、 q は大体ゼロに等しい。図 1 1 は、密な、或いはスラブ状の導波路の UV 書き込みの一例を説明する図であり、異常屈折率よりも通常屈折率の方が増加が大きい。この例では、 q は著しい負の値となる。

【0074】

本発明の実施形態は、PDFS 及び周波数誤差の補正を同時に行うために、細い導波路区間及び幅広の導波路区間（または、そうでなくても異なる幾何学的形態や複屈折率の照射依存性を有する区間）における正負の補正を組み合わせ、異なる q の値を用いることができるという利点がある。図 1 2 に、夫々が細い導波路区間及び幅広の導波路区間を有している下側遅延線 4 2 0 と上側遅延線 4 3 0 を有する MZDI ベースの装置 4 0 0 の例が示されている。2 つの経路 4 2 0 と 4 3 0 は、MZDI 4 0 0 の入力端側で、スプリッタ 4 1 0 の夫々の出力から光を受け、その出力端側で、コンバイナ 4 4 0 の夫々の入力に光を送出する。下側経路 4 2 0 における細い導波路区間及び幅広の導波路区間は、夫々 4 2 2 及び 4 2 4 で特定され、上側経路 4 3 0 における細い導波路区間及び幅広の導波路区間は、夫々、4 3 2 及び 4 3 4 で特定される。なお、ここでは幅広の導波路区間をコンバイナ 4 4 0 に隣接して図示しているが、他の多くの変形が可能であることが理解できる。例えば、当該幅広の区間の何れか一方またはその両方を、コンバイナ 4 4 0 から離れた位置に配置したり、2 つの経路内の関連する或いは関連しない位置に配置したり、直線或いは曲線の経路内に配置したり、または、複数の不連続な経路に分割して配置したりすることができる。

【0075】

他の実施形態では、細線の及び幅広の導波路コアを採用して異なる幾何学的形態を得るよりは、寧ろ、2 つの導波路区間に異なる応力を提供する他の方法が実装されてもよい。これは例えば、幅広の導波路区間を細線の導波路区間で置き換えるとともに、一方の側にダミーの導波路またはエッチングによる溝を設ける等、導波路区間の幅以外の幾何学的形態を異ならせることにより実現できる。他には、異なる応力を誘起する膜を、異なる導波路区間の下方または上方に付加することができる。また別の実施形態では、2 つの導波路区間は物理的に相違しないが、各区間の照射方法を異ならせることができる。例えば、2 つの区間で異なる波長の照射を利用できる。或いは、同じ波長で異なるフルエンスの照射、同じ波長、同じフルエンスで異なる書き込み速度の照射は、どれも 2 つの区間で異なる q の値を生成できる。上述した全ての方法、及び他の方法の複合した組み合わせが、2 つの区間で異なる q の値を生成するために利用できる。以下の説明では 2 つの区間で異なる q の値を生成するために細線の及び幅広の導波路コアを利用するが、追加的に、または代わりに、異なる q の値を生成する任意の他の方法を利用できることが理解される。

【0076】

ここで用いたように、「照射」は一組の書き込み特性を有し、導波路または導波路区間のある長さに渡って実行される。この長さは、幾つかの実施形態では、二以上の不連続な部分に分割されてもよい。ここで用いた用語では、一組の「書き込み特性」は実質的に同種の照射、照射波長、フルエンス、書き込み速度、及び、導波路のそのような照射（書き込みの長さ以外）に対する受容性を含む。ここで使用したように、「2 つの照射」がこれらの特徴の何れかにおいて異なっていれば、これらは異なる「書き込み特性」を有していると考えられる。

【0077】

〈共通経路の UV トリミング〉

上述したように、PDFS は 2 つの効果によって生じる。第 1 は共通経路長における偏光の回転と複屈折（PDFSc）に関し、第 2 は経路長差による複屈折（PDFSd）と関連する。この節では、PDFSc の消去について述べる。

【0078】

PDFSc は上述したパラメータ p と δ と関係している。数 5 から、 δ を 2π の整数倍と等しくすれば、PDFSc は消去できる。

【0079】

【数 1 4】

$$\delta = \pm i \cdot 2\pi \quad \text{for } i = 0, 1, 2, 3 \dots$$

【0080】

これはMZIの両方の遅延線の同じ幾何学的形態の導波路に長さ h_2 のUVパターンを書き込むことにより実現される。図13に、両方の導波路の細線の導波路区間にUV書き込みを行う例を示す。図14に、両方の導波路の幅広の導波路区間にUV書き込みを行う例を示す。図13及び図14は象徴的に図示されており、夫々の波状の矢印は当該矢印で指された（細線のまたは幅広の）経路区間内のある一定長の書き込みを表している。図13及び図14において、MZIの両方のアームに、同じ書き込み長（3つの矢印で示される）が適用されている。両方の遅延線に同じ量だけトリミングを行うため、周波数誤差は変化しない。

10

【0081】

数5から、PDFScをゼロとするのに必要なトリミング長 h_2 は、下記の数15として計算される。

【0082】

【数 1 5】

$$h_2 = -\frac{\delta - 2i\pi}{\Delta B} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

20

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} B \cdot L$$

【0083】

但し、Bはトリミングを行おうとする場所のトリミング前の複屈折率であり、Lは共通経路長、 i は $h_2 \geq 0$ となる任意の整数である。

【0084】

例1（正の複屈折率を有する導波路）

30

導波路の複屈折率が $B = 3.0 \times 10^{-5}$ 、 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ 、偏光の回転が $\rho = 3^\circ$ 、共通経路長が $L = 5000 \mu\text{m}$ の場合を想定する。このとき、 $\delta = 0.61$ であり、PDFSc = 0.126（ $\gamma = 0$ ）となる。

【0085】

このとき、PDFScをゼロとするのに必要なトリミング長は、細線の導波路内をトリミングする場合、 $q = -0.03$ 、 $\Delta n = 4 \times 10^{-3}$ を用いて $h_2 = 1250 \mu\text{m}$ となり、幅広の導波路内をトリミングする場合、 $q = -0.1$ 、 $\Delta n = 4 \times 10^{-3}$ を用いて $h_2 = 375 \mu\text{m}$ となる。

【0086】

例2（負の複屈折率を有する導波路）

40

導波路の複屈折率が $B = -1.0 \times 10^{-4}$ 、 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ 、偏光の回転が $\rho = 3^\circ$ 、共通経路長が $L = 5000 \mu\text{m}$ の場合を想定する。このとき、 $\delta = -2.033$ であり、PDFSc = 0.356（ $\gamma = 0$ ）となる。

【0087】

このとき、PDFScをゼロとするのに必要なトリミング長は、細線の導波路内をトリミングする場合 $h_2 = 8708 \mu\text{m}$ となり、幅広の導波路内をトリミングする場合 $h_2 = 2612 \mu\text{m}$ となる。

【0088】

PDFScの補正は両経路で等しい長さ h_2 の書き込みにより行うため、周波数誤差には効果がない。従って、PDFScを補正し、且つ、同時にFEを調節するために、一方

50

のアームに長さ h_2 の UV パターンを書き込み、他方のアームに $h_2 + |h_1|$ の UV パターンを書き込むことができる。上述の通り、 $h_1 < 0$ のときは長さ $h_2 + |h_1|$ の UV パターンが下側アームに書き込まれる。 $h_1 > 0$ のときは、長さ $h_2 + |h_1|$ の UV パターンが上側アームに書き込まれる。UV パターン h_1 は、補償の必要がある、或いは必要としない追加的な PDF S d を導入することに留意すべきである。これをどのようにして行うかは、次節で説明される。また、UV パターン h_1 は、UV パターン h_2 が書き込まれる区間とは異なる区間内に書き込まれてもよいことに留意すべきである。

【0089】

〈差分経路のトリミング〉

この節では、差分経路中の複屈折による PDF S (PDF S d) の消去について取り扱
10
われる。

【0090】

上述した PDF S c のトリミングと異なり、PDF S d のトリミングは周波数誤差の変
化を誘起する。これは MZDI のアーム間の位相差を誘起するトリミングの差動的性質に
よる。ここで述べる技術は、MZI の一方または両方のアームに幅広及び細線の導波路区
間の UV トリムを組み合わせ適用することにより、PDF S d と周波数誤差の同時消去を
提供する。図 13 は両方のアームの細線の導波路区間に等量の UV 書き込みを行う場合の
例を説明するものであり、図 14 は両方のアームの幅広の導波路区間に等量の UV 書き
込みを行う場合の例を説明するものである。図 15 ~ 20、23 及び 24 は差分経路におけ
る UV 書き込みの種々の例を説明する。特に、
20

図 15 は、上側経路の細線の導波路区間の書き込み、及び、下側経路の幅広の導波路区
間の同じ長さの書き込みを図示し、これによって複屈折差 PDF S d の正の変化が生じて
いる。

図 16 は、下側経路の細線の導波路区間の書き込み、及び、上側経路の幅広の導波路区
間の同じ長さの書き込みを図示し、これによって複屈折差 PDF S d の負の変化が生じて
いる。

図 17 は、下側経路の細線の導波路区間の書き込み、及び、より長い上側経路の幅広の
導波路区間の書き込みを図示している。

図 18 は、上側経路の細線の導波路区間の書き込み、及び、より長い下側経路の幅広の
導波路区間の書き込みを図示している。
30

図 19 は、上側経路の細線の導波路区間の書き込み、及び、異なる長さの同一経路の幅
広の導波路区間の選択的な書き込みを図示している。

図 20 は、下側経路の細線の導波路区間の書き込み、及び、異なる長さの同一経路の幅
広の導波路区間の選択的な書き込みを図示している。

図 22 A は、上側経路の細線の導波路区間の書き込み、及び、異なる長さの同一経路の
幅広の導波路区間の選択的な書き込みを図示している。尚、下側経路の幅広の導波路区間
は上側経路の幅広の導波路区間より長い。

図 22 B は、下側経路の細線の導波路区間の書き込み、及び、異なる長さの上側経路の
幅広の導波路区間の選択的な書き込みを図示している。

図 22 C は、上側経路の幅広の導波路区間のみの書き込みを図示している。下側経路は
同様に幅広の導波路区間を有しているが、図 22 C では書き込まれない。
40

図 22 D は、下側の幅広の導波路区間が上側経路の幅広の導波路区間よりも長いことを
除いて、図 22 C と同様である。

図 22 E は、下側の幅広の導波路区間が上側経路の幅広の導波路区間よりも短いことを
除いて、図 22 C と同様である。

図 23 は、下側経路の幅広の導波路区間の書き込みを図示し、上側経路には書き込まれ
ない。

図 24 は、上側経路の細線の導波路区間の書き込みを図示し、下側経路には書き込まれ
ない。

本発明の様々な態様を実装するにあたり、図面に明示されていないものを含めて任意の
50

組み合わせが可能であると理解される。

【0091】

P D F S dにおける所望の補正 $\Delta \gamma$ 、及び、周波数誤差（F E）における所望の補正 $\Delta \phi$ に必要なトリム長 h_a 及び h_b は、下記の数17、数18で与えられる。

【0092】

【数17】

$$h_a = \frac{\Delta \gamma - \Delta \phi q_b}{(q_a - q_b) \Delta n_a} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

10

【数18】

$$h_b = \frac{-\Delta \gamma + \Delta \phi q_a}{(q_a - q_b) \Delta n_b} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

【0093】

ここで、添字a及びbは夫々細線及び幅広の導波路区間を指す。P D F S dをゼロとし、且つ、F Eをゼロとするには、 $\Delta \gamma = -P D F S d$ 及び $\Delta \phi = -F E$ を代入する。トリム長 h_a または h_b が正の符号を有する場合、これらは上側分岐に書き込まれる。トリム長 h_a または h_b が負の符号を有する場合、夫々、長さ $|h_a|$ または $|h_b|$ の補正が下側分岐に書き込まれる。

20

【0094】

上記の数17及び数18は、下記の数式（数18.1、数18.2）から導かれる。ここで、 $\Delta \phi$ は長さ h_a 及び h_b の照明パターンが書き込まれるときの周波数誤差の変化であり、 $\Delta \gamma$ はP D F S dの変化である。

【0095】

【数18.1】

$$\Delta \phi = \frac{2\pi h_a \Delta n_a}{\lambda} + \frac{2\pi h_b \Delta n_b}{\lambda}$$

30

【数18.2】

$$\Delta \gamma = \frac{2\pi h_a q_a \Delta n_a}{\lambda} + \frac{2\pi h_b q_b \Delta n_b}{\lambda}$$

【0096】

従って、数17及び数18を用いてF EとP D F S d両方の補正を同時に行うことができる。数17及び数18を用いる場合、それらは数12及び数12.1に代えて用いられる。数17及び数18はP D F S cを補正しないが、上述の通り、P D F S cの補正は追加的である。従って一般に、上記の誤差の何れかまたは全てを補正するには、（数15から）書き込み長 h_2 を、（数17及び数18から） h_a 及び h_b を計算し、必要な補正量を求める。その後、長さ $|h_a|$ 及び／または $|h_b|$ のパターンを（上述の通り、 h_a 及び h_b の符号に応じて）上側及び／または下側経路に書き込み、長さ h_2 のパターンを両方の経路に書き込む。

40

【0097】

他の変形として、周波数誤差の調整をすることなく（或いは、周波数誤差を完全に調整することなく）、P D F S dを調整することができることが理解される。この場合、望ましい更なる周波数誤差の調整は、ヒーターのような他の手段により可能である。P D F S dだけの調整は、実際には、特定の照射が屈折率に与える効果と複屈折に与える効果との間の関係が異なる二以上の経路を考えることが不要となり、単一の経路のみで行うことが

50

可能である。数18.2において、これは（任意の第2の区間において屈折率は変化しないとして） Δn_b をゼロと置き、望ましいPDFSdの補正 $\Delta \gamma$ の関数として h_a を解くことにより示される。

【0098】

【数18.3】

$$h_a = \frac{\Delta \gamma}{q_a \Delta n_a} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

【0099】

上記の説明において、特定の経路における特定の長さ h の書き込みが何処を指すものであれ、その書き込みは二以上の区間に分割されてもよい。即ち、書き込みは、連続しているか不連続であるかを問わず、合計の長さが h となる複数の区間に行うことができる。一実施形態では、トリミング工程は初めに製造された装置の複屈折特性を検査し、適切な書き込み長 h_1 、 h_2 、 h_a 、及び／または h_b を計算し、当該長さを書き込み、その後、その結果としての複屈折特性を検査し、追加的な適切な書き込み長 h_1 、 h_2 、 h_a 、及び／または h_b を計算し、当該長さを経路の異なる区間に書き込み、結果としての装置の複屈折特性が目標を満足するまで、これらの書き込みを繰り返すことにより行われる。不連続な区間に繰り返し書き込みを行うことで、後の書き込み工程が前の書き込み工程と、僅かに、望まれずに重なり、予定されていない複屈折の重なり領域が形成される虞は生じない。

【0100】

上記の説明において、FEとPDFSの両方を同時に補正する方法が説明された。特に、実施形態はトリミング工程で利用可能な2つの自由度、つまり、屈折率の変化量と複屈折率の変化量を利用するものである。しかし、一経路における照射はこれら2つのパラメータの何れをも独立に変化させるものでないため、単に望ましい屈折率変化に調整し、その後望ましい複屈折率変化に調整するのでは2つのパラメータの制御は実現されない。代わりに、照射の経路夫々につき、特定の照射が屈折率に与える効果と複屈折に与える効果との間に2つの異なる関係性を有する2つの区間を利用することによって、2つの自由度へのアクセスが実現される。2種類の区間、MZIの同じまたは異なる分岐の夫々で適用すべき、照射の長さを計算するために用いることのできる上述の数式が、FEの望ましい変化、及び、PDFSの望ましい変化を実現するために開発されている。

【0101】

これらの数式は、（1）特定の照射が屈折率に与える効果と複屈折に与える効果との関係性が、単純に乗数 q （ある一区間に対して q_a であり、同じ分岐の他の区間に対して q_b ）で表されることを前提とし、（2）これら2つの q の値（ q_a 及び q_b ）が他方の経路の対応する区間について同じであることを前提としている。全ての実施形態において、これらの前提の両方が、必ずしも当てはまる訳ではなく、読者は、一方または他方の前提が当てはまらない場合の実施形態に利用できるように、適切に数式を修正することができることが理解される。例えば、特定の照射が屈折率に与える効果と複屈折に与える効果との関係性は、より一般的には、関数 $f(\Delta n)$ で表され、2つの区間に対して夫々 $f_a(\Delta n_a)$ 、 $f_b(\Delta n_b)$ を適用できる。これらの関数は、一般に、書き込み条件がある範囲内にあるときに限って、簡単な乗数 q_a 及び q_b に簡略される。更に、幾つかの実施形態は2ではない、3以上の特定の照射が屈折率に与える効果と複屈折に与える効果との関係が相互に異なる（例えば、3以上の異なる q の値を有する）区間を一方または他方の分岐に備えていてもよいことが更に理解される。

【0102】

幾つかの実施形態では、 $f_a(\Delta n_a)$ と $f_b(\Delta n_b)$ との相違は、チップ上の導波路区間同士の何らかの物理的な相違によってよりは、寧ろ、部分的に或いは完全に、照射のセットアップの差によって生じることが更に理解される。例えば、異なる導波路区間の構成に差が無くても、トリミング工程において一方の区間に対して高出力で書き込みを行

い、別の区間に対して低出力で書き込みを行ってもよく、または、大きな或いは小さなフルエンス、書き込み速度、照射配置の他の特性で書き込みを行ってもよい。2つの異なる照射配置において2つの異なった一組の照射特性で書き込みを行う場合、特定の照射が屈折率に与える効果と複屈折に与える効果との間に2つの異なる関係を実現できる。そのような実施形態では、他の場所で述べた全ての變形が、チップ上の導波路区間同士に物理的な差を設けることなく実装されうる。同様に、これらを混合した処置も可能である。

【0103】

〈偏光ビームスプリッタ〉

この節では、偏光ビームスプリッタ (PBS) の特別な場合における上述の原理の利用について議論する。PBSは、本質的に i をある整数として $\gamma = (2i + 1)\pi$ の関係を有するMZIである。更に、波長依存性を最小とするために、相対的な位相差 ϕ は可能な限り小さくすべきである。一般に、アームは可能な限り同じ長さで作られる。PBSでは、入力において混合した偏光の光は、クロスとバーの出力ポートにおいて、(通常軸と異常軸の) 2つの直交した偏光状態に分離される。

【0104】

図21に、本発明の特徴を備えた偏光ビームスプリッタ2100の例を示す。それは入射光を2つの出力に分離し、上側分岐2130と下側分岐2120の夫々に光を与えるスプリッタ2110を入力端に備える。上側分岐2130は細線及び幅広の導波路区間2132及び2134を夫々有し、下側分岐2120は細線及び幅広の導波路区間2122及び2124を夫々有する。下側分岐2120はまた、細線の区間2122の一部の両側にダミーの導波路2126及び2128の対を備え、上側分岐2132の細線部分の対応する部分2136に対して、内蔵された実効的な差分経路を提供する。内蔵された実効的な差分経路をUVトリミングより前に提供しているのは、装置のPDFSの原因となる内蔵された実効的な経路長差を $(2i + 1)\pi$ に近づけておくためである。これにより、UVトリミングを通して必要な補正量を減らすことができる。書き込みシステムの特性がPDFSの大半を $(2i + 1)\pi$ の近傍に生じさせるのに十分であれば、内蔵の差動経路は省略できる。ガラス技術において、UVトリミングは従来方法により実現できるよりも大きな複屈折を可能とする。最少の設置面積の場合、偏光に依存するビームスプリッタは、好ましくは、UVトリミングに大きく頼っている。追加的なオフセット、及び／または(ヒーターのような) 動的トリミング機構を一方または他方の分岐に同様に加えてもよい。一般のMZIについて、上述したのと全く同じ變形がPBS2100に対して可能である。

【0105】

PBSは、PDFSが $(2i + 1)\pi$ に等しいか、または $(2i + 1)\pi$ に非常に近いときに最適に動作する。任意の $(2i + 1)\pi$ からのずれは、通常偏光の光が異常出力に現れ、或いはその逆が現れることによる偏光のクロストークを生じさせる。

【0106】

数8において γ を $(2i + 1)\pi + \gamma'$ で置き換え、PDFSについての下記の数19が導かれる。

【0107】

【数19】

$$PDFS = (2i + 1)\pi + 8\delta\rho^2 + \gamma'$$

【0108】

γ を γ' で置き換えた数18.1及び数18.2が、上述した h_a 及び h_b の値の計算に用いられる。特に、上記の例においてPDFSとFEをゼロとする目的で数18.1及び数18.2において $\Delta\gamma = -PDFS$ 及び $\Delta\phi = -FE$ を代入する代わりに、数18.1及び数18.2において $\Delta\gamma = -(8\delta\rho^2 + \gamma')$ 及び $\Delta\phi = -FE$ を代入することで、PDFS = π 及びゼロのFEが得られる。

【0109】

この方法で差分による寄与 (γ') のみをトリミングすることにより、結合器からのP

10

20

30

40

50

D F S (P D F S c) の寄与も補償することが可能である点に注目すべきである。従って、共通経路の補正 (h_2) は不要であり、潜在的に書き込みステップを簡単にできる。一方で、幾つかの実施形態では、両方の分岐に書き込みを行うことによって共通経路の補正を行い、これにより δ を減少させることができ、これに応じて書き込み長 h_a 及び h_b は調整される。一方の分岐の細線及び幅広の区間の両方に書き込みが行われるが、他方の分岐には全く書き込まれない実施形態 (図 2 2 A) も存在することが分かる。或いは、一方の分岐の細線の区間、及び、他方の分岐の幅広の区間だけに書き込みが必要な他の実施形態 (図 2 2 B) も存在する。一方の分岐の一の区間だけに書き込みが必要な実施形態 (図 2 2 C、D、E) すら存在する。

【0110】

マッハツェンダーでは、2つの分岐間に所定の光学的な経路長差を実現したい。製造プロセス上、この経路長は一般に目標値から外れている (off target)。上側及び下側の分岐の経路長を夫々増加または減少させるために、下側または上側の分岐に U V トリミングを用いることができる。更に、経路長差が光の偏光状態に依存しないことを保証したい場合がある。しかしながら、これは上述した理由により製造後の装置に一般に該当しない。

【0111】

上述した技術はこれらの問題を解決し、誘起される複屈折が高い領域と誘起される複屈折が低い領域の U V トリミングを適切に組み合わせることによって、全体でゼロの複屈折率 (或いは、全体で所望のゼロでない複屈折率) を実現する。このため、図 1 2 に示すマッハツェンダーの設計において、異なる幾何学的形態の2種類の導波路を備え、一方の導波路の q を高く、他方の q を低くする。4つの領域 (上側及び下側の分岐の夫々の、細線及び幅広の導波路領域) のうち1以上の U V トリミングを通して、上述した技術は P D F S と併せて、F E を増加または減少させることができる。より短い書き込み長を可能とするために、2つの q の値の差は出来る限り大きくなるように最適化されるべきであり、これにより、より小さなチップ占有面積の装置が可能となる。

【0112】

上述した概念を利用した現実の装置では、上述した数式と完全に一致させることは不可能であるか、或いは、商業的には不必要であるかもしれない。例えば、所望の経路長に正確に、或いは想定される照射特性で照射する能力の製造時の許容誤差や、理想的な数式を簡略化した式を用いていることにより、装置は数式から外れるかもしれない。これらの何れかの理由で上述した数式から外れた現実の装置は、ここでは、当該数式を「実質的に」満足していると考えられる。そのような装置はここで教示した新規な概念を利用しているため、数式を正確に満足しないにしても、従来装置よりもずっと高い精度で製造が可能である。

【0113】

更に、ここで説明した数式及び技術により減少した偏光依存性が最適化される一方で、ある実施形態では、上述の式が実質的にだけ満足されている、或いは小さな妨害因子を除いて満足されている場合であっても、従来方法に対して大幅な改善が可能となる。ここで用いた語「実質的に」はそのような状況を含むことが意図される。本発明に依る利益を得るために、数式が正確に満足されることは本質的ではない。

【0114】

従来製造される M Z I では偏光依存周波数シフトの標準偏差としておよそ 2 G H z 以下の実現は困難であるが、ここで述べた技術は、位相差に対する偏光依存の精度が位相遅れにして 3° 以下の M Z I の製造を可能とする。ここで述べた技術は挿入ロスによる不利益を発生させず、また、追加の機械的操作を必要とすることなく改良された光学性能を提供する。

【0115】

更に、ここで述べた装置は逆の機能を実行するために逆に動作されることもできる。その場合、上記において「入力」と説明していたものが「出力」となり、「出力」と説明していたものが「入力」となる。

【0116】

出願人は、ここで述べた個別の特徴の夫々、及び、そのような特徴の2以上の組み合わせを、当該特徴または組み合わせが当業者の一般的な知識に照らして明細書の記載全体に基づいて実行が可能な程度で、当該特徴または特徴の組み合わせが上述した何れかの課題を解決するか否かに拘わらず、且つ、特許請求の範囲を限定することなく、ここに開示する。出願人は本発明の態様がそのような特徴の何れかまたは複数の特徴の組み合わせからなることがある点を指摘する。前述の記載を鑑み、本発明の範囲内において種々の修正が可能であることは、当業者にとって明白である。

【0117】

ここで用いたように、語「区間」は、それ自身で物理的な境界を示すものではない。つまり、ある連続した長さの導波路は一以上の「区間」を含むことができる。更に、複数の区間が異なった物理特性（例えば、細線となっているものと幅広のもの）を有することが明示されている場合を除き、これら間の境界を物理的に検出可能とする必要は決していない。

10

【0118】

また、ここで用いたように、所定の値は、前の値が所定値に影響を与えるものであれば、当該前の値に「依存して」決定される。介在するプロセス工程がある場合、所定値は前の値に「依存して」決定される。介在するプロセス工程が一以上の値と結合している場合、当該プロセス工程の出力は夫々の入力値に依存すると考えられる。所定値が前の値と同じ場合は、縮退した場合に過ぎず、所定値は前の値に「依存して」決定されると言える。

20

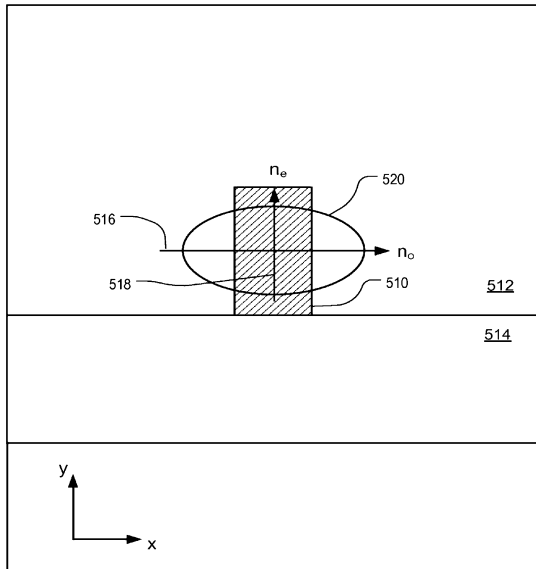
【0119】

前述した本発明の好ましい実施形態の記載は、図示及び説明のために提示されたものである。網羅的とする意図ではないし、開示されたそのままの形式に発明を限定する意図ではない。この技術の実施者にとって、数多くの修正や変形は明らかである。特に、限定されることなく、記載された、示唆された、またはこの出願の背景技術の節において参照により取り込まれた何れか及び全ての変形が、ここに、参照により本発明の説明に具体的に取り込まれる。更に、任意の実施形態についての記載された、示唆された、またはここで参照により取り込まれた何れか及び全ての変形もまた、他の全ての実施形態と関連して教示されたと考えられる。ここで述べた実施形態は、本発明の原理及びその実際の応用を最も良く説明するために選択され、記載されたものであり、様々な実施形態に対して、考慮される特定の利用に適合した様々な修正と併せて、当業者である他人に発明の理解を可能とする。本発明の範囲は、以下の特許請求の範囲及びその均等物により定義されることが意図される。

30

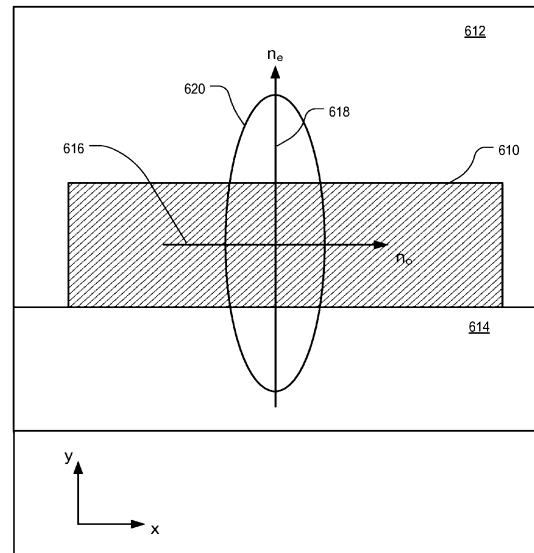
【図 5】

負の複屈折率を有する導波路



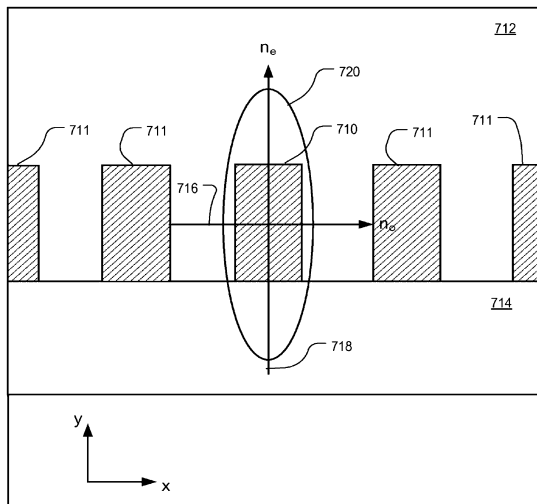
【図 6】

正の複屈折率を有する導波路



【図 7】

正の複屈折率を有する導波路



【図 8】

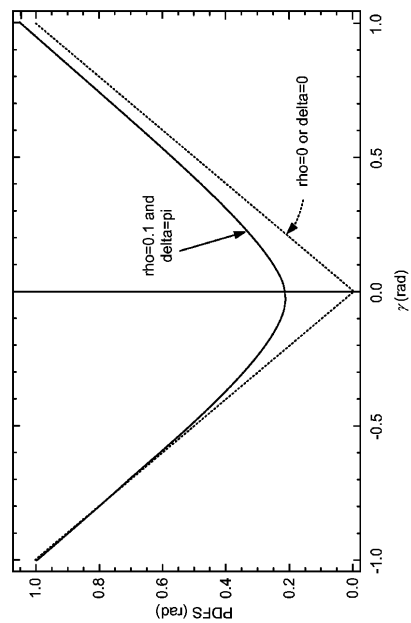
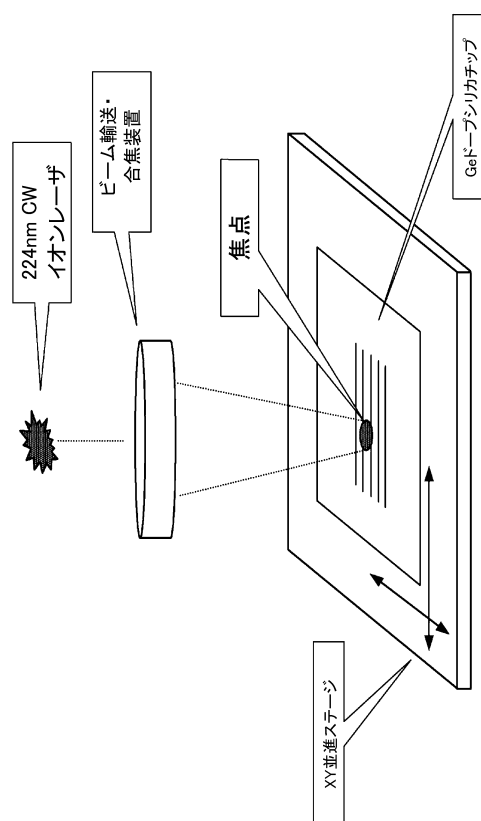


Fig. 8

【图 9】



【図 10】

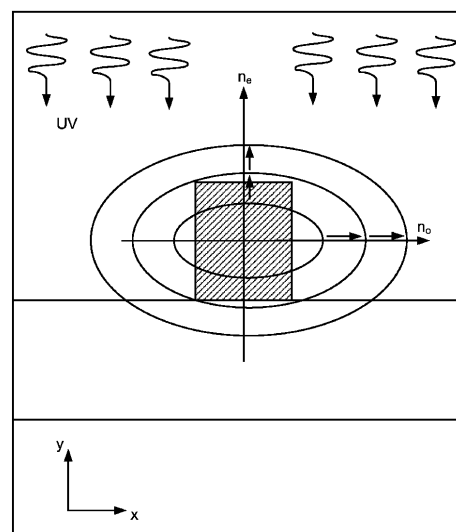


Fig. 10

【図 1 1】

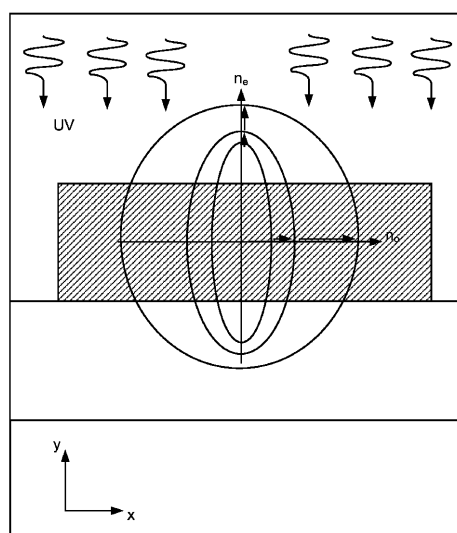
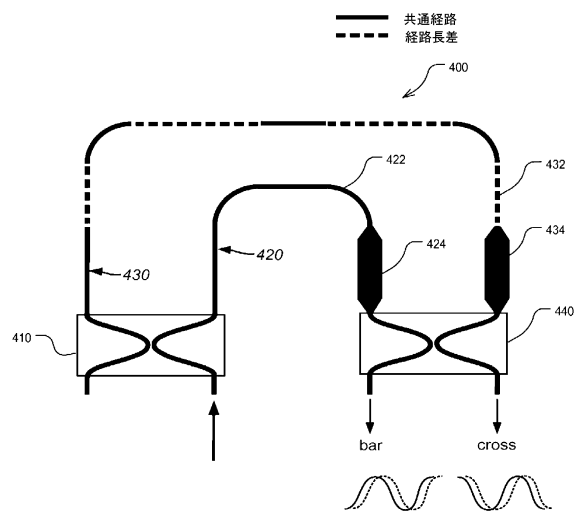
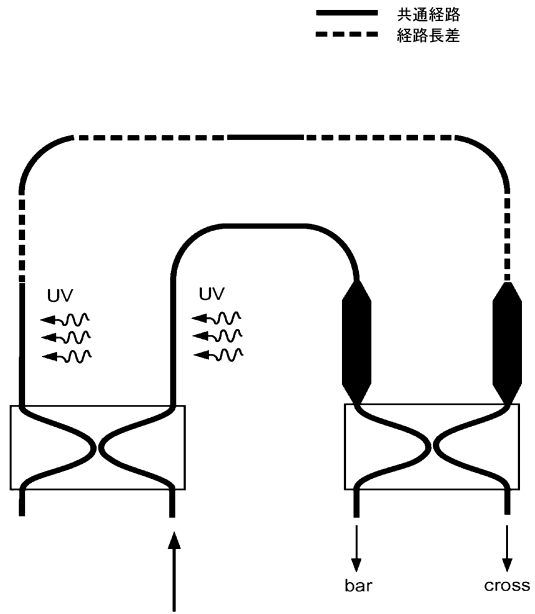


Fig. 11

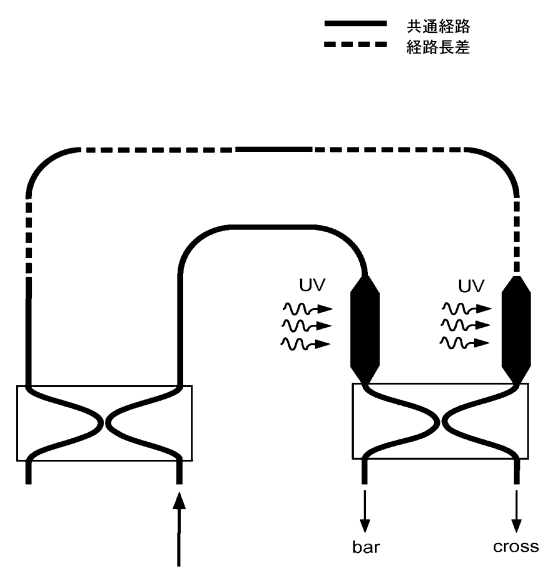
【図 1 2】



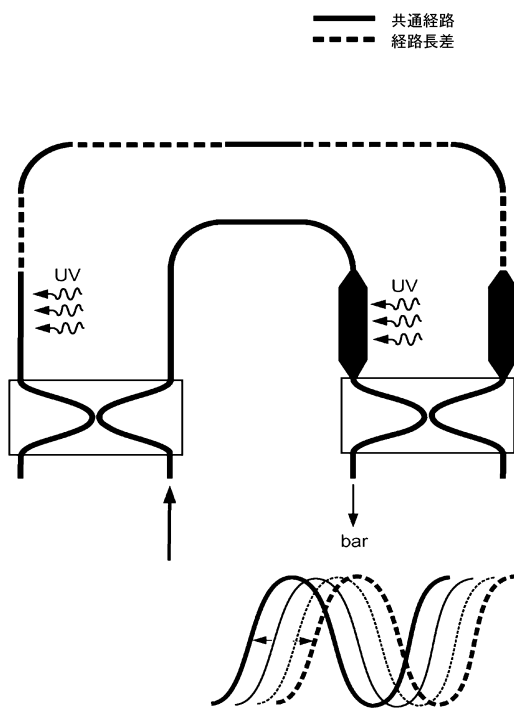
【図 1 3】



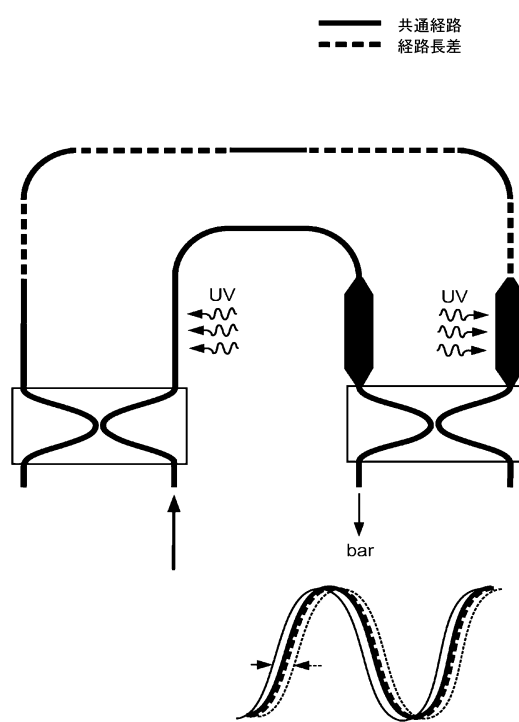
【図 1 4】



【図 1 5】

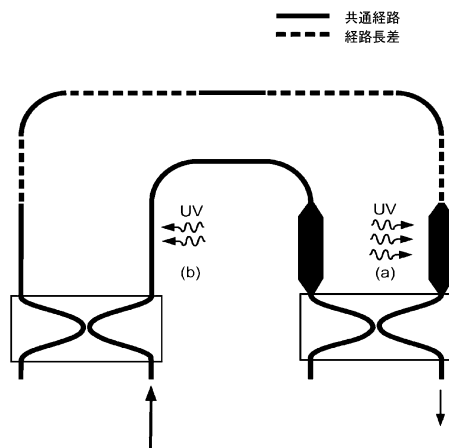


【図 1 6】



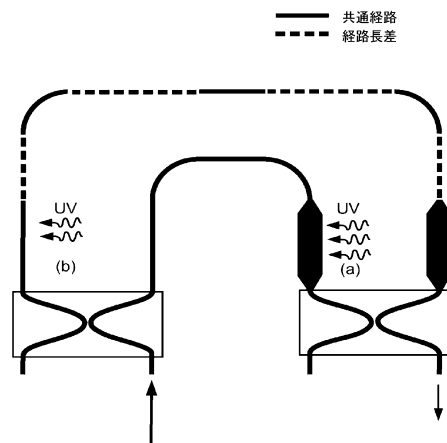
【図 17】

配置1



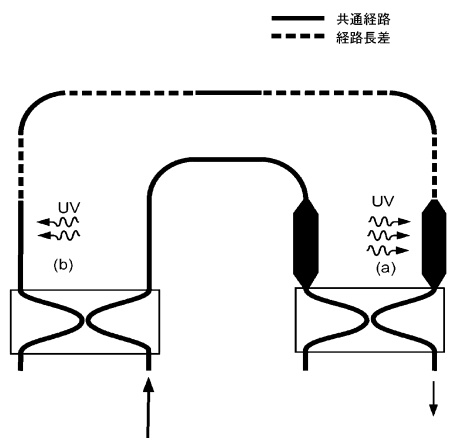
【図 18】

配置2



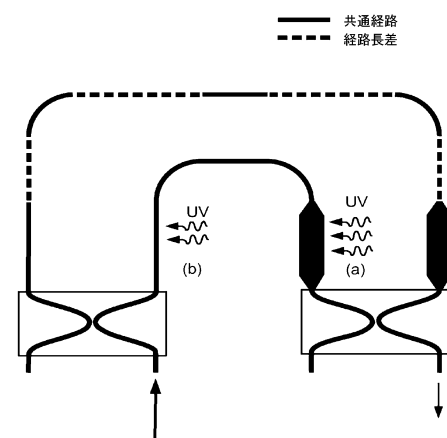
【図 19】

配置3

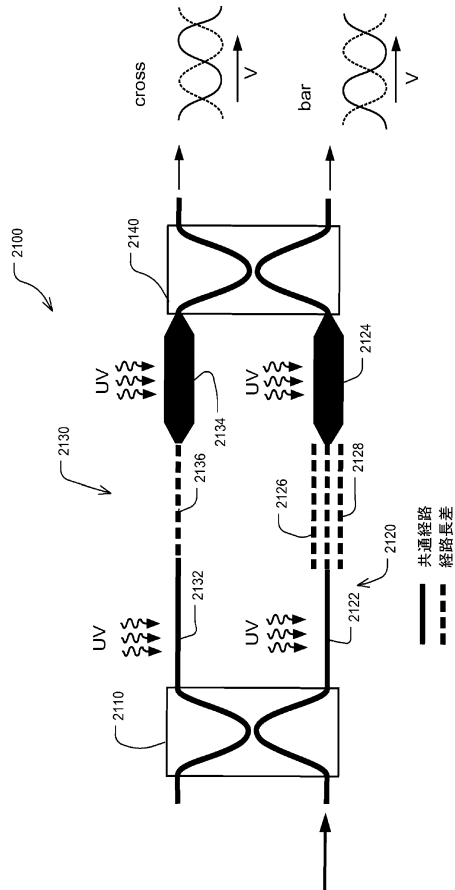


【図 20】

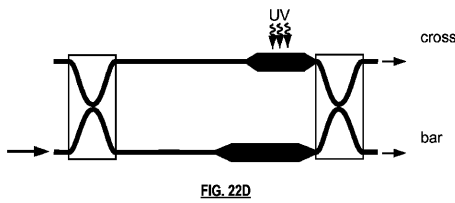
配置4



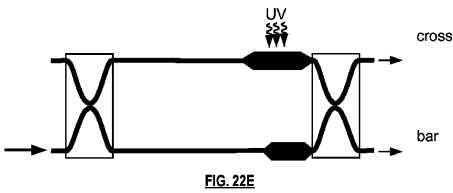
【図 2 1】



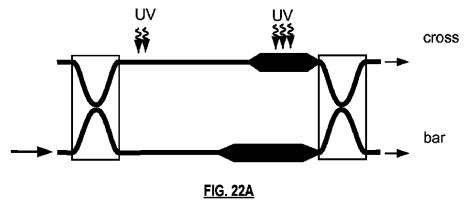
【図 2 2 D】



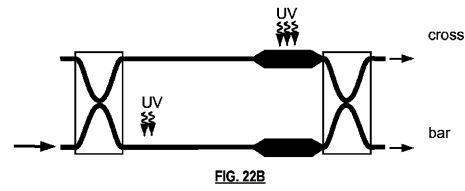
【図 2 2 E】



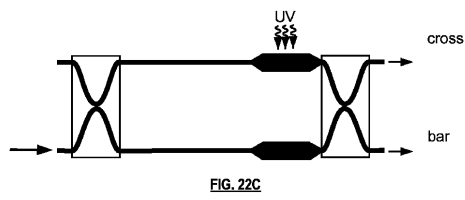
【図 2 2 A】



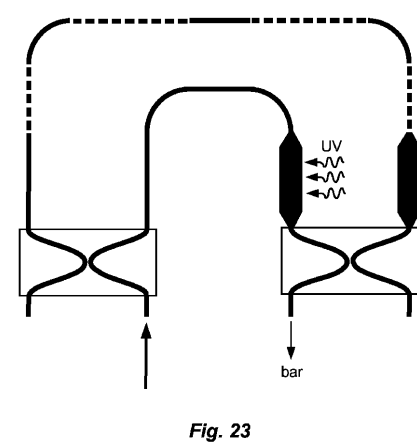
【図 2 2 B】



【図 2 2 C】



【図 2 3】



【図 24】

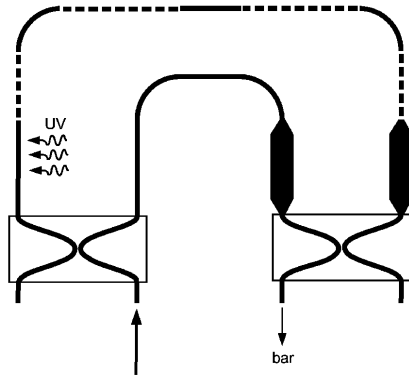


Fig. 24

フロントページの続き

(72)発明者 ベーレン, ギュンター ビー.
イギリス国 エディンバラ イーエイチ1 2ピーダブリュー ジョンストン テラス 7/8

審査官 奥村 政人

(56)参考文献 特開2002-303745 (JP, A)
特開2007-256510 (JP, A)
特開2004-021123 (JP, A)
特開2006-243011 (JP, A)
特開2000-266946 (JP, A)
特開昭63-147145 (JP, A)
国際公開第2008/084707 (WO, A1)
特開2001-074950 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02B 6/12- 6/14