

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7228168号

(P7228168)

(45)発行日 令和5年2月24日(2023.2.24)

(24)登録日 令和5年2月15日(2023.2.15)

(51)国際特許分類

F I

G 0 2 B 27/28 (2006.01)

G 0 2 B

27/28

A

G 0 1 N 21/49 (2006.01)

G 0 1 N

21/49

C

請求項の数 7 (全19頁)

(21)出願番号 特願2020-523806(P2020-523806)
(86)(22)出願日 平成30年10月31日(2018.10.31)
(65)公表番号 特表2021-501364(P2021-501364
A)
(43)公表日 令和3年1月14日(2021.1.14)
(86)国際出願番号 PCT/AU2018/051175
(87)国際公開番号 WO2019/084610
(87)国際公開日 令和1年5月9日(2019.5.9)
審査請求日 令和3年9月28日(2021.9.28)
(31)優先権主張番号 2017904450
(32)優先日 平成29年11月1日(2017.11.1)
(33)優先権主張国・地域又は機関
オーストラリア(AU)
(31)優先権主張番号 2018902139
(32)優先日 平成30年6月15日(2018.6.15)
最終頁に続く

(73)特許権者 518090546
パラハ ピーティーワイ リミテッド
オーストラリア, 2 1 1 3 ニュー サウ
ス ウェールズ, ノース ライド, ジュリ
アス アヴェニュー 1 4
(74)代理人 110001461
弁理士法人きさ特許商標事務所
(72)発明者 ディアス, フェルナンド
オーストラリア, 2 0 7 0 ニュー サウ
ス ウェールズ, リンドフィールド ウェ
スト, ブラッドフィールド ロード 3 6
内
審査官 井 亀 諭

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光サーキュレータ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

環境の空間プロファイルの推定を容易にするためのシステムであって、
出射光を提供する光源と、
前記環境によって反射された前記出射光の少なくとも一部に対応する入射光を検出する
1以上の光検出器と、
1以上の入力ポートを介して前記出射光を受信し、
受信した前記出射光を双方向ポートを介して自由空間環境にある出射経路に直接送信
し、
前記入射光を前記双方向ポートを介して、前記出射経路と少なくとも部分的に重なり
合うように空間的に配置された、前記自由空間環境にある入射経路上で受信し、
前記1以上の入力ポートから空間的に変位した1以上の出力ポートを介して、受信し
た前記入射光を前記光検出器に送信する
光サーキュレータと、
前記環境の方向の前記出射経路上の前記出射光を1以上の出射方向に方向づけ、
前記環境から入射経路上に反射した入射光を前記光サーキュレータの方向に方向づける
前記自由空間環境にあるビームステアラと
を備え、
検出された光に関連する1以上の特性は、1以上の出射方向に関連する前記環境の前記
空間プロファイルを推定するための情報を有しており、

10

20

前記 1 以上の出力ポートは、前記 1 以上の光検出器に、直交する偏光に分離されたそれぞれの光ビームを提供する 2 の出力ポートを有するか、あるいは、

前記 1 以上の入力ポートは、前記光源から、直交する偏光に分離されたそれぞれの光ビームを受信する 2 の入力ポートを有するか

のいずれかであり、

前記光源は、前記光サーキュレータの前記 1 以上の入力ポートにそれぞれ直接的に光結合された、1 以上の入力光ファイバを有する

システム。

【請求項 2】

前記光サーキュレータは、

前記入射経路から前記 1 以上の出力ポートに向かう前記入射光の入射ビームを、前記 1 以上の入力ポートから前記出射経路に向かう前記出射光の異常偏光ビームおよび通常偏光ビームの一方または双方から変位させるためのコアを有する

請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記 1 以上の入力光ファイバはそれぞれシングルモード入力光ファイバであり、

前記光検出器は、前記光サーキュレータの前記出力ポートに光結合された出力光ファイバを有し、

前記出力光ファイバは、マルチモードファイバを有する

請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記光源と前記光サーキュレータとの間に、集積ファイバ偏光ビームスプリッタと V 溝ファイバアレイとを備える

請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記光サーキュレータの前記 1 以上の入力ポートに光結合され、前記光源からの出射光を伝送する 1 以上の偏波保持ファイバを備える

請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 6】

前記 2 の出力ポートは、前記入射光の偏光解消率の検出を容易にする

請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記検出された光に関連する前記 1 以上の特性は、前記偏光解消率の検出率をさらに含み、前記偏光解消率の検出率に基づいて、前記入射光が、金属性の面、非金属性の面、または鏡面により反射されたこと判定する

請求項 6 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に、光サーキュレータの分野に関する。具体的な実施形態は、例えば、一次元以上にわたる光の方向づけに基づく、環境の空間プロファイルの推定を容易にするシステムおよび方法に関する。

【背景技術】

【0002】

空間プロファイリングとは、所望の原点から見た環境のマッピングである。視野内の各々の点またはピクセルは、環境の表現を形成するために距離に関連付けられる。空間プロファイルは、環境内の物体および/または障害物の識別に有用であり、それによって、タスクの自動化を容易にできる。

【0003】

空間プロファイリングの 1 つの技術は、特定の方向において、環境に光を送り込むステ

10

20

30

40

50

ップと、その方向から、例えば、環境内の反射表面によって、反射された任意の光を検出するステップとを含む。反射光は、反射面までの距離を決定するための関連情報を搬送する。特定の方向と距離との組み合わせは、環境の表現において点または画素を形成する。上述のステップは、複数の異なる方向に対し繰り返されて、表現の他の点または画素を形成でき、それによって、所望の視野内の環境の空間プロファイルの推定を容易にする。

【 0 0 0 4 】

本明細書中の先行技術への言及は、この先行技術が任意の権限における共通の一般的知識の一部を形成すること、または、この先行技術が当業者によって、他の先行技術の一部と理解されることが、関連すると見なされることが、および／もしくは、組み合わせられることが合理的に予測できることを承認するものでも、任意の形態で示唆するものではなく、かつ、そのように見なされるべきものでもない。

10

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 5 】

光サーキュレータが開示される。また、光学システムも開示されている。また、環境の空間プロファイルの推定を容易にするための光学システムも開示されている。光学システムは、光サーキュレータを有する構成にできる。

【 0 0 0 6 】

いくつかの実施形態では、光サーキュレータは、（例えば、光源から）光を受信する入力ポートと、環境に光を送信し、環境から光を受信する双方向ポートと、（例えば、受信機に）光を出力する出力ポートとを備える。出力ポートは、入力ポートから空間的に変位されている。コアは、入力ポートから双方向ポートへ、および双方向ポートから出力ポートへの光の方向を生じさせる。コアは、光を別個の偏光に分離し、一方または双方の偏光をコアを通して方向づけることにより、光の方向を生じさせる。

20

【 0 0 0 7 】

特定の実施形態では、光サーキュレータは、光を受信する入力ポートと、光を出力し、入力ポートから空間的に変位された出力ポートと、入力ポートから出射光路への光の方向を生じさせ、入射光路から出力ポートへの光の方向を生じさせるコアとを備え、出射光路および入射光路は少なくとも部分的に重なるように空間的に配置される。

【 0 0 0 8 】

30

特定の実施形態では、光サーキュレータは、1以上の入力ポートおよび1以上の出力ポートを備え、かつ、1以上の入力ポートおよび1以上の出力ポートと光学的に連通している、第1複屈折結晶と、第1複屈折結晶に続く非相反偏光回転素子と、および非相反偏光回転素子に続く第2複屈折結晶とを備える。第1複屈折結晶は、光サーキュレータを通る光の進行方向に対して横切る第1軸に対してゼロ以外の第1量だけ回転される第1表面を有し、第2複屈折結晶は、第1軸に対して、第1量またはゼロ以外の第2量だけ回転される第2表面を有し、第1表面および第2表面は、反対方向に回転される。

【 0 0 0 9 】

特定の実施形態では、光サーキュレータは、1以上の入力ポートおよび1以上の出力ポートと、1以上の入力ポートおよび1以上の出力ポートと光学的に連通し、第1複屈折結晶と、第1複屈折結晶に続く非相反偏光回転素子と、非相反偏光回転素子に続く第2複屈折結晶とを有する光学アセンブリとを備える。非相反偏光回転素子は、半波長板素子等の第1部品と、ファラデー回転子等の第2部品とを有する。第1部品は、光サーキュレータを通る光の進行方向に対して横切る第1軸に対してゼロ以外の第1量だけ回転される第1表面を有し、第2部品結晶は、第1軸に対して、第1量またはゼロ以外の第2量だけ回転される第2表面を有し、第1表面および第2表面は、反対方向に回転される。

40

【 0 0 1 0 】

特定の実施形態では、環境の空間プロファイルの推定を容易にするためのシステムは、複数の波長チャネルのうちから選択された1以上の波長チャネルでの出射光を提供する光源と、環境によって反射された出射光の少なくとも一部に対応する入射光を検出する光検

50

出器と、光サーキュレータと、ビームステアラとを備える。光サーキュレータは、1以上の入力ポートを介して出射光を受信し、受信した出射光を双方向ポートを介して出射経路に向けて送信し、入射経路上の入射光を双方向ポートを介して受信し、受信した入射光を出力ポートを介して光検出器に送信し、出射経路および入射経路は、少なくとも部分的に重なり合うように空間的に配置され、出力ポートは、1以上の入力ポートから空間的に変位されている。ビームステアラは、環境の方向の出射経路上の出射光を、複数の波長チャネルのうちの選択された1以上の出射方向に基づく、それぞれ1以上の出射方向に方向づけ、環境から入射経路上に反射した入射光を光サーキュレータの方向に方向づける。検出された光に関連する1以上の特性は、1以上の出射方向に関連する環境の空間プロファイルの推定のための情報を有する。

10

【0011】

特定の実施形態では、光学システムは、出射光を提供する光源と、入射光を受信する受光器と、光サーキュレータとを備える。光サーキュレータは、1以上の入力ポートを介して出射光を受信し、受信した出射光を双方向ポートを介して自由空間環境にある出射経路に直接送信し、入射光を双方向ポートを介して、出射経路および入射経路は少なくとも部分的に重なり合うように空間的に配置された、自由空間環境にある入射経路上で受信し、受信した入射光を1以上の出力ポートを介して受光器に送信し、1以上の出力ポートは、1以上の入力ポートから空間的に変位されている。

【0012】

特定の実施形態では、光サーキュレータは、1以上の入力ポートと、1以上の出力ポートと、1以上の入力ポートおよび1以上の出力ポートと光学的に連通する光アセンブリとを備える。光学アセンブリは、第1複屈折結晶と、第1複屈折結晶に続く非相反偏光回転素子と、非相反偏光回転素子に続く第2複屈折結晶とを有する。光学アセンブリは、1以上の入力ポートから光を受信し、光サーキュレータを通る光の進行方向に対し実質的に垂直とならないように回転された第1表面と、1以上の入力ポートから光を受信し、第1表面から変位され、第1表面とは反対方向に、光サーキュレータを通る光の進行方向に実質的に垂直とならないように回転された第2表面とを有する。

20

【0013】

本開示のさらなる態様、および前の段落で記載された態様のさらなる実施形態は、実施例として与えられ、添付の図面を参照した以下の記載、並びに添付の特許請求の範囲から明らかにする。

30

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】環境の空間プロファイルの推定を容易にする、開示されたシステム構成を示す図である。

【図2】光サーキュレータの一例を示す図である。

【図3A】光サーキュレータの他の例を示す図である。

【図3B】光サーキュレータの他の例を示す図である。

【図3C】光サーキュレータの他の例を示す図である。

【図3D】光サーキュレータの他の例を示す図である。

40

【図4】環境の空間プロファイルの推定を容易にする、別の開示されたシステム構成を示す図である。

【図5A】光サーキュレータの一例を示す図である。

【図5B】光サーキュレータの一例を示す図である。

【図6】環境の空間プロファイルの推定を容易にする、別の開示されたシステム構成を示す図である。

【図7】環境の空間プロファイルの推定を容易にする、別の開示されたシステム構成を示す図である。

【図8】光サーキュレータの一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

50

【 0 0 1 5 】

本明細書に開示されるのは、光サーキュレータの形態である。光サーキュレータは、高い指向性を提供する特性を有する。光サーキュレータの応用例は、空間プロファイル推定のためのシステムにおけるものである。光サーキュレータの別の応用例は、例えば、ドップラー効果に基づく、自由空間光通信または自由空間測定のためのシステムにおけるものである。

【 0 0 1 6 】

また、本明細書で開示されるのは、光検出および測距 (L i D A R) 系の技術に基づき、環境の空間プロファイルの推定を容易にするためのシステムおよび方法である。以降において、「光」は、光学周波数を有する電磁放射線を含むものであり、遠赤外線、赤外線、可視光線、および紫外線を含むものである。一般的に、L i D A R は、環境内に光を透過するステップと、続いて環境によって戻される反射光を検出するステップとを含んでいる。光が視野内の反射面に往復するのに要する時間を決定し、距離を決定することによって、環境の空間プロファイルの推定が形成できる。一の構成では、本開示は、鉛直方向に沿うような、一次元にわたる光の方向づけに基づく空間プロファイル推定を容易にする。別の構成では、水平方向に沿うような、別次元において一次元的に方向づけられた光をさらに方向づけることによって、本開示は、二次元における光の方向づけに基づく空間プロファイル推定を容易にする。

【 0 0 1 7 】

本発明者らは、L i D A R システムが、別個の送信光路および受信光路、または別の方法で整列されていない送信光路および受信光路を有し、そうでない場合において反射信号を抑制するクロストークを低減している場合、システムの視線 (一次元の場合) または視野 (二次元の場合) における、1 以上の検出ブラインドスポットが生じることを認識している。この欠点を認識した状態で、本発明者らは、同軸にまたは別の方法で整列された送信光路および受信光路によって、このようなブラインドスポットおよびクロストークを減少させることが可能な多数の光学的設計を考案してきた。これらの光学的設計は光サーキュレータを用い、(光源に結合された) その入力ポートと (光検出器に結合された) 出力ポートとの間に、例えば、7 0 d B 以上、7 5 d B 以上、8 0 d B 以上、8 5 d B 以上、または 9 0 d B 以上の高度の指向性を提供し、さらに環境との間で光を送受信するための双方向ポートを提供している。いくつかの実施形態では、光学的設計は、単一の入力ポートおよび単一の出力ポートを有している。

【 0 0 1 8 】

他の実施形態は複数の入力ポートを有しており、各々の入力ポートは、対応する出力ポートと、双方向ポートとを有している。複数の入力ポートおよび複数の出力ポートは、単一の光サーキュレータに設けることができる。

【 0 0 1 9 】

特定の実施形態は、複数の双方向ポートを有しており、各々の双方向ポートは、1 以上の対応する出力ポートと、1 以上の対応する入力ポートとを有している。複数の双方向ポートは、それぞれ別個のサーキュレータを形成してもよいし、同一のサーキュレータコアを用いてもよい。

【 0 0 2 0 】

複数の入力ポート、出力ポート、および双方向ポートを有する実施形態は、複数のターゲットの同時検出を可能にする。

【 0 0 2 1 】

[システム例 1]

一般的な形態では、図 1 に示されるように、記載のシステム 1 0 0 は、(例えば、1 ~ N を中心とした) 1 以上の波長チャネルで、出射光 1 2 0 を提供する 1 以上の光源 1 0 2 を有している。例えば、光源 1 0 2 は、一度に 1 つの波長チャネルを選択的に出力するレーザを有する構成にできる。システム 1 0 0 は、また、入射光 1 3 0 を検出する 1 以上の光検出器 1 0 4 と、光サーキュレータ 1 0 6 と、ビームステアラ 1 0 8 とを有してい

10

20

30

40

50

る。入射光 130 は、環境 110 によって反射された出射光 120 の少なくとも一部に対応している。光サーキュレータ 106 は、(a) 1 以上の入力ポート 106 A を介して出射光 120 を受信し、(b) 受信した出射光 120 を 1 以上の双方向ポート 106 B を介して自由空間環境にある出射経路 125 に向けて送信し、(c) 双方向ポート 106 B を介して自由空間環境にある入射経路 135 上で入射光を受信し、(d) 受信した入射光 130 を 1 以上の出力ポート 106 C を介して 1 以上の光検出器 104 に送信する。自由空間において透過する光については、光ファイバ、光管、または同様の構造を含む任意の形式の光導波路に限定された光透過ではないと解釈すべきである。

【0022】

ビームステアラ 108 は、(a) 環境 110 の方向の出射経路 125 上の出射光 120 を、選択された波長チャネルおよび/または選択されたサーキュレータの入力ポートに基づく 1 以上のそれぞれの出射方向に方向づけ、(b) 環境 110 から入射経路 135 に反射される入射光 130 を光サーキュレータ 106 に方向づける。ビームステアラ 108 は、良好な発散特性でビームサイズを拡大する拡張光学素子 108 A (拡張光学システム) を有する構成にできる。一変形例では、ビームステアラ 108 は、波長依存の角度分散を提供する、回折格子、プリズムまたはグリズムのような分散要素 108 B を有する構成にできる。ビームステアラ 108 の例は、WO 2017/054036 A1 として 2017 年 4 月 6 日に公開された、PCT 出願第 PCT/AU2016/050899 号を含む本出願人の同時係属出願の 1 以上に開示されており、その全体が引用により本明細書に組み込まれる。検出された光に関連する 1 以上の特性は、(例えば、処理装置 105 による) 1 以上の出射方向に関連する環境の空間プロファイルの推定のための情報を有している。

【0023】

光サーキュレータ 106 は、出射経路 125 および入射経路 135 が少なくとも部分的に重なるように空間的に配置され、さらに、出力ポート 106 C が 1 以上の入力ポート 106 A から空間的に変位されるように構成される。少なくとも部分的に重なった出射経路および入射経路は、前述のブラインドスポットを回避する実施形態を容易にし、さらに、入出力ポートと光サーキュレータ 106 との間の空間的変位、および光導波路の介在または仲介のない自由空間への直接的な連通により、指向性が改善され、反射信号の抑制が回避される。

【0024】

光サーキュレータ 106 は、多数の方法で実現できる。以下においては、光サーキュレータ 106 の実施例を説明する。本明細書では、「ポート」は、アパーチャ等の光ビームが通過する空間内の領域を示すことを目的とするものか、あるいは示すものであり、ポートを規定するために物理的構成要素の存在は、必ずしも要しない。いくつかの実施形態において、光サーキュレータは、光ファイバを光サーキュレータのポートに位置合わせすべく、V 溝アレイ 107 またはファイバの束等の光学アレイを有するか、あるいは光学アレイに接続されている。特に、入力ポート 106 A のうちの 1 以上および/または出力ポート 106 C のうちの 1 以上は、光ファイバをポートと整列させるべく、V 溝アレイまたはファイバの束と関連づけられている。

【0025】

図示するように、いくつかの実施形態では、光ファイバからの光ビームは、光サーキュレータ 106 に直接的に供給される。すなわち、ファイバと光サーキュレータとの間には、1 以上のレンズ等のモード拡張光学部品は配置されていない。このようなモード膨張光学部分がないことの 1 つの利点は、システムに戻るその部品の表面での光の反射を排除できることであり、その結果、指向性を改善できる。いくつかの実施形態では、指向性は、任意の 1 以上の重なる出射経路および入射経路を導入し、光サーキュレータを自由空間に直接通信し、1 以上の光導波路から、少なくとも光サーキュレータの入力ポートに光を直接通信することによって、能動的な影響を受けうる。

【0026】

システム 100 の一実施形態は、単一の光サーキュレータ 106 を有する。他の実施形

10

20

30

40

50

態は、複数の光サーキュレータ 106 を有する。例えば、一実施形態では、複数の光サーキュレータ 106 が並列に動作し、1 以上の光検出器 104 による検出用の並列光路が提供される。したがって、システム 100 は、複数の入力ポート 106 A のアレイと、複数の双方向ポート 106 B のアレイとを有している。いくつかの実施形態では、入力ポート 106 A の数は、双方向ポート 106 B の数に等しい。他の実施形態では、双方向ポートと異なる数の入力ポートがある。ポートのアレイは、単一の光源 102 および単一のビームディレクタ 108 に光結合できる。他の実施形態では、複数の光源 102 および/または複数のビームディレクタ 108 が提供され、それぞれが、ポートのサブセットと光結合されている。

【0027】

10

並列ポートを有する実施形態では、システム 100 は、第 1 ポートが第 1 波長で、あるいは、第 1 波長範囲にわたって光結合し、かつ、第 2 ポートが、第 1 波長および第 1 波長範囲とそれぞれ異なる、第 2 波長で、あるいは第 2 波長範囲にわたって光結合するように構成できる。例えば、並列ポートが複数の光サーキュレータ 106 を横切って設けられる場合、各々の光サーキュレータは、それぞれの波長または波長範囲で動作するように構成できる。一実施形態では、ポートまたは光サーキュレータのうちの 1 以上は、ポートまたは光サーキュレータのうちの別の 1 つが作動する 1 以上の波長または波長範囲で、作動しないように構成される。

【実施例 1】

【0028】

20

一例では、図 2 に示すように、光サーキュレータ 200 は、図 1 の光サーキュレータ 106 とすることができ、1 つの入力ポート 206 A と、1 つの双方向ポート 206 B と、1 つの出力ポート 206 C と、(ポート 206 B からポート 206 C に進む) 入射ビーム 208 から (ポート 206 A からポート 206 B に進む) 出射ビーム 206 を変位させるビーム変位器 204 とを備える。ビーム変位器 204 は、複屈折素子に関連するウォークオフ角 210 によって、出射ビーム 206 からの入射ビーム 208 を変位させるためのオルトバナジウム酸イットリウム (YVO_4) のような複屈折素子を含む。出射ビーム 206 は、入力ポート 206 A を介してビーム変位器 204 に入るときに、第 1 偏光 206' (例えば、通常のビームまたは o ビーム) に回転されるか、あるいは、その他の場合は第 1 偏光 206 に維持される。一方、入射ビーム 208 は、双方向ポート 206 B を介してビーム変位器 204 に入るときに、第 1 偏光 206' に直交する第 2 偏光 208' (例えば、異常ビームまたは e ビーム) に回転されるか、あるいは、そうでない場合は、第 2 偏光 208' に維持される。

30

【0029】

ビーム変位器 204 は、その入力ポート 206 A を介して第 1 偏光 206' (例えば、o ビーム) に方向づけた成分を有する出射ビーム 120 を受信し、受信した出射光 206 をその双方向ポート 206 B を介して送信し、その双方向ポート 206 B を介して反射光 135 を受信し、例えば、第 1 偏光 206' (例えば、e ビーム) に直交する、第 1 偏光とは異なる第 2 偏光 208' に方向づけた成分を有する受信した反射光 208 を、その出力ポート 206 C を介して検出器 104 に送信する。変位角は、本明細書では「ウォークオフ角」と称される。一実施形態では、ビーム変位器 204 は、反射光 135 の偏光解除状態を用いて、第 2 直交偏光 208' を実現する。別の実施形態では、光サーキュレータ 200 は、出射偏光 206' を入射偏光 208' に回転させるために、ビーム変位器 204 の双方向ポート 206 B の後に、1 以上の波長板 (図示せず) を有している。例えば、波長板は、双方向ポート 206 B の直後に配置された、第 1 偏光 206' に対して 45 度に方向づけた四分の一波長板とすることができる。この例では、比較的低い材料コストで、所望の回転が実現できる。四分の一波長板は、第 1 偏光 206' に対して 45 度以外の角度 (例えば、25 度) で方向づけてもよく、そうでない場合に光検出器 104 を抑制し得る高反射性ターゲットからの鏡面反射の低減を容易にする。別の実施形態では、光サーキュレータ 200 は、出射偏光 206' を入射偏光 208' へ回転させるために、ビーム変位器 204 の双

40

50

方向ポート 206B の後の任意の場所に非相反偏光回転素子を有する構成にできる。例えば、非相反偏光回転素子は、ファラデー回転子と、双方向ポート 206B の直後に位置し、偏光 206' に対し 22.5 度で方向づけた半波長板とすることができる。

【0030】

一実施形態では、光源 102 は、偏波保持 (PM) 光ファイバを介して、ビーム変位器 204 にその入力ポート 206A で光結合される。同一の実施形態または異なる実施形態では、検出器 104 は、マルチモード (MM) 光ファイバを介して、ビーム変位器 204 にその出力ポート 206C で光結合される。同一の実施形態または異なる実施形態では、光サーキュレータ 200 は、ポート 206A、206B、および 206C への光の集束および/またはポートからの光のコリメートを行う非球面レンズ (図示せず) などの 1 以上の集束素子を有している。一実施形態では、四分の一波長板等の波長板は、1 以上の集束素子の各側に設けられている。

10

【0031】

光サーキュレータ 200 は、複数のファイバを高い精度で相互に相対位置に保持する 1 以上のガラス基板 (本明細書では、「V 溝アレイ」と称する) 等の、光路を整列させる 1 以上の基板を有する構成にできる。例えば、V 溝アレイを用いて、PM 光ファイバおよび MM 光ファイバの各々を、ビーム変位器 204 の対応する入出力ポートに整列させることができ、これによりファイバアレイを形成できる。V 溝アレイを用いることにより、それらの空間的分離を最小限に抑えつつ、入力ポートと出力ポートとの間のクロストークを減少させた実施形態が容易となりうる。さらに、その使用により、一般的には $+/-1\ \mu\text{m}$ 以内の PM ファイバと MM ファイバとの間の正確な位置決めを与え、実質的な空間的重複を可能にし、V 溝アレイが設計によって結晶寸法に整合された際の能動的な位置合わせを回避する。

20

【0032】

いくつかの実施形態では、光サーキュレータ 200 の光学素子は、クロストーク性能および収集効率の必要な組み合わせを実現するように構成される。例えば、光学素子は、90% 以上の収集効率と組み合わせて、70 dB 以下のクロストーク、または 80 dB 以下のクロストークを実現するように構成できる。

【実施例 2】

【0033】

図 3 に示すように、別の例では、光サーキュレータ 300 (前と同様、図 1 の光サーキュレータ 106 であってもよい) は、コア 302 を有する。図 3A、図 3B、図 3C、および、図 3D の実施形態においては、左から右の順に、コア 302 は、第 1 複屈折結晶 302A、第 1 複屈折結晶 302A に続く非相反偏光回転素子 302B、および非相反偏光回転素子 302B に続く第 2 複屈折結晶 302C を有している。一構成では、非相反偏光回転素子 302B は、非相反偏光回転素子 302B₁ と、非相反性を促進する半波長板 302B₂ とを有している。

30

【0034】

2 つの複屈折結晶 302A および 302C は、図 3A、図 3B、図 3C、および図 3D の実施形態によって示されるように、同一または逆位のウォークオフ角度を有しており、o ビームおよび e ビームの再結合を容易にしうる。第 1 構成では、逆位のウォークオフ角度で、非相反偏光回転素子 302B は、出射ビームを回転させるが、入射ビームを回転させないように設定される。第 2 構成では、同一のウォークオフ角度で、非相反偏光回転素子 302B は入射ビームを回転させるが、出射ビームを回転させないように設定される。

40

【0035】

光サーキュレータ 300 は、2 つの方法のうちの 1 つを利用できる。第 1 利用においては、図 3A に例示されているように、ポート 306C は、(例えば、垂直偏光成分と水平偏光成分との両方を有する) 任意の偏光状態を有する出射光 120 を受信する入力ポートである。光サーキュレータ 300A は、光源 102 からの出射光を伝送するために入力ポート 306C に光結合された光ファイバ (例えば、SM ファイバ) を有する構成にできる

50

。出射経路 1 2 5 に向かって進行する出射光 1 2 0 (実線を参照) に対し、第 1 複屈折結晶 3 0 2 A は、e ビーム成分からウォークオフ角度だけ o ビームを分離する。この進行方向において、ファラデー回転子は半波長板を補償し、0 度の正味の回転を与えるため、非相反偏光回転素子 3 0 2 B は、各成分に影響を与えない状態となる。次いで、第 2 複屈折結晶 3 0 2 C は、双方向ポート 3 0 6 B において 2 つの成分を再結合して、出射経路 1 2 5 に沿った出射光 1 2 0 を形成する。

【 0 0 3 6 】

入射経路 1 3 5 上を進行する光 (点線および破線を参照) に対して、第 2 複屈折結晶 3 0 2 C は、e ビーム成分からウォークオフ角度だけ o ビームを分離する。この進行方向において、ファラデー回転子は半波長板と調和し、9 0 度の正味の回転をもたらすため、非相反偏光回転素子 3 0 2 B は各成分の偏波を回転させる。次いで、第 1 複屈折ウェッジ 3 0 2 A は、成分をさらに分離する。次いで、分離されたビームは、それぞれポート 3 0 6 A および 3 0 6 Z で収集され、それぞれ、入射光 1 0 3 A および 1 0 3 Z を形成する。光サーキュレータ 3 0 0 A は、入力ポート 3 0 6 C に光結合され、光源 1 0 2 からの出射光を伝送する光ファイバ (例えば、PM ファイバ) を有する構成にできる。検出器 1 0 4 は、マルチモード光ファイバを介して、その出力ポート 3 0 6 A および 3 0 6 Z の一方または双方で、コア 3 0 2 に光結合される。光サーキュレータ 3 0 0 A は、PM 光ファイバおよび MM 光ファイバの各々を、対応する入力ポートおよび出力ポートに整列させるべく、V 溝アレイ (図示せず) を有する構成にできる。

【 0 0 3 7 】

この第 1 利用では、光ファイバが単一の入力偏光 (例えば、垂直偏光) を伝送する PM ファイバである場合、反射光の偏光状態の検出により (例えば、入力偏光と比較して、入射光 1 3 0 A および 1 3 0 Z の相対受信力を検出することによって)、反射光の偏光解消率の検出が容易とする。検出された偏光解消率に基づいて、反射面は、金属であるか、あるいは金属である可能性がより高いことを判定できる。例えば、検出された脱分極率が脱分極率の閾値を超えると判定された場合、反射面は金属性であるか、または金属性である可能性がより高いと判定できる。反対に、検出された脱分極率が脱分極率の閾値未満であると判定された場合、反射面は非金属であるか、または非金属である可能性がより高いと判定できる。代替的または付加的に、反射光の偏光状態の検出に基づいて、鏡面反射面 (例えば、逆反射器) を検出することができる。

【 0 0 3 8 】

図 3 B に示されているように、第 2 利用では、ポート 3 0 6 A および 3 0 6 Z の一方または双方は、それぞれ、o ビーム 1 2 0 A および e ビーム 1 2 0 Z のための入力ポートである。図 3 B では、出射光 (例えば、光源 1 0 2 からの光) は、破線および点線で示され、入射経路上に到着する光 (例えば、環境 1 1 0 からの光) は、実線で示されている (すなわち、図 3 A の逆である) 。光サーキュレータ 3 0 0 B は、入力ポート 3 0 6 A および 3 0 6 Z に光結合され、光源 1 0 2 からの出射光を伝送する PM ファイバを有する構成にできる。第 2 利用における動作は、入力ポートおよび出力ポートが入れ替わり、分解された偏光状態が順方向と逆方向との間で入れ替わっていることを除き、第 1 利用の動作と同様である。したがって、光サーキュレータ 3 0 0 A に関する説明は、軽微な修正をすれば、光サーキュレータ 3 0 0 B に適用可能である。

【 0 0 3 9 】

この第 2 利用では、例えば、検出力および感度要件に応じて、e ビームおよび o ビームの一方または双方を用いることができる。同一または異なる変形例では、検出器 1 0 4 は、マルチモード光ファイバを介して、コア 3 0 2 にその出力ポート 3 0 6 C で光結合される。代替的または付加的に、PM 光増幅器 (例えば、エルビウムドープファイバ増幅器) は、必要ではない。代わりに、偏光ビームスプリッタファイバを用いて、光を 2 つの PM ファイバに結合することができる。

【 0 0 4 0 】

図 3 C 及び図 3 D は、図 3 A および図 3 B と類似の方法における代替的な利用を示す図

である。図 3 C および図 3 D においては、図 1 を参照して説明した構成要素と同様の構成要素には、図 1 と同じ符号が付されている。図 3 C では出射光（例えば、光源 1 0 2 からの光）は実線で示され、入射経路上に到着する光（例えば、環境 1 1 0 からの光）は破線および点線で示され、図 3 D ではこれらの表示は逆となっている。

【 0 0 4 1 】

光サーキュレータ 3 0 0 A または 3 0 0 B は、S M 光ファイバ、P M 光ファイバ、および M M 光ファイバの各々をコア 3 0 2 の対応する入出力ポートに整列すべく、V 溝アレイ（図示せず）を有する構成にできる。光サーキュレータ 3 0 0 A または 3 0 0 B は、入力ポートに光を集束させ、および / または、出力ポートから光をコリメートするために、非球面レンズ（図示せず）などの 1 以上の集束素子を有する構成にできる。

10

【 0 0 4 2 】

[システム例 2]

一般的な形態においては、図 4 に図示されるように、記載のシステム 4 0 0 は、光サーキュレータ 3 0 2 '、例えば、本明細書に記載される光サーキュレータから選択される光サーキュレータを有している。一実施形態では、光サーキュレータ 3 0 2 ' は、複数の光サーキュレータ、例えば、本明細書に記載される光サーキュレータから選択される複数の光サーキュレータを含む。

【 0 0 4 3 】

いくつかの実施形態では、光サーキュレータ 3 0 2 ' は、図 3 B を参照して記載されるように、複数の光サーキュレータ 3 0 2 を有している。光サーキュレータ 3 0 2 ' における各々の光サーキュレータ 3 0 2 は、V 溝アレイ 1 0 7 ' によって配置された光ファイバケーブルを介して、1 以上の光源からの 2 つの入力光信号を受信する。したがって、各々のファイバ光ケーブルからの出力光は、光サーキュレータ 3 0 2 ' に直接供給される。

20

【 0 0 4 4 】

いくつかの実施形態において、光サーキュレータ 3 0 2 ' は、複数の光源のそれぞれに対して同じコアが用いられるように、十分な大きさの開口を有している。

【 0 0 4 5 】

いくつかの実施形態において、それぞれの光源と V 溝アレイ 1 0 7 ' との間にスプリッター 1 0 9 が設けられており、それぞれの光ファイバケーブルを介して 2 つの光信号を供給している。

30

【 0 0 4 6 】

図 4 に示した例では、第 1 出射光路 1 2 5 A および第 2 出射光路 1 2 5 B は、ビームステアラ 1 0 8 ' を介して環境に光を供給しており、2 つの信号の例においては、デュアルビームステアラである。環境から反射した光は、光サーキュレータ 3 0 2 ' における、それらに関連づけた光サーキュレータ 3 0 2 によって、2 つの光検出器のうちの 1 つに方向づけられる。自由空間への遷移、および自由空間からの遷移は、光サーキュレータの双方向ポートでなされ、これは、システム例 1 で説明したように、双方向ポートに導波路があるシステムに比べて、指向性を改善できる。

【 0 0 4 7 】

一実施形態では、デュアルビームステアラ 1 0 8 ' は、出射光路 1 2 5 A、1 2 5 B からの光の方向を別個に制御する。別の実施形態では、出射光路 1 2 5 A、1 2 5 B からの光の方向は、例えば、固定角のオフセットによる相関性がある。

40

【 0 0 4 8 】

別の実施形態では、光サーキュレータ 3 0 2 ' における光サーキュレータ 3 0 2 からの光を検出すべく、単一の光検出器が提供されている。次いで、処理装置 1 0 5（図 1 参照）が、検出された光を識別する。

【 0 0 4 9 】

他の例では、1 以上の光サーキュレータに接続された、3 以上の光源を提供できる。これらの実施例または他の実施例では、光サーキュレータ 3 0 2 からの別の形態の光サーキュレータを用いることができる。いくつかの例では、光サーキュレータは、同じ形式のも

50

のである。他の実施例では、光サーキュレータは、異なる形式のもの（例えば、図 3 A で説明したもの、および図 3 B で説明したもの）である。

【実施例 3】

【0050】

図 5 に図示されるように、別の例においては、光サーキュレータ 500（前と同様、図 1 の光サーキュレータ 106 であってもよい）は、コア 502 を有する。図 5 の実施形態においては、左から右へ順に、コア 502 は、第 1 複屈折素子 502 A と、第 1 複屈折素子 502 A に続く非相反偏光回転素子 502 B と、非相反偏光回転素子 502 B に続く第 2 複屈折結晶 502 C とを有している。一構成では、非相反偏光回転素子 502 B は、非相反性を促進すべく、半波長板素子 502 B₁ と、ファラデー回転子 502 B₂ とを有し

10

【0051】

図 5 A の側面図および図 5 B の上面図で示されるように、第 1 複屈折素子 502 A は、（図では y 軸と示される）1 つの軸において、 θ_1 （度）だけ角度を付して設けられている。図示された実施形態では、y 軸における回転は、時計回り方向である。半波長板 502 B₁ は、（図中の x 軸で指定される）別の軸において、 θ_2 （度）だけ時計回りに角度を付して提供される。ファラデー回転子 502 B₂ は、x 軸において、反時計回りに θ_3 （度）だけ角度を付して提供され、第 2 複屈折クリスタル 502 C は、y 軸において、反時計回りに θ_4 （度）だけ角度を付される。図 5 に示す実施形態を含むいくつかの実施形態では、x 軸および y 軸が実質的に横方向である。

20

【0052】

いくつかの実施形態では、図 5 に示される実施形態を含み、1 つの方向に 1 つの軸で回転されるすべての素子に対して、実質的に同じ回転範囲だけ同じ軸で反対方向に回転される対の素子がある。いくつかの実施形態では、1 以上の非回転素子は、回転素子と組み合わせ提供できる。いくつかの実施形態では、この回転素子の対を促進すべく、偶数（例えば、図 5 の実施形態では 4 つ）の回転素子がある。

【0053】

ある実施形態では、回転の範囲は、異なる軸における素子について実質的に同一であり、例えば、角度 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、および θ_4 の値は同一である（すなわち、 $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta_4$ ）。他の実施形態では、回転の範囲は、異なる軸で回転される素子間で異なっている。例えば、いくつかの実施形態では、角度 θ_1 は θ_4 に等しいが、 θ_2 は θ_3 と異なる。角度付けまたは回転されることによって、素子の回転の範囲は、実質的にゼロ以外であることも含め、ゼロ以外となることは理解されるであろう。

30

【0054】

選択される素子の回転角度は、指向性および収集効率を改善すべく最適化できる。例えば、角度は、光サーキュレータ 500 に入射する、コリメートされない光ビームによって導入される光学収差を一定の水準に維持すべく、および/または、システムへ反射する光反射を緩和すべく選択できる。素子間に形成される角度は、約 12 度～約 30 度の範囲にできる。角度の例は、11.8 度、12.5 度、15 度、17.5 度、20 度、25 度、および 30 度を含む。

40

【0055】

いくつかの実施形態では、回転方向は反転される。例えば、図 5 において時計回りに回転された各々の素子は、代替的に、反時計回りに回転され、反時計回りに回転された各々の素子は、代替的に、時計回りに回転される。

【0056】

他の構成では、回転軸は横方向ではない。例えば、コアの構成要素は、全て同じ軸に回転できる。コアの構成要素は、例えば、全て図 5 の y 軸または x 軸の一方に回転してもよい。別の例では、回転軸は、別個の量、例えば、120 度だけオフセットできる。その例において、コアは、互いに 120 度オフセットされた 3 つの軸に沿って、対になって回転し、対が反対方向に回転された 6 つの素子を有する構成にできる。

50

【 0 0 5 7 】

いくつかの実施形態では、図 5 A において、 t として示した複屈折結晶 5 0 2 A および / または 5 0 2 C の厚さは、約 1 mm ~ 約 1 . 5 mm である。一例では、複屈折結晶 5 0 2 A および 5 0 2 C の厚さ (t) は、クラッド厚さが約 1 2 5 μ m のファイバを用いる場合約 1 . 3 0 4 mm にでき、ピッチは約 1 2 7 μ m に制限される。

【 0 0 5 8 】

いくつかの実施形態では、複屈折結晶 5 0 2 A および 5 0 2 C の厚さが低減されることにより、指向性および収集効率に利点をもたらすことができる。厚さ t を減少させるために、ファイバアレイピッチは、例えば、クラッド厚さを減少したファイバを用いることによって減少される。一例では、複屈折結晶 5 0 2 A および 5 0 2 C の厚さ (t) は、クラッド厚さが約 8 0 μ m に低減されたクラッドファイバを用いることによって、約 0 . 8 5 mm に低減され、ファイバアレイピッチは約 8 2 μ m の低減される。いくつかの実施形態では、複屈折結晶 5 0 2 A および / または 5 0 2 C の厚さは、約 0 . 8 0 mm または 0 . 8 5 mm と、約 0 . 9 0 mm または約 1 . 0 0 mm との間である。

【 0 0 5 9 】

2 つの複屈折結晶 5 0 2 A および 5 0 2 C は o ビームおよび e ビームの再結合を容易にするために、等しくかつ反対のウォークオフ角を有する可能性がある。例示として、反対のウォークオフ角度を有する 1 つの配置において、非相反偏光回転素子 5 0 2 B は出射ビームを回転させるが、入射ビームを回転させないように設定される。別の構成では等しいウォークオフ角度で、非相反偏光回転素子 5 0 2 B は入射ビームを回転させるが、出射ビームを回転させないように設定される。

【 0 0 6 0 】

光サーキュレータ 5 0 0 は、コアを通る様々なポートおよび光路と共に用いることができる。例えば、光サーキュレータ 5 0 0 は、上述の実施例 2 に記載のものに対応する 2 つの方法の一方で用いることができる。例えば、コアに光結合されたファイバアレイは、光源に接続された 2 つのポートと、光検出器に接続された 1 つのポートと、光源に接続された 1 つのポートまたは光検出器または各々の光検出器に接続された 2 つのポートとを有する構成にできる。

【 0 0 6 1 】

加えて、または代替的に、半波長板およびファラデー回転子の順序は、交換してもよい。すなわち、非相反偏光回転素子 5 0 2 B は、ファラデー回転子 5 0 2 B₁ と、半波長板素子 5 0 2 B₂ とを有している。

【 0 0 6 2 】

側面が実質的に平行である光サーキュレータ 5 0 0 の素子が、図 5 では示されているが、他の実施形態では、素子は平行ではない側面を有している。角度が付された素子の 1 以上の表面 (第 1 表面) は、光サーキュレータを通る光の進行方向に対して回転され、その結果、その表面は、光の進行方向に対して実質的に横方向ではなくなる。他の表面 (第 2 表面) は、光の進行方向に対して横方向に方向づけてもよいし、第 1 表面および第 2 表面は、2 つの表面は楔形または台形状を形成する異なる角度であってもよい。

【 0 0 6 3 】

光サーキュレータ 5 0 0 は、S M 光ファイバ、P M 光ファイバ、および / または M M 光ファイバの各々をコア 5 0 2 の対応する入力ポートおよび出力ポートに整列させるべく、V 溝アレイ (図示せず) を有する構成にできる。光サーキュレータ 5 0 0 は、入力ポートに光を集束させ、かつ / または、出力ポートから光をコリメートすべく、非球面レンズおよび / または放物面鏡 (図示せず) 等の 1 以上の集束素子を有する構成にできる。

【 0 0 6 4 】

[システム例 3]

図 6 に図示されるように、別の形態では、記載のシステム 7 0 0 は、光サーキュレータ 5 0 2'、例えば、本明細書に記載される光サーキュレータから選択される光サーキュレータを有している。一実施形態では、光サーキュレータ 5 0 2' は、複数の光サーキュレータ

10

20

30

40

50

、例えば、本明細書に記載される光サーキュレータから選択される複数の光サーキュレータを有している。いくつかの実施形態では、光サーキュレータ 502' は、図 5 で説明されるように、1 以上の光サーキュレータ 502 を含む。

【0065】

いくつかの実施形態において、集積素子 701 は、各チャネルの偏波が独立したファイバ偏波ビームスプリッタ 209 と、3 チャネル V 溝ファイバアレイ 207 とを有する。FPBS 及びファイバアレイの集積化により、製造コストを低減し、整列を容易にすることができる。また、FPBS の使用により、単純でスケラブルな光サーキュレータ設計を容易にすることができる。例えば、光サーキュレータに用いられる半波長板は、分割結晶または結晶のアレイではなく均一な結晶として選択でき、これにより、各々の部分は、偏光状態を分離し、各偏光状態を別個に処理するように設計される。集積素子 701 は、光源 102 からの光 120 がポート 701 A を介して集積素子 701 に供給され、検出器 104 が、集積素子 701 にその出力ポート 701 B で光結合されるように配置される。偏波が異なる 2 つの光ビーム 225 A および 225 B は、それぞれ、ポート 701 C および 701 E を介して集積素子 701 から出力される。光ビーム 225 A および 225 B は、光サーキュレータ 502' に直接供給される。すなわち、ファイバアレイと光サーキュレータとの間には、1 以上のレンズのようなモード拡張光学部品は配置されていない。このようなモード膨張光学部品がないことの 1 つの利点は、そのような部品の表面における光反射がシステムに戻るのを排除できることであり、その結果、指向性を改善できる。ポート 701 D は、光サーキュレータ 502' から光を受信する。集積素子 701 に関連するポート、すなわち、ポート 701 A、701 B、701 C、701 D、および 701 E は、ファイバコネクタおよび/または光スプライシングによって形成できる。

【0066】

一実施形態では、光検出器 102 からの出射光は、シングルモードファイバ (SMF) を介して集積素子 701 に伝送される。FPBS 209 の出力ファイバは、偏光維持ファイバ (PMF) とすることができる。光検出器に接続された受信ファイバは、SMF、PMF、MM ファイバ (MMF)、ダブルクラッドファイバ (DCF)、およびフォトリソグラフィ (PL) を含む様々なファイバタイプから選択できる。選択は、システムに採用された受信方法および検出方法に基づいたものとして行うことができる。

【0067】

いくつかの実施形態では、コリメート素子 210 は、光サーキュレータ 502' と連通して設けられ、光サーキュレータ 502' の出力ポートに向かう光をコリメートする。

【0068】

一実施形態では、コリメート素子 210 は、1 以上のレンズである。レンズは比較的大きな焦点距離を有してもよく、および/または、反射防止コーティングを被覆して、レンズ表面での反射をシステムに戻るのを制限してもよい。

【0069】

別の実施形態では、コリメート素子 210 が図 7 に示されるように、放物面鏡である。一構成では、コリメート要素 210 として 90 度の放物面鏡を用いることができる。他の構成では、放物面鏡は、45 度等の他の反射角度であってもよい。放物面鏡は、反射がシステム内に戻らないようにしつつ、光をコリメートすることができる。

【0070】

さらに別の実施形態では、コリメート素子 210 は集束格子である。

【0071】

さらに他の実施形態では、コリメート素子 210 は、レンズ、放物面鏡、および集束格子のうちの少なくとも 2 つの組合せを有する構成にできる。組み合わせは、1 以上のレンズ、および/または、1 以上の放物面鏡、および/または、1 以上の集束格子を有する構成にできる。

【0072】

図 6 に示す例では、出射光路 125 は、単一ビームステアラまたはデュアルビームステ

10

20

30

40

50

アラ等のビームステアラ 208 を介して、環境に光を供給する。環境から反射した光は、光サーキュレータ 502' によって検出器 104 に方向付けられる。次いで、処理装置 105 は、検出した光を識別する。

【0073】

他の例では、1以上の光サーキュレータに接続された2つまたは複数の光源が設けられた構成にできる。これらの実施例または他の実施例では、光サーキュレータ 502 と別の形態の光サーキュレータを用いることができる。いくつかの例では、光サーキュレータは同じ形式のものである。他の例では、光サーキュレータが異なる形式のものである。

【実施例 4】

【0074】

別の例では、図 8 に示すように、光サーキュレータ 800 (前と同様に、図 1 の光サーキュレータ 106 であってもよい) は、第 1 複屈折素子 802 A と、第 1 複屈折素子 802 A に続く第 1 非可逆偏光回転素子 802 B と、第 1 非可逆偏光回転素子 802 B に続く第 2 複屈折素子 802 C と、第 2 複屈折素子 802 C に続く第 2 非可逆偏光回転素子 802 D と、第 2 非可逆偏光回転素子 802 D に続く第 3 複屈折素子 802 E とを有する。第 1 複屈折素子 802 A、第 2 複屈折素子 802 C、および第 3 複屈折素子 802 E は、それぞれ、入力ポート 806 A で受光された出射光に対して、45 度に整列された光軸を有している。第 1 複屈折素子 802 A、第 2 複屈折素子 802 C、および第 3 複屈折素子 802 E の各々は、複屈折ウェッジとすることができる。

【0075】

この例では、非相反偏光回転素子 802 B および 802 D には、水晶アレイがある。これは、均一な結晶を用いることができる形態の他の例とは対照的である。一構成においては、非相反偏光回転素子 802 B は、非相反性を促進すべく、1以上のファラデー回転子および/または半波長板を有する構成にできる。

【0076】

光サーキュレータ 800 は、出射光 120 を受信する入力ポート 806 A を有している。第 1 複屈折素子 802 A は、入力ポート 806 A における受信した光を、ウォークオフ角度だけ o ビームと e ビームとに分離する。第 1 非可逆偏光回転素子 802 B は、e ビームを回転させてその偏光を o ビームの偏光に整列させ、偏向されることなく平行に、両方の o ビームを第 2 複屈折素子 802 C に渡す。第 2 非相反偏光回転素子 802 D は、元の o ビームの偏光を e ビームの偏光に回転させるが、回転した o ビームを回転したままにする。第 3 複屈折素子 802 E は、回転した o ビームを偏向するが、回転した e ビームは偏向しない。回転された o ビーム及び e ビームは、出射経路 125 に続く双方向ポート 806 B で組み合わせられる。入射経路 135 に続く反射光は、第 3 複屈折素子 802 E によって o ビームと e ビームとに分離される。次いで、第 2 非可逆偏光回転素子 802 D は、o ビームをさらに回転させて、その偏光を e ビームの偏光に整列させ、両方の e ビームを偏向する第 2 複屈折素子 802 C に渡す。偏向された e ビームの一方は、第 1 非相反偏向回転素子 802 B によって回転され、その偏光を o ビームの偏光と整列させ、次いで、出力ポート 806 C において、回転させない e ビームと結合される。

【0077】

一変形例では、光源 102 は、シングルモード光ファイバを介して、光サーキュレータ 800 にその入力ポート 806 A で光結合される。同一の変形例または異なる変形例では、検出器 104 は、マルチモード (MM) 光ファイバまたは SM ファイバまたは PM ファイバまたは DC ファイバを介して、光サーキュレータ 800 にその出力ポート 806 C で光結合される。マイクロレンズアレイ (図示せず) は、必要に応じて結晶アレイを適切に通過させるために、光サーキュレータ 800 の入出力ポート用の光をコリメートする。光サーキュレータ 800 は、SM 光ファイバおよび MM 光ファイバのうちの 1 以上を、対応する入力ポート 806 A および出力ポート 806 C に整列させるべく、V 溝アレイ (図示せず) などの光学アレイを有する構成にできる。双方向ポート 806 B は、コリメート素子を介してサーキュレータを自由空間に結合する。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 8 】

本開示の構成が説明されたため、説明した構成のうちの 1 以上が、以下の利点のうちの 1 以上を有することは、当業者には明らかである：

- ・ 出射経路 1 2 5 と出射経路 1 3 5 とを重ねることにより、検出線または視野内のブラインドスポットを回避する実施形態を容易にする
- ・ 出射経路 1 2 3 および入射経路 1 3 5 の容易な整列により、例えば、実施形態がより大規模な製造を受け入れることを容易にする。
- ・ (1 以上の) 入力ポートと出力ポートとの間の高い指向性は、反射信号の抑制を回避する実施形態を容易にする。
- ・ 収集効率が高い
- ・ 光サーキュレータ構造が比較的単純であり、かつ / または、拡張性がある

10

【 0 0 7 9 】

本明細書に開示され、定義された本発明は、本文または図面から言及され、または明らかな個々の特徴の複数の代替的な組合せのすべてに及ぶことが理解されるのであろう。これらの異なる組み合わせの全ては、本発明の様々な代替態様を構成する。

20

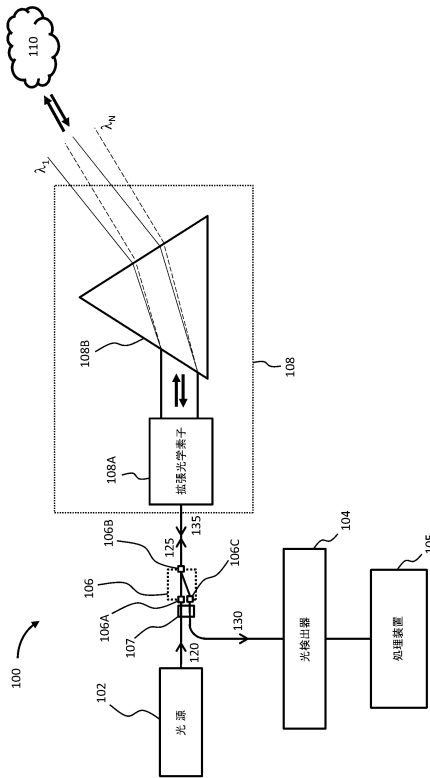
30

40

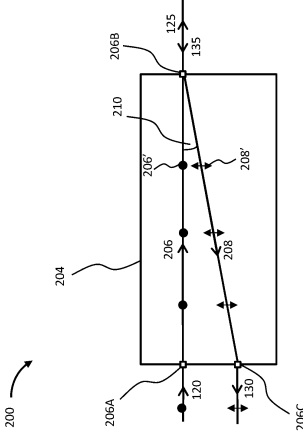
50

【図面】

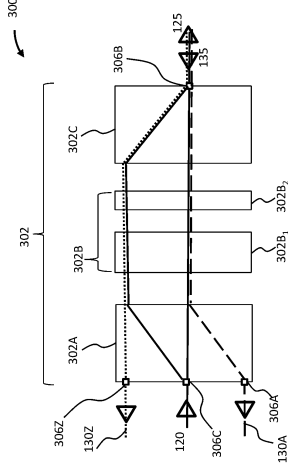
【図 1】



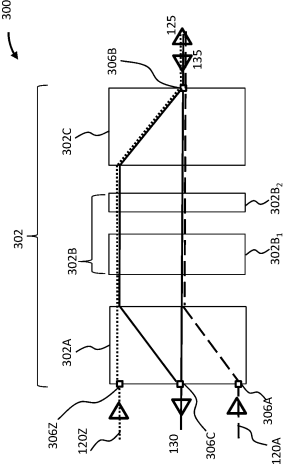
【図 2】



【図 3 A】



【図 3 B】



10

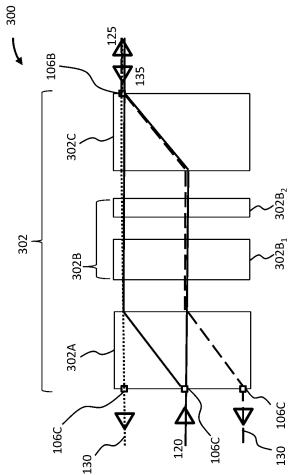
20

30

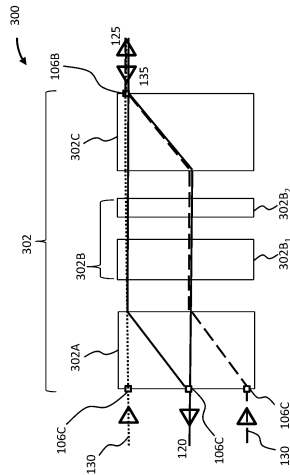
40

50

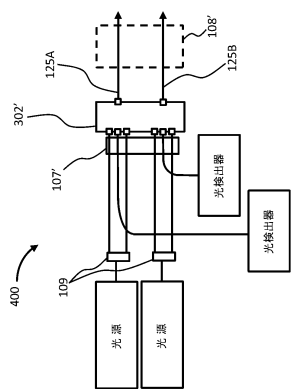
【図 3 C】



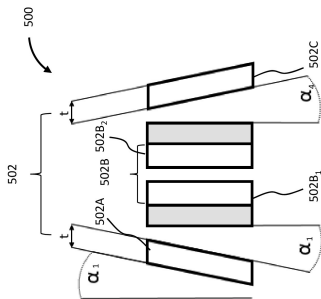
【図 3 D】



【図 4】



【図 5 A】



10

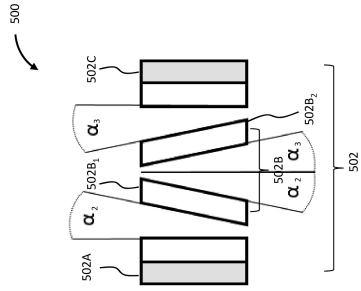
20

30

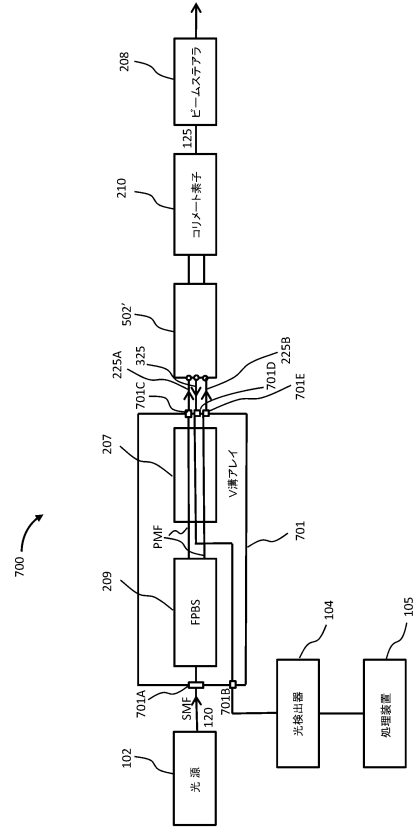
40

50

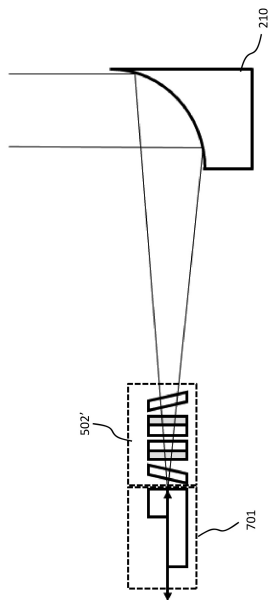
【 図 5 B 】



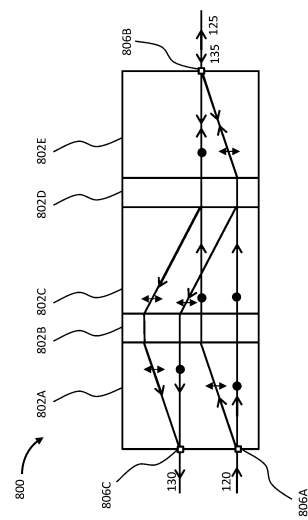
【 図 6 】



【圖 7】



【 図 8 】



フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関

オーストラリア(AU)

(56)参考文献

特表 2 0 1 5 - 5 1 7 0 9 4 (J P , A)

特開 2 0 1 3 - 1 6 0 7 1 7 (J P , A)

特開平 0 9 - 1 2 7 4 6 3 (J P , A)

国際公開第 2 0 1 7 / 0 5 4 0 3 6 (W O , A 1)

特開 2 0 0 0 - 0 0 2 8 1 9 (J P , A)

特開 2 0 1 2 - 2 0 7 9 3 4 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

G 0 2 B 2 7 / 2 8

G 0 1 N 2 1 / 4 9