

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4385168号  
(P4385168)

(45) 発行日 平成21年12月16日(2009.12.16)

(24) 登録日 平成21年10月9日(2009.10.9)

(51) Int.Cl.	F 1
GO2B 6/12 (2006.01)	GO2B 6/12 F
GO2B 6/30 (2006.01)	GO2B 6/30
GO2F 1/01 (2006.01)	GO2F 1/01 C
	GO2B 6/12 H

請求項の数 7 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2006-213547 (P2006-213547)  
 (22) 出願日 平成18年8月4日 (2006.8.4)  
 (65) 公開番号 特開2008-40094 (P2008-40094A)  
 (43) 公開日 平成20年2月21日 (2008.2.21)  
 審査請求日 平成19年6月25日 (2007.6.25)

(73) 特許権者 899000079  
 学校法人慶應義塾  
 東京都港区三田2丁目15番45号  
 (73) 特許権者 000005120  
 日立電線株式会社  
 東京都千代田区外神田四丁目14番1号  
 (74) 代理人 100110191  
 弁理士 中村 和男  
 (72) 発明者 津田 裕之  
 神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14番1号 慶應義塾大学 理工学部内  
 (72) 発明者 石川 弘  
 東京都千代田区外神田四丁目14番1号  
 日立電線株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】回折格子及び分散補償回路

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

(a)

複数の第1入力導波路と、  
 該第1入力導波路に接続されている第1スターカプラと、  
 該第1スターカプラに接続されている複数の第1出力導波路と  
 を有する第1ブロックと、

(b)

基板上に設けられている複数の溝構造に、遅延線を構成し互いに光路長の異なるホーリーファイバを埋め込んで構成されている第2ブロックと、

(c)

複数の遅延導波路と、  
 該複数の遅延導波路の各々の一部に代えて設けられ、位相測定用光回路と接続されて該複数の遅延導波路間の相対位相が測定され、該相対位相の位相誤差を補償する屈折率調整した有機材料が充填されている複数の溝と  
 を有する第3ブロックと、

(d)

複数の第2入力導波路と、  
 該第2入力導波路に接続されている第2スターカプラと、  
 該第2スターカプラに接続されている複数の第2出力導波路と

10

20

を有する第4ブロックと

を備え、第1ブロック及び第4ブロックを両端にして、第1～第4ブロックが接続されていることを特徴とする回折格子。

【請求項2】

(a)

複数の第1入力導波路と、

該第1入力導波路に接続されているスターカプラと、

該スターカプラに接続されていて互いに光路長の異なる複数の遅延導波路と、

該複数の遅延導波路の各々の一部に代えて設けられ、位相測定用光回路と接続されて該複数の遅延導波路間の相対位相が測定され、該相対位相の位相誤差を補償する屈折率調整した有機材料が充填されている複数の第1溝と

を有する第1ブロックと、

(b)

複数の第2入力導波路と、

該第2入力導波路に接続されているスラブ導波路と、

該スラブ導波路の光路上に設けられ、有機材料が充填されて導波路レンズを構成する複数の第2溝と、

該複数の第2溝の内の一部の第2溝の周囲に設けられ、該複数の第2溝の内の一部の第2溝のみの温度を制御するヒータと、

前記スラブ導波路端であり基板の端面に設けられているミラーと  
を有し、前記第1ブロックに接続されている第2ブロックと  
を備えることを特徴とする分散補償回路。

【請求項3】

(a)

複数の第1入力導波路と、

該第1入力導波路に接続されている第1スターカプラと、

該第1スターカプラに接続されている複数の出力導波路と  
を有する第1ブロックと、

(b)

基板上に設けられている複数の溝構造に、遅延線を構成し互いに光路長の異なるホール-ファイバを埋め込んで構成されている第2ブロックと、

(c)

複数の遅延導波路と、

該複数の遅延導波路の各々の一部に代えて設けられ、位相測定用光回路と接続されて該複数の遅延導波路間の相対位相が測定され、該相対位相の位相誤差を補償する屈折率調整した有機材料が充填されている複数の溝と

を有する第3ブロックと、

(d)

複数の第2入力導波路と、

該第2入力導波路に接続されているスラブ導波路と、

該スラブ導波路の光路上に設けられ、有機材料が充填されて導波路レンズを構成する溝と、

該溝周囲に設けられているヒータと、

前記スラブ導波路端であり基板の端面に設けられているミラーと  
を有する第4ブロックと

を備え、第1ブロック及び第4ブロックを両端にして、第1～第4ブロックが接続されていることを特徴とする分散補償回路。

【請求項4】

(a)

複数の第1入力導波路と、

10

20

30

40

50

該第1入力導波路に接続されている第1スターカプラと、  
 該第1スターカプラに接続されていて互いに光路長の異なる複数の第1遅延導波路と、  
 該複数の第1遅延導波路の各々の一部に代えて設けられ、位相測定用光回路と接続され  
 て該複数の第1遅延導波路間の相対位相が測定され、該相対位相の位相誤差を補償する屈  
 折率調整した有機材料が充填されている複数の第1溝と  
 を有する第1ブロックと、

(b)

複数の第2入力導波路と、  
 該第2入力導波路に接続されているスラブ導波路と、  
 該スラブ導波路の光路上に設けられ、有機材料が充填されて導波路レンズを構成する複 10  
 数の第2溝と、  
 該複数の第2溝の内の一部の第2溝の周囲に設けられ、該複数の第2溝の内の一部の第 2  
 2溝のみの温度を制御するヒータと、

前記スラブ導波路に接続されている複数の第2出力導波路と  
 を有する第2ブロックと、

(c)

複数の第2遅延導波路と、  
 互いに光路長の異なる該複数の第2遅延導波路の各々の一部に代えて設けられ、位相測 20  
 定用光回路と接続されて該複数の第2遅延導波路間の相対位相が測定され、該相対位相の  
 位相誤差を補償する屈折率調整した有機材料が充填されている複数の第3溝と、

前記第2遅延導波路に接続されている第2スターカプラと、  
 該第2スターカプラに接続されている複数の第3出力導波路と  
 を有する第3ブロックと  
 を備え、第1～第3ブロックがこの順に接続されていることを特徴とする分散補償回路。

## 【請求項5】

(a)

複数の第1入力導波路と、  
 該第1入力導波路に接続されている第1スターカプラと、  
 該第1スターカプラに接続されている複数の第1出力導波路と 30  
 を有する第1ブロックと、

(b)

基板上に設けられている複数の第1溝構造に、遅延線を構成し互いに光路長の異なる第 1  
 1ホーリーファイバを埋め込んで構成されている第2ブロックと、

(c)

複数の第1遅延導波路と、  
 該複数の第1遅延導波路の各々の一部に代えて設けられ、位相測定用光回路と接続され 40  
 て該複数の第1遅延導波路間の相対位相が測定され、該相対位相の位相誤差を補償する屈  
 折率調整した有機材料が充填されている複数の第1溝と  
 を有する第3ブロックと、

(d)

複数の第2入力導波路と、  
 該第2入力導波路に接続されているスラブ導波路と、  
 該スラブ導波路の光路上に設けられ、有機材料が充填されて導波路レンズを構成する第 40  
 2溝と、  
 該第2溝周囲に設けられているヒータと、  
 前記スラブ導波路に接続されている複数の第2出力導波路と  
 を有する第4ブロックと、

(e)

複数の第2遅延導波路と、  
 該複数の第2遅延導波路の各々の一部に代えて設けられ、位相測定用光回路と接続され 50

て該複数の第2遅延導波路間の相対位相が測定され、該相対位相の位相誤差を補償する屈折率調整した有機材料が充填されている複数の第3溝と  
を有する第5ブロックと、

(f)

基板上に設けられている複数の第2溝構造に、遅延線を構成し互いに光路長の異なる第2ホーリーファイバを埋め込んで構成されている第6ブロックと、

(g)

複数の第3入力導波路と、  
該第3入力導波路に接続されている第2スターカプラと、  
該第2スターカプラに接続されている複数の第3出力導波路と  
を有する第7ブロックと  
を備え、第1～第7ブロックがこの順に接続されていることを特徴とする分散補償回路。

【請求項6】

(a)

複数の第1入力導波路と、  
該第1入力導波路に接続されている第1スターカプラと、  
該第1スターカプラに接続されている複数の第1出力導波路と  
を有する第1ブロックと、

(b)

複数の第2入力導波路を有する入力導波路基板と、  
該入力導波路基板の複数の各第2入力導波路に接続されていて互いに光路長の異なる遅延導波路又は互いに光路長の異なるホーリーファイバ埋め込みの遅延線を有する複数積層された基板と、

該基板の遅延導波路又は遅延線に接続されている複数の第2出力導波路を有する出力導波路基板と  
を有する第2ブロックと、

(c)

複数の遅延導波路と、  
該複数の遅延導波路の各々の一部に代えて設けられ、位相測定用光回路と接続されて該複数の遅延導波路間の相対位相が測定され、該相対位相の位相誤差を補償する屈折率調整した有機材料が充填されている複数の溝と  
を有する第3ブロックと、

(d)

複数の第3入力導波路と、  
該第3入力導波路に接続されている第2スターカプラと、  
該第2スターカプラに接続されている複数の第3出力導波路と  
を有する第4ブロックと  
を備え、第1ブロック及び第4ブロックを両端にして、第1～第4ブロックが接続されていることを特徴とする回折格子。

【請求項7】

(a)

複数の第1入力導波路と、  
該第1入力導波路に接続されている第1スターカプラと、  
該第1スターカプラに接続されている複数の第1出力導波路と  
を有する第1ブロックと、

(b)

複数の第2入力導波路を有する入力導波路基板と、  
該入力導波路基板の複数の各第2入力導波路に接続されている遅延線を構成し互いに光路長の異なるホーリーファイバを巻き付けた円柱状ボピンと、  
該ホーリーファイバに接続されている複数の第2出力導波路を有する出力導波路基板と

10

20

30

40

50

を有する第2ブロックと、

(c)

複数の遅延導波路と、

該複数の遅延導波路の各々の一部に代えて設けられ、位相測定用光回路と接続されて該複数の遅延導波路間の相対位相が測定され、該相対位相の位相誤差を補償する屈折率調整した有機材料が充填されている複数の溝と

を有する第3ブロックと、

(d)

複数の第3入力導波路と、

該第3入力導波路に接続されている第2スターカプラと、

10

該第2スターカプラに接続されている複数の第3出力導波路と

を有する第4ブロックと

を備え、第1ブロック及び第4ブロックを両端にして、第1～第4ブロックが接続されていることを特徴とする回折格子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長合分波回路、分散補償器、光単側波帯通信などに有効な回折格子及び分散補償回路に関する。

【背景技術】

20

【0002】

アレイ導波路回折格子は波長分割多重通信装置の合分波回路として公知の素子であり、また、アレイ導波路回折格子中にレンズ構造を設けた分散補償回路も公知の素子である。一般に光学素子の性能は、その寸法と精度によって決定される。アレイ導波路回折格子の周波数分解能は、各導波路の光路長に誤差が無い場合、アレイ導波路の最長の導波路と最短の導波路の光路長差によってほぼ決定される。しかしながら、光路長が長くなると光路長の誤差は避けられない。また、基板寸法によって光路長の上限が定まる。従来の技術ではこれらの課題を解決するために、(a)導波路の比屈折率差を大きくして回路を小型化して与えられた基板寸法の範囲でできる限り光路長の長いレイアウト設計を行い、あるいは、基板寸法を大きくして光路長を長くし、(b)低コヒーレンス広帯域干渉法を利用して、あるいは、同一基板上に干渉光回路を設けて干渉スペクトル測定によって遅延導波路部分の位相誤差(光路長誤差)を測定し、(c)アレイ導波路への紫外レーザ光照射等により屈折率を変化させて位相誤差を補償することが行われてきた。

30

【特許文献1】特開2004-20837号公報

【特許文献2】特開2005-250022号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかしながら、(i)比屈折率差を大きくすると導波路の損失が増大する、基板寸法を大きくすると導波路の均一性が悪くなる、(ii)低コヒーレンス広帯域干渉法は光学系が複雑で測定が困難である、同一基板上に干渉光回路を設けるとそのためのスペースが必要になる、(iii)レーザによる屈折率変化は照射光学系が大規模になる、という問題があった。

40

【0004】

以上を鑑みて、本発明では、以下の改善を試みた。

(1)遅延回路部分を途中で分断して別のブロックとして作成し、遅延導波路部分の相対位相を位相測定用光回路と接続して測定する方法を利用する。

(2)通常の導波路では、比屈折率差を大きくすると損失が増大したり、均一性が悪くなったりするので、低損失で小さい曲げ半径で曲げることが可能なホーリーファイバ(特許文献1、2参照)を基板上の溝に埋め込むことによって、低損失、長尺の遅延線アレイを実現した。また、積層した遅延導波路又はボビンに巻いたホーリーファイバも利用する。

50

(3) 各遅延導波路の途中に導波路を遮ぎる微細な溝を設け、屈折率調整した有機材料（具体的には樹脂）を充填して光路長誤差（位相誤差）を補償する。

【0005】

従来の導波路型分散補償回路には、回折格子部の周波数分解能が不十分であるために分散補償量が小さい問題があった。しかしながら、本発明では、周波数分解能の高い回折格子を実現できるので、導波路型分散補償回路に適用して大きな分散補償量を得ることができる。また、従来の導波路型分散補償回路では、分散値制御のためのレンズ設計の自由度が低く可変分散制御の設計が制限されていた。これに対して本発明では、

(4) 焦点距離を制御するレンズと焦点距離を制御しないレンズとを組み合わせて可変分散補償範囲を拡大する。

10

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の回折格子は、(a)複数の第1入力導波路と、該第1入力導波路に接続されている第1スタークプラと、該第1スタークプラに接続されている複数の第1出力導波路とを有する第1ブロックと、(b)基板上に設けられている複数の溝構造に、遅延線を構成し互いに光路長の異なるホーリーファイバを埋め込んで構成されている第2ブロックと、(c)複数の遅延導波路と、該複数の遅延導波路の各々の一部に代えて設けられ、位相測定用光回路と接続されて該複数の遅延導波路間の相対位相が測定され、該相対位相の位相誤差を補償する屈折率調整した有機材料が充填されている複数の溝とを有する第3ブロックと、(d)複数の第2入力導波路と、該第2入力導波路に接続されている第2スタークプラと、該第2スタークプラに接続されている複数の第2出力導波路とを有する第4ブロックとを備え、第1ブロック及び第4ブロックを両端にして、第1～第4ブロックが接続されていることを特徴とする。

20

【0008】

また、本発明の分散補償回路は、(a)複数の第1入力導波路と、該第1入力導波路に接続されているスタークプラと、該スタークプラに接続されている互いに光路長の異なる複数の遅延導波路と、該複数の遅延導波路の各々の一部に代えて設けられ、位相測定用光回路と接続されて該複数の遅延導波路間の相対位相が測定され、該相対位相の位相誤差を補償する屈折率調整した有機材料が充填されている複数の第1溝とを有する第1ブロックと、(b)複数の第2入力導波路と、該第2入力導波路に接続されているスラブ導波路と、該スラブ導波路の光路上に設けられ、有機材料が充填されて導波路レンズを構成する複数の第2溝と、該複数の第2溝の内の一部の第2溝の周囲に設けられ、該複数の第2溝の内の一部の第2溝のみの温度を制御するヒータと、前記スラブ導波路端であり基板の端面に設けられているミラーとを有し、前記第1ブロックに接続されている第2ブロックとを備えることを特徴とする。

30

【0009】

また、本発明の分散補償回路は、(a)複数の第1入力導波路と、該第1入力導波路に接続されている第1スタークプラと、該第1スタークプラに接続されている複数の出力導波路とを有する第1ブロックと、(b)基板上に設けられている複数の溝構造に、遅延線を構成し互いに光路長の異なるホーリーファイバを埋め込んで構成されている第2ブロックと、(c)複数の遅延導波路と、該複数の遅延導波路の各々の一部に代えて設けられ、位相測定用光回路と接続されて該複数の遅延導波路間の相対位相が測定され、該相対位相の位相誤差を補償する屈折率調整した有機材料が充填されている複数の溝とを有する第3ブロックと、(d)複数の第2入力導波路と、該第2入力導波路に接続されているスラブ導波路と、該スラブ導波路の光路上に設けられ、有機材料が充填されて導波路レンズを構成する溝と、該溝周囲に設けられているヒータと、前記スラブ導波路端であり基板の端面に設けられているミラーとを有する第4ブロックとを備え、第1ブロック及び第4ブロックを両端にして、第1～第4ブロックが接続されていることを特徴とする。

40

【0010】

また、本発明の分散補償回路は、(a)複数の第1入力導波路と、該第1入力導波路に接

50

続されている第1スターカプラと、該第1スターカプラに接続されていて互いに光路長の異なる複数の第1遅延導波路と、該複数の第1遅延導波路の各々の一部に代えて設けられ、位相測定用光回路と接続されて該複数の第1遅延導波路間の相対位相が測定され、該相対位相の位相誤差を補償する屈折率調整した有機材料が充填されている複数の第1溝とを有する第1ブロックと、(b)複数の第2入力導波路と、該第2入力導波路に接続されているスラブ導波路と、該スラブ導波路の光路上に設けられ、有機材料が充填されて導波路レンズを構成する複数の第2溝と、該複数の第2溝の内の一部の第2溝の周囲に設けられ、該複数の第2溝の内の一部の第2溝のみの温度を制御するヒータと、前記スラブ導波路に接続されている複数の第2出力導波路とを有する第2ブロックと、(c)複数の第2遅延導波路と、互いに光路長の異なる該複数の第2遅延導波路の各々の一部に代えて設けられ、位相測定用光回路と接続されて該複数の第2遅延導波路間の相対位相が測定され、該相対位相の位相誤差を補償する屈折率調整した有機材料が充填されている複数の第3溝と、前記第2遅延導波路に接続されている第2スターカプラと、該第2スターカプラに接続されている複数の第3出力導波路とを有する第3ブロックとを備え、第1～第3ブロックがこの順に接続されていることを特徴とする。

## 【0011】

また、本発明の分散補償回路は、(a)複数の第1入力導波路と、該第1入力導波路に接続されている第1スターカプラと、該第1スターカプラに接続されている複数の第1出力導波路とを有する第1ブロックと、(b)基板上に設けられている複数の第1溝構造に、遅延線を構成し互いに光路長の異なる第1ホーリーファイバを埋め込んで構成されている第2ブロックと、(c)複数の第1遅延導波路と、該複数の第1遅延導波路の各々の一部に代えて設けられ、位相測定用光回路と接続されて該複数の第1遅延導波路間の相対位相が測定され、該相対位相の位相誤差を補償する屈折率調整した有機材料が充填されている複数の第1溝とを有する第3ブロックと、(d)複数の第2入力導波路と、該第2入力導波路に接続されているスラブ導波路と、該スラブ導波路の光路上に設けられ、有機材料が充填されて導波路レンズを構成する第2溝と、該第2溝周囲に設けられているヒータと、前記スラブ導波路に接続されている複数の第2出力導波路とを有する第4ブロックと、(e)複数の第2遅延導波路と、該複数の第2遅延導波路の各々の一部に代えて設けられ、位相測定用光回路と接続されて該複数の第2遅延導波路間の相対位相が測定され、該相対位相の位相誤差を補償する屈折率調整した有機材料が充填されている複数の第3溝とを有する第5ブロックと、(f)基板上に設けられている複数の第2溝構造に、遅延線を構成し互いに光路長の異なる第2ホーリーファイバを埋め込んで構成されている第6ブロックと、(g)複数の第3入力導波路と、該第3入力導波路に接続されている第2スターカプラと、該第2スターカプラに接続されている複数の第3出力導波路とを有する第7ブロックとを備え、第1～第7ブロックがこの順に接続されていることを特徴とする。

## 【0012】

また、本発明の回折格子は、(a)複数の第1入力導波路と、該第1入力導波路に接続されている第1スターカプラと、該第1スターカプラに接続されている複数の第1出力導波路とを有する第1ブロックと、(b)複数の第2入力導波路を有する入力導波路基板と、該入力導波路基板の複数の各第2入力導波路に接続されていて互いに光路長の異なる遅延導波路又は互いに光路長の異なるホーリーファイバ埋め込みの遅延線を有する複数積層された基板と、該基板の遅延導波路又は遅延線に接続されている複数の第2出力導波路を有する出力導波路基板とを有する第2ブロックと、(c)複数の遅延導波路と、該複数の遅延導波路の各々の一部に代えて設けられ、位相測定用光回路と接続されて該複数の遅延導波路間の相対位相が測定され、該相対位相の位相誤差を補償する屈折率調整した有機材料が充填されている複数の溝とを有する第3ブロックと、(d)複数の第3入力導波路と、該第3入力導波路に接続されている第2スターカプラと、該第2スターカプラに接続されている複数の第3出力導波路とを有する第4ブロックとを備え、第1ブロック及び第4ブロックを両端にして、第1～第4ブロックが接続されていることを特徴とする。

## 【0013】

10

20

30

40

50

また、本発明の回折格子は、(a)複数の第1入力導波路と、該第1入力導波路に接続されている第1スターカプラと、該第1スターカプラに接続されている複数の第1出力導波路とを有する第1ブロックと、(b)複数の第2入力導波路を有する入力導波路基板と、該入力導波路基板の複数の各第2入力導波路に接続されている遅延線を構成し互いに光路長の異なるホーリーファイバを巻き付けた円柱状ボピンと、該ホーリーファイバに接続されている複数の第2出力導波路を有する出力導波路基板とを有する第2ブロックと、(c)複数の遅延導波路と、該複数の遅延導波路の各々の一部に代えて設けられ、位相測定用光回路と接続されて該複数の遅延導波路間の相対位相が測定され、該相対位相の位相誤差を補償する屈折率調整した有機材料が充填されている複数の溝とを有する第3ブロックと、(d)複数の第3入力導波路と、該第3入力導波路に接続されている第2スターカプラと、該第2スターカプラに接続されている複数の第3出力導波路とを有する第4ブロックとを備え、第1ブロック及び第4ブロックを両端にして、第1～第4ブロックが接続されていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0014】

本願において開示される発明のうち代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば、下記の通りである。

【0015】

導波路型回折格子に適用して次のような顕著な効果を持つ。

(i) 遅延線アレイ部分を別に作製することによって、光路長誤差を正確にかつ容易に測定し高分解能かつ低クロストーク特性を有するアレイ導波路回折格子を実現できる。

(ii) 遅延線アレイ部分をホーリーファイバによって構成することによって、導波路では実現できない長尺の遅延線アレイを実現できる。このため、回折格子の分解能を飛躍的に高めることが可能である。

(iii) 積層した遅延導波路を利用することによって長尺の遅延導波路アレイを実現し、高分解能回折格子を実現できる。

(iv) ボピンに巻いたホーリーファイバを遅延線アレイに適用して小型かつ長尺の遅延線アレイを実現し、小型な高分解能回折格子を実現できる。

(v) (i)～(iv)の高分解能回折格子のスペクトル面近傍に、焦点距離可変のレンズと焦点距離固定のレンズを配置して、可変分散補償範囲の広い分散補償回路を実現することが可能である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

以下、図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。なお、実施例を説明するための全図において、同一の機能を有するものは同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。光回路材料に石英を利用するなどを前提として実施例を説明するが、同様の構成は他材料系にも適用可能である。

【実施例1】

【0017】

図1A～図1Fは、本発明の実施例1による回折格子を説明する図である。図1Aは、実施例1の回折格子の構成を示す図である。この回折格子は、第1ブロック101及び第2ブロック102を備える。第1ブロック101は、複数の入力導波路103、スラブ導波路(スターカプラ)104、遅延導波路アレイ105、及び有機材料(例えば樹脂)が充填された細溝106から構成され、第2ブロック102は、複数の入力導波路107、スラブ導波路(スターカプラ)108、及び複数の出力導波路109から構成される。

【0018】

図1Bは、実施例1の回折格子の構成を示す断面図である。第1ブロック101と第2ブロック102は、共通の保持基板110上に貼り付けて接合される。

【0019】

図1Cは、第1ブロック101における「A」の箇所、即ち、細溝106の拡大図であ

10

20

30

40

50

る。図1C(a)は上面図、図1C(b)は断面図である。上部クラッド層113、コア層114、及び下部クラッド層115が導波路を形成している。ここで、溝111は下部クラッド層115まで掘られていて、幅5~30ミクロン程度であり、屈折率調整された樹脂112が充填されている。約10  $\mu\text{m}$ 幅(W)の溝を設け、導波路の有効屈折率( $n = 1.453$ )とほぼ等しく屈折率調整した樹脂を充填、硬化させて位相調整を行う。溝幅の誤差( $\Delta W$ )は $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 、樹脂の屈折率誤差( $\Delta n$ )は $\pm 0.001$ 程度である。このとき位相補償誤差の範囲は、

$$\pm 2 \times (n - W + \Delta n W) / \Delta n \quad (1)$$

と近似される。中心波長( $\lambda$ )を1.55  $\mu\text{m}$ と仮定すると、溝幅誤差の影響が主になり、 $\pm 0.6 \text{ rad}$ の精度での絶対位相制御、 $\pm 0.3 \text{ rad}$ の精度での相対位相制御が可能になる。アレイ導波路回折格子の場合は、相対位相の誤差が問題になるが、この方法を用いて位相調整が可能である。しかしながら、位相調整を行うためには、導波路間の相対的な位相(光路長)の測定が必須である。本発明では、アレイ導波路の途中で回路を切断しているため、相対位相の測定が容易にできる。

#### 【0020】

図1Dは、相対位相測定法を説明する図である。第1ブロック101に入射した单一波長の光(CW光)は、各アレイ導波路に分配される。干渉用導波路116は、アレイ導波路からの二つの出力と結合可能なピッチになっている。図中では隣接する導波路となっているが、離れている導波路の出力でも良い。干渉用導波路116中で二つの出力光が干渉し、二つの出力ポート117、118に分岐して出力される。このとき、アレイ導波路の出力光の位相差に応じて出力ポート117からの出力光強度 $I_1$ と出力ポート118からの出力光強度 $I_2$ は変化する。

#### 【0021】

図1Eは、位相差と出力光強度 $I_1$ との関係を示す図である。これにより、任意の2本のアレイ導波路間の位相差を測定することが可能となる。順に位相差を測定し、アレイ導波路間の相対位相を測定できる。このようにして、アレイ導波路間の相対位相の測定を行い、相対位相を調整することが可能になる。アレイ導波路回折格子の標準的な設計では、入力導波路107からスラブ導波路108への接続部において中心波長の光を入射した場合の相対位相が0となる。

#### 【0022】

図1Fは、導波路番号とその導波路の相対位相との関係を示す図である。黒丸印は入力導波路107の相対位相を、三角印は調整前の遅延導波路アレイ105の相対位相を、白丸印は調整後の遅延導波路アレイ105の相対位相を示す。遅延導波路アレイ105の相対位相を前述の方法に従って調整し、白丸印のように設定すれば、遅延導波路アレイ105及び入力導波路107を経てスラブ導波路108に接続する箇所での各導波路間の相対位相を0に近づけること、即ち、光路長誤差(位相誤差)を0に近づけることが可能になる。本構成において、隣接するアレイ導波路間の光路長差 $L$ を一定の値に設定することによってアレイ導波路回折格子として動作する。勿論、入力導波路107からスラブ導波路108への接続部において中心波長の光を入射した場合の相対位相を0とせず、任意の設定値に合わせることが可能であることは言うまでもない。この場合は、入力導波路107とスラブ導波路108の接続位置を調整することによってアレイ導波路回折格子として動作する。アレイ導波路回折格子の周波数分解能は、位相誤差補償が行われた場合、遅延線アレイで実現される最大の遅延時間の逆数に比例する。即ち、本実施例では基板寸法制限の許す範囲で、アレイ導波路回折格子の高分解能化を実現することが可能となる。

#### 【実施例2】

#### 【0023】

図2A~図2Cは、本発明の実施例2による回折格子を説明する図である。図2Aは、実施例2の回折格子の構成を示す図である。ここで、第1ブロック119は、複数の入力導波路、スターカプラ、及び複数の出力導波路とから構成される。入射光を複数の導波路に分配する役割を持ち、第2ブロック120は、基板上に設けられた複数の溝構造に、ホ

10

20

30

40

50

ーリーファイバを埋め込んで構成される。第3ブロック121は、複数の遅延導波路、及びそれらの導波路に設けられ、有機材料が充填された溝から構成され、位相制御のためのものである。第4ブロック122は、複数の入力導波路、スターカプラ、及び複数の出力導波路とから構成される。

【0024】

図2B及び図2Cは、第2ブロック120の2B-2B'における、2つの場合の断面図を示す。ここで、ホーリーファイバ123は、第2ブロック120におけるホーリーファイバ保持用の溝125、126に固定用樹脂124によって固定されている。溝125、126は、ダイシング、ドライエッチング、ウエットエッチング等で形成する。典型的なコア周囲に6箇所のホールのあるホーリーファイバ123では、曲げ半径2mmで一巻きの曲げ損失が0.01dB程度である。このため、多数回の曲げを設けても損失の増加は僅かである。また、伝搬損失は0.0005dB/m以下である。これに対して、比屈折率差1.5%の石英導波路の曲げ損失は同水準であるが、伝搬損失は3dB/mと大きい。溝作製後に、ファイバをはめ込み、樹脂を充填硬化させて、保持基板の両端を研磨してブロックが作製される。ドライエッチングの場合、溝の位置精度は±0.5μm程度であり、ファイバのコア位置の偏差はさらに小さい。これらの位置ずれから見積もると、ファイバ長手方向の長さを1m、180度の曲げが20回あると仮定すると、長さの誤差は±5μm程度と推定される。しかしながら、アレイ導波路回折格子として重要なことは、隣接する遅延線の長さの差Lの設定値からのずれである。Lの設定値が2mmであれば、それは±10nmとなるので無視できるほど少ない。第1ブロック119、第2ブロック120、第3ブロック121を接合後、実施例1と同様にして相対位相の測定と位相調整を行い、さらに、第4ブロック122を接合してアレイ導波路回折格子が完成する。実施例1と比較すると、遅延線の保持基板には均一な薄膜成長など不要なので大面積基板を利用することが可能であり、例えば、シリコン基板では12インチ基板まで商品が利用可能である。また、光導波路よりもホーリーファイバの伝搬損失は桁違いに小さいので、長尺な遅延線を実現することが可能である。よって、位相補償されるならば、実施例1よりも更に高分解能な回折格子を実現することが可能である。

【実施例3】

【0025】

図3A～図3Dは、本発明の実施例3による分散補償回路を説明する図である。図3Aは、実施例3の分散補償回路の構成を示す図である。第1ブロック101は、実施例1の第1ブロック101と同様である。第2ブロック127は、可変分散補償ブロックであり、入出力導波路128、スラブ導波路129、温度制御しない導波路レンズ130、温度制御する導波路レンズ131、ヒータ132、ミラー133、及びミラー保持基板134を有する。ミラー133は、第1ブロック101と第2ブロック127で構成される回折格子の空間的フリースペクトラルレンジに合わせてある。回折格子の分光面にミラーを配置し、その近傍にレンズを設けて分散補償する光回路は公知である。本実施例の特徴は、実施例1と同様の方法で構成されたアレイ導波路を利用するので、位相誤差を少なくしたり、あるいは、入出力導波路128とスラブ導波路129との接続箇所での位相を制御したりして、分散補償回路の損失を低減したり、あるいは、レンズ設計の自由度を高めることができる点である。また、もう一つの特徴として、温度制御して焦点距離を変化させるレンズと、温度制御せずに焦点距離を変化させないレンズを配置する点である。平面状のミラー133に対して、ある温度で2次分散が特定の値を持つように設計すると、レンズの焦点距離が一意的に決定され、温度制御による位相制御量が十分に得られない場合がある。しかしながら、温度制御せずに焦点距離を変化させないレンズによって分散補償量にバイアスをかけることができるのでこの問題が解決できる。

【0026】

図3Bは、レンズ周辺の拡大図である。図3B(a)は上面図、図3B(b)は断面図である。ここで、樹脂135、136が溝に充填されている。ここでは、レンズ形状は凸型であるが、凹型のレンズ、メニスカス型レンズ、平凸レンズ、平凹レンズも利用可能である。

10

20

30

40

50

形状だけでなく、樹脂屈折率をスラブ導波路屈折率に比較して大きくするか、小さくするかを選択することによってもレンズの正負を選択することが可能である。また、導波路レンズ130に樹脂を入れず、温度依存性が生じない構造も利用可能である。

【0027】

図3Cは、可変分散補償の原理を説明する図である。本実施例3の素子の入出力スペクトル特性において、中心角周波数を $\omega_0$ とすると、フーリエ位相 $\phi$ が次式を満たすとき、

$$= a(-\omega_0)^2 \quad (2)$$

素子は、 $a$ に比例する二次分散値を持つ。また、 $a$ はスペクトル分光面である反射ミラー近傍に配置されたレンズ群の焦点距離に比例する。さらに、この焦点距離は、レンズを構成する樹脂の屈折率によって変化するので、ヒータ132によって、局所的にレンズ温度を制御し、ひいては、二次分散値を制御することが可能になる。また、 $a$ の設定可能な範囲は回折格子部の周波数分解能に比例する。何故ならば、図中の $\phi$ を周波数分解能とするとき、この範囲での位相変化 $\phi$ が十分に小さい( $\pi/16$ )必要があるからである。本発明では、高分解能回折格子が実現されるので、必然的に分散補償可能量も増大する。

【0028】

図3Dは、他のレンズ構成の例のレンズ周辺の拡大図である。図3D(a)は上面図、図3D(b)は断面図である。ここでは、樹脂136aと樹脂136bは異なる屈折率を有する。レンズ131aには樹脂136aが充填され、レンズ131bには樹脂136bが充填されている。例えば、レンズ131aとレンズ131bのどちらも凸レンズ形状で、樹脂136aの屈折率がスラブ導波路の有効屈折率よりも大きく、樹脂136bの屈折率がスラブ導波路の有効屈折率よりも小さい場合には、レンズ131aは凸レンズの機能を有し、レンズ131bは凹レンズの機能を有する。即ち、あるレンズ系の焦点距離を得るために、両レンズの形状と両樹脂の屈折率を調整することによってレンズ段数を幅広く設定することができる。樹脂の屈折率温度依存性は常に負であるので、トータルの段数を増やすことによって温度変化による位相変化量を増やすことができる。即ち、本構成によっても、分散補償量とレンズ系の焦点距離を独立に設定することが可能である。

【実施例4】

【0029】

図4は、本発明の実施例4による分散補償回路の構成を説明する図である。本実施例4は、実施例2の第1ブロック119、第2ブロック120、第3ブロック121に実施例3の第2ブロック(可変分散補償ブロック)127を接合したものである。実施例1よりも回折格子の高分解能化が可能であるため、分散補償量も更に大きくできる利点がある。

【実施例5】

【0030】

図5は、本発明の実施例5による分散補償回路の構成を説明する図である。本実施例5は、分散補償器を透過型で構成したもので二つの第1ブロック101に、透過型構成の可変分散補償ブロック137を接合している。透過型にすることによって、入出力に光サーチュレータが不要になる。

【実施例6】

【0031】

図6は、本発明の実施例6による分散補償回路の構成を説明する図である。本実施例6は、分散補償器を透過型で構成したもので二つの第1ブロック119、第2ブロック120、第3ブロック121に、透過型構成の可変分散補償ブロック137を接合している。透過型にすることによって、入出力に光サーチュレータが不要になる。

【実施例7】

【0032】

図7は、本発明の実施例7による回折格子及び分散補償回路の構成を説明する図である。本実施例7は、前記実施例2、4、6における第2ブロック120の代わりに、複数の入力導波路142、遅延導波路141を有する基板138が積層されている光遅延線アレイ、及び複数の出力導波路143からなるブロック構成とする。複数の基板を利用するた

10

20

30

40

50

め長尺の遅延導波路を実現可能である。

【実施例 8】

【0033】

図 8 A 及び図 8 B は、本発明の実施例 8 による回折格子及び分散補償回路の構成を説明する図である。本実施例 8 は、前記実施例 2、4、6 における第 2 ブロック 120 の代わりに、ボビン 139、140 にホーリーファイバ 123 を巻き付けて構成されている光遅延線アレイを有するブロック構成とする。遅延線が長尺である場合に、小型化に有効である。

【0034】

なお、本発明は上記実施例に限定されるものではない。

10

実施例 2、4、7、8 において、図 2、図 4 に図示する第 1 ~ 第 4 ブロックはこの順に接続されても良いし、第 2 ブロックと第 3 ブロックの順序を逆にして、第 1、第 3、第 2、第 4 ブロックの順に接続されても良い。すなち、第 1 ブロック及び第 4 ブロックを両端にして、第 1 ~ 第 4 ブロックが接続されれば良い。

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図 1】本発明の実施例 1 による回折格子を説明する図である。

【図 2】本発明の実施例 2 による回折格子を説明する図である。

【図 3】本発明の実施例 3 による分散補償回路を説明する図である。

20

【図 4】本発明の実施例 4 による分散補償回路の構成を説明する図である。

【図 5】本発明の実施例 5 による分散補償回路の構成を説明する図である。

【図 6】本発明の実施例 6 による分散補償回路の構成を説明する図である。

【図 7】本発明の実施例 7 による回折格子及び分散補償回路の構成を説明する図である。

【図 8】本発明の実施例 8 による回折格子及び分散補償回路の構成を説明する図である。

【符号の説明】

【0036】

101 : 第 1 ブロック、102 : 第 2 ブロック、103 : 複数の入力導波路、

104 : スラブ導波路、105 : 遅延導波路アレイ、106 : 樹脂充填された細溝、

107 : 複数の入力導波路、108 : スラブ導波路、109 : 複数の出力導波路、

30

110 : 共通の保持基板、111 : 溝、112 : 樹脂、113 : 上部クラッド層、

114 : コア層、115 : 下部クラッド層、116 : 干渉用導波路、

117 : 出力ポート、118 : 出力ポート、119 : 第 1 ブロック、

120 : 第 2 ブロック、121 : 第 3 ブロック、122 : 第 4 ブロック、

123 : ホーリーファイバ、124 : 固定用樹脂、

125、126 : ホーリーファイバ保持用溝、127 : 可変分散補償ブロック、

128 : 入出力導波路、129 : スラブ導波路、130 : 温度制御しない導波路レンズ、

131 : 温度制御する導波路レンズ、132 : ヒータ、133 : ミラー、

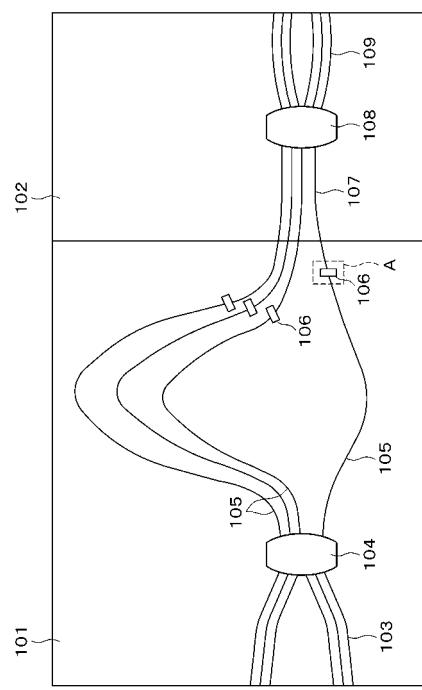
134 : ミラー保持基板、135、136 : 樹脂、

137 : 透過型構成の可変分散補償ブロック、138 : 遅延導波路を有する基板、

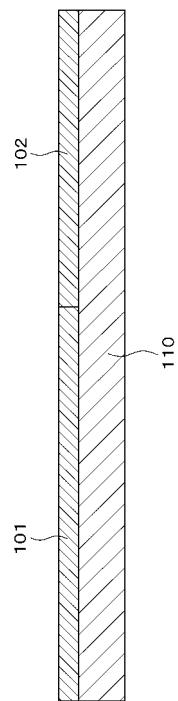
40

139、140 : ボビン、142 : 入力導波路、143 : 出力導波路

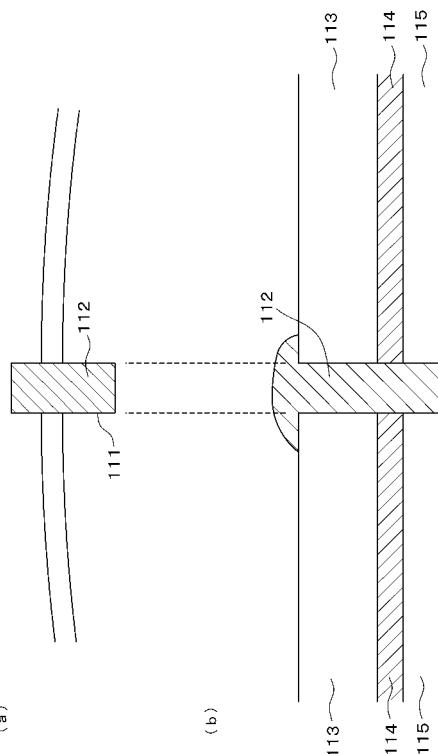
【図1A】



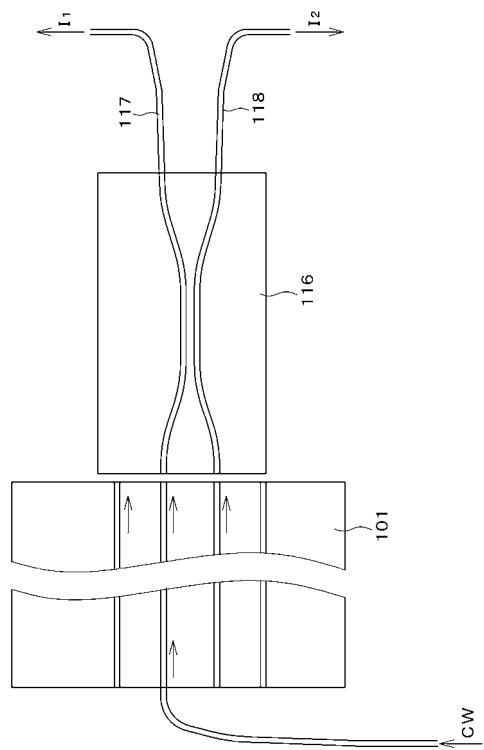
【図1B】



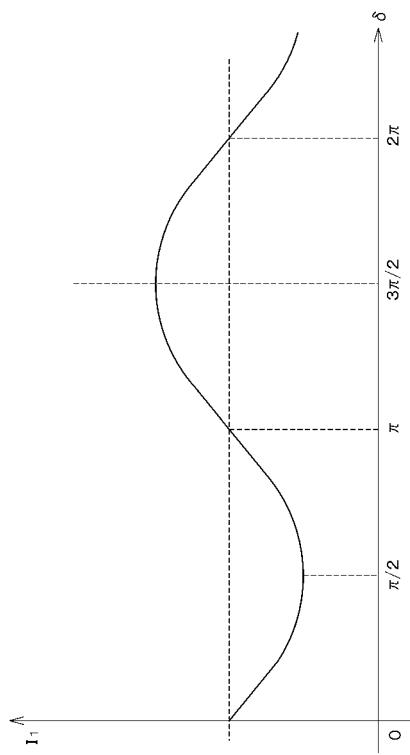
【図1C】



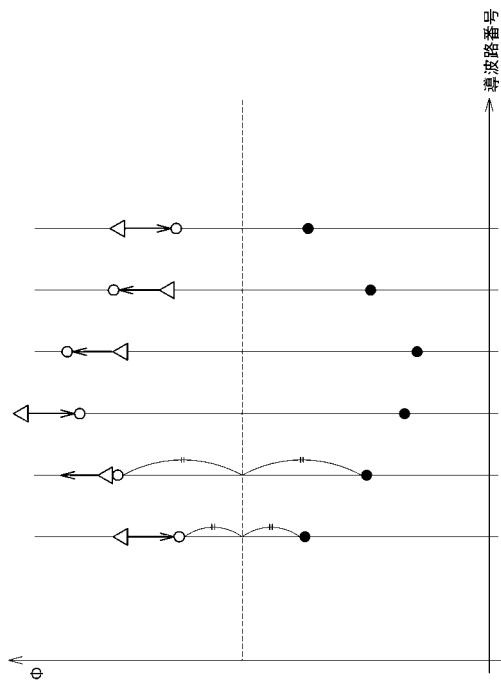
【図1D】



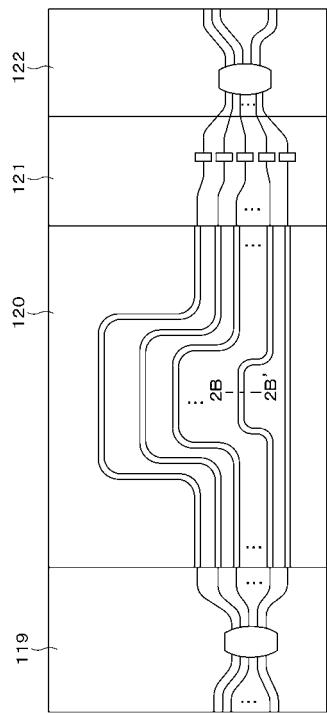
【図 1 E】



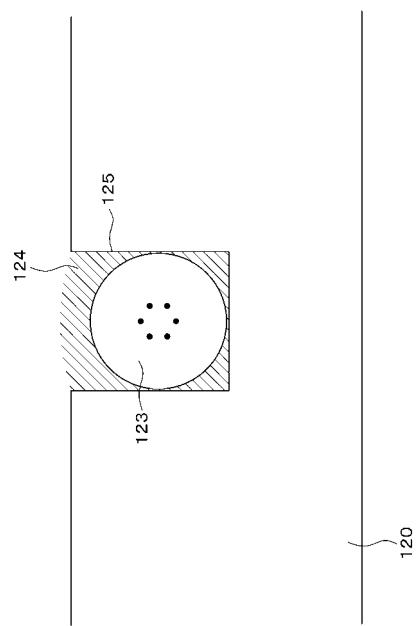
【図 1 F】



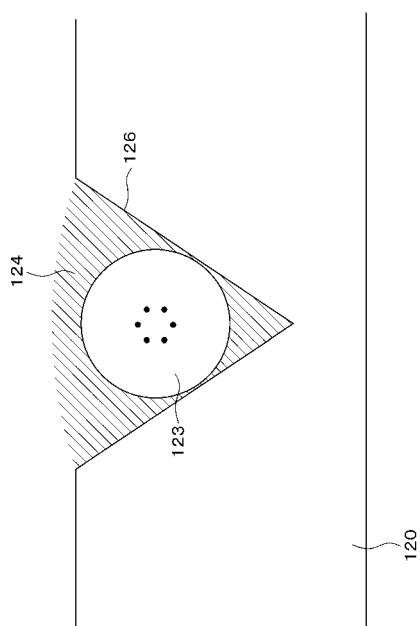
【図 2 A】



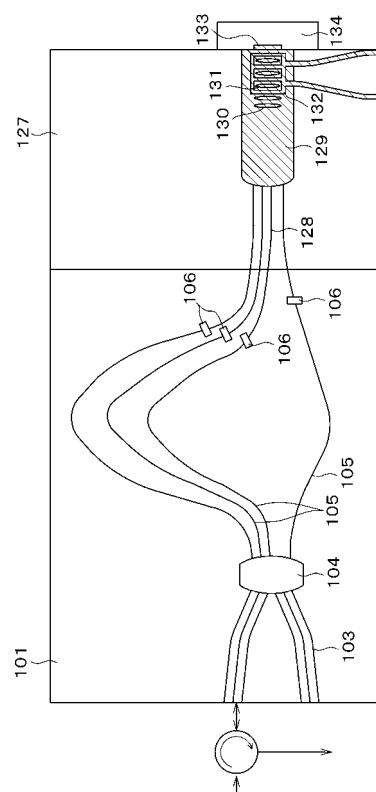
【図 2 B】



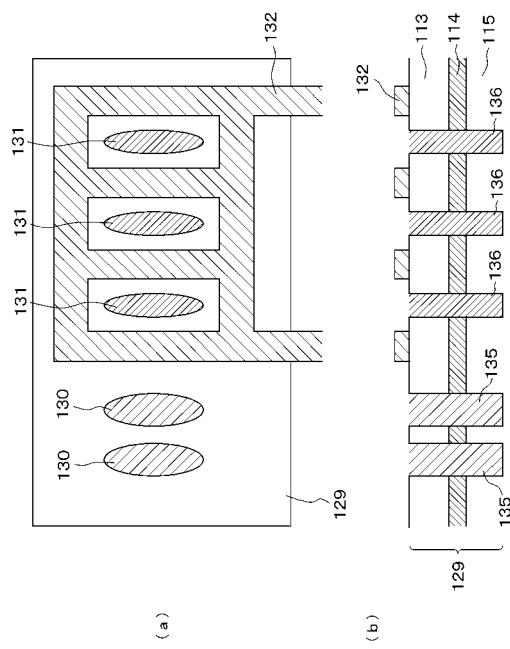
【図2C】



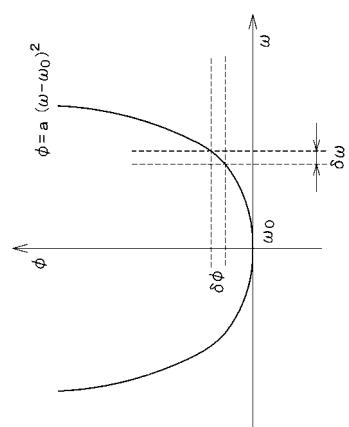
【図3A】



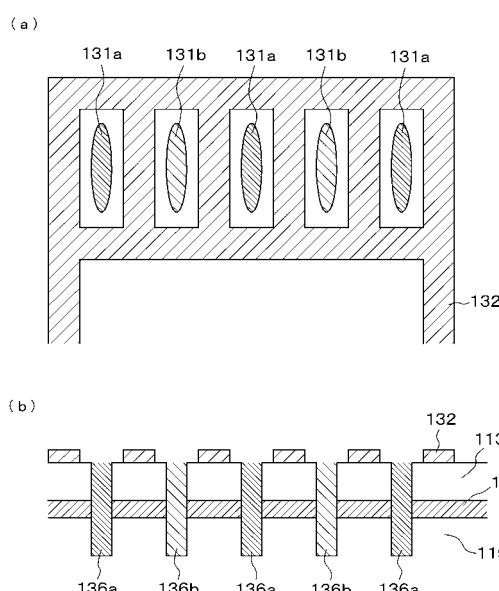
【図3B】



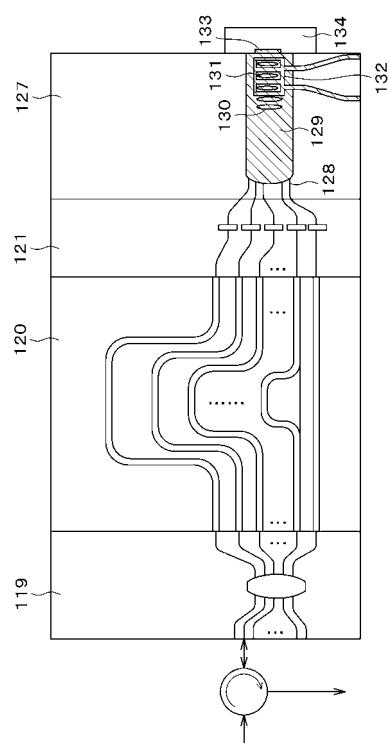
【図3C】



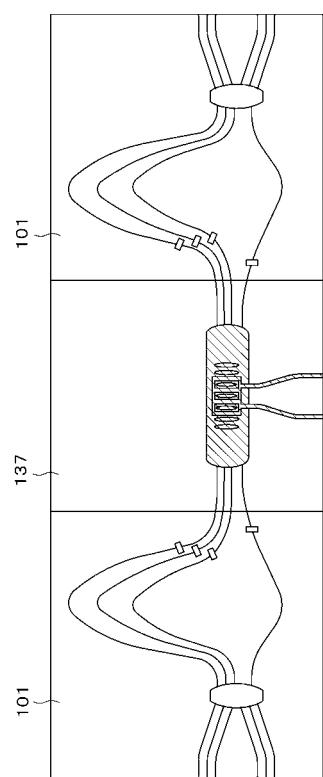
【図3D】



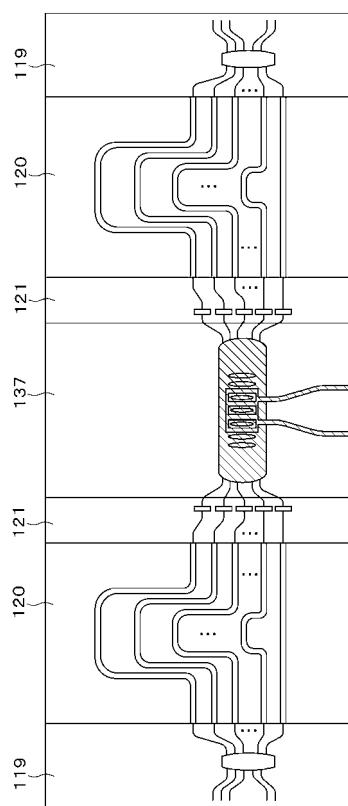
【図4】



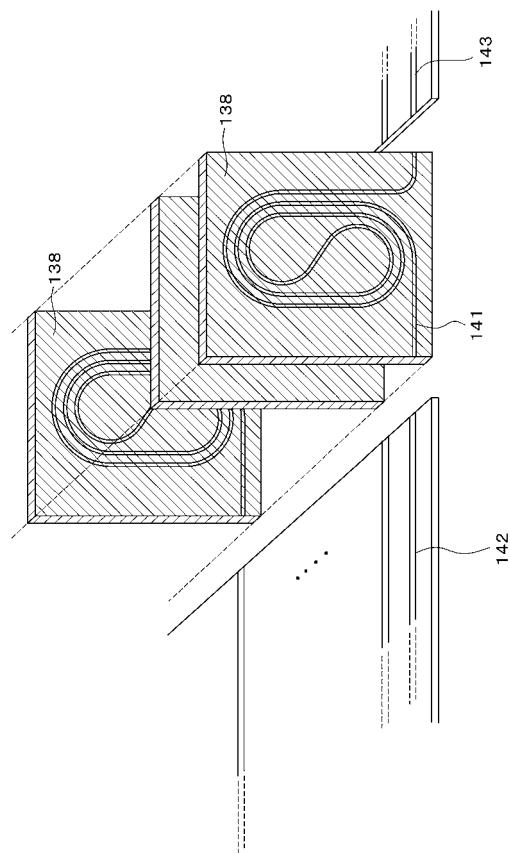
【図5】



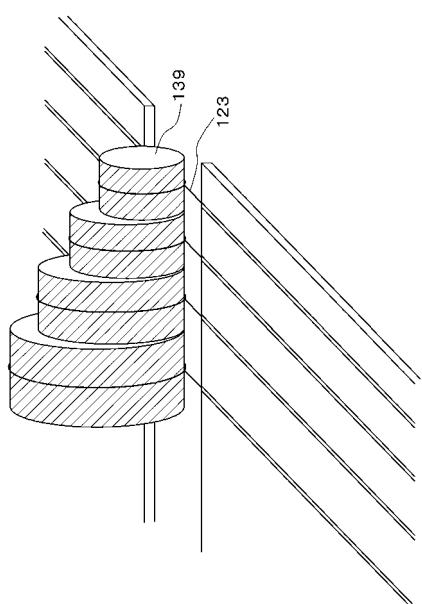
【図6】



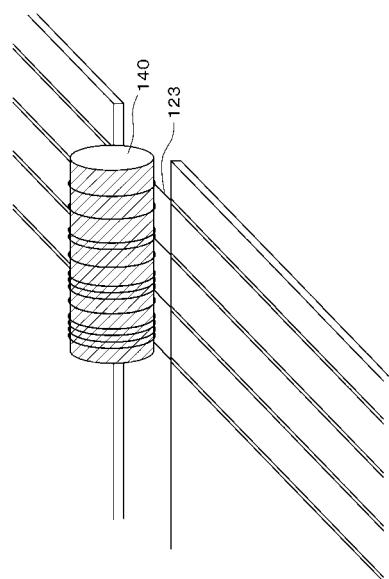
【図7】



【図8 A】



【図8 B】



---

フロントページの続き

(72)発明者 上塚 尚登  
東京都千代田区外神田四丁目14番1号 日立電線株式会社内

審査官 高 芳徳

(56)参考文献 特開平11-287916 (JP, A)  
特開平10-186151 (JP, A)  
特開2000-241637 (JP, A)  
特開2005-242214 (JP, A)  
特開2001-51142 (JP, A)  
特開2003-167129 (JP, A)  
米国特許第7013065 (US, B2)  
特開2001-83339 (JP, A)  
特開2001-66446 (JP, A)  
国際公開第98/36299 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 02 B 6 / 12 - 6 / 43  
G 02 F 1 / 00 - 7 / 00  
J S T P l u s ( J D r e a m I I )  
J S T 7 5 8 0 ( J D r e a m I I )