

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5034026号
(P5034026)

(45) 発行日 平成24年9月26日(2012.9.26)

(24) 登録日 平成24年7月13日(2012.7.13)

(51) Int.Cl. F I
G O 1 C 19/66 (2006.01) G O 1 C 19/66

請求項の数 4 (全 9 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2007-209339 (P2007-209339)</p> <p>(22) 出願日 平成19年8月10日 (2007.8.10)</p> <p>(65) 公開番号 特開2009-42153 (P2009-42153A)</p> <p>(43) 公開日 平成21年2月26日 (2009.2.26)</p> <p>審査請求日 平成22年7月1日 (2010.7.1)</p> <p>(出願人による申告) 平成19年度独立行政法人情報通信研究機構、研究テーマ「シームレスな位置情報検出を実現する高精度角速度センサチップの研究開発」に関する委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願</p>	<p>(73) 特許権者 393031586 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2</p> <p>(74) 代理人 100107641 弁理士 鎌田 耕一</p> <p>(74) 代理人 100115152 弁理士 黒田 茂</p> <p>(72) 発明者 稲垣 恵三 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内</p> <p>(72) 発明者 山本 貴之 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内</p>
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバジャイロ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

環状に配置された光ファイバと、
 前記光ファイバの両端に結合され、前記光ファイバ内を互いに逆方向に進行するレーザー光 L_1 および L_2 を発生させるレーザー光励起手段と、
 前記光ファイバから、前記レーザー光 L_1 の一部および前記レーザー光 L_2 の一部を引き出す結合手段と、
 引き出された前記レーザー光 L_1 をレーザー光 L_{11} とレーザー光 L_{12} とに分岐する第1の分岐器と、
 引き出された前記レーザー光 L_2 をレーザー光 L_{21} とレーザー光 L_{22} とに分岐する第2の分岐器と、
 前記レーザー光 L_{11} と前記レーザー光 L_{21} とを結合する第1の結合器と、
 前記レーザー光 L_{12} と前記レーザー光 L_{22} とを結合する第2の結合器と、
 結合された前記レーザー光 L_{11} と前記レーザー光 L_{21} とを検波する第1の光検出器と、
 結合された前記レーザー光 L_{12} と前記レーザー光 L_{22} とを検波する第2の光検出器とを備え、
 前記第1の光検出器で検出される第1の信号の位相と、前記第2の光検出器で検出される第2の信号の位相との差が、 $10^\circ \sim 170^\circ$ または $-10^\circ \sim -170^\circ$ の範囲にある光ファイバジャイロ。

【請求項2】

前記第1の信号の位相と前記第2の信号の位相との差が、 $45^\circ \sim 135^\circ$ または $-45^\circ \sim -135^\circ$ の範囲にある請求項1に記載の光ファイバジャイロ。

【請求項3】

前記第1の分岐器と前記第1の結合器との間の光路、前記第1の分岐器と前記第2の結合器との間の光路、前記第2の分岐器と前記第1の結合器との間の光路、および前記第2の分岐器と前記第2の結合器との間の光路から選ばれる少なくとも1つの光路に、可変位相器を備える請求項1または2に記載の光ファイバジャイロ。

【請求項4】

前記第1の信号の位相と前記第2の信号の位相との差を制御するために屈折率が変化させられた領域を、前記第1の分岐器と前記第1の結合器との間の光路、前記第1の分岐器と前記第2の結合器との間の光路、前記第2の分岐器と前記第1の結合器との間の光路、および前記第2の分岐器と前記第2の結合器との間の光路から選ばれる少なくとも1つの光路に備える請求項1または2に記載の光ファイバジャイロ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバジャイロに関する。

【背景技術】

【0002】

回転する物体の回転角速度を検出するためのジャイロの中でも、光ジャイロは精度が高いという特徴を有する。従来の光ジャイロの一例では、多角環状の光路を互いに逆方向に進む2つのレーザ光の周波数差を用いて角速度の検出が行われる。このような光ジャイロとして、希ガスレーザを用いた光ジャイロが提案されている（たとえば特許文献1参照）。これらの光ジャイロでは、同じ経路を互いに逆方向に周回するレーザ光を取り出して干渉縞を形成させる。しかし、希ガスレーザを用いた光ジャイロは、駆動に高電圧が必要で消費電力が大きいという課題、および、装置が大きく熱に弱いという課題を有していた。

【0003】

このような課題を解決するジャイロとして、光ファイバと半導体レーザとを用いた光ファイバジャイロが提案されている（たとえば特許文献2参照）。光ファイバジャイロでは、リング状の光ファイバを互いに逆方向に進行する2つのレーザ光のビート周波数から回転角速度を求める。

【特許文献1】特開平11-351881号公報

【特許文献2】特開平7-146150号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、従来の光ファイバジャイロでは、回転の方向を識別することが難しかった。

【0005】

このような状況において、本発明の目的の1つは、簡単な構成で回転角速度と回転方向とを求めることができる光ファイバジャイロを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記目的を達成するために、本発明の光ファイバジャイロは、環状に配置された光ファイバと、前記光ファイバの両端に結合され、前記光ファイバ内を互いに逆方向に進行するレーザ光 L_1 および L_2 を発生させるレーザ光励起手段と、前記光ファイバから、前記レーザ光 L_1 の一部および前記レーザ光 L_2 の一部を引き出す結合手段と、引き出された前記レーザ光 L_1 をレーザ光 L_{11} とレーザ光 L_{12} とに分岐する第1の分岐器と、引き出された前記レーザ光 L_2 をレーザ光 L_{21} とレーザ光 L_{22} とに分岐する第2の分岐器と、前記レーザ光 L_{11} と前記レーザ光 L_{21} とを結合する第1の結合器と、前記レーザ光 L_{12} と前記レーザ光 L_{22} とを結合する第2の結合器と、結合された前記レーザ光 L_{11} と前記レーザ光 L_{21} と

10

20

30

40

50

を検波する第1の光検出器と、結合された前記レーザ光 L_{12} と前記レーザ光 L_{22} とを検波する第2の光検出器とを備え、前記第1の光検出器で検出される第1の信号の位相と、前記第2の光検出器で検出される第2の信号の位相との差が、 $10^\circ \sim 170^\circ$ または $-10^\circ \sim -170^\circ$ の範囲にある。

【発明の効果】

【0007】

本発明の光ファイバジャイロによれば、回転角速度と回転方向とを、簡単な構成で求めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

以下、本発明の実施形態について説明する。なお、本発明は、以下の実施形態に限定されない。以下の説明では、特定の数値や特定の材料を例示する場合があるが、本発明の効果が得られる限り、他の数値や他の材料を適用してもよい。

【0009】

[光ファイバジャイロ]

本発明の光ファイバジャイロは、光ファイバ、レーザ光励起手段、結合手段、第1および第2の分岐器、第1および第2の結合器、ならびに、第1および第2の光検出器を備える。

【0010】

光ファイバは、環状に配置されている。環状に配置された光ファイバは、円環状に配置された光ファイバであってもよいし、コイル状に巻かれた光ファイバであってもよい。

【0011】

レーザ光励起手段は、環状の光ファイバの両端に結合されている。レーザ光励起手段は、光ファイバ内を互いに逆方向に進行するレーザ光 L_1 および L_2 を発生させる。レーザ光励起手段には、半導体光増幅器(SOA)として知られている素子を用いることができる。半導体光増幅器には、たとえば、直線状のキャビティを有する半導体レーザ素子と同じ構造を有する素子を用いることができる。半導体光増幅器の好ましい一例は、多重量子井戸構造を有する活性層を備える。

【0012】

結合手段は、環状に配置された光ファイバから、レーザ光 L_1 の一部およびレーザ光 L_2 の一部を引き出す。結合手段は、1つの結合器で構成されてもよいし、2つの結合器で構成されてもよい。

【0013】

第1の分岐器は、引き出されたレーザ光 L_1 をレーザ光 L_{11} とレーザ光 L_{12} とに分岐する。第2の分岐器は、引き出されたレーザ光 L_2 をレーザ光 L_{21} とレーザ光 L_{22} とに分岐する。第1の結合器は、レーザ光 L_{11} とレーザ光 L_{21} とを結合する。第2の結合器は、レーザ光 L_{12} と前記レーザ光 L_{22} とを結合する。

【0014】

第1の光検出器は、結合されたレーザ光 L_{11} とレーザ光 L_{21} とを検波(2乗検波)する。レーザ光 L_{11} の発振周波数とレーザ光 L_{21} の発振周波数とが異なる場合、第1の光検出器では、ビート信号が検出される。第1の光検出器には、フォトダイオードなどの受光素子を用いることができる。

【0015】

第2の光検出器は、結合されたレーザ光 L_{12} とレーザ光 L_{22} とを検波(2乗検波)する。レーザ光 L_{12} の発振周波数とレーザ光 L_{22} の発振周波数とが異なる場合、第2の光検出器では、ビート信号が検出される。第2の光検出器には、フォトダイオードなどの受光素子を用いることができる。

【0016】

レーザ光 L_{11} の発振周波数とレーザ光 L_{12} の発振周波数とは同じであり、レーザ光 L_{21} の発振周波数とレーザ光 L_{22} の発振周波数とは同じである。そのため、第1の光検出器で

10

20

30

40

50

観測されるビート周波数と、第2の光検出器で観測されるビート周波数とは、実質的に同じである。ただし、第1の光検出器で観測される信号の位相と、第2光検出器で観測される信号の位相とは、任意にずらすことが可能である。

【0017】

本発明の光ファイバジャイロでは、第1の光検出器で検出される第1の信号の位相と、第2の光検出器で検出される第2の信号の位相とのずれが、 0° および 180° ではない。具体的には、第1の信号の位相と第2の信号の位相との差は、 $10^\circ \sim 170^\circ$ または $-10^\circ \sim -170^\circ$ の範囲にある。すなわち、第1の光検出器で検出される第1のビート信号の位相と第2の光検出器で検出される第2のビート信号の位相との差が $10^\circ \sim 170^\circ$ または $-10^\circ \sim -170^\circ$ の範囲になるように、本発明の光ファイバジャイロは設計されている。

10

【0018】

第1の光検出器で検出される第1の信号の位相と、第2の光検出器で検出される第2の信号の位相との差は、 $45^\circ \sim 135^\circ$ または $-45^\circ \sim -135^\circ$ の範囲にあることが好ましく、 $80^\circ \sim 100^\circ$ または $-80^\circ \sim -100^\circ$ の範囲にあることがより好ましい。第1の信号の位相と第2の信号の位相との差が 90° または -90° に近いほど、測定精度を向上できる。

【0019】

本発明の光ファイバジャイロは、第1の分岐器と第1の結合器との間の光路、第1の分岐器と第2の結合器との間の光路、第2の分岐器と第1の結合器との間の光路、および第2の分岐器と第2の結合器との間の光路から選ばれる少なくとも1つの光路に、第1の信号の位相と第2の信号の位相との差を制御するための位相制御手段を備えてもよい。位相制御手段には、たとえば、可変位相器を用いることができる。

20

【0020】

本発明の光ファイバジャイロは、第1の信号の位相と第2の信号の位相との差を制御するために屈折率が変化させられた領域を、第1の分岐器と第1の結合器との間の光路、第1の分岐器と第2の結合器との間の光路、第2の分岐器と第1の結合器との間の光路、および第2の分岐器と第2の結合器との間の光路から選ばれる少なくとも1つの光路に備えてもよい。

【0021】

本発明の光ファイバジャイロでは、第1の分岐器と第1の結合器との間の光路、第1の分岐器と第2の結合器との間の光路、第2の分岐器と第1の結合器との間の光路、および第2の分岐器と第2の結合器との間の光路が光導波路で形成されていてもよい。この場合、4つの光導波路の光路長は、第1の信号の位相と第2の信号の位相との差が所定の値となるように調整されていてもよい。4つの光導波路の光路長を制御する方法の一例については後述する。

30

【0022】

[光ファイバジャイロの一例]

本発明の光ファイバジャイロの一例の構成を、図1に模式的に示す。図1の光ファイバジャイロは、環状の光ファイバ11と、光ファイバ11の両端に結合された半導体光増幅器12と、結合器13と、光ファイバ14~20と、分岐器21および22と、可変位相器23と、結合器24および25と、フォトダイオード26および27とを備える。

40

【0023】

環状の光ファイバ11および半導体光増幅器12は、リング共振器30を構成する。なお、光ファイバ11は、コイル状に巻かれていてもよい。半導体光増幅器12は、リング共振器30内を時計回りに伝搬するレーザ光 L_1 と、反時計回りに伝搬するレーザ光 L_2 とを発生させる。それらのレーザ光の一部は、結合器13を介して光ファイバ14に伝搬する。

【0024】

光ファイバ14に伝搬したレーザ光 L_1 は、分岐器21によってレーザ光 L_{11} とレーザ

50

光 L_{12} とに分岐される。光ファイバ 14 に伝搬したレーザ光 L_2 は、分岐器 22 によってレーザ光 L_{21} とレーザ光 L_{22} とに分岐される。レーザ光 L_{11} 、 L_{12} 、 L_{21} および L_{22} は、それぞれ、光ファイバ 15、17、16 および 18 内を伝搬する。レーザ光 L_{11} および L_{21} は、結合器 24 で結合されて光ファイバ 19 内を伝搬し、フォトダイオード 26 で検波される。レーザ光 L_{12} および L_{22} は、結合器 25 で結合されて光ファイバ 20 内を伝搬し、フォトダイオード 27 で検波される。

【0025】

フォトダイオード 26 の出力電流 i_1 を基準としたときのフォトダイオード 27 の出力電流 i_2 は、以下の式 (1) で表される。

$$i_2 = I_0 \cos(kP + 2\pi ft + \phi) \cdots (1)$$

10

【0026】

式 (1) 中、 I_0 は、振幅を表す。 k は、波数を表す。 P は、光路長の差を表す。結合器 13 ~ 分岐器 21 ~ フォトダイオード 26 までの光路長を P_{11} とし、結合器 13 ~ 分岐器 21 ~ フォトダイオード 27 までの光路長を P_{12} とし、結合器 13 ~ 分岐器 22 ~ フォトダイオード 26 までの光路長を P_{21} とし、結合器 13 ~ 分岐器 22 ~ フォトダイオード 27 までの光路長を P_{22} としたときに、 $P = (P_{12} - P_{22}) - (P_{11} - P_{21})$ で表される。 f は、レーザ光 L_1 とレーザ光 L_2 との周波数差であり、符号を含む。 t は、時間を表す。 ϕ は固定の初期位相差である。 $[kP + \phi]$ は、フォトダイオード 26 で検出される信号の位相と、フォトダイオード 27 で検出される信号の位相との差を示している。

20

【0027】

$kP + \phi = 90^\circ$ であるときには、式 (1) は以下の式で表される。

$$i_2 = -I_0 \sin(2\pi ft)$$

【0028】

また、 $kP + \phi = -90^\circ$ であるときには、式 (1) は以下の式で表される。

$$i_2 = I_0 \sin(2\pi ft)$$

【0029】

このとき、 f の符号に応じて、 i_1 を基準とする i_2 の符号が変化する。そのため、 $[kP + \phi] = \pm 90^\circ$ の場合、フォトダイオード 26 の出力とフォトダイオード 27 の出力とを検波することによって、 f の符号が正であるか負であるかを判断できる。その f の符号から、回転方向を判断できる。

30

【0030】

なお、 $[kP + \phi]$ は、 $\pm 90^\circ$ であることが好ましいが、 $\pm 90^\circ$ 以外であっても、 0° および 180° でなければ、回転方向を判断することが可能である。 $[kP + \phi]$ の値は、可変位相器 23 によって光路長 P_{22} を変化させることによって制御できる。

【0031】

2つのフォトダイオードで検出される信号の位相差を制御することによって f の符号を判断できるかどうかを、実験によって確認した。まず、図 2 に示す実験装置を作製した。この装置では、リング共振器 30 の代わりに、コントローラ 31 からレーザ光 L_1 および L_2 を伝搬させる。コントローラ 31 は、レーザ光 L_1 および L_2 の発信周波数差を変化させることができる。

40

【0032】

可変位相器 23 の制御電圧を変化させたときの、 i_1 を基準とした i_2 の位相特性を図 3 に示す。ここで、レーザ光 L_1 および L_2 の発信周波数差 f を、 $\pm 20 \text{ MHz}$ とした。A 点では、 f が $+20 \text{ MHz}$ の時の i_2 の位相は、 i_1 の位相に比べて約 -90° であった。また、A 点では、 f が -20 MHz の時の i_2 の位相は、 i_1 の位相に比べて約 $+90^\circ$ であった。B 点では、 f が $+20 \text{ MHz}$ の時の i_2 の位相は、 i_1 の位相に比べて約 $+90^\circ$ であった。また、B 点では、 f が -20 MHz の時の i_2 の位相は、 i_1 の位相に比べて約 -90° であった。このように、A 点および B 点では、 f が $+20 \text{ MHz}$ の時の位相と f が -20 MHz の時の位相との差は、最大の 180° となった。一方、C 点

50

では、両者の位相差は 0° であった。

【0033】

次に、A点、B点およびC点の制御電圧を印加した状態で、発信周波数差 f を変化させ、 i_1 を基準とした i_2 の位相特性を測定した。測定結果を、図4に示す。A点およびB点の制御電圧を印加した状態では、 f の符号に応じて、 i_1 を基準とした i_2 の位相の符号が変化した。一方、C点では、 i_1 を基準とした i_2 の位相の符号の変化を検出することは困難であった。このように、光路長 P_{22} を適切な値とすることによって、発信周波数差 f の符号を検出することができた。 f の符号は、回転方向に応じて変化する。したがって、本発明によれば、回転角速度とともに回転方向を求めることが可能である。

【0034】

なお、回転角速度は、フォトダイオード26およびフォトダイオード27の少なくとも一方の信号のビート周波数から求めることができる。一方、回転方向は、フォトダイオード26およびフォトダイオード27の両方の信号を比較することによって求められる。フォトダイオード26および27は信号処理装置（図示せず）に接続されており、フォトダイオード26および27の出力信号は、信号処理装置で処理される。信号処理装置は、演算処理装置とメモリとを備え、入力された信号に基づいて、光ファイバジャイロの回転角速度および回転方向を求める。

【0035】

上記一例では、光路長 P_{22} を変化させることによって、フォトダイオード26の信号の位相とフォトダイオード27の信号の位相との差を制御する例について説明した。しかし、本発明は、フォトダイオード26で検出される信号の位相と、フォトダイオード27で検出される第2の信号の位相との差が、所定の角度となる限り、 P_{11} 、 P_{12} 、 P_{21} および P_{22} から選ばれるいずれの光路長を制御してもよい。

【0036】

また、上記一例では、可変位相器を用いて位相差を制御する例について説明したが、他の方法によって位相を制御してもよい。たとえば、光路の一部の屈折率を変化させることによって信号の位相差を制御してもよい。光路の一部の屈折率を変化させる方法としては、たとえば、光や電子線を当てると屈折率が変化する材料を用いて導波路の一部または全部を形成し、そのうちの一部の屈折率を変化させる方法が挙げられる。たとえば、光導波路をGeドープ石英系ガラスで作製し、その一部にレーザー光を照射することによってその部分の屈折率を増加させることができる（たとえば特開2000-249859号公報参照）。また、ガラスに電子線を照射することによって、ガラスの屈折率を増加させることも可能である。屈折率が変化する材料は、無機材料であってもよいし、有機材料であってもよい。屈折率が変化する材料としては、たとえば、Ge・BドープSiO₂や、B₂O₃や、カルコゲナイド系材料が挙げられる。

【0037】

なお、電気光学制御を用いる場合などで偏波依存性がある場合には、偏波保持ファイバ（PMF）などを用いて光路を形成すればよい。一方、電気光学制御を用いる場合でもブラーナ電極を用いたもののように偏波依存性がない場合には、シングルモードファイバ（SMF）などを用いて光路を形成すればよい。

【0038】

また、上記一例では、第1および第2の分岐器から第1および第2の結合器までの光路に光ファイバを用いる場合について説明したが、光ファイバの代わりに光導波路を用いてもよい。そのような場合の光路の一例を、図5(a)に模式的に示す。

【0039】

図5(a)の光導波路は、たとえば、立方体状の石英ガラス51中に形成される。光導波路52には、レーザー光 L_1 が入力される。光導波路53には、レーザー光 L_2 が入力される。光導波路52は光導波路54および55に分岐され、光導波路53は光導波路56および57に分岐される。4つの光導波路54～57は、石英ガラス51の一面51aで反射されるように形成されている。光導波路54と光導波路56とは光導波路58に結合され

10

20

30

40

50

、光導波路 5 5 と光導波路 5 7 とは光導波路 5 9 に結合される。光導波路 5 8 および 5 9 を伝搬するレーザー光は、それぞれ、フォトダイオードに入力される。4 つの光導波路 5 4 ~ 5 7 のそれぞれの光路長は、石英ガラス 5 1 の一面 5 1 a を研磨することによって調整できる。たとえば、図 5 (b) に示すように、一面 5 1 a の全体を斜めに研磨してもよい。光導波路の幅はたとえば 1 0 μ m 程度であり、研磨する深さはたとえば 1 μ m 未満であるため、一面 5 1 a を研磨しても、光導波路の機能を維持することが可能である。

【 0 0 4 0 】

以上、本発明の実施形態について例を挙げて説明したが、本発明は上記実施形態に限定されず、本発明の技術的思想に基づいて他の実施形態に適用できる。

【産業上の利用可能性】

10

【 0 0 4 1 】

本発明の光ファイバジャイロは、物体の回転の検出が必要な様々な機器に適用できる。代表的な例としては、姿勢制御装置やナビゲーション装置、手ぶれ補正装置に利用できる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 2 】

【図 1】本発明の光ファイバジャイロの一例の構成を模式的に示す図である。

【図 2】実験で用いた装置の構成を模式的に示す図である。

【図 3】実験結果を示すグラフの一例である。

【図 4】実験結果を示すグラフの他の一例である。

20

【図 5】本発明の光ファイバジャイロの他の一例の一部の構成を模式的に示す図である。

【符号の説明】

【 0 0 4 3 】

1 0 光ファイバジャイロ

1 1、1 4、1 5、1 6、1 7、1 8、1 9、2 0 光ファイバ

1 2 半導体光増幅器

1 3、2 4、2 5 結合器

2 1、2 2 分岐器

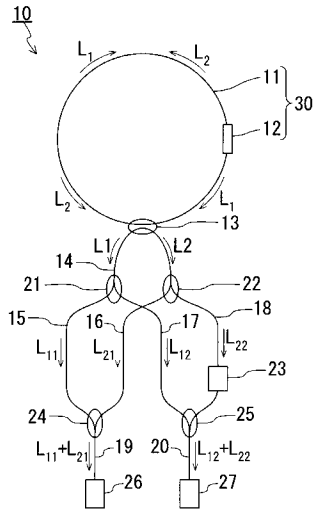
2 6、2 7 フォトダイオード

5 2 ~ 5 9 光導波路

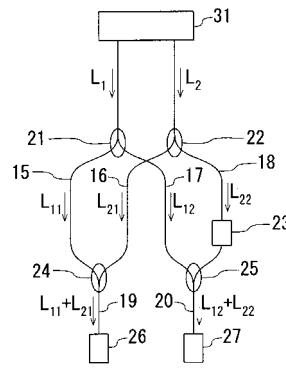
30

L₁、L₂、L₁₁、L₁₂、L₂₁、L₂₂ レーザ光

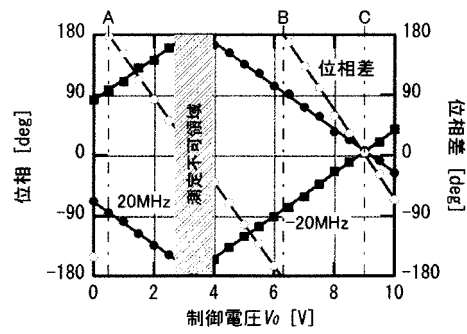
【 図 1 】



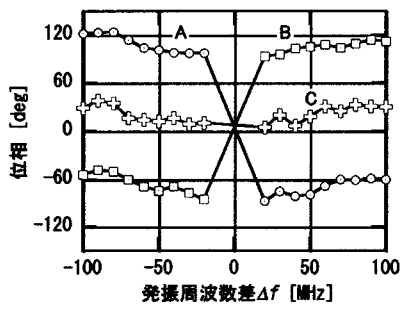
【 図 2 】



【 図 3 】

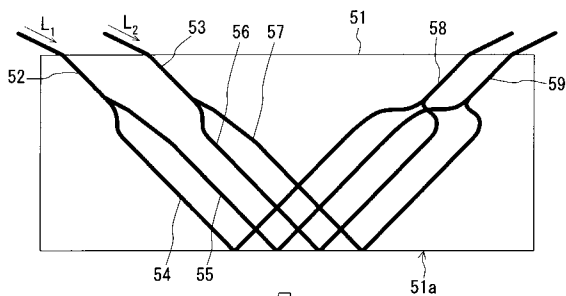


【 図 4 】

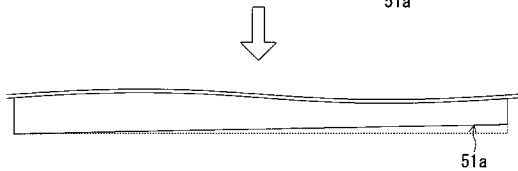


【 図 5 】

(a)



(b)



フロントページの続き

(72)発明者 原山 卓久

京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内

審査官 櫻井 健太

(56)参考文献 特開平7-146150(JP,A)
特開平4-270912(JP,A)
特開平2-147908(JP,A)
特開昭63-029211(JP,A)
米国特許第6650682(US,B1)
米国特許第5189487(US,A)
米国特許第4662751(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01C19/64 - 19/72