

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7680693号  
(P7680693)

(45)発行日 令和7年5月21日(2025.5.21)

(24)登録日 令和7年5月13日(2025.5.13)

(51)国際特許分類 F I  
G 0 2 B 6/125(2006.01) G 0 2 B 6/125 3 0 1  
G 0 2 B 6/126(2006.01) G 0 2 B 6/126

請求項の数 1 (全9頁)

(21)出願番号	特願2023-564345(P2023-564345)	(73)特許権者	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(86)(22)出願日	令和3年12月1日(2021.12.1)	(74)代理人	110001243 弁理士法人谷・阿部特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/044134	(72)発明者	郷 隆司 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
(87)国際公開番号	WO2023/100297	(72)発明者	鈴木 賢哉 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
(87)国際公開日	令和5年6月8日(2023.6.8)	(72)発明者	山口 慶太 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
審査請求日	令和6年5月7日(2024.5.7)	(72)発明者	柳原 藍

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 導波路型光カブラ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

2つの方向性結合器の間に2本のアーム導波路を有するマッハツェンダ干渉計により構成された導波路型光カブラにおいて、

前記2つの方向性結合器の結合部における2本の導波路幅が互いに異なり、

前記2本のアーム導波路間に光路長差が設けられており、

前記2本のアーム導波路のうち、光路の長いアーム導波路の一部分の導波路幅が、光路の短いアーム導波路の導波路幅よりも広く、

前記2つの方向性結合器の前記結合部における前記2本の導波路幅のうちの幅の細い導波路が、前記2本のアーム導波路のうちの前記光路の長いアーム導波路と接続されていることを特徴とする導波路型光カブラ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光導波路デバイスに利用される光カブラに関する。

【背景技術】

【0002】

光カブラは、光機能デバイスを構成する上で、重要な回路要素である。導波路型光カブラとしては、2本の導波路を近接して延在させ、一方の導波路を伝搬する光フィールドの断熱的結合により、他方の導波路に光パワーを移す方向性結合器が知られている。しかし

ながら、光フィールドは、その波長によって導波路からの光の染み出し量が異なるため、その結合率（分岐比）に波長依存性を生じる。

#### 【0003】

図1に、従来の典型的な導波路型光カプラの波長特性を示す。この方向性結合器からなる導波路型光カプラは、およそ $1.53\ \mu\text{m}$ の波長で50%の分岐比、すなわち透過損失が3 dBとなるように設計されている。しかしながら、光通信で使われる波長帯、すなわち $1.3\ \mu\text{m}$ から $1.65\ \mu\text{m}$ の波長において、透過率 - 7 dB（分岐比20%）から - 1.6 dBまで、透過損失が変化している。このような波長依存性は、波長分割多重通信に光カプラを適用する場合に、波長チャネルごとの光パワーの差となって観測される。この光パワーの差分を、光通信システムとして補償する必要があり、システムを構築する上での課題となっている。

10

#### 【0004】

このような課題を解消するために、マッハツェンダ干渉計を用いて波長依存性を低減する波長無依存カプラ（WINC：Wavelength INdependent Coupler）が提案されている（例えば、非特許文献1参照）。WINCは、マッハツェンダ干渉計のアーム部を構成する2本の導波路に光路長差を設け、さらにマッハツェンダ干渉計を構成する2つの方向性結合器の結合率を適切に設定して、目的とする波長帯域においてフラットな結合特性を得ている。

#### 【0005】

図2に、従来のWINCの構成を示す。WINC10は、2つの方向性結合器11, 12の間に2本のアーム導波路13, 14を有している。アーム導波路13（長アーム）とアーム導波路14（短アーム）との間に光路長差  $L$  が設けられている。方向性結合器11, 12を構成している2本の導波路は、同じ導波路幅を有している。方向性結合器11の結合率  $\gamma_1$  と方向性結合器12の結合率  $\gamma_2$  とを適切に設定して、光通信で使われる波長帯（ $1.3\ \mu\text{m}$  -  $1.65\ \mu\text{m}$ ）の波長において、透過損失3 dB（分岐比50%）となるようにしている。なお、方向性結合器の結合率は、2本の導波路を近接させた結合部の長さ（結合長）、導波路の間隔、導波路幅によって決定される。

20

#### 【0006】

図3に、従来のWINCの波長特性を示す。上記のパラメータに基づいて、WINCの波長特性を計算した結果である。透過光としては、透過率 - 3 dBでフラットな特性であるが、TE偏波とTM偏波のそれぞれは、上記の波長帯域にわたって偏波依存性損失（PDL：Polarization Dependent Loss）を示している。この原因は、WINCを構成する方向性結合器の結合率に偏波依存性が存在するためである。TE偏波とTM偏波の差分であるPDT（Polarization Dependent Transmittance）は、この波長帯域にわたっておよそ0.1 dBの偏波依存性が存在する。

30

#### 【0007】

例えば、火炎堆積法などの高温の熱処理を経て作製される石英系平面光波回路によるWINCにおいて、方向性結合器の結合率の偏波依存性は、以下の原因が考えられる。すなわち、熱処理時の光導波路内部の応力に起因して、基板方向と基板に垂直な方向との間で内部応力に差を生じる。この内部応力の差によって、方向性結合器内部に複屈折を生じ、偏波依存性が発現する。一方、 $\text{LiNbO}_3$ などの強誘電体結晶による光導波路においても、結晶方位に基づいて複屈折を生じ、同様に偏波依存性を発現する。また、InPなどの光半導体導波路においても、結晶による導波路であるため、同様に偏波依存性を生じる。

40

#### 【先行技術文献】

#### 【非特許文献】

#### 【0008】

【文献】K. Jinguji ; N. Takato ; A. Sugita ; M. Kawachi, 「Mach-Zehnder interferometer type optical waveguide coupler with wavelength-flattened coupling ratio」、Volume 26, Issue 17, 16 August 1990, p. 1326-1327

#### 【発明の概要】

50

## 【 0 0 0 9 】

本発明の目的は、広い波長域で波長依存性、偏波依存性がなく、分岐比が一定に保たれる導波路型光カプラを提供することにある。

## 【 0 0 1 0 】

本発明は、このような目的を達成するために、2つの方向性結合器の間に2本のアーム導波路を有するマッハツェンダ干渉計により構成された導波路型光カプラにおいて、前記2つの方向性結合器の結合部における2本の導波路幅が互いに異なり、2本のアーム導波路間に光路長差が設けられており、2本のアーム導波路のうち、光路の長いアーム導波路の一部分の導波路幅が、光路の短いアーム導波路の導波路幅よりも広く、2つの方向性結合器の結合部における2本の導波路幅のうちの幅の細い導波路が、2本のアーム導波路のうちの光路の長いアーム導波路と接続されていることを特徴とする。

10

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 1 1 】

【 図 1 】 図 1 は、従来の導波路型光カプラの波長特性を示す図、

【 図 2 】 図 2 は、従来の W I N C の構成を示す図、

【 図 3 】 図 3 は、従来の W I N C の波長特性を示す図、

【 図 4 】 図 4 は、第 1 の実施形態にかかる W I N C の構成を示す図、

【 図 5 】 図 5 は、第 2 の実施形態にかかる W I N C の構成を示す図、

【 図 6 】 図 6 は、第 2 の実施形態にかかる W I N C の波長特性を示す図である。

## 【 発明を実施するための形態 】

20

## 【 0 0 1 2 】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳細に説明する。本実施形態では石英系光導波路を用いた例を示すが、導波路の材料を指定するものではない。石英系光導波路に限らず、シリコン ( S i ) 導波路、インジウムリン ( I n P ) 系導波路、高分子系導波路など他の材料系の導波路を用いた場合にも、本実施形態を適用することができる。また、具体的な導波路の設計例として、比屈折率差 が 2 % の導波路を取り上げて説明する。本実施形態は、これら導波路の基本パラメータに限定されるものではなく、他のパラメータにおいても同様の考え方を適用することができる。

## 【 0 0 1 3 】

W I N C は、2つの方向性結合器の間に2本のアーム導波路を有し、アーム導波路間に光路長差  $L$  が設けられている。上述したように、方向性結合器の結合率の波長依存性に起因して偏波依存性が存在する。そこで、W I N C としての偏波依存性を解消するために、マッハツェンダ干渉計のアーム導波路間の位相差に偏波依存性を持たせる。W I N C の伝達行列を以下に示す。マッハツェンダ干渉計を構成する第 1 の方向性結合器の伝達行列を  $C_1$  , アーム導波路部の伝達行列を  $A$  , 第 2 の方向性結合器の伝達行列を  $C_2$  としたとき、W I N C 全体の伝達行列  $M$  は、

30

## 【 数 1 】

$$M = C_2 \cdot A \cdot C_1$$

と表される。ここで  $C_1$  ,  $A$  ,  $C_2$  を、それぞれ従来の手法で設計する場合

40

## 【 数 2 】

$$C_1 = \begin{bmatrix} \cos \kappa z_1 & -j \sin \kappa z_1 \\ -j \sin \kappa z_1 & \cos \kappa z_1 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} \exp j\beta\Delta L & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C_2 = \begin{bmatrix} \cos \kappa z_2 & -j \sin \kappa z_2 \\ -j \sin \kappa z_2 & \cos \kappa z_2 \end{bmatrix}$$

50

【 0 0 1 4 】

ここで、 $\eta$  は方向性結合器の結合率、 $\kappa$  はアーム導波路の伝搬定数、 $L$  は2本のアーム導波路間の行路長差、 $z_1$ 、 $z_2$  は方向性結合器における結合部の結合長である。

【 0 0 1 5 】

W I N C の第1の方向性結合器の一方の入力導波路に光信号を導入する場合、入力ベクトルは  $[1, 0]^t$  であるから、上式を用いて、W I N C の分岐強度（結合率） $I$  は、

【数3】

$$I = \sin^2 \kappa z_2 \cos^2 \kappa z_1 + \cos^2 \kappa z_2 \sin^2 \kappa z_1 - 2 \sin \kappa z_2 \cos \kappa z_1 \cos \kappa z_2 \sin \kappa z_1 \cos \beta \Delta L \quad (1)$$

で表される。したがって、方向性結合器の結合率  $\eta$  に偏波依存性が存在すると、W I N C としての分岐比にも偏波依存性が生じることになる。

10

【 0 0 1 6 】

そこで、W I N C としての偏波依存性を解消するために、非対称方向性結合器を利用する方法と、2本のアームの導波路の幅に差を設ける方法とがあり、以下に順に説明する。

【 0 0 1 7 】

[ 第1の実施形態 ]

図4に、第1の実施形態にかかるW I N C の構成を示す。図4(a)に全体構成を示し、図4(b)に方向性結合器の拡大図を示す。W I N C 20は、2つの方向性結合器21、22の間に2本のアーム導波路23、24を有するマツハツェンダ干渉計により構成されている。アーム導波路23（長アーム）とアーム導波路24（短アーム）との間に光路長差  $L$  が設けられている。方向性結合器21、22は非対称方向性結合器であり、結合部における2本の導波路幅が異なっている。図4(b)に示すように、長アームを構成するアーム導波路23の側の導波路幅を  $W_1$ 、短アームを構成するアーム導波路24の側の導波路幅を  $W_2$  としている。

20

【 0 0 1 8 】

方向性結合器を構成する2本の導波路の導波路幅が同じである対称方向性結合器は、その2本の出力導波路から出力される光信号の位相関係は常に  $90^\circ$  である。一方、非対称方向性結合器は、その出力位相が次式の伝達行列により求められる位相差を有する。すなわち、伝達行列  $C$  は、

【数4】

$$C = \begin{bmatrix} \cos qz + j \frac{\delta}{q} \sin qz & -j \frac{\kappa}{q} \sin qz \\ -j \frac{\kappa}{q} \sin qz & \cos qz - j \frac{\delta}{q} \sin qz \end{bmatrix} \quad (2)$$

30

$$q = \sqrt{\kappa^2 + \delta^2}, \quad \delta = \frac{\beta_1 - \beta_2}{2}$$

であり、ここで、 $\eta$  は結合率、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$  は方向性結合器を構成する2本の導波路の伝搬定数である。また、 $z$  は方向性結合器の結合長である。結合率  $\eta$  は、当該波長において光方向性結合器の一本の入力導波路に入射した光信号が、他方の導波路に100%結合する結合部の長さを完全結合長  $L_c$  としたとき、

40

【数5】

$$L_c = \frac{\pi}{2\kappa}$$

なる関係を有する。

【 0 0 1 9 】

通常用いられる対称な方向性結合器では、上式において  $\beta_1 = \beta_2$ 、すなわち、 $\delta = 0$  であるため、伝達行列  $C$  は、

【数6】

50

$$C = \begin{bmatrix} \cos \kappa z & -j \sin \kappa z \\ -j \sin \kappa z & \cos \kappa z \end{bmatrix}$$

と簡略化されて、2本の出力導波路から出力される光信号の位相関係は、常に  $\pi/2$  [rad] に固定される。

【0020】

しかしながら、図4に示すように、方向性結合器の結合部を構成する2本の光導波路の幅が非対称である場合、両者の伝搬定数  $\kappa_1$ 、 $\kappa_2$  は異なる。このため、式(2)から求められるように位相関係  $\phi$  は、たとえば、

【数7】

$$\phi = \text{atan} \left[ -j \frac{\kappa}{q} \sin qz \right] - \text{atan} \frac{j \frac{\delta}{q} \sin qz}{\cos qz}$$

$$= \frac{\pi}{2} - \text{atan} \frac{j \frac{\delta}{q} \sin qz}{\cos qz}$$

となって、 $\delta$  によって変化する。

【0021】

結合部の光導波路の幅  $W_1$ 、 $W_2$  を非対称にして、両者の伝搬定数  $\kappa_1$ 、 $\kappa_2$  が異なるようにし、出力側の導波路から出てくる光の位相関係を  $\pi/2$  から変化させる。上述したように、結合率は、偏波によって異なるため、発生する位相差にも偏波依存性を持たせることができる。この位相関係を調整することによって、式(1)の右辺第1～3項の方向性結合器の結合部の偏波依存性を補償して、WINCとしての偏波依存性を解消する。

【0022】

なお、第1の実施形態では、非対称方向性結合器において、長アーム側の導波路幅を狭く、短アーム側の導波路幅を広くしている。しかし、アーム導波路間の光路長差、方向性結合器の結合率の設定によっては、逆の場合もあり、2本の導波路幅が互いに異なっていればよい。

【0023】

[第2の実施形態]

図5に、第2の実施形態にかかるWINCの構成を示す。図5(a)に全体構成を示し、図5(b)に方向性結合器の拡大図を示す。WINC30は、2つの方向性結合器31、32の間に2本のアーム導波路33、34を有するマッハツェンダ干渉計により構成されている。アーム導波路33(長アーム)とアーム導波路34(短アーム)との間に光路長差  $L$  が設けられている。さらに、アーム導波路33の一部分が、2本のアームの導波路の幅  $W$  よりも太い導波路幅  $W_B$  を有している。方向性結合器31、32は、第1の実施形態と同様に、非対称方向性結合器であり、それぞれ長アーム側の導波路幅を  $W_1$ 、短アーム側の導波路幅を  $W_2$  としている。

【0024】

式(1)において、WINCとしての偏波依存性を解消するためには、アーム部に起因する位相項、すなわち右辺第3項の  $\cos L$  に偏波依存性を持たせて補償する方法も有効である。 $\cos L$  の位相項に偏波依存性を持たせて、右辺第1～3項の方向性結合器の結合部の偏波依存性と合わせて、トータルで補償し、WINCとしての偏波依存性を解消する。第2の実施形態では、非対称方向性結合器を用いると共に、2本のアームの導波路の幅に差を設けて、伝搬定数  $\kappa$  に偏波依存性を持たせている。

【0025】

なお、第2の実施形態では、長アーム側の導波路幅を通常の導波路幅より広くしているが、短アーム側の導波路幅を通常の導波路幅より狭くしてもよい。また、アーム導波路間

10

20

30

40

50

の光路長差、方向性結合器の結合率の設定によっては、それぞれ広狭の関係が逆になる場合もあり、2本の導波路幅が偏波依存性を解消するように互いに異なっていればよい。

【0026】

図6に、第2の実施形態にかかるWINCの波長特性を示す。2つの方向性結合器31, 32を構成する導波路の幅 $W_1$ ,  $W_2$ を非対称にし、長アーム側の導波路幅を $W_1$ にして、アーム部に起因する位相項に偏波依存性を持たせた場合の波長特性を計算した結果である。図3と比較して分かるように、TE偏波とTM偏波のそれぞれPDLおよびPDTは、光通信で使われる波長帯の波長において、大幅に改善されていることがわかる。

【0027】

第1および第2の実施形態によれば、広い波長域で波長依存性を有し、かつ偏波依存性が抑制され、分岐比が一定に保たれる導波路型光カプラを提供することができる。

10

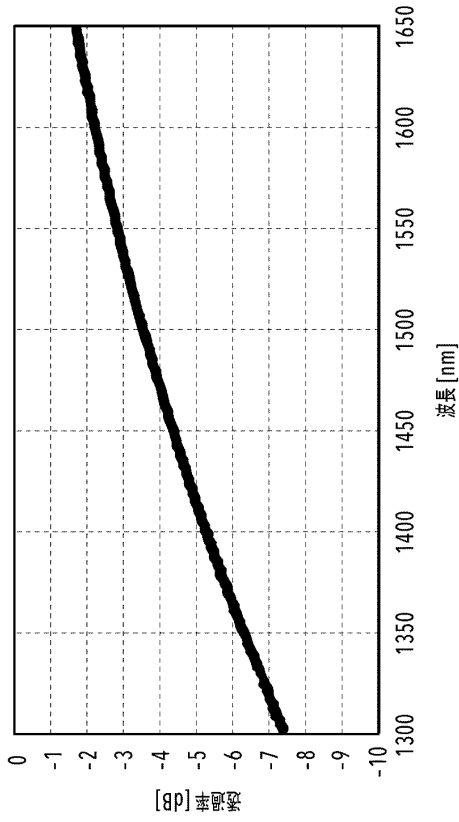
20

30

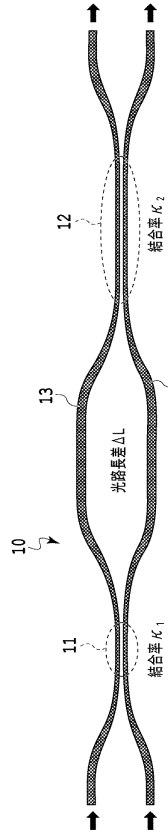
40

50

【図面】  
【図 1】



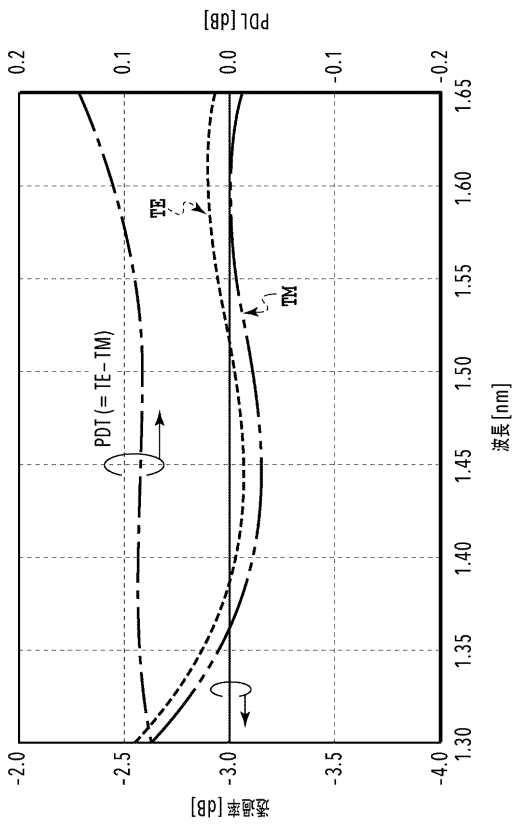
【図 2】



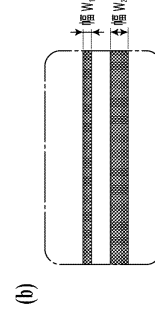
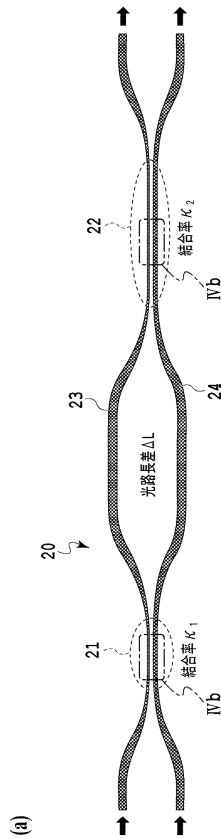
10

20

【図 3】



【図 4】

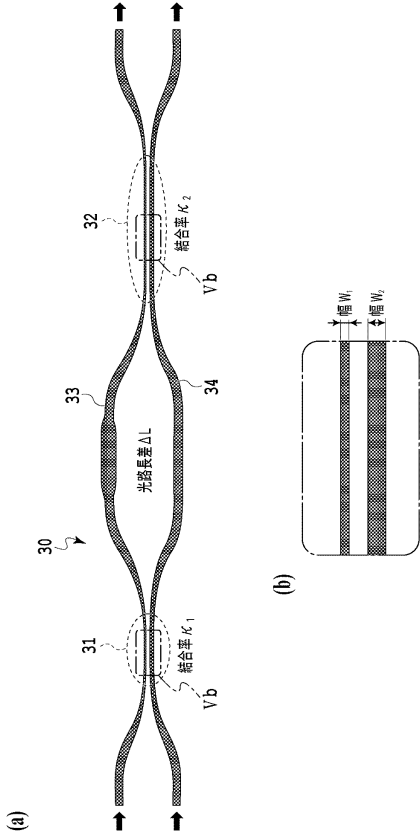


30

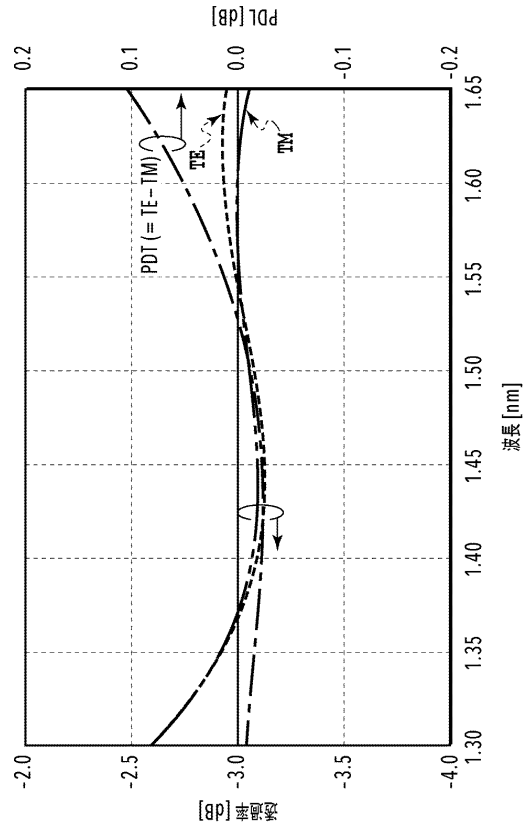
40

50

【図5】



【図6】



---

フロントページの続き

東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 坂上 大貴

- (56)参考文献 特開平06-308338(JP,A)  
米国特許第10935726(US,B1)  
特開2013-068909(JP,A)  
特開2018-004692(JP,A)  
特開2018-036582(JP,A)  
特開2014-170076(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
G02B 6/12 - 6/14