

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-79030

(P2010-79030A)

(43) 公開日 平成22年4月8日(2010.4.8)

(51) Int.Cl.

G02B 6/12 (2006.01)

F1

G02B 6/12

C

テーマコード (参考)

2H147

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2008-248449 (P2008-248449)
 (22) 出願日 平成20年9月26日 (2008.9.26)

(71) 出願人 000002130
 住友電気工業株式会社
 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
 (74) 代理人 100088155
 弁理士 長谷川 芳樹
 (74) 代理人 100092657
 弁理士 寺崎 史朗
 (74) 代理人 100113435
 弁理士 黒木 義樹
 (74) 代理人 100108257
 弁理士 近藤 伊知良
 (74) 代理人 100122507
 弁理士 柏岡 潤二

最終頁に続く

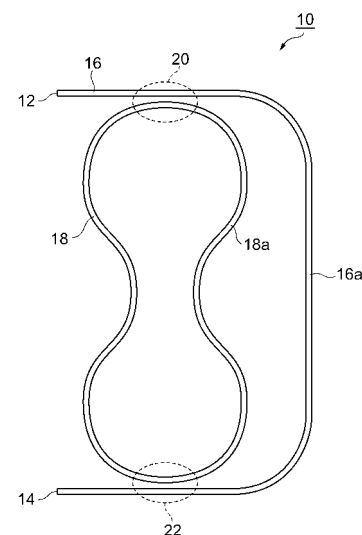
(54) 【発明の名称】 光遅延素子

(57) 【要約】

【課題】 動作波長帯域の広い光遅延素子を提供する。

【解決手段】 光遅延素子は、入力ポート、出力ポート、光導波路、リング共振器、第1の結合部、及び、第2の結合部を備える。光導波路は、入力ポートから出力ポートまで延びている。第1の結合部及び第2の結合部は、リング共振器の二つの部分と光導波路との間で光を結合させる。第1の結合部は、第2の結合部より入力ポート側に設けられている。第1の結合部から第2の結合部までの間の光導波路の経路の位相変化量 φ_U と、第1の結合部から第2の結合部までの間のリング共振器の経路の位相変化量 φ_H とは、 $0.8 \leq \varphi_U / \varphi_H \leq 1.2$ を満たしている。第1の結合部及び第2の結合部それぞれにおける光の強度結合効率 κ^2 は、振幅結合係数 κ に対して $\kappa = \sin(\theta)$ の関係にあるパラメータ θ が $0.2 \leq \theta / \pi \leq 0.3$ を満たすように、設定されている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光が入力する入力ポートと、
 光が出力する出力ポートと、
 前記入力ポートから前記出力ポートまで延びる光導波路と、
 リング状に延びる導波路を有するリング共振器と、
 前記リング共振器の二つの部分と前記光導波路との間で光を結合させるための第 1 の結合部及び第 2 の結合部と、
 を備え、

前記第 1 の結合部は、前記第 2 の結合部より前記入力ポート側に設けられており、
 前記第 1 の結合部から前記第 2 の結合部までの間の前記光導波路の経路の位相変化量 φ_U と、前記第 1 の結合部から前記第 2 の結合部までの間の前記リング共振器の前記導波路の経路の位相変化量 φ_H とは、 $0.8 \leq \varphi_U / \varphi_H \leq 1.2$ を満たし、
 前記第 1 の結合部及び前記第 2 の結合部のそれぞれにおける光の強度結合効率 κ^2 は、振幅結合係数 κ に対して $\kappa = \sin(\theta)$ の関係にあるパラメータ θ が $0.2 \leq \theta / \pi \leq 0.3$ を満たすように、設定されている、
 光遅延素子。

【請求項 2】

前記リング共振器の前記経路が、複数回曲げられている、請求項 1 に記載の光遅延素子。

【請求項 3】

前記リング共振器の前記導波路の屈折率が、前記光導波路の屈折率と異なる、請求項 1 に記載の光遅延素子。

【請求項 4】

前記リング共振器の前記導波路の断面積が、前記光導波路の断面積と異なる、請求項 1 に記載の光遅延素子。

【請求項 5】

光が入力する入力ポートと、
 光が出力する出力ポートと、
 前記入力ポートから前記出力ポートまで延びる光導波路と、
 リング状に延びる導波路を有する複数のリング共振器と、
 前記複数のリング共振器のそれぞれの二つの部分と前記光導波路との間で光を結合させるための複数の第 1 の結合部及び複数の第 2 の結合部と、
 を備え、

前記複数の第 1 の結合部の各々は、前記複数の第 2 の結合部のうち同じリング共振器に対して設けられた第 2 の結合部より、前記入力ポート側に設けられており、

前記複数の第 1 の結合部及び前記複数の第 2 の結合部のうち、同じリング共振器に対して設けられた第 1 の結合部及び第 2 の結合部に関して、該第 1 の結合部から該第 2 の結合部までの間の前記光導波路の経路の位相変化量 φ_U と、該第 1 の結合部から該第 2 の結合部までの間の該リング共振器の前記導波路の経路の位相変化量 φ_H とは、 $0.8 \leq \varphi_U / \varphi_H \leq 1.2$ を満たし、

前記複数の第 1 の結合部及び前記複数の第 2 の結合部それぞれにおける光の強度結合効率 κ^2 は、振幅結合係数 κ に対して $\kappa = \sin(\theta)$ の関係にあるパラメータ θ が $0.2 \leq \theta / \pi \leq 0.3$ を満たすように、設定されている、
 光遅延素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光遅延素子に関するものである。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

光遅延素子としては、以下の非特許文献 1 及び 2 に開示されたものが知られている。非特許文献 1 に開示の光遅延素子は、複数の共振器を直列結合したものである。また、非特許文献 2 に開示の光遅延素子は、直線導波路と複数の共振器とを備えている。非特許文献 2 に開示の光遅延素子では、複数の共振器の各々は、その一部分において直線導波路に光学的に結合されている。

【非特許文献 1】Ammon Yariv 他 3 名、"Coupled-resonator optical waveguide: a proposal and analysis", OPTICS LETTERS, June 1, 1999, Vol. 24, No. 11, p711-p713

【非特許文献 2】John E. Heebner 他 1 名、"Slow light, induced dispersion, enhanced nonlinearity, and optical solitons in a resonator-array waveguide", PHYSICAL REVIEW E, 2002, Vol. 65, 036619-1 - 036619-4

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 3 】

非特許文献 1 及び 2 に開示の光遅延素子は何れも、光を遅延させるために、共振器における共振現象を利用するものである。即ち、これら文献に開示の光遅延素子は、共振周波数付近のみににおいて、光の群速度を減少させて、光を遅延させることができるものである。したがって、これら文献に開示の光遅延素子の動作波長帯域は狭い。

【 0 0 0 4 】

本発明の目的は、動作波長帯域の広い光遅延素子を提供することにある。

20

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 5 】

本発明の光遅延素子は、入力ポートと、出力ポートと、光導波路と、リング共振器と、第 1 の結合部及び第 2 の結合部と、を備えている。入力ポートは、光が入力するポートである。出力ポートは、光を出力するためのポートである。光導波路は、入力ポートから出力ポートまで延びている。リング共振器はリング状に延びる導波路を有する。第 1 の結合部及び第 2 の結合部は、リング共振器の二つの部分と光導波路との間で光を結合させる。第 1 の結合部は、第 2 の結合部より入力ポート側に設けられている。第 1 の結合部から第 2 の結合部までの間の光導波路の経路の位相変化量 φ_U と、第 1 の結合部から第 2 の結合部までの間のリング共振器の導波路の経路の位相変化量 φ_H とは、 $0.8 \leq \varphi_U / \varphi_H \leq 1.2$ を満たしている。また、第 1 の結合部及び第 2 の結合部それぞれにおける光の強度結合効率 κ^2 は、振幅結合係数 κ に対して $\kappa = \sin(\theta)$ の関係にあるパラメータ θ が $0.2 \leq \theta / \pi \leq 0.3$ を満たすように、設定されている。

30

【 0 0 0 6 】

本光遅延素子は、広い波長帯域において光の群速度を減少させることができる。また、本光遅延素子によれば、光の群速度の波長依存性は、 φ_U / φ_H が 1.0 に近づくほど、また、 θ / π が 0.25 に近づくほど、小さくなる。

【 0 0 0 7 】

φ_U / φ_H に関する上述した条件は、リング共振器の経路を複数回曲げることによって実現可能である。また、 φ_U / φ_H に関する条件は、リング共振器の導波路の屈折率及び / 又は断面積と光導波路の屈折率及び / 又は断面積とを互いに異なるように設定することによって、実現可能である。

40

【 0 0 0 8 】

本発明の別の光遅延素子は、入力ポートと、出力ポートと、光導波路と、複数のリング共振器と、複数の第 1 の結合部及び複数の第 2 の結合部と、を備えている。入力ポートは、光が入力するポートである。出力ポートは、光を出力するためのポートである。光導波路は、入力ポートから出力ポートまで延びている。複数のリング共振器はそれぞれ、リング状の導波路を有する。複数の第 1 の結合部及び複数の第 2 の結合部は、複数のリング共振器のそれぞれの二つの部分と光導波路との間で光を結合させる。複数の第 1 の結合部の各々は、複数の第 2 の結合部のうち同じリング共振器に対して設けられた第 2 の結合部よ

50

り、入力ポート側に設けられている。複数の第 1 の結合部及び複数の第 2 の結合部のうち、同じリング共振器に対して設けられた第 1 の結合部及び第 2 の結合部に関して、該第 1 の結合部から該第 2 の結合部までの間の光導波路の経路の位相変化量 φ_U と、該第 1 の結合部から該第 2 の結合部までの間の該リング共振器の導波路の経路の位相変化量 φ_H とは、 $0.8 \leq \varphi_U / \varphi_H \leq 1.2$ を満たしている。複数の第 1 の結合部及び複数の第 2 の結合部それぞれにおける光の強度結合効率 κ^2 は、振幅結合係数 κ に対して $\kappa = \sin(\theta)$ の関係にあるパラメータ θ が $0.2 \leq \theta / \pi \leq 0.3$ を満たすように、設定されている。

【0009】

本光遅延素子も、広い波長帯域において光の群速度を減少させることができる。また、この光遅延素子は、リング共振器の数及びリング共振器のサイズを適宜設定することにより、任意の遅延量を得ることが可能である。

【発明の効果】

【0010】

以上説明したように、本発明によれば、動作波長帯域の広い光遅延素子が提供される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

以下、本発明の好適な実施の形態を説明する前に、本発明の光遅延素子が満たすべき条件について説明する。

【0012】

本発明の光遅延素子は、上述の通り、入力ポートから出力ポートまで延びる光導波路（以下、「還元導波路」という）を備えている。また、本発明の光遅延素子は、リング状の導波路を有する一以上のリング共振器を備えている。さらに、本発明の光遅延素子は、リング共振器の二つの部分と光導波路とを光学的に結合させるために、第 1 の結合部及び第 2 の結合部を備えている。

【0013】

本発明の光遅延素子では、第 1 の結合部から第 2 の結合部までの間の還元導波路の経路の位相変化量 φ_U と、第 1 の結合部から第 2 の結合部までの間のリング共振器の経路の位相変化量 φ_H とが、次式（1）を満たしている。好ましくは、 φ_U / φ_H は 1.0 である。即ち、 φ_U / φ_H が 1.0 に近いほど好ましい。

$$0.8 \leq \varphi_U / \varphi_H \leq 1.2 \quad \dots (1)$$

【0014】

ここで、位相変化量 φ_U 及び位相変化量 φ_H は、次式（2）によって定義することができる。

$$\varphi_i = \beta_i L_i \quad (i = H, U) \quad \dots (2)$$

式（2）において、 β_H はリング共振器の伝搬定数であり、 β_U は還元導波路の伝搬定数である。また、 L_H は、第 1 の結合部から第 2 の結合部までのリング共振器の導波路の経路長であり、 L_U は、第 1 の結合部から第 2 の結合部までの還元導波路の経路長である。

【0015】

式（2）から明らかなように、伝搬定数 β_H 、伝搬定数 β_U 、経路長 L_H 、及び、経路長 L_U の少なくとも一つを調整することによって、 φ_U / φ_H を 1.0 に近づけることが可能である。例えば、 φ_U / φ_H を 1.0 に近づけるためには、以下の三つの方策が考えられる。

（i）リング共振器の導波路の上記経路に複数回の曲げを導入する（ L_i の調整）。

（ii）還元導波路の屈折率及び / 又は断面積とリング共振器の導波路の屈折率及び / 又は断面積を異ならせる（ β_i の調整）

（iii）光導波路の上記経路の経路長とリング共振器の上記経路の経路長とを等しくする（ L_i の調整）

【0016】

また、本発明の光遅延素子では、第 1 の結合部及び第 2 の結合部のそれぞれにおける光

の強度結合効率 κ^2 は、振幅結合係数 κ に対して $\kappa = \sin(\theta)$ の関係にあるパラメータ θ が、波長に依らず、次式 (3) を満たすように、設定されている。

$$0.2 \leq \theta / \pi \leq 0.3 \quad \dots (3)$$

好ましくは、 ϕ_U / ϕ_H は、波長に依らず 0.25 である。即ち、第 1 の結合部及び第 2 の結合部のそれぞれの光の強度結合効率 κ^2 は、波長に依らず、50% であることが好ましい。

【0017】

以下に説明する実施の形態は、上述した (i) ~ (iii) の何れかの方策によって、 ϕ_U / ϕ_H を 1.0 とするものである。また、これら実施の形態は、 θ / π を波長に依らず 0.25 とするものである。

【0018】

以下、図面を参照して本発明の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、各図面において同一又は相当の部分に対しては同一の符号を附することとする。

【0019】

図 1 は、一実施形態に係る光遅延素子を概略的に示す平面図である。図 1 に示す光遅延素子 10 は、入力ポート 12、出力ポート 14、還元導波路 16、リング共振器 18、第 1 の結合部 20、及び第 2 の結合部 22 を備えている。この光遅延素子 10 は、例えば、平面導波路、又は光ファイバにより構成することができる。以下、光遅延素子 10 が平面導波路によって構成されているものとして説明を続ける。

【0020】

入力ポート 12 は、光が入力するポートである。出力ポート 14 は、光が出力するポートである。光導波路 16 は、入力ポート 12 から出力ポート 14 までの間において延在している。入力ポート 12 に入力した光の一部は、光導波路 16 を導波して、出力ポート 14 から出力される。

【0021】

リング共振器 18 は、リング状の導波路を有する。リング共振器 18 は、その光路長によって定まる波長の光を共振させる共振器である。リング共振器 18 の周回長は、当該リング共振器 18 内で共振する光の半波長の整数倍の長さである。

【0022】

本例では、光導波路 16 及びリング共振器 18 は、コア材料をクラッド材料で埋め込んだ平面導波路によって構成することができる。コア材料としては、例えば、SiON を用いることができる。また、クラッド材料としては、SiO₂ を用いることができる。また、コアの幅及び厚はそれぞれ、例えば、0.8 μm 及び 1.6 μm とすることができる。

【0023】

本光遅延素子 10 では、第 1 の結合部 20 及び第 2 の結合部 22 において、リング共振器 18 の二つの部分と光導波路 16 との間で光を結合させる。第 1 の結合部 20 は、第 2 の結合部 22 より、入力ポート 12 側に位置している。

【0024】

第 1 の結合部 20 及び第 2 の結合部 22 は、波長に依らず、 $\theta / \pi = 0.25$ を満たしている。即ち、第 1 の結合部 20 及び第 2 の結合部 22 のそれぞれの強度結合効率 κ^2 は 50% である。かかる第 1 の結合部 20 及び第 2 の結合部 22 には、波長無依存の方向性結合器を用いることができる。

【0025】

波長無依存の方向性結合器は、光導波路 16 とリング共振器 18 の導波路との間の平均距離、光導波路 16 とリング共振器 18 の導波路のそれぞれの断面積、及び、光導波路 16 とリング共振器 18 の導波路の曲率を調整することによって、得ることができる。波長無依存の方向性結合器の設計方法の詳細については、George T. Palocz, 他 2 名, "Wavelength-Insensitive Nonadiabatic Mode Evolution Couplers", IEEE Photonics Technology Letters, February 2004, Vol.16, No.2p515-517 を参照されたい。

【0026】

10

20

30

40

50

また、本光遅延素子 10 では、 φ_U / φ_H が 1.0 となるように、上記の (i) の方策を採用している。即ち、光遅延素子 10 では、第 1 の結合部 20 から第 2 の結合部 22 までの間のリング共振器 18 の経路 18a に、複数の曲げが導入されている。なお、光導波路 16 の伝搬定数 β_U とリング共振器 18 の導波路の伝搬定数 β_H は同一である。ここで、 φ_U は、第 1 の結合部 20 から第 2 の結合部 22 までの間の光導波路 16 の経路 16a の位相変化量であり、 φ_H は、第 1 の結合部 20 から第 2 の結合部 22 までの間のリング共振器 18 の導波路の経路 18a の位相変化量である。

【0027】

以上説明した構成を有する光遅延素子 10 の特性を、図 2 ~ 図 4 に従って説明する。なお、図 2 ~ 図 4 に示す特性は、実効屈折率法による計算を用いて求めたものである。この計算においては、リング共振器 18 の導波路及び還元導波路 16 に関して以下の条件を採用した。

コアの幅：1.6 μm

コアの高さ：0.8 μm

コアの屈折率：2.8

クラッドの屈折率：1.45

リング共振器の周回長：100 μm

【0028】

まず、図 2 に関して説明する。図 2 は、第 1 の結合部及び第 2 の結合部における強度結合効率をパラメータとして変化させた場合の、光遅延素子に inputs する光の波長と当該光遅延素子の通過による相対的な位相変化量 φ との関係を示すグラフである。図 2 に示すパラメータ θ / π は、強度結合効率 κ^2 に対応する量である。図 2 においては、縦軸に、 φ / π をとっており、横軸に、リング共振器の共振周波数からのずれ量に対応する量 δ を π で割った値をとっている。ここで、 δ は次式 (4) によって表すことができる。

$$\delta = (\omega - \omega_r) n_{eff} L_c / c_0 \quad \dots (4)$$

式 (4) において、 ω は光の角周波数であり、 ω_r は共振角周波数であり、 n_{eff} はリング共振器を構成する導波路の実効屈折率であり、 L_c はリング共振器の周回長であり、 c_0 は真空中の光速である。

【0029】

図 2 において、 $\theta / \pi = 0$ の場合の特性は、光遅延素子 10 からリング共振器を取り除いた素子の特性である。また、図 2 において各特性を示す線の傾きは、光の群速度に反比例する。したがって、図 2 に示す $\theta / \pi = 0$ の場合の特性と $\theta / \pi = 0.25$ の場合の特性を比較すれば明らかなように、光遅延素子 10 は、 $\theta / \pi = 0.25$ を満たすことによって、光の群速度を $1/3$ とすることが可能である。また、 $\theta / \pi = 0.25$ の場合の特性から明らかなように、光遅延素子 10 では、光の群速度が波長に依存せず $1/3$ に減少する。

【0030】

また、図 2 に示すように、 $\theta / \pi = 0.1$ の場合や $\theta / \pi = 0.4$ の場合には、これらの場合の特性を示す線の傾きが、 $\delta / \pi = \pm 0.5$ や $\delta / \pi = \pm 1.5$ において、リング共振器が無い場合の特性を示す傾きと同じになっている。即ち、 $\theta / \pi = 0.1$ の場合や $\theta / \pi = 0.4$ の場合には、群速度を減少させることができない波長帯域が存在する。一方、図 2 に示すように、 θ / π が 0.2 以上且つ 0.3 以下であれば、全波長帯域において群速度が減少している。したがって、光遅延素子 10 は、 $0.2 \leq \theta / \pi \leq 0.3$ の条件を満たす場合に、全波長帯域において群速度を減少させることができる。

【0031】

次に、図 3 に関して説明する。図 3 は、強度結合効率に対応する θ / π を 0.25 とし、 φ_U / φ_H をパラメータとした変化させた場合の、光遅延素子に inputs する光の波長と当該光遅延素子の通過による相対的な位相変化量 φ との関係を示すグラフである。図 3 においても、図 2 と同様に、縦軸に φ / π をとっており、横軸に δ / π をとっている。

【0032】

10

20

30

40

50

図 3 に示すように、光遅延素子 10 は、 $\varphi_U / \varphi_H = 1.0$ を満たすことによって、光の群速度を波長に依存せず $1/3$ に減少させることが可能である。また、図 3 から明らかのように、 φ_U / φ_H が 0.2 や 1.8 の場合には、群速度が減少しない波長帯域が存在する。一方、 φ_U / φ_H が 0.8 以上 1.2 以下であれば、群速度が全波長帯域で減少する。したがって、光遅延素子 10 は、 $0.8 \leq \varphi_U / \varphi_H \leq 1.2$ の条件を満たすことによって、全波長帯域において群速度を減少させることができる。

【0033】

次に、図 4 に関して説明する。図 4 は、光遅延素子 10、及び、光遅延素子 10 からリング共振器を取り除いた素子のそれぞれについての波長分散を示す図である。図 4 においては、横軸に inputs する光の波長をとっており、縦軸に分散（各波長の光の速度をその波長で割った値）をとっている。

10

【0034】

図 4 に示すように、光遅延素子 10 の分散（リング共振器ありの場合の特性を参照のこと）は、光遅延素子 10 の群速度がリング共振器が無い素子の群速度の $1/3$ になることに対応して、3 倍となっている。したがって、図 4 から、本光遅延素子 10 では、群速度の低下に伴う分散の増加以外に、付加される波長分散はないことが確認できる。

【0035】

以下、本発明の別の実施形態に係る光遅延素子について説明する。図 5 は、一実施形態に係る光遅延素子を概略的に示す平面図である。図 5 に示す光遅延素子 10A は、図 1 に示す光遅延素子 10 と略同様の要素を有するので、以下、光遅延素子 10A が光遅延素子 10 と異なる点について、説明を行う。

20

【0036】

光遅延素子 10A では、 $\varphi_U / \varphi_H = 1.0$ を満たすために、上述した (iii) の方策を採用している。具体的には、光遅延素子 10A では、第 1 の結合部 20 から第 2 の結合部 22 までの間の光導波路 16 の経路 16a と、第 1 の結合部 20 から第 2 の結合部 22 までの間のリング共振器 18 の導波路の経路 18a とが、略直線状に延びている。これにより、経路 16a の経路長と経路 18a の経路長が略同一になっている。なお、光導波路 16 の伝搬定数 β_U とリング共振器 18 の導波路の伝搬定数 β_H は同一である。

【0037】

かかる光遅延素子 10A も、光遅延素子 10 と同様に、式 (1) 及び式 (3) を満たすことによって、広い波長帯域において光の群速度を減少させることが可能である。また、光遅延素子 10A は、 $\varphi_U / \varphi_H = 1.0$ 、及び、第 1 の結合部 20 及び第 2 の結合部 22 における強度結合効率 $\kappa^2 = 50\%$ ($\theta / \pi = 0.25$) を満たすことにより、広い波長帯域において、波長に依らず光の群速度を $1/3$ に減少させることが可能である。

30

【0038】

なお、本発明の光遅延素子は、上述した (iii) の方策による構成をとることも可能である。即ち、還元導波路の屈折率及び / 又は断面積とリング共振器の導波路の屈折率及び / 又は断面積を異ならせる (β_i を調整する) ことによって、式 (1) を満たし、好ましくは、 $\varphi_U / \varphi_H = 1.0$ を満たすことができる。

【0039】

以下、本発明の更に別の実施形態に係る光遅延素子について説明する。図 6 は、一実施形態に係る光遅延素子を概略的に示す平面図である。図 6 に示すように、光遅延素子 10B は、入力ポート 12、出力ポート 14、還元導波路 16、複数のリング共振器 18、複数の第 1 の結合部 20、及び、複数の第 2 の結合部 22 を備えている。

40

【0040】

光遅延素子 10B では、一つのリング共振器 18、当該リング共振器 18 に付随する第 1 の結合部 20 及び第 2 の結合部 22、当該第 1 の結合部 20 から当該第 2 の結合部 22 までの間の光導波路 16 が、光遅延素子 10 と同様の構成を有するユニットとなっている。光遅延素子 10B は、複数のこのようなユニットを直列接続した形態をとっている。

【0041】

50

以下、具体的に説明する。光遅延素子 10 B では、複数の第 1 の結合部 20 及び複数の第 2 の結合部 22 によって、複数のリング共振器 18 のそれぞれが、二つの部分において、光導波路 16 と光学的に結合されている。複数の第 1 の結合部 20 及び複数の第 2 の結合部 22 には、光遅延素子 10 の第 1 の結合部 20 及び第 2 の結合部 22 と同じく、波長無依存の方向性結合器を用いることができる。即ち、複数の第 1 の結合部 20 及び複数の第 2 の結合部 22 は、波長に依らず、 $\theta / \pi = 0.25$ を満たしている。なお、複数の第 1 の結合部 20 及び複数の第 2 の結合部 22 は、波長に依らず、式 (3) を満たしていればよい。

【0042】

また、光遅延素子 10 B では、同じリング共振器 18 に対して設けられた第 1 の結合部 20 から第 2 の結合部 22 までの間の光導波路 16 の経路 16 a の位相変化量 φ_U と、当該第 1 の結合部 20 から当該第 2 の結合部 22 までの間のリング共振器 18 の導波路の経路 18 a の位相変化量 φ_H とは、 $\varphi_U / \varphi_H = 1.0$ を満たしている。なお、 φ_U / φ_H は、式 (1) を満たしていればよい。

【0043】

$\varphi_U / \varphi_H = 1.0$ を満たすために、光遅延素子 10 B では、光遅延素子 10 と同じく、経路 16 a と経路 18 a とが、方策 (i) に基づく構成をとっている。なお、経路 16 a と経路 18 a は、方策 (i) ~ (iii) の何れによる構成をとってもよい。

【0044】

かかる光遅延素子 10 B によれば、上述した光遅延素子 10 及び 10 A と同様に、広い波長帯域において光の群速度を減少させることが可能である。また、 $\varphi_U / \varphi_H = 1.0$ 、及び、 $\theta / \pi = 0.25$ を満たすことによって、波長に依らず、光の群速度を $1/3$ に減少させることが可能である。また、光遅延素子 10 B によれば、上述した複数のユニットのそれぞれの大きさを調整することによって、任意の遅延量を実現することが可能である。

【0045】

次に、本発明の光遅延素子の応用例について説明する。図 7 は、一実施形態に係る光遅延素子の応用例を概略的に示す図である。図 7 は、波長フィルタ等に用いることのできるマッハツェンダー干渉計の一部として光遅延素子 10 B を応用した例を示している。

【0046】

図 7 に示すマッハツェンダー干渉計 30 は、光遅延素子 10 B と、光導波路 32 と、を備えている。光遅延素子 10 B は、図 6 に示す光遅延素子 10 と同様のものであり、三つの上述したユニットを有するものである。このマッハツェンダー干渉計 30 では、光導波路 32 の入力端から入力した光の一部を光遅延素子 10 B に結合させ、光遅延素子 10 B を通過させることによって遅延させた光を、光導波路 32 において、当該光導波路 32 を導波した光と結合させて、光導波路 32 の出力端から出力することができる。

【0047】

光遅延素子 10 B を用いないマッハツェンダー干渉計では、光遅延素子 10 B に代えて、経路の長い光導波路を用いる必要がある。一方、マッハツェンダー干渉計 30 は、経路の長い光導波路に代えて光遅延素子 10 B を用いているので、そのサイズを小型化することが可能である。このように、本発明の光遅延素子は、種々の光学部品に利用することができ、それら光学部品を小型化することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0048】

【図 1】一実施形態に係る光遅延素子を概略的に示す平面図である。

【図 2】第 1 の結合部及び第 2 の結合部における強度結合効率をパラメータとして変化させた場合の、光遅延素子に入力する光の波長と当該光遅延素子の通過による相対的な位相変化量との関係を示すグラフである。

【図 3】 φ_U / φ_H をパラメータとした変化させた場合の、光遅延素子に入力する光の波長と当該光遅延素子の通過による相対的な位相変化量 φ との関係を示すグラフである。

10

20

30

40

50

【図４】一実施形態の光遅延素子、及び、当該光遅延素子からリング共振器を取り除いた素子のそれぞれについての波長分散を示す図である

【図５】一実施形態に係る光遅延素子を概略的に示す平面図である。

【図６】一実施形態に係る光遅延素子を概略的に示す平面図である。

【図７】一実施形態に係る光遅延素子の応用例を概略的に示す図である。

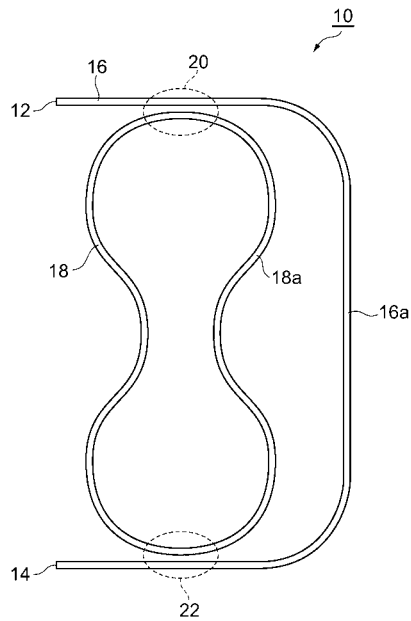
【符号の説明】

【 0 0 4 9 】

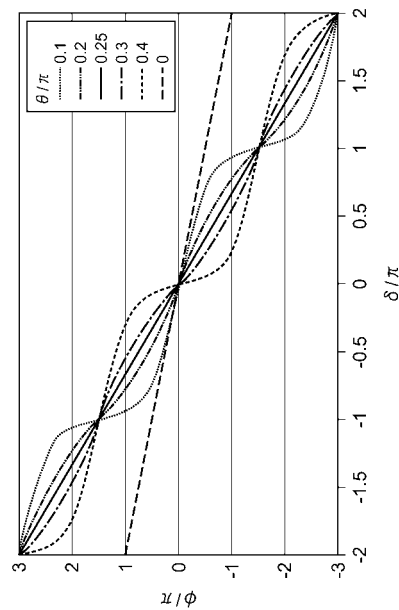
1 0 , 1 0 A , 1 0 B ... 光遅延素子、1 2 ... 入力ポート、1 4 ... 出力ポート、1 6 ... 光導波路（還元導波路）、1 6 a ... 経路（第１の結合部から第２の結合部までの間の光導波路 1 6 の経路）、1 8 ... リング共振器、1 8 a ... 経路（第１の結合部から第２の結合部までの間のリング共振器の導波路の経路）、2 0 ... 第１の結合部、2 2 ... 第２の結合部、3 0 ... マッハツェンダー干渉計、3 2 ... 光導波路。

10

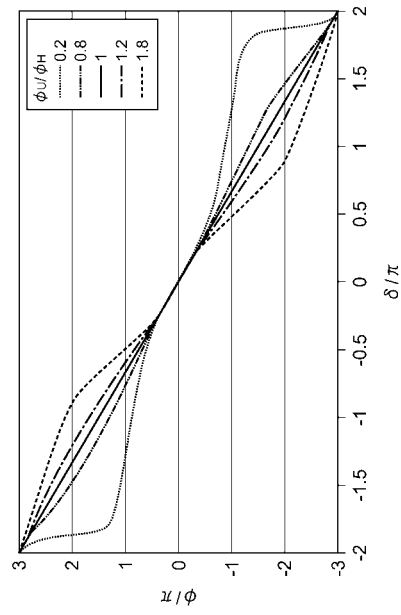
【図１】



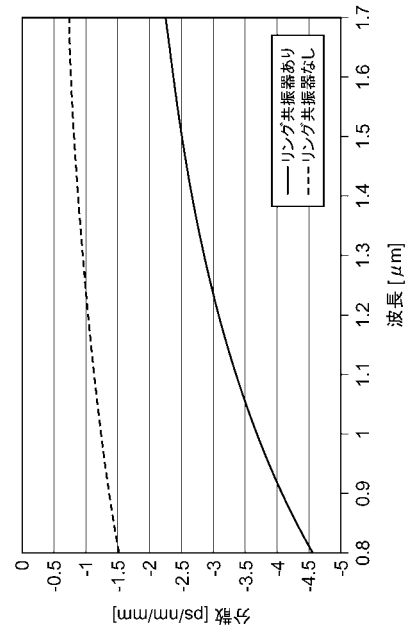
【図２】



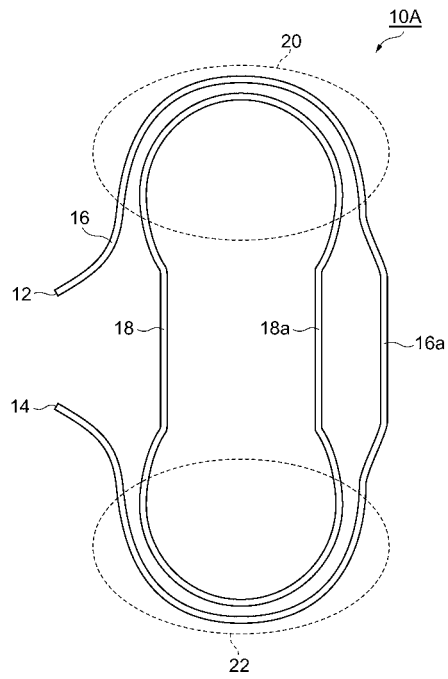
【図 3】



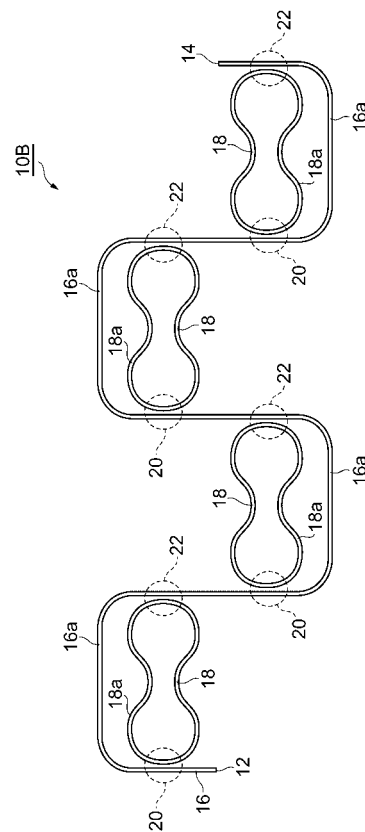
【図 4】



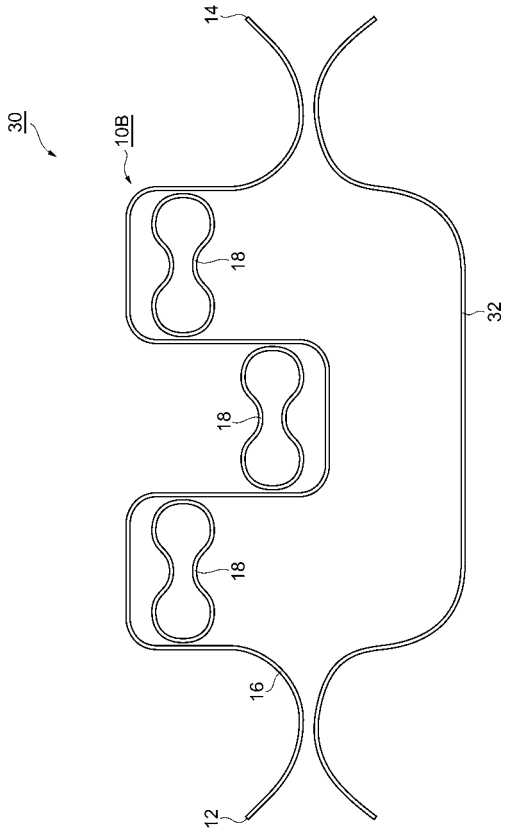
【図 5】



【図 6】



【 図 7 】



フロントページの続き

(72)発明者 河野 直哉

神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

F ターム(参考) 2H147 AB11 BA12 BD02 BD03 BE03 BE15 CA01 CD01 EA14A EA14B
FD20 GA10 GA22